



T.C.

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÜZ BİR YÜZEYE ÇARPAN HALKASAL VE SENTETİK JETİN
ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİĞİNİN PARAMETRİK
OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necati ÜN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ünal AKDAĞ

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 202304406 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Necati ÜN tarafından hazırlanan “**DÜZ BİR YÜZEYE ÇARPAN HALKASAL VE SENTETİK JETİN ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİĞİNİN PARAMETRİK OLARAK İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ünal AKDAĞ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan DEMİR

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Selma AKÇAY

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 21/09/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Necati ÜN

TEŞEKKÜR

2020 yılında mesleki bilgilerimi geliştirmek, farklı bakış açısı kazanmak ve topluma daha faydalı olabilmek amacıyla başladığım Yüksek Lisans eğitimimi tamamlamış bulunmaktayım.

Yüksek lisans eğitimi ders dönemim ve tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen, her zaman bana değerli zamanını ayırıp bilgilerini paylaşan, eleştirileri ve görüşleri ile yardımcı olan, ayrıca güler yüzlü olup çalışmalarımda büyük katkısı olan Prof. Dr. Ünal AKDAĞ’a “Aksaray Üniversitesi” teşekkür ederim.

Tezimin eklemeli imalat ile lüle yapımı ve deney düzeneği kurulumu aşamasında desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Hakan PALANCIOĞLU’na teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan eşim Merve ÜN ve kızım ASEL LİNA ÜN’e teşekkür ederim.

Necati ÜN

AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Çarpan Jet Terminolojisi ve Isı Transferi İyileştirme Çalışmaları	2
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	22
3.1 Giriş	22
3.2 Deney Düzenegi	22
3.3 Lüle Geometrisi ve Karışım Odası	23
3.4 Deneylerin Yapılışı.....	26
3.5 Deneysel Ölçümler	27
3.6 Levha Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi.....	31
3.7 Isı Geçiş Hesabı.....	36
3.8 Fiziksel Parametreler	41
3.9 Hata Analizi.....	42
3.10 Sonuçlar.....	43
4. SAYISAL ÇALIŞMA	45
4.1 Giriş	45
4.2 Çözüm Alanı ve Kullanılan Yöntem	45
4.3 İki Boyutlu Çalışmalar	46
4.3.1 İki boyutlu çalışmalarda ağ bağımsızlığı.....	47
4.4 Üç Boyutlu Çalışmalar	48
4.4.1 Üç boyutlu çalışmalarda ağ bağımsızlığı.....	49
4.5 Matematik Model	50
4.6 Türbülans Modeli	51
4.7 Sınır Şartları	52
4.8 İki Boyutlu Çalışmalarda Sayısal Çözümün Değerlendirilmesi.....	52
4.9 Üç Boyutlu Çalışmalarda Sayısal Çözümün Değerlendirilmesi	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	75
EK A. Hata Analizi	76
EK B. İki boyutlu sayısal çözümdeki Nusselt Sayısı Sonuçları (2d)	81
EK C. Boyut Analizi	82
ÖZGEÇMİŞ.....	84

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜZ BİR YÜZEYE ÇARPAN HALKASAL VE SENTETİK JETİN ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİĞİNİN PARAMETRİK OLARAK İNCELENMESİ

Necati ÜN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ünal AKDAĞ

ÖZET

Bu çalışmada, sabit ısı akısıyla ısıtılmış düz bir yüzey üzerinde türbülanslı halkasal bir jet çarpmasından kaynaklanan ısı transferi performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Halkasal çarpan jetler, ısı transferini artırır ve dairesel çarpan jete kıyasla çarpma yüzeyi üzerinde akışı daha üniform bir şekilde yayar ve bir ters durgunluk akışı oluşturma gibi kayda değer bir özelliğe sahiptir. İncelemelerde, hedef yüzey ile jet çıkışı arasındaki mesafe (H/D), jet Reynolds sayısı (Re_j), Sentetik jetin genliği (A_o) ve frekansı (Wo) değiştirilirken, Prandtl sayısı (Pr) ve geometrik parametreler sabit tutulmuş ve ısı transferi üzerinde bu parametrelerin etkileri analiz edilmiştir. Deneyler, belirlenen Reynolds sayılarında, dört farklı çarpma mesafesi, dört farklı genlik ve altı farklı frekans için yapılmıştır. Aktif ısı transferi iyileştirme yöntemi olarak kullanılan sentetik ve halkasal jet için imal edilen deney düzeneği üzerinde ayrıntılı olarak sıcaklık ölçümleri yapılmış ve ölçülen sıcaklıklar yardımıyla Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Deneysel parametrelere uygun olarak sayısal modellemede yapılmış olup, akış yapısı hakkında detaylı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, boyutsuz sayılarla ifade edilmiş olup, sonuçlar dairesel jet çarpması sonucu oluşan ısı transferi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, ısı transferi iyileştirmede dairesel jete göre halkasal sentetik jetin önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Halkasal çarpan jet, Sentetik jet, Isı transferi, Yüzey soğutma.

Eylül, 2023; 84 sayfa

M.Sc. THESIS

THE PARAMETRIC INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF ANNULAR AND SYNTHETIC IMPINGING JET ON A FLAT SURFACE

Necati ÜN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ünal AKDAĞ

ABSTRACT

In this study, heat transfer performance from a turbulent annular jet impingement on a constant heat flux heated flat surface was investigated experimentally and numerically. Annular impinging jets enhance the heat transfer and spread the flow more uniformly over the impingement surface compared to the round impinging jet, and have one noteworthy characteristic of forming a reverse stagnation flow. In the investigations, the distance between the target surface and the jet exit (H/D), the jet Reynolds number (Re_j), the amplitude (A_0) and frequency (Wo) of the synthetic jet were changed, while the Prandtl number (Pr) and geometric parameters were kept constant, and the effects of these parameters on heat transfer were analyzed. Experiments were carried out for three different impact distances, four different amplitudes and six different frequencies at the determined Reynolds number. The synthetic jet is used as an active heat transfer enhancement method, temperature measurements were made in detail on the experimental setup and Nusselt numbers were calculated with the based on measured temperatures. Numerical modeling was carried out in accordance with the experimental parameters, and detailed evaluations were made about the flow structure. The obtained results are expressed as a function of dimensionless numbers, and the results are compared with the heat transfer results of continuous (circular) jet impingement. Experimental results showed that the annular synthetic jet has a significant effect on heat transfer enhancement. It was observed that the annular synthetic jet significantly increased the heat transfer compared to the continuous jets.

Keywords: Annular jet impingement, Synthetic jet, Heat transfer, Surface cooling.

September, 2023; 84 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çarpan halka jet	3
Şekil 2.2. a) Çarpan jetin farklı akış bölgelerini gösteren yan görünüşü; b) çarpan jetin üstten görüntüsü	4
Şekil 2.3. Hedef yüzey üzerindeki ısı transferi değişimi	5
Şekil 2.4. Akış karakteristiğinin gösterimi.	6
Şekil 2.5. Deney düzeneğinin hesaplama alanı.....	12
Şekil 2.6. Lüle ve hedef yüzeyin gösterimi	14
Şekil 2.7. Halkasal çarpan jet.....	16
Şekil 2.8. Eş eksenli halkasal lüle ve hedef yüzey.....	17
Şekil 2.9. Halkasal jetin sistematik görünümü	18
Şekil 2.10. İç lüle dönen jet ikili jet kesit görünümü.	19
Şekil 3.1. Deney düzeneği test şeması	23
Şekil 3.2. Deney düzeneği resmi.....	23
Şekil 3.3. a) Lüle içerisinden geçen akışın düzeltildiği bölge b) lüle giriş kısmını ile çıkış kısmını bağlayan bölge c) çıkış lüle bağlantı kısmı d) deneyde kullanılan tüm lüle.	24
Şekil 3.4. Halkasal lülenin kesit görünümü ve ölçüleri (mm).	25
Şekil 3.5. Sentetik halkasal jet montajı ve hedef yüzey görünümü.	25
Şekil 3.6. Hedef yüzey üzerine yerleştirilen termoelemanların konumları.	29
Şekil 3.7. Hedef yüzeyin yapısı ve halkasal lülenin görünümü.	30
Şekil 3.8. Sürekli dairesel çarpan jet şartlarında sıcaklığın levha boyunca değişimi.	32
Şekil 3.9. Sürekli halkasal çarpan jet şartlarında sıcaklığın levha boyunca değişimi.	33
Şekil 3.10. Halkasal sentetik çarpan jetin farklı frekanslardaki değişimi.....	34
Şekil 3.11. Sürekli dairesel çarpan jet akışında farklı mesafelerde Reynolds sayısı değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.....	37
Şekil 3.12. Sürekli halkasal çarpan jet akışında farklı mesafelerde Reynolds sayısı değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.....	37
Şekil 3.13. Sürekli çarpan jet akışı şartlarında dairesel ve halkasal çarpan jet akışının karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.14. Sentetik halkasal çarpan jet akışında sabit mesafe ve genlikte farklı Reynolds sayısı ve frekans değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.....	38
Şekil 3.15. Sentetik halkasal çarpan jet akışında sabit genlik ve frekans değerlerinde farklı mesafelerde Nusselt sayısının değişimi.	39
Şekil 3.16. Jet tipine göre Nusselt sayısının değişimi.....	39
Şekil 3.17. Sentetik halkasal çarpan jet akışında farklı frekans ve genlik değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.....	40
Şekil 4.1. Sayısal çözümün geometrik büyüklüklerin gösterimi (2d).....	46
Şekil 4.2. Ağ yapısı ve sayısal çözüm alanı.....	47
Şekil 4.3. Sayısal çözümün geometrik büyüklüklerin gösterimi (3d).....	48
Şekil 4.4. Ağ yapısı ve sayısal çözüm alanının simetrik ekseninde gösterimi.	49
Şekil 4.5. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.....	53
Şekil 4.6. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=3000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.	54
Şekil 4.7. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.....	55
Şekil 4.8. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=6000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.	56
Şekil 4.9. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.	57

Şekil 4.10. $Re_{iç}=12000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısının değişimi.	58
Şekil 4.11. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.	59
Şekil 4.12. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=3000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,$ 15000 değerleri için Nusselt sayısı değişimi.	60
Şekil 4.13. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.	61
Şekil 4.14. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=6000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,$ 15000 değerleri için Nusselt sayısı değişimi.	62
Şekil 4.15. Farklı $Re_{iç}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.	63
Şekil 4.16. $Re_{dış}=15000$ ve $Re_{iç}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.	64
Şekil 4.17. Halkasal sentetik jet akışında sabit mesafe, genlik ve frekans için farklı faz açılarına göre hız konturlarının gösterimi ($Re=6000$).	66
Şekil 4.18. Halkasal sentetik jet akışında sabit mesafe, genlik ve frekans için farklı faz açılarına göre sıcaklık dağılımları ($Re=6000$).	67



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Halkasal sentetik jet parametreleri.....	35
Çizelge 4.1. Ağ bağımsızlığı için yapılan çalışmalar (2d) $Re=6000$	47
Çizelge 4.2. Ağ bağımsızlığı için yapılan çalışmalar (3d) $Re=6000$	50
Çizelge A.1. Deneyler için hata analizi hesabı.	76
Çizelge B.1. İki boyutlu sayısal çözümde Nusselt sayısının gösterimi.	81
Çizelge C.1. Boyut matrisi.	82



SİMGELER VE KISALTMALAR

A_o	Genlik
ANOVA	Analysis of Variance
B=H/D	Boyutsuz üfleme mesafesi
c_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg ⁰ C)
f	Frekans (Hz)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
h_m	Zaman ortalamalı anlık ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h_{x,t}	Anlık (yerel) ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
IR	Kızılötesi Işıklar (IR)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	Bakır levha uzunluğu (yarıçapı) (m)
IR	InfraRed
LDV	Lazer Doppler Hız
N	Toplam veri sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
Nu_{x,t}	Anlık (yerel) Nusselt Sayısı
PIV	Particle Image Velocimetry
Pr	Prandtl Sayısı
q"	Isı akısı (W/m ²)
Re	Reynolds Sayısı
Re_{iç}	İç Reynolds Sayısı
Re_{dış}	Dış Reynolds Sayısı
Re_j	Jet Reynolds Sayısı
RNG	ReNormalization Group
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations
T	Sıcaklık (°C)
T_∞	Ortalama daimî akışkan sıcaklığı (°C)
T_w	Ortalama yüzey sıcaklığı (°C)
T_{w,i}	Anlık yüzey sıcaklığı (°C)
T_{w,x}	Ortalama yüzey sıcaklığı (°C)
UOA	Uygun Ortogonal Ayırıştırma
U_j	Ortalama jet hızı (m/s)
V_{iç}	İç jet akış hızı (m/s)
V_{dış}	Dış jet akış hızı (m/s)
Wo	Womersley Sayısı
x_m	Piston stroku (m)
α	Isıl yayılım katsayısı (m ² /s)
μ	Dinamik viskozite (Pa/s)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
τ	Bir çevrim zamanı (ωt)
ω	Açısal hız (rad/s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

1. GİRİŞ

Isıl-enerji sistemleri için ısı transferi kapasitesini artırmak amacıyla yapılan çarpan jet uygulamaları hem deneysel hem sayısal olarak araştırma konusu olmuştur. Endüstride ısıtma, soğutma ve kurutma gibi mühendislik uygulamalarında ısı transferini artıran farklı yöntemler araştırılmaktadır. Bu araştırmalarda aktif yöntemler ve pasif yöntemler ön plana çıkmaktadır. Aktif ısı transferi yöntemlerinden biri jet uygulamaları olup bu konuda literatürde çok sayıda deneysel ve sayısal çalışmalar bulunmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çarpan jet terminolojisinin mühendislik uygulamaları için önemi zamanla artmıştır. Jet uygulamaları üzerine yapılan araştırmalarla mühendislik çalışmalarına katkıda bulunulmuştur. Sürekli çarpan jet ve sentetik jet gibi periyodik üfleme yapan jetler son yıllarda üzerinde araştırma yapılan önemli konular arasındadır. Jet akış, bir akışkanının yüksek hızda bir lüleden girerek başka bir akışkanın olduğu ortama püskürtüldüğü bir akış biçimi olarak tanımlanmaktadır.

Çarpan jet, bir lüle veya kanaldan akışkanın püskürtülerek hedef bir yüzeye çarptırılması ile elde edilir. Çarpan jetin çalışma prensibi sınır tabakayı kaldırarak veya incelterek ısı transferini artırma esasına dayanmaktadır. Çarpan jet durumlarında akışkan ile yüzey arasında yüksek yerel ısı transfer katsayısı elde edilerek çarpma yüzeyinde ısı ve kütle aktarımı sağlanır. Ayrıca daha az akışkan kullanılarak, yüksek oranda ısı transferi sağlayarak, enerji tüketiminde büyük tasarruf sağlanır. Çarpan jetler gaz türbinlerinin kanatçıklarının ve elektronik devre elemanlarının soğutulması, tekstil, kâğıt, cam, gıda, besinlerin işlenmesi, kimya endüstrisi, tekstil endüstrisi, metal sanayisi tavlama işlemleri gibi birçok endüstriyel sektörde kurutma, ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Çarpan jetlerin akış ve ısı transferi özellikleri, jet çıkış geometrisi, jet çıkışındaki hız profili, jet ile plaka arasındaki mesafe, jetin laminar ya da türbülanslı olmasına, çarpma plakası geometrisi, jet ile plaka arasındaki sıcaklık farkı gibi birçok parametreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Çarpan Jet Terminolojisi ve Isı Transferi İyileştirme Çalışmaları

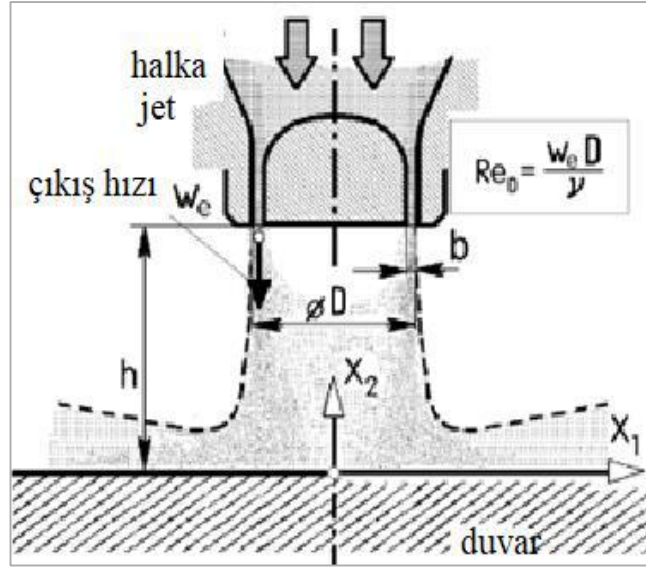
Çarpan jetlerin birçok uygulama ve faaliyet alanları bulunmaktadır. Literatürdeki jet akışları ile ilgili araştırmaların çoğu ısı transferiyle ilgili olup ısıнын aktarımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Deneysel ve sayısal çalışmalar yapılarak ısı transferi karakteristikleri üzerine birçok araştırmalar yapılmış olup yapılan çalışmalarda lüle tipleri, akış özellikleri ve kullanılan akışkan çeşidine göre farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Kullanılan lüeler dairesel, halkasal, eliptik ve üçgen ya da çokgen şeklinde şeklindeki geometrik yapılara sahip olabilmektedir.

Hosain vd. (2016), türbülanslı çarpan jetlerin sıcak yüzeye çarpmaları üzerine araştırmalar yapmışlardır ve hava, su gibi kullanılabilecek akışkanlardan suyu tercih ederek çalışmalarını tamamlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Nusselt sayısı ile jet çapı arasındaki ilişkiyi ifade etmişlerdir.

Friedrich vd. (2017), dairesel çarpan jet kullanarak deneysel çalışma yapmışlar ve test akışkanı olarak da su ve hava kullanmışlardır. Akışkanlar vasıtasıyla ısı transferi karakteristiklerini ve hidrodinamik yapıları detaylı olarak incelemişlerdir. Hidrolik sıçramaların herhangi bir kanalda akışkanın kritik hıza göre daha yüksek bir hızla girdiği durumlarda meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Nuntaduist vd. (2012), girdap jet akış ve akış içerisinde boya katarak çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada lüle içerisinde bantlar kullanılmasıyla girdap oluşumu sağlanmış olup çarpan jet akış için ısı transferinin parametrik değerlerini incelemişlerdir. Jet akış içerisinde boya katılmasıyla lüle içerisindeki akış dalgalarının görselleştirilmesini sağlamıştır.

Tesar ve Travnicek (2008), çarpan halka jet üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmayla halka içerisinde gelen akışkanın yüzeyde farklı akış modelleri oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Reynolds sayısını 41800, jet çıkışı ve yüzey arası mesafe $H/D = 40$ kabul ederek araştırma yapmışlardır. Çarpan yüzey üzerinde ısı ve kütle transferi geçişlerinin önemini yaptıkları çalışmalarla rapor etmişlerdir. Halkasal jet akışının hedef yüzey üzerinde oluşturduğu jet çıkış hızının şematığı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çarpan halka jet (Tesar ve Travnicek, 2008).

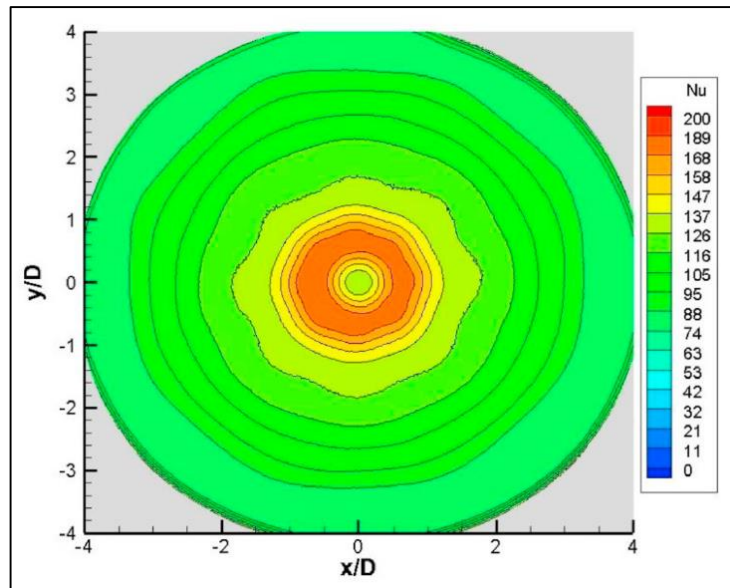
Behnia vd. (1999), eliptik bir türbülans modelini kullanarak çarpan jetlerle ilgili deneysel veriler elde etmişlerdir. Çarpan jet akışlarında lüle ile plaka arası mesafe (H/D), çarpan jet akışı ile hedef arasındaki mesafe, farklı hız profilleri ve Reynolds sayısının ısı transferi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Jet akışında farklı hız profilleri kullanıldığında ısı aktarımı konusunda farklı karakteristikte özellikler elde etmişlerdir.

Çelik, (2006), çarpan jet akışında en iyi lüle biçimini belirlemek için çalışma yapmıştır. Bu çalışmada eş eksenli lüle kullanımının düz dairesel lüle kullanımına göre türbülanslı akış oluşumunda daha etkili olduğunu ispat etmiştir. Eş eksenli çarpan jet kullanırken ısı transferi parametreleri olan Reynolds sayısı, H/D , Nusselt sayısı göz alınarak en iyi ısı transferini elde etmeye çalışmışlardır.

Chattopadhyay, (2004), halkasal çarpan jet ile dairesel çarpan jeti karşılaştırarak çarpan jet üzerine birtakım araştırmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmayla lüle çıkışında çarpan jet ile halkasal jetin kütle ve momentum etkilerinin benzer olduğu görülmüştür. Halkasal ve dairesel çarpan jet için farklı parametreler kullanarak hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferini elde etmeye çalışmıştır. Fakat halkasal çarpan jetin ısı transferinin dairesel çarpan jete göre %20 daha az olduğunu yaptığı çalışmayla göstermiştir. Burada halkasal çarpan jetin delikli yapıda olmaması dairesel çarpan jete göre daha az ısı transferi sağlamasına neden olmuştur.

Kılıç ve Başkaya (2017), farklı akış yönlendiricileri kullanarak çarpan jet akışının ısı transferi iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çarpan jetin yüzeyi sabit ısıda olup jetin akış ve ısı transfer özelliklerinin birçok parametreye göre değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, H/D_h gibi parametreler incelenmiştir. Akış yönlendirici olarak kare, üçgen ve silindir kullanılmıştır. Reynolds sayısını 8000 ile 43000 aralığında, L/D_h ve H/D_h oranını farklı değerlerde incelemişlerdir. Üçgen akış yönlendirici kullanarak diğer akış yönlendiricilere göre Nusselt sayısı değerinin daha yüksek orana sahip olduğunu bildirmişlerdir.

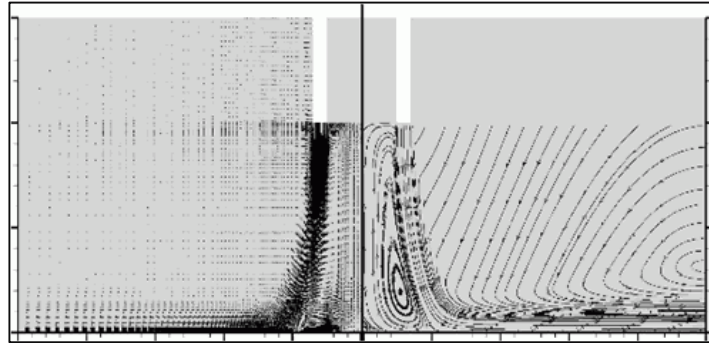
Fenot vd. (2021), çarpan halkasal jetlerin ısı transferi karakteristiklerini incelemek için kızılötesi (IR) ve PIV (Particle Image Velocimetry) yöntemlerini kullanarak çarpan hedef yüzeyindeki sıcaklık ve ısı transferi değişimlerini araştırmışlardır. Akış hızı, farklı konfigürasyonlarda çalışma yapılırken sabit alınmıştır. Yapılan çalışmada ana parametre olarak $D_{iç}/D$ oranına göre çarpan jet etkisini incelemişlerdir. Dairesel çarpan jet akışında $D_{iç}/D=0.35$ iken Nusselt sayısı=210, $D_{iç}/D=0.7$ iken Nusselt sayısı=290, $D_{iç}/D=0.85$ iken Nusselt sayısı=430 değerleri elde edilmiştir. İç çapın dış çapa oranı arttıkça yüzey üzerindeki ısı transferinin arttığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında yüzey üzerindeki Nusselt sayısı için $H/D = 2$ ve $D_{iç}/D = 0.35$ olduğu durumda gösterdiği ısı transferi karakteristiklerini Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hedef yüzey üzerindeki ısı transferi değişimi (Fenot vd., 2021).

Terekhov vd. (2018), halkasal çarpan jet üzerine araştırma yapmışlardır. Deneysel çalışmada $12000 < Re < 36000$ aralığındaki değerler için çalışma yapmışlardır. Lülenin çarpma yüzeyine olan mesafesi için 2, 4 ve 6 değerlerini kullanmışlardır. İç ve dış lüle çapları için farklı değerler kullanmışlar ve halkasal çarpan jet kullanarak yüzey üzerinde %70 oranında ısı transferinin iyileşmesi sağlamışlardır. Maksimum ısı transfer karakteristiğinin duvar ile lüle mesafesinin $H/D=2$ olduğu durumda meydana gelebileceğini ve ısı yoğunluğunun artırarak ısı transferinin artabileceğini yaptıkları çalışmalarla belirtmişlerdir.

Dutta ve Chattopadhyay (2021), yaptıkları çalışmalarında halkasal çıkış ile hedef yüzey mesafesini $H/D=2$ ve $10000 < Re < 50000$ aralıklarını almışlardır. Bu çalışmada akışkan olarak sıvı kullanılmış olup akış bölgesindeki parametrelerin Reynolds sayısı ile doğrudan ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte akışkan türbülansı arttığı için çarpma bölgesinde Nusselt sayısına bağlı olarak ısı geçişi de artmıştır. Yaptıkları sayısal analiz, grafik ve verilere dayanarak çarpma yüzeyindeki türbülans yoğunluğunu, Nusselt sayısı dağılımını ve Reynolds sayısına göre ısı karakteristiklerini incelemişlerdir. Reynolds sayısının 25000 olduğu durumdaki akış karakteristiği Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Akış karakteristiğinin gösterimi (Dutta ve Chattopadhyay, 2021).

Zhong vd. (2022), farklı nozul modelleri kullanarak halkasal jet çarpmasının ısı transferi karakteristiklerini ANSYS yazılımı ile incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında kullanılan nozulların farklı geometrik yapıya sahip olması akışkanın jet hızının, türbülansının ısı transferi üzerinde, hedef yüzeyde farklı özellikler gösterdiğini rapor etmişlerdir. Çalışmalarında Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre farklı değerler gösterdiğini bildirmişlerdir. Halkasal çarpan jet çıkışı ile hedef yüzey arası mesafesi için 0.5, 2, ve 4 değerlerini dikkate almışlardır. Ayrıca Nusselt

sayısı ile Reynolds sayısı arasında korelasyon kurmak için $5000 < Re < 40000$ aralığı dikkate alınarak hedef yüzey üzerindeki ısı transferi parametrelerini incelemişlerdir.

Xu vd. (2010), pulsatif çarpan jetler üzerine araştırma yaptıklarında ısı transferi özelliklerinde büyük farklılıklar gözlemlemişlerdir. Çarpan jetin hem ısıtma hem de soğutma uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda Reynolds sayısı, pulsatif etkinin olması, farklı sıcaklık değerlerin varlığı ısı transferi üzerinde önemli etkileri olduğunu rapor etmişlerdir. Pulsatif etkiyle sıcaklık farklarının artması Nusselt sayısı ve Reynolds sayısında farklı yönde tepkiler vermesine neden olmuştur. Soğutma çalışmaları yaparken Reynolds sayısı için $5500 < Re < 25000$ referans aralığı, frekans 20 ile 80 Hz aralığı, jet çarpma yüzey sıcaklığı 50K ile 400K referans aralıkları alınarak pulsatif çarpan jetin ısı transferi karakteristiklerini incelemişlerdir.

Gao vd. (2003), deneysel çalışmalarında nozul içerisinde üçgen yapılı malzemeler kullanarak çarpan jet terminolojisini incelemişler ve çarpma yüzeyi paslanmaz çelik ve dairesel nozulun uzunluğu 96 mm ve çap 12.7 mm olarak kabul etmişlerdir. Jet çıkışında tırnaklı yapının olması çarpma bölgesinde %25 oranında ısı transferi sağlamıştır. En büyük Nusselt sayısının nozul ile hedef yüzey arası mesafenin 4 olduğu durumda %20 oranında daha çok ısı transferi meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Frosella vd. (2018), deneysel çalışmalarında iki farklı nozul kullanmışlardır. Çarpma yüzeyinde meydana gelen ısı transferi karakteristiklerini türbülanslı hava akışıyla birlikte incelemişlerdir. Uygun Ortogonal Ayırıştırma (UOA) yöntemiyle birlikte farklı modlarda akış hızı ve yüzey üzerindeki tepkileri araştırmışlardır. Lüle çapını 6.4 mm, nozul ile çarpan yüzey arasındaki mesafeyi için 2.5 ile 8.5 aralığını ve Reynolds sayısı değerleri için ise $71000 < Re < 142000$ aralıklarını kabul etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada daha önce yapılan deneysel çalışmalardaki gibi türbülanslı akışın yüzey üzerindeki ısı transferi etkilerinin benzer olduğunu bildirmişlerdir.

Huang ve El-Genk (1994), düz bir plakaya çarpan hava jetinin ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının değerlerine bağlı olarak lüle ile çarpan yüzeyinin farklı olduğu mesafelerde Nusselt sayısının değerleri için araştırma yapmışlardır. Jet mesafesi ve Reynolds sayısına bağlı olarak

çarpan yüzey üzerinde ısı transferine bağlı korelasyon oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmalar benzer uygulamalar ve endüstriyel çalışmalara kaynak oluşturmuştur.

Donovan ve Murray,(2018), yaptıkları çalışmalarında elektronik donanımların ve türbin kanatlarının soğutulması dahil birçok alanda çarpan jet yöntemiyle yüksek ısı transferi elde edilebileceklerini bildirmişlerdir. Isı transferini birçok parametrenin etkilediğini belirtmişlerdir. Bu parametrelerin Reynolds sayısı ile nozul çıkışı ve çarpan yüzey arası mesafe olduğunu rapor etmişlerdir. Mesafe olarak ($H/D=0.5-2.0$) aralıklarını kabul etmişlerdir. Çarpan jet akışında meydana gelen girdapların frekansını kontrol etmek için akustik uyarılar kullanılmıştır. Ayrıca farklı güç seviyeleri kullanılarak akışta meydana gelen girdapların nozul çıkışında farklı karakteristikler gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada akustik uyarılar sonucu oluşan girdapların çarpan yüzey üzerinde ısı transferinde iyileştirmeler oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Alnak ve Karabulut (2019), farklı geometrik yapılarda nozul kullanarak gıdaların saklama koşullarının iyileştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Laminer hava akışıyla birlikte çarpma bölgesindeki nesneye ısı transferi sağlanarak depolama durumlarında minimum nemlilik oranı elde edebileceklerini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda bazı parametreler sabit alınmış olup korunum denklemlerini çözüme kavuşturmak amacıyla FLUENT programını kullanmışlardır. En fazla jet kurutmanın her iki dairesel nesne içinde durma noktası bölgesinde olduğunu rapor etmişlerdir. Fakat ters yarı dairesel nesnede çarpan jetin daha iyi kurutma yaptığını, Reynolds sayısına göre ısı transferi karakteristiklerinin değiştiğini, sayısal ve deneysel çalışmalarının birbiri ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir.

Smith ve Swift, (2003), sentetik jetler ile sürekli çarpan jetlerin ısı transferi karakteristiklerini yaptıkları çalışmayla karşılaştırmışlardır. Sentetik jetler ile sürekli çarpan jetler için $Re=2000$ değerini kullanmışlar ve $17 < Lo/h < 80$ aralıklarında çalışma yapmışlardır. Sentetik çarpan jetlerde karmaşık yapılı girdap çiftleri olduğu için hız profilleri, jet hacimleri akış bölgelerinde daha fazla olmaktadır. Deneysel çalışmanın amacını sürekli çarpan jet ile sentetik çarpan jetler arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları açıklayarak ortaya koymuşlardır.

Sailor vd. (1999), çalışmalarında pulsatif hava jeti kullanarak yüzey üzerinde ısı transferi artışı meydana getirmişlerdir. Pulsatif çarpan jet akışıyla beraber Reynolds sayısının değeriyle birlikte farklı kombinasyonlar deneyerek ısı transferi parametrelerini araştırmışlardır. Jet çıkışı ile plaka arasındaki farklı uzaklıklara göre ısı transferinin değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. Pulsatif etki oluştururken hareketlendirilmiş bir mil ile jet giriş ve çıkışı olan bir mekanizma kullanılmıştır. Hava kompresörü ile hava basınçlandırılarak basınç tanklarında depolanmıştır. Küresel vana ve basınç regülatörü ile havanın debisi ayarlanmıştır. Termal anemometre, termokupl, ısı transferi hücreleri ve veri analizleri için bilgisayar kullanmışlardır.

Ghaly (2021), çarpan jet terminolojisinin mikroişlemciler üzerinde sağladığı soğutma uygulamalarını yaptıkları deneysel çalışmayla incelemişlerdir. Soğutma deney düzeneğinde ısı transferi karakteristikleri göz önüne alındığında H/D mesafeleri, kullanılan malzemeler, çeşitli frekans değerlerine göre farklı türlü orifisler kullanarak yüzey üzerinde soğutma çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin, frekans değerlerinin ve genliğin önemini çarpan plaka yüzeyindeki parametrelerle belirtmişlerdir.

Colucci ve Viskanta (1996), iki farklı nozul kullanarak jet çarpma plakası yüzeyinde oluşan ısı transferinin parametrelerini yaptıkları deneysel çalışmayla incelemişlerdir. Türbülanslı jet akışında Nusselt sayısının Reynolds sayısına bağlı olarak önem kazandığını belirtmişlerdir. $H/D < 1.0$ ve $H/D < 6.0$ referans aralıkları göz önüne alındığında Reynolds sayısının arttığı yerde Nusselt sayısının da arttığını gözlemlemişlerdir. Lüle ile plaka boşluğu için $0.25 < H/D < 6.0$ aralığını kabul etmişlerdir. Elde edilen sonuçların daha önceki yapılan deneylerle karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Kalifa vd. (2016), deneysel çalışmalarında LDV (Lazer Doppler Hız) ve PIV (Particle Image Velocimetry) ölçüm tekniklerini kullanarak dairesel çarpan hava jetinin ısı transferi karakteristiklerini incelemişlerdir. Reynolds sayısı için 1000, 2000 ve 3000 değerlerini, nozul çıkışı ile çarpan yüzey mesafesi aralıkları için 1 ve 2 değerlerini kabul ederek çarpan yüzey sıcaklıklarını 22 °C, 54 °C ve 96 ° olarak ölçmüşlerdir. Dairesel çarpan jet akışında hız ve türbülans miktarları, diğer parametrelerin sabit olduğu durumlarda Reynolds sayısının farklı varyasyonlarından

etkilenmiştir. Laminer akışın olduğu durumlarda kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle sıcaklığın daha yüksek seviyelere geldiğini rapor etmişlerdir.

Deng vd. (2019), ikili sentetik çarpan jetin tekli sentetik çarpan jetle karşılaştırılması üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. İkili sentetik çarpan jet akışında çarpma yüzeyinde farklı dört bölge oluşmasına rağmen tekli sentetik çarpan jet akışında birleşme bölgesi oluşmamıştır. Akış alanları, girdap alanları, türbülanslı oluşan kinetik enerji alanları PIV (Particle Image Velocimetry) ölçüm yöntemiyle hesaplanmıştır. Nusselt sayısı için, her iki çarpan jet akışında da nozul ile çarpma yüzey arası mesafesinin $H/D=5.5$ olduğu durumda maksimum ısı geçişi elde etmelerine rağmen ikili çarpan sentetik jet akışında %11,4 daha fazla ısı transferi sağladıklarını ifade etmişlerdir.

Mangate ve Chaudhari (2015), sentetik çarpan jetlerin elektronik aletlerin soğutulmasında önemli bir etkisi olduğunu belirterek, aynı hidrolik çapa sahip nozul ve oval biçimli deliklerin farklı konfigürasyonlarını yaptıkları deneysel çalışmayla incelemişlerdir. Sentetik jete periyodik bileşen olarak 100-250 Hz frekans aralığını uygulamışlardır. Frekansın 200 Hz olduğu durumda, oval biçimli delikli yapıların dairesel nozullu çarpan jete göre daha yüksek ısı transferi sağladığını ifade etmişlerdir.

Trávníček vd. (2014), halkasal jetler üzerine yapılan deneysel çalışmalarla çarpma yüzeyindeki ısı transferi karakteristiklerini araştırmışlardır. On iki tane sentetik jet girişi olan halkasal lüle kullanmışlar ve hava akışıyla iki farklı modelde çalışmalarını incelemişlerdir. Halkasal lüle için periyodik bileşen elektrik aktüatörlü olarak kabul edilmiş ve lüle ile duvar mesafesinin farklı olduğu durumlarda araştırmalar yapılmıştır. Halka lülenin iç çapı 74 mm, dış çapı 84 mm ve sentetik etkinin sağlandığı lüledeki delik çapları 0.54 mm alınmıştır. Akış sıcaklığını ve çarpan yüzey sıcaklığını ölçmek için probalar kullanılmıştır. Hava bir fan aracılığıyla sağlanmış olup, lüleye hava girişi iki taraftan olmuştur. Havanın hızı 5 m/s olarak alınmıştır. Yapılan çarpan jet deneylerinin aksine bu çalışmada sentetik periyodik bileşen ilave ederken Reynolds sayısının etkisi incelenmemiştir. Bu deneyde ısı transferi için geometrik şeklin önemli olmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışma ısıtma, soğutma ve kurutma gibi birçok mühendislik uygulamalarına kaynak oluşturmuştur.

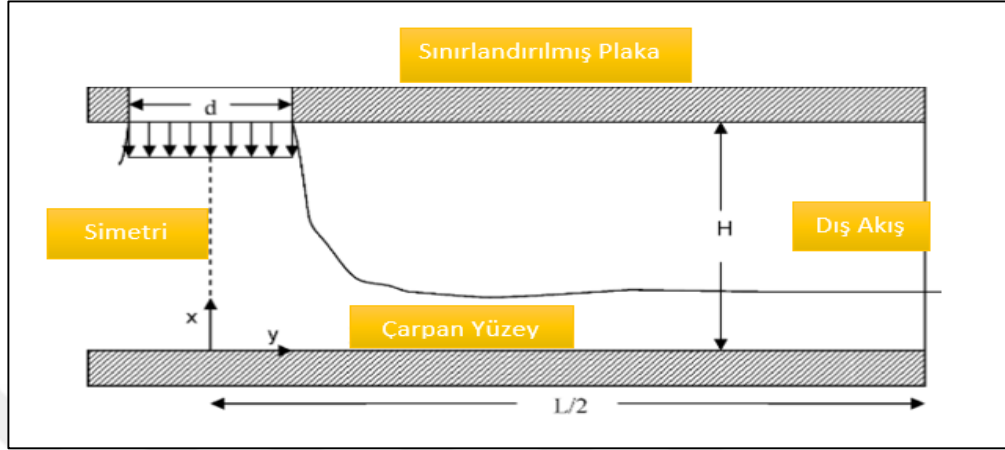
Mallinson vd. (2001), sentetik çarpan jet akışıyla oluşan hava akışının meydana getirdiği ısı transferi parametrelerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sentetik jetin oluşturduğu türbülanslı yapıdan dolayı normal sabit akışlı çarpan jet akışına göre daha hızlı ısı yayılımının meydana geldiğini bildirmişlerdir. Sentetik jetin salınımlı yapısından dolayı sabit akışlı ortamlarla etkileşime girdiğinde ortamı türbülanslı hale getirerek aktif yapının gelmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Golda vd. (2021), akış koşullarına bağlı olarak kriyojenik çarpan jet üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çarpan yüzey üzerindeki sıcaklık dağılımlarını termal kamera ile ölçmüşler ve deney düzeneği ile soğutma çalışması yapmışlardır. Deneysel çalışmada akışkanın basıncı ve lüle geometrisi değiştirilerek çarpma yüzeyinde meydana gelen soğutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Dairesel ve silindirik geometrik yapıya sahip lüleler kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmayla, çeşitli deliklerin yüzey sıcaklığı, çarpma noktasına olan mesafe ve kütle akış hızı arasındaki ilişkiyi ifade eden bir korelasyon elde etmişlerdir.

Liewkongsataporn vd. (2008), slot tipli pulsatif çarpan jet akışı üzerine yaptıkları çalışmalarında sabit akışlı çarpan jet akışıyla karşılaştırma imkânı bulmuşlardır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı kullanarak titreşim, genlik ve hız profillerini araştırmışlardır. Nozul çapına ve jet akışının sıcaklığına göre sayısal deneylerinde akış hızını 30 m/s olarak Reynolds sayısının 2460 olduğu durumlarda çarpan yüzey üzerine ısı transferini incelemişlerdir. Pulsatif çarpan jet akışında nozul içinde tersine akışın yüksek ısı transferi sağlayabileceğini ve frekansın artıp hız genliğinin düşük olduğu seviyelerde de ısı transferinin artabileceğini belirtmişlerdir.

Joo Poh vd. (2005), laminar akışlı çarpan jet altında pulsatif bileşenin Nusselt sayısı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada sınırlandırılmış plaka kullanılarak araştırma yapmışlardır. Isı transferi parametreleri için Reynolds sayısı aralığını $100 \leq Re \leq 1000$), çarpan yüzey ile nozul mesafesi aralığını $4 \leq H/D \leq 9$, periyodik etki olarak frekans aralığını $1 \leq f \leq 20$ Hz kabul etmişlerdir. Farklı aralıklarda çalışma yapılarak en iyi ısı transferi elde edilmeye çalışılmıştır. Sınırlandırılmış plaka ile çarpan yüzey arası mesafe H/D olarak ifade edilmiştir. En iyi ısı transferi etkisini Reynolds sayısının 300, frekans değerinin 5 ve çarpan yüzey ile lüle mesafesinin 9 olduğu durumda elde etmişlerdir. Sınırlandırılmış bir plaka vasıtasıyla lüle içerisinden pulsatif jet akış gönderilerek çarpma yüzeyindeki ısı

transferi karakteristikleri incelenmiştir. Pulsatif etki, çarpan yüzey üzerinde periyodik etkiler oluşturarak ısı transferinde kayda değer olarak iyileştirme sağladığını tespit etmişlerdir. Deney düzeneğinde kullanılan sınırlandırılmış plaka ve çarpan yüzey Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Deney düzeneğinin hesaplama alanı (Joo Poh vd., 2005).

Travnicek ve Tesar (2004), iç çapı ile dış çap oranı 0.95 olan halkasal çarpan jet akışıyla iki aşamalı akış rejimi oluşturarak deneysel çalışma yapmışlardır. Aynı halkasal nozul kullanarak akustik uyarılarla birlikte iki farklı akış rejimi oluşturmuşlardır. Akış hacmi $0.00137 \text{ m}^3/\text{s}$, jet çıkış hızı $11,2 \text{ m/s}$, elektrik gücü 4 W ve akustik salınımlar için frekanslar 106, 155, 263, 692 Hz kabul edilerek araştırmalar yapmışlardır. Strouhal sayısının 0.94 olduğu durum için büyük devridaim bölgesinde etkili bir stabilizasyonun yanı sıra ısı ve kütle transferinde yaklaşık olarak %23 oranında artış gözlemlenmiştir."

Zargar vd. (2019), deneysel çalışmalarında akustik uyarılara maruz kalan çift eksenli dönen diskler kullanarak çarpan yüzey üzerindeki ısı transferi parametrelerini alev uzunluğu ve yanma ürünü konsantrasyonlarına bağlı olarak araştırmışlardır. Çarpan jet akışta akışkan olarak lüle içerisinde hava ve propan kullanılmış olup merkezi jet uyarısı bir hoparlör vasıtasıyla sağlanmıştır. Deney düzeneklerinde gaz analizörleri, ince telli bir termokupl ve akustik uyarılar sonucu meydana gelen salınımları takip etmek için anemometre kullanılmıştır. Çarpan jetin salınım ve titreşim yoğunluklarına bağlı olarak üç farklı alev türleri görülmüştür. Düşük Reynolds sayılarında mavimsi alevler görülmüş ve çarpan yüzeye alevler zorlandığında alev

sıcaklıklarının önemli miktarda arttığını rapor etmişlerdir. Eş merkezli dönen diskler akustik uyarımlarla birlikte kullanıldığında yanmanın arttığını belirtmişlerdir.

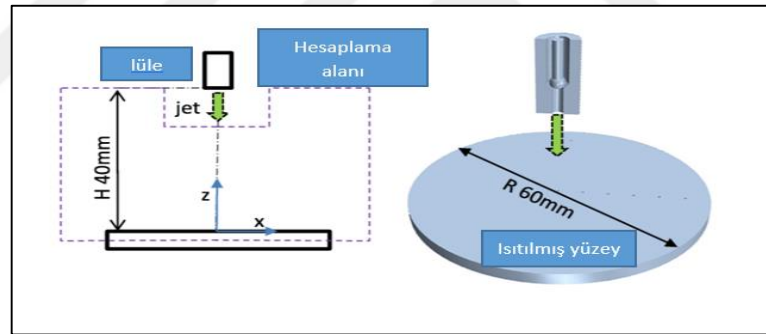
Lee ve Lee, (2000), eliptik şeklindeki çarpan jetin farklı nozul boy ve oranlarına göre sabit yüzeydeki ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının 10000 olarak kabul edildiği fakat beş farklı lüle çapının aynı olduğu durum dikkate alınarak en boy oranlarının farklı durumlarında çarpan yüzey üzerindeki ısı transferi artışını araştırmışlardır. Çarpma plakasının yüzey sıcaklıkları dijital görüntüleme sistemine sahip kristal termometre ile ölçülmüştür. Bununla birlikte çarpma yüzeyindeki etkileri farklı teknikler kullanarak görselleştirmişler ve nozul ile çarpma plakası mesafesine bağlı olarak sıcaklık dağılımının farklı değerler gösterdiğini belirlemişlerdir. Nusselt sayısı ile eliptik lülenin en boy oranı arasında $Nu \propto (AR)^{-0.082}$ ve lüle-plaka mesafesi arasında da $(L/D)^{-0.077}$ bağlantısı olduğunu rapor etmişlerdir. Lüle ile plaka mesafesinin $L/D > 6$ olduğu durum dikkate alındığında, eliptik çarpan jetin dairesel çarpan jete göre daha az ısı transferi sağladığını belirtmişlerdir. Eliptik çarpan jetlerin ısı transferi uygulamalarında kontrol mekanizması olarak kullanılabilecekleri sonucuna varmışlardır.

Sheriff ve Zumbrennen (1994), çeşitli dalga biçimleriyle birlikte akış titreşimleri oluşturarak çarpan su jetiyle birlikte deneysel araştırma yapmışlardır. Hem titreşimli hem de sabit akış salınımlarını takip etmek ve ısı transferi etkilerini ölçmek amacıyla anemometre kullanmışlardır. Periyodik bileşen olarak $5 < f < 280$ Hz frekans aralığını dikkate alınmıştır. Isı transferinin etkilerinin dinamik tepkilere ve çeşitli özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Philippov vd. (2021), Reynolds sayısının 5500 olduğu durumda türbülanslı jet akış oluşturarak halkasal çarpan jetin yüzey üzerindeki soğutma çalışmalarını araştırmışlardır. Halkasal lüle ile yüzey mesafesinin farklı olduğu durumlarda ısı transferini incelemişler ve farklı akış rejimleriyle birlikte ısı transferinin karakteristik özelliklerini rapor etmişlerdir. Halkasal jetin iç çapı 3 mm ve dış jet çapı 22 mm, halkasal lüle ile çarpma yüzey arası mesafesi için 0.5, 1, 1.5 değerlerini dikkate alarak halkasal çarpan jetin aerodinamik hareketlerini incelemişlerdir. H/D oranının farklı olduğu durumlar incelenirken mesafenin 1.36 olduğu durumda karakteristik akış rejimini gözlemlemişlerdir. Bu mesafede iki farklı akış rejiminin oluştuğunu ve farklı tepkiler meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Yasaswy vd. (2014), çıkış nozulu kare kesitli olan ve çarpan yüzey ile nozul mesafesinin farklı olduğu durumları dikkate alarak deneysel çalışma yapmışlardır. Reynolds sayısı referans aralığını $6000 < Re < 12000$ kabul etmişler ve kızılötesi termal kamera ile ısı transferi karakteristiklerini araştırmışlardır.

Bovo ve Davidson, (2015), deneysel ve sayısal çalışmalarla pulsatif çarpan jet üzerine araştırma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmaların sayısal çalışmalarla doğrulanmak istenildiğinde birtakım belirsizlikler yaşanabileceğini belirtmişlerdir. Düz bir levha yüzeyine çarpan pulsatif jetin sıcaklık parametrelerini ve hız akış alanlarını PIV (Particle Image Velocimetry) ve (IR) InFared yöntemleri aracılığıyla ölçmüşlerdir. Hedef yüzey alüminyum kaplama seçilmiş ve çapı 60 mm olarak kabul etmişlerdir. Deneysel çalışmada kullanılan lüle ve hedef yüzeyin yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Kullandıkları teknikler ve yapılan çalışmalarla hedef yüzeyde periyodik akış oluşturulmuş ve yüzey üzerinde oluşan ısı transferinde iyileşmeler sağlandığını bildirmişlerdir.



Şekil 2.6. Lüle ve hedef yüzeyin gösterimi (Bovo ve Davidson, 2015).

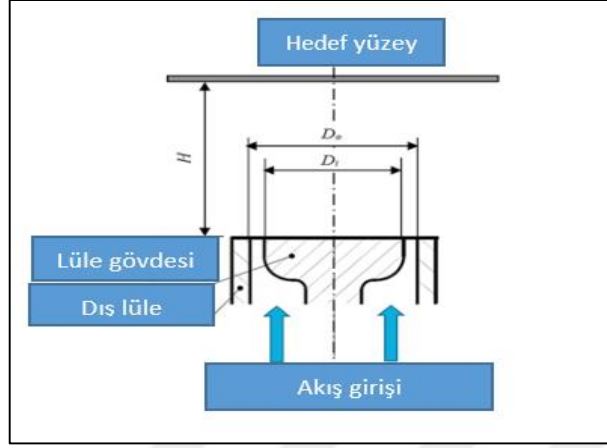
Gensheng vd. (2005), PIV (Particle Image Velocimetry) yöntemi kullanılarak ikili halkasal çarpan jetin silindirik su tankı içindeki ısı transferi karakteristiklerini incelemişlerdir. Jet hızının azaldığı durumları tespit etmek için çarpan jet akışının hız verilerini ve akışta oluşan girdap verilerini kullanmışlardır. Akışta meydana gelen girdaplı jet akışın kısa mesafede daha iyi sonuçlar gösterdiğini, uzun mesafede ise halkasal jetin daha iyi ısı transferi sağladığını belirtmişlerdir. İkili halkasal lülenin çarpan yüzeye mesafesi ile lülenin çap oranlarının fazla olduğu durumlarda çarpan jetin akışkan hızı azalmaktadır. Lülenin dış çapının çarpan yüzeye mesafesinin 5 kat olduğu durumda en iyi sonuçların elde edildiğini rapor etmişlerdir. Deneysel çalışmada girdap etkisinin olması halkasal çarpan jetin etkinliğini artırmıştır.

Kalinina vd. (2015), halkasal çarpan jet ile ilgili yapılan deneysel çalışmada çarpan yüzeye yakın mesafedeki ısı transferinin özelliklerine yoğunlaşmışlardır. Akış karakteristiklerini bazı teknikler kullanarak araştırmışlardır. Halkasal çarpan jetin kullanılması durumunda dairesel çarpan jete göre daha fazla ısı transferi sağladığını ve halkasal çarpan jetin kullanılması türbülanslı akışın oluşumuyla birlikte akış ayrılmalarına neden olduğunu belirtmişlerdir. Lüle ile çarpan yüzey arasındaki mesafenin artması akış hızının yapısını ve akıştaki dalgalanmaları etkilediğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak halkasal çarpan jetin dairesel çarpan jete göre hız alanlarının yapısının farklılıklar gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Ryzhenkov ve Mullyadzhanov (2017), Reynolds sayısının 8900 olduğu durumda meydana gelen girdaplı akışın halkasal çarpan jetle ısı parametrelerini araştırmışlardır. Halka içerisinde en fazla çarpan jet hızının olduğu bölge devridaim olarak isimlendirilen lüle çıkışında olduğunu belirtmişlerdir.

Maghrabie, (2021), yüksek ısılı çarpan jet akışının hedef yüzeye çarpma sonucunda meydana gelen ısı transferi özelliklerini araştırmıştır. Farklı parametreler kullanarak ısı transferinin hedef yüzey üzerinde meydana gelen etkilerini araştırmışlardır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çarpan jet terminolojisinin mühendislik uygulamaları için önemli olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmada, çarpan jetin farklı uygulamaları olan sentetik çarpan jet, halkasal çarpan jet ve dönen çarpan jet gibi farklı teknikler kullanılarak ısı transferi parametreleri incelenmiştir. Halkasal jetlerin kullanılması ile çarpma bölgesinin merkezinde ve minimum mesafede yüksek sıcaklık dağılımının elde edilebileceğini belirtmiştir. Maksimum ısı geçişinin durgunluk noktasında olduğunu rapor etmiş ve periyodik bileşenlerle ısı transferinin arttığını bildirmiştir. Halkasal çarpan jetin kullanılmasıyla daha iyi ısı transferi elde edildiğini bildirmiştir. Ayrıca halkasal çarpan jet ile sentetik jet kullanımının birbirine paralel etkiler oluşturduğunu tespit etmiştir. Sürekli çarpan jet göre sentetik çarpan jet ile daha fazla ısı geçişinin sağlandığı, Reynolds sayısının ve frekansın artırılması Nusselt sayısında iyileştirme sağladığını, sentetik jetlerde kullanılan jet çapının önemli olduğunu, Reynolds sayısının düşük değerleri için hem halkasal sentetik jet için hem de sürekli çarpan jet için benzer sonuçlar elde edildiğini açıklamıştır. Pürüzlü halkasal yüzeyin kullanılması pürüzsüz halkasal yüzeye göre daha fazla ısı transferi sağladığını belirtmiştir. Sonuç olarak, halkasal sentetik jet

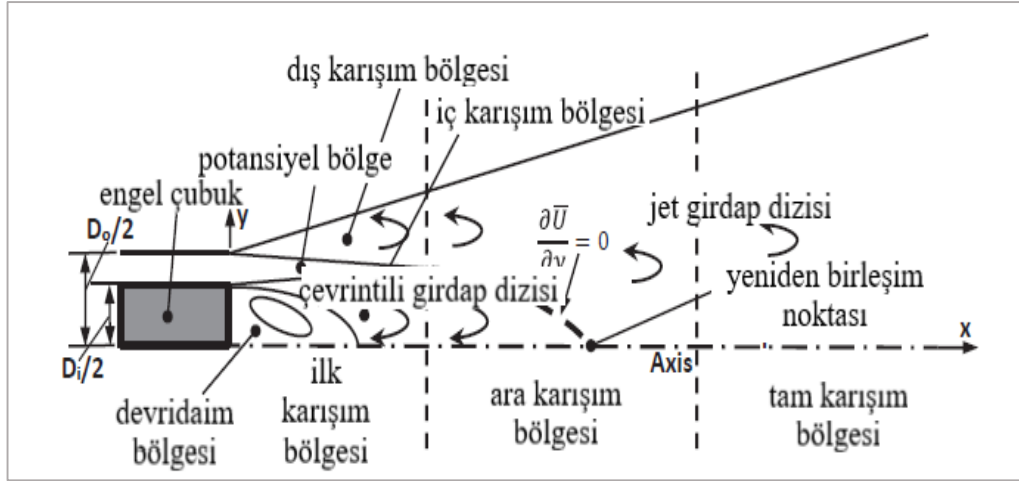
kullanımının ısı transferini iyileştirmede kayda değer etki oluşturduğunu belirtmiştir. Halkasal çarpan jetin hedef yüzeyi, akış girişi ve dış lüle gövdesi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Halkasal çarpan jet (Maghrabie, 2021).

Markal (2018), farklı Reynolds sayıları kullanarak ($Re = 6688, 9364$ ve 12039), farklı debi oranlarında ve lüle-plaka arası uzaklığını 0.8 mm olarak dairesel ve halkasal eş eksenli çarpan jetin ısı transferi karakteristiklerini incelemiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış olup dairesel ve halkasal eş eksenli akış formuna sahip lüleden çıkan havanın çarptığı bölgedeki ısı transferi özelliklerini deneysel çalışma ortamında incelenmiştir.

Aydin ve Markal (2018), eş eksenli iki lüledeki akışın hedef yüzeye çarpması sonucu meydana gelen ısı transferi parametrelerini incelemiştir. Bu çalışmada akış oranı sabit kabul edilmiş olup, lüle ile plaka mesafesinin farklı değerlerinde araştırma yapmışlardır. H/D mesafeleri için $0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ değerlerini kabul etmişlerdir. Çarpan yüzey ile lüle arası mesafe arttıkça Nusselt sayısına bağlı olarak ısı transferi yoğunluğunun %10,2 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca eş eksenli iki halkasal çarpan jet ile elde edilen sonuçlar tek halkasal çarpan jet ile karşılaştırılmış ve eş eksenli iki dairesel çarpan jetin hedef yüzeyde gösterdiği ısı yoğunluğunun daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Halkasal çarpan jetin kullanılması akış türbülansını artırdığını ve ince sınır tabakası oluşturduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 2.8’de gösterilen eş eksenli lüleden çıkan çarpan jetin hedef yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık karakteristiklerini termokupllar yardımıyla ölçmüşlerdir. İkili halkasal jet kullanımının hem ısı transferi yoğunluğu hem de homojenliği açısından daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

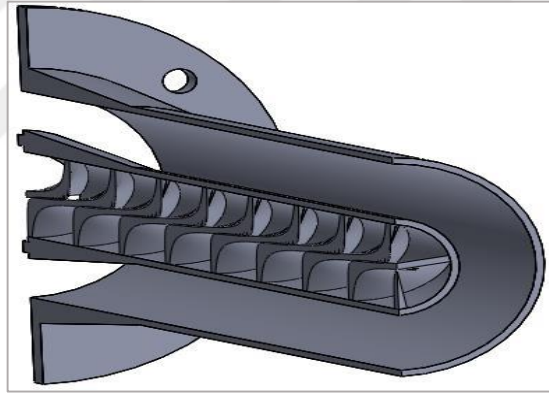


Şekil 2.9. Halkasal jetin sistematik görünümü (Afroz ve Sharif, 2018).

Çelik ve Turgut (2012), Taguchi yöntemini kullanılarak yaptıkları deneysel çalışmada ısı parametrelerini etkileyen birçok faktörleri dikkate almışlardır. Bu yöntemle Reynolds sayısı, çarpan yüzey ile lüle mesafe aralığı, jet çıkış tipi ve yüzey pürüzlülüğü gibi ısı parametrelerini araştırmışlardır. Taguchi yöntemiyle $20000 < Re < 40000$ aralığındaki değerler ve çarpan yüzey ile lüle mesafesinin 2, 6, 8, 10 olduğu durumlarda incelemelerini yapmışlardır. Bu çalışmanın temel amacının Nusselt sayısının gösterdiği ısı transferi karakteristiklerinin incelenmesi olduğunu belirtmişlerdir. Nusselt sayısı verilerini elde etmek için ANOVA (Analysis of Variance) yüzdesel veri yöntemi kullanılmıştır. Pürüzlü çarpma yüzeyinin etkisinin pürüzsüz yüzeye göre ısı transferi etkisinin daha fazla olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün etkisinin %2 oranında, Reynolds sayısının ise %83 oranında etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. H/D mesafesi arttıkça Nusselt sayısının azaldığını ve H/D mesafesinin farklı varyasyonlarda çalışılmasının Nusselt sayısına etkisinin %4,5 olduğunu, eş eksenli ikili jet kullanımının tek dairesel jet kullanımına göre daha iyi ısı transferi sağladığını ve jet tipinin de Nusselt sayısına etkisinin %10,7 olduğunu rapor etmişlerdir.

Kaya ve İbrahimov (2019), eş eksenli iki farklı lüle kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında akışın hızı üzerine yoğunlaşmışlar ve türbülanslı akış sağlayan akış döndürücü elemanlar kullanmışlardır. Farklı Reynolds sayıları ve farklı mesafelerde ($H/D=0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$) akış parametrelerini araştırmışlardır. Hedef yüzey üzerinde en iyi ısı dağılımı $H/D=1$ olduğu durumda gerçekleşmiştir. İç halkasal boruda girdaplı yüzeyin olması akışta türbülans oluşturarak daha iyi ısı transferi sağladığını belirtmişlerdir. Dokuz farklı Reynolds

sayısıyla birlikte iç ve dış lüle debileri üçer kez kullanılarak farklı kombinasyonlarda çalışma yapmışlardır. Eş eksenli halkasal lülenin sadece iç bölgesinden geçen jet akışı, dış halkasal lüleden geçen jet akışı ve iç lülenin dönen dış halkasal lülenin sürekli çarpan jet akışı olduğu üç farklı kombinasyon üzerine yoğunlaşmışlardır. İç lülede dönen jet akışının olduğu durumda hedef yüzeyde daha iyi ısı transferi sağladığını bildirmişlerdir. Reynolds sayısının 1200 olduğu durumda maksimum Nusselt sayısı değeri meydana gelmiştir. Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısının da arttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, iç halkasal lülenin girdaplı jet akışı ve dış halkasal lülenin jet akışı olduğu durum, sadece girdaplı jet akışı veya dış halkasal lüle akışının olduğu duruma göre hedef levha yüzey üzerinde daha iyi ısı transferi sağladığını rapor etmişlerdir. Şekil 2.10'da iç lüle dönen eş eksenli lülenin şematiği gösterilmiştir. Eş eksenli ikili halkasal jet lülenin kullanılması tekli halkasal jet lüleye göre daha iyi ısı transferi karakteristiği gösterdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 2.10. İç lüle dönen jet ikili jet kesit görünümü (Kaya ve İbrahimov, 2019).

Akdağ vd. (2023), sabit ısı akışı kullanarak düz bir yüzeye çarpan pulsatif jetin hem deneysel hem de sayısal olarak ısı transferi karakteristiklerini incelemişlerdir. Hedef çarpma yüzeyi ile lüle mesafesi, genlik ve frekans değerleri farklı durumlar için araştırmışlardır. Reynolds sayısı sabit tutulmuş ve akışkan debisi 10 m³/h değerinde olması için fan çıkışına (ABB-4000) regülatör yerleştirilmiştir. Sıcak tel anemometresi ile boru çıkışındaki akış hızı ölçülmüştür. Hedef çarpma yüzeyi ile lüle mesafesi için 2, 4, 6 değerlerini dikkate alarak farklı genlik ve frekans değerlerine bağlı toplamda 72 adet olmak üzere deneysel çalışma yapmışlardır. Kullanılan hız ve sıcaklık değerlerine bağlı her bir parametre için yüzeyden ısı geçişini ifade eden Nu_p/Nu_s ısı transferi etkinliğini incelemişlerdir. Yapılan

deneylerde Pr ($Pr = 0.71$) sayısını sabit tutmuşlardır. Genlik değerinin $A_0 = 0.47$ ve hedef yüzey mesafesinin $H/D=2$ olduğu durumda frekans değerlerinde değişiklik yaparak yüzey üzerindeki sıcaklık değişimini incelemişler ve düşük genlikte frekans değerlerinin sıcaklık değişimine etki etmediğini bildirmişlerdir. $H/D=2$ olduğu ve genlik ile frekansın en yüksek olduğu durumda en iyi ısı transferi geçişini gözlemlemişlerdir. Pulsatif çarpan jet akışı oluşturmak için piston-silindir düzeneği ile yüksek basınçlı fan kullanmışlar ve çarpan yüzey üzerindeki ısı transferini etkileyen en önemli parametrelerin çarpma mesafesi (H/D), genlik(A_0) ve frekans (Wo) olduğunu rapor etmişlerdir. Türbülanslı pulsatif çarpan jetin etkisini frekans ve genlik değerlerinin yüksek olduğu durumlarda %30 daha fazla ısı transferi sağladığını bildirmişlerdir.

Literatür araştırmaları sonucu kaynak özetlerinden de anlaşılacağı üzere, çarpan jet akışında eş eksenli halkasal lüle ve türbülanslı jet kullanımının az olması, deneysel olarak iki farklı çarpan jet akışının daha çok sayısal çalışmalarla desteklenmesi, periyodik bileşen olarak salınım hareketinin daha çok akustik sistemler ve diyaframlar ile sağlanması, girdaplı ve halkasal jetin birlikte kullanıldığı çarpan jet ikilisinin deneysel olarak yeterince incelenmemesi, ısı parametrelerinden frekans ve genliğin geniş aralıkta kullanımının sınırlı olması, yapılan çalışmalarda daha çok eş eksenli ikili jetin yerine tek eksenli jetin kullanılması, farklı geometrilerde lüle kullanılarak farklı çalışma parametreleri altındaki akış karakteristikleri araştırmalarının az olması, çarpan jet uygulamalarında çalışmaların daha çok sayısal temele dayanması bu çalışmayı yapmamızın temel nedenlerini oluşturmaktadır.

Yapılan sayısal ve deneysel araştırmalarla birlikte çarpan jetlerin ısı transferi iyileştirmede önemi artmıştır. Çarpan jetler endüstriyel ortamlarda kullanılarak ısıtma ve soğutma çalışmalarına kaynak oluşturmuştur. Bu tez çalışmasında ısı transferi çalışmalarını iyileştirmek için iç içe geçmiş eş eksenli halkasal lüle kullanılmıştır. Eş eksenli halkasal lüle kullanılmasıyla birlikte sentetik akışın oluşturduğu türbülansa bağlı ısı transferinin artması öngörülmektedir. Literatürde çarpan jetlerle ilgili birçok çalışma olmasına rağmen sentetik halkasal çarpan jetlerle ilgili çalışma oldukça azdır. Eş eksenli halkasal lüle kullanılarak hem sürekli çarpan jet akışının olduğu hem de periyodik bileşenlerle birlikte sentetik jet akışının olduğu çalışmanın olmaması bu tezimizdeki çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Eş

eksenli halkasal lüle ile hedef yüzeye hem sentetik çarpan jet hem de sürekli çarpan jet akışının gönderilmesine bağlı olarak akışlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Halkasal lüleden sentetik akış oluşturmak için bir piston silindir düzeneği kullanılmış olup, periyodik bileşen olarak genlik ve frekansın farklı değerlerinde akış analiz edilmiştir. Eş eksenli halkasal lülenin, karışım odasıyla birlikte halkasal sentetik akışa bağlı olarak artan Reynolds sayısı değerlerinde ve frekans ile genliğin yüksek olduğu durumlarda daha fazla ısı transferi sağlayacağı durum için araştırma yapılmıştır. Türbülanslı akış rejiminde, ilk olarak iç lüleden dairesel sürekli jet akışı, ikinci olarak sadece dış (halkasal) lüleden sürekli jet akışı, üçüncü olarak dış halkasal lüleden sentetik (periyodik) halkasal akış gönderilerek ısı transferi karakteristiği deneysel çalışmayla ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle de sayısal olarak da incelenmiştir. Çarpan jetlere zamana bağlı hız bileşenleri, frekans, genlik gibi periyodik bileşenler ilave ederek elde edilen halkasal sentetik jetlerin, dairesel çarpan jetlere göre daha iyi ısı transferi sağlayacağı öngörülerek bu çalışma yapılmıştır.

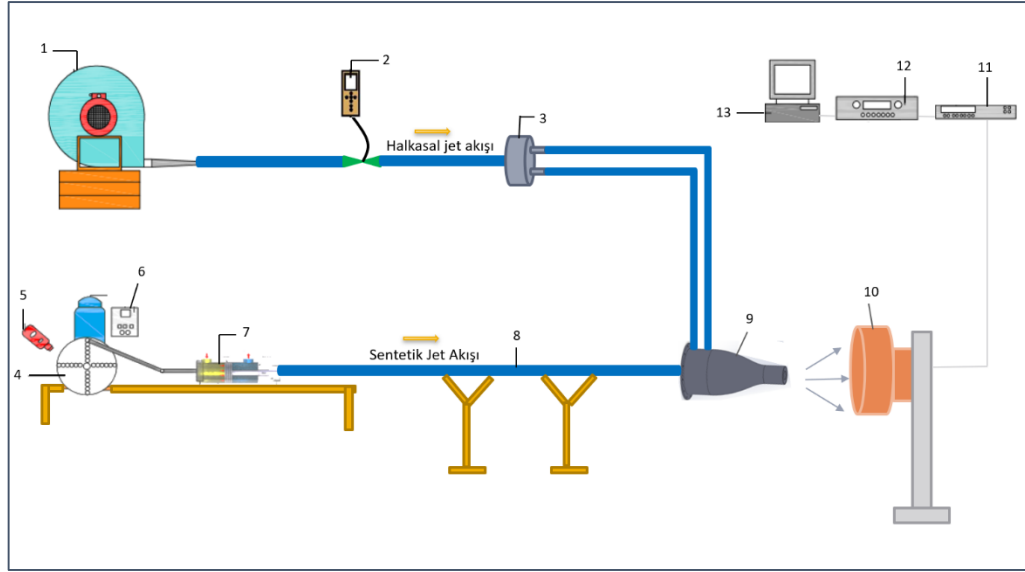
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Giriş

Bu deneysel çalışmada eş eksenli ve türbülanslı halkasal çarpan jet ile dairesel ve halkasal çarpan jet kullanılmıştır. Bu tez çalışmasındaki tüm deneyler, Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sabit ısı akıllı dairesel geometrik yapıya sahip düz bir levhanın yüzeyine sürekli çarpan jet ve sentetik jet çarptırılarak soğutulması, deneysel ve sayısal olarak incelenmiş olup yapılan deneysel çalışmalar bu bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde deney düzeneği tanıtılmakta, ölçme noktaları ve deneysel süreçlerin nasıl değerlendirildiği açıklanmaktadır. Deneysel çalışmada sıcaklık ve hız ölçümleri test cihazları ile yapılmakta olup ısı transferi parametreleri hesaplanmaktadır. Sürekli çarpan jet akışı ve sentetik jet akışı dikkate alınarak elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda halkasal lüle kullanılması ve sentetik jet akışın sürekli çarpan jet akışına göre ısı transferini daha fazla artırdığı görülmüştür.

3.2 Deney Düzeneği

Halkasal sentetik çarpan jet deney düzeneği Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Sentetik çarpan jet deney düzeneği, yüksek basınçlı fandan gelen kütleli akıya sentetik jet akış etkisi vermek için piston-silindir düzeneğinden oluşmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan piston-silindir düzeneğine hareket vermek için 2.4 KW DC motor ve genliğin belirli aralıklarda değiştirilebilmesi için bir volan kullanılmıştır. Volan üzerine açılan delikler vasıtasıyla genlik ve motor devir sayısının değiştirilmesiyle frekanslar ayarlanabilmektedir. Dijital takometre vasıtasıyla motor devri okunabilmektedir. Fandan çıkan havanın hızı türbin tipi hız-ölçer cihazı (Testo-435) ile ölçülebilmektedir. Deney düzeneğinde havanın bir borulama tesisatı ile bakır levhadan oluşan hedef yüzeye yönlendirildiği bir dağıtıcı tasarlanmış olup, fan üzerindeki hız kontrol ünitesi ile ana akış hızı (jet Re sayısı) değiştirilmiştir. Şekil 3.2’de deney tesisatına ait fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneği test şeması. (1.Yüksek basınçlı fan, 2.Hız-ölçer, 3.Dağıtıcı, 4.Volan, 5.Dijital takometre, 6.DC motor ve kontrol ünitesi, 7.Piston-silindir düzeneği, 8.Üfleme borusu, 9.Eş eksenli halkasal lüle, 10.Hedef yüzey, 11.Güç kaynağı, 12.Ver toplama sistemi, 13.CPU)



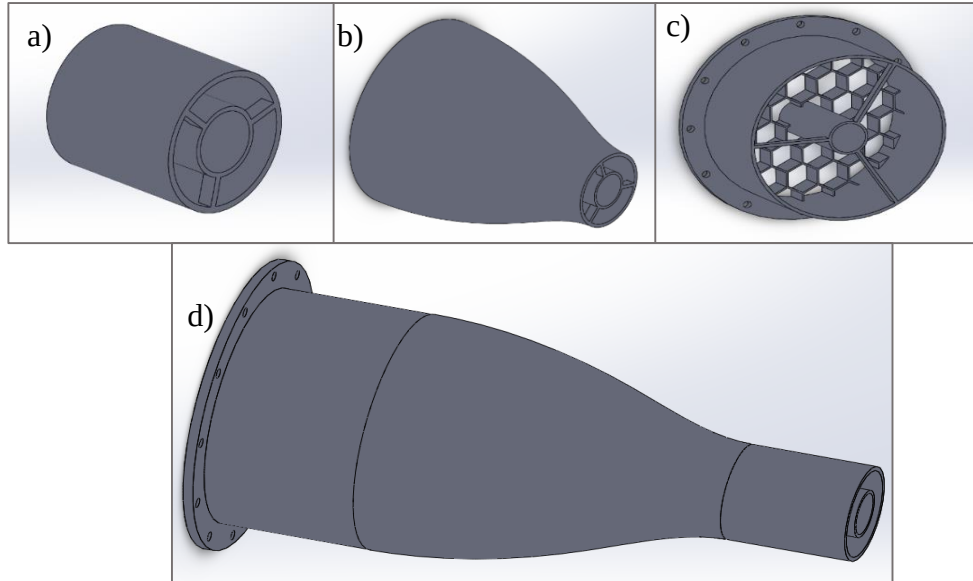
Şekil 3.2. Deney düzeneği resmi.

3.3 Lüle Geometrisi ve Karışım Odası

Yapılan deney düzeneğinde kullanılan iç içe geçmiş eş eksenli halkasal lülenin tasarımı üç boyutlu yazıcı kullanılarak yapılmıştır. Lülelerin üretimi aşamasında yüksek hassasiyete sahip 1.75 mm çapında filament kullanılmıştır. Baskı sırasında stabil erime özelliğine sahip olması ve yenilenebilir kaynaklarından üretilmesi bu

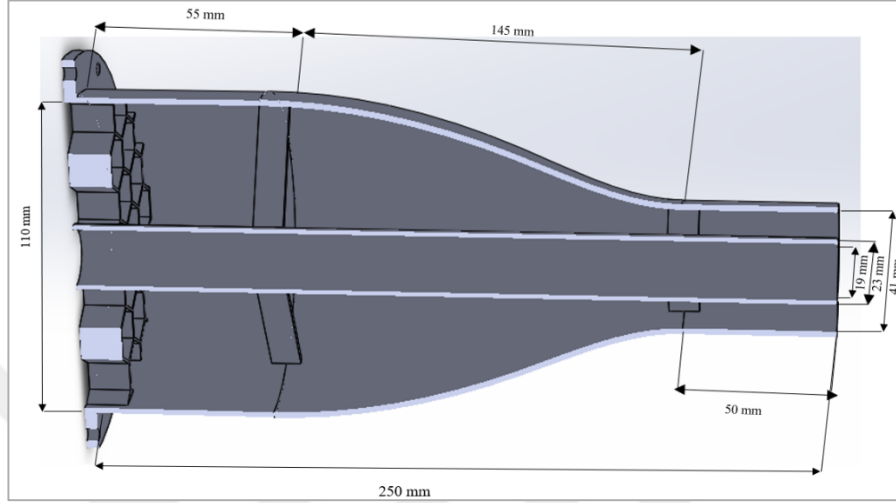
filamenti seçmemizin temel nedenlerini oluşturmaktadır. Kullanılan halkasal lülenin iç çapı $D_{iç}=19$ mm, dış lülenin çapı $D_{dış}=41$ mm ve lüle uzunluğu 250 mm'dir. Lüle modelinin Solidworks programında çizilen katı model kesit ve detay görüntüleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

Karışım odası dahil halkasal lülenin tüm geometrik kısımları üç boyutlu yazıcı da üretilmiştir. Yazıcı da üretim hızını ayarlayarak yüksek hassasiyet gösterilmiştir. Halkasal jet karışım odası dahil dört parçadan oluşmaktadır. Lülenin ilk parçası karışımın meydana geldiği bölge, ikinci parça lüle giriş kısmı ile çıkış kısmını bağlayan düz dairesel boru ve üçüncü parça çıkış lüle bağlantı kısmının oluşturan bölümdür. Lülenin giriş parçası ile karışım odası arasında kalan dairesel bölgenin kenarlarına kadar arı peteği geometrisi şeklinde üretim yapılmıştır. Fandan gelen havanın karışım odasına dahil olması için dört delik açılmıştır. Test ölçerlerle ayarlanan hava, delik kısımlarına bağlanarak içteki lüleye gönderilmiştir. Halkasal lüleye gelen havanın karışım odasında homojen bir akış oluşturarak hedef yüzey üzerinde ısı transferinin artmasını sağlamıştır. Karışım odası giriş kısmında petek geometrisinin verilmesi akışın halka içerisinde çepe-çevre daha iyi dağılmasını sağlamıştır. Lüle geometrisi olarak eş eksenli ikili halkasal jet kullanılması ve karışım odasıyla birlikte halkasal akış etkisi verilmesi literatürde az bulunan deneysel çalışmalara katkı sağlaması öngörülmektedir.



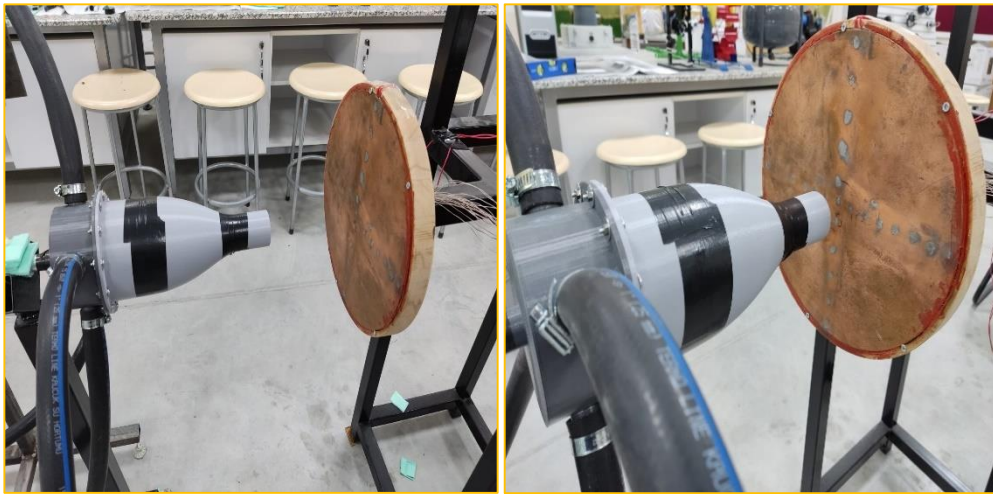
Şekil 3.3. a) Lüle içerisinde geçen akışın düzeltildiği bölge b) lüle giriş kısmını ile çıkış kısmını bağlayan bölge c) çıkış lüle bağlantı kısmı d) deneyde kullanılan tüm lüle.

Kullanılan türbülanslı halkasal lülenin yapım aşamaları, parça görünüşleri ve geometrik görünümü Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Toplam lüle uzunluğu 250 mm olup, lüle üfleyici kısmı 50 mm'dir. Lüle üç kısımdan oluşmakta olup, laminar akış elde etmek için akış düzenleyici imal edilmiş ve kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan lülenin kesit görünümü ve ölçüleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Halkasal lülenin kesit görünümü ve ölçüleri (mm).

Türbülanslı halkasal jet üfleyici Şekil 3.5'te görüldüğü gibi katı modelleme programında çizilip, 3D yazıcıda imal edildikten sonra montajı yapılmıştır. Montaj aşamasında deforme olmayan esnek plastik hortum kullanılarak karışım odasına dört bölümden hava girişi sağlanmıştır. Bu sayede lülede akış düzelticiden de geçen havanın halkasal kesite homojen bir şekilde dağılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Sentetik halkasal jet montajı ve hedef yüzey görünümü.

3.4 Deneylerin Yapılışı

Jet Reynolds sayısının 6000, 9000, 12000, 15000, 18000, 20000, 25000, 35000 ve 50000 değerleri ile H/D mesafesinin 2, 4, 6, 8 değerlerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma; $H/D=2$, $H/D=4$, $H/D=6$, $H/D=8$ olduğu durumlarda ve jet Reynolds sayısının 6000-50000 aralığındaki deneysel çalışmalar seçilen parametreler için sayısal çalışmayla desteklenmiştir.

Deney düzeneği gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla Şekil 3.1’de görüldüğü gibi periyodik çarpan jet için deneylerin yapılabileceği hale getirilmiştir. Deneyler sentetik çarpan jet akışı ve sürekli çarpan jet akışı olmak üzere iki farklı akış rejimi için yapılmıştır. Deneylerde ilk aşama olarak, en içteki dairesel kesit dikkate alınarak ve yalnızca fanın aktif olduğu durum ‘*sürekli çarpan dairesel jet*’, ikinci aşamada sadece halkasal kesitten havanın üflendiği ‘*sürekli çarpan halkasal jet*’ ve üçüncü aşamada ise fanın ve piston-silindir düzeneğinin aktif olduğu ‘*halkasal-sentetik çarpan jet*’ durumu için akış parametreleri çalışılmıştır.

İlk aşamada sadece yüksek basınçlı fanın aktif olduğu (daimî akış rejimi) sürekli çarpan jet akışı için deneyler yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ve H/D mesafesinin farklı olduğu durumlarda akış hızı ayarlanarak fan çalıştırılmıştır. Dairesel şekle sahip bakır levhadan oluşan hedef yüzeydeki ısıtıcı aktif gücü çalıştırılarak yüzeyin ısınması sağlanmış ve sistem rejim haline gelene kadar izlenmiştir. Sistemin rejim haline gelip gelmediği, sıcaklık ölçümlerinden anlaşılmaktadır. Sistem rejim haline geldikten sonra Şekil 3.6’da gösterilen dairesel bakır levha üzerine yerleştirilen termoelemanlar vasıtasıyla belirli noktalardan sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Sürekli çarpan jet akış durumu için lüle ile hedef yüzey arası mesafe dört defa değiştirilmiştir.

Daha sonra sürekli çarpan jet akış durumu için ölçülen sıcaklıklar yardımıyla levha yüzeyinde meydana gelen ısı transferi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ısı transferinin bir göstergesi olan boyutsuz Nusselt sayısı hesaplanmış ve literatürde bulunan halkasal jet çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda literatürle benzer durumların elde edildiği tespit edilmiştir. Sayısal olarak da çözümler elde edilmiştir.

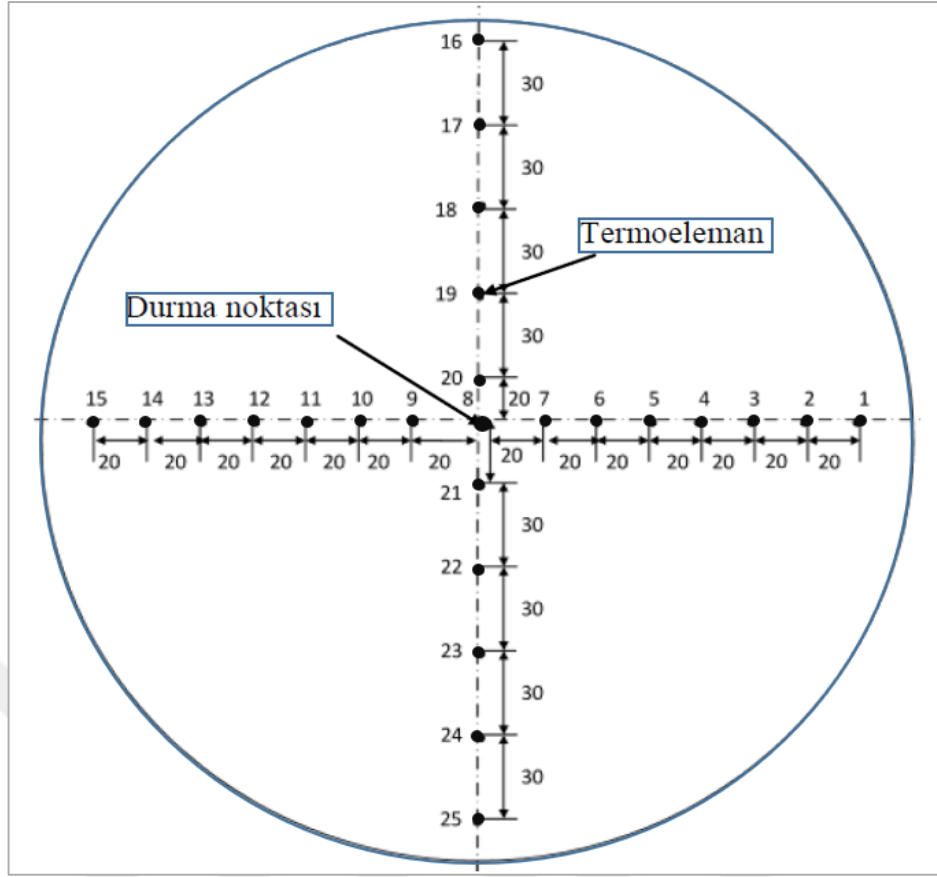
Üçüncü aşamada ise belirlenen hızda jet deneysel model üzerine çarptırılırken güç kaynağı vasıtasıyla belirlenen ısı akısıyla bakır levha istenilen sıcaklığa kadar ısıtılıp, sistem rejim haline gelene kadar süreç devam ettirilmiştir. Yüksek basınçlı fan vasıtasıyla sürekli olarak halkasal jetten hava üflenirken, akışkana sinüzoidal hareket vermek için belirlenen genlik ve frekansta piston-silindir düzeneği aktif hale getirilerek sentetik jet akışı oluşturulmuştur. Sistem rejim haline geldikten sonra bakır levha üzerinde bulunan termoelemanlar vasıtasıyla ölçülen sıcaklıklar kaydedilmiştir. Deneyler, belirlenen Reynolds sayılarında, dört farklı çarpma mesafesi, dört farklı genlik ve altı farklı frekans için yapılmıştır. Pnömotik piston-silindir düzeneği vasıtasıyla oluşturulan sentetik akışta genlik ve frekansın farklı değerlerinde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Genlik ayarı volan üzerinde bulunan delikler vasıtasıyla yapılmak olup, frekansta motorun devri değiştirilerek, hız ayarı yapılmakta ve bir dijital takometre vasıtasıyla ölçülerek frekans kontrolü yapılmaktadır. Ölçülen sıcaklıklar vasıtasıyla sentetik jet akışı sonucunda bakır levhada oluşan hedef yüzey üzerindeki ısı transferi hesaplanmaktadır. Tüm deneysel aşamalar tamamlandıktan sonra halkasal lüle kullanılarak sentetik jet akışının ısı transferi iyileştirilmesindeki etkileri incelenmiş ve sonuçlar dairesel çarpan jet akışı ile karşılaştırılmıştır. Halkasal lülede sentetik akış oluşturmak için periyodik bileşen olarak genlik ve frekansın farklı H/D değerleri için deneysel çalışma yapılmıştır. Halkasal lülede karışım odasıyla birlikte sentetik akış oluşturulması dairesel jete göre daha iyi ısı transferi sağlamıştır.

3.5 Deneysel Ölçümler

Bu çalışmada, sabit ısı akısı ile ısıtılan dairesel bakır levha yüzeyinin soğutulması aşamasında sentetik jet uyarıcısının etkisinin anlaşılabilmesi için, belirlenen parametrelerde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Hedef yüzey üzerine yerleştirilen termoelemanlar sıcaklık ölçümlerinde kullanılmıştır. Termoelemanlar levha yüzeyine iki sıra halinde dizilerek toplamda yirmi yedi adet termoelemanla ölçüm yapılmıştır. Ortam ve jet sıcaklığının belirlenmesi için iki adet termoeleman, levha yüzey sıcaklığını belirlemek için de dairenin iki eksenini de kapsayacak şekilde bakır levha yüzeyine gömülen yirmi beş adet termoeleman kullanılmış ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Termoelemanların levha yüzeyindeki konumları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

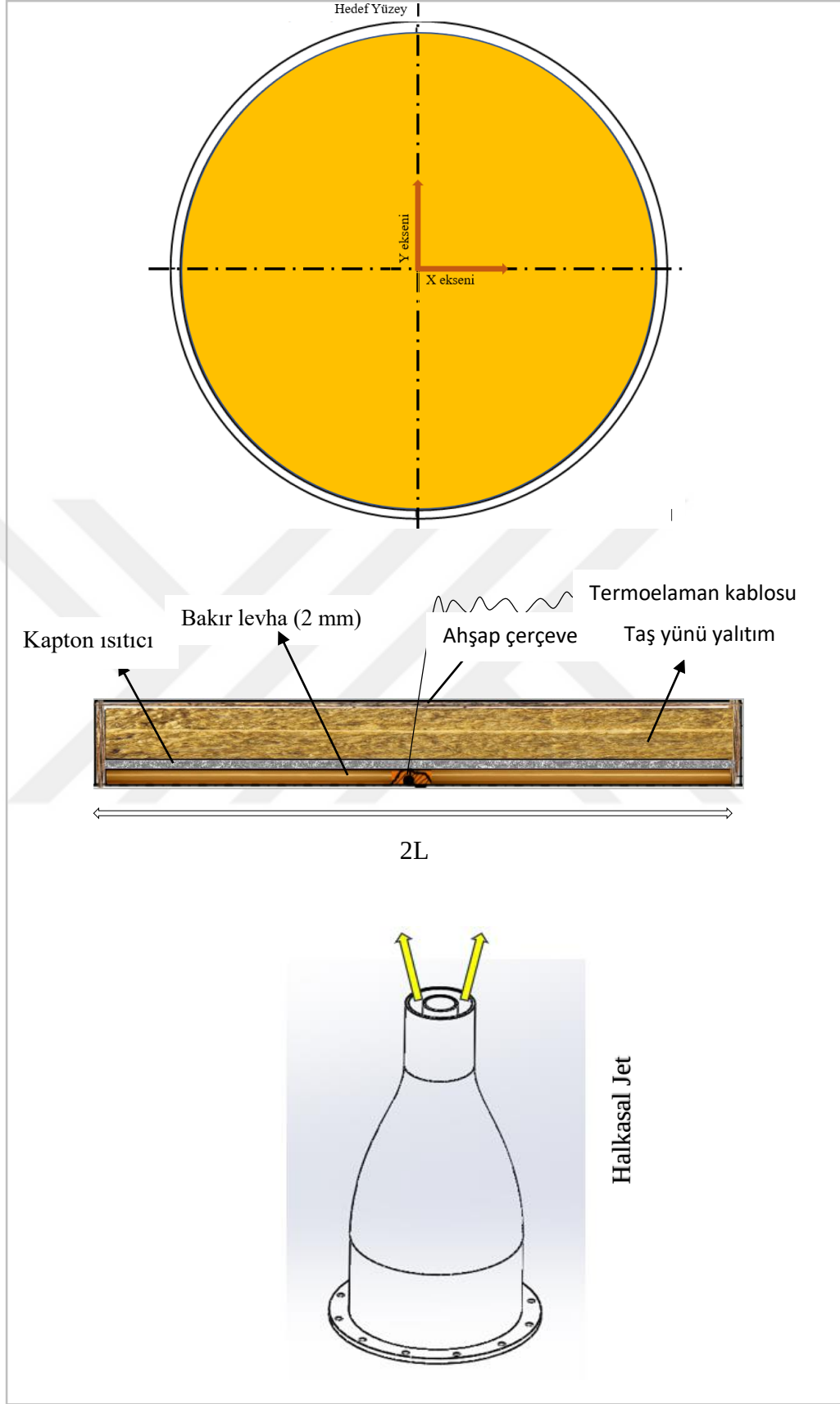
Homojen bir dağılım elde etmek için kullanılan bakır levha yüzeyindeki termoelemanlardan okunan anlık sıcaklık değerleri bir veri toplama sistemi ile bilgisayar tarafından kayıt altına alınmaktadır. Termoelemanlar yerleştirilirken durma noktasına yakın bölgelerde daha sık, durma noktasından uzaklaştıkça daha seyrek olacak şekilde yerleştirilmiştir. x ve y koordinatları boyunca yerleştirilen termoelemanlar ısıtıcı platform üzerinde bulunan bakır levhanın üzerine önce yivler açılarak uç kısımları yerleştirilmiş ve açılan yivlerin içi lehim doldurularak yüzeye sabitlenmesi sağlanmıştır. Düzgün yüzey elde etmek için zımparalanan hedef yüzey, 2 mm kalınlığındaki bakır levha, arkasına çok ince kapton ısıtıcı ve 20 mm taş yünü ile desteklenecek şekilde özel olarak hazırlanmış ahşap bir çerçeveden oluşturulmuştur. Taş yünü yalıtım amaçlı kullanılmış olup ısının tamamen ön yüzeyden transfer olması sağlanmıştır. Hedef yüzeyin arka kısmında çok iyi yalıtım sağlanarak, deneylere başlamadan önce yapılan sıcaklık ölçümlerinde ortam sıcaklığı ile hedef yüzey arasında birbirine yakın ölçümler elde edilmiştir. Isı kayıpları ihmal edilmiş ve güç kaynağı tarafından verilen gücün tamamen ön yüzeyden transfer olduğu kabul edilmiştir.

Yapılan deneyde sentetik çarpan jet parametreleri (genlik ve frekans) ile dört farklı H/D oranı ve belirlenen Reynolds sayılarında gerçekleştirilerek anlık sıcaklık değişimleri veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Belirlenen jet Reynolds sayılarında, dört farklı H/D oranı için genlik ve frekans değerleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Pnömatik piston-silindir düzeneği ve DC motor üzerinde yapılan genlik, frekans değişiklikleriyle birlikte halkasal sentetik jet akış parametreleri elde edilmiştir. Volanın devri dijital takometre ile ölçülerek frekanslar kaydedilmekte ve volanın üzerinde bulunan delikler vasıtasıyla genlikler istenilen büyüklüğe ayarlanabilmektedir. Kapton ısıtıcı, bakır levha, ahşap çerçeve, taş yünü yalıtım ve termoeleman kablosunun hedef yüzey üzerindeki konumları ve yapısı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Hedef yüzey üzerine yerleştirilen termoelemanların konumları.

Termoelemanlar levha yüzeyine iki sıra halinde dizilmiştir. Dairenin iki eksenini de tarayacak şekilde belirli aralıklarla levha yüzeyine gömülen toplam yirmi beş adet termoeleman ve jet sıcaklığının ve ortam sıcaklığının belirlenmesi için iki adet termoeleman olmak üzere toplam yirmi yedi adet termoeleman kullanılmıştır. Noktalar arası mesafe eşit olup eksenler üzerinden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Her bir noktadan alınan sıcaklık ölçümleri veri toplama sistemi tarafından kaydedilerek ortalama yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Hedef yüzeyin arka tarafında etkili bir termal sıcaklık sağlanarak, deneysel olarak çalıştırılan sıcaklık ölçümleri ortam sıcaklıkları ile hedef yüzeyler arasında benzer değerler sunmuştur. Isı kaybı ihmal edilmiş ve güç kaynağı tarafından sağlanan gücün ön sıcaklıkta transfer edildiği yapılan çalışmada ifade edilmiştir. Termal izolasyon sağlanması ile sıcaklıklar sırasında hedef yüzeyin stabil sıcaklık koşullarının korunmasını ve sonuçların güvenilir bir şekilde elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca ısı kayıplarının ihmal edilmesi, enerjinin eksiksiz bir şekilde hedef yüzey üzerinde çalıştırılması ile deneylerin sürekli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine imkân tanımıştır.



Şekil 3.7. Hedef yüzeyin yapısı ve halkasal lülenin görünümü.

3.6 Levha Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

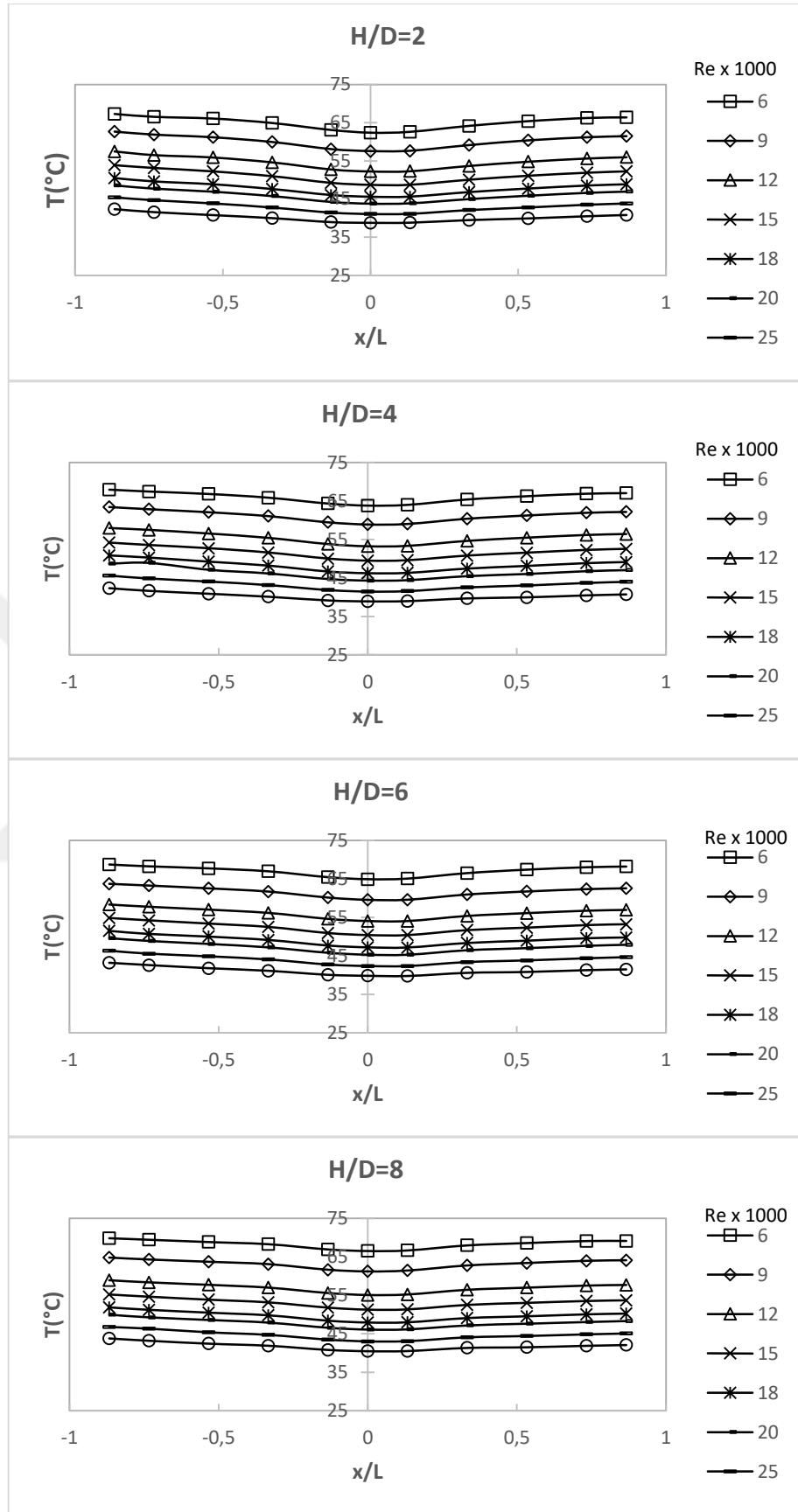
Yapılan deneysel çalışmada Şekil 3.7’de kesiti gösterilen hedef yüzey üzerine yerleştirilen termoeleman kabloları, bakır levha içerisinde bulunan 20 mm kalınlığındaki taş yünü ve çok ince tabakalı kapton ısıtıcı içerisinde geçirilip, halkasal lüle modelini takip ederek arka kısmından dışarıya çıkarılmış ve deney düzeneğinde bulunan veri toplama sistemine bağlanmıştır. Termoeleman sayısı fazla tutularak hassas ölçüm yapılması hedeflenmiştir.

Hedef yüzey üzerinde sentetik jet çarpması sonucu meydana gelen anlık sıcaklık değerleri zamanla değişmekte olup, bu değişim sentetik çarpan jetten kaynaklanan akış içerisindeki periyodik değişimlerden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı hedef yüzeye yerleştirilen her bir termoelemandan anlık sıcaklık değerlerinin zaman ortalaması alınarak bu noktaların ortalama sıcaklığı hesaplanmıştır. Yüzeydeki her bir noktanın sıcaklığı,

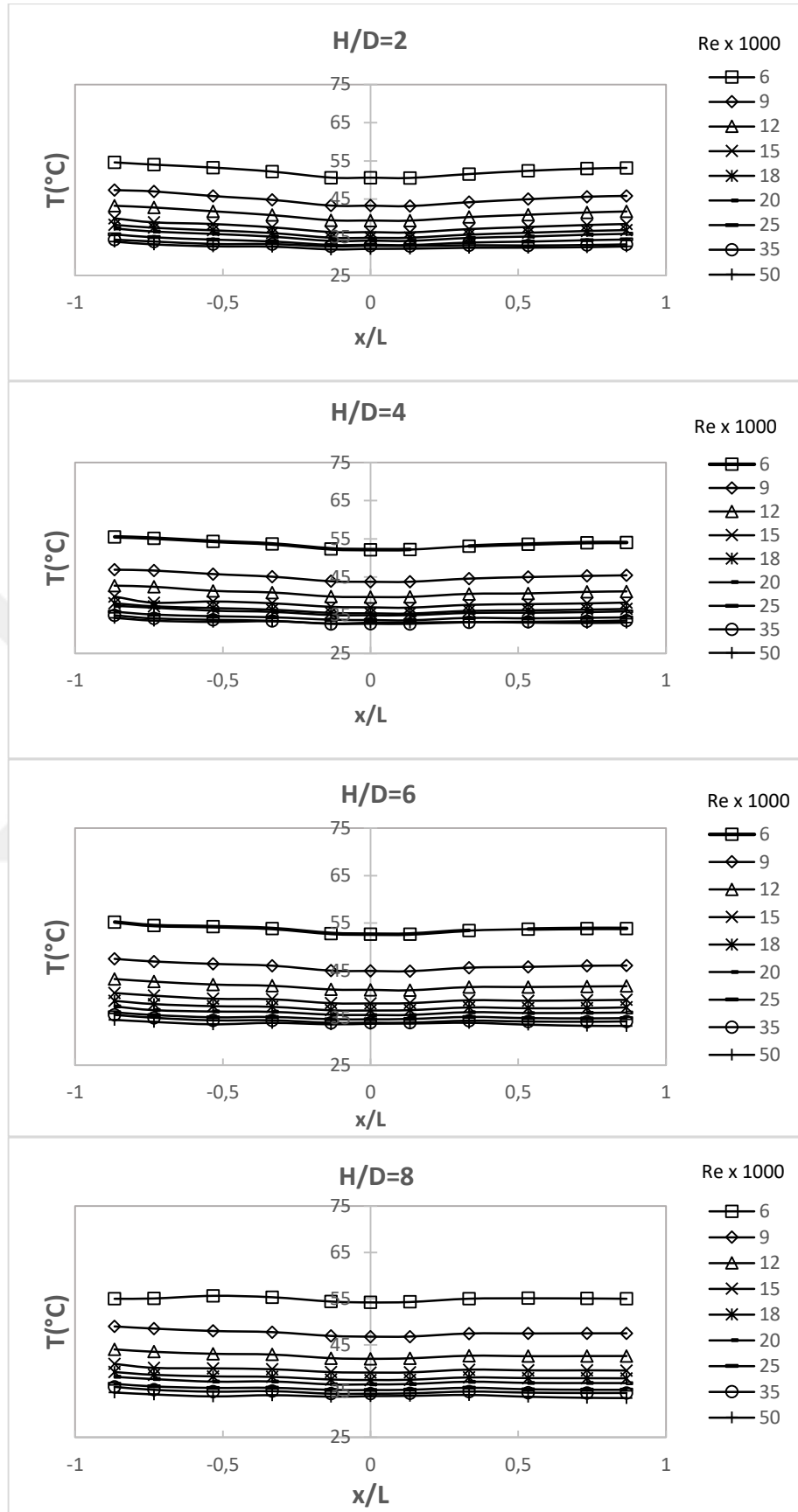
$$T_{w,i} = \frac{1}{N\Delta t} \sum_{i=1}^N T_{w,i}(x, t)\Delta t \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, N toplam veri sayısını, $T_{w,i}$ anlık ölçülen sıcaklık değerlerini göstermektedir.

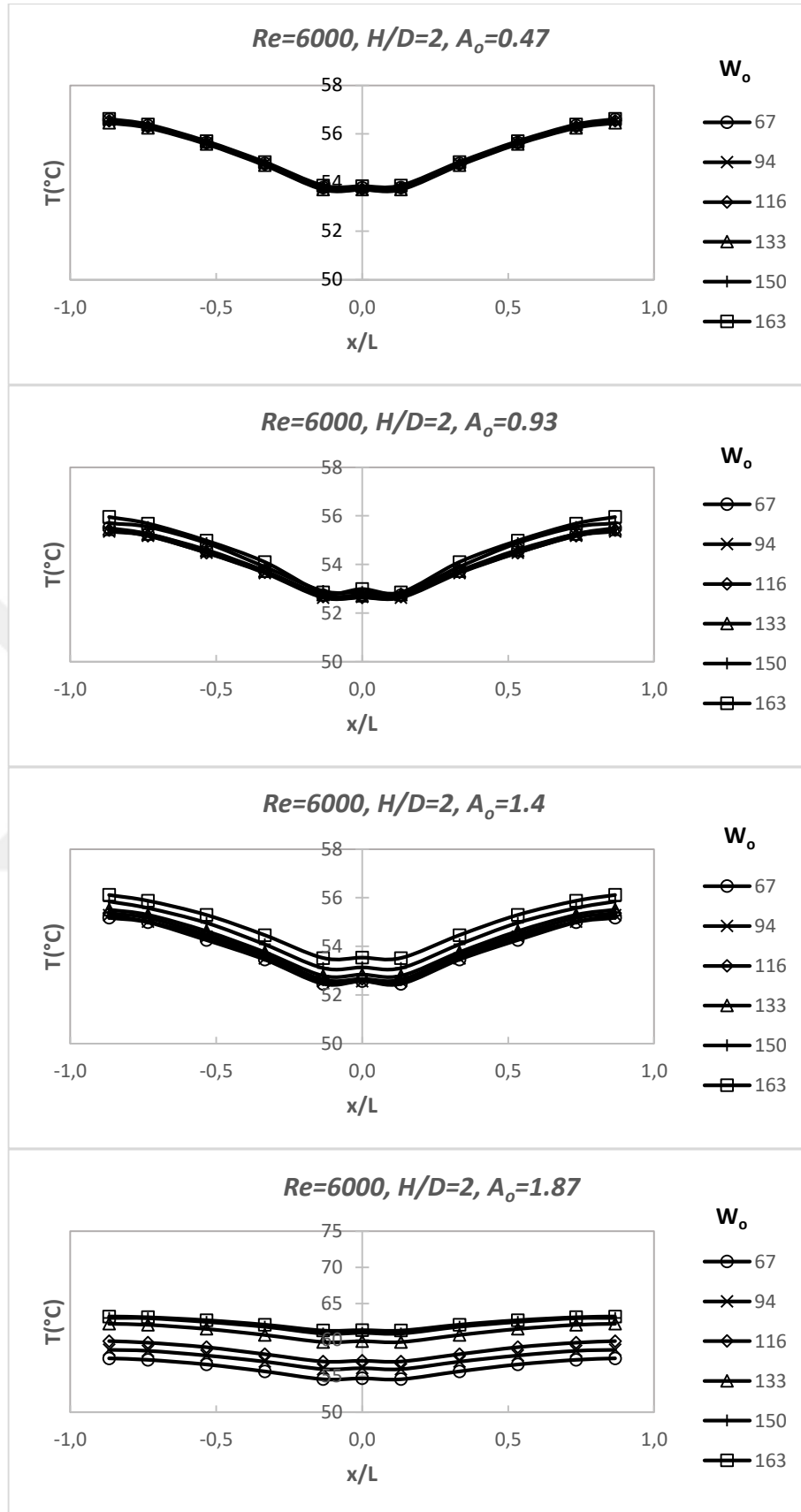
Ortalama yüzey sıcaklıklarının, dairesel ve halkasal sürekli çarpan jet akış şartlarında farklı H/D oranları için ($H/D=2$, $H/D=4$, $H/D=6$ ve $H/D=8$) levha boyunca dağılımları Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Halkasal sürekli çarpan jet akışında levha yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dağılımı aynı Reynolds sayıları için dairesel sürekli çarpan jet akışına göre daha düşük sıcaklıklar da gerçekleşmiştir. Halkasal jet akışında hedef yüzey üzerinde dairesel jet akışına göre daha iyi soğutma olduğu görülmüştür. Halkasal sentetik jet akışında sabit Reynolds sayısı ve H/D oranı ile dört farklı genlik ve altı farklı frekans değerlerinde hedef yüzey üzerinde meydana gelen sıcaklık dağılımları Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sürekli dairesel çarpan jet şartlarında sıcaklığın levha boyunca değişimi.



Şekil 3.9. Sürekli halkasal çarpan jet şartlarında sıcaklığın levha boyunca değişimi.



Şekil 3.10. Halkasal sentetik çarpan jetin farklı frekanslardaki değişimi.

Deneysel çalışmada halkasal sentetik jet akışı için kullanılan genlik, frekans ve Reynolds sayısı değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında ana akış hızı sentetik jet parametrelerini baskıladığı için Reynolds sayısı olarak 6000 seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Halkasal sentetik jet parametreleri.

Re	A₀	W₀
6000	0.47, 0.93, 1.4, 1.87	67, 94, 116, 135, 150, 163
5000	0.47, 0.93, 1.4, 1.87	67, 94, 116, 135, 150, 163
5000	0.47, 0.93, 1.4, 1.87	67, 94, 116, 135, 150, 163

Hedef yüzey silindirik bir levha olduğundan, silindirin tam merkezi olan durma noktasından dışa doğru her yönde sıcaklık dağılımının birbirine benzediği ve simetrik olduğu gözlenmiş olup, x/L oranı arttıkça hedef yüzey üzerindeki termoelemanlar vasıtasıyla ölçülen yüzey sıcaklıklarının da kayda değer şekilde arttığı görülmüştür. Halkasal jet durma noktası etrafına halkasal olarak çarptığı için beklendiği gibi merkezin etrafına yakın noktalarda sıcaklık en düşük seviyede ve hedef yüzeyin dışına doğru gittikçe artmakta ve en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Sabit ısı akısı belirlenirken ($I= 2.72$ A) ve ($E= 31.2$ V) değerleri dikkate alınmış ve ($q'' = 1200$ W/m²) ısı akısı hesaplanmıştır. Türbülanslı halkasal jet çarpması vasıtasıyla hedef yüzeyin soğuma davranışı incelenmiştir. Halkasal jet ile hedef yüzey arası mesafe arttıkça ölçülen yüzey sıcaklık değerleri artmakta, mesafe azaldıkça sıcaklık değerleri de düşmektedir. Bu da en iyi soğutmanın $H/D=2$ mesafesinin en yakın olduğu durumda gerçekleştiğini göstermektedir.

Beklendiği gibi yapılan deneysel çalışmayla türbülanslı halkasal jet üfleme halinde H/D oranı arttıkça yüzey sıcaklıklarının belirgin şekilde arttığı görülmüştür. $H/D = 2$ durumunda yüzey sıcaklıklarının daha düşük olduğu ve hedef yüzeyin daha iyi soğutulduğu görülmüştür. $H/D = 8$ durumunda ise yüzey sıcaklıklarının en düşük olduğu durum gözlemlenmiştir. Düşük Reynolds sayılarında halkasal sentetik jet akışının etkileri daha belirgin olarak görülmüştür. Yüksek Reynolds sayılarında ana akış hızı sentetik jet parametrelerini baskıladığı için düşük Reynolds sayılarında periyodik etki daha fazla görülmüştür. Piston-silindir düzeneği ile meydana gelen periyodik etki, hedef yüzey üzerinde frekans ve genliğin değişmesiyle birlikte farklı ısı transferi karakteristikleri göstermiştir.

3.7 Isı Geçişi Hesabı

Bu problemde, ısı taşınım katsayısının bulunabilmesi için ölçülen parametreler yardımıyla levha yüzeyinden jet çarpması sonucu geçen net ısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu da sistem üzerindeki sıcaklık ölçümü yardımıyla yapılmaktadır. Sentetik akışta, anlık (yerel) Nusselt sayısı Eşitlik 3.2 ile belirtilmiştir.

$$Nu_{x,t} = \frac{h(x,t)L}{k} \quad (3.2)$$

Burada L hedef yüzey uzunluğunu (yarıçapını), k akışkanın ısı iletim katsayısını ve $h(x,t)$ de yerel anlık ısı taşınım katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada karakteristik uzunluk olarak L alınmıştır. Jet çapı D 'nin diğer geometrik büyüklüklere göre çok küçük olmasından ve boyutsuz büyüklüklerin çok ondalıklı sayılardan oluşmasından dolayı, bu yola başvurulmuştur. Yapılan çalışmada periyodik bir akış meydana geldiği için ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında çevrim ortalama değerleri esas alınmakta ve h_m değeri bulunmaktadır. Anlık ısı taşınım katsayısının denklemi aşağıda belirtilmiştir. Çevrim ortalama ısı taşınım katsayısı belirtilmiş ve çevrim ortalama Nusselt sayısı Eşitlik 3.3, Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5 ile bulunmuştur.

$$h_{x,t} = \frac{q''}{T_{w(x,t)} - T_{j\infty}} \quad (3.3)$$

$$h_m = \frac{1}{\tau L} \int_0^\tau \int_0^L h(x,t) dx dt \quad (3.4)$$

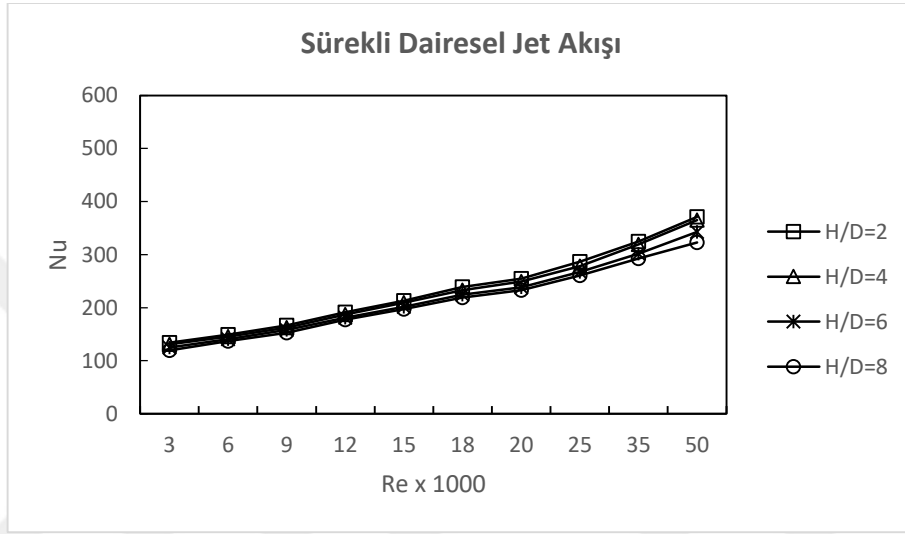
$$h_m = \frac{1}{\tau L} \int_0^\tau \int_0^L Nu_{x,t} dx dt \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemlerin ve integrallerin hesaplanması sonucunda Nusselt sayısı Eşitlik 3.6 ile belirtilmiştir.

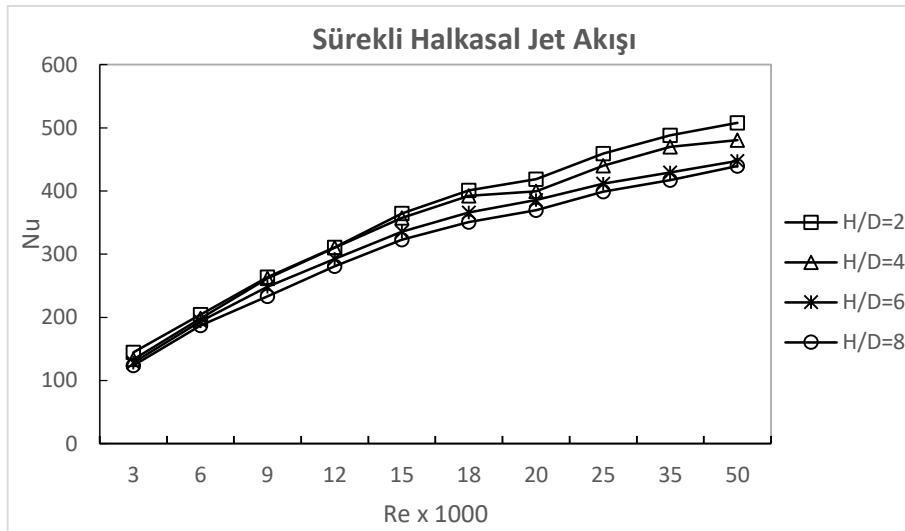
$$\overline{Nu} = \frac{q''L}{k(T_w - T_{j\infty})} \quad (3.6)$$

Yapılan sürekli çarpan jet akışında en iyi ısı transferinin en küçük H/D oranı ve en yüksek Reynolds sayısının olduğu durumda gözlenmektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre türbülanslı halkasal çarpan jetin kullanılması ısı transferini iyileştirmede kayda değer oranda rol oynadığı görülmüştür. Uygun parametrelerin

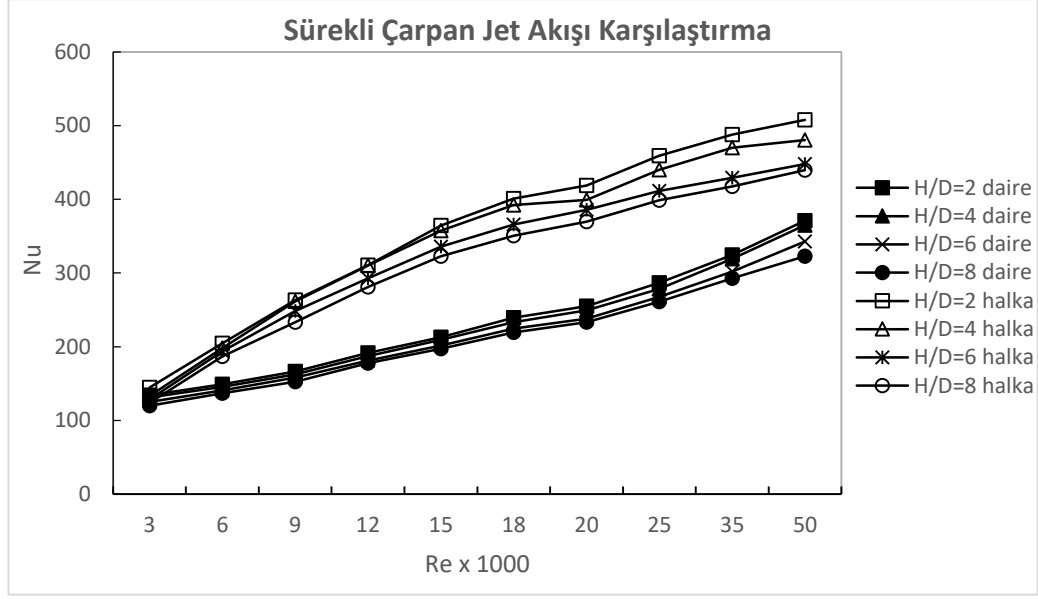
seçilmesi durumunda halkasal çarpan jetin dairesel çarpan jete göre daha iyi ısı transferi sağladığı belirlenmiştir. Farklı Reynolds sayılarında H/D oranına göre sürekli dairesel jet akışı ve halkasal jet akışının Nusselt sayılarına göre değişimi Şekil 3.11’de ve Şekil 3.12’de verilmiştir. Her dört üfleme mesafesi karşılaştırıldığında, H/D oranının en düşük olduğu durumda Nusselt değerlerinin daha yüksek olduğu, H/D oranının artmasıyla birlikte Nusselt değerlerinin de azaldığı görülmektedir.



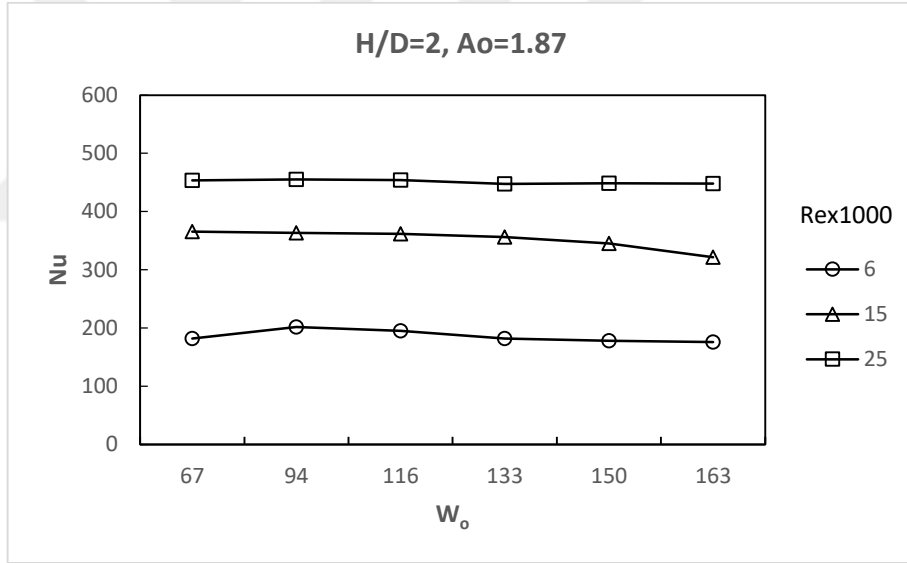
Şekil 3.11. Sürekli dairesel çarpan jet akışında farklı mesafelerde Reynolds sayısı değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.



Şekil 3.12. Sürekli halkasal çarpan jet akışında farklı mesafelerde Reynolds sayısı değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.

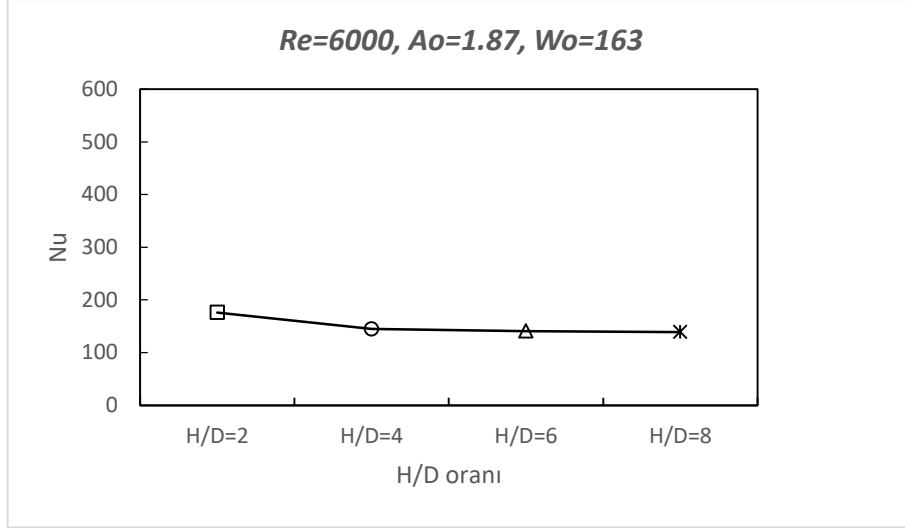


Şekil 3.13. Sürekli çarpan jet akışı şartlarında dairesel ve halkasal çarpan jet akışının karşılaştırılması.

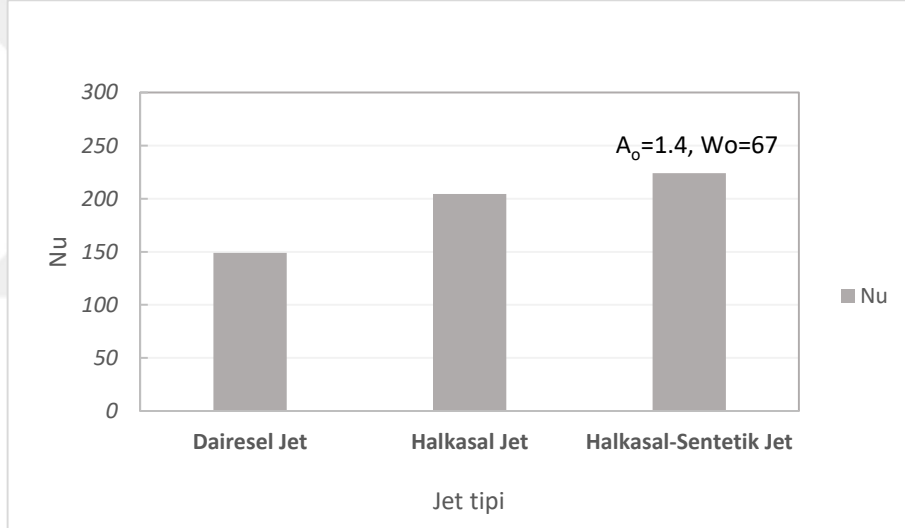


Şekil 3.14. Sentetik halkasal çarpan jet akışında sabit mesafe ve genlikte farklı Reynolds sayısı ve frekans değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.

Sürekli çarpan jet akışında dairesel ve halkasal çarpan jet akışının karşılaştırılması Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Sentetik halkasal çarpan jet akışında genlik ve mesafenin sabit olduğu durumda Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısının da arttığı Şekil 3.14'te görülmüştür. Reynolds sayısı ile genlik ve frekansın en yüksek olduğu durumda farklı mesafelerde meydana gelen Nusselt sayısının değişimi Şekil 3.15'te gösterilmiştir. H/D oranı arttıkça hedef yüzey üzerinde meydana gelen ısı transferinin azaldığı görülmüştür.



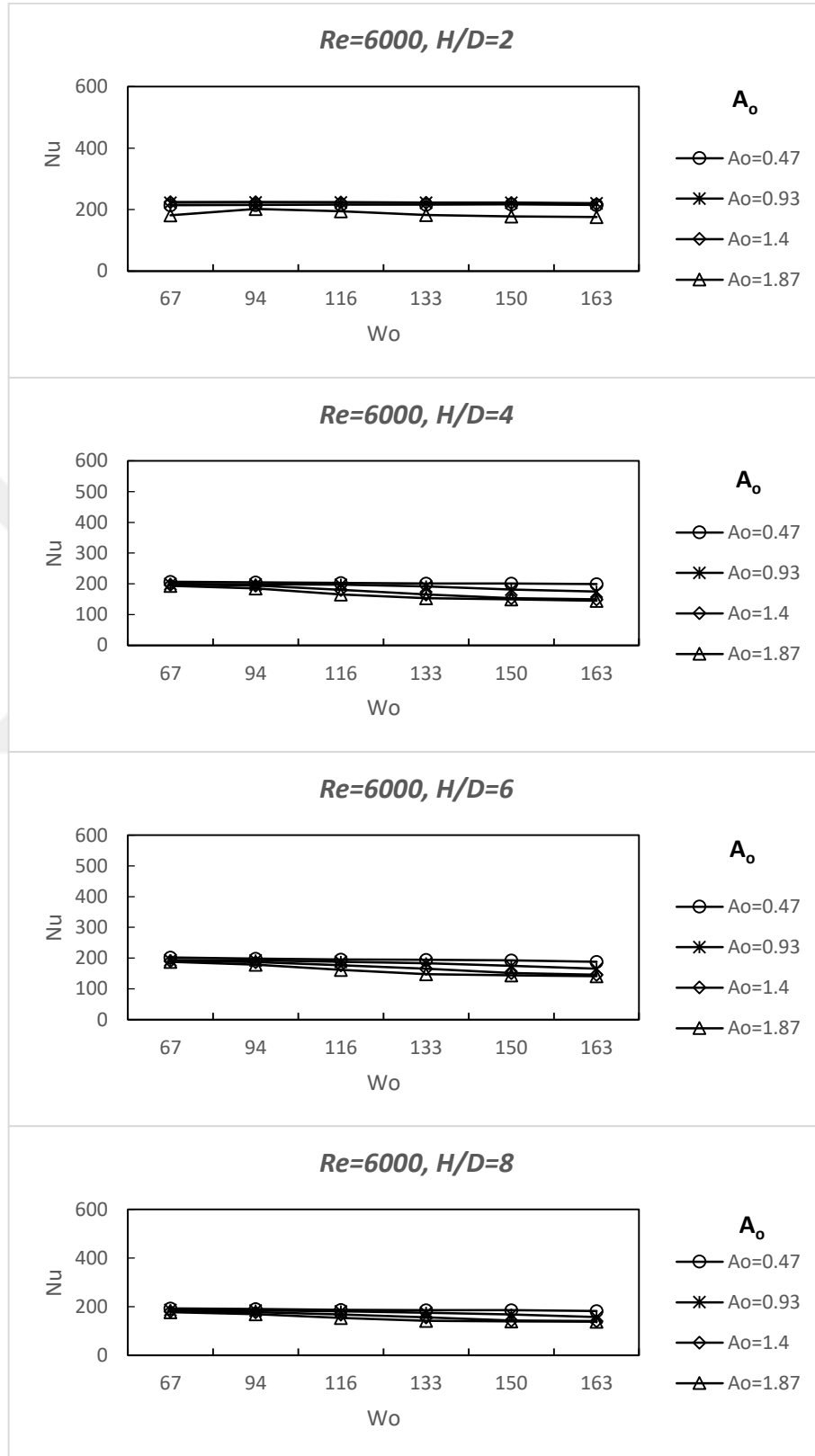
Şekil 3.15. Sentetik halkasal çarpan jet akışında sabit genlik ve frekans değerlerinde farklı mesafelerde Nusselt sayısının değişimi.



Şekil 3.16. Jet tipine göre Nusselt sayısının değişimi.

Deneysel çalışmalara göre elde edilen sonuçlar kullanılan jet tipine göre karşılaştırılmış ve Şekil.3.16’da verilmiştir. Halkasal sentetik jet hem sürekli dairesel jete hem de sürekli halkasal jete göre ısı transferini artırmıştır. Dairesel jet ve halkasal jet aynı hidrolik çapa sahiptir ve aynı Reynolds sayıları için karşılaştırma yapılmıştır. En düşük durum dairesel sürekli jette, sürekli halkasal jet dairesel jete göre ısı transferini kayda değer bir şekilde artırmıştır. Halkasal sentetik jet ise sürekli halkasal jete göre daha iyi bir performans göstermiştir. Bu durumda en iyi ısı transferi halkasal sentetik jet için elde edilmiş olup, uygun parametrelerin seçilmesi halinde sürekli jete göre periyodik çarpan halkasal jetin ısı transferini daha da

artırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.17’de ise parametrelere göre Nusselt sayısının değişimi görülmektedir.



Şekil 3.17. Sentetik halkasal çarpan jet akışında farklı frekans ve genlik değerlerine göre Nusselt sayısının değişimi.

3.8 Fiziksel Parametreler

Sinüzoidal olarak hareket eden pnömatik bir piston-silindir düzeneği vasıtasıyla periyodik bileşenlere sahip sentetik çarpan jet akışına, kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri uygulanarak uygun fiziksel parametrelerle boyutsuzlaştırma yapılarak benzerlik parametreleri elde edilmiş ve Eşitlik 3.7 ile belirtilmiştir.

$$h = (U_j, x_m, \omega, \rho, \mu, c_p, k, H, D, L) \quad (3.7)$$

Boyutsuzlaştırma sonucunda elde edilen boyutsuz parametreler aşağıda belirtilerek açıklanmıştır. Boyutsuzlaştırma çalışması Ek.C’de verilmiştir.

- **Boyutsuz Üfleme Mesafesi:**

$$B = H/D \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8 ifadesi, lüledeki jet çıkışı ile hedef yüzey arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu çalışmada önemli olan diğer boyutsuz parametrelerden birisidir. Bu çalışmada dört farklı mesafe için araştırmalar yapılmıştır.

- **Jet Reynolds Sayısı:**

$$Re_j = \frac{U_j D_h}{\nu} \quad (3.9)$$

Re_j , jet Reynolds sayısıdır ve Eşitlik 3.9 ile belirtilmiştir. Bu çalışmada, Re sayısı akışın karakteristiğini belirleyen önemli bir parametredir. D_h , halkasal jet hidrolik çapını göstermektedir. U_j , jet çıkış hızı olup testo-prob ile ölçülmektedir.

- **Boyutsuz Genlik:**

$$A_o = \frac{x_m}{L} \quad (3.10)$$

A_o , boyutsuz genlik olup Eşitlik 3.10 ile ifade edilmiştir. Isı transferini etkileyen önemli parametrelerden biri olup, deney düzeneğinin izin verdiği mevcut aralıklar için çalışmalar yapılmıştır. Sentetik akışta ısı geçişini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Denklemden, x_m kullanılan pistonun genliğini göstermektedir.

- **Boyutsuz Frekans:**

$$Wo = L\sqrt{\omega/\nu} \quad (3.11)$$

Wo , Womersley sayısıdır ve Eşitlik 3.11 ile belirtilmiştir. Sentetik çarpan jet akışı için dışarıdan gelen frekans, ω olarak ifade edilir ve önemli deney parametrelerinden biridir. Karakteristik uzunluk olarak L kabul edilmiştir. Deneysel düzeneğinin limitleri dahilinde frekans sayısı değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır.

- **Diğer parametreler:**

Isı geçişini etkileyen diğer bir boyutsuz parametre ise Prandtl sayısıdır ve $Pr = \nu / \alpha$ ile ifade edilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan akışkanı ifade etmekte ve akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Akışkan türü deney boyunca değiştirilmemiştir. Diğer bir parametre ise H/L 'dir ve sabit tutulmuştur ve burada H/D dikkate alındığı için bu parametre dikkate alınmamıştır. Tüm parametreler göz önünde bulundurulduğunda yüzeyden ısı geçişini ifade eden Nu sayısı boyutsuz sayıların bir fonksiyonu olarak Eşitlik 3.12 ile ifade edilebilir.

$$Nu = C (H/D, Re_j, A_o, Wo, Pr, H/L) \quad (3.12)$$

Bu çalışmada, ısı transferini etkileyen dört önemli kontrol parametresi vardır. Boyutsuz üfleme mesafesi $B = H/D$, jet Re sayısı, sentetik akışa bağlı frekans ve genliktir. Deneyde etkisi incelenecek temel parametre olarak jet Re_j sayısı, H/D mesafesi, frekans (Womersley sayısı) ve genlik dikkate alınmaktadır.

3.9 Hata Analizi

Bu çalışmada, deneyler sırasında meydana gelen hataların çoğunlukla ölçüm hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, deneysel hataları tanımlamak için Holman (2001) tarafından önerilen "belirsizlik analizi" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, incelenen sistemin ölçülmesi gereken büyüklüğü R ve bu büyüklüğü etkileyen n adet bağımsız değişken $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olarak kabul edilir. Bu durumda, büyüklük ifadesi Eşitlik 3.13 ile belirtilmiştir.

$$R = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.13)$$

Bu sonuç değerine ait toplam belirsizlik Eşitlik 3.14 ile belirlenmekte olup aşağıda ifade edilmiştir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.14)$$

Diğer deneyler için yapılan hata hesapları, Ek A.1'de sunulmuştur. Bu çalışmada hataya sebep olan büyüklükler; sentetik çarpan jet hızı, akışkan sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı gibi ölçme hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Hata analizi hesaplamaları her bir deney için tek tek yapılmış olup Ek.A'da tablo olarak verilmiştir. Tabloda, her deney grubunun hata oranları sunulmuştur. Farklı Reynolds sayılarına ve H/D ve diğer parametrelere sahip deneylerde, belirsizliklerin değişkenlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmadaki tüm deneylerin değerlendirilmesi sonucunda ortalama belirsizliğin yaklaşık olarak,

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \pm 6,27 \quad (3.15)$$

olduğu görülmüş ve Eşitlik 3.15 ile belirtilmiştir. Bu oran, deneysel belirsizlik sınırları içinde kabul edilebilir bir düzeydedir.

3.10 Sonuçlar

Deneylerde ölçülen sıcaklıklar yardımıyla silindirik levha yüzeyindeki ısı geçişi hesaplanmıştır. Test düzeneğinde ölçülen sıcaklıkların zaman ortalamaları alınarak hedef yüzey üzerinde bulunan termoelemanlar yoluyla sıcaklık ölçüm sonucu Nu sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama sıcaklıklarla birlikte, belirlenen Re sayılarında, her jet çarpma mesafesinde H/D ve her bir frekans ve genlik için çevrim-ortalama Nusselt sayıları halkasal sentetik çarpan jet akışı için hesaplanmıştır. Sürekli jet çarpmasında elde edilen sıcaklıklar vasıtasıyla H/D oranı göz önünde bulundurularak ortalama sürekli çarpan jet Nusselt sayıları da ayrıca hesaplanmıştır.

Isı transferi hesaplamaları sonucu elde edilen durum boyutsuz büyüklüklere bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Sentetik jet parametrelerine bağlı artan genlik ve frekanslar ile azalan H/D oranlarında ısı transferinde iyileşme gözlemlenmiştir. $H/D=8$ için yapılan değerlendirmede, düşük genliklerde ısı transferinde fazla artışın olmadığı, yüksek genliklerde ısı transferinde daha fazla artışın olduğu görülmüştür.

$H/D=2$ için yapılan değerlendirmede, düşük genlik değerleri için yapılan çalışmalarda ısı transferinde kayda değer bir artışın olmadığı gözlemlenmiştir. $H/D=8$ mesafesinde olduğu gibi $H/D=2$ için yüksek genlik değerlerinde ısı transferinde önemli değişimler belirlenmiştir. Düşük frekans ve yüksek genliğin olduğu durumda ($A_0=1.4$) sentetik jet oluşumuyla birlikte kayda değer bir iyileşme olduğu görülmüştür. Yüksek genlik ve en düşük frekans değerleri için sentetik jet akışına bağlı çarpma mesafenin en küçük olduğu $H/D=2$ durumda ısı transferinde daha fazla bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, halkasal lüle ile sentetik çarpan jet uygulaması için önemli bir ısı transferi iyileşme oranı olarak kabul edilmiştir.

Sonuç olarak bu deneysel çalışmadan elde edilen parametrelere göre, sürekli çarpan jet ve sentetik çarpan jet akışı karşılaştırıldığında, sentetik halkasal jetin uygun parametrelerle birlikte daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür. Hem eş eksenli halkasal lüle kullanılması hem de hedef yüzeye sentetik jet akışının çarptırılması ısı transferinde kayda değer artış sağlamıştır. Günümüzde kritik öneme sahip cihazların etkin bir şekilde soğutulması için ısı transferi ile ilgili iyileştirme teknikleri önemli ölçüde araştırılmaktadır. Bu anlamda, türbülanslı halkasal-sentetik jet kullanılması ile ısı transferinin kayda değer bir oranda artırılabilceği değerlendirilmiştir. Sentetik çarpan jetlerin bu tip çalışmalar için güvenilir bir şekilde uygulanabileceği öngörülmektedir.

4. SAYISAL ÇALIŞMA

4.1 Giriş

Bu bölümde sürekli çarpan jet akışı dikkate alınarak eş eksenli halkasal lülenin dairesel düz levha üzerine çarpması ile meydana gelen ısı transferi sayısal olarak incelenmektedir. Sayısal çözümde, sonlu hacimler metoduna göre çözüm yapan FLUENT yazılım programı kullanılmaktadır. Sonlu Hacimler Metodu diğer numerik yaklaşımlarda olduğu gibi problemi küçük parçalara ayırarak çözüm yöntemi sunmaktadır. Sonlu hacimler yöntemi, kontrol hacmi esaslı bir teknik kullanarak eşitliklerin ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Geometriye uygun ağ yapısı, simetrik kısımların ifade edilmesi ve sınır şartlarının girilmesi ile ısı geçişi parametrelerinin en doğru şekilde elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada sıkıştırılamaz olarak kabul edilen hava akışı, türbülanslı akış şartlarında sürekli akış ve zamana bağlı jet çarpması için çözülmüştür.

Yapılan çalışmada sürekli ve periyodik çarpan jet akışı ile sabit ısı akısına sahip ($q'' = 1200 \text{ W/m}^2$) dairesel düz levha yüzeyindeki ısı geçişi belli parametreler için akış şartlarına göre sayısal olarak incelenmektedir. Sayısal çözümde problem ön çalışmalarda iki boyutlu, nihai çalışmalarda ise üç boyutlu olarak dikkate alınmıştır. Sayısal çözüm kullanılarak ısı transferi mekanizmasının açık bir şekilde gözlemlenmesi sağlanmıştır. Sayısal çözümlerle elde edilen hız, sıcaklık gibi sonuçlar deney sonucunda meydana gelen parametrelerle karşılaştırılarak yapılan çözümün doğruluğu kontrol edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır.

4.2 Çözüm Alanı ve Kullanılan Yöntem

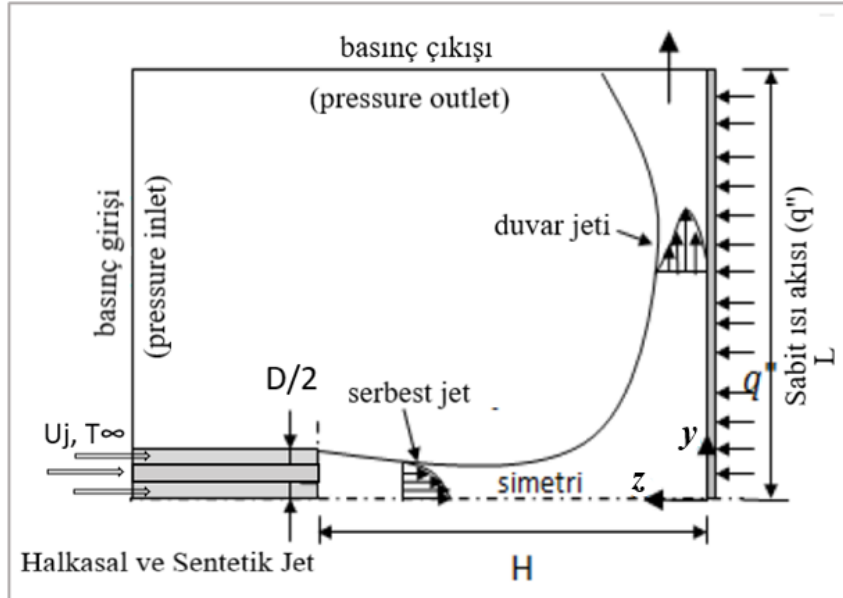
Bu çalışmada sayısal çözüm alanının oluşturulması ve hücrelere bölünmesinde GAMBIT yazılım programı kullanılmıştır. Homojen dağılım elde etmek için üçgen ağ yapısı kullanılmış olup akış alanını analiz edebilecek kadar küçük ağ aralıkları seçilmiştir ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Küçük ağ aralıkları seçilerek sınır tabaka kalınlığının altında ve sıcaklık dağılım gradyanı elde edebilme özelliği kazandırılmıştır.

Sayısal çözümlerde, ayrık çözüm algoritması kullanılmaktadır. Şekil 4.3’te sayısal çözüm alanını üç boyutlu gösterilmiştir. Basınç ve hız arasındaki ilişki SIMPLE

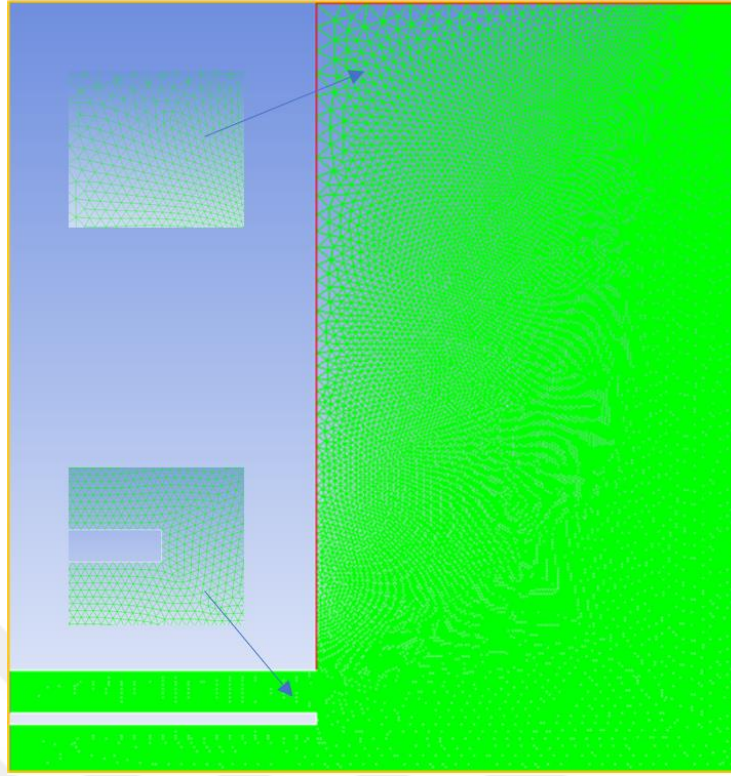
(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) algoritması ile ele alınmaktadır. Basınç ve momentum ifadeleri ikinci dereceden ileri fark denklemleri ile ayrıklaştırılmaktadır. Denklem setinin çözümünde, ardışık iki iterasyon arasında bağıl hatanın azalmasıyla birlikte çözümler yakınsamaktadır. Bu çalışmada yakınsama kriteri olarak enerji denklemi için 10^{-9} momentum ve kütle denklemleri için ise 10^{-6} değeri dikkate alınmıştır.

4.3 İki Boyutlu Çalışmalar

İki boyutlu çalışmalarda aksel simetri mevcut olduğundan, 360 derece döndürülmüş yüzeyi temsil eden bir dilim alınarak eksen etrafında asimetric olarak çözülmüştür. İki boyutlu çalışmada, sayısal çözümün geometrik büyüklükleri ile ağ yapısı ve sayısal çözüm alanı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Sayısal çözümün geometrik büyüklükleri ifade edilirken sabit ısı akısı, basınç girişi, basınç çıkışı, serbest jet bölgesi, duvar jet bölgesi, U_j , T_∞ , H ve L gibi parametrik değerler dikkate alınarak gösterilmiştir. İki boyutlu çalışmalar sürekli jet durumu için yapılmış olup, iç ve dış jetlerin Reynolds sayılarına bağlı olarak genel performansları değerlendirilmiştir. İç ve dış jet akışlarında farklı Reynolds sayılarında hedef yüzey üzerinde farklı ısı transferi karakteristikleri göstermiştir.



Şekil 4.1. Sayısal çözümün geometrik büyüklüklerin gösterimi (2d).



Şekil 4.2. Ağ yapısı ve sayısal çözüm alanı.

4.3.1 İki boyutlu çalışmalarda ağ bağımsızlığı

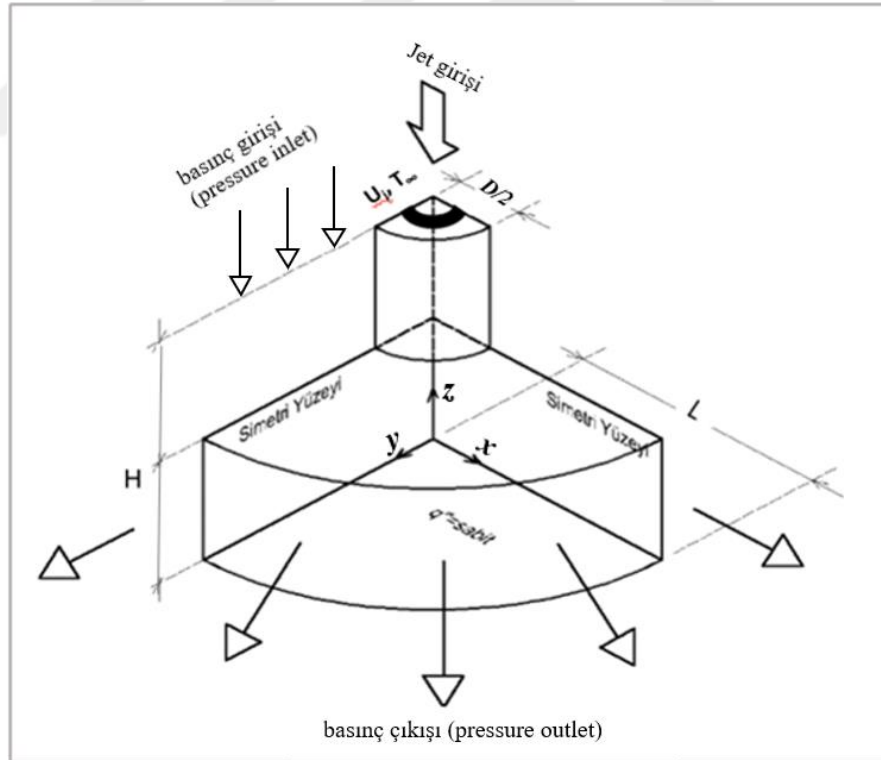
Yapılandırılmamış üçgen ağ yapısı sınır tabakada en ince olmak kaydıyla giderek uzaklaşan bölgelerde sıklığı azalacak şekilde ağ yapısı benimsenmiştir. (Bkz. Şekil 4.2). Giriş lülede ve sınır tabakada çok daha ince ağ yapısı kullanılmıştır. Çarpma yüzeyinin hemen bitişiğinde güçlü hız ve sıcaklık gradyanları mevcuttur. Ağ bağımsızlığı araştırması için dört farklı sayıda ağ yapısı kullanılmış ve elde edilen Nusselt sayıları ile ağ sayıları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Hesaplama zamanını kısaltmak için en optimumum durum olan 77.315 sayısındaki ağ kullanılmıştır. İki boyutlu çözümler sonucu elde edilen Nusselt sayıları Ek.B’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ağ bağımsızlığı için yapılan çalışmalar (2d) $Re=6000$.

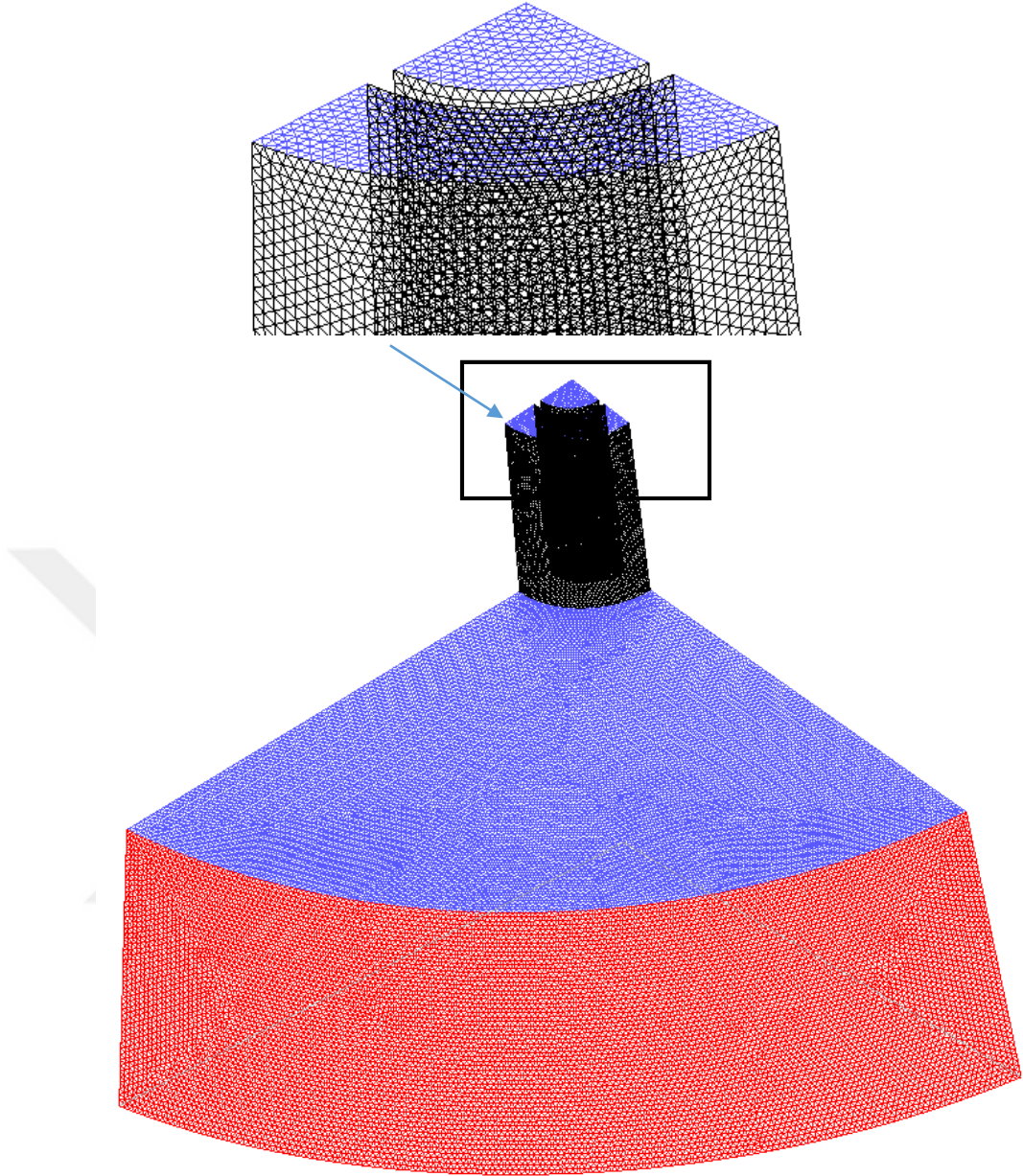
	Ağ sayısı	Nusselt sayısı
1	12.426	288,25
2	49.300	318,21
3	77.315	319,93
4	308.630	319,23

4.4 Üç Boyutlu Çalışmalar

Üç boyutlu çalışmalar eksenel simetri ve hesaplama zamanı dikkate alınarak simetri eksenlerinden bölünmüş ve akış alanını temsil eden çeyrek dairelik dilim üzerinden yapılmıştır. Deneysel geometriye bağlı olarak çözüm alanın ölçüleri belirlenmiştir. Hedef yüzey dairesel olduğu için eksenel simetriler (simetri. y) ve (simetri. z) göz önüne alınmıştır. Üç boyutlu ve eş eksenli halkasal lüle açısı α yönüne göre simetriye sahip olduğundan çözüm alanı olarak lülenin dörtte biri (çeyrek dilimi) dikkate alınmıştır. Çözüm alanının boyutları H/D oranına göre H mesafesi ve D , çap ya da hidrolik çap olarak belirlenmiştir. Sayısal çözümün geometrik büyüklükleri Şekil 4.3'te üç boyutlu (3d) olarak verilmiştir. Burada simetri yüzeyleri, ısı akısı, hedef yüzey uzunluğu ve mesafeler belirtilmiştir. Ayrıca şekil üzerinde çarpan jet girişi, U_j , T_∞ gibi parametrelerde belirtilerek üç boyutlu gösterimi detaylandırılmıştır. Üç boyutlu çalışmada ağ yapısı ve simetrik eksenle sayısal çözümün alanındaki ağ dağılımı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sayısal çözümün geometrik büyüklüklerin gösterimi (3d).



Şekil 4.4. Ağ yapısı ve sayısal çözüm alanının simetrik ekseninde gösterimi.

4.4.1 Üç boyutlu çalışmalarda ağ bağımsızlığı

Yapılandırılmamış üçgen ağ yapısı sınır tabakada en ince olmak kaydıyla giderek uzaklaşan bölgelerde sıklığı azalacak şekilde ağ yapısı benimsenmiştir. (Bkz. Şekil 4.4). Giriş lülede ve sınır tabakada çok daha ince ağ yapısı kullanılmıştır. Çarpma yüzeyinin hemen bitişiğinde güçlü hız ve sıcaklık gradyanları mevcuttur. Şekil 4.4'te kullanılan üç boyutlu üçgen ağ elemanların kanal duvarına yakın büyütülmüş görüntüsü verilmektedir. Ağ bağımsızlığı araştırması için dört farklı sayıda ağ yapısı kullanılmış ve elde edilen Nusselt sayıları ile ağ sayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Hesaplama zamanını kısaltmak için en optimumum durum olan $H/D=2$ için, 2.355.535 sayısındaki ağ kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Ağ bağımsızlığı için yapılan çalışmalar (3d) $Re=6000$.

	Ağ sayısı	Nusselt sayısı
1	334.524	196,18
2	1.060.599	220,41
3	1.547.272	205,32
4	2.355.535	204,55
5	3.526.727	204,69

Üç boyutlu çalışmalarla akış alanı içerisinde hız dağılımı, sıcaklık dağılımı ve bir partikülün izlediği yol elde edilerek ısı geçiş mekanizması hakkında yorumlar yapılmıştır. Deneysel ölçümlerde ortalama değerlerden gidilerek bir sonuca ulaşılırken, sayısal çözümde, belirlenen zaman aralıklarında akış görüntülerine, desenlerine ulaşarak anlık değişimler izlenebilmekte ve akış hakkında detaylı inceleme yapılabilmektedir. Bu durum akış fiziğini yorumlama açısından geniş imkanlar sunmaktadır.

4.5 Matematik Model

Bir piston-silindir düzeneği ile sinüzoidal olarak hareket ettirilen eş eksenli halkasal lüleden çıkan periyodik hız değişimlerine maruz sıkıştırılamaz bir akış için, momentum akışında bir artış meydana gelmesiyle birlikte fiziksel özellikleri sabit kabul edilip ve viskoz yayılım etkisi ihmal edilerek momentum, kütle ve enerjinin korunumu denklemleri Eşitlik 4.1, 4.2, 4.3 ile verilmiştir. Burada u , v sırasıyla x , y yönündeki hız bileşenlerini göstermektedir. Sıcaklık T ve dinamik basınç p ile gösterilmiştir. Matematiksel formülde u' , T' gibi terimler türbülans gerilmelerini, ρ (yoğunluk), c_p (özellik ısı) ve k (ısı iletim katsayısını) göstermektedir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (4.2)$$

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (u_i T)}{\partial x_i} \right] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{u_i' T'} \right) \quad (4.3)$$

Türbülans modeli olarak k - ε türbülans modeli seçilmiştir. Literatürde çarpan jet akışları için bu model sıklıkla kullanılmıştır. Bu model seçilerek karmaşık türbülanslı akışlarda güvenilir ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle türbülanslı halkasal çarpan jet akışlarında bu modelin başarılı sonuçlar verdiği literatürde de belirtilmiştir (Ahmed, 2016; Afroz ve Sharif, 2018).

4.6 Türbülans Modeli

Türbülans, akışkanın hareketindeki kararsızlık ve düzensizlik halinin tanımıdır. Geniş bir türbülans akışı yelpazesi için güç, maliyet etkinliği ve kabul edilebilir doğruluk ve endüstriyel akışlardaki popülaritesi ve ısı transferli simülasyonlar, bu çalışma için RNG k - ε standardının seçilmesine neden olmuştur. En basit tam türbülans modelleri, türbülans hızını ve boyuna ölçekleri bağımsız olarak belirlemek için iki ayrı transfer denkleminin çözüldüğü iki denklem modelidir.

RNG k - ε türbülans modeli, akışın türbülans kinetik enerjisine etki eden mekanizmaların çözümlenmesi esasına dayalıdır. Modelde türbülans kinetik enerjisi k ve kinetik enerjinin sönümlenme oranı ε ; aktarım, yayılım, üretim ve yıkım terimleri ile ifade edilmektedir. RNG k ve ε taşınım denklemleri çözümlenerek türbülans viskozitesi dinamik olarak modellenmektedir.

RNG k - ε türbülans modelinde k - ε standart modelinin zayıf yönlerinin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. İstatistiksel yaklaşımlardan yararlanılan modelde, küçük boyutlu türbülans hareketleri korunum denklemlerinden filtrelenerek etkileri daha büyük ölçülerdeki hareketler içerisinde tanımlanmaktadır. Ayrıca, yeteri kadar iyi modellenmediği düşünülen ε denklemi yeniden düzenlenmiştir. (Pavlovich ve Victorovich, 2013). Literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırmalar sonucu en iyi uyumun RNG k - ε türbülans modeli olduğu gözlemlendiğinden bu çalışmada RNG k - ε türbülans modeli seçilmiştir. (Mishra ve Aharwal, 2018).

4.7 Sınır Şartları

Sayısal çözüm için ANSYS Fluent yazılım programı kullanılmıştır. Halkasal lülenin girişinde “*hız sınır şartı*” verilmiştir. Hız fan çıkışında kullanılmak üzere bulunan debi ölçer yardımıyla ölçülmüş olup prob vasıtasıyla doğrulanmıştır. Jet girişinde zamana bağlı hız profili Eşitlik 4.4 ile ifade edilmektedir.

$$u = U_0 [1 + A_0 \sin(\omega t)] \quad (4.4)$$

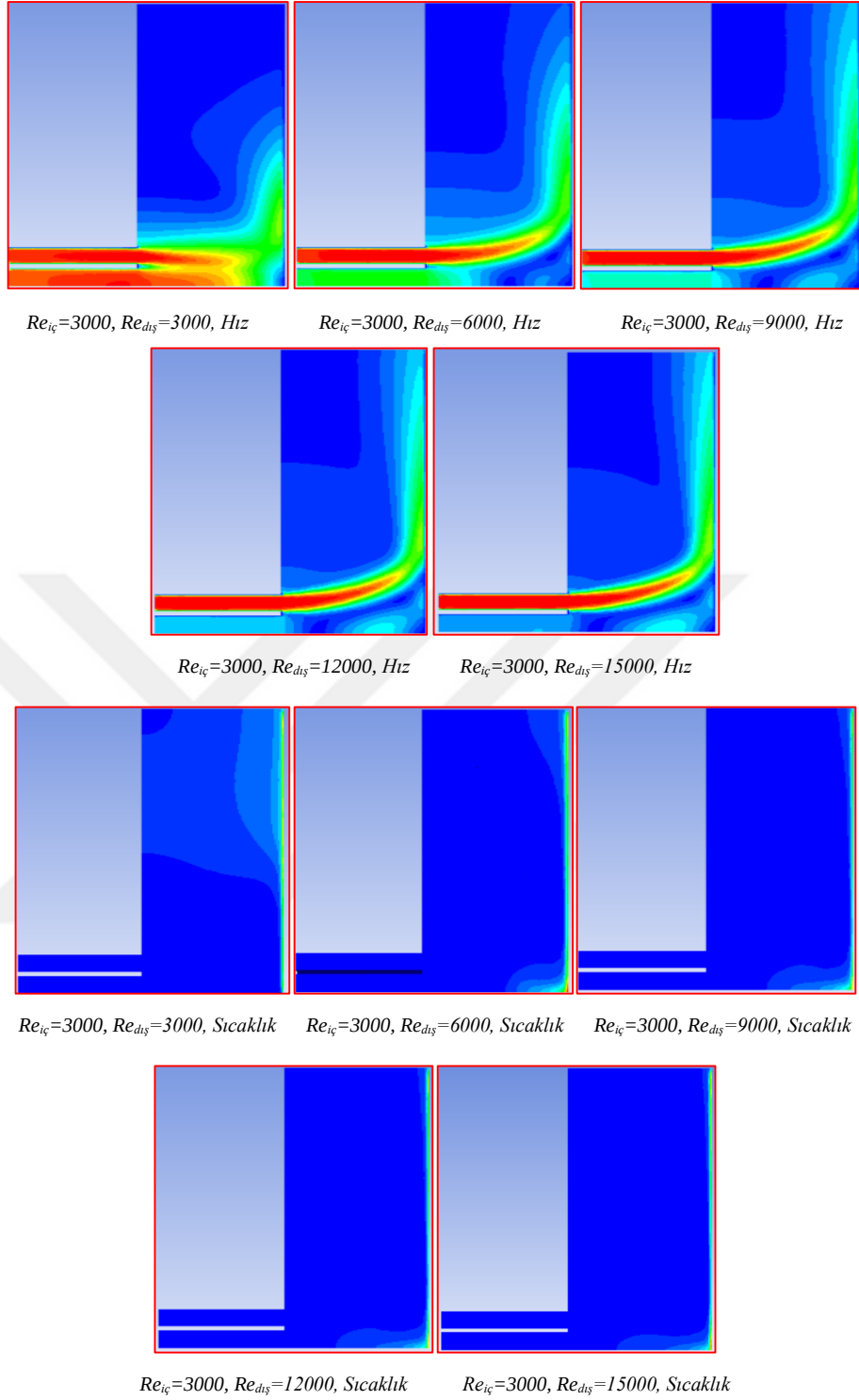
Burada, A_0 boyutsuz genlik ve ω ise titreşim frekansını göstermektedir. Dairesel hedef yüzey üzerinde “*sabit ısı akısı sınır şartı*” uygulanmıştır. Eş eksenli halkasal jet, sürekli çarpan jet ve sentetik çarpan jet akışı olmak üzere üç farklı durum göz önüne alınmıştır. Giriş ve hedef yüzey dışındaki diğer kısımda “*basınç çıkışı sınır şartı*” uygulanmıştır. Hedef yüzeyin tam karşısında olan kısımlar “*basınç girişi*” olarak tanımlanmıştır. Yapılan sayısal çalışmada, deneyde kullanılabilecek ısı transferi parametrelerini en iyi tanımlayacak şekilde kabuller yapılmaktadır. Deneylerde kullanılan değişken sayısının fazla olmasından dolayı, sayısal çözümde sınırlı sayıda çözümlemeler yapılmıştır. Problemden kullanılan ağ sayısının fazla olması, zamana bağlı çözümlerde yakınsama problemleri nedeniyle düşük zaman adımı ve ($t=0.01$ s) çözüm zamanının uzun süre almasından dolayı bu yola başvurulmaktadır.

4.8 İki Boyutlu Çalışmalarda Sayısal Çözümün Değerlendirilmesi

Bu bölümde, eş eksenli türbülanslı halkasal lülenin sürekli çarpan jet ve sentetik jet etkisi doğrultusunda hedef yüzey üzerindeki ısı transferi parametrelerinin etkisi Ansys-Fluent programı ile analizi yapılmıştır. Yapılan sayısal çalışmada ısı akısı, Prandtl sayısı, kanal geometrisi sabit tutularak farklı kombinasyonlarda $Re_{iç}$ ve $Re_{dış}$ değerleri için akış parametrelerinin ısı transferine etkisi araştırılmıştır.

- **H/D=2 Mesafesindeki Sıcaklık ve Hız Konturları:**

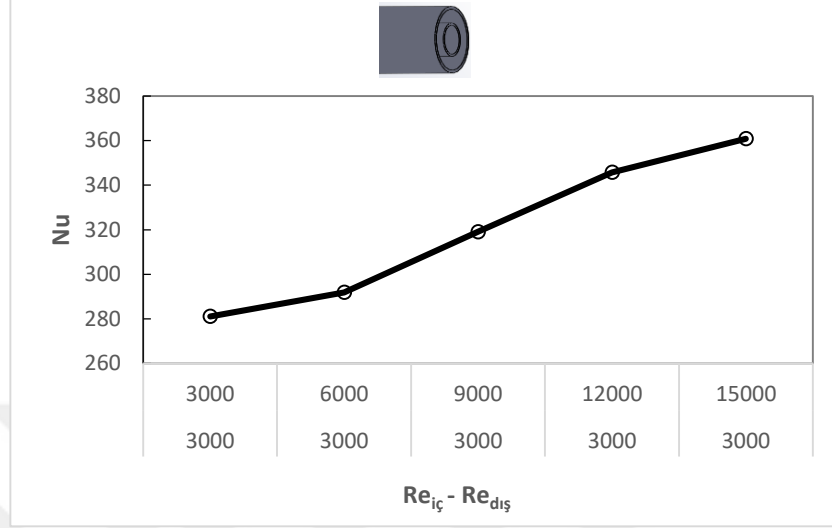
$Re_{iç}$ sayısının 3000 olduğu durumda dış akıştaki farklı Reynolds sayısına göre, akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

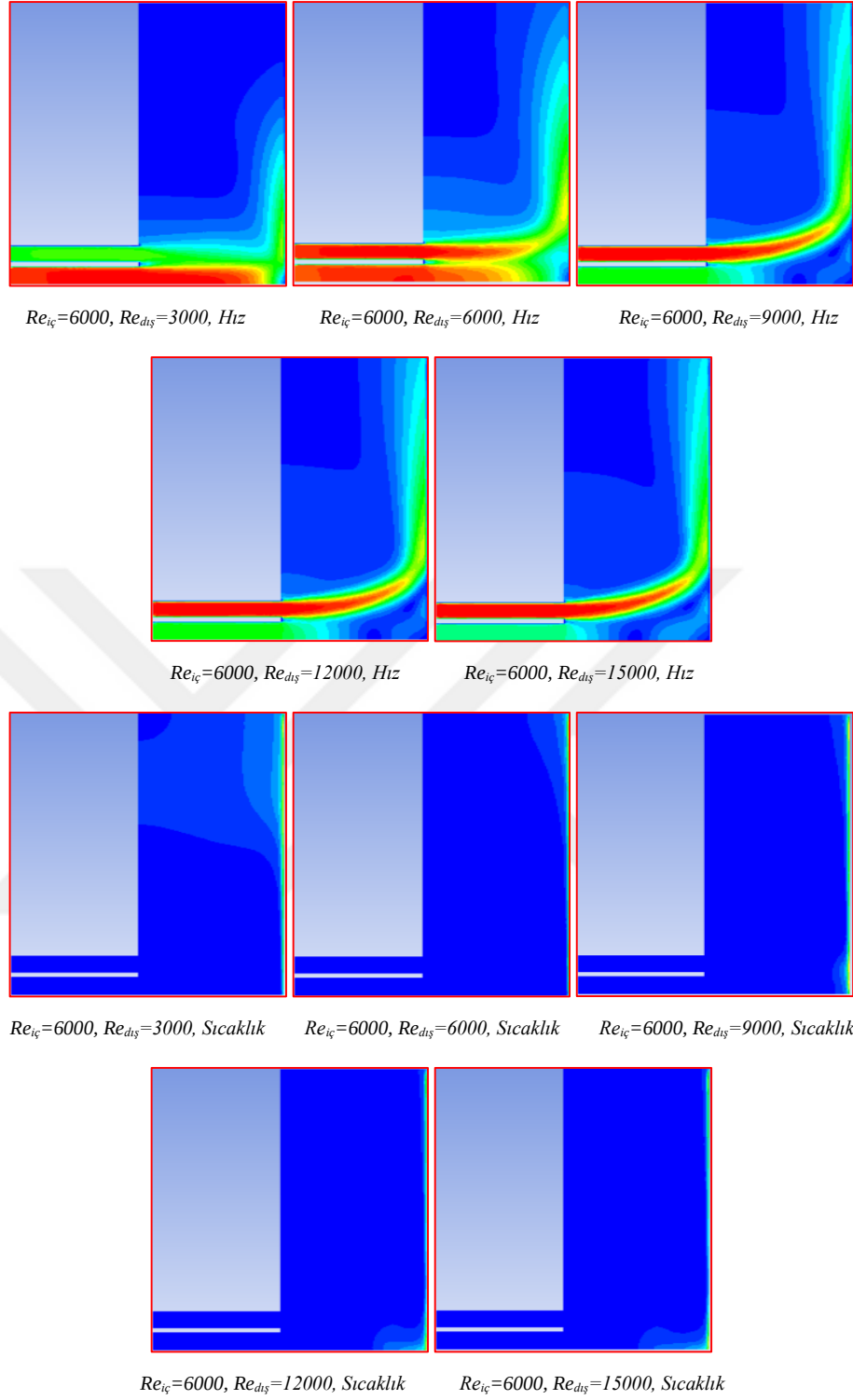
Bu sayısal çözümde, en düşük Re_{ik} sayısının 3000 olduğu durum için $H/D=2$ mesafesindeki ısı transferi parametreleri elde edilmiştir. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak Re_{ik} sabit ve $Re_{dış}$ farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları verilmiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık

konturları analiz edilmiştir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.6. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=3000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.

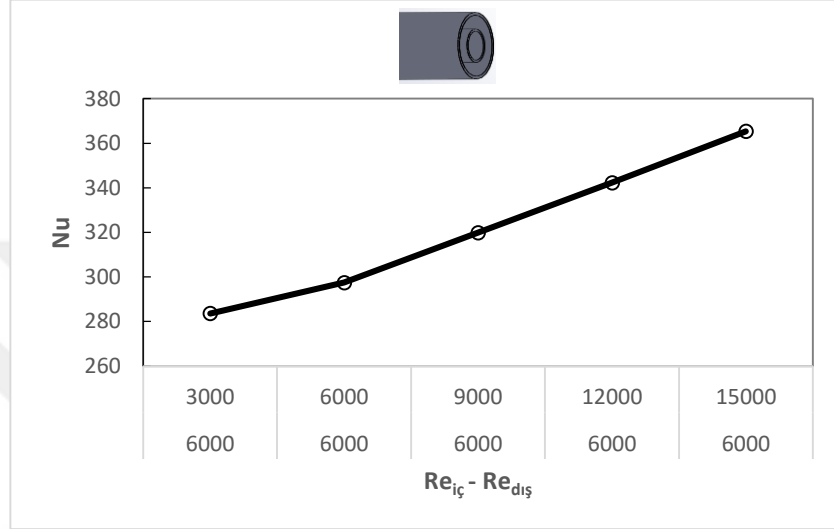
$Re_{iç}$ sayısının 6000 olduğu durumda bir çevrim boyunca akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

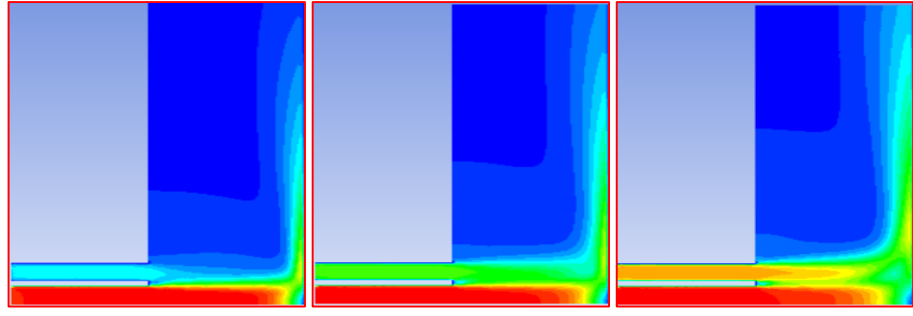
Bu sayısal çözümde, en düşük Re_{ic} sayısının 6000 olduğu durum için $H/D=2$ mesafesinde sayısal analiz yapılmıştır. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak Re_{ic} sabit ve $Re_{dış}$ farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları verilmiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık konturları elde

edilmesi ile $Re_{iç}$ sayısının 6000 ve $Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferi elde edilmiştir. Eş eksenli halkasal lüle kullanılması, farklı Reynolds sayıları kullanılmasına ve en iyi Nusselt sayısının elde edilmesini sağlamıştır. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilendiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=6000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.

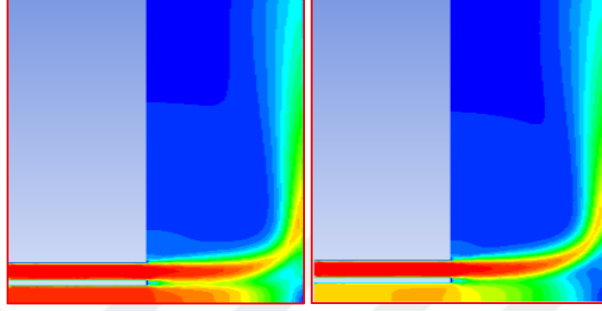
$Re_{iç}$ sayısının 12000 olduğu durumda bir çevrim boyunca akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=3000, Hız$

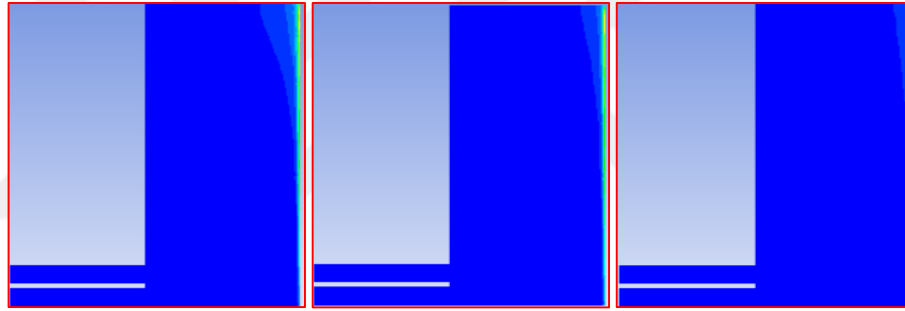
$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=6000, Hız$

$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=9000, Hız$



$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=12000, Hız$

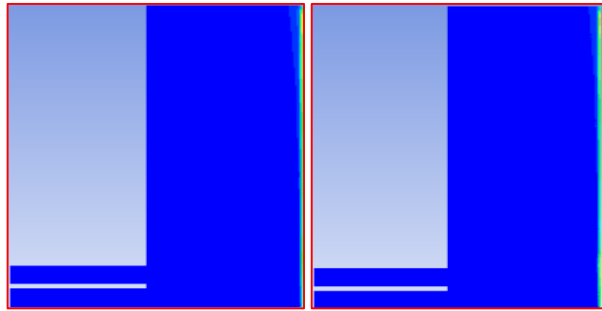
$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=15000, Hız$



$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=3000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=6000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=9000, Sıcaklık$



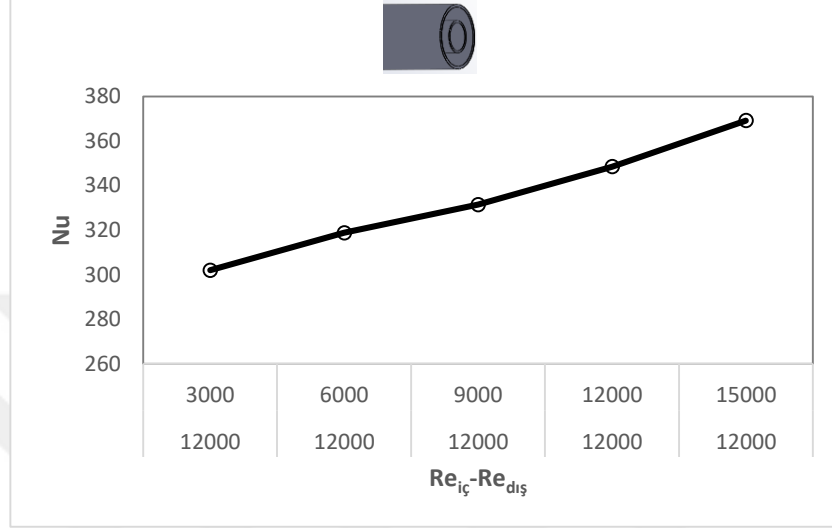
$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=12000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$

Şekil 4.9. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

Bu sayısal çözümde, en düşük Re_{ic} sayısının değeri 12000 olarak kabul edilmiştir. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak Re_{ic} sabit ve $Re_{dış}$ farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları verilmiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık konturları elde edilmesi ile Re_{ic} sayısının 12000 ve

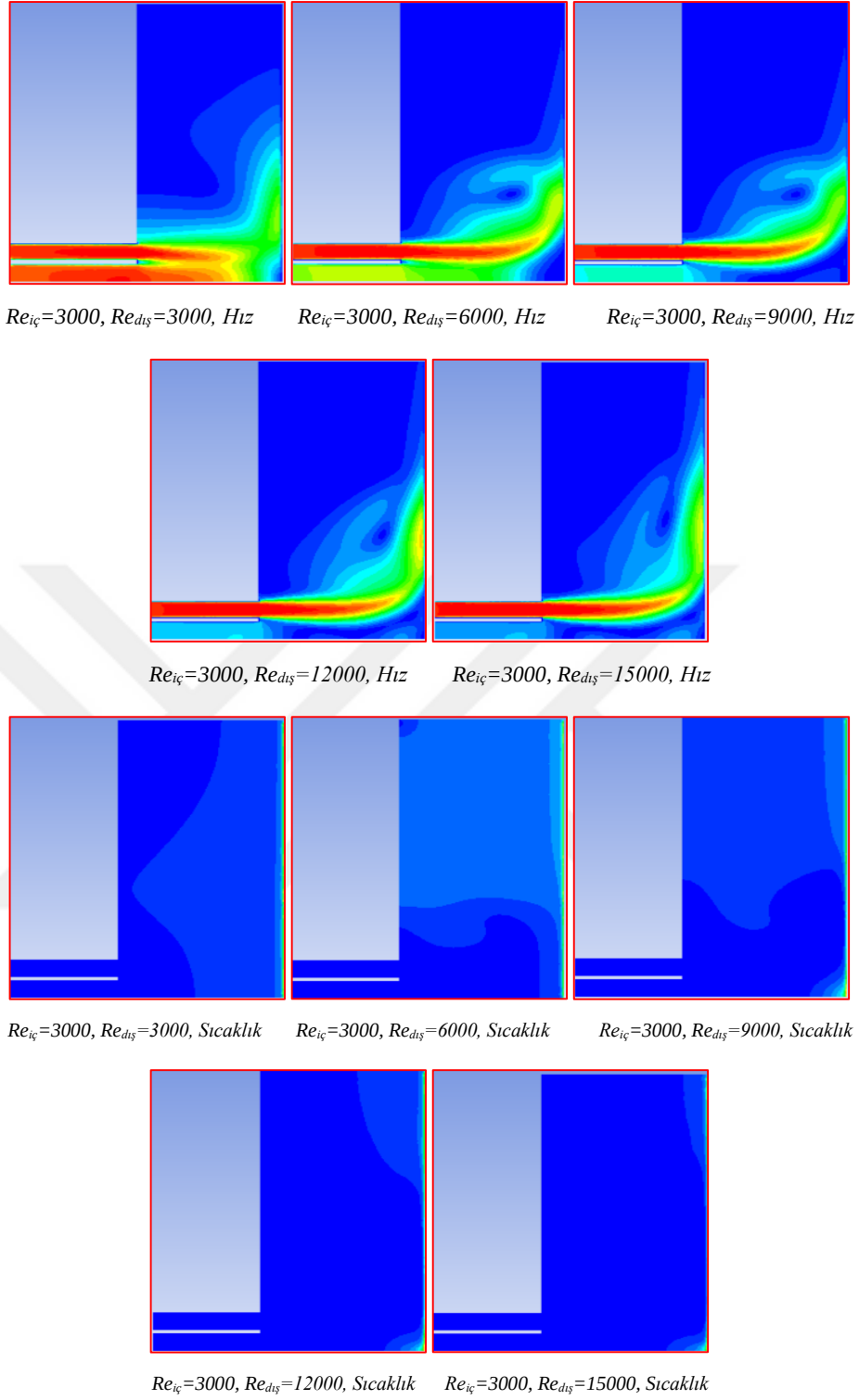
$Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferi elde edilmiştir. Sayısal çözümde farklı Reynolds sayılarına göre çalışma yapılarak hedef yüzey üzerindeki en iyi ısı transferi elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilendiği görülmektedir.



Şekil 4.10. $Re_{iç}=12000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısının değişimi.

- **H/D=4 Mesafesindeki Sıcaklık ve Hız Konturları:**

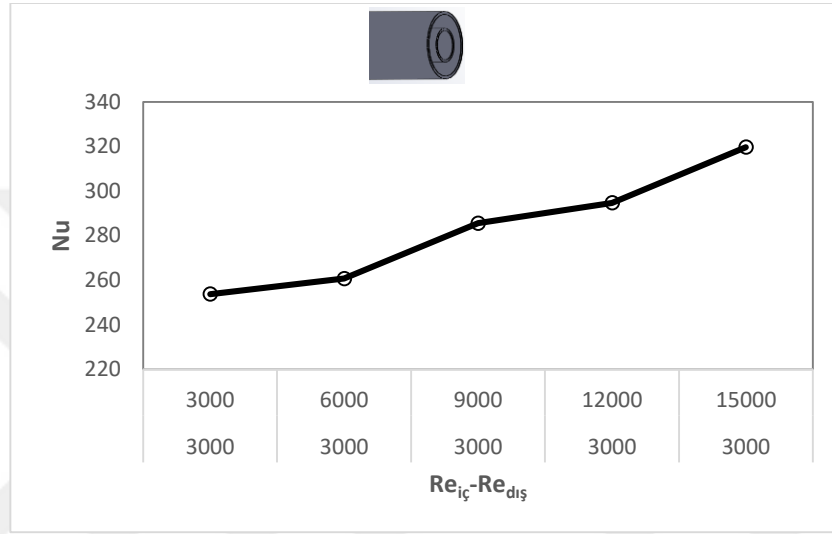
$Re_{iç}$ sayısının 3000 olduğu durumda farklı $Re_{dış}$ için akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

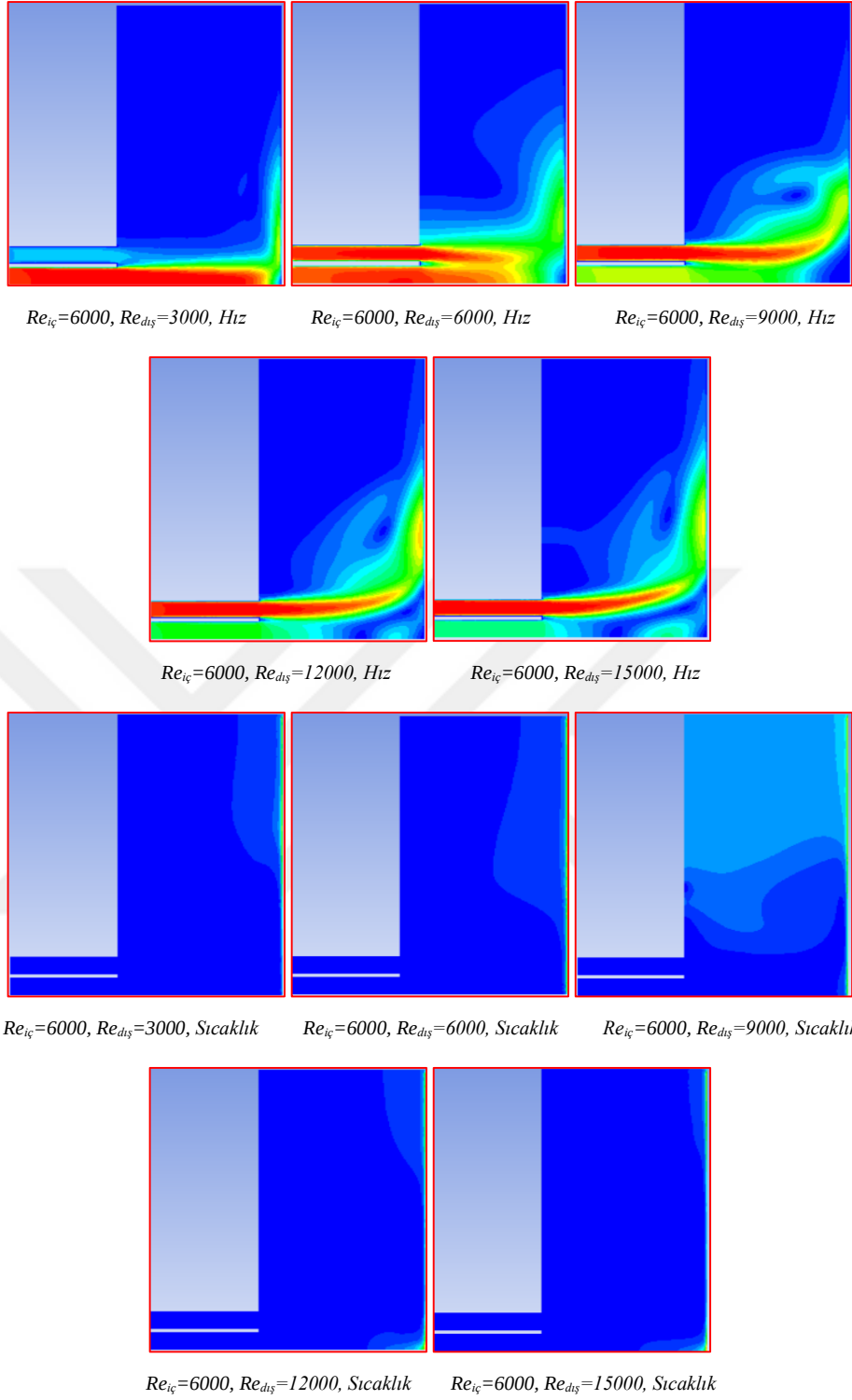
Bu sayısal çözümde, lüle ile hedef yüzey mesafesinin $H/D=4$ olduğu durum için en düşük $Re_{iç}$ sayısının değeri 3000 olarak kabul edilmiştir. Bu mesafede sayısal iki boyutlu sayısal çözümler yapılarak Nusselt sayısının farklı değerleri elde edilmiştir. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak $Re_{iç}$ sabit ve $Re_{dış}$ farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları

verilmiştir. Hedef yüzey üzerinde Reynolds sayısının farkı değerlerine göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi de farklılıklar göstermiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık konturları elde edilmesi ile $Re_{iç}$ sayısının 3000 ve $Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferi elde edilmiştir. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.12. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=3000$ ve $Re_{dış}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.

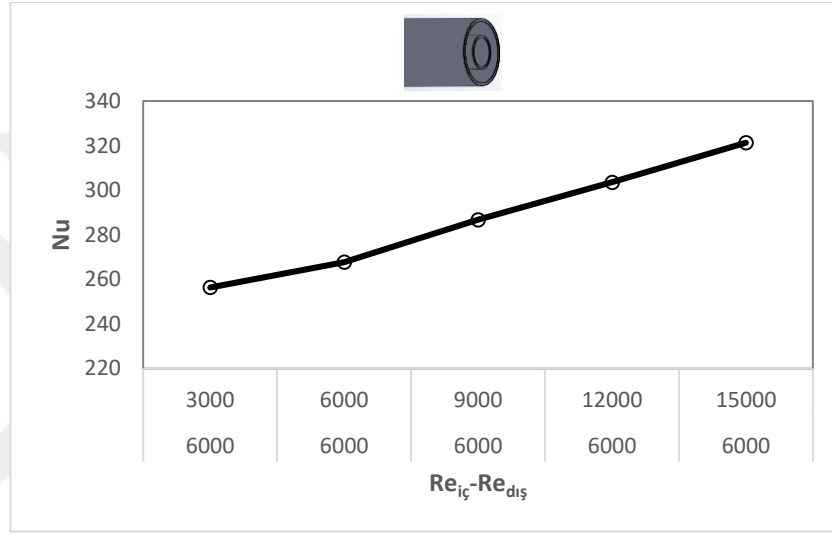
$Re_{iç}$ sayısının 6000 olduğu durumda bir çevrim boyunca akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı $Re_{dış}$ sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

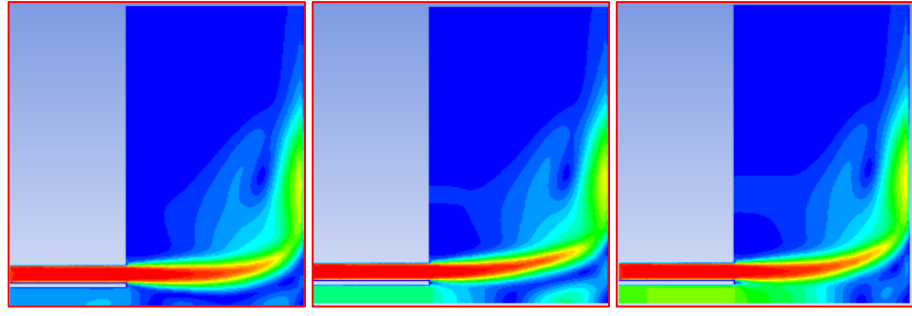
Bu sayısal çözümde, lüle ile hedef yüzey mesafesinin $H/D=4$ olduğu durum için en düşük $Re_{iç}$ sayısının değeri 6000 olarak kabul edilmiştir. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak $Re_{iç}$ sabit ve $Re_{dış}$ farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları verilmiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık

konturları elde edilmesi ile $Re_{iç}$ sayısının 6000 ve $Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferi elde edilmiştir. Bu durum $H/D=2$ ile yapılan sayısal çalışmayla benzerlik göstermiştir. Lüle ile hedef yüzey arasındaki mesafenin azaldığı durumlarda daha iyi ısı transferi dağılımı elde edilmiştir. Uygun Reynolds sayısı değerlerinin kullanılması ve hedef yüzey mesafesinin en az olduğu durum için hız ve sıcaklık konturları araştırılmıştır. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.14. Halkasal jet akışındaki $Re_{iç}=6000$ ve $Re_{dış}=3000, 6000, 9000, 12000, 15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.

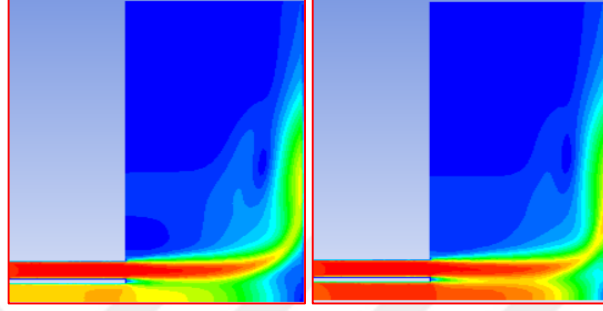
$Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda farklı $Re_{iç}$ için akış alanındaki hız ve sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



$Re_{ic}=3000, Re_{dış}=15000, Hız$

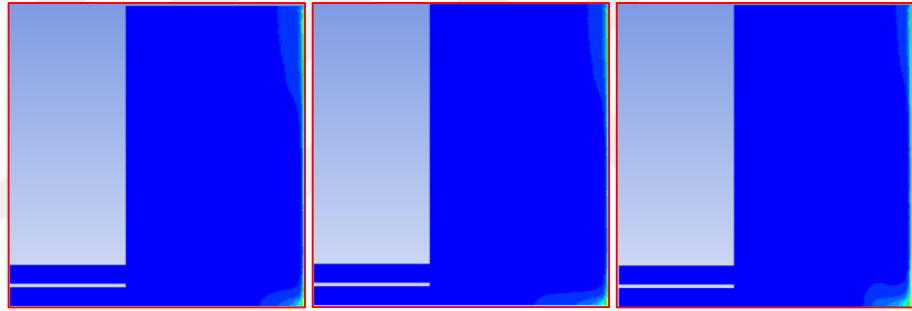
$Re_{ic}=6000, Re_{dış}=15000, Hız$

$Re_{ic}=9000, Re_{dış}=15000, Hız$



$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=15000, Hız$

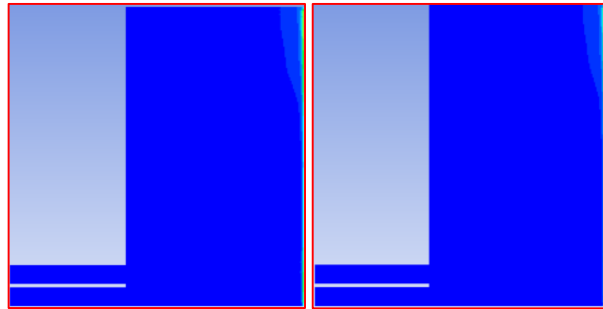
$Re_{ic}=15000, Re_{dış}=15000, Hız$



$Re_{ic}=3000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=6000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=9000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$



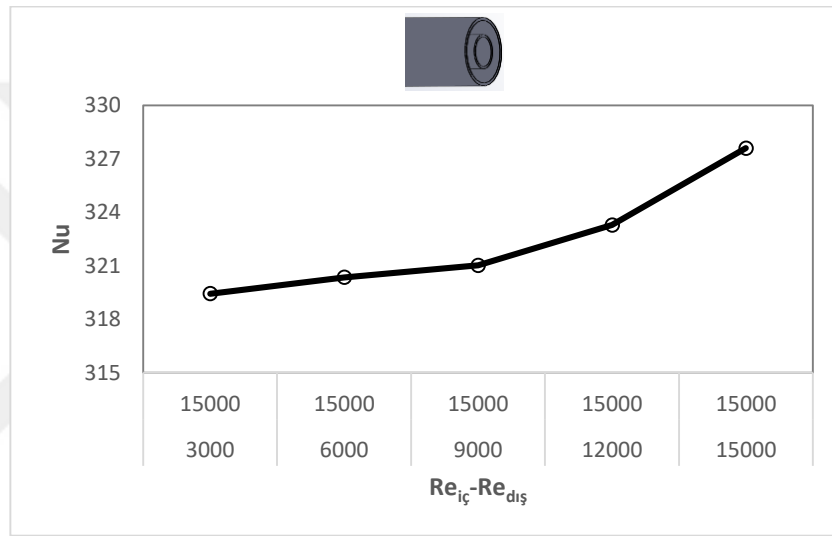
$Re_{ic}=12000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$

$Re_{ic}=15000, Re_{dış}=15000, Sıcaklık$

Şekil 4.15. Farklı Re_{ic} sayılarına göre hız ve sıcaklık konturlarının değişimi.

Bu sayısal çözümde, lüle ile hedef yüzey mesafesinin $H/D=4$ olduğu durum için en düşük Re_{ic} sayısının değeri 12000 olarak kabul edilmiştir. Reynolds sayıları üçer bin artırılarak $Re_{dış}$ sabit ve Re_{sabit} farklı kombinasyonlarında analizi yapılmıştır. Burada belli aralıklardaki hız ve sıcaklık dağılımının konturları verilmiştir. Reynolds sayısının üç bin, altı bin, dokuz bin, on iki bin ve on beş bin değerleri için anlık hız ve sıcaklık

konturları elde edilmesi ile $Re_{iç}$ sayısının 15000 ve $Re_{dış}$ sayısının 15000 olduğu durumda hedef yüzey üzerinde en iyi ısı transferi elde edilmiştir. Aynı Reynolds sayıları için $H/D=2$ mesafesi ile karşılaştırıldığında daha düşük Nusselt sayısı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hedef yüzey ile lüle arasındaki mesafe arttıkça ısı transferinde azalma meydana geldiğini göstermiştir. Bu da en iyi ısı transferinin lüle ile hedef yüzey arasındaki mesafenin azaldığı ve uygun Reynolds sayısı parametrelerinin seçilmesi durumunda oluştuğunu göstermiştir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile Nusselt değerinin arttığını ve hedef yüzeydeki sıcaklık alanının etkilediği görülmektedir.



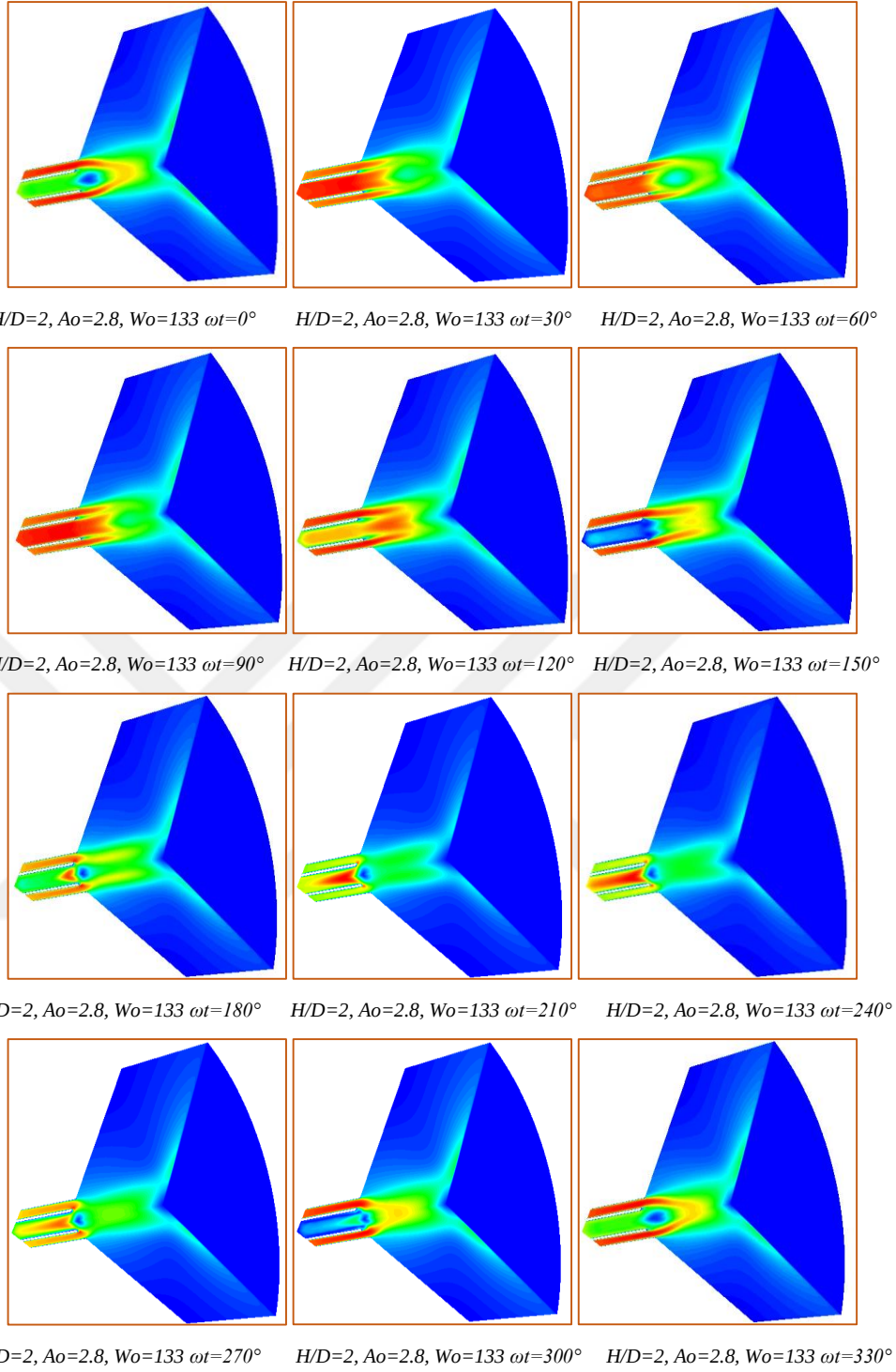
Şekil 4.16. $Re_{dış}=15000$ ve $Re_{iç}=3000,6000,9000,12000,15000$ değerleri için Nusselt sayısı değişimi.

4.9 Üç Boyutlu Çalışmalarda Sayısal Çözümün Değerlendirilmesi

Bu bölümde iki boyutlu sayısal çözümlere benzer şekilde eş eksenli türbülanslı halkasal lülenin hedef yüzey üzerindeki ısı transferi parametrelerinin FLUENT programı ile analizi yapılmıştır. Yapılan üç boyutlu çalışmada ısı akısı, Prandtl sayısı, kanal geometrisi sabit tutularak çarpan jetin hedef yüzey üzerindeki ısı transferine etkisi araştırılmıştır. Hedef yüzeye çarpan bir jetin neden olduğu etkiler, akış alanında periyodik bir karakteristik yaratır ve bu da ısı transferini periyodik olarak değiştirir. Bu nedenle, ısı transferi analizi için bir çevrim boyunca meydana gelen ısı değişimleri temel alınır. Bu çevrim boyunca meydana gelen olayları açıklamak için faz açıları kullanılır. Bu faz açıları ωt ile $\tau = \omega t = 2\pi$ radyan veya 360 derece olarak ifade edilmektedir. Sayısal sonuçlar analiz edilirken, başlangıç

koşullarının etkisinden kurtulabilmek için sistemin kendi içinde periyodik olması beklenmektedir. Bu amaçla, yeterince uzun bir süre boyunca bir çevrimi temsil eden çözümler üretilmekte ve elde edilen sonuçlar daha sonra detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bir çevrimin temsil edildiği çözümler, yeterince uzun bir zaman dilimini ($t = 3600$ sn) kapsamak üzere hesaplanmakta ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmektedir. Hesaplama sürecinde kullanılan zaman adımı ($t = 0,01$ sn) kabul edilmiştir. Halkasal sentetik çarpan jet için sabit mesafe, genlik ve frekans değerlerinde her bir faz açısı için hız konturlarının değişimi Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Halkasal sentetik çarpan jet durumunda, faz açısına bağlı olarak hedef yüzey boyunca sınır tabakadaki hız profilleri görülmekte ve bu hız profilleri faz açısına bağlı değişmektedir.

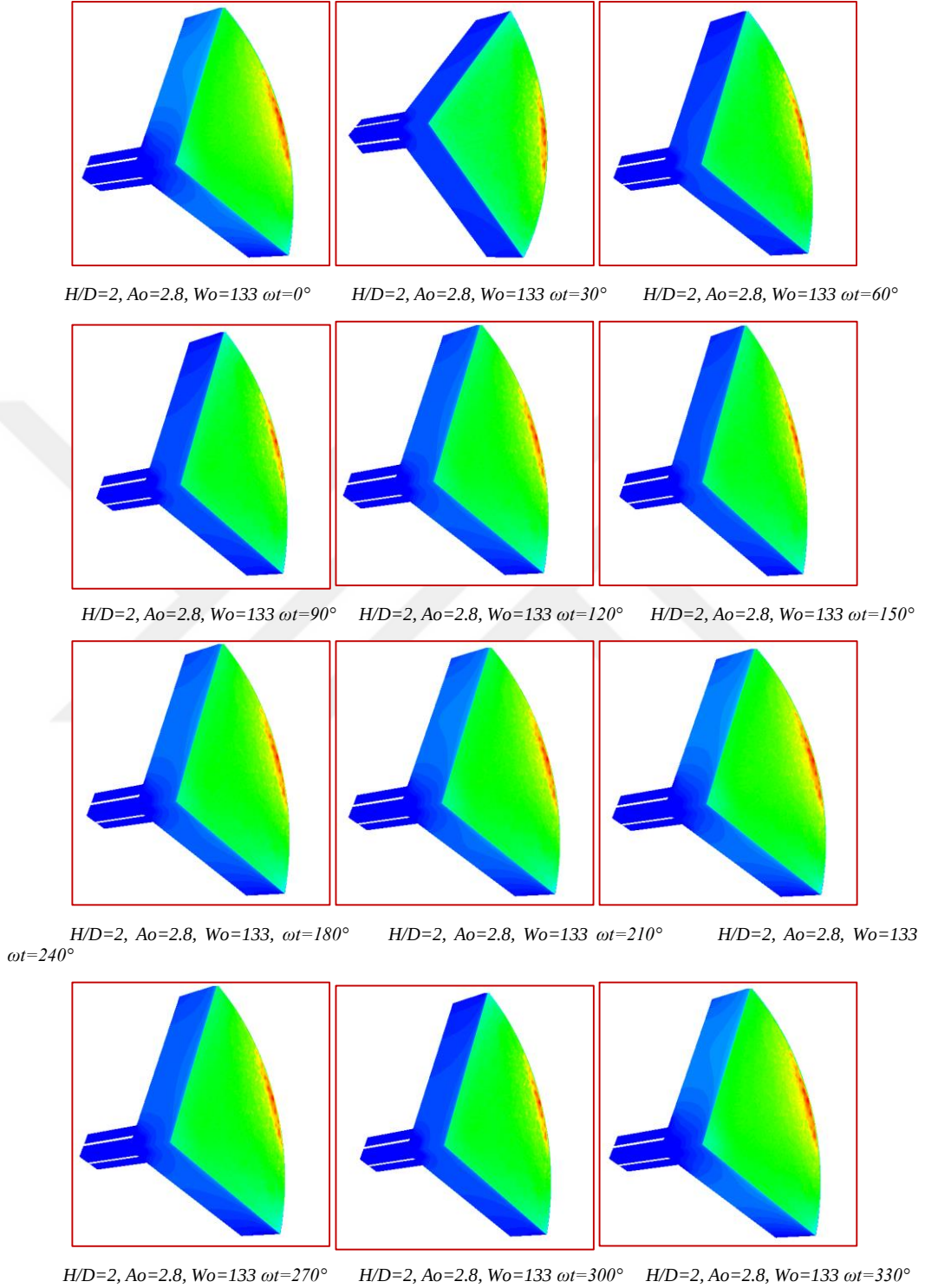




Şekil 4.17. Halkasal sentetik jet akışında sabit mesafe, genlik ve frekans için farklı faz açılara göre hız konturlarının gösterimi ($Re=6000$).

Halkasal sentetik çarpan jet durumunda, faz açısına bağlı olarak hedef yüzey boyunca sıcaklık değişimleri ve bu faz açısına bağlı sıcaklık konturlarının değişimi Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Halkasal sentetik jet akışında hız ve sıcaklık konturları elde edilirken Reynolds sayısı 6000 olarak kabul edilmiştir. Hedef yüzey üzerindeki akış alanı incelendiğinde sabit mesafe, genlik ve frekans değerlerine göre sıcaklık

alanının sürekli değiştiği gözlenmektedir. Deđiřen sıcaklık alanı ve dağılımı, akış karışımlarını artırmakta ve ısı transferinin iyileşmesini sağlamaktadır.



şekil 4.18. Halkasal sentetik jet akışında sabit mesafe, genlik ve frekans için farklı faz açılarına göre sıcaklık dağılımları ($Re=6000$).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sabit ısı akısına sahip ($q'' = 1200 \text{ W/m}^2$) dairesel düz levha yüzeyinin soğutma karakteristiği türbülanslı ve eş eksenli halkasal lüle tarafından deneysel ve sayısal olarak incelenmiş ve dairesel jet akışı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan deney düzeneği vasıtasıyla belirlenen jet parametreleri için hız ve sıcaklık ölçümleri yapılmış olup her bir parametre için Nusselt sayısı değerleri hesaplanmıştır. Sürekli çarpan jet akışı göz önünde bulundurulduğunda hem dairesel jet akışı hem de halkasal jet akışı için dört farklı H/D oranı ve Reynolds sayısı için hedef yüzeyden ısı geçişi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada hem sürekli jet akışı hem de sentetik jet akışı için yüksek basınçlı fan kullanılmış olup, hız ölçer cihazı ile akış hızı kontrol edilmiştir. $H/D = 2, 4, 6$ ve 8 olmak üzere dört farklı H/D oranı için deneyler tekrarlanmıştır. Her bir H/D oranı için farklı Reynolds sayıları kullanılarak halkasal ve dairesel sürekli jet akışı için deneyler yapılmıştır. Elde edilen ortalama Nusselt sayıları boyutsuz parametreler cinsinden ifade edilmiştir. Halkasal sürekli jet akışının dairesel jet akışına göre daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür.

İkinci aşamada, halkasal sentetik jet akışı için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, türbülanslı sentetik çarpan jet akışıyla yüzey soğutulduğu için bakır levhadan oluşan hedef yüzey üzerinde periyodik akış alanı oluşmakta ve ısı geçişi de periyodik olarak gerçekleşmektedir. Halkasal sentetik jet akışı için dört farklı H/D oranı ve üç farklı Reynolds sayısı (6000, 15000 ve 25000) için deneyler yapılarak en uygun Reynolds sayısı tespit edilmeye çalışılmıştır. Piston-silindir düzeneği ile periyodik olarak uyarılan akışın ısı transferi etkileri Reynolds sayısının 6000 olduğu durumda belirgin olarak görülmüştür. Bu kapsamda, halkasal sentetik jet akışında Reynolds sayısı 6000 kabul edilerek her bir H/D oranı için genlik 4 defa ve frekans 6 defa değiştirilerek 96 adet deney yapılmış olup hem sentetik akış hem de sürekli jet akışı için toplamda 216 deney yapılmıştır. Uygun genlik ve frekans değerleri seçilmesi durumunda halkasal sentetik jetin dairesel ve halkasal sürekli jete göre daha iyi ısı transferi sağladığı tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar esas alınarak problem sayısal olarak da farklı Reynolds sayıları ve H/D oranında incelenmiştir. Sayısal çözümlerin yapılmasında FLUENT paket programı kullanılmıştır. Sayısal çözüm alanının oluşturulmasında ve hücrelere

bölünmesinde GAMBİT yazılım programı tercih edilmiştir. Sayısal çözüm, üçgen ağ yapısının fazlalığı ve zaman adımının küçük seçilmesinden dolayı çözüm zamanı çok uzadığından $H/D = 2$ ve $H/D = 4$ mesafeleri için sayısal çalışma yapılmıştır. Sayısal çalışmada hız ve sıcaklık konturları elde edilerek, zamana bağlı değişimleri izlenmiştir. Zamana bağlı hız değişimleri yüzey üzerinde sınır tabaka değişimlerine neden olarak ısı transferinin artmasına sebep olmuştur. Sayısal çözümlerin değerlendirilmesinde deneysel çalışmaya benzer şekilde çevrim boyunca geçen ısı miktarı göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışmayla birlikte elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Sürekli halkasal ve dairesel jet ile hedef yüzey arası mesafenin $H/D = 2$ olduğu durumda ve en yüksek Reynolds sayısında ısı geçişinin en iyi olduğu durum gözlenmiştir.
- Sayısal analizden elde edilen akış görselleri ve sayısal analiz sonuçları, jetin sınır tabakası üzerinde kayda değer bir etki oluşturduğu göstermiştir.
- Halkasal ve dairesel jetlerin levha boyunca etkili olduğu, fakat jet üfleme noktasına yakın bölgede daha belirgin bir etki gösterdiği tespit edilmiştir.
- Yüksek Reynolds sayılarında ana akış hızı, sentetik jet parametrelerini baskıladığı için düşük Reynolds sayısında çalışma yapılmıştır.
- Zamana bağlı sentetik halkasal jet akışında $H/D=2$ için Reynolds sayısının 6000 olduğu durum ile $A_o=1.4$ ve $Wo=67$ değerlerinde en iyi ısı transferinin sağlandığı gözlenmiştir.
- Halkasal sentetik jetin hedef yüzeyde akış yapısını etkili bir şekilde değiştirdiği, sınır tabakayı çevrim boyunca periyodik olarak yenilediği ve ısı geçişini iyileştirdiği anlaşılmıştır.
- Halkasal sürekli çarpan jet, sürekli dairesel çarpan jete göre ısı transferinde %37,20 oranında iyileşme sağlamıştır.
- Halkasal sentetik çarpan jet, sürekli dairesel çarpan jete göre uygun genlik ve frekans değerlerinin seçilmesi durumunda ısı transferinde %50,25 oranında iyileşme sağlamıştır.
- Halkasal sentetik çarpan jet, sürekli halkasal çarpan jete göre uygun genlik ve frekans değerlerinin seçilmesi durumunda ısı transferinde %9,50 oranında iyileşme sağlamıştır.

- Elde edilen tüm sonuçlar, boyutsuz büyüklükler cinsinden ifade edilmiştir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre eş eksenli halkasal sentetik jetin yüzey soğutmada önemli bir iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada ısı transferi parametreleri deney düzeneğinin izin verdiği ölçüde değiştirilmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalar için daha yüksek H/D oranları ile farklı genlik, frekans ve Reynolds sayıları kullanılarak ısı geçişi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Afroz, F. ve Sharif, M.A.R., 2018. Numerical Study of Turbulent Annular Impinging Jet Flow and Heat Transfer from a Flat Surface, *Uygulamalı Isı Mühendisliği Dergisi*, 138, 154-172.
- Ahmed, Z.U., 2016. An experimental and numerical study of surface interactions in turbulent swirling jets, Edith Cowan University.
- Akdağ, Ü., Akçay, S. ve Karabayır, M.L., 2023. Experimental investigation of the heat transfer characteristics of a pulsating impinging jet on a flat surface, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38, 2, 889-899.
- Alnak, D.E ve Karabulut, K., 2019. Research of the Effect of Different Circular Moist Object Geometries for Air Jet Impingement Drying on Heat and Mass Transfer, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1, 24.
- Aydin, O., ve Markal, B., 2018. Experimental investigation of coaxial impinging air jets, *Applied Thermal Engineering*, 141, 1120-1130.
- Behnia, M., Parneix, S., Shabany Y. ve Durbin, P.A., 1999. Numerical study of turbulent heat transfer in confined and unconfined impinging jets, *Int.H Fluid Flow*, 20, 1-9.
- Bovo, M. ve Davidson, L., 2015. Direct comparison of LES and experiment of a single-pulse impinging jet, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88, 102–110.
- Celik, N. ve Turgut, E., 2012. Design analysis of an experimental jet impingement study by using Taguchi method, *Heat Mass Transfer*, 48, 1407–1413.
- Celik, N., 2006. Optimum lüle şeklinin çarpan jet üzerinde etkilerinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
- Chattopadhyay, H., 2004. Central Mechanical Engineering Research Institute, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 14-16.
- Colucci, D.W. ve Viskanta, R., 1996. Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet, *West Lafayette, Indiana*, 47907-1288.
- Deng, X., Luo, Z.B., Xia, Z.X. ve Gong, W.J., 2019. Experimental investigation on the flow regime and impingement heat transfer of dual synthetic jet, *International Journal of Thermal Sciences*, 145, 1058642.
- Donovan, T.S.O ve Murray, D.B., 2008. Heat transfer to an acoustically excited impinging air jet, *5th European Thermal-Sciences Conference, The Netherlands*.

- Dutta, P. ve Chattopadhyay, H., 2021. Numerical analysis of transport phenomena under turbulent annular impinging jet, *Computational Thermal Sciences*, 13, 2, 1–19.
- Fenot, M., Dorignac, E. ve Lantier, R., 2021. Heat transfer and flow structure of a hot annular impinging jet, *International Journal of Thermal Sciences*, 170, 107091.
- Friedrich, B.K., Ford, T.D., Glaspell, A.W. ve Choo, K., 2017. Experimental Study of the Hydrodynamic and Heat Transfer of Air-Assistant Circular Water Jet Impinging a Flat Circular Disk, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106, 804–809.
- Frosella, T., Frippa, M. ve Gutmarkb, E., 2018. Dynamics of the impingement region of a circular turbulent jet, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 91, 399–409.
- Gao N., Sun H. ve Ewing D., 2003. Heat Transfer to Impinging Round Jets with Triangular Tabs, *Int. J. Heat Mass Transf.*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 2557–2569.
- Ghaly, H., 2021. Investigation of Heat and Flow Characteristics of Synthetic Impingement Jet, *Ataturk University*, 93.
- Golda, P., Lettner, N., Schießl, R. ve Maas, U., 2021. Experimental investigation of the cryogenic LN2-cooling performance for an impinging jet configuration for different inflow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 180, 121776.
- Hosain, M.L., Fdhila, R.B. ve Daneryd, A., 2016. Heat Transfer By Liquid Jets Impinging on Hot Flat Surface, *Applied Energy*, 95, 164, 934–943.
- Huang, L. ve El-Genk, M.S., 1994. Heat Transfer of an Impinging Jet on a Flat Surface, *J. Heat Mass Transfer*, 37, 13, 1915-1923.
- Kalifa, R.B., Habli, S., Said, NM., Bournot, H. ve Palec, G.L., 2016. Parametric analysis of a round jet impingement on a heated plate, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 57, 11–23.
- Kalinina, S.V., Terekhov, V.I. ve Sharov, K.A., 2015. Special features of flow in an annular jet impinging on a barrier, *Fluid Dynamics*, 50, 5, 665–671.
- Kaya, F. ve İbrahimov, U., 2019. Investigation of flow and heat transfer parameters in dual impinging jet flow, *Nigde Omer Halisdemir University*.
- Kılıç, M. ve Başkaya, Ş., 2017. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32, 3, 693-707.

- Lee, J. ve Lee, S.J., 2000. The effect of nozzle aspect ratio on stagnation region heattransfer characteristics of elliptic impinging jet, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 555-575.
- Li, G., Song, J., Huang, Z., Niu, J. ve Yi, C., 2005. An Experimental study on dual jet flow with PIV Method, *China University of Petroleum, Beijing, P.R.China*.
- Liewkongsataporn, W., Patterson, T. ve Ahrens, F., 2008. Pulsating jet impingement heat transfer enhancement, *Drying Technology, An International Journal*, 26, 4, 433-442.
- Maghrabie, H.M., 2021. Heat transfer intensification of jet impingement using exciting jets, A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110684.
- Mallinson, S.G., Reizes, J.A. ve Hong, G., 2001. An Experimental and Numerical Study of Synthetic Jet Flow, *Aeronautical Journal*, 105,1043, 41–49.
- Mangate, L.D ve Chaudhari, M.B., 2015. Heat transfer and acoustic study of impinging synthetic jet using diamond and oval shape orifice, *International Journal of Thermal Sciences*, 89, 100-109.
- Markal, B., 2018. Experimental investigation of heat transfer characteristics and wall pressure distribution of swirling coaxial confined impinging air jets, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 517-532.
- Nuntadusit, C., Wae-Hayee, M., Bunyajitradulya, A. ve Eiamsa-ard, S., 2012. Visualization of flow and heat transfer characteristics for swirling impinging jet, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 640-648.
- Philippov, M.V., Chokhar, I.A., Terekhov, V.V., Terekhov, V.I ve Baranov, I.N., 2021. Experimental investigation of heat and mass transfer of an annular impinging jet, *Journal of Physics*, 2039, 012028.
- Poh, H.J., Kumar, K. ve Mujumdar, A.S., 2005. Heat transfer from a pulsed laminar impinging jet, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1317–1324.
- Ryzhenkov, V. ve Mullyadzhanov, R., 2017. Large-eddy simulations of the near field of a turbulent annular jet, *Journal of Physics, Conf. Series*, 899, 022014.
- Sailor, D.J., Rohli, D.J. ve Fu, Q., 1999. Effect of variable duty cycle flow pulsations on heat transfer enhancement for an impinging air jet, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20, 574-580.
- Sheriff, H.S. ve Zumbrunnen, D.A., 1994. Effect of Flow Pulsations on the Cooling Effectiveness of an Impinging Jet, *Heat Transfer*, 116, 4, 886-895.

- Smith, B.L. ve Swift, G.W., 2003. A comparison between synthetic jets and continuous jets, *Experiments in Fluids*, 34, 467–472.
- Terekhov, V.I., Kalinina, S.V. ve Sharov, K.A., 2018. Convective heat transfer at annular jet impingement on a flat blockage, Published in *Teplofizika Vysokikh Temperatur*, 56, 2, 229–234.
- Tesar, V. ve Trávníček, Z., 2008. Excitational metamorphosis of surface flowfield under an impinging annular jet, *Chemical Engineering Journal*, 144, 312–316.
- Travnicek, Z. ve Tesar, V., 2004. Annular impinging jet with recirculation zone expanded by acoustic excitation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 2329–2341.
- Travnicek, Z., Tesar, V., Brouckova, Z. ve Peszynski, K., 2014. Annular Impinging Jet Controlled by Radial Synthetic Jets, *Heat Transfer Engineering*, 35, 1450–1461.
- Warda, H.A., Kassab, S.Z., Elshorbagy, K.A. ve Elsaadawy, E.A., 1999. An experimental investigation of the near-field region of free turbulent round central and annular jets, *Flow Measurement and Instrumentation*, 10, 1–14.
- Xu, P., Mujumdar, A.S., Poh, H.J. ve Yu, B., 2010. Heat transfer under a pulsed slot turbulent impinging jet a large temperature differences, *Thermal Science*, 14, 1, 271–281.
- Yasaswy, N.S, Saroj, S., Hindasageri, V. ve Prabhu, S.V., 2014. Local heat transfer distribution of an impinging air jet through a crossflow, *International Journal of Thermal Sciences*, 79, 250–259.
- Zargar, O.A., Huang, R.F. ve Hsu, C.M., 2019. Effect of acoustic excitation on flames of swirling dual-disk double-concentric jets, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 100, 337–348.
- Zhong, Y., Zhou, C. ve Shi, Y., 2022. Effect of the nozzle geometry on flow field and heat transfer in annular jet impingement, *Energies*, 15, 4271.

EKLER

EK A. Hata Analizi

EK B. İki boyutlu sayısal çözümdeki Nusselt Sayısı Sonuçları (2d)

EK C. Boyut Analizi



EK A. Hata Analizi

Çizelge A.1. Deneyler için hata analizi hesabı.

Halkasal-sentetik çarpan jet akış											
Deney	Re	H/D=2	Wo	Ao	Wq"	WTw	WTb	Wuj	Nu,m	Wnu	%Hata
H/D=2											
den1	6000	2	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	257,02	168,68	8,69
den2	6000	2	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	258,63	169,76	8,69
den3	6000	2	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	258,73	169,83	8,69
den4	6000	2	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	259,13	170,10	8,69
den5	6000	2	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	260,02	170,70	8,69
den6	6000	2	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	258,39	169,60	8,69
den7	6000	2	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	267,54	175,79	8,69
den8	6000	2	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	268,29	176,31	8,69
den9	6000	2	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	267,97	176,09	8,69
den10	6000	2	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	266,97	175,41	8,69
den11	6000	2	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	267,17	175,55	8,69
den12	6000	2	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	265,15	174,17	8,69
den13	6000	2	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	269,44	177,08	8,69
den14	6000	2	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	268,92	176,74	8,69
den15	6000	2	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	268,53	176,47	8,69
den16	6000	2	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	266,73	175,25	8,69
den17	6000	2	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	266,19	174,88	8,69
den18	6000	2	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	261,31	171,58	8,69
den19	6000	2	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	218	142,47	8,66
den20	6000	2	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	242,23	158,70	8,68
den21	6000	2	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	233,82	153,05	8,67
den22	6000	2	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	218,45	142,77	8,66
den23	6000	2	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	213,51	139,47	8,66
den24	6000	2	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	211,29	137,99	8,66
H/D=4											
den25	6000	4	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	495,8	325,04	8,68
den26	6000	4	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	491,37	322,06	8,68
den27	6000	4	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	487,67	319,57	8,68
den28	6000	4	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	483,02	316,44	8,68
den29	6000	4	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	481,59	315,48	8,68
den30	6000	4	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	477,79	312,93	8,68
den31	6000	4	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	480,58	314,80	8,68
den32	6000	4	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	476,47	312,04	8,68
den33	6000	4	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	473,65	310,15	8,67
den34	6000	4	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	460,56	301,36	8,67
den35	6000	4	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	436,1	285,00	8,66
den36	6000	4	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	420,1	274,33	8,66
den37	6000	4	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	473,83	310,27	8,67
den38	6000	4	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	466,36	305,25	8,67
den39	6000	4	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	432,16	282,37	8,66
den40	6000	4	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	398,12	259,72	8,66
den41	6000	4	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	367,68	239,54	8,65
den42	6000	4	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	357,81	233,02	8,65
den43	6000	4	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	463,79	303,53	8,67
den44	6000	4	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	445,4	291,22	8,67
den45	6000	4	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	396,65	258,74	8,66
den46	6000	4	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	366,82	238,97	8,65
den47	6000	4	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	358,25	233,31	8,65
den48	6000	4	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	348,5	226,86	8,65

Çizelge A.1 (devam). Deneyler için hata analizi hesabı

H/D=6											
den49	6000	6	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	727,35	476,56	8,68
den50	6000	6	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	714,94	468,22	8,68
den51	6000	6	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	703,88	460,80	8,67
den52	6000	6	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	699,93	458,14	8,67
den53	6000	6	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	692,4	453,09	8,67
den54	6000	6	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	677,22	442,93	8,67
den55	6000	6	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	695,72	455,32	8,67
den56	6000	6	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	693,03	453,51	8,67
den57	6000	6	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	677,75	443,29	8,67
den58	6000	6	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	658,5	430,41	8,67
den59	6000	6	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	628,18	410,19	8,66
den60	6000	6	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	597,17	389,57	8,66
den61	6000	6	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	686,73	449,29	8,67
den62	6000	6	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	674,72	441,26	8,67
den63	6000	6	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	636,25	415,57	8,66
den64	6000	6	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	594,48	387,78	8,66
den65	6000	6	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	545,79	355,52	8,65
den66	6000	6	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	526,25	342,61	8,65
den67	6000	6	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	675,38	441,70	8,67
den68	6000	6	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	643,42	420,35	8,66
den69	6000	6	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	582,1	379,56	8,65
den70	6000	6	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	530,72	345,56	8,65
den71	6000	6	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	519,33	338,04	8,65
den72	6000	6	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	507,45	330,21	8,64
H/D=8											
den73	6000	8	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	929,55	608,38	8,67
den74	6000	8	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	913,29	597,49	8,67
den75	6000	8	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	900,42	588,87	8,67
den76	6000	8	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	895,6	585,65	8,67
den77	6000	8	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	892,19	583,37	8,67
den78	6000	8	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	875,12	571,96	8,67
den79	6000	8	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	899,69	588,38	8,67
den80	6000	8	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	887,73	578,46	8,66
den81	6000	8	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	872,92	570,49	8,66
den82	6000	8	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	843,97	551,18	8,66
den83	6000	8	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	807,5	526,92	8,66
den84	6000	8	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	756,56	493,11	8,65
den85	6000	8	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	870,66	568,98	8,66
den86	6000	8	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	854,18	557,99	8,66
den87	6000	8	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	807,77	527,09	8,66
den88	6000	8	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	750,55	489,14	8,65
den89	6000	8	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	687,84	447,69	8,64
den90	6000	8	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	675,27	439,40	8,64
den91	6000	2	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	213,26	139,31	8,66
den92	6000	2	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	203,215	132,61	8,66
den93	6000	2	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	185,599	120,93	8,65
den94	6000	2	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	170,23	110,78	8,64
den95	6000	2	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	167,54	109,01	8,64
den96	6000	2	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	166,62	108,40	8,64

Çizelge A.1 (devam). Deneyler için hata analizi hesabı

H/D=2											
den97	15000	2	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	109,04	353,76	3,96
den98	15000	2	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	112,25	367,98	3,99
den99	15000	2	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	108,92	353,24	3,96
den100	15000	2	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	108,65	352,06	3,96
den101	15000	2	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	113,79	374,87	4,00
den102	15000	2	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	106,04	340,71	3,94
den103	15000	2	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	119,45	400,87	4,05
den104	15000	2	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	106,85	344,24	3,94
den105	15000	2	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	108,95	353,36	3,96
den106	15000	2	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	107,2	345,72	3,95
den107	15000	2	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	108,24	350,27	3,96
den108	15000	2	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	109,49	355,73	3,97
den109	15000	2	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	104,61	334,63	3,93
den110	15000	2	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	106,91	344,47	3,94
den111	15000	2	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	109,86	357,35	3,97
den112	15000	2	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	111,42	364,27	3,98
den113	15000	2	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	108,37	350,84	3,96
den114	15000	2	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	108,87	353,02	3,96
den115	15000	2	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	104,99	336,22	3,93
den116	15000	2	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	108,09	349,59	3,95
den117	15000	2	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	105,66	339,07	3,93
den118	15000	2	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	101,57	321,76	3,90
den119	15000	2	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	98,37	308,55	3,88
den120	15000	2	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	971,02	303,35	3,87
H/D=2											
den121	25000	2	67	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	233,88	689,28	3,25
den122	25000	2	94	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	243,45	738,30	3,33
den123	25000	2	116	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	246,12	752,29	3,35
den124	25000	2	133	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	242,78	734,81	3,32
den125	25000	2	150	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	225,27	646,81	3,18
den126	25000	2	163	0,47	5	0,301511	0,2	0,4	232,7	683,35	3,24
den127	25000	2	67	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	237,92	709,75	3,28
den128	25000	2	94	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	234,94	694,64	3,26
den129	25000	2	116	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	248,19	763,24	3,36
den130	25000	2	133	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	235,35	696,69	3,26
den131	25000	2	150	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	241,07	725,93	3,31
den132	25000	2	163	0,93	5	0,301511	0,2	0,4	238,49	712,64	3,29
den133	25000	2	67	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	235,69	698,44	3,26
den134	25000	2	94	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	236,58	702,93	3,27
den135	25000	2	116	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	235,76	698,76	3,26
den136	25000	2	133	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	232,38	681,78	3,24
den137	25000	2	150	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	230,09	670,40	3,22
den138	25000	2	163	1,4	5	0,301511	0,2	0,4	221,01	626,32	3,15
den139	25000	2	67	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	250,99	778,22	3,39
den140	25000	2	94	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	237,55	707,85	3,28
den141	25000	2	116	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	234,82	694,01	3,26
den142	25000	2	133	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	254,45	796,91	3,42
den143	25000	2	150	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	239,3	716,79	3,29
den144	25000	2	163	1,87	5	0,301511	0,2	0,4	252,83	788,13	3,40

Çizelge A.1 (devam). Deneyler için hata analizi hesabı

Halkasal sürekli çarpan jet akış											
H/D=2											
den145	6000	2			5	0,301511	0,2	0,4	245,46	160,88	8,68
den146	9000	2			5	0,301511	0,2	0,4	474,16	215,25	5,92
den147	12000	2			5	0,301511	0,2	0,4	745,3	271,52	4,62
den148	15000	2			5	0,301511	0,2	0,4	109,27	354,77	3,96
den149	18000	2			5	0,301511	0,2	0,4	144,28	439,67	3,59
den150	20000	2			5	0,301511	0,2	0,4	167,54	497,65	3,43
den151	25000	2			5	0,301511	0,2	0,4	229,56	667,80	3,21
den152	35000	2			5	0,301511	0,2	0,4	344,583	984,85	3,02
den153	50000	2			5	0,301511	0,2	0,4	520,494	1503,50	2,97
H/D=4											
den154	6000	4			5	0,301511	0,2	0,4	475,35	311,29	8,67
den155	9000	4			5	0,301511	0,2	0,4	941,86	427,29	5,91
den156	12000	4			5	0,301511	0,2	0,4	148,89	542,33	4,62
den157	15000	4			5	0,301511	0,2	0,4	214,47	691,77	3,95
den158	18000	4			5	0,301511	0,2	0,4	282,47	852,06	3,56
den159	20000	4			5	0,301511	0,2	0,4	319,41	924,31	3,36
den160	25000	4			5	0,301511	0,2	0,4	440,01	1243,12	3,14
den161	35000	4			5	0,301511	0,2	0,4	650,597	1773,63	2,90
den162	50000	4			5	0,301511	0,2	0,4	937,062	2462,86	2,72
H/D=6											
den 163	6000	6			5	0,301511	0,2	0,4	696,62	455,93	8,67
den 164	9000	6			5	0,301511	0,2	0,4	134,05	605,37	5,90
den 165	12000	6			5	0,301511	0,2	0,4	210,65	758,65	4,59
den 166	15000	6			5	0,301511	0,2	0,4	302,22	954,91	3,89
den 167	18000	6			5	0,301511	0,2	0,4	395,16	1154,71	3,48
den 168	20000	6			5	0,301511	0,2	0,4	463,12	1316,56	3,32
den 169	25000	6			5	0,301511	0,2	0,4	617,28	1668,19	3,03
den 170	35000	6			5	0,301511	0,2	0,4	902,08	2309,31	2,74
den 171	50000	6			5	0,301511	0,2	0,4	1343,1	3391,03	2,62
H/D=8											
den172	6000	8			5	0,301511	0,2	0,4	897,26	586,76	8,67
den173	9000	8			5	0,301511	0,2	0,4	168,08	755,27	5,88
den174	12000	8			5	0,301511	0,2	0,4	269,87	964,98	4,57
den175	15000	8			5	0,301511	0,2	0,4	387,38	1209,25	3,86
den176	18000	8			5	0,301511	0,2	0,4	505,04	1449,31	3,44
den177	20000	8			5	0,301511	0,2	0,4	591,77	1646,56	3,26
den178	25000	8			5	0,301511	0,2	0,4	797,83	2113,60	2,98
den179	35000	8			5	0,301511	0,2	0,4	1167,44	2919,78	2,68
den180	50000	8			5	0,301511	0,2	0,4	1761,26	4382,41	2,58

Çizelge A.1 (devam). Deneyler için hata analizi hesabı

Dairesel sürekli çarpan jet akış											
H/D=2											
den181	6000	2			5	0,301511	0,2	0,4	178,9	116,50	8,65
den182	9000	2			5	0,301511	0,2	0,4	299,76	132,18	5,82
den183	12000	2			5	0,301511	0,2	0,4	459,74	156,60	4,44
den184	15000	2			5	0,301511	0,2	0,4	638,79	181,79	3,64
den185	18000	2			5	0,301511	0,2	0,4	861,29	217,84	3,16
den186	20000	2			5	0,301511	0,2	0,4	1019,95	244,27	2,94
den187	25000	2			5	0,301511	0,2	0,4	143410,74	316,47	2,60
den188	35000	2			5	0,301511	0,2	0,4	227198,23	473,35	2,30
den189	50000	2			5	0,301511	0,2	0,4	339670,55	679,11	2,11
H/D=4											
den190	6000	4			5	0,301511	0,2	0,4	34891,19	227,13	8,65
den191	9000	4			5	0,301511	0,2	0,4	58443,53	257,45	5,81
den192	12000	4			5	0,301511	0,2	0,4	89805,79	305,28	4,43
den193	15000	4			5	0,301511	0,2	0,4	125724,97	356,91	3,64
den194	18000	4			5	0,301511	0,2	0,4	167909,88	422,03	3,15
den195	20000	4			5	0,301511	0,2	0,4	199490,79	474,46	2,93
den196	25000	4			5	0,301511	0,2	0,4	278224,15	605,35	2,57
den197	35000	4			5	0,301511	0,2	0,4	447207,39	921,75	2,28
den198	50000	4			5	0,301511	0,2	0,4	735625,68	1569,78	2,24
H/D=6											
den 199	6000	6			5	0,301511	0,2	0,4	50619,92	329,38	8,64
den 200	9000	6			5	0,301511	0,2	0,4	85307,26	375,41	5,81
den 201	12000	6			5	0,301511	0,2	0,4	130477,15	442,37	4,43
den 202	15000	6			5	0,301511	0,2	0,4	181191,32	511,35	3,63
den 203	18000	6			5	0,301511	0,2	0,4	242571,18	604,35	3,13
den 204	20000	6			5	0,301511	0,2	0,4	285828,49	670,60	2,90
den 205	25000	6			5	0,301511	0,2	0,4	401481,92	8585,25	2,54
den 206	35000	6			5	0,301511	0,2	0,4	633896,87	12587,31	2,21
den 207	50000	6			5	0,301511	0,2	0,4	1012082,23	20123,85	2,10
H/D=8											
den 208	6000	8			5	0,301511	0,2	0,4	65692,29	427,31	8,64
den 209	9000	8			5	0,301511	0,2	0,4	109969,03	4833,75	5,81
den 210	12000	8			5	0,301511	0,2	0,4	169958,71	5751,84	4,42
den 211	15000	8			5	0,301511	0,2	0,4	235971,94	6637,74	3,62
den 212	18000	8			5	0,301511	0,2	0,4	314395,99	7783,85	3,12
den 213	20000	8			5	0,301511	0,2	0,4	371303,62	8647,46	2,89
den 214	25000	8			5	0,301511	0,2	0,4	519430,34	10964,41	2,51
den 215	35000	8			5	0,301511	0,2	0,4	814501,91	15796,77	2,17
den 216	50000	8			5	0,301511	0,2	0,4	1332602,61	26231,25	2,08
									Toplam Hata Oranı (%)		6,27

EK B. İki boyutlu sayısal çözümdeki Nusselt Sayısı Sonuçları (2d)**Çizelge B.1.** İki boyutlu sayısal çözümde Nusselt sayısının gösterimi.

H/D=2									
Kombinasyon Sırası	Re _{iç} değerleri			Re _{dış} değerleri					Nusselt sayısı
	3000	6000	12000	3000	6000	9000	12000	15000	
1	X			X					281,1
2	X				X				291,9
3	X					X			319,1
4	X						X		345,76
5	X							X	360,84
6		X		X					283,62
7		X			X				297,48
8		X				X			319,93
9		X					X		342,29
10		X						X	365,38
11			X	X					302,01
12			X		X				318,84
13			X			X			331,49
14			X				X		348,5
15			X					X	369,22

H/D=4									
Kombinasyon Sırası	Re _{iç} değerleri		Re _{dış} değeri	Re _{dış} ve Re _{iç} değerleri					Nusselt sayısı
	3000	6000	15000	3000	6000	9000	12000	15000	
1	X			X					253,76
2	X				X				260,7
3	X					X			285,6
4	X						X		294,7
5	X							X	319,68
6		X		X					256,41
7		X			X				267,75
8		X				X			286,79
9		X					X		303,58
10		X						X	321,35
11			X	X					319,43
12			X		X				320,35
13			X			X			321,02
14			X				X		323,29
15			X					X	327,6

EK C. Boyut Analizi

Sentetik çarpan jet ile uyarılmış düz levha (hedef yüzey) üzerine çarpan periyodik salınımlara sahip jet çarpması ile ısı geçişine etki eden parametreler,

$$h = (U_j, x_m, \omega, \rho, \mu, c_p, k, H, D, L)$$

olarak belirlenebilir. Bu parametreler dikkate alınarak sistematik yöntemle boyut analizi yapmak için önce boyut matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge C.1. Boyut matrisi.

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	ω	c_p	x_m	μ	k	ρ	H	D	L	U_j
M	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
L	0	2	1	-1	1	-3	1	1	1	1
T	-1	-2	0	0	-1	-3	0	0	0	-1
θ	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0
Birim	1/s	J/kg-K	m	N-s/m ²	W/m-K	Kg/m ³	m/s	m	M	m/s
Boyut	θ^{-1}	$L^2 T^2 \theta^{-1}$	L	$ML^{-1} T^{-1}$	$ML T^{-3}$	ML^{-3}	L	L	L	LT^{-1}

Bu matrisin rankı $r = 4$ 'tür. Değişken parametre sayısı $n = 10$ 'dur.

Bu problemde, $(10 - 4 = 6)$ 6 adet bağımsız boyutsuz çarpan elde edilecektir. Herhangi bir boyutsuz çarpım;

$$\pi = M^0 L^0 T^0 \theta^0 = \omega^{k_1} c_p^{k_2} x_m^{k_3} \mu^{k_4} k^{k_5} \rho^{k_6} H^{k_7} D^{k_8} L^{k_9} U_j^{k_{10}}$$

Şeklinde olacağı için, her iki taraftaki temel boyutların üsleri birbirine eşit olacaktır.

Boyut matrisi yardımıyla ikinci tarafın boyut ifadesi bulunup bu işlem yapılırsa,

$$M \text{ 'nin üsleri için, } k_4 + k_5 + k_6 = 0$$

$$L \text{ 'nin üsleri için, } 2k_2 + k_3 - k_4 + k_5 - 3k_6 + k_7 + k_8 + k_9 + k_{10} = 0$$

$$T \text{ 'nin üsleri için, } -k_1 - 2k_2 - k_5 - 3k_6 - k_{10} = 0$$

$$\theta \text{ 'nin üsleri için, } -k_2 - k_5 = 0$$

Bu bağlamda, homojen ve lineer bir denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sistemi, her zaman temel büyüklük sayısı kadar denklem içerir. Ancak k değerlerinin sayısı, değişken sayısına eşit veya daha fazladır. Bu nedenle, çözüm yöntemi gereği bazı k değerleri önceden belirlenir ve diğer k değerleri bu önceden belirlenen k değerlerinin fonksiyonları olarak hesaplanır. Bu bağlamda, $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ gibi değerler belirli bir şekilde seçilir ve diğer k değerleri bu belirli değerlerin fonksiyonları olarak hesaplanır. Elde edilen k değerleri, bilinen k değerleri ile bilinmeyen k değerleri arasında ifade edilir ve toplamda on denklemden oluşan bir denklem sistemi oluşturulur. Bu sayısal değerleri elde etmek için, bilinen k değerlerine basit değerler verilir (0 ve 1). Ardından denklem sistemi çözülür ve elde edilen k değerleri bir matris şeklinde sunulur. Bu matrise "çözüm veya çözümler matrisi" denir.

Bu bağlamda, aranılan komple boyutsuz çarpım serisi aşağıdaki şekilde elde edilir.

- $\pi_1 = \frac{hL}{kf}$ Nu , Nusselt sayısı
- $\pi_2 = L\sqrt{\omega/\nu}$ Wo , Womersley sayısı
- $\pi_3 = \frac{\mu c_p}{kf}$ Pr , Prandtl sayısı
- $\pi_4 = \frac{x_m}{L}$ A_0 , Boyutsuz genlik
- $\pi_5 = \frac{U_j D_h}{\nu}$ Re_j , Jet Reynolds sayısı
- $\pi_6 = \frac{H}{D}$ Jet ile hedef yüzey arasındaki boyutsuz mesafe
- $\pi_6 = \frac{L}{D}$ Levha uzunluğunun jet çıkış çapına oranı

$$Nu = C (Re_j, H/D, A_0, Wo, Pr, H/L)$$

Bu kapsamda, bir merteye analizi yapıldığında bazı boyutsuz çarpımların olaydaki etkisinin göz ardı edilebilir olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma; H/D , A_0 ve Wo boyutsuz sayıları dikkate alınarak analiz edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Necati ÜN

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2012-2017

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020-2023

MESLEKİ DENEYİM

1. Tosyalı Toyo Çelik A.Ş.- Stajyer
2. İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.- Stajyer
3. Osmak Rulo Makina Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. – Üretim ve Kalite Kontrol Mühendisi
4. Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) – Makine Mühendisi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Ün, N. ve Akdağ, Ü., 2023. Düz bir yüzeye çarpan halkasal ve sentetik jetin ısı transferi karakteristiğinin parametrik olarak incelenmesi, 5. International Young Researchers Student Congress, 1-3 Haziran 2023, Olympos/Antalya.