

Üçgen Silindirler Etrafında Tümlleşik Taşıınımla Isı Geçışı

Sarah Warid Khorsheed KHORSHEED

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2023



Mixed Convection Heat Transfer around Triangular Cylinders

Sarah Warid Khorsheed KHORSHEED

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

January 2023

Üçgen Silindirler Etrafında Tümlleşik Taşınım İla Isı Geçişİ

Sarah Warid Khorsheed KHORSHEED

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca

Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı

Enerji – Termodinamik Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zerrin Sert

Ocak 2023

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Sarah Warid Khorsheed KHORSHEED'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Üçgen Silindirler Etrafında Tümlşik Taşınım İle Isı Geçışı” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Zerrin Sert

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zerrin Sert

Üye : Prof. Dr. Necati Mahir

Üye : Doç. Dr. Ömür Akbayır

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih
ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Zerrin Sert danışmanlığında hazırlamış olduğum “Üçgen Silindirler Etrafında Tümlşik Taşınım İa Isı Geçişİ” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 26/01/2023

Sarah Warid Khorsheed KHORSHEED

İmza

ÖZET

Bu çalışmada, serbest yüzey akış alanı içerisine girişten (10D) uzaklığında art arda yerleştirilen iki eşkenar üçgen silindir etrafında tümleşik taşınım ile ısı geçişi ve akışı iki boyutlu olarak analiz edilmiştir. Kanal 70D genişliğinde olup, eş kenar üçgenin bir kenarı D uzunluğunda arkadaki silindirin kanal çıkışı ile arası mesafe ise sabit 35D'dir. Art arda yerleştirilen üçgen kesitli silindirlerin arası mesafe 2D, 4D ve 6D olarak değiştirilip, silindirler arası mesafe değişiminin ısı geçişi ve akışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Analizlerde silindirin bir kenarına göre tanımlanan Reynolds sayısı 100, 150 ve 200, Richardson sayısı ise 0, 1, 2, 4 olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmada viskozite etkilerini de inceleyebilmek için iki farklı Prandtl sayısında analizler yapılmıştır. Ele alınan akışkanlar hava ($Pr=0.7$) ve su ($Pr=7$) dur. Ayrıca çalışmada üçgen silindirlerin akış alma yönüne göre dört farklı konumu da ele alınmıştır. İki boyutlu zamana bağlı, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri Boussinesq yaklaşımıyla Ansys - Fluent® ticari programı kullanılarak yapılmıştır. HAD analizinde çözüm algoritması olarak SIMPLE algoritması, momentum ve enerji denklemlerinde ise ikinci mertebeden ayırıklaştırma (Second Order Upwind) şeması kullanılmıştır. Akış alanı ve ısı geçişini ayrıntılı inceyebilmek için girdap (vortisite) ve eş sıcaklık eğrileri çizilmiştir. Her iki üçgen silindir üzerindeki ortalama direnç katsayısı, Strouhal sayısı, kaldırma kuvveti katsayısı kare ortalama kare kök değerleri ve ortalama Nusselt sayıları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Art Arda Yerleştirilmiş Üçgen Kesitli Silindir, Tümleşik Taşınım, Isı Transferi, HAD

SUMMARY

In this study, heat transfer and flow by mixed convection around two tandem equilateral triangular cylinders placed at a distance ($10D$) from the inlet into the free surface flow field were analyzed in two dimensions. The width of the channel is $70D$, one side of the equilateral triangle is D long, and the distance between the channel exit and the channel exit of the rear cylinder is constant $35D$. The distance between the tandem triangular cylinders was changed to $2D$, $4D$, and $6D$, and the effect of the change in the distance between the cylinders on the heat transfer and flow was investigated. In the analysis, the Reynolds number defined according to one side of the cylinder was determined as 100, 150, and 200, and the Richardson number as 0, 1, 2, 4. In order to examine the effects of viscosity in the study, analyzes were made in two different Prandtl numbers. The fluids considered are air ($Pr=0.7$) and water ($Pr=7$). In addition, four different positions of the triangular cylinders according to the flow direction are also discussed in the study.

Two-dimensional time-dependent, continuity, momentum equations along with the Boussinesq approximation as well as the energy equation are solved using ANSYS - Fluent® program. In the CFD analysis, the (SIMPLE) algorithm was used as the solution algorithm, and the Second-Order discretization (Second Order Upwind) scheme was used in the momentum and energy equations.

In order to examine the flow area and heat transfer in detail, vorticity and isothermal curves were drawn. The mean drag coefficient, Strouhal number, lift coefficient square mean square root values, and mean Nusselt numbers on both triangular cylinders were obtained.

Keywords: Tandem triangular cylinders, mixed convection, heat transfer, CFD

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü desteğini sağlayan danışmanım: Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT hocama ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve her anımda yanımda olan eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL	6
4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE SAYISAL DOĞRULAMA	10
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
5.1. Sıcaklık ve Girdap Eğrilerinin Tartışılması	13
5.2. Akış ve Isı Transfer Özelliklerinin Tartışılması	37
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	45
EK AÇIKLAMALAR	48
Ek Açıklamalar – A: Analizlerden okunan CASE 1’e ait değerler	49
Ek Açıklamalar – B Analizlerden okunan CASE 2’e ait değerler.....	51
Ek Açıklamalar – C Analizlerden okunan CASE 3’e ait değerler.....	52
Ek Açıklamalar – D Analizlerden okunan CASE 4’e ait değerler.....	53
Ek Açıklamalar – E Optimum zaman adının tayini ve ağdan bağımsızlık çalışması	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Sistem geometrisi ve sınır şartlar.....	6
3.2. Akış yönüne göre üçgen konumları.....	8
4.1. Optimum ağ yapısı.....	11
5.1. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	14
5.2. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	15
5.3. Case 1, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	16
5.4. Case 1, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	17
5.5. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	18
5.6. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	19
5.7. Case 1, $Pr=7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	20
5.8. Case 1, $Pr=7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	21
5.9. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	22
5.10. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	23
5.11. Case 1, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	24
5.12. Case 1, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişim	25
5.13. Case 2, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.14. Case 2, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	27
5.15. Case 2, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	28
5.16. Case 2, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	29
5.17. Case 3, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	30
5.18. Case 3, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	31
5.19. Case 3, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	32
5.20. Case 3, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	33
5.21. Case 4, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	34
5.22. Case 4, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	35
5.23. Case 4, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	36
5.24. Case 4, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi	37
5.25. Case 1 ve $L/D=2$ 'de (a) $Pr=0.7$ ve (b) $Pr=7$ için ortalama Nusselt sayısının Richardson ve Reynolds sayısı ile değişimi.	38
5. 26. $Pr=0.7$, Case 1, a) $Re=100$, b) $Re=200$ 'de öndeki silindir için silindir arası mesafenin ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi.	39
5.27. (a). $Pr=0.7$, $L/D=2$, (a) $Re=100$ ve (b) $Re=200$ için üçgen konumlarının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi.	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 5.28. $Pr=0.7$, $L/D=2$ durumu için Reynolds sayısının her iki silindir için ortalama sürüklenme katsayısı üzerine etkisi. 41
- 5.29. Case 1 ve $L/D=2$ durumunda Reynolds ve Richardson sayısının birinci silindirdeki ortalama kaldırma katsayısının değişimi. 42



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Literatür ile kıyaslama	10
4.2. $Re=100$, $Pr=0.7$, Case 1 ve $L=2D$ için ağdan bağımsızlık çalışması	11
4.3. Birinci silindir için optimum zaman adımı tayini.....	12
4.4. İkinci silindir için optimum zaman adımı tayini	12



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

f	Frekans
g	Yerçekimi ivmesi
h	Ortalama ısı taşınım katsayısı
k	Akışkan ısı iletim katsayısı
L	Silindirler arasındaki mesafe
u	x-yönündeki boyutsuz hız bileşeni
v	y-yönündeki boyutsuz hız bileşeni
μ	Dinamik viskozite

Kısaltmalar

Açıklama

BR	Blokaj oranı
$C_{D,mean}$	Ortalama direnç katsayısı
C_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
$C_{L,mean}$	Ortalama kaldırma kuvveti katsayısı
D	Üçgen silindir kenar uzunluğu
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
Nu_{mean}	Ortalama Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
Ri	Richardson Sayısı
SIMPLE	Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations
St	Strouhal Sayısı
t	Boyutsuz zaman
T	Sıcaklık

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Silindirler etrafındaki akış, otomobiller, uçaklar, yüksek katlı binalar, köprü ayakları etrafındaki hava akışı, denizlere yerleştirilen boru hatları, denizaltı etrafında su akışı gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Isı transferi uygulamalarında ise ısı eşanjörlerinden, yüksek binalardan, bacalardan, güç jeneratörlerinden ve diğer termal uygulamalardan kaynaklanan ısı kayıpları örnek olarak verilebilir. Bu gibi serbest yüzeyli akışkan içerisindeki yapılar/cisimler arkasında oluşan periyodik çevrimler (vorteksler) yapı/cisim etrafında gürültüye ve/veya titreşime sebep olabilir. Özellikle cisme yakın çevrilerin ürettiği titreşimler, eğer çevri frekansı cismin doğal frekansına yakın ise cismin tehlikeli seviyede rezonansa girmesine yol açabilir. 1940 yılında Tacoma Narrows asma köprüsünün yıkılma sebebi rüzgar kaynaklı çevri kopmaları, ve buna bağlı doğal burulma titreşimlerinin rezonansa yol açmasıdır. Bu yüzden örnek verilen mühendislik uygulamaları tasarımında dikkatli olunmalıdır.

Bu çalışmadaki gibi; Reynolds sayısı yeterince büyük olduğunda, silindirin ardından girdap dökülmesinin meydana geldiği bilinmektedir. Girdap dökülmesi, bir silindirin ısı transfer özelliklerini etkiler. Bununla birlikte, birden fazla silindirin arkasındaki birleşik iz, tek bir silindirinkinden farklıdır; bu nedenle, birden fazla silindir arasındaki akış etkileşiminin ısı transferi üzerindeki etkisinin daha fazla araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, akışkan akışına tabi art arda yerleştirilen iki eşkenar üçgen silindirinden tümleşik (doğal+zorlanmış) taşınım ile ısı transferine silindir yerleşimlerinin şekli, silindirler arası mesafenin değişimi, Reynolds, Prandtl ve Richardson sayısalarının etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Analizlerde Reynolds sayısı 100, 150 ve 200; Richardson sayısı ise 0, 1, 2 ve 4 olarak alınmıştır. Art arda yerleştirilen üçgen silindirler arası mesafe $2D$, $4D$ ve $6D$ alınarak akış yapısı araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada akışkan hava ($Pr=0.7$) ve su ($Pr=7$) seçilmiştir. Bunlara ek olarak, cismin akış yönüne göre yerleşim biçiminin akış karakteristikleri üzerine büyük etkisi olduğu bilindiğinden art arda yerleştirilen silindirlerin dört farklı akış alma yönüne göre analizleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Akış mekanizması ve küt cisimlerinin ardındaki girdap saçılımının özellikleri, son yıllarda pek çok deneysel ve sayısal araştırmanın konusu olmuştur. Benzer şekilde, ısıtılmış silindirden gelen zorlanmış taşınım, mühendislikteki uygulamaları nedeniyle dikkate değer bir araştırma konusudur. Serbest akıştaki silindir arkasında oluşan girdaplar, silindir şekli özelliklerine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Yapılan hem deneysel hem sayısal çalışmalarda silindirlerin geometrileri dairesel, kare, dikdörtgen ve üçgen şeklinde olduğu görülmektedir.

Sınırlı ve/veya sınırsız kanal içerisine yerleştirilen üçgen haricinde farklı geometrik şekilli silindir etrafındaki akış ve ısı transferini kapsayan çalışmalar literatürde mevcuttur. Sharma ve Eswaran (2005) ısıtılmış veya soğutulmuş kare bir silindir etrafında sınırlı ve sınırsız kanallarda ısı transferi ve akışkan akışını incelemişlerdir. Çalışmadaki değişkenler; sınırlı kanaldaki blokaj oranı ($BR = 0.1, 0.3$ ve 0.5) ve Richardson sayısıdır ($-1 \leq Ri \leq 1$). Reynolds ($Re = 100$) ve Prandtl ($Pr = 0.7$) sayısı sabittir. Sonuç olarak Re sayısı sabit tutulduğunda, girdap dökülmesinin bastırılması için gereken minimum ısıtma (kritik Ri), artan blokaj oranıyla belirli bir BR (≈ 30) değerine kadar azalır, ancak daha sonra arttığını bulmuşlardır. Bu durumda çalışma sınırlı kanallardaki blokaj oranının akış üzerinde önemli bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Laidoudi ve Bouzit (2018) dikey kanal içine hapsedilmiş ısıtılmış/soğutulmuş dairesel bir silindirin etrafındaki aşağı doğru akış ve ısı transfer özellikleri üzerinde termal kaldırma kuvvetine yardımcı olmanın ve karşıt olmanın etkilerini anlamak için iki boyutlu simülasyonlar gerçekleştirilmişlerdir. Sayısal çalışma sabit Pr sayısı ($Pr = 1$) ve blokaj oranında ($BR = 0.2$), Re ($Re = 5-40$) ve Richardson ($Ri = -1$ ve 1) sayılarının değişimi için ANSYS-CFX programında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kaldırma kuvvetine karşı olan etkinin artmasının, kanal içindeki akışkanın kararsızlığını arttırdığı ve silindirin arkasında erken bir devridaim bölgesi oluşturduğu bulunmuştur. Dairesel silindirler etrafında benzer bir diğer çalışmayı Soares vd. (2012) ele almıştır.

Tek üçgen silindirde sınırlı ve/veya sınırsız kanallardaki ısı transferi ve akışı birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Srikanth vd. (2010) tarafından yatay bir kanala yerleştirilmiş eşkenar üçgen silindir boyunca akışkan akışı ve ısı transferi sayısal

olarak incelenmiştir. Çalışmada akışkan hava olarak seçilmiş olup, kanalın blokaj oranı ($BR=0.25$) sabittir. Reynolds sayısının değişken olduğu ($Re=1-80$) durumda laminar zorlanmış taşınım şartları ele alınmıştır. Sonuç olarak kritik Reynolds sayısının 58-59 aralığında olduğu bulunmuştur. Ortalama Nusselt sayısı ve iz uzunluğu, Reynolds sayısının artan değeriyle arttığı, ancak, ortalama sürüklenme katsayısı, Reynolds sayısının artan değeri ile azalmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Zeitoun vd. (2011) havadaki yatay üçgen silindir etrafındaki iki boyutlu laminar zorlanmış taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada Reynolds sayısı ($Re \leq 200$) ve üçgenin akış alma yönü değiştirilmiştir. Hem tepeye bakan hem de tabana bakan akış için Kritik Reynolds sayısını sırasıyla 38,03 ve 34,7 olarak elde etmişlerdir. Bu çalışmada da incelenen iki üçgen konfigürasyonu kapsayacak şekilde ortalama Nusselt sayıları için genel bir korelasyon türetmişlerdir. Havanın çapraz akışında, üçgen silindirin yatay kanaldaki zorlanmış taşınım ile ısı transferi deneysel araştırmaları Ali vd. (2011) tarafından rapor edilmiştir. Çalışmada üçgen silindir için dört farklı taban yüksekliği seçilmiş olup, buna göre kanalın blokaj oranı değişmiştir. Silindirlerin çevresi etrafındaki yerel Nusselt sayılarının başlangıçta ayrılma noktalarına kadar azaldığı ve daha sonra arttığı gözlemlenmiştir. Dhiman ve Kumar (2012) yatay düzlem kanal içine hapsedilmiş bir eşkenar üçgen silindir boyunca sıkıştırılamaz Newtonian olmayan akışkanların akışı üzerindeki duvar etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarını $Re=1-40$, akış göstergesi (power law index) $n=0.4-1.8$ ve $BR=0.125-0.5$ için gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda girdapların boyutu; blokaj oranı ve/veya n değerindeki artışla azaldığını bulmuşlardır. Ayrıca Reynolds sayısının sabit bir değeri için, n ve/veya blokaj oranı azaldıkça lokal ve ortalama sürüklenme kuvvetinin azaldığını tespit etmişlerdir. Yatay bir kanala yerleştirilmiş eşkenar üçgen silindirdeki viskoz ve sıkıştırılamaz akış Shademani vd. (2013) tarafından incelenmiştir. Çalışma sabit bir blokaj oranı ($BR=0.05$) için gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısının kritik değeri ($Re \leq 38.03$) altında laminar rejimde farklı Reynolds sayıları aralıklarında analizler yapılmıştır. Elde ettikleri hız vektörleri, Reynolds sayısının inceledikleri 1.4 ile 38.03 aralığında akışın, akışa bakan tepe noktası için hiçbir ayırma noktası olmaksızın silindir etrafında simetrik olduğunu göstermektedir. Eşkenar üçgen silindir üzerindeki sürüklenme katsayıları, simetrik bölgelerde artan Reynolds sayısı ile azaldığını tespit etmişlerdir. Bovand vd. (2015) Al_2O_3 -su nanoakışkanın eşkenar üçgen bir engel üzerinden zorlanmış taşınım ısı transferini simüle etmişlerdir. Üçgen engelin farklı yönelimleri (yan, tepe ve çapraz bakan akışlar) için analizler yapılmıştır. Çalışmalarında Reynolds sayısı ($1 \leq Re \leq 200$)

ve nanoakışkan içindeki nanopartikül oranı ($0 \leq \phi \leq 0.05$) değiştirilmiştir. Sonuç olarak, iz uzunluğunun, baz akışkana nanopartiküllerin eklenmesiyle artmıştır ve bu artış, $Re=35$ ve $\phi=0,05$ için üçgen silindirin akışı yandan alması durumunda yaklaşık %17,24 civarındadır. Zorlanmış ve doğal taşınımın birbirini desteklediği iki farklı yönde hizalanmış 2 boyutlu geçirgen üçgen bir silindir etrafındaki akış ve ısı transfer özelliklerini Vijaybabu vd. (2018) tarafından analiz edilmiştir. Çalışmalarında Reynolds sayısı ($0 \leq Re \leq 40$), Richardson sayısı ($Ri=0, 0,5$ ve 1), Darcy sayısı ($10^{-6} \leq Da \leq 10^{-2}$) ve silindirin akış alma yönü değiştirilmiştir. Sonuç olarak boyutsuz geçirgenlik (veya Da sayısı) ve Richardson sayısı değişimi termal dağılım da önemli farklılıklar yarattığı ve ortalama Nusselt sayısının değişiminde önemli parametreler olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca iki farklı üçgen silindir konumu için iki farklı ortalama Nusselt sayısı korelasyonu türetmişlerdir. Lio vd. (2020) çalışmalarında üçgen prizma etrafındaki akışın sayısal simülasyonu COMSOL Multiphysics® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üçgen prizmanın yüzey alanı sabit ve sadece merkeze konumlandırılmış olup, akışın akış konumuna göre üçgen prizmanın konumu değiştirilmiştir. Farklı akış modellerinin kaldırma katsayısı, sürüklenme katsayısı ve Strouhal sayısı üzerindeki etkileri akış açısından tartışılmıştır. Sonuç olarak akış durumuna göre üç modele ayrılmıştır. Bunlar; ayırma balonu modeli (the separation bubble model), kenar ayırma modeli (the edge separation model) ve ekli akış modelidir (the attached flow model). Fallah vd. (2022) iki boyutlu bir kanal içinde yedi farklı tipte üçgen silindir etkisini $320 \leq Re \leq 1000$ aralında akış ve ısı transferi özelliklerini sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında akışkan hava seçilmiştir. Çalışmalarının sonucunda ele alınan geometriler arasında en iyi modelin Tip 5 olarak adlandırılan, taban uzunluğunun yüksekliğe oranı dört olan modeli belirlemişlerdir.

Birbirine yakın olarak yerleştirilen silindirler arasındaki etkileşim, yapıların ısı geçişi ve titreşim açısından çok önemlidir. Sonuç olarak, iki silindir arkasındaki akış yapısı, silindirlerin arkasındaki izlerin karşılıklı etkileşimleri nedeniyle bir silindirin arkasındaki gözlemlenenenden tamamen farklıdır. Bu yüzden bu çalışmada art arda yerleştirilen iki üçgen silindir arkasındaki akış yapısı incelenmiştir.

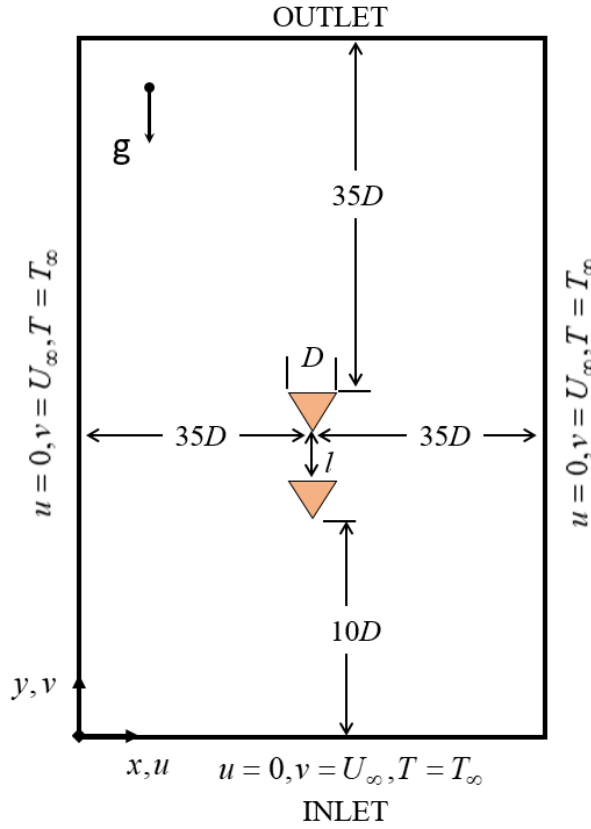
Zhang vd. (2009) art arda iki üçgen silindirin çeşitli silindir arası mesafeleri için girdap dökülmesinin karakteristiği ve girdap etkileşimini araştırmışlardır. Çalışmalarında Re sayısı 200 alınmış olup yalın zorlanmış taşınım analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, iki

üçgen silindir arası mesafesinin artmasıyla üç farklı rejim (açısal salınım - oscillation, yarı-periyodik otorotasyon - quasi periodic autorotation, kaotik otorotasyon - chaotic autorotation) gözlemlendiğini tespit etmişlerdir. Yan yana yerleştirilmiş iki üçgen silindirin kanaldaki tümleşik taşınım ile ısı ve akışkan akışı sayısal olarak Laidoudi ve Bouzit (2018) tarafından incelenmiştir. Çalışmada $Pr=1$, $Re=20$, $BR=0.2$ ve Ri sayısı ise 0 ile 2 aralığında değiştirilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, termal kaldırma kuvvetinin eksenel etkisi için kaldırma kuvvetinin artmasının her iki silindir için ısı transfer oranını arttırdığı bulunmuştur. Art arda üçgen silindirler ile yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır, fakat literatürde dairesel ve kare silindirlerin art arda konumlandırıldığı çalışmalar oldukça çoktur.

İncelenen ayrıntılı literatür çalışması sonucu, serbest akış alanındaki tümleşik (doğal+zorlanmış) taşınım çalışmalarının kısıtlı olduğu görülmüştür. Yapılan bu tez ile literatürdeki bu boşluk doldurulacaktır. Tezde, iki farklı akışkan ele alınmıştır. Bu akışkanlar; hava ($Pr = 0.7$) ve su ($Pr = 7$)'dur. Yapılan sayısal analizler 100 ile 200 arasında değişen Reynolds sayısı ve 0 ile 4 arasındaki Richardson sayısı için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca iki üçgen silindirin akış yönüne göre konumuda değiştirilmiştir. Özellikle art arda yerleştirilen silindirden ayrılan sınır tabakanın silindir arkasında ve aşağı akış bölgesinde etkileşimi, silindirler arası mesafeden de etkilediği için silindirler arası mesafe $2D$, $4D$ ve $6D$ olarak alınmıştır. Tezde iki eşkenar üçgen silindir arasında ve aşağı akış bölgesinde akış yapılarını incelemek için girdap (vortisite) ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Her bir silindir üzerindeki ortalama sürüklenme katsayısı, kaldırma kuvvetinin ortalama karekök değeri, Strouhal sayısı ve ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır.

3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL

70D genişliğindeki bir kanal girişten 10D uzaklıkta üst üste yerleştirilen iki eşkenar üçgen silindir etrafında tümleşik (doğal + zorlanmış taşınım) taşınımlı ısı geçişi iki boyutlu olarak analiz edilmiştir. Sistem geometrisi ve sınır şartları Şekil 3.1’de verilmiştir. Silindirlerin arasındaki uzaklık değiştirmek suretiyle simülasyonlar hem hava ($Pr=0.7$) hem su ($Pr=7$) için gerçekleştirilmiştir. Eşkenar üçgen silindirlerin kanal merkezine yerleştirilmiş ve silindir arası mesafe (L) ise sırasıyla $2D$, $4D$ ve $6D$ olarak alınmıştır.



Şekil 3.1. Sistem geometrisi ve sınır şartları

Hesaplama geçici rejimde, sıkıştırılabilir akış için iki boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde çözülen genel korunum denklemleri Denklem (1-4)'te verilmiştir. Akış alanı içerisindeki doğal taşınım, düşük sıcaklık farkları neticesinde yoğunluk gradyanı oluşumu esasına dayanır. Böylece momentum denklemlerinde, kanal yüksekliğine paralel olan y doğrultusunda Boussinesq yaklaşımı kabulü yapılmıştır (Avcıoğlu 2012).

- Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

- Momentum denklemleri

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_0) \quad (3.3)$$

- Enerji denklemi

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.4)$$

ρ yoğunluğu, u, v kartezyen koordinatlardaki, (x, y) hız bileşenlerini, t zamanı P basıncı, ν kinematik viskoziteyi, g yerçekimi ivmesini, β termal genleşme katsayısını, α ısı yayılım katsayısını, T sıcaklığı, T_0 ise referans sıcaklığı temsil etmektedir.

Problem çözümünde kullanılan sınır koşullar aşağıda verilmiştir.

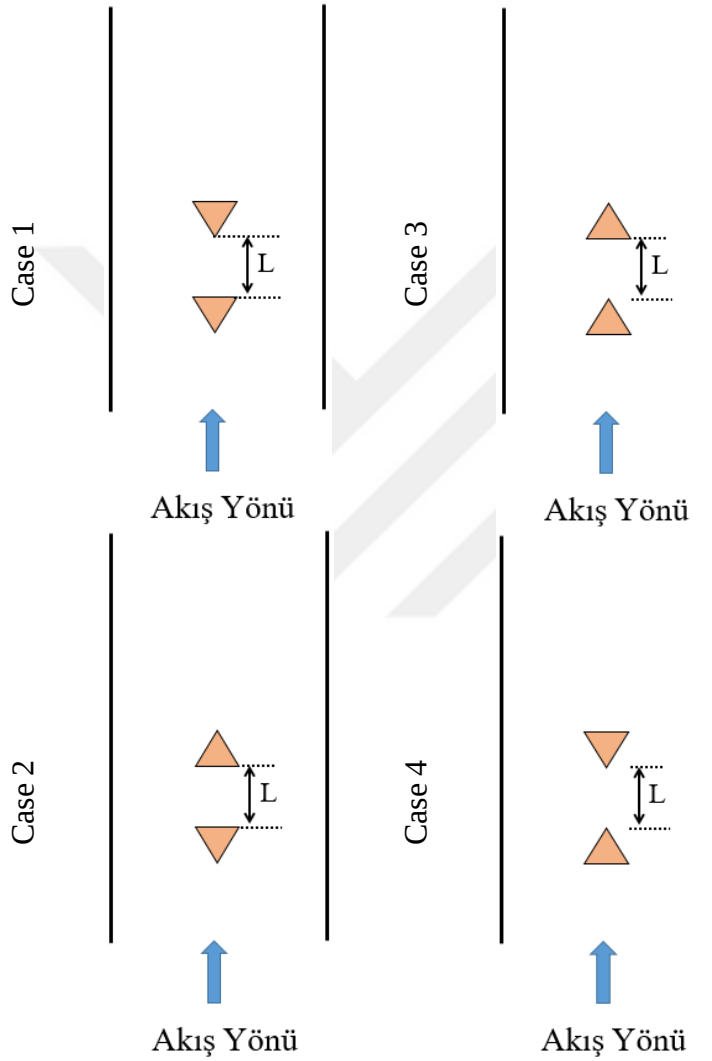
Giriş için: $u = U_\infty, v = 0, T = T_\infty$

Çıkış için: $\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$

Kanal cidarları için; $u = U_\infty, v = 0, T = T_\infty$

Üçgen silindirler için: $u = 0, v = 0, T = T_w$

Problemdeki üçgen silindirlerin konumlarıda değiştirilerek de analizler yapılmıştır. Şekil 3.2’de üçgen konumları için ele alınan tasarımlar verilmiştir. Her bir durumda ilk silindir kanal girişinden $10D$ uzaklıkta, ikinci silindir ise kanal çıkışına ise $35D$ uzaklıktadır. Ayrıca her bir durumda kanal genişliği de $70D$ ’dir. Case 1’de silindir arası mesafe $l=L/D=2$, 4 ve 6 olarak alınmış, diğer durumlarda ise $l=2$ ve 6 olarak değiştirilmiştir.



Şekil 3.2. Akış yönüne göre üçgen konumları.

Girişte akışkanın sabit hızla T_∞ sıcaklığında ve ortalama U_∞ hızıyla girdiği, çıkışın atmosfere açıldığı kabul edilmiştir. Üçgen silindirlere kaymama sınır şartı uygulanmıştır. Silindir yüzeyleri sabit T_w sıcaklığında tutulmaktadır. Silindirin akışına göre hesaplanan boyutsuz Reynolds, Prandtl ve Richardson sayıları sırası ile Denklem 5’teki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Re} = \frac{U_{\infty} D}{\nu}, \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \text{Ri} = \frac{Gr}{\text{Re}^2} \quad (3.5)$$

Çalışmadaki Reynolds sayısı 100, 150 ve 200 alınmış, Richardson sayısı ise $0 \leq \text{Ri} \leq 4$ aralığında değiştirilmiştir. Bir silindir üzerindeki anlık kaldırma ve sürüklenme katsayıları ve kuvvetleri şu şekilde hesaplanır:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A}, \quad C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A} \quad (3.6)$$

Burada F_L ve F_D kaldırma ve sürüklenme kuvvetleridir ve A iz düşüm alanıdır. Salınımlı akış mekanizmasını tanımlayan boyutsuz bir sayı olan Strouhal sayısı şu şekilde hesaplanır: $f D / U_{\infty}$. f salınım frekansıdır.

Her iki eşkenar silindir üzerindeki ısı geçiş parametresi için ortalama Nusselt sayısı Denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Nu} = \frac{h D}{k} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} \text{Nu}_{D,s} dA_s \quad (3.7)$$

Bu denklemlerdeki k akışkan ısı iletim katsayısı, h ortalama ısı taşınım katsayısını, A_s ise ısıtılan eşkenar üçgen silindirlerin yüzeyinin alanını temsil etmektedir. Ortalama Nusselt sayısı her bir silindir için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE SAYISAL DOĞRULAMA

Analizler sonlu hacimler metodunu kullanan ticari bir yazılım olan ANSYS-Fluent® paket programı ile yapılmıştır. Fluent programı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) problemleri olan akış ve ısı transfer reaksiyonlarını modelleyen, hızlı ve etkin bir şekilde çözmeye yardımcı olan doğruluğu akademik araştırmacılar tarafından da onaylanmış bir yazılımdır. Bölüm 3'te verilen süreklilik, momentum (Navier-Stokes) ve enerji denklemleri çözümü için Fluent'te seçilen çözdürücü ayarları için ikinci dereceden akıma karşı (Second Order Upwind) yöntemi taşınım terimlerinin ayrıklaştırılmasında kullanılmıştır (Aslan vd. 2017). Ayrıklaştırma şeması çözüm algoritması olarak da SIMPLE algoritması kullanılmıştır (Patankar, 1980).

FLUENT® simülasyonlarının doğrulanması için ilk olarak literatürde var olan bir problem üzerinde doğrulama yapmak hedeflenmiştir. Bu sebeple öncelikle tek bir üçgen silindir etrafında akış ve ısı transfer analizleri yapılarak çözüm yaklaşımı doğrulanmıştır. Doğrulama çalışmasında genişliği $70D$ olan kanal içerisinde yer alan üçgen tek bir silindir girişten $10D$ uzağa yerleştirilmiştir. $Re=100$ ve $Pr=0.7$ için yapılan analizlerin sonuçlarının literatürde var olan çalışmalar ile kıyaslaması aşağıdaki Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kıyaslama sonuçlarına göre yapılan çalışmanın literatür ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Literatür ile kıyaslama

	Nu	$C_{D,mean}$	$C_{L,rms}$	St
Bu çalışma	5,56	1,7473	0,292	0,1953
De ve Dalal (2007)			0,297	
Dhiman ve Shyam (2011)	5,584			
Chatterjee ve Mondal (2015)		1,755		0,193
Altaç vd. (2019)	5,577	1,758	0,296	0,199

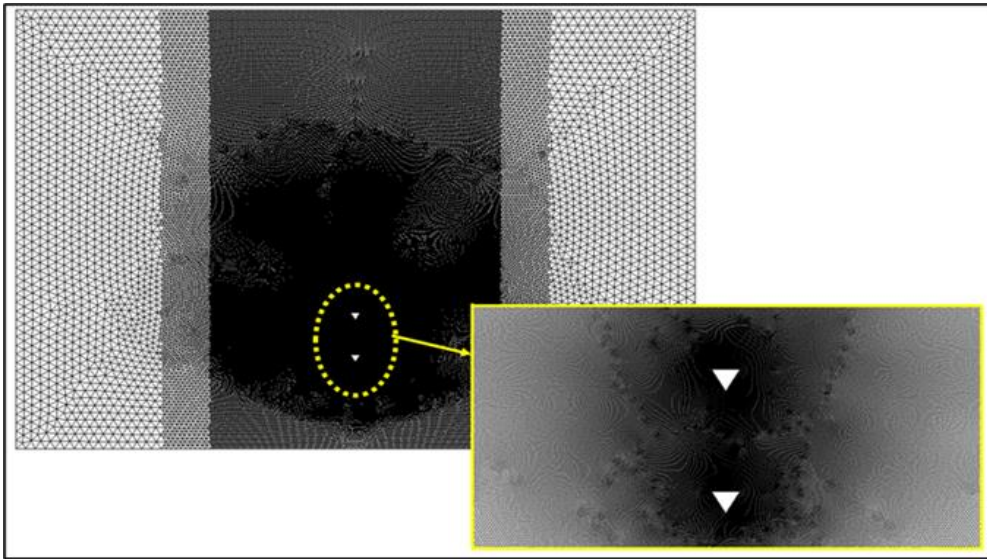
Analiz sonuçları hesaplanmalı akışkanlar dinamiğinde ağ kalitesine bağlıdır. Bu yüzden bu çalışma da doğru analiz sonuçları elde etmek ve optimum ağ yapısına karar verebilmek için yedi farklı grid üzerinde analizler yapılmıştır. Homojen olmayan ızgara yapısı tercih edilen kontrol hacminde silindir cidarı ve silindir art bölgesinde sık meş kullanılmıştır. Case 1, $Re=100$, $Pr=0.7$ ve $L=2D$ için farklı grid yapılarından elde edilen girişe yakın olan silindir (1. silindir) için ortalama Nusselt değerleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Düğüm sayısı arttığında ortalama Nusselt sayısının değişimi yaklaşık ~ 4.8 'de sabitlendiği görülmektedir. Örneğin Grid Tipi 4 ve

Grid Tipi 5 arasında ortalama Nusselt sayısı yaklaşık $\sim 0.2\%$ değişmiştir. Bu durumda optimum meş yapısına Grid Tip 5 ile adlandırılan meş yapısının olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 4.2. $Re=100$, $Pr=0.7$, Case 1 ve $L=2D$ için ağdan bağımsızlık çalışması

Ortalama Nusselt Sayısı	Grid Tip 1	Grid Tip 2	Grid Tip 3	Grid Tip 4	Grid Tip 5	Grid Tip 6	Grid Tip 7
	Düğüm sayısı 13492 Hücre sayısı 13492	Düğüm sayısı 27058 Hücre sayısı 53584	Düğüm sayısı 47815 Hücre sayısı 95046	Düğüm sayısı 86580 Hücre sayısı 172135	Düğüm sayısı 173633 Hücre sayısı 346116	Düğüm sayısı 184903 Hücre sayısı 368643	Düğüm sayısı 324241 Hücre sayısı 646501
Nu	4.9	4.887	4.819	4.814	4.804	4.804	4.799

Optimum ağ yapısı olan Grid Tip 5 ile adlandırılan ağ yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir. Üçgen element tipi kullanılan bu kontrol hacminde şekilden de görüleceği üzere üçgen silindirler etrafında sık grid atmaya özen gösterilmiştir. Bu grid yapısında 173633 düğüm, 346116 hücre vardır. Bu grid yapısı Gambit® paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Gambit paket programında üçgen silindir cidar üzerindeki iki düğüm arası (interval size) mesafe 0.1 iken kanal cidarları üzerine atılan iki düğüm arası mesafe için 1 seçilmiştir. Silindirler arkası iz bölgesi incelemesinde daha sık meş atabilmek için Fluent® programında adaptasyon işlemi yapılmıştır. Adaptasyon işleminde bölgesel adaptasyon uygulanmıştır. Bölgesel adaptasyon işleminde y koordinatı boyunca (yani kanal boyunca) önce $x=15D-55D$ bölgesine, ikinci bölgesel adaptasyonunda ise yine y koordinatında kanal boyunca x-koordinatında ise $20D-50D$ arasına daha sık meş atılmıştır.



Şekil 4.1. Optimum ağ yapısı

Tezde tanımlanan problemi geçici rejimde (zamana bağlı olan) sıkıştırılmaz akışı karakterize eden genel denklemleri Bölüm 3'te verilmiştir. HAD analizlerinde, zamana bağlı problemlerin çözümünde seçilen zaman adımı (time step size - Δt) da bir diğer önemli parametrelerden biridir. Bu yüzden doğru çözüm verebilecek ve etkin zaman adımı tayin edebilmek adına Case 1, $L=2D$, $Re=100$ ve $Pr=0.7$ durumu için beş farklı zaman adımında analizler yapılmıştır. Zaman adımı (Δt) için 0,1; 0,075; 0,05; 0,02 ve 0,025 değerleri seçilmiştir. Bahsedilen durumda beş farklı zaman adımları için elde edilen ortalama sürtünme katsayısı ($C_{D,mean}$), kaldırma kuvveti katsayısı kare ortalama karakök değerleri ($C_{L,rms}$) ve ortalama Nusselt sayısının (Nu) değişimi 1. silindir için Çizelge 4.3'te 2. silindir için Çizelge 4.4'te verilmiştir. Kanal girişine yakın olan silindir 1. silindir, diğeri ise 2. silindir olarak adlandırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre optimum zaman adımına 0,025 olarak karar verilmiştir.

Çizelge 4.3. Birinci silindir için optimum zaman adımı tayini

Zaman adımı (Δt)	Nu	$C_{D,mean}$	$C_{L,rms}$
0,1	4,779	1,1608	0,00028
0,075	4,788	1,161	0,000283
0,05	4,804	1,1609	0,00323
0,025	4,801	1,161	0,00026
0,02	4,795	1,1608	0,00027

Çizelge 4.4. İkinci silindir için optimum zaman adımı tayini

Zaman adımı (Δt)	Nu	$C_{D,mean}$	$C_{L,rms}$
0,1	2,078	0,0001	0,000108
0,075	2,078	0,133324	0,000108
0,05	2,074	0,13326	0,05371
0,025	2,07	0,13326	0,0001
0,02	2,07	0,13325	0,0001

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tezde art arda yerleştirilen iki eşkenar üçgen silindirlerin sınırlandırılmamış kanaldaki akış ve ısı transferi incelenmiştir. Üçgen silindirlerin akış alma konumlarının değiştirildiği dört farklı durumu ele alınmıştır. Ayrıca silindirler arası mesafe ve bunlara ek olarak tümleşik taşınım şartlarındaki Reynolds, Richardson ve Prandtl sayıları da değiştirilmiştir.

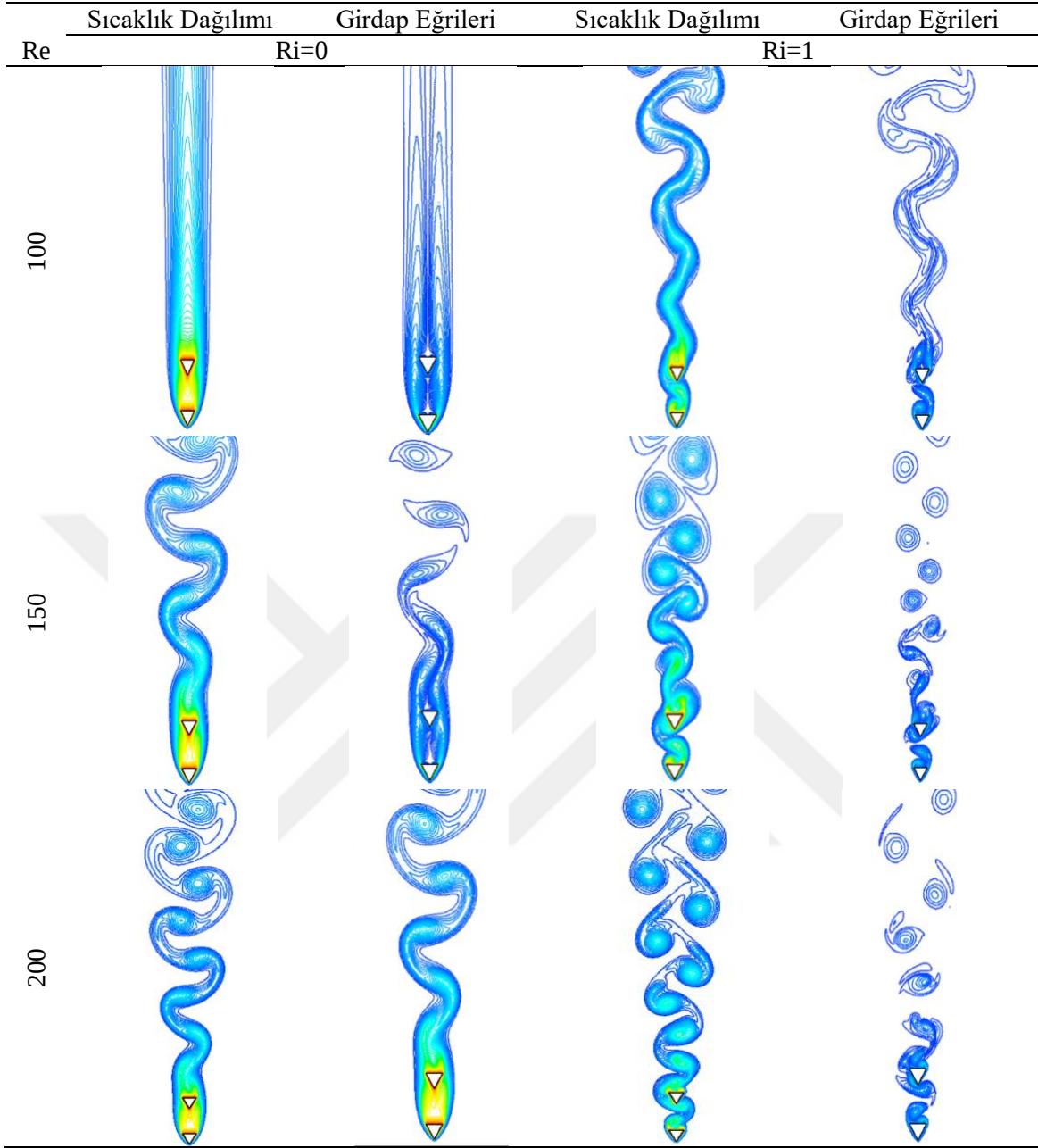
Öncelikle akış karakteristiği tanımlayan girdap (vortisite) eğrileri ve ısı transfer özelliklerinin incelenmesine yardımcı olacak sıcaklık dağılımları verilmiştir. Ardından, ortalama sürtünme katsayısı ($CD,mean$), kaldırma kuvveti katsayısı kare ortalama karakök değerleri (CL,rms), Strouhal sayısı (St) ve ortalama Nusselt sayısının (Nu) değişimi hem 1. silindir hem de 2. silindir için grafikleri çizilmiştir.

5.1. Sıcaklık ve Girdap Eğrilerinin Tartışılması

Şekil 5.1’de Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Bu grafiklerdeki, $Ri=0$ yalın zorlanmış taşınım şartına karşılık gelmektedir. Case 1’de $L/D = 2, 4$ ve 6 , Ri sayısı ise $0, 1, 2$ ve 4 olacak şekilde alınmıştır.

$Re=100$ ve $Ri=0$ ’da akış düz bir şekilde meydana gelirken, $Re=150$ ve 200 ’de akışta girdaplar meydana gelmiştir. Artan atalet kuvvetleri nedeniyle $Re=200$ ’deki girdaplar $Re=150$ ’ye göre daha salınımlıdır. Ayrıca $Re=200$ ’deki salınım ikinci silindire daha yakın başlamıştır.

$Ri=1$ durumu ise tümleşik (doğal + zorlanmış) taşınımı temsil etmektedir. $Re=100$ ve $Ri=0$ durumuna göre $Ri=1$ ’de doğal taşınım varlığı ile akışta girdap meydana gelmiştir. $Re=150$ ve 200 ’deki sıcaklık ve girdap eğrilerini kıyasladığımızda ise $Ri=0$ ’a göre girdaplar daha belirgin hale gelmiştir. Özellikle $Re=150$ ve $Ri=1$ ’de girdaplar ikinci silindir arkasında iki ayrı vorteks olarak kanal boyunca ilerlemiştir. Bu durum $Re=200$ ve $Ri=1$ ’de de gözlenmiştir.

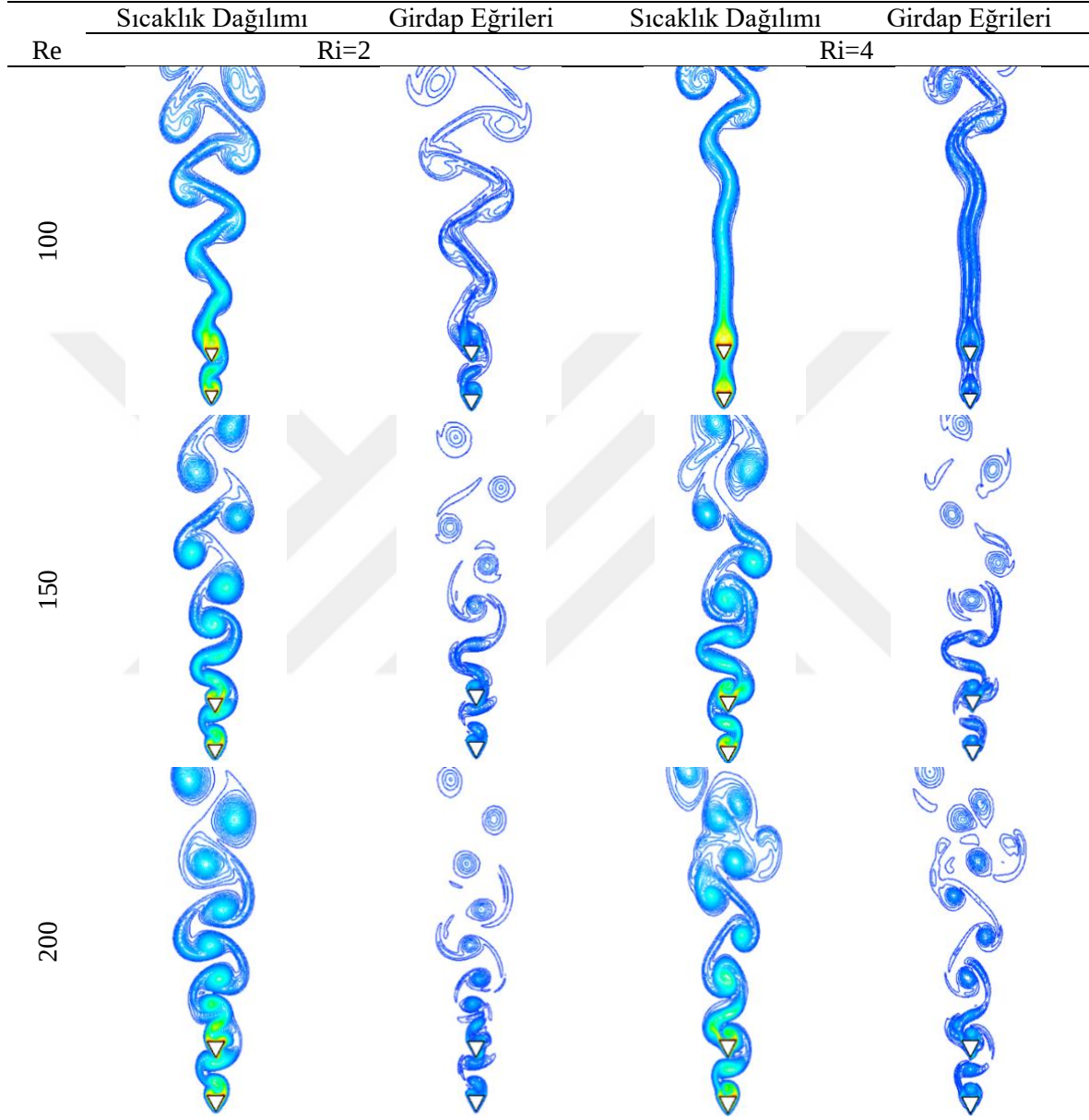


Şekil 5.1. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.2’de Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Bu grafiklerdeki Ri sayıları 2 ve 4 olarak alınmıştır. Şekil 5.1’e göre doğal taşınım etkileri daha da artmıştır.

$Re=100$ ve $Ri=2$ ’de doğal taşınım $Ri=1$ ’e göre arttığı için girdaplar daha büyük bir salınım oluşturmuştur. Fakat $Ri=4$ ’de artan yzsdürme kuvvetleri akıştaki girdapları sönümlemiştir.

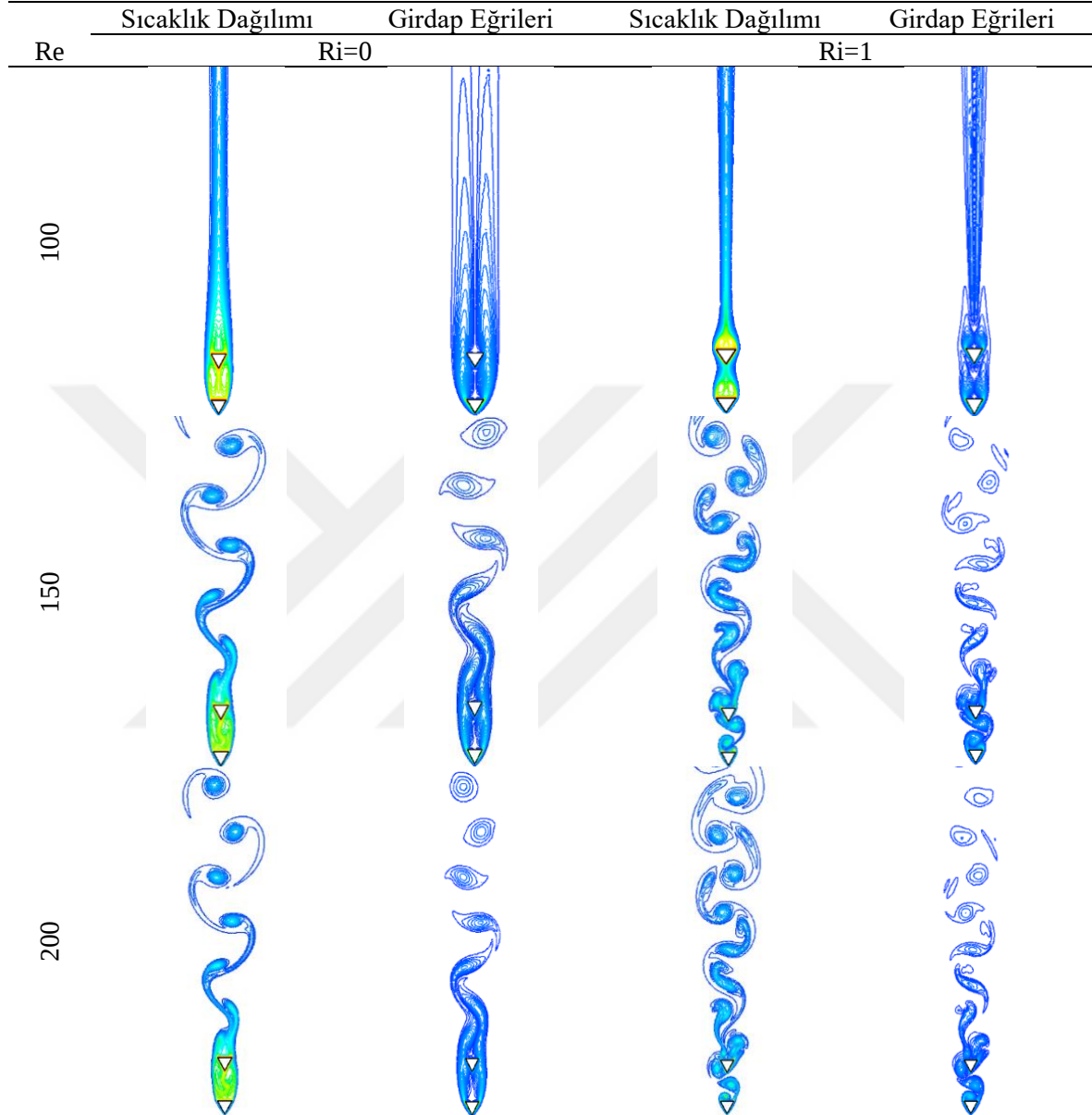
Hem Re sayısı 150 hem de Re sayısı 200 için her iki Ri sayısında da girdaplar meydana gelmiştir. Bu girdaplar her durumda da kanal sonuna doğru iki ayrı vorteks oluşturarak ilerlemiştir. $Ri=4$ 'teki bu girdaplar kanal sonuna doğru karmaşık bir hal almıştır.



Şekil 5.2. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=7$, $L=2$ 'de $Ri=0$ ve 1 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.3'de verilmiştir. $Pr=0.7$ akışkanın hava, $Pr=7$ ise akışkanın su olduğu durumudur. Suyun viskozitesi suya göre daha fazladır. Bu nedenle $Re=100$ 'de hem $Ri=0$ hem

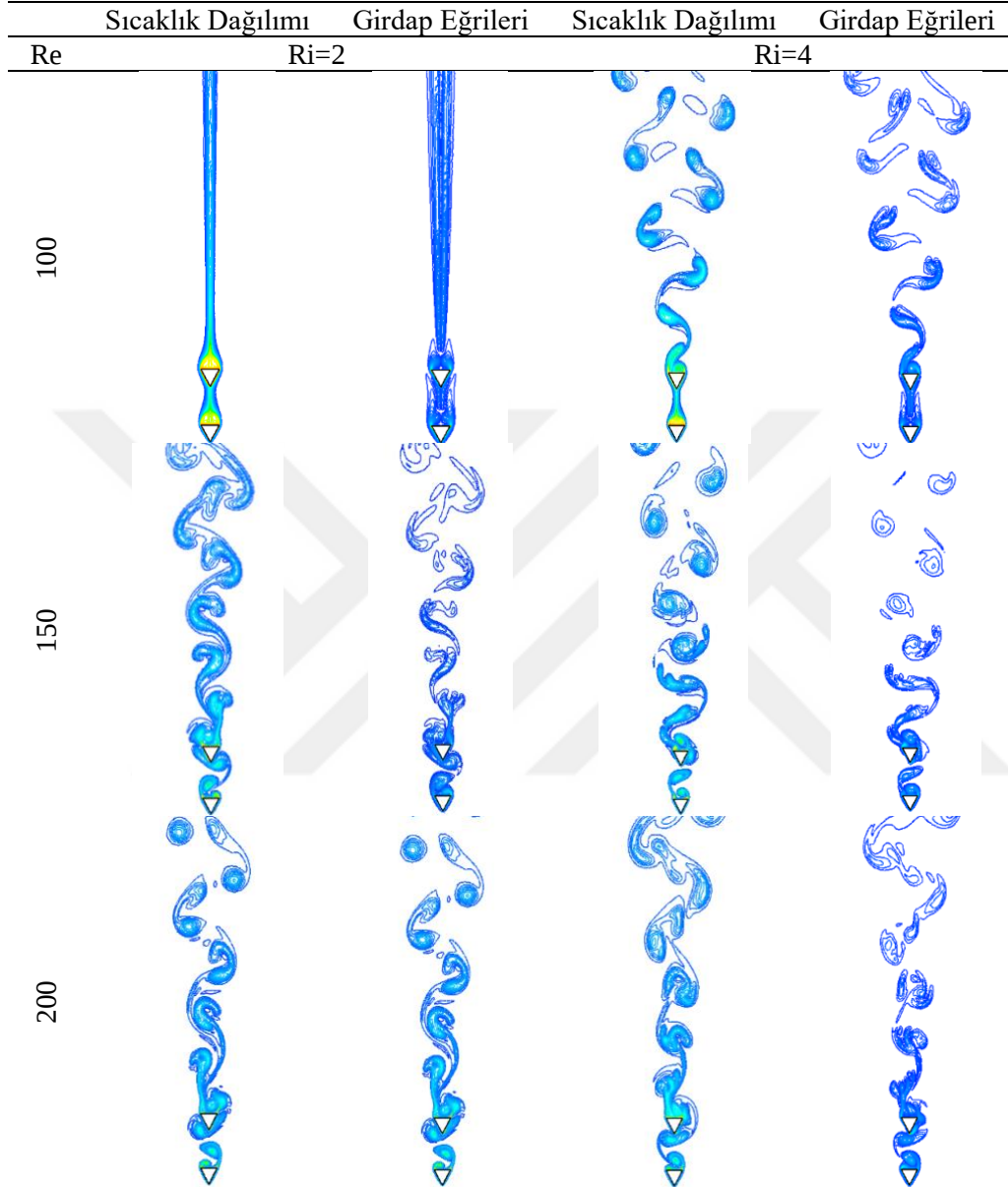
de $Ri=1$ 'deki sıcaklık ve girdap eğrileri düm düz oluşmuştur, fakat havada $Ri=1$ 'de akışta girdaplar oluşmuştur.



Şekil 5.3. Case 1, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=7$, $L=2$ 'de $Ri=2$ ve 4 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.3'e göre doğal taşınım etkileri daha etkilidir. $Re=100$ 'de $Ri=0-2$ aralığında akışta girdap meydana gelmemiştir. $Ri=4$ 'te ise doğal taşınım daha etkin olduğu durumda akışta girdaplar gözlenmiştir. $Re=150$ ve 200 'de ise zorlanmış taşınımdan kaynaklı artan atalet kuvvetleri akışta her bir Ri sayısında girdap meydana

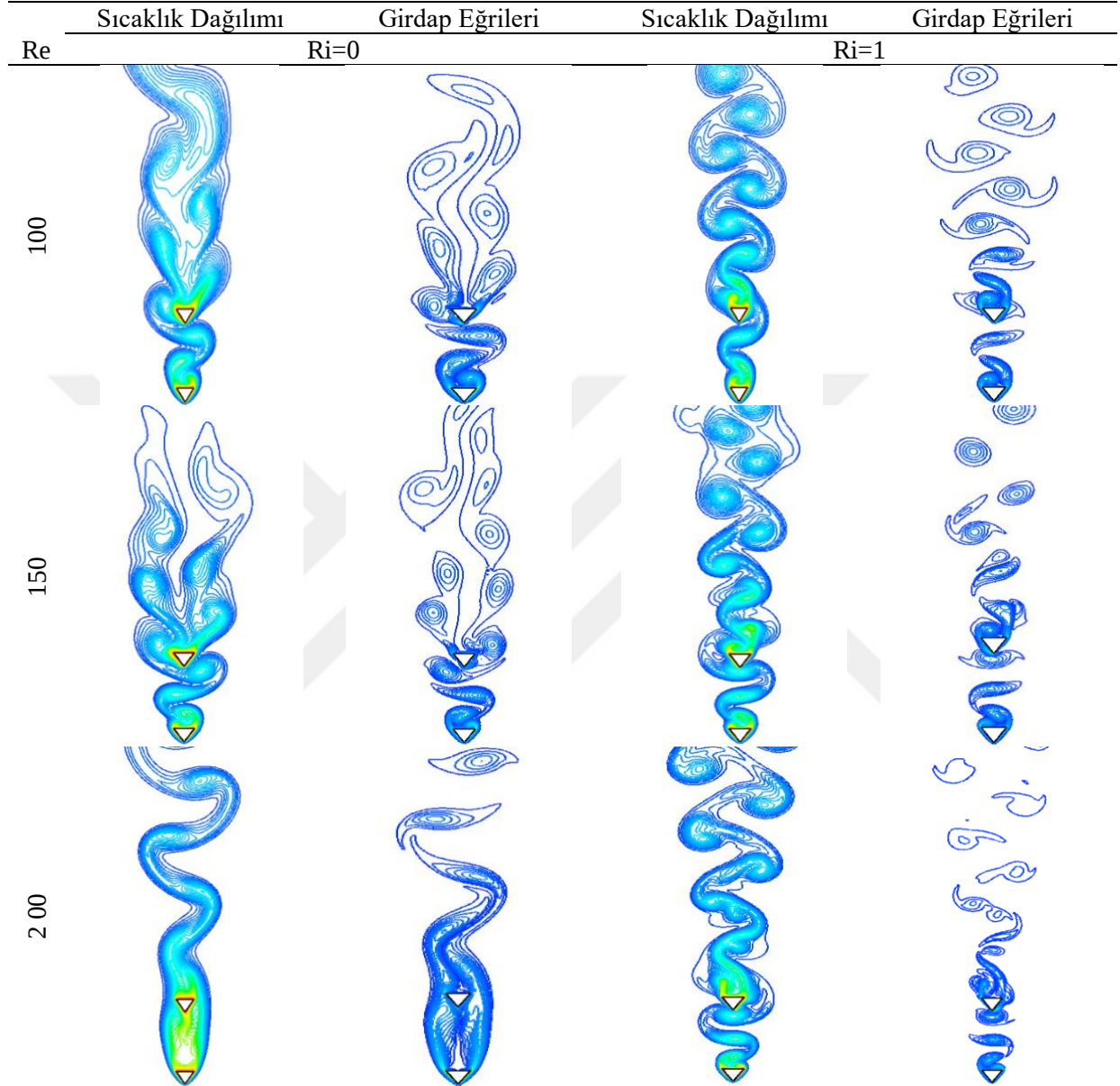
getirmiştir. Özellikle artan Re ve Ri sayılarında girdapların periyodikliği bozulmuş olup, akışta karmaşıklık meydana gelmiştir.



Şekil 5.4. Case 1, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=0.7$, $L=4$ 'de $Ri=0$ ve 1 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.1'deki eğrilere göre bu grafiklerde $L/D=4$ alınarak silindirler arası mesafe açılmıştır. Yapılan araştırmalarda silindirler arası mesafenin silindir üzerindeki ve silindirler etrafındaki akışta etkili olduğunu vurgulanmıştır. Bu yüzden bu çalışmada da silindirler arası değişimin etkileri incelenmek istenmiştir. Şekil 5.1'e

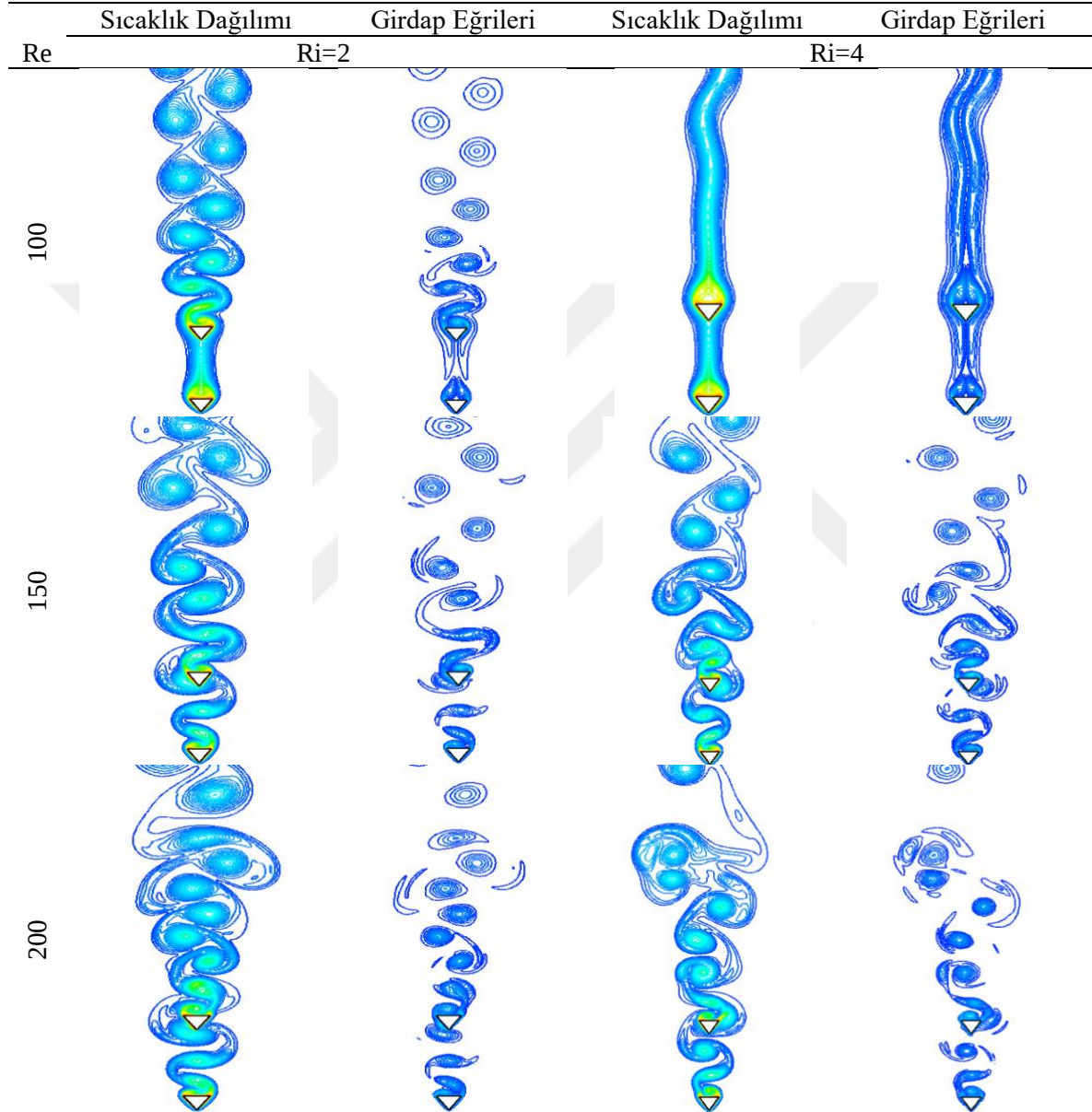
kıyaslandığında, $Re=100$ ve $Ri=1$ 'de hem silindir arası boşlukta hem de aşağı akış bölgesinde vorteks meydana gelmiştir.



Şekil 5.5. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=0.7$, $L=4$ 'de $Ri=2$ ve 4 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.6'da verilmiştir. $Re=100$ ve $Ri=4$ 'de öndeki silindirden kopan akış, arkadaki silindirdeki akış ile birleşip bir bütün ile ilerlemektedir. $Re=100$ ve $Ri=2$ 'de ise iki silindir arasında girdap meydana gelmemiş, ama ikinci silindir arkası art bölgesinde girdap meydana gelmiştir. İki silindir arkası birleşen akış iki girdap yolu oluşturmuş. $Re=150$ ve 200 'de her

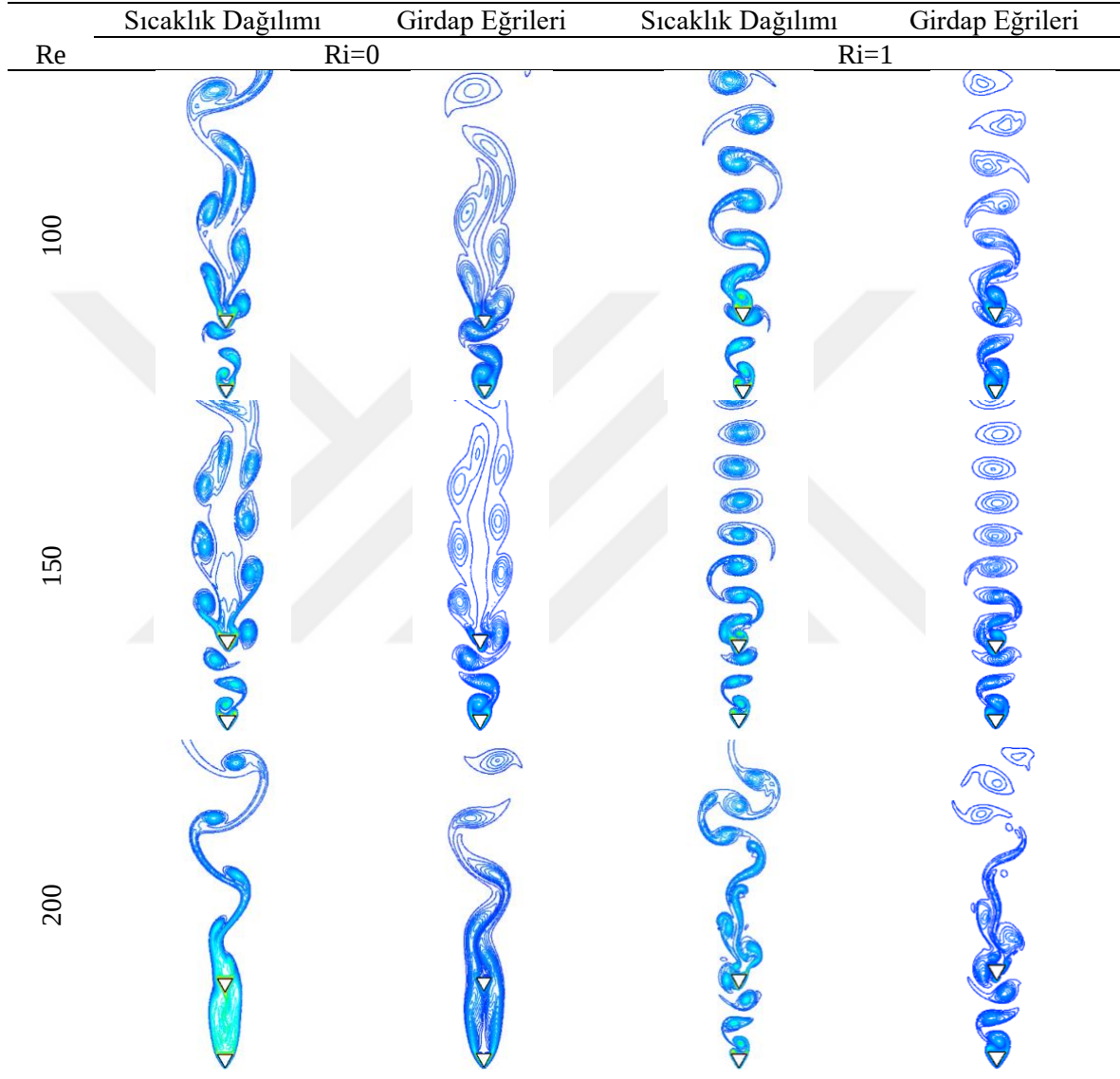
iki Ri sayısında da iki silindir arası girdap oluşmuştur. Öndeki silindirden ayrılan akış, arkadaki silindirden oluşan akış ile birleşmiş ve girdap oluşturarak art bölgesinde ilerlemiştir. $Ri=4$ 'te her iki Re sayısında aşağı akış bölgesinde akış $Ri=2$ 'ye göre daha sağ sola yayılarak ilerlemiştir.



Şekil 5.6. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=7$, $L=4$ 'de $Ri=0$ ve 1 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.7'de verilmiştir. Her bir durumda öndeki silindirden kopan akış, arkadaki silindirden ayrılan akış ile birleşmiştir. $Re=100$ ve $Re=150$ 'deki $Ri=1$ için girdaplar

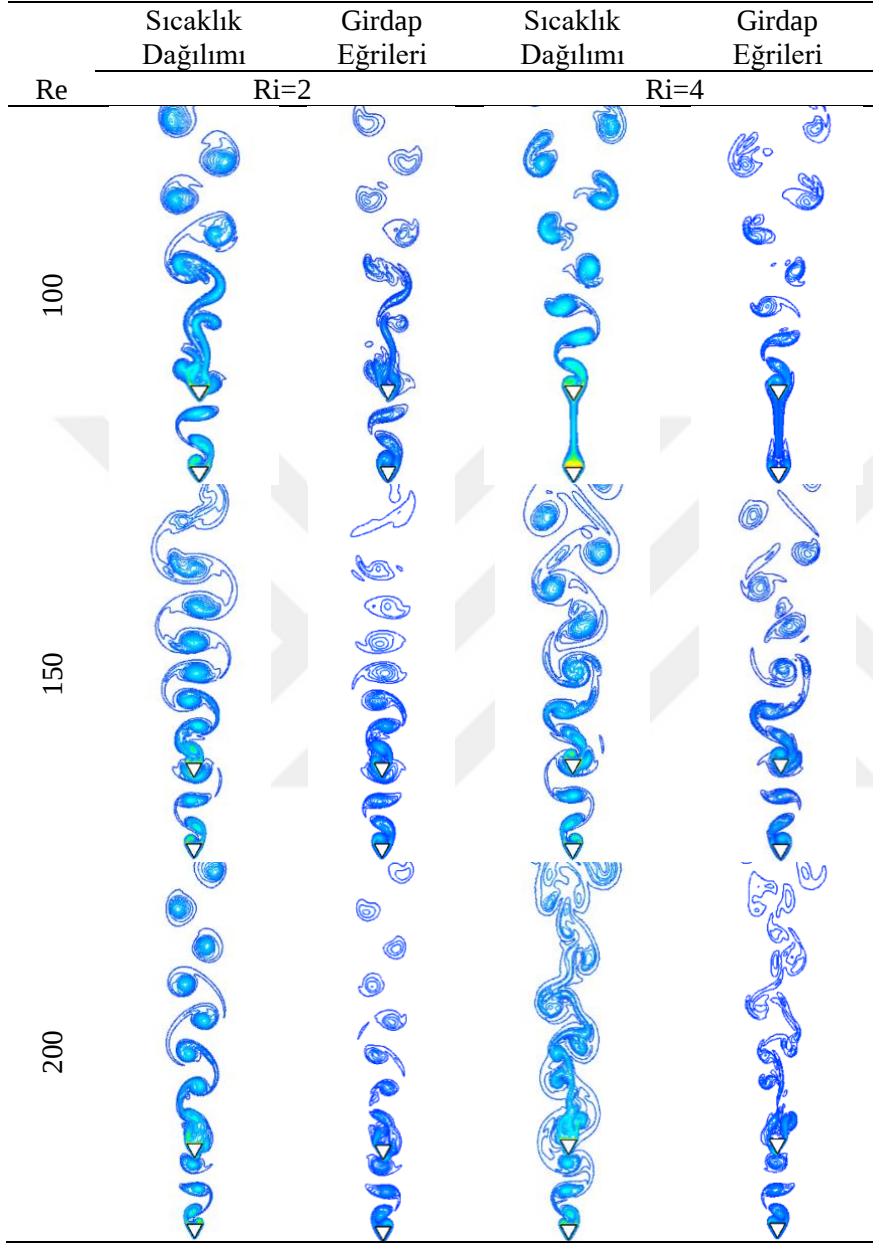
periyodik iken, $Ri=2$ 'de akıştaki periyodiklik bozulmuştur; yani, $Ri=1$ 'deki girdaplar birbiri ardına dizilerek tek dizi halindedir. $Ri=0$ 'de ise aşağı akış bölgesindeki girdaplar bir bütün halinde ilerlemektedir. $Re=100$ ve 150 'de girdaplar birbiri içine geçmişken, özellikle $Re=200$ 'de iki silindir arkası akış bir bütün olarak ilerlemektedir.



Şekil 5.7. Case 1, $Pr=7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=0.7$, $L=4$ 'de $Ri=2$ ve 4 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.8'de verilmiştir. $Re=100$ ve $Ri=4$ hariç, silindirler arasında girdap gözlenmiştir. $Ri=4$ 'teki her Re sayısında art bölgesinde akış genişleyerek ilerlemektedir. $Re=200$ 'ün sabit olduğu Ri sayısının değiştiği (Bakınız Şekil 5.7) durumlar incelendiğinde

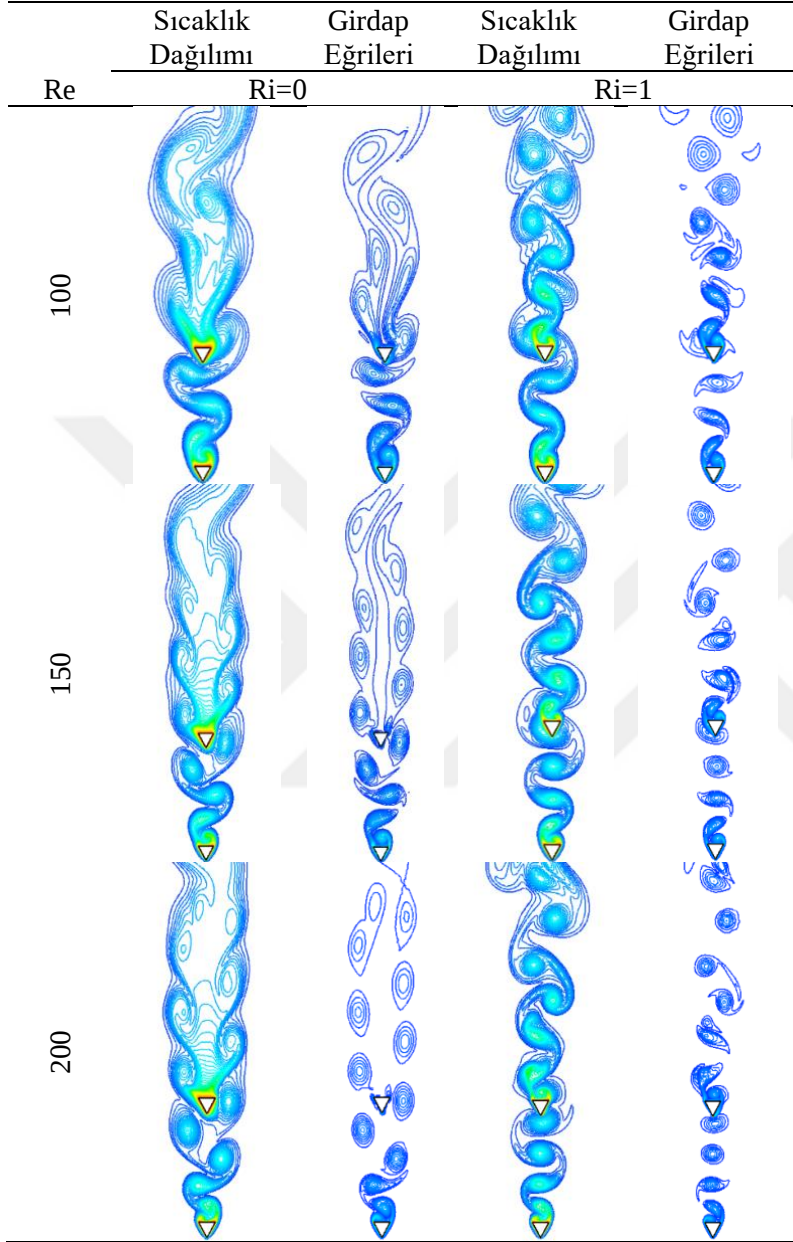
$Ri=4$ 'de doğal taşınım baskın olduğu için akışta karmaşıklık meydana gelmiş ve akış düzensizdir.



Şekil 5.8. Case 1, $Pr=7$ ve $L=4$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=0.7$, $L=6$ 'da $Ri=0$ ve 1 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.9'da verilmiştir. Silindirler arasındaki açıklığın artması ile silindirler arasındaki her bir durumda vorteks oluşmaktadır. Öndeki silindirden ayrılan sınır tabaka, arkadaki silindire çarpmakta ve arkadaki silindirden oluşan sınır tabaka da buna katılmaktadır. İki silindirden ayrılan sınır tabakalar birbirine karışarak ilerlemektedir.

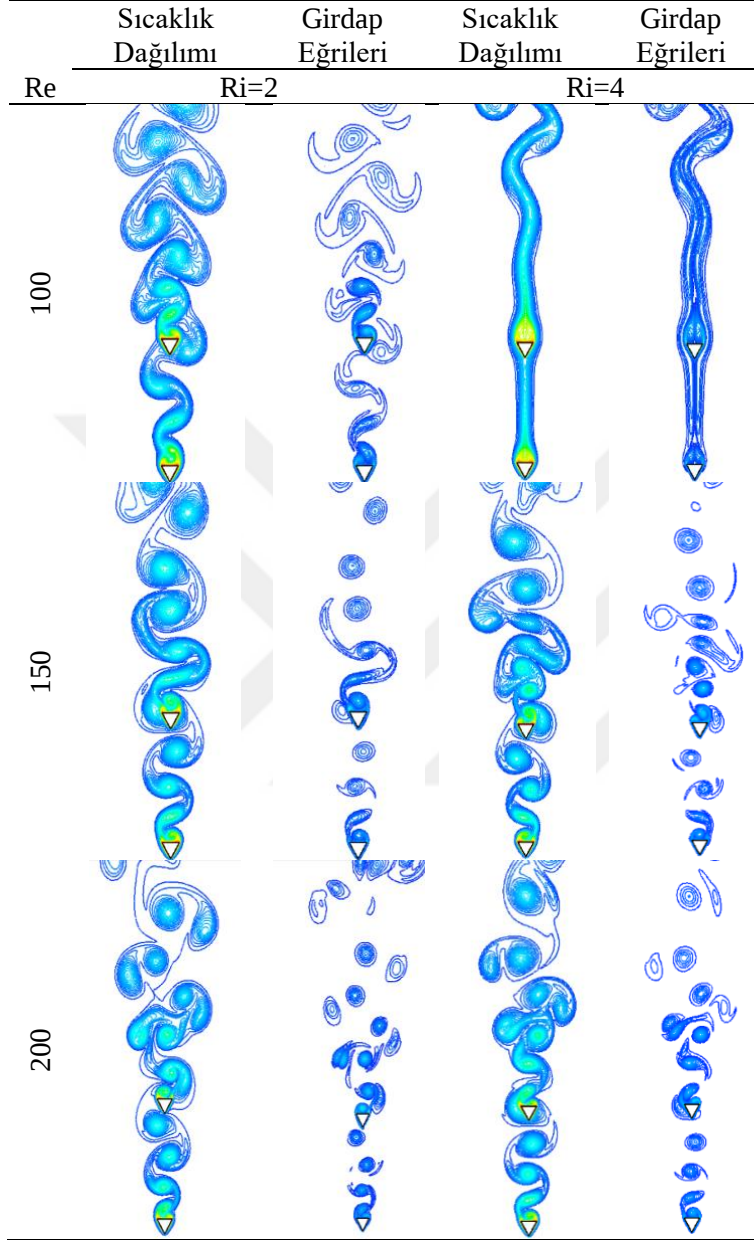
Girdap eğrileri incelendiğinde, $Ri=0$ 'da Re sayısı artıkcça vorteksler birbirinden ayrılarak ilerlemiştir. Bu durum $Re=200$ 'de net bir şekilde gözükmemektedir.



Şekil 5.9. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

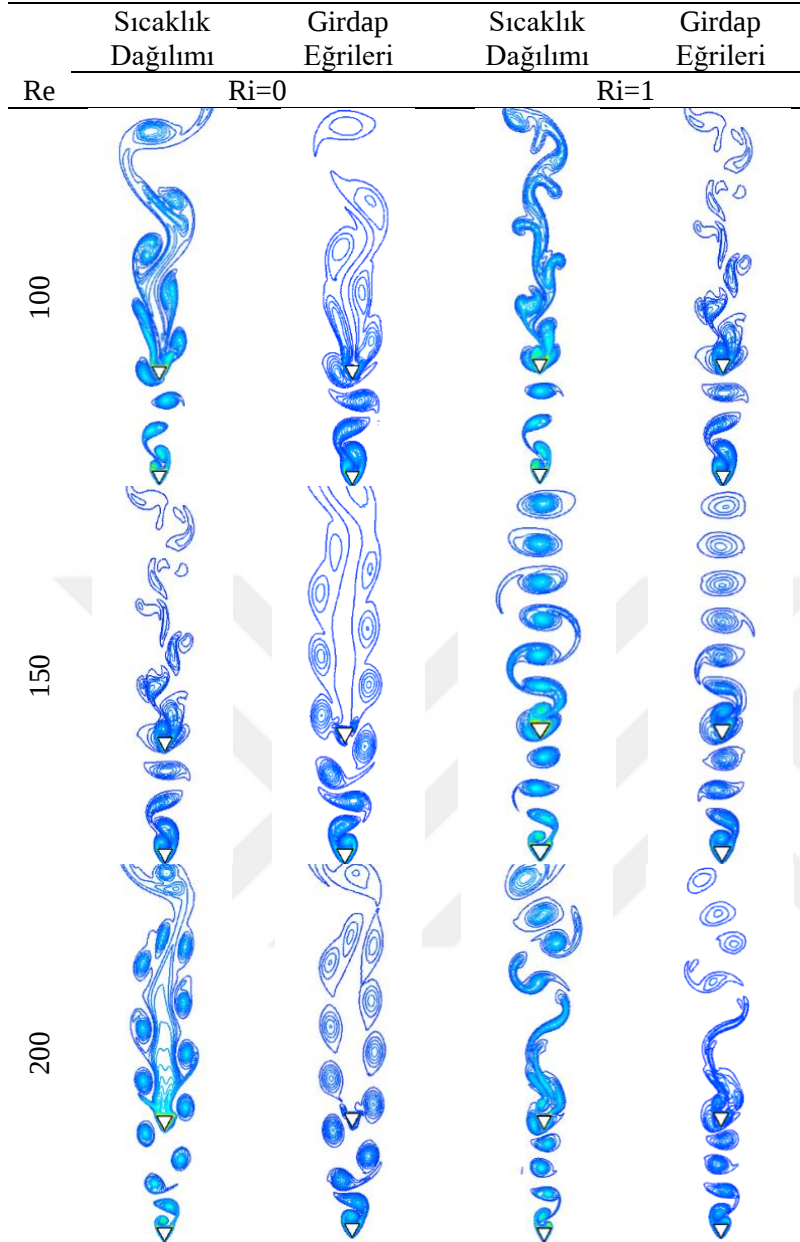
Case 1, $Pr=0.7$, $L=6$ 'da $Ri=2$ ve 4 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.10'da verilmiştir. $Re=100$ ve $Ri=4$ için silindirler arası boşlukta vorteks meydana gelmemiştir. Fakat aşağı akış bölgesinde arkadaki silindirden uzaklaştıkça akış vorteks oluşturmak üzere kıvrılmaktadır. Diğer durumların her birinde hem silindirler arası boşlukta hem de aşağı akış bölgelerinde vorteks meydana gelmiştir. Ri sayısının sabit iken

Re sayısı artması ile birlikte vortekslerin silindire daha yakın mesafede olduğu görülmüştür.



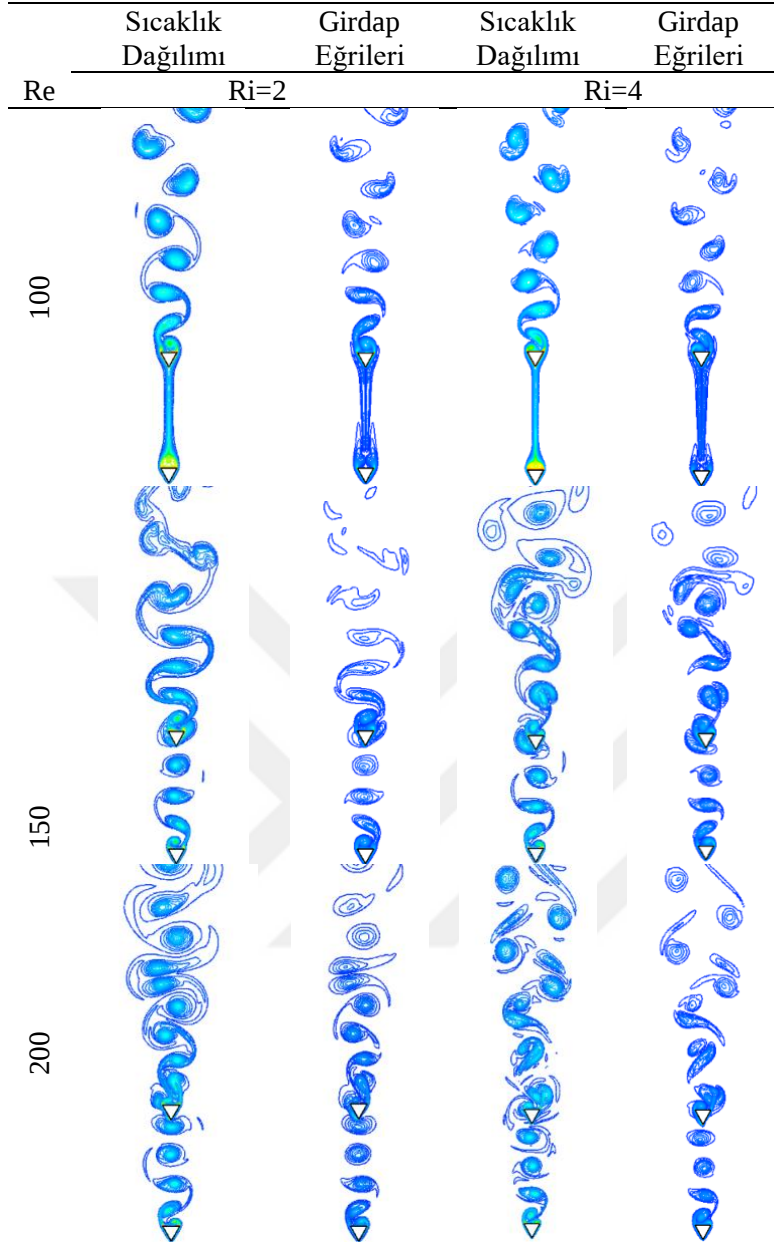
Şekil 5.10. Case 1, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=7$, $L=6$ 'da $Ri=0$ ve 1 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.11'de verilmiştir. Her bir durumda silindirler arasında girdaplar oluşmuştur. Artan atalet kuvveti etkisi ile $Re=200$ ve $Ri=0$ 'da öndeki silindir arkasında ikili girdaplar oluşmuştur.



Şekil 5.11. Case 1, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Case 1, $Pr=7$, $L=6$ 'da $Ri=2$ ve 4 için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) Şekil 5.12'de verilmiştir. $Re=100$ 'de her iki Ri sayısında da silindirler arasında girdap meydana gelmemiştir. Fakat arkadaki silindirden ayrılan sınır tabaka ile aşağı akış bölgesinde vorteks meydana gelmiştir. Eş sıcaklık ve girdap eğrileri incelendiğinde eğrilerin bu durumda da aynı karakteristiğe sahip olduğu gözlenmiştir. $Re=100$ 'deki aşağı akış bölgesindeki girdaplar yekpare oluşmuştur. Fakat artan atalet ve yüzdürme kuvvetleri etkisi ile akıştaki girdaplar artmıştır.

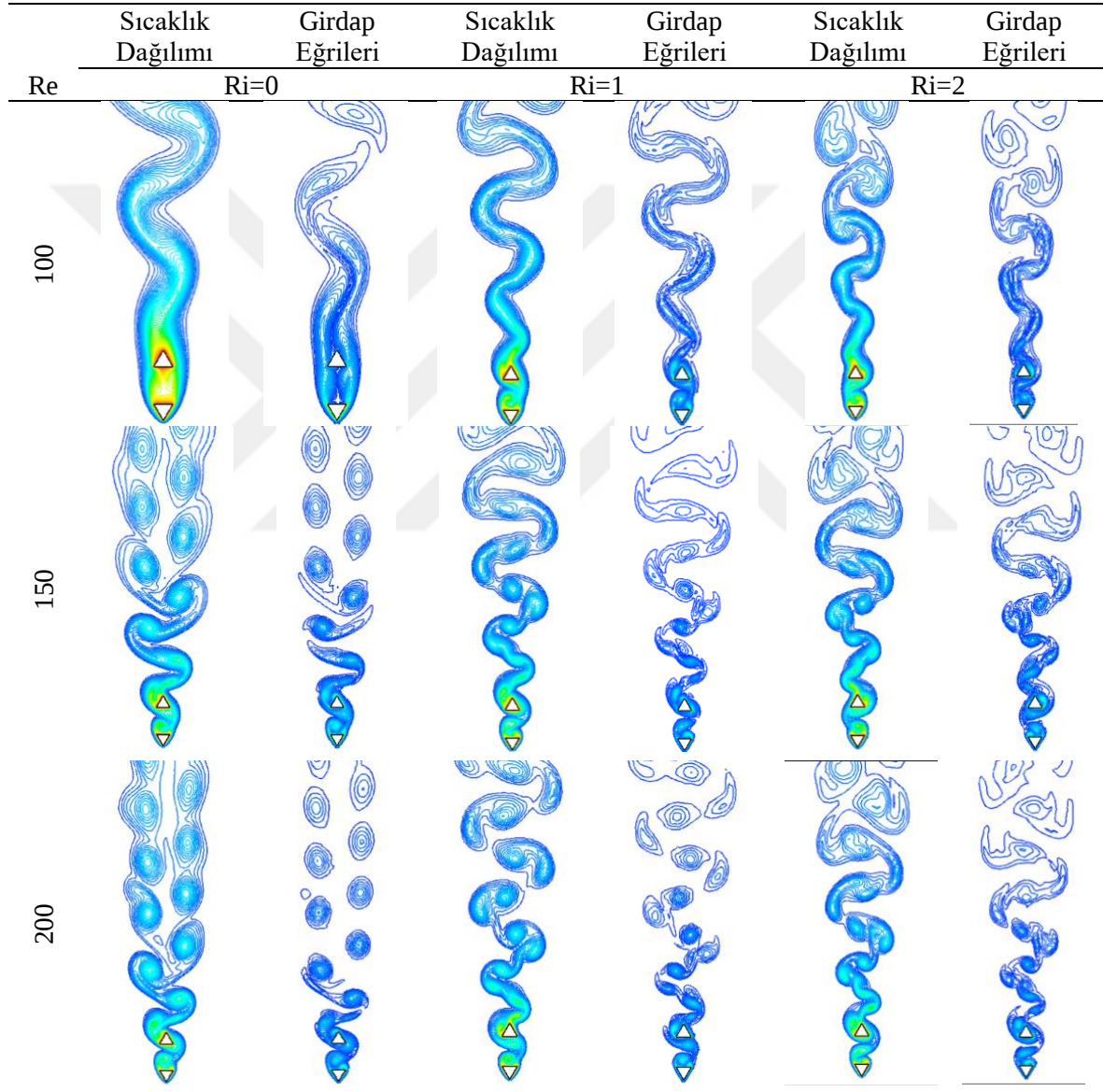


Şekil 5.12. Case 1, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişim

Şekil 5.13'te, Case 2, $Pr=0.7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) sunulmuştur. Case 1 haricinde ele alınan diğer durumlarda Ri sayısı 0, 1 ve 2 için analizler gerçekleştirilmiştir. Case 2'deki arkadaki üçgen Case 1 durumuna göre 180° çevrilmiştir. Buradaki amaç öndeki silindirden ayrılan sınır tabakanın, arkadaki sınır tabaka ile birleşirken üçgen geometrinin konumunun/şeklinin eğriler üzerinde bir fark yaratıp yaratmadığını gözlemektir.

$Re=100$ 'de $Ri=0$ üçgen konumunun değişimi ile aşağı akış bölgesinde vorteks oluşturmak için kıvrılmalar gözlenmektedir. Halbuki Case 1 durumunda akış düm düz

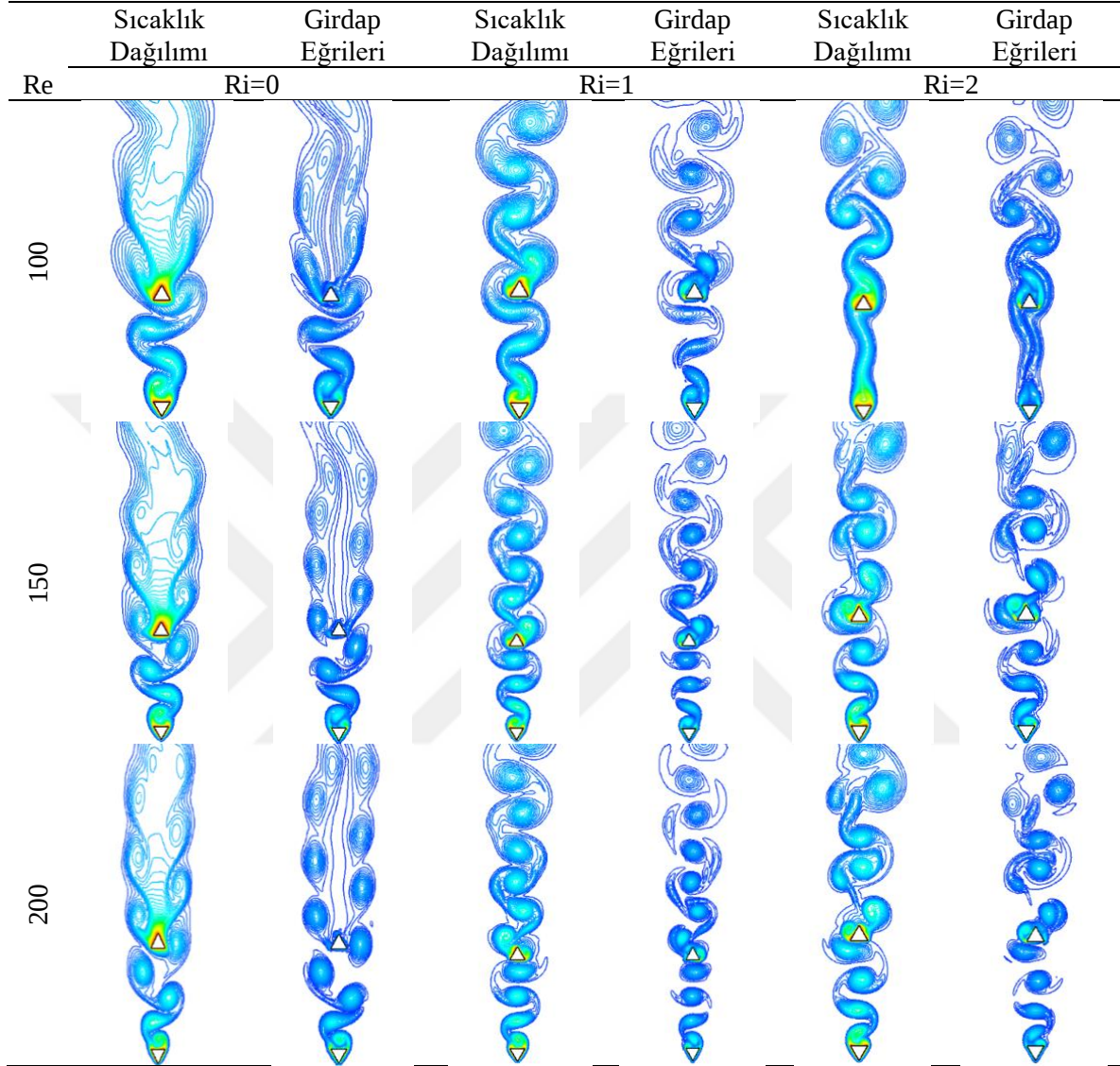
ilerlemiştir (Bakınız Şekil 5.1). $Re=100$ ve $Ri=1$ 'de ise Case 1'den farklı olarak vorteks oluşturmak için kıvrılan akış Case 2'de daha belirgin daha yana sapmıştır. $Re=150$ ve 200 'de $Ri=0$ 'da Case 2'de iki silindirden ayrılan sınır tabaka bir bütün halinde ilerlerken, daha sonra iki ayrı girdap döngüleri oluşturmuştur. Bu durum da Case 1'de gözlenmemiştir. Bu kısımda da artan Re ve Ri sayısı ile akıştaki düzensizlik ve aşağı akış bölgesini kapsayan akış dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Case 2, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

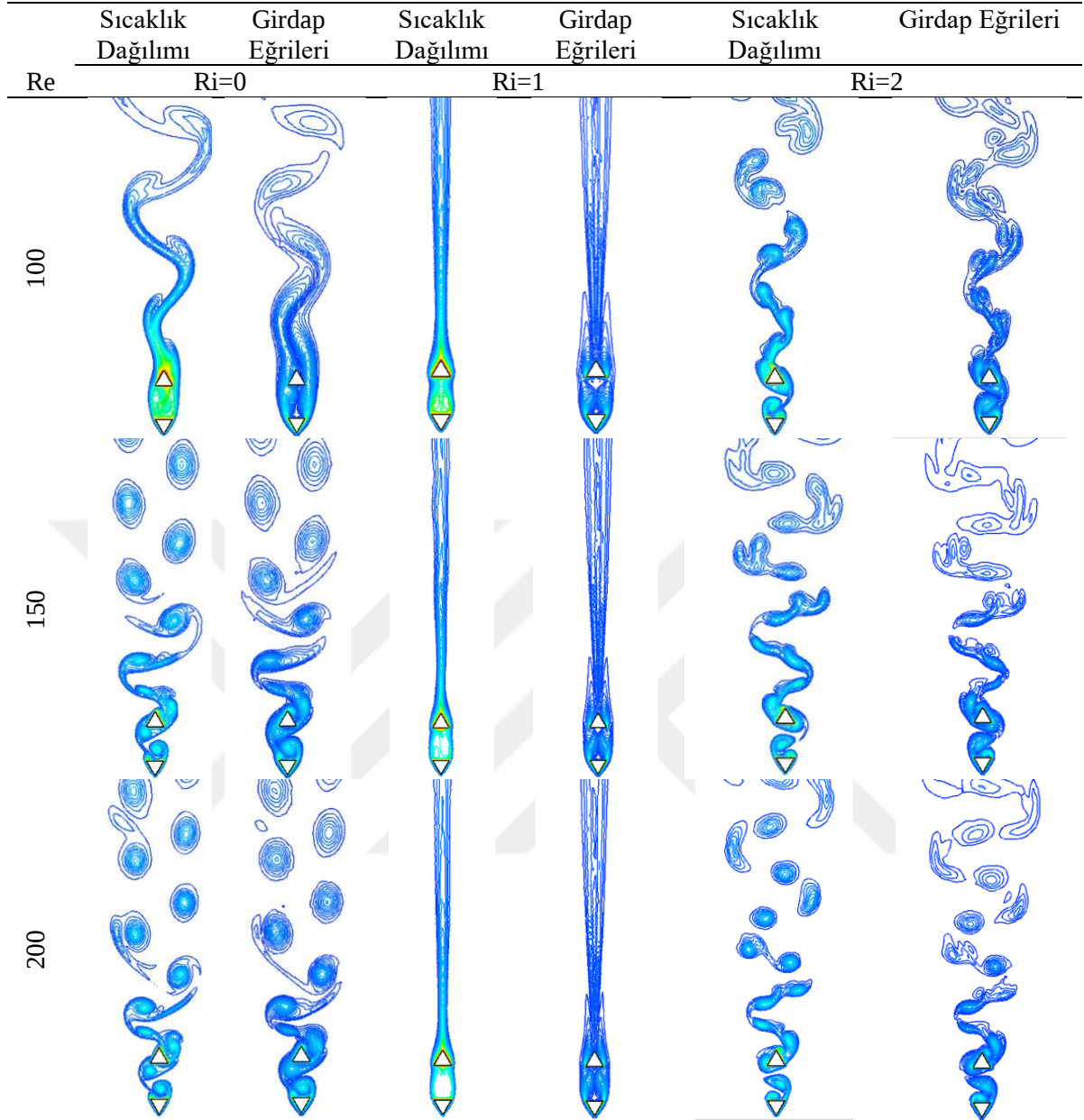
Şekil 5.14'te, Case 2, $Pr=0.7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) sunulmuştur. Akışkanın su olduğu bu durumda Şekil 5.13'e göre

silindir arası mesafe artmıştır. $Re=100$ ve $Ri=2$ 'de silindir arası bölgede az da olsa bir girdap meydana gelse de tüm durumlarda silindir arası bölgede girdaplar oluşmuştur.



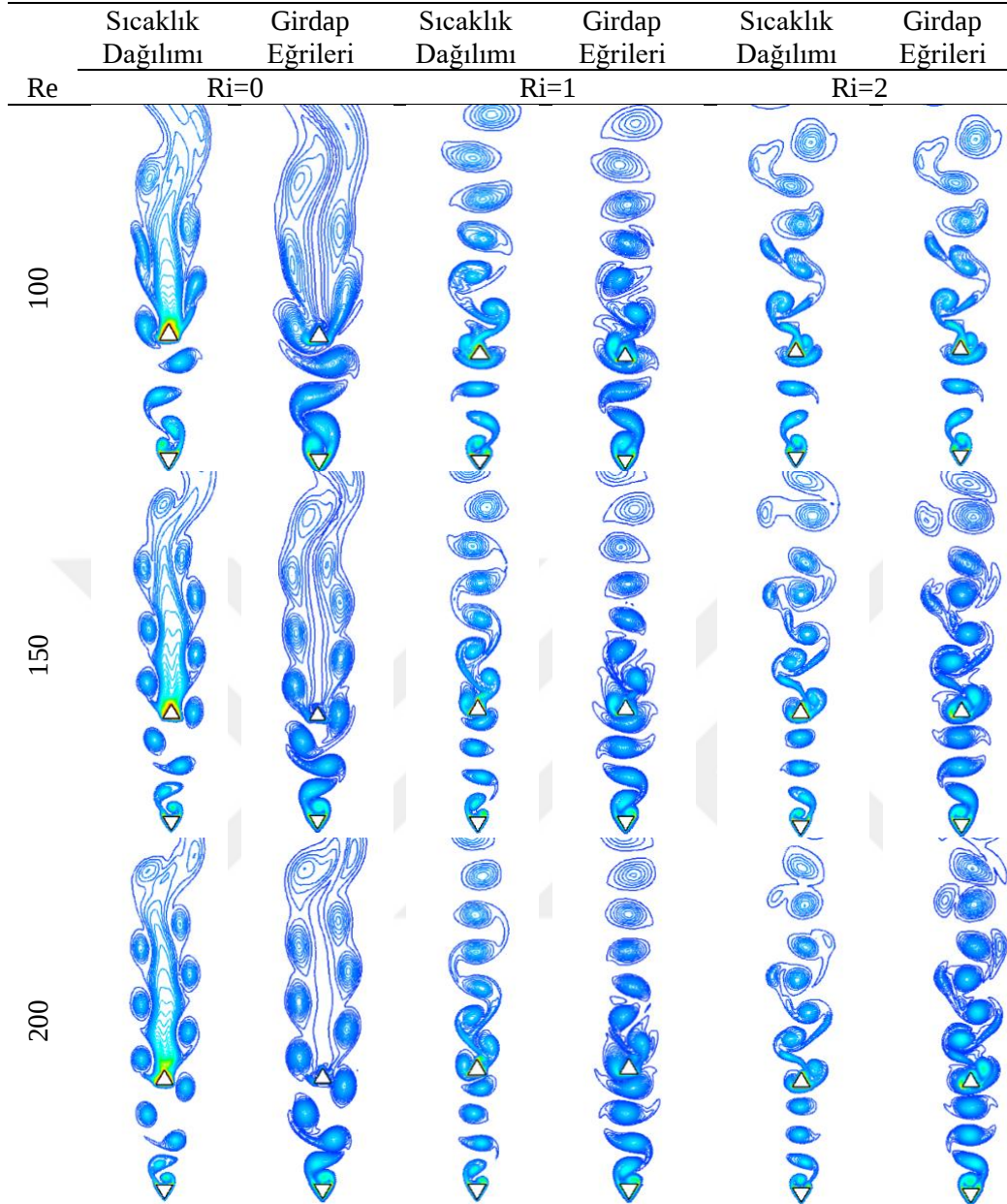
Şekil 5.14. Case 2, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.15'te, Case 2, $Pr=7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) sunulmuştur. Şekil 5.13'ten farklı olarak $Ri=1$ 'de akışta girdaplar meydana gelmemiş. Bu durumda doğal taşınım zorlanmış taşınımı bastırmıştır. $Ri=2$ 'de ise artan yüzdürme kuvvetleri etkisi ile tekrar girdaplar oluşmuştur.



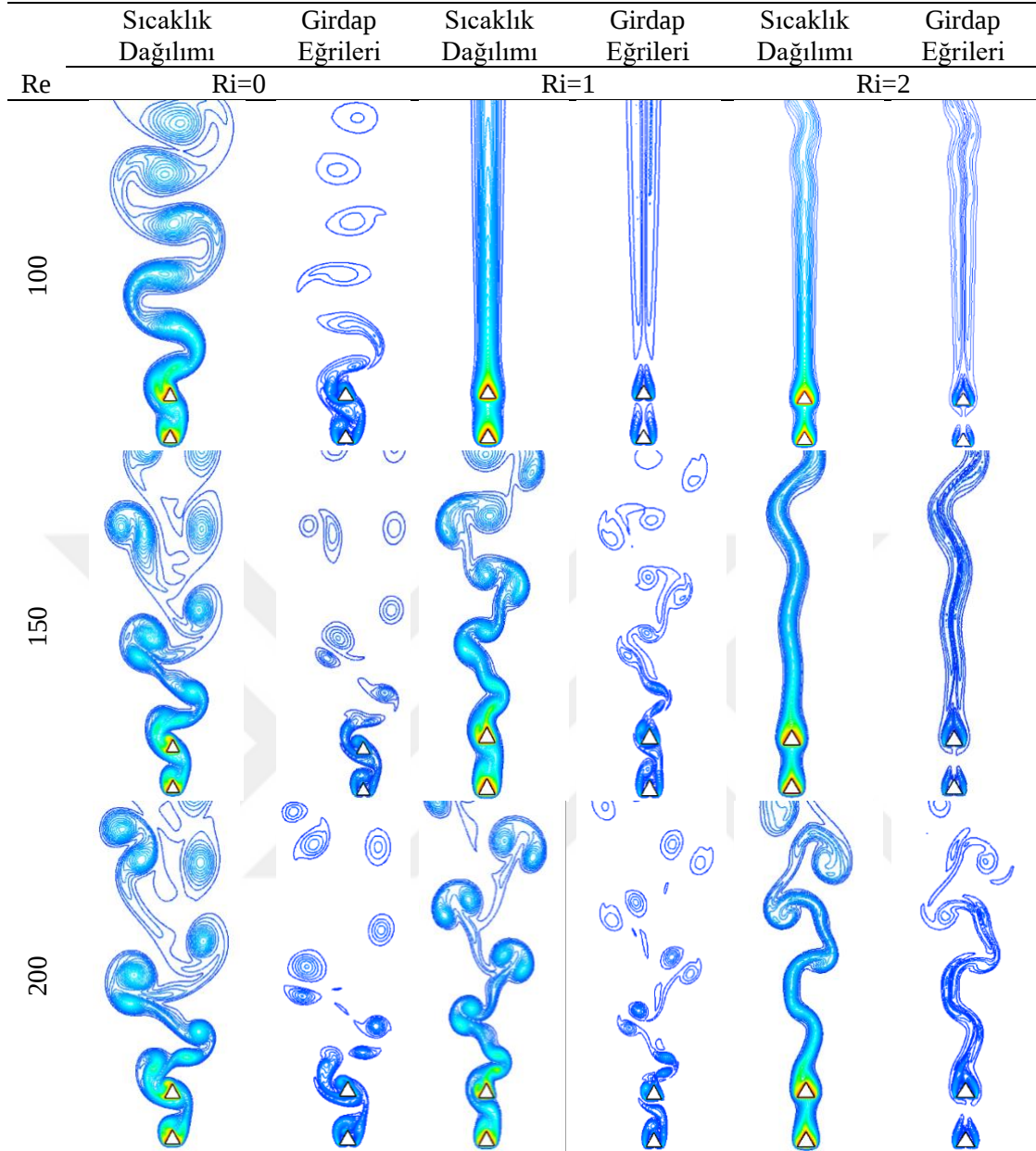
Şekil 5.15. Case 2, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.16’da, Case 2, $Pr=7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) sunulmuştur. Bu durumda akışkanın değişimi ile çok büyük bir fark olmamış (Bakınız Şekil 5.14). Tüm durumlarda girdaplar meydana gelmiştir.



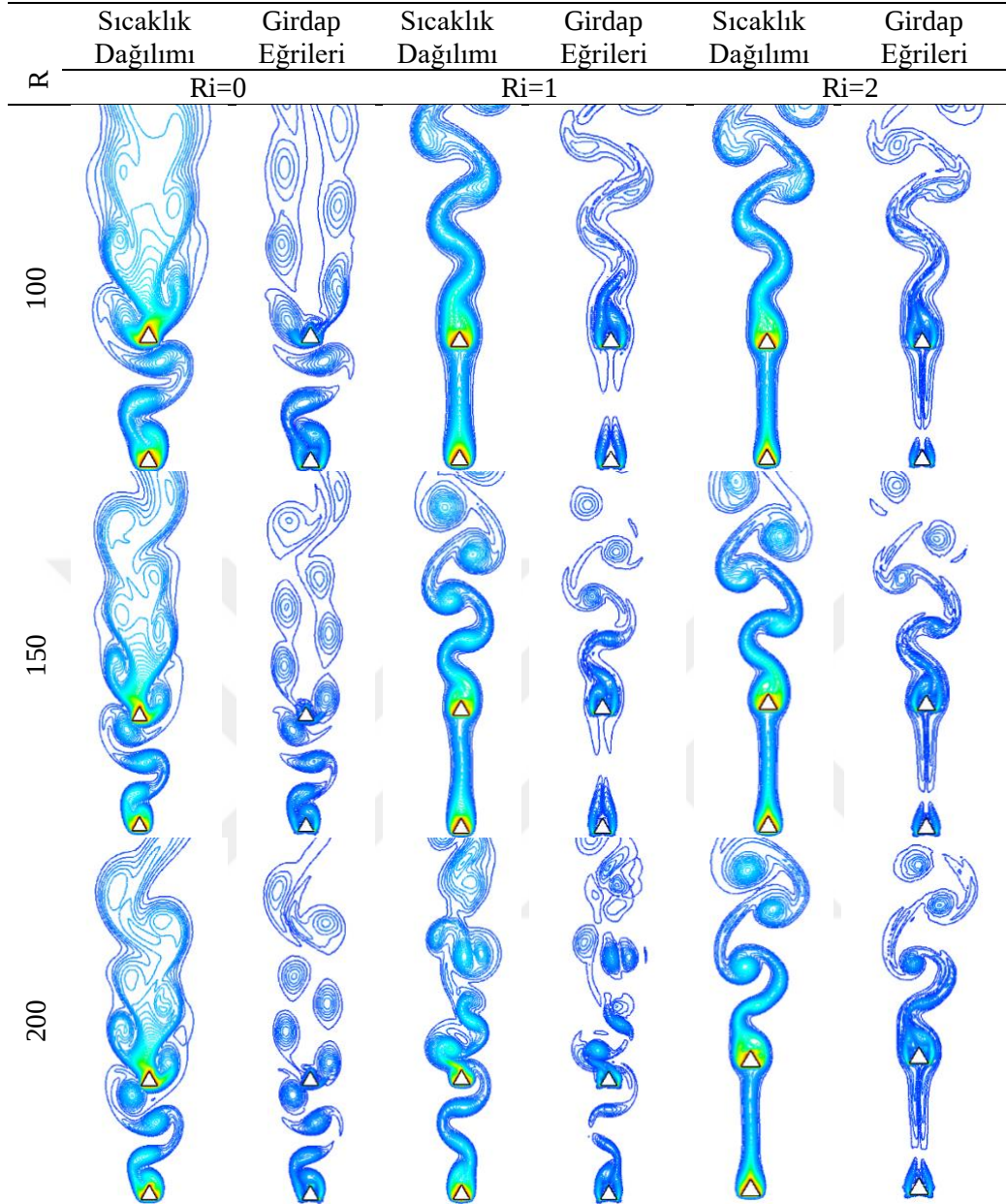
Şekil 5.16. Case 2, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.17’de, Case 3, $Pr=0.7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Case 3 durumunda, akışın ilk teması üçgenin taban kenarına denk gelmektedir. Case 1 ve Case 2’de akışın ilk temasının üçgenin tepe noktası ile olması durumunda sınır tabaka üçgenin yanıl kenarlarını yalayarak devam ederken, Case 3 durumunda üçgenin taban kenarı ile olan ilk temas nedeniyle sınır tabaka daha geniş olarak yükselir. Bunun sonucunda $Ri=0$ ’daki tüm Re sayılarında akış aşağı akış bölgesine daha çok yayılmıştır. $Re=100$ ve $Ri=1$ ’de yzdzürme kuvvetleri zorlanmış taşınımı bastırmış, artan Ri sayısı ile akışta kıvrılmalar meydana gelmiştir.



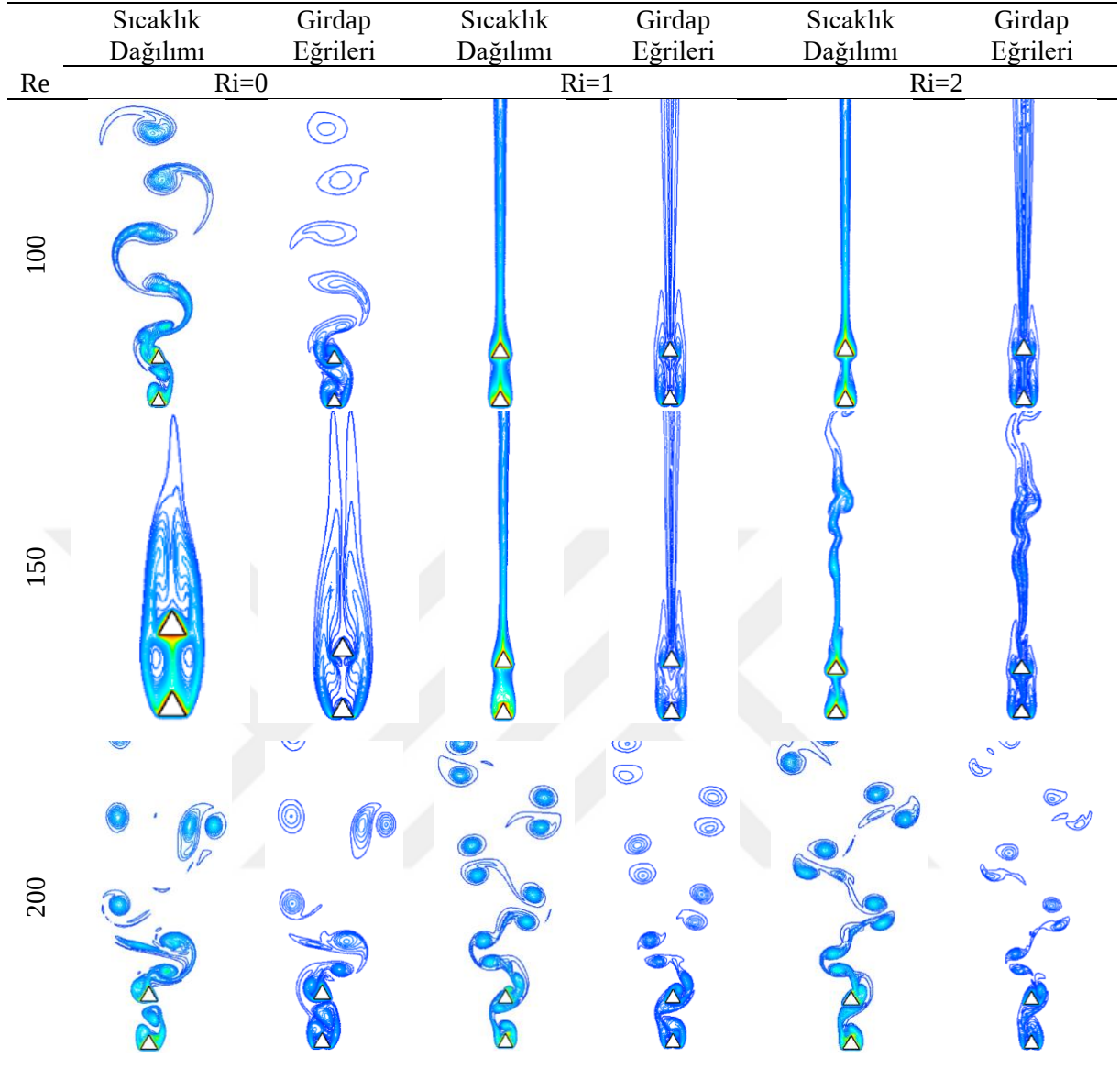
Şekil 5.17. Case 3, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.18’de, Case 3, $Pr=0.7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. $Re=100$ ve 150 ’de $Ri=1$ ve 2 , $Re=200$ ’de ise $Ri=2$ ’de silindirler arasında girdap oluşumu gözlenmemiştir. $Re=100$ ’de $Ri=2$ ’deki ikinci silindir sonrası oluşan kıvrımın genliği daha fazladır. Buna benzer durum $Re=150$ ’de $Ri=1$ ve 2 ’de de gözlenmiştir. $Ri=0$ ’da ise her Re sayısında silindirler arasında girdaplar meydana gelmiş, aşağı akış bölgesinde ise iki sıralı girdaplar oluşmuştur. İki sıralı girdaplar $Re=100$ ’de birleşmemiş, fakat artan Re sayısı ile iki sıralı girdap oluşumu aşağı akış bölgesinde birleşmiştir. Bu birleşim $Re=200$ ’de arkadaki silindire daha yakında meydana gelmiştir.



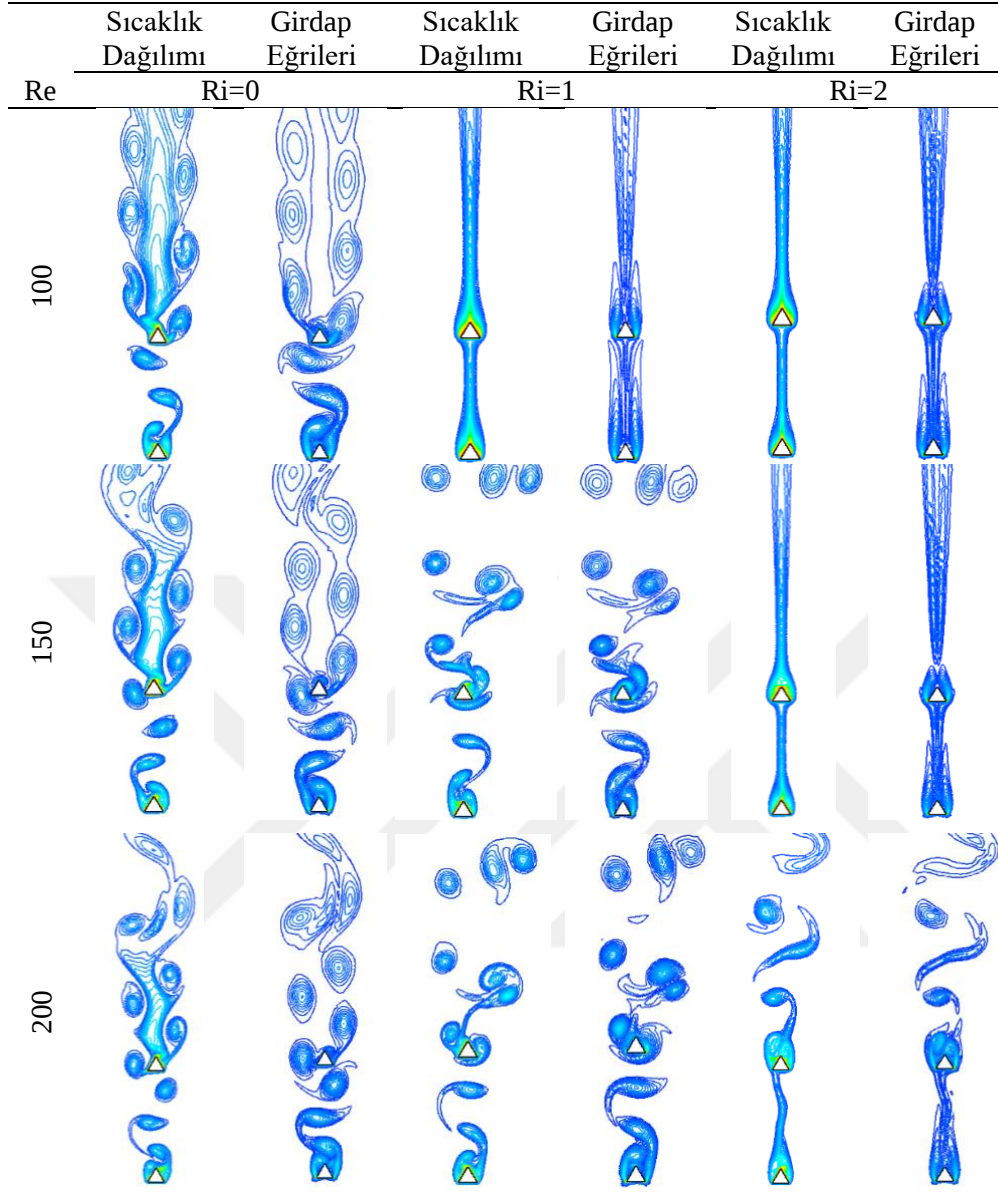
Şekil 5.18. Case 3, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.19’da, Case 3, $Pr=7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Şekil 5.17’ye kıyasla $Re=100$, $Ri=1$ ve 2’deki akışın dümdüz ilerlemesi $Pr=7$ ’de de gözlenmektedir. Fakat bu durumdaki akış iplikçikleri daha dardır. Ayrıca Şekil 5.17’ye kıyasla, $Re=150$ ve $Ri=0$ ve 1’de de girdap oluşumu gözlenmemiştir.



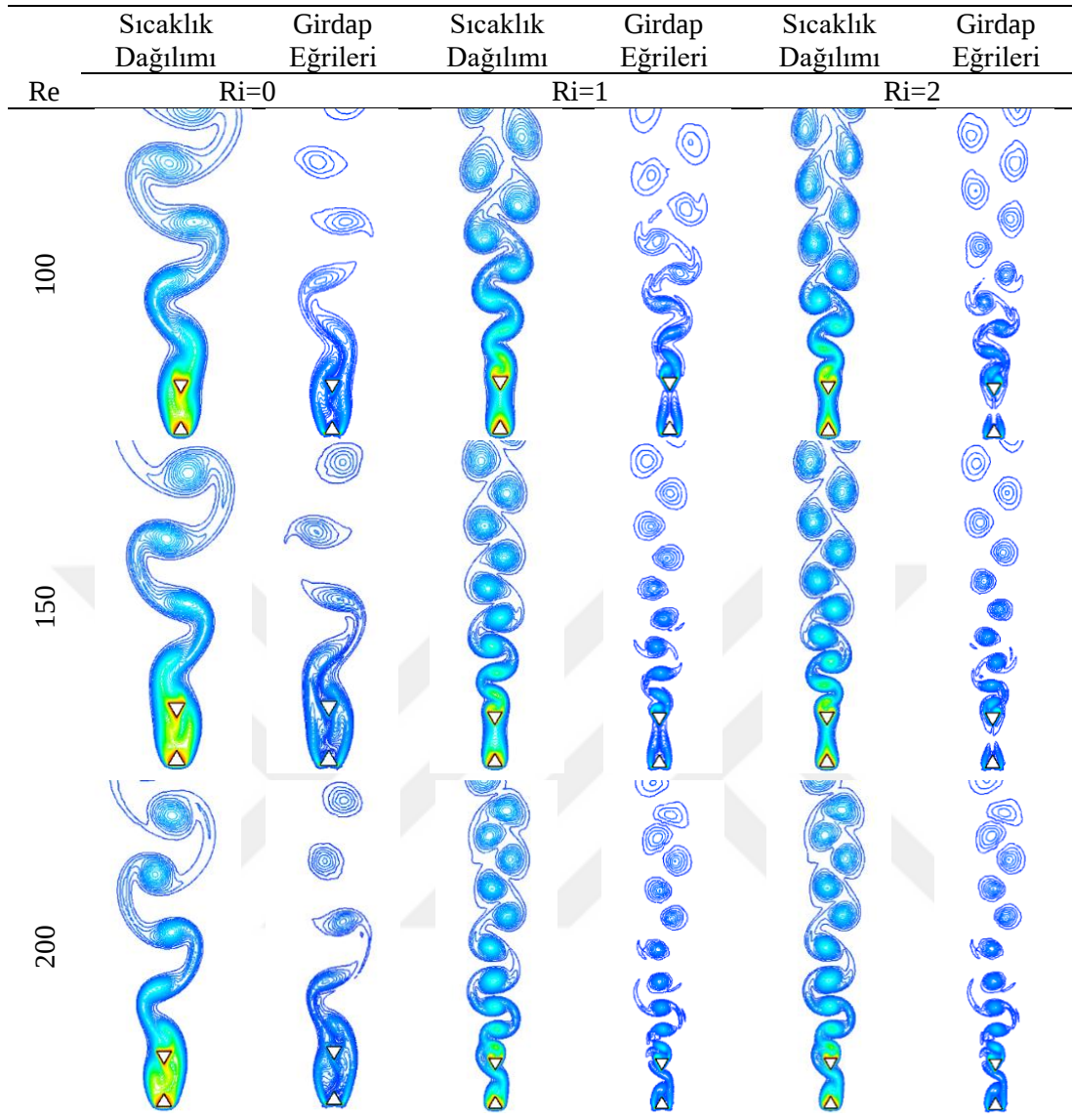
Şekil 5.19. Case 3, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.20’de, Case 3, $Pr=7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Şekil 5.18’e kıyasla, $Re=100$ $Ri=1$ ve 2’de, $Re=150$ $Ri=2$ ’de girdap oluşmamıştır. Doğal taşınım zorlanmış taşınımı bastırmıştır. Yalın zorlanmış durumunda girdap oluşumu gözlenmiştir. Bu durumda arkadaki silindirin uç kısmından ayrılan sınır tabaka, öndeki silindirden ayrılan girdapların arasında bir kanal oluşturmuştur. Kanal çıkışına doğru sınır tabakalar birleşmiştir.



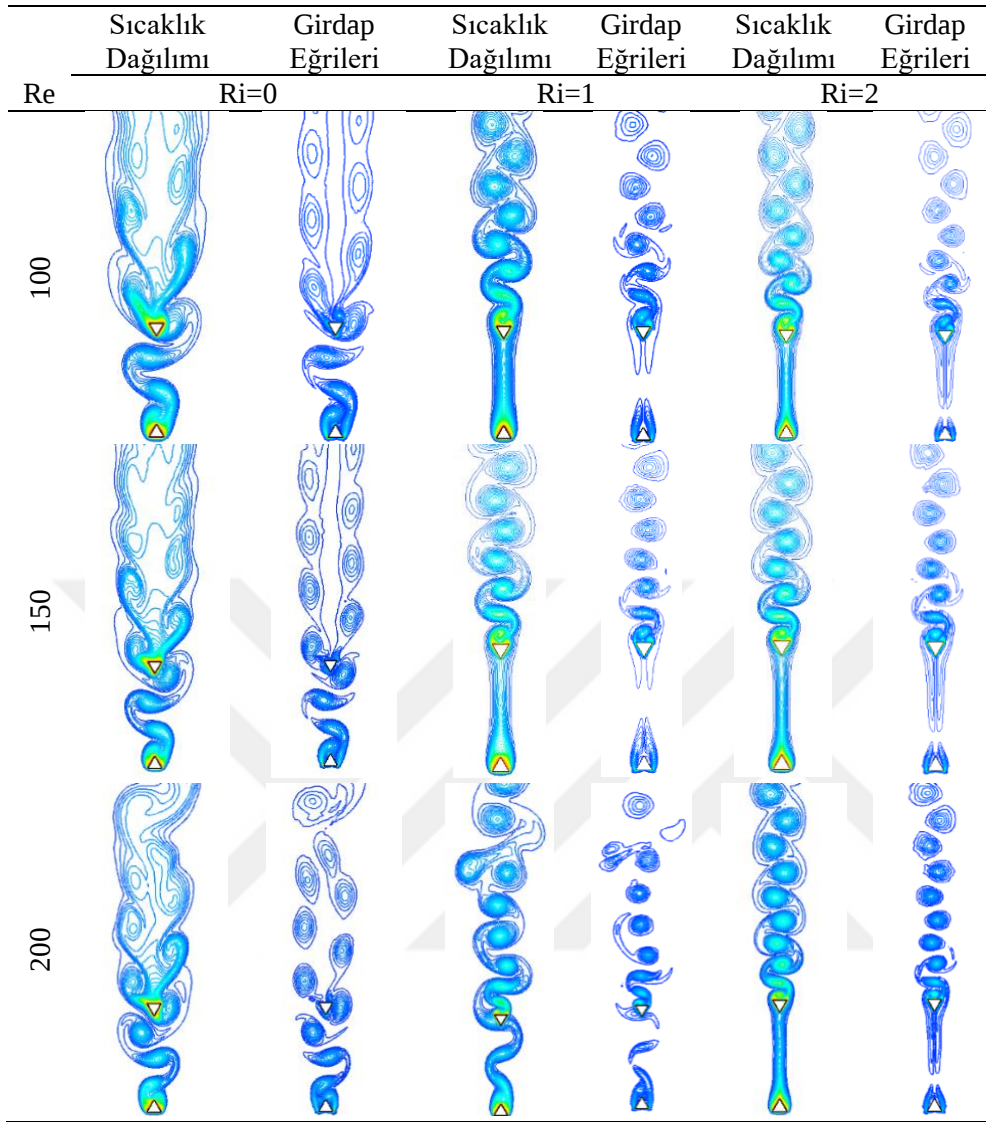
Şekil 5.20. Case 3, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.21’de, Case 4, $Pr=0.7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Case 4’te öndeki silindirin akışkan ile ilk teması üçgenin taban kenarı iken, arkadaki silindir ile üçgen uç noktaları birbirine bakmaktadır. Hem üçgen konumları hem de silindirler arası mesafenin az olmasından kaynaklı iki eş kenar üçgen silindir tek silindir üzerinden akış özelliği göstermiştir.



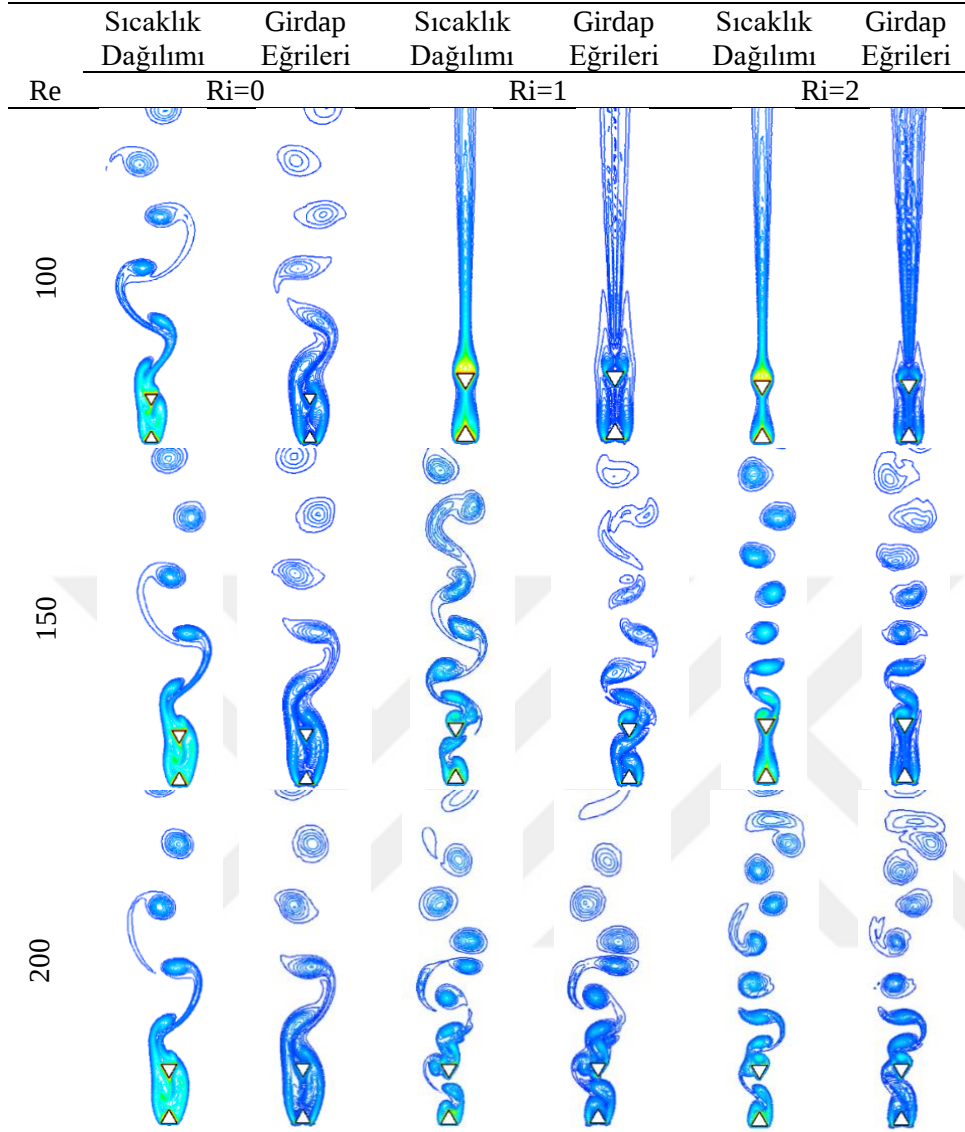
Şekil 5.21. Case 4, $Pr=0.7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.22’de, Case 4, $Pr=0.7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Yalın zorlanmış taşınımında aşağı akış bölgesinde iki sıralı girdap oluşmuştur. Fakat artan Ri sayısı ile aşağı akış bölgesinde tek sıralı girdap oluşumu gözlenmiştir.



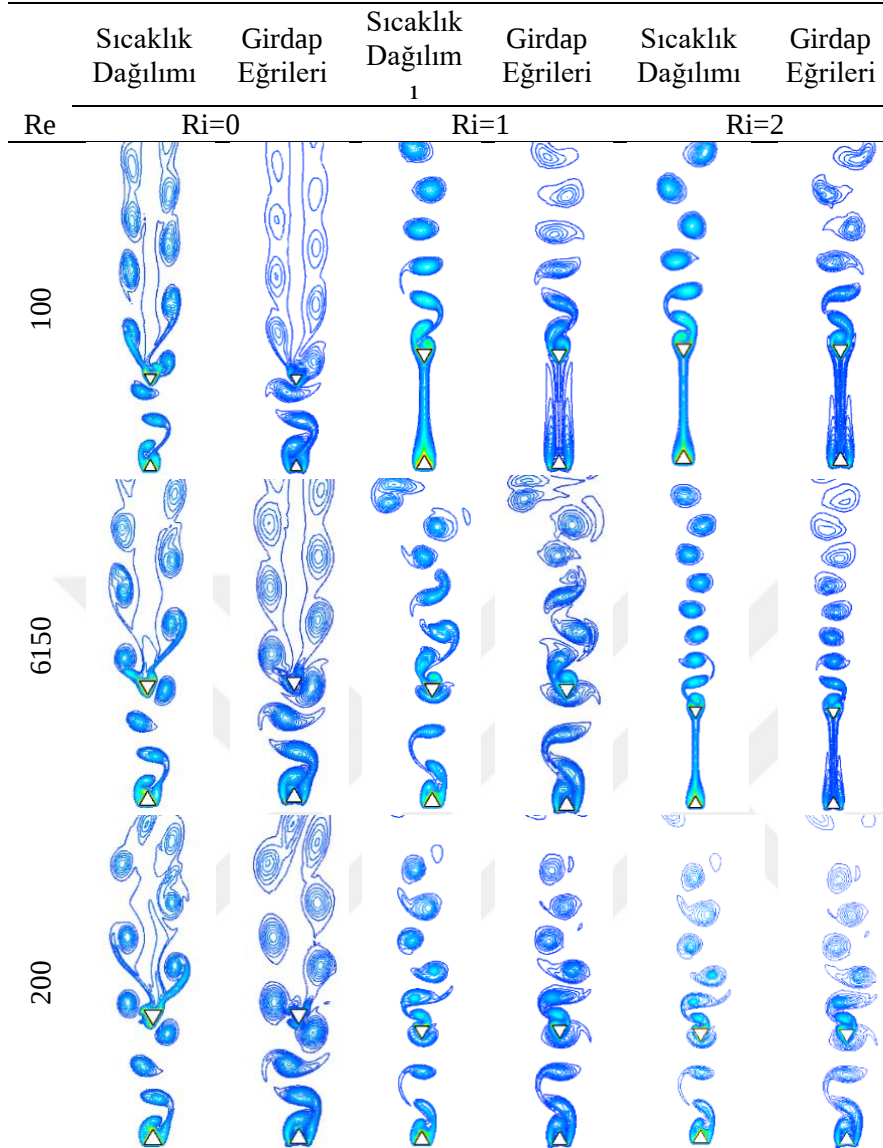
Şekil 5.22. Case 4, $Pr=0.7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.22’de, Case 4, $Pr=7$, $L=2$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. Girdap oluşmayan durumlarda özellikle arkadaki silindirden ayrılan sınır tabakada boğazında daralma meydana gelmiştir (Bakınız Şekil 5.20 kıyasla).



Şekil 5.23. Case 4, $Pr=7$ ve $L=2$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

Şekil 5.22’de, Case 4, $Pr=7$, $L=6$ ve farklı Ri sayılarında sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrileri (sağda) verilmiştir. $Ri=2$ için artan Re sayısı ile arkadaki silindir arkasında oluşan girdap arkadaki silindire daha yakında oluşmuştur. Artan atalet kuvveti girdap oluşumunu hızlandırmıştır diyebiliriz.

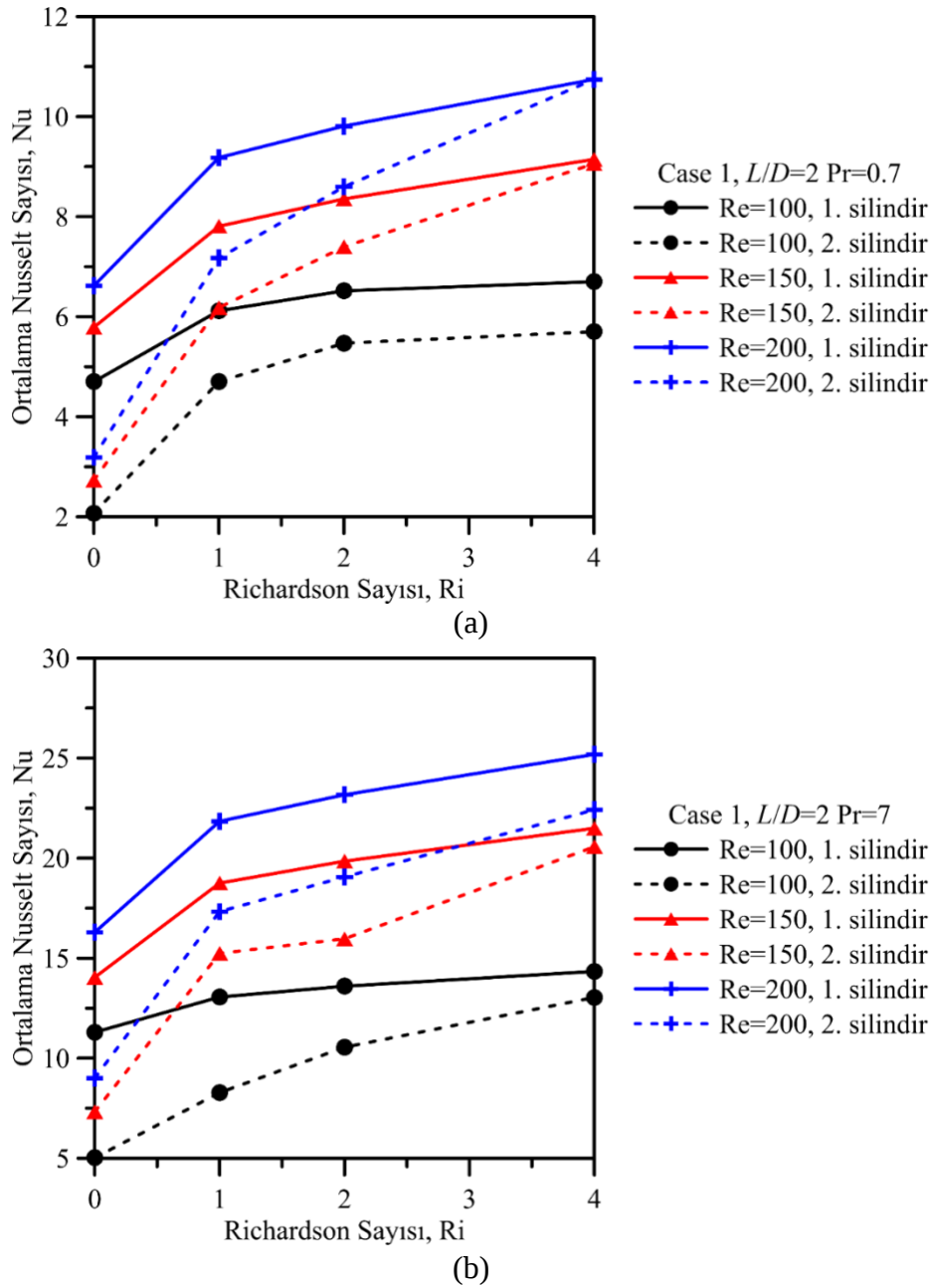


Şekil 5.24. Case 4, $Pr=7$ ve $L=6$ için sıcaklık dağılımı (solda) ve girdap eğrilerinin (sağda) değişimi

5.2. Akış ve Isı Transfer Özelliklerinin Tartışılması

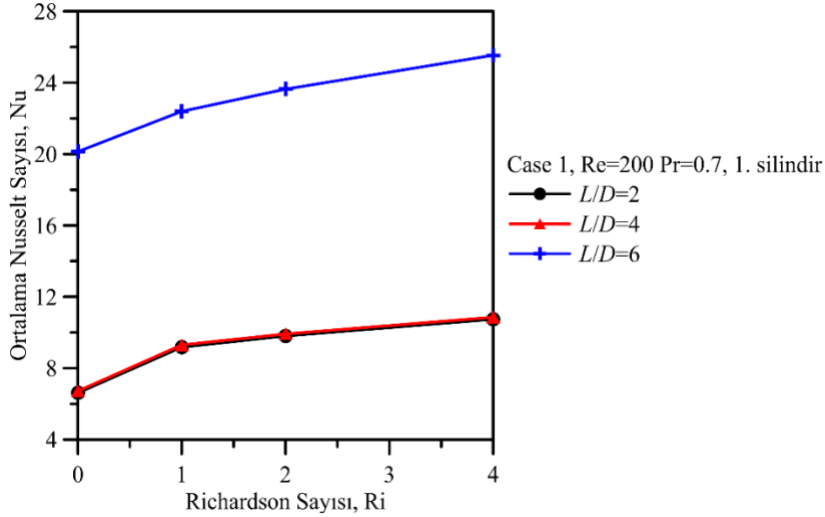
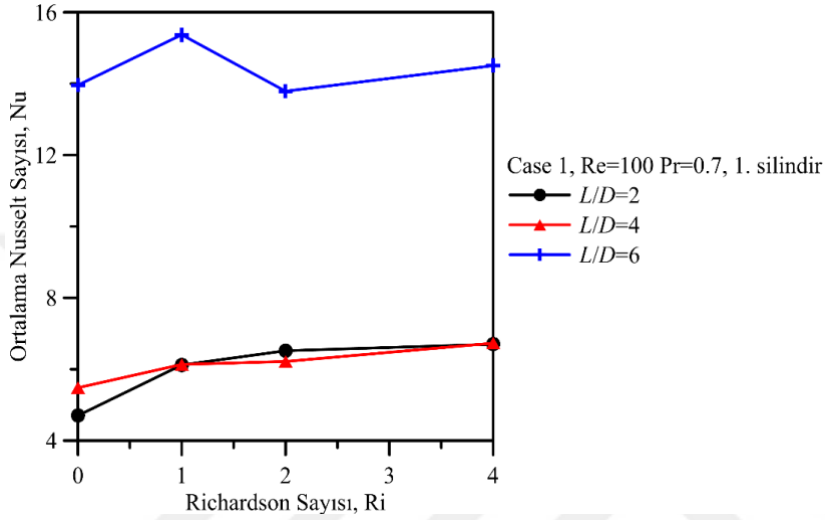
Bu bölümde her bir durum için elde edilen sayısal değerler olan ortalama Nusselt sayısı, ortalama sürüklenme katsayısı, kaldırma kuvveti katsayısı kare ortalama karakök değerleri ve Strouhal sayısı için grafikler çizilmiştir. Çizdirilen grafikler ile sayısal değerler üzerinden her bir geometrinin değişken parametre olarak kabul edilen boyutsuz sayıları üzerinden değişimleri kıyaslanmıştır.

Case 1 ve $L/D=2$ 'de (a) $Pr=0.7$ ve (b) $Pr=7$ için ortalama Nusselt sayısının Richardson ve Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 5.25'de verilmiştir. Tüm durumlarda arkadaki silindirin öndeki silindire göre ortalama Nusselt sayısı daha azdır. Ayrıca artan Reynolds sayısı ile ortalama Nusselt sayısı hem öndeki (1. silindir) hem arkadaki (2. silindir) silindir için artmıştır. Buna benzer olarak artan yüzdürme etkisi ile yani artan Ri sayısı ile de ortalama Nusselt sayısı da artmıştır.



Şekil 5.25. Case 1 ve $L/D=2$ 'de (a) $Pr=0.7$ ve (b) $Pr=7$ için ortalama Nusselt sayısının Richardson ve Reynolds sayısı ile değişimi.

$Pr=0.7$, Case 1, a) $Re=100$ ve b) $Re=200$ 'de öndeki (birinci) silindir için silindir arası mesafenin ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi Şekil 5.26'da verilmiştir. $Re=100$ ve 200 için $L/D=2$ ve 4'deki ortalama Nusselt sayıları birbirine yakın çıkmıştır. $L/D=6$ 'da ise ortalama Nusselt sayısı daha yüksek çıkmıştır. $L/D=6$ 'da silindirler arası mesafenin artması ile oluşan girdaplar ısı transferinin artmasına sebep olmuştur.

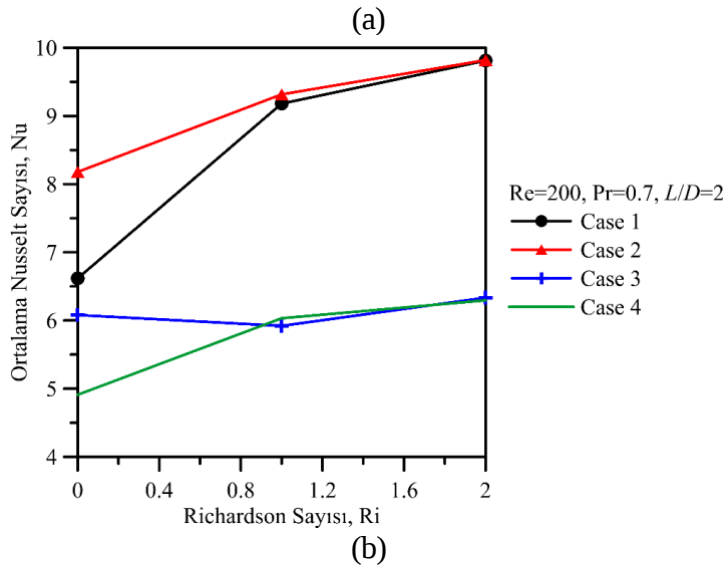
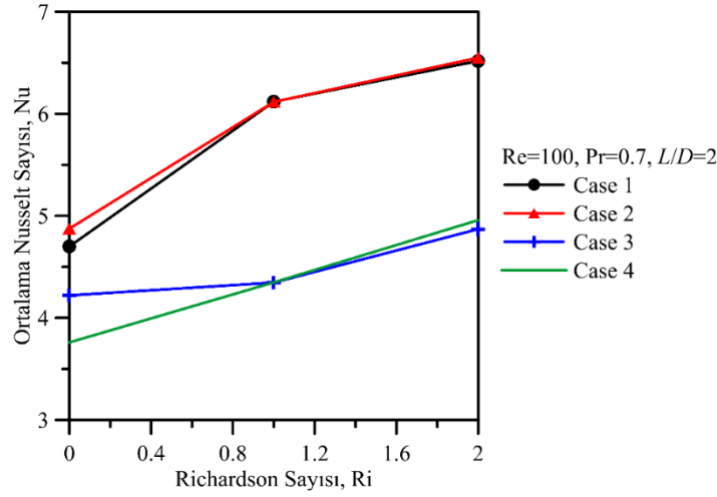


Şekil 5. 26. $Pr=0.7$, Case 1, a) $Re=100$, b) $Re=200$ 'de öndeki silindir için silindir arası mesafenin ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi.

$Pr=0.7$, $L/D=2$, (a) $Re=100$ ve (b) $Re=200$ için üçgen konumlarının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi Şekil 5.2.4'da verilmiştir. $Re=100$ 'de Case 1 ve Case 2 değerleri birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir. Üçgen konumları açısından incelendiğinde Case 3 ve Case 4 değerlerine göre Case 1 ve Case 2 durumunda ortalama Nusselt sayısı daha yüksektir. Ayrıca

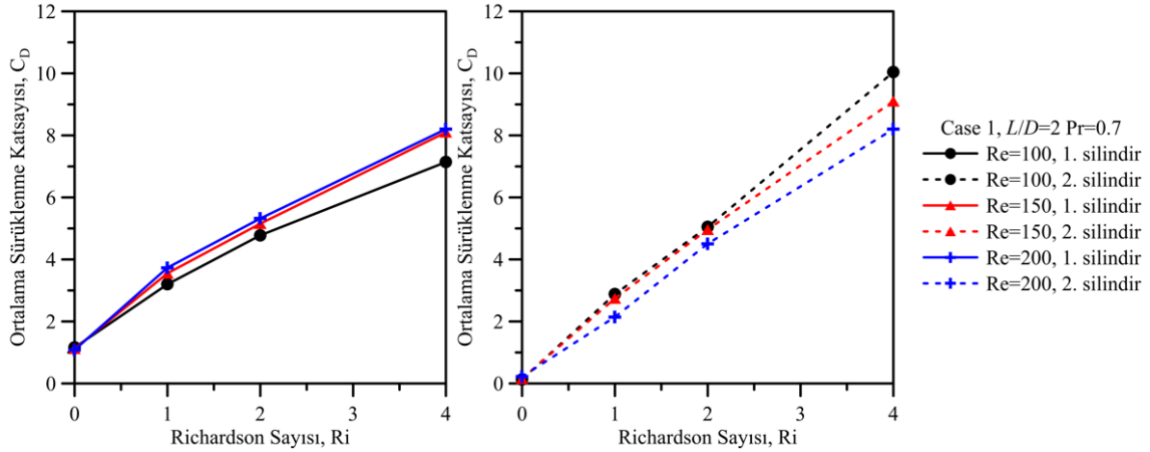
Case 3 ve Case 4'ün de değerleri birbirine yakındır. Buna göre ön silindirin konumu akış açısından önemli bir parametre denebilir. Case 1 ve Case 2'deki öndeki silindir akışı üçgenin uç noktasından aldığı duruma karşılık gelen konumlardır. $Ri=0$ 'da Case 1 ve Case 2'de azda olsa bir fark vardır. Artan Ri sayısı ile değerler hemen hemen çakışır.

$Re=200$ 'de ise Case 1 ve Case 2'nin ortalama Nusselt sayısı diğer durumlardan daha yüksektir. Case 1 ve 2 kendi arasında Case 3 ve 4 kendi arasında değerleri birbirine yakın çıkmıştır. $Ri=0$ 'da üçgen konumu tüm durumlarda farklılığa neden olmuştur. Maksimum ısı geçişi Case 2, minimum ısı geçişi ise Case 4 durumunda gözlenmiştir. Artan Ri sayısı ile ortalama Nusselt sayısı yine artmıştır. Ayrıca artan Ri sayısı ile Case 1 ile Case 2, Case 3 ile Case 4 neredeyse aynıdır.



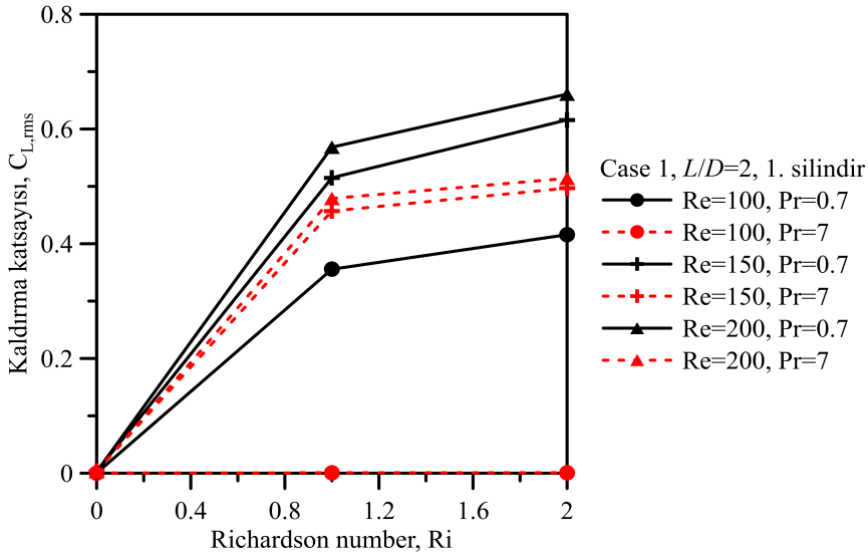
Şekil 5.27. (a). $Pr=0.7$, $L/D=2$, (a) $Re=100$ ve (b) $Re=200$ için üçgen konumlarının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi

Şekil 5.28’de Case 1, hava ve $L/D=2$ için Richardson ve Reynolds sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi verilmiştir. Ortalama sürüklenme katsayısının ($C_{D,mean}$) iki silindir içinde Richardson sayısı arttıkça arttığını görülmektedir. Öndeki silindirde Reynolds sayısı arttıkça $C_{D,mean}$ artmış, arkadaki silindirde ise Reynolds sayısı arttıkça $C_{D,mean}$ değeri azalmıştır.



Şekil 5.28. $Pr=0.7$, $L/D=2$ durumu için Reynolds sayısının her iki silindir için ortalama sürüklenme katsayısı üzerine etkisi.

Her iki akışkanda birinci silindirin, Case 1 ve $L/D=2$ durumu için Reynolds ve Richardson sayısının ortalama kaldırma katsayısı üzerine etkisi Şekil 5.29’da verilmiştir. Akışkanın su olduğu $Re=100$ durumunda ortalama kaldırma katsayısı sıfıra yakın çıkmıştır. Bu durumdaki eş sıcaklık ve girdap eğrileri incelendiğinde akışta girdaplar oluşmamıştır (Bakınız Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Diğer durumlar incelendiğinde Ri sayısı arttıkça $C_{L,rms}$ değeri artış göstermiştir. $Ri=0$ durumda akışkanın hem hava hemde su olması durumunda girdaplar gözlenmediği için $C_{L,rms}$ değeri sıfıra yakın çıkmışken, artan Ri sayısı ile birlikte akıştaki girdaplar $C_{L,rms}$ değerinin artmasına neden olmuştur. St sayısı ile $C_{L,rms}$ değeri de ilişkili olduğu için buna benzer grafikler elde edilmiştir. Ayrıca suyun viskozite değeri havadan daha yüksek olduğu için kaldırma katsayısı değeri daha küçük çıkmıştır.



Şekil 5.29. Case 1 ve $L/D=2$ durumunda Reynolds ve Richardson sayısının birinci silindirdeki ortalama kaldırma katsayısının değişimi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez ile elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Ardışık iki üçgen etrafındaki akışta kayma tabaklarının cisimlerin yüzeylerinden ayrılması nedeniyle girdaplar oluşmaktadır. İki cisim arasındaki mesafeye bağlı olarak cisimlerin etrafındaki akış tipleri değişmekte, bu ise farklı girdap yapılarına ve dolayısı ile farklı girdap kopma frekanslarına sebep olmaktadır.
- Her bir durumda akış alanındaki girdap eğrileri ile eş sıcaklık eğrilerinin benzer olduğu gözlenmiştir.
- Silindirler arası mesafenin küçük olması durumunda silindirler arasında vorteks oluşumu görülmez, fakat silindirler arası mesafe arttıkça silindirler arasında girdaplar oluşur. Bu durumu net bir şekilde $Re=100$, $Ri=0$, Case 1, $L/D=2$ ve $L/D=4$ arasında kıyaslama yapınca görmekteyiz (Bakınız Şekil 5.1 ve Şekil 5.5). Şekil 5.1 de $Ri=0$ 'da tüm Reynolds sayılarında silindirler arası mesafenin küçük olmasında iki silindir arasında girdaplar meydana gelmemiştir. Şekil 5.5'te ise bahsedilen durumda $L/D=4$ olunca silindirler arasında girdaplar oluşuyor. Bir başka örnek ise Şekil 5.9 ile kıyaslama yapınca görülmektedir; $L/D=6$ durumunda

silindirler arası mesafe arttıkça silindirler arasında girdapların arttığı tespit edilmiştir.

- Akışkan su olunca ($Pr = 7$) silindirler arasındaki mesafeye ek olarak Reynolds ve Richadson sayısının artması silindirler arasında girdapları artırıyor bu durumda Şekil 5.3 ve Şekil 5.11'i kıyasladığımızda görüyoruz.
- Case 2'deki arkadaki üçgen Case 1 durumuna göre 180° çevrilmiştir. Buradaki amaç öndeki silindirden ayrılan sınır tabakanın, arkadaki sınır tabaka ile birleşirken üçgen geometrinin konumunun/şeklinin eğriler üzerinde bir fark yaratıp yaratmadığını gözlemektir. Geometri harici diğer tasarım parametrelerinin sabit tutulup sadece geometriyi değiştirdiğimizde geometrinin akış üzerine etkileri net bir şekilde gözlenmektedir. Akış ayrılmaları ve kopmaları üçgen silindir konumu bağlıdır. Bu da silindirler etrafında ve arasında oluşan sınır tabakanın ısı transferini etkilediğini göstermektedir.
- Case 2, $Pr=7$, $L/D=2$, $Ri=1$ için tüm Reynolds sayılarında akışın dümdüz ilerlediğini görüyoruz. $Ri=0$ 'da görülen girdapların $Ri=1$ 'de sönümlenmesi, doğal taşınım zorlanmış taşınımı bastırmasından kaynaklanmaktadır.
- Case 3 durumunda, akışın ilk teması üçgenin taban kenarına denk gelmektedir. Case 1 ve Case 2'de akışın ilk temasının üçgenin tepe noktası ile olması durumunda sınır tabaka üçgenin yanıl kenarlarını yalayarak devam ederken, Case 3 durumunda üçgenin taban kenarı ile olan ilk temas nedeniyle sınır tabaka daha geniş olarak yükselir.
- Case 3, $Pr= 0.7$, $Ri=2$, $L/D=2$ ve $L/D=6$ için tüm Reynolds sayılarda iki silindir arasında vorteks oluşmuyor ikinci silindirden sonra girdap oluşturmak üzere akışta kıvrılma başlıyor. $L/D=6$ 'da bahsedilen kıvrılma daha erken başlıyor.
- Case 3, $Pr=7$, $Re=100$, $Ri=1$ ve $Ri=2$ 'de silindirler arası mesafe fark etmeksizin akış dümdüz ilerliyor. Reynolds sayısı arttıkça girdaplar oluşmaya başlıyor ve bu girdaplar $L/D=6$ daha erken başlıyor.
- Case 4'te öndeki silindirin akışkan ile ilk teması üçgenin taban kenarı iken, arkadaki silindir ile üçgen uç noktaları birbirine bakmaktadır. Hem üçgen konumları hem de silindirler arası mesafenin $L/D=2$ durumunda iki eş kenar üçgen silindir tek silindir üzerinden akış özelliği göstermiştir.

Yapılan tezde gelecekte çalışacak araştırmacılara verilecek öneriler ise aşağıda vurgulanmıştır.

- Çalışmada üç boyutlu olarak ele alınıp çözümler tekrarlanabilir. Böylelikle 2- ve 3- Boyutlu çözümlerin kıyaslaması yapılabilir. Özellikle Altaç ve Mahir (2019) yaptıkları çalışmada Re sayısının 160'dan daha büyük olduğu Reynolds sayılarında 2 boyutlu çözümlerin yeterli olmadığı vurgulamışlardır. Art arda yerleştirilen üçgen kesitli silindirlerde de 3-Boyutlu yapılacak çözümler ile hangi Reynolds sayısından sonra 2-boyutlu çözümlerin değişim gösterdiği araştırılabilir.
- Ayrıca bir sonraki çalışmada akışın türbülanslı olması durumu ele alınıp silindirlere arası ve arkasındaki akış yapıları ve ısı geçişleri incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altaç, Z., Sert, Z., Mahir, N., Timuralp, Ç., 2019, Mixed convection heat transfer from a triangular cylinder subjected to upward cross flow, *International Journal of Thermal Sciences*, 137, 75-85.
- Barros, G.M., Lorenzini, G., Isoldi, L.A., Rocha, L.A.O., dos Santos, E.D., 2017, Influence of mixed convection laminar flows on the geometrical evaluation of a triangular arrangement of circular cylinders, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 114, 1188-1200.
- Bovand, M., Rashidi, S., Esfahani, J.A., 2015, Enhancement of heat transfer by nanofluids and orientations of the equilateral triangular obstacle, *Energy Conversion and Management*, 97, 212-223.
- Dhiman, A.K., Sharma, N., Kumar, S., 2012, Wall Effects on the cross-buoyancy around a square cylinder in the steady regime, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29, 253-264.
- Fallah, D.A., Rezazadeh, S., Jalili, H., Raad, M., 2022, Numerical investigation of triangular bluff bodies size effect on heat and mass transfer phenomena: internal flow, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44(5), 1-18.
- Hassab, M.A., Teamah, M.A., El-Maghlany, W.M., Kandil, M.A., 2013, Experimental study for a mixed convection heat transfer from an isothermal horizontal triangular cylinder, *International Journal of Engineering Sciences*, 2(6), 210-225.
- Iungo, G.V., Buresti, G., 2009, Experimental investigation on the aerodynamic loads and wake flow features of low aspect-ratio triangular prisms at different wind directions, *Journal of Fluids and Structures*, 25, 1119-1135.
- Laidoudi, H., 2018, The effect of blockage ratio on fluid flow and heat transfer around a confined square cylinder under the effect of thermal buoyancy, *Diffusion Foundations*, M. Zidani, D. Miroud, F. Hichem (Eds.), Trans Tech Publications Ltd., p. 1-11.
- Laidoudi, H., Bouzit, M., 2018, The effects of aiding and opposing thermal buoyancy on downward flow around a confined circular cylinder, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 62(1), 42-50.
- Laidoudi, H., Bouzit, M., 2020, Effect of thermal buoyancy on flow pattern from a pair of side-by-side confined triangular cylinders, *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 55(1), 9-14.
- Mahir, N., Altaç, Z., 2019, Numerical investigation of flow and combined natural-forced convection from an isothermal square cylinder in cross flow, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 75, 103-121.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ng, Z.Y., Vo, T., Hussam, W.K., Sheard, G.J., 2016, Two-dimensional wake dynamics behind cylinders with triangular cross-section under incidence angle variation, *Journal of Fluids and Structures*, 63, 302-324.
- Patel, S.A., Chhabra, R.P., 2019, Buoyancy-assisted flow of yield stress fluids past a cylinder: Effect of shape and channel confinement, *Applied Mathematical Modelling*, 75, 892-915.
- Pravesh, R., Dhiman, A., Bharti, R.P., 2019, Aiding buoyancy mixed convection flow and thermal features across a periodic array of heated cylinders, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 1141-1162.
- Shademani, R., Ghadimi, P., Zamanian, R., Dashtimanesh, A., 2013, Assessment of air flow over an equilateral triangular obstacle in a horizontal channel using FVM, *Journal of Mathematical Sciences and Applications*, 1(1), 12-16.
- Sharma, A., Eswaran, V., 2005, Effect of channel-confinement and aiding/opposing buoyancy on the two-dimensional laminar flow and heat transfer across a square cylinder, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(25), 5310-5322.
- Soares, A.A., Couto, N.D., Duarte Naia, M., Gonçalves, N.J., Rouboa, A., 2012, Numerical investigation of effects of buoyancy around a heated circular cylinder in parallel and contra flow, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(5), 1501-1513.
- Srikanth, S., Dhiman, A.K., Bijjam, S., 2010, Confined flow and heat transfer across a triangular cylinder in a channel, *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 2191-2200.
- Vijaybabu, T.R., Anirudh, K., Dhinakaran, S., 2018, Lattice Boltzmann simulations of flow and heat transfer from a permeable triangular cylinder under the influence of aiding buoyancy, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 117, 799-817.
- Zafar, F., Alam, M.M., 2020, Mixed convection heat transfer from a circular cylinder submerged in wake, *International Journal of Mechanical Sciences* 183, 105733.
- Zeitoun, O., Ali, M.E., Nuhait, A., 2010, Numerical study of forced convection around heated horizontal triangular ducts, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 68, 201-212.
- Zeitoun, O., Ali, M.E., Nuhait, A., 2011, Convective heat transfer around a triangular cylinder in an air cross flow, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1685-1697.
- Zhang, X., Wang, Z., He, G., 2009, Autorotation of two tandem triangular cylinders, *Proceedings of FEDSM2009 ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting*, August 2-5, Colorado, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Xu Liu, Nan Gui, Hao Wu, Xingtuan Yang, Jiyuan Tu & Shengyao Jiang 2020, Numerical simulation of flow past a triangular prism with fluid–structure interaction, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics

Mohamed Ali*, O. Zeitoun, A. Nuhait 2011, Forced convection heat transfer over horizontal triangular cylinder in cross flow International Journal of Thermal Sciences 50 (2011) 106e114



EK AÇIKLAMALAR

Sarah Warid Khorsheed

Ek Açıklama – A: Analizlerden okunan CASE 1’e ait değerler

Ek Açıklama – B: Analizlerden okunan CASE 2’ye ait değerler

Ek Açıklama – C: Analizlerden okunan CASE 3’e ait değerler

Ek Açıklama – D: Analizlerden okunan CASE 4’e ait değerler

Ek Açıklama – E: Optimum zaman adının tayini ve ağdan bağımsızlık çalışması

Ocak 2023

Ek Açıklamalar – A: Analizlerden okunan CASE 1’e ait değerler

Hava (Pr=0.7), Case 1, L=2D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	4,7	0,00026	1,161	0	2,0700	0,0626	0,1333	0	5,7860	0,0030	1,1200	0,1563	2,7300	0,0900	0,1587	0,1562	6,6169	0,0025	1,0840	0,1582	3,1860	0,0916	0,2207	0,3125		
1	6,118	0,35558	3,2	0,2344	4,7000	1,3459	2,8800	0,4687	7,8080	0,5150	3,5530	0,4687	6,1820	1,8200	2,7400	0,5469	9,1800	0,5683	3,7330	0,5469	7,1729	1,9716	2,1440	0,2344		
2	6,5170	0,4158	4,7770	0,585	5,4700	1,7760	5,0500	0	8,3540	0,6159	5,1540	0,625	7,3951	2,6883	4,9660	0,3125	9,8100	0,6608	5,3200	0,625	8,5960	2,9330	4,5063	0,0781		
4	6,7000	0,0037	7,1400	0	5,7000	0,0199	10,0400	0	9,1460	0,7520	8,1000	0,7813	9,0600	4,0500	9,1000	0,7031	10,7440	0,7968	8,203	0,703	10,7440	0,3906	8,2030	0,3906		
5	6,9120	0,0092	8,4000	0,2344	6,1400	0,0082	11,9500	0,2344																		
10																										
Su (Pr=7), Case 1, L=2D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	11,3000	0,00027	1,1616	0	5,0290	0,0001	0,1332	0	14,0400	0,0036	1,1200	0	7,3250	0,0890	0,1600	0,156	16,2940	0,0025	1,0840	0,1562	9,0067	0,0913	0,2200	0,1562		
1	13,0600	0,0007	2,5340	0	8,2800	0,0008	2,4900	0,0293	18,7550	0,4570	2,6900	0,195	15,2450	1,3270	1,0800	0,234	21,8440	0,4790	2,8170	0,232	17,3310	1,3236	3,7800	0,2344		
2	13,6000	0,0007	3,6000	0	10,5500	0,0067	3,9500	0	19,8510	0,4970	3,6860	0,234	15,9700	1,3600	2,3760	0	23,1700	0,5140	3,7800	0,468	19,0630	1,1790	3,7700	0,234		
4	14,3400	0,0078	5,6850	0,2734	15,0400	0,0094	6,2100	0,3125	21,4960	0,5590	5,4490	0,507	20,5710	2,2870	4,2680	0,468	25,1880	0,5750	5,5270	0,546	22,4190	2,2110	3,4530	0,234		
10																										
Hava (Pr=0.7), Case 1, L=4D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	5,4800	0,274	1,6180	0,371	3,7690	0,8207	0,3880	0,195	6,9500	0,3930	1,8150	0,195	4,0780	0,6170	0,1450	0,2344	6,7210	0,0016	0,9770	0,117	3,6770	0,1320	0,2730	0,273		
1	6,1330	0,3239	3,3080	0,253	5,8810	1,6020	3,9330	0,3125	7,8760	0,5590	3,4930	0,625	7,126	2,4030	3,0320	0,2344	9,3050	0,6400	3,7200	0,273	7,2430	2,2660	1,8040	0,546		
2	6,2160	0,0136	4,5460	0,449	6,4880	1,1990	4,5400	0,464	8,4100	0,6690	4,8260	0,625	8,5910	3,2200	6,4290	0,312	9,9220	0,7610	5,0110	0,3125	9,9200	3,8190	6,0800	0,3125		
4	6,7290	0,0119	0,3910	0,391	6,9580	0,0170			9,2090	0,8580	7,3330	0,781	10,3510	3,9560	11,5220	0,39	10,8570	0,9394	7,4280	0,3906	11,8200	4,5760	11,1620	0,3906		
10																										

Ek Açıklamalar – A (devam) Analizlerden okunan CASE 1’e ait değerler

Su (Pr=7), Case 1, L=4D																													
		Re=100									Re=150									Re=200									
		ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR						ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR						ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St			
0	13,93	0,273	1,623	0,1953	9,98	0,8209	0,3904	0,1758		17,4390	0,3930	1,8100	0,234	9,2470	0,6300	0,0929	0,195		16,2000	0,0016	0,9670	0,1172	10,4500	0,1320	0,0985	0,2344			
1	15,3700	0,3761	2,7160	0,234	12,8470	0,9802	2,3820	0,195		19,1780	0,4980	2,7850	0,468	14,2840	1,0080	2,1470	0,234		22,2900	0,5357	2,8760	0,2344	15,4700	0,8671	0,5690	0,2344			
2	16,2600	0,4388	3,6680	0,2344	15,3300	1,0704	3,8180	0,3906		20,2250	0,5490	3,4890	0,234	17,4600	1,6840	3,2200	0,2734		23,6730	0,5930	3,6580	0,2734	18,0800	1,5186	1,8510	0,5469			
4	14,5110	0,0080	5,7900	0,3125	17,6480	0,7030	7,1980	0,625		21,8200	0,6262	4,8190	0,3125	22,1600	2,7220	4,5850	0,2734		25,5900	0,6791	4,9000	0,3125	22,6400	2,5960	3,0700	0,5469			

Hava (Pr=0,7), Case 1, L=6D																									
Re=100									Re=150									Re=200							
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR		
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	
0	3,7400	0,2750	1,6355	0,3906	3,7470	0,6633	0,4580	0,1953	6,9420	0,4000	1,8630	0,195	3,4300	0,2980	0,1160	0,39	8,1311	0,1953	1,8790	0,195	3,4613	0,3770	0,0398	0,3906	
1	6,1700	0,348	3,1880	0,546	6,3810	1,6090	4,4270	0,273	7,9060	0,5570	3,5990	0,546	7,6940	2,6410	0,2730	0,273	9,3197	0,6250	3,8430	0,3125	8,9120	3,0740	3,6701	0,293	
2	6,2200	0,3900	4,5500	0,625	7,2900	1,5230	10,0240	0,468	8,4440	0,6590	4,9630	0,625	9,2600	3,2380	7,9160	0,312	10,8790	0,9156	7,6370	0,3125	12,7850	4,2530	13,7200	0,3906	
4	6,7510	0,0037	6,5070	0,0391	7,6110	0,0761	11,0200	0,039	9,2480	0,8500	7,5160	0,742	11,0000	3,7450	13,7700	0,39	9,9380	0,7323	7,6200	0,3125	10,6770	3,7700	7,5480	0,3125	

Su(Pr=7), Case 1, L=6D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	13,9600	0,2745	1,6350	0,3906	9,9921	0,6105	0,4415	0,3906	17,4100	0,4020	1,8750	0,214	9,5000	0,3002	0,1170	0,41	20,1390	0,4250	1,8720	0,234	8,8720	0,3430	0,0360	0,195		
1	15,3720	0,3830	2,5320	0,4688	13,9500	1,8203			19,1630	0,4940	2,8330	0,2344	14,3650	1,0352	2,1400	0,4688	22,3950	0,5430	3,0150	0,468	16,5250	1,1420	0,8890	0,234		
2	13,7900	0,0562	3,1350	0,1953	16,5940	0,5758	4,4000	0,625	20,1900	0,5389	3,5660	0,2344	18,6300	1,8200	3,5620	0,5469	23,6410	0,5870	3,7260	0,546	20,3600	1,8400	2,7110	0,391		
4	14,5070	0,0040	5,0210	0,351	18,7460	0,8820	7,2320	0,625	21,7790	0,6130	4,8960	0,2930	23,2340	2,6010	5,3840	0,312	25,5400	0,6486	5,0050	0,5469	20,2000	1,8340	2,8900	0,2734		

Ek Açıklamalar – B Analizlerden okunan CASE 2’e ait değerler

Hava (Pr=0,7), Case 2, L=2D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St		
0	4,874	0,014	1,233	0,1172	2,2610	0,2492	0,1766	0,1172	6,9140	0,3659	1,578	0,3320	4,8770	1,2500	0,6477	0,3125	8,1780	0,4180	1,7250	0,3516	5,8790	1,1788	0,4610	0,3125		
1	6,116	0,328	3,021	0,2344	3,9190	1,578	2,6990	0,2344	7,8590	0,5006	3,3690	0,2344	5,5460	1,9360	2,3160	0,2344	9,3160	0,5605	3,5880	0,3125	6,7690	1,9490	1,9440	0,4687		
2	6,5490	0,3640	4,5100	0,625	4,3700	1,5350	4,8360	0,3125	8,4320	0,5970	4,9220	0,3125	6,0240	2,5180	3,9970	0,3125	9,8180	1,0860	4,7380	0,2734	7,3400	2,5240	3,1800	0,625		
Su (Pr=7), Case 4, L=2D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St		
0	12,2750	1,23	0,0140	0,1172	5,6380	0,2496	0,2496	0,1172	18,0990	0,3678	1,5830	0,3125	14,1400	1,2480	0,6446	0,3125	21,2820	0,4185	0,4182	0,3516	16,6640	1,1767	0,4570	0,1953		
1	13,6850	0,0023	2,4360	0	6,8850	0,0059	1,9648	0	17,2043	0,0047	2,2269	0,0488	8,1180	0,0072	1,7715	0,0488	19,9339	0,0004	2,1433	0	9,3114	0,0022	1,6540	0		
2	16,7800	0,4162	3,4250	0,1562	7,3200	1,1590	3,4000	0	21,0440	0,4971	3,5659	0,2344	16,5550	1,5270	2,2611	0,2344	24,7140	0,5350	3,7040	0,4687	20,5110	1,6235	2,0633	0,4687		
Hava (Pr=0,7), Case 2 L=6D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St		
0	5,6400	0,2690	1,6600	0,3906	3,1100	0,4980	0,5065	0,3906	7,0600	0,3740	1,8700	0,2544	3,0720	0,1689	0,2939	0,1953	8,3170	0,3980	1,9300	0,1562	3,2780	0,3220	0,0680	0,3906		
1	6,2200	0,329	3,4000	0,2344	4,9200	2,4100	4,7780	0,5469	8,0567	0,5043	3,8180	0,3125	6,3400	2,5190	4,2270	0,3125	9,5970	0,5750	4,0710	0,625	7,6580	2,4680	3,7820	0,5859		
2	6,3120	0,0566	4,6440	0,3125	4,8970	2,7300	9,3890	0,625	8,2900	0,5990	4,924	0,3125	6,0120	2,51	0,3125	3,951	10,2510	0,6754	5,5660	0,625	8,8540	3,2200	6,6200	0,6442		
Su (Pr=7), Case 4, L=6D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR				ALTSİLİNDİR					ÜSTSİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St	Nu	C _{fms}	C _D	St		
0	14,8400	0,269	1,6570	0,1953	7,0460	0,5011	0,5084	0,3711	18,9900	0,3790	1,8900	0,1563	6,673	0,169	0,2933	0,1953	21,1200	0,4660	3,0880	0,4688	6,6730	0,2933	0,1690	0,1953		
1	15,5610	0,3804	2,7820	0,2344	12,0400	1,4800	2,6050	0,4297	21,1600	0,4660	3,0880	0,4688	14,4440	1,2190	1,6880	0,2344	22,3940	0,5171	4,0160	0,5078	18,0600	1,9140	3,6400	0,2734		
2	17,6700	0,4350	3,7480	0,2344	13,9050	1,8020	4,2130	0,2344	22,3940	0,5171	4,0160	0,5078	18,0600	1,9140	3,6400	0,5078	22,3010	0,4007	1,9430	0,3906	7,6670	0,0747	0,3334	0,3906		

Ek Açıklamalar – C Analizlerden okunan CASE 3’e ait değerler

Hava (Pr=0,7), Case 3, L=2D																										
	Re=100									Re=150									Re=200							
	ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St
0	4,221	0,6881	1,953	0,2539	4,0990	1,1287	0,6270	0,2539		5,1490	0,8970	2,0737	0,2734	5,3550	0,1367	0,7841	0,2734		6,0800	1,0360	2,1550	0,1563	6,3420	1,3630	0,8280	0,1367
1	4,346	0,001	2,9	0,2539	4,2000	0,0463	2,9500	0,2295		5,1500	0,3830	2,8990	0,3906	5,2110	0,9950	2,9160	0,1953		5,9210	0,6430	2,7630	0,1563	6,5560	1,5330	2,5305	0,1562
2	4,8700	0,0041	3,8100	0,4422	3,6000	0,0050	5,6100	0,2295		5,4700	0,0149	3,7100	0,2441	5,4000	0,1919	5,4000	0,3125		6,3340	0,0248	3,7800	0,2734	7,2470	2,0110	7,9400	0
Su (Pr=7), Case 3, L=2D																										
	Re=100									Re 150									Re=200							
	ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St
0	12,2750	0,014	1,2300	0,1172	5,6380	0,2496	0,1766	0,2339		14,7670	0,9399	2,1980	0,3125	9,8790	0,8373	0,167	0,1563		16,9640	1,0426	2,1550	0,2344	16,7870	1,4122	0,7521	0,1172
1	13,6850	0,0023	2,4360	0	6,8850	0,0059	1,9648	0		11,4000	0,0031	2,4040	0	8,7690	0,0043	1,4200	0		16,3090	0,8380	2,6090	0,3125	18,4270	1,3230	1,7750	0,3094
2	16,7800	0,4162	3,425	0,1562	7,2300	1,1590	3,4000	0		13,1374	0,0582	2,8100	0,1563	11,5520	0,0366	2,5100	0		17,3510	0,5861	2,9470	0,1562	18,4500	1,1782	2,4150	0,1563
Hava (Pr=0,7), Case 3, L=6D																										
	Re=100									Re=150									Re=200							
	ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St
0	4,2010	0,7220	2,0040	0,1563	3,5800	0,7081	0,4797	0,3125		5,2050	0,9320	2,1805	0,3125	3,9830	0,5930	0,1660	0,3223		6,3800	0,0247	3,7600	0,2734	4,4599	0,5408	0,1526	0,1562
1	4,3700	0,00746	3,0250	0,2344	4,2360	0,5810	4,7270	0,2344		5,1300	0,0198	2,9200	0,2344	5,2230	1,1680	4,7590	0,2344		5,9490	0,4277	2,9640	0,2148	6,8490	1,7470	3,7540	0,1562
2	4,9320	0,0133	3,9250	0,2344	4,9100	1,0625	8,3530	0,2734		5,6800	0,0180	3,8	0,2734	6,3420	1,728	8,1550	0,2734		6,3340	0,0248	3,7800	0,2734	7,2470	2,0110	7,9400	0
Su (Pr=7), Case 3, L=6D																										
	Re=100									Re=150									Re=200							
	ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR					ALT SİLİNDİR				ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St		Nu	C _{lms}	C _D	St	Nu	C _{lms}	C _D	St
0	11,3200	0,7174	1,9900	0,3125	8,6850	0,715	0,4890	0,293		14,7570	0,9408	2,1910	0,3125	9,7800	0,5930	0,1672	0,3125		17,6700	1,0719	2,2766	0,332	11,0280	0,5404	0,1548	0,1563
1	10,1600	0,0060	2,6500	0	8,9900	0,0031	2,6800	0		14,4400	0,6550	2,7330	0,1563	16,1940	1,3980	2,6500	0,1563		17,2300	1,0860	2,8337	0,1953	19,1100	1,4116	2,3338	0,1563
2	11,5000	0,1140	3,5500	0	10,1980	0,0055	4,3300	0		14,3000	0,0484	3,3300	0	12,5800	0,0004	4,3530	0		17,3790	0,2844	3,3830	0,1172	17,6660	0,7834	4,2358	0,1953

Ek Açıklamalar – D Analizlerden okunan CASE 4’e ait değerler

Hava (Pr=0,7), Case 4, L=4D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	3,76	0,095	1,614	0,2344	2,7800	0,3121	1,5630	0,1563	4,3200	0,0918	1,607	0,2344	3,4030	0,3140	0,2790	0,2344	4,9100	0,0821	1,5900	0,2344	4,0470	0,2940	0,3940	0,2344		
1	4,348	0,0134	2,951	0,3125	4,6800	0,3103	3,6660	0,625	5,0740	0,0289	2,8630	0,3906	6,1790	0,5530	4,0967	0,3125	6,0326	0,6112	2,9526	0,1953	8,1700	1,3170	3,6880	0,4004		
2	4,9580	0,0221	3,8780	0,3906	5,8100	0,6970	6,8450	0,3906	5,6800	0,0289	3,7650	0,3906	7,5000	1,0080	7,4010	0,3906	6,2950	0,0288	2,2680	0,3223	4,1040	0,5870	0,1087	0,1563		
Su (Pr=7), Case 4, L=4D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	10,0140	0,0953	1,6140	0,2344	7,2157	0,4118	0,1563	0,2344	12,2300	0,0918	1,6040	0	9,6670	0,3140	0,279	0,2344	13,8270	0,0237	1,5930	0,1172	12,1640	0,2940	0,3483	0,1172		
1	10,2700	0,0091	2,5900	0	9,2568	0,0031	2,2510	0	14,1770	0,6973	2,6890	0,332	15,6300	1,1174	1,6850	0,166	17,108	0,864	2,787	0,1562	18,32	1,319	1,685	0,1758		
2	11,5050	0,0059	3,29	0,0000	11,1500	0,0007	3,8000	0	14,2000	0,0237	3,2670	0,5078	17,7500	0,4516	3,7840	0,234	17,6160	0,6015	3,3055	0,3156	21,889	1,1643	3,4190	0,1758		

Hava (Pr=0,7), Case4, L=6D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	4,208	2,016	2,03	0,239	3,725	0,798	0,317	0,146	5,2050	0,9310	2,1780	0,317	3,6870	0,6140	0,0350	0,156	6,1460	1,0450	2,2680	0,3223	4,1040	0,5870	0,1083	0,1563		
1	4,3760	0,005	3,0370	0,351	6,2130	0,7220	5,2130	0,346	5,1140	0,0100	2,9540	0,351	7,9570	0,8990	5,8100	0,712	5,9640	0,4420	2,9920	0,2148	9,6400	1,3604	4,8250	0,332		
2	4,9700	0,0120	3,9330	0,918	7,3250	1,2970	9,6110	0,459	5,6940	0,0135	3,827	0,9370	9,3520	1,491	10,1450	0,468	6,3200	0,0132	3,8000	0,4687	11,06	1,5270	10,3300	0,4688		

Su (Pr=7), Case 4, L=6D																										
Re=100									Re=150									Re=200								
ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR				ALT SİLİNDİR					ÜST SİLİNDİR			
Ri	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St	Nu	C _{Lms}	C _D	St		
0	11,3430	0,7202	2,0100	0,293	9,5900	0,7980	0,3175	0,1465	14,7560	0,9331	2,1820	0,3125	9,2670	0,6270	0,0720	0,3125	17,6680	1,0452	2,2685	0,3125	11,6400	0,5981	0,1108	0,1562		
1	10,1893	0,0063	2,6670	0,2148	14,4499	0,3322	2,7580	0,2148	14,4600	0,6640	2,7730	0,3125	18,0020	1,3540	2,4008	0,1758	17,1313	0,8131	2,8650	0,3125	21,0190	1,6225	2,2880	0,1758		
2	11,5100	0,0109	3,3370	0,2734	16,9290	0,5160	4,5106	0,2734	14,2800	0,0242	3,3510	0,293	21,4752	0,6659	4,8920	0,2734	17,4680	0,2950	3,3880	0,1172	25,4210	0,7200	5,0440	0,293		

Ek Açıklamalar – E Optimum zaman adının tayini ve ağdan bağımsızlık çalışması

Arkadaki silindir – Kanal çıkışına yakın olan silindir							Öndeki silindir – Kanal girişine yakın olan										
St	C _{Lmean}	C _{Lrms}	St	C _{Dmean}	C _{Drms}	Nu	St	C _{Lmean}	C _{Lrms}	St	C _{Dmean}	C _{Drms}	Nu	Cells No	Diğüm No	Açıklama	
0,1367	0,0003	0,07515	0,2734	-0,07233	0,07243	2,1741	0,134	-0,0011	0,004	0	1,17581	1,1758	4,8867	53584	27058	tip 1	
0,1172	0,0004	0,07321	0,2734	-0,0708	0,0708	2,1762	0,1367	-0,0052	0,004325	0	1,1802	1,1802	4,81389	172135	86580	adapt1	
0,1172	0,00005	0,053	0	-0,09365	0,09367	2,14775	0,127	-0,00225	0,00309	0	1,1803	1,1803	4,799	646501	324241	adapt 2	
0,1367	0,001708	0,073845	0,2734	-0,07258	0,072689	2,165	0,134	0,005	-0,00029	0	1,1778	1,1778	4,9	26688	13492	tip 2	
0,1172	0,00815	0,07301	0,2734	-0,07111	0,07102	2,1761	0,1367	0,00449	-0,0004	0	1,18076	1,18078	4,81961	95046	47815	adapt1	
0,116	0,001124	0,05445	0	-0,0918	0,091823	2,15	0,1172	0,003224	-0,00029	0	1,180475	1,180475	4,80444	368643	184903	adapt2	
0,117	0,000781	0,05371	0	-0,09204	0,092067	2,14	0	-0,000232	0,00323	0	1,1809	1,1809	4,804409	346116	173633	adapt3	Optimum olarak bu meshi seçtik..
																Optimum Zaman Adımı	
0	0,000108	0,000108	0	0,0001	0,0001	2,078	0	0,000007	-0,00028	0	1,1608	1,1608	4,779	346116	173633	0,1	
0	0,000108	0,000108	0	0,133324	0,133324	2,078	0	0,000278	0,000283	0	1,161	1,161	4,788	346116	173633	0,075	
0,117	0,000781	0,05371	0	-0,09204	0,092067	2,14	0	-0,000232	0,00323	0	1,1809	1,1809	4,804409	346116	173633	0,05	
0	0,0001	0,0001	0	-0,13325	0,13325	2,07	0	0,0002766	0,00027	0	1,1608	1,1609	4,72	346116	173633	0,02	
0	0,0001	0,0001	0	-0,13326	0,13326	2,07	0	0,00026	0,00026	0	1,161	1,161	4,78	346116	173633	0,025	
0,1221	0,06255	0,00128	0	-0,0834	0,083489	2,167	0	-0,000271	0,00365	0	1,183	1,183	4,798	346116	173633	0,04	