



**TEK SİLİNDİR İLE FARKLI GÖRÜNÜM ORANLARINA  
SAHİP ELİPSLER ETRAFINDAKİ BLOKAJLI LAMİNER  
AKIŞTA MOMENTUM VE TERMAL  
MEKANİZMALARIN NÜMERİK İNCELENMESİ**

**Şevval FERAZOĞLU**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK SİLİNDİR İLE FARKLI GÖRÜNÜM ORANLARINA SAHİP ELİPSLER  
ETRAFINDAKİ BLOKAJLI LAMİNER AKIŞTA MOMENTUM VE TERMAL  
MEKANİZMALARIN NÜMERİK İNCELENMESİ**

**Şevval FERAZOĞLU**  
0000-0002-7686-7343

Prof. Dr. A. Alper ÖZALP  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TEK SİLİNDİR İLE FARKLI GÖRÜNÜM ORANLARINA SAHİP ELİPSLER ETRAFINDAKİ BLOKAJLI LAMİNER AKIŞTA MOMENTUM VE TERMAL MEKANİZMALARIN NÜMERİK İNCELENMESİ

Şevval FERAZOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. A. Alper Özalp

Dairesel silindir etrafındaki akışlar uzun yıllardır çalışmalara konu olmuş, kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Diğer yandan özellikle düşük Reynolds sayılarında eliptik silindirler üzerindeki akış ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Literatürdeki bu boşluğa kaynak sağlayabilmek amacıyla görünüm oranı  $(GO) 0,33 \leq GO \leq 1$  arasında ve blokaj oranı  $0,333 \leq BO \leq 0,8$  arasında değişen farklı senaryolarda hidrolik çapa bağlı  $Re=40$ 'da, sıkıştırılmaz, laminer, sürekli ve iki boyutlu akış için blokaj ve görünüm oranının akış yapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sınırlandırılmış akış durumunda silindirler paralel duvarların arasına simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Belirlenen sınır şartları altında Navier-Stokes ve enerji denklemleri Ansys-CFX 16.0 yazılımı ile çözdürülmüştür. Farklı senaryolar üzerinden yapılan analizler sonucunda statik basınç, yüzey kayma gerilmeleri, Nusselt sayıları, ayrılma açıları, basınç katsayıları, sürtünme katsayıları, boyutsuz hız ve sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Bunun yanında blokaj ve görünüm oranının hidrodinamik ve termal parametreler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Görünüm oranının sabit kalıp blokaj oranının arttığı senaryolarda blokaj oranının artması ile girdap boyutunun küçüldüğü ve bazı durumlarda oluşmadığı görülmüştür. Blokaj oranına bağlı olarak girdap görülmeye başlandığı görünüm oranı farklılık göstermesine karşın tüm blokaj oranları için  $GO=0,46$  ve  $GO=0,33$  için girdap oluşumu gözlenmemiştir. Bu sonuç girdap oluşumu için  $0,46 < GO < 0,6$  aralığında kritik bir değer olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Blokaj oranı, dairesel silindir, eliptik silindir, eksen oranı, akış karakteristikleri, ayrılma açısı, termal karakteristikler

**2020, ix + 101 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### NUMERICAL INVESTIGATION OF MOMENTUM AND THERMAL CHARACTERISTICS AROUND A SINGLE CYLINDER AND ELLIPSIS, WITH VARIOUS ASPECT RATIOS, IN LAMINAR FLOW WITH BLOCKAGE

Şevval FERAZOĞLU

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. A. Alper ÖZALP

Flows around the circular cylinder have been the subject of studies for many years and have been studied extensively. On the other hand, studies on flow on elliptical cylinders are limited, especially at low Reynolds numbers. Intending to bridge the gap in the literature, the aspect ratio (GO) is between  $0.33 \leq GO \leq 1$  and the blockage ratio is between  $0.333 \leq BO \leq 0,8$  in different scenarios depending on the hydraulic diameter  $Re = 40$ , for uncompressed, laminar, continuous and two-dimensional flow. The effect of blockage and aspect ratio on flow structure has been investigated. In the case of restricted flow, the cylinders are placed symmetrically between parallel walls. Under the specified boundary conditions, Navier-Stokes and energy equations were solved with Ansys-CFX 16.0 software. As a result of the analysis made over different scenarios, static pressure, surface shear stresses, Nusselt numbers, separation angles, pressure coefficients, friction coefficients, dimensionless velocity and dimensionless temperature values calculated. Besides, the effect of blockage and aspect ratio on hydrodynamic and thermal parameters was investigated. In scenarios where the aspect ratio is fixed and the blockage rate increases, it has been observed that the vortex size decreases with the increase of the blockage rate and in some cases does not occur. Depending on the blockage rate, the appearance ratio at which the vortex begins to appear differs, but for  $GO = 0.46$  and  $GO=0,33$  for all blockage rates, vortex formation was not observed. This result showed that there is a critical value in the range of  $0.46 < GO < 0.6$  for vortex formation.

**Key words:** blockage ratio, circular cylinder, elliptical cylinder, aspect ratio, flow characteristic, thermal characteristic

**2020, ix + 101 pages.**

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1 Dairesel Silindir Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları.....	2
2.2 Eliptik Silindir Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları .....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1 Silindir Etrafında Oluşan Akış Rejimi .....	10
3.2 Boyutsuz Sayılar ve Fiziksel Anlamları.....	13
3.3. Silindir Etrafındaki Akışta Hız Hakkında Bilgiler.....	17
3.4 Laminer Sınır Tabakası Kalınlığı.....	18
3.5 Sınır Tabaka Ayrılma Açısı .....	18
3.6 Akış Çizgileri .....	19
3.7 Sınırlandırılmış Akış .....	20
3.8 Sınır Koşulları .....	23
3.9 Eksen Oranının Akış Yapısına Olan Etkisi.....	23
3.10 Analizi Yapılacak Geometrinin Oluşturulması .....	23
3.10.1 Silindir Etrafında Akış Geometrisinin Oluşturulması.....	23
3.10.2 Elips Etrafında Akış Geometrisinin Oluşturulması .....	25
3.11 Ağ Yapısının Oluşturulması.....	28
3.12 Sınır Şartlarının Tanımlanması ve Programın Çalıştırılması .....	36
3.13 Analiz Sonuçlarının Alınması .....	40
4. BULGULAR .....	42
4.1. Doğrulama Çalışmaları .....	42
4.2. Belirli Blokaj Oranlarında Görünüm Oranına Bağlı Ortaya Çıkan Sıcaklık Konturları .....	51
4.3. Görünüm ve Blokaj Oranı Değişimine Bağlı Ortaya Çıkan Sıcaklık Konturları.....	54
4.4. Görünüm Oranının Girdap Boyutu ve Sınır Tabaka Ayrılması Üzerine Etkisi.....	59
4.5. Blokaj Oranının Girdap Boyutu ve Ayrılma Açısı Üzerine Etkileri.....	65
4.6. Blokaj ve Görünüm Oranına Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Boyutsuz Hız ve Sıcaklık Grafikleri .....	69
4.7. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Kayma Gerilmesinin Değişimi.....	79
4.8. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Sürtünme Katsayısının Değişimi.....	82
4.9. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Basınç Katsayısının Değişimi .....	84
4.10. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Nusselt Sayı Değişimi.....	87
4.11. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Basınç Değişimi.....	89

5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	93
KAYNAKLAR .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	101



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$\beta$	Blokaj oranı
$\mu$	Dinamik viskozite [Pa s]
$\rho$	Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]
$\theta_s$	Ayrılma açısı [°]
$\tau_s$	Kayma gerilmesi [Pa]
2a	Eliptik silindirin uzun çapı [m]
2b	Eliptik silindirin kısa çapı [m]
$C_d$	Sürüklenme katsayısı
$C_f$	Sürtünme katsayısı
$C_p$	Basınç katsayısı [J/kgK]
d	Dairesel silindir çapı [m]
H	Kanal genişliği [m]
H	Isı transfer katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]
$h_{ort}$	Ortalama ısı transfer katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]
k	Isı iletim katsayısı [W/mK]
L	Kanal uzunluğu [m]
Nu	Nusselt sayısı
$Nu_{ort}$	Ortalama Nusselt sayısı
$Nu_{\theta}$	Lokal Nusselt sayısı
P	Statik basınç [Pa]
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık [K]
$T_{\infty}$	Giriş sıcaklığı [K]
$T_s$	Silindir yüzey sıcaklığı [K]
u	x-yönünde hız [m/s]
$U_{\infty}$	Giriş hızı [m/s]
v	y-yönünde hız [m/s]
x	Koordinat sisteminde x-yönü
y	Koordinat sisteminde y-yönü

Kısaltmalar	Açıklama
CFD	Computational fluid dynamics
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
GO	Görünüm oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Elips geometrisinin kısa ve uzun çaplarının gösterimi .....	9
Şekil 3.2. Blokaj oranında kullanılan uzunlukların şematik gösterimi .....	10
Şekil 3.3. Dairesel silindir etrafında oluşan akış rejimleri .....	11
Şekil 3.4. Girdap karakteristikleri .....	12
Şekil 3.5. Girdap Durgunluk Noktası (GO=1 için) .....	12
Şekil 3.6. Silindir etrafındaki akış alanı ve analiz şartları .....	22
Şekil 3.7. Koordinat sistemi .....	22
Şekil 3.8. Sınır şartı verilecek kısımların eklenmesi .....	29
Şekil 3.9. Sınır şartlarının isimlendirilmesi .....	30
Şekil 3.10. Geometrinin blok haline getirilmesi .....	30
Şekil 3.11. Blok kenarlarının eğri olarak ilişkilendirilmesi .....	31
Şekil 3.12. $\beta=0,333$ için bölünecek bloklar için atanan noktaların yerleri .....	32
Şekil 3.13. Blok üzerinde atanan noktaların çizgiler ile birleştirilmesi .....	32
Şekil 3.14. Ogrid komutu ile silindir etrafında oluşturulan bloğun görünümü .....	33
Şekil 3.15. Çemberin etrafında oluşan bloğun çember kenarlarına benzetilmesi .....	33
Şekil 3.16. Silindir etrafında oluşturulan bloğun silindir kenarına uygun hale getirilmesi Snap Project Vertices işlemi .....	34
Şekil 3.17. Bütün bloğu parçalara bölme kısımlarının oluşturulması .....	35
Şekil 3.18. Pre-mesh sonucunda elde edilen ağ yapısı .....	36
Şekil 3.19. CFX'de analiz tipinin tanımlanması işlemi .....	37
Şekil 3.20. CFX'de akış çeşidinin tanımlanması .....	38
Şekil 3.21. Havanın akış hızının ve hesaplama alanına giriş koşullarının tanımlanması .....	38
Şekil 4.1. Hesaplama alanının gösterimi a) Fiziksel model b) Koordinat sistemi .....	43
Şekil 4.2. GO=1-0,33 aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki kayma gerilmesi değişimi a) $\beta=0,333$ için kayma gerilmesi değişimi, b) $\beta=0,571$ için kayma gerilmesi değişimi, c), $\beta=0,8$ için kayma gerilmesi değişimi .....	80
Şekil 4.3. GO=1-0,33 aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısı değişimi a) $\beta=0,333$ için sürtünme katsayısı değişimi, b) $\beta=0,571$ için sürtünme katsayısı değişimi, (c) $\beta=0,8$ için silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısı değişimi .....	83
Şekil 4.4. GO=1-0,33 aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki basınç katsayısı değişimi a) $\beta=0,333$ için basınç katsayısı değişimi, b) $\beta=0,571$ için basınç katsayısı değişimi, (c) $\beta=0,8$ için silindir yüzeyindeki basınç katsayısı değişimi .....	85
Şekil 4.5. Belirli blokaj oranlarında görünüm oranının değişmesine bağlı olarak Nusselt sayılarında meydana gelen değişim a) $\beta=0,333$ 'de görünüm oranına bağlı Nusselt sayı değişimi b) $\beta=0,571$ 'de görünüm oranına bağlı Nusselt sayı değişimi c) $\beta=0,8$ 'de görünüm oranı .....	88
Şekil 4.6. Belirli blokaj oranlarında görünüm oranının değişmesine bağlı olarak statik basınç değerlerinde meydana gelen değişim a) $\beta=0,333$ 'de görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi b) $\beta=0,571$ 'de görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi c) $\beta=0,8$ 'de görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi .....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri .....	26
Çizelge 3.2. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri .....	27
Çizelge 3.3. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri .....	28
Çizelge 4.1. Doğrulama çalışmasında kullanılan parametreler.....	43
Çizelge 4.2. Doğrulama çalışması- basınç değerleri.....	44
Çizelge 4.3. Doğrulama çalışması - kayma Gerilmeleri, ayrılma açıları ve $C_f$ değerleri.....	45
Çizelge 4.4. Doğrulama Çalışması - taşınım ile ısı transfer katsayıları ve Nu sayıları.....	46
Çizelge 4.5. Doğrulama Çalışması- Silindir arkasında oluşan boyutsuz hız değerleri ...	47
Çizelge 4.6. Doğrulama çalışması- silindir arkasında oluşan boyutsuz sıcaklık değerleri .....	48
Çizelge 4.7. Doğrulama Çalışması- silindir önünde oluşan boyutsuz hız değerleri .....	49
Çizelge 4.8. Doğrulama çalışması- silindir önünde oluşan boyutsuz sıcaklık değerleri.....	50
Çizelge 4.9. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları .....	51
Çizelge 4.10. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları .....	52
Çizelge 4.11. $\beta=0,8$ için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları .....	53
Çizelge 4.12. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	54
Çizelge 4.13. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	55
Çizelge 4.14. $\beta=0,8$ için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	55
Çizelge 4.15. Görünüm oranı 1'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	56
Çizelge 4.16. Görünüm oranı 0,86'a eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	56
Çizelge 4.17. Görünüm oranı 0,73'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	57
Çizelge 4.18. Görünüm oranı 0,6'a eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	57
Çizelge 4.19. Görünüm oranı 0,46'ya eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	58
Çizelge 4.20. Görünüm oranı 0,33'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları .....	58
Çizelge 4.21. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi .....	60
Çizelge 4.22. Görünüm oranının değişmesiyle $\beta=0,333$ 'de oluşan ayrılma açıları .....	61
Çizelge 4.23. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi .....	62
Çizelge 4.24. Görünüm oranının değişmesiyle $\beta=0,571$ 'de oluşan ayrılma açıları .....	63

Çizelge 4.25. $\beta=0,8$ için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi .....	63
Çizelge 4.26. Görünüm oranının değişmesiyle $\beta=0,8$ 'de oluşan ayrılma açıları .....	64
Çizelge 4.27. Farklı blokaj oranlarında 1 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	65
Çizelge 4.28.Farklı blokaj oranlarında 0,86 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	66
Çizelge 4.29. Farklı blokaj oranlarında 0,73 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	66
Çizelge 4.30. Farklı blokaj oranlarında 0,6 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	67
Çizelge 4.31. Farklı blokaj oranlarında 0,46 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	67
Çizelge 4.32. Farklı blokaj oranlarında 0,33 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri.....	68
Çizelge 4.33. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	69
Çizelge 4. 34. $\beta=0,333$ için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	70
Çizelge 4. 35. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	71
Çizelge 4. 36. $\beta=0,571$ için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	72
Çizelge 4. 37. $\beta=0,8$ için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	73
Çizelge 4. 38. $\beta=0,8$ için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri.....	74
Çizelge 4. 39. Blokaj oranı ile birlikte farklı görünüm oranlarına sahip silindirlerin yüzeyindeki ortalama yüzey sürtünmesi değerleri.....	84
Çizelge 4.40. Blokaj oranı ile birlikte farklı görünüm oranlarına sahip silindirlerin yüzeyindeki ortalama Nusselt sayı değerleri.....	89
Çizelge 4. 41. Silindir yüzeyinde farklı blokaj ve görünüm oranlarına bağlı $0^\circ$ , $90^\circ$ ve $180^\circ$ açılarda konumlardaki statik basınç değerleri .....	92

## 1. GİRİŞ

Silindir etrafındaki akış birçok mühendislik uygulamasının yapı taşı olmasından dolayı oldukça önemlidir. Isı değiştiricilerinin, nükleer reaktörlerinin, deniz yapılarının, hava ve kara taşıtlarının, inşaat sektöründeki yapı elemanlarının ve binaların temel bileşenlerinde farklı kesit geometrilerine sahip (dairesele, eliptik, dikdörtgen, üçgen vb.) silindirler kullanılmaktadır. Bu geometrilerin içinde dairesele silindirler en çok uygulama alanı bulmuş ve dairesele silindir etrafındaki akış kapsamlı şekilde çalışmalara konu olmuştur. Silindir etrafındaki akışın yapısı, kullanılan akışkanın cinsine, hızına, kesit geometrisine, akışın bir sınır duvarları içerisinde bulunmasına, silindirin hesaplama alanındaki konumuna ve yönelimine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir. Akışın laminer veya türbülanslı olması da bu tip akışlarda önemli rol oynamaktadır. Akışın yapısının anlaşılması termal aktivitesi ile ilgili de bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Dairesel silindir etrafında akış üzerine literatürde bulunan çeşitli çalışmalar farklı Reynolds sayılarında meydana gelen karmaşık akış olaylarının anlaşılmasını sağlamıştır.

Dairesel silindir etrafındaki akış üzerine birçok çalışma yapılmasına rağmen eliptik silindirler üzerine yapılan çalışmaların yetersizliğinden dolayı dairesele ve eliptik silindir arasında karşılaştırma yapabilmek ve literatüre eliptik silindirler etrafındaki akış ile ilgili daha fazla kaynak sağlamak amacıyla dairesele silindirler ile beraber eliptik silindirler üzerindeki akış için de çalışma yapılmıştır. Literatür araştırması ile birlikte akış üzerinde etkili olan parametreler belirlenmiş ve bu parametrelerin değişiminin akış üzerindeki etkileri araştırılmak istenmiştir. Yapılan çalışmalarda görünüm oranı, blokaj oranına bağlı olarak kanal genişliği ve silindir çapı değiştirilerek akışın boyutsuz hız, boyutsuz sıcaklık, Nusselt sayısı, basınç, basınç katsayısı, sürtünme katsayısı gibi değerlerin üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kanal içine yerleştirilmiş farklı eksen oranlarına sahip silindirlerin, farklı blokaj oranlarında akışın, hidrodinamik ve termal davranışlarını incelemek bu çalışmanın amacı haline gelmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Dairesel Silindir Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları

Shair ve ark. (1963), bir çift simetrik sınır duvarının varlığında deneysel olarak sabit girdapların kararlılık analizini gerçekleştirmiştir. Blokaj oranını değiştirerek sınır duvarlarının varlığının, dairesel bir silindirin arkasındaki kararlı girdap dengesini büyük ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Girdap oluşmasının başlangıcını için kritik Reynolds sayısı 0,2'lik blokaj oranı için yaklaşık % 300 (girdap oluşumu 45 yerine  $Re = 135$ 'te başlar) geciktirmişlerdir. Ayrıca, blokaj oranının girdapların kararlılığı üzerindeki etkisinin diğer akış parametrelerine kıyasla en belirgin olduğu sonucuna varmışlardır.

Grove ve ark. (1964),  $Re = 40$ 'ta 0,05 blokaj oranı için silindir yüzeyi üzerindeki basınç katsayısı dağılımını deneysel olarak belirlemiştir. Silindirin üzerindeki durma noktasındaki basınç katsayısının Homann'ın (1936) teorik basınç katsayısı ile uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Akışı sınır duvarları içerisine almanın dairesel bir silindirin arkasında oluşan girdap boyutu üzerindeki etkilerine ilişkin ayrıntılı deneysel çalışma Coutanceau ve Bouard (1977) tarafından yapılmıştır. Yazarlar,  $Re = 20, 30$  ve  $40$  Reynolds sayısında blokaj oranlarının ( $BO=0,024, 0,07$  ve  $0,12$ ) etkilerini araştırmışlardır. Blokaj oranının artması ile  $20 < Re < 40$  aralığında dairesel silindirin girdap boyutunun azaldığını ve sınır tabaka ayrılma noktasının silindirin arka durgunluk noktasına doğru hareket ettirdiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, sınır tabaka ayrılma noktasının açılma açısının, blokaj oranının değişikliğine göre daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kullanılan deneysel yöntemlere bakılmaksızın  $Re < 40$  için ölçümlerin hatalı olduğundan bahsetmişlerdir. Sayısal simülasyon, düşük  $Re$ 'de bir silindirin etrafındaki sıvı akışını incelemek için daha başarılı bir yöntem olacaktır. Bunun yanı sıra silindirin merkez çizgisi boyunca simetriyi zorlayarak silindir arkasında yapay kararlı bir girdap yaratmışlardır (bir deneyde silindirin arkasına yeterli uzunlukta ince bir ayırıcı plaka yerleştirmeye benzer). Blokaj oranları 0,05, 0,15 ve 0,25 olan dairesel silindirlerde blokaj oranının girdap oluşum uzunluğu ve sınır tabakası ayrılma açısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Blokaj oranının artmasıyla girdap uzunluğunun önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Öte yandan, sürüklenme katsayısının, silindir üzerindeki girdap dağılımının, blokaj oranı artışı ile arttığı bulunmuştur.

Barber ve Emerson (2002), mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) oluşturmak için, küçük ölçekli cihazlardaki akışkanlar mekaniğinin, makroskobik dünyada yaşananlarla aynı olmadığını ve bu ısı değiştiricilerindeki sıvı akışının genellikle düşük Reynolds sayılarında gerçekleştiğini söylemişlerdir. Bu tür ısı değiştiricilerin kompaktlığı, eliptik tüplerin kullanılmasıyla çok verimli hale getirilebilecektir. Bu da eliptik tüplerin etrafındaki akış rejimlerinin iyi analiz edilmesi gerekliliğini bir kere daha ortaya çıkarmaktadır.

Şahin ve Owens (2004), kararlılık, Strouhal sayısı, hidrodinamik kuvvetler ve blokaj durumunun dairesel silindir arkasında girdap yapısı üzerindeki blokaj etkilerini araştırmak için kapalı bir kanalda dairesel bir silindirin etrafındaki akış alanını çözmek için sonlu hacim yöntemini kullanmıştır.  $0,1 < BO < 0,9$  oranı ve  $0 < Re < 280$  Reynolds sayı aralığında çalışmışlardır. Yazarlar ayrıca  $Re = 1, 10, 20, 30, 40$  ve  $100$  için doğrudan sayısal simülasyon (DNS) ile dairesel silindirin sürüklenme katsayılarını  $BO = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7$  ve  $0,9$  altında tespit etmişlerdir. Giriş sınırında tam gelişmiş akışı ve  $Re$ 'yi hesaplamak için maksimum merkezi eksen hızını (tek tip yaklaşma hızı yerine) kullanmışlardır. Yazarlar, blokaj oranının artmasıyla  $C_D$ 'nin değerinin arttığını göstermişlerdir.

Kumar ve Mittal (2006), blokaj oranının dairesel silindir etrafındaki akışta, akışın kritik parametrelerine olan etkisini araştırmışlardır.  $0,005 < \beta < 0,125$  blokaj aralığında yapılan hesaplamalarda blokaj oranının artmasıyla kararlılığın bozulduğu kritik Reynolds sayısının önce azaldığını sonra arttığını tespit etmişlerdir.

Rehimi ve ark. (2009), sabit blokaj oranında ( $\beta=0,333$ ) Reynolds sayısının  $30$  ila  $277$  arasındaki değerlerinde sürekli ve süreksiz akış rejimleri için Reynolds sayısının akış yapısına olan etkisini araştırmışlardır.

Sen ve ark. (2008), bir kanal içerisinde sınırlandırılmış akış için, blokaj oranı  $\beta=0-0,80$  arasında değişen ve  $Re=6-40$  arasındaki değişen Reynolds sayı değerlerinin akış

üzerindeki girdap parametreleri, ayrılma açıları ve sürüklenme katsayıları üzerine etkilerini araştırmışlardır.

## 2.2 Eliptik Silindir Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları

Eliptik silindir üzerine yapılan çalışmaların çoğu akışın genellikle sınırsız ve çalkantılı olduğu durumlarda yapılmıştır. Bununla birlikte, akış üzerinde kaçınılmaz olarak bir takım blokaj etkileri olan küçük ölçekli rüzgar / su tünellerinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Eliptik bir silindir üzerindeki akış üzerine bu çalışmalardan bazıları burada bahsedilmektedir.

Tietjens (1930), dairesel bir silindir, ana eksenini akış yönüne hem paralel hem dik olan eliptik silindir ve  $0^\circ$  hücum açısında akışa dik düz bir plaka için farklı  $Re$ 'deki dalgaların görüntülerini yakalamayı başarmıştır. Test, durgun bir gliserin tankında, silindirlerin ve düz plakanın homojen bir şekilde çevrilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Görünüm oranı  $GO=0,25$  ve  $Re = 80$  olan bir eliptik silindir için  $Re = 150$ 'ye kadar kararlı olan bir çift simetrik girdap bulmuştur.

Ness (1975),  $Re=10^4 - 4 \times 10^5$  aralığında, 0, 0,3, 0,6, 0,8, ve 1 görünüm oranlarına sahip silindirler üzerinden ayrılmış akışlar için sürüklenme katsayılarını hesaplamıştır. Görünüm oranındaki değişimleri silindirin uzun çapını sabit tutarak yapmıştır. Ness çalışmasında, Reynolds sayısını serbest akış hızı olan  $U_\infty$ 'a ve silindirlerin karakteristik uzunluğu olan uzun çapa (2a) göre hesaplanmıştır. Yazarın bulduğu sonuçlar görünüm oranının artması ile ayrılma açısının açısal konumunun silindirin arka durma noktasından uzaklaştığını göstermektedir.

Countanceau ve Bouard (1977), blokaj oranının artmasıyla birlikte dairesel silindir için girdap büyüklüğünün azaldığını tespit etmişlerdir. Eliptik silindirler için görünüm oranının 0,75 ile 0,4 aralığında blokaj oranının artmasıyla girdap dış sınırının genişlediğini, bununla birlikte  $GO=0,75$  sahip eliptik silindirde girdap dış sınırının blokaj etkisiyle

değişmediği görülür. Bu da  $1 > GO > 0,75$  aralığında bir kritik değerin bulunduğunu ve  $0 > BO > 0,12$  blokaj oranı aralığında girdap dış sınırını etkilemediğini göstermiştir.

Taneda (1977), akışa dik düz bir plaka, dairesel bir silindir ve görünüm oranı  $GO = 0,5$  olan eliptik bir silindir üzerindeki kararsız akış üzerine bir akış görselleştirme çalışması yürütmüştür. Farklı zaman örneklerindeki canlı girdap görüntüleri, zamanın bir fonksiyonu olarak kararsız bir girdabın evrimini göstermiştir.

Williamson (1988), yaptığı çalışmada  $Re = 40$ 'da dairesel bir silindirin arkasında bir çift kararlı ve simetrik girdabın, Reynolds sayısının ( $Re \sim 5$ ) altına düştüğünde var olmayacağını  $Re=5$ 'in kritik Reynolds sayısı olduğunu söylemiştir.

Johnson ve ark. (2001,2004),  $GO=1$  (dairese silindir),  $\infty$  (akış yönüne paralel düz plaka) ve bunların arasındaki belirli görünüm oranlarındaki eliptik silindir etrafındaki akışı  $Re=30-200$  arasında silindirin akış yönüne dik çapına bağlı olarak incelemişlerdir. Çalışmada görünüm oranının sürüklenme katsayısı üzerindeki etkisini saptamışlardır. Akış yönüne dik çap sabit tutulup, akış yönüne paralel olan çap değiştirilerek görünüm oranlarında farklılık sağlanmıştır. Çalışma sonucunda görünüm oranının azalması ile girdap oluşumunun başladığı  $Re$  değerinin de azaldığı görülmüştür.  $GO=0,01$  iken girdap oluştuğu Reynolds değeri 32,5-35 arasında,  $GO=1$  iken girdap oluşması  $Re=45-50$  arasında başlamıştır. Ayrıca  $GO=1$  oranında yani dairesel silindir için  $Re 300$  değerine kadar ikincil girdap oluşumu gözlenmemiştir. Bunların yanı sıra dairesel ve eliptik silindirleri kıyasladıklarında eliptik silindirlerin viskoz sürüklenmesi, eliptik yüzeye paralel hareket ettiğinden dairesel silindire göre daha küçük olduğunu, basınç direncinin ise daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Khan ve ark. (2005), izotermal ve izoflux termal sınır koşulları altında eliptik silindir üzerinden akışla ilgili yaptığı çalışmalarda eliptik silindirlerin ortalama ısı transfer katsayılarının dairesel silindirlerden daha yüksek olduğunu, sürüklenme katsayılarının ise daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Eliptik silindirlerin görünüm oranının sürtünme ve ortalama ısı transfer katsayıları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu katsayıların,

Reynolds sayısına ve görünüm oranına bağlı olduğunu çalışmalarıyla ortaya koymuşlardır. Sürüklenme ve ısı transferi katsayıları için korelasyon geliştirmişler.

Faruquee ve ark. (2007), eliptik bir silindirin etrafındaki akış yapısını, hidrolik çapa bağlı olarak  $Re=40$  değerinde ve görünüm oranı 0,3 ila 1 arasında incelemiştir. Çalışmayı yaparken FLUENT'in kontrol hacmi yaklaşımını kullanmışlardır. Akışın sürekli, sıkıştırılmaz ve iki boyutlu olduğu varsayılarak çözüme gidilmiştir. Sonuçlar üzerinde girdap parametreleri incelendiğinde görünüm oranı 0,34'e ulaştığında bir çift sabit, kararlı girdap oluştuğunu bulmuşlardır. Bu değer altında, eliptik silindirlerin arkasında girdap oluşumu gözlenmemiştir.  $GO=0,34$ 'ün girdap oluşumu için kritik değer olduğu anlaşılmıştır. Girdap parametreleri, sürüklenme katsayısı, basınç ve hız dağılımları gibi parametrelerin görünüm oranına bağlı olarak değişimini incelemiştir. Girdap boyutu ve sürüklenme katsayısının, görünüm oranının artmasıyla arttığını bulmuşlardır. Girdap uzunluğu ve sürüklenme katsayısının görünüm oranı ile ilişkisini tanımlamak için ikinci dereceden korelasyonlar elde etmişlerdir. Bu korelasyon Denklem 2.1'de gösterildiği gibidir.

$$\frac{L_w}{d} = 2,24GO^2 + 0,50GO - 0,43 \quad (2.1)$$

Taamneh (2011), farklı görünüm oranlarına sahip elipsoidler etrafındaki akışın doğasını anlayabilmek ve akışı görselleştirmek için çalışmalar yapmıştır. Elipsoidler etrafındaki akışı sıkıştırılmaz, laminer, sabit eksenli, simetrik rejimde  $20 \leq Re \leq 200$  aralığında hesaplamalı akışkanlar mekaniği simülasyonları kullanarak gerçekleştirmiştir. Görünüm oranları ise 0,5-2 arasında değişmektedir. Görünüm oranı değişiminin toplam sürüklenme katsayısını güçlü bir şekilde etkilediğini ve akış ayrılmasının meydana geldiği Reynolds sayısının artan görünüm oranı ile birlikte arttığını tespit etmiştir.

Del ve ark. (2013), Reynolds sayısı 2000'e kadar olan, eksen oranları 0,33 ila 0,67 arasında değişen eliptik silindirler etrafındaki sıkıştırılmaz akışlar için güç spektrum analizi ile akış görselleştirmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Parametrelerin değişiminin sınır tabakası ayrılmasına, girdap parametrelerine ve akış yapısına olan etkilerini araştırmışlardır. Görünüm oranının değişimi ile akış yapısının

önemli ölçüde değiştiğini söylemişlerdir. Görünüm oranı dairesel silindire yakın eliptik silindirlerin yakınında dairesel silindire çok yakın bir akış rejimi gözlemlenmiştir. Görünüm oranı küçük eliptik silindirlerin etrafındaki akış yapısının ise aerodinamik gövdelere çok benzediğini görmüşlerdir. Girdap başlama frekansının ise, görünüm oranına, serbest akış türbülansına, blokaj oranına ve çıkış sınır koşullarına bağlı olduğunu söylemişlerdir.

Radi ve ark. (2013), düz plaka, dairesel silindir ve eliptik silindirler üzerine farklı senaryolarda yaptıkları çalışmalarla, akış geçişlerini, bunların potansiyel nedenlerini ve eliptik silindirlerin geçiş senaryolarını diğer geometriler ile kıyaslamışlardır.

Sooraj ve ark. (2018), eliptik silindirler için  $Re=240-34.000$  arasında, PIV ölçüm tekniği ile elde edilen verilerden sürükleme katsayısını elde etmişlerdir. Basınç katsayısının silindirin ön durgunluk noktasında maksimum olduğunu, akışın ivmelenmesi ile azaldığını tespit etmişlerdir. Elde edilen grafiklerinden minimum basınç katsayısı değerinin boğaz civarında ( $\theta=90^\circ$ ) görüldüğü, arka durma noktasına doğru artış gösterdiği ve akış ayrılmasından sonra yeniden düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu verilerden çalışmayı doğrulamak amacıyla faydalanılmıştır.

Dairesel bir silindir üzerinden akışta önemli miktarda literatür çalışması mevcuttur. Bu çalışmaların çoğu Reynolds sayısının akış ayrılması, girdap yapıları, sürükleme katsayısı ve hız, silindir yüzeyindeki basınç dağılımı, silindir arkasındaki girdap yapıları üzerindeki etkilerini görmek için yapılmıştır.

Mevcut literatürün gözden geçirilmesi, eliptik silindir üzerindeki verilerin, özellikle sınırlandırılmayan akış için düşük Reynolds sayısında ( $Re \approx 40$ ) son derece sınırlı olduğunu ve sınırlandırılmış akış için neredeyse mevcut olmadığını göstermektedir. Eliptik silindir üzerinde yapılan çalışmaların çoğu, aerodinamik açıdan önemi nedeniyle yüksek Reynolds sayılarında ve farklı hücum açılarında yapılmıştır. Bu araştırma sırasında mevcut literatürde aşağıdaki bilgi eksikliği gözlemlenmektedir. Blokaj

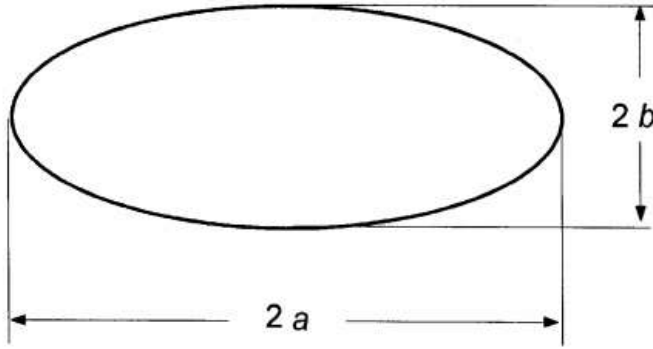
oranlarının farklı eksen oranlarına sahip eliptik silindirlere göre akış parametreleri üzerindeki etkileri, özellikle düşük Reynolds sayısında sistematik olarak çalışılmamıştır.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bir akışkan sabit bir gövde üzerinden geçtiği zaman, gövde etrafında her zaman dengesiz bir akış bölgesi meydana gelir. Bozulan akış bölgesinin alanı büyük ölçüde geçtiği geometrinin şekline, geometrinin akış yönüne göre yönelimine (hücum açısına), Reynolds sayısına (Re), eksenleri oranına, blokaj oranına ve sınır koşullarına bağlıdır. Bu belirtilen parametrelerdeki herhangi bir değişiklik geometri etrafındaki akış yapısını önemli ölçüde değiştirebilir. Bu tezde silindir için kısa çapın uzun çapa oranına görünüm oranı adı verilmiş, Denklem (3.1) ve Şekil 3.1’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Dairesel silindir için uzun ve kısa çap birbirine eşit olduğundan görünüm oranı 1 olacaktır.

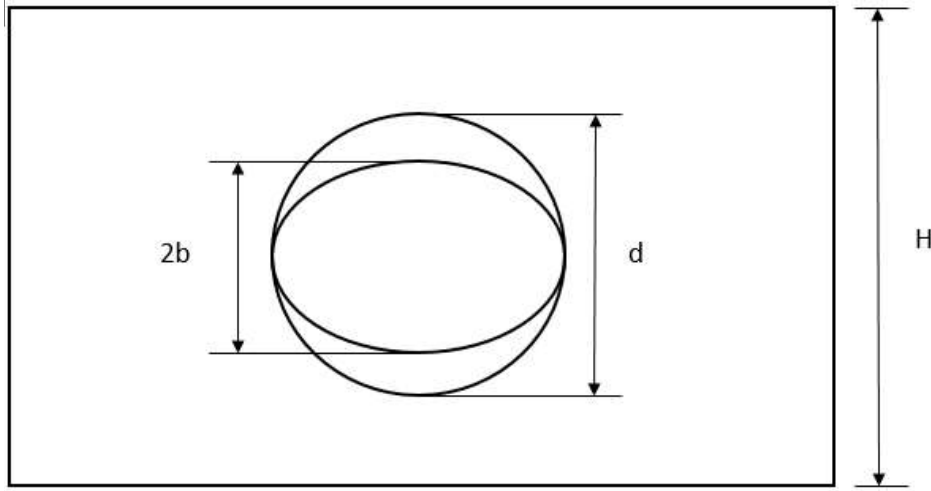
$$\text{Görünüm Oranı (G.O)} = \frac{2b}{2a} = \frac{b}{a} \quad (3.1)$$



**Şekil 3.1. Elips geometrisinin kısa ve uzun çaplarının gösterimi**

Blokaj oranı (BO), Denklem 3.2 ile ifade edilen ve Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi silindir çapının (d) veya elipsin kısa çapının (2b) hapsedildiği duvarları arasındaki mesafeye (H) oranıdır.

$$\text{BO} = \frac{2b}{H} \quad \text{veya} \quad \frac{d}{H} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Blokaj oranında kullanılan uzunlukların şematik gösterimi

### 3.1 Silindir Etrafında Oluşan Akış Rejimi

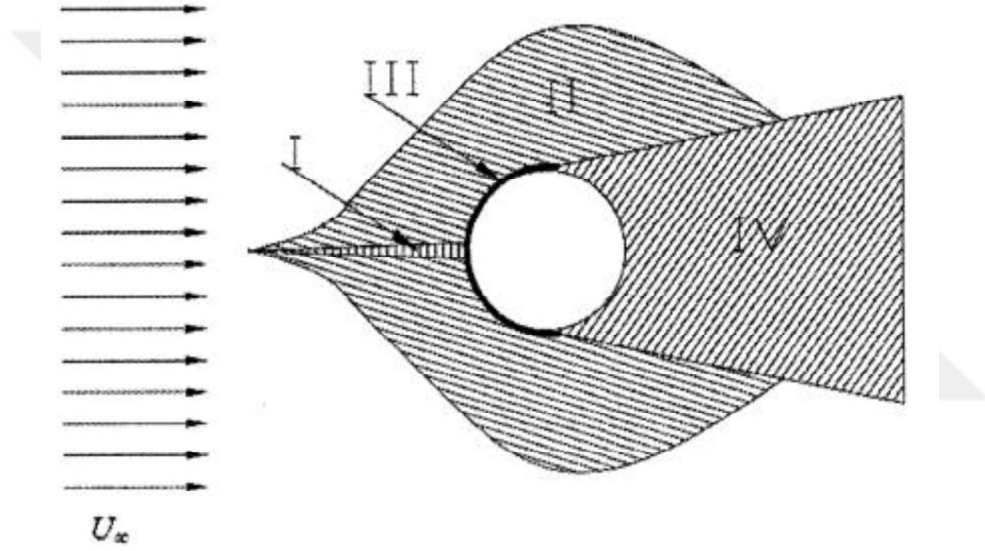
Silindirin önünde silindirin varlığından dolayı akışkan hızında bir yavaşlama meydana gelir. Hızın yavaşladığı bu dar bölge şeridine gecikmeli akış rejimi denir. Yerel hız olan  $U$  bu bölgedeki serbest akış hızı olan  $U_{\infty}$ ' dan daha düşüktür. Gecikmeli akış bölgesi Şekil 3.3'de bir numara ile işaretlenmiştir.

Akışkan daha sonra yavaş hareket eden gecikmeli akış bölgesinden akışkanın bölgesel hızının serbest akış hızından daha büyük olduğu ( $U > U_{\infty}$ ) bölgeye yer değiştirir. Yer değiştiren bölge silindir arkasındaki düşük basınç tarafından sürüklenir. Bu bölüme hızlandırılmış akış bölgesi denir. Bu hızlandırılmış bölge blokaj etkisi olarak bilinen sınırlayıcı duvarların birbirine olan konumlarından büyük ölçüde etkilenir. Hızlandırılmış akış bölgesi Şekil 3.3'de iki numara ile gösterilmiştir.

Akışkan silindire yaklaştıkça silindirin kaymama durumundan dolayı, silindir önünde durma noktası (stagnation point) adı verilen bir noktada durur ve akışkan yüzeyin üstüne ve altına ayrılmaya başlar. Sınır tabaka bu noktada oluşmaya başlar ve silindirin ayrılma noktasına (separation point) kadar devam eder. Sınır tabakanın kalınlığı Reynolds sayısına ve silindir önündeki durgunluk noktasından olan silindirin çevre uzunluğuna bağlıdır. Sınır tabaka bölgesi Şekil 3.3'de üç numara ile gösterilmiştir.

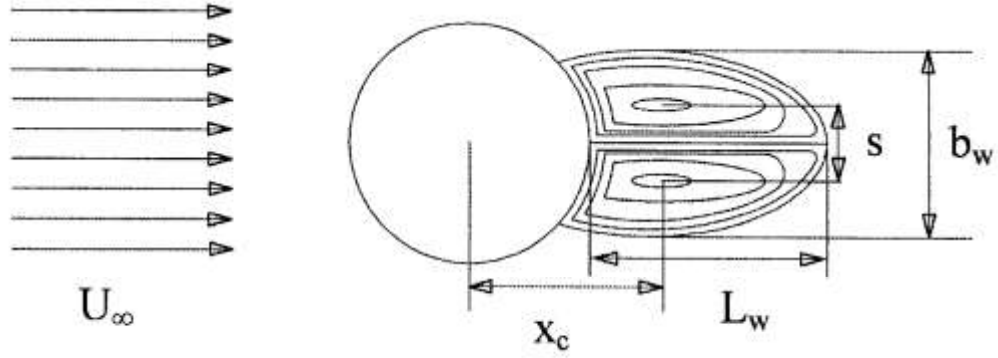
Akışkanın yerel hızının serbest akış hızından küçük olduğu  $U < U_\infty$  bölgeye ayrılma bölgesi adı verilir ve silindir arkasında bulunur. Ayrılma bölgesi Şekil 3.3’de dört numara ile gösterilmiştir. (Zdravkovich 1997)

Yukarıda açıklanan akış sınıflandırılması eliptik bir silindir üzerinden akış için de geçerlidir ancak bu bölgelerin kapsamı görünüm oranı ve blokaj oranına göre değişmektedir.



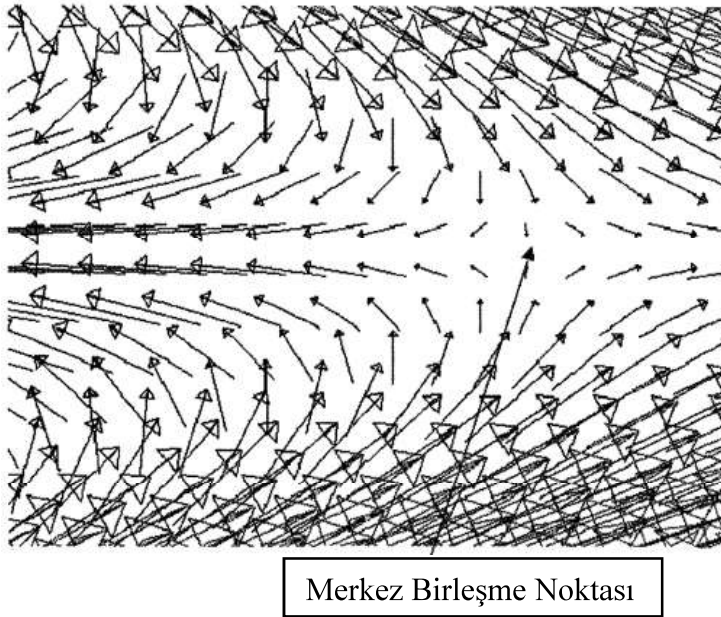
**Şekil 3.3.** Dairesel silindir etrafında oluşan akış rejimleri (Zdravkovich 1997)

Kararlı durumdaki girdapların uzunluğu genellikle  $L_w$  ile tanımlanır. Girdapların uzunluğu girdap çemberlerinin merkezi ile girdap dış sınırı arasındaki uzunluk olarak tanımlanabildiği gibi girdap başlangıcı ile bitişi arasındaki mesafe olarak da tanımlanır. Bu çalışmada girdap uzunluğu ( $L_w$ ), girdapların birleşme noktası olarak görülen girdap durma noktası ve silindirin arka durma noktası arasındaki akış yönündeki mesafe olarak tanımlanacaktır. Girdapların merkezleri arasındaki akışa dik yöndeki mesafe “s” ile, girdap veya girdapların merkezi ile silindir merkezi arasındaki akış yönündeki mesafe “ $x_c$ ” ile ve girdap sınırlarının en geniş akışa dik mesafe “ $b_w$ ” ile ifade edilmiş Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Girdap karakteristikleri (Zdravkovich 1997)

Girdapların birleşme noktası, hızın büyüklüğünün sıfır olduğu akış yönündeki merkez çizgisi üzerindeki noktadır. Girdapların durma noktasından silindirin arka durgunluk noktasına kadar olan hızın yönü, akışın yukarısına doğrudur yani akışkan serbest akışın gerisine, silindire doğru hareket eder. Girdap durma noktasından hesaplama alanının çıkışına kadar akış, serbest akış yönündedir. Akışkan hareketinin yönü girdapların birleştiği noktanın üzerinde aşağıya doğru, girdapların birleştiği noktanın aşağısında yukarıya doğrudur. Girdapların birleştiği noktadan sonra akışların birbirine doğru birleşme noktasına yönlendirildiği anlaşılır. Burada ifade edilen durum Şekil 3.5’de akım vektörlerinin yönlerinden anlaşılabilir



**Şekil 3.5.** Girdap Durgunluk Noktası (GO=1 için) (Fraquee 2005)

### 3.2 Boyutsuz Sayılar ve Fiziksel Anlamları

Reynolds sayısı, Re, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranıdır. Taşınım ile ısı transferinde önemli bir boyutsuz sayı olmakla birlikte akışın tipini belirlemede etkilidir. Bu da Denklem 3.3' de belirtildiği gibi gösterilir.

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu} \quad (3.3)$$

Burada  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $U_{\infty}$  hesaplama alanına giren serbest hızını,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini ve L silindirin karakteristik uzunluğunu ifade eder. Çalışmada kullanılan hava ideal gazdır. Bir silindirin hidrolik çapı genellikle silindirin karakteristik uzunluğu olarak kullanılır ve Denklem 3.4'de gösterildiği gibi tanımlanır.

$$L_k = D_h = \frac{4 \times \text{Kesit Alanı}}{\text{Islak Çevre}} \quad (3.4)$$

Eliptik bir silindir boyunca akış için ise karakteristik uzunluk olarak 2a veya 2b kullanılması yaygındır. Bu yüzden karakteristik uzunluk olarak farklı senaryolar için de 2a çapı belirlenmiştir. Bu çalışma boyunca incelenen eliptik silindirlerde dairesel silindir ile karşılaştırmayı kolay kılabilmek için 2a çapı dairesel silindirin çapına eşit tutularak sadece 2b çapı değiştirilmiştir. Bu sebeple eliptik silindirler bir dairesel silindiri belirlenen eksen oranına göre sahip eliptik bir silindire sıkıştırıyor olarak görülebilir. Bu çalışmada silindirin uzun çapına göre Reynolds sayısı 40 olarak dikkate alınmıştır. Silindirin uzun çapı, tüm silindir durumlarında aynı gelen serbest akış hızını korumak için Re'nin temeli olarak seçilmiştir. Reynolds sayısının 40 seçilmesinin sebepleri:

a. Dairesel silindir üzerinden akışta bu Reynolds sayısında deneysel ve sayısal verinin bulunması ve böylece bu çalışmada elde edilecek verilerin literatürdeki mevcut verilerle karşılaştırılabilir olmasıdır.

b. Farklı eksen oranlarına sahip eliptik silindirler durumunda belirlenen blokaj değerlerinde ve Reynolds sayısında verilerin bulunmamasıdır. Bu çalışma hem farklı eksen oranları hem de farklı blokaj oranlarına sahip eliptik silindirler üzerindeki akış ile ilgili yeni bilgiler sağlamayı amaçlamıştır.

Isı transferinde önemli bir diğer boyutsuz sayı Nusselt sayısıdır. Karakteristik uzunluk içerisinde taşınım ile olan ısı transferinin iletimle olan ısı transferine olan oranını ifade eder. Bu ifade Denklem 3.5' de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Nu = \frac{hL_k}{k} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L_k} \quad (3.5)$$

Hesaplamalarda lokal ve ortalama Nusselt sayıları da ısı transfer mekanizmasının anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Bu sayıların hesaplanması da sırasıyla Denklem 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.

$$Nu_{\vartheta} = \frac{h_{\vartheta}d}{k} \quad (3.6)$$

$$Nu_{ort} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} Nu_{\vartheta} d\vartheta \quad (3.7)$$

Bir cisim bir akışkan içinde hareket ediyorsa veya akışkan bir cismin üzerinden hareket ediyorsa, yani katı cisim ile akışkan arasında bir hareket olduğunda, cisim akışkanın etkisine bağlı olarak net bir F kuvveti etkisi altında kalır. Bu F kuvveti, silindire etki eden kayma ve basınç kuvvetlerinden oluşur ve genellikle cisme paralel ya da dik değildir. Kuvvetin akışkan hareket yönüne paralel bileşeni sürükleme kuvveti,  $F_D$  olarak bilinir ve kuvvetin hareket yönüne dik olan bileşeni kaldırma kuvveti olarak bilinen  $F_L$ 'dir. Kaldırma kuvveti, silindirin yüzeyi boyunca sürtünme kuvveti ve silindirin yukarı ve aşağı tarafındaki simetrik olmayan basınç dağılımı tarafından üretilir. Sürüklenme,  $Re =$

40'da silindire etki eden tek kuvvet bileşenidir çünkü bu rejimdeki tüm akışlar, akış yönüne göre simetriktir (Lienhard 1966). Sürüklenme kuvveti, silindire etki eden basınç ve kayma gerilmesinden Denklem 3.8'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 F_D &= \int p \cos \theta d\theta + \int \tau \sin \theta d\theta \\
 &= \int (p_s - p_\infty) \cos \theta d\theta + \int \tau \sin \theta d\theta \\
 \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} &= \frac{\int (p_s - p_\infty) \cos \theta d\theta}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} + \frac{\int \tau \sin \theta d\theta}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} \\
 \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} &= \frac{\int C_p \cos \theta d\theta}{A} + \frac{\int C_f \sin \theta d\theta}{A} \\
 C_D &= C_{Dp} + C_{Df} \tag{3.8}
 \end{aligned}$$

Bu denklemlerde;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A}; C_p = \frac{p_s - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}; C_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}; C_{Dp} = \frac{\int C_p \cos \theta d\theta}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A}; C_{Df} = \frac{\int C_f \sin \theta d\theta}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A}$$

olarak hesaplanır.

Sürüklenme katsayısı viskoz kuvvetlerin yarattığı yüzey sürtünme direncinden ve silindir üzerindeki dengelenmemiş basınç katsayısından oluşur. Boyutsuz sürüklenme katsayısı dairesel silindir için Denklem 3.9'da ve eliptik silindir için Denklem 3.10'da gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$\text{Dairesel silindir için: } C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 d} \tag{3.9}$$

$$\text{Eliptik silindir için: } C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 2a} \tag{3.10}$$

Silindir arkasında oluşan akış ayrılması sürüklenme kuvvetinin hesaplanmasını engeller. Sürüklenme kuvvetinin hesaplanamaması dolayısıyla sürüklenme ve kaldırma katsayılarının hesaplanmasını da engeller.  $C_D$  bileşenlerinden biri olan ortalama basınç katsayısı silindir üzerindeki basınç dağılımından tahmin edilebilir. Silindir yüzeyleri boyunca devam eden basınç, boyutsuz bir katsayı olan basınç katsayısı ile ifade edilir. Silindir yüzeyindeki basınç katsayısı Denklem 3.11'deki gibi ifade edilir:

$$C_p = (p_s - p_\infty) / (0,5\rho U_\infty^2) \quad (3.11)$$

Burada  $p_s$  silindir yüzeyindeki farklı açısaldaki statik basıncı,  $p_\infty$  silindir üstü serbest akıştaki statik basıncı,  $\rho$  havanın bulunduğu sıcaklıktaki yoğunluğunu,  $U_\infty$  silindir üstü akışta serbest akışlı havanın hızıdır.

Groove ve ark. (1964), düşük  $Re$ 'de dairesel bir silindirin basınç sürüklenme katsayısını tahmin etmek için Denklem 3.12'deki gibi bir korelasyon geliştirmişlerdir.

$$C_{DP} = 0,62 + 12,6/Re \quad (3.12)$$

Yüzey sürtünme katsayısı Denklem 3.13'de ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$C_f = \frac{\tau}{0,5\rho U_\infty^2} \quad (3.13)$$

Dennis ve Chang (1970), dairesel silindirin yüzey sürtünme katsayısı için aşağıda Denklem 3.14 ile gösterilen bağıntıyı geliştirmişlerdir:

$$C_{DF} = 1,83Re^{0,5} + 9,95Re^{-1} \quad (3.14)$$

### 3.3. Silindir Etrafındaki Akışta Hız Hakkında Bilgiler

Ön eksen boyunca hız (Hesaplama alanının girişinden silindirin ön durma noktasına kadar olan, silindirin merkezinden geçen akış yönündeki hat bölümü), ön eksen hızı olarak adlandırılır. Ön eksen hızı ( $U_{\text{ön}}$ ), silindir tarafından akışın engellenmesi ve silindir yüzeyi üzerinde oluşan sınır tabakası nedeniyle değişir. Yaklaşma hızı, akış silindirin varlığını hisseder hissetmez azalmaya başlar ve azalmaya devam eder, silindirin ön durma noktasında sıfır olur. Hız düşümü bölgesinin uzunluğu, yavaşlama noktasından silindir arkasındaki durgunluk noktasına olan mesafedir. (Zdravkovich 1997)

Silindirin arka durgunluk noktasından ve girdap durgunluk noktasından geçen silindir arkasındaki akış hattı, arka eksen olarak tanımlanır. Bazı yazarlar tarafından sabit iki girdap arasında yer aldığından merkez çizgi olarak da tanımlanmaktadır Bu çizgi boyunca hız, arka eksen hızı olarak adlandırılır. Düzensiz akışın hızına göre girdap balonu içindeki yeniden dolaşım hızının büyüklüğü büyük ilgi çekicidir, çünkü bu hızı düşük Reynolds sayısındaki deneylerle belirlemek son derece zordur. Durma noktasından geri dönen akış çizgisi boyunca (girdap durgunluk noktasından silindirin arka durgunluk noktasına olan mesafe) akışkan hızını belirlemek için sadece sınırlı bir deneysel girişimde bulunulmuştur. (Grove ve ark. 1964). Arka eksen boyunca girdaptan geri dönen devir daim hızı sayısal yaklaşımla kolayca belirlenebilir.

Akışkan, birleşim noktasından silindire doğru geri döner ve maksimum bir değere ulaşır, ardından silindirin arka durgunluk noktasında azalır ve sıfır olur. Burada akış iki kısma ayrılır, bir kısım silindir konturunu yukarı, diğer kısım aşağı doğru takip eder. Durgunluk noktalarından dönen çizgi, üst girdabı alt girdaptan ayırır. Merkezi birleşme noktasının aşağı tarafındaki hız, serbest akış hızı yönündedir ve akış aşağı yönde ilerlerken büyüklüğü artar. Bir girdap oluşturan tüm silindirler, arka eksen hız profiline sahiptir; bununla birlikte, hızın değişimi büyük ölçüde görünüm oranına bağlıdır. Dairesel bir silindir için, maksimum geri dönüş hızının büyüklüğü, serbest akış hızının yaklaşık % 10'u kadar ve konumu dairesel silindirin merkezinden  $1,3d$  kadar uzaklıktadır. (Countanceau ve Bouard 1977)

### 3.4 Laminer Sınır Tabakası Kalınlığı

Sıkıştırılmaz bir akış serbest akış hızında yoluna devam ederken herhangi bir engelle karşılaştığında, akışkanın hızı engelin ön durma noktasında sıfır olur. Silindirin ön durma noktasından itibaren sınır tabakası olarak bilinen ince bir akış tabaka oluşmaya başlar. Akış ileri yönde devam ettikçe, sınır tabakasının kalınlığı, silindir yüzeyinden ayrılana kadar, silindirin önden arka durma noktasına doğru büyümeye devam eder. Bunun nedeni, akışkanın daha yavaş katmanlarının daha hızlı hareket eden akış katmanları üzerinde sürtünme yapması ve viskoz gerilmelerle birlikte daha fazla akışkanın yavaşlamasıdır. Akışkan sınır tabakası sınırlandığı kanal yüzeyine ve silindir yüzeyine yapıştığında kaymama sınır şartı varsa hız serbest akış hızından sıfıra gelir.

### 3.5 Sınır Tabaka Ayrılma Açısı

Akış, sabit bir silindirin ön yüzeyinde durma noktasında durur ve ardından silindir yüzeyinin etrafında yavaş hareket eden sınır tabakası adı verilen bir akışkan tabakası oluşturur. Akış hızının sıfırdan neredeyse serbest akış hızına (% 99) yükseldiği, silindir yüzeyine bitişik bu ince akışkan katmana sınır tabakası denir. Sınır tabakasındaki akışkan, serbest akış ve silindir yüzeyi arasında paylaşılır. Momentum, sınır tabakasından yüzeye aktarılır, bunun sonucunda silindir yüzeyinde yüzey sürtünmesi direnci oluşur. Sınır tabakası içindeki momentum değişimi büyük ölçüde yüzey sürtünme direncini, basınç direncini, sınır tabakası ayrılmasını ve girdap kapsamını belirler (Blevins, 1984). Silindirin kaymama sınır koşulunun bir sonucu olarak, akışkan hızının bileşenleri, silindir yüzeyine yakın yerde neredeyse sıfırdır. Silindir yüzeyine yakın konum için hız denklemi Blevins (1984)'de belirtilen Denklem 3.15'deki gibi yazılabilir.

$$-u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.15)$$

Silindirin önündeki akışta hız silindir yüzeyine kadar artacağı için  $\partial u / \partial x > 0$  ve  $(\partial p / \partial x < 0)$ , bu denklem yüzey yakınında  $\partial^2 u / \partial y^2 < 0$  olduğunu belirtir. Bu da, silindir önündeki yüzeyde kayma gerilmesinin ( $\tau$ ) maksimum olduğunu gösterir. Silindir arkasındaki akış

gecikmeli olduğundan ,  $\partial u / \partial x < 0$  ve  $\partial p / \partial x > 0$  olur ve denklem  $\partial^2 u / \partial y^2 > 0$  olduğunu söyler. Buradan çıkarılacak diğer sonuç da silindir arkasındaki yüzeyde kayma gerilmesinin minimum olduğudur. Akışta yavaşlama arttıkça, kayma gerilmesi sıfır olabilir ve bu durum akışın yani sınır tabakasının silindir yüzeyinden ayrılmasına neden olur. Sonuç olarak, ayrılma noktası, Denklem 3.16'da tanımlandığı gibi silindir yüzeyindeki kayma gerilmesinin sıfır olduğu noktadır. Ayrıca yüzey sürtünme katsayısı olan  $C_f$ 'de sınır tabakası ayrılma noktasında sıfırdır. Böylelikle belirli bir GO oranına sahip geometrilerde yüzey sürtünme katsayısı ve kayma gerilmesi grafiklerine bakılarak sınır tabakasının ayrılma açısı tespit edilebilir.

$$\tau = \rho v \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (3.16)$$

$\theta = 0^\circ$  ila  $180^\circ$  aralığı  $C_f$ 'in silindir yüzeyinin üst yarı kısmındaki dağılımını  $\theta = 180^\circ$  ila  $360^\circ$  aralığı, silindir yüzeyinin alt yarı kısmı üzerindeki dağılımı temsil eder.  $\theta = 0^\circ$  ve  $360^\circ$  'deki açısal pozisyonlar tek bir ön durgunluk noktasını ifade etmektedir.

### 3.6 Akış Çizgileri

Sürekli akış durumunda akış çizgileri bir akım çizgisinde ilerler. Çünkü her noktada akış parçacığının hız vektörü doğrultusu değişmez. Akım çizgileri de bir akışkan parçacığın hız vektörüne çizilen teğetler olduğundan, akış çizgilerine akışkanın yörüngesi de denebilir. Bir de akışkan elemanın akıştan geçerken izlediği yörünge vardır ki buna da gerçek yörünge denir. Gerçek yörünge akışın bir engelle karşılaştığında izleyeceği yola göre şekillenir. Bu sebeple gerçek yörünge ile akışkanın yörüngesi birbirinden farklılık gösterecektir. Bir dairesel silindirin görünüm oranı düşürülerek elips haline getirildiğinde daha aerodinamik bir yapıya kavuşacağından gerçek yörünge ile akış yörüngesi arasındaki farkın birbirine daha yakın olması beklenir.

### 3.7 Sınırlandırılmış Akış

Mühendislik uygulamaları ve doğadaki akış biçimleri incelendiğinde komşu yapıların akış rejimi üzerinde etkisinin olduğu görülmüştür. Komşu bir yapının veya yapıların etkisi altında bir silindir üzerindeki sıvı akışı, sınırlandırılmış akış olarak adlandırılır. Rüzgâr ve su tünellerinde yapılan deneyler sınırlandırılmış akışa örnek oluşturur. Sınırlandırılma genellikle silindirin kesit alanının kanalın kesit alanına oranı olan blokaj oranı ifadesiyle temsil edilir. Katı ile teması bulunan akışkanların akış rejimleri hakkında doğru bilgi sahibi olabilmek için sınırlandırmanın etkisinin bilinmesi gereklidir. Blokaj etkisindeki dairesel silindir üzerinden akış bazı araştırmacılar tarafından ele alınırken blokaj etkisindeki eliptik silindirler ile ilgili kaynaklar oldukça sınırlıdır. Literatür, önce dairesel bir silindir üzerinde sınırlandırılmış akışı ve ardından eliptik bir silindirin sınırlandırılmış akışı için gözden geçirilmiştir. Silindirler üzerinden yapılan akış çalışmalarında blokaj oranlarının etkisi 1 ile 0,33 arasında değişen görünüm oranlarında incelenmiştir.

Bir silindir etrafındaki akışın tam olarak anlaşılması mühendislik açısından çok önemlidir. Mevcut literatür görünüm oranı ile birlikte blokaj oranının da silindir etrafındaki etkilerini sistematik bir şekilde kapsamamaktadır. Bu çalışmanın amaçları:

1. Açık bir atmosferde izole edilmiş bir silindir üzerindeki akışkan akışını incelemek
2. Görünüm oranı 1, 0,86, 0,73, 0,6, 0,46 ve 0,33 olan dairesel ve eliptik silindirler üzerindeki akışta blokaj oranlarının etkisini incelemek
3. Görünüm oranının silindir üzerindeki akışa etkisini incelemek olmuştur.

Bir silindir üzerindeki akış, kütle ve momentumun korunumu yasalarından türetilen kısmi diferansiyel denklemler tarafından yönetilir. Akışın belli senaryolar altındaki doğasını incelerken süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin sınır koşullarıyla birlikte çözülmesi gerekir. Kütle korunmasından kaynaklanan kısmi diferansiyel denklemler, süreklilik denklemleri olarak bilinir. Momentum dengelerinden türetilen denklemler ise Navier - Stokes denklemleri olarak bilinir. Sıkıştırılmaz akış için, bir hesaplama alanındaki hız ve basınç dağılımlarını bulmak için süreklilik ve momentum

denklemleri çözülür. 2-B sabit sıkıştırılmaz laminer akışta, süreklilik ve iki momentum denklemi, uygun sınır koşulları ile birlikte, herhangi bir noktada u, v hızı ve p basıncının x ve y bileşenlerinin çözümü için yeterli olacaktır. İki boyutlu kanalda sürekli, sıkıştırılmaz akış için kullanılacak denklemler Denklem 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20’de verilmiştir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.17)$$

X yönündeki momentum eşitliği şu şekilde yazılabilir:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3.18)$$

Y yönündeki momentum denklemi ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3.19)$$

Enerji denklemi:

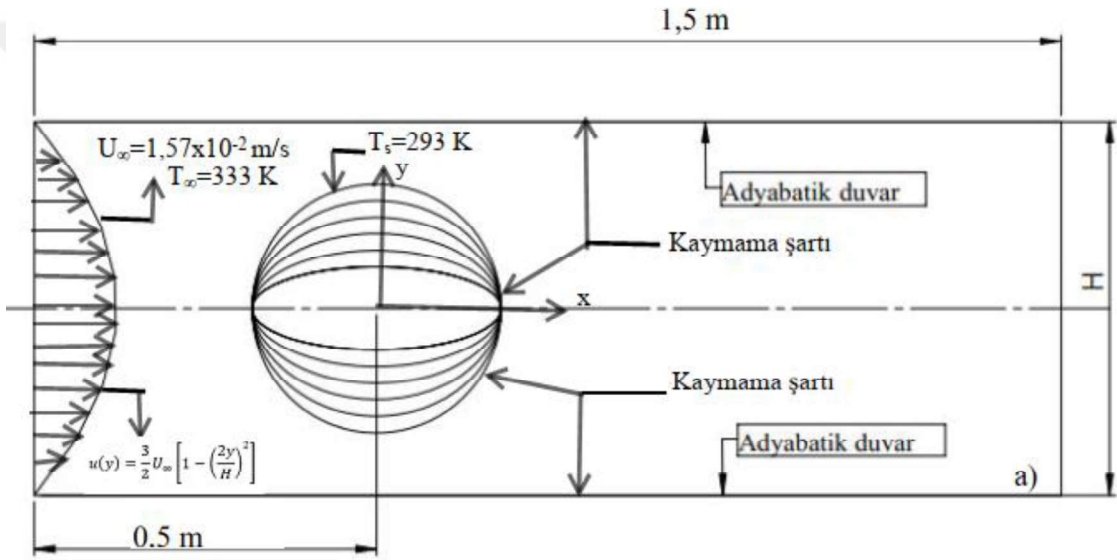
$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.20)$$

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kodunu kullanan CFX, yukarıdaki denklemlerin çözümü için kullanılmıştır. Navier-Stokes denklemleri sistemi aşağıdaki varsayımlara göre çözülmüştür:

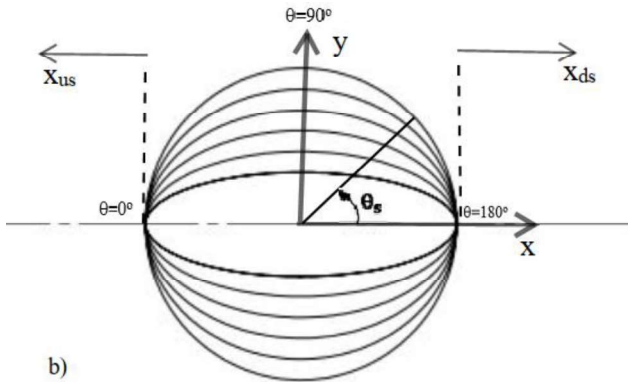
- Akış laminer ve iki boyutludur.
- Akışkan ideal gaz hava, sıkıştırılmaz, 333K’dir.

- Silindir yüzeyi sabit 293K'dir.
- Silindir yüzeyi ve kanal duvarlarına kaymama koşulu uygulanmıştır. Kaymama sınır koşulundan dolayı katı yüzeylerde hız bileşenleri  $u=0$  ve  $v=0$  olacaktır.
- Havanın hesaplama alanına girişteki serbest akış hızı  $U_\infty=0,0157$  m/s'dir.

Farklı görünüm oranlarına sahip silindirler farklı blokaj oranları ile ifade edilen kanal duvarları tarafından sınırlandırılmış bir akış bölgesine yerleştirilir. Şekil 3.6 'da dairesel ve eliptik silindirler için akış alanı, Şekil 3.7'de ise silindirler üzerindeki koordinat sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Silindir etrafındaki akış alanı ve analiz şartları



Şekil 3.7. Koordinat sistemi

### 3.8 Sınır Koşulları

Sınır koşulları, hesaplama alanının sınırları içindeki akışı ve akışın termal değişkenlerini belirler. Sınır koşulları simülasyonun kritik bileşenleridir ve simüle ettikleri fiziksel modele göre uygun şekilde belirtmeleri çok önemlidir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği'nin (CFD), sınırlar içindeki tüm hücrelerin özelliklerinin bir denge çözümü elde etmek için girilen sınır koşulları tarafından yönlendirildiği kabul edilir. Giriş ve çıkış mesafelerinin konumu da çözümü etkiler. Hız gradyanı katı bir yüzeyin yakınında hızla değiştiğinden, kaymaz bir duvar hız profilini yansıtan bir sınır koşulunu doğru bir şekilde modellemek için silindir yüzeyini oldukça dikkatli bir şekilde modellemek gereklidir. Giriş sınırlarında akışın hız özelliklerini tanımlamak için hız giriş sınır koşulları girilir. Tüm simülasyon durumları için hesaplama alanının girişine kartezyen koordinatlardaki hız bileşenleri olarak  $u = U_{\infty}=0,0157$  m/s,  $v = 0$  ve  $z=0$  hızları tanımlanır. Hesaplama alanının çıkış sınırında ise bağıl basınç 0 Pa kullanılmıştır.

### 3.9 Eksen Oranının Akış Yapısına Olan Etkisi

Eliptik silindir kısa/uzun çap oranı ile ifade edilen görünüm oranı değerlerine göre ayrı ayrı incelenecektir. Çalışmada, 1 ila 0,33 arasındaki eksen oranı ile bir dizi silindirin etrafındaki akış alanını, hidrolik çapa bağlı 40 sabitindeki Reynolds sayısında, iki boyutlu serbest akışa paralel ana eksen ile incelemek için yapılmıştır. Bu çalışmada, dairesel bir silindir yavaş yavaş azalan görünüm oranı (GO) ile eliptik bir silindir halini almıştır. Çeşitli girdap parametreleri, sürüklenme katsayısı, basınç ve hız dağılımları, silindirler üzerinde sınırlandırılmış akış için eksen oranı fonksiyonları olarak karakterize edilir.

### 3.10 Analizi Yapılacak Geometrinin Oluşturulması

#### 3.10.1 Silindir Etrafında Akış Geometrisinin Oluşturulması

Analizi yapılacak geometri Solidworks, Catia, Nx gibi herhangi bir üç boyutlu çizim programı ile oluşturulabileceği gibi Ansys içerisinde yer alan Geometry Desing Modeler modülü ile de gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada Ansys içerisindeki modül ile geometri

oluşturulması tercih edilmiştir. Bu modülün kullanılması için Ansys Workbench başlatıldıktan sonra Component System sekmesi altında yer alan Geometry modülü sürüklenerek boş ekrana getirilir. Açılan kutucuğun ikinci satırında bulunan Geometry sekmesine çift tıklanarak Design Modeler sayfasına ulaşılır. Öncelikle çizime başlamadan önce çalışılacak birimin seçilmesi gerekmektedir. Sayfada otomatik olarak metre seçili gelmektedir. Çalışmada kolaylık olması açısından milimetre biriminde çalışılmıştır. Birim değiştirmek için Units sekmesi altında milimetre seçimi yapılır. Ekranın sol tarafında yer alan Modelling kısmının Geometry sekmesi altından çizim yapılacak koordinat düzlemi seçimi yapılır. Bu geometri için XY düzlemi tercih edilmiştir. XY düzlemine tıklanıp düzleme karşıdan bakmak için sağ tık yapılarak Look at seçilir. Çizime başlamak için Sketching kısmına geçiş yapılır. Kanal çizimi için Draw sekmesi altında Rectangular komutu seçilir ve bir dikdörtgen çizilir. Çizimi ölçülendirmek için Dimensions sekmesine basılır. Kanalın uzunluğu 1500 mm girilir. Kanal genişliği ve daire çapı sabit tutulacak kanalın yükseliği ise blokaj oranına ( $d/H$ ) göre değişiklik gösterecektir. Blokaj oranı  $\beta=d/H$  olduğundan kanal yükseklikleri 0,333, 0,571 ve 0,8 blokaj oranları için sırasıyla 120,12, 70,05, 50 mm olarak hesaplanmıştır. Bu sayede kanal genişliğinin daraltılıp genişletilmesiyle silindir üzerine akışın etkisi araştırılmıştır. Çemberin çapının ölçülendirilmesi için Diameter komutu kullanılır. Çemberin çapı ( $d$ ) 40 mm olarak girilir. Çizilen dairenin merkezi XY düzleminin orijininde ve kanalın sol tarafından 500 mm uzaklıkta olacaktır. Bunun için Horizontal seçeneği ile kesikli Y eksenini ve kanalın sol kenarı seçilerek 500 mm girilir ve aynı şekilde Horizontal seçeneği ile Y eksenini ve kanalın sağ kenarı seçilerek 1000 girilir.

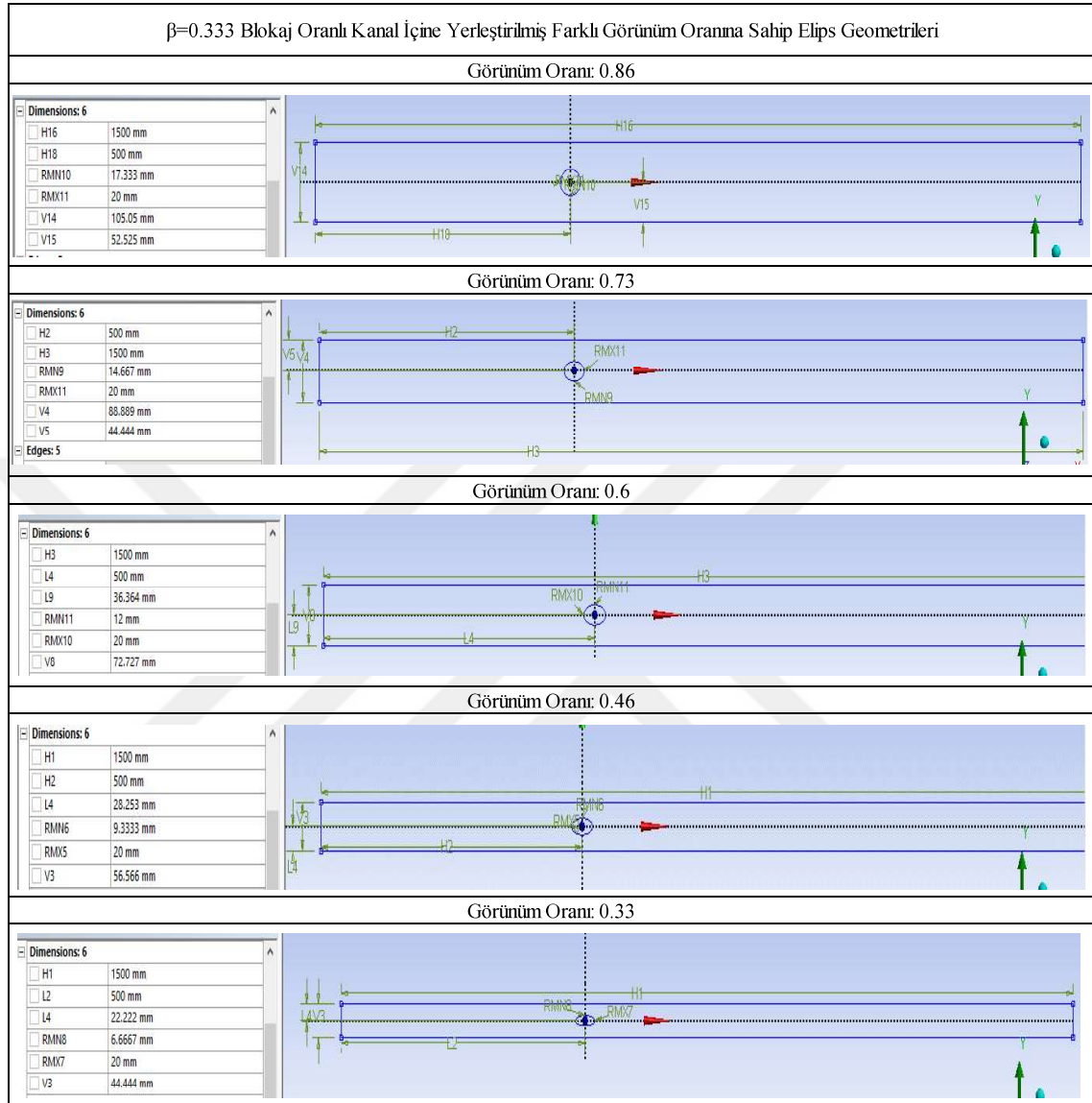
Çizimden bir yüzey oluşturabilmek için Concept sekmesi altında bulunan Surfaces from Sketches komutuna tıklandıktan sonra Sketch1 seçilerek Apply denir ve ardından Generate” komutu ile yüzey oluşumu tamamlanır. Oluşturulan yüzeye bir kalınlık vermek için ise Extrude komutu kullanılır. Extrude komutuna tıklandıktan sonra açılan kutucukta Geometry olarak oluşturulan yüzey seçilir. Direction Vector olarak belirtilen vektör yönü ise yüzey normali olarak seçilecektir. Ancak bu kısımda seçim yapabilmek için ana menü altında bulunan yüzey seçim işaretçisinin seçili olmasına dikkat etmek gereklidir. Vektör yönü de tayin edildikten sonra kalınlık olarak Depth kısmına 1 mm girilir ve Generate komutu ile kalınlık verme işlemi de tamamlanmış olur.

Geometri çizimi bu işlemten sonra tamamlanmış durumdadır. Bu aşamadan sonra geometri ağ yapısının oluşturulacağı ICEM CFD kısmı için .agdb uzantılı olarak istenilen konuma kaydedilerek ağ yapısının oluşturulması için hazır hale getirilir.

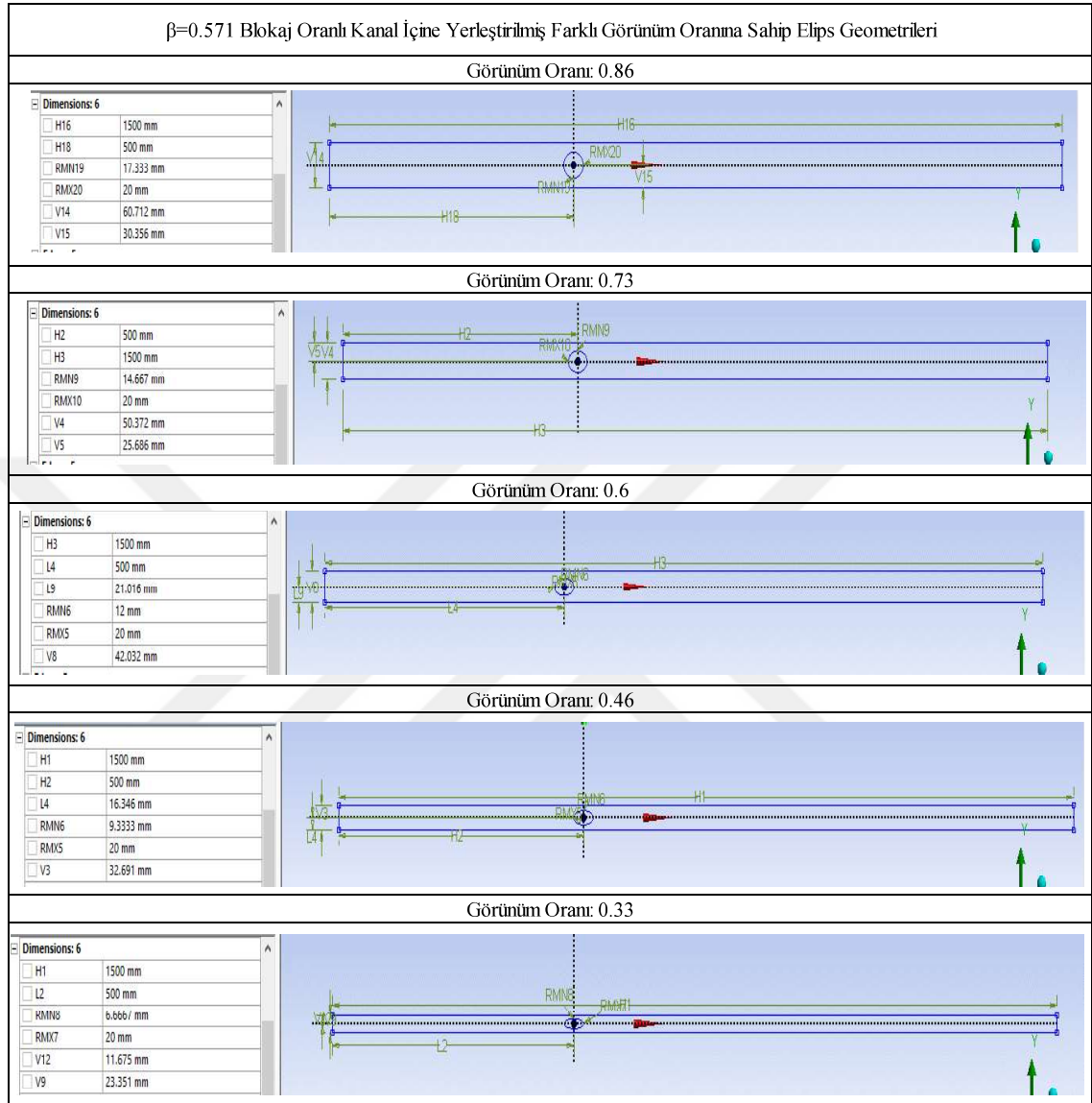
### **3.10.2 Elips Etrafında Akış Geometrisinin Oluşturulması**

Elips etrafında akış incelemesi yapılırken silindir geometrisinin akış yönündeki çapı sabit tutularak akışa dik yöndeki çapı kademeli olarak azaltılmıştır. Akışa dik yöndeki çap her kademedede çapın 2/15 'si kadar azaltılarak en son aşamada silindir çapının üçte birine kadar düşürülmüştür. Tüm parametrelerin değişimi bu beş kademe boyunca farklı blokaj oranlarında incelenmiştir. Çizilen dikdörtgenin içerisine silindir etrafındaki akış incelenirken Circle komutu ile bir daire oluşturulurken elips etrafındaki akış incelenirken Ellipse komutu seçilerek XY düzleminin merkezine bir elips çizilir. Elips ölçülendirmesi de silindirden farklı olarak Radius komutu ile yatay ve dikey yöndeki çapların yarısı girilerek tamamlanır. Kanal yükseklikleri ise blokaj oranlarına göre elipslerin kısa çapları kullanılarak hesaplanmıştır. Elipslerin kısa çapının uzun çapa oranlanmasıyla elde edilen görünüm oranlarıyla birlikte farklı blokaj oranlarında akış alanındaki geometrik ölçüleri ve görünümleri geometri çizimleri  $\beta=0,333$  için Çizelge 3.1'de,  $\beta=0,571$  için Çizelge Çizelge 3.2'de ve  $\beta=0.8$  için Çizelge 3.3'de gösterilmektedir.

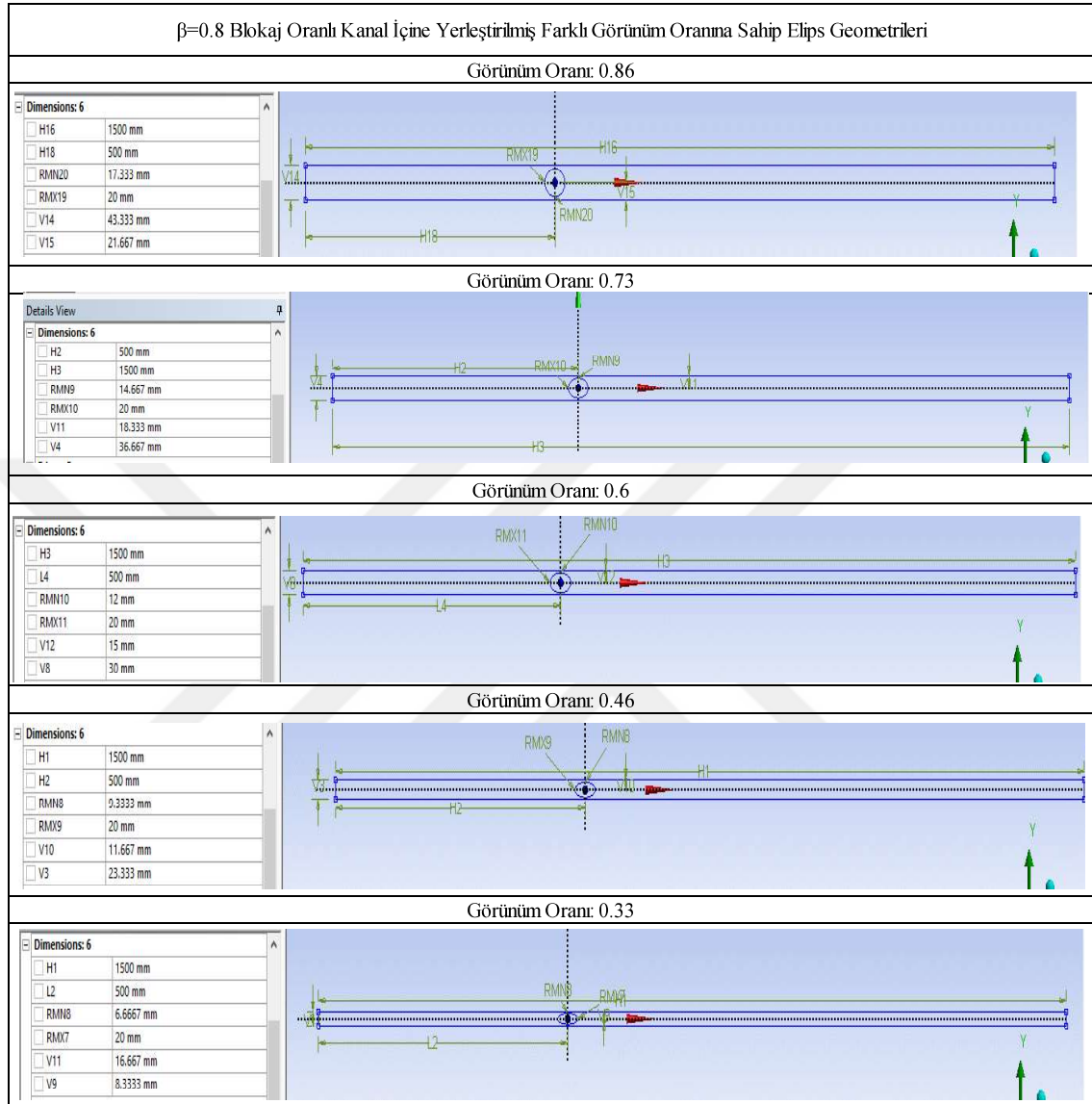
**Çizelge 3. 1.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri



**Çizelge 3. 2.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri



**Çizelge 3. 3.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarındaki silindirlerin geometri ve ölçüleri

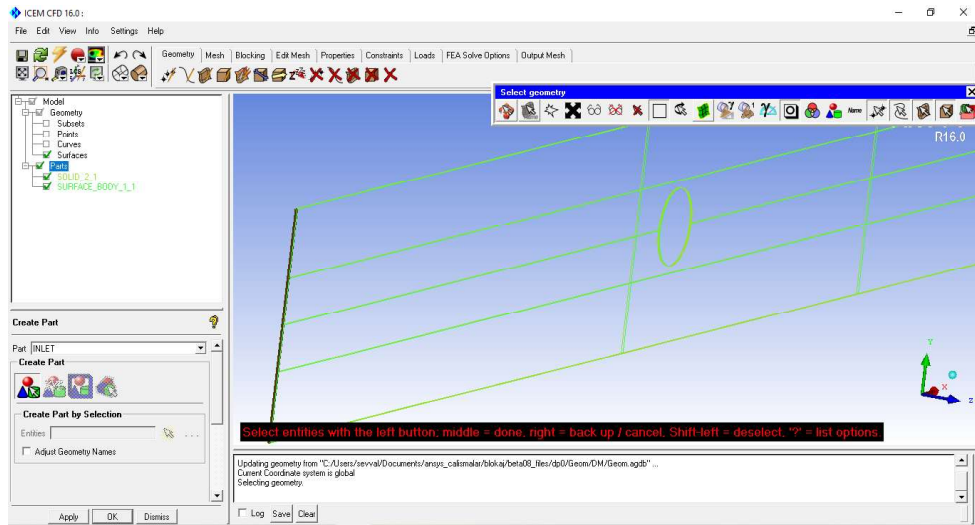


### 3.11 Ağ Yapısının Oluşturulması

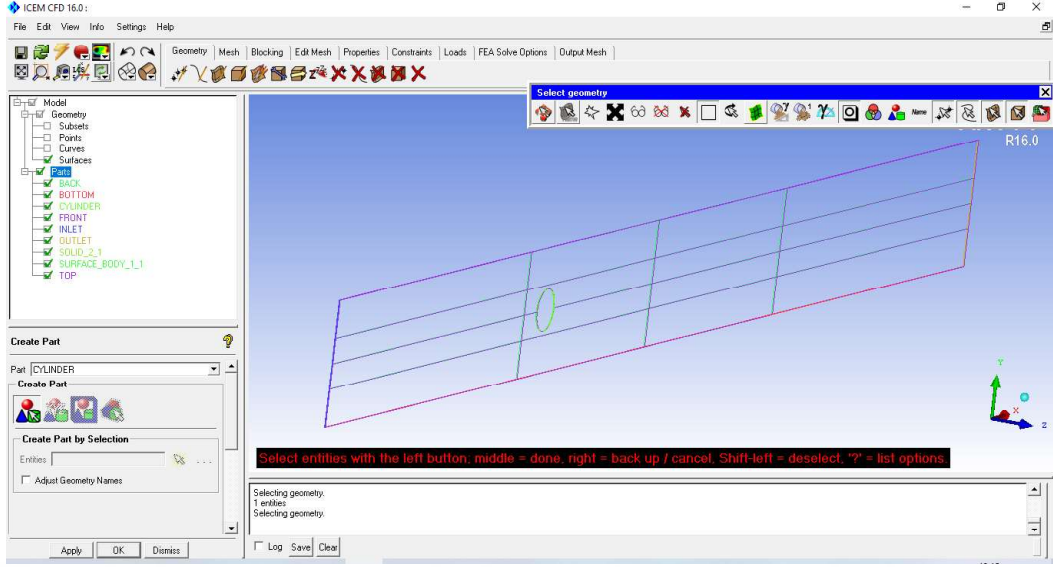
Nümerik analizin en önemli aşamasını ağ yapısının oluşturulması alır. Analizin gerçeğe en yakın sonuçları verebilmesi için analizi yapılacak sistemin, sistem geometrisine göre uygun ve mümkün en küçük elemanlara bölünmesi gerekir. Çünkü CFD çözümünün doğruluğu, hesaplama alanında kullanılan hücre sayısına bağlıdır. Genellikle hücre sayısı arttıkça çözümün doğruluğu da artacaktır. Ancak oluşturulabilecek hücre sayısı da bilgisayarın donanımına bağlı olarak hesaplama süresi ile sınırlıdır. Sayısal Hesaplamalı

Akışkanlar Dinamiği problemlerinin çözümünde kullanılan program bölünen elemanların her birinde oluşan davranışları belirlenen denklemleri uygulayarak çözüme ulaştırır Ağ yapısının oluşturulması yine Ansys içerisinde farklı bir modül olan ICEM CFD ile gerçekleştirilmiştir. Silindir ve elipsler için ağ yapısı oluşturma yöntemi aynı olmakla birlikte aşağıda silindir üzerinde gösterim yapılmıştır.

Ansys Workbench ekranına daha önce geometri oluştururken yapıldığı gibi Component System altında bulunan ICEM CDF modülü sürüklenerek taşınır. Geometrinin bu modülde açılabilmesi için daha önce sürüklenen Geometry kutucuğunun ikinci sekmesi sürüklenerek ICEM CFD altında bulunan Model sekmesine taşınır. Ağ yapısının oluşturulmasında ilk işlem sınır şartlarının verileceği yüzeylerin isimlendirilmesidir. İsimlendirme yapılırken Türkçe karakter kullanılmamaya özen gösterilir. Yüzeylerin isimlendirilmesi için Geometry sekmesi altındaki Surfaces kısmının işaretli olmasına dikkat edilmelidir. Yüzeyler görünür hale getirildikten sonra Part sekmesine sağ tık ile tıklanarak Create Part seçilir. Entities ile kanalın sol tarafındaki 1 mm kalınlığındaki duvar seçilerek Inlet ismi verilir ve Apply ile onaylanır. Bunun yanı sıra seçim yapmak için farenin sol tuşu, seçimi onaylamak için farenin orta tuşu ve seçimi kaldırmak için farenin sağ tuşu kullanılabilir. Sınır şartı tanımlaması Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Kanalın diğer yüzeylerinin isimlendirilmesi ise Şekil 3.9’da belirtildiği gibi yapılabilir.

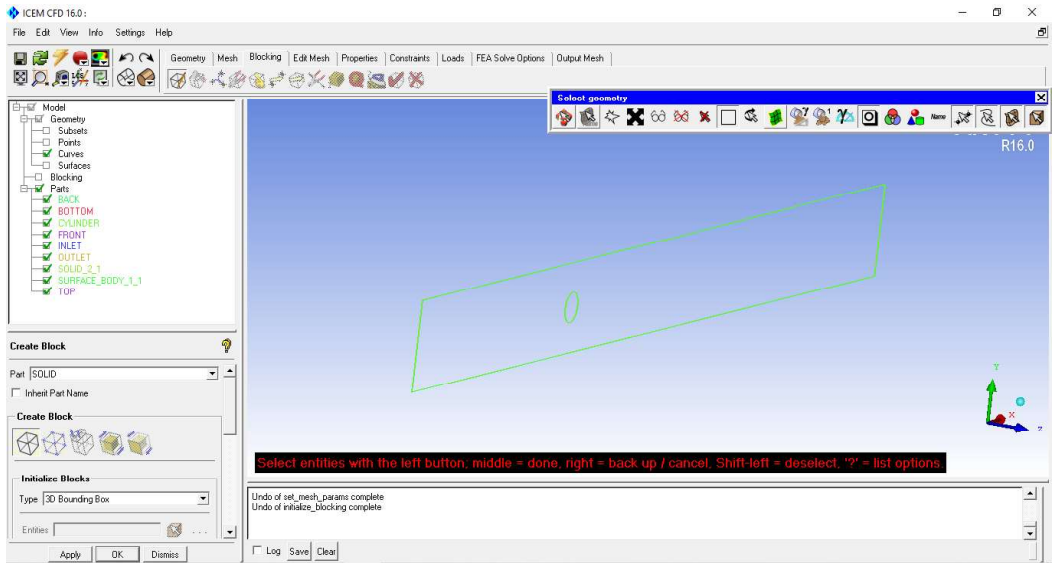


Şekil 3.8. Sınır şartı verilecek kısımların eklenmesi



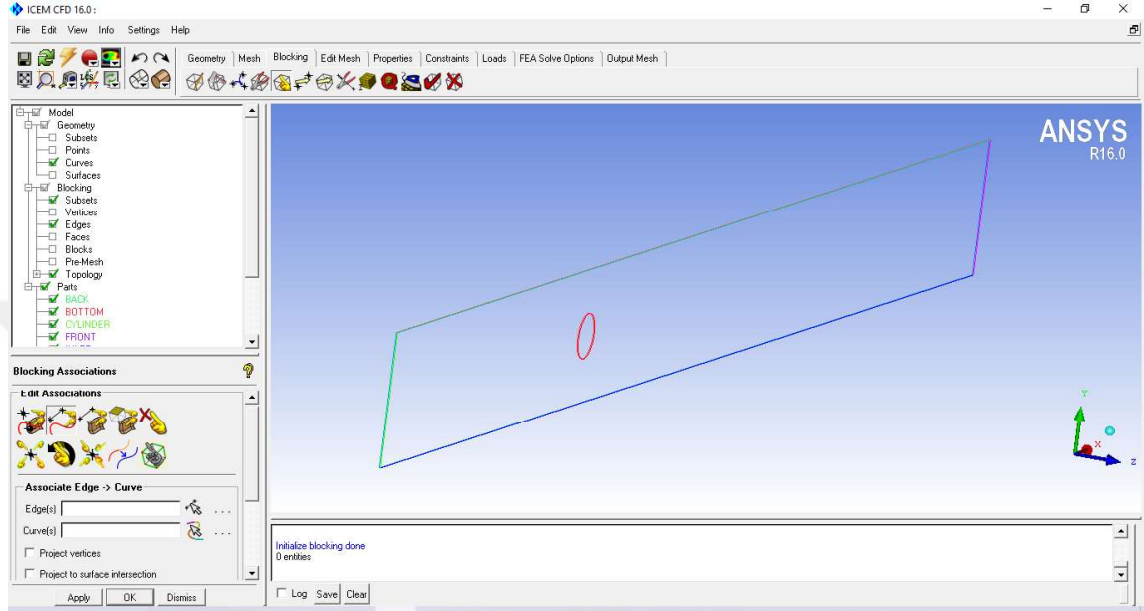
**Şekil 3.9.** Sınır şartlarının isimlendirilmesi

Sınır şartlarının isimlendirilmesinden sonra bloklama işlemine geçilir. Burada izlenecek yol bütün geometrinin tek bir blok halinde oluşturulması ve daha sonra belirlenen noktalar ile farklı bloklara ayrılması şeklinde olacaktır. Geometriden bir blok oluşturmak için Blocking sekmesi altında Create Block seçeneği seçilir. Entities kutusunun yanında yer alan kahverengi kutu tıklanır ve açılan kısımda Select all appropriate objects seçeneği işaretlenerek geometriden bütün bir blok oluşturulur. (Şekil 3.10)



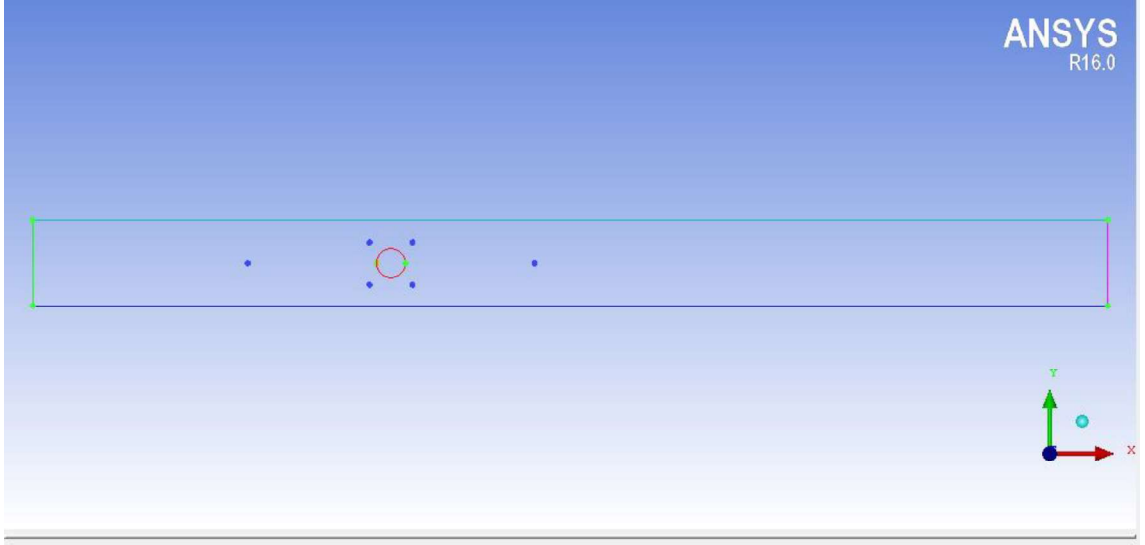
**Şekil 3.10.** Geometrinin blok haline getirilmesi

Geometrinin sekiz kenarını eğri olarak ilişkilendirmek için Blocking associate seçilir. Şekil 3.11’de belirtilen sekiz kenara bu işlem uygulanacaktır. Tek kenar edge ile seçildikten sonra orta tuş ile onaylanır ardından Curve ile aynı kenar seçilerek ilişki tamamlanır. Bu işlem sekiz kenar için de tekrarlanacaktır.



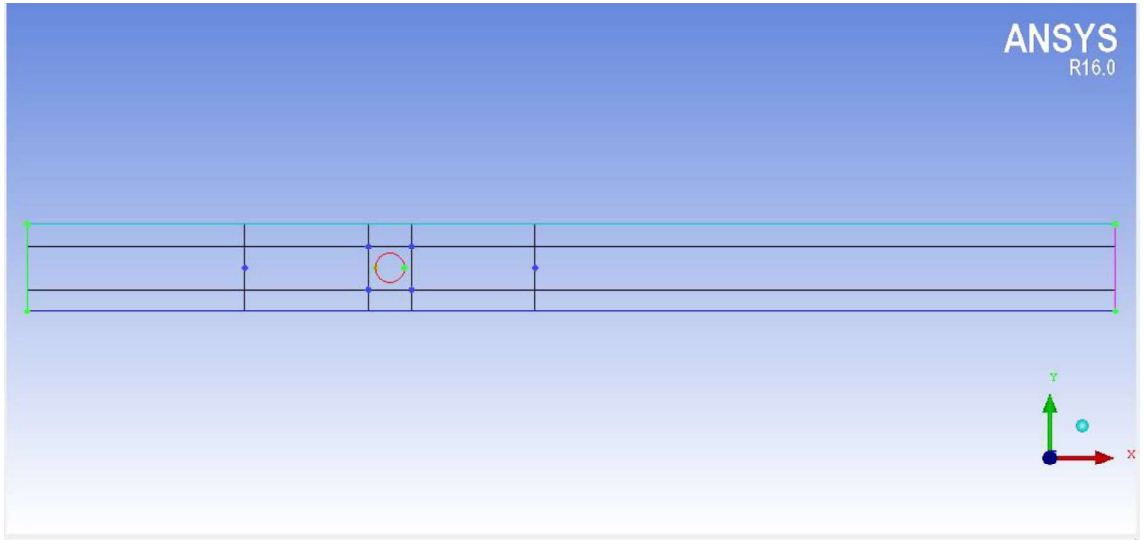
**Şekil 3.11.** Blok kenarlarının eğri olarak ilişkilendirilmesi

Tüm bloğu belirlenen noktalar ile parçalara ayırmak her bölgeye farklı yoğunlukta mesh atabilmek için gereklidir. Katı yüzeylerin yakınında daha yüksek ağ yoğunluğu kullanılacaktır. Bloklara ayrılacak kısımların belirlenebilmesi için öncelikle belirlenen yerlere nokta atama işlemi gerçekleştirilir. Bunun için Geometry sekmesi altında bulunan Create Point komutuna tıklanır. Nokta atama işlemi üç boyutlu koordinat sisteminde belirlenen koordinatlara atılacağından Explicit Coordinates seçeneği seçilir. 0,333 blokaj oranında dairesel silindir için görüntüsü örnek olarak Şekil 3.12’de verilmiştir.



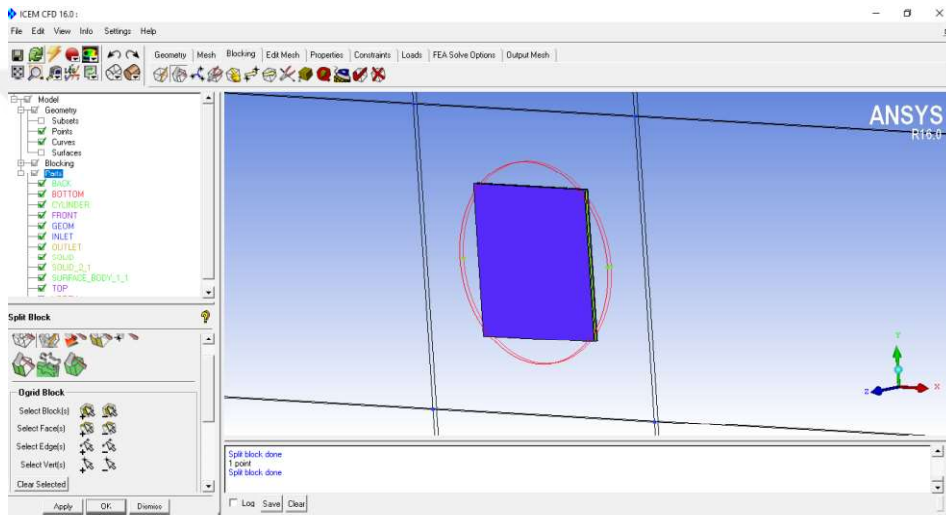
**Şekil 3.12.**  $\beta=0,333$  için bölünecek bloklar için atanan noktaların yerleri

Belirlenen noktalardan blokları bölme işlemi Blocking sekmesi altında bulunan Split Block komutu ile gerçekleştirilir. Bölme metodu olarak Prescribed point tercih edilmiştir. Edge seçimi ile kanalın üst duvarı ve Point seçimi aynı hizadaki noktalardan biri seçilir. Aynı şekilde kanalın yan duvarı ile de silindir üstündeki ve altındaki nokta seçilerek bölünür ve Şekil 3.13'deki görünüme kavuşur.

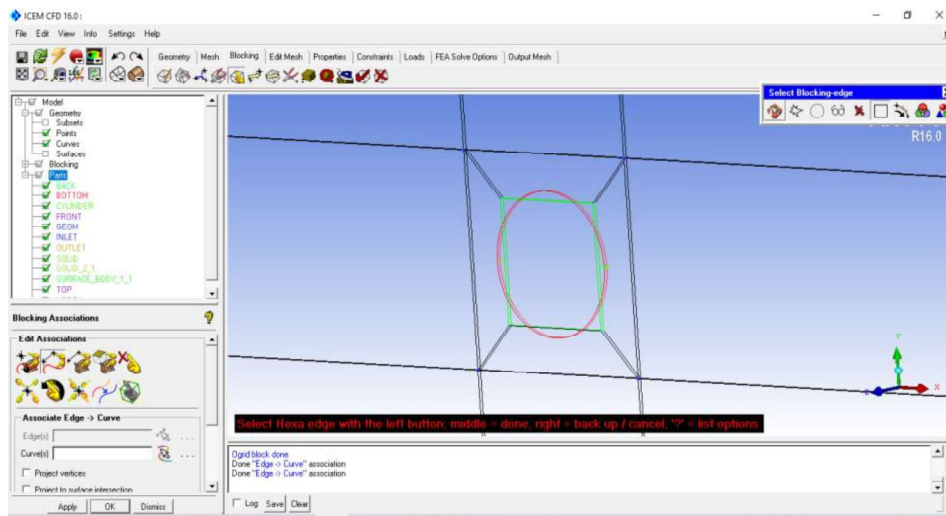


**Şekil 3.13.** Blok üzerinde atanan noktaların çizgiler ile birleştirilmesi

Daire, silindir, elips gibi kısımların etrafının modellenmesinde bölme metodu olarak Ogrid kullanılır. Ogrid sekmesi altında Select Face ile silindir ön ve arka yüzeyleri seçilip Apply ile onaylanır. Bu komut silindir etrafında bir blok yaratacaktır. Oluşturulan blok Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Çemberin etrafında oluşan kare bloğun kenarının çembere benzemesi için Blocking Associate kısmında Edge to curve komutu kullanılır. Karenin ön dört kenarı seçildikten sonra orta tuş ile onaylanır. Ardından çemberin ön çizgisi seçilerek yeniden orta tuş ile onaylanır. Aynı işlem arka taraftaki kenarlar için de tekrarlanır. İşlem sonucunda oluşan görüntü Şekil 3.15’de görüldüğü gibidir.

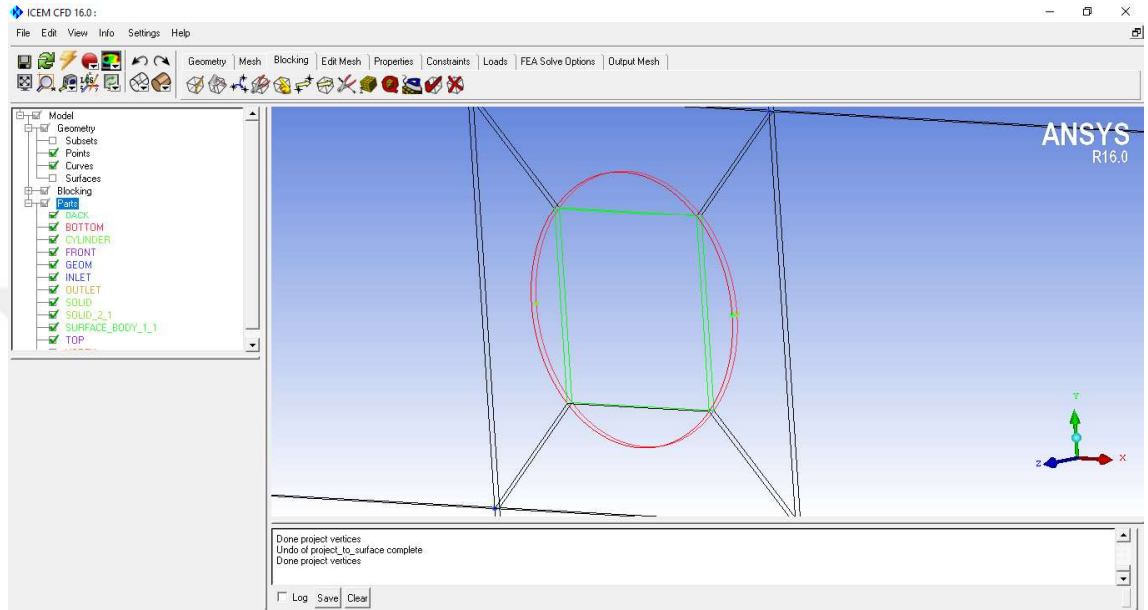


Şekil 3.14. Ogrid komutu ile silindir etrafında oluşturulan bloğun görünümü



Şekil 3.15. Çemberin etrafında oluşan bloğun çember kenarlarına benzetilmesi

Yeşil ile belirtilmiş olan kareyi silindir içerisine teğet olarak yerleştirmek gereklidir. Bunun için yine Edit Associations altında bulunan Snap Project Vertices komutu kullanılır. All visible seçeneği aktif iken yalnızca OK denilerek işlem tamamlanır. İşlem sonucunda elde edilen görüntü Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

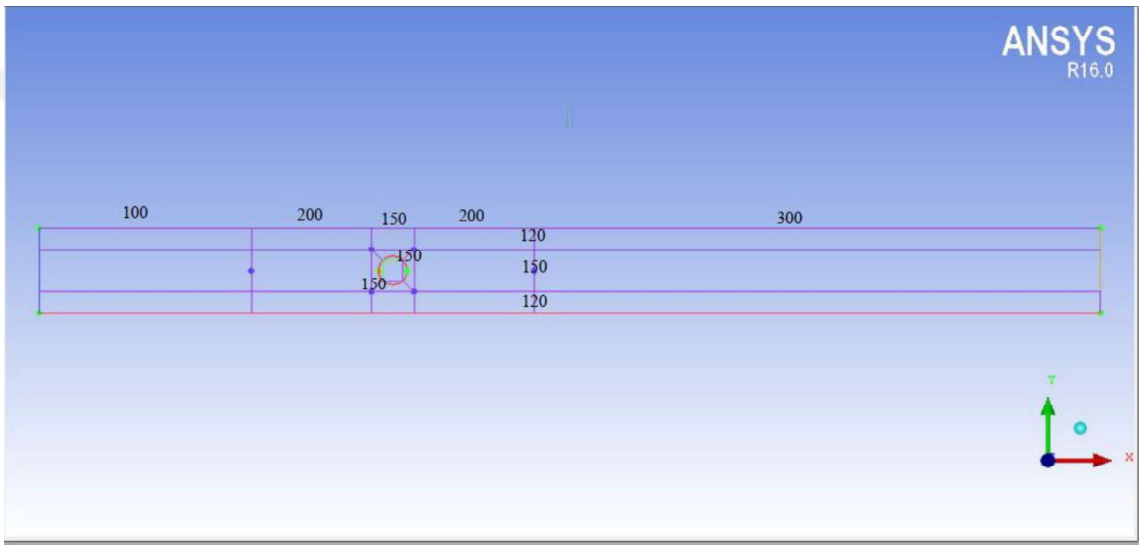


**Şekil 3.16.** Silindir etrafında oluşturulan bloğun silindir kenarına uygun hale getirilmesi Snap Project Vertices işlemi

Bu durumda silindirin içi dolu iken ağ yapısı oluşturmak anlamsızdır. Silindir içerisindeki bloğun kaldırılması gerekmektedir. Bunun için Blocking sekmesi altında bulunan Delete Block komutu ile yeşil kare içerisindeki blok seçilerek onaylanır ve boşaltma işlemi tamamlanmış olur.

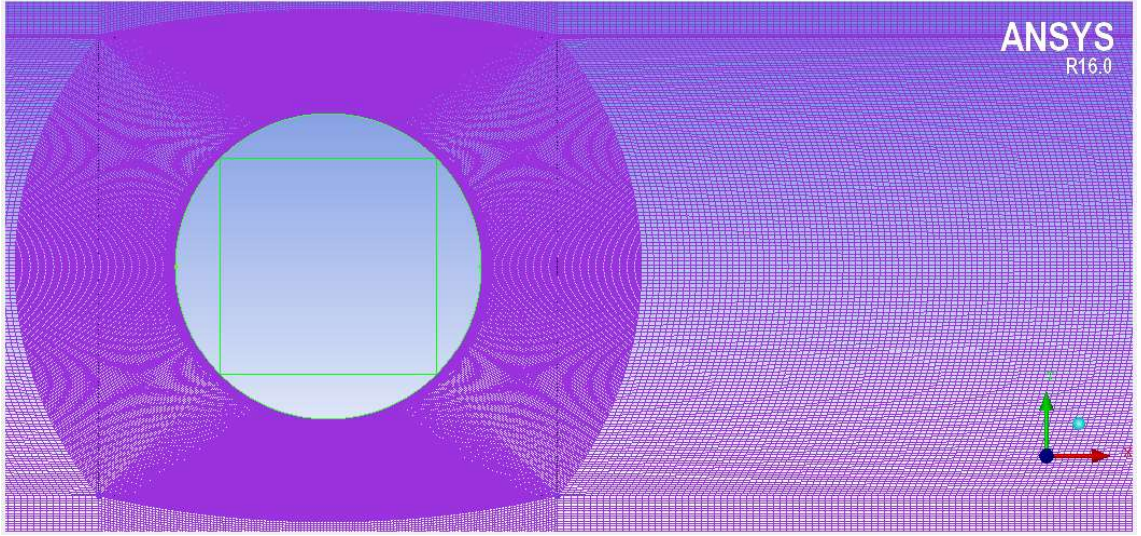
Mesh işlemine geçmeden önce çizgilerin aralarının kaç bölüneceğinin belirlenmesi gerekir. Bunun için “Blocking” sekmesi altında bulunan Pre-Mesh Params kısmında Edge Params komutuna tıklanır. Seçilen kenara paralel olan kenarların da aynı sayıya bölünebilmesi için Copy Parameters kutusu işaretli olmalıdır. Burada dikkat edilecek bir husus ratio değerleridir. Ratio değeri değiştirilmediğinde çizgi boyunca aynı boyutta bölme işlemi gerçekleştirilir. Çizgi üzerinde bulunan okun başlangıç noktası 1 noktasını bitiş noktası 2 noktasını temsil etmektedir. Silindir etrafındaki ve kanal üst ve alt duvarındaki modellemenin analizin daha iyi sonuç vermesi için daha küçük parçalara

bölünmesi daha doğru olacaktır. Bu yüzden ok yönleri dikkate alınarak meshlerin silindire ve kanal duvarına yakın kısmında ince başlayıp hat boyunca kalınlaşması sağlanır. Silindirin üst tarafındaki dikey çizgilerde Ratio 2 oranı 1.1, Spacing 2 değeri 0,00001, silindirin alt kenarındaki dikey çizgilerde Ratio 1 oranı 1.1, Spacing 1 oranı 0,00001 ve silindir etrafındaki silindire değen çizgilerde Ratio 2 oranı 1.1, Spacing 2 değeri 0,00001 olarak seçilir. Diğer ayarlar otomatik olarak bırakılır. “Nodes” kısmı seçilen kenarın kaç bölüneceğini gösterir. Kenarların kaç bölündüğü Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.17.** Bütün bloğu parçalara bölme kısımlarının oluşturulması

Mesh işlemi tamamlanmadan önce Blocking ağacı altında Pre-Mesh kısmının yanındaki kutucuk işaretlenip Yes denildiğinde mesh işleminin nasıl olacağı ve kontrolü yapılabilir. Ayrıca Pre-mesh kısmına sağ tıklanıp Pre-mesh Info denildiğinde mesh sayılarına ulaşılabilir. Pre-mesh sağ tık ile Convert to unstruct seçildiğinde pre-mesh normal mesh yapısına dönüştürülür. Mesh yapısının görüntüsü Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.18.** Pre-mesh sonucunda elde edilen ağ yapısı

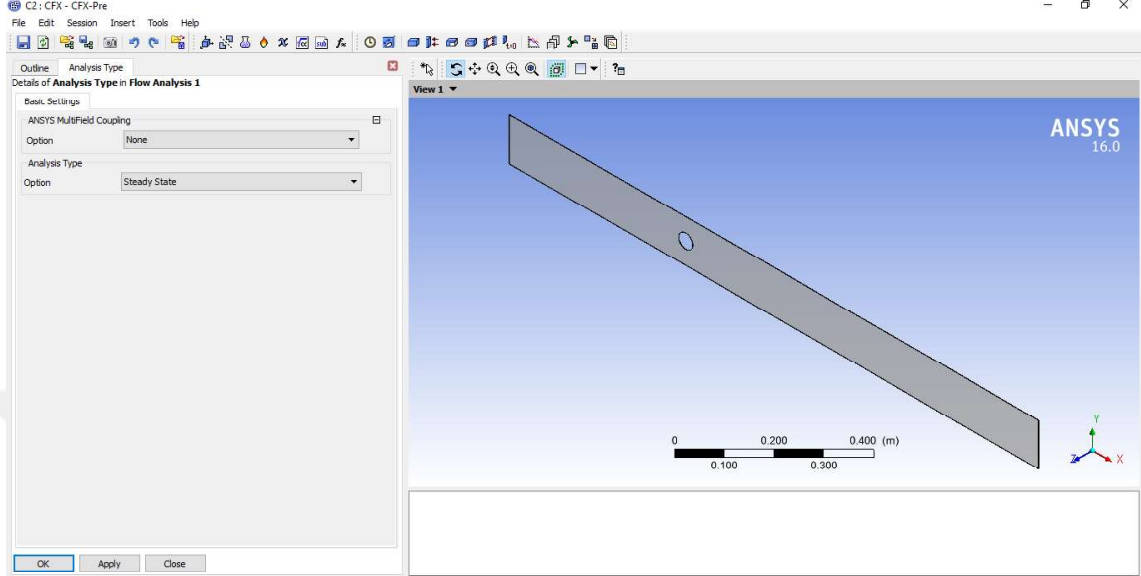
Oluşturulan mesh yapısının CFX 'e uygun hale getirilip kullanılması için Output Mesh > Solver Setup ANSYS CFX seçilir ve OK denir. Bundan sonraki işlemlerde otomatik olarak ANSYS CFX'in seçili olması istenirse Set as default kutucuğu işaretlenmelidir. Ağ yapısını yazdırmak için Output Mesh > Write Input seçilerek açılan kutucukta "ASCII or BINARY File" işaretlenerek "Done" ile işlem tamamlanır.

Çözüm aşamasına geçmeden önce oluşturulan ağ yapısının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için Edit Mesh kısmındaki Check Mesh'e tıklanıp OK denilerek mesaj kutusundan sonuç kontrol edilir. Eğer ağ yapısında bir hata varsa geri dönüp düzeltilmelidir. Eğer bir sorun gözüküyorsa modelleme kaydedilerek CFX kısmına geçilebilir.

### **3.12 Sınır Şartlarının Tanımlanması ve Programın Çalıştırılması**

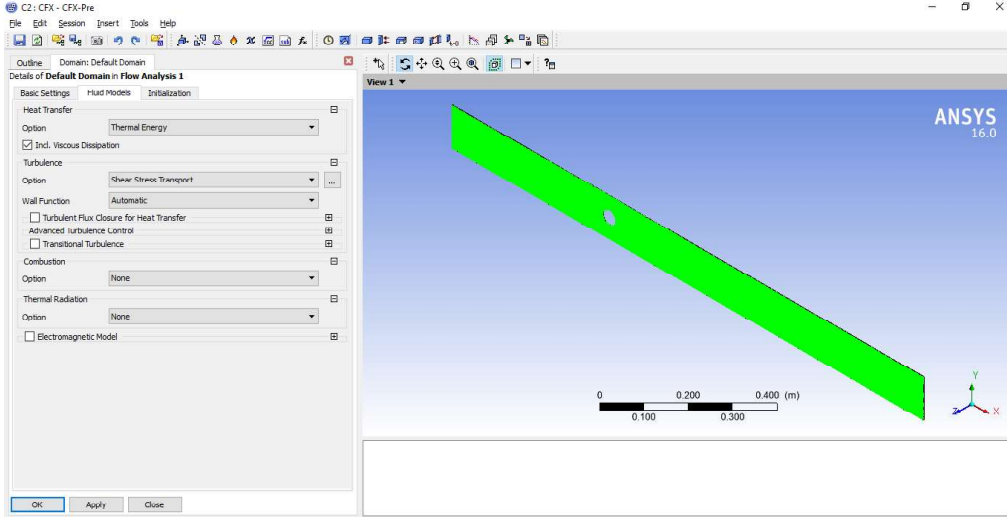
Ağ yapısının oluşturulmasından sonra çözümü yapılacak geometrinin mesh yapısıyla birlikte CFX'e aktarılması gerekmektedir. Bunun için öncelikle ANSYS Workbench ekranında "Component Systems" altında bulunan CFX modülü sürüklenerek Workbench ekranına taşınır. Ardından ICEM CFD altında Model sekmesi sürüklenerek CFX altında bulunan "Setup" sekmesine taşınır. Ağ yapısının aktarılmasının ardından ilk önce

yapılacak analizin tipi seçilir. Çalışma sürekli rejimde olduğundan Analysis Type > Option > Steady State Şekil 3.19’da gösterildiği gibi seçilir.



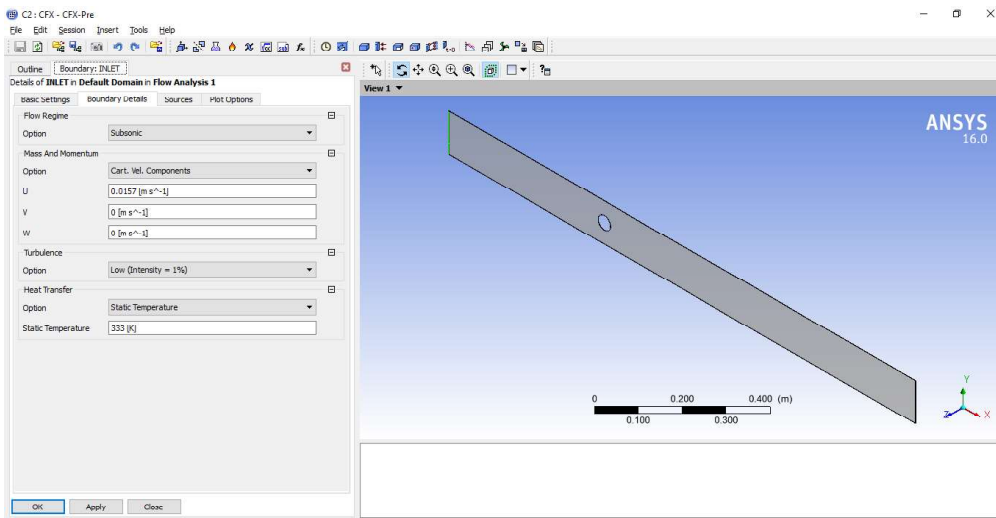
**Şekil 3.19.** CFX’de analiz tipinin tanımlanması işlemi

Akışkan cinsini tayin etmek için Default Domain yazan sekmeye çift tıklanarak Material kısmında Air Ideal Gas seçilerek akışkan tayini yapılmış olur. Default Domain altında bulunan Fluid Models kısmında Heat Transfer seçeneği olarak Thermal Energy seçilerek temel enerji denklemlerini dahil ederek çözülmesi için de altta bulunan Inc. Viscous Dissipation kutucuğu işaretlenir. Türbülans seçeneği olarak da Shear Stress Transport seçilir. Seçim yöntemi Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.20.** CFX’de akış çeşidinin tanımlanması

Sınır şartlarının tanımlanması için Default Domain kısmında sağ tık yapılarak Insert > Boundary seçilir. Açılan pencereye INLET girilir. Açılan pencerede Boundary Type ve Location olarak Inlet seçilir. Boundary Details kısmında akış ses hızının altında olduğundan Flow Regime seçeneği Subsonic seçilir. Kütle ve momentum transferi için hız bileşenleri kartezyen koordinatlardaki u, v, w kullanılmıştır. U yönündeki hız 0,0157 m/s, v yönündeki hız 0 m/s ve y yönündeki hız 0 m/s olarak girilir. Türbülans seçeneği olarak Low (Intensity = % 1 ) ve ısı geçişi için statik sıcaklık kullanılmış ve havanın kanala giriş sıcaklığı olarak statik sıcaklık değeri 333 K olarak girilmiştir. Inlet için sınır şartları ayrıca Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.21.** Havanın akış hızının ve hesaplama alanına giriş koşullarının tanımlanması

Çıkış sınır şartlarını tanımlamak için Default Domain sekmesine sağ tıklayarak Insert > Boundary > OUTLET yazılır. Location ve Boundary Type olarak “Outlet” seçilir. Boundary Details kısmında ise Relative Pressure olarak belirtilen bağıl basınç 0 Pa olarak girilir ve onaylanır. Üst duvar için önceki işlemlerde olduğu gibi sınır şartı girişi yapılır ve TOP yazılır. Boundary Type olarak bu kez Wall seçeneği seçilir. Location olarak ise TOP seçimi yapılır. Boundary details kısmında Mass and Momentum seçeneği olarak No Slip Wall, Wall Roughness seçeneği olarak Smooth Wall, Heat Transfer seçeneği olarak ise Adiabatic seçilir. Alt duvar için de üst duvar için yapılan seçimlerin aynısı tekrarlanır yalnızca sınır şartı ismi olarak BOTTOM girilir.

Kanalın ön ve arka duvarları simetriktir. Bu kısımlar için yeni bir sınır şartı tanımlaması yapılmalıdır. Diğer kısımlarda olduğu gibi sınır şartı ismi olarak önce FRONT ardından BACK eklenir. Her ikisinde de Boundary Type olarak Symmetry, Location olarak bulunduğu kısma göre FRONT ve BACK tercih edilir.

Silindir için de ayrı bir sınır şartı tanımlaması yapılması gerekir. Silindir için sınır şartı ismi olarak CYLINDER atanır. Boundary Type olarak Wall ve Location yeri de CYLINDER olarak seçilir. Boundary Details kısmında üst ve alt duvarlarda olduğu gibi No Slip Wall ve Smooth Wall girilmesine karşın silindir duvarı adyabatik olmadığından Heat Transfer > Option > Temperature > Fixed Temperature 293 K olarak girilir. Bu seçimle birlikte sınır şartlarının tanıtılması tamamlanmıştır.

Kanalın içerisinde hava bulunmaktadır. Bu havanın kanaldaki ilk değerlerinin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu işlem ekranın üzerinde yer alan  $t=0$  yazılı Global Initialization sekmesi ile yapılır. Velocity Type > Cartesian, Cartesian Velocity Components > Option > Automatic with value > u, v, w değerleri 0 m/s olarak girilir. Static Pressure > Option > Automatic with value > Relative Pressure değeri 0 Pa olarak girilir. Temperature > Option > Automatic with value değeri 333 K olarak girilir. Turbulence > Option > k and epsilon seçilir ve diğer değerler otomatik bırakılarak onaylanır.

Çözümde izlenecek yolu belirlemek amacıyla Solver Control sekmesine tıklanır. Max Iterations değeri olarak 500 ve Residual Target değeri olarak da 1E-7 girilir. Çözüm yapılırken bu değerden sonrası artık değer olarak kabul edilecektir. Solver sekmesine sağ tıklanır, Insert kısmından Expert Parameters altında bulunan Pyhsical Models sekmesine geçilir ve tbulk for htc kutucuğu işaretlenerek 333 değeri girilir. Bu işlem ile kanal içerisinde 333 K hava bulunduğu belirtilmiş olur. Ayrıca kanal duvarındaki ısı transfer katsayısının hesaplanmasını sağlayacaktır.

Çözüm yapılırken bilgisayarın performansına uygun seçimleri yapabilmek için ekran üstünde yer alan Execution Control kısmı kullanılır. İterasyonların iki kez çözümlenerek tekrarlanması için Double Precision kutucuğu işaretlenir. Bilgisayar işlemcisine göre Parallel Environment kısmından uygun olan seçilerek Number of Process kısmında kaç işlemcinin bir arada çözmesi istendiği girilir.

Çalışma bu aşamadan sonra çözüme hazır hale gelmiş bulunmaktadır. Çözümü başlatmak için bu kısımdan kaydedilerek çıkış yapılabilir. CFX altında bulunan Solution kısmına tıklanarak Solver Manager sayfası açılır ve Start Run ile ANSYS çalışmayı çözmeye başlar. Çözüm süreci bilgisayarın performansına göre değişiklik göstermektedir. Çözüm tamamlandıktan sonra çıkan diyalog kutusunda Post Process Results tıklanarak CFD-Post ile sonuçların alınması kısmına geçilebilir.

### **3.13 Analiz Sonuçlarının Alınması**

CFD-Post sayfasında çözüme ait istenen tüm sonuçların çıktısı alınabilmektedir. Burada izlenecek yol kanalın ön ve arka yüzlerinin tam ortasında bir düzlem oluşturup bu düzlemin daire ile kesiştiği halka şeklindeki alanın fiziksel özelliklerini çıkartmak olacaktır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için öncelikle Location sekmesinden Plane oluşturulur. Kanalın tam ortasına yerleştirebilmek için Z değeri 0.0005 m olarak girilir. Oluşturulan düzlem ile silindiri kesiştirebilmek için yine Locations sekmesinden Polyline seçilir. Method yöntemi olarak Boundary Intersection seçildikten sonra Boundary List

seçeneklerinden CYLINDER ve Intersect With seçeneklerinden Plane 1 seçilerek silindirin tam ortasına bir daire çizilmiş olur.

İstenilen değerlerin çıktısını almak için File sekmesinden Export kısmına geçilir. Açılan kutuda öncelikle File kısmına istenilen dosya adı yazılır. Ardından Locations sekmesinden Polyline seçilir. Aşağıda bulunan listeden Ctrl'e basılı tutularak Pressure (Basınç), Wall Heat Transfer Coefficient (Isı Transfer Katsayısı), Wall Shear (Kayma Gerilmesi), X ve Y seçilir ve Save denir. Bu işlem ile analizden belirlenen konuma belirlenen dosya adı ile polyline üzerinde istenen değerler oluşturulur.

Polyline üzerindeki sonuçların haricinde bir de geometri üzerine belirli noktalara çizgiler atayıp bu çizgiler üzerindeki hız ve sıcaklık değerleri alınmıştır. Silindir ve elips geometrisinde çizgilerin y ekseninde uzaklıkları farklılık göstermektedir. Çizgiler atanırken silindir veya elips önüne atananlara  $x_{us}$ , silindir veya elips arkasına atanan çizgilere  $x_{ds}$  kısaltması verilmiştir. Atanan çizgilerin silindir yüzeyinden olan mesafeleri Çizelge 3.4'de gösterilmiştir. Çizgiler üzerindeki çıktılar alınırken polylinedan farklı olarak Locations kısmında atanan çizginin ismi seçilecek ve listeden Temperature, Velocity u ve Y seçilecektir. Bu elde edilen veriler ile akış ve ısı transferi parametrelerinden Reynolds sayısı, basınç katsayısı ( $C_p$ ), duvardaki kayma gerilmesi ( $\tau$ ), lokal ve ortalama Nusselt sayıları hesaplanmak istenmiştir.

**Çizelge 3.4.** Silindir önünde ve arkasında referans çizgilerin konumları

Silindir Önü ←		Silindir Arkası →	
$x_{us1}$	0 m	$x_{ds1}$	0 m
$x_{us2}$	$2 \times 10^{-4}$ m	$x_{ds2}$	$2 \times 10^{-4}$ m
$x_{us3}$	$1 \times 10^{-3}$ m	$x_{ds3}$	$1 \times 10^{-3}$ m
$x_{us4}$	$2 \times 10^{-3}$ m	$x_{ds4}$	$2 \times 10^{-3}$ m
$x_{us5}$	$5 \times 10^{-3}$ m	$x_{ds5}$	$5 \times 10^{-3}$ m

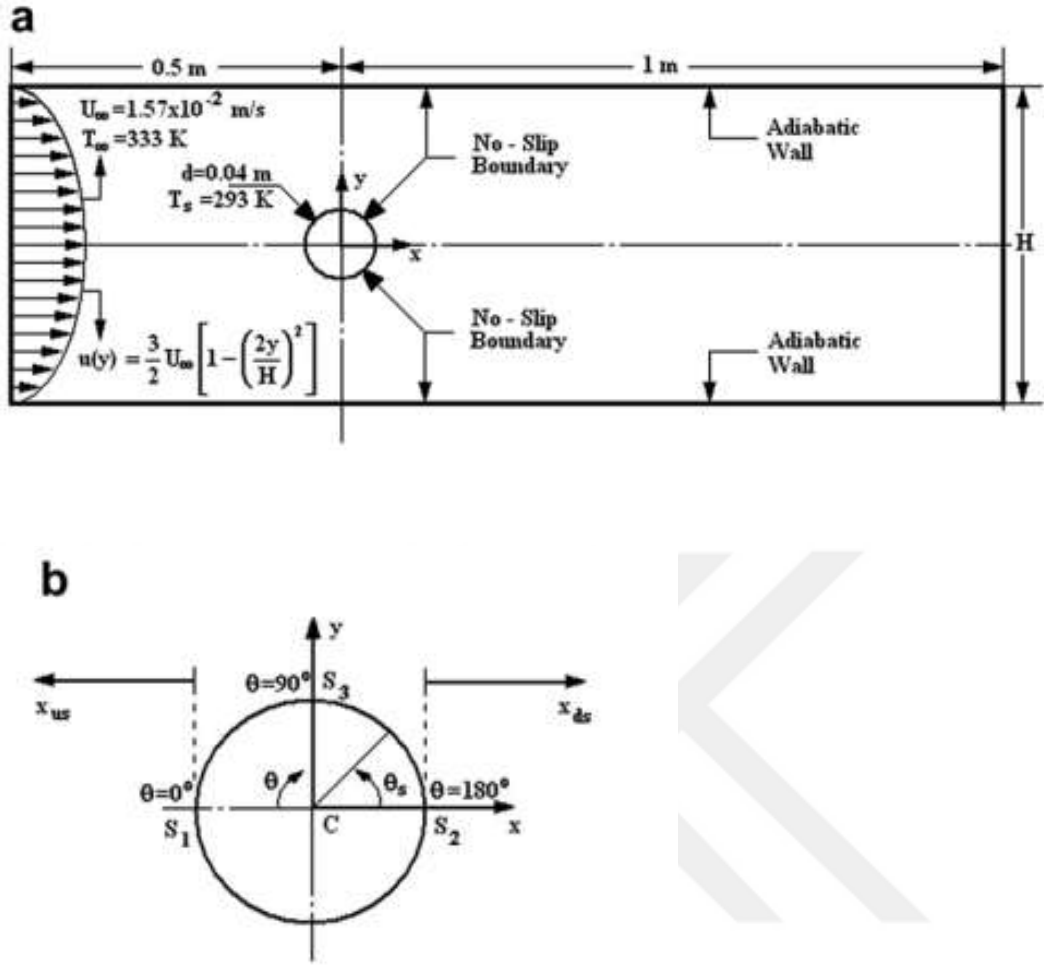
## 4. BULGULAR

### 4.1. Doğrulama Çalışmaları

Tez çalışmasına başlamadan önce literatürde yapılan çalışmalar detaylıca incelenmiş, yapılan çalışmaları doğrulama kapsamında silindir etrafındaki akış için Özalp ve ark. (2010) çalışması kullanılmıştır. Bu çalışmaların doğrulanması sonrasında aynı senaryo için silindirin akış yönüne dik olan çap uzunluğu beş kademedeki üçte bir oranına düşürülerek aşamalı olarak elips için parametrelerin değişimi incelenmiştir. Elips etrafında akış için mevcut kaynaklardan faydalanılmış ancak çalışılan Re değeri ve blokaj oranlarında eliptik bir silindirin kararlı durumdan ayrılışı üzerindeki etkisi sistematik olarak araştırılmadığından uygun bir doğrulama çalışması elde edilememiş, yapılan çalışmanın literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Silindir için Özalp ve ark. (2011), dairesel bir silindir etrafındaki akışta hidrodinamik ısı ve kütle transferleri karakteristiklerinde blokaj oranının etkisini,  $\beta=0,200-0,800$  aralığında incelemiştir. Yapılan analizler doğrultusunda dairesel silindir etrafındaki akışta hidrodinamik ve termal sınır tabakalar elde edilmiştir. Analiz verilerine bakıldığında blokaj oranının  $\beta=0,333, 0,571$  ve  $0,800$  değerlerinde silindir etrafındaki ayrılma açılarının sırasıyla  $\theta_s=50.20^\circ, 41.98^\circ$  ve  $37.30^\circ$  olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmadaki geometri Şekil 4.1'de ve kullanılan parametreler Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.1.** Hesaplama alanının gösterimi a)Fiziksel model b)Koordinat sistemi

**Çizelge 4.1.** Doğrulama çalışmasında kullanılan parametreler

$\beta=D/H$	0,200	0,333	0,571	0,800
Re	40	40	40	40
D [mm]	40	40	40	40
$U_{\infty}$ m/s	$1,57 \times 10^{-2}$ m/s	$1,57 \times 10^{-2}$ m/s	$1,57 \times 10^{-2}$ m/s	$1,57 \times 10^{-2}$ m/s
$T_{\infty}$ [K]	333	333	333	333
$T_s$ [K]	293	293	293	293

**Çizelge 4.2.** Doğrulama çalışması- basınç değerleri

GRAFİKLER		BASINÇ																	
		A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.	Doğrulama Çalışmaları – 1																
AÇIKLAMA-1			<p>Basınç grafiği aşağıdaki <math>\beta</math> değerleri için çizdirilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 0.8</li> <li>* 0.666</li> <li>* 0.571</li> <li>* 0.5</li> <li>* 0.444</li> <li>* 0.4</li> <li>* 0.364</li> <li>* 0.333</li> </ul>	<p>Basınç grafiği aşağıdaki <math>\beta</math> değerleri için çizdirilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 0.333</li> <li>* 0.571</li> <li>* 0.8</li> </ul>															
	AÇIKLAMA-2	<p style="text-align: center;"><math>\theta = 0^\circ</math> değerinde</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th>P (Pa)</th> <th><math>\beta</math></th> <th>P (Pa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td>0.0015</td> <td>0.333</td> <td>0.0008</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td>0.0023</td> <td>0.571</td> <td>0.0023</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.013</td> <td>0.8</td> <td>0.011</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Blokaj oranı arttıkça statik basınç değeri artmaktadır.</p>			$\beta$	P (Pa)	$\beta$	P (Pa)	0.333	0.0015	0.333	0.0008	0.571	0.0023	0.571	0.0023	0.8	0.013	0.8
$\beta$	P (Pa)	$\beta$	P (Pa)																
0.333	0.0015	0.333	0.0008																
0.571	0.0023	0.571	0.0023																
0.8	0.013	0.8	0.011																
AÇIKLAMA-3	<p style="text-align: center;"><math>P \approx 0</math> Pa değerinde</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th><math>\theta</math></th> <th><math>\beta</math></th> <th><math>\theta</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td></td> <td>0.333</td> <td>111.44</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td></td> <td>0.571</td> <td>106.8</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td></td> <td>0.8</td> <td>101.19</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>\beta</math> : 0.333 <math>\rightarrow</math> 0.8  <math>\theta_{P_{s-min}}</math> : 93.5° <math>\rightarrow</math> 109.9°</p> <p><math>\beta = 0.333, 0.571</math> ve <math>0.8</math> oranlarında silindir için yapılan analizler sonucu hesaplanan <math>\theta</math> değerlerinin makalede hesaplanan aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.</p>			$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$	0.333		0.333	111.44	0.571		0.571	106.8	0.8		0.8	101.19
$\beta$	$\theta$	$\beta$	$\theta$																
0.333		0.333	111.44																
0.571		0.571	106.8																
0.8		0.8	101.19																

**Çizelge 4.3.** Doğrulama çalışması - kayma Gerilmeleri, ayrılma açıları ve  $C_f$  değerleri

KAYMA GERİLMELERİ				
GRAFİKLER-1	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.		Doğrulama Çalışması	
AÇIKLAMA-1	<p>Kayma gerilmeleri grafiği aşağıdaki <math>\beta</math> değerleri için çizdirilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 0.8</li> <li>* 0.666</li> <li>* 0.571</li> <li>* 0.5</li> <li>* 0.444</li> <li>* 0.4</li> <li>* 0.364</li> <li>* 0.333</li> </ul>		<p>Kayma gerilmelerine ait grafiğin çizdirilmesinde kullanılan <math>\beta</math> değerleri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*0.333</li> <li>*0.571</li> <li>*0.8</li> </ul>	
	Ayrılma Açısı ( $\theta_s$ )			
AÇIKLAMA-2	Kayma Gerilmesinin $\approx 0$ Pa olduğu değerlerde görülen açıdır			
	$\beta$	$\theta_s$	$\beta$	$\theta_s$
	0.333	50.2	0.333	50.43
	0.571	41.98	0.571	42.2
	0.8	37.3	0.8	37.11
	Makalede; $\beta = 0.333, 0.571$ ve $0.800$ değerlerinde ayrılma açıları $\theta_s = 50.20^\circ, 41.98^\circ$ ve $37.30^\circ$ olarak hesaplanmıştır.		Analiz sonuçlarından elde edilen değerlerin makaledeki değerler ile aynı aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.	
GRAFİKLER-2	Maksimum Sürtünme Katsayıları ve $\vartheta_{Cf-max}$ Değerleri			
AÇIKLAMA-3	Blokaj oranının artmasıyla maksimum sürtünme katsayıları da artmaktadır.			
	$\vartheta_{Cf-max}$ kayma gerilmesinin maksimum olduğu değerlerde görülen değerlerdir.			
	$\beta$	$\vartheta_{Cf-max}$	$\beta$	$\vartheta_{Cf-max}$
	0.333	$\approx 50$	0.333	51.04
	0.571	$\approx 75$	0.571	71.21
	0.8	$\approx 94$	0.8	95.01

**Çizelge 4.4. Doğrulama Çalışması - taşınımla ısı transfer katsayıları ve Nu sayıları**

TAŞINIMLA ISI TRANSFER KATSAYISI																			
	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.		Doğrulama Çalışması																
GRAFİKLER																			
	<p>Isı transfer katsayısı grafiği aşağıdaki <math>\beta</math> değerleri için çizdirilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 0.8</li> <li>* 0.666</li> <li>* 0.571</li> <li>* 0.5</li> <li>* 0.444</li> <li>* 0.4</li> <li>* 0.364</li> <li>* 0.333</li> </ul>	<p>Isı transfer katsayısı grafiği aşağıdaki <math>\beta</math> değerleri için çizdirilmiştir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*0.333</li> <li>*0.571</li> <li>*0.8</li> </ul>																	
AÇIKLAMA-2	<b>Ortalama Isı Transfer Katsayıları</b>																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th><math>h_{ort}</math> ( W/m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td>2.76</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td>3.38</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>4.43</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>\beta=0.333, 0.571</math> ve <math>0.8</math> blokaj oranlarında ortalama taşınımla ısı transfer katsayıları <math>2.76, 3.38</math> <math>W/m^2K</math> olarak hesaplanmıştır.</p>	$\beta$	$h_{ort}$ ( W/m <sup>2</sup> K)	0.333	2.76	0.571	3.38	0.8	4.43	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th><math>h_{ort}</math> ( W/m<sup>2</sup>K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td>2.75</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td>3.36</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>4.23</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analizler sonucu elde edilen ortalama ısı transfer katsayısının makalede elde edilen değer aralığında olduğu gözlemlenmiştir.</p>			$\beta$	$h_{ort}$ ( W/m <sup>2</sup> K)	0.333	2.75	0.571	3.36	0.8
$\beta$	$h_{ort}$ ( W/m <sup>2</sup> K)																		
0.333	2.76																		
0.571	3.38																		
0.8	4.43																		
$\beta$	$h_{ort}$ ( W/m <sup>2</sup> K)																		
0.333	2.75																		
0.571	3.36																		
0.8	4.23																		
AÇIKLAMA-2	<b>Ortalama Nusselt Sayıları</b>																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th><math>Nu_{ort}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td>4.05</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td>4.97</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>6.51</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>\beta=0.333, 0.571, 0.800</math> 'de ortalama Nusselt değerleri <math>4.05, 4.97</math> ve <math>6.51</math>' dir.</p>	$\beta$	$Nu_{ort}$	0.333	4.05	0.571	4.97	0.8	6.51	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\beta</math></th> <th><math>Nu_{ort}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.333</td> <td>4.05</td> </tr> <tr> <td>0.571</td> <td>4.94</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>6.22</td> </tr> </tbody> </table> <p>Elde edilen ortalama Nusselt sayılarının makalede hesaplanan değerler aralığında olduğu gözlemlenmiştir.</p>			$\beta$	$Nu_{ort}$	0.333	4.05	0.571	4.94	0.8
$\beta$	$Nu_{ort}$																		
0.333	4.05																		
0.571	4.97																		
0.8	6.51																		
$\beta$	$Nu_{ort}$																		
0.333	4.05																		
0.571	4.94																		
0.8	6.22																		

Çizelge 4.5. Doğrulama Çalışması- Silindir arkasında oluşan boyutsuz hız değerleri

BOYUTSUZ HIZ (SİLİNDİR ARKASINDA)		
	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.	Doğrulama Çalışmaları – 1
GRAFİKLER	<p><math>\beta=0.333</math></p> <p>Cylinder Wake - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p><math>\beta=0.333</math></p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p> <p>Boyutsuz Hız</p>
	<p><math>\beta=0.571</math></p> <p>Cylinder Wake - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p>B=0.571 Silindir</p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p> <p>Boyutsuz Hız</p>
	<p><math>\beta=0.800</math></p> <p>Cylinder Wake - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p><math>\beta=0.8</math></p> <p><math>x_{d51} = 0</math> m  <math>x_{d52} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{d53} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d54} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{d55} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p> <p>Boyutsuz Hız</p>
AÇIKLAMA	Aynı blokaj oranlarında ve senaryoda yapılan çalışmalar neticesinde hesaplanan boyutsuz hız değerleri makalede hesaplanan değerler aralığında uygunluk göstermektedir.	

Çizelge 4.6. Doğrulama çalışması- silindir arkasında oluşan boyutsuz sıcaklık değerleri

<b>BOYUTSUZ SICAKLIK (SİLİNDİR ARKASINDA)</b>		
	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.	Doğrulama Çalışması
<b>GRAFİKLER</b>	<p><math>\beta=0.333</math></p> <p>Cylinder - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{us1} = 0</math> m  <math>x_{us2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{us3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p><math>\beta=0.333</math></p> <p>Boyutsuz Sıcaklık <math>\zeta</math></p> <p><math>x_{Au1} = 0</math> m  <math>x_{Au2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{Au3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>
	<p><math>\beta=0.571</math></p> <p>Cylinder - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{us1} = 0</math> m  <math>x_{us2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{us3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p><math>\beta=0.571</math></p> <p>Boyutsuz Sıcaklık <math>\zeta</math></p> <p><math>x_{Au1} = 0</math> m  <math>x_{Au2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{Au3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>
	<p><math>\beta=0.800</math></p> <p>Cylinder - <math>d = 0.04</math> m</p> <p><math>x_{us1} = 0</math> m  <math>x_{us2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{us3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{us5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>	<p><math>\beta=0.8</math></p> <p>Boyutsuz Sıcaklık <math>\zeta</math></p> <p><math>x_{Au1} = 0</math> m  <math>x_{Au2} = 2 \times 10^{-4}</math> m  <math>x_{Au3} = 1 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au4} = 2 \times 10^{-3}</math> m  <math>x_{Au5} = 5 \times 10^{-3}</math> m</p>
<b>AÇIKLAMA</b>	Aynı blokaj oranlarında ve senaryoda yapılan çalışmalar neticesinde hesaplanan boyutsuz sıcaklık değerleri makalede hesaplanan değerler aralığında uygunluk göstermektedir.	

Çizelge 4.7. Doğrulama Çalışması- silindir önünde oluşan boyutsuz hız değerleri

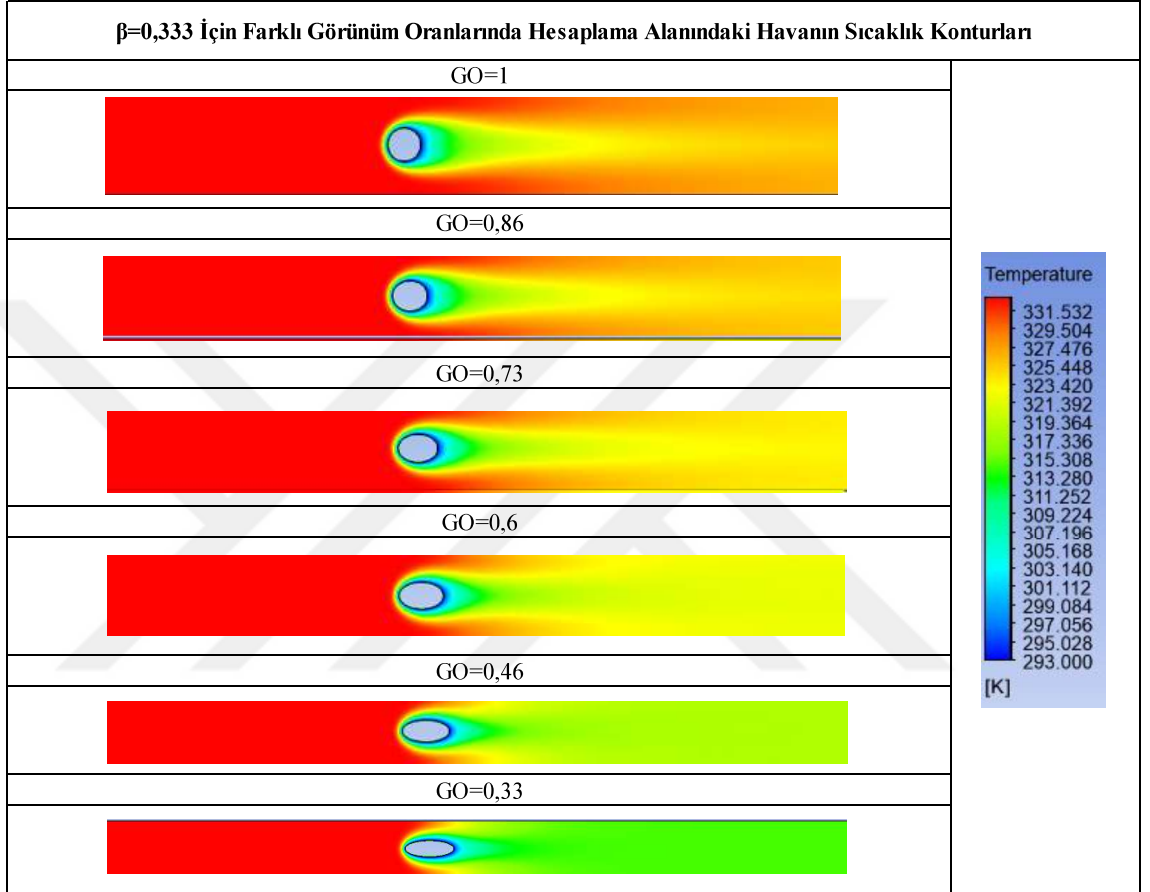
<b>BOYUTSUZ HIZ (SİLİNDİR ÖNÜNDE)</b>		
	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.	Doğrulama Çalışması
<b>GRAFİKLER</b>	<p><math>\beta=0.333</math></p>	<p><math>\beta=0.333</math></p>
	<p><math>\beta=0.571</math></p>	<p><math>\beta=0.571</math></p>
	<p><math>\beta=0.800</math></p>	<p><math>\beta=0.8</math></p>
<b>AÇIKLAMA</b>	Aynı blokaj oranlarında ve senaryoda yapılan çalışmalar neticesinde hesaplanan boyutsuz hız değerleri maktelede hesaplanan değerler aralığında uygunluk göstermektedir.	

Çizelge 4.8. Doğrulama çalışması- silindir önünde oluşan boyutsuz sıcaklık değerleri

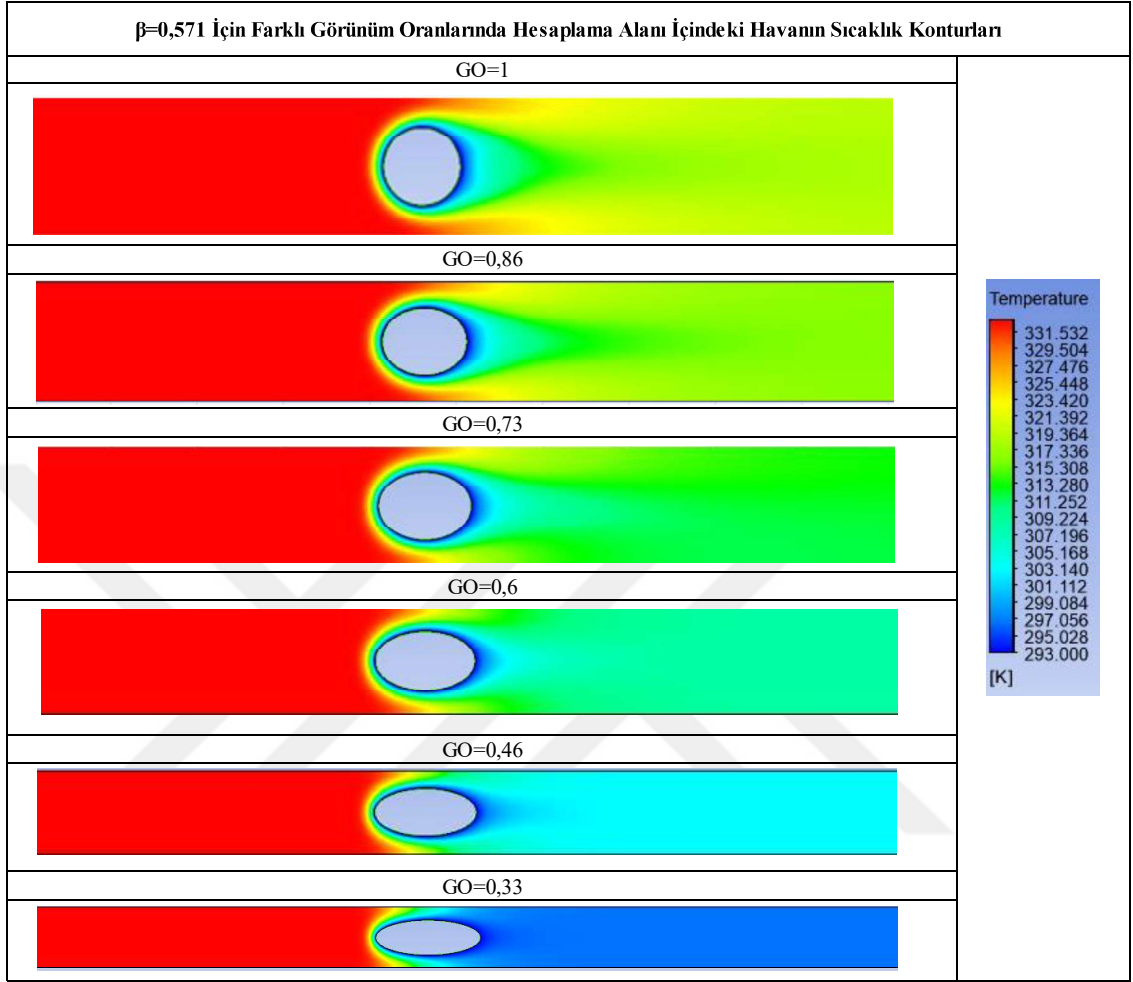
<b>BOYUTSUZ SICAKLIK (SİLİNDİR ÖNÜNDE)</b>		
	A. Alper Ozalp, I. Dincer. 2010.	Doğrulama Çalışması
<b>GRAFİKLER</b>	<p><math>\beta=0.333</math></p>	<p><math>\beta=0.333</math></p>
	<p><math>\beta=0.571</math></p>	<p><math>\beta=0.571</math></p>
	<p><math>\beta=0.800</math></p>	<p><math>\beta=0.8</math></p>
<b>AÇIKLAMA</b>	<p>Aynı blokaj oranlarında ve senaryoda yapılan çalışmalar neticesinde hesaplanan boyutsuz sıcaklık değerleri makalede hesaplanan değerler aralığında uygunluk göstermektedir.</p>	

## 4.2. Belirli Blokaj Oranlarında Görünüm Oranına Bağlı Ortaya Çıkan Sıcaklık Konturları

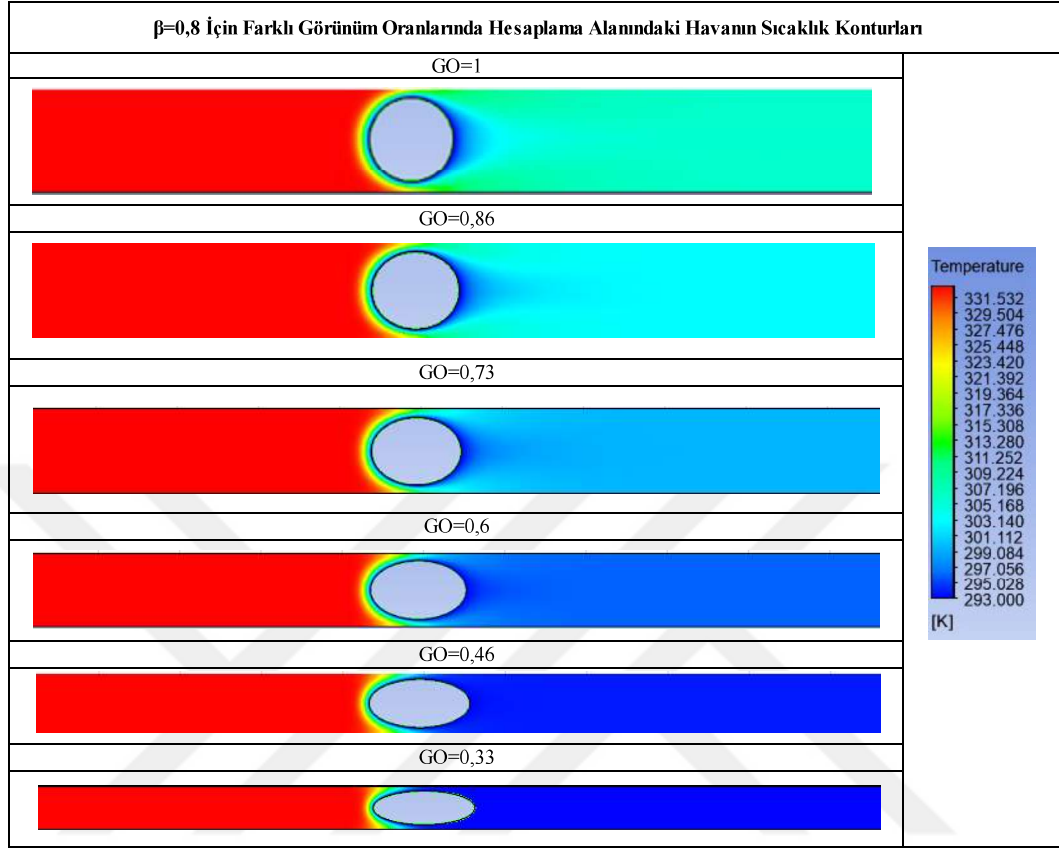
**Çizelge 4.9.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları



**Çizelge 4.10.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları



**Çizelge 4.11.**  $\beta=0,8$  için farklı görünüm oranlarında hesaplama alanı içindeki sıcaklık konturları

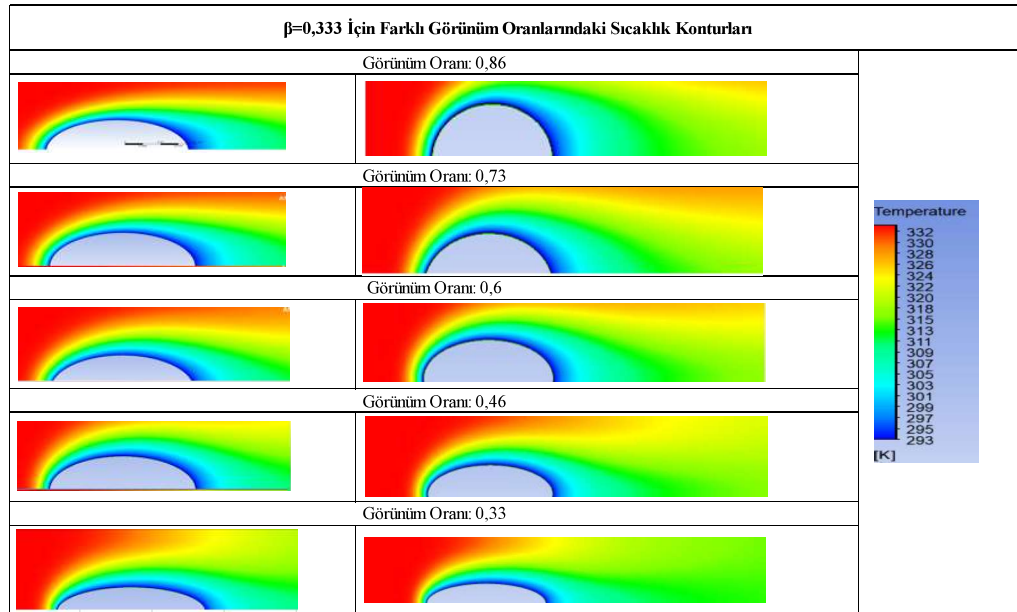


Çizelge 4.9, 4.10 ve 4.11 sırasıyla  $\beta=0,333$ ,  $0,571$  ve  $0,8$  için  $GO=1-0,33$  sahip geometrilerde hesaplama alanı içerisindeki havanın sıcaklık konturları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sıcaklık dağılımının silindir üst ve alt yarımında simetrik olduğu gözükür. Tüm senaryo durumlarında kanal girişindeki akışkan sıcaklığı  $333$  K'dir. Silindir önünde, akışın silindire yaklaştıkça sıcaklığının kademeli olarak düştüğü göze çarpar.  $\beta=0,333$ 'de  $GO=1$  için merkez çizgisi üzerinde  $x_{us}=5 \times 10^{-3}$  m'de sıcaklık  $322$  K civarında bulunurken  $GO=0,33$  için  $331$  K civarlarında bulunmuştur. Silindir yüzeyine yaklaşıldığında ise  $\beta=0,333$  ve merkez hattı üzerinde  $x_{us}=2 \times 10^{-4}$  m de  $GO=1$  için sıcaklık  $294$  K civarlarına düşmüşken,  $GO=0,33$  için  $296$  K civarlarındadır. Silindir yüzeyi sınır koşulundan dolayı  $293$  K'dir.  $\beta=0,8$ 'de  $GO=1$  için merkez çizgisi üzerinde ve  $x_{us}=5 \times 10^{-3}$  m'de  $326$  K civarlarında iken  $GO=0,33$  için aynı çizgide  $332$  K civarlarındadır. Silindire yaklaşıldığında  $x_{us}=2 \times 10^{-4}$  m'de  $GO=1$  için  $294$  K civarlarında düşerken  $GO=0,33$  için aynı çizgi üzerinde  $297$  K'e kadar düşebilmiştir. Silindir yüzeyi yine sınır koşulundan

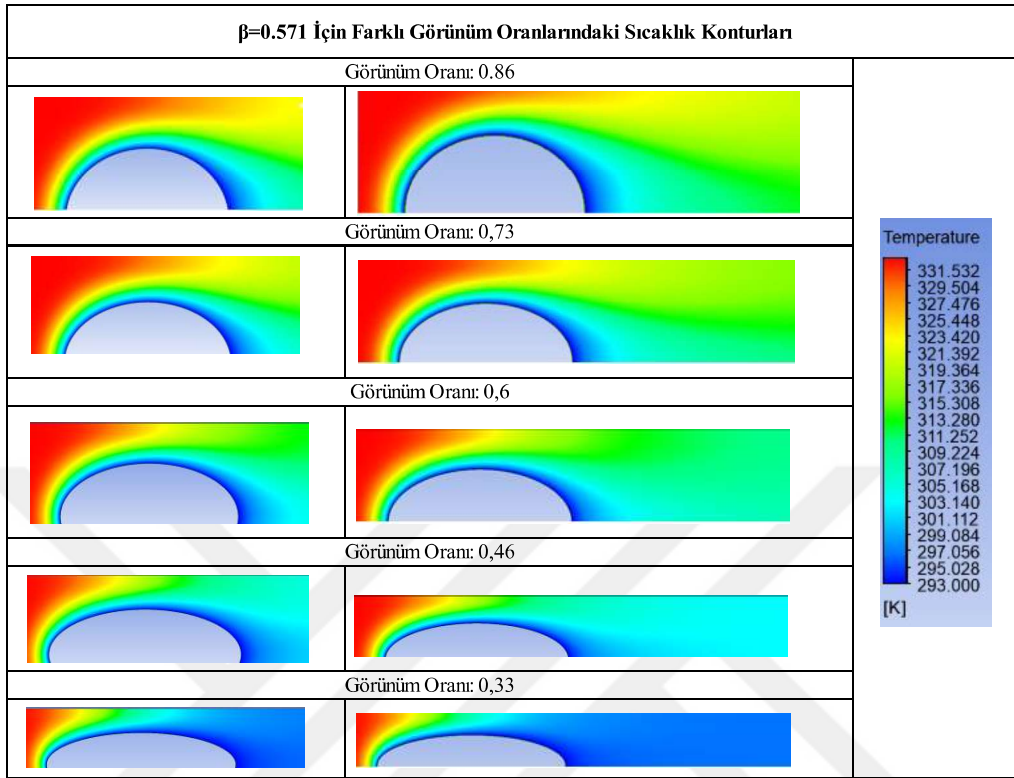
dolayı 293 K'dir. Bu hesaplanan sonuçlardan silindir önünde aynı geometride blokaj oranının artması veya aynı blokaj oranında görünüm oranının azalması ile birlikte ısı transferi hızının arttığı ve daha yüksek sıcaklar olduğu çıkarılabilir. Şekiller incelendiğinde de silindir önünde silindire yaklaştıkça termal sınır tabakasının da incelendiği görülebilir. Silindir arkasındaki sıcaklık değerlerine bakarsak  $\beta=0,333$ 'de  $GO=1$  için  $x_{ds}=2 \times 10^{-4}$  m'de merkez hattı üzerinde sıcaklık 293 K civarında, silindirden biraz daha uzaklaşıldığında  $x_{ds}=5 \times 10^{-3}$  m'de 299 K civarında olmuştur. Aynı blokaj oranında  $GO=0,33$  için  $x_{ds}=2 \times 10^{-4}$  m'de 293 K civarında olurken  $x_{ds}=5 \times 10^{-3}$  m'de 301 K civarında olmuştur.  $\beta=0,571$  için  $x_{ds}=2 \times 10^{-4}$  m'de ve merkez hattı üzerinde  $GO=1$  ve  $GO=0,33$  için sıcaklık 293 K civarı olurken  $x_{ds}=5 \times 10^{-3}$  m'de  $GO=1$  için 299 K civarı olurken  $GO=0,33$  için 295 K civarı olmuştur.  $\beta=0,8$ 'de ise  $GO=1$  ve  $GO=0,33$  için  $x_{ds}=2 \times 10^{-4}$  m'de merkez hattı üzerinde yaklaşık 293 K görülürken,  $x_{ds}=5 \times 10^{-3}$  m'de  $GO=1$  için 297 K civarı görülen sıcaklık  $GO=0,33$  için 293 K civarı sıcaklık görülür. Bu durumda silindir arkasında aynı blokaj durumunda görünüm oranının azalması veya görünüm oranı sabit iken blokaj oranının artması ile daha düşük sıcaklık değerlerinin görüldüğü hem analiz hesaplama sonuçlarından hem de sıcaklık konturlarından açıkça gözükür.

#### 4.3. Görünüm ve Blokaj Oranı Değişimine Bağlı Ortaya Çıkan Sıcaklık Konturları

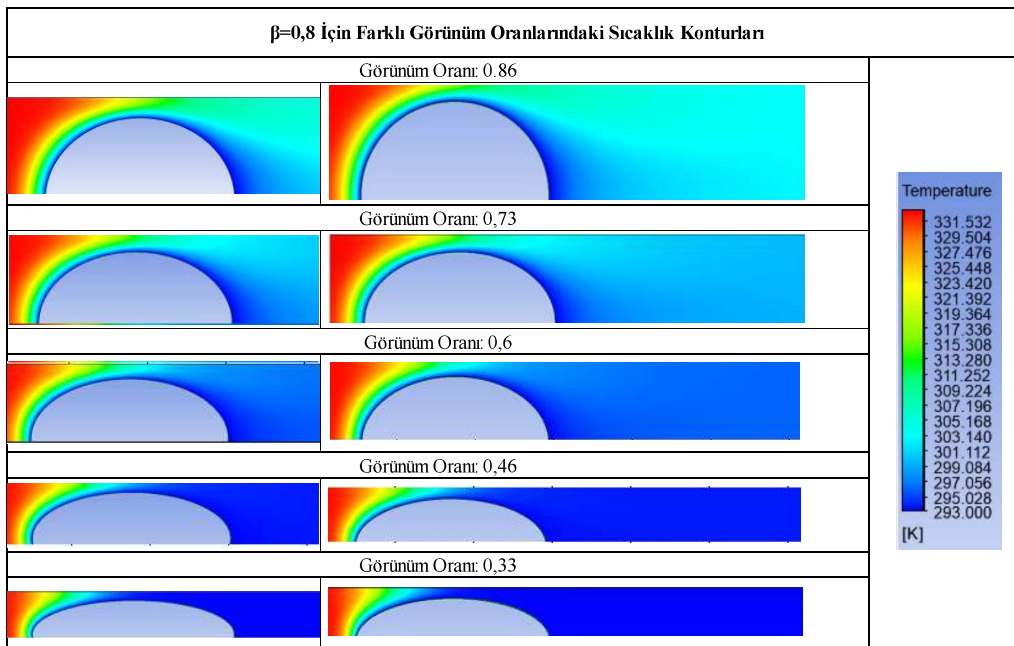
**Çizelge 4.12.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



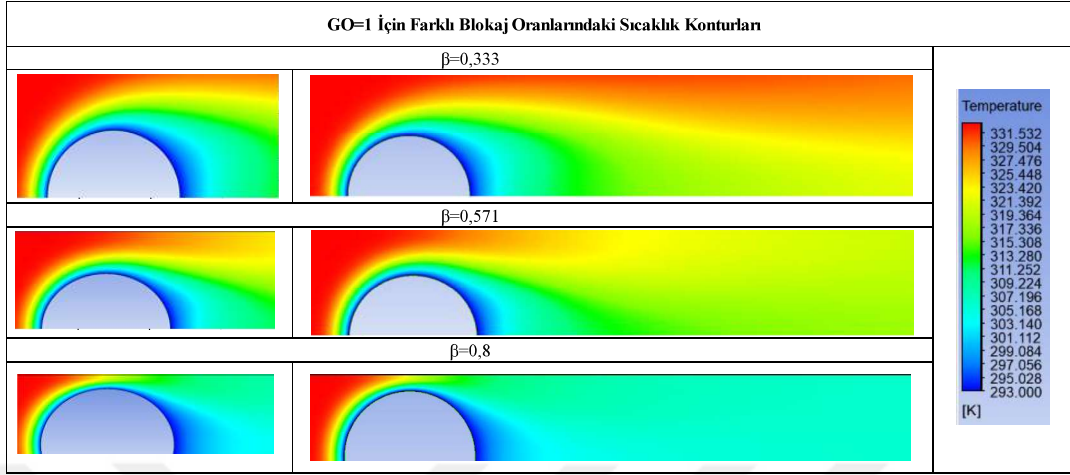
**Çizelge 4.13.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



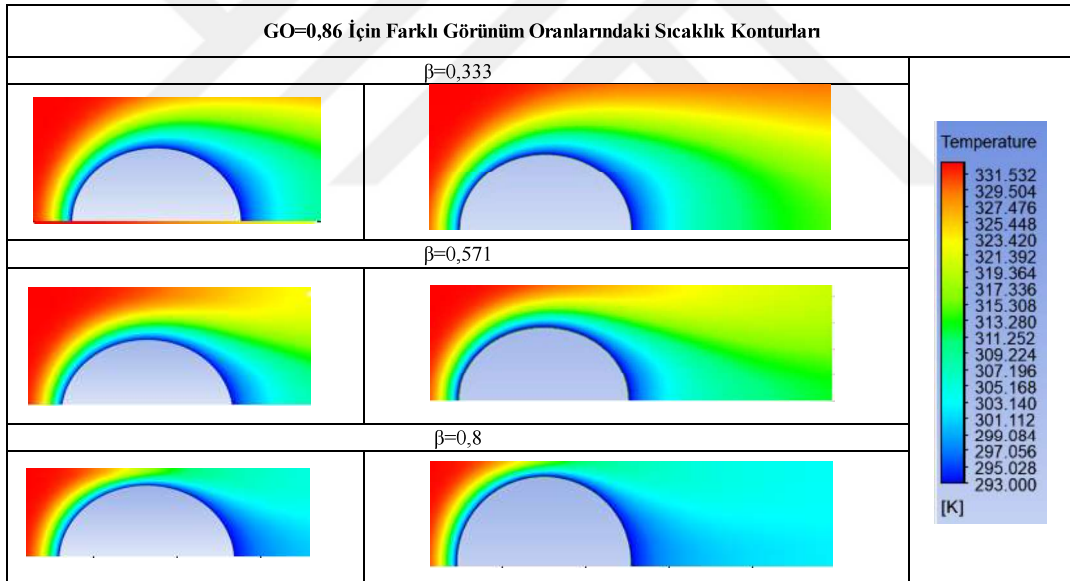
**Çizelge 4.14.**  $\beta=0,8$  için farklı görünüm oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



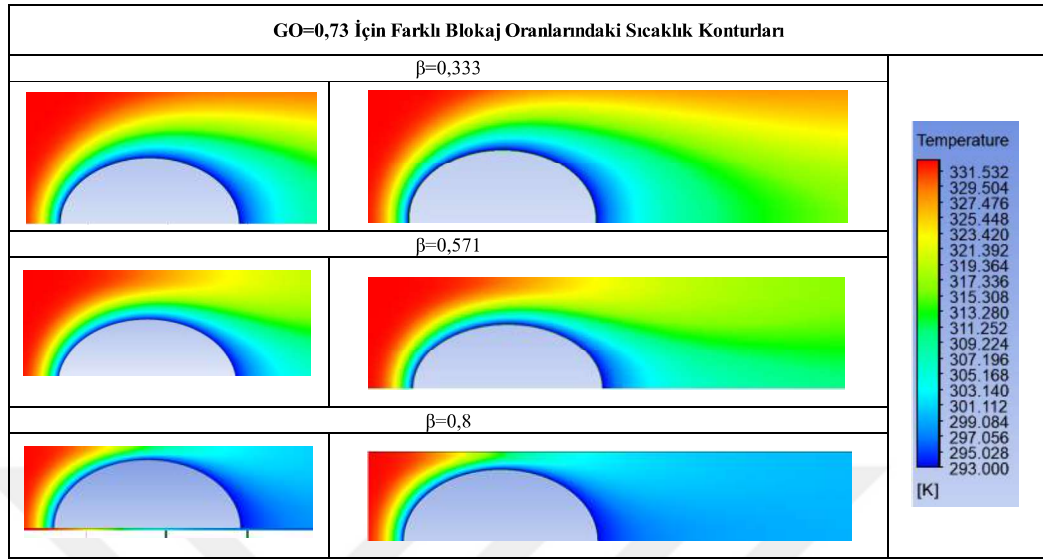
**Çizelge 4.15.** Görünüm oranı 1'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



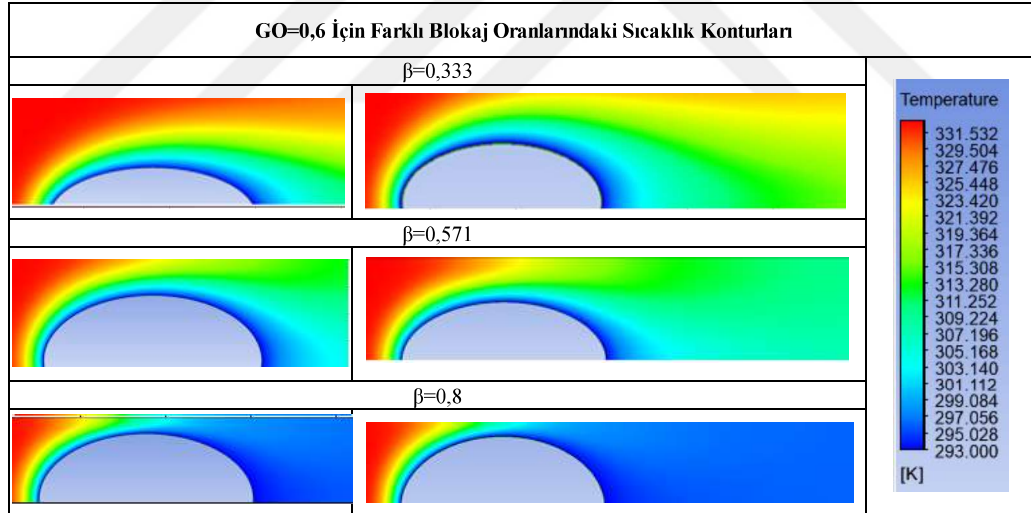
**Çizelge 4.16.** Görünüm oranı 0,86'a eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



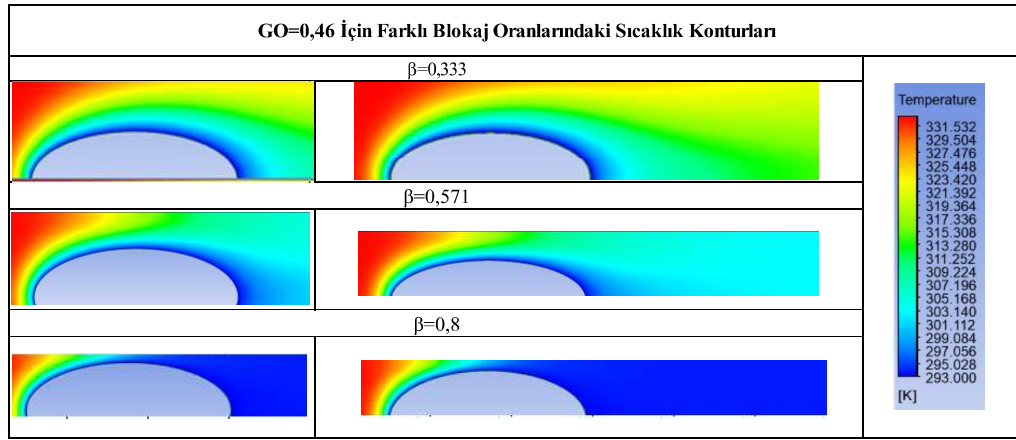
**Çizelge 4.17.** Görünüm oranı 0,73'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



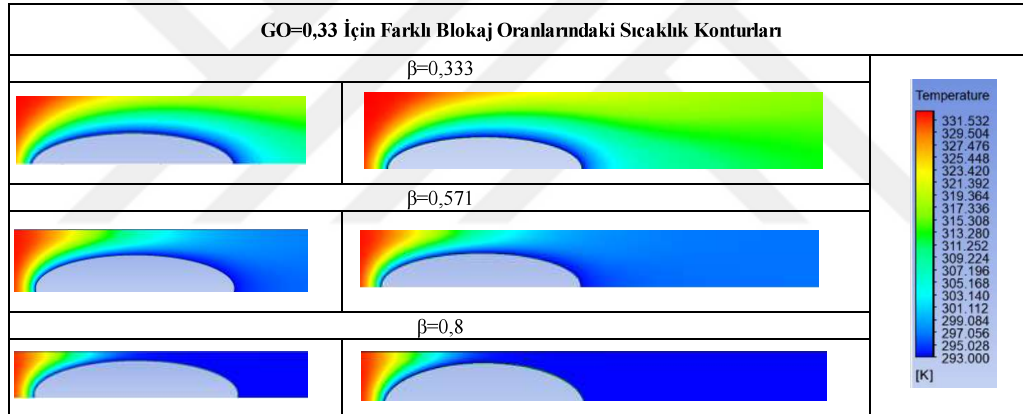
**Çizelge 4.18.** Görünüm oranı 0,6'a eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



**Çizelge 4.19.** Görünüm oranı 0,46'ya eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



**Çizelge 4.20.** Görünüm oranı 0,33'e eşit olan geometrinin farklı blokaj oranlarında silindir etrafında oluşan sıcaklık konturları



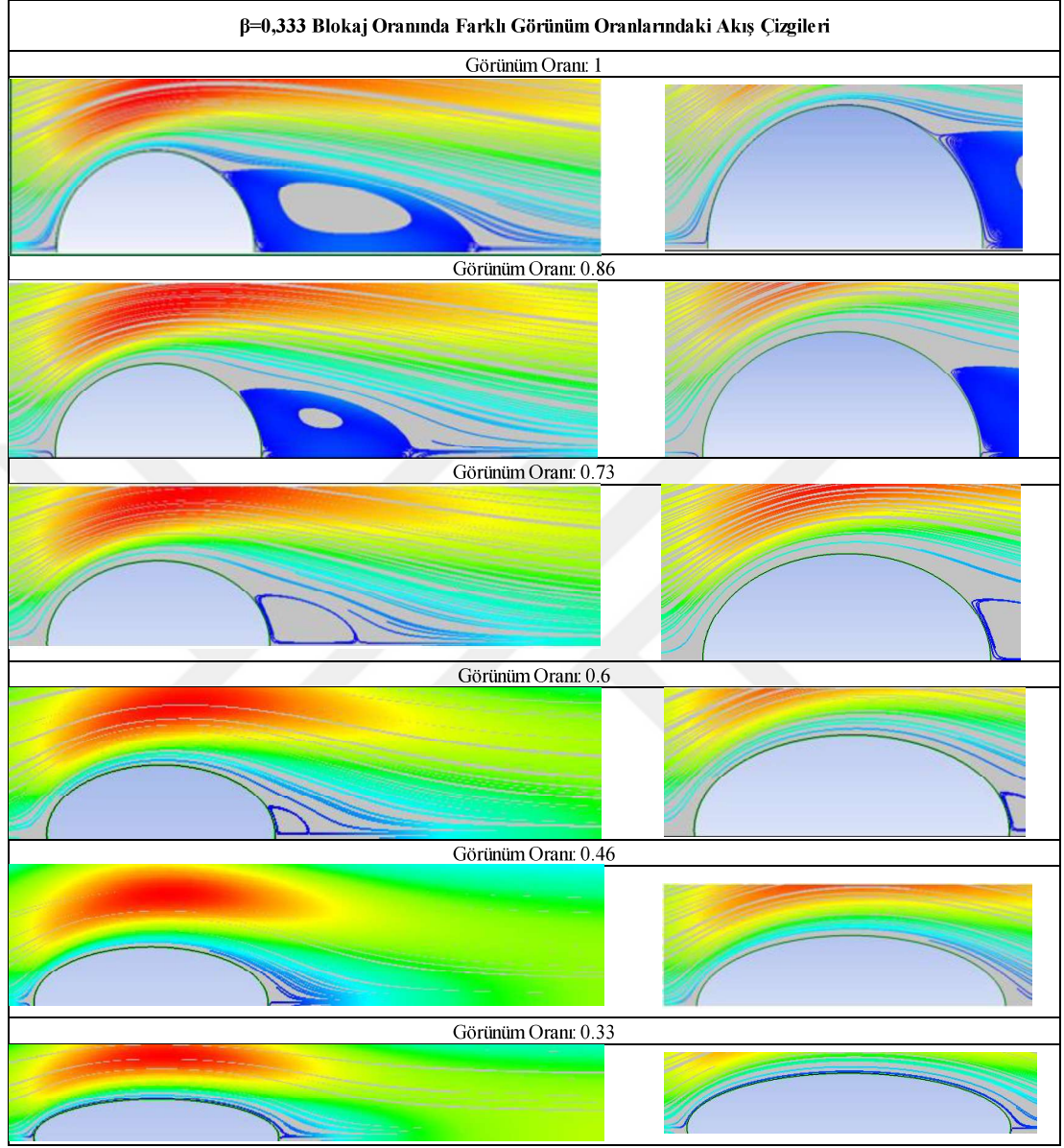
Çizelge 4.12→4.14 belirli blokaj oranlarında görünüm oranına bağlı, Çizelge 4.15→4.20, ise belirli görünüm oranlarında blokaj oranlarına bağlı ortaya çıkan sıcaklık konturlarını göstermektedir. Sıcaklık konturları termal aktivitenin görselleştirilmesinin yanında sayısal hesaplama ile elde edilen verilerin doğrulanmasına da ışık tutmaktadır. Sıcaklık konturları akışın laminer rejimde olduğundan ve kanal duvarlarının orta düzlemi ile silindirlerin merkez çizgisi çakıştığından simetrik oluşum gözlenmiştir. Bu yüzden şekilde sadece merkez çizgisi üstü verilmiştir. Akış silindir varlığını hissetmeye başladığında silindirin ön durma noktasına doğru sıcaklıklarda kayda değer bir düşüş gözlenir. Blokajın termal aktivite üzerindeki etkisi  $x_{US}=0 \rightarrow 5 \times 10^{-3}$  m aralığında daha net yaşanmıştır. Bu çizgi alanı içerisinde blokaj oranının artması sıcaklık konturlarından

görüldüğü gibi sıcaklıkları arttırmıştır. Bu çizgi alanı içerisinde blokajın artması ile boyutsuz sıcaklık değerlerinde de artış gözlenmiştir. Boyutsuz sıcaklık değerlerindeki bu artış boyutsuz sıcaklık grafiklerinde ayrıca görülebilir. Ayrıca kanal duvarlarının daralması (blokaj oranının artması) ile birlikte akış tabakasının silindir yüzeyine doğru daha çok bastırılması, daha yüksek ısı transfer hızına sebep olmuştur. Aynı görünüm oranında blokaj oranının artması ile birlikte termal sınır tabakanın ayrılma açısına doğru inceleme gösterdiği sıcaklık konturlarından görülür. Blokaj artışı ile sınır tabaka kalınlığının azalması, hidrodinamik tabaka davranışı ile paralel şekilde gelişim gösterir. Blokaj artışı ile hidrodinamik tabakanın da incelenmesi akış çizgileri kısmında gösterilmiştir. Bununla birlikte ayrılma açısından sonra ise termal sınır tabakasında yeniden bir kalınlaşma göze çarpar. Bu kalınlaşma akış çizgilerindeki girdap uzunlukları ile orantılı olarak artmıştır. Buradan termal tabaka ile hidrodinamik tabakanın birbiri ile etkileşimde olduğu sonucu çıkarılabilir. Buyruk ve ark. (1998),  $\beta=0,200 \rightarrow 0,571$  değişiminde silindir etrafındaki akış üzerine yaptıkları çalışmada silindir arkasındaki sıcaklık eğrilerinde bahsedilen benzer etkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Blokaj oranının artmasıyla ayrılma açısından sonra meydana gelen termal sınır tabakasının kalınlaşması da artmaktadır. Bunun sebebi blokaj oranı artışı ile girdapların geri akış hızlarının artması ve buna bağlı termal aktivitenin artmasıyla silindir arkasındaki akışın daralması, sınır tabakanın bozulmasıdır.

#### **4.4. Görünüm Oranının Girdap Boyutu ve Sınır Tabaka Ayrılması Üzerine Etkisi**

Silindirin arka durgunluk noktası ile silindir yüzeyinden ayrıldıktan sonra iki sınır tabakasının birleştiği merkezi birleşim noktası arasındaki uzunluk girdap uzunluğu olarak kabul edilmiştir ve akış çizgilerinden belirlenmiştir.

**Çizelge 4.21.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi



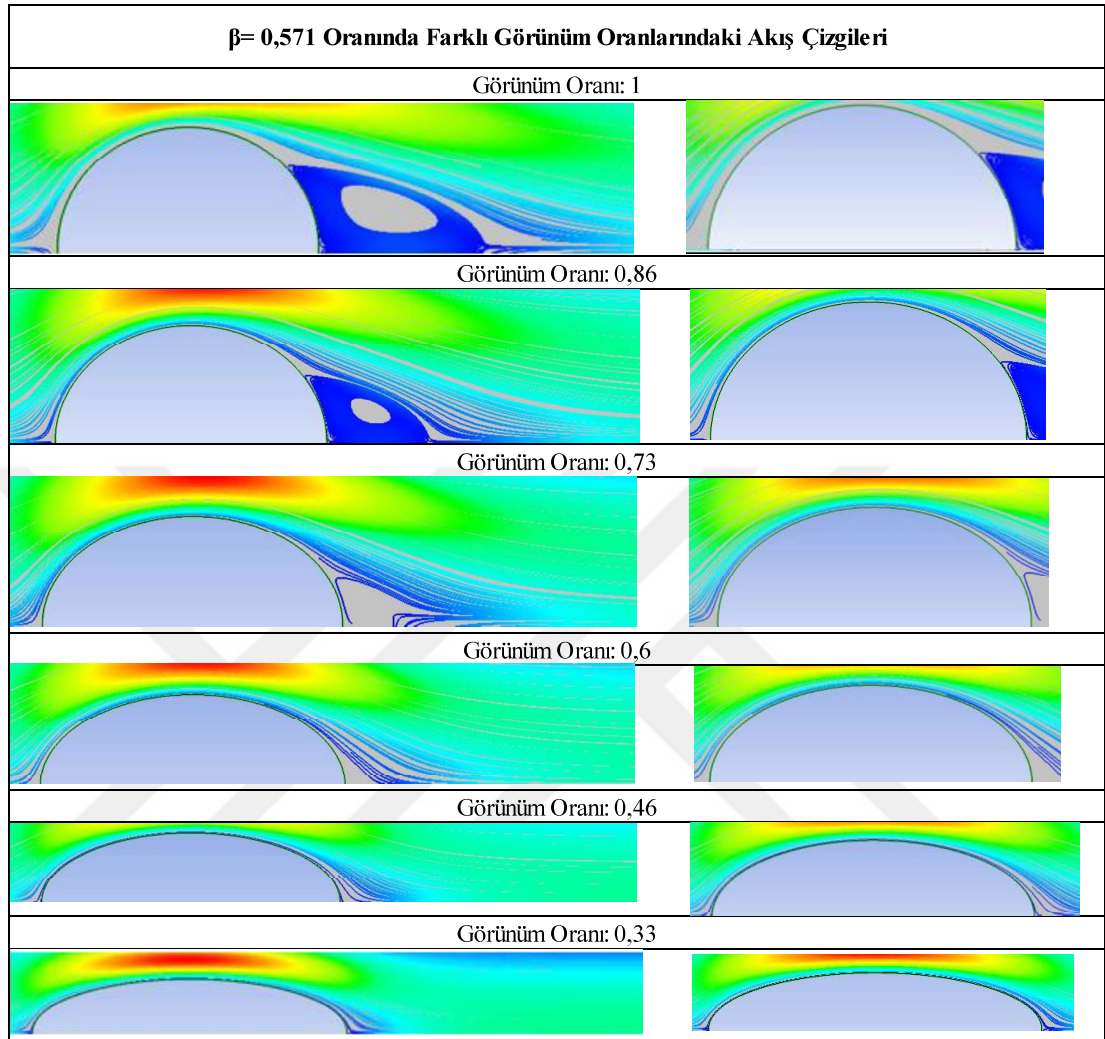
$\beta=0,333$  blokaj oranında farklı görünüm oranları için akış çizgileri görüntüsü Çizelge 4.21’de gösterilmiştir. Bu blokaj oranında akış çizgilerinin akış yörüngelerinden daha çok saptığı görülür. Görünüm oranının değişmesiyle girdap yapısının nasıl değiştiği incelendiğinde, eliptik silindirler için de dairesel silindirde olduğu gibi düz bir kuyruğa sahip ters dönen simetrik bir çift girdap oluşumu gözlenmiş görünüm oranı azaldıkça girdap boyutunun küçüldüğü tespit edilmiştir. Görünüm oranları 0,46 ve 0,33 olan elipsler için ise bu blokaj oranında geri dönen girdap oluşumu gözlenmemiştir. Buradan  $Re=40$

değerinde girdap oluşumu için  $0,6 \geq GO \geq 0,46$  aralığında kritik bir değer olduğunu ve bu değerden sonra girdap oluşumu görülmediği söylenebilir. Görünüm oranı azaldıkça girdap boyutunun küçülmesi, daha aerodinamik yapıya dönüşen geometrinin akışın engellenmesini azaltarak girdap boyutu küçülttüğü veya oluşmasını engellediğini gösterir. Ayrılma açılarının değerleri sürtünme katsayısı grafiğinden ve kayma gerilme grafiğinden tespit edilmiştir. Akış çizgilerinden de görünüm oranının ayrılma açısını nasıl etkilediği tespit edilip, grafiklerden elde edilen veriler doğrulanabilir. Ayrılma açıları, farklı görünüm oranları için Çizelge 4.22’de verilmiştir. Dairesel silindir için  $50,2^\circ$ ,  $GO=0,86$  için  $39,06^\circ$ ,  $GO=0,73$  için  $26,29^\circ$ ,  $GO=0,6$  için  $14,45^\circ$ ,  $GO=0,46$  için  $0,07^\circ$  ve  $GO=0,33$  için  $0,03^\circ$ , bulunmuştur. Akış çizgilerinden silindir ve eliptik silindirler için incelendiğinde, görünüm oranı azaldıkça, sınır tabaka ayrılma noktasının açısal konumu, arka durgunluk noktasına göre azalmıştır. Bu durum yukarıda belirtildiği gibi görünüm oranının azalmasıyla beraber akıştaki direncin azalmasından dolayı beklenen bir sonuçtur. Görünüm oranı azaldıkça akış yörüngesi ile gerçek yörünge arasındaki fark da azalmaktadır.

**Çizelge 4.22.** Görünüm oranının değişmesiyle  $\beta=0,333$ ’de oluşan ayrılma açıları

$\beta$	Geometri	$\theta_s$ (Derece)
0,333	GO=1	50,43
	GO=0,86	39,06
	GO=0,73	26,29
	GO=0,6	14,45
	GO=0,46	0,07
	GO=0,33	0,03

**Çizelge 4.23.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi

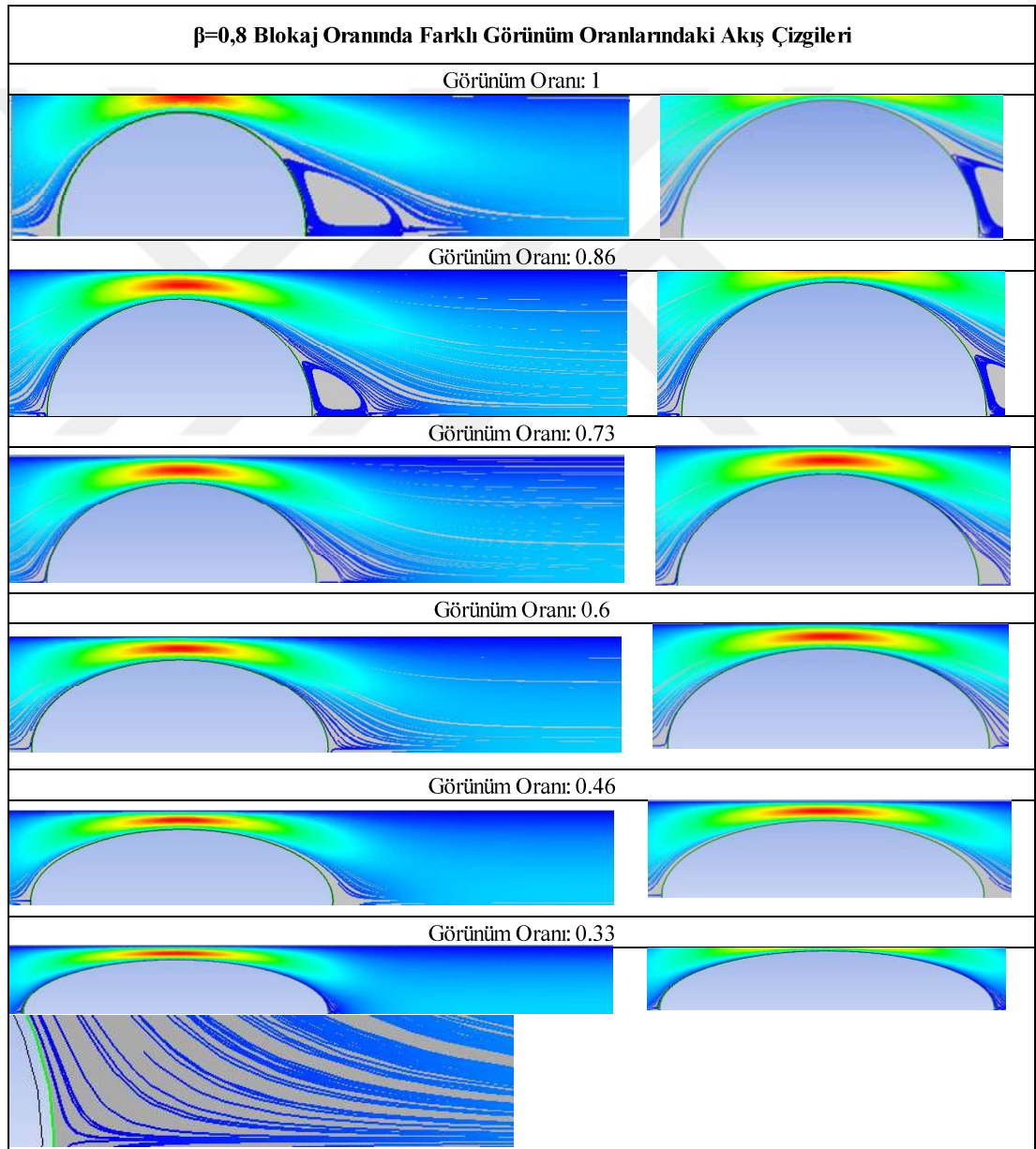


$\beta=0,571$  blokaj oranında farklı görünüm oranlarındaki akış çizgileri Çizelge 4.23’de gösterilmiştir. 0,333 blokaj oranında olduğu gibi görünüm oranının azalmasıyla birlikte girdap boyutu azalmış olup, 0,333 blokaj oranından farklı olarak bu blokaj oranında 0,6 görünüm oranından itibaren geri dönen girdap oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca görünüm oranının azalmasıyla birlikte oluşan girdapların dış sınırının da küçüldüğü tespit edilmiştir. Akış ayrılmasının açıl konumu daha ileriye taşındığından ayrılma açısının da azaldığı söylenebilir. 0,571 blokaj oranı için farklı görünüm oranlarına ait ayrılma açıları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

**Çizelge 4.24.** Görünüm oranının değişmesiyle  $\beta=0,571$ 'de oluşan ayrılma açıları

$\beta$	Geometri	$\theta_s$ (Derece)
0,571	GO=1	42,20
	GO=0,86	31,80
	GO=0,73	20,86
	GO=0,6	8,68
	GO=0,46	0,06
	GO=0,33	0,02

**Çizelge 4.25.**  $\beta=0,8$  için farklı görünüm oranlarına sahip geometriler yakınındaki akış çizgilerinin gösterimi



0,8 blokaj oranında farklı görünüm oranlarına ait akış çizgileri Çizelge 4.25’de gösterilmiştir. Blokaj oranının artmasıyla birlikte akış çizgilerinin silindir yüzeyine doğru yaklaştığı, sapmaların daha az olduğu göze çarpar. Görünüm oranının azalmasıyla birlikte girdap uzunluğunun azaldığı ve dış sınırının küçüldüğü akış çizgileri incelendiğinde görülmüştür. Blokaj oranları için görünüm oranına bağlı girdap oluşumu 0,333 blokaj oranında 0,46 görünüm oranından itibaren 0,571 blokaj oranında 0,6 görünüm oranından itibaren girdap oluşmaması görülmesine karşın, 0,8 blokaj oranında 0,73 görünüm oranından itibaren girdap oluşumu gözlenmemiştir. Ayrılma açıları görünüm oranlarının azalmasıyla beraber doğru orantılı olarak azalmıştır. Silindir boğazında ( $\theta=90^\circ$ ) tüm silindir geometrileri için hız verileri incelendiğinde hızın maksimum değerine ulaştığı görülür. Ayrıca blokaj oranının artması silindir çevresindeki hızı arttırdığından bu açı konumunda blokaj oranının artması maksimum hız değerini de arttıracaktır. Bu hızlanmış akış hızı ile birlikte sınır tabakası da kanal duvarları tarafından silindir yüzeyine doğru zorlandıkça ayrılma açısı silindirin arka durma noktasına doğru kaymaktadır.  $\beta=0,8$  blokaj oranı için farklı görünüm oranlarına ait ayrılma açısı Çizelge 4.26’da gösterilmiştir. Chakraborty ve ark. (2004) ile Sen ve ark. (2009)’ın  $Re=40$ ’da dairesel silindir üzerinden sınırlandırılmış akış çalışmaları blokaj artışı ile ayrılma açısının silindir arkasına doğru ilerlediği doğrulanmıştır. Chakraborty ve ark.  $\beta=0,200, 0,333, 0,500, 0,650$  oranları için  $\theta_s$  değerlerini sırasıyla 53, 50, 48, 45 olarak Sen ve ark.  $\beta=0,200, 0,333, 0,500$  ve  $0,800$  için  $\theta_s$  değerlerini 52, 46, 37,5 ve 26,5 olarak tespit etmişlerdir

**Çizelge 4.26.** Görünüm oranının değişmesiyle  $\beta=0,8$ ’de oluşan ayrılma açıları

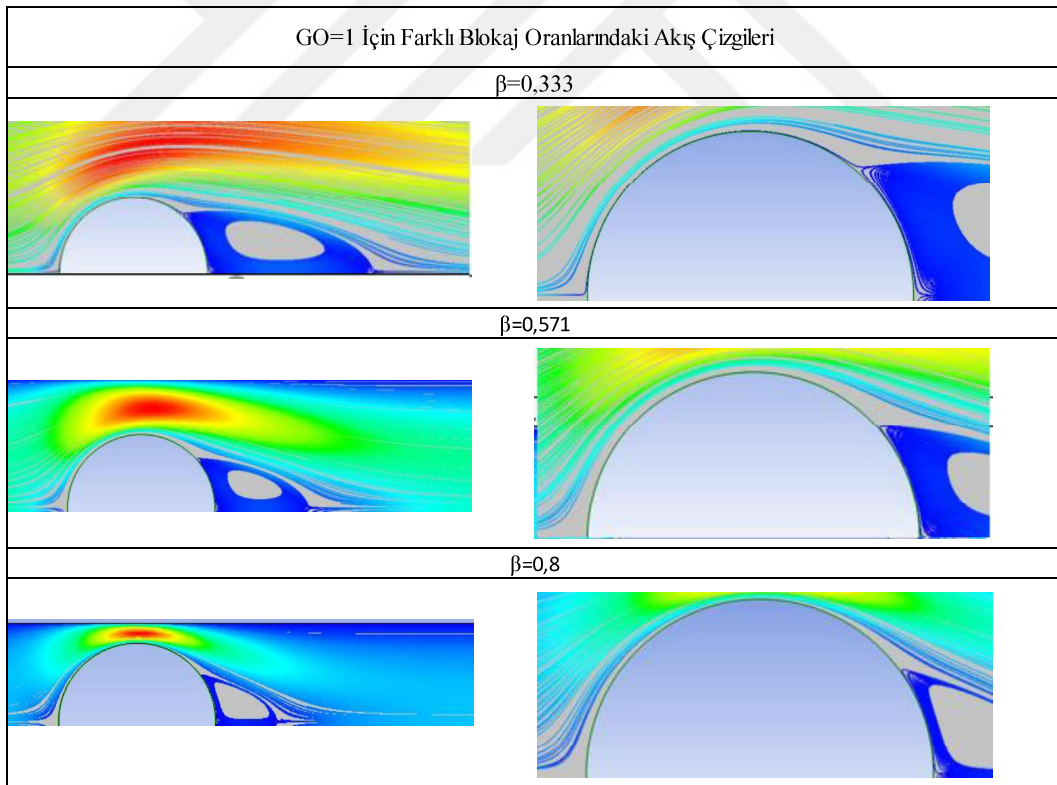
$\beta$	Geometri	$\theta_s$ (Derece)
0,8	GO=1	37,88
	GO=0,86	24,93
	GO=0,73	13,66
	GO=0,6	3,30
	GO=0,46	0,05
	GO=0,33	0,01

Girdap merkezleri arasındaki dikey mesafe tüm silindirler için blokaj oranının artmasıyla azalmıştır. Ayrıca görünüm oranının azalmasıyla birlikte girdap merkezleri silindirin arka durgunluk noktasına yaklaşmıştır. Tüm silindirler için sıcaklık konturları ve akış çizgileri

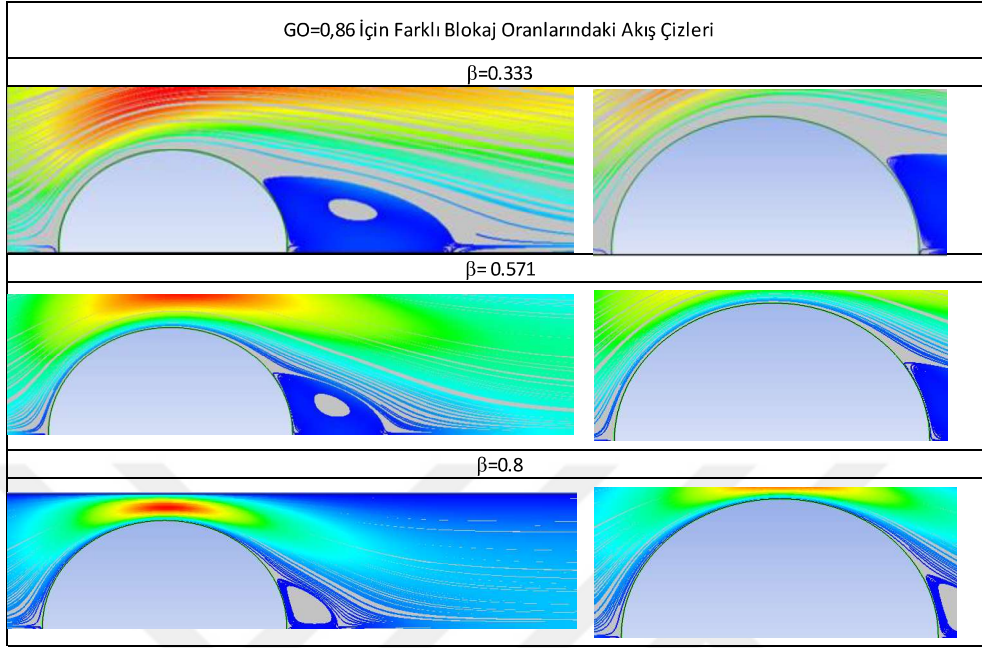
tüm blokaj oranları için merkez çizgisi etrafında simetrik yol izlemiştir. Akış çizgileri ve sıcaklık konturları incelendiğinde blokaj etkisinin akışın kararlılığını bozmadığı sonucuna varılabilir. Silindir yüzeyi boyunca herhangi bir noktadaki sınır tabakasının kalınlığının silindir üzerindeki o nokta ile serbest akış hızının 0,99'una ulaştığı nokta arasındaki dikey mesafe olduğu belirtilmişti. Aynı blokaj etkisinde görünüm oranının azalmasıyla birlikte, silindirin 90°'lik konumunda sınır tabaka kalınlığının arttığı görülmüştür. Bunun sebebi görünüm oranının azalmasıyla birlikte silindir üzerinde akışa direnç gösteren viskoz kuvvetlerinin daha baskın hale gelmesi ve daha fazla akış katmanını yavaşlatarak sınır tabakanın kalınlaşmasına neden olmasıdır.

#### 4.5. Blokaj Oranının Girdap Boyutu ve Ayrılma Açısı Üzerine Etkileri

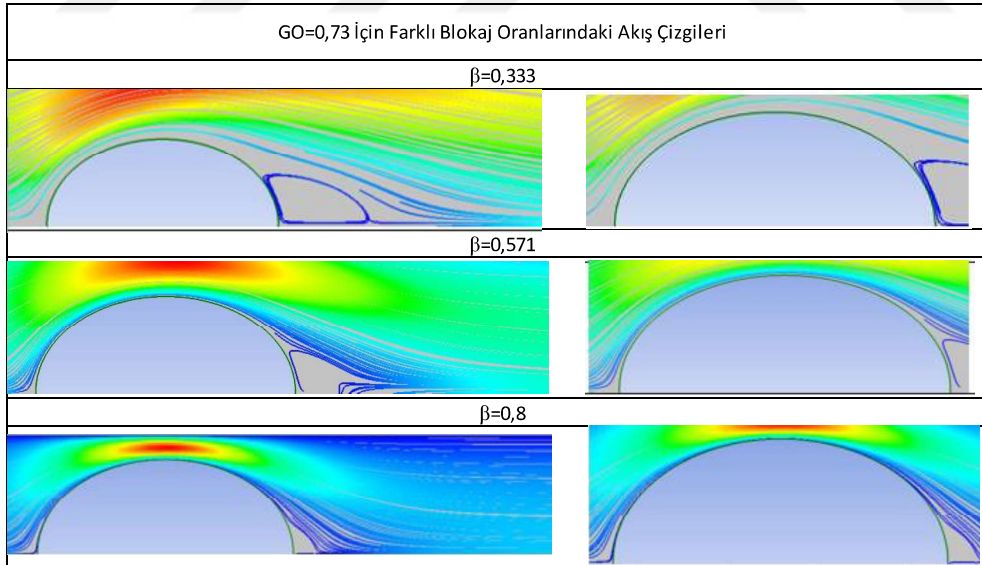
**Çizelge 4.27.** Farklı blokaj oranlarında 1 görünüm oranına sahip geometri yakınlarda oluşan akış çizgileri



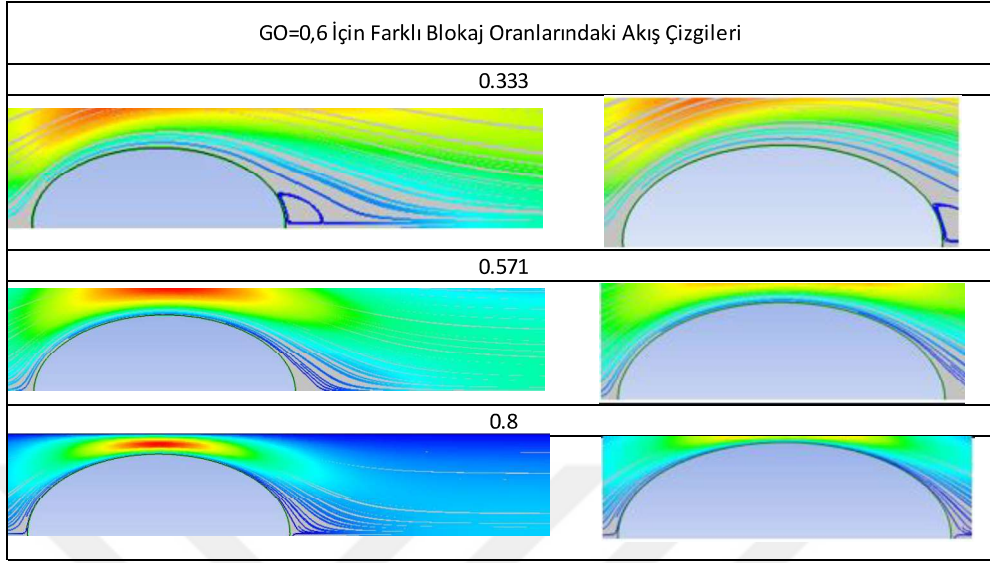
**Çizelge 4.28.**Farklı blokaj oranlarında 0,86 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri



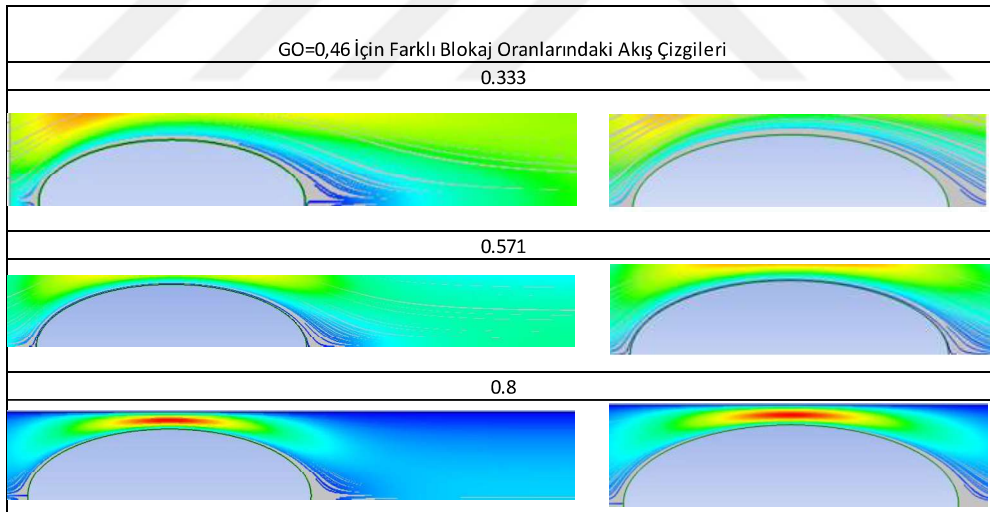
**Çizelge 4.29.** Farklı blokaj oranlarında 0,73 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri



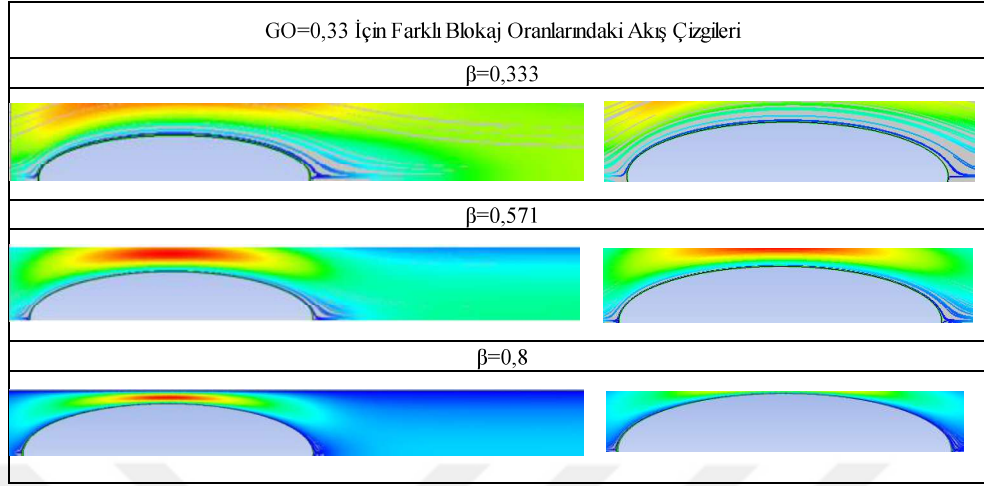
**Çizelge 4.30.** Farklı blokaj oranlarında 0,6 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri



**Çizelge 4.31.** Farklı blokaj oranlarında 0,46 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri



**Çizelge 4.32.** Farklı blokaj oranlarında 0,33 görünüm oranına sahip geometri yakınlarında oluşan akış çizgileri

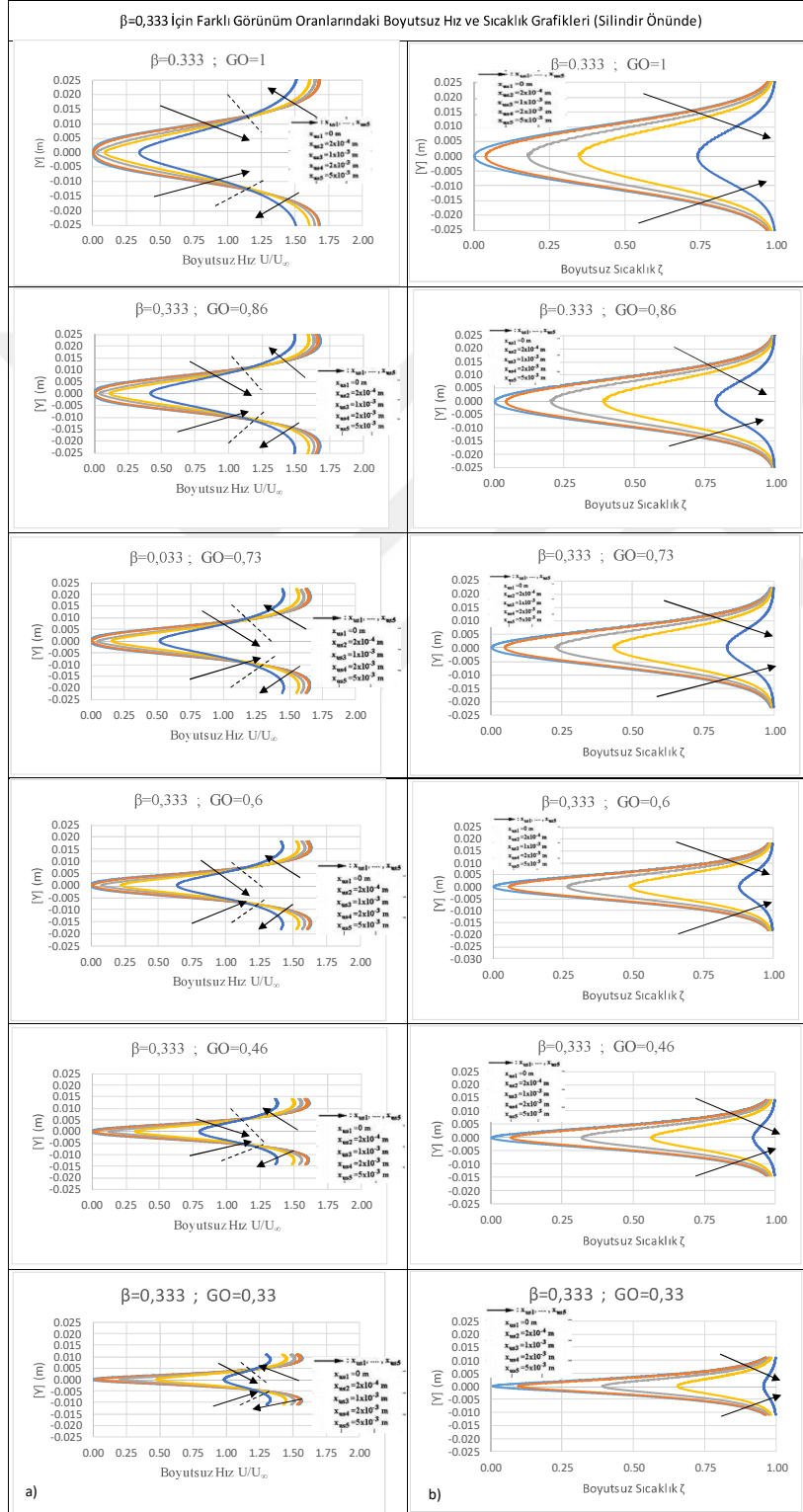


Çizelge 4.27→4.32, GO=1→0,33 değişiminde, farklı blokaj oranları için ortaya çıkan silindir etrafındaki akış çizgilerini göstermektedir. Görünüm oranları değiştiğinde silindire için ileri durma noktaları farklı olacaktır. Aynı Reynolds sayısında ve görünüm oranında blokaj oranının artması dairesel silindirin girdap uzunluğunu kısaltmıştır. Dairesel silindirde blokajın girdap uzunluğunu kısaltmasının sebebi ise blokaj etkisinin akış çizgilerinin silindir üzerinden dağılım açısına etki ederek dağılmasını engellemesidir. Bu nedenle  $Re=40$ 'da dairesel silindir için blokaj oranının artması girdap uzunluğunu kısaltacaktır. Griffith ve ark. (2007),  $\beta=0,050-0,900$  arasında, Chakraborty ve ark. (2004),  $\beta=0,050-0,650$  arasında ve Sen ve ark. (2009),  $\beta=0-0,800$  arasında yaptığı silindir etrafındaki akış çalışmalarında blokaj oranının artması ile girdap büyüklüğünün azaldığını doğrulamışlardır. Ayrıca GO=0,73 için  $\beta=0,8$  durumunda, GO=0,6 için  $\beta=0,571$  ve  $\beta=0,8$  durumlarından itibaren ve GO=0,46 ve GO=0,33 oranlarında ise tüm blokaj oranları için geri dönen girdap oluşumu gözlenmediği akış çizgilerinden görülür.

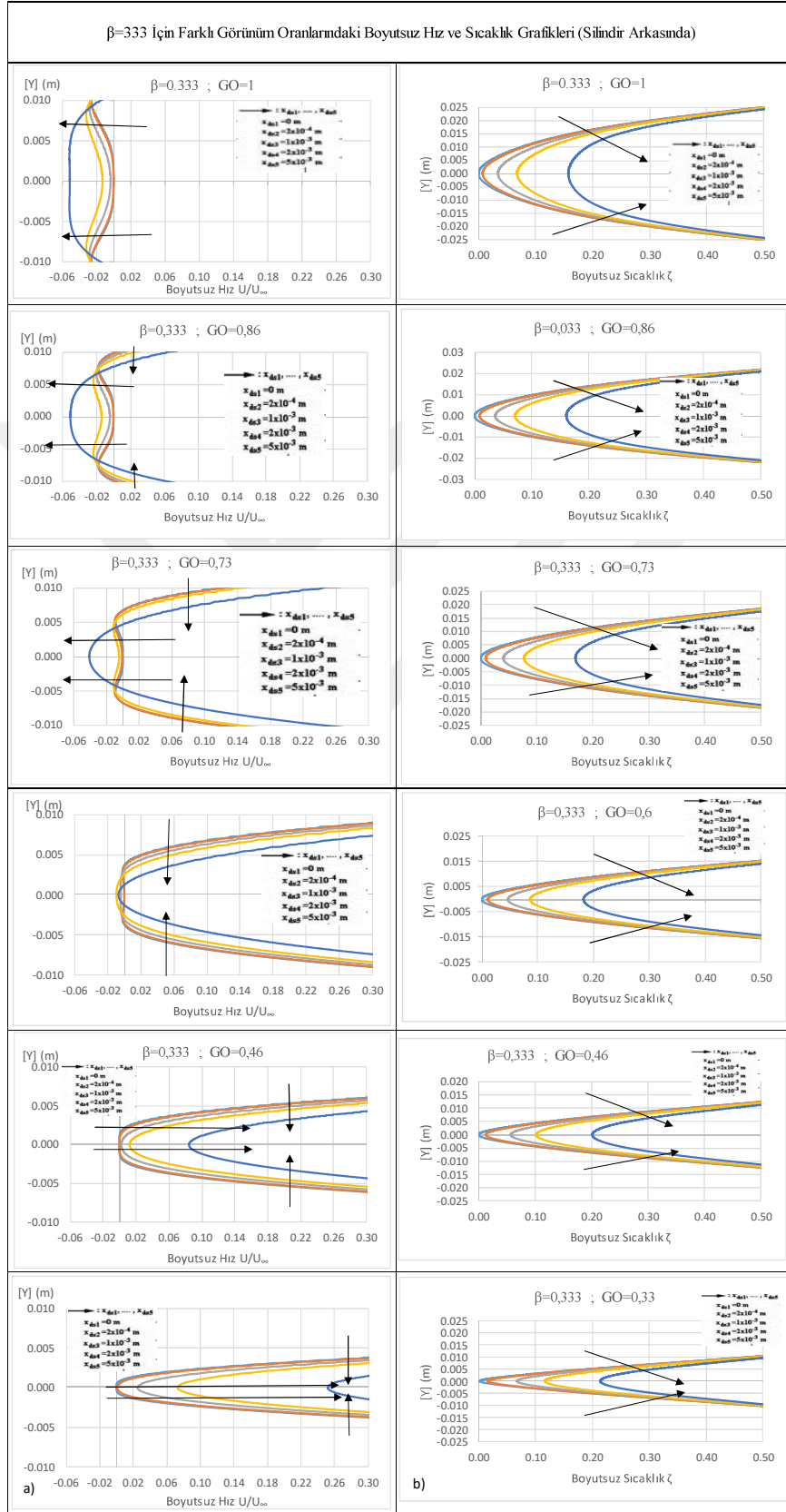
Silindir üzerinde  $90^\circ$ lik açı konumunda, tüm silindir durumları için, blokaj oranının artması ile birlikte kanal duvarları birbirine yaklaştığı için sınır tabakası kalınlığı azalmaktadır. Bunun sebebi kanal duvarlarındaki gerilme kuvveti sebebiyle akışkanın silindire doğru yaklaştırarak sınır tabakasının kalınlığını azaltmasıdır. Blokajın girdap uzunluğunu kısaltma sebebi ise sınır tabakasının azalmasıyla birlikte akış çizgilerinin dağılmasının engellenmesidir.

#### 4.6. Blokaj ve Görünüm Oranına Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Boyutsuz Hız ve Sıcaklık Grafikleri

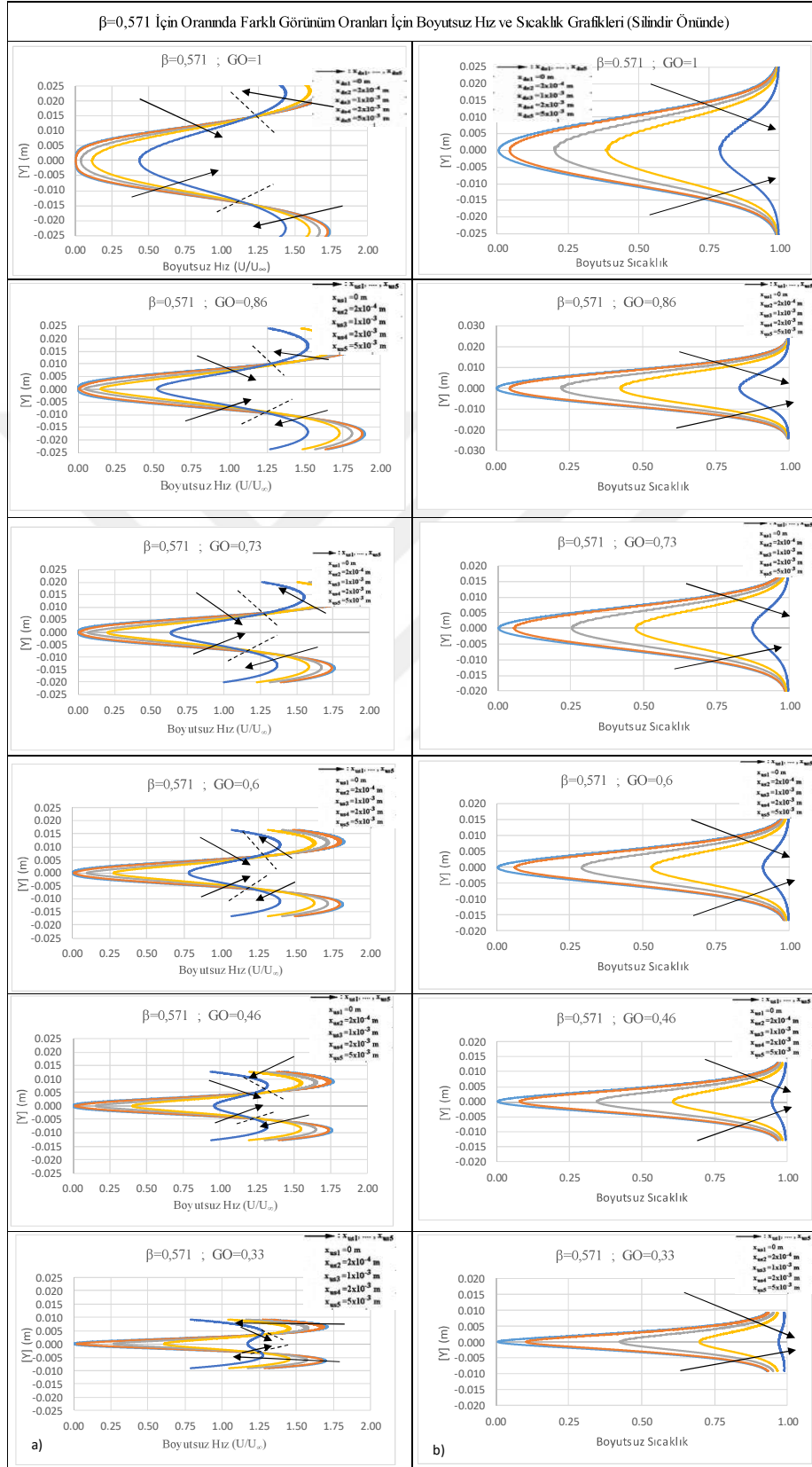
**Çizelge 4.33.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



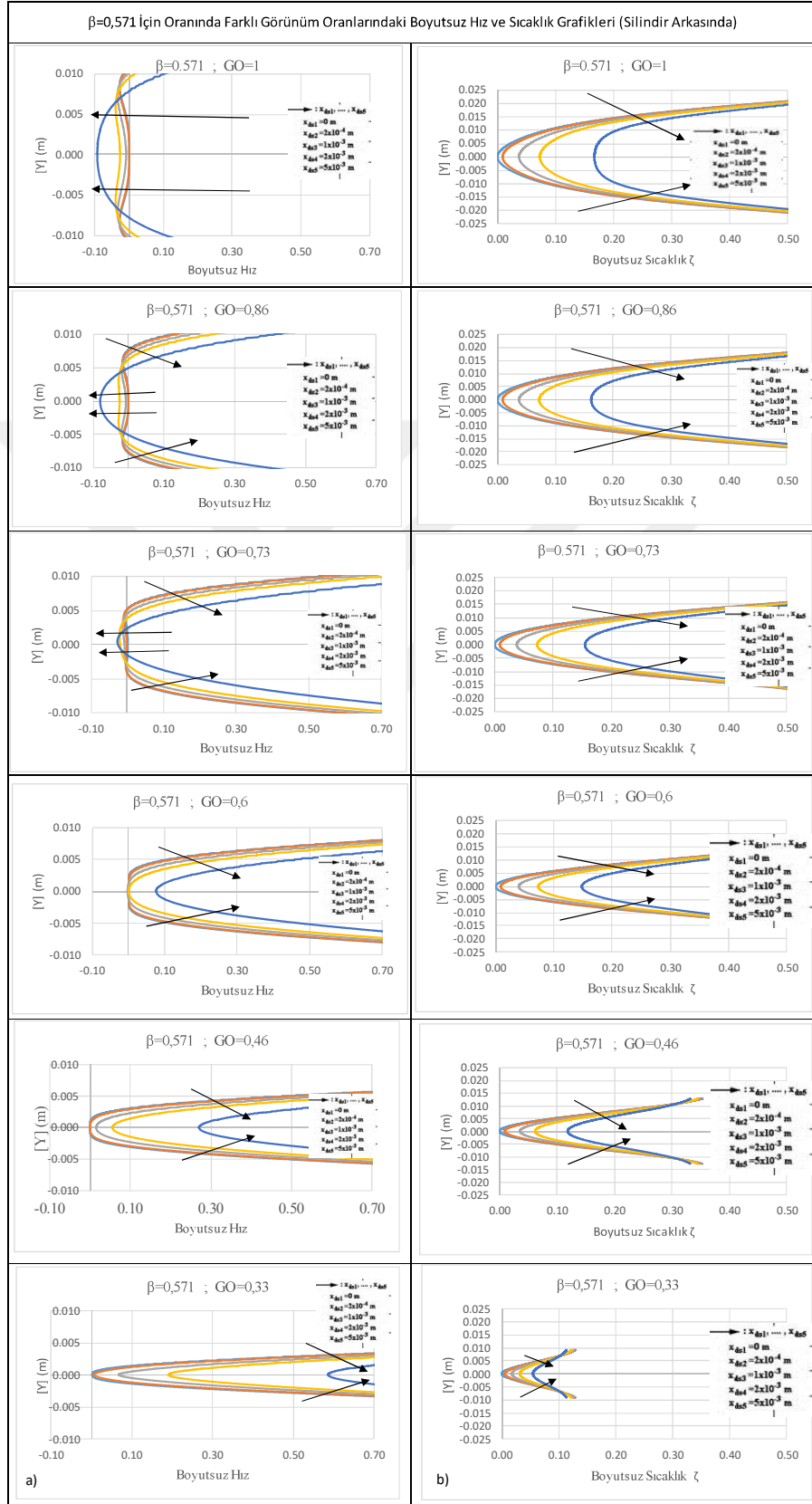
**Çizelge 4. 34.**  $\beta=0,333$  için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



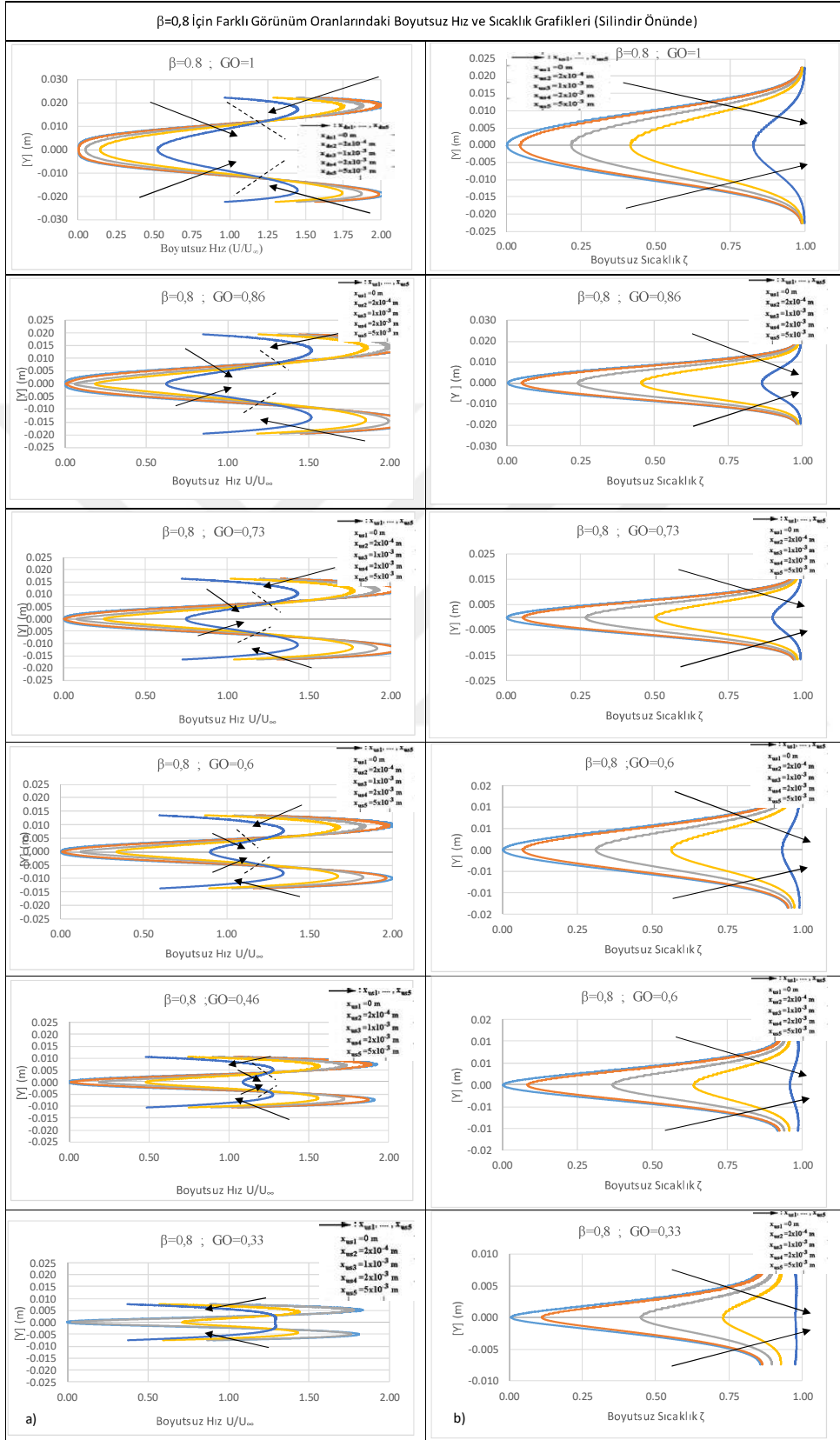
**Çizelge 4. 35.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



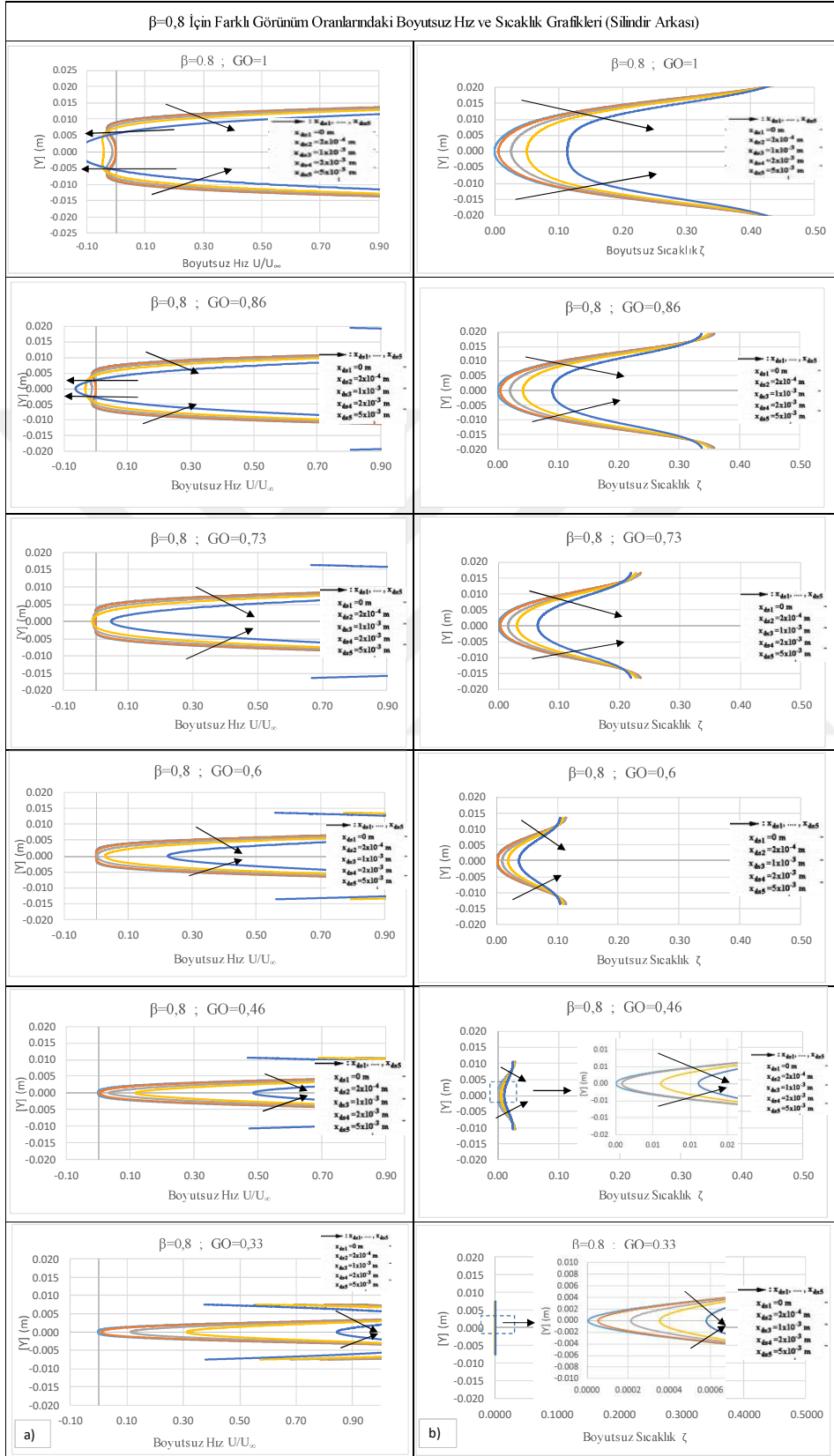
**Çizelge 4. 36.**  $\beta=0,571$  için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



**Çizelge 4. 37.**  $\beta=0,8$  için farklı görünüm oranlarında silindir önünde oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



**Çizelge 4. 38.**  $\beta=0,8$  için farklı görünüm oranlarında silindir arkasında oluşan boyutsuz hız ve sıcaklık grafikleri



Çizelge 4.33 (a), 4.34 (a), 4.35 (a), 4.36 (a), 4.37 (a) ve 4.38 (a)' da farklı blokaj oranlarında, silindir önünde ve arkasında görünüm oranına bağlı olarak ortaya çıkan boyutsuz hız grafikleri gösterilmiştir. Silindirin varlığının akış üzerindeki etkisi silindir çevresinde daha belirgin şekilde görülmektedir. Hız ön durma noktasında ( $\theta=0^\circ$ ),  $x_{us1}=0$  m'de 0 m/s olacaktır. Bu noktadan sonra silindir tarafından akışa uygulanan yerel blokaj etkisiyle hız kademeli olarak artar. Kanal duvarlarında dikey akış hızı kaymazlık sınır şartından dolayı sıfır olduğundan, kanal duvarları akışkan hızı sıfır iken kendine yapışık hale getirip merkez hattı boyunca hızlandırıp akışta bir kaymaya neden olurlar. Hızlanma akış tamamen gelişene kadar devam eder ve bir yerde maksimum olur.

Boyutsuz hız grafiklerinden,  $x_{us}=5 \times 10^{-3}$  m çizgisinde merkez hattı üzerinde 0,333, 0,571 ve 0,8 blokaj oranları için 0,86 görünüm oranında boyutsuz hız değerleri sırasıyla  $U/U_\infty=0,41, 0,52, 0,62$  olarak hesaplanmıştır. 0,73 görünüm oranında aynı blokaj değerlerinde, boyutsuz hız değerleri sırasıyla 0,51, 0,63, 0,75 olarak, 0,6 görünüm oranında 0,63, 0,77, 0,90 olarak, 0,46 görünüm oranında 0,79, 0,93, 1,08 olarak ve 0,33 görünüm oranında 0,97, 1,17, 1,28 olarak hesaplanmıştır. Buradan merkez hattı üzerinde boyutsuz hızın, blokaj oranının artmasıyla kanal duvarlarının yakınlığından kaynaklanan gerilmeler sayesinde akışın hızlanmasına neden olduğu sonucu çıkarılabilir. Görünüm oranının hız üzerindeki etkisi incelendiğinde,  $x_{us}=5 \times 10^{-3}$  m'de ve merkez hattında  $\beta=0,333$ 'de 1, 0,86, 0,73, 0,6, 0,46 ve 0,33 görünüm oranları için sırasıyla  $U/U_\infty=0,34, 0,41, 0,51, 0,63, 0,79, 0,97$  m/s değerlerine ulaşılır.  $\beta=0,571$ 'de 1, 0,86, 0,73, 0,6, 0,46 ve 0,33 görünüm oranları için sırasıyla  $U/U_\infty=0,43, 0,52, 0,63, 0,77, 0,93, 1,17$  m/s bulunmuştur.  $\beta=0,8$ 'de ise 0,86, 0,73, 0,6, 0,46 ve 0,33 görünüm oranları için sırasıyla  $U/U_\infty=0,53, 0,62, 0,75, 0,90, 1,08, 1,28$  m/s olarak bulunmuştur. Hız dairesel silindir için minimum, en düşük görünüm oranı değeri için ise maksimum olmuştur. Görünüm oranının azalmasıyla gövde daha akıcı hale geldiğinden akışın engellenmesi azalır ve akış silindir önünde hızlanır. Blokaj oranının, görünüm oranı düştükçe eliptik silindir üzerinde daha baskın etkiye sahip olduğu görülür. Blokaj oranının artmasıyla hızın yükselmesi aynı zamanda silindir ile akışkan sürtünmesini arttırarak ısı transferini arttıracaktır Ek olarak hız profillerinin kesişme noktasından sonra tersine döndüğü de görülmektedir.

Blokaj oranı arttıkça hızın artmasıyla açığa çıkan bir diğer sonuç akışkan hızının durma noktasına doğru daha hızlı bir şekilde sifıra düştüğüdür Bu hızlı yavaşlama silindir çevresinde momentum hızını arttırır. Bu sebepten blokaj oranının artmasıyla  $x_{us1}=0$  m çizgisi üzerinde ve  $y=\pm 0,02$  m aralığında boyutsuz hız değerlerini arttırır. Örnek verilecek olursa dairesel silindir için  $x_{us5} \rightarrow x_{us1}$  yönde  $y=\pm 0,02$  m aralığında  $\beta=0,333$ ,  $0,571$  ve  $0,8$  için  $U/U_\infty$  değerleri sırasıyla  $1,44 \rightarrow 1,62$  m/s,  $1,57 \rightarrow 1,92$  m/s,  $1,37 \rightarrow 2,05$  m/s olarak hesaplanmıştır. Blokaj oranının artması ile boyutsuz hız aralıklarının artması, bahsedilen momentum hız artışı ile ilişkilendirilebilir. Bulunan sonuçlar bu çıkarımı doğrulamaktadır. Maksimum ön eksen hızının konumu ise yüksek blokaj oranlarında tüm görünüm oranları için silindirin ön durgunluk noktasına yaklaşmaktadır. Grafilerde tüm silindir geometrileri için ön eksendeki hız profillerinin kesişme noktalarından sonra çizgilerin sırasının tam tersine döndüğü görülür. Dairesel silindir için  $\beta=0,333$  için  $y_{ters} \sim \pm 0,013$  m ve  $U/U_\infty \approx 1,182$  m/s,  $\beta=0,571$  için  $y_{ters} \sim \pm 0,011$  m ve  $U/U_\infty = 1,192$  m/s  $\beta=0,8$  için  $y_{ters} \sim \pm 0,010$  m ve  $U/U_\infty = 1,378$  m/s olarak bulunmuştur. Bu durum blokaj yükselmesi ile birlikte incelen sınır tabaka kalınlığı ve buna bağlı olarak azalan  $y_{ters}$  değerlerine rağmen boyutsuz hız değerlerinin artmasıdır. Ozalp ve Dincer (2010), dairesel silindir üzerine yaptığı sınırlandırılmış akış için  $\beta=0,333$ ,  $0,571$  ve  $0,8$  için sırasıyla  $y_{ters} = \pm \sim 0.0163$  m'de  $U/U_\infty = 1.076$  m/s,  $y_{ters} = \pm \sim 0.0148$  m'de  $U/U_\infty = 1.229$  m/s,  $y_{ters} = \pm \sim 0.0126$  m'de  $U/U_\infty = 1.251$  m/s olarak hesaplamışlardır.

Sınır tabakalarının birleşme noktasında akış hızı sıfırdır. Birleşme noktasının hemen üzerinde akış yönü silindire doğrudur yani akış yukarıya doğru hareket eder. Bazı boyutsuz hız grafiklerinde negatif değerlerin görülmesinin sebebi silindire doğru geri akış olmasından dolayıdır. Girdap yapısının kuvveti bu geri akış hızına bağlı olmakla birlikte geri akış rejiminden etkilenen akış bölgesinin alanına da bağlıdır. Blokaj etkisi ile geri akış hızları arasındaki ilişki incelendiğinde  $GO=1$  için  $\beta=0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında  $U/U_\infty = -0,051 \rightarrow -0,117$  m/s,  $GO=0,86$  için  $-0,051 \rightarrow -0,064$  m/s,  $GO=0,73$  için  $\beta=0,333 \rightarrow 0,571$  aralığında  $U/U_\infty = -0,041 \rightarrow -0,026$  m/s olarak hesaplanmıştır. Bu görünüm oranında  $\beta=0,8$  için geri akış hızı yoktur.  $GO=0,6$  için  $\beta=0,333$ 'da  $U/U_\infty = -0,006$  m/s olarak hesaplanmış  $\beta=0,571$  ve  $0,8$  blokaj oranlarında geri akış hızı bulunamamıştır. Diğer görünüm oranlarında tüm blokaj oranları için geri akış hızı bulunamamıştır. Geri akış hızı bulunan

görünüm oranlarında blokaj oranının artmasıyla geri akış hızı artmıştır. Özalp ve Dinçer (2010) de dairesel silindir üzerinden akış için aynı koşullarda yaptığı çalışmalarda  $\beta=0,333$  için geri akış hızını  $U/U_\infty = -0,052$  m/s,  $\beta=0,571$  için  $U/U_\infty = -0,094$  m/s ve  $\beta=0,8$  için  $U/U_\infty = -0,131$  m/s olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada da dairesel silindir için blokajın artması ile geri akış hızının arttığı görülmüştür. Geri akış hızının artmasında, blokaj oranının artmasına bağlı boğazdaki hız artmasının etkisi olduğu düşünülebilir. Çünkü kanal daralması ile boğazdaki hız artışı momentum transferini artırır ve ayrılma açısını arka durma noktasına kaydırır. Bu durum dolayısıyla hız profillerini etkiler. Bunun yanı sıra blokaj artışı ile girdap boyutunun küçülmesi daha yüksek geri akış hızlarının başka bir sebebi olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda bulunan değerler Özalp ve Dinçer (2010)'deki değerler ile uyumluluk göstermektedir. Blokaj oranının arka eksen hızı üzerinde önemli etkisi olduğu anlaşılmıştır. Blokaj oranının artmasıyla hem akış yönünün tersine dönen hız hem de akış yönündeki hızda artış meydana gelir.

Silindir önünde boyutsuz sıcaklık grafikleri incelendiğinde (Çizelge 4.33 (a), 4.35 (a), 4.37 (a)); Silindirin ön durgunluk noktasına yaklaşırken sıcaklıkların hızlı bir şekilde düştüğü göze çarpmaktadır. Silindir önünde  $x_{us}=0,5 \times 10^{-3}$  m çizgi aralığında blokaj oranının artması ile birlikte sıcak konturları ile de uyumlu olarak boyutsuz sıcaklık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Blokaj oranının artması hızın artmasına rağmen akış sınır tabakasını ve termal sınır tabakasını azaltmaktadır. Bu durum blokaj oranının artmasıyla ısı transferinin de arttığını doğrulamaktadır.  $\beta=0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında silindir önünde  $GO=1$  olan dairesel silindirde ve  $x_{us}=2 \times 10^{-4}$  m'de merkez hattı üzerinde boyutsuz sıcaklık değerleri  $\xi=0,039 \rightarrow 0,044$  aralığında,  $GO=0,86$  oranına sahip silindir için  $\xi=0,044 \rightarrow 0,05$  aralığında,  $GO=0,73$  oranına sahip silindir için  $\xi=0,050 \rightarrow 0,057$  aralığında,  $GO=0,6$  oranına sahip silindir için  $\xi=0,059 \rightarrow 0,067$  aralığında,  $GO=0,46$  oranına sahip silindir için  $\xi=0,072 \rightarrow 0,084$  aralığında,  $GO=0,33$  oranına sahip silindir için  $\xi=0,095 \rightarrow 0,111$  aralığında bulunmuştur. Özalp ve Dinçer (2010) aynı koşullarda  $\beta=0,200 \rightarrow 0,8$  aralığında dairesel silindir için boyutsuz sıcaklık aralığını  $\xi=0,039 \rightarrow 0,049$  olarak hesaplamışlardır. Dairesel silindir için bulunan boyutsuz sıcaklık aralığı bu çalışma ile uyum göstermektedir. Ön durma noktasındaki boyutsuz sıcaklık aralığına bakılacak olursa örnek olarak yine dairesel silindir için  $x_{us}=0$  m'de merkez hattı üzerinde

$\beta=0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında  $\xi=0,0021 \rightarrow 0,0032$  olarak  $GO=0,86$  için  $\xi=0,0029 \rightarrow 0,0036$ ,  $GO=0,73$  için  $\xi=0,0033 \rightarrow 0,0041$ ,  $GO=0,6$  için  $\xi=0,0039 \rightarrow 0,0048$ ,  $GO=0,46$  için  $\xi=0,0049 \rightarrow 0,0061$ ,  $GO=0,33$  için  $\xi=0,0072 \rightarrow 0,0083$  olarak hesaplanmıştır. Boyutsuz sıcaklık aralığının  $x_{ds}=2 \times 10^{-4} \rightarrow 0$  m aralığında daraldığı görülmüştür. Bu daralma silindir ön durma noktasında daha düşük ısı transfer hızları ile sonuçlanır.

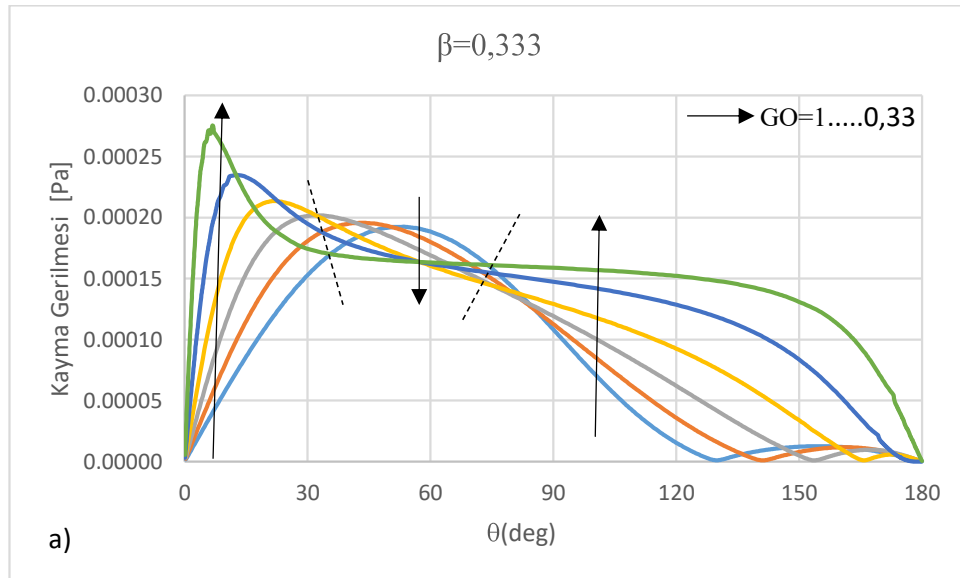
Silindir arkasında boyutsuz sıcaklık grafikleri incelendiğinde (Çizelge 4.37 (b), 4.39 (b) ve 4.41 (b)) sırasıyla  $\beta=0,333$ ,  $0,571$  ve  $0,8$  blokaj oranları için silindir arkasındaki boyutsuz hız ve sıcaklık grafiklerini vermektedir. Karşılaştırma yapmayı kolaylaştırabilmek adına silindir arkasındaki çizgiler silindir önündeki çizgiler ile aynı mesafede oluşturulmuştur. ( $x_{ds}=0-5 \times 10^{-3}$  m) Silindir arkasında girdap oluşan senaryolarda girdabın gücünden kaynaklı bir geri akış söz konusudur. Yapılan hesaplamalar sonucunda kanal genişliğinin daralmasının yani akış alanının küçülmesinin geri akış hızı değerlerini arttırdığı görülmüştür.

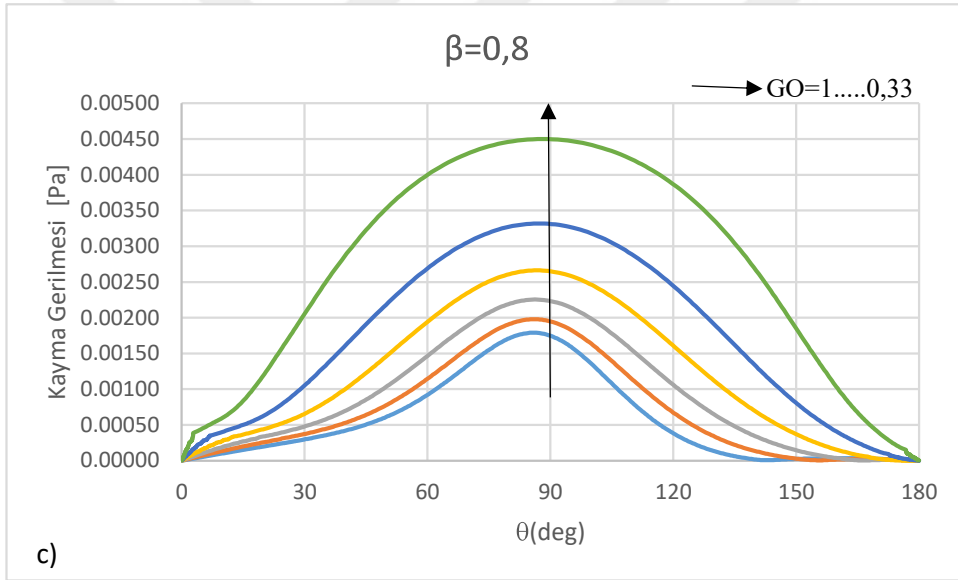
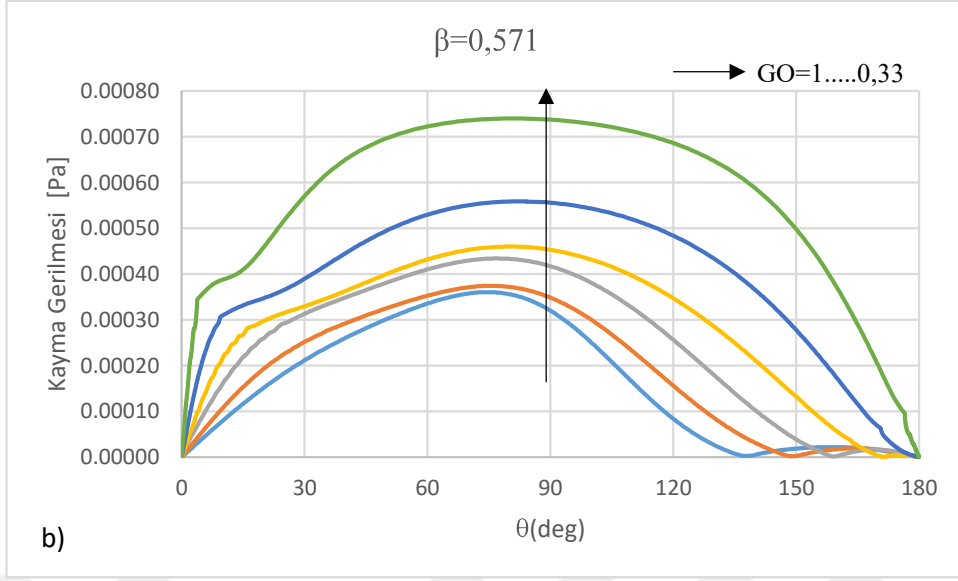
Silindir arkasında oluşan boyutsuz sıcaklık değerleri hem bu bölgedeki ısı transferi mekanizması hem de oluşan girdap biçimini hakkında bilgi edinmemizi sağlar.  $\beta=0,333$  ile  $\beta=0,571$ 'in aynı görünüm oranındaki boyutsuz sıcaklık grafiklerinin birbirine benzer olduğu görülür.  $\beta=0,8$  ise daha kendine özgü bir sıcaklık dağılımı sergiler.  $\beta=0,8$  için daha dar bir sıcaklık aralığı oluşmuştur. Oluşan bu dar sıcaklık aralığı blokaj oranının artışı ile ısı transfer hızının azaldığını gösterir. Sıcaklık grafikleri aynı zamanda girdap oluşumunun sıcaklık dağılımı üzerine etkisini de göstermektedir. Silindir arkasında oluşan boyutsuz sıcaklık değerlerine blokajın etkisine bakılacak olursa  $0,333 \rightarrow 0,8$  blokaj aralığında  $x_{ds}=2 \times 10^{-4}$  m'de bulunan çizginin merkez hattı üzerinde boyutsuz sıcaklık değerleri  $GO=1$  için  $\xi=0,007 \rightarrow 0,005$  aralığında,  $GO=0,86$  için  $\xi=0,007 \rightarrow 0,004$  aralığında,  $GO=0,73$  için  $\xi=0,008 \rightarrow 0,003$  aralığında,  $GO=0,6$  için  $\xi=0,01 \rightarrow 0,002$  aralığında,  $GO=0,46$  için  $\xi=0,0126 \rightarrow 0,0007$  aralığında,  $GO=0,33$  için  $\xi=0,016 \rightarrow 0,000054$  aralığında hesaplanmıştır. Arka durgunluk noktasındaki ( $x_{us}=0$  m)  $0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında boyutsuz sıcaklık değerleri ise  $GO=1$  için  $\xi=0,0004 \rightarrow 0,0003$  aralığında,  $GO=0,86$  için  $\xi=0,00048 \rightarrow 0,0028$  aralığında,  $GO=0,73$  için  $\xi=0,00054 \rightarrow 0,0002$  aralığında,  $GO=0,6$  için  $\xi=0,00068 \rightarrow 0,00012$  aralığında,  $GO=0,46$

için  $\xi=0,00073 \rightarrow 0,000044$  aralığında,  $GO=0,33$  için  $\xi=0,00095 \rightarrow 0,000023$  aralığında olduğu hesaplanmıştır. Boyutsuz sıcaklık aralığının blokaj artışı ile silindir çevresinde özellikle durgunluk noktasında daralması aynı zamanda bu kısımlarda ısı transferi oranının da düştüğüne işaret eder. Dikkate alınan tüm aralıklar ve senaryo durumları için silindirin ön durma noktasındaki ( $\theta=0$  derece ve  $x_{us}=0m$ ) boyutsuz sıcaklık değerinin, arka durma noktasındaki ( $\theta=180^\circ$  ve  $x_{ds}=0m$ ) boyutsuz sıcaklık değerinden büyük olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu durum silindir önündeki akışta ısı transferinin daha yüksek olduğunu gösterir.

#### 4.7. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Kayma Gerilmesinin Değişimi

Silindir önündeki ve arkasındaki akış hatları, sıcaklık konturları, hız ve sıcaklık profilleri akış alanıyla ilişkili olduğundan, silindir yüzeyindeki hidrodinamik ve termal sınır tabakası mekanizması, basınç katsayıları, sürtünme katsayıları, kayma gerilmeleri, Nusselt sayıları ve akış ayrılması etkileri ile açıklığa kavuşturulur.





**Şekil 4.2.** GO=1-0,33 aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki kayma gerilmesi değişimi a)  $\beta=0,333$  için kayma gerilmesi değişimi, b)  $\beta=0,571$  için kayma gerilmesi değişimi, c),  $\beta=0,8$  için kayma gerilmesi değişimi

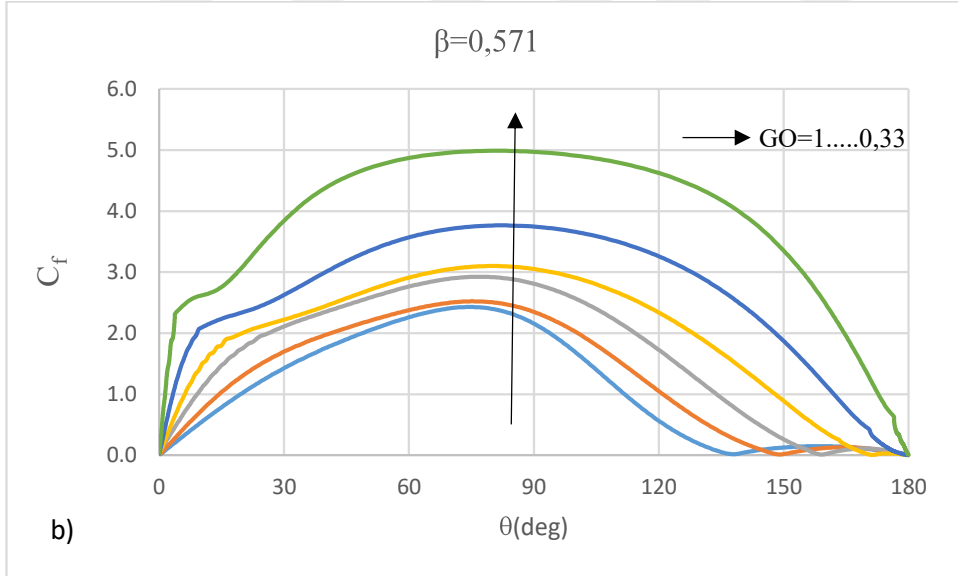
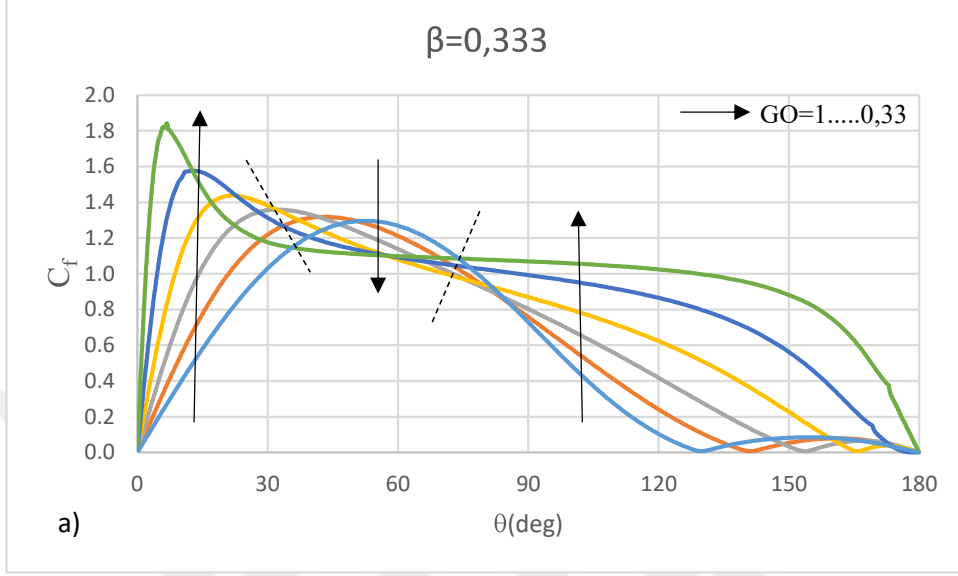
Görünüm oranlarına bağlı olarak  $\beta=0,333$  oranındaki kayma gerilmeleri grafiği Şekil 4.2 (a)'da verilmiştir. Silindir yüzeyindeki kaymama şartından dolayı akış hızı sıfır olduğundan, silindir önündeki durma noktasında gerilme değeri de sıfır olacaktır. Bu noktadan sonra sınır tabakası oluşup gelişmeye başladığı için gerilme değerinde artış meydana gelmiştir. Akışkan ile yüzey arasındaki etkileşim akışta gecikmeye sebep olur. Akış giderek geciktikçe bazı noktada gerilme sıfır olabilir. Kayma gerilmesinin yaklaşık

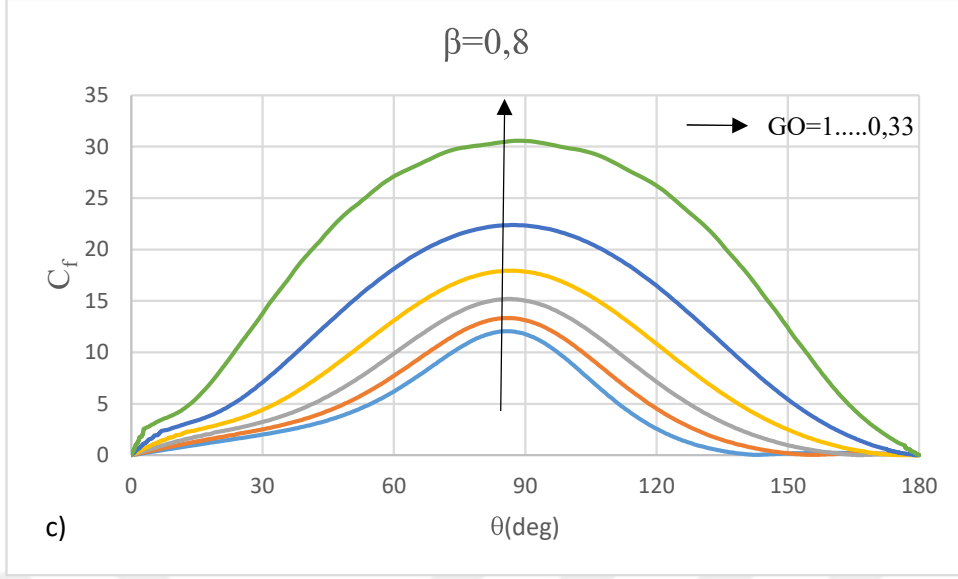
sıfır olduğu değer akışın bu noktada ayrılmaya başladığını belirtir ve bu değere karşılık gelen açıdan ayrılma açısı tespiti yapılabilir. Akış ayrılmasından sonra akışkanın yzey ile etkileşimi kesildiğinden dolayı gerilme değerlerinde yeniden bir artış sız konusu olur. Grafik incelendiğinde gırnüm oranı azaldıkça akışta gecikme daha fazla olduğundan gerilme değerinde daha hızlı bir dūřūř gerçekleştiği gırnler.

$\beta=0,571$  blokaj oranında farklı gırnüm oranlarına bağlı kayma gerilmeleri grafiği Őekil 4.2 (b)'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde silindir yzeyindeki durgunluk noktasından sonra sınır tabaka gelişimi ile birlikte gerilmelerin yzselmesinden sonra, akışkanın yzey ile etkileşimin artmasıyla bir dūřūř yaşanır. Ancak bu dūřūř 0,333 blokaj oranındaki kadar keskin değildir. nkū kanal daralmasıyla birlikte akış hızlanmış, akışkanın yzey ile etkileşimi azalmış, dolayısıyla akışta gecikme de azalmıştır. Ayrıca hızın daha yzsek değerlere ulaşmasıyla maksimum gerilme değerlerinde de artış yaşanmıştır.

Gırnüm oranlarına bağlı olarak  $\beta=0,8$  blokaj oranında, kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.2 (c)'de gōsterilmiřtir. Grafikler incelendiğin 0,571 blokaj oranına gōre artan gerilme değerleri ile birlikte  $\beta=0,8$ 'de kanal duvarlarının daha çok daralmasıyla birlikte gerilmelerin daha hızlı arttığı sonucuna varılabilir.

#### 4.8. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Sürtünme Katsayısının Değişimi





**Şekil 4.3.**  $GO=1-0,33$  aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısı değişimi a)  $\beta=0,333$  için sürtünme katsayısı değişimi, b)  $\beta=0,571$  için sürtünme katsayısı değişimi, (c)  $\beta=0,8$  için silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısı değişimi

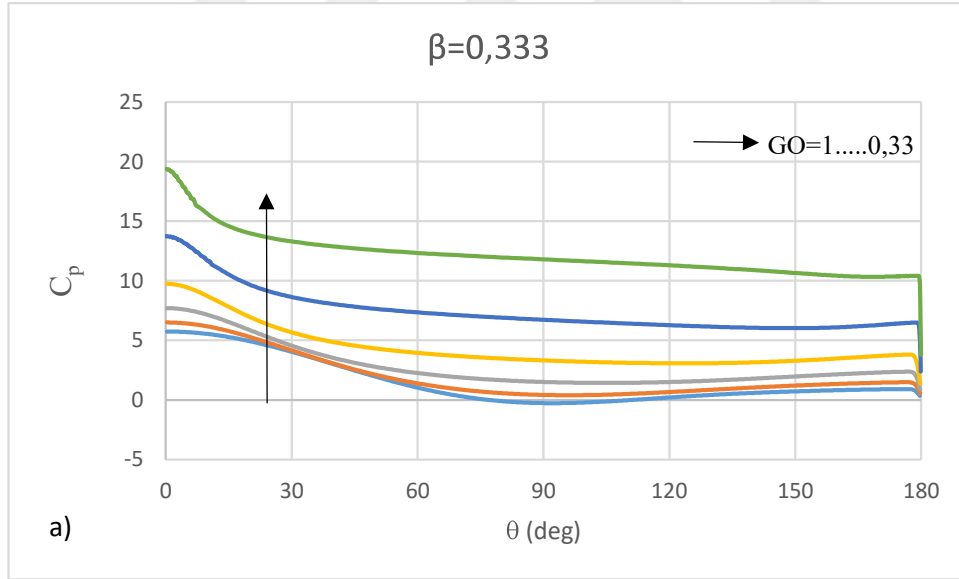
Şekil 4.3’de,  $\beta=0,333$  (a),  $0,571$  (b) ve  $0,8$  (c) blokaj oranlarında silindir yüzeyinde farklı görünüm oranlarına bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde görünüm oranının azalmasıyla birlikte maksimum sürtünme katsayılarının değerlerinde artış görülmektedir. Özellikle  $GO=0,33$  için sürtünme katsayısı değeri keskin şekilde bir artış göstermiştir. Bu çalışma için  $0,33$  görünüm oranına sahip tüm silindirlerde tüm blokaj oranları için diğer silindirlerden daha yüksek  $C_f$  değeri elde edilmiştir. Aynı kanal genişliğinde görünüm oranının azalmasıyla birlikte silindir üzerinde gerilmelerin arttığı ve sürtünme katsayısını arttırdığı anlaşılır Bununla birlikte maksimum sürtünme katsayılarının açisal konumunun görünüm oranının azalmasıyla ileri durgunluk noktasına doğru kaydığı görülür.  $\theta=0^\circ$  silindirin ön durgunluk noktasını temsil ettiğinden ve burada hız sıfır olduğundan dolayı sürtünme katsayısı da sıfır olacaktır. Sürtünme katsayısı grafiğinden ayrıca ayrılma açısı tespiti de yapılabilir.  $C_f$ 'in ikinci sıfır değeri, sınır tabakası ayrılma noktasını gösterir. Blokaj oranının sürtünme katsayısına etkisine bakılacak olursa tüm silindirler için blokaj oranının artmasının sürtünme katsayısı değerini arttırdığı görülür. Bu artış  $\beta=0,8$  oranında daha belirgin bir artış şeklinde gözükür. Bunun sebebi kanal duvarlarının daralması ile silindir etrafında akışın hızlanmasına bağlı olarak kayma gerilmelerinin artması ve silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısını da arttırması olarak yorumlanabilir. Ayrıca sürtünme katsayısı

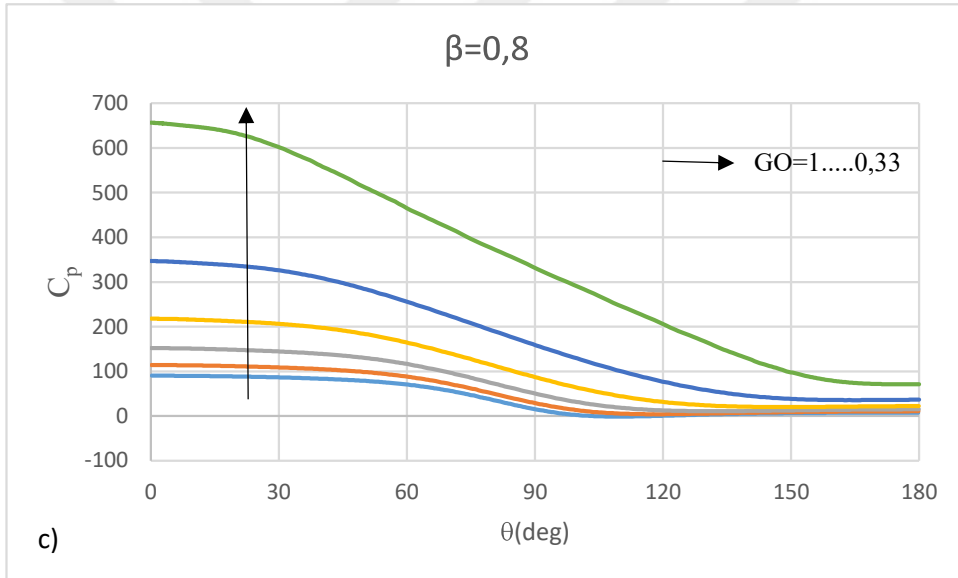
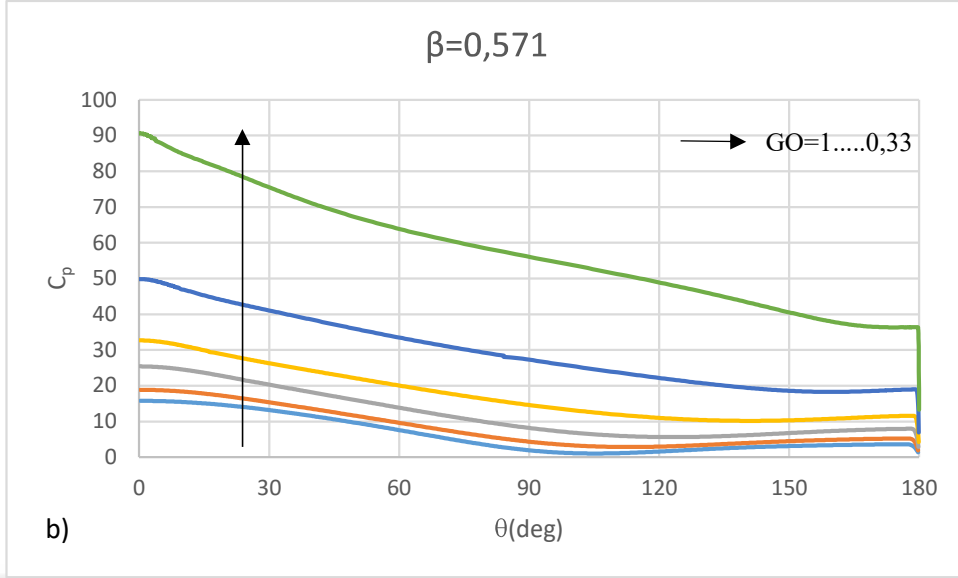
dağılımı tüm silindirler için merkez çizgisi üstü ve altında simetriktir. Sonuç olarak sürtünme katsayısının, blokaj ve görünüm oranı değişiminden önemli ölçüde etkilendiği söylenebilir. Blokaj ve görünüm oranlarına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri Çizelge 4.39’da detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 39.** Blokaj oranı ile birlikte farklı görünüm oranlarına sahip silindirlerin yüzeyindeki ortalama yüzey sürtünmesi değerleri

$C_{f_{ort}}$		Görünüm Oranı					
		1	0,86	0,73	0,6	0,46	0,33
$\beta$	0,333	0,554	0,599	0,654	0,734	0,742	0,908
	0,571	1,064	1,161	1,319	1,392	1,660	2,096
	0,800	3,108	3,350	3,870	4,518	5,583	7,524

#### 4.9. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Basınç Katsayısının Değişimi



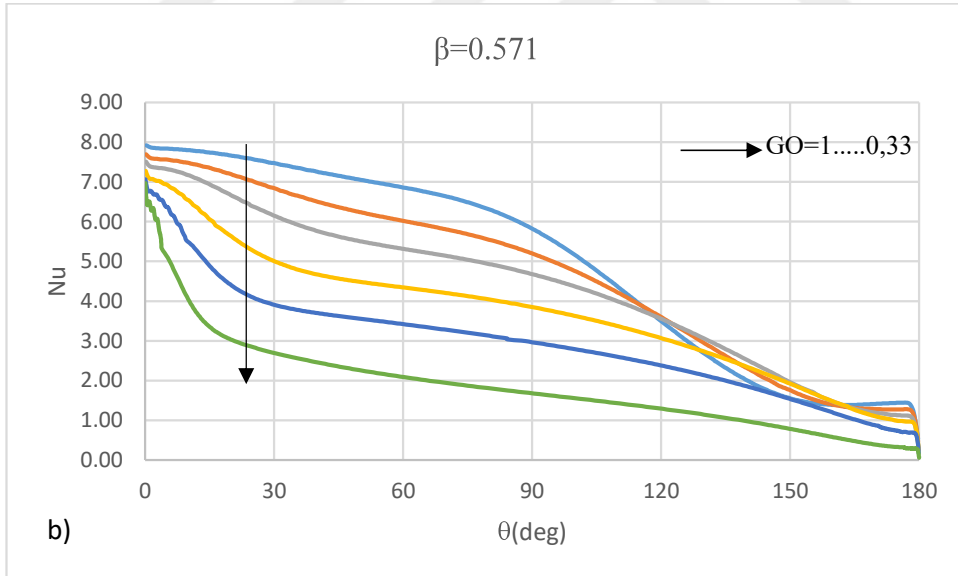
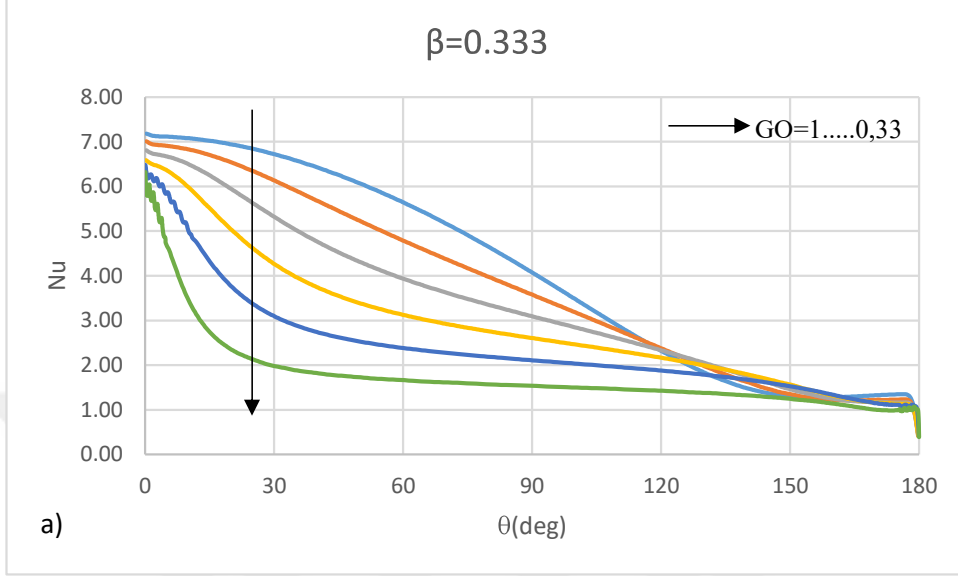


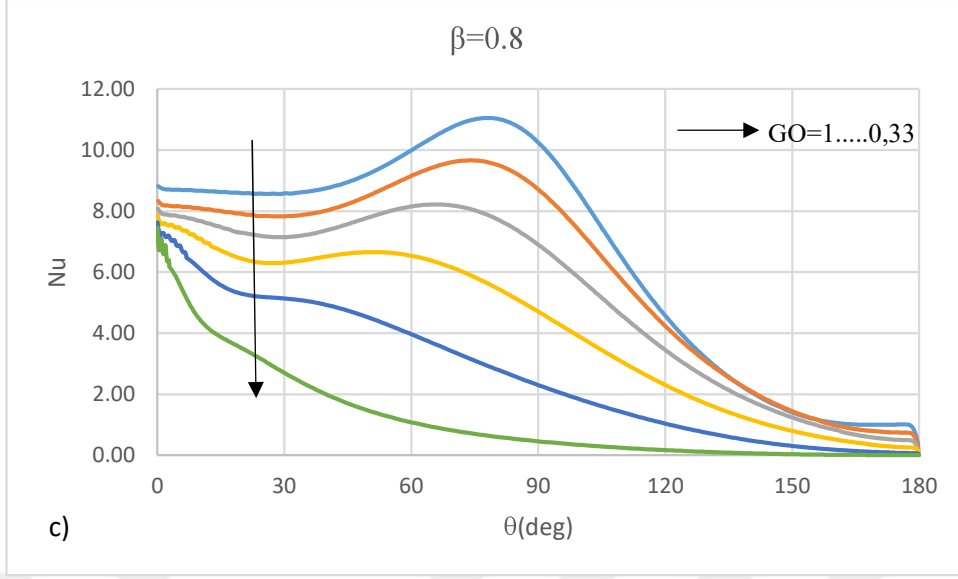
**Şekil 4.4.** GO=1-0,33 aralığında farklı blokaj oranları için silindir yüzeyindeki basınç katsayısı değişimi a)  $\beta=0,333$  için basınç katsayısı değişimi, b)  $\beta=0,571$  için basınç katsayısı değişimi, c)  $\beta=0,8$  için silindir yüzeyindeki basınç katsayısı değişimi

Şekil 4.4,  $\beta=0,333$  (a),  $0,571$  (b) ve  $0,8$  (c) blokaj oranlarında, silindir yüzeyindeki basınç katsayısı değişimini göstermektedir. Basınç katsayısı dairesel ve eliptik silindirler için silindir çevresi boyunca azalmıştır. Basınç katsayısının sürekli düşüş göstermesinin sebebi hız artışına bağlı olarak dinamik basıncın yükselmesi fakat statik basıncın düşmesidir. Ayrıca basınç katsayısının minimum değerinin görünüm oranının azalmasıyla arka durgunluk noktasına doğru kaydığı görülmüştür.  $\theta=0^\circ$  durma noktası

için  $\beta=0,8$ 'de görünüm oranının azalmasıyla basınç katsayısı 90,18→656,299 aralığında,  $\beta=0,571$ 'de 15,77→90,64 aralığında,  $\beta=0,333$ 'de ise 5,74→19,38 aralığında değişmiştir. Tüm silindirler için görünüm oranının azalmasıyla silindirin ön tarafındaki basınç düşüşü daha keskin olmakla birlikte ön ve arka durgunluk noktalarındaki basınç katsayısı arasındaki fark da artmaktadır. Silindir önünde oluşan yüksek basınç ve silindir arkasında oluşan düşük basınç sebebiyle akış ilerlemesi kolaylaşır. Görünüm oranı 0,33 olan silindirde basıncın daha yüksek olması akışın daha kolay ilerlemesini sağlayarak akıştaki ayrılmaları daha çok önler ve böylelikle 0,33 görünüm oranında daha küçük ayrılma açıları tespit edilmiştir. Grafikten çıkarılacak bir diğer sonuç minimum basınç katsayılarının görüldüğü açı değerlerinin blokaj oranının artması ile beraber aynı görünüm oranı için silindirin arka durma noktasına doğru kaymasıdır. Bu da blokaj oranının artmasıyla ayrılma açılarının silindirin arka durma noktasına doğru hareket ettiği sonucunu akla getirir.  $C_{p-min}$ 'nin blokaj oranı artışı ile birlikte daha yüksek açı değerlerinde görülmesi daha geç kopan akış ayrılması ile açıklanabilir. Ayrılmış akış ile beraber neredeyse sabit bir basınç katsayısı alanı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçların tümünden kanal duvarlarının daraltılmasıyla, yani blokaj oranının arttırılmasıyla silindir üzerindeki basıncın ve yüzey sürtünmelerinin arttığını, basınç katsayısının görünüm ve blokaj oranından güçlü bir şekilde etkilendiği söylenebilir.

#### 4.10. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Nusselt Sayı Değişimi





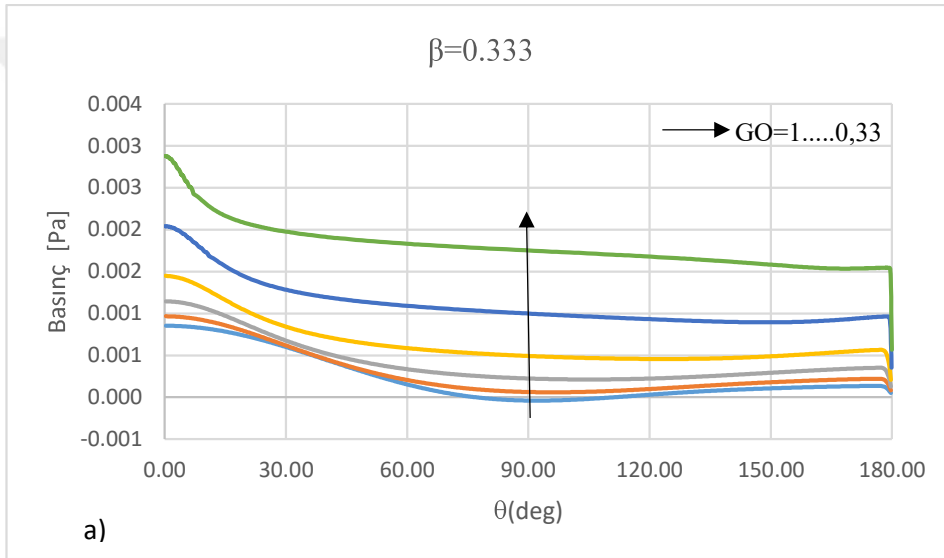
**Şekil 4.5.** Belirli blokaj oranlarında görünüm oranının değişmesine bağlı olarak Nusselt sayılarında meydana gelen değişim a)  $\beta=0,333$ 'da görünüm oranına bağlı Nusselt sayı değişimi b)  $\beta=0,571$ 'de görünüm oranına bağlı Nusselt sayı değişimi c)  $\beta=0,8$ 'de görünüm oranı

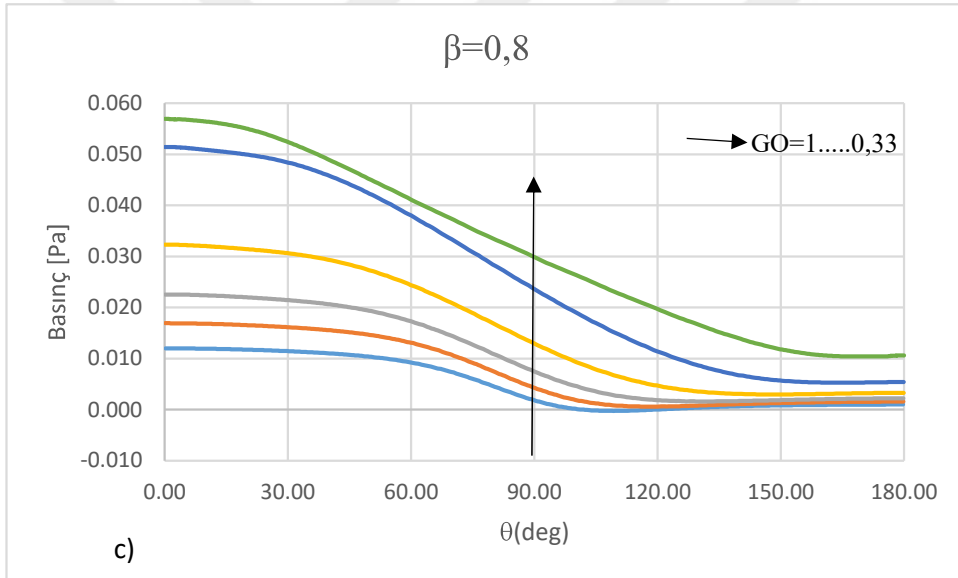
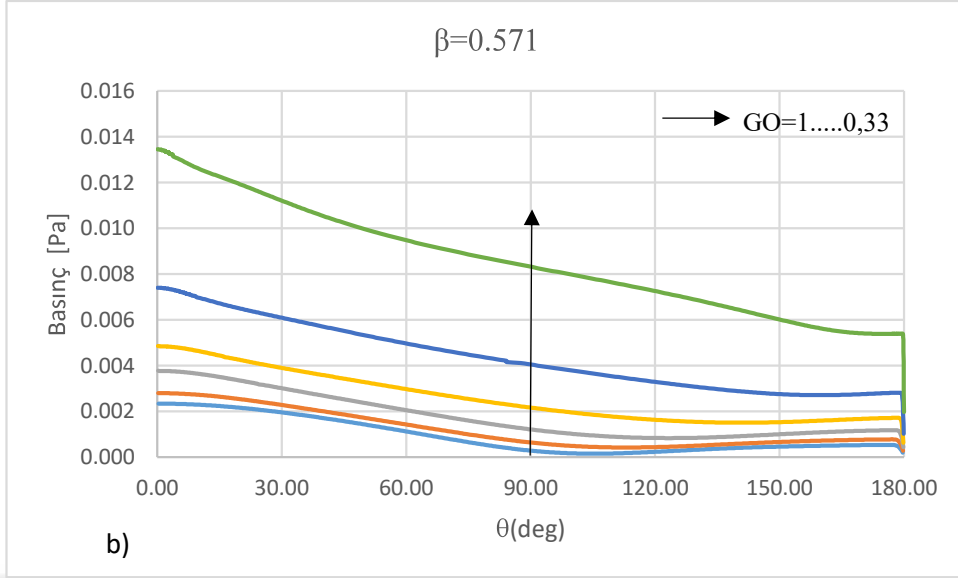
Silindir yüzeyindeki Nusselt sayısının değişimi, farklı görünüm oranlarına bağlı Şekil 4.5 (a), (b) ve (c)'de sırasıyla  $\beta=0,333$ ,  $\beta=0,571$  ve  $\beta=0,8$  için gösterilmiştir. Grafiklerdeki veriler incelendiğinde aynı görünüm oranında blokaj oranı değeri arttıkça Nusselt sayı değerlerinde artış yaşandığı görülür. Silindirin arka durgunluk noktasına doğru ise tüm blokaj ve görünüm oranları için azalarak minimum değerlere ulaşmıştır. Bu durum silindir boğazına doğru hem blokaj etkisinin hem de görünüm oranının ısı transfer mekanizması üzerindeki etkisini ortaya çıkarmaktadır. Buradan çıkarılacak bir diğer sonuç ise hidrodinamik tabakanın yapısının termal yapıyı da etkilediğidir. Sebebi ise blokaj oranının artışıyla beraber sınır tabakanın kalınlığının azalması daha yüksek ısı transfer hızına sebep olmuştur. Bu sonuç Özalp ve Umur (2003,2006)'un düz ve eğimli akışlar üzerine yaptığı deneysel çalışmalar ve Özalp (2008,2009)'in mikro ürün akışları üzerine yaptığı sayısal hesaplamalar ile de doğrulanmıştır. Ayrıca farklı blokaj ve görünüm oranlarına ait ortalama Nusselt sayıları Çizelge 4.40'a detaylı olarak verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere aynı görünüm oranında blokaj oranının artmasıyla beraber  $Nu_{ort}$  değerleri artmıştır. Aynı blokaj durumunda ise görünüm oranının azalmasıyla birlikte  $Nu_{ort}$  değerleri azalmıştır.

**Çizelge 4.40.** Blokaj oranı ile birlikte farklı görünüm oranlarına sahip silindirlerin yüzeyindeki ortalama Nusselt sayı değerleri

$Nu_{ort}$		Görünüm Oranı					
		1	0,86	0,73	0,6	0,46	0,33
$\beta$	0,333	4,050	3,724	3,380	2,992	2,860	2,393
	0,571	4,941	4,572	4,253	3,746	3,186	2,548
	0,800	6,155	5,454	4,741	3,921	3,109	2,398

#### 4.11. Blokaj Oranı İle Birlikte Farklı Görünüm Oranlarına Sahip Silindirlerin Yüzeyindeki Basınç Değişimi





**Şekil 4.6.** Belirli blokaj oranlarında görünüm oranının değişmesine bağlı olarak statik basınç değerlerinde meydana gelen değişim a)  $\beta=0,333$ 'da görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi b)  $\beta=0,571$ 'de görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi c)  $\beta=0,8$ 'de görünüm oranına bağlı statik basınç değişimi

GO=1→0,33 aralığında  $\beta=0,333$  (a),  $\beta=0,571$  (b) ve  $\beta=0,8$  (c) için silindir yüzeyindeki statik basınç değişimini göstermektedir. Statik basınç grafikleri tüm blokaj oranları için önce belli bir değere kadar düşmüştür Silindir ön yüzeyinde basınç yönelimi aynı yönlüdür. Silindir arka yüzeyinde akış ayrılmasından sonra sabit bir basınç alanı ortaya

çıkılmaktadır.  $GO=1$  için  $\theta=0^\circ$ 'de ve  $\beta=0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında basınç değerleri  $0,00085 \rightarrow 0,0133$  [Pa] aralığında,  $GO=0,86$  için  $0,00096 \rightarrow 0,016$  [Pa] aralığında,  $GO=0,73$  için  $0,0011 \rightarrow 0,0225$  aralığında,  $GO=0,73$  için  $0,0014 \rightarrow 0,032$  aralığında,  $GO=0,6$  için  $0,0020 \rightarrow 0,051$  aralığında ve  $GO=0,33$  için  $0,0028 \rightarrow 0,097$  aralığında hesaplanmıştır. Buradan aynı geometride blokaj oranının artması ile birlikte silindir etrafındaki statik basıncın arttığı söylenebilir. Kanal genişliği sabit iken geometri değişimine bağlı olarak statik basınç değerlerine bakılırsa  $\beta=0,333$  için  $GO=1 \rightarrow 0,33$  aralığında ve  $\theta=0^\circ$ 'de basınç değişimi  $0,00085 \rightarrow 0,0028$  [Pa] aralığında,  $\beta=0,571$  için  $0,0023 \rightarrow 0,013$  [Pa] aralığında,  $\beta=0,8$  için  $0,0133 \rightarrow 0,097$  [Pa] aralığında hesaplanmıştır. Buradan aynı kanal genişliğinde görünüm oranının azalması ile statik basıncın arttığı söylenebilir. Maksimum basınç değerleri silindir ön durma noktası civarında oluşmuştur.  $\theta=90^\circ$ 'deki statik basınç değerleri ise  $GO=1-0,33$  aralığında,  $\beta=0,333$  için  $0,000041 \rightarrow 0,00174$  [Pa] ,  $\beta=0,571$  için  $0,00027 \rightarrow 0,00835$  [Pa],  $\beta=0,8$  için  $0,00213 \rightarrow 0,02345$  [Pa] aralığında hesaplanmıştır. Silindirin arka durma noktası ( $\theta=180^\circ$ ) için statik basınç değerlerine bakılırsa,  $\beta=0,333 \rightarrow 0,8$  aralığında,  $GO=1$  için  $0,00013 \rightarrow 0,00112$  [Pa] aralığında,  $GO=0,86$  için  $0,00022 \rightarrow 0,00156$  [Pa] aralığında,  $GO=0,73$  için  $0,00035 \rightarrow 0,00220$  [Pa] aralığında,  $GO=0,6$  için  $0,00056 \rightarrow 0,00328$  [Pa] aralığında,  $GO=0,46$  için  $0,00096 \rightarrow 0,00539$  [Pa] aralığında ve  $GO=0,33$  için  $0,00154 \rightarrow 0,0105$  [Pa] olarak hesaplanmıştır Bu sonuçlardan aynı geometride blokaj artışı ile silindirin arka durma noktasında statik basınç değerlerinin arttığı, aynı blokaj oranında ise görünüm oranının azalması ile yine statik basıncın arttığı tespit edilmiştir.  $\theta=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  deki tüm blokaj oranları için statik basınç değerleri Çizelge 4.41'de ayrıca verilmiştir.

**Çizelge 4. 41.** Silindir yüzeyinde farklı blokaj ve görünüm oranlarına bağlı  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $180^\circ$  açısıl konumlardaki statik basınç değerleri

Silindir Yüzeyinde Farklı Açısıl Konumlardaki Statik Basınç Değerleri							
$\vartheta = 0^\circ$							
P (Pa)		Görünüm Oranı (GO)					
		1	0,86	0,73	0,6	0,46	0,33
$\beta$	0,333	0,00085	0,00096	0,00114	0,00144	0,00203	0,00287
	0,571	0,00234	0,00280	0,00377	0,00485	0,00740	0,01345
	0,800	0,01338	0,01691	0,02255	0,03231	0,05145	0,09741
$\vartheta = 90^\circ$							
P (Pa)		Görünüm Oranı (GO)					
		1	0,86	0,73	0,6	0,46	0,33
$\beta$	0,333	-0,00004	0,00006	0,00022	0,00049	0,00099	0,00174
	0,571	0,00027	0,00062	0,00120	0,00215	0,00402	0,00835
	0,800	0,00213	0,00404	0,00725	0,01262	0,02345	0,04884
$\vartheta = 180^\circ$							
P (Pa)		Görünüm Oranı (GO)					
		1	0,86	0,73	0,6	0,46	0,33
$\beta$	0,333	0,00013	0,00022	0,00035	0,00056	0,00096	0,00154
	0,571	0,00054	0,00058	0,00118	0,00172	0,00281	0,00539
	0,800	0,00112	0,00156	0,00220	0,00328	0,00539	0,01054

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma eksen oranlarının (GO) ve blokaj oranlarının (BO) hidrolik çapa göre Reynolds 40 sayısında bir silindirin etrafındaki akışkan akışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Re'nin karakteristik uzunluğu olarak hidrolik çapın seçilmesi, tüm eksen oranları için aynı referans hızın kullanılmasını sağlamıştır. Bu çalışmanın tüm simülasyonları için hesaplama alanının giriş sınırında tek tip yaklaşma hızı uygulanmıştır. Silindirin şekli akış doğrultusundaki çap aynı kalmak koşuluyla eksen oranı değiştirilerek eliptik hale getirilmiştir. Blokaj oranları 0,333, 0,571 ve 0,8 olan ve görünüm oranları 1, 0,8, 0,73, 0,60, 0,46 ve 0,30 olan eksen oranlarına sahip silindirler üzerinde çalışılmıştır. ANSYS 16.0 içerisinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodunu kullanan yaklaşım olan CFX bu sayısal çalışmayı uygulamak için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Silindir üzerinde 90°'lik açı konumunda tüm silindir durumları için blokaj oranının artması sınır tabaka kalınlığını azaltmıştır. Bu etki daha düşük görünüm oranlarında daha belirgin hale gelmiştir. Blokaj artışı ile laminer sınır tabaka kalınlığının azalması kanal duvarlarındaki gerilme kuvveti sebebiyle akışkanın silindire doğru daha fazla yaklaşması ve buna bağlı sınır tabaka kalınlığının azalmasıdır. Blokaj oranının artmasıyla birlikte oluşan daha ince sınır tabakası gelişimi akışın silindir yüzeyi ile sürtünmesini arttırarak termal aktivitesini geliştirmiştir.
- Silindir üzerinde 90°'lik açı konumunda tüm silindir durumları için aynı blokaj etkisinde görünüm oranının azalmasıyla birlikte sınır tabaka kalınlığı artmıştır. Görünüm oranının azalmasıyla birlikte silindir üzerinde akışa direnç gösteren viskoz kuvvetleri daha baskın hale gelerek daha fazla akış katmanını yavaşlatır ve sınır tabakanın kalınlaşmasına neden olmuştur.
- Blokaj oranı sabit iken görünüm oranının 1'den azalması ile birlikte girdap boyutu ve girdap uzunluğu azalmıştır. 0,333 blokaj oranında 0,46 görünüm oranından itibaren 0,571 blokaj oranında 0,6 görünüm oranından itibaren girdap oluşmamasına karşın 0,8 blokaj oranında 0,73 görünüm oranından itibaren girdap oluşumu gözlenmemiştir.

- Tüm blokaj oranları için  $GO=0,46$  ve  $GO=0,33'$  de girdap oluşumu gözlenmemiştir. Bu da girdap oluşumu için kritik  $GO$  değerinin  $0,6$  ile  $0,46$  arasında bir yerde olduğunu gösterir.
- Görünüm oranı sabit iken blokaj oranının artması girdap boyutunu ve uzunluğunu kısaltmıştır. Bu durum sınır tabakanın azalması ile birlikte akış çizgilerinin dağılmasına engel olmasıyla sağlanmıştır.
- Tüm silindirler için blokaj oranının artması ile sürtünme katsayısı değeri artmıştır. Bu artış  $\beta=0,8$  oranında daha belirgin bir artış şeklinde gözükür. Kanal duvarlarının daralması ile silindir yüzeyi etrafındaki akış hızının artmasına bağlı olarak kayma gerilmelerinin artmasıyla silindir yüzeyindeki sürtünme katsayısındaki artışın sebebidir.
- Basınç katsayısı dairesel ve eliptik silindirler için silindir çevresi boyunca azalmış, yaklaşık  $90^\circ$ lik bir açısal pozisyon etrafında minimuma ulaşmış daha sonra silindirin arka durgunluk noktasına kadar yeniden artış göstermiştir.  $\theta=90^\circ$ 'e kadar basınç katsayısının sürekli düşüş göstermesinin sebebi hız artışına bağlı olarak dinamik basıncın yükselmesi fakat statik basıncın düşmesinden kaynaklanmıştır. Kanal duvarlarının daralmasıyla basınç katsayısındaki artış daha güçlü olmuştur.
- Statik basınç değerleri tüm blokaj oranları için önce belli bir değere kadar düşmüştür Minimum değere ulaştıkları bu nokta ayrılma açısının olduğu açı değeri olmuştur. Ayrılma açısı her görünüm oranı ve kanal değişikliği için farklılık gösterdiğinden bu statik basıncın minimum değerleri de farklı geometri ve blokaj oranı için farklılık göstermiştir. Silindir arka yüzeyinde ayrılma açısının konumundan sonra basınç değerlerinde bir miktar artış görülür.
- Aynı görünüm oranında blokaj oranı arttıkça Nusselt sayı değerlerinde artış yaşanmıştır. Silindirin arka durgunluk noktasına doğru ise tüm blokaj ve görünüm oranları için azalarak minimum değerlere ulaşmıştır. Bu durum silindir boğazına

doğru hem blokaj etkisinin hem de görünüm oranının ısı transfer mekanizması üzerindeki etkisini ortaya çıkarmıştır.

- Silindir önünde hız görünüm oranının 1'den azalmasıyla beraber akış yönünde silindir merkezinden geçen hat üzerinde blokaj oranının artması ile birlikte artmıştır. Blokaj oranı görünüm oranının azalmasıyla birlikte hız üzerinde daha baskın bir etkiye sahip olmuştur. Görünüm oranının azalmasıyla birlikte hızdaki artış artmıştır.
- Silindir arkasında blokaj oranının artması ile birlikte hem akış hızı hem de girdapların geriye dönüş hızı artmıştır.
- Silindir önünde görünüm oranı sabit iken blokaj oranının artması veya aynı blokaj oranında görünüm oranının azalması ile birlikte ısı transferi hızı düşmüş ve daha yüksek sıcaklar oluşmuştur. Bununla birlikte silindir önünde silindire yaklaşıkça termal sınır tabakası da incelmiştir.
- Silindir arkasında aynı blokaj durumunda görünüm oranının azalması veya görünüm oranı sabit iken blokaj oranının artması ile ısı transferi oranı artmış ve daha düşük sıcaklık değerleri grlmştir.
- Blokaj oranının artması ile birlikte akış tabakasının silindir yüzeyine doğru daha çok bastırılması daha yüksek ısı transfer hızına sebep olmuştur. Aynı görünüm oranında blokaj oranının artması ile birlikte termal sınır tabaka ayrılma açısına doğru incelmiştir. Hidrodinamik sınır tabaka da termal sıcaklık tabakasına benzer gelişim gösterdiğinden hidrodinamik ve termal sınır tabakaların etkileşimde olduğu olduğu anlaşılmıştır.
- Blokaj oranı sabit iken, görünüm oranının azalması akış ayrılmasının konumunu silindir arkasına doğru taşımıştır. Bu da aynı geometri için, blokaj artışı ile birlikte ayrılma açısının azaldığını göstermiştir. Görünüm oranı sabit iken blokaj artışı da aynı etkiyi göstermiştir.

- Silindir yüzeyindeki gerilme değeri kaymama şartından dolayı silindir önünde sıfır olmuştur. Bu noktadan sonra sınır tabakası oluşup gelişmeye başladığı için gerilme değerinde artış meydana gelmiştir. Akışkan ile yüzey arasındaki etkileşim akışta gecikmeye sebep olduğundan akış giderek geciktikçe bazı noktada gerilme değerleri sıfır olmuştur. Kayma gerilmesinin yaklaşık sıfır olduğu değer akışın bu noktada ayrılmaya başladığını belirtir. Akış ayrılmasından sonra yüzey ile etkileşimi kesildiğinden dolayı gerilme değerlerinde yeniden bir artış söz konusu olmuştur. Görünüm oranı azaldıkça akışta gecikme daha fazla olduğundan gerilme değerinde daha görünüm oranı azaldıkça daha hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir.

Aşağıdaki öneriler, mevcut çalışmanın kapsamını iyileştirmenin ve genişletmenin olası yolları olarak sunulmaktadır.

- Sınırlayıcı duvarların sınır katmanları ve silindir yüzeyi birbiriyle etkileşime girer ve dolayısıyla akış parametrelerini etkiler. Farklı görünüm ve blokaj oranları için silindirin ve hapsedme duvarlarının sınır tabakası kalınlığını belirlemek için  $Re=40$ 'da çalışılmalıdır.
- Silindirin sabit kabul edilmediği durumda akış yapılarında önemli değişiklikler meydana gelebilir. Bu yönde bir çalışma akış yapıları hakkında bilgi birikimi için faydalı olacaktır.
- Görünüm oranı 1'den küçük geometriler için girdap oluşma başlangıcına ilişkin farklı Reynolds sayılarında çalışmalar yapılmalıdır.
- Optimum giriş mesafesinin belirlenmesi için hesaplama alanı girişinden silindire kadar olan mesafe değiştirilerek sayısal bir çalışma yapılmalıdır. Bu giriş mesafesinin akış karakteristikleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasına fayda sağlayacaktır.

- Eliptik silindirlerin hidrodinamik ve termal performansı hakkında daha detaylı bilgi sahibi olabilmek için görünüm oranları altında daha düşük ve yüksek Reynolds sayılarında çalışma yapılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Barber, R. W. 2003.** Numerical Simulation of Low Reynolds Number Slip Flow Past a Confined Microsphere. 23rd International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, 20-25 (2002), Canada. <https://doi.org/10.1063/1.1581625>
- Blevins, R. D., 1984.** Applied Fluid Dynamics Handbook, VonNostrand Reinhold Company, Inc., USA, 570 pp.
- Chakraborty, J., Verma, N., Chhabra, R. P. 2004.** Wall effects in flow past a circular cylinder in a plane channel: A numerical study. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(12):, 1529–1537. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.02.004>
- Coutanceau, M., Bouard, R. 1977.** Experimental determination of the main features of the viscous flow in the wake of a circular cylinder in uniform translation. Part 1. Steady flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 79(2):, 231–256. <https://doi.org/10.1017/S0022112077000135>
- Del, E., Vieira, R., Solteira, I. 2013.** Flow Around Elliptical Cylinders in Moderate Reynolds. 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), 3-7 November 2013, Brazil, Ribeirão Preto.
- Dennis, S. C. R., Chang, G., 1970.** Numerical Solutions for Steady Flow Past a Circular Cylinder at Reynolds Numbers up to 100. *J. of Fluid Mechanics*, 42: 471- 489.
- Faruquee, M. Z. H. 2005.** A Numerical Study on the Effects of Axis and Blockage Ratios on the Fluid Flow Over a Cylinder. *Msc. Thesis*, The Faculty of Graduate Studies and Research through the Department of Mechanical, Automotive and Materials Engineering, University of Windsor, Canada.
- Faruquee, Z., Ting, D. S. K., Fartaj, A., Barron, R. M., Carriveau, R. 2007.** The effects of axis ratio on laminar fluid flow around an elliptical cylinder. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(5):, 1178–1189. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2006.11.004>
- Grove, A. S., Shair, F. H., Petersen, E. E., Acrivos, A., 1964.** An Experimental Investigation of Steady Separated Flow Past a Circular Cylinder, *J. of Fluid Mechanics*, 19: 60 -80.
- Griffith, M. D., Thompson, M. C., Leweke, T., Hourigan, K., and Anderson, W. P., 2007.** “Wake Behaviour and Instability of Flow Through a Partially Blocked Channel,” *J. Fluid Mech.*, 582, pp. 319–340.
- Homann, F., 1936.** The Effect of High Viscosity on the Flow Around a Cylinder and Around a Sphere. *NACA*, 16(3): 1334-1952.
- Johnson, S. A., Thompson, M. C., Hourigan, K. 2004.** Predicted low frequency structures in the wake of elliptical cylinders. *European Journal of Mechanics, B/Fluids*, 23(1):, 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2003.05.006>
- Johnson, S., Thompson, M. C., Hourigan, K. 2001.** Flow past elliptical cylinders at low Reynolds numbers. 14th Australasian Fluid Dynamics Conference, (December):, 343–346. <http://people.eng.unimelb.edu.au/imarusic/proceedings/14/FM010108.PDF%0Ahttp://www.flair.monash.edu/publications/pdfs/afmc01b.pdf>
- Khan, W. A., Culham, J. R., Yovanovich, M. M. 2005.** Fluid flow around and heat transfer from elliptical cylinders: Analytical approach. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 19(2):, 178–185. <https://doi.org/10.2514/1.10456>
- Kumar, B., Mittal, S. 2006.** Effect of blockage on critical parameters for flow past a circular cylinder. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 50(8):, 987–1001. <https://doi.org/10.1002/flid.1098>

- Lienhard, J. H., 1966.** Synopsis of Lift, Drag and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders, Washington State University, College of Engineering, Research Division, Bulletin 300 pp.
- Mittal, R., Balachandar, S. 1996.** Direct numerical simulation of flow past elliptic cylinders. *Journal of Computational Physics*, 124(2):, 351–367. <https://doi.org/10.1006/jcph.1996.0065>
- Ness, N., 1975.** Laminar Separated Flow over Nonlifting Ellipses. *AIAA Journal*, 13(5): 688 - 690.
- Ozalp, A. A., Umur, H. 2003.** An experimental investigation of the combined effects of surface curvature and streamwise pressure gradients both in laminar and turbulent flows. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 39(10):, 869–876. <https://doi.org/10.1007/s00231-003-0413-4>
- Ozalp, A. Alper 2008.** Roughness induced forced convective laminar-transitional micropipe flow: Energy and exergy analysis. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 45(1):, 31–46. <https://doi.org/10.1007/s00231-008-0407-3>
- Ozalp, A. A., 2009.** Entropy Analysis of Laminar Forced Convection in a Pipe With Wall Roughness. *International Journal of Exergy*, 6(6): 249-275.
- Ozalp, A., Dincer, I. 2010.** Laminar boundary layer development around a circular cylinder: Fluid flow and heat-mass transfer characteristics. *Journal of Heat Transfer*, 132(12):, 1–17. <https://doi.org/10.1115/1.4002288>
- Radi, A., Thompson, M. C., Sheridan, J., Hourigan, K. 2013.** From the circular cylinder to the flat plate wake: The variation of Strouhal number with Reynolds number for elliptical cylinders. *Physics of Fluids*, 25(10):. <https://doi.org/10.1063/1.4827521>
- Rehimi, F., Aloui, F., Nasrallah, S. Ben, Doublicz, L., Legrand, J. 2008.** Experimental investigation of a confined flow downstream of a circular cylinder centred between two parallel walls. *Journal of Fluids and Structures*, 24(6):, 855–882. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2007.12.011>
- Sahin, M., Owens, R. G. 2004.** A numerical investigation of wall effects up to high blockage ratios on two-dimensional flow past a confined circular cylinder. *Physics of Fluids*, 16(5):, 1305–1320. <https://doi.org/10.1063/1.1668285>
- Sen, S., Mittal, S., Biswas, G. 2009.** Steady Separated Flow Past A Circular Cylinder At Low Reynolds Numbers. *Journal Of Fluid Mechanics*, 620: 89-119.
- Shair, F. H., Grove, A. S., Petersen, E. E., Acrivos, A., 1963.** The Effects of Confining Walls on the Stability of the Steady Wake Behind a Circular Cylinder, *J. of Fluid Mechanics*, 17: 546-550.
- Sooraj, P., Agrawal, A., Sharma, A. 2018.** Measurement of Drag Coefficient for an Elliptical Cylinder. *Journal of Energy and Environmental Sustainability*, 5:, 1–7.
- Taamneh, Y. 2011.** CFD simulations of drag and separation flow around ellipsoids. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(2):, 129–132.
- Taneda, S. 1976.** Visual study of unsteady separated flows around bodies. *Progress in Aerospace Sciences*, 17(C):, 287–348. [https://doi.org/10.1016/0376-0421\(76\)90011-7](https://doi.org/10.1016/0376-0421(76)90011-7)
- Tietjens, O. G., 1930.** Pictures of Flow for Small and Medium Reynolds Numbers, Proc. Int. Congress for Applied Mechanics, Stockholm.
- Umur, H., Ozalp, A. A. 2006.** Fluid flow and heat transfer in transitional boundary layers: Effects of surface curvature and free stream velocity. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 43(1):, 7–15. <https://doi.org/10.1007/s00231-005-0080-8>

**Williamson, C. H. K., 1988.** Determining a Universal and Continuous Strouhal-Reynolds Number Relationship for the Laminar Vortex Shedding of a Circular Cylinder. *Physics of Fluids*, 31(10):2742-2744.

**Zdravkovich, M. M., 1997.** Flow Around Circular Cylinders Vol 1: Fundamentals. Oxford University Press Inc., USA, 694 pp.

