

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİR KANAL İÇERİSİNDEKİ DÖNEL OBJELERİN FARKLI
AKIŞ HIZLARI İLE ETKİLEŞİMİNİN ISI TRANSFERİNE OLAN
ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**

Hakan SAVAŞ

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Termodinamik Ve Isı Tekniği Bilim Dalı

ŞUBAT 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

**BİR KANAL İÇERİSİNDEKİ DÖNEL OBJELERİN FARKLI AKIŞ
HIZLARI İLE ETKİLEŞİMİNİN ISI TRANSFERİNE OLAN ETKİSİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

Tez Yazarı
Hakan SAVAŞ

Danışman
Prof. Dr. Vedat SAVAŞ

ŞUBAT 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Bir Kanal İçerisindeki Dönel Objelerin Farklı Akış Hızları İle Etkileşiminin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal Analizi
Yazarı:	Hakan SAVAŞ
İlk Teslim Tarihi:	12.01.2024
Savunma Tarihi:	12.02.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Vedat SAVAŞ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Filiz ÖZGEN Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Ömer Faruk CAN Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bir Kanal İçerisindeki Dönel Objelerin Farklı Akış Hızları İle Etkileşiminin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal Analizi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

12.02.2024

Hakan SAVAŞ



ÖNSÖZ

Enerji verimliliği konusu insanoğlunun varoluşundan bu yana her dönem önemini artırarak bu günlere gelmiştir. Özellikle artan nüfus ve teknolojik aletlerden dolayı ise enerji tüketimi önemli derecede artış sağlamış ve bilim insanlarını bu konuda çalışmaya davet etmiştir. Bu araştırmalar birçok farklı metod ve malzeme ortaya çıkarmıştır ancak yapılan tüm araştırmalara ve üretilen çözümlere bakıldığında halen iyileştirmeye ihtiyaç duyulan alanlar mevcuttur. Bu alan ise ısı transferini artırmak ve/veya atıl ısıyı kullanmaktır. Bu çalışmada bir noktadan başka bir noktaya taşınan sıvının temas ettiği ısı kaynağından aldığı ısı incelenmiş ve artırmak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Literatüre bakıldığında bu konularda ayrı ayrı yapılan çalışmalar bulunmaktadır fakat bu çalışma 4 farklı parametrenin ısı transferine etkisi kendi aralarında bir kıyaslama yaparak incelenmektedir ve kapsam genişletilmiştir. Bu nedenden dolayı, bu çalışmada yapılan tüm analizlerin ve elde edilen sonuçların literatürdeki boşluğu doldurması ve yapılacak yeni çalışmalara yön vereceği düşünülmektedir.

Bu çalışma boyunca ve tüm akademik hayatımın her aşamasında bana zaman ayıran, bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendirerek destekleyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Hakan F. Öztıp' a verdiği tüm katkılardan dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım. Tüm imkanlarıyla bana destek olan KARSAN Ar-Ge 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hakan SAVAŞ
ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET..	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
EKLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	2
3. ISI TRANSFERİ.....	6
3.1. İletim Isı Transferi.....	7
3.2. Taşınım Isı Transferi	7
3.2.1. Zorlanmış Taşınım	8
3.2.2. Doğal Taşınım	8
3.3. Radyasyon Isı Transferi.....	8
3.4. Reynolds Sayısı	9
3.4.1. Reynolds Sayısının Hesaplanması.....	9
3.5. Nusselt Sayısı Hesaplaması	9
4. ISI TRANSFERİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ	10
4.1. Aktif Yöntemler.....	10
4.2. Pasif Yöntemler	11
4.3. Birleşik Yöntemler	13
5. MATERYAL VE METOT.....	14
5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)	14
5.2. Ağ Yapısı.....	15
5.3. Geometrik Modelleme ve Sınır Şartları.....	16
5.4. Genel Denklemler.....	19
5.5. Sınır Şartları Denklemleri.....	20
6. SONUÇLAR.....	21
7. TARTIŞMA.....	21
KAYNAKLAR	33
EKLER.....	38
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bir Kanal İçerisindeki Dönel Objelerin Farklı Akış Hızları İle Etkileşiminin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal Analizi

Hakan SAVAŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı
Şubat 2024, Sayfa: xiii + 36

Enerji verimliliği konusu insanoğlunun varoluşundan bu yana her dönem önemini artırarak bu günlere gelmiştir. Özellikle artan nüfus ve teknolojik aletlerden ötürü ise enerji tüketimi önemli derecede artış sağlamış ve bilim insanlarını bu konuda çalışmaya davet etmiştir. Yapılan çalışmalar atıl ısıyı kullanmak ve/veya ısı transferini iyileştirmek üzere aktif ve pasif bazı yöntemler ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada ısı transferini iyileştirmek üzere kullanılan ve aktif metotlar arasında yer alan, akışkan içerisindeki, hareketli cismin akışkan hareketine etkileri ve ısı transferine olan etkileri incelenmiştir.

Çalışma yapılırken hareketli cismin ölçüleri, kanal içindeki konumu, akışkan hızı ve cismin eksenel dönme hızı birer parametre olarak olarak kullanılmıştır ve akışkan hareketleri birçok farklı türden incelenmiştir. Bunun yanı sıra çıkış sıcaklıkları ve Nusselt Sayıları çıkış parametreleri olarak sayısal olarak hesaplanmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan bu çalışmada dış etkiler hesaba katılmamıştır yani, adyabatik bir kanal içerisindeki etkileşimler incelenmiştir. Bu parametreler ve sistem ölçüleri belirlenmeden önce yüzlerce farklı kombinasyon denenmiştir ve sonuçlar kısmında yer alan unsurların yazılmasına karar verilmiştir.

Sonuçlar göstermektedir ki, kanal içerisine yerleştirilen bir objenin ölçüleri, dönme hızı, akışkan hızı ve objenin kanal içerisindeki konumu ısı transferi ve dolayısıyla çıkıştaki akışkan sıcaklığı üzerine bazı olumlu etkileri vardır.

Anahtar Kelimeler: Isı Transferi, Kanal, Dönel Obje, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Isı Transferi İyileştirme Metodu, İç akış.

ABSTRACT

Numerical Analysis of the Effect of Interaction of Rotating Objects within a Channel with Different Flow Velocities on Heat Transfer

Hakan SAVAS

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Mechanical Engineering Technologies

February 2024, Pages: xiii + 36

The subject of energy efficiency has gained increasing importance throughout human history and has become even more significant in recent times. Particularly due to the growing population and technological devices, energy consumption has significantly increased, prompting scientists to work on this issue. All the efforts made have resulted in the emergence of active and passive methods to utilize waste heat and/or improve heat transfer. This study focuses on an active method used to enhance heat transfer, specifically examining the effects of a moving object within a fluid flow on the fluid dynamics and heat transfer.

During the study, parameters such as the dimensions of the moving object, its position within the channel, the fluid velocity, and the rotational speed of the object were considered. Various types of fluid flow were analyzed, and the outlet temperatures and Nusselt Numbers were numerically calculated as output parameters. External influences were not taken into account in this computer-based study; thus, interactions in an adiabatic channel were investigated. Before determining these parameters and system dimensions/geometries, hundreds of different combinations were tried, and it was decided to include the elements discussed in the results section.

The results indicate that the dimensions of an object placed within the channel, its rotational speed, the fluid velocity, and the object's position within the channel have positive effects on heat transfer and consequently, the temperature of the fluid at the outlet.

Keywords: Heat Transfer, Pipe, Rotating Object, Computational Fluid Dynamics, Heat Transfer Enhancement Method, Internal Flow.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. İletim ısı transferi	7
Şekil 3.2. Zorlanmış ve doğal taşınım ısı transferi görseli	7
Şekil 3.3. Işınım ısı transferine bir örnek - Güneş Sistemi	8
Şekil 4.1. Akışkan titreşimi sistemi	10
Şekil 4.2. Mekanik yardımcı sistemler ile karıştırmaya örnek [22].....	11
Şekil 4.3. Jet çarpması metoduna ait bir şema.....	11
Şekil 4.4. Pürüzlü bir yüzeyin mikroskop altında görüntüsü.....	12
Şekil 4.5. Isı transferi yüzeyi genişletilmiş bir boru [25]	12
Şekil 4.6. Sarmal akış elemanının şematik gösterimi [28]	13
Şekil 5.1. Kaldırma kuvvetinin (Arşimet Prensibi) şematik gösterimi	14
Şekil 5.2. Analizlere ait ağ yapısı	15
Şekil 5.3. Sabit 30 °C 'de sıcaklığa sahip cismin ağ yapısı.....	16
Şekil 5.4. Akış alanının geometrik gösterimi	17
Şekil 7.1. $VA_{Akışkan} = 1ms$ iken a geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı	22
Şekil 7.2. $VA_{Akışkan} = 2ms$ iken a geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı ...	23
Şekil 7.3. $VA_{Akışkan} = 1ms$ iken b geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı.....	24
Şekil 7.4. $VA_{Akışkan} = 2ms$ iken b geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı.....	25
Şekil 7.5. $VA_{Akışkan} = 1ms$ iken c geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı ...	26
Şekil 7.6. $VA_{Akışkan} = 2ms$ iken c geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı	27
Şekil 7.7. $VA_{Akışkan} = 1ms$ iken d geometrilerinin eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı.....	28
Şekil 7.8. $VA_{Akışkan} = 2ms$ iken d geometrilerinin eksenel dönmeye bağlı çıkıştaki ortalama sıcaklığı...	29
Şekil 7.9. $VA_{Akışkan} = 1ms$ iken geometrilere ve eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı	30
Şekil 7.10. $VA_{Akışkan} = 2ms$ iken geometrilere ve eksenel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı	30
Şekil 7.11. Nuselt sayısının geometrilere göre artış grafiği.....	31

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Akışkan özellikleri ve giriş Reynolds Sayısı tablosu	9
Tablo 5.1. Skewness ağ yapısı kalitesi tablosu [33]	15
Tablo 5.2. Tüm analizlerde kullanılan akışkanın (Su) fiziksel özellikleri	16
Tablo 5.3. Analiz geometrilerinin ölçülere göre isimlendirilmesi	18
Tablo 7.1. Analizlere göre Nusselt sayılarındaki değişim tablosu	31
Tablo 7.2. Literatürdeki çalışmalar ile bu çalışmanın kıyaslanması	32



EKLER LİSTESİ

Sayfa

Ek- 1:	A ₀ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	38
Ek- 2:	A ₁ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	39
Ek- 3:	A ₂ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	40
Ek- 4:	A ₃ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	41
Ek- 5:	A ₄ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	42
Ek- 6:	A ₅ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	43
Ek- 7:	A ₆ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	44
Ek- 8:	A ₇ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	45
Ek- 9:	A ₈ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	46
Ek- 10:	B ₀ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	47
Ek- 11:	B ₁ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	48
Ek- 13:	B ₂ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	49
Ek- 14:	B ₃ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	50
Ek- 15:	B ₄ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	51
Ek- 16:	B ₅ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	52
Ek- 17:	B ₆ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	53
Ek- 18:	B ₇ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	54
Ek- 19:	B ₈ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	55
Ek- 20:	C ₀ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	56
Ek- 21:	C ₁ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	57
Ek- 22:	C ₂ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	58
Ek- 23:	C ₃ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	59
Ek- 24:	C ₄ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	60
Ek- 25:	C ₅ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	61
Ek- 26:	C ₆ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	62
Ek- 27:	C ₇ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	63
Ek- 28:	C ₈ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	64
Ek- 29:	D ₀ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	65
Ek- 30:	D ₁ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	66
Ek- 31:	D ₂ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	67
Ek- 32:	D ₃ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	68
Ek- 33:	D ₄ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	69
Ek- 34:	D ₅ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	70

Ek- 35:	D ₆ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	71
Ek- 36:	D ₇ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	72
Ek- 37:	D ₈ Geometrisi ve Analiz Sonuçları.....	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Isı Akışına Dik Kesit Alanı (m^2)
A_s	: Cismin Yüzey Alanı (m^2)
a	: İvme (m/s^2)
β	: Akışkan Genleşme Katsayısı ($1/^\circ K$)
D	: Çap (m)
d	: İki Cisim Arası Mesafe (m)
e	: Emisivite
F	: Kuvvet (N)
$F_{KALDIRMA}$	: Kaldırma Kuvveti (N)
g	: Yerçekimi İvmesi (m/s^2)
Gr	: Grashof Sayısı
h	: Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
k	: Isı İletim Katsayısı (W/mK)
L	: Uzunluk (m)
m	: Kütle (kg)
P	: Işıma Gücü (W)
Q	: Çevrim Boyunca Net Isı Alışverişi (J)
q	: Isı Akısı (W/m^2)
Ra	: Rayleigh Sayısı
R_a	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Re	: Reynolds Sayısı
T	: Sıcaklık ($^\circ K$)
ΔT	: Sıcaklık Grafyanı ($^\circ K/m$)
V	: Hız (m/s)
V_{BATAN}	: Cismin Batan Kısımındaki Hacmi (cm^3)
W	: Çevrim Boyunca Net İş Alışverişi (J)
ΔU	: İç Enerji Farkı (J)
σ	: Stefan-Boltzmann Sabiti ($W/m^2 K^2$)
ν	: Kinematik Viskozite (m^2/s)
ρ_{SIVI}	: Sıvının Yoğunluğu (gr/cm^3)
μ	: Dinamik Viskozite (Pa.s)
Ω	: Dönme Açısı (Rad/sn)

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
DC	: Doğru Akım
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
O	: Oksijen

1. GİRİŞ

Evrenin oluşumunu başlatan ve devam etmesine olanak sağlayan en büyük etken, insanoğlunun varoluşu ve medeniyetler inşa etmesi, bilim ve teknoloji alanlarındaki gelişimleri, yani en küçük yapıtaşından en büyük sisteme kadar işleyişin başlaması ve devam etmesindeki en önemli anahtar kelime: Enerji. Çağlar boyunca, avcı-toplayıcı insanlardan medeniyet kurmuş insanlara kadar hayatımızın tek odak noktası olan enerji farklı bilim insanları tarafından birçok ayrı disiplinlerde yapılan deney ve tanımlar, yapılan icatlar ve onların gelişim süreçleri en sonunda Sanayi Devrimini oluşturmuştur ve bugünkü modern teknoloji ve modern bilimin gerçek temelini atmıştır. Tabi ki, her gelişim gibi hayatımıza avantajlar getirdiği kadar dezavantajlar da getirmiştir ki bulunduğumuz çağın en büyük krizi global enerji krizidir. İlk insandan bu beri devam eden enerji bulma, toplama, depolama çabası bugün her zamankinden daha önemli ve değerli bir hale gelmiştir. Bu yüzden enerji yatırımlarında verimliliği artırmak, kayıpları azaltmak ve geliştirmek için son yıllarda bütün bilim ve teknoloji insanları sayısız çalışmaya imza atmıştır. Özellikle ısı transferi incelendiği zaman hayatımızın her anının doğrudan etkilendiği söylemek mümkündür. Öyle ki evlerimizdeki pencereler, yemek yapmak ve ısıtmak için kullandığımız cihazlar, ısınmak için kullandığımız kombi, ısıtıcı gibi cihazlar, bilgisayar, televizyon, buzdolabı gibi her saniye hayatımızın bir parçası olan aletler, vücut fonksiyonlarımızı yerine getirmek için gerekli olan vücut sıcaklığını muhafaza etmek için kullandığımız giysilerimizin üretilmesi veya taşınması veya temizlenmesi için kullandığımız aletler ve bunları kullanmamızı sağlayan elektriğin üretildiği merkezlerde ısı transferi ve akışkanlar mekaniği vardır ve temel işlevini yerine getirebilmeleri açısından oldukça önemlidir. Günden güne artan elektronik elemanların kullanımı ve bu elemanların uygun şekilde soğutulması, her geçen gün büyüyen enerji endüstrisinde ısı transferi, yeni bulunan teknolojiler, havacılık ve savunma sanayi, motorlar vs. alanlarındaki enerji geçişleri, kayıpları gibi konular, araştırmacılar için her dönem çok önemli bir araştırma konusudur ve olmaya devam edecektir. Bu önem sonucu ortaya çıkan araştırmalar birçok farklı hesaplama metodlarının ve geliştirme metodlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu metodlar daha sonra işlenecektir. Bu tezdeki çalışmaların temel amacı, boru içi akışın ısı transferi ve akışkanlar mekaniği açısından incelenerek açıklanması ve anlaşılmasını sağlamak, endüstriyel uygulamalarda kullanılan sistemlerin verimliliğini artırmaktır. Bu çalışmanın sonuçları, enerji transferinin analiz edilmesi ve sistemin optimize edilmesini kapsar. Bu çalışma gelecekteki araştırmalar ve geliştirmeler için bir temel oluşturmak üzere hazırlanmıştır.

2. LİTERATÜR

Sabit veya hareketli cisimler ısı transferi ve akış problemlerine birçok kez konu olmuştur. Akış kontrolü sağlamak, sınır şartlarını kontrol etmek gibi amaçlarla yapılan yapılmış bu çalışmalar literatürü zenginleştirmekle birlikte nükleer reaktörler; ısı değiştiricileri; elektronik cihazlar; trafolar ve yiyecek işleme gibi mühendislik alanlarında kullanıldığı için sektörel gelişmelere de olumlu etkilerde bulunmuştur. 2014 yılında F. Selimefendigil ve H. Öztop'un bir kanal içerisindeki dönel kare eleman ile kanal uzunluğu, kanal genişliği, obje boyutu ve obje konumu gibi birbirlerine bağlı parametreler ile yaptığı araştırmanın sonucuna göre maksimum ısı transferinin %197 ve %228 arttığı sonucuna ulaşılmıştır [1]. Chen ve Wang bir deneysel çalışmada zorlanmış taşınım olan bir kanal içerisindeki ısıtılmış 2 kare elemanın laminar ve türbülanslı akış rejimini incelemiştir. İki blok arasındaki mesafenin türbülanslı akış rejimi için son derece önemli olduğu sonucuna ulaşılırken, aralık artırıldığında ortalama Nusselt sayısında artışlar ve düşüşler gözlemlenmiştir [2]. Perng, Wu ve Jue'nun kanal içerisindeki 5 adet ısıtılmış ve aralıklı yerleştirilmiş sabit kare blok ve 1 adet gözenekli dönel bir dikdörtgen ile yaptığı nümerik analizlerin sonucunda gözenekliliğin, ısı transferini geliştirdiği ve girdap kaynaklı titreşim üzerinde küçük bir etkisinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır ve Darcy Sayısı 10^3 veya 10^4 olduğunda, ısıtılmış bloklar boyunca toplam ısı transferini iyileştirdiği ve girdap kaynaklı titreşimde güçlü bir azalmaya neden olduğu görülmüştür [3]. Bir diğer araştırma Wu ve Tong tarafından, ısıtılmış bloklar ve titreşimli bir silindir üzerine yapılmış ve silindirin olduğu deneylerde ısı transferinin daha fazla olduğunun yanı sıra silindirin sahip olduğu titreşimin, Reynolds sayısını yanı ısı transferini geliştirdiği gözlemlenmiştir [4]. Bu tezin de başlıca amacı olan; akışı bir obje ile türbülanslı hale getirip ısı transferini iyileştirmek için yapılan çeşitli araştırmalardan bir diğeri Mirshafiee ve Amiri tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kanal alt yüzeyine ısı yayan eliptik, eşkenar yamuk ve dikdörtgen biçiminde cisimler yerleştirilmiş olup, akışı bölmek için ise eliptik, eşkenar yamuk, üçgensel ve dikdörtgen biçiminde dönel objeler kullanılmış ve Nusselt sayısı gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre akışı bozmak için kullanılan dönel objelerin ölçüleri arttıkça ısı yayıcıların sıcaklığında düşüş, Nusselt sayısında artış yaşandığı, dönel cisim ile ısı yayıcı arasındaki yatay mesafenin artmasıyla yine aynı sonuçlar gözlemlenmiş olup dikey mesafenin artmasıyla tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. Kanal alt yüzeyine yerleştirilen ısı yayıcıların şekillerinin Nusselt sayısı üzerinde birbirine çok yakın sonuçlar verdiği, üçgen biçimli dönel objenin eliptik yapıya göre cisim ısını daha fazla düşürdüğü görülmekle birlikte eliptik ısı yayıcıların ısı transferi performansının daha iyi olduğu Nusselt sayısının artışından dolayı açıkça görülmüştür [5]. Öztop, Varol ve Alnak tarafından yapılan benzer bir çalışma bu sonuçları destekler niteliktedir. Bu çalışmada kanal tabanına yerleştirilmiş 3 adet dikdörtgen biçimindeki ısı yayıcı ve aralarında bir mesafe olan üçgen biçimindeki sabit bir objenin akış ve ısı transferi üzerine olan etkileri incelenmiş ve aralarındaki mesafenin artmasıyla ısı

transferi miktarının azaldığı görülmekle birlikte optimum yerleşim tayin edilmiştir [6]. Çalışmaların geneline bakıldığında birçok parametrenin ısı transferi üzerine etkileri görülmektedir. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri ise boyutlarıdır. Masshadi, Sohankar ve Alam'ın bir kanal içerisine yerleştirdikleri dikdörtgen biçimindeki objenin boyutlarını değiştirerek $AR = 0,25 - 4,0$ ve $Re = 30 - 200$ aralığında araştırma yapmış ve akış incelenmiştir. Bu araştırmaya göre, Re sayısı arttıkça, akış karakterizasyonunun aynı kalabilmesi için akış içerisinde kalan cismin eni ve boyu arasındaki oran olan AR azalmıştır [7]. Roslan ve arkadaşlarının 2012'de yalıtılmış bir kare hacim içerisinde, bir silindir ve gümüş-su, bakır-su, Al_2O_3 - su ve TiO_2 - su nanoakışkanları ile yaptıkları çalışmada silindir yarıçapı, $0 \leq R \leq 0,3$ ve dönme açısı, $-1000 \leq \Omega \leq 1000$ olarak belirlenmiş ve ısı transferi ile akış karakteristiği üzerine testler yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, daha yüksek nanoparçacık konsantrasyonu, daha iyi bir termal iletkenlik değeri ve daha hızlı, negatif dönüşe sahip daha küçük bir silindir için akış dolaşımının gücünün çok daha güçlü olduğu tespit edilen bir özelliktir [8]. Yine Fu, Cheng ve Shieh'in, yalıtılmış bir ortamda dönen bir silindir ile akışkan arasındaki etkileşimi incelendiğinde ulaştıkları sonuca göre, aralarındaki doğal konveksiyon ısı transferi, silindirin dönüş yönüne bağlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın ölçüm sonuçlarına göre silindir saat yönünde dönerken Gr / Re^2 oranı 1 olarak; saat yönünün tersine dönerken ise Gr / Re^2 oranı 100'ün üzerinde olduğu tespit edilmiştir [9]. Bir diğer çalışma Ruhul Amin ve ekibi tarafından 2020'de, iki duvarı yalıtılmış, diğer iki duvarı sıcaklığa sahip bir kare hacimde 2 dönel silindir incelenerek yapılmıştır. Galerkin yöntemi ile hava içerisinde saat yönünün tersine dönen bu silindirlere ait izoterm ve akış çizgileri tez sonuçlarında verilmiştir. Bu gözlemler Nusselt, Grashof, Reynolds ve Richardson sayılarına göre yapılmıştır. Ayrıca silindirlere ait çapın etkileri ölçülmek için 6 ayrı çap değeri denenmiş ve maksimum Nusselt sayısı, çap değeri, duvar uzunluğunun $1 / 10$ 'u kadar iken ölçülmüştür. Silindirlerin dönme hızları incelendiğinde ise, dönüş hızı arttıkça Reynolds ve Nusselt sayılarının arttığı gözlemlenmekle birlikte Richardson sayısı $0,1$ 'den 10 'a arttığında Nusselt sayısının yaklaşık %395,7 arttığı sonucuna ulaşılmıştır [10]. 2006'da Arnab Kumar De ve Amaresh Dalal'ın kapalı, kare bir hacim içerisinde bir dikey çizgi üzerindeki farklı noktalara bir kare boşluk içerisine ısıtılmış bir silindir yerleştirip yaptığı bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada doğal taşınım incenmiş olup Rayleigh sayısı $10^3 - 10^6$ arasında tutulmuş ve Navier-Stokes denklemleri kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlar Rayleigh ve Nusselt sayılarına göre farklı grafik ve tablolar halinde verilmiştir. Karenin 1. pozisyonunda Rayleigh sayısı arttıkça akış davranışının değiştiğini ancak diğer iki pozisyonda bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Silindir izotermal iken konumunun yerel ve ortalama Nusselt sayısını etkilemediği gözlemlenmiştir [11]. Benzer bir çalışma Liao ve Lin tarafından yapılmıştır. Çalışmada yalıtılmış, kare bir hacim içerisindeki izotermal ve dönen bir elipsin Isı Transferi ve akış karakteristiği üzerine etkileri farklı Rayleigh sayıları ($10^4 - 10^6$) ile ölçülmüş ve grafik – tablo haline getirilmiştir. Bu çalışma farklı çap değerlerine sahip elipsler ve farklı dönme hızları ile gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları farklı

zamanlarda, farklı iki grup tarafından yapılan araştırma sonuçlarıyla kıyaslanmış ve sonuçların farklı olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre; ortalama Nusselt sayısı, elipsin en-boy oranına bağlı olarak zayıf görünmekle birlikte dört modelin üçünde elipsler 0° açılı halindeyken ortalama Nusselt sayısının küçük olduğu gözlemlenmiştir. Açılı büyüdükçe Nusselt sayısının da büyüdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda Richardson sayısı 1,7 iken Nusselt sayısının %16 arttığı gözlemlenmiştir [12]. Buraya kadar olan bütün çalışmalarda gördüğümüz gibi çalışmaların hepsi boyutsuz sayıların hesaplanması ve karşılaştırması ile ilgilidir. Literatüre kazandırılmış bir diğer çalışma Hussain ve Hussein tarafından 2010'da ısıtılmış kare bir hacim alanında, dönen bir silindirin, dikey bir çizgi üzerindeki 3 farklı noktaya yerleştirilip yapılan çalışmadır. Bu çalışmada Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanılarak karma ısı transferi hesaplamaları yapılmıştır. Silindir yarıçapı ($0,2L$), karenin bir kenar uzunluğunun $1/5$ 'i olarak belirlenmiştir. Karenin sağ ve sol duvarları ısıtılmış olup, alt ve üst duvarları adiabatiktir. Hava ile dolu kare alan için Prandtl sayısı 0,71 olarak belirlenmiş olup Richardson sayısı 0 - 10, Reynolds sayısı 50 - 300 aralığında iken ortalama Nusselt sayısı ölçülmüştür. Yapılan testlerin sonuçlarına göre Richardson ve Reynolds sayılarının, dönen silindirin lokasyonuna bağlı ısı transferi üzerine, akış ve sıcaklık bölgeleri üzerine çok önemli rolleri olduğuna ulaşılmıştır. Yazar sonuç kısmında şöyle yazmıştır: "Ortalama Nusselt sayısı arttıkça Reynolds ve Richardson sayıları da artmaktadır ve konveksiyon olayı bu parametrelerden oldukça etkilenir." Elde edilen bütün sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir ve bazı grafikler geçmiş çalışmalarda ortaya çıkan çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre en küçük Richardson sayısı, silindirin etrafındaki büyük girdaplarda tespit edilmiştir. Reynolds sayısı arttığında akış girdaplarının dolaşımı önemli ölçüde artar ve daha güçlü hale gelir ve bu da Richardson sayılarının ve dönel silindir konumlarının farklı değerleri için zorlanmış konveksiyon etkisini daha baskın hale getirir. Katı - sıvı termal iletkenlik oranlarının termal bölgeler üzerine çok önemli olduğu ancak ortalama Nusselt sayısı üzerine dikkate değer bir etkisinin olmadığı sonucuna da ulaşılmıştır [13]. Benzer bir araştırma 2020'de Ali ve Mahmood tarafından yapılmıştır. İçerisinde dönel bir silindirik bir cisim bulunan, karşılıklı 2 adet havalandırma boşluklarına sahip bir kare hacim alanında yapılan çalışmada doğal konveksiyon incelenmiştir. Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanılmıştır ve hacim alanı hava ile doludur. Rayleigh sayısı 10^3 - 10^6 aralığında belirlenmiş olup diğer boyutsuz sayılar ve farklı bölgelerdeki ısı transferleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, doğal konveksiyondaki Nusselt sayısı, Rayleigh sayısı ile birlikte artmaktadır. Düşük Rayleigh sayısı için baskın mod yüzey ışıınım etkileri olmadan iletim ısı transferidir. Nusselt sayısı, düşük Rayleigh sayı aralığına bağlı olarak %70'den %350'ye kadar artabilir. Ayrıca sonuçlar akım ve izotermal çizgi grafikleri şeklinde verilmiş ve daha önce yapılmış olan çalışmalar ile kıyaslanmıştır [14]. Literatüre kazandırılmış bir diğer çalışma Moukalled ve Acharya tarafından yapılmıştır. Çalışmada bir kanal içinde bulunan ısıtılmış bir silindir ve akışkan arasındaki doğal taşınım ısı transferi incelenmiştir. Testlerde farklı en-boy oranları kullanılmıştır.

($R/L=0.1, 0.2, 0.3$) Aynı zamanda Rayleigh sayısı 10^4-10^7 aralığında iken testler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilmiştir. Bazı sonuçlar şöyledir: Düşük Rayleigh sayılarında akış zayıftır ve iletim ısı transferi en baskın moddur. Yüksek Rayleigh sayılarında ise, taşınım ısı transferi baskındır [15]. 2011’de Rehena Nasrin tarafından bir kare hacim alanında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmış bir çalışma da bulunmaktadır. Testler farklı katı-sıvı termal iletim oranları, farklı silindir konumları ve farklı Richardson sayıları ile gerçekleşirken Prandtl ve Reynolds sayıları sabit tutulmuştur. Sonuçlar akış çizgileri grafiği, izotermal grafiği ve boyutsuz sayılar ile birlikte farklı parametrelerin yer aldığı tablo-grafik halinde verilmiştir. Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanılmış olup ağ yapısı üç köşeli olarak belirlenmiştir. Sonuçların bazıları: En içteki silindirin konumuna göre akış rejimi ve ısı transfer karakteristiği değişmektedir. Katı-sıvı ısı iletim oranının (K) en küçük değeri için Nusselt Sayısı da en küçük değerini alır. Eğer Richardson > 1 ve silindir daha az sıcaklığa sahip yüzeye yakın yerleştirilse, Nusselt sayısı optimum değerini alır [16]. Yine çalışma sonuçları içerisinde optimum silindir konumu ve silindir konumlarına bağlı diğer optimum ölçüler bulunmaktadır. 2007’de N. K. Ghaddar ve F. Thiele tarafından, kapalı bir hacim alanı içerisinde dönen ve ısı yayan dairesel parça üzerine yapılan 2 boyutlu bir çalışma bulunmaktadır. Çalışmada akış ve termal hareketler incelenmiş olup, silindirin dönme hızına bağlı olarak ısı transferi çeşitleri incelenmiştir. Isı transferi ve silindirin dönme yönü arasındaki ilişki incelenmiştir. Düşük Rayleigh sayılarında Reynolds sayısı ve silindirin yüzey sıcaklığı %25-35 kadar düştüğü önceki çalışmalarda tespit edilmiştir, bu çalışmada da bu ölçümler yapıp kıyaslanmak istenmiştir. Testler bir bilgisayar programı ile sonlu elemanlar analizi metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün sonuçlar grafik ve tablo olarak verilmiştir. Düşük Rayleigh sayılarında, ısı aktarımında önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir. Silindirin etrafındaki dönel akışkanın, bütün akışı domine ettiği gözlemlenmiştir. Ra / Re ’nin ortalama değerlerinde, silindirin üzerinde yükselen termal bulut, dönüş yönünde ve açısız kayma yönünde kaydırılır, artan Ra / Re ile azalır. Silindir dönmediğinde, sistem içerisindeki maksimum sıcaklık noktası değişmektedir. Düşük Ra / Re^2 ‘de maksimum sıcaklık %35 kadar düşmektedir. Dönme hareketi ve yüksek Prandtl sayısı sistemdeki ısı transferini artırır. Dönme hızının yüksek olması, silindirin etrafında daha fazla uniform sıcaklık ve kesme kuvveti gerilimi dağılımı üretir [17]. Literatürde benzer çok sayıda araştırma vardır. Her çalışma bir sorunun cevabı niteliğindedir. Bir diğer araştırma Houssein Laidoudi tarafından 2021’de, üçgen bir kanal içerisindeki birbirlerine paralel 2 adet üçgen üzerinde yapılmış ve ısı transferi incelenmiştir. Dışarıdaki kanal yüzeyleri soğuk, içteki kanalların yüzeyleri sıcaktır. Kanal içerisinde sıkıştırılamaz Newtoniyen Sıvı kullanılmış olup bütün testler ANSYS - CFX ile gerçekleştirilmiştir. Başlangıç şartları olarak Rayleigh sayısı $10^3 - 10^5$, Prandtl sayısı ise $1 - 10^3$ olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuç kısmına göre, ısı transferi pozitif olarak Rayleigh sayısına bağlıdır. Sıvının termo-fiziksel özellikleri, ısı transferi performansı üzerine etkileri sınırlıdır [18].

3. ISI TRANSFERİ

Bir sistem ile sistemin çevresi arasındaki sıcaklık farkından dolayı transfer halinde olan enerji formuna ısı denir. Isı transferi ise bu ısı geçişini farklı parametreler merceğiyle inceleyen bilim dalıdır. Bu enerji aktarımı mikroskobik boyutta olup, teknolojinin gelişimiyle birlikte hesaplama yöntemleri de gelişmiştir. Isı Transferi, İletim, Taşınım ve Işınım olmak üzere 3 türe ayrılır ve her sistemde ayrı ayrı incelenir. Isı transferi hesaplamaları 4 temel yasa ve 3 özel yasa kullanılarak yapılır.

Temel Yasalar:

- Termodinamiğin I. Yasası

$$\Delta U = Q + W \quad (3.1)$$

- Termodinamiğin II. Yasası

$$W_{net,giren} = Q_H - Q_L \quad (3.2)$$

- Newton'un II. Hareket Yasası

$$F = m \cdot a \quad (3.3)$$

- Kütlenin Korunumu Yasası

$$\Delta m_{sistem} = m_{giren} - m_{çıkan} \quad (3.4)$$

Özel Yasalar:

- ➔ Newton Soğuma Yasası

$$\dot{Q} = h \cdot A_s (T_2 - T_1) \quad (3.5)$$

- ➔ Fourier Isı İletim Yasası

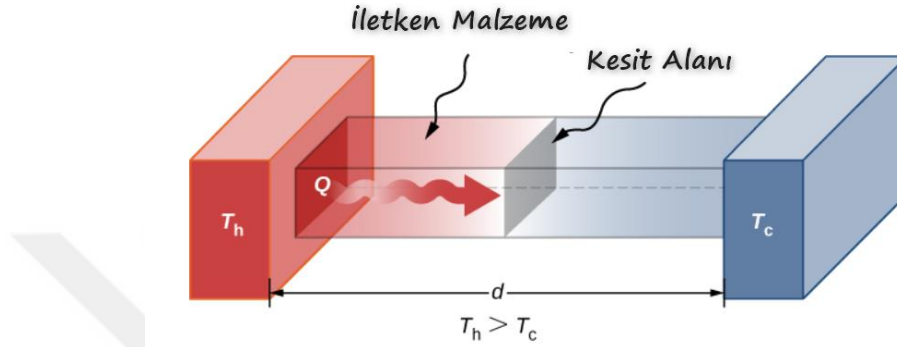
$$q = -k \cdot A (T_2 - T_1 / L) \quad (3.6)$$

- ➔ Stephan-Boltzman Işınım Yasası

$$P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (3.7)$$

3.1. İletim Isı Transferi

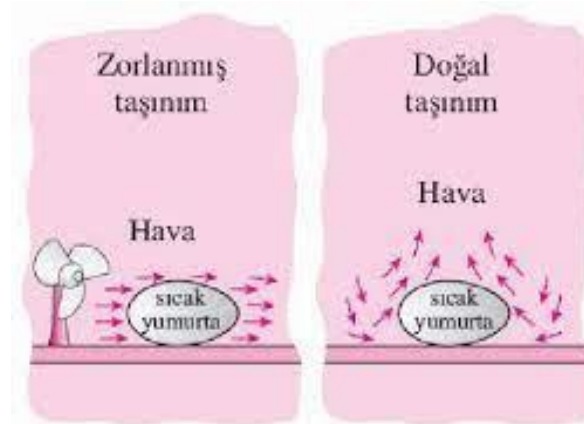
Bir diğer adıyla Kondüksiyon, maddenin içinde serbest elektron veya moleküllerin kendilerine özgü hareketleriyle ısı birbirlerine iletir. Farklı bir tanım yapacak olursak Kondüksiyon, molekülden moleküle geçen kinetik enerji akımıdır ve özellikle maddenin ısı iletim yeteneğine (k) bağlıdır. Hesaplamak için denklem 3.6'da gösterilen Fourier Isı İletim Yasası kullanılır. Şekil 3.1.'de iletim ısı Transferinin şematik bir görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.1. İletim ısı transferi

3.2. Taşınım Isı Transferi

Bir diğer adıyla Konveksiyon, hareket halindeki akışkanların temas ettikleri yüzey ile arasındaki ısı transferidir. Bu transfer türünde moleküllerin kendi aralarında gelişigüzel hareketlerinden çok bütün halde dolaşımı söz konusudur. Konveksiyon hesaplamaları akışkanın ve yüzeyin bazı özelliklerine göre değişmektedir: Akışkanın dinamik viskozitesi, ısı iletim katsayısı, yoğunluğu, özgül ısı ve hızına bağlı olmakla yüzeyin, geometrisi ve sürtünme oranına bağlıdır. Bu özelliklerin yanı sıra akışın laminar veya türbülanslı olması durumu da etkili olmaktadır [19]. Denklem 3.5'de gösterilen Newton'un Soğuma Yasası ile hesaplanır. İki çeşit taşınım ısı transferi vardır. Şekil 3.2.'de zorlanmış taşınım ve doğal taşınımın sıcak yumurta ile şekilsel gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.2. Zorlanmış ve doğal taşınım ısı transferi görseli

3.2.1. Zorlanmış Taşınım

Taşınımın ısı geçişi bir dış kaynak yani bir fan veya pompa gibi akışkana hareket veren bir mekanizma etkisiyle meydana geliyorsa buna zorlanmış taşınım denir. Bu tezin konusundaki gibi akışkan içerisindeki bir cismin hareketi de zorlanmış taşınımdır. Bir akışkan kesintisiz bir yüzeyden akmaya zorlandığı zaman temas ettiği yüzeyde akışkanın hareketi sıfır olur ve burada yüzey üzerine yapışmış gibi görünen akışkan tabakası oluşmaktadır. Bu nokta ‘Kaymama Noktası’ olarak adlandırılır. Araç aerodinamiği, kanatçık veya türbin kanadı gibi akışlar ‘Dış Akış’ olarak adlandırılmakta ve serbest bir akış olduğundan hız ve sıcaklık gradyanına bakılmaz. Ancak akış, boru veya kanal gibi, çevrelenmiş ise ‘İç Akış’ olarak adlandırılır ve akışın hangi bölgede olduğu önemlidir.

3.2.2. Doğal Taşınım

Doğal taşınım, herhangi bir dış etki olmadan, akışkanın kendi doğal hızından kaynaklanan taşınım ısı transferidir. Doğal taşınımı oluşturan bir çok etki vardır ancak bunlardan en bariz etki eden kaldırma kuvvetidir. Sıcak yemeğin havayla teması, insan vücudunun havayla teması gibi örnekler bu türe girer. Doğal taşınımda akışkan ısıl kararsızlıktan dolayı türbülanslı akışa dönüşebilir. Laminerden türbülansa geçiş bölgesinde akışkanın içindeki kaldırma ve sürtünme kuvvetlerinin birbirine oranı ile ifade edilir. Bu oran denklem 3.8 ‘deki Grashof Sayısı ile ifade edilir.

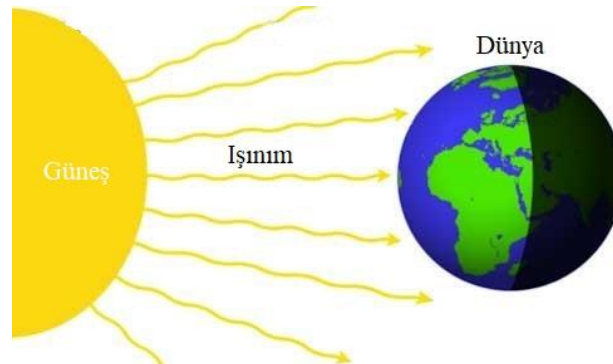
$$Gr = g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3 / \nu^2 \quad (3.8)$$

Türbülansa geçiş bölgesinin belirlenmesinde ise denklem 2.9 ‘daki Rayleigh Sayısı kullanılır.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (3.9)$$

3.3. Radyasyon Isı Transferi

Radyasyonla ısı transferi ise elektromanyetik dalgaların yayılımı ile oluşur. Dalgalar enerjiyi kaynaktan uzağa doğru taşırlar. Şekil 3.3 ‘de gösterildiği gibi güneş ışınlarının dünyayı ısıtması bunun en büyük örneğidir. Bir diğer adı Işınım Isı Transferidir ve Termal Radyasyon Yasası olan denklem 3.7’de gösterilen Stephan-Boltzman Yasası ile hesaplanır. Şekil 3.3.’de Güneş ile Dünya arasındaki ışınlım ısı transferi şematize bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Işınım ısı transferine bir örnek - Güneş Sistemi

3.4. Reynolds Sayısı

Reynolds sayısı, akışkanlar mekaniğinde, bir akışkanın atalet kuvvetlerinin, viskozite kuvvetlerine olan oranıdır. Bu sayı iki tip kuvvetin belli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini vermektedir. Bu tanıma göre hesaplanan sayı bize akış rejiminin laminar veya türbülanslı akış olup olmadığını verir.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} = \frac{v_s D}{\nu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}} \quad (3.10)$$

Akış rejimi eğer, Reynolds < 2300 ise, laminar akış
2300 < Reynolds < 4000 ise, geçiş rejimi
Reynolds > 4000 ise, türbülanslı akış olarak belirlenir.

3.4.1. Reynolds Sayısının Hesaplanması

Bu çalışma için giriş Reynolds sayısı tablo 3.1.'de gösterilen parametreler ile hesaplanmıştır. Tabloda giriş Reynolds sayısı ve akış rejimi de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Akışkan özellikleri ve giriş Reynolds Sayısı tablosu

$V_{giriş,su}$ (m / s)	ρ_{su} (kg/m ³)	μ (m ² /s ⁻¹)	D_{kanal} (m)	$Reynolds_{giriş}$	Akış Rejimi
1	1000	0,0015182	0,02	13173,49	Türbülans
2	1000	0,0015182	0,02	26347	Türbülans

3.5. Nusselt Sayısı Hesaplaması

Nusselt Sayısı, taşınım ısı transfer katsayısının iletim ısı transfer katsayısına oranı arasındaki ilişkiyi veren boyutsuz bir sayıdır.

$$Nu_D = \frac{h.D}{k} \quad (3.11)$$

Çapa bağlı Nusselt Sayısı hesaplamalarında denklem 3.11 'de gösterildiği gibi çap kullanılır. Plaka gibi düz geometrilerde ise D yerine L, yani uzunluk kullanılır.

Bu çalışmada Nusselt Sayısı ANSYS – Fluent çözücüsü ile hesaplanmıştır ve sonuçlar ile birlikte yazılmıştır.

4. ISI TRANSFERİ ARTTIRMA YÖNTEMLERİ

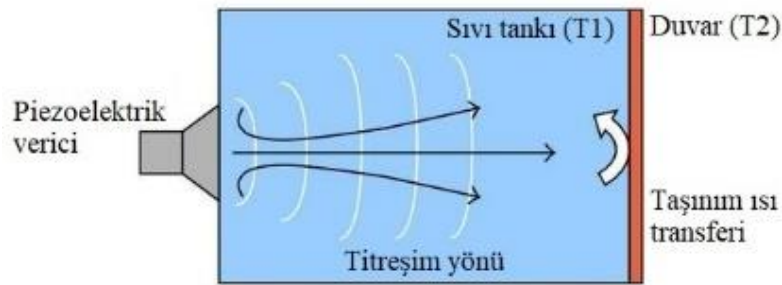
Her geçen gün artan nüfus, teknolojinin gelişimine katkı sağlarken; gelişen teknoloji ise nüfusun artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu iki grafik birbirine paralel bir şekilde yükseliş sergilediği sırada düşüş sağlayan grafik ise, kaynaklar. Her geçen yıl azalan kaynaklar, verimliliğin ne kadar önemli olduğunu bize unutturmamaktadır. Bu yüzden hayatın her alanında karşımıza çıkan ısı transferini etkilemek, yani arttırmak veya azaltmak için birçok çalışma yapılarak farklı ürünler, metodlar geliştirilmiştir. Bu yöntemleri ‘Aktif’ , ‘Pasif’ ve bunların birlikte kullanıldığı ‘Birleşik’ olmak üzere 3 ana başlık altında toplayabiliriz.

4.1. Aktif Yöntemler

Pasif yöntemler her ne kadar etkili sonuçlar verse de bazı kısıtlamalara sahip olduğundan dolayı aktif yöntemler de kullanılabilir. Bu yöntemde bir harici bir enerji kaynağından akışkana veya ortama bir enerji verilir. Bu enerji akışkan hareketini değiştirmeye yönelik kullanılır. Aşağıda bazı önemli yöntemleri listelenmiştir.

Akış Titreşimi: Bu yöntemde yüzeye motor tahrikli eksantrik ile titreşimler verilerek laminar alt tabaka parçalanır ve ısı transferini iyileştirir. Akış titreşimi genellikle çift fazlı sistemlerde kullanılır.

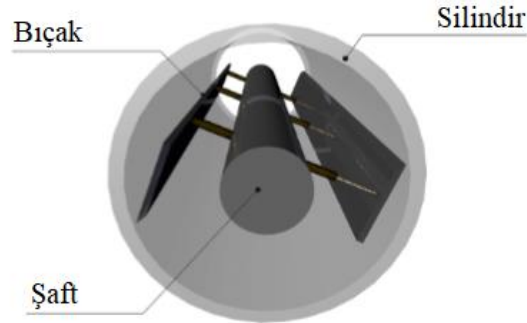
Akışkan Titreşimi: Tek fazlı sistemlerde genellikle bu metot kullanılır. Bu metotta titreşim yüzeye değil, akışkana 1 Hz frekans aralığında uygulanır. Delouei ve arkadaşlarının 2019’da 25 kHz ve 75 – 100 Watt güç kullanarak yaptığı deneylerde %7,28’e kadar ısı transferi iyileştirmesi elde etmişlerdir [20]. Şekil 4.1.’de akışkan titreşimi sisteminin şematik görseli görülmektedir.



Şekil 4.1. Akışkan titreşimi sistemi

Mekanik sistemler: Bu sistemler yüzeyin döndürülmesini sağlayarak akışkanın karıştırılmasını sağlar. Özellikle kimya endüstri bu metodu çok kullanır. Bu araştırmanın konusu da mekanik sistemdir. Daha sonra göreceğiniz kanal içerisinde dönel hareket yapan kare cisim bir dış enerji ile akışkanı karıştırma işlemi yapmaktadır. Hernandez-Parra ve arkadaşlarının 2018’de yaptıkları

sayısal deneyler sonucunda ısı transfer katsayısının %20 arttığını gözlemlemişlerdir [21]. Şekil 4.2.'de bir silindir içerisindeki karıştırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.

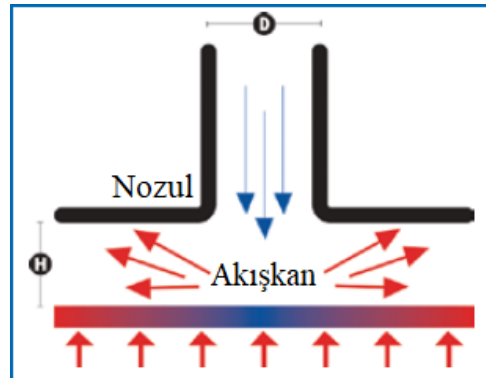


Şekil 4.2. Mekanik yardımcı sistemler ile karıştırmaya örnek [22]

Enjeksiyon: Tek fazlı akışlarda kullanılır. Isı transfer yüzeyinin gözenekli yapısı aracılığıyla akışkana gaz enjekte edilerek ısı transferi artırılır.

Emme: Tek fazlı akışlarda çekirdek veya film kaynamada gözenekli ısıtılmış yüzey arasından buhar çekilmesi yöntemidir.

Jet çarpması: Bu teknikte akışkan ısı transfer yüzeyine dik veya açılı bir şekilde bir veya birden fazla jet çarptırılarak ısı transferi arttırılır. Çelik ve Turgut'un 2012'de eş eksenli jet ile yaptığı deneysel çalışmalarda Nusselt sayısında %10,7 artış gözlemlenmiştir [23]. Şekil 4.3.'de jet çarpmasının şematik bir gösterimi gösterilmiştir.



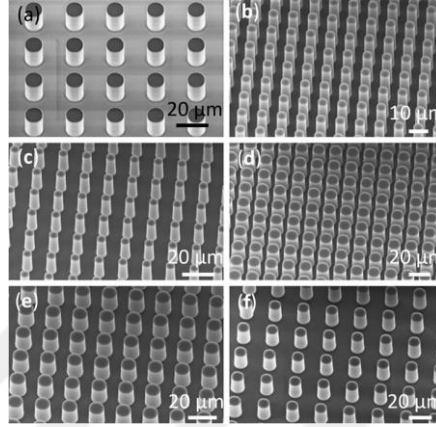
Şekil 4.3. Jet çarpması metoduna ait bir şema

Elektrosatik Alanlar: Elektriksel akışkanlara Doğru Akım (DC) ve Alternatif Akım (AC) uygulanarak karışım sağlanır.

4.2. Pasif Yöntemler

Aktif yöntemlerin aksine bu yöntemde dışarıdan bir enerji verilmez, enerji kullanılmaz ve bu yüzden maliyet daha düşük, uygulanabilirlik daha yüksektir. Pasif Yöntemlerde genellikle akışın içerisine veya akışın hareket halinde olduğu geometrinin yüzeyinde değişiklikler yapılarak Isı Transferi iyileştirilir.

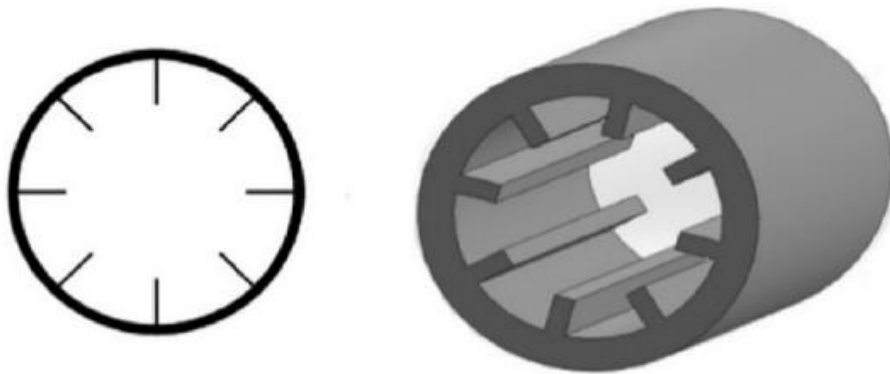
Pürüzlü Yüzeyler: Akış türbülansını arttırmak ve ısı transfer miktarını artırmak için viskoz alt tabakayı bozarak uygulanır. Isı transferinin gerçekleştiği yüzeyler veya akışın temas ettiği ıslak yüzeyleri işleminden geçirilerek yüzey pürüzlülüğünü artırmak yöntemidir. Yüzeye yiv açma, diş çekme vs. örnek verilebilir. Jones ve arkadaşlarının 2009'da içi su ile yüzeyi parlatılmış ve yüzey pürüzlülük değeri $R_a = 1,08$ ile 10 arasında değişen sistemde deney yaparak kendi aralarında kıyaslamış ve yüzey pürüzlülük değerinin ısı transfer katsayısını artırdığını gözlemlemişlerdir [24]. Pürüzlü bir yüzeyin mikroskop altındaki görüntüsü şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Pürüzlü bir yüzeyin mikroskop altında görüntüsü

İşlem Görmüş Yüzeyler: Sistem içerisinde ısı transferi yüzeyinde kaplama veya yüzey işlemesi yapılarak yüzey pürüzlülüğünü artırarak ısı transferini artırma yöntemidir. Hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler gibi yüzey kaplama işlemleri işlem görmüş yüzeylere örnek verilebilir.

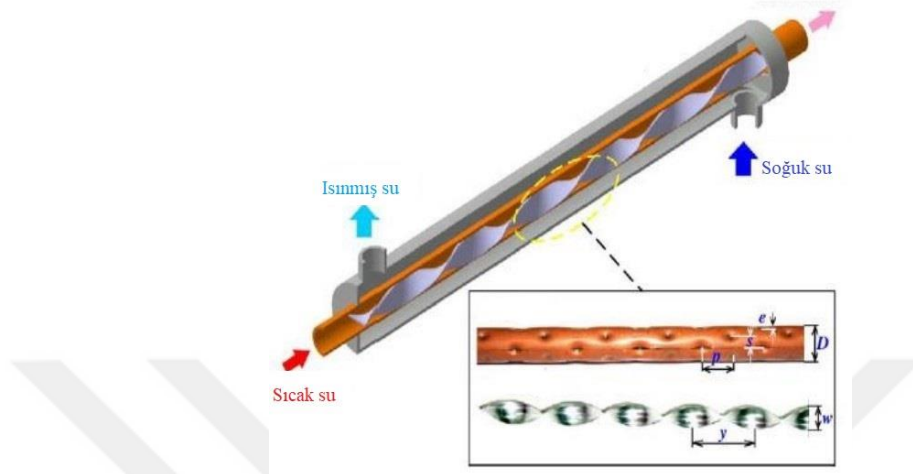
Genişletilmiş Transfer Yüzeyi: Bu yöntemde ısı transferi yüzey alanını artırarak ısı transferini artırmayı amaçlar. Isı değiştiricileri, kompresör ve motor soğutmalarda sıklıkla kullanılır. Isı transfer yüzeyi genişletilmiş bir boru görseli şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Isı transferi yüzeyi genişletilmiş bir boru [25]

Sarmal Akış Elemanı: Borunun içine koyularak akışkanı karıştıran sarmal yapıdaki bükümlü şerittir. Zheng ve arkadaşlarının 2017'de su ve nanoakışkanlar ile dairesel bir boru üzerinde yapılan nümerik deneyde çukurlu sarmal şerit kullanılmış ve ısı transfer katsayısını %25,53'e kadar

artırdığını tespit etmişlerdir [26]. Farklı şekillerde dizayn edilerek yapılan testler de vardır. Örneğin Murugan ve arkadaşlarının 2019'da sarmalın kenarlarını V şeklinde keserek yaptığı çalışmalarda ısı transferini %133 artırdığını keşfetmişlerdir [27]. Sarmal akış elemanının şematik bir gösterimi şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sarmal akış elemanının şematik gösterimi [28]

Sarmal Tüpler: Spiral şeklinde bükülmüş ve akış hacmi boyunca yerleştirilmiş bir borudur. Sıklıkla kullanılan bir ısı değiştiricidir.

Nanoakışkanlar: Isıl iletkenliği yüksek parçacıklar akışkana eklenerek ısı geçişini artırma metodudur. Basınç düşüşü, tıkanma, aşınma gibi sorunlara sebep olsa da bu dezavantajları ortadan kaldırmak için nanoakışkanlar üzerine yapılan araştırmalar artmaktadır. Sözen, Çiftçi ve arkadaşlarının 2019'da bakır bir boru içinde su-klinoptilolit sıvı ile yaptıkları deneysel ve nümerik çalışmalar sonucu borunun ısı transferinde %9,63 artış olduğunu gözlemlemişlerdir [29]. Bir diğer çalışma Vemula, Öztop ve Sheremet tarafından 2021'de $Ag-Al_2O_3$ / Su karışımı akışkan ile yaptıkları çalışmada %12 ısı transferi artışı olduğunu gözlemlemişlerdir [30].

4.3. Birleşik Yöntemler

Aktif ve pasif yöntemlerin birlikte kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Bunlara birleşik yöntemler denir. Özellikle nanoakışkanlar, aktif yöntemler ile birlikte sıklıkla kullanılırlar. Örneğin, Selimefendigil, Koçyiğit ve Öztop'un 2023 yılında nanoakışkan ve dönel konik bir cisimle yaptığı çalışmanın sonucunda ortalama Nusselt Sayısında %38 artış gözlemlemişlerdir [31]. 2018'de Al-Rashed ve arkadaşları manyetik alan ve Nanoakışkan kullanarak ısı transferini incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda, parametrelere göre değişkenlik göstermekle beraber, ısı transferinde artış olduğu gözlemlenmiştir [32].

5. MATERYAL VE METOT

Bilimsel araştırma metotlarına göre çalışmalar 2 şekilde yapılır:

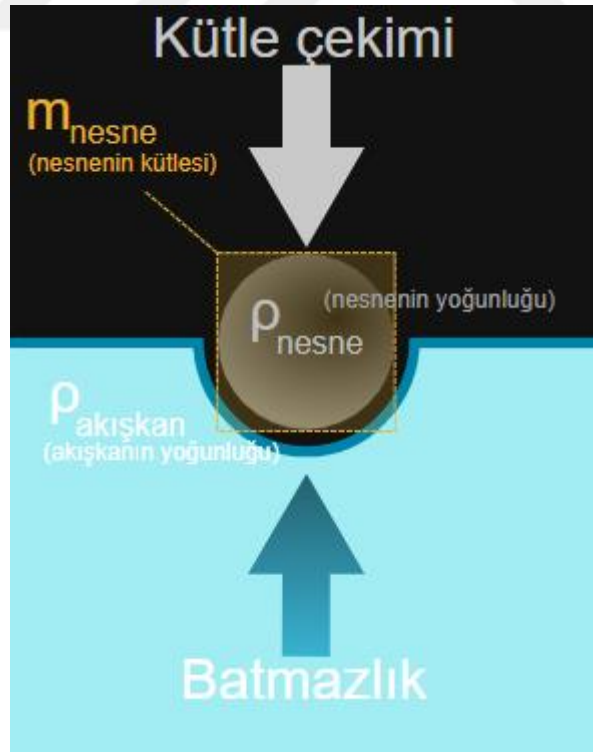
1 – Nümerik metot

2 – Deneysel metot

Bu çalışmada akışkan ve ısı davranışları diferansiyel denklemler ile sayısal çözümler yapılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Hesaplamalar ve modellemeler, bir Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) programı olan ANSYS programı ile gerçekleştirilmiştir. Çözücü olarak Fluent modülü kullanılmıştır. 2 boyutlu çizimler Design Modeler kullanılarak çizilmiştir.

5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği sınırları belirli bir sistem içerisindeki akışkan davranışlarının, bu davranışların ortaya çıkardığı kuvvetleri veya ısı transferi hareketlerinin sayısal olarak çözülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Tarihte bu araştırmayı ilk yapan kişi Arşimet olarak kabul edilir. Yaptığı ilk çalışma ise sıvının kaldırma kuvvetini açıkladığı Arşimet Prensibidir. Arşimet Prensibinin şematik bir gösterimi şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kaldırma kuvvetinin (Arşimet Prensibi) şematik gösterimi

Arşimet, su yoğunluğundan daha az yoğunluğa sahip olan cisimlerin su yüzeyinde kalıp, batmadığını anlamış ve cisimlere etkiyen kaldırma kuvvetini 5.1 'de gösterilen denklem ile tanımladıktan sonra Leonardo da Vinci, Evangelista Torricelli, Isaac Newton, Blaise Pascal, Daniel Bernoulli gibi birçok bilim insanının çalışmalarıyla Akışkanlar Dinamiği gelişmiş ve bugün kullandığımız metotlara öncülük etmişlerdir.

$$F_{KALDIRMA} = V_{BATAN} \cdot \rho_{SIVI} \cdot g \quad (5.1)$$

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği başlıca,

- Isı Transferi problemlerinde
- Aerodinamik ve Hidrodinamik hesaplamalarında
- Ses, Gürültü ve Titreşim hesaplamalarında
- Elektronik devrelerin ısıtma - soğutma hesaplamalarında
- Farklı tür malzemelerin etkileşiminin incelenmesinde
- Kimyasal reaksiyonların incelenmesinde
- Türbülans hesaplamalarında kullanılır.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği her türlü endüstride ve akademik çalışmada kullanılabilmeyle beraber çalışmaları hızlandırmış ve yüksek maliyetli deneylerin yerini alarak Bilim ve Teknolojinin gelişimini ivmelendirmiştir.

5.2. Ağ Yapısı

Tüm akış alanında üç köşeli elemanlar ve daha doğru sonuç almak için cisimlerin etrafında dört kenarlı elemanlar kullanılmıştır. Ağ kalitesi tüm analizlerde Maksimum Skewness değeri 0,64 - 0,69 arasında tutulmuştur. Skewness kalitesi kataloğu tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

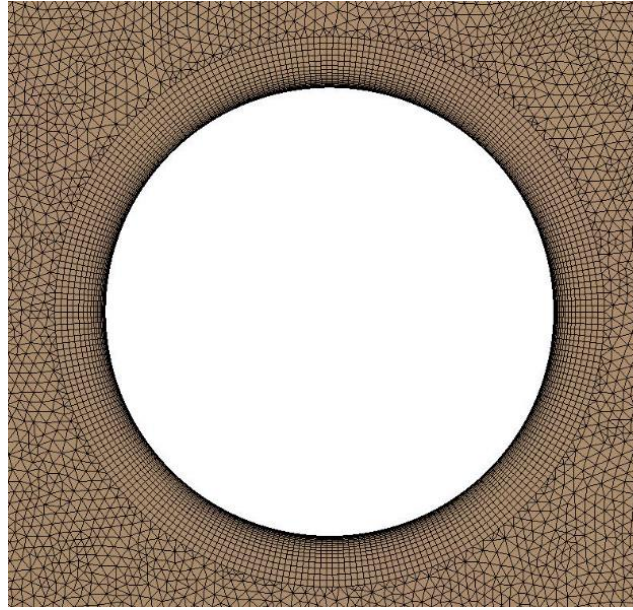
Tablo 5.1. Skewness ağ yapısı kalitesi tablosu [33]

Mükemmel	Çok iyi	İyi	Orta iyi	Kötü	Çok kötü
0 – 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,80	0,80 – 0,94	0,95 – 0,97	0,98 – 1,00

Tüm analizlerde şekil 5.2.'de görülen ağ yapısı kullanılmıştır. Sabit 30 °C sıcaklığa sahip dairesel elamanın etrafındaki ağ yapısı ve katmanlar şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Analizlere ait ağ yapısı



Şekil 5.3. Sabit 30 °C 'de sıcaklığa sahip cismin ağ yapısı

5.3. Geometrik Modelleme ve Sınır Şartları

Bu çalışmada birbirinden farklı parametreler test edilmiş ve kendi aralarında kıyaslanmıştır. Çalışmada dönel cismin; ölçüleri, girişten uzaklığı, dönme hızı, sıcaklığa sahip dairesel cisimle arasındaki mesafe ve kanal içerisindeki dikey konumu birer parametredir. Ayrıca suyun giriş hızı, dairesel cismin kanal içerisindeki dikey konumu da birer parametredir. Girişteki su sıcaklığı 5 m/s, sıcaklığı 5 °C olarak, dairesel cismin sıcaklığı 30 °C tüm testlerde sabit tutulmuştur. Kanal cidarları ve dönel karesel cisim adyabatiktir. Kullanılan akışkanın özellikleri Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Tüm analizlerde kullanılan akışkanın (Su) fiziksel özellikleri

Yoğunluk	ρ	998,2 (kg / m ³)
Özgül Isı Kapasitesi	C_p	4182 (j / kg.K)
Isı İletkenliği	k	0,6 (W / m.K)
Dinamik Viskozite	μ	0,001003 (kg / m.s)
Sıcaklık	T	5 (°C)

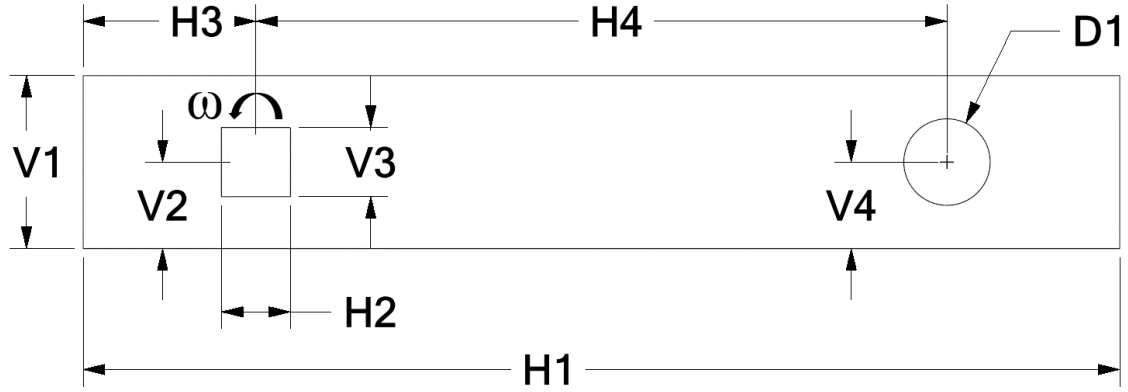
Türbülans modeli standart k-epsilon olarak seçilmiştir ve Enerji Denklemleri aktifleştirilerek çözüm alınmıştır. Enerji Denklemleriyle ilgili detaylar daha sonra verilecektir. Ayrıca çözüm metodu olarak SIMPLE, Green-Gauss Cell Based kullanılmıştır. Hesaplama detayları ise şöyledir:

- Adım Basamağı: 0,01 saniye
- Toplam Basamak: 300 'dür.

Bu değerler sürekli olarak değiştirilmiş fakat sonuçlar üzerinde herhangi bir farklılık gözlemlenmediğinden ve analiz süresini kısaltmak amaçlı dolayı bu değerler kullanılmıştır.

Dönen karesel cismin açısal dönme hızı: 0, 2, 4, 6 rad/sn olarak her geometri için ayrı ayrı girdi olarak kullanılmıştır ve ω simgesi ile gösterilmiştir. Bu değerler belirlenmeden önce daha yüksek değerler de kullanılmış fakat çıktılarda herhangi bir değişik gözlemlenmediği için bu çalışmada yer verilmemiştir.

Dönen karesel cismin açısal dönme hızıyla beraber akışkanın giriş hızı da bir parametre olarak analizlere girdi olarak verilmiştir. Bu değerler ise V : 1, 2 m/sn olarak her geometri için ayrı ayrı kullanılmış ve açısal dönme hızıyla kombinasyonları denenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinin ardındaki temel motivasyon; bu tür sistemlerde kullanılan akışkan hızlarının bu değerlerde olmasıdır. Farklı giriş hızları da denenmiş, 2 m/sn 'nin üzerindeki hızlarda akışkan sıcaklığa maruz kalmadan hızla geçip gittiği için herhangi bir olumlu sonuç gözlemlenmemiştir. Akış hızı 1 m/sn 'nin altındaki hızlarda çıkış sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir fakat bu değerler reel bir tabana oturmadığından ve düşük hızların sistemlerde farklı sorunlara yol açtığından dolayı tercih edilmemiştir ve detaylarından bahsedilmeyecektir. Şekil 5.4.'de analizlere ait sabit ve değişken parametrelerin şekilsel bir gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5.4. Akış alanının geometrik gösterimi

V_1 : Kanal çapı = sabit 20 mm

H_3 : Dönen karesel cismin merkezinin kanal girişine olan X eksenindeki mesafesi

H_2 : Dönen karesel cismin X eksenindeki ölçüsü

V_3 : Dönen karesel cismin Y eksenindeki ölçüsü

V_2 : Dönen karesel cismin kanala göre Y eksenindeki konumu

H_4 : Dönen karesel cismin dairesel cisim ile arasındaki X eksenindeki mesafesi

V_4 : Dairesel cismin kanal içindeki Y eksenindeki konumu

D_1 : Dairesel cismin çapı = sabit 10 mm

H_1 : Kanal uzunluğu sabit 120 mm 'dir.

ω : Objenin açısal hızı (rad/sn)

Tablo 5.3.'de değişken geometrik parametreler gösterilmiştir. Bu parametrelerin isimleri ve şekilsel gösterimi sayfa 17 'de şekil 5.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Analiz geometrilerinin llre göre isimlendirilmesi

	V_2	H_2	V_3	H_4
a_1	6	4	4	20
a_2	14	4	4	20
a_3	10	4	4	20
a_4	10	4	8	20
a_5	10	4	12	20
a_6	10	8	8	20
a_7	10	8	12	20
a_8	10	12	12	20
b_1	6	4	4	40
b_2	14	4	4	40
b_3	10	4	4	40
b_4	10	4	8	40
b_5	10	4	12	40
b_6	10	8	8	40
b_7	10	8	12	40
b_8	10	12	12	40
c_1	6	4	4	60
c_2	14	4	4	60
c_3	10	4	4	60
c_4	10	4	8	60
c_5	10	4	12	60
c_6	10	8	8	60
c_7	10	8	12	60
c_8	10	12	12	60
d_1	6	4	4	80
d_2	14	4	4	80
d_3	10	4	4	80
d_4	10	4	8	80
d_5	10	4	12	80
d_6	10	8	8	80
d_7	10	8	12	80
d_8	10	12	12	80

5.4. Genel Denklemler

Bu çalışmadaki tüm analizler daha önce bahsi geçen paket program kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bu çözümleri bize vermektedir. Belirlenen bazı sınır şartları programa girdi olarak verildikten sonra program arka tarafta iki boyutlu kartezyen koordinatlarda bazı denklemleri istenilen iterasyon kadar çalıştırarak bize en yakın sonucu vermeye çalışır. Bu denklemler şöyledir:

- Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \quad (5.1)$$

- X momentum denklemi;

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = \nabla(\mu \nabla u) - \frac{\partial P}{\partial x}. \quad (5.2)$$

- Y momentum denklemi;

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = \nabla(\mu \nabla v) - \frac{\partial P}{\partial y} - \rho g. \quad (5.3)$$

- Enerji denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c T) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u c T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v c T) = \nabla(k \nabla T). \quad (5.4)$$

Bu denklemlerdeki,

- u , x yönündeki hız bileşeni,
- v , y yönündeki hız bileşeni,
- P basınç ,
- T sıcaklık ,
- t ise zamanı ifade etmektedir.

5.5. Sınır Şartları Denklemleri

- Giriş;

$$U = U(Y), V = 0, \theta = 0. \quad (5.5)$$

- Çıkış;

$$\partial U / \partial X = \partial V / \partial X = \partial \theta / \partial X = 0. \quad (5.6)$$

- Kanal şartları;

$$U = 0, V = 0, \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0 \quad (5.7)$$

- Silindir;

$$U = -\Omega(Y - Y_0), V = \Omega(X - X_0), \theta = 1 \quad (5.8)$$

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir kanal içerisinde bulunan , kendi ekseninde dönel harekete sahip adyabatik karesel bir cisim ile 30 °C sabit sıcaklığa sahip, sabit bir dairenin optimizasyon çalışması yapılması hedeflenmiştir. Bu optimizasyon, akışkan hızı, karesel cismin açısal hızı, iki cismin kanal içerisindeki X ve Y eksenindeki konumları birer parametre olarak kullanılarak sayısal olarak yapılmıştır. Daha önceden de verilen bu parametler belirlenirken birbirine bağımlı ve bağımsız yüzlerce farklı değer kullanılmış ve aralarından optimum olanlara bu çalışmada yer verilmiştir. Sayısal analizlerin sonuçları kendi aralarında ve literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında tutarlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu bölümde sayısal analiz sonuçlarının;

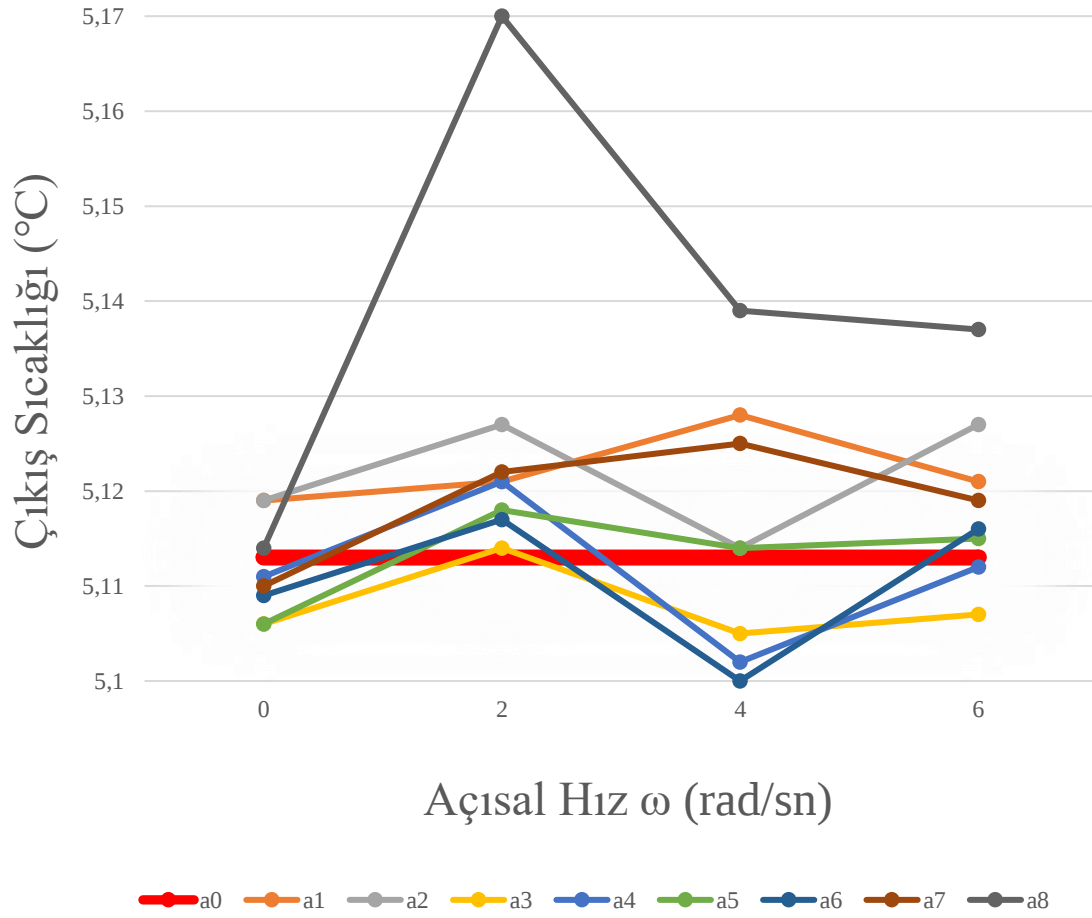
- Akış eğrisine
- Sıcaklık kontür grafiğine
- Hız vektör grafiğine
- Nusselt sayısına
- Çıkıştaki ortalama sıcaklığa yer verilecektir.

Ekler kısmında her analizin sonucu ayrı ayrı verilecek olup sonuçlar başlığında ısı transferinin en yüksek olduğu analiz sonuçları verilmiştir. Gösterilen tüm ölçülerin birimler milimetre'dir ve sıcaklık konturleri, hız akış eğrileri ve hız vektör grafikleri en yüksek çıkış sıcaklıklarına ait olan analizlere aittir.

7. TARTIŞMA

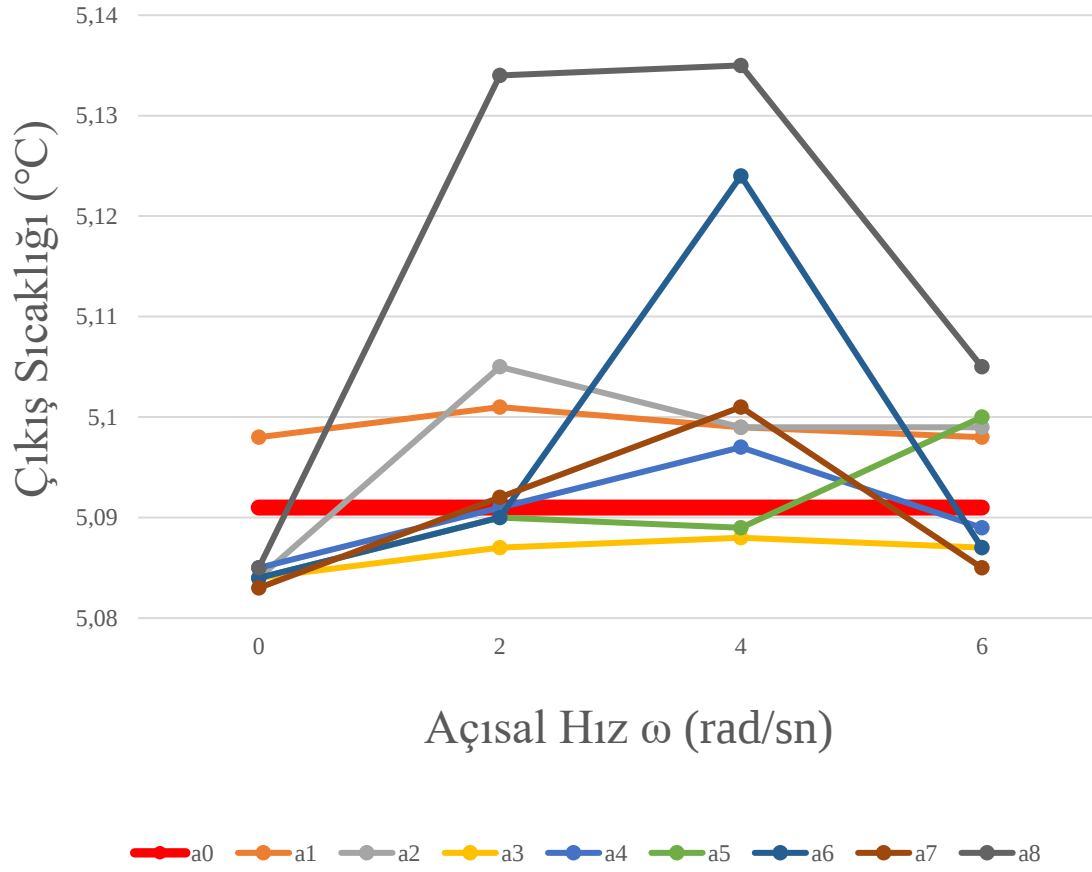
Obje olmadan yapılan analiz sonucu a0 olarak, farklı geometrilerdeki şekiller ile yapılan analizler ise a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8 olarak aşağıdaki şekillerde gösterilmiş olup tüm açısal hızlarda, akışkanın

çıkıştaki sıcaklığı gösterilmiştir. a0 geometrisi tüm şekillerde kırmızı renk ile gösterilmiştir ve açısal hız bu geometrilerde olmadığından dolayı düz bir çizgi şeklinde görülmektedir. Aşağıdaki şekiller incelendiğinde, akışkanın çıkış sıcaklığı açısal hıza göre değiştiği gözlemlenmektedir.



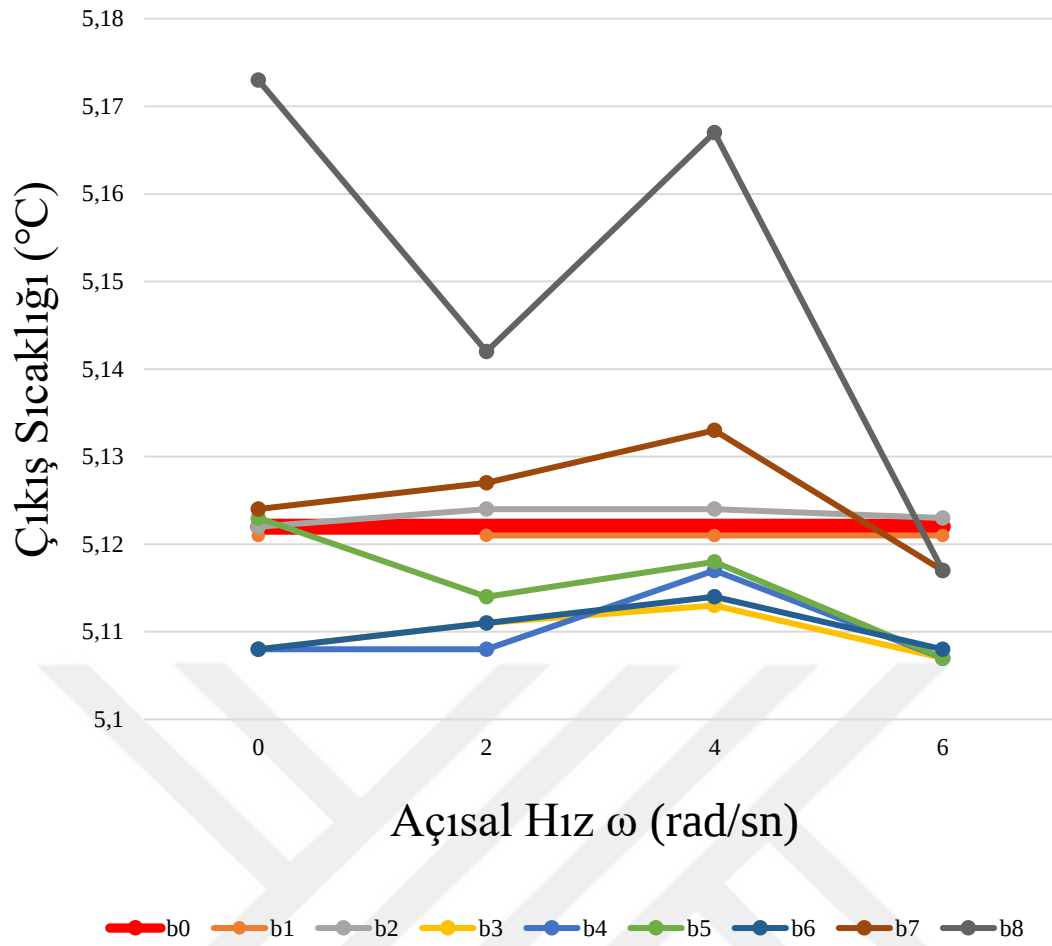
Şekil 7.1. $V_{Akışkan} = 1 \text{ m/s}$ iken a geometrilerinin aksenal dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.1. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (a0), akışkan hızı 1 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,11 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık a8 geometrisinde elde edilmiştir. 2 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,17 °C olduğu gözlemlenmiştir.



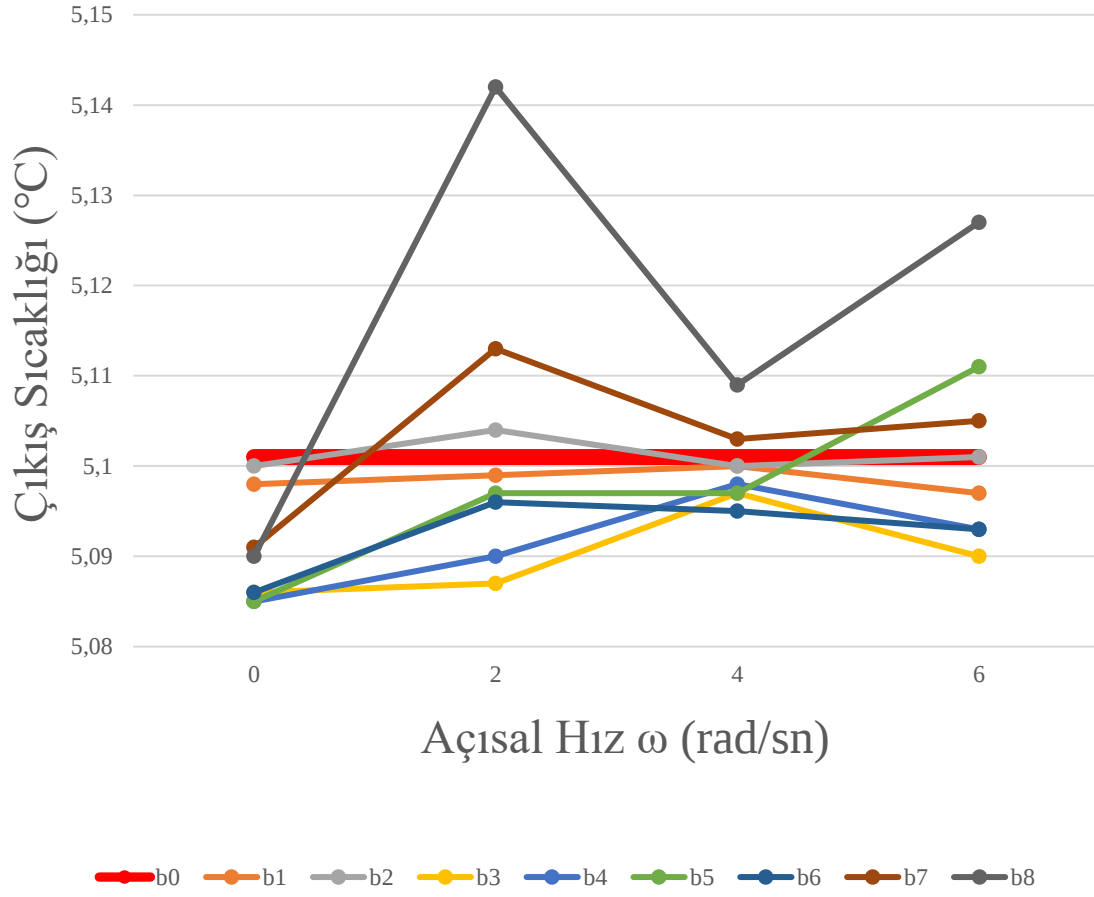
Şekil 7.2. $V_{Akışkan} = 2 \text{ m/s}$ iken a geometrilerinin aksenal dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.2. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (a0), akışkan hızı 2 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,09 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [a8](#) geometrisinde elde edilmiştir. 2 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,134 °C, 4 rad/sn açısal hızla dönerken 5,135 °C olduğu gözlemlenmiştir. [a6](#) geometrisinde 0, 2, 6 rad/sn açısal hızdaki çıkış sıcaklıkları a0 'ın altında kalırken 4 rad/sn açısal hızda 5,124 °C 'ye çıktığı gözlemlenmektedir. Bu artış optimizasyonun ne kadar önemli olduğunu gösteren iyi bir örnektir.



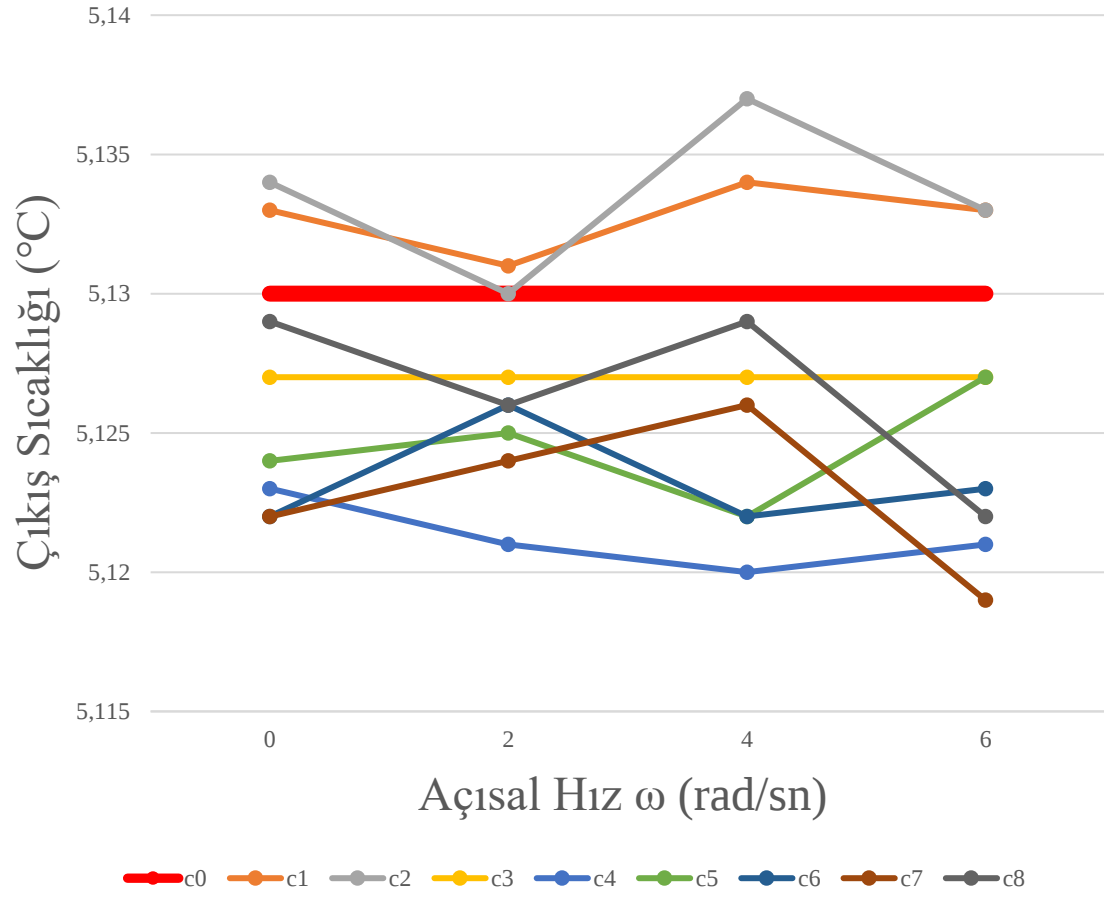
Şekil 7.3. $V_{Akışkan} = 1 \text{ m/s}$ iken b geometrilerinin aksenal dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.3. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (b0), akışkan hızı 1 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,122 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [b8](#) geometrisinde elde edilmiştir. 0 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,173 °C olduğu gözlemlenmiştir. 4 rad/sn hızla dönerken 5,167 °C sıcaklığa ulaştığı gözlemlenmektedir.



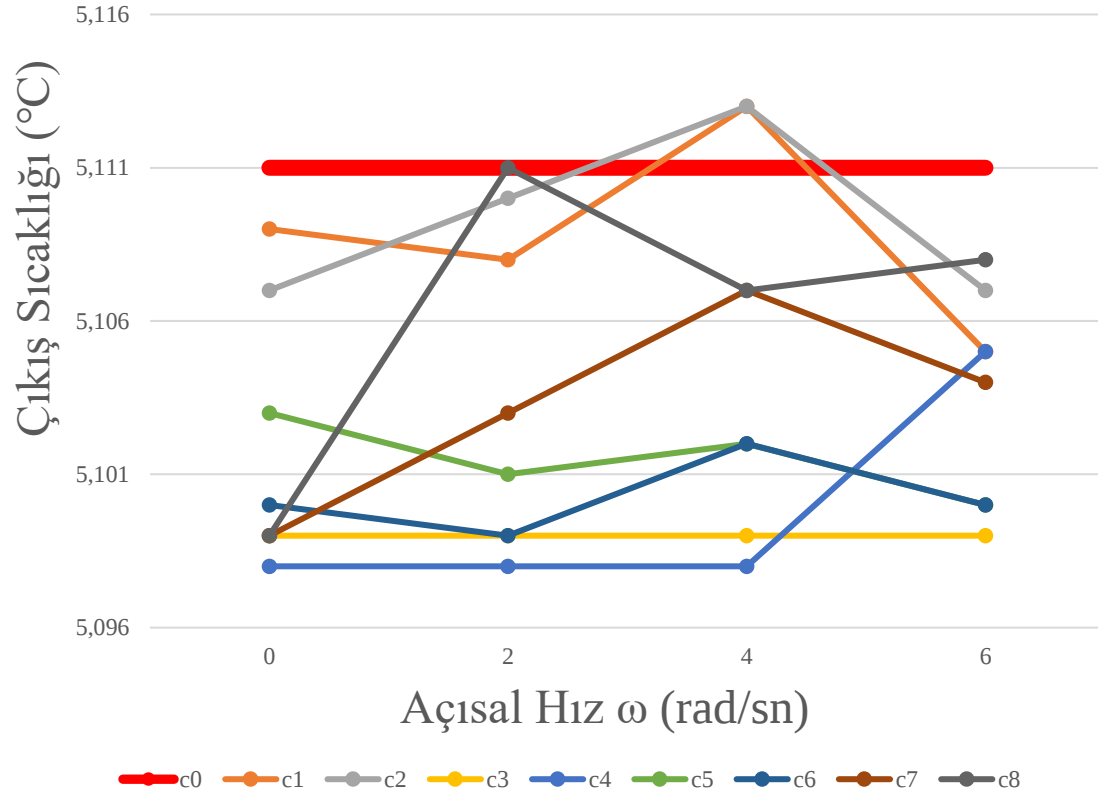
Şekil 7.4. $V_{Akışkan} = 2 \text{ m/s}$ iken b geometrilerinin aksel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.4. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (b0), akışkan hızı 2 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,101 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [b8](#) geometrisinde elde edilmiştir. 2 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,142 °C olduğu gözlemlenmiştir.



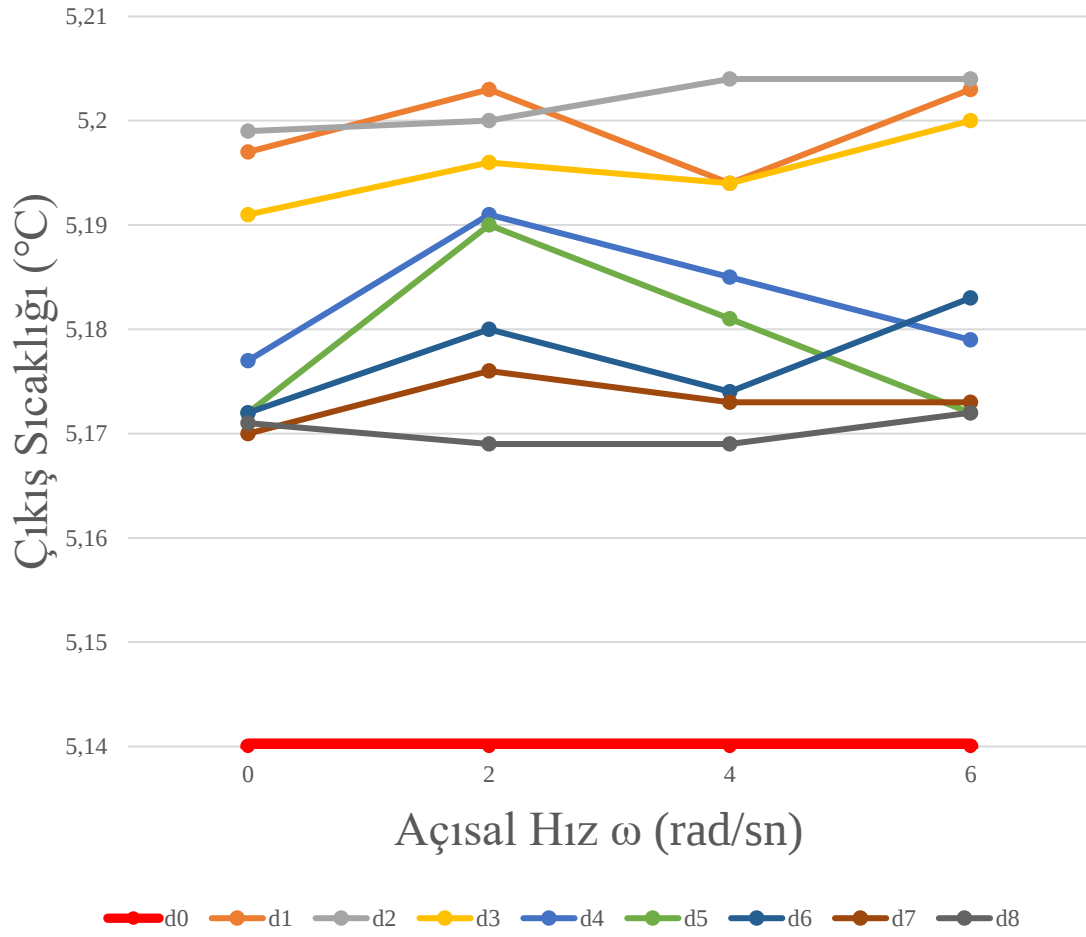
Şekil 7.5. $V_{Akışkan} = 1 \text{ m/s}$ iken c geometrilerinin aksenal dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.5. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (c0), akışkan hızı 1 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,13 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [c2](#) geometrisinde elde edilmiştir. 4 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,137 °C olduğu gözlemlenmiştir.



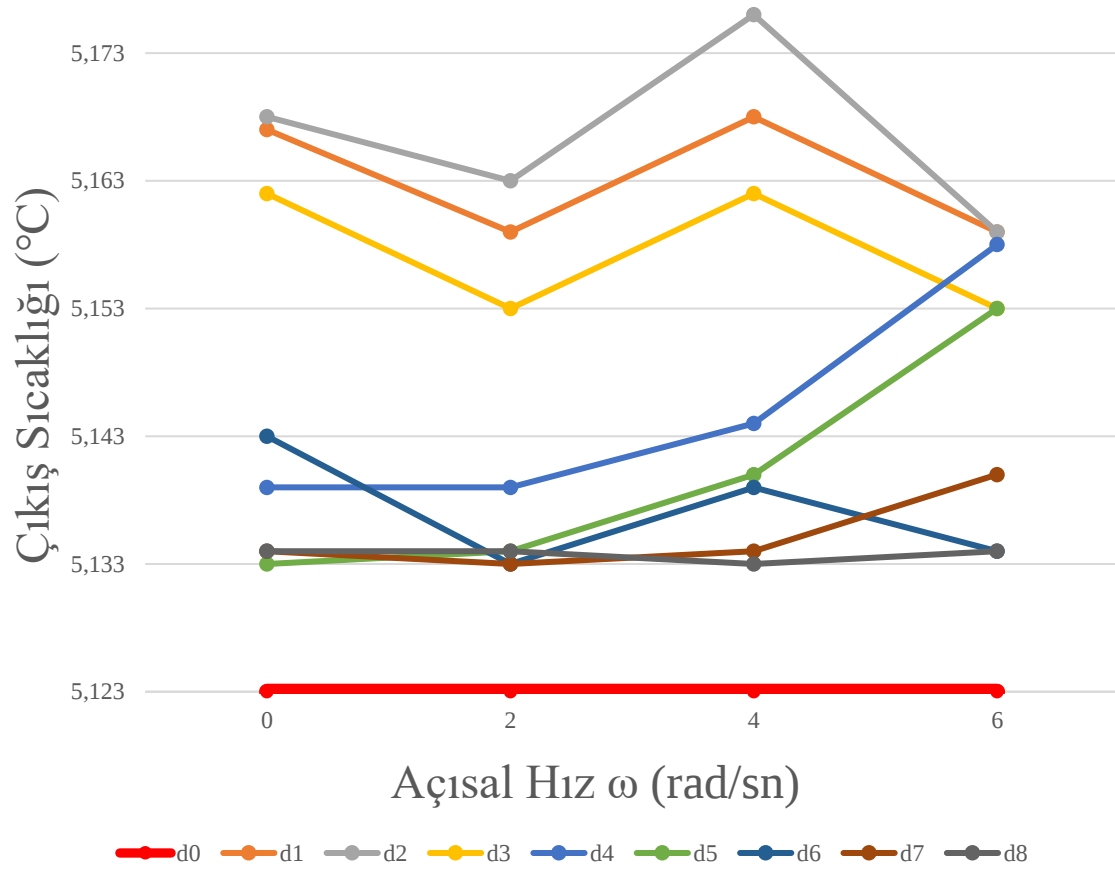
Şekil 7.6. $V_{Akışkan} = 2 \text{ m/s}$ iken c geometrilerinin aksel dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.6. 'da görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (c0), akışkan hızı 2 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,111 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [c2](#) ve [c1](#) geometrisinde elde edilmiştir. 4 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,113 °C olduğu gözlemlenmiştir. Diğer tüm analiz sonuçlarında çıkış sıcaklıkları c0 geometrisinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.



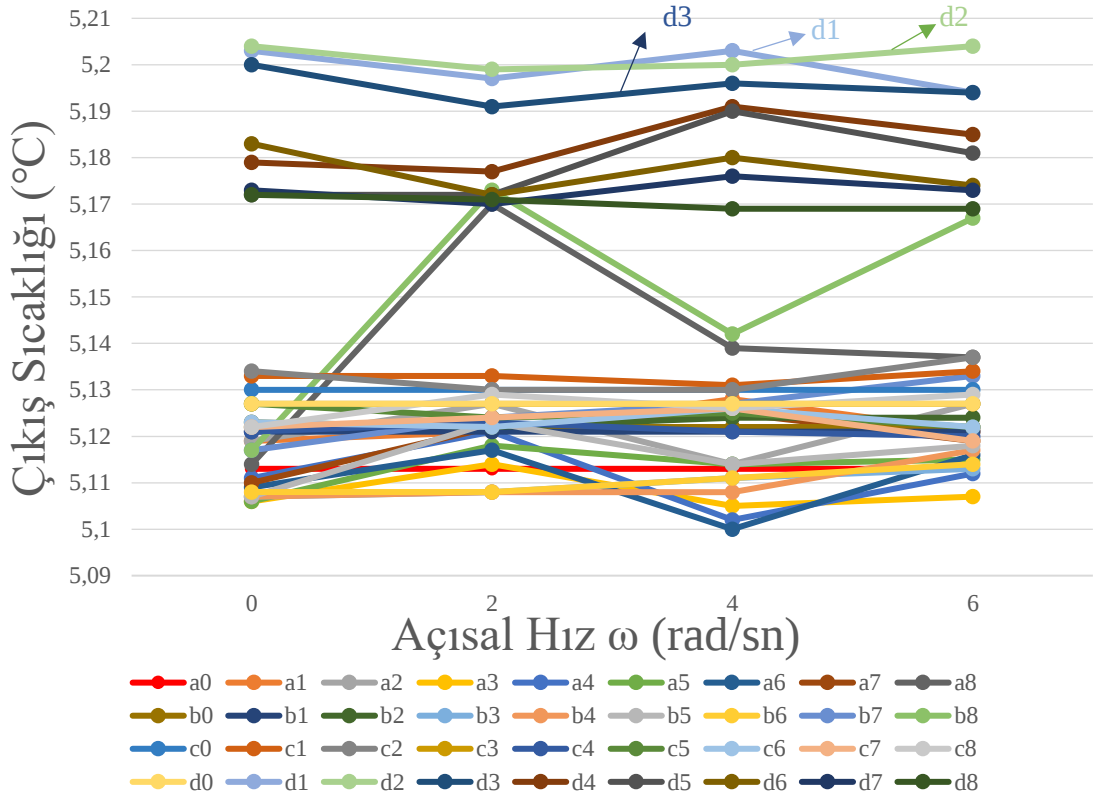
Şekil 7.7. $V_{Akışkan} = 1 \text{ m/s}$ iken d geometrilerinin aksenal dönmeye göre çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.7. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (d0), akışkan hızı 1 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,14 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [d2](#) geometrisinde elde edilmiştir. 4 ve 6 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,204 °C olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklık tüm analizler arasında elde edilen en yüksek sıcaklıktır.

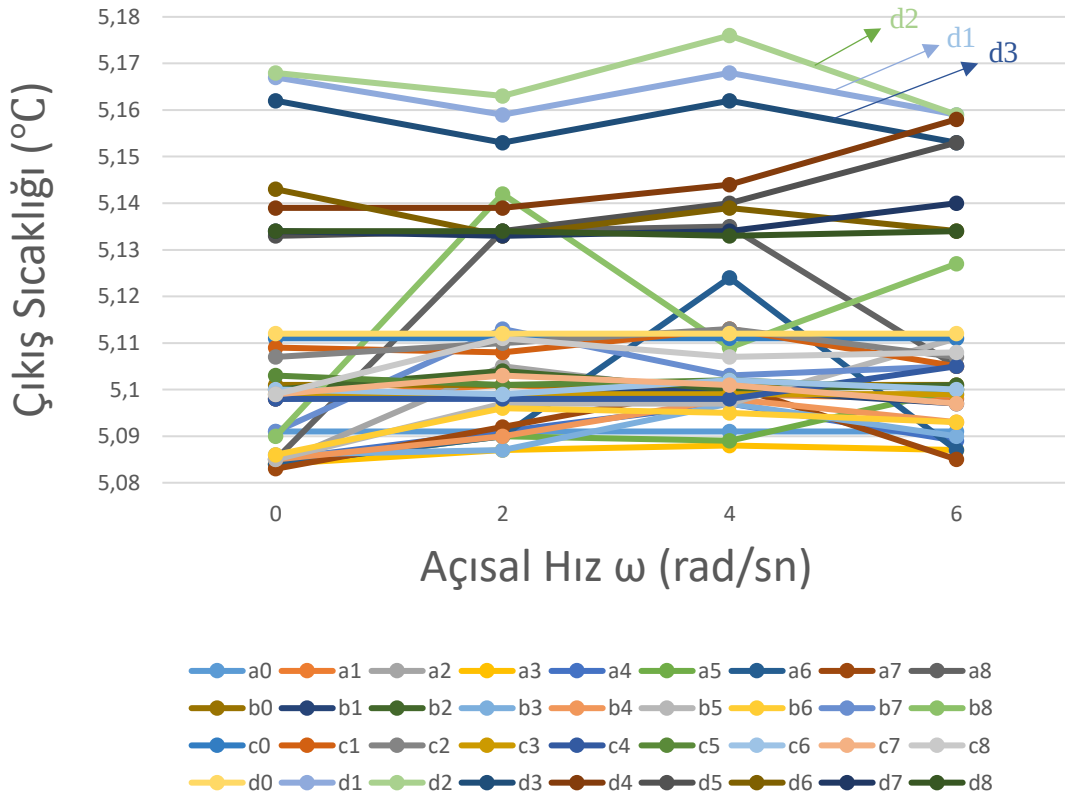


Şekil 7.8. $V_{Akışkan} = 2 \text{ m/s}$ iken d geometrilerinin aksel dönmeye bağlı çıkıştaki ortalama sıcaklığı

Şekil 7.8. 'de görüldüğü gibi herhangi bir obje olmadan yapılan analizde (d0), akışkan hızı 2 m/s iken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,123 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık [d2](#) geometrisinde elde edilmiştir. 4 rad/sn açısal hızla dönerken çıkıştaki akışkan sıcaklığı 5,176 °C olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.9. ve şekil 7.10.'da tüm geometrilerin çıkışında açısal hıza göre elde edilen ortalama akışkan sıcaklıkları verilmiştir. En yüksek sıcaklıklar sırasıyla d_2 , d_1 ve d_3 geometrilerinden elde edildiği görülmüştür.



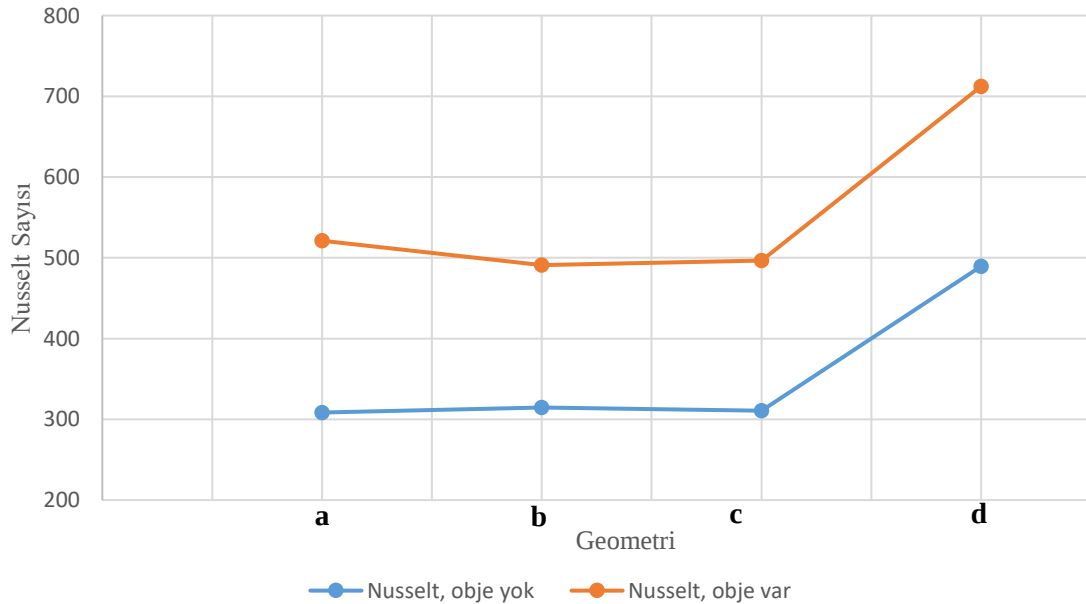
Tüm analiz sonuçları, grafik ve tablolar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar gözlemlenmiştir.

En yüksek çıkış sıcaklığı 5,204 °C olarak ölçülmüştür. Bu da %4,08 'lik bir artışı ifade etmektedir. Bu değer dönel cisim ile ısıtıcı arasındaki uzaklığın en yüksek olduğu geometride bulunmuştur. Su giriş hızı farketmeksizin d geometrileri en yüksek çıkış sıcaklıklarını vermiştir. Nusselt sayısında %69 'a varan artışa rağmen, çıkıştaki akışkan sıcaklığında %0,8'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi, basınçtır. Akış grafikleri dikkatlice incelendiğinde; akışkanın ısıtıcı ile temas ettiği bölgede sıkışması ve buna bağlı olarak basıncın artmasıdır. Artan basınçtan dolayı akışkan yoğunluğu artmaktadır ve akışkanın ısı transferi kapasitesini arttırmaktadır, ancak ısıtıcıdan ayrıldıktan sonra akışkan hızla soğumaya başlar ve sıcaklık değişiminin düşük kalmasına neden olur.

Tablo 7.1. Analizlere göre Nusselt sayılarındaki değişim tablosu

	V = 1 m/s		Değişim	V = 2 m/s		Değişim
	Objeye yok	Objeye var, maks.		Objeye yok	Objeye var, maks.	
a	197,2	297,8	51%	308,4	521,3	69%
b	201,1	280,4	39%	314,5	491	56%
c	197,8	309,3	56%	310,8	496,5	60%
d	310,5	433,9	40%	489,6	712,4	46%

Tüm analizler Tablo 7.1. 'de görüldüğü üzere kıyaslanmıştır. Bu tabloda obje olmadan ve dönel obje varken hesaplanan maksimum Nusselt sayılarını ve aralarındaki yüzdesel farkı göstermektedir. Analiz sonuçları şunları göstermektedir: Farklı akış hızlarında ve objelerle yapılan analizler göstermektedir ki; objenin varlığı akışı türbülansını artırdığından ısı transferini artırmaktadır. Ayrıca akış hızındaki artış Nusselt sayısını artırmaktadır. Tüm bu çalışmanın sonucu olarak: Akış içerisinde koyulan hareketli objeler ısı transferini artırmaktadır.



Şekil 7.11. Nuselt sayısının geometrilere göre artış grafiği

Şekil 7.11. 'de görüldüğü üzere akışı yönlendirmek için kullanılan obje Nusselt sayısını artırmaktadır. Tablo 7.2.'de ise literatürdeki benzer çalışmalarda bulunan Nusselt sayısı değişimi ile bu çalışmada bulunan Nusselt sayısı değişimi gösterilmektedir.

Tablo 7.2. Literatürdeki çalışmalar ile bu çalışmanın kıyaslanması

Çalışma	Nusselt Değişimi, maksimum (%)
Selimefendigil, Öztop, 2014	228
Korichi, Oufer ve Polidori, 2008	200
Bu çalışma	69

Tablo 7.2. 'de görüldüğü üzere bu çalışmanın sonucu literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslandığında ısı transferi artışı bakımından daha verimsiz olduğu sonucu çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] F. Selimefendigil and H. F. Oztop, "Control of laminar pulsating flow and heat transfer in backward-facing step by using a square obstacle," *J. Heat Transfer*, vol. 136, no. 8, 2014, doi: 10.1115/1.4027344.
- [2] Y.-M. Chen and K.-C. Wang, "Experimental study on the forced convective flow in a channel with heated blocks in tandem."
- [3] S. W. Perng, H. W. Wu, and T. C. Jue, "Numerical investigation of heat transfer enhancement on a porous vortex-generator applied to a block-heated channel," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 11–12, pp. 3121–3137, May 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.02.037.
- [4] W. S. Fu and B. H. Tong, "Numerical investigation of heat transfer characteristics of the heated blocks in the channel with a transversely oscillating cylinder," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 47, no. 2, pp. 341–351, 2004, doi: 10.1016/S0017-9310(03)00303-X.
- [5] S. M. Mirshafiee and E. O. Amiri, "Numerical investigation of heat transfer in a rectangular channel with square baffles and a triangular obstacle," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 39, no. 2, pp. 597–603, Apr. 2021, doi: 10.18280/ijht.390230.
- [6] H. F. Oztop, Y. Varol, and D. E. Alnak, "Control of heat transfer and fluid flow using a triangular bar in heated blocks located in a channel," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 36, no. 8, pp. 878–885, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.05.006.
- [7] A. Mashhadi, A. Sohankar, and M. M. Alam, "Flow over rectangular cylinder: Effects of cylinder aspect ratio and Reynolds number," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 195, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2020.106264.
- [8] R. Roslan, H. Saleh, and I. Hashim, "Effect of rotating cylinder on heat transfer in a square enclosure filled with nanofluids," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 23–24, pp. 7247–7256, 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.07.051.
- [9] W. S. Fu, C. S. Cheng, and W. J. Shieh, "Enhancement of natural convection heat transfer of an enclosure by a rotating circular cylinder," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. 13, pp. 1885–1897, 1994, doi: 10.1016/0017-9310(94)90329-8.
- [10] E. H. Chowdhury, A. Al Mehedi, D. K. Paul, S. Saha, and M. Ali, "Conjugate pure mixed convection in a differentially heated lid-driven square cavity with two rotating cylinders," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2324, no. February, pp. 0–83, 2021, doi: 10.1063/5.0037523.
- [11] A. Kumar De and A. Dalal, "A numerical study of natural convection around a square, horizontal, heated cylinder placed in an enclosure," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 49, no. 23–24, pp. 4608–4623, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.04.020.
- [12] C. C. Liao and C. A. Lin, "Influences of a confined elliptic cylinder at different aspect ratios

- and inclinations on the laminar natural and mixed convection flows,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 23–24, pp. 6638–6650, 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.06.073.
- [13] S. H. Hussain and A. K. Hussein, “Mixed convection heat transfer in a differentially heated square enclosure with a conductive rotating circular cylinder at different vertical locations,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 38, no. 2, pp. 263–274, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.12.006.
- [14] O. M. Ali and R. A. Mahmood, “Effect of Radiation on Natural Convection Heat Transfer from Heated Horizontal Cylinder in Vented Enclosure,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 978, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/978/1/012030.
- [15] F. Moukalled and S. Acharya, “Natural convection in the annulus between concentric horizontal circular and square cylinders,” *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. 10, no. 3, pp. 524–531, 1996, doi: 10.2514/3.820.
- [16] R. Nasrin, “Laminar combined magnetoconvection in a wavy enclosure with the effect of heat conducting cylinder,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 38, no. 9, pp. 1269–1278, 2011, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.06.005.
- [17] N. K. Ghaddar and F. Thiele, “Natural convection over a rotating cylindrical heat source in a rectangular enclosure,” *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, vol. 26, no. 6, pp. 701–719, 1994, doi: 10.1080/10407789408956018.
- [18] L. Houssem, “Free Convection Heat Transfer from Two Equal Triangular Cylinders Confined Free convection heat transfer from two equal triangular cylinders confined in triangular enclosure Houssem Laidoudi ,” no. January, 2021, doi: 10.20944/preprints202101.0394.v1.
- [19] L. Kolsi, F. Selimefendigil, L. Ben Said, A. Mesloub, and F. Alresheedi, “Forced convection of non-newtonian nanofluid flow over a backward facing step with simultaneous effects of using double rotating cylinders and inclined magnetic field,” *Mathematics*, vol. 9, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.3390/math9233002.
- [20] A. Amiri Delouei, H. Sajjadi, R. Mohebbi, and M. Izadi, “Experimental study on inlet turbulent flow under ultrasonic vibration: Pressure drop and heat transfer enhancement,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 51, no. October 2018, pp. 151–159, 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.10.032.
- [21] O. D. Hernández-Parra, A. Plana-Fattori, G. Alvarez, F. T. Ndoeye, H. Benkhelifa, and D. Flick, “Modeling flow and heat transfer in a scraped surface heat exchanger during the production of sorbet,” *J. Food Eng.*, vol. 221, pp. 54–69, 2018, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.09.027.
- [22] P. Błasiak and S. Pietrowicz, “A numerical study on heat transfer enhancement via

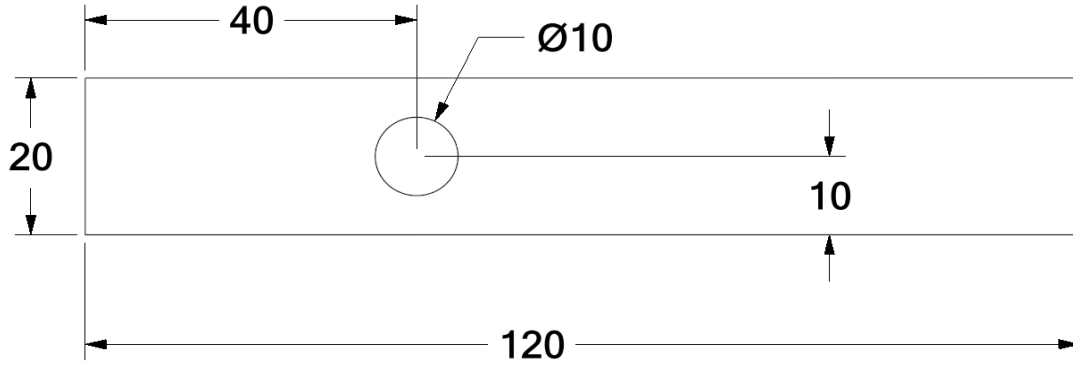
- mechanical aids,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 140, no. June, pp. 203–215, 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.116.
- [23] N. Celik and E. Turgut, “Design analysis of an experimental jet impingement study by using Taguchi method,” *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, vol. 48, no. 8, pp. 1407–1413, 2012, doi: 10.1007/s00231-012-0989-7.
- [24] B. J. Jones, J. P. McHale, and S. V. Garimella, “The influence of surface roughness on nucleate pool boiling heat transfer,” *J. Heat Transfer*, vol. 131, no. 12, pp. 1–14, 2009, doi: 10.1115/1.3220144.
- [25] M. S. Baba, A. V. S. R. Raju, and M. B. Rao, “Heat transfer enhancement and pressure drop of Fe₃O₄ -water nanofluid in a double tube counter flow heat exchanger with internal longitudinal fins,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, no. August, pp. 600–607, 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.08.001.
- [26] L. Zheng, Y. Xie, and D. Zhang, “Numerical investigation on heat transfer performance and flow characteristics in circular tubes with dimpled twisted tapes using Al₂O₃-water nanofluid,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 111, pp. 962–981, 2017, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.062.
- [27] M. Murugan, R. Vijayan, and A. Saravanan, “Improving performance of a trapezoidal-trough thermosyphon solar collector using peripherally wing-cut swirl generator,” *Int. J. Green Energy*, vol. 16, no. 14, pp. 1196–1209, 2019, doi: 10.1080/15435075.2019.1671395.
- [28] M. H. Mousa, N. Miljkovic, and K. Nawaz, “Review of heat transfer enhancement techniques for single phase flows,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 137, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110566.
- [29] A. Sözen, M. Gürü, A. Khanlari, and E. Çiftçi, “Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 160, no. March, p. 114001, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114001.
- [30] V. Rajesh, M. A. Sheremet, and H. F. Öztö, “Impact of hybrid nanofluids on MHD flow and heat transfer near a vertical plate with ramped wall temperature,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, no. December, p. 101557, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101557.
- [31] F. Selimefendigil, Y. Kocyigit, and H. F. Öztö, “Thermal performance and SVM-based regression of natural convection in a 3D cavity filled with nanofluids as two phase mixture under combined effects of magnetic field and inner conductive hollow rotating conic object,” *Eng. Anal. Bound. Elem.*, vol. 152, no. January, pp. 311–325, 2023, doi: 10.1016/j.enganabound.2023.04.015.
- [32] A. A. A. Al-Rashed *et al.*, “Three-dimensional investigation of the effects of external magnetic field inclination on laminar natural convection heat transfer in CNT–water

- nanofluid filled cavity,” *J. Mol. Liq.*, vol. 252, pp. 454–468, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.01.006.
- [33] ANSYS Inc., “ANSYS Fluent Meshing User ’ s Guide,” vol. 15317, no. April, pp. 724–746, 2015.

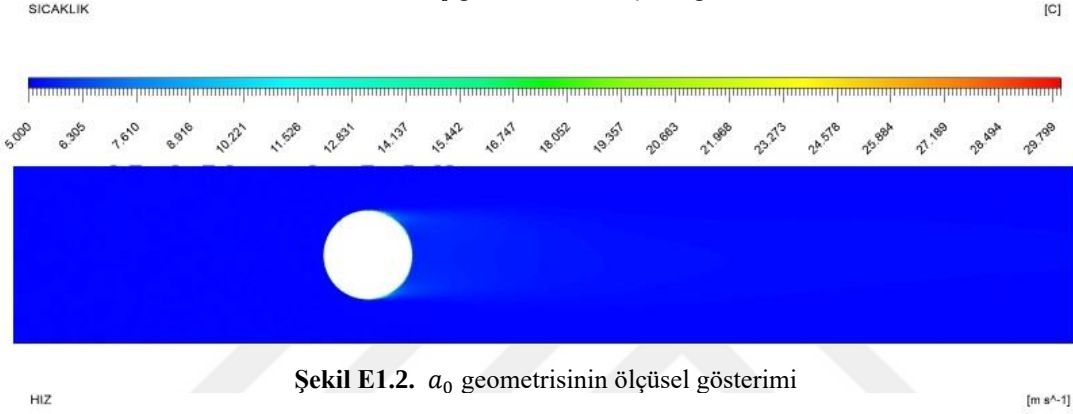


EKLER

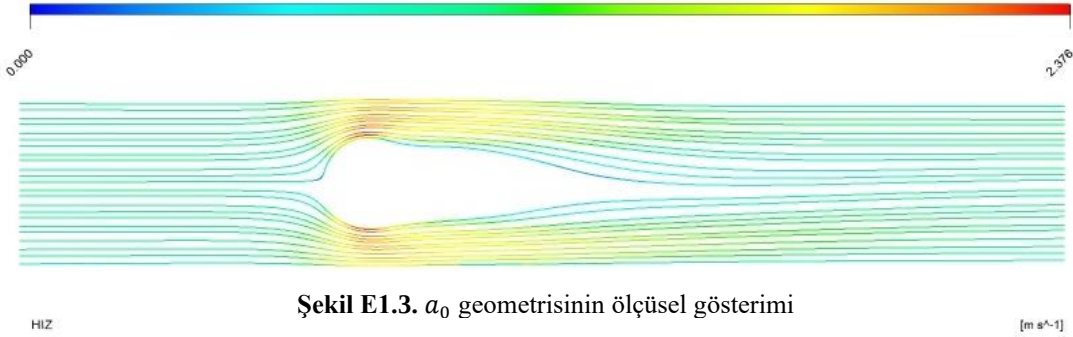
EK - 1: A₀ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



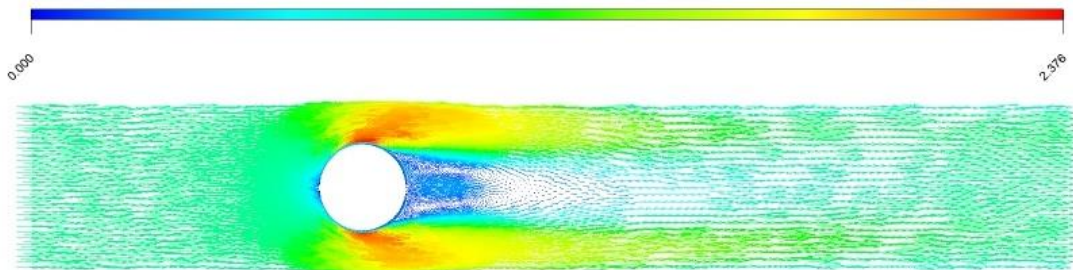
Şekil E1.1. a_0 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E1.2. a_0 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E1.3. a_0 geometrisinin ölçüsel gösterimi

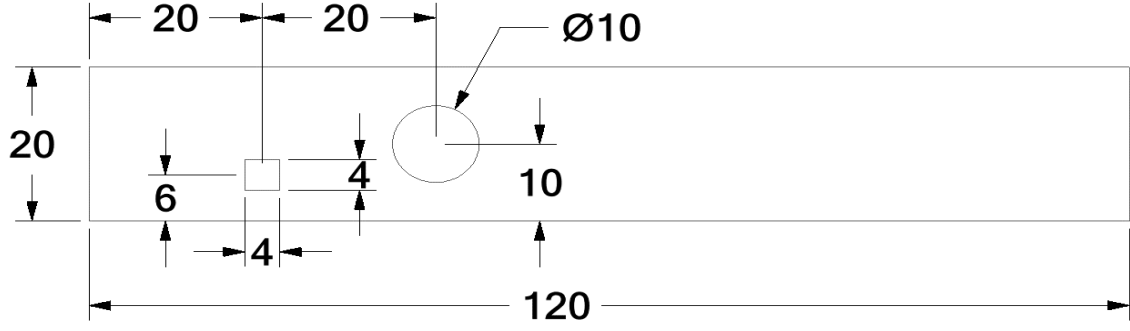


Şekil E1.4. a_0 geometrisinin analizine ait hız vektör grafiği

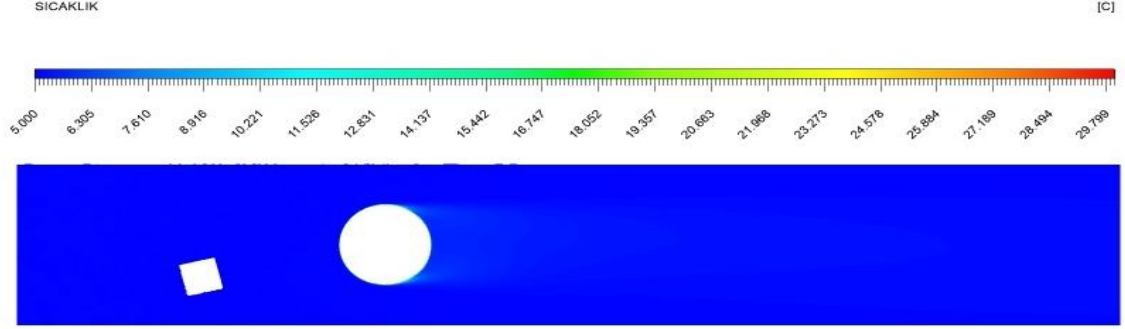
Tablo E1.1. a_0 geometrisine ait analiz sonuçları

$V_{akışkan} (m/sn)$	1	2
$T_{çıkış} (°C)$	5,113	5,091
Nusselt Sayısı	197,2	462,6

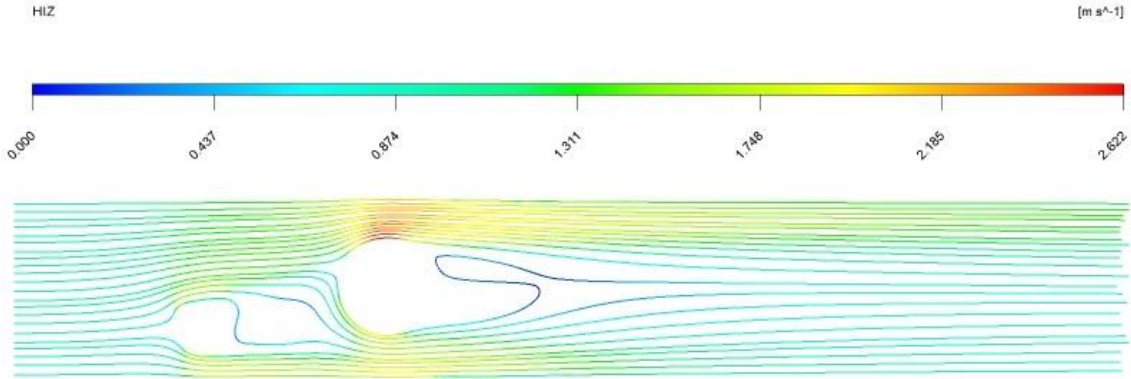
EK - 2: A₁ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



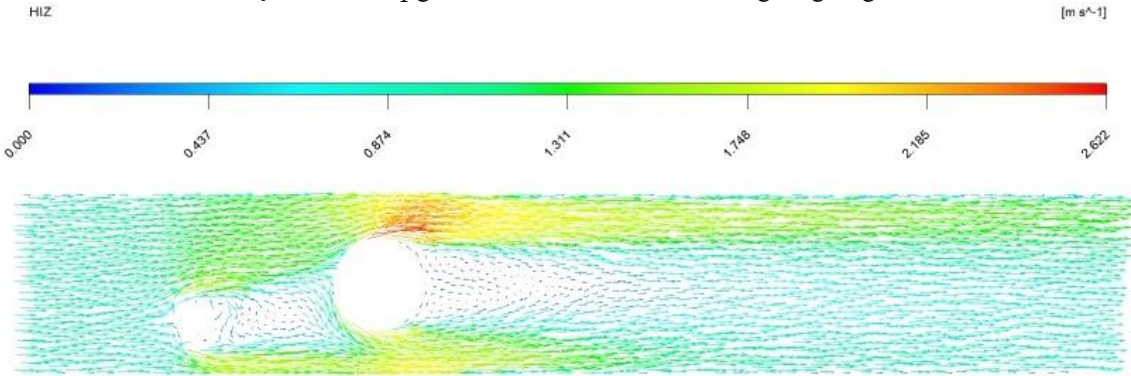
Şekil E2.1. a_1 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E2.2. a_1 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E2.3. a_1 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

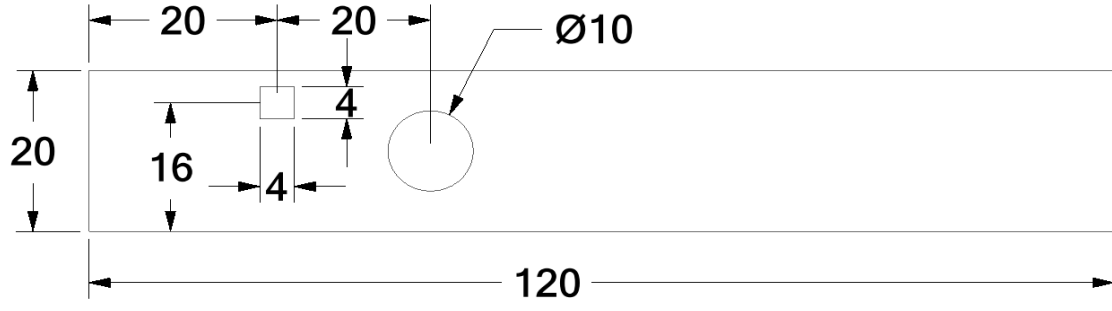


Şekil E2.4. a_1 geometrisinin analizine ait hız vektör grafiği

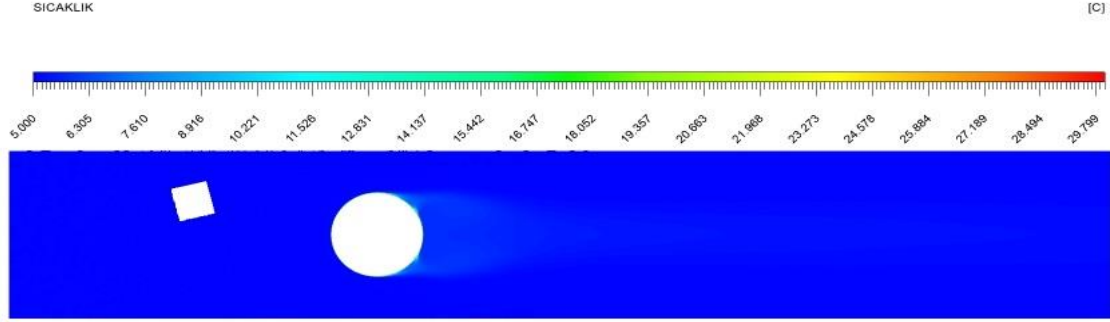
Tablo E2.1. a_1 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,119	5,121	5,128	5,121	5,098	5,101	5,099	5,098
Nusselt Sayısı	207,5	213,5	213,6	204,9	332,5	345	338,4	332,5

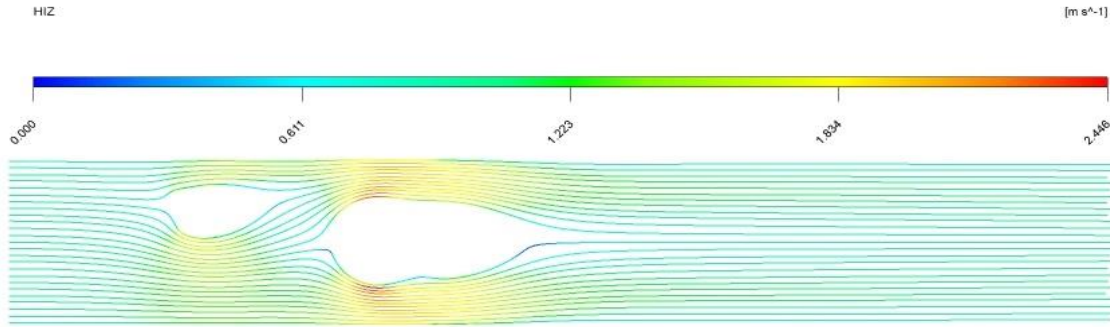
EK - 3: A₂ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



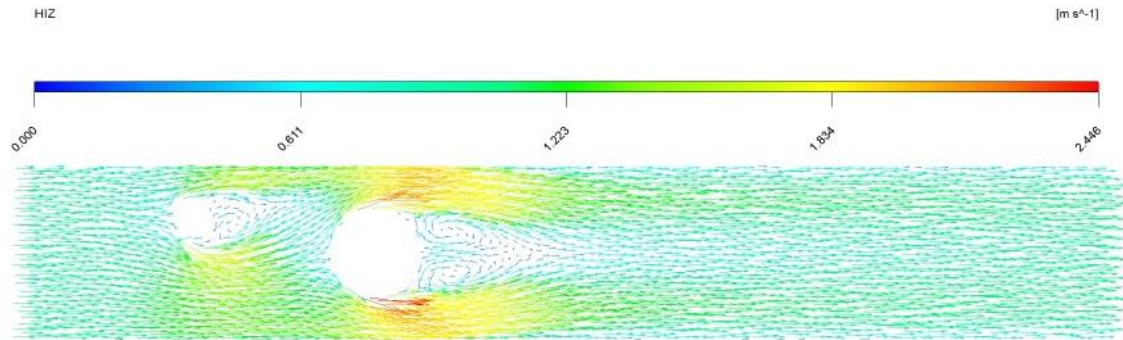
Şekil E3.1. a_2 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E3.1. a_2 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E3.2. a_2 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

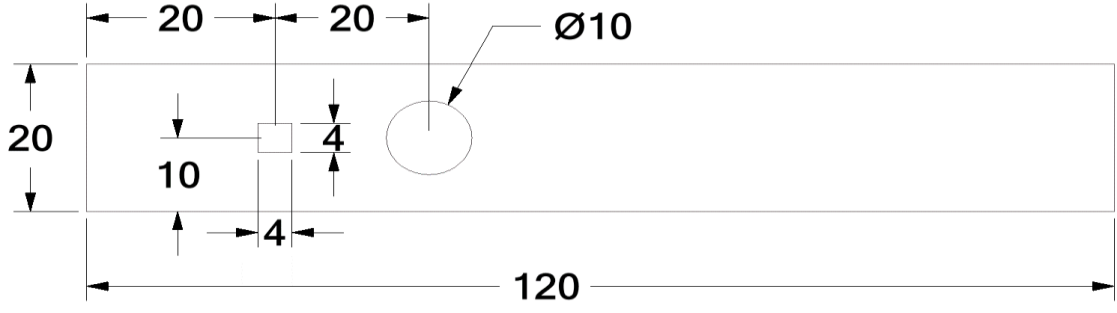


Şekil E3.3. a_2 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

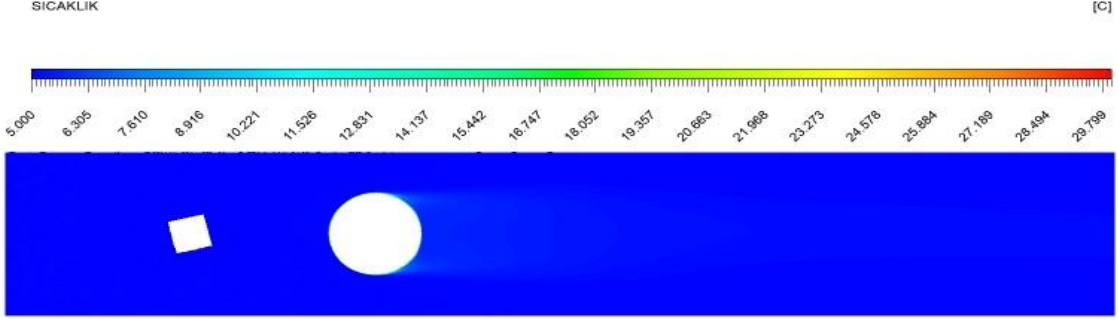
Tablo E3.1. a_2 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,119	5,127	5,114	5,127	5,090	5,101	5,105	5,100
Nusselt Sayısı	207,4	213,9	217,3	210,3	332,6	339,2	345,6	327,6

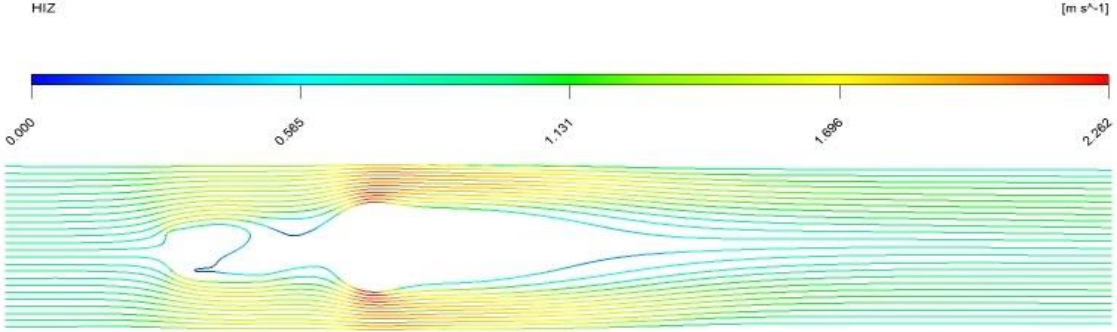
EK - 4: A₃ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



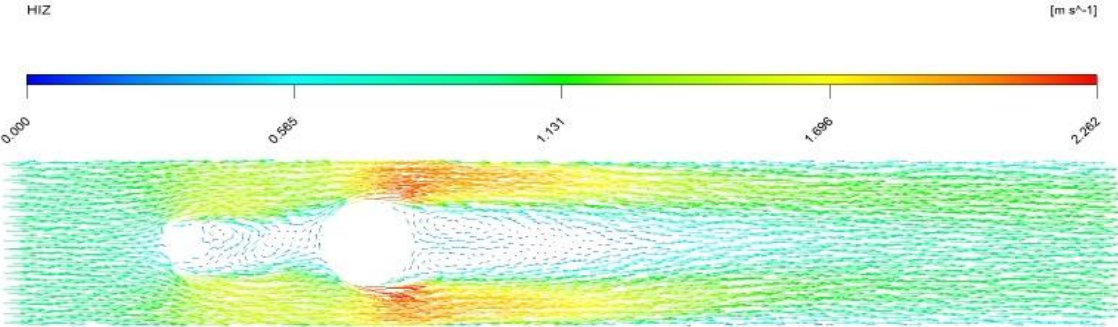
Şekil E4.1. a_3 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E4.2. a_3 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E4.3. a_3 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

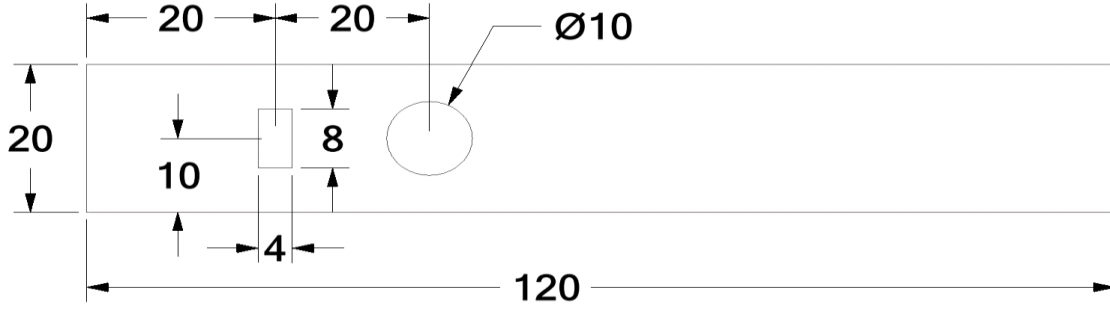


Şekil E4.4. a_3 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

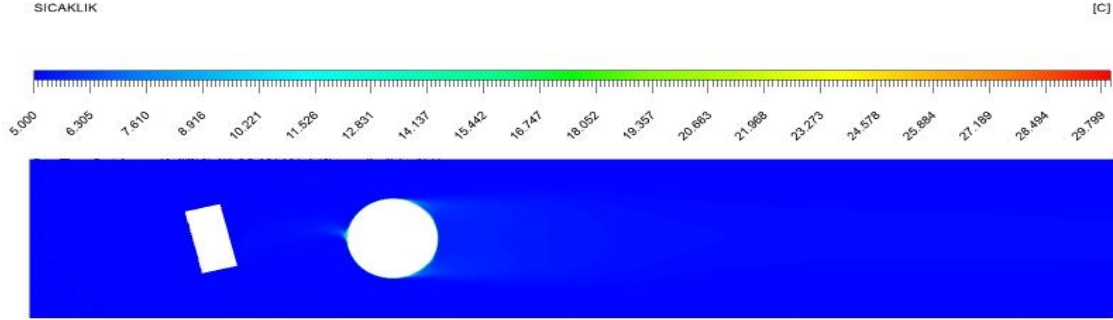
Tablo E4.1. a_3 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,106	5,114	5,105	5,107	5,084	5,087	5,088	5,087
Nusselt Sayısı	207,5	213,5	213,6	204,9	332,5	345,0	338,4	332,5

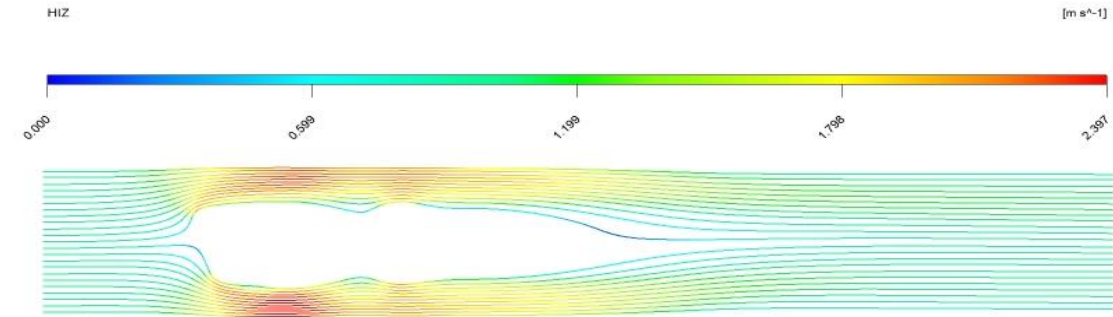
EK - 5: A4 GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



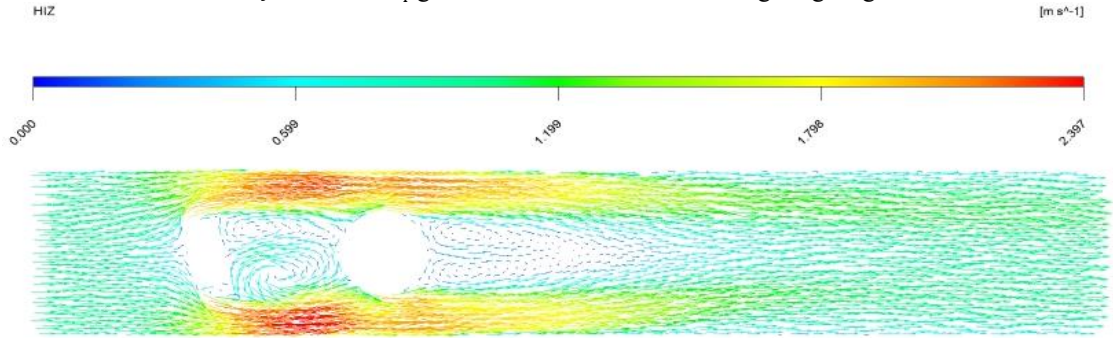
Şekil E5.1. a_4 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E5.2. a_4 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E5.3. a_4 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

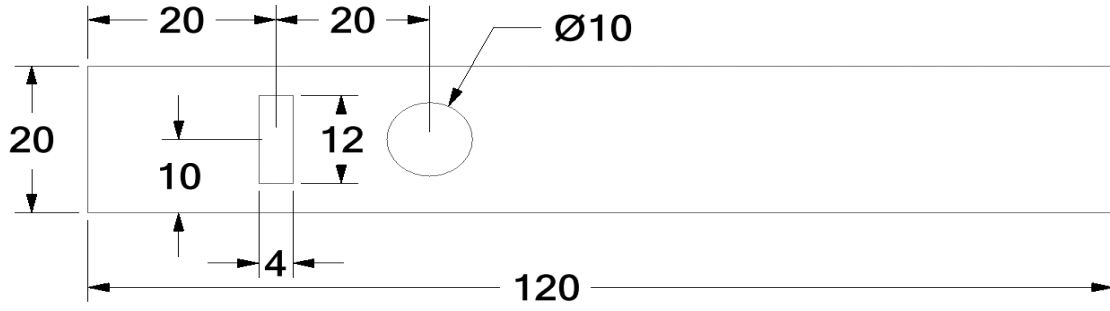


Şekil E5.4. a_4 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

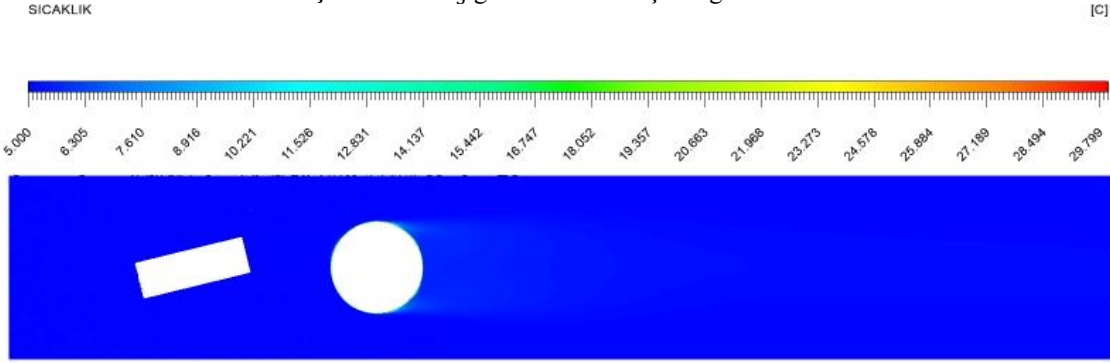
Tablo E5.1. a_4 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,111	5,121	5,102	5,112	5,085	5,091	5,097	5,089
Nusselt Sayısı	195,7	194,3	199,4	188,5	300,5	296,0	304,1	322,0

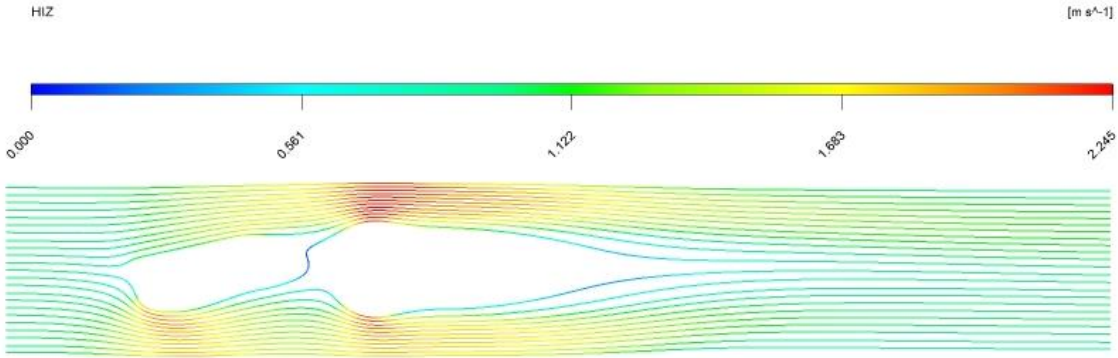
EK - 6: A₅ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



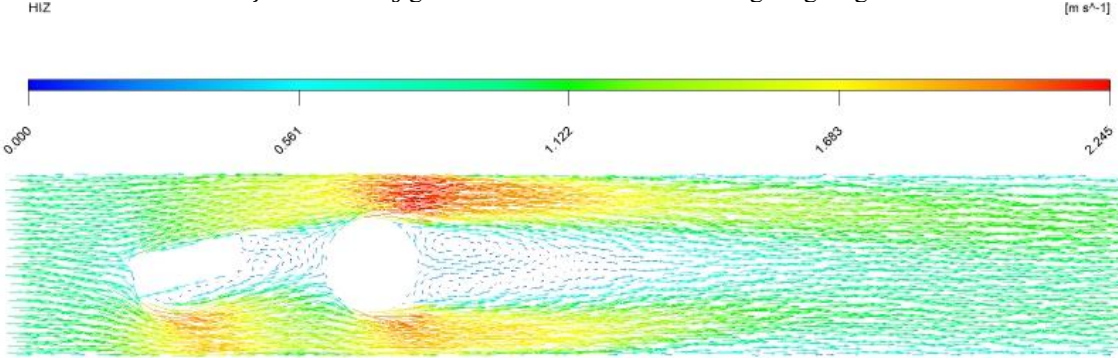
Şekil E6.1. a₅ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E6.2. a₅ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E6.3. a₅ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

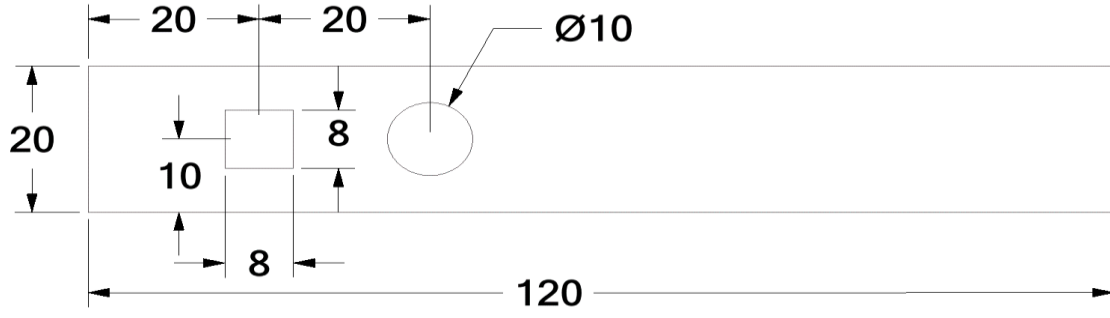


Şekil E6.4. a₅ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

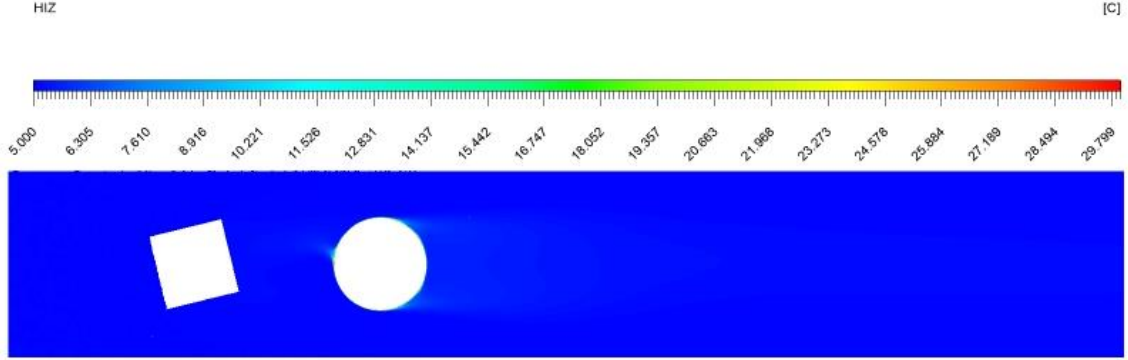
Tablo E6.1. a₅ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,106	5,118	5,114	5,115	5,084	5,090	5,089	5,100
Nusselt Sayısı	184	188,6	196,6	204,1	286,2	286,5	288,1	334,7

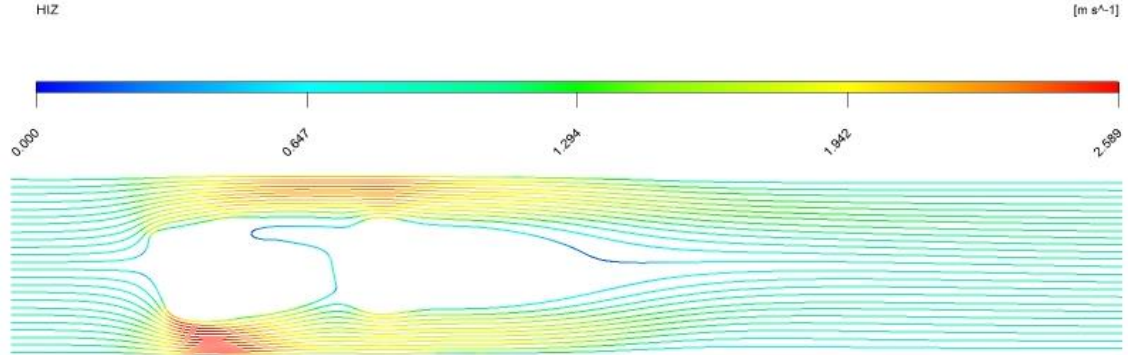
EK - 7: A₆ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



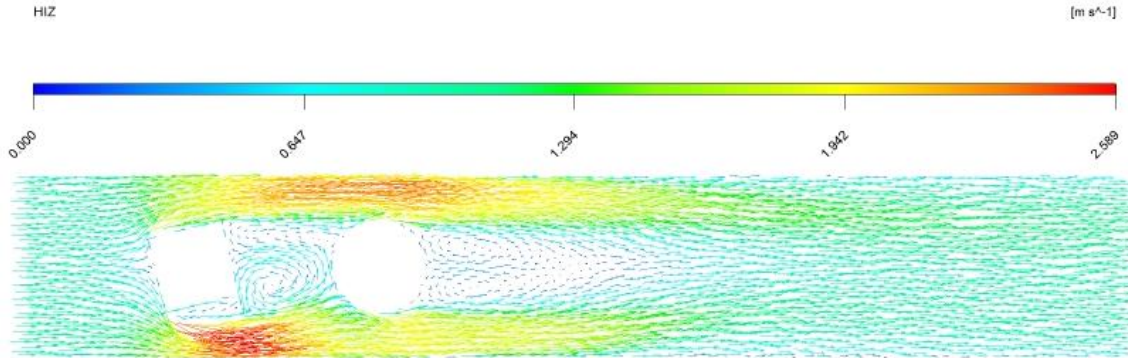
Şekil E7.1. a_6 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E7.2. a_6 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E7.3. a_6 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

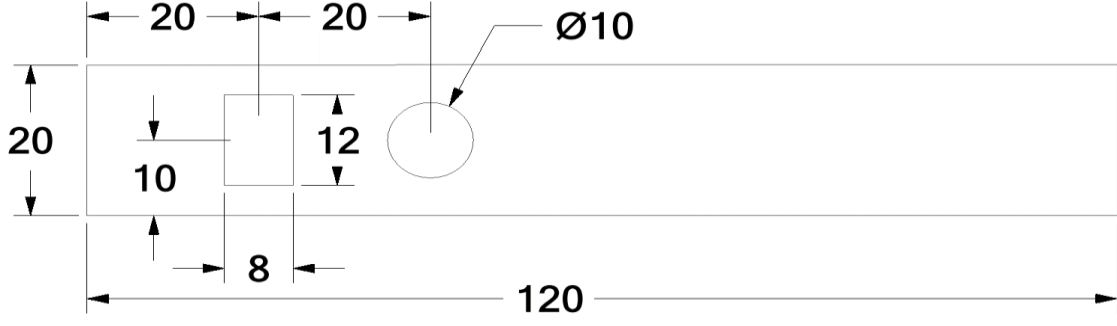


Şekil E7.4. a_6 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

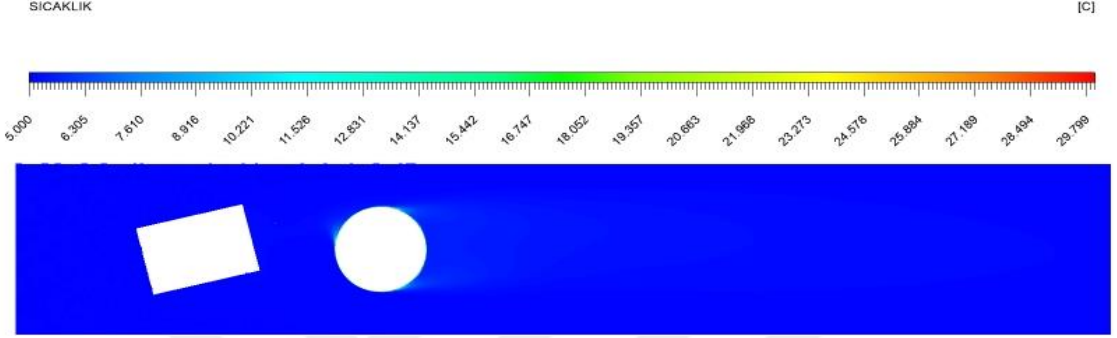
Tablo E7.1. a_6 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,109	5,117	5,100	5,116	5,084	5,090	5,124	5,087
Nusselt Sayısı	199,6	200	204,3	209,4	297,6	301,8	314,8	311,5

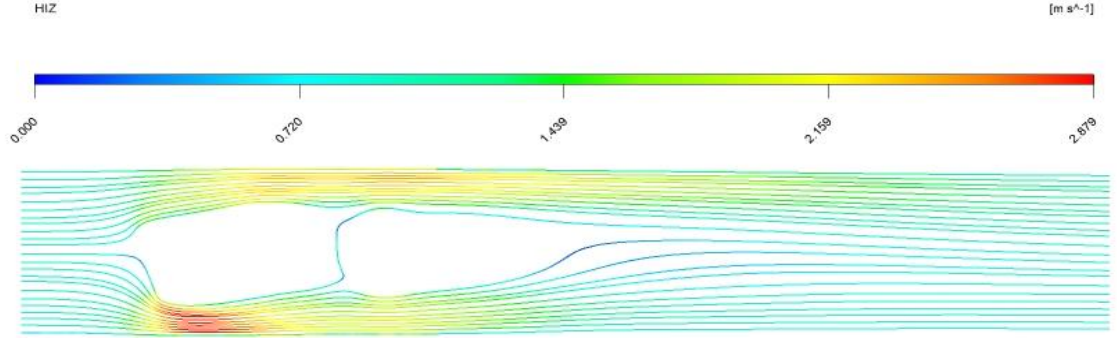
EK - 8: A₇ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



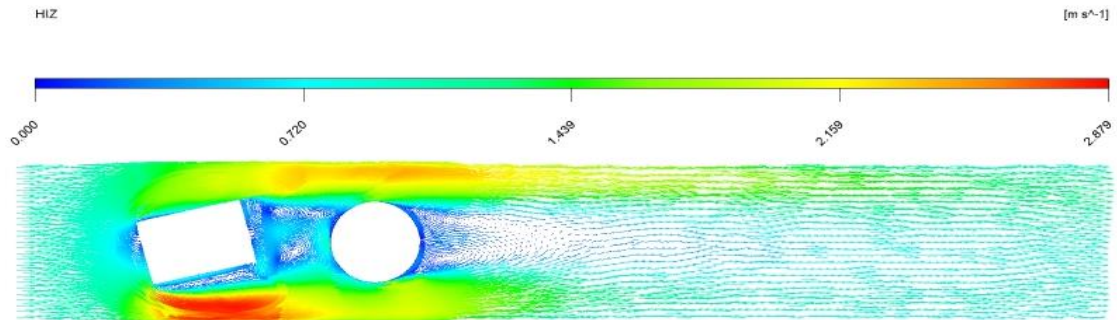
Şekil E8.1. a₇ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E8.2. a₇ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E8.3. a₇ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

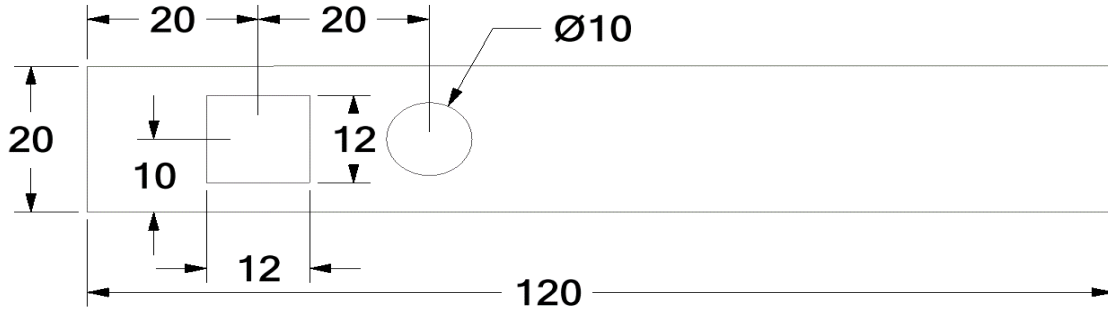


Şekil E8.4. a₇ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

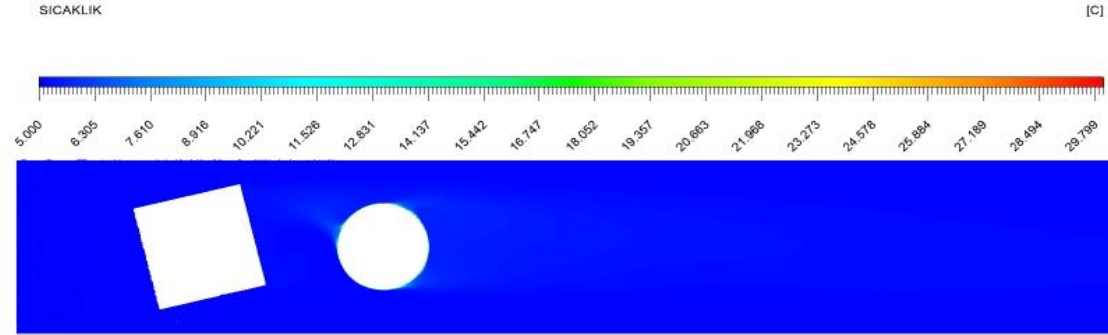
Tablo E8.1. a₇ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,110	5,122	5,125	5,119	5,083	5,092	5,101	5,085
Nusselt Sayısı	192,6	206,6	226	215,2	289,9	304,6	345,5	354,7

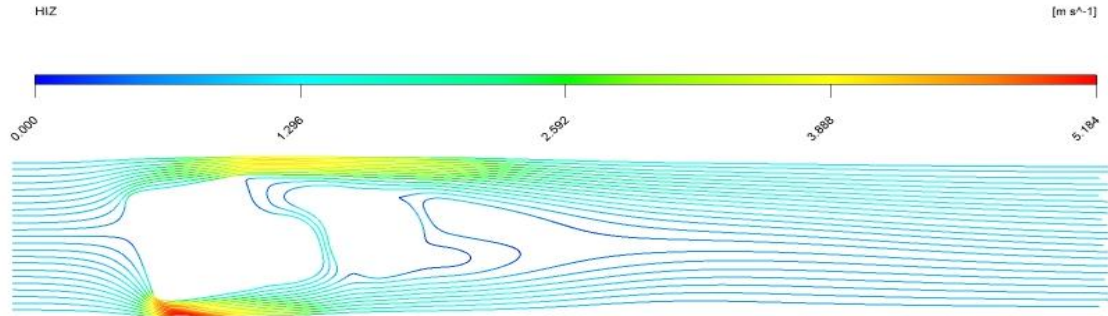
EK - 9: A₈ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



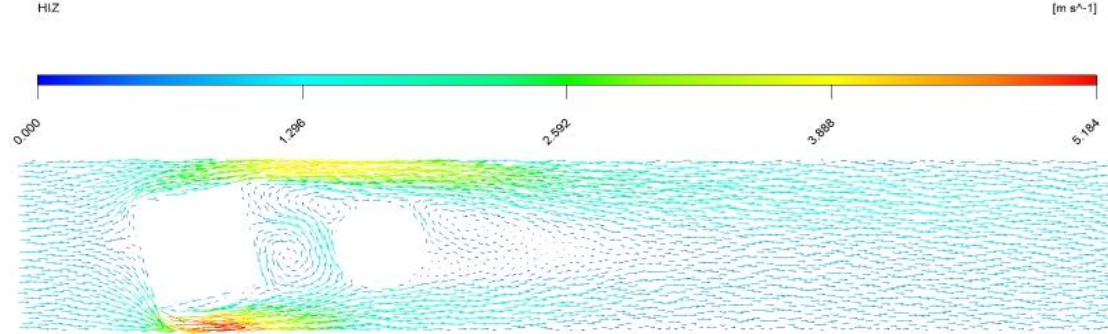
Şekil E9.1. a₈ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E9.2. a₈ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E9.3. a₈ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

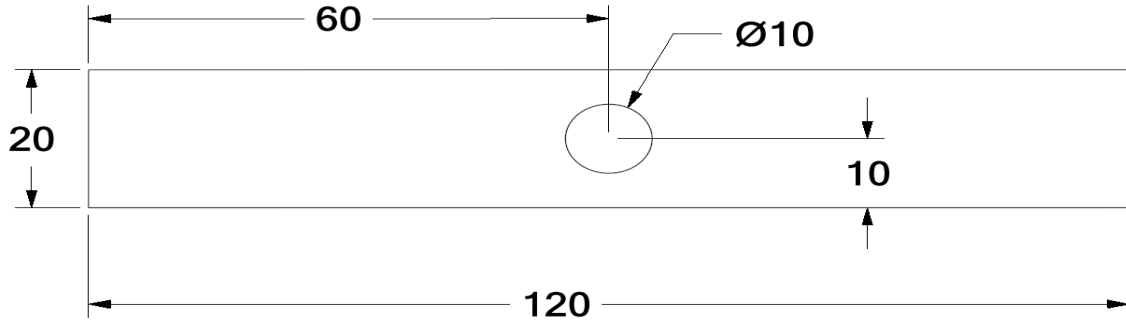


Şekil E9.4. a₈ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

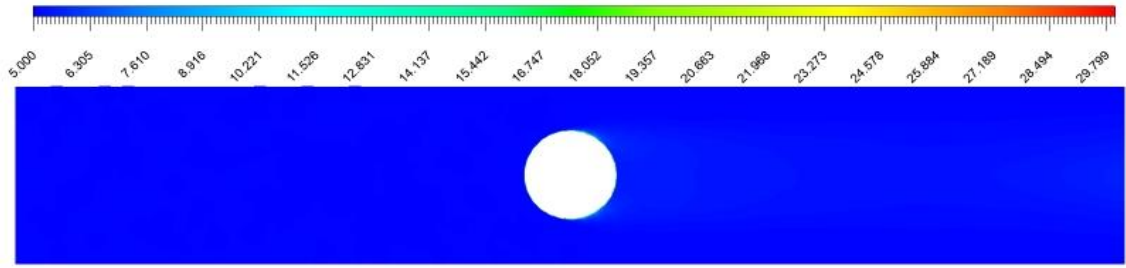
Tablo E9.1. a₈ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,114	5,170	5,139	5,137	5,085	5,134	5,135	5,105
Nusselt Sayısı	202,2	259,8	297,8	242,4	299,1	436,0	521,3	463,8

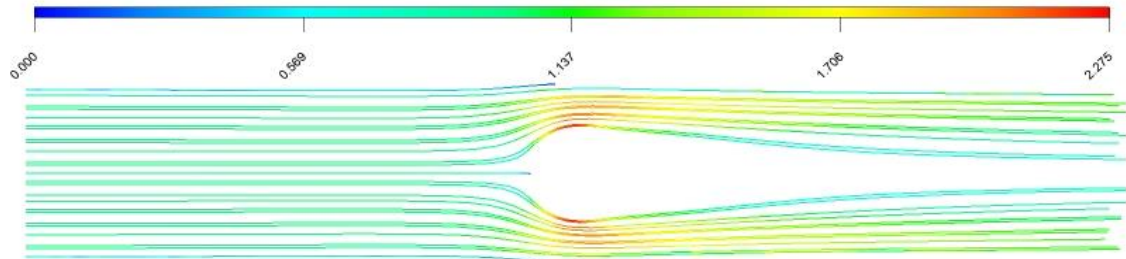
EK - 10: B₀ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



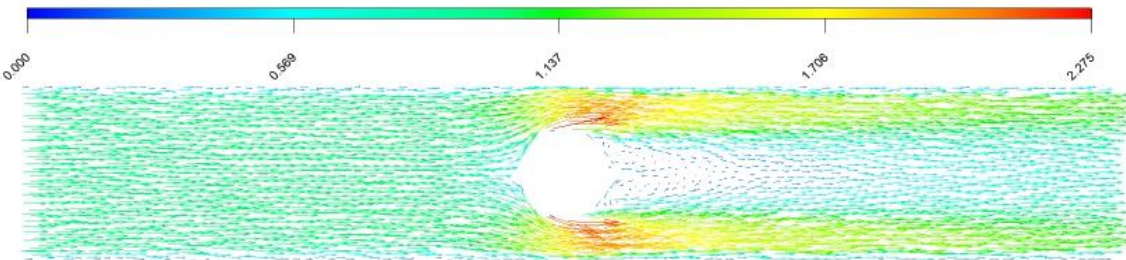
SICAKLIK [C]



HIZ [m s⁻¹]



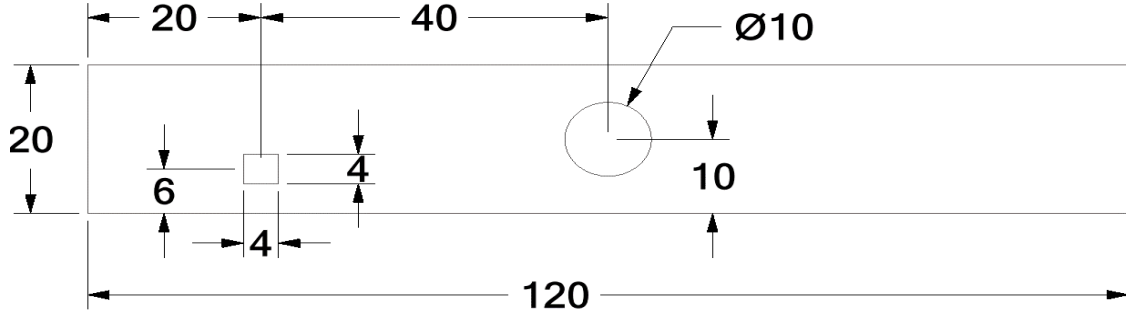
HIZ [m s⁻¹]



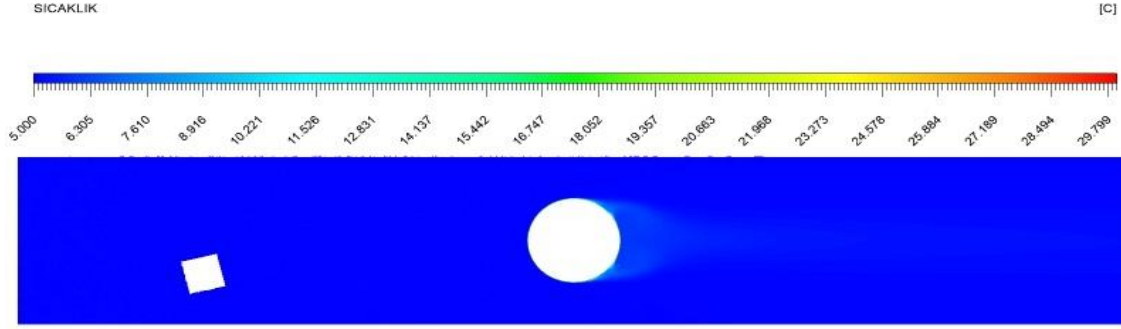
Tablo E10.1 b_0 geometrisine ait analiz sonuçları

$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,122	5,101
Nusselt Sayısı	201,1	314,5

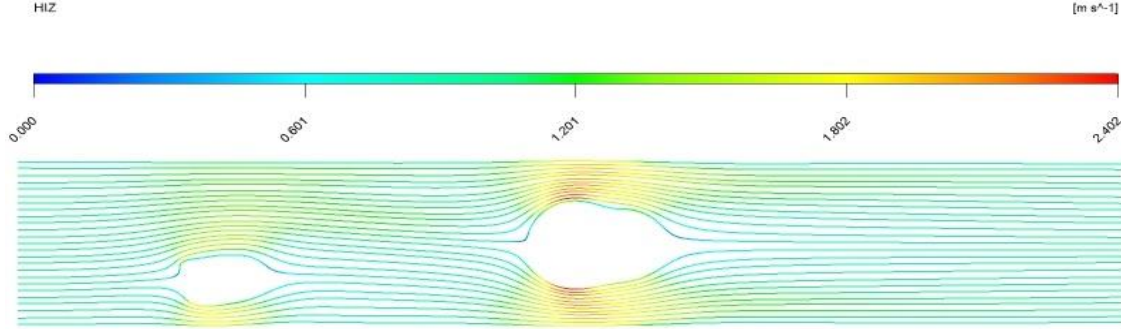
EK - 11: B₁ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



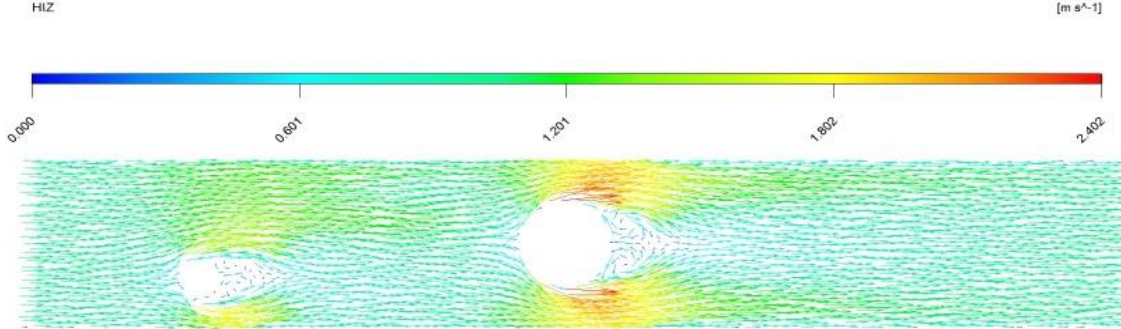
Şekil E11.1. b_1 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E11.2. b_1 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E11.3. b_1 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

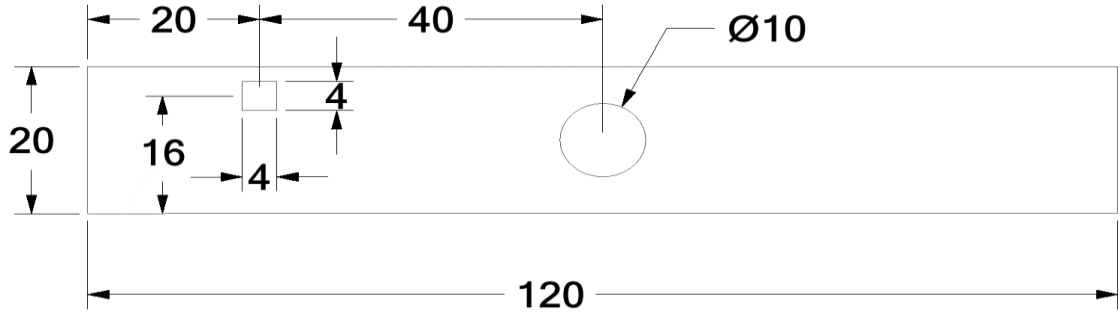


Şekil E11.4. b_1 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

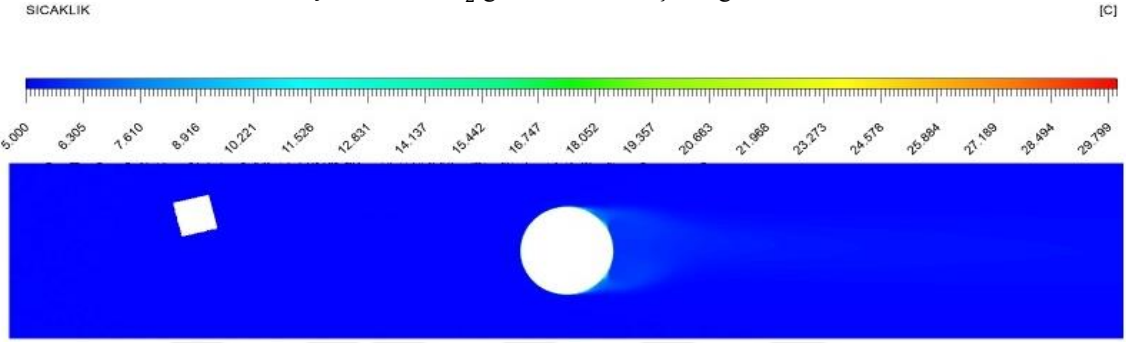
Tablo E11.1. b_1 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,121	5,121	5,121	5,121	5,098	5,099	5,100	5,097
Nusselt Sayısı	204,5	204,5	204,1	203,5	338,6	334,1	327,4	324,4

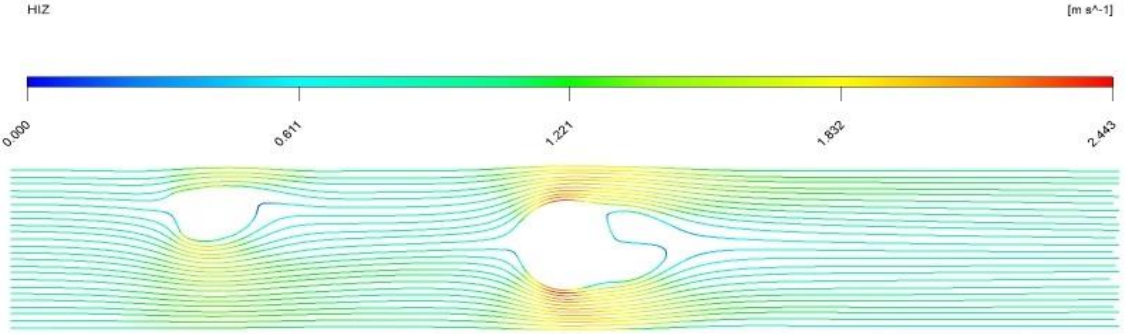
EK - 12: B₂ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



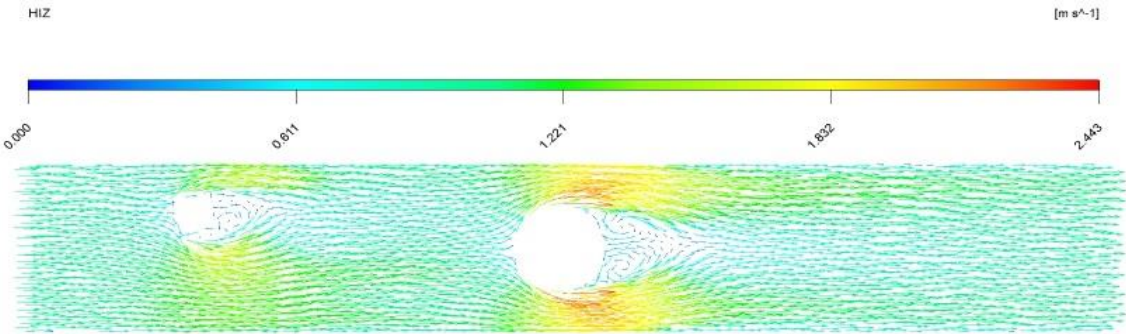
Şekil E12.1. b_2 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E12.2. b_2 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E12.3. b_2 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

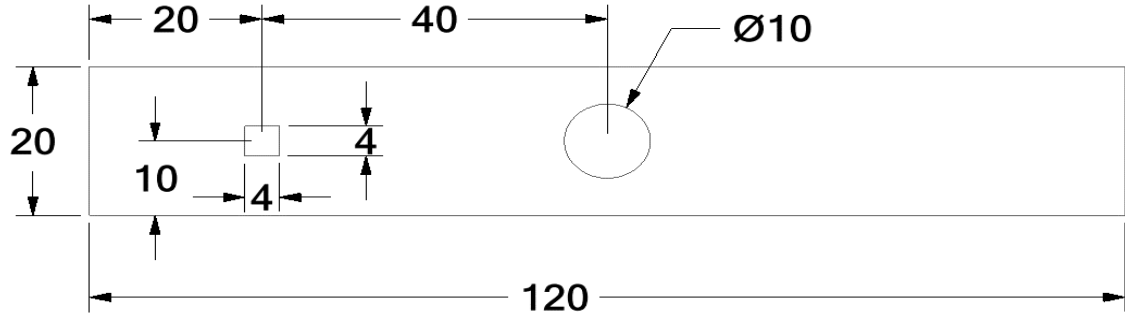


Şekil E12.4. b_2 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

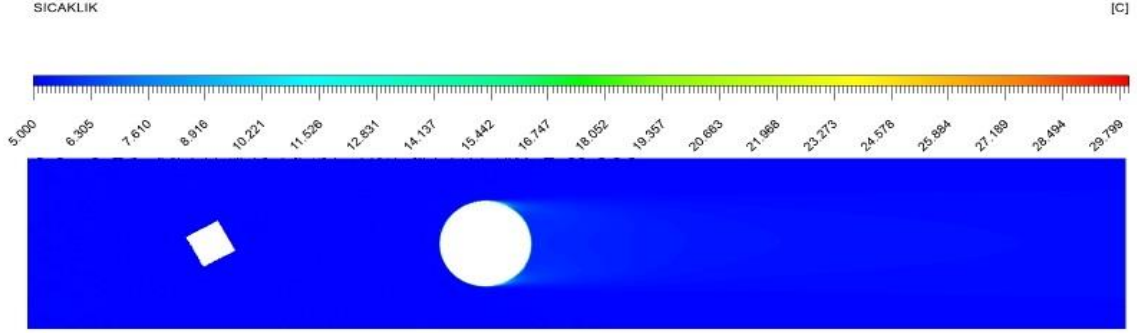
Tablo E12.1. b_2 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,123	5,122	5,124	5,124	5,100	5,104	5,100	5,101
Nusselt Sayısı	203,6	207,2	210,8	209,4	334,5	337,4	336,0	331,7

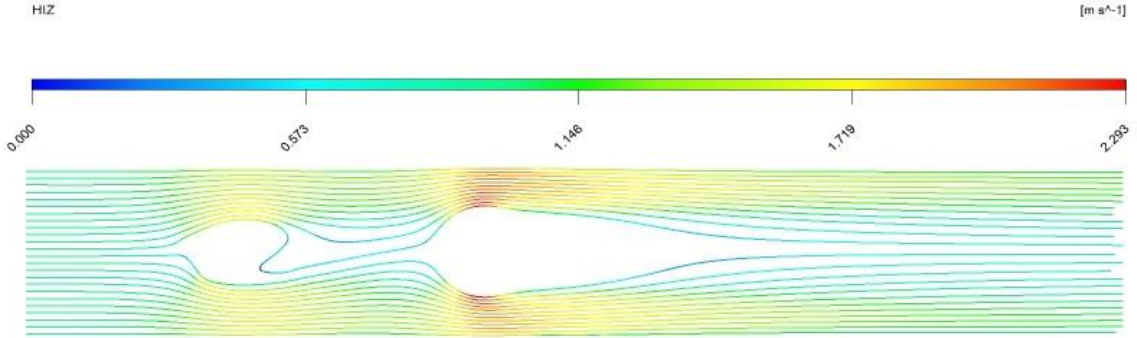
EK - 13: B₃ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



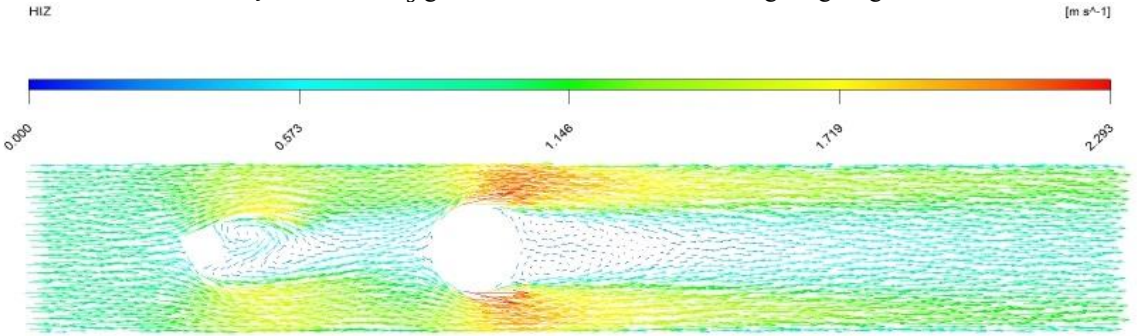
Şekil E13.1. b_3 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E13.2. b_3 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E13.3. b_3 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

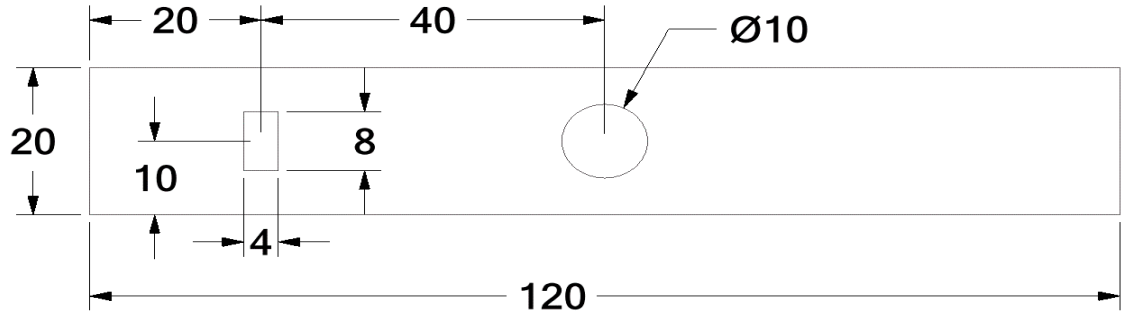


Şekil E13.4. b_3 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

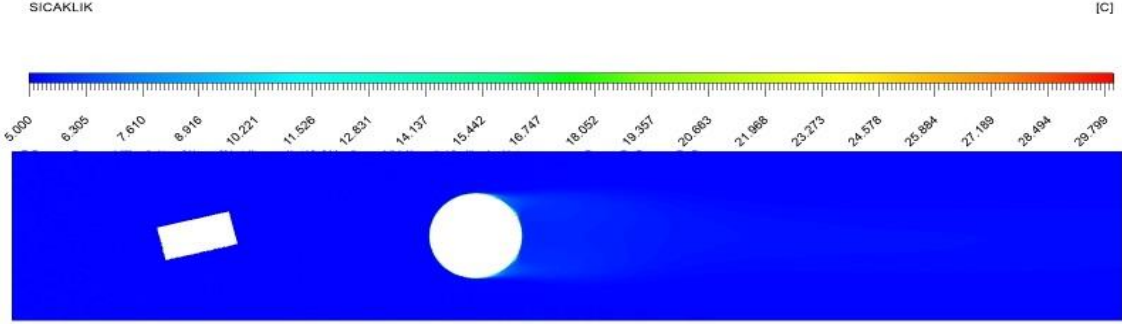
Tablo E13.1. b_3 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,107	5,108	5,111	5,113	5,086	5,087	5,097	5,090
Nusselt Sayısı	184,1	192,3	193,8	194,1	298,4	296,0	332,4	304,9

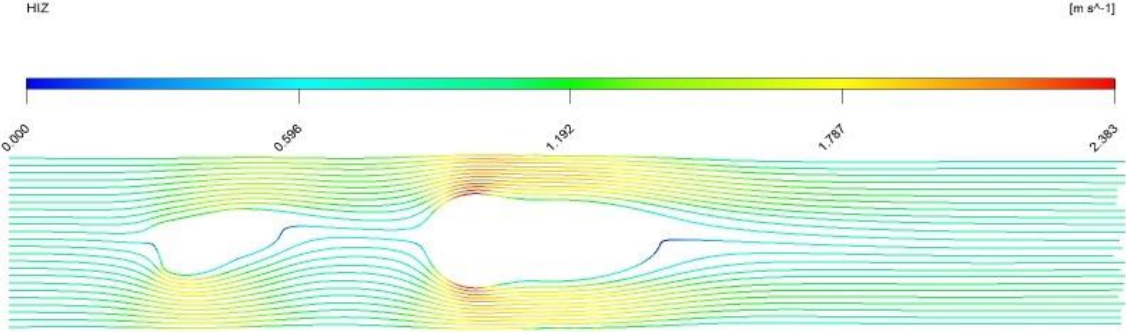
EK - 14: B₄ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



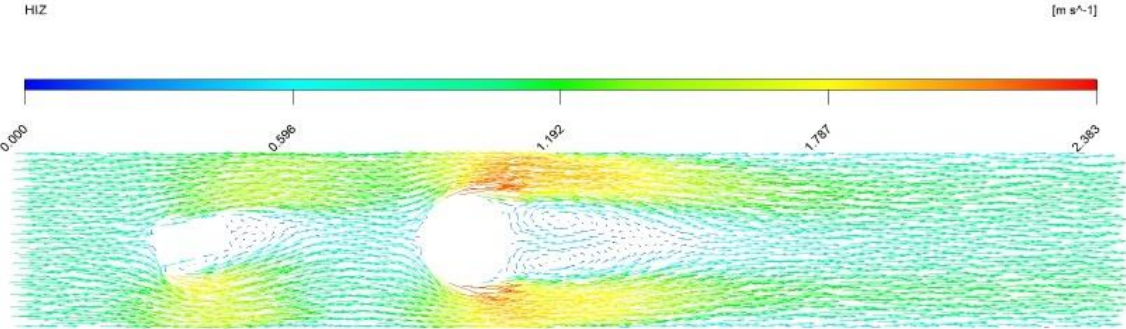
Şekil E14.1. b_4 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E14.2. b_4 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E14.3. b_4 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

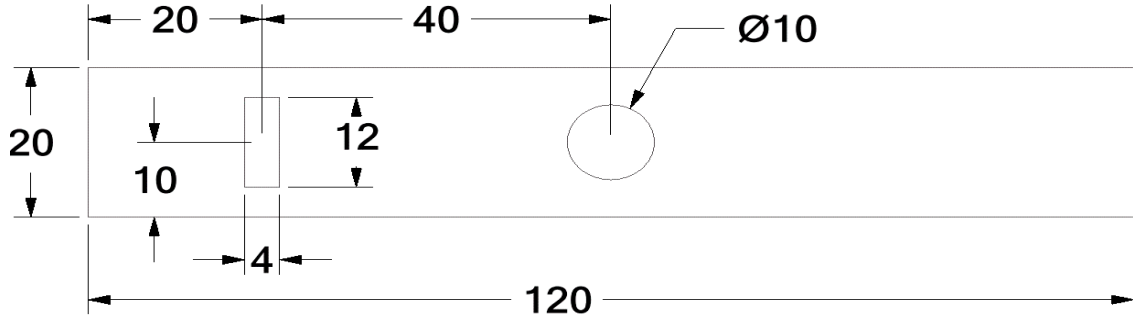


Şekil E14.4. b_4 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

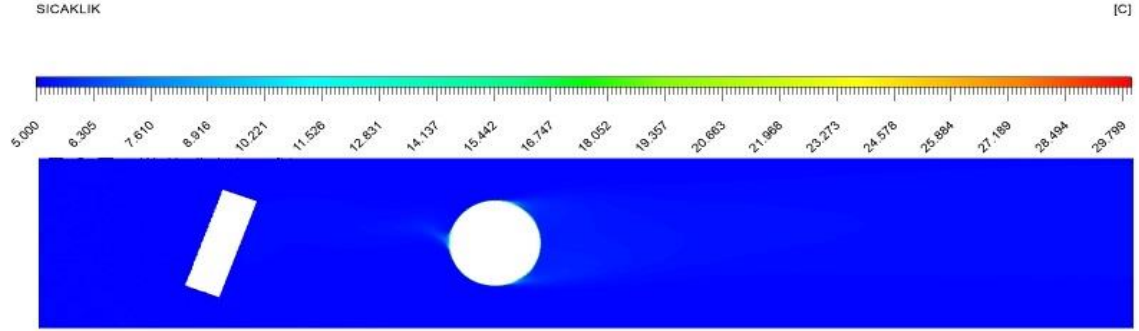
Tablo E14.1. b_4 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,107	5,108	5,108	5,117	5,085	5,090	5,098	5,093
Nusselt Sayısı	183,7	195,6	194,1	198,2	289,0	297,8	315,4	337,8

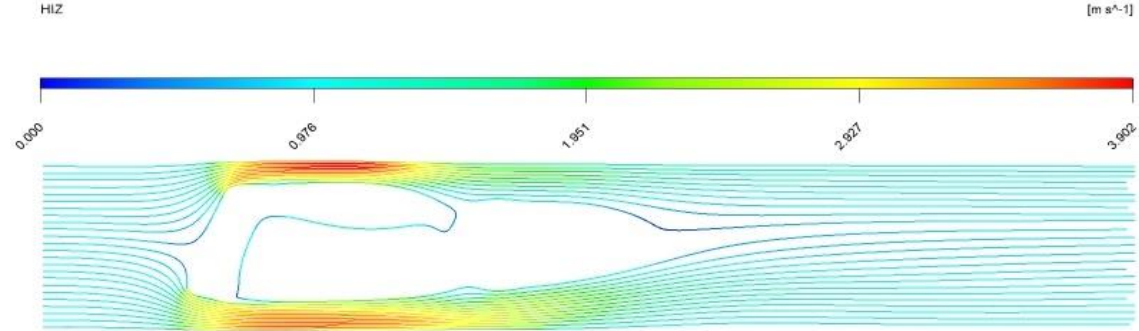
EK - 15: B₅ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



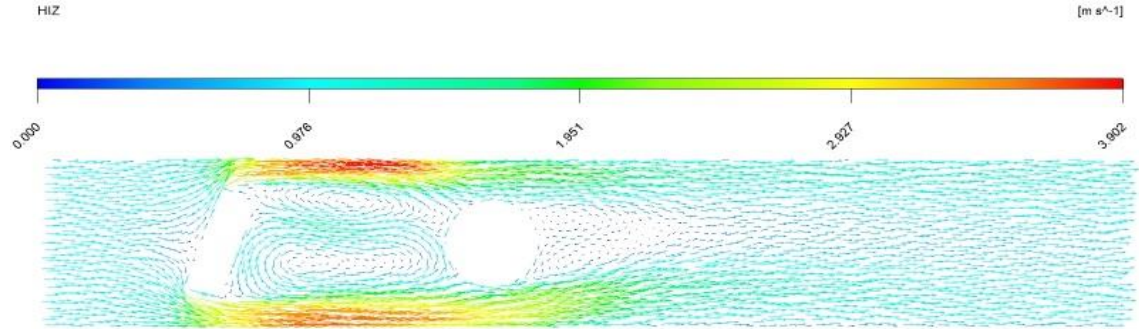
Şekil E15.1. b_5 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E15.2. b_5 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E15.3. b_5 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

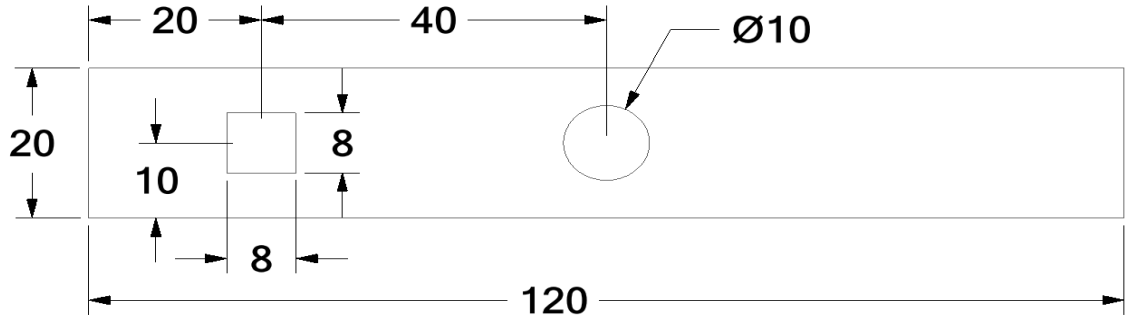


Şekil E15.4. b_5 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

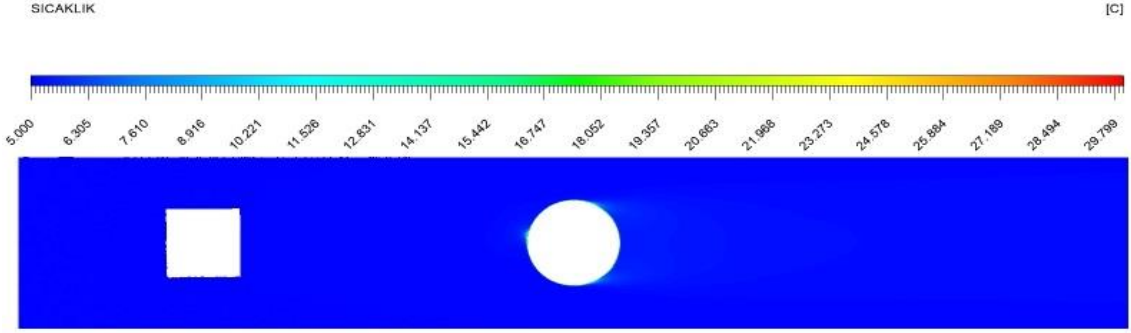
Tablo E15.1. b_5 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,107	5,123	5,114	5,118	5,085	5,097	5,097	5,111
Nusselt Sayısı	183,8	206,7	207,9	204,1	287,4	324,9	325,5	348,9

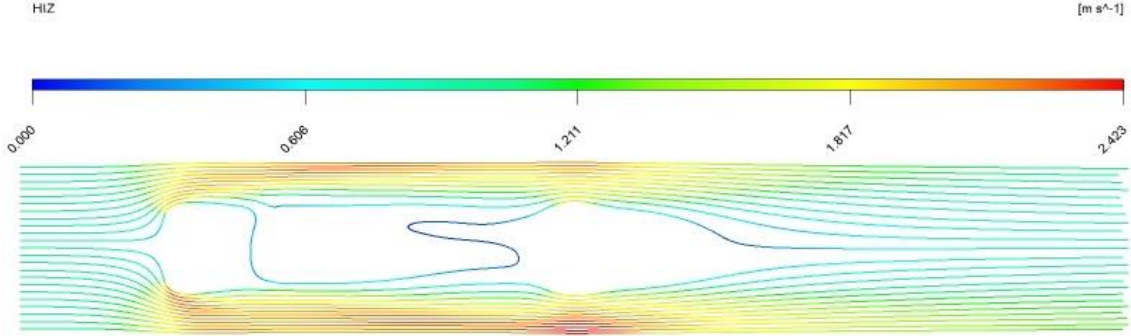
EK – 16: B₆ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



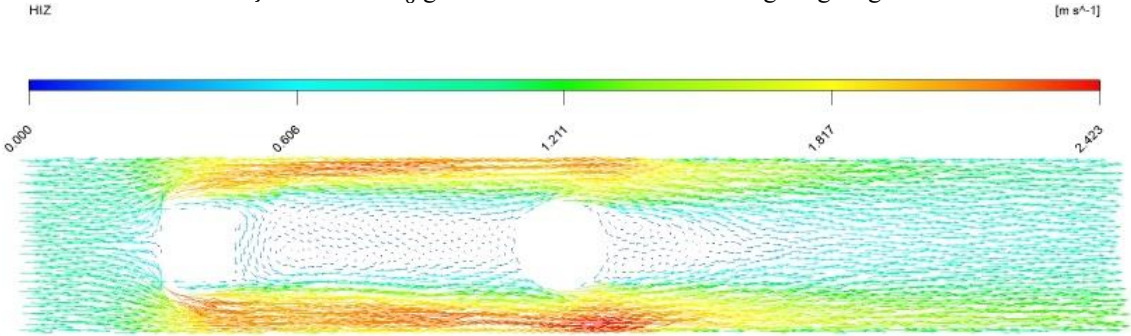
Şekil E16.1. b_6 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E16.2. b_6 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E16.3. b_6 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

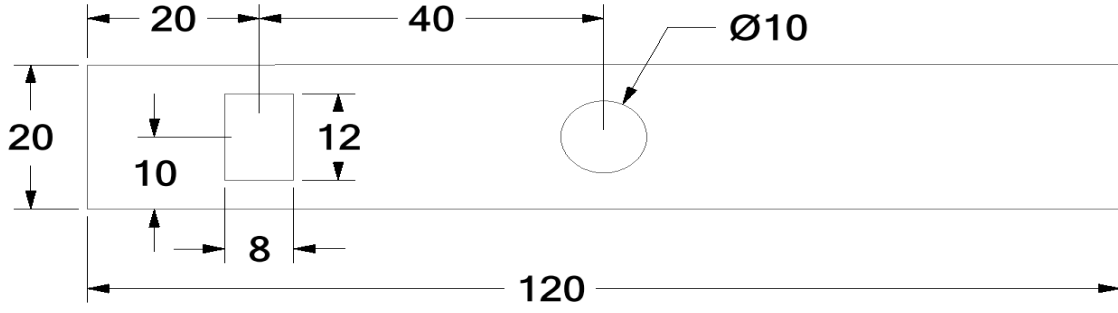


Şekil E16.4. b_6 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

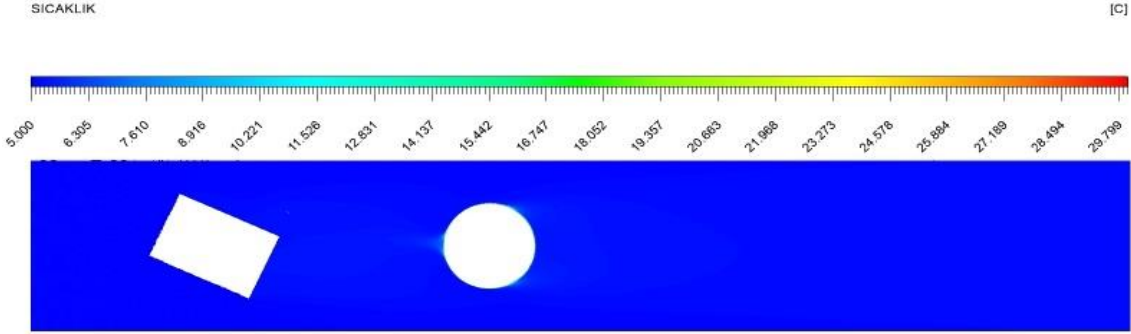
Tablo E16.1. b_6 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,108	5,108	5,111	5,114	5,086	5,096	5,095	5,093
Nusselt Sayısı	186,2	198,2	197,8	197,9	328,8	325,7	326,7	322,7

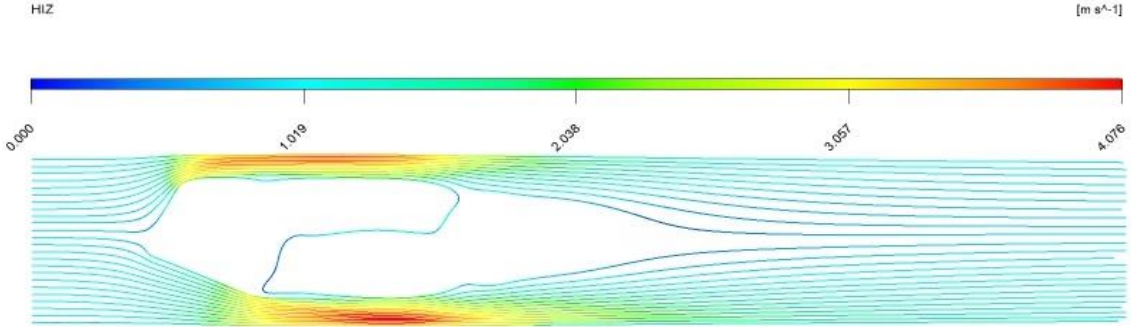
EK – 17: B₇ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



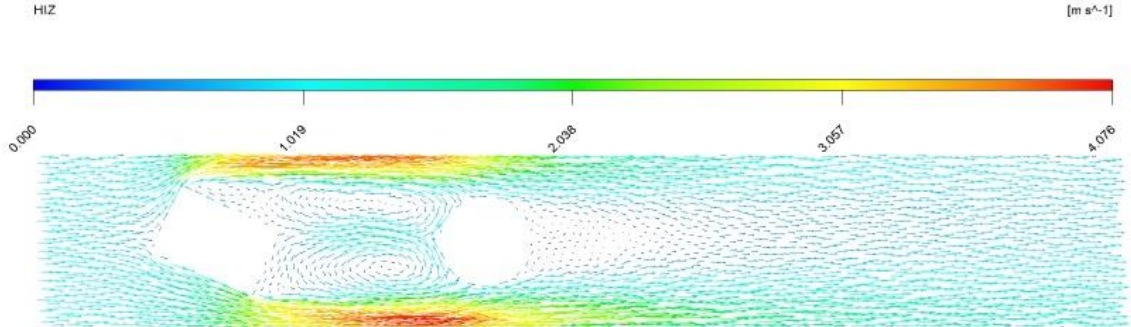
Şekil E17.1. b_7 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E17.2. b_7 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E17.3. b_7 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

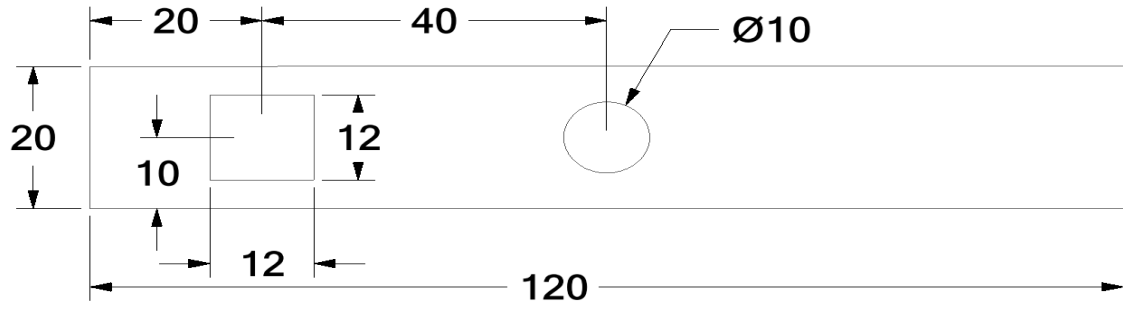


Şekil E17.4. b_7 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

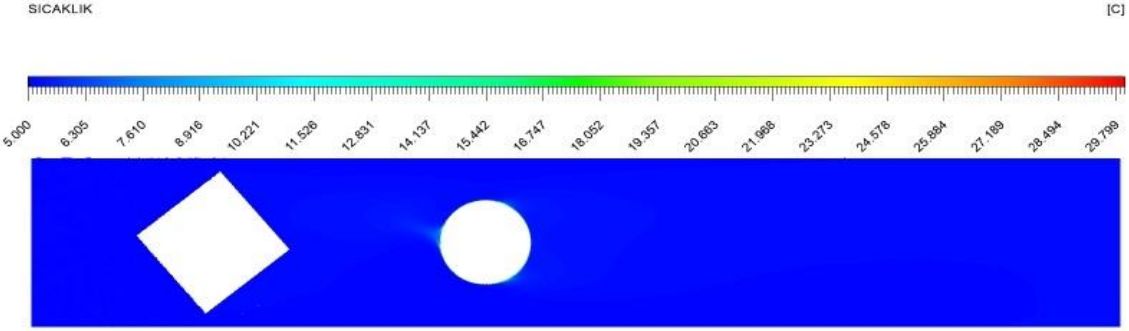
Tablo E17.1. b_7 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,117	5,124	5,127	5,133	5,091	5,113	5,103	5,105
Nusselt Sayısı	206,4	239,0	215,2	215,9	321,1	393,6	365,4	355,0

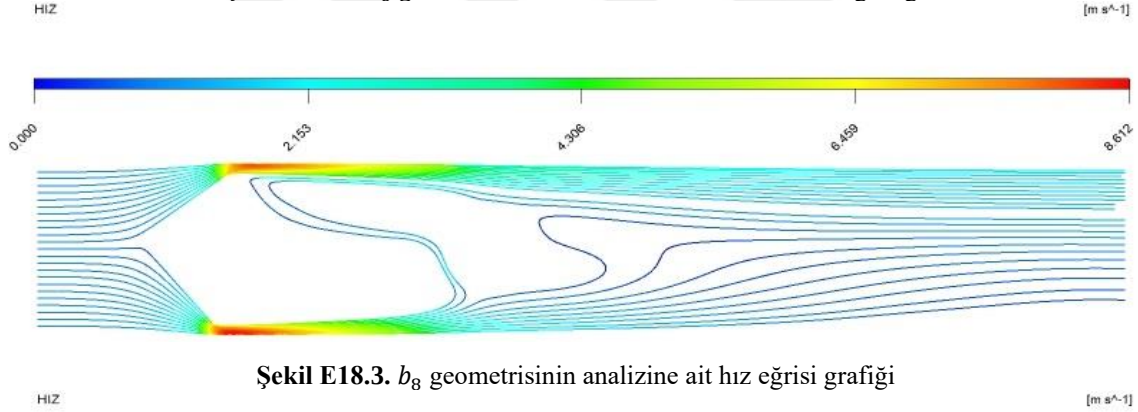
EK – 18: B₈ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



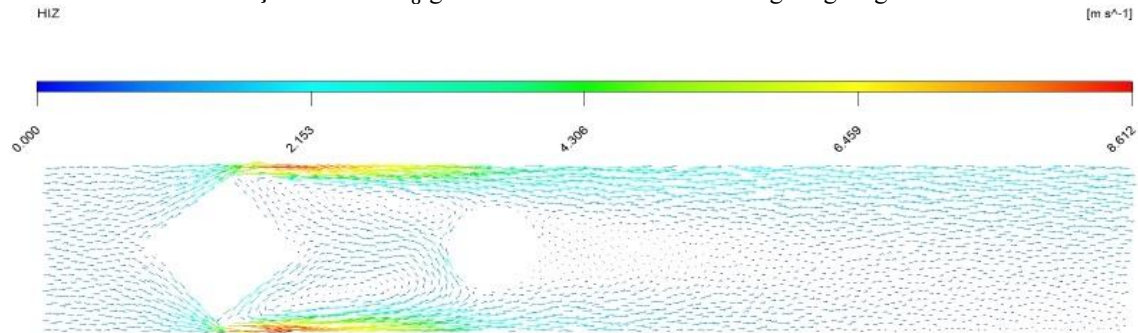
Şekil E18.1. b_8 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E18.2. b_8 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E18.3. b_8 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

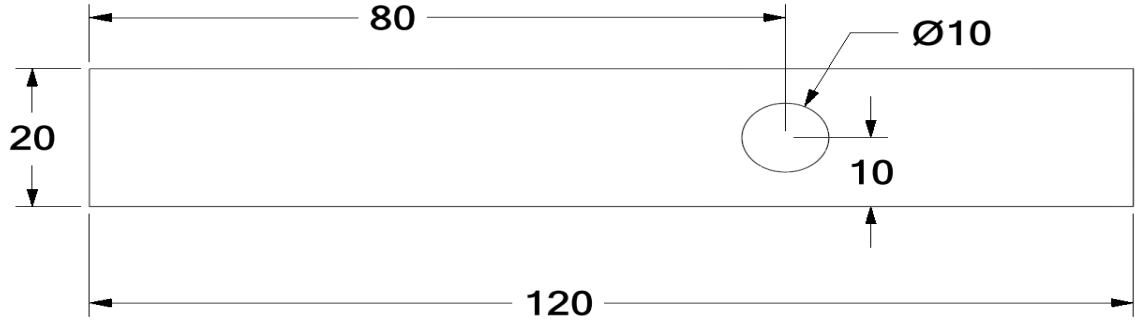


Şekil E18.4. b_8 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

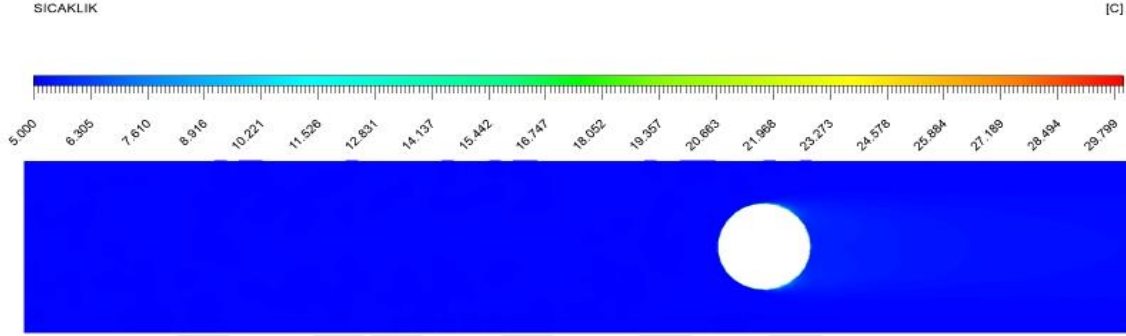
Tablo E18.1. b_8 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,117	5,173	5,142	5,167	5,090	5,142	5,109	5,127
Nusselt Sayısı	205,7	280,4	250,9	266,9	317,2	476,2	491,0	454,1

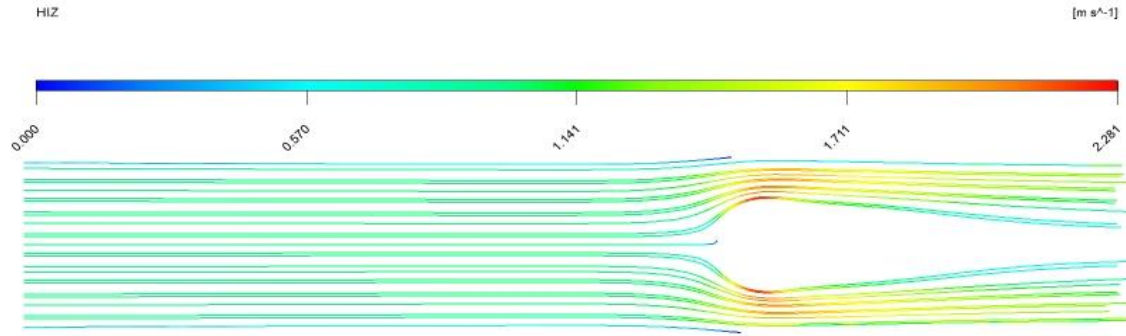
EK – 19: C₀ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



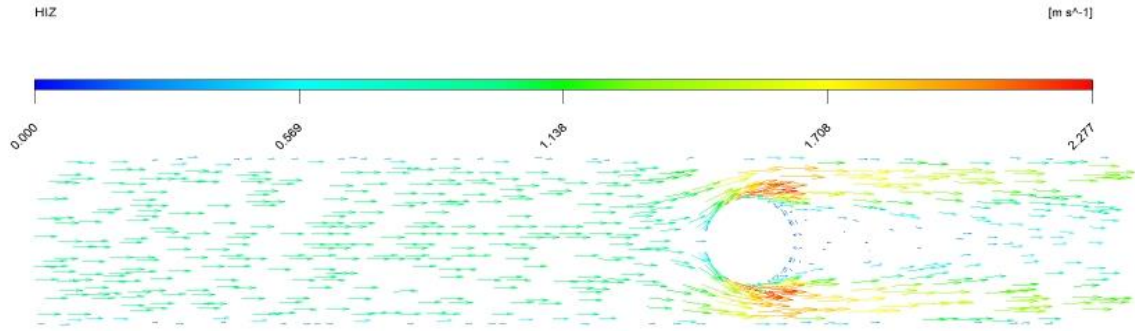
Şekil E19.1. c₀ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E19.2. c₀ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E19.3. c₀ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

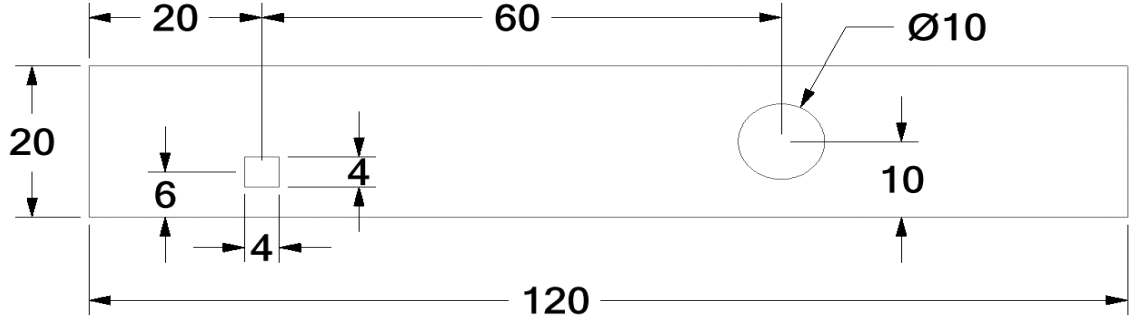


Şekil E19.4. c₀ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

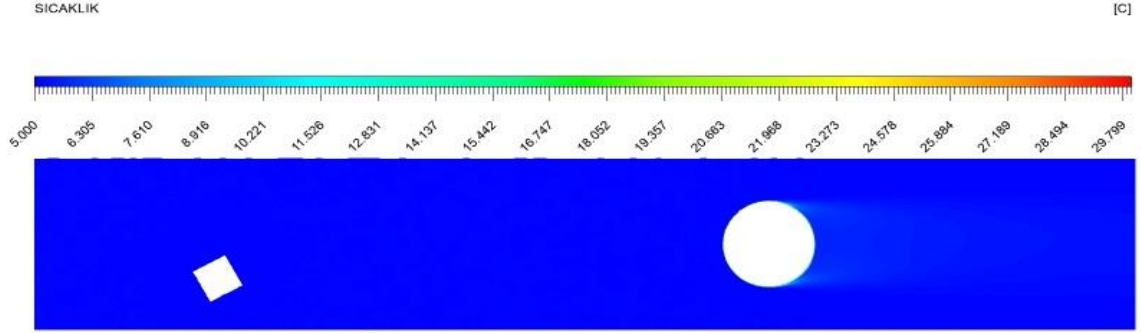
Tablo E19.1.c₀ geometrisine ait analiz sonuçları

$V_{akışkan} (m/sn)$	1	2
$T_{çıkış} (°C)$	5,130	5,111
Nusselt Sayısı	197,8	310,8

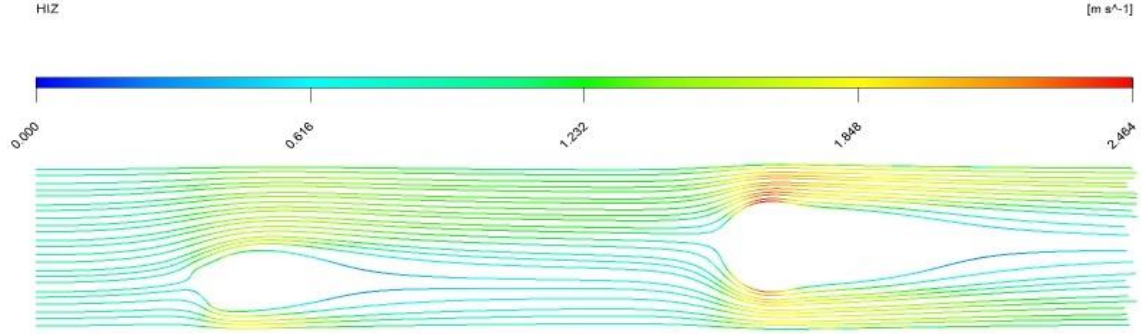
EK – 20: C₁ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



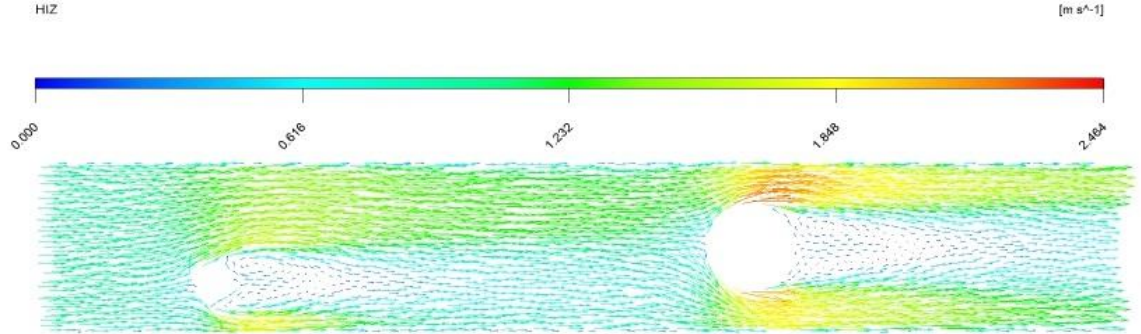
Şekil E20.1. c₁ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E20.2. c₁ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E20.3. c₁ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

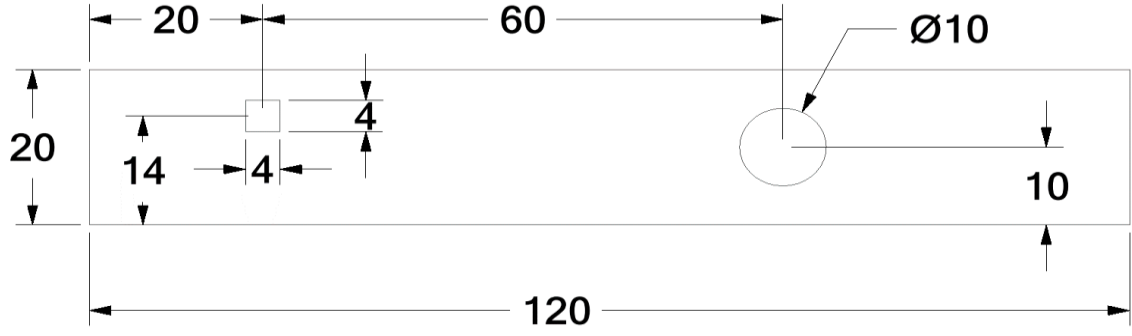


Şekil E20.4. c₁ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

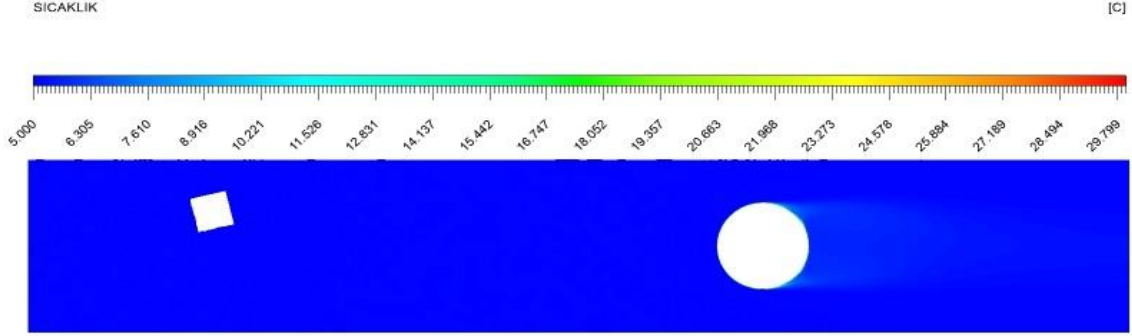
Tablo E20.1. c₁ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,133	5,133	5,131	5,134	5,109	5,108	5,113	5,105
Nusselt Sayısı	201,0	203,1	202,9	200,5	321,0	324,5	322,4	319,5

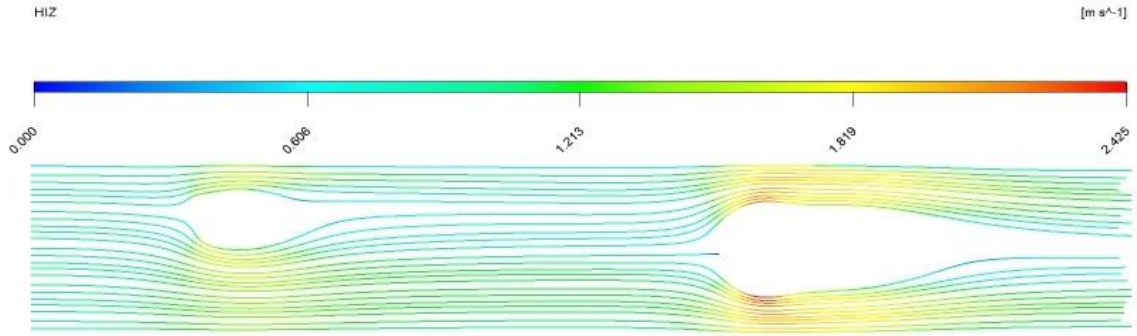
EK – 21: C₂ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



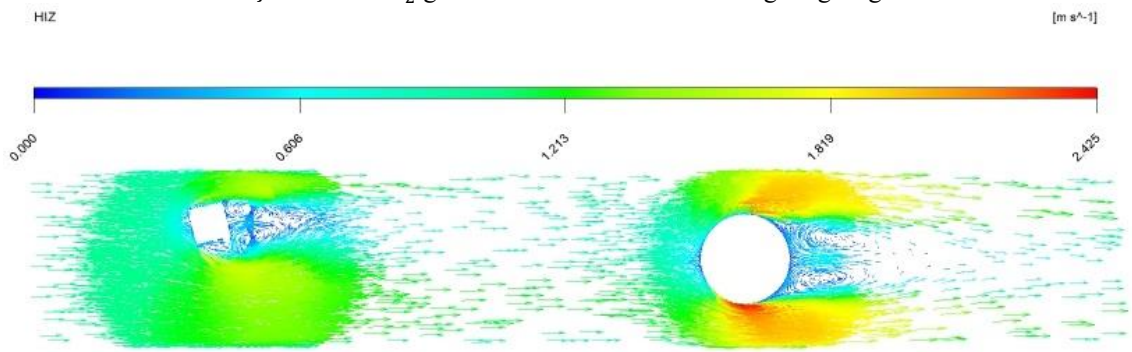
Şekil E21.1. c₂ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E21.2. c₂ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E21.3. c₂ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

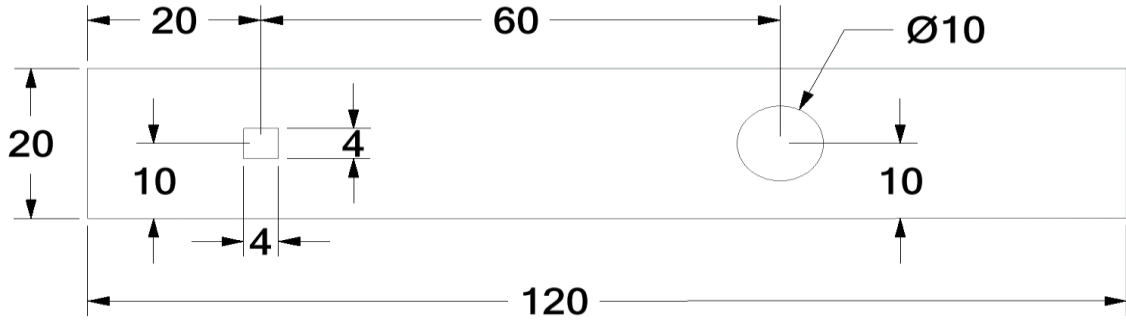


Şekil E21.4. c₂ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

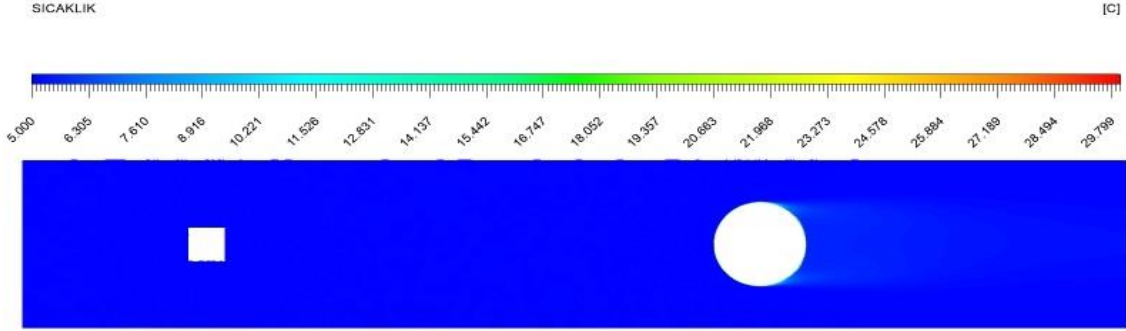
Tablo E21.1. c₂ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,133	5,134	5,130	5,137	5,107	5,110	5,113	5,107
Nusselt Sayısı	302,9	309,3	308,5	307,9	486,7	496,5	494,7	489

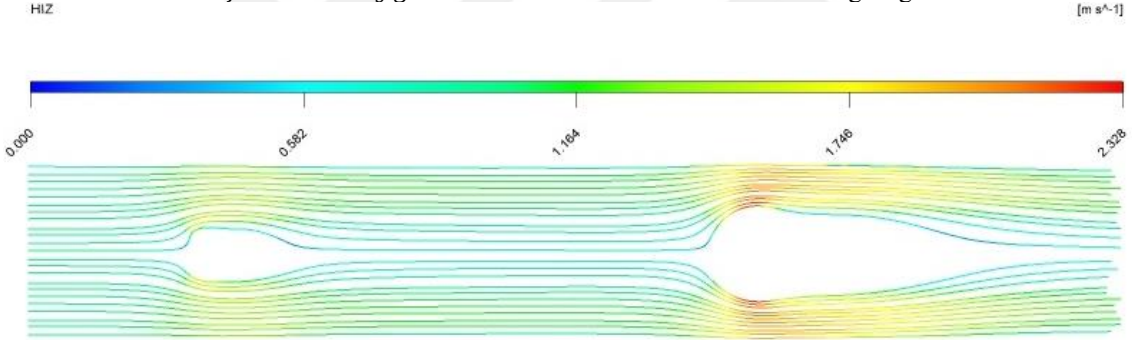
EK – 22: C₃ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



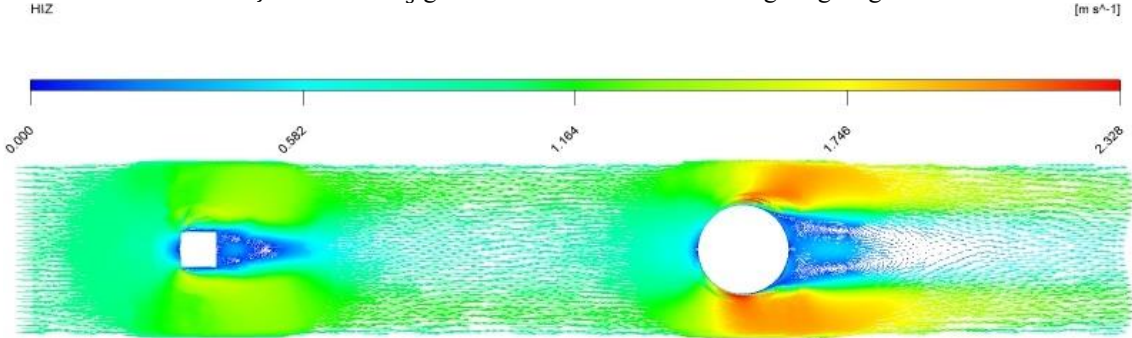
Şekil E22.1. c₃ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E22.2. c₃ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E22.3. c₃ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

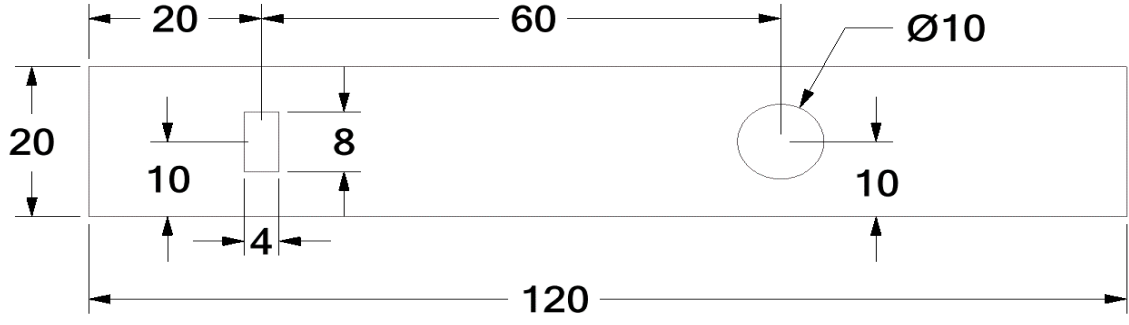


Şekil E22.4. c₃ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

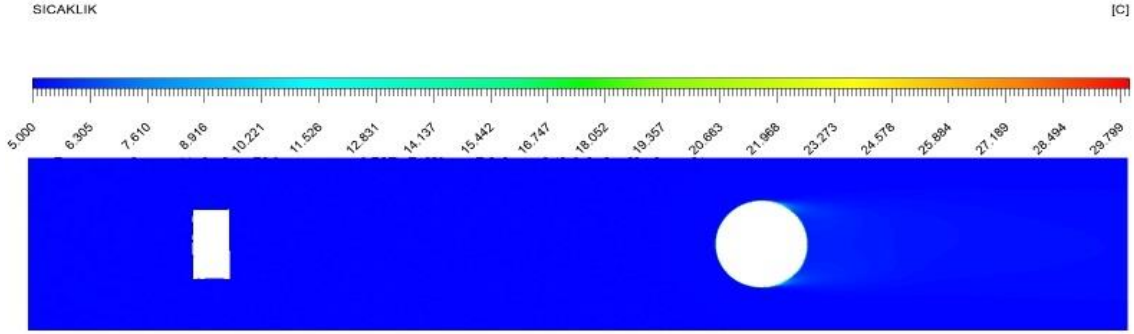
Tablo E22.1. c₃ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,127	5,124	5,124	5,127	5,099	5,100	5,102	5,100
Nusselt Sayısı	192,3	193,5	193,8	195,9	307,4	305,9	302,7	310,7

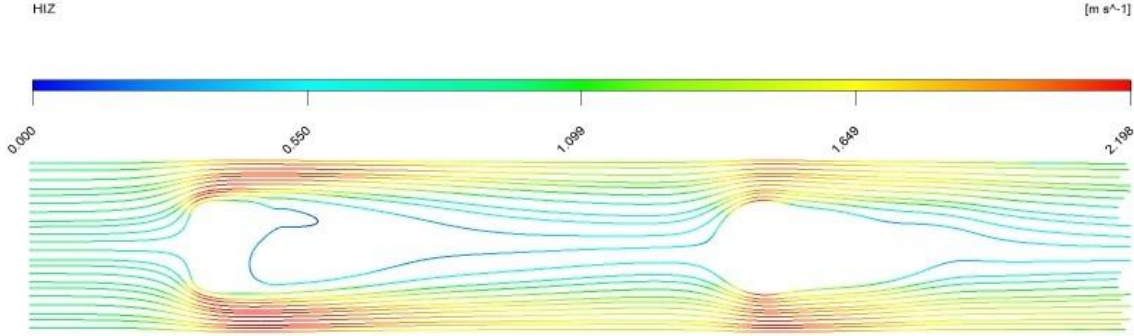
EK – 23: C₄ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



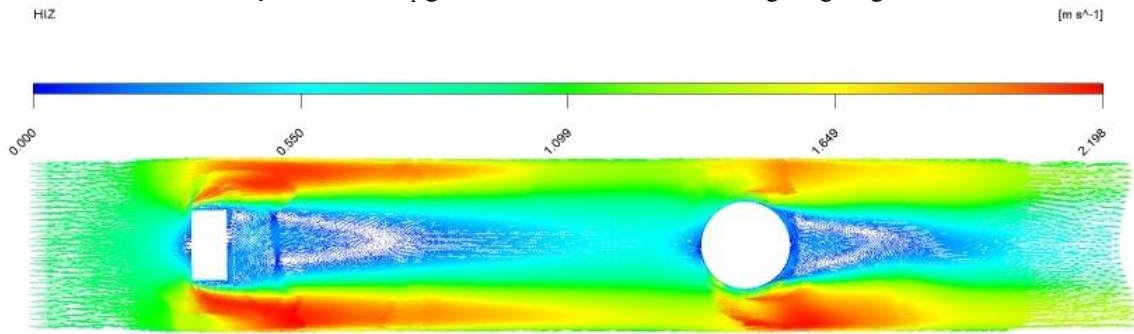
Şekil E23.1. c₄ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E23.2. c₄ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E23.3. c₄ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

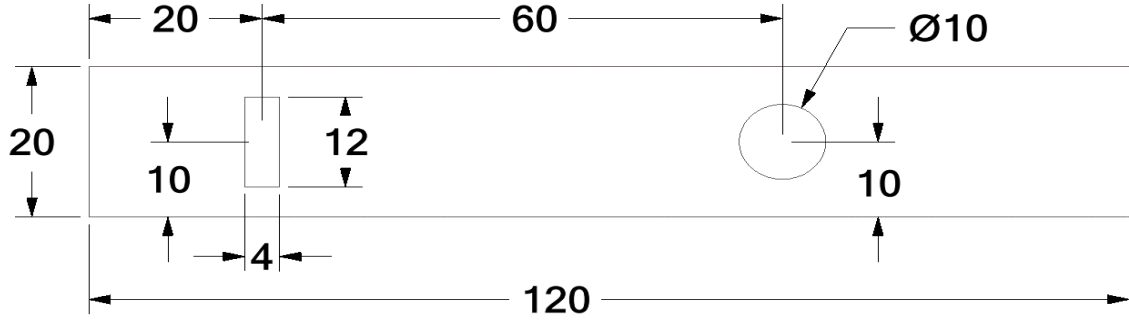


Şekil E23.4. c₄ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

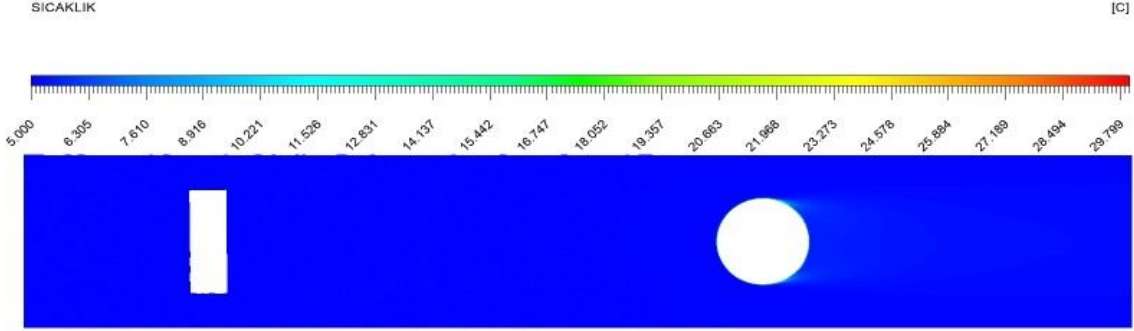
Tablo E23.1. c₄ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,121	5,123	5,121	5,120	5,098	5,098	5,098	5,105
Nusselt Sayısı	292,1	198,4	306,7	298,6	461,0	476,5	487,3	480,3

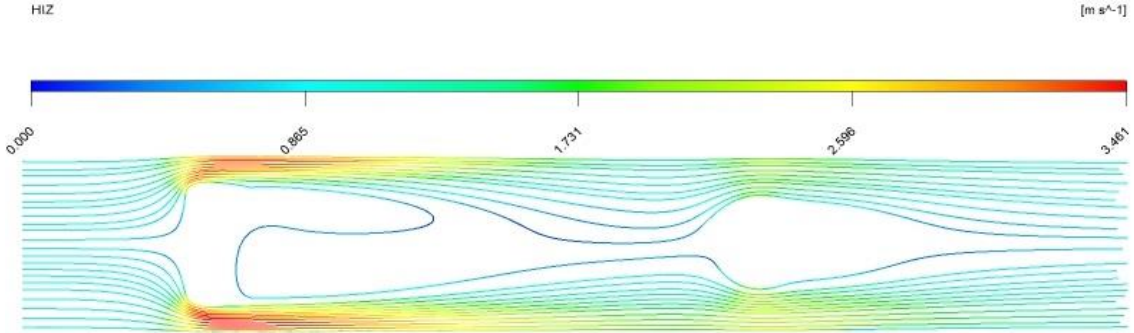
EK – 24: C₅ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



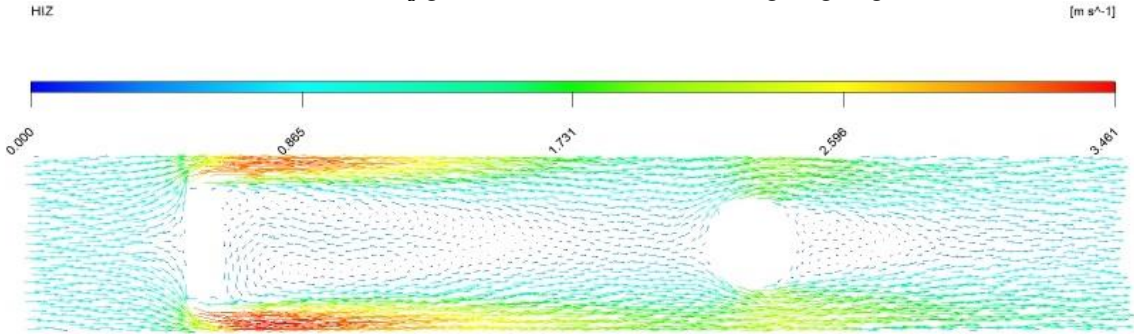
Şekil E24.1. c₅ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E24.2. c₅ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E24.3. c₅ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

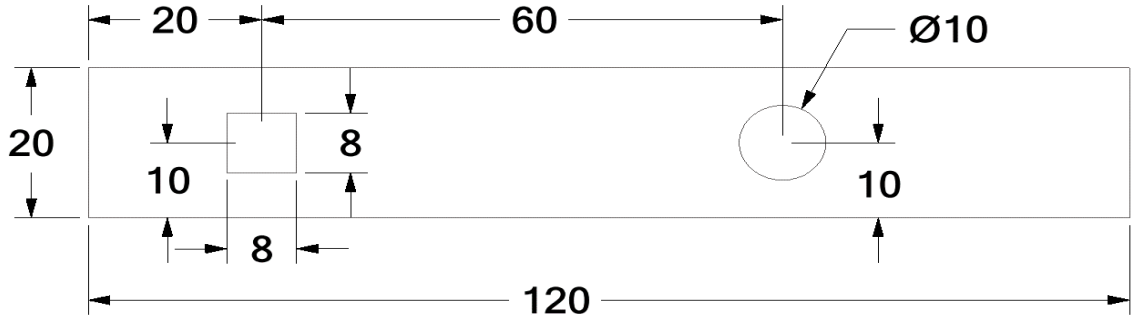


Şekil E24.4. c₅ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

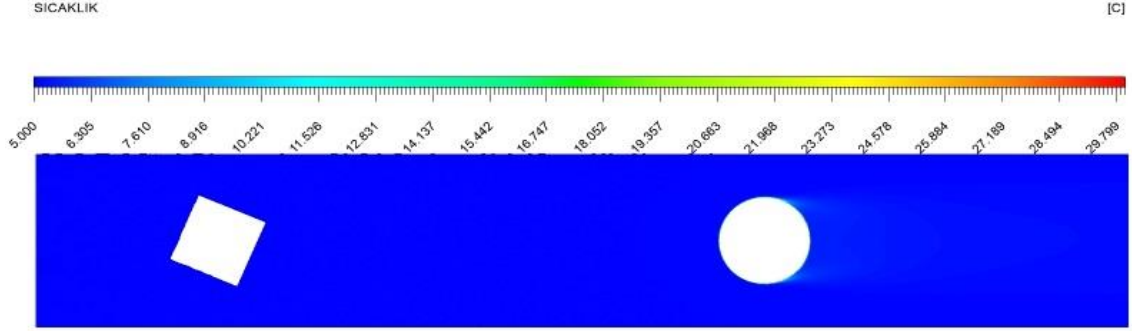
Tablo E24.1. c₅ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,127	5,124	5,125	5,122	5,103	5,101	5,102	5,100
Nusselt Sayısı	193,1	206,4	207,0	204,4	304,4	338,9	343,1	328,2

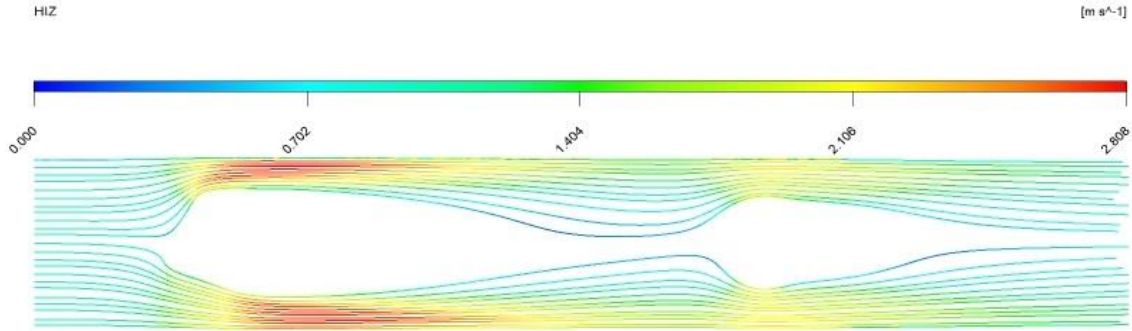
EK – 25: C₆ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



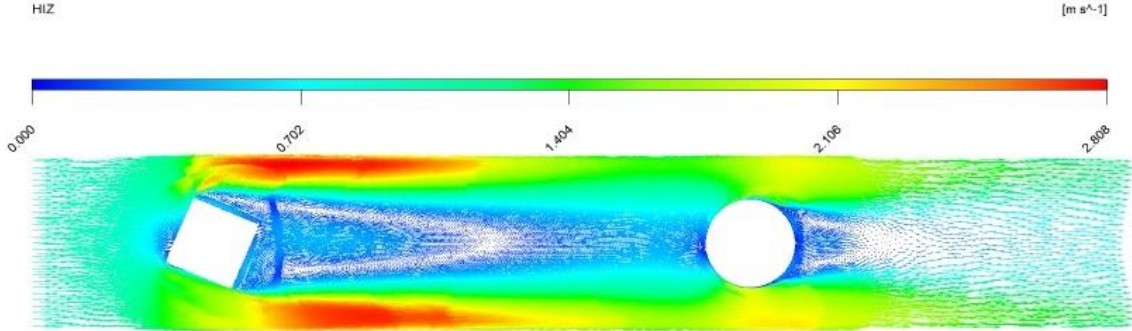
Şekil E25.1. c₆ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E25.2. c₆ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E25.3. c₆ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

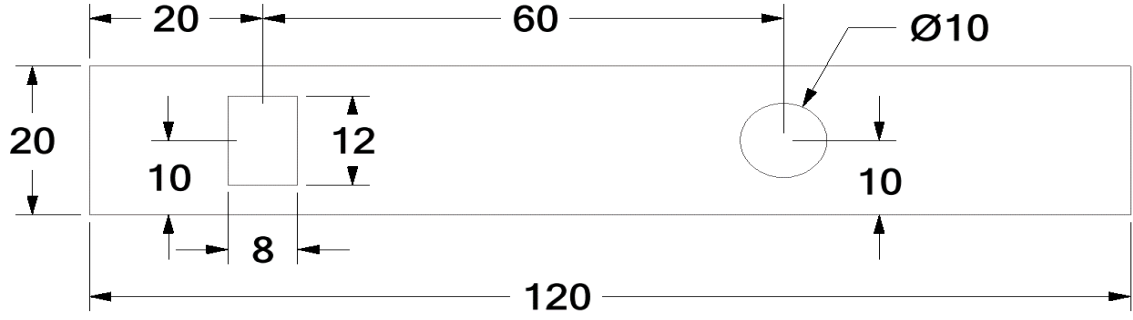


Şekil E25.4. c₆ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

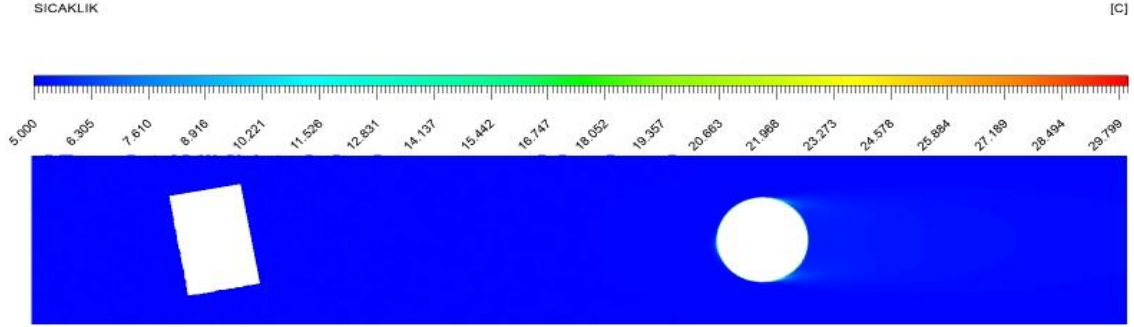
Tablo E25.1. c₆ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,123	5,122	5,126	5,122	5,100	5,099	5,102	5,100
Nusselt Sayısı	197,0	200,6	209,6	200,4	321,7	327,1	341,1	330,8

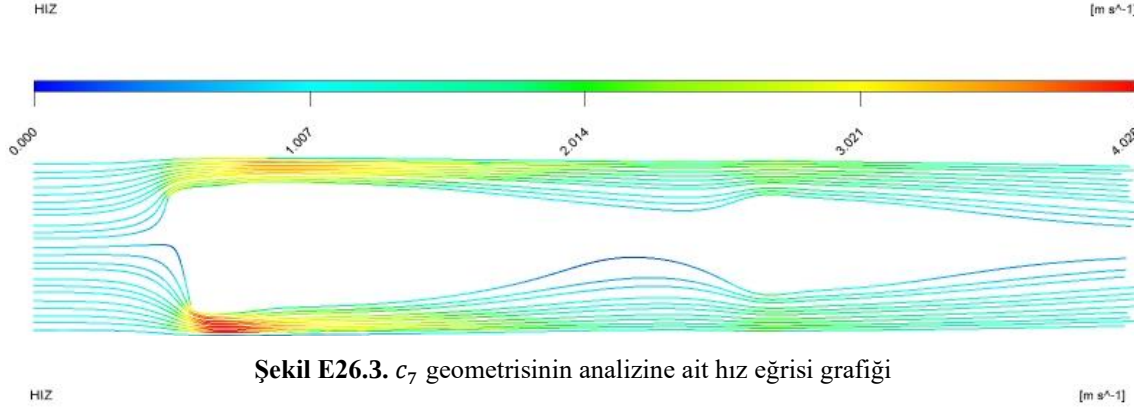
EK – 26: C₇ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



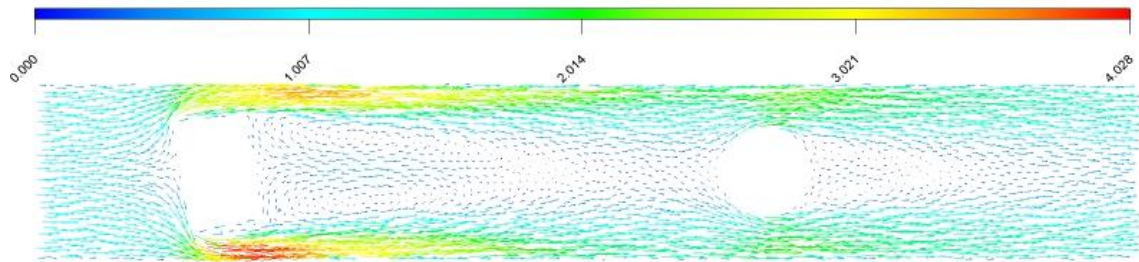
Şekil E26.1. c₇ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E26.2. c₇ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E26.3. c₇ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

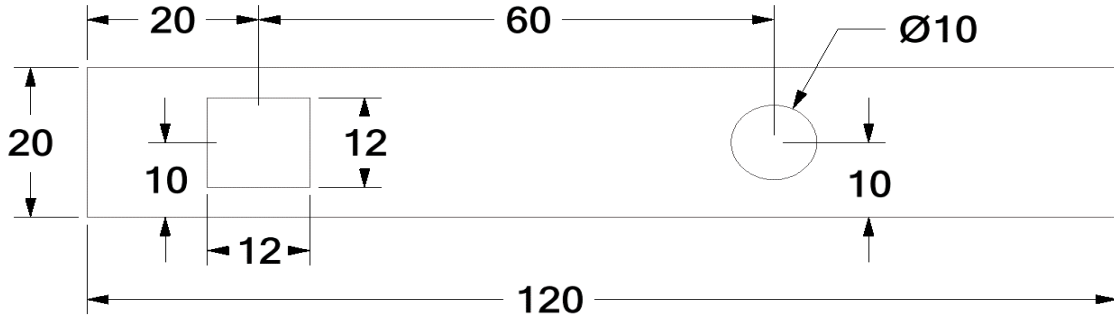


Şekil E26.4. c₇ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

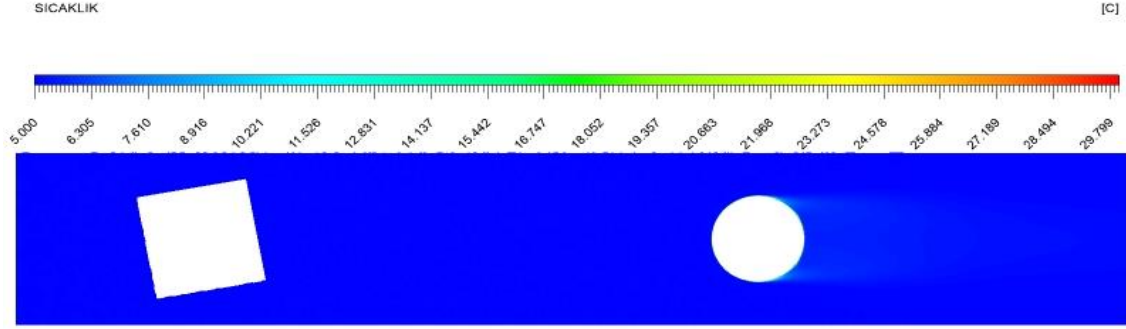
Tablo E26.1. c₇ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,122	5,124	5,126	5,119	5,099	5,103	5,101	5,097
Nusselt Sayısı	200,0	207,1	201,6	195,8	326,7	343,2	339,7	308,4

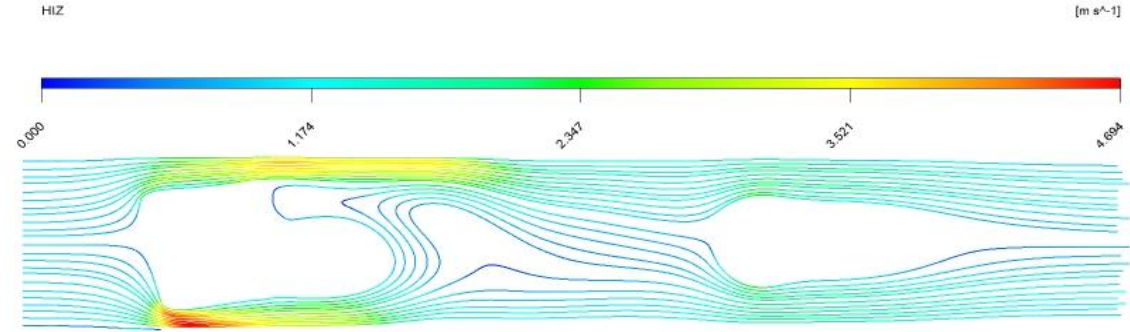
EK – 28: C₈ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



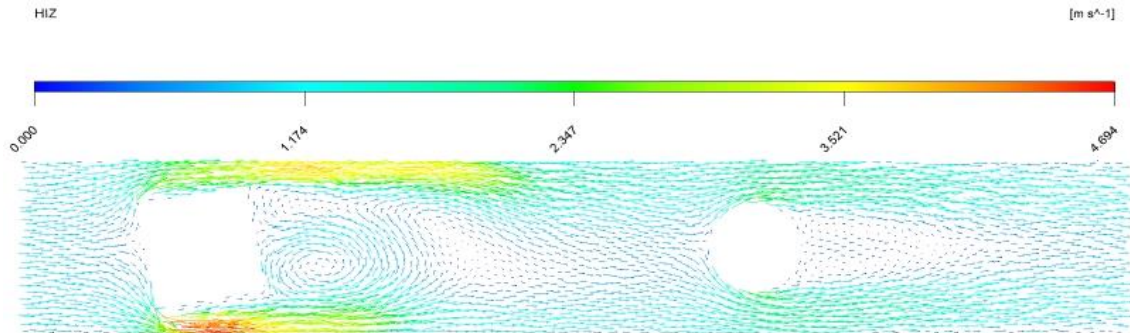
Şekil E28.1. c₈ geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E28.2. c₈ geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E28.3. c₈ geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

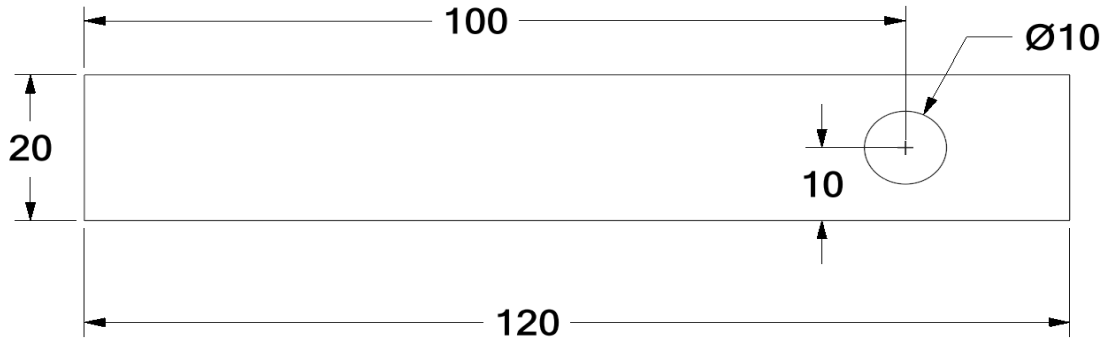


Şekil E28.4. c₈ geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

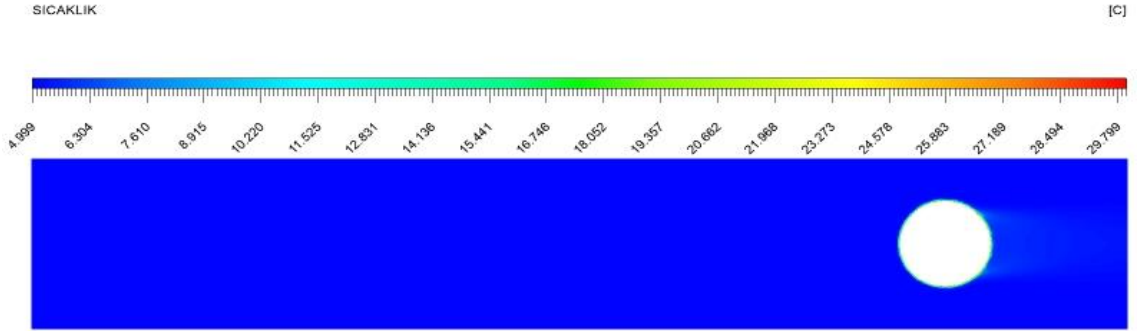
Tablo E28.1. c₈ geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,122	5,129	5,126	5,129	5,099	5,111	5,107	5,108
Nusselt Sayısı	201,1	214,4	214,2	216,1	328,3	367,9	367,9	367,0

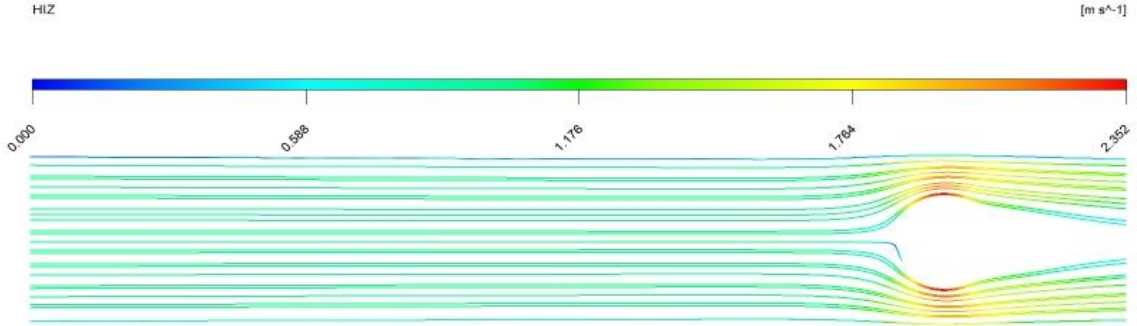
EK – 29: D₀ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



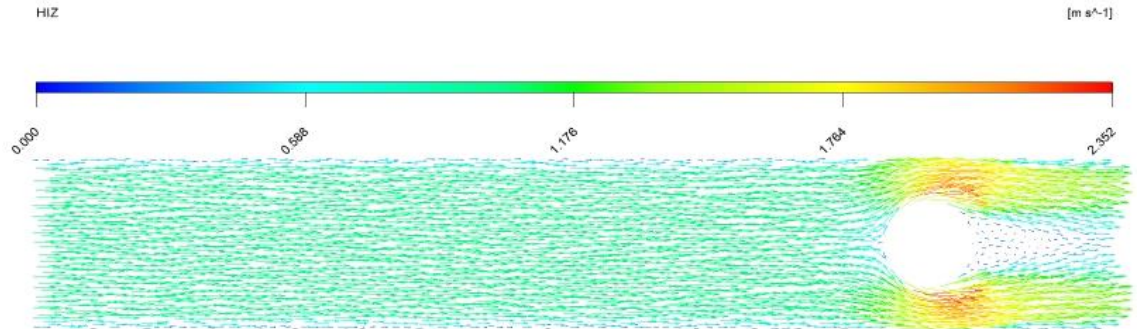
Şekil E29.1. d_0 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E29.2. d_0 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E29.3. d_0 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

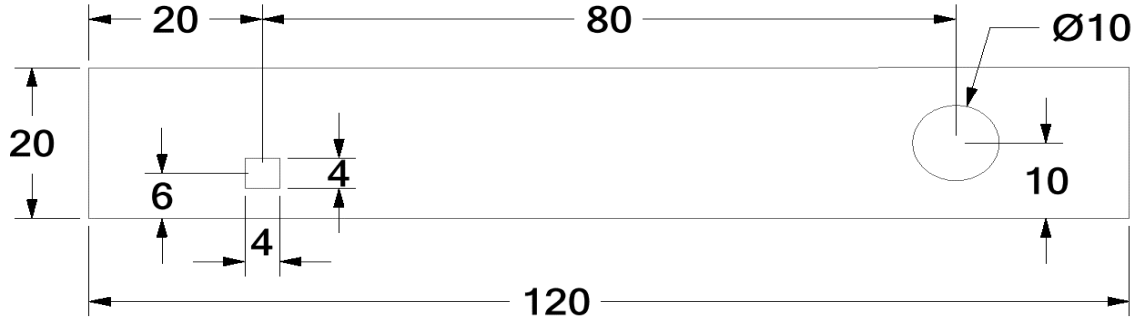


Şekil E29.4. d_0 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

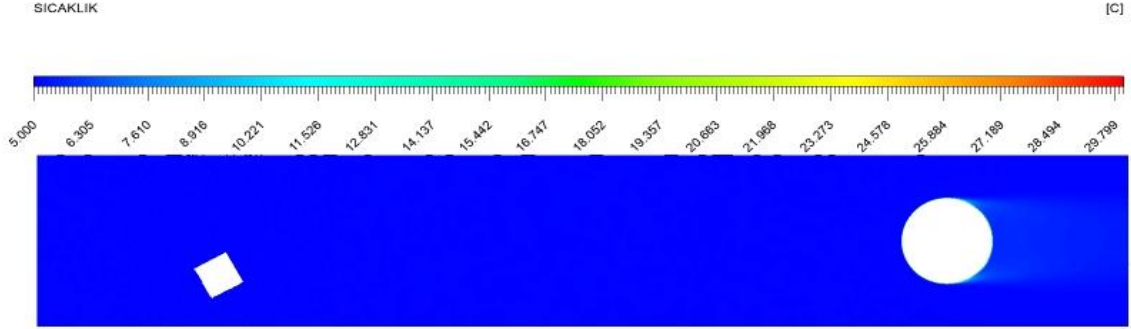
Tablo E29.1. d_0 geometrisine ait analiz sonuçları

$V_{akışkan} (m/sn)$	1	2
$T_{çıkış} (°C)$	5,127	5,112
Nusselt Sayısı	310,5	632,8

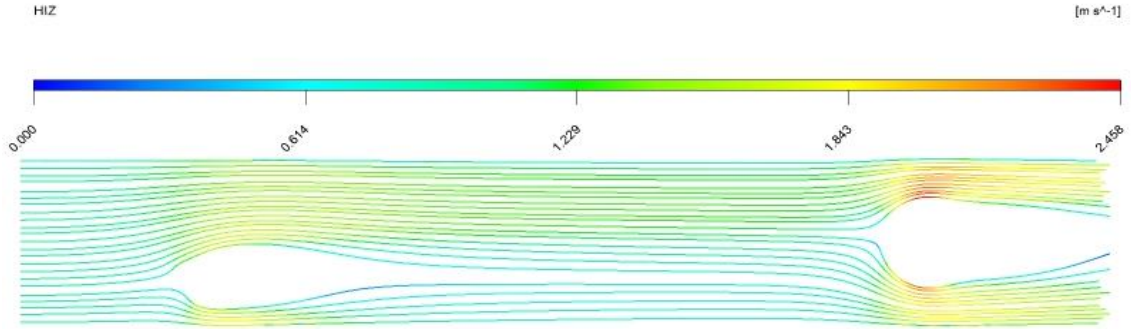
EK – 30: D₁ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



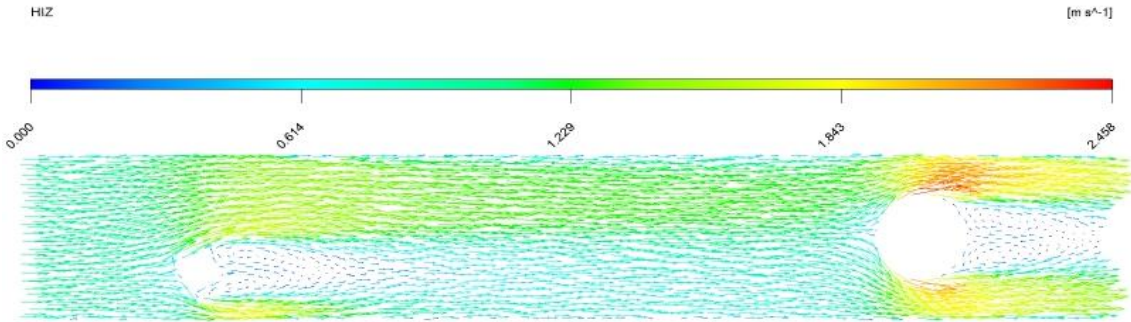
Şekil E30.1. d_1 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E30.2. d_1 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E30.3. d_1 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

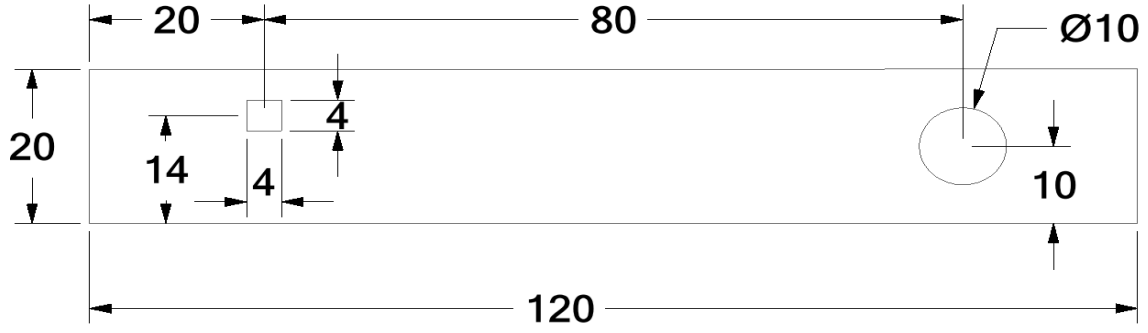


Şekil E30.4. d_1 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

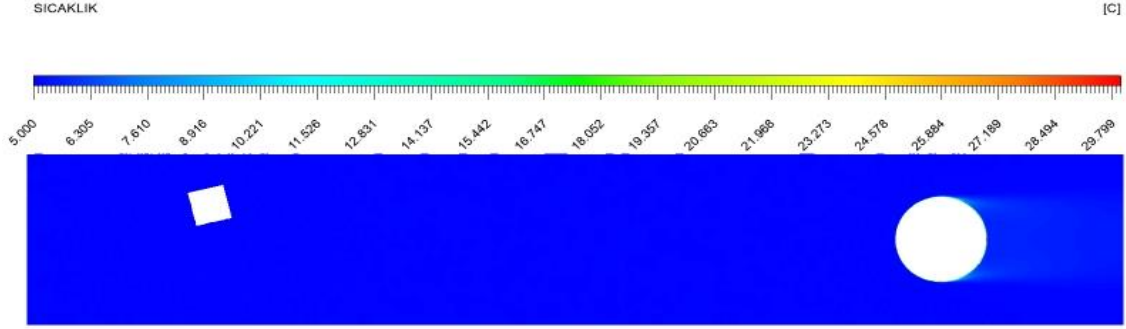
Tablo E30.1. d_1 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ ($^{\circ}C$)	5,203	5,197	5,203	5,194	5,167	5,159	5,168	5,159
Nusselt Sayısı	402,3	406,9	404,3	402,6	642,6	650,3	647,1	643,8

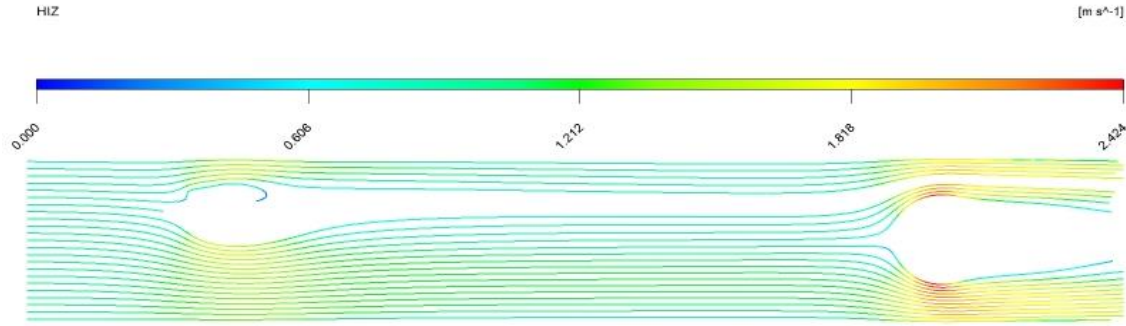
EK – 31: D₂ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



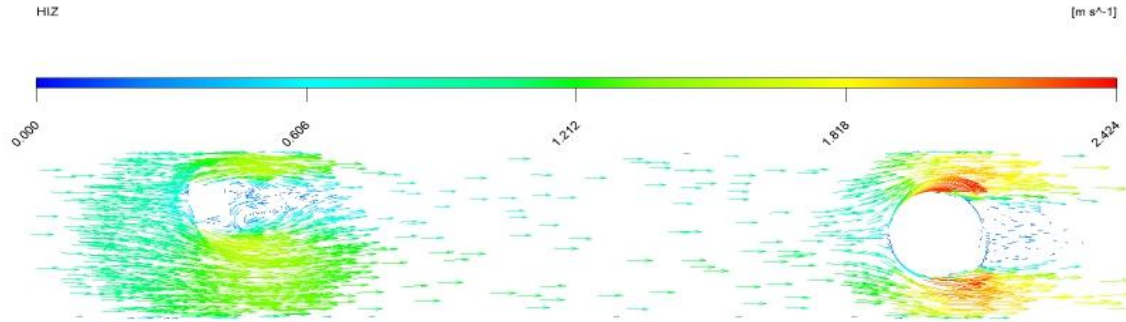
Şekil E31.1. d_2 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E31.2. d_2 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E31.3. d_2 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

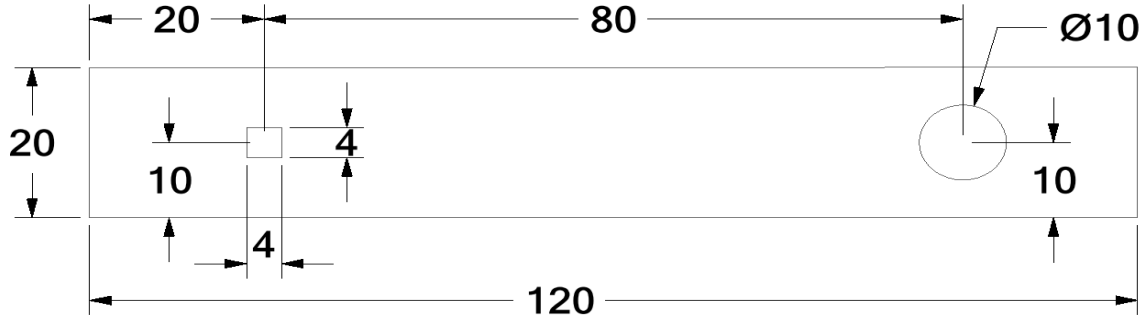


Şekil E31.4. d_2 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

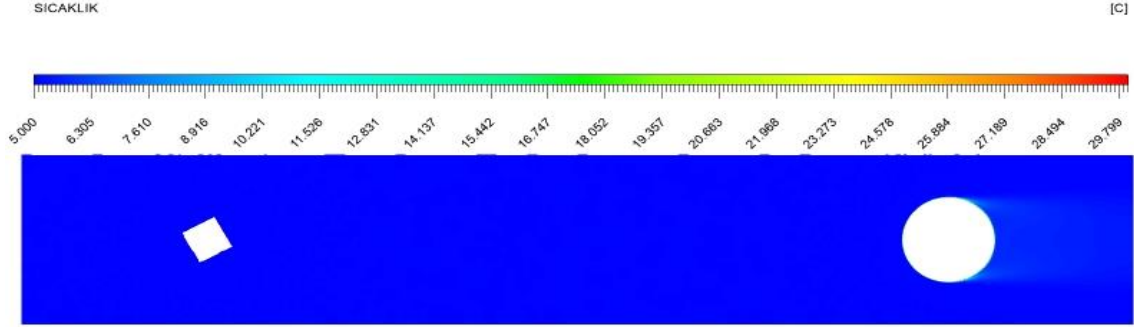
Tablo E31.1. d_2 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,204	5,199	5,200	5,204	5,168	5,163	5,176	5,159
Nusselt Sayısı	201,7	205,5	204	204,4	325,1	329,3	327,8	326,3

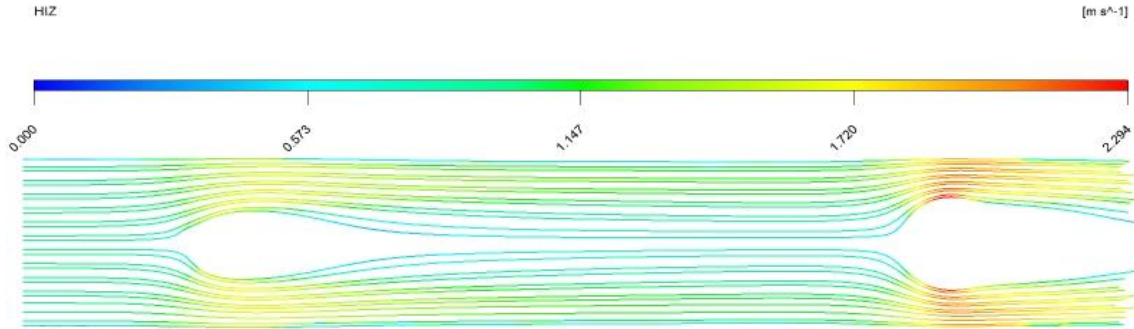
EK – 32: D₃ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



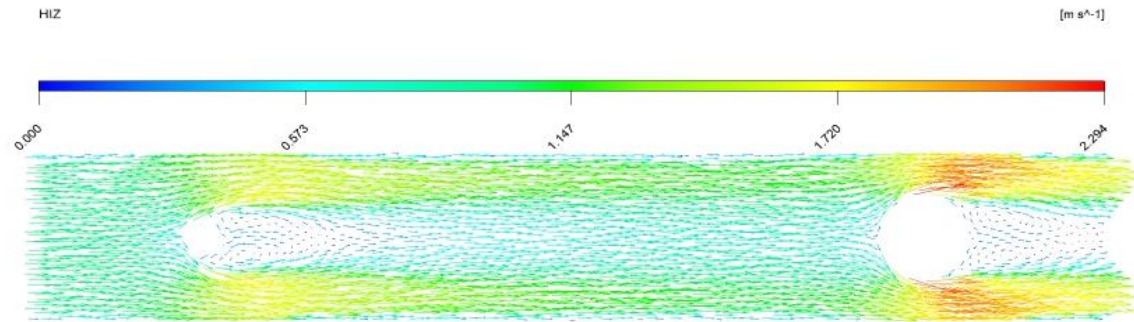
Şekil E32.1. d_3 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E32.2. d_3 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E32.3. d_3 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

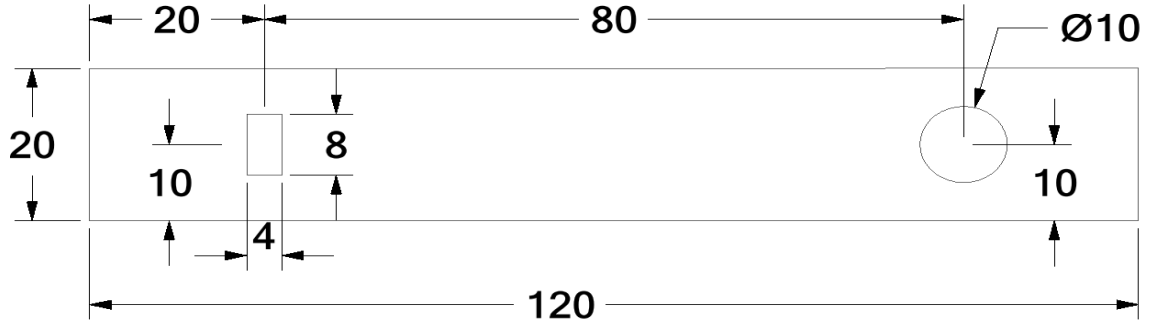


Şekil E32.4. d_3 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

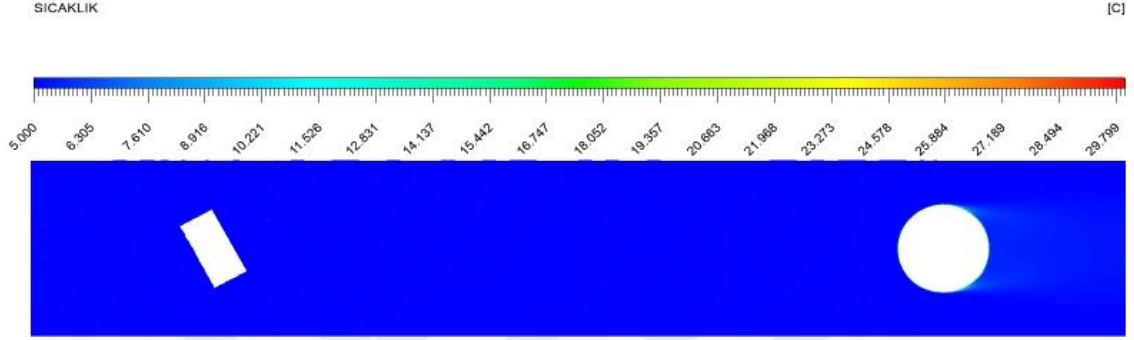
Tablo E32.1. d_3 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,200	5,191	5,196	5,194	5,162	5,153	5,162	5,154
Nusselt Sayısı	391,1	394,7	397,7	397	620,2	625,5	627,3	625,9

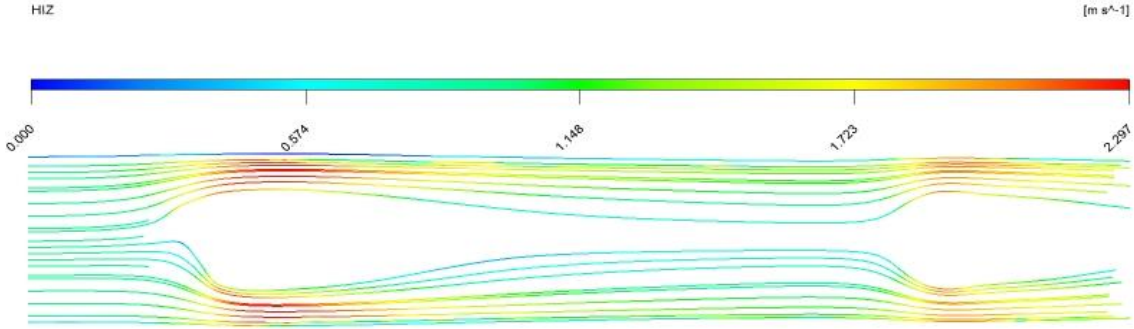
EK – 33: D₄ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



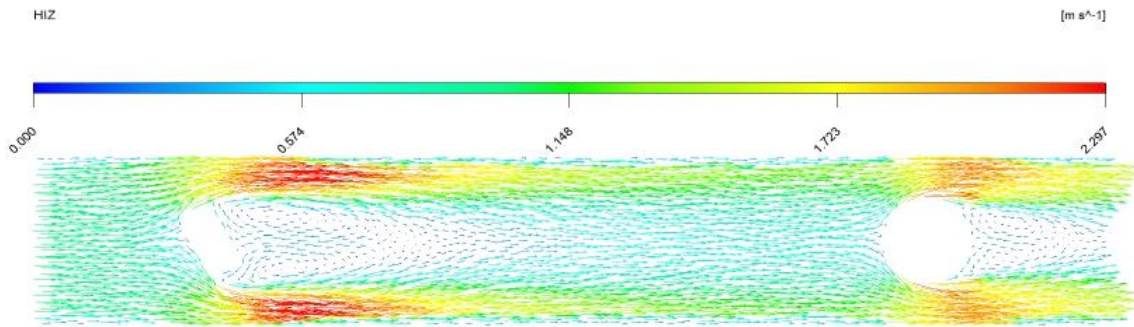
Şekil E33.1. d_4 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E33.2. d_4 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E33.3. d_4 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

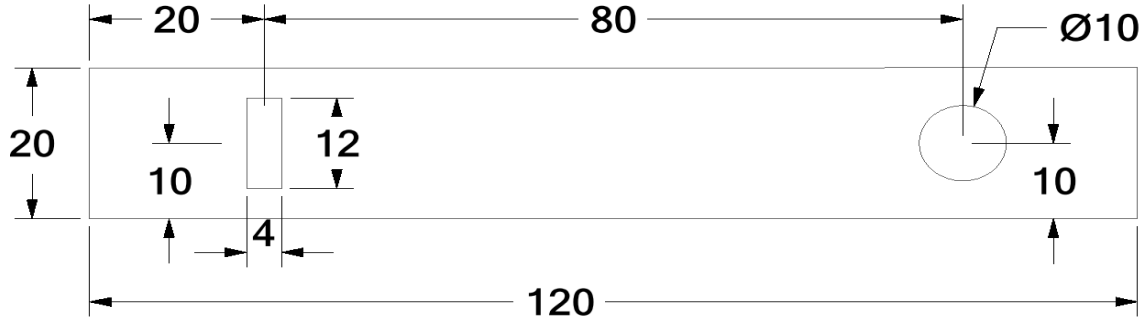


Şekil E33.4. d_4 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

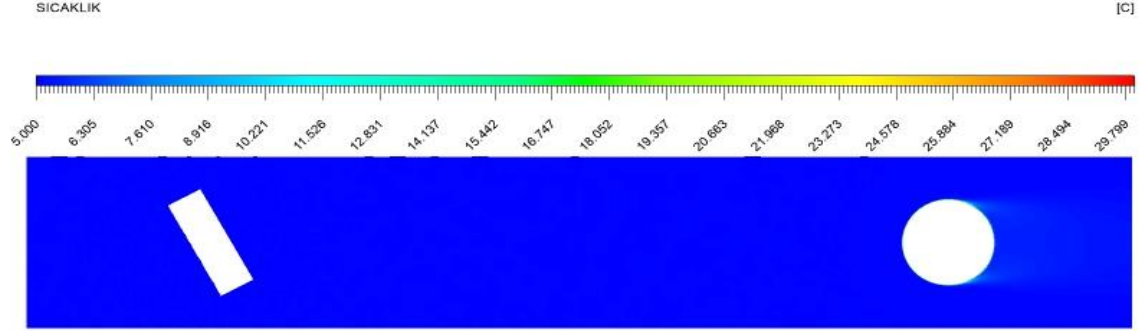
Tablo E33.1. d_4 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,179	5,177	5,191	5,185	5,139	5,139	5,144	5,158
Nusselt Sayısı	399,2	400,2	398,3	395,4	637,5	640,9	633,7	611,9

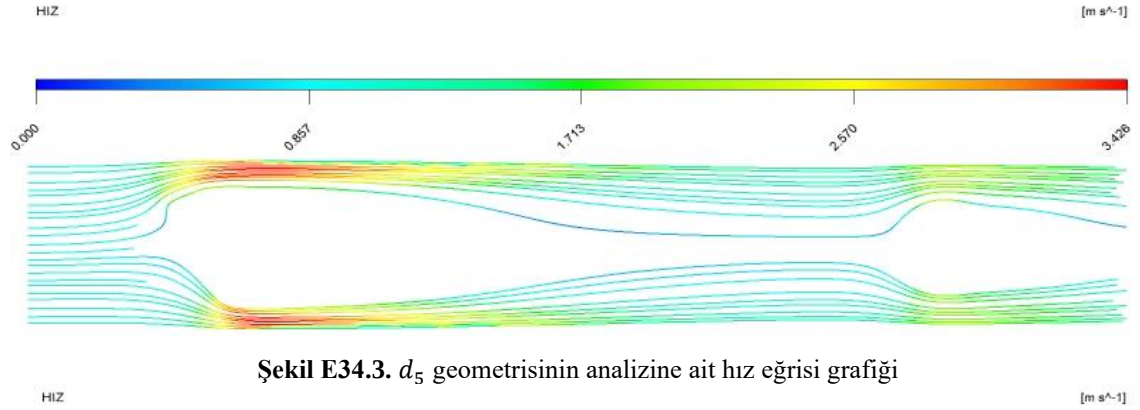
EK – 34: D₅ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



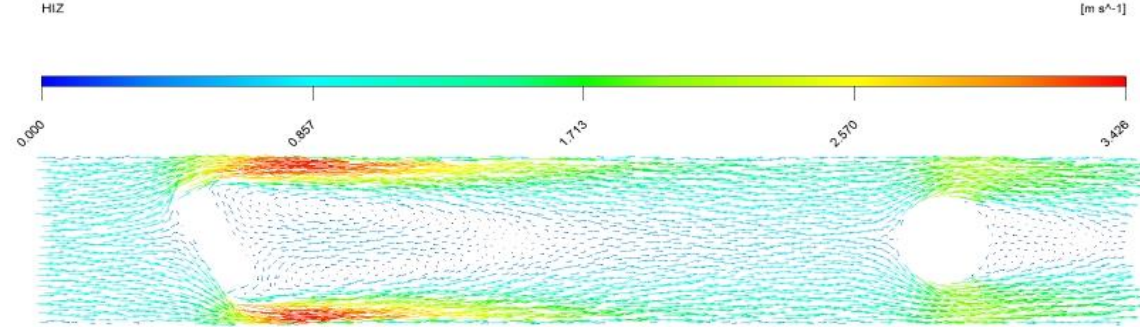
Şekil E34.1. d_5 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E34.2. d_5 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E34.3. d_5 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

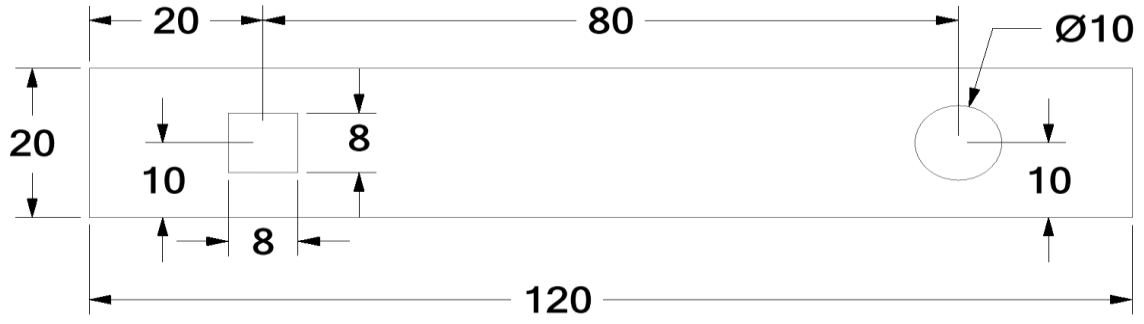


Şekil E34.4. d_5 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

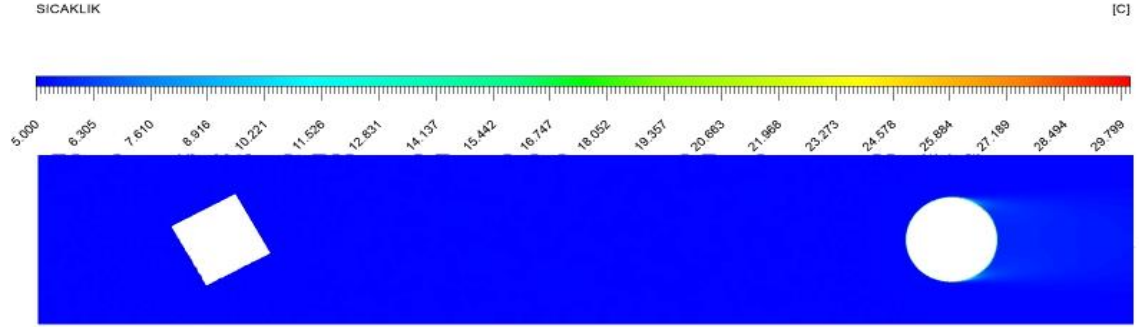
Tablo E34.1. d_5 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,172	5,172	5,190	5,181	5,133	5,134	5,140	5,153
Nusselt Sayısı	140,7	412,3	403,4	401	672,3	673,6	670,7	616,2

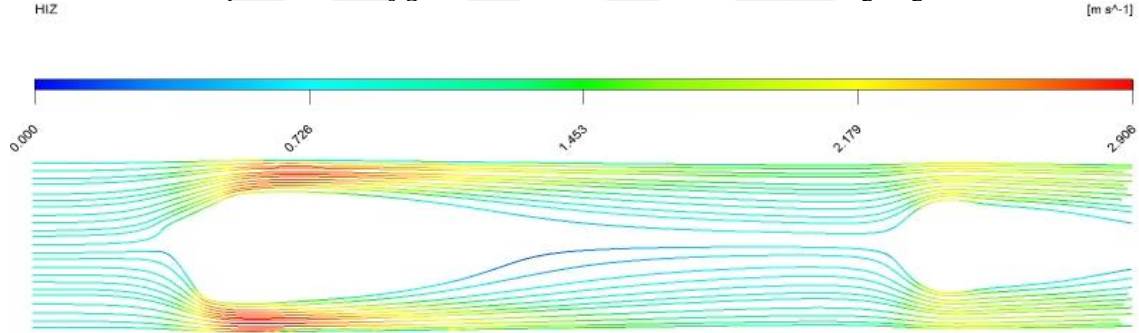
EK – 35: D₆ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



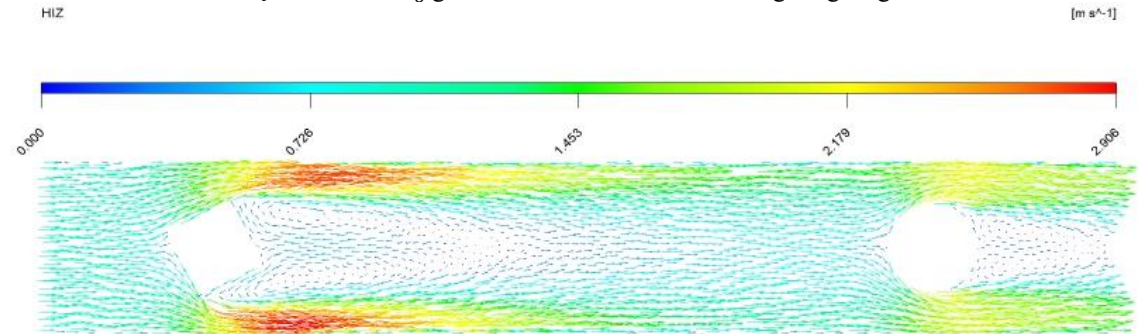
Şekil E35.1. d_6 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E35.2. d_6 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E35.3. d_6 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

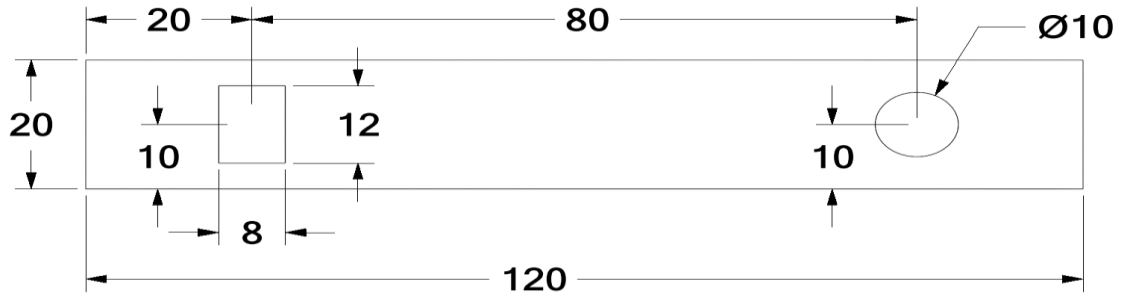


Şekil E35.4. d_6 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

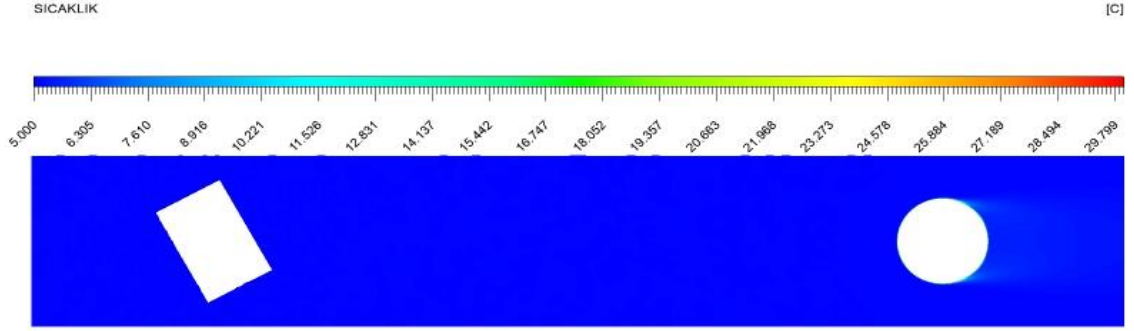
Tablo E35.1. d_6 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,183	5,172	5,180	5,174	5,143	5,133	5,139	5,134
Nusselt Sayısı	400,2	410	405,1	410,7	637	664,8	666,2	653,7

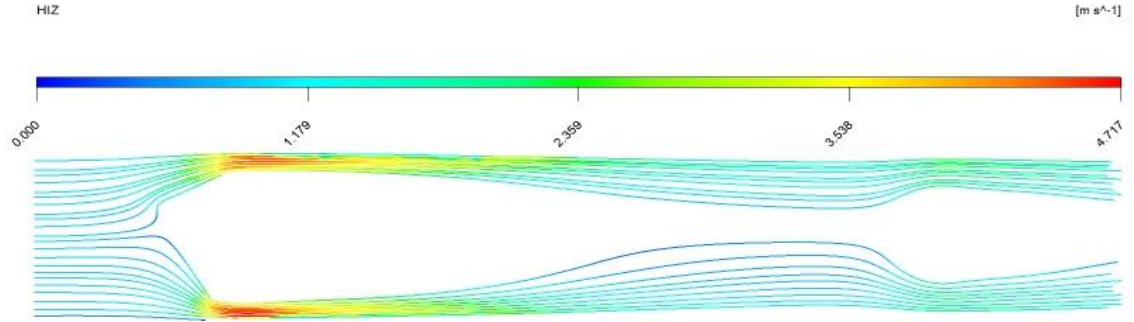
EK – 36: D₇ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



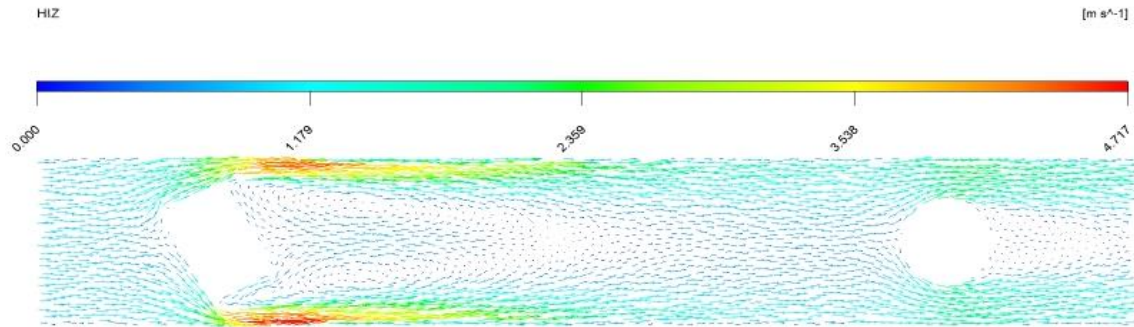
Şekil E36.1. d_7 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E36.2. d_7 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E36.3. d_7 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği

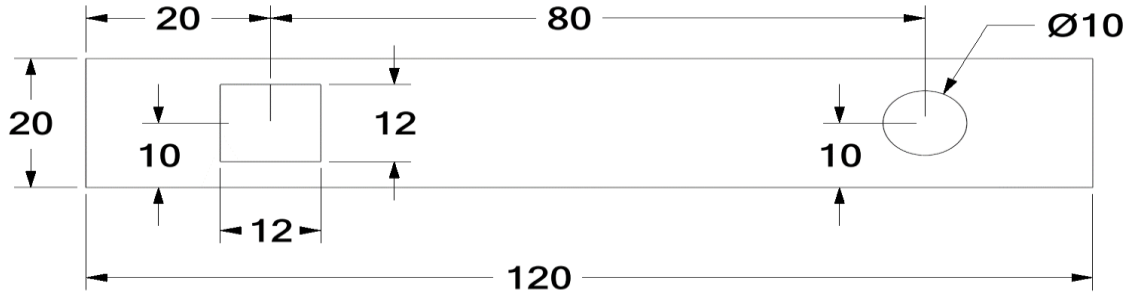


Şekil E36.4. d_7 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

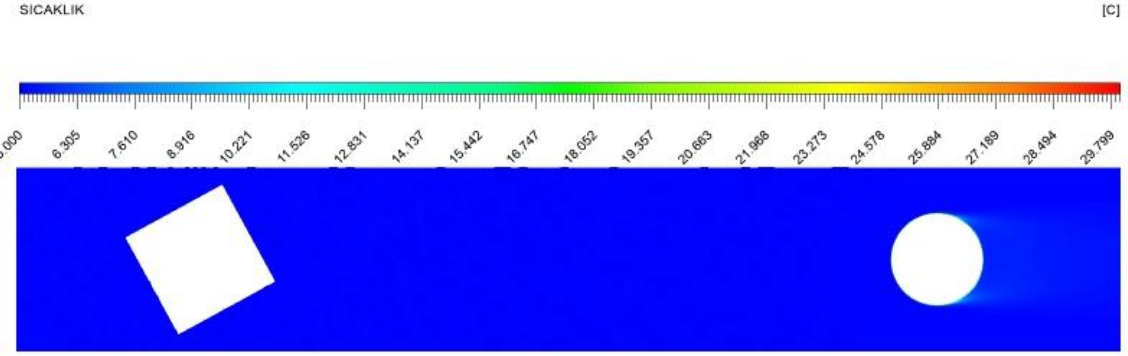
Tablo E36.1. d_7 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,173	5,170	5,176	5,173	5,134	5,133	5,134	5,140
Nusselt Sayısı	408,6	419,6	411,6	405,7	665,7	687,6	653,8	634,9

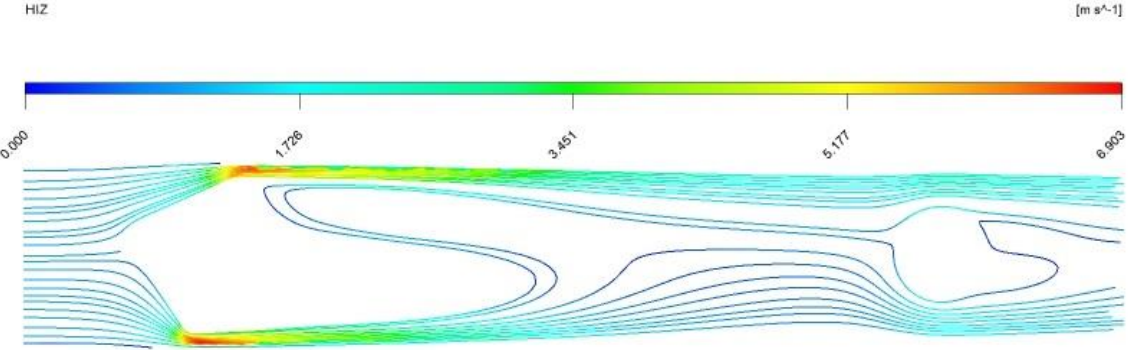
EK – 37: D₈ GEOMETRİSİ VE ANALİZ SONUÇLARI



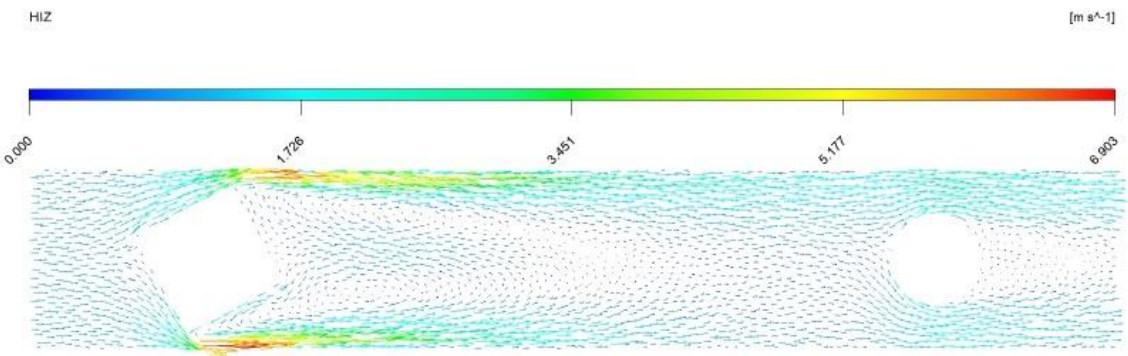
Şekil E37.1. d_8 geometrisinin ölçüsel gösterimi



Şekil E37.2. d_8 geometrisinin analizine ait sıcaklık kontür grafiği



Şekil E37.3. d_8 geometrisinin analizine ait hız eğrisi grafiği



Şekil E37.4. d_8 geometrisinin analizine ait hız vektörü grafiği

Tablo E37.1. d_8 geometrisine ait analiz sonuçları

ω (rad/sn)	0	2	4	6	0	2	4	6
$V_{akışkan}$ (m/sn)	1	1	1	1	2	2	2	2
$T_{çıkış}$ (°C)	5,172	5,171	5,169	5,169	5,134	5,134	5,133	5,134
Nusselt Sayısı	406,9	433,9	421,8	413,5	663,7	712,4	698,7	671,7

ÖZGEÇMİŞ

Hakan SAVAŞ

[Redacted]

[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]

[Redacted]

[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]

[Redacted]

[Redacted] [Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted] [Redacted]
[Redacted] [Redacted]

[Redacted]

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

[Redacted]

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

- Plastik Enjeksiyon Kalıbı Üretimi
- Sonsuz Vida ve Helisel Dişli Redüktörü Tasarım ve Projelendirmesi
- Kesme Kalıbı Tasarım ve Üretimi
- Karsan Sağdan Direksiyonlu E – Jest İçin Statik Eğim Açısı Testinin Sanal Analiz İle Korelasyonu