



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SONLU-SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ AKIŞ YAPISININ İNCELENMESİ

ALİ GALİP MUMCU

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY
EKİM-2015**



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SONLU-SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ AKIŞ YAPISININ İNCELENMESİ

ALİ GALİP MUMCU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

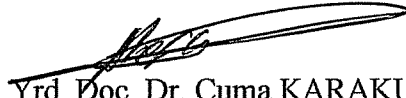
HATAY
EKİM-2015

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

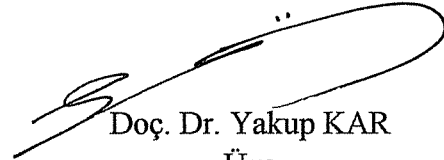
SONLU-SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ AKIŞ YAPISININ İNCELENMESİ

ALİ GALİP MUMCU
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ danışmanlığında hazırlanan bu tez **20/10/2015** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ
Başkan


Prof. Dr. Ertugrul BALTACIOĞLU
Üye


Doç. Dr. Yakup KAR
Üye

Kod No: 872

Prof. Dr. Okan ŞENER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

20/10/2015

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.


Ali Galip MUMCU

ÖZET

SONLU-SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ AKIŞ YAPISININ İNCELENMESİ

Dairesel silindir üzerindeki daimi akışlar basit geometrik yapısından ve günlük hayatta iki boyutlu herhangi bir küt cisim üzerindeki akış problemlerini yüksek oranda temsil etmesinden dolayı, özellikle son yıllarda artarak devam eden ve ilgisini kaybetmeyen bir araştırma konusu olmaktadır. Bu tip akışlar ısı değiştiricileri, soğutma sistemleri, açık deniz platformları, binalar, bacalar gibi birçok mühendislik uygulamasında karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda yaygın olarak kullanılan hız ölçüm yöntemlerinden biri olan parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) kullanılmıştır. $GO=0.75$, 0.5 ve 0.25 olan üç tip sonlu-silindir için silindir çapına ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000, 7000$ değerleri için sonlu-silindir ön, üst ve arkasının yan görünüş resimleri ile $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000, 8000$ değerleri için sonlu-silindir arkasında $z/h=0.0, 0.5, 1.0$ mesafelerinde alınan PIV görüntüleri verilmiştir. Sonuç olarak, anlık hız alanları kullanılarak zaman ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler sayesinde akışın etkisi ile sonlu-silindir üzerinde oluşan kritik akış noktaları (durma noktaları), girdap yapıları, serbest uç etkisi ve zemin düzlem etkisi tespit edilmiştir. Sonsuz-silindir üzerindeki iki boyutlu akış yapısından farklı olarak, sonlu-silindir serbest ucunda etkisiyle oluşan üç boyutlu akış yapısı incelenmiş ve bu akışın birçok girdap sisteminin birleşmesinden oluşan kompleks bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır.

2015, 63 Sayfa

Anahtar kelimeler: Sonlu-silindir, akış ayrılması, PIV, akım çizgileri, at nalı girdap yapısı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLOW STRUCTURES AROUND FINITE-HEIGHT CIRCULAR CYLINDER

Coherent flows on the circular cylinder have become an interesting research subject which continue gradually in last years. Those constant flows are simple designed and can act as substitutes and give acceptable values for any random two dimensional bluff bodies. Such flows are encountered in many engineering applications, such as heat exchangers, cooling systems, offshore platforms, buildings and chimneys.

In this study, Particle Image Velocimetry technique (PIV), which is one of commonly used method in recent years for the velocity measurements, has been used. For three types of finite circular cylinder for which the AR (aspect ratio) values are 0.75, 0.5, 0.25 and Reynolds Numbers $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000, 7000$, which correlates to the diameters of the cylinders and the velocity of the potential flow; frontal, upwards and sideways views has been presented. Besides for Reynolds Number $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000, 8000$, the rear end PIV views also has been provided, at the distance points on $z/h=0.0, 0.5, 1.0$. As the result of this study, by using instantaneous velocity fields time-averaged velocity fields, streamlines and vorticity counter has been obtained. According to these data, it was determined that critical flow points, vortex structures, free-end effect and ground plane effect. Unlike the infinite cylinder on the two-dimensional flow structure, finite cylinder has a three dimensional (3D) complex structure.

2015, 63 Pages

Key Words: Finite-cylinder, flow separation, PIV, streamlines, horseshoe vortex structure

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen ve yapıcı önerileri ile tezimin tüm aşamalarında bana yol gösteren ve maddi ve manevi desteğini her zaman gördüğüm değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ'a en içten samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Okulumuzun değerli hocalarından Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU' na, Doç. Dr. Ahmet YAPICI'ya, Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA' ya, Yrd. Doç. Dr. Semir GÖKPINAR' a, Yrd. Doç. Dr. N. Adil ÖZTÜRK'e ve bölümümüz sekreteri Mehmet ATEŞ' e her zaman yanımda oldukları ve her konuda desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca kahrımı çeken ve şikayet etmeyerek yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet DEMİR, Arş. Gör. Gökhan ÇEVİK ve Arş. Gör. Musab ERDEM, Arş. Gör. H. Hüseyin BİLGİÇ ile tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında her zaman yardımcı olan hocalarım, Öğr. Gör. Salih ÇELİK, Öğr. Gör. İlker MERT, Arş. Gör. H. Turan ARAT ve Arş. Gör. Kaan BALTACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca yanımda olan, hayatımın her kademesinde destekleri ve yol göstermeleri sayesinde bu günlere geldiğim anne ve babama, ayrıca değerli kardeşlerime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	11
3.2. Yöntem (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği)	13
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	18
4.1. Araştırma Bulguları.....	18
4.2. $GO=0.75$ olan Sonlu Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri	18
4.3. $GO=0.5$ olan Sonlu Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri	31
4.4. $GO=0.25$ olan Sonlu Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri	37
4.5. Sonlu-Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Üst Görünüşleri	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Ayrılma noktası yakınında hız profili	1
Şekil 1.2.	Karman girdap caddesinin gösterimi.....	2
Şekil 1.3.	Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ve oluşan girdap yapıları	3
Şekil 1.4.	At nalı girdap yapısı	4
Şekil 1.5.	Akış alanı içerisinde oluşan kritik noktalar.....	4
Şekil 2.1.	İki farklı GO'na sahip sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının gösterimi.....	6
Şekil 2.2.	Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ve oluşan girdap yapıları.	9
Şekil 2.3.	Silindir üzerindeki akış yapısının PIV tekniği ile alınan görüntüler ile gösterimi.....	10
Şekil 3.1.	Deneyin yapıldığı su kanalının şematik gösterimi	11
Şekil 3.2.	Deney düzeneğinin kanal içerisindeki görünümü	12
Şekil 3.3.	PIV sisteminin şematik görünümü	14
Şekil 3.4.	PIV sisteminde eş zamanlı çalışan kamera ve lazer sistemi ile görüntü alanı	15
Şekil 3.5.	PIV sistemi çalışma prensibi	16
Şekil 4.1.	Silindir yukarı akım tarafında oluşan ANG yapılarının gösterilmesi	19
Şekil 4.2.	GO=0.75 olan sonlu-silindir önünde alınan anlık PIV görüntüleri.....	20
Şekil 4.3.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.75 olan sonlu-silindir önünde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri.....	22
Şekil 4.4.	Sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan akış yapısı	23
Şekil 4.5.	Yapılan deney sonuçlarına göre sonlu-silindir serbest ucunda oluşan akış ayrılmasının sonlu-silindir serbest ucu yüzeyine yeniden tutunma noktasının Re_d sayısına göre değişimi.....	25
Şekil 4.6.	GO=0.75 olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde alınan anlık PIV görüntüsü.....	25
Şekil 4.7.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.75 olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	26
Şekil 4.8.	GO=0.75 olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) alınan anlık PIV görüntüleri.....	29
Şekil 4.9.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.75 olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	30
Şekil 4.10.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.5 olan sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	32
Şekil 4.11.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.5 olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	34
Şekil 4.12.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.5 olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	36
Şekil 4.13.	$Re_d=1000-7000$ aralığında GO=0.25 olan sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	38

Şekil 4.14. $Re_d=1000-7000$ aralığında $GO=0.25$ olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	40
Şekil 4.15. $Re_d=1000-7000$ aralığında $GO=0.255$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	42
Şekil 4.16. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=1.0$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	44
Şekil 4.17. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	47
Şekil 4.18. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	50
Şekil 4.19. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	53
Şekil 4.20. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	55
Şekil 4.21. $Re_d=1000-8000$ aralığında $GO=0.25$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

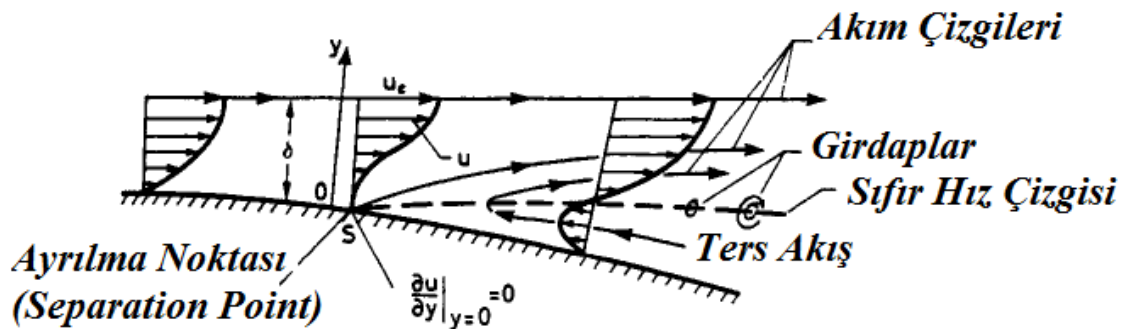
- $\langle V \rangle$: Zaman-ortalama hız alanları
 $\langle \Psi \rangle$: Akım çizgileri
 $\langle \omega \rangle$: Girdap eş düzey eğrileri

KISALTMALAR

- ANG : At nalı girdap
GO : Görünüş oranı
 Re_d : Silindir çapına ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı
LDV : Lazer Doppler Hız Ölçer
LES : Large Eddy Simulation
HWA : Kızgın Tel Anemometresi
PIV : Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği

1. GİRİŞ

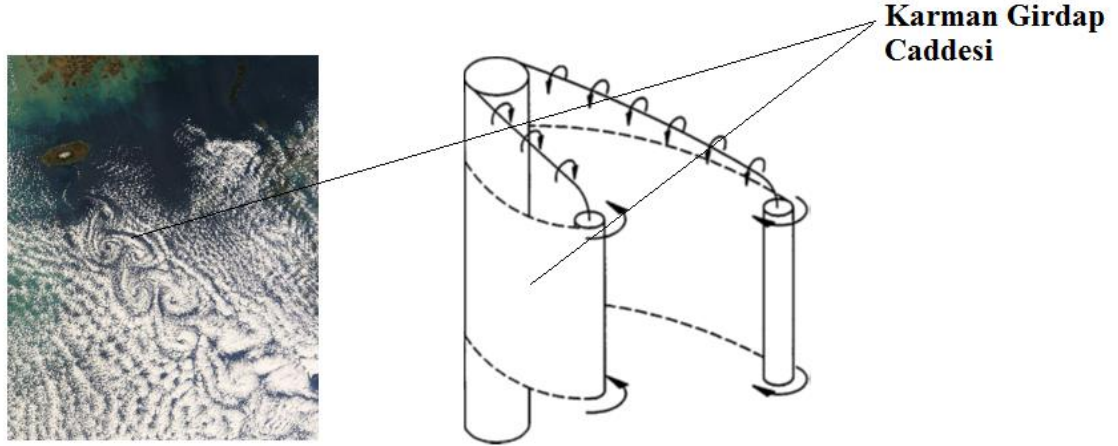
Katı cisimler etrafındaki akış yapısı, basınç ve viskoz kuvvetlerin etkisiyle oluşan sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerini meydana getirmesinden dolayı günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve akışkanlar mekaniğinin klasik bir çalışma alanı haline gelmiştir (Williamson, 1996; Sumer ve Fredsøe, 1997; Zdravkovich, 1997). Bu kuvvetlerin oluşmasında cismin şekli ve boyutu ile Reynolds sayısı önemli rol oynamaktadır. Oluşan bu akış yapısının bilinmesi mühendislik uygulamalarında oldukça önemlidir. Katı cisimler üzerindeki akışta basıncın değişiklik göstermesi sınır tabaka üzerinde bazı etkiler oluşturur. Şekil 1.1'deki gibi eğer artan bir basınç gradyanı var ise cidara yakın kısımlarda kinetik enerjinin azalması ile sınır tabaka kalınlığı artar ve geriye doğru ters akış (ters basınç gradyanı) meydana gelir. Bu ters akışın meydana geldiği noktaya ayrılma noktası denir. Akışta oluşan ayrılma sonucunda ayrılma bölgesi oluşur. Ayrılma bölgesinin büyüklüğü ile basınç kaybı doğru orantılıdır. Oluşan ayrılma bölgesinde akış düzensizdir ve cismin geometrisine bağlı olarak cisim arkasında ölü akış bölgesi oluşmasına sebep olmaktadır (Umur, 2009; Yüksel, 2013)



Şekil 1. 1. Ayrılma noktası yakınında hız profili (Chang, 1970)

Sonsuz dairesel silindir üzerinde oluşan iki boyutlu akış yapısı; periyodik, birbirini takip eden yapılar, silindir yan yüzeylerinden karşılıklı dökülen girdaplar ve silindir arkasında oluşan ‘ Karman Girdap Caddesi’ olarak bilinen düzenli girdap yapıları ile ifade edilmektedir (Şekil 1.2). Sonsuz dairesel silindir benzeri yapılar nükleer santrallerin soğutma sistemleri, açık deniz yapılar, güç iletim hatları, denizaltında bulunan kablolar ve boru hatları gibi birçok mühendislik uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır.

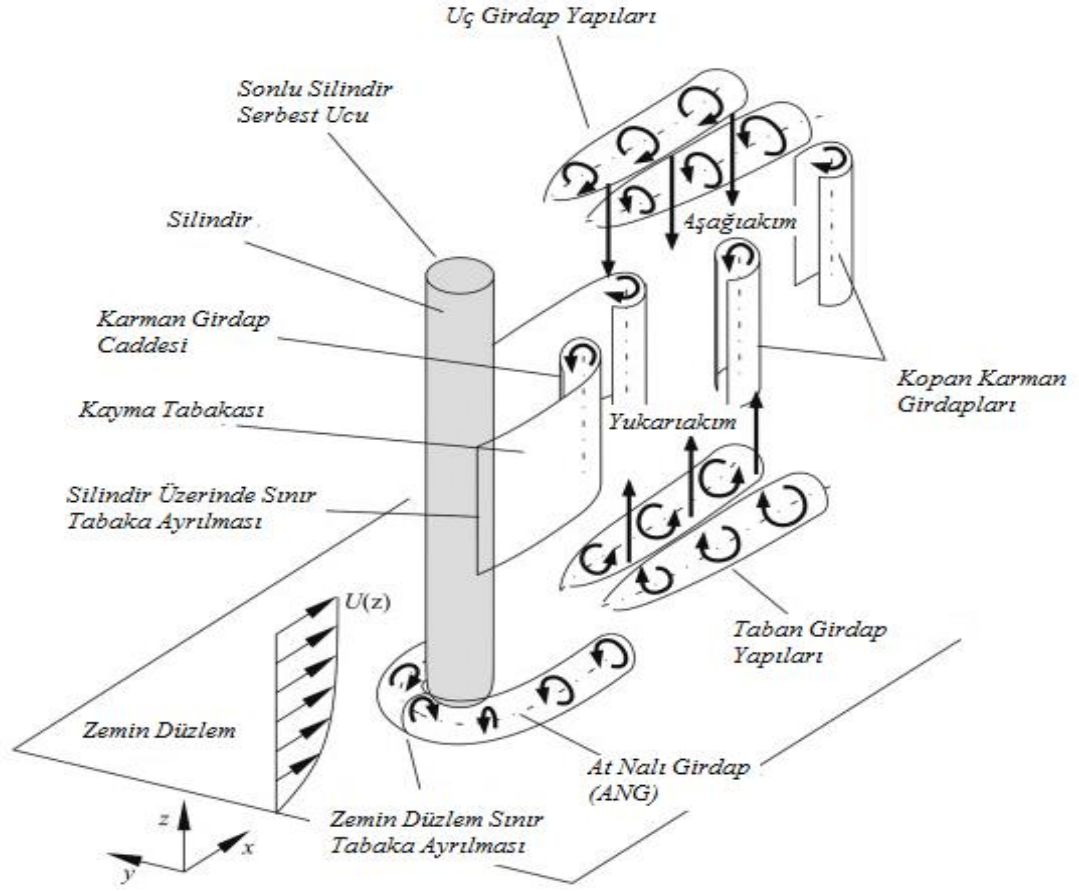
Bu uygulamaların çoğunda periyodik Karman girdapları neticesinde akış kaynaklı titreşim ve gürültü problemleri ortaya çıkmaktadır (Sumner, 2004).



Şekil 1.2. Karman girdap caddesinin gösterimi (Anonymous, 2011; Johnston and Wilson, 1996)

Sonsuz dairesel silindirden farklı olarak bacalar, binalar ve açık deniz platformları gibi bazı uygulamalarda silindir tabanında ve silindir serbest ucu etrafında güçlü üç boyutlu akış alanları oluşmaktadır. Bu gibi sonsuz-silindir yaklaşımının yetersiz kaldığı karmaşık akış yapılarına sahip uygulamalar çapı D ve yüksekliği h olan sonlu dairesel silindir benzeşimi yapıları olarak çalışılmaktadır. Sonlu dairesel silindir üzerindeki akış Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi silindir serbest ucunda oluşan girdap, orta bölgelerinde cidarda akış ayrılması sonucu karşılıklı oluşan güçlü Karman girdap caddesi ve silindir ile zemin birleşme bölgesinde oluşan at nalı girdap yapılarından (ANG) meydana gelmektedir. Bu girdap yapıları birbiri ile etkileşimli olup üç boyutlu bir akış alanı oluşturmaktadır (Sumner, 2004).

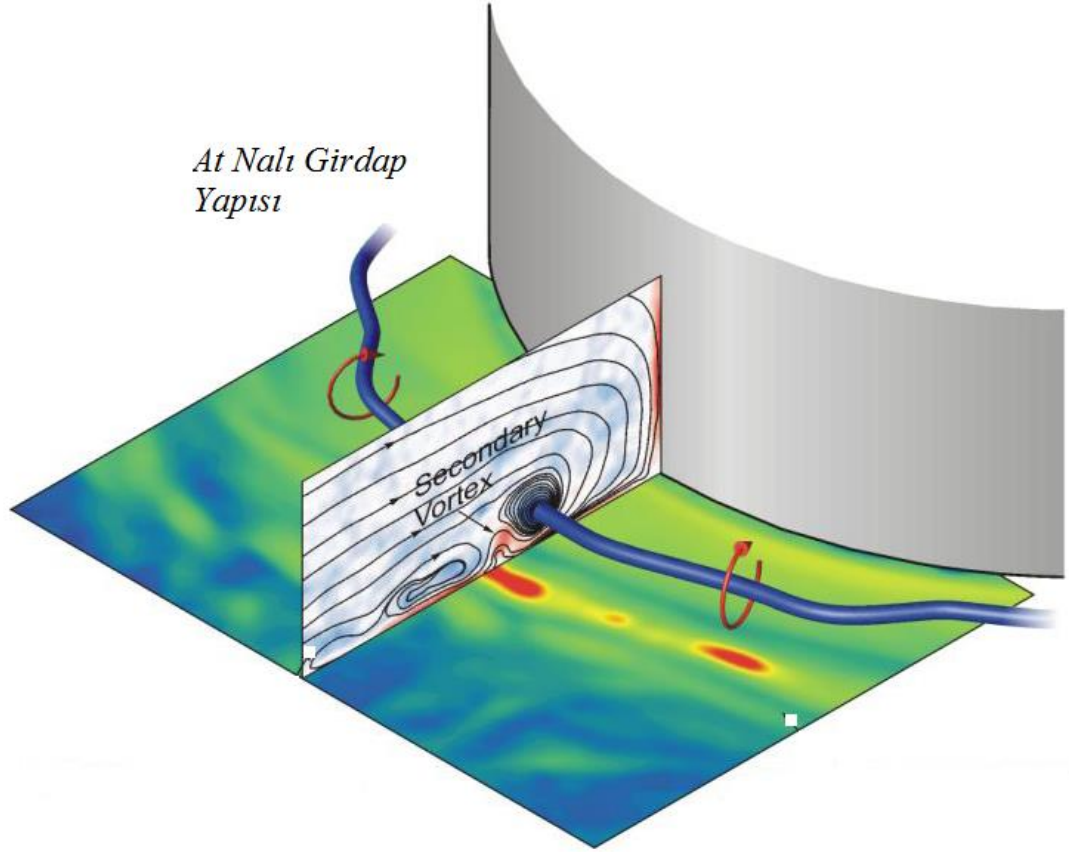
Düzlem bir yüzey üzerine monte edilen silindirik bir yapı üzerinde oluşan akış durumunda; Reynolds sayısına bağlı olarak silindir uzak bölgesinde, düzlem tabandan sınır tabaka kalınlığından daha yüksek bir bölgede potansiyel akış bölgesi oluşurken düzlem taban yüzeyi boyunca meydana gelen sınır tabakanın etkisiyle akışın silindirik yapının tabanı ile karşılaşması neticesinde silindir ön yüzeyinde akış yapısının etrafında oluşturduğu şekil ile benzerliğine göre isimlendirilen durma noktası oluşmaktadır.



Şekil 1.3. Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ve oluşan girdap yapıları (Sumner, 2013)

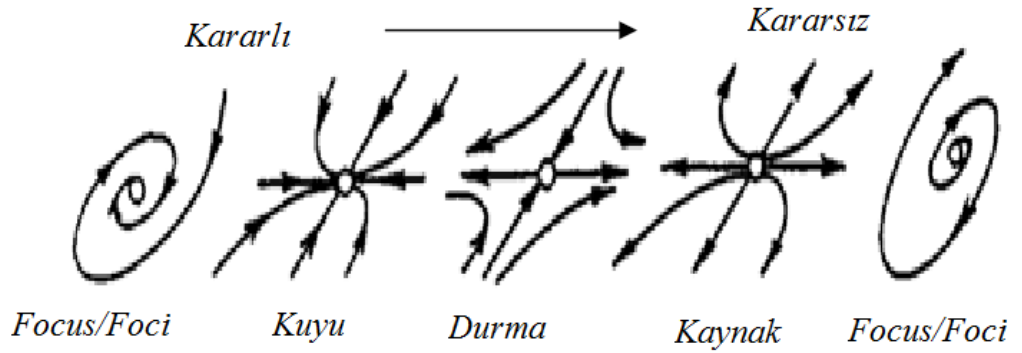
Gelen akış yapısının durma noktasından sonra silindir çevresi boyunca, azalan basınç gradyanından dolayı akış hızlarında artma meydana gelmektedir. Silindir cidarı ile düzlem taban birleşme bölgelerinde ise sınır tabaka etkisiyle ters akış yapıları meydana gelmektedir.

Oluşan basınç gradyanı sonucunda meydana gelen ters akış, şeklinden dolayı at nalı girdap olarak anılan boyun girdapları oluşturmaktadır (Şekil 1.4.). Türbin kanadı ile rotoru, köprü ayakları ile akarsu yatakları, binalar ile zemini, uçak kanadı ile gövdesi birleşme bölgeleri gibi birçok uygulamada karşımıza çıkan at nalı girdap yapısı mühendislik çalışmalarında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bir köprünün yıkılmasına sebebiyet verebilecek kadar tehlikeli olabilen at nalı girdap yapılarını, aynı zamanda ısı değiştiriciler gibi bazı uygulamalarda ısı transferini arttırarak olumlu yönde etkilerde oluşturabilmektedir (Akkoca ve ark., 2004).



Şekil 1.4. At nalı girdap yapısı (Praisner ve ark., 2001)

Bu nedenlerden dolayı özellikle düşük GO değerine sahip sonlu dairesel silindir üzerindeki akış yapısının ve fiziğinin deneysel olarak incelenmesi ve bilinmesi hem mühendislik uygulamalarında hem de bu tür araştırmaların sayısal incelemesine katkıda bulunmasından dolayı büyük öneme sahiptir.



Şekil 1.5. Akış alanı içerisinde oluşan kritik noktalar (Tsai ve ark., 1999)

Mevcut çalışmada sonlu dairesel silindir üzerindeki akış yapısı incelenmiştir. Küt cisimler üzerindeki akış yapısının incelenmesinde akış yapısı içerisinde oluşan durma noktaları oldukça önemlidir. Bu noktalar akışın nereye yönlendiği, oluşan kayma

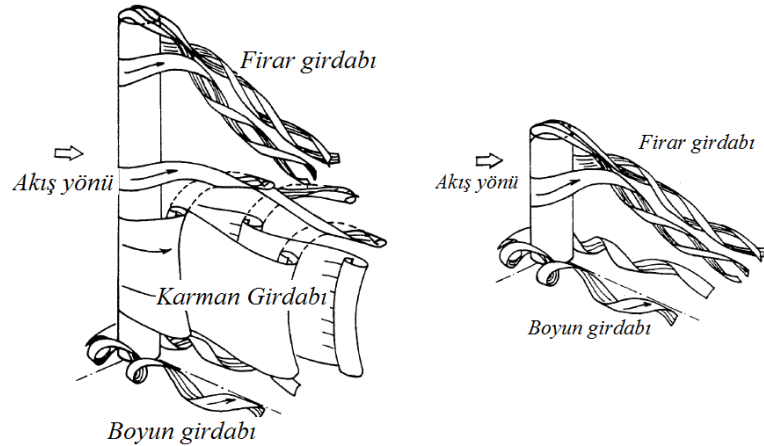
tabakaları hakkında bilgi vermektedir. Akış fiziğiyle ilgili olan dinamik karakterli durma noktaları, akışın hareket yönüne göre kararlı veya kararsız olmaktadır. Kritik akış noktaları akışın bu noktalar etrafında oluşturduğu şekil ile isimlendirilirler (Şekil 1.5).

Bu çalışmanın amacı, mühendislik uygulamalarında yoğun çalışma alanına sahip olan sonlu dairesel silindir üzerinde oluşan akış yapısını araştırmak ve oluşan girdap yapılarını, kritik noktaları tayin etmektir. Bu amaçla PIV (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği) tekniği kullanılarak deneysel bir çalışma yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geçmişten günümüze küt cisimler üzerindeki akış yapısı akışkanlar mekaniği uygulamalarındaki öneminden dolayı araştırmacılar tarafından ilgi odağı olmuştur. Özellikle bu çalışmada da incelenen sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı, mühendislik uygulamalarındaki önemi ve birçok küt cisim ile benzerlik kurularak çalışıldığı için literatürde sayısal ve deneysel çalışmaların çokluğu ile dikkat çekmektedir. Teknolojinin gelişmesi, akış uygulamaları ile ilgili çalışmaların hızlanmasına vesile olmuş ve gelişmiş akış görselleştirme yöntemleri ile küt cisimler üzerindeki akış yapısının daha ayrıntılı incelenmesine imkan sağlamıştır. Böylelikle bu alandaki çalışmalar hız kazanarak artarak devam etmektedir.

Kawamura ve ark. (1984), bazı akış görselleştirme deneyleri ve basınç ölçümleri ile sonlu-silindir üzerindeki üç boyutlu akış etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda sonlu-silindir üzerindeki akışta iki boyutlu bir silindire göre silindir yan bölgesindeki ayrılma hızının daha düşük ve bu sebepten dolayı sürtünme katsayısının daha büyük olduğunu, sonlu-silindir serbest ucunun hemen altında bir çift firar girdabının meydana geldiğini açıklamışlardır. Ayrıca, sonlu-silindir arka bölgesinde meydana gelen aşağı akım akışı ve firar girdaplarının oluşan Karman girdabının davranışını etkilediğini ve Karman girdabını bastırdığını belirtmişlerdir.



Şekil 2.1. İki farklı GO'na sahip sonlu-silindir üzerindeki akış yapısını gösterimi (Kawamura ve ark., 1984)

Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ile ilgili GO'nın etkisini Tanaka ve Murata (1999) geniş bir aralıkta deneysel olarak çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında 3.7 x

10^4 Reynolds sayısında, GO değerinin 1.25 ile 10 aralığında sonlu dairesel silindir arkasında zaman-ortalama akış alanlarını belirlemiş ve sonlu dairesel silindir aşağı akım tarafında oluşan akış yapılarının GO parametresine göre değişimini incelemişlerdir. Farklı çaplarda sonlu silindir arkasında üç boyutlu hız dağılımlarını ölçmüşler ve silindir arkasındaki oluşan akış yapılarını detaylı olarak karşılaştırmışlardır. Bunlara ek olarak sonlu silindir serbest ucu etkisini yarım küresel, dairesel boru ve normal silindir serbest ucu olan silindirler için incelemişlerdir.

Sonlu-dairesel silindir arkasında yakın bölgede silindir serbest ucu etkisini Park ve Lee (2000) $GO=6, 10, 13$ olan ve çapa bağlı Reynolds sayısının $Re_D=20000$ olduğu subsonik bir rüzgar tüneline HWA ile incelenmiş olup sonlu-silindir serbest ucu etrafındaki akışın üç boyutlu karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve GO'nın azalmasıyla birlikte girdap akışının azaldığı aynı zamanda girdap oluşum bölgesinin büyüdüğünü açıklamışlardır.

Roh ve Park (2003) yapmış oldukları deneysel çalışma $GO=1.25$ ve 4.25 olan sonlu dairesel silindir serbest ucu üzerindeki bölgede üç boyutlu ayrılmış akış görüntülerini elde etmişlerdir. Yağ akış görselleştirme sonuçlarına göre serbest uç yüzeyi üzerinde iki adet foci noktası, serbest ucun ön kısmında bir ayrılma durma noktası, iki birleşme noktası ve serbest ucun arka kısmında bir ayrılma durma noktası oluştuğunu belirtmişlerdir.

Sumner ve ark. (2004), yapmış oldukları çalışmalarda $Re_D=6 \times 10^4$ değerinde düşük GO'na sahip sonlu dairesel silindir arkasında oluşan akışı yedi delikli bir prop ve ısı anemometre kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, zaman ortalama hız alanları ve akış hız alanları ile uç girdap yapılarının gelişimini, silindir arkası yakın bölgede girdap oluşum bölgesini, aşağı akım olgusunu ve taban girdap yapılarını göstermişlerdir. Silindir ölü akış bölgesinde oluşan yapılar ve güç spektrumları, $GO=5$ ile 9 olan silindirlerde benzer iken $GO=3$ olan silindirde açıkça farklı olduğunu vurgulamışlardır.

Aralarında belli oranda boşluk olan yan yana iki veya üç silindir arkasındaki sıg suda akış yapısı Akıllı ve ark. (2004) tarafından PIV tekniği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Silindirler arasındaki farklı boşluklar için ayrı deneyler yapılmış ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı 5000 alınmıştır. PIV ölçümlerinin yanında akış görselleştirme ile de akış yapısını incelemişlerdir.

GO=2.5 olan sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı $Re=43000$ değerinde Fröhlich ve Rodi (2004) tarafından sayısal olarak LES (Large Eddy Simulation) kullanılarak çalışılmıştır. Çalışmalarında iki boyutlu Karman girdaplarını gözlemlemiş ve bu girdapların akış ayrılmasından sonra bükülerek sonlu-silindir arkasında akış boyunca devam ettiğini açıklamışlardır.

Pattenden ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, GO=1 olan sonlu dairesel silindiri yüzey akış görselleştirme, PIV ve yüzey basınç ölçümleri ile deneysel olarak çalışmışlardır. Çapa bağlı Reynolds sayısının $Re_D=200000$ olduğu deneylerde akışı at nalı girdap sistemi, serbest uç üzerinde ayrılmış akış ve silindir arka bölgesi akışı olarak üç ana bölgede tanımlamış, ayrılma noktalarını ve oluşan girdapların konumlarını tespit etmişlerdir.

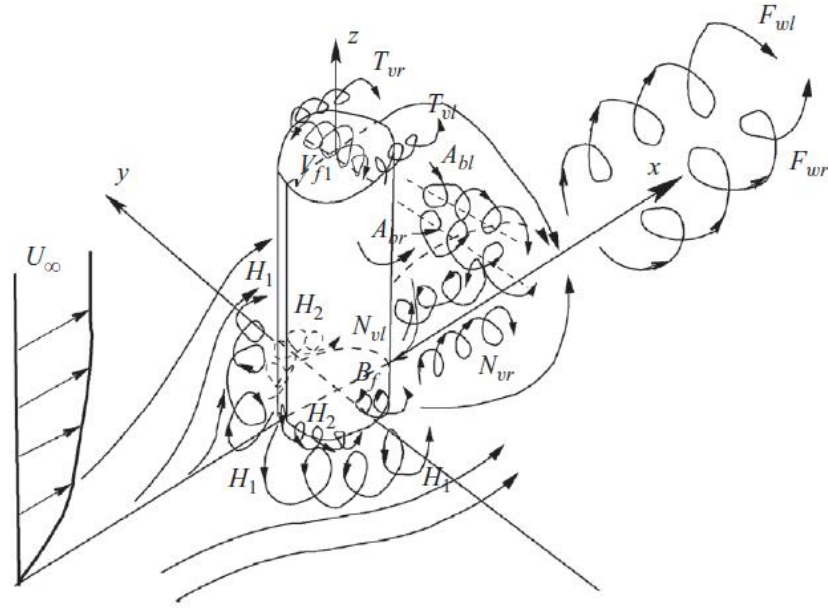
Şahin ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmalarında düz bir plakaya monteli dik dairesel silindir üzerindeki akışı $Re=4000$ değerinde incelemişlerdir. Çalışmalarında özel bir akış alanında kararsız akışın anlık görüntülerini elde etmek için yüksek çözünürlüklü PIV tekniğini kullanmışlardır. Özellikle silindir tabanında meydana gelen akış yapıları üzerine yoğunlaşmışlardır. Kavşak bölgeleri yakınından alınan PIV verileri sayesinde ANG yapısının davranışı ile ilgili önemli bilgileri ortaya çıkarmışlardır. Silindir önünde ANG yapısının gelişmesinde önemli olan üç farklı durma noktası oluştuğunu açıklamışlardır.

Düşük GO'na sahip sonlu-silindirler üzerindeki akış yapısıyla ilgili yapılan çalışmalardan biri de Hain ve ark. (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada $Re=100000$ değeri için sonlu-silindir üst yüzeyindeki akış dinamiğini ve üç boyutlu akış topolojisini incelemek amacıyla tomografik PIV kullanılmıştır. Laminer ayrılma baloncuğu ve türbülanslı bölgede yeniden yapışmaya dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında sonlu-silindir üzerinde oluşan ters akış bölgeleri ve simetrik uç girdaplarını açıkça gözlemlemiş ve ayrılmış kayma tabakasında girdap oluşumu olduğunu belirtmişlerdir.

Palau-Salvador ve ark. (2010), GO=2.5 ve 5 olan sonlu-silindirler için silindir çapı ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı 43000 ve 22000 değerleri için deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarını boya ile akış görselleştirme ve LDV marifetiyle gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmalarını ise LES (large eddy simulation) kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Rostamy ve ark. (2012), PIV tekniğini kullanarak düşük hızlı bir rüzgar tüneline yüzeye monteli sonlu dairesel silindir üzerindeki yerel akış alanı ve silindir arka yakın bölgesini sonlu dairesel silindir $GO=3, 5, 7, 9$ değerlerinde ve çapa bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=4,2 \times 10^4$ değerinde incelemişlerdir.

Çelik ve ark. (2011), sonlu-silindir üzerindeki akış yapısını PIV tekniği ile deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak sonsuz-silindir üzerindeki iki boyutlu akış yapısından farklı olarak sonlu-silindir üzerindeki akışın birçok girdap sisteminin birleşmesinden oluştuğu ve karmaşık bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ve oluşan girdap yapıları (Krajnovic, 2011)

Krajnovic (2011), $GO = 6$ olan silindir üzerindeki akışı LES kullanarak silindir arkasında yakın bölgenin iki ANG, silindir üst bölgesine uzanan bir büyük kemer girdabı ve arka durma noktasının aşağısında tabana doğru hareket eden bir girdabı ihtiva ettiğini belirtmiştir. Zemine yakın anlık ANG'ın düzensiz ve şeklinin zamanla değiştiğini gözlemlemiştir (Şekil2.2).

Javadi ve Kinai (2014), düşük görünüş oranına ($GO=2$) sahip olan bir sonlu-silindir üzerindeki akışı silindir çapına bağlı Reynolds sayısı 20000 değeri için LES kullanarak sayısal olarak çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda sonlu silindir serbest ucunda büyük bir ters akış bölgesi ve uç girdaplarını açık bir şekilde gözlemlemiştir. Anlık ANG yapısının kararsız ve zamanla şeklinin değiştiğini

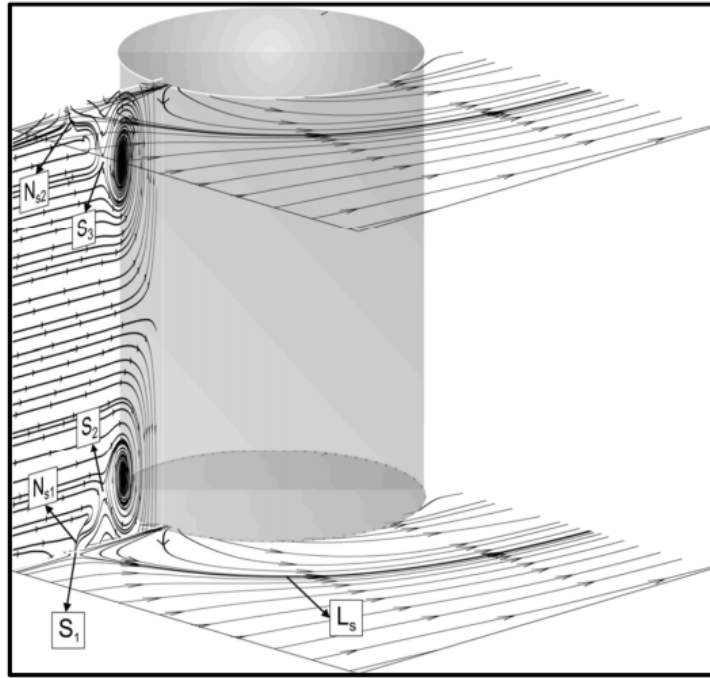
belirtmişlerdir. Ayrıca, sonlu silindir arka bölgesinde oluşan aşağı akım akışının sabit bir açı ile oluştuğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2015), $GO = 1.5$ olan sonlu-silindir ile sonsuz-silindir için $Re = 3900$ için LES kullanarak sayısal çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sonlu dairesel silindir ile sonsuz dairesel silindir üzerindeki akışı karşılaştırmışlardır. Sonlu dairesel silindir üzerindeki akışta üç boyutlu ayrılmaların ve kararsız ayrılmış kayma tabakalarını gözlemlemişlerdir.

Karakuş ve ark. (2010), sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı üzerinde GO 'nın etkisini ve oluşan akış yapısını PIV tekniği ile deneysel olarak incelemişlerdir.

Bu çalışmaların yanında Sumner (2013) geniş çaplı bir derleme çalışması yapmıştır. Bu çalışmada sonlu silindir üzerindeki akış yapısı ile ilgili bilgiler vermiş ve bugüne kadar gerçekleştirilen çalışmaları derlemiştir.

Önceki çalışmalara bakıldığında, literatürde düşük GO 'na sahip sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı ile ilgili çalışma sayısının yeterli sayıda olmayışı dikkat çekmektedir. Bu bağlamda mevcut çalışmada düşük GO 'na sahip üç tip sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı incelenmiş ve literatürdeki diğer GO 'na sahip sonlu-silindirlerde oluşan girdap yapıları ve kritik akış noktalarının değişimleri incelenmiştir.

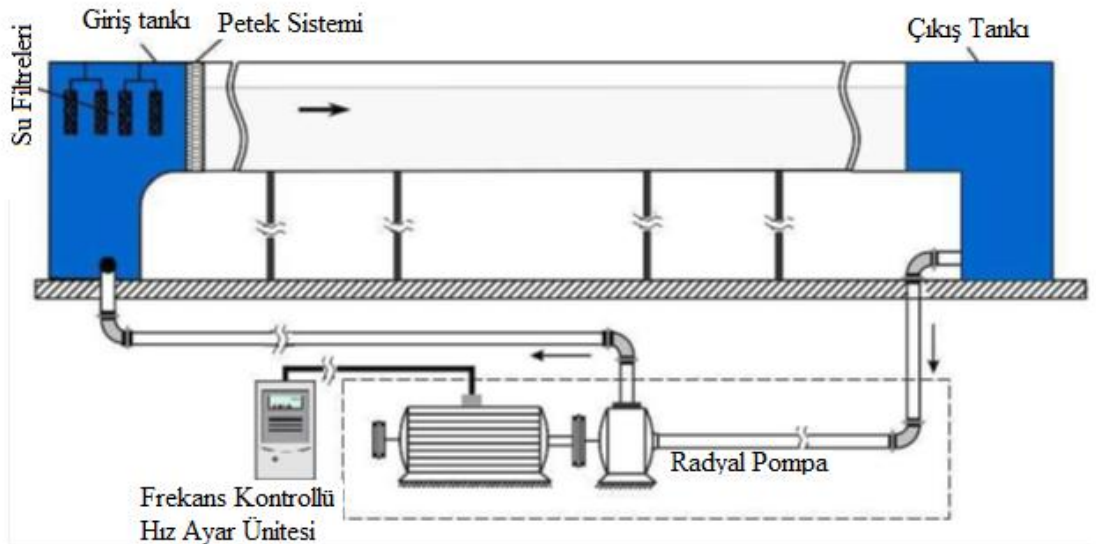


Şekil 2.3. Silindir üzerindeki akış yapısının PIV tekniği ile alınan görüntüler ile gösterimi (Ozturk, 2006)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

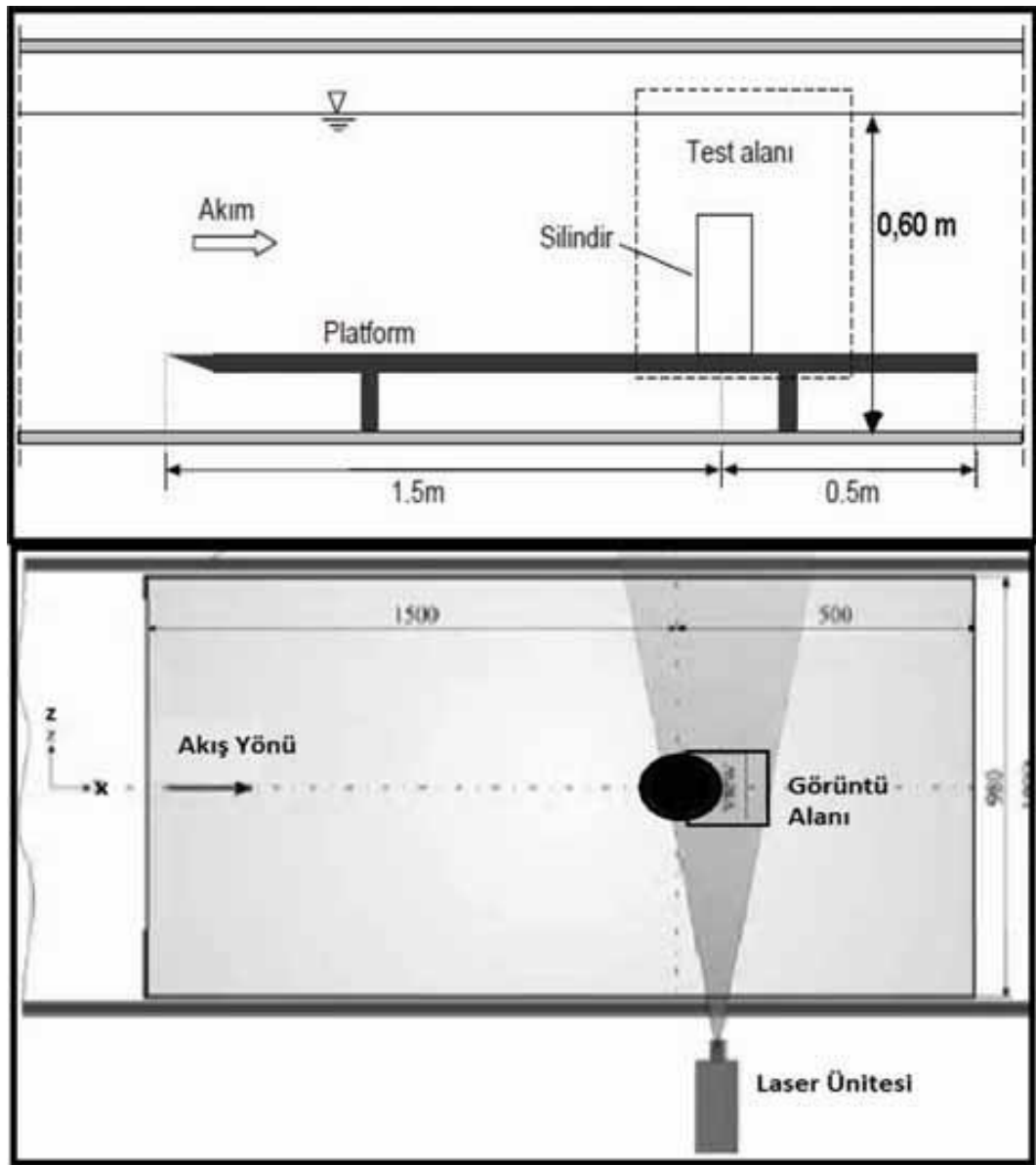
3.1. Materyal

Bu deneysel çalışma Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında Kurulu olan kapalı devre açık yüzeyli su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki su akışı hız kontrol ünitesi olan santrifüj pompa ile gerçekleştirilmiştir. Hız kontrol ünitesi sayesinde serbest akış hızı kontrol edilebilmektedir. Su kanalı, suyun giriş ve çıkış yaptığı iki adet fiberglas malzemeden imal edilen depo ve bu depolar arasında bulunan 750mm x 1000mm x 8000mm (yükseklik x en x boy) ebatlarındaki akrilik malzemeden imal edilen kısımdan oluşur. Pompa, suyu girişteki su tankına basmakta ve çıkıştaki su tankından da emmektedir. Akışın uniform olması ve titreşimi engellemek için pompa emme ve basma hattı boruları üzerinde iki adet titreşim engelleyici kauçuk malzeme ve giriş tankını deneyin yapıldığı orta bölmeye bağlayan yerde petek sistemi mevcuttur. Ayrıca, depoya doldurulan suyu yabancı partiküllerden ve çeşitli kirlerden korumak ve arındırmak için giriş deposuna su verilmeden önce filtre sisteminden geçmektedir. Bunların yanında deney sisteminde ısı etkileşimini azaltmak için laboratuvar 22°C sabit sıcaklıkta tutulmakta ve lazer ışın demetini güneş ışınlarından korumak için de laboratuvar dış camları güneş ışığını engelleyen özel perdelerle kapatılmaktadır.



Şekil 3.1. Deneyin yapıldığı su kanalının şematik gösterimi (Karakuş, 2007)

Deneylerde akrilik malzemeden imal edilen $\varnothing 40\text{mm}$ ve yüksekliği 10, 20, 30mm (Görünüş Oranı= $GO=h/D=0.75, 0.5, 0.25$) olan üç farklı şeffaf sonlu dairesel silindir kullanılmıştır. Sonlu dairesel silindirler, uzunluğu 0.2m ve genişliği 0.98m olan bir düzlem platform üzerine monte edilmiştir (şekil 3.2). Deneylerde su yüksekliği 0.60m olarak sabit alınmıştır. Silindirin monte edildiği platform, akışı etkilememesi için ön ucu pah kırılarak inceltilmiştir. Akışın üniform olması için kullanılan petek sisteminin yanında pompadan gelen yüksek basınçlı suyun türbölans etkisinden etkilenmemek için silindir model girişten 1.5m uzağa konumlandırılmıştır (şekil 3.2).



şekil 3.2. Deney düzeneğinin kanal içerisindeki görünümü (Çelik ve ark., 2011)

3.2. Yöntem (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV))

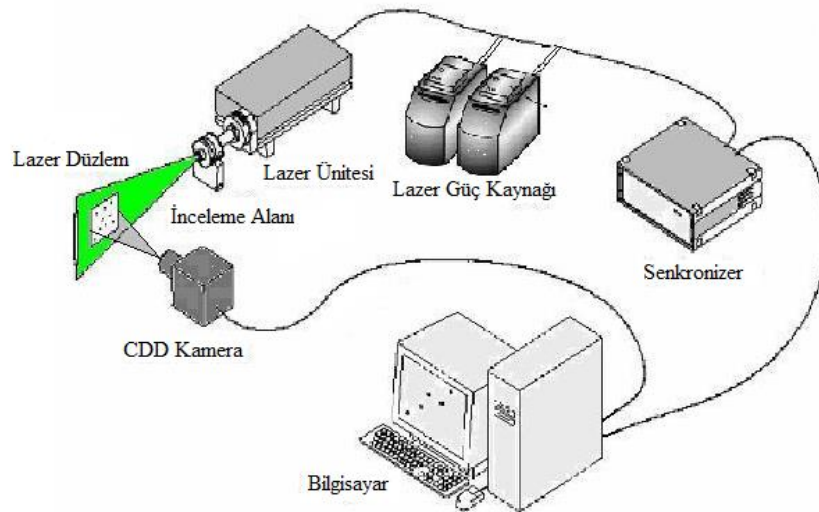
Kızgın tel anemometresi (HWA) , Lazer Doppler Hız Ölçer (LDV) ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Cihazı (PIV) hız ölçümlerinde kullanılan cihazlardır. HWA ince çözünürlük ve iyi frekans cevabı olan termal yaklaşımlı bir hız ölçme yöntemidir. Akışın içerisinde akışı bozmaya sebep olabilecek bir probu olan HWA yöntemi ile aynı anda ancak tek bir noktadan hız ölçümü yapılabilmektedir. Lazer tabanlı yöntemler olan LDV ve PIV ise akışı izleyerek hız ölçümü yaparlar. Aralarında kıyas yaparsak, lazer tabanlı yöntemlerde lazer sıcaklığı ve izli parçacıklar ile akış etkileşimi dışında neredeyse akışı hiç etkilemeden ölçüm alınabilmektedir. Fakat lazer tabanlı olan LDV yönteminde de HWA yönteminde olduğu gibi aynı anda ancak tek noktadan ölçüm yapabilme kısıtı vardır. Bu da herhangi bir zamandaki anlık akış karakteristiklerinin belirlenememesine sebep olmaktadır. LDV ve HWA yöntemleri özellikle karmaşık yapıya sahip akışlarda akışın yapısını anlamak için yetersiz kalmaktadır. İki veya üç boyutlu karmaşık yapıya sahip akışlarda aynı anda düzlemsel bölgede hızları ölçen PIV yöntemi kullanılarak akış yapısı anlaşılabilmekte ve yorumlanabilmektedir (Gao ve ark., 2013).

PIV tekniğinin temel prensiplerinin anlatıldığı kaynaklardan bu sistemin tarihsel gelişimiyle ilgili bilgi sahibi olunabilir. Bu bağlamda Grant (1994) tarafından düzenlenen SPIE Milestone Series 99 çalışmasında 1932'den 1993'e kadar olan 70'den fazla yazı mevcuttur. PIV sisteminin ilk kullanımı ve üzerinde geliştirilmesi ile alakalı yapılan ilk çalışmalar Meynard (1983) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Adrian (1988) tarafından PIV tekniğinin prensipleri ortaya konmuş ve 1990 yılında deneyler yapılmaya başlanmıştır. Dijital kamera sisteminin PIV sistemine entegrasyonu 1997 yılında Willert ve Gharib (1991) tarafından gerçekleştirilmiştir.

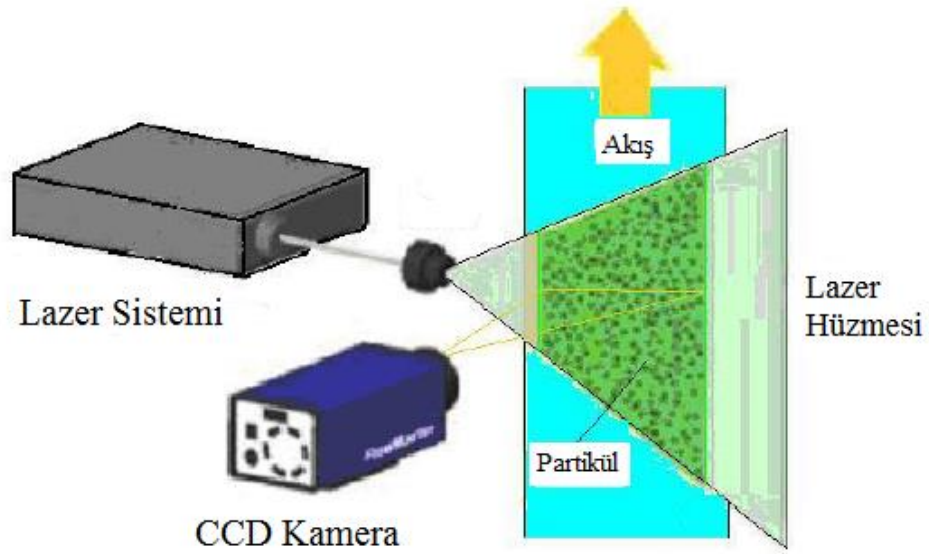
PIV sisteminin; ölçüm yapılan akış alanına müdahale edici bir probunun olmaması, düzlemsel ve hacimsel çalışılabilmesi, belirli bir alanda akışın anlık akış karakteristiğinin belirlenebilmesi, kısa zaman aralığında ölçüm yapma kabiliyeti, yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmaları sonuçlarıyla yakın sonuçlar elde edilmesi ve bu çalışmalara referans kabul edilmesi, ölçüm yapılan alanın 1mm^2 den 1m^2 'ye kadar değişen esnek bir aralık sağlaması gibi özellikleri PIV sistemini diğer akış görselleştirme yöntemlerine kıyasla tercih edilir kılmaktadır (Anonymous, 2015).

PIV yöntemi son yıllarda popülaritesini giderek artıran bir akış görselleştirme yöntemi haline gelmiştir. Bu yöntem rüzgar tünellerinde arabalar, uçaklar, trenler, binalar ve diğer yapıların aerodinamik testlerinde, su akışlarındaki hız ölçümlerinde (genel hidrodinamik araştırmalar, gemi gövde tasarımı, dönel hareket yapan cihazlar, boru akışları, kanal akışları gibi), biyomedikal araştırmalarda (kan akışları, mikro akışlar, kalp valf fonksiyonu gibi), türbülans akışı araştırmalarında (uçak modeli aerodinamiği, uçak kabin havalandırma sistemi, kanat tasarımı, gaz türbini yakıt enjeksiyonu, gaz türbini soğutma, uç girdapları gibi) yoğun olarak kullanılmaktadır (Anonymous, 2015). Bunların yanında, içten yanmalı motorlarda yanma prosesinde, jet akışlarda, sınır tabaka problemlerinde, sıg su akışlarında PIV tekniğinin kullanıldığı görülmektedir (Arat, 2010).

Bu yöntemde, akış içerisine 10-20 mikrometre çapında olan gümüşle kaplı metal veya plastik parçacıklar karıştırılmaktadır. Bu parçacıkların yoğunluğu (yaklaşık 1100kg/m^3) suyun yoğunluğuna yakın olmasına rağmen küçükte olsa farklıdır. Fakat parçacıkların boyutları mikron mertebesinde olduğu için su ile aynı hızda hareket ederek ölçüm yapma imkanı sağlamaktadır. Ölçümün yapıldığı su kanalı içerisine serpiştirilen gümüş kaplı parçacıkların görüntülenebilmesi için çift darbeli 120 mJ gücünde lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) kullanılmaktadır. Bu cihaz tarafından üretilen lazer ışını optik desteklerle 1-2mm kalınlığında ve farklı genişliklerde lazer huzmesi haline getirilmektedir.



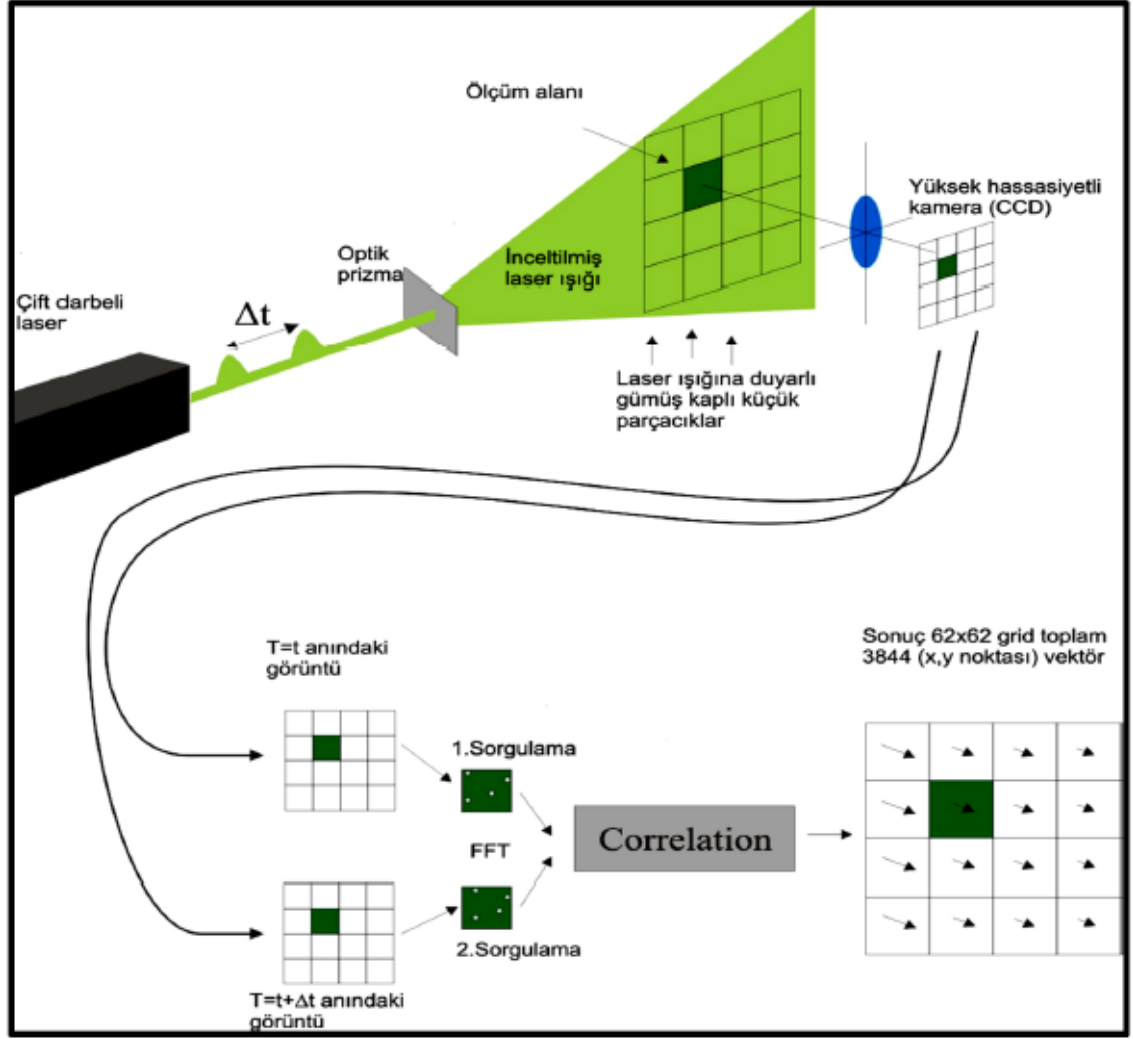
Şekil 3.3. PIV sisteminin şematik gösterimi (Karakuş, 2007)



Şekil 3.4. PIV sisteminde eş zamanlı çalışan kamera ve lazer sistemi ile görüntü alanı (Karakuş, 2007)

Lazer huzmesi ile görünür hale gelen parçacıkların hareketi bir CCD (Charge Coupled Device) dijital kamera sayesinde fotoğrafları çekilmektedir. Bu proseste lazer kaynağı darbeli tip olduğu için dijital kamera ile lazer ünitesinin eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Bunun için bilgisayara bağlı olan bir eş zamanlayıcı kullanılmaktadır (Şekil 3.3.). Bu sayede deney esnasında dijital kamera vasıtasıyla milisaniye mertebesinde art arda iki adet fotoğraf çekilerek bilgisayara aktarılır. İki partikül arasındaki yer değişimi ve çekilen iki fotoğraf arasında geçen süre (Δt) bilindiğinden vektör hızları hesaplanabilmektedir. Buradan yola çıkarak hız alanları, akım çizgileri ve eş girdap eğrileri elde edilebilmektedir. Bilgisayara aktarılan görüntüler genelde 32x32 piksel ebatlarında küçük alt bölmelere ayrılmakta ve Hızlı Fourier dönüşümü sayesinde her bir alt bölgedeki iki görüntü arasındaki yer değiştirme bulunabilmektedir.

Daha önce de anlatıldığı gibi PIV tekniğinin esası su kanalı içerisine serpiştirilen akışkan ile beraber hareket eden gümüş kaplı parçacıkların darbeli bir lazer kaynağı ve yüksek çözünürlük değerlerine sahip CCD Dijital kamera marifetiyle hareketlerinin izlenerek vektör hızlarının bulunması ve akış karakteristiğinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu işlem genellikle Şekil 3.5.'de gösterilen parçacık izleme ve korelasyon ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada, parçacıkların yer değiştirmesinin hesabı 32x32 sorgulama ekranı ile cross-korelasyon tekniği ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. PIV sistemi çalışma prensibi (Anonymous, 2015)

Deney sırasında kameradan alınan anlık görüntüler bilgisayarda bir resim yakalayıcı ile okunmuş ve TXT dosyası formatında kaydedilmiştir. Bu resimlerin proses ve analiz işlemleri Dantec Dynamics sistemi ve içerisinde yer alan Flow Manager v4.71 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir bölgede 300 adet anlık görüntü alınmıştır. Elde edilen TXT formatındaki dosyalar proses edilip, Cleanvec programıyla (Türbülanslı ve karmaşık akış laboratuvarı Illinois Üniversitesi tabanlı) istatistiksel Fourier filtresiyle proses edilen ham vektörler içerisindeki kötü veya bozuk diye adlandırılan vektörler temizlenir. Temizlenen vektörlerin yerine istatistiki olarak yeni vektörler alınır ve akış anlık hız alanları belirlenmiş olur. Alınan 300 adet anlık resimlerin ortalamaları ile akış yapısının zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ elde dilmektedir.

Elde edilen zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde vektör yoğunluğuna göre akış hızları yüksek veya düşük olduğu yerler tespit edilebilmektedir. Hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgelerde hızların daha yüksek, seyrek olduğu bölgelerde ise hızların daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda, akış yönü ile ilgili de fikir sahibi olunabilmektedir.

Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerinde, oluşan akım çizgileri sayesinde akışkan hareketinin yönü daha net bir biçimde görülmektedir. Bu resimlerden incelediğimiz akış alanında nerede ve nasıl girdapların oluştuğunu ve girdap merkezlerini, durma noktalarını, kritik akış noktalarını tespit etmek mümkündür.

Girdap eş düzey eğrileri resimleri sayesinde incelenen akış alanı içerisinde hangi girdapların oluştuğu, girdapların yönleri ve şiddetleri anlaşılmaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

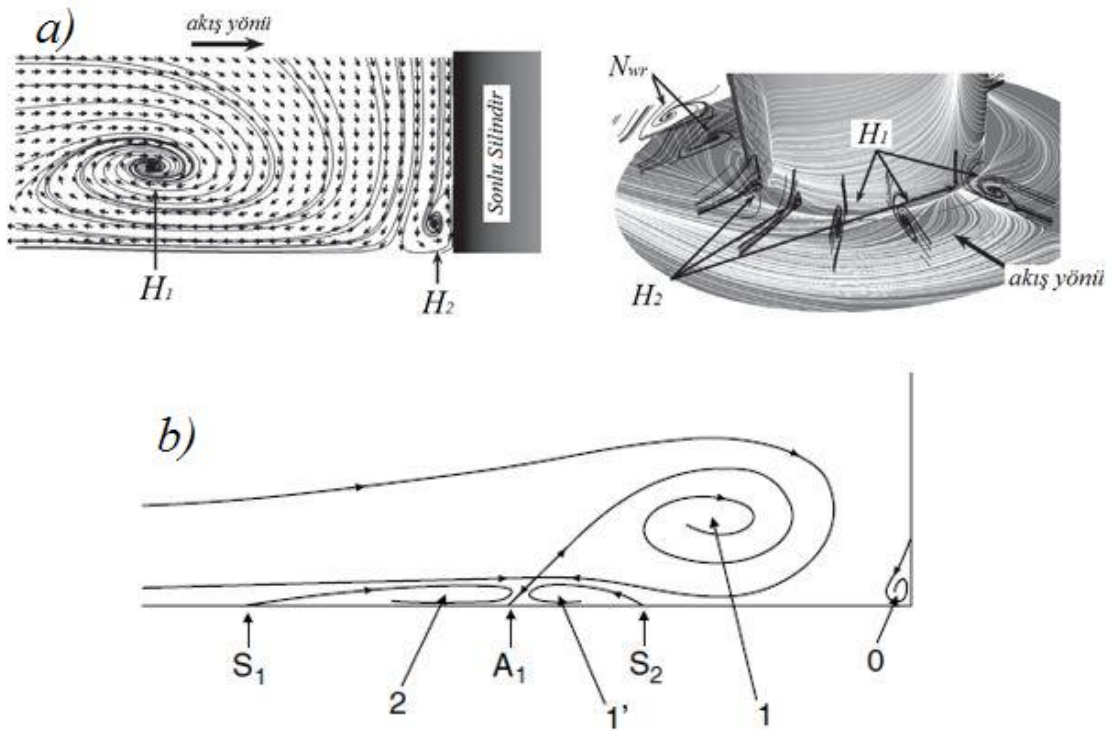
4.1. Araştırma Bulguları

PIV tekniğinin kullanıldığı deneylerde $GO=0.25, 0.5, 0.75$ olan zemin düzleme monteli sonlu-silindirler, serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için yan görünüşleri ve $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000$ ve 8000 değerleri için üstten görünüş resimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada sonlu-silindir yan tarafından ön, arka ve serbest uç resimleri ve sonlu-silindir üst tarafında $z/h=0.0, 0.5, 1.0$ mesafelerinden silindir arka tarafındaki akış yapıları incelenmiştir. Verilen deney sonuçlarında akış yönü soldan sağa doğrudur. Deneyler sonucunda elde edilen resimlerde soldan sağa doğru sırasıyla zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ ve yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000, 7000$ değerleri için görüntüler verilmiştir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde bulunan vektör yoğunluğuna göre akış alanlarının yüksek veya düşük hızlarda olduğu anlaşılmaktadır. Hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgelerde hızlar yüksek, seyrek olduğu bölgelerde ise düşüktür. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerinde ise akışın nereye doğru yönlendiği, oluşan girdap yapıları ve kritik akış noktaları görülmektedir. Üçüncü sütunda verilen girdap eş düzey eğrilerinde $\langle \omega \rangle$ oluşan girdaplar tespit edilmektedir. Bu resimlerde düz çizgi ile gösterilen yerlerde saatin tersi yönünde dönen pozitif girdapların varlığı, kesik çizgi ile gösterilen yerlerde ise saat yönünde dönen negatif girdapların var olduğu anlaşılmaktadır. Bu kısımda ilk etapta her üç GO için sonlu silindir yan tarafından alınan görüntüler, daha sonra ise sonlu silindir üst kısımlarından alınan görüntüler verilmiştir.

4.2. $GO=0.75$ olan Sonlu-Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri

Şekil 4.3'de $GO=0.75$ olan sonlu-silindir üzerindeki akışın, silindir çapına ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri verilmiştir. İlk sütunda bulunan zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimleri hız vektörlerinin yoğunluğu ile doğru orantılı olarak akış hızlarını göstermektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerine bakıldığında genel olarak tüm Reynolds sayılarında akışın, yukarı akım tarafında sonlu-silindir serbest ucuna yakın bölgede daha hızlı olduğu görülmektedir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri

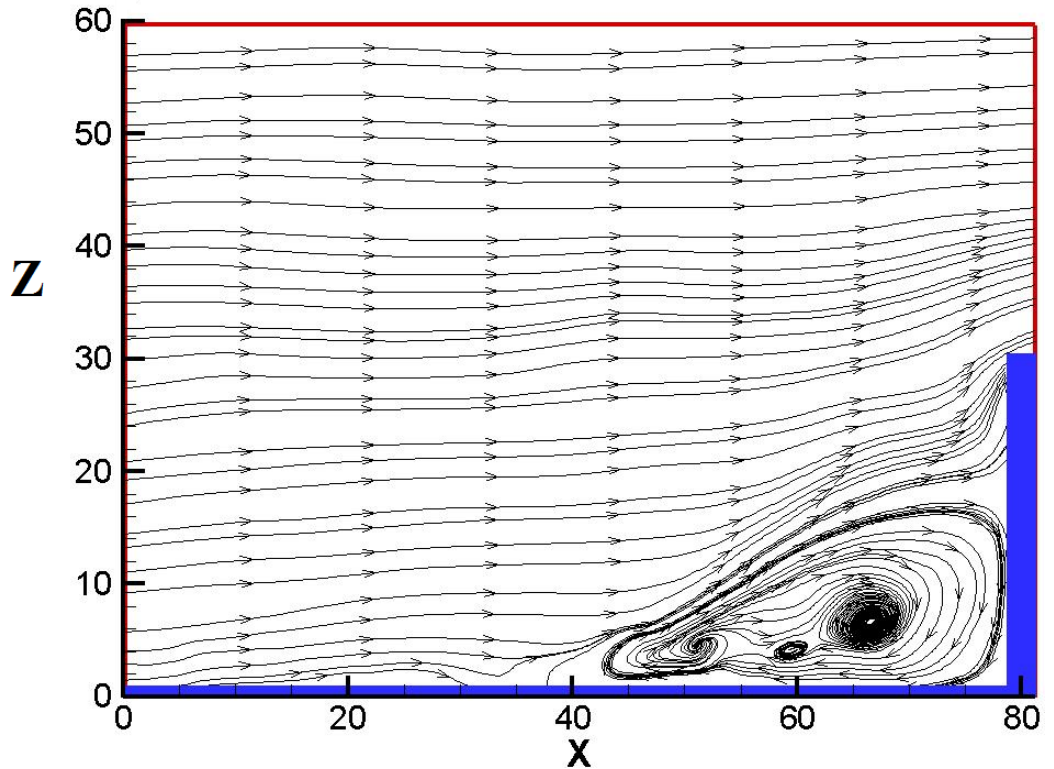
$\langle \Psi \rangle$ resmi incelendiğinde soldan sağa doğru hareket eden akışın sonlu-silindir cidarı yüzeyi ile karşılaşması sonucunda sonlu-silindir serbest ucu ve zemin düzlem tarafına olmak üzere ikiye ayrılarak sonlu-silindir yüzeyinde bir durma noktası oluşturduğu görülmektedir. Bütün Reynolds sayılarında durma noktası yaklaşık olarak aynı noktada oluşmaktadır. Sonlu-silindir yüzeyinden durma noktasının altına yani zemin düzleme doğru hareket eden akışın silindir cidarı ve zemin düzlem arasında sıkışmasıyla saat yönünde dönen negatif bir girdap oluşmaktadır.



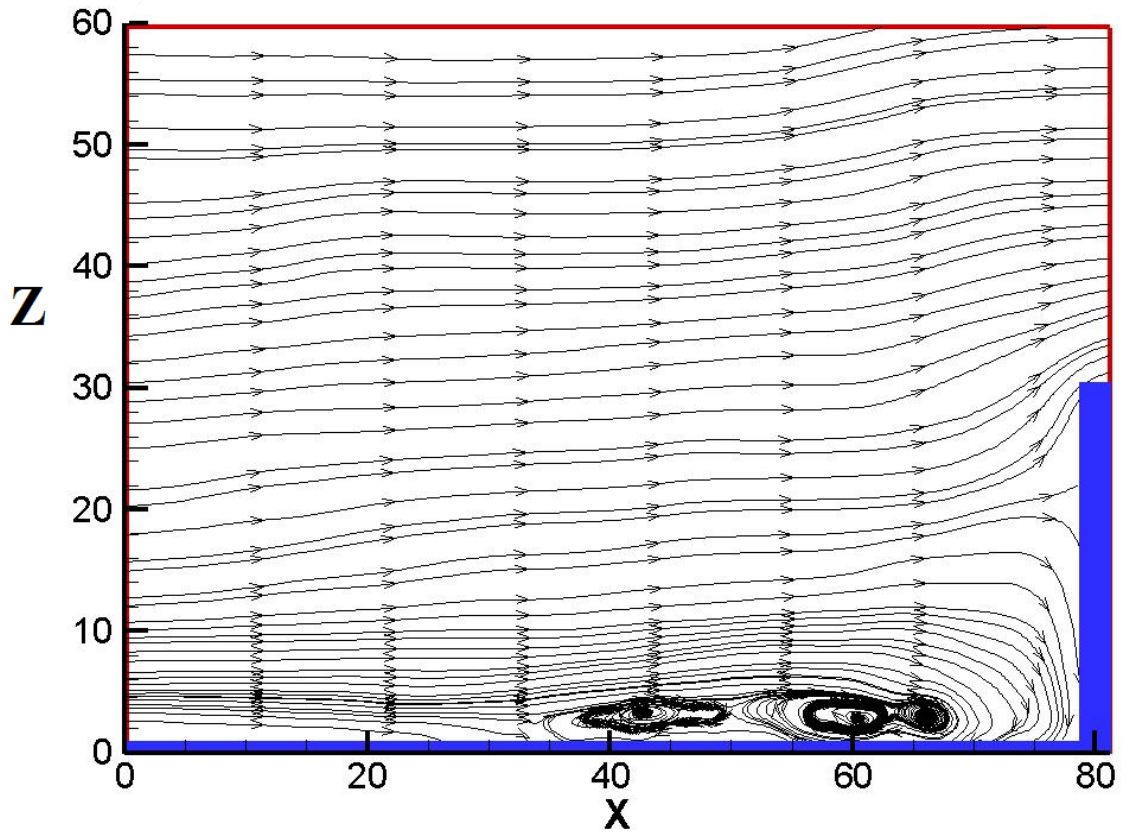
Şekil 4.1. Silindir yukarıakım tarafında oluşan ANG yapılarının gösterilmesi (a) Krajnovic, 2011 b) Pattenden ve ark., 2005; Baker, 1979)

Oluşan birincil ANG yapısı birçok araştırmacı tarafından gözlemlenmiş ve bu girdap Krajnovic (2011) tarafından H_1 , Pattenden ve ark. (2005) ve Baker (1980) tarafından 1 olarak isimlendirilmektedir (Şekil 4.1). Oluşan ANG' ın merkezi $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için sırasıyla yaklaşık olarak $x/D= 1.73, 1.68, 1.56, 1.72, 1.75$; $z/D=0.1, 0.089, 0.081, 0.085, 0.068$ noktalarında meydana gelmiştir. ANG yapısı merkezinin Reynolds sayısının büyümesiyle zemin düzleme yaklaştığı, çapının küçüldüğü ve boyuna sunduğu akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimleri

incelendiği görülmektedir. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerine dikkat edilirse $Re_d=1000$, 3000, 5000 ve 7000 değerlerinde görülmeyen birincil ANG yapısının yukarı akım tarafında küçük bir girdap yapısı $Re_d=2000$ değerinde görülmektedir. Deneylerden elde edilen verilere göre Krajnovic (2011)'in yapmış olduğu çalışmada H_1 olarak isimlendirdiği girdap yapısı gözlemlenirken, H_2 ve H_3 olarak isimlendirdiği girdap yapıları gözlemlenmemiştir. Anlık PIV resimleri incelendiğinde sonlu-silindir önünde H_1 girdabından farklı girdaplarında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). Şekil 4.3'de girdap eş düzey eğrilerine $\langle \omega \rangle$ baktığımızda Reynolds sayısının büyümesiyle girdaplılık değerinin arttığı kolaylıkla görülebilmektedir. Bunun yanında Reynolds sayısının artmasıyla ANG yapısının olduğu bölgede girdap eş düzey eğrileri artmıştır. Girdaplar sonlu-silindir yüzeyine yakın bölgelerde oluşmaktadır. $Re_d=2000$, 3000 ve 5000 değerlerinde girdap eş düzey eğrilerinde $\langle \omega \rangle$ sonlu-silindir cidar yüzeyinde saat yönünün tersi yönde hareket eden girdap, $Re_d=1000$ ve 7000 değerlerinde gözlemlenmemiştir.

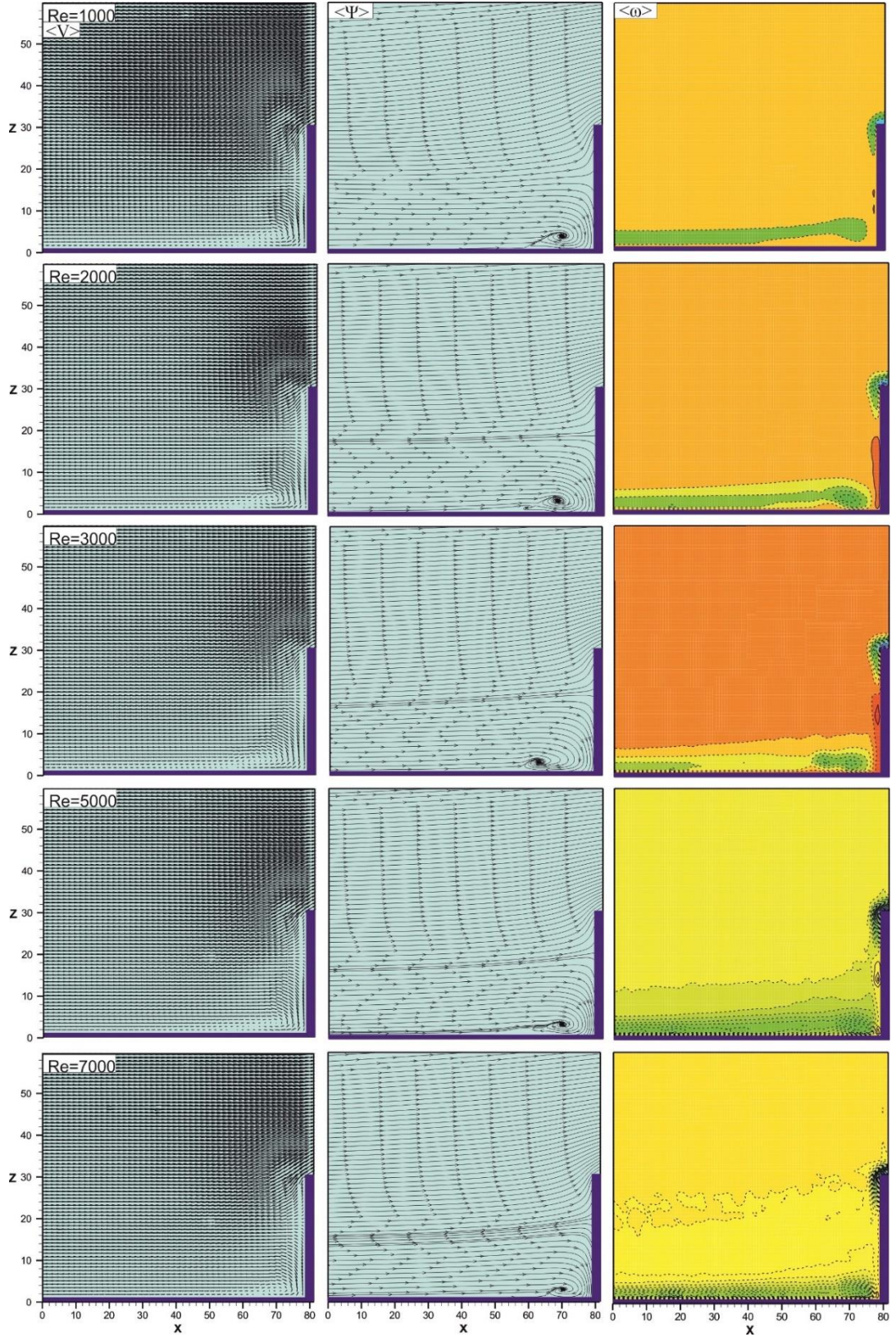


Şekil 4.2. GO=0.75 olan sonlu-silindir önünde alınan anlık PIV görüntüleri



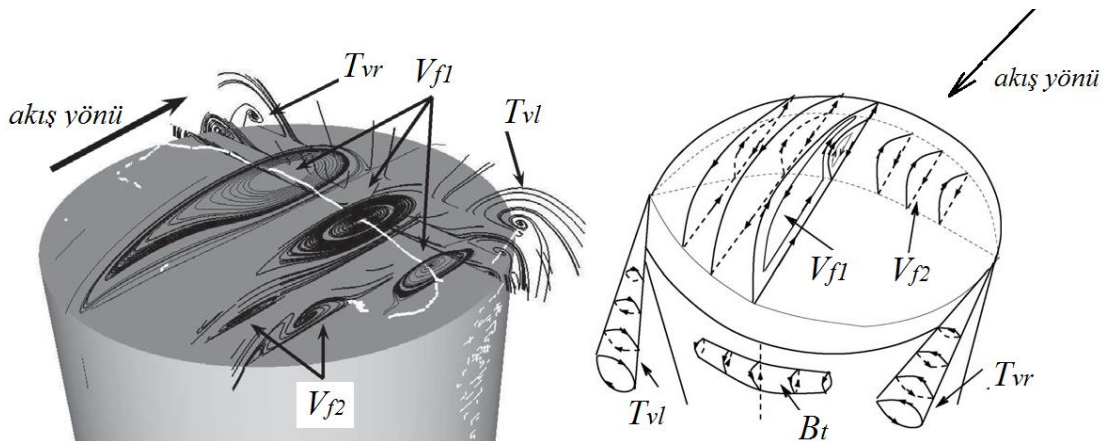
Şekil 4.2. (devamı) $GO=0.75$ olan sonlu-silindir önünde alınan anlık PIV görüntüleri

Sonlu-silindir serbest ucu bölgesindeki akış yapısı, sonlu-silindir arkasında oluşan aşağıyakım akışı ile doğrudan alakalı olduğundan oldukça önem kazanmaktadır (Rostamy ve ark., 2012). Şekil 4.7’de $GO=0.75$ olan sonlu silindirin serbest ucu üzerindeki akış yapısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerinde incelenmiştir. PIV deneylerinde elde edilen görüntüler soldan sağa doğru sırasıyla zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ olarak verilmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir serbest ucu yakınında hücum kenarında hızların arttığı görülmektedir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmi incelendiğinde sonlu-silindir yukarı akım tarafında silindir cidar yüzeyinde, akışı silindir serbest ucu tarafına ve zemin düzleme doğru ayıran bir durma noktası görülmektedir. Oluşan durma noktasından zemin düzleme doğru ayrılan akış sonlu-silindir cidarı ve zemin düzlem arasında saat yönünde dönen negatif bir girdabı meydana getirmektedir.



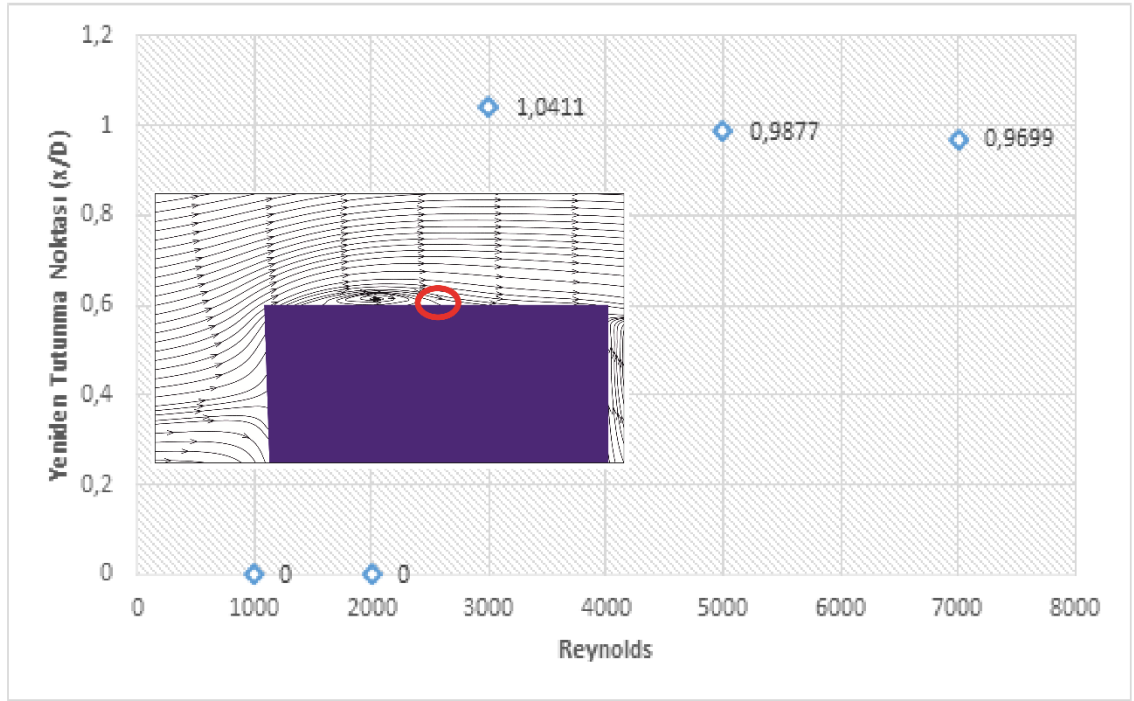
Şekil 4.3. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) oluşan zaman zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

Diğer taraftan durma noktasından sonlu-silindir hücum kenarına doğru yönelen akış ise sonlu-silindir serbest ucu yüzeyini süpürerek devam etmektedir. Burada herhangi bir akış ayrılması görülmemektedir. Aynı Reynolds sayısı için girdap eş düzey eğrileri $\langle\omega\rangle$ resimlerinde sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) bir adet negatif yönde dönen girdabın ve bunun yanında sonlu-silindir cidarı yüzeyinden başlayarak zemin düzleme doğru uzanan saat yönünün tersine dönen pozitif bir girdabın varlığı görülmektedir. Ayrıca, sonlu-silindir hücum kenarından firar kenarına kadar uzanan negatif yönde dönen girdap dikkat çekmektedir. $Re_d=2000$ değeri için akım çizgileri $\langle\Psi\rangle$ görüntüsünden sonlu-silindir yukarı akım tarafında oluşan negatif girdabın çapının küçüldüğü ve durma noktasından itibaren hücum kenarına doğru hareket eden akışın ise yine herhangi bir akış ayrılması meydana getirmediği görülmektedir. Fakat $Re_d=1000$ değerine göre bu değerde hücum kenarı etkisinin arttığı görülmektedir. $Re_d=2000$ için girdap eş düzey eğrileri $\langle\omega\rangle$ resmine bakıldığında ise $Re_d=1000$ 'de görülen girdapların burada da görüldüğü fakat eş düzey eğrilerinin arttığı görülmektedir. $Re_d=3000$ değerinde akım çizgileri $\langle\Psi\rangle$ resimleri incelendiğinde sonlu-silindir yukarı akım tarafında oluşan durma noktasından hücum kenarına doğru hareket eden akış silindir serbest ucu yüzeyinden devam ederken artan basınç gradyanı sebebiyle akış ayrılmasının olduğu ve serbest uç yüzeyinde ters akış bölgesinin meydana geldiği görülmektedir. Ayrılan akış sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinin aşağı akım tarafına doğru firar kenarına varmadan tekrar yüzeye yapışarak 'ayrılma baloncuğu' oluşturmaktadır.

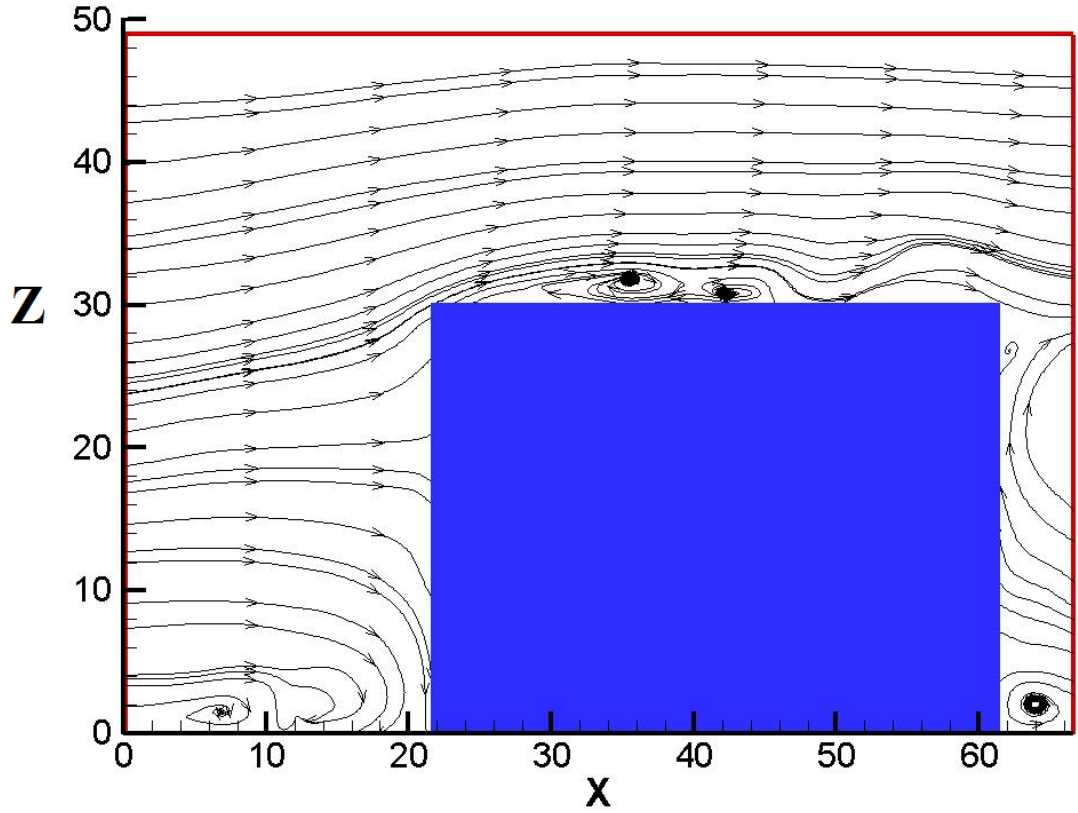


Şekil 4.4. Sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan akış yapısı (Krajnovic, 2011)

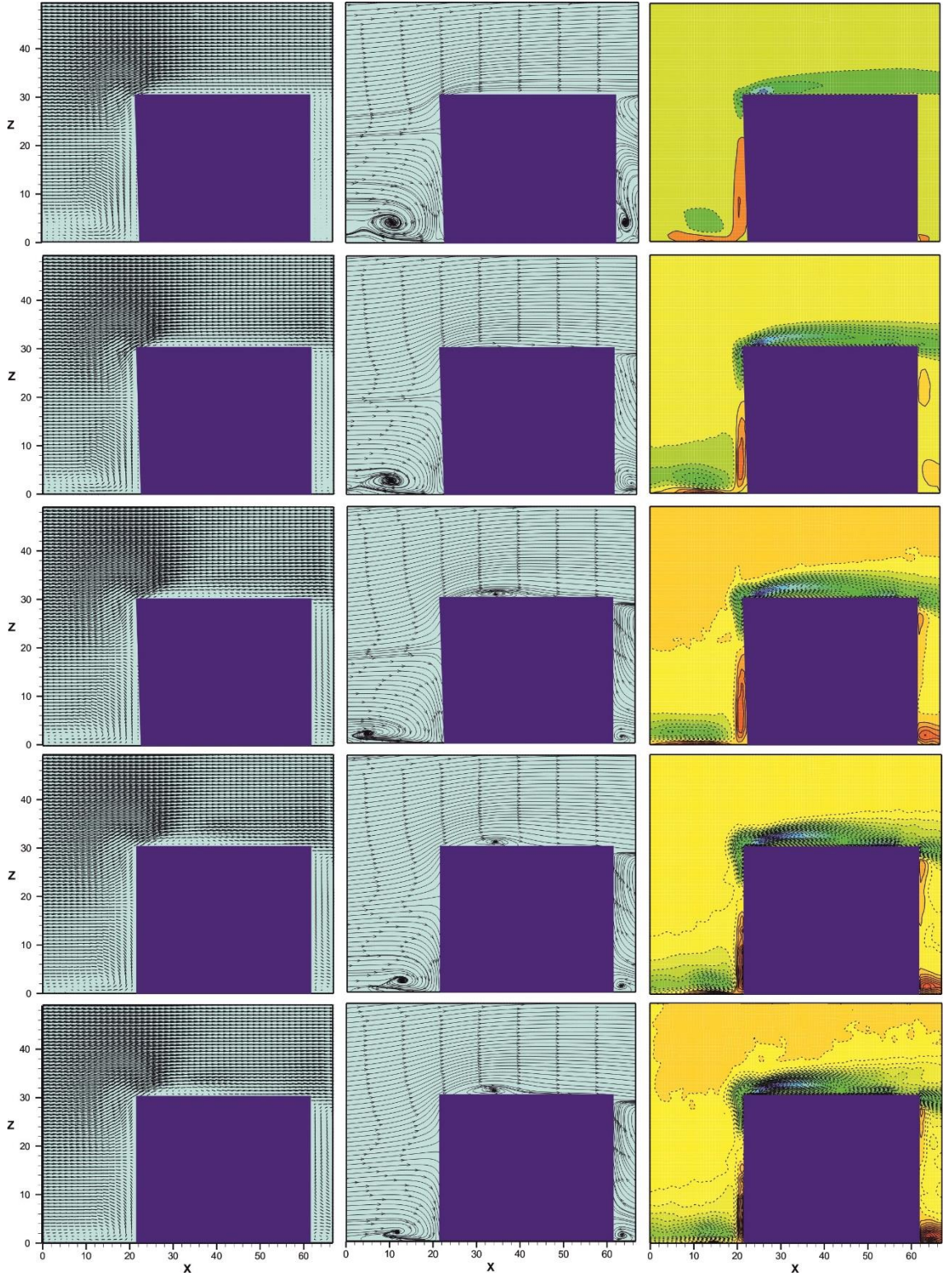
Sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde oluşan ayrılma baloncuğunun dikey ve yatay uzunluğu ve serbest uç girdap yapıları, sonlu-silindir serbest ucu üzerindeki akışı karakterize eden iki ana özelliktir (Pattenden ve ark., 2007). Aynı Reynolds sayılarında farklı GO'na sahip sonlu-silindirlerin akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimleri incelendiğinde GO'nın büyümesiyle sonlu-silindir serbest ucunda ayrılan akışın yeniden tutunma noktasının firar kenarına doğru yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuç Kawamura ve ark. (1984) ve Rostamy ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmalarının sonuçlarıyla uyum sağlamaktadır. Ayrıca, Rostamy ve ark. (2012), yaptıkları çalışmalarında sonlu-silindir serbest yüzeyi üzerinde ayrılan akışın yeniden tutunma noktasının firar kenarına yaklaşmasıyla sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafında) oluşan aşağı akım akışının açısının azaldığı ve serbest uç üzerindeki akışında daha yatay bir hal aldığını tespit etmişlerdir. Sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde ayrılma baloncuğunun olduğu bölgede ters akış etkisiyle oluşan saat yönünde dönen girdabı Krajnovic (2011) V_{f1} girdabı olarak isimlendirmiştir. Krajnovic (2011), yapmış olduğu çalışmada görüntülediği V_{f1} girdabının hücum kenarına geri dönerken oluşturduğu daha küçük boyutta olan V_{f2} girdabı bu çalışmada gözlemlenmemiştir (Şekil 4.4.). Fakat PIV deneyleri sonucunda elde edilen anlık görüntülerde sonlu-silindir serbest ucunda iki adet girdap gözlemlenmiştir (Şekil 4.6). $Re_d=3000$ değerindeki girdap eş düzey eğrilerine $\langle \omega \rangle$ bakıldığında $Re_d=2000$ değerinde olduğu gibi aynı girdapların oluştuğu ve girdaplılık değerlerinin arttığı, bunun yanında sonlu-silindir arka tarafında silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem arasında ve silindir cidar yüzeyi üzerinde firar kenarına doğru uzanan saat yönünün tersinde hareket eden pozitif girdapların oluştuğu görülmektedir. $Re_d=3000$, 5000 ve 7000 değerleri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir serbest ucunda ayrılan akışın yeniden tutunma noktasının silindir serbest ucu yüzeyinde yatay düzlemdeki konumu sırasıyla yaklaşık; $x/D= 1.0411$, 0.9877 , 0.9699 noktalarında oluştuğu görülmektedir. Görüldüğü gibi yeniden tutunma noktaları yaklaşık olarak aynı konumda olmakla beraber az da olsa bir fark görülmektedir. Aynı GO'na sahip sonlu-silindirde Reynolds sayısının büyümesiyle yeniden tutunma noktasının silindir hücum kenarına doğru yaklaştığı görülmektedir (Şekil 4.5.). Bunun yanında Reynolds sayısının 3000 ile 7000 aralığında sonlu silindir serbest yüzeyinde oluşan negatif yönde dönen V_{f1} girdabının boyutunun küçüldüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç, Çelik (2012) yaptığı çalışmasındaki elde ettiği sonuçlarla uyushmaktadır.



Şekil 4.5. Yapılan deney sonuçlarına göre sonlu silindir serbest ucunda oluşan akış ayrılmasının sonlu silindir serbest ucu yüzeyine yeniden tutunma noktasının Re_d sayısına göre değişimi



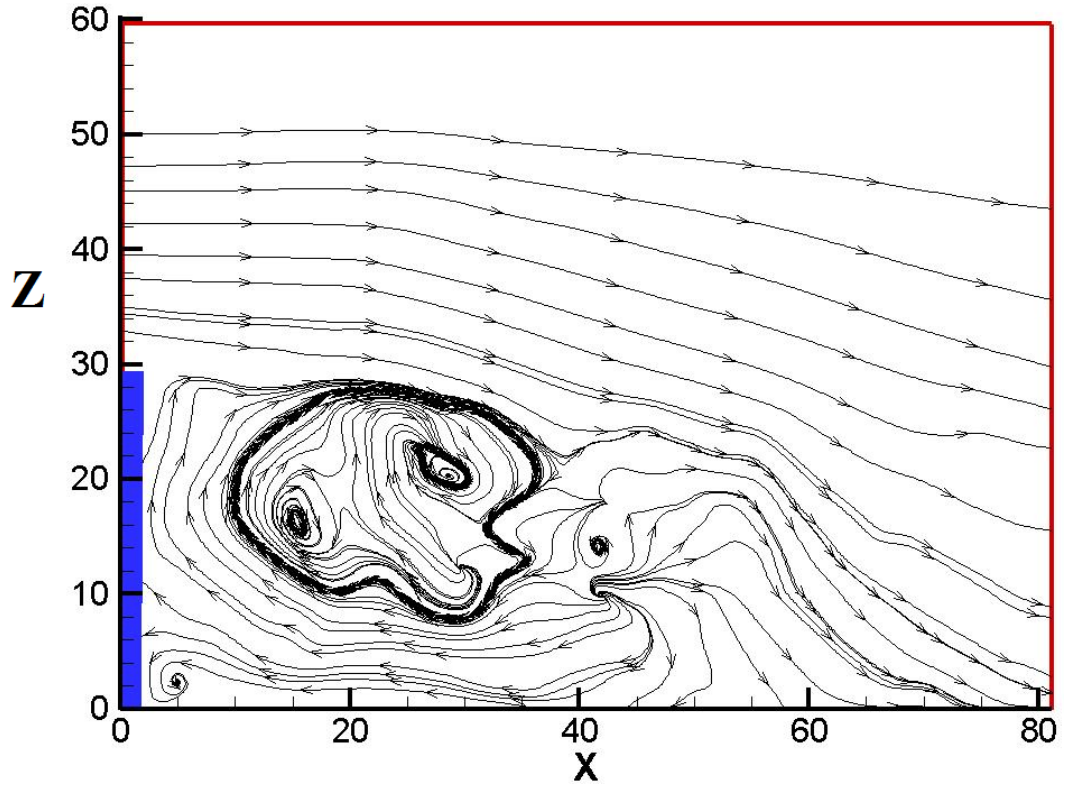
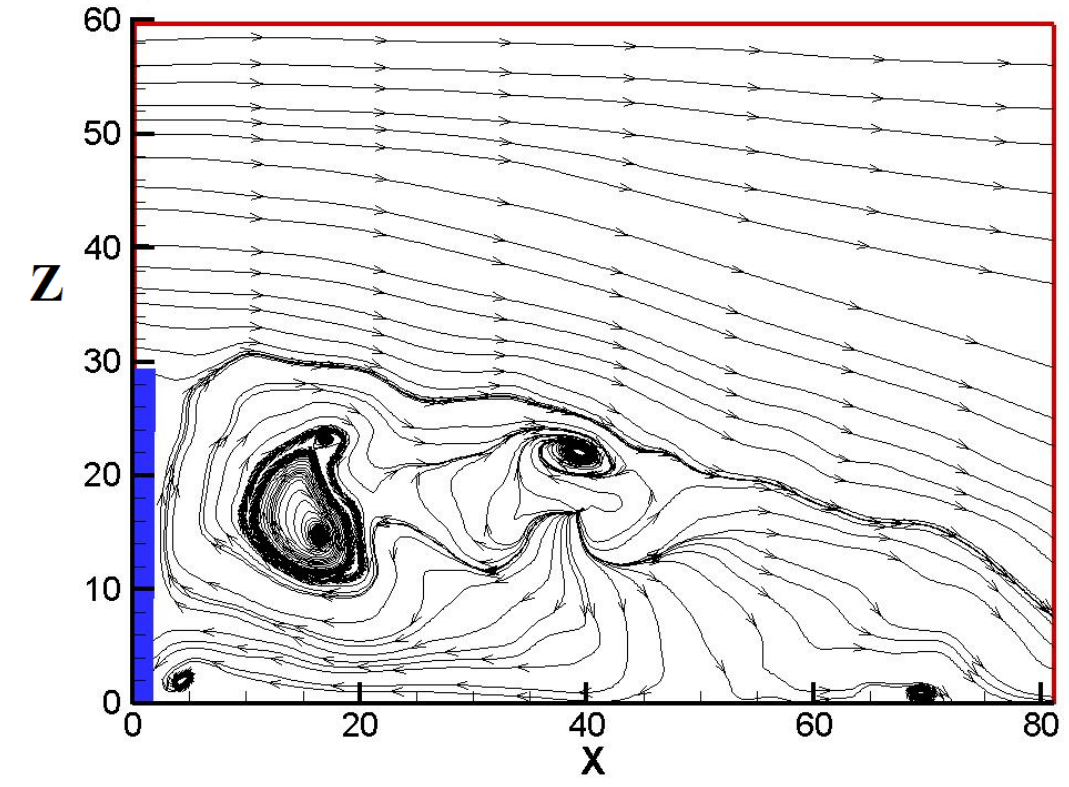
Şekil 4. 6. $GO=0.75$ olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde alınan anlık PIV görüntüsü



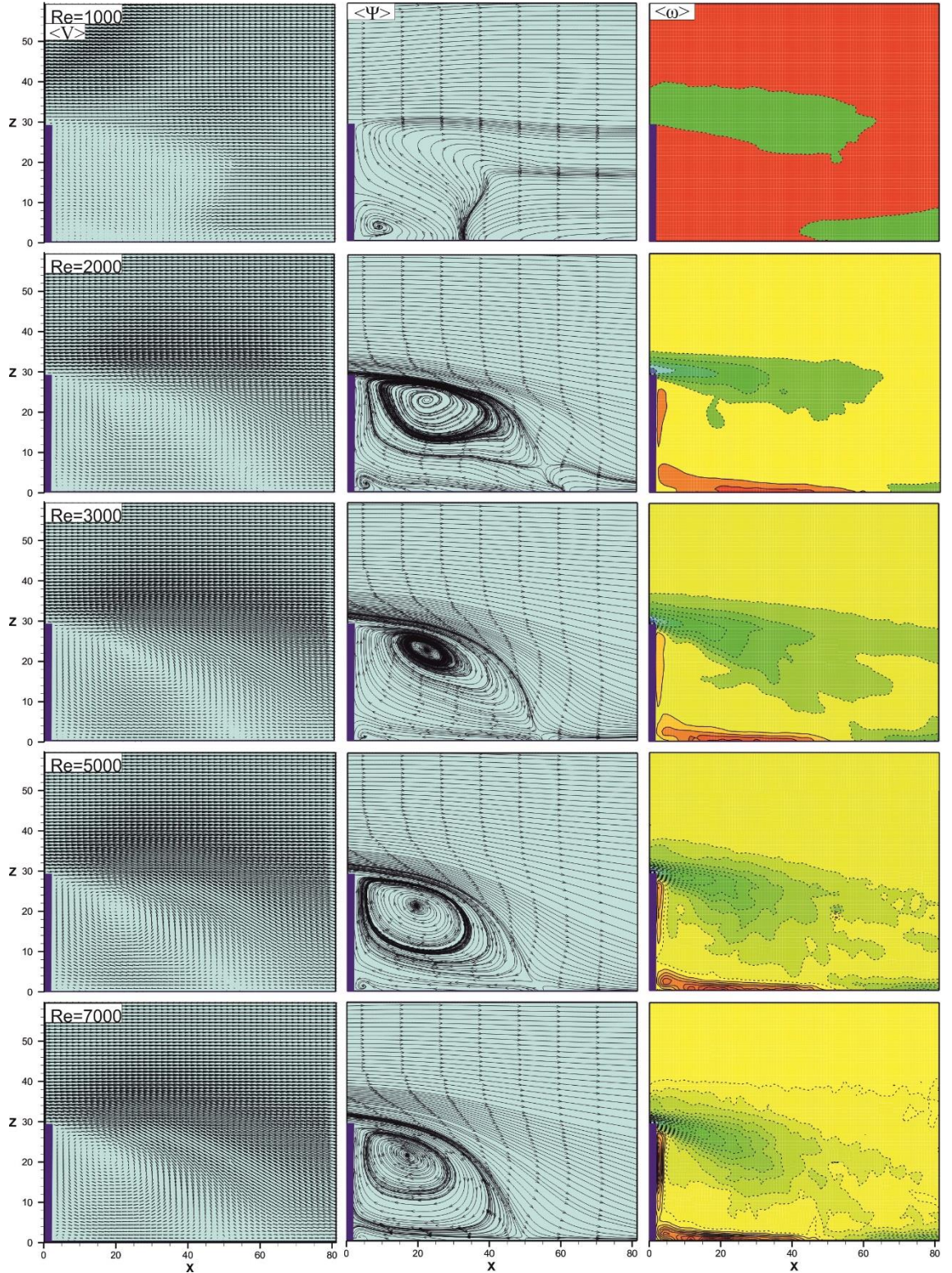
Şekil 4.7. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

GO=0.75 olan sonlu-silindirin arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan akış yapısının $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerinde PIV görüntüleri Şekil 4.9'de verilmiştir. Şekil 4.9'de soldan sağa doğru sırasıyla ilk sütunda zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, ikinci sütunda akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve son sütunda da girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmektedir. İlk sütunda verilen zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir firar kenarı yakın bölgesinde görüldüğü gibi hız vektörlerinin yoğun olduğu yerlerde hızların yüksek olduğu anlaşıyorken sonlu-silindir arka bölgesindeki gibi hız vektörlerinin daha az olduğu yerlerde ise hızların yavaş olduğu anlaşılmaktadır. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde genel olarak bütün Reynolds sayılarında sonlu-silindir arka bölgesinde yani ölü akış alanında hızların düşük olduğu görülmektedir. $Re_d=1000$ değerinde akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsü incelendiğinde sonlu-silindir ön tarafında (yukarı akım tarafı) silindir cidarı ile zemin düzlem arasında oluşan ANG yapısının etkisiyle $x/D=0.675$ mesafesinde bir durma noktasının oluştuğu görülmektedir. Oluşan durma noktasından itibaren akış, sağa doğru aşağı akım yönünde ve sola doğru sonlu-silindir cidarı tarafı yönünde ikiye ayrılmıştır. Aşağı akım yönüne doğru ayrılan akış, zayıf bir yukarı akım (upwash) akışı oluşturmaktadır. Diğer taraftan sonlu-silindir cidarına doğru hareket eden akış ise silindir cidarında bir durma noktası oluşturarak sonlu-silindir serbest ucu tarafı ve zemin düzleme doğru tekrar ikiye ayrılmaktadır. Meydana gelen durma noktası tüm Reynolds sayılarında görülmekle beraber Reynolds sayısının büyümesiyle durma noktasının zemin düzleme doğru yaklaştığı tespit edilmiştir. Durma noktasından itibaren zemin düzlemine doğru ayrılan akış sonlu-silindir cidarı ile zemin düzlemi arasında pozitif yönde dönen bir adet girdap meydana getirmiştir. Krajnovic (2011), yapmış olduğu çalışmalarında N_w girdabı olarak tanımladığı bu girdabı, Rostamy ve ark. (2012), GO=3, 5, 7 ve 9 olan sonlu-silindirler için $Re_d=4.2 \times 10^4$ değerinde yaptıkları çalışmalarında gözlemlemiş ve girdabın GO ile doğru orantılı olarak büyüklüğünün değiştiğini belirtmişlerdir. $Re_d=2000$ değeri için ikinci sütunda bulunan akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmine bakıldığında sonlu-silindir serbest ucunun etkisiyle sonlu-silindir arkasında kuvvetli bir aşağı akım (downwash) akışı oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu bölgede meydana gelen kayma tabakası, akışı kayma tabakası üstünde serbest akış bölgesinde aşağı akım yönünde devam eden ve kayma tabakası altında zemin düzlemine yönlenen akış olarak ikiye bölmektedir. Kayma tabakasının altında zemin düzlemine

doğru hareket eden akış silindir serbest ucuna daha yakın bölgede bir adet negatif yönde dönen ve silindir cidarı ile zemin düzlemi arasında pozitif yönde dönen girdap olmak üzere iki adet girdap meydana getirmektedir. Bu girdap $Re_d=1000$ hariç tüm Reynolds sayılarında görülebilmektedir. Reynolds sayısının büyümesiyle oluşan girdabın sonlu-silindir cidarına doğru yaklaştığı ve çapının küçüldüğü görülmektedir. Krajnovic (2011) yapmış olduğu çalışmada, silindir serbest ucuna yakın silindir arkasında oluşan girdabı B_t , silindir cidarı ile zemin düzlem arasında oluşan girdabı ise N_w girdabı olarak isimlendirmektedir. Rostamy ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmalarında B_t girdabının silindir GO' nın artmasıyla küçüldüğünü belirtmişlerdir. Reynolds sayısının etkisini incelediğimiz mevcut çalışmada ise $Re_d=1000$ değerinde B_t girdabı gözlemlenmemişken diğer tüm Reynolds sayılarında gözlemlenmiştir. Ayrıca B_t girdabının Reynolds sayısının artmasıyla küçüldüğü tespit edilmiştir. Silindir arkasında bu iki girdap yapısı arasında silindir cidarında oluşan durma noktasının yeri bu girdaplarla ilişkilidir (Rostamy ve ark., 2012). Akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ resimlerine göre oluşan durma noktası Reynolds sayısının artmasıyla zemin düzleme ve silindir cidarına doğru yaklaşmaktadır. Girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimlerini incelediğimizde, $Re_d=2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerinde silindir cidarında bir adet pozitif girdap, silindir cidarı ile zemin düzlem birleşme bölgesinde pozitif bir girdap (N_w) ve silindir arka yakın bölgesinde serbest uç yakınında bir girdap olmak üzere üç adet girdabın varlığı görülmektedir. Reynolds sayısının büyümesiyle silindir arkasında girdaplılık değeri artmaktadır. Şekil 4. 8'de $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında oluşan zaman-ortalama PIV görüntülerinde gözlemleyemediğimiz, fakat anlık resimlerde görülen girdap yapıları gösterilmiştir.



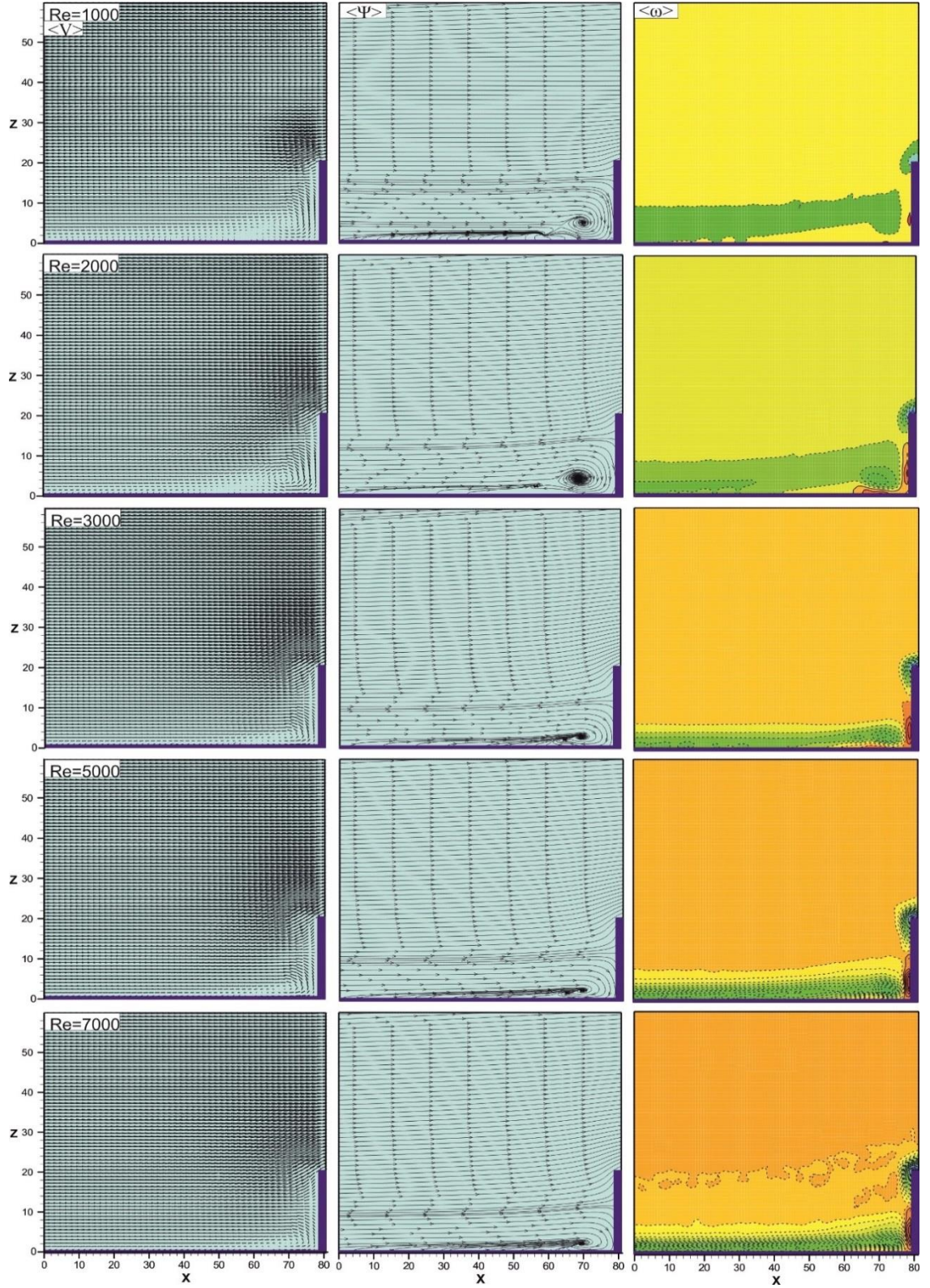
Şekil 4.8. GO=0.75 olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) alınan anlık PIV görüntüleri



Şekil 4.9. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

4.3. GO=0.5 olan Sonlu-Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri

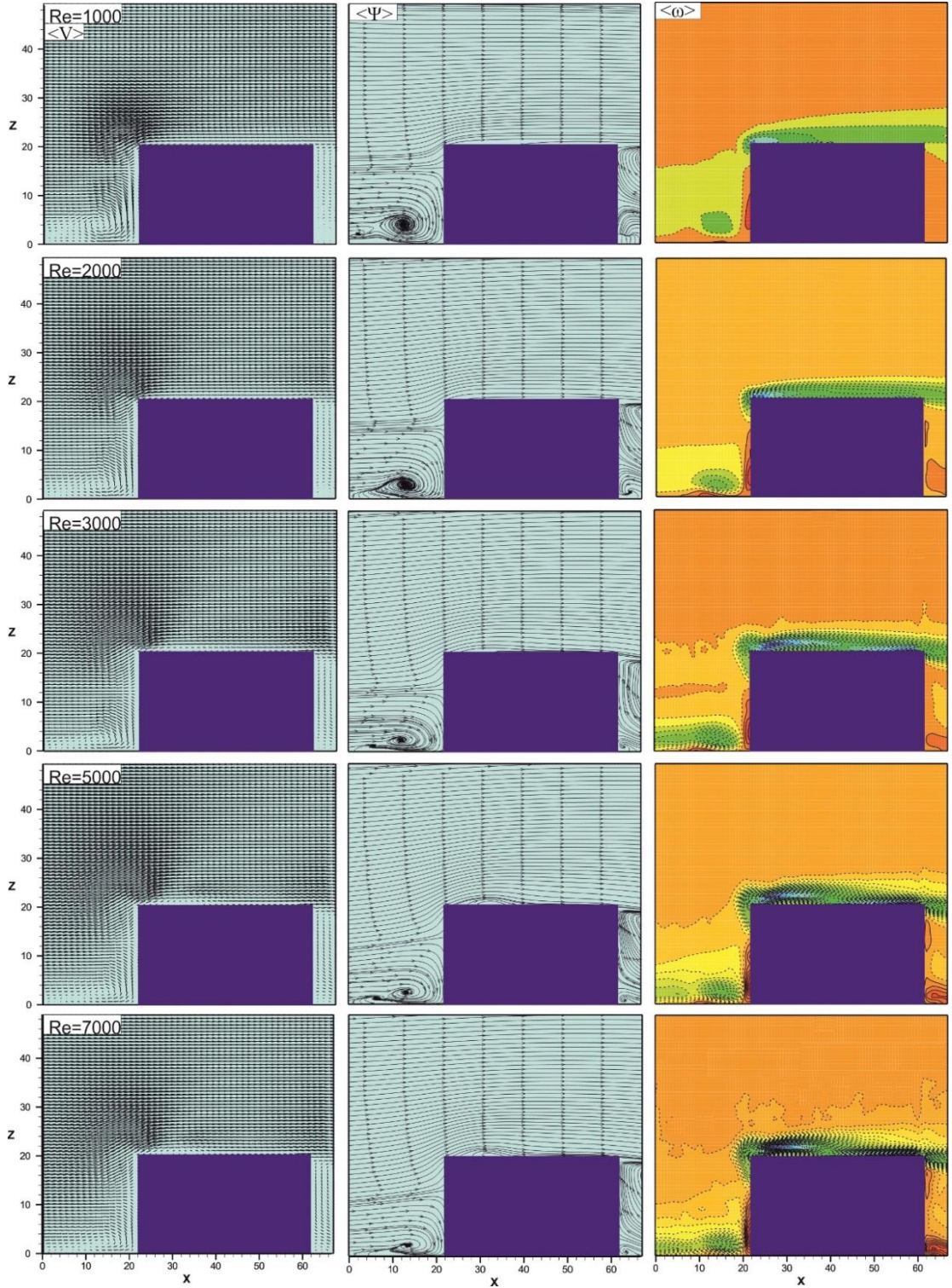
Şekil 4.10'de GO=0.5 olan sonlu-silindirin önünde silindir çapına ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerindeki zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri verilmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde, sonlu-silindir hücum kenarı yakın bölgesinde olduğu gibi hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgelerde hızların yüksek, hız vektörlerinin seyrek olduğu bölgelerde ise hızların düşük olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.10'de için her beş Reynolds sayısı için zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimleri incelendiğinde sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem arasında hızların daha düşük olduğu ve sonlu-silindir hücum kenarı çevresinde ise akış hızının daha yüksek olduğu açıkça görülebilmektedir. Ayrıca sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem kesişme yerinde bir ters akış bölgesi olduğu gözlemlenmektedir. Oluşan bu ters akış bölgesi akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerinde daha rahat bir şekilde gözlemlenebilmektedir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmi incelendiğinde soldan sağa doğru hareket eden akış, silindir cidarı ile karşılaştığında cidar yüzeyde bir durma noktası oluşturarak zemin düzleme ve sonlu-silindir hücum kenarına doğru ikiye ayrılır. Sonlu-silindir cidarında oluşan durma noktası $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 için sırasıyla $z/D=0.42, 0.37, 0.30, 0.29, 0.29$ konumlarında meydana gelmektedir. Şekil 4.3'da oluşan durma noktası tüm Reynolds sayılarında yaklaşık aynı konumda oluşurken Şekil 4.10'de Reynolds sayısının büyümesiyle zemin düzleme doğru yaklaştığı görülmektedir. Durma noktasından ayrılarak zemin düzleme doğru hareket eden akış, sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem arasında bir adet saat yönünde dönen negatif bir girdap oluşturmaktadır. Krajnovic (2011)'in H_1 , Baker (1980)'in 1 olarak adlandırdığı birincil ANG Reynolds sayısının büyümesiyle çapı küçülmemekte ve boyuna sünmektedir. Ayrıca ANG merkezi Reynolds sayısının artmasıyla zemin düzlemine doğru yaklaşmaktadır. Şekil 4.10'deki girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimlerine baktığımızda $Re_d=1000$ değerinde sonlu-silindir hücum kenarında ve sonlu-silindir ile zemin düzlem arasında birer adet saat yönünde dönen negatif girdabın varlığı görülmektedir. $Re_d=2000$ değerinde ise $Re_d=1000$ 'de oluşan girdapların girdap eş düzey eğrilerinin $\langle \omega \rangle$ arttığı ve bunların yanında silindir cidarı ile zemin düzlem arasında birincil ANG'ın alt kısmında silindir cidarında zemin düzlem yukarı akım tarafına doğru uzanan saat yönünün tersine dönen pozitif bir girdap görülmektedir.



Şekil 4.10. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

$Re_d=3000$ değerindeki girdap eş düzey eğrilerine $\langle \omega \rangle$ baktığımızda aynı girdapların oluştuğu fakat farklı olarak pozitif yönde girdabın $Re_d=2000$ 'de görülen yukarı akım tarafındaki uzantısı burada bulunmamakta ve ANG'ın daha baskın olduğu görülmektedir. Genel olarak beş Reynolds sayısı için girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimlerine baktığımızda Reynolds sayısının artmasıyla girdaplılık değerinin arttığı görülmektedir. Girdap eş düzey eğrilerin baktığımızda sonlu-silindir cidarı üzerinde yukarı akış tarafında silindir yüzeyinde oluşan pozitif girdap görülmektedir. Bu girdap $Re=2000$ değeri için sonlu-silindir yüzeyinden zemin düzleme doğru uzanmaktadır.

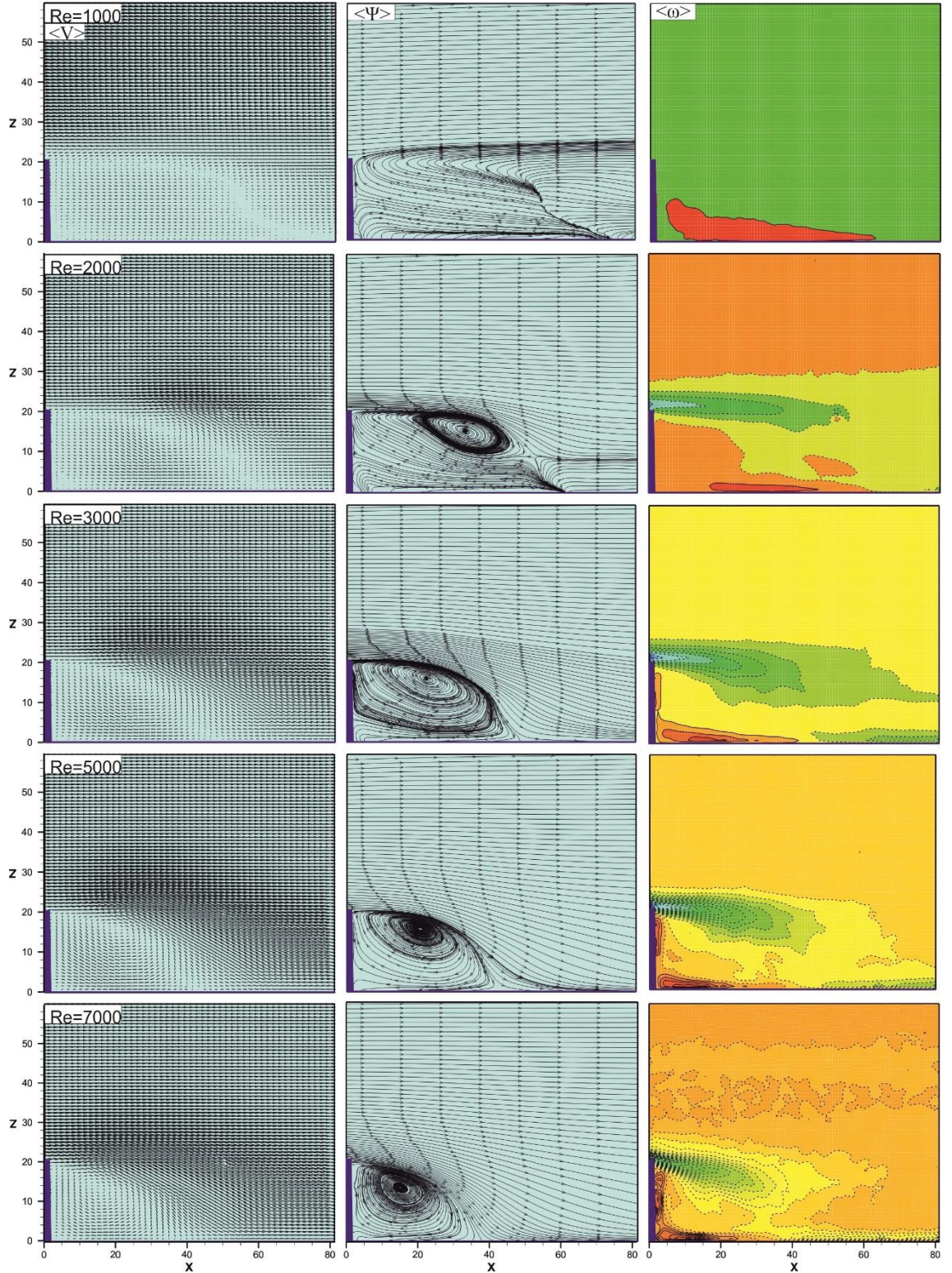
şekil 4.11'de $GO=0.5$ olan sonlu-silindir serbest ucundaki serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için soldan sağa doğru sırasıyla zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerine baktığımızda her beş Reynolds sayısı için sonlu-silindir hücum kenarı civarında hızların arttığı görülmektedir. Bunun yanında sonlu-silindir yukarı akım tarafında silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem arasında oluşan ANG yapısının varlığı fark edilebilmektedir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsünü incelediğimizde sonlu-silindir yukarı akım tarafında ( n nde) sonlu-silindir cidar yüzeyinde hücum kenarına daha yakın bölgede bir durma noktasının oluştuğu görülmektedir. Silindirik yapıyla karşılaşan akışın ikiye ayrılarak oluşturduğu durma noktasından zemin düzleme doğru yönlenen akış sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlem arasında saat yönünde dönen negatif bir girdap meydana getirmektedir. Bunun yanında oluşan bu birincil ANG yapısının yukarı akım tarafında oluşan küçük boyutlu diğer bir girdapta dikkat çekmektedir. Bu iki girdap arasında bir adet semer (saddle) noktası meydana gelmektedir. Durma noktasından sonra sonlu-silindir hücum kenarına doğru hareket eden akış, silindir serbest ucu yüzeyini süpürerek devam etmekte ve bu bölgede akış ayrılması görülmemektedir. $Re_d=1000$ değeri için girdap eş düzey eğrilerini incelediğimizde ise sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde hücum kenarından başlayarak firar kenarı doğrultusunda uzanan ve sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlemi arasında oluşan saat yönünde dönen negatif girdapların varlığı görülmektedir. Bunun dışında sonlu silindir yukarı akım tarafında, silindir cidar yüzeyinde zemine yakın bölgede bir adet saat yönünün tersine dönen pozitif bir girdap görülmektedir.



Şekil 4.11. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

$Re_d=2000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmine bakıldığında, sonlu-silindir yukarı akım tarafında birincil ANG'ın yanında oluşan ikinci bir girdap gözlemlenmemiştir. Yine $Re_d=1000$ değerinde olduğu gibi sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde herhangi bir akış ayrılması görülmemektedir. Girdap eş düzey eğrilerine $\langle \Psi \rangle$ bakıldığında, oluşan girdapların girdap eş düzey eğrilerinin arttığı ve bunun yanında sonlu-silindir yukarı akım tarafında silindir hücum kenarına yakın bölgede oluşan pozitif yönde dönen girdabın zemin düzlemine doğru uzadığı görülmektedir. Ayrıca sonlu-silindir aşağı akım tarafında biri silindir firar kenarına yakın diğeri zemin düzleme yakın bölgede oluşan iki adet saat yönünün tersi hareket eden pozitif girdapların varlığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.12'de $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında oluşan akış yapısının zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri verilmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgeler hızların yüksek, düşük olduğu bölgeler ise hızların düşük olduğunu belirtmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimleri incelendiğinde hızların sonlu-silindir serbest ucu yakın bölgesinde firar kenarında arttığı görülmektedir. Ayrıca Reynolds sayısının artmasıyla zemin düzleme doğru aşağı akım (downwash) akışının oluştuğu görülmektedir. $Re_d=1000$ değeri için sonlu-silindir akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmi incelendiğinde, silindir ön tarafında meydana gelen ANG yapısının silindir arkasındaki akışta etkisi açıkça görülmektedir. Bu etki ile sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) $x/D=1.75$ mesafesinde bir durma noktası oluşmaktadır. Oluşan durma noktasından sonra akış sonlu-silindir cidarına doğru hareket eden ve yukarı yönde hareket eden akış olarak ikiye ayrılmaktadır. Aşağı akım tarafına doğru hareket eden akış zayıf bir yukarıakım akışı (upwash) meydana getirmektedir. Sonlu-silindir cidarına doğru hareket eden akış ise silindir cidarında farklı bir durma noktası daha oluşturarak silindir serbest ucuna ve zemin düzleme doğru hareket eden iki farklı akış oluşturduğu görülmektedir. Silindir cidarında oluşan durma noktası, $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için yaklaşık olarak sırasıyla $z/D=0.25, 0.2, 0.125, 0.1, 0.1$ mesafelerinde oluşmuştur. Değerlere dikkat edilirse Reynolds sayısının büyümesiyle silindir cidar yüzeyinde oluşan durma noktasının zemin düzleme doğru yaklaştığı görülmektedir.

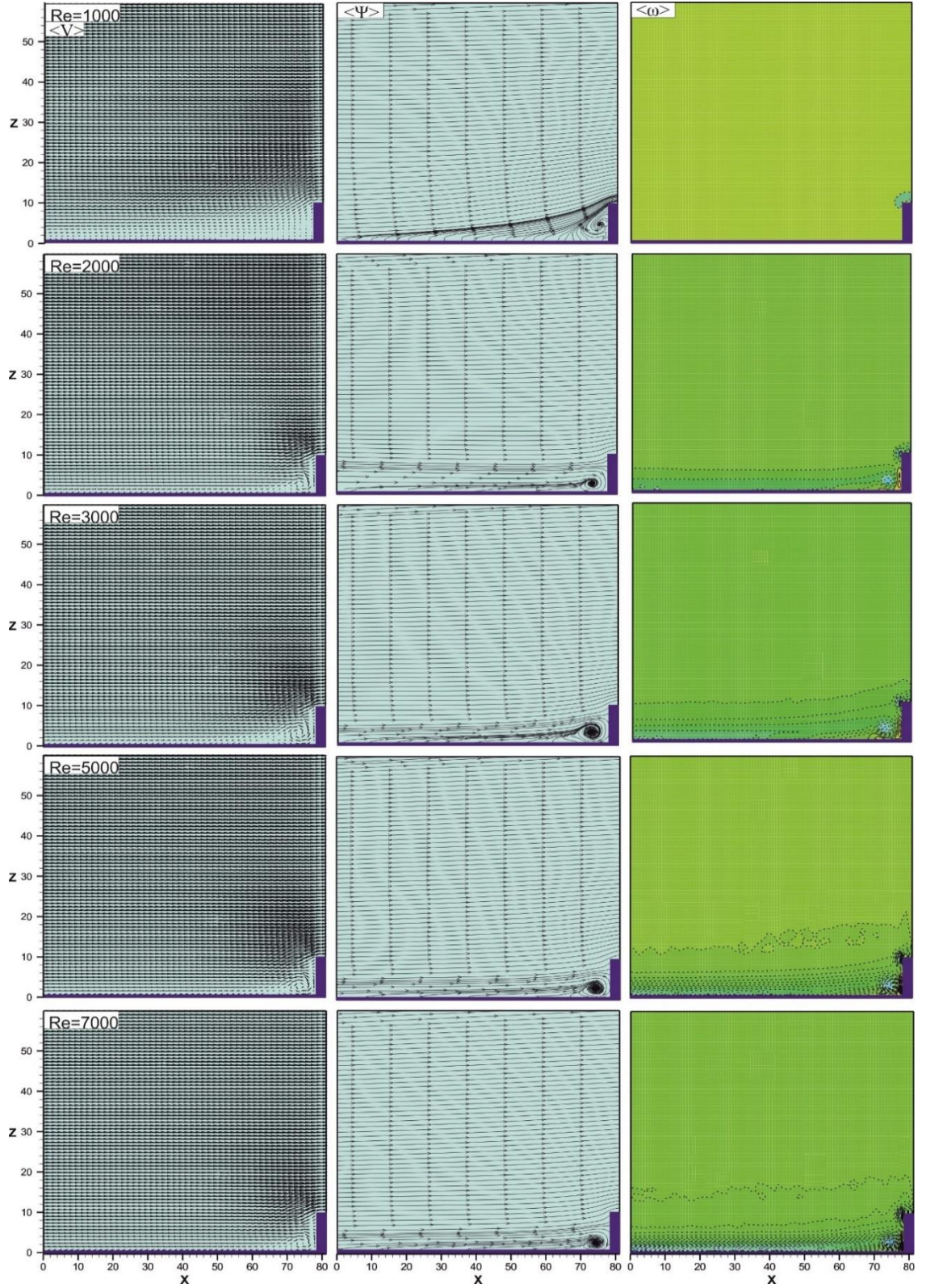


Şekil 4.12. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

Durma noktasından zemin düzleme doğru yönelen akış burada bir ters akış bölgesi oluşturmuştur. $Re_d=2000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resmine dikkat edilirse sonlu-silindir serbest ucu etkisiyle oluşan aşağıakım akışı görülmektedir. $Re_d=1000$ resminde görülen ANG yapısının etkisiyle oluşan durma noktası burada da silindire daha yakın bir bölgede meydana gelmektedir. Serbest akış bölgesi ile ters akış bölgesini ayıran kayma tabakasının altında kalan bölgede negatif yönde dönen bir girdap oluşmaktadır. Ayrıca zemin düzleme yakın bölgede ANG etkisiyle oluşan durma noktasından silindir cidarına doğru hareket eden akış pozitif yönde dönen ikinci bir girdabın oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu iki ters yönde yönelen akış yapılarının aralarında $x/D=1.3$ ve $z/D=0.225$ 'de bir adet durma noktası görülmektedir. Bu durma noktası $Re_d=2000, 3000, 5000$ ve 7000 resimlerinde görülmekte ve Reynolds sayısının artmasıyla silindir cidarına ve zemin düzleme doğru yaklaşmaktadır. $Re_d=3000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsüne baktığımızda sonlu-silindir serbest ucuna yakın kısımda oluşan Krajnovic (2011)'in B_t olarak isimlendirdiği girdabın büyüdüğü ve zemin düzlemi ile silindir cidarında oluşan N_w girdabının ise küçüldüğü görülmektedir.

4.4. GO=0.25 olan Sonlu-Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Yan Görünüşleri

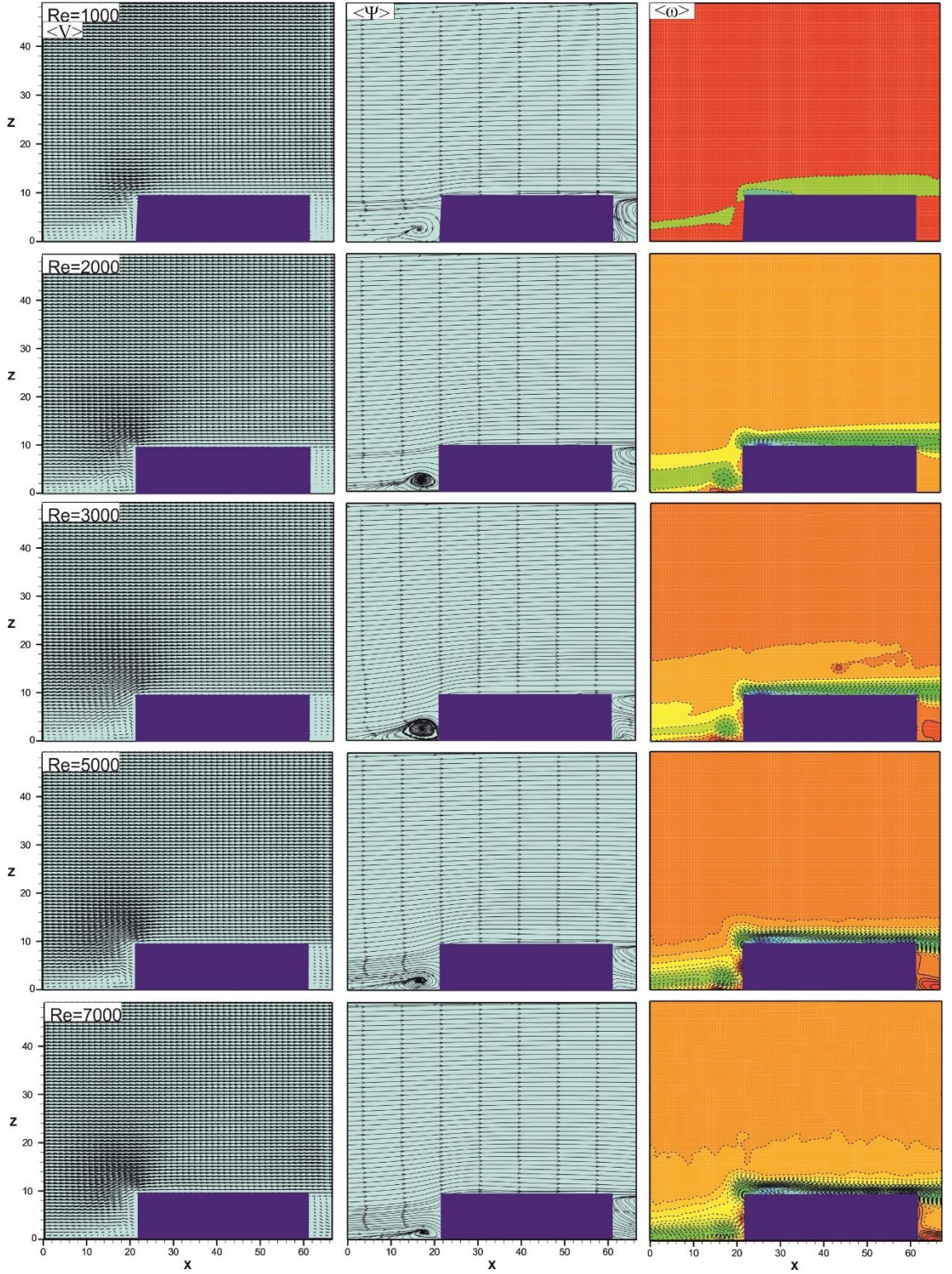
Şekil 4.13'da GO=0.25 olan sonlu-silindir önünde $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerindeki zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri verilmektedir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir hücum kenarında görüldüğü gibi hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgelerde hızların arttığı ve hız vektörlerinin seyrek olduğu bölgelerde ise hızların azaldığı veya durduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir cidarı ile zemin düzlem arasında bir ters akış bölgesi oluştuğu görülmektedir. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimleri incelendiğinde, $Re_d=2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerindeki resimlerde soldan sağa doğru hareket eden akışın silindir cidarında bir durma noktası oluşturduğu ve buradan itibaren ikiye ayrıldığı görülmektedir. Oluşan durma noktasının yeri yaklaşık olarak aynı yerdedir. Bunlardan farklı olarak $Re_d=1000$ değerindeki resimde durma noktası oluşmamaktadır. $Re_d=1000$ değerinde sonlu-silindir yukarı akım tarafında sonlu-silindir hücum kenarına doğru hareket eden bir yukarıakım (upwash) akışı dikkat çekmektedir. Tüm Reynolds sayıları için sonlu-silindir cidar yüzeyi ile zemin düzlemi arasında oluşan ANG yapısı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.13. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.25$ olan sonlu-silindir önünde (yukarı akım tarafı) oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

$Re_d=1000$ değeri için girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resmine baktığımızda, sonlu-silindir hücum kenarı yakınında bir adet saat yönünde dönen negatif girdabın varlığı görülmektedir. $Re_d=2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için girdap eş düzey eğrilerinde $\langle \omega \rangle$ $Re_d=1000$ değerinden farklı olarak birincil ANG yapısı da görülmektedir. Resimlerde Reynolds sayısının büyümesiyle girdap eş düzey eğrileri artmaktadır.

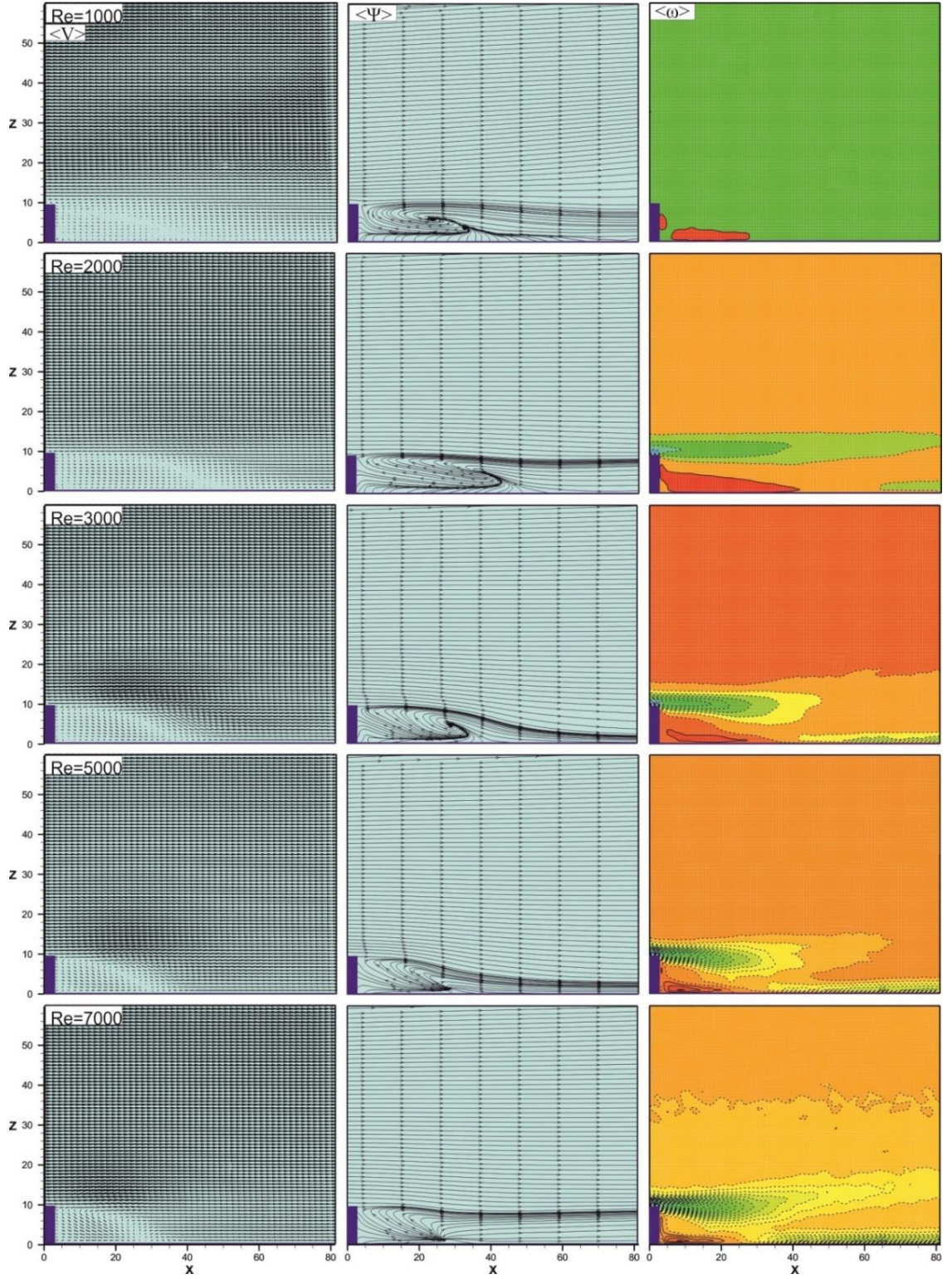
Şekil 4.14'de $GO=0.25$ olan sonlu-silindir serbest ucu üzerindeki akış yapısı, serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $1000-7000$ aralığındaki değerler için deneyler sonucunda elde edilen zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri verilmiştir. Zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerine bakıldığında sonlu-silindir serbest ucu hücum kenarı civarında hız vektörlerinin daha fazla olduğu ve dolayısıyla bu bölgelerde hızların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimleri incelendiğinde bu çalışmada araştırılan diğer GO 'na sahip sonlu-silindirler farklı olarak sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde akış ayrılmasının olmadığı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla sonlu-silindir serbest ucu yüzeyinde ayrılma baloncuğu oluşumu gözlemlenmemiştir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsüne bakıldığında sonlu-silindir ön yüzeyi ile karşılaşan akışın silindir yüzeyinden zemin düzleme doğru hareket ederek bir ters akış bölgesi oluşturduğu ve burada birincil ANG girdabın meydana geldiği görülmektedir. Oluşan bu girdabın $Re_d=1000-3000$ değerleri arasında Reynolds sayısının büyümesiyle etkisinin arttığı, $Re_d=3000-7000$ değerleri arasında ise yukarı akım boyunca sündüğü görülmektedir. $GO=0.75$ ve 0.5 olan sonlu-silindir PIV görüntülerinde silindir önünde açık bir şekilde görülebilen durma noktası $GO=0.25$ olan sonlu-silindirde görülmemektedir. Ancak $Re_d=5000$ ve 7000 değerlerinde tam olarak durma noktası tespit edilememesine rağmen akışın sonlu-silindir serbest ucuna ve zemin düzleme doğru ikiye ayrıldığı fark edilebilmektedir. Şekil 4.14'de girdap eş düzey eğrilerini $\langle \omega \rangle$ incelediğimizde, $Re_d=1000$ değerinde sonlu-silindir önünde ve serbest ucu yüzeyinde iki adet negatif yönde dönen girdabın varlığı görülmektedir. Bu girdapların Reynolds sayısının büyümesiyle girdaplılık değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bunun dışında $Re_d=2000$ değerinde sonlu-silindir arkasında zemin düzleme yakın bölgede bir adet pozitif yönde dönen girdap mevcuttur. Bu girdap Reynolds sayısının büyümesiyle sonlu-silindir cidar yüzeyine doğru uzayarak büyümektedir.



Şekil 4.14. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.25$ olan sonlu-silindir serbest ucu bölgesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

Genel olarak bakıldığında Reynolds sayısının büyümesiyle girdaplılık değerinin arttığı görülmektedir.

GO=0.25 olan sonlu-silindirin arkasında oluşan akış yapısının serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_d=1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerlerinde PIV tekniği ile elde edilmiş görüntüleri şekil 4.15’de verilmiştir. Şekil 4.15’de soldan sağa doğru sırasıyla ilk sütunda zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, ikinci sütunda akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve son sütunda da girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmektedir. İlk sütunda verilen zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir firar kenarı yakın bölgesinde görüldüğü gibi hız vektörlerinin yoğun olduğu yerlerde hızların yüksek olduğu anlaşıyorken sonlu-silindir arka bölgesindeki gibi hız vektörlerinin daha az olduğu yerlerde ise hızların yavaş olduğu anlaşılmaktadır. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerine bakıldığında $Re_d=3000$ değerinde sonlu-silindir arkasında oluşan aşağıakım akışı açıkça görülmektedir. Tüm Reynolds sayıları için ölü akış bölgesi ile serbest akış bölgesini birbirinden ayıran kayma tabakası görülmektedir. Girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimleri incelendiğinde $Re_d=1000$ değerinde sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) silindir cidar yüzeyinde ve zemin düzlem üzerinde olmak üzere iki adet pozitif girdabın varlığı görülmektedir. $Re_d=2000$ değerinde bu iki girdap tek girdap olarak zemin düzlemden sonlu-silindir cidar yüzeyinden serbest uca doğru uzanmaktadır. Ayrıca $Re_d=1000$ değerinde görülmeyen sonlu-silindir firar kenarından silindir arkasına doğru uzanan negatif girdabın varlığı dikkat çekmektedir. Reynolds sayısının büyümesiyle sonlu-silindir arkasında oluşan girdapların girdaplılık değeri artmaktadır.

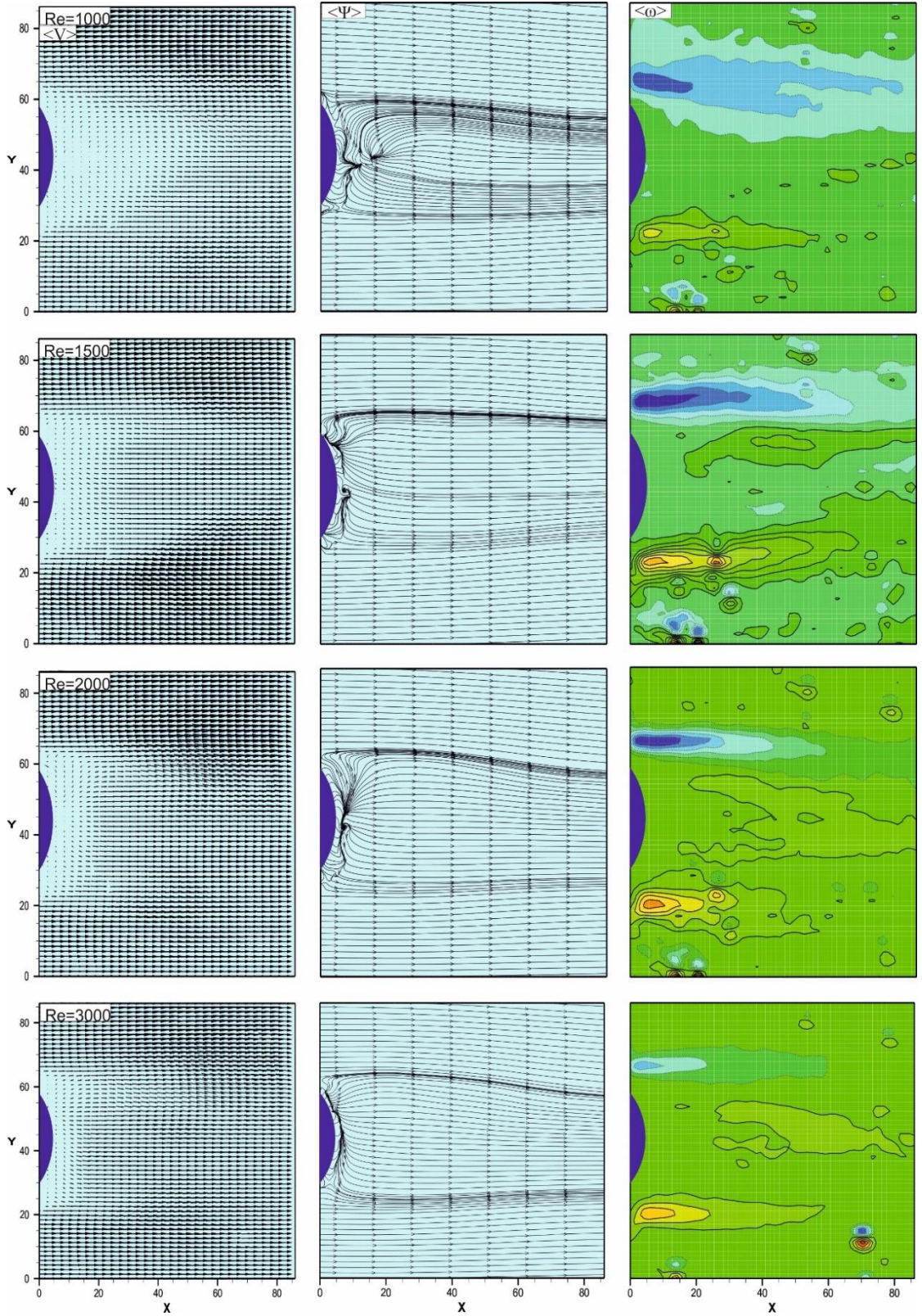


Şekil 4.15. $Re_d=1000-7000$ aralığında, $GO=0.25$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı) oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

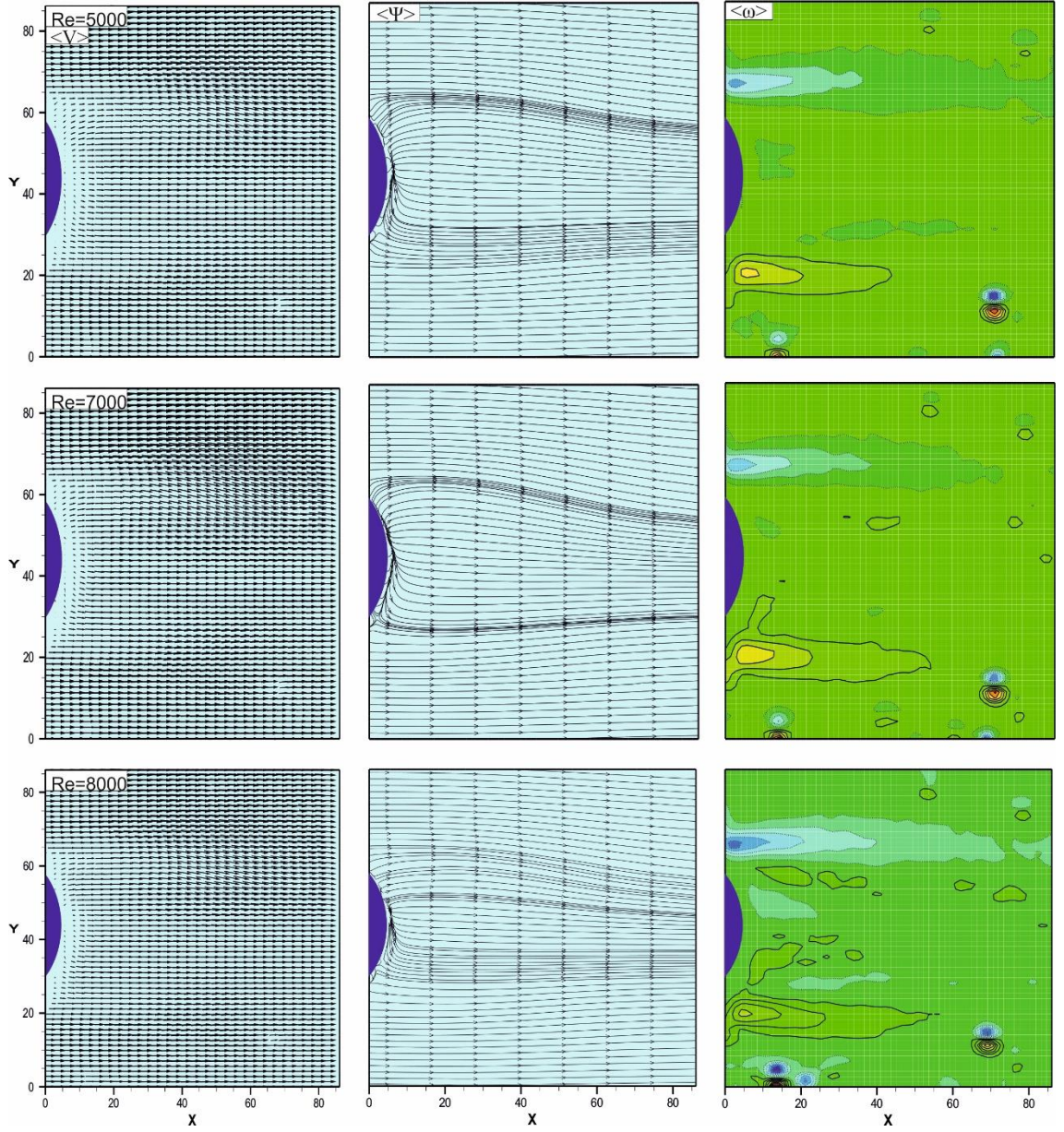
4.5. Sonlu-Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Üst Görünüşleri

Bu bölümde PIV tekniği ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ üstten görünüş resimleri verilmiştir. Yapılan çalışmada silindir tabanında ($z/h=0.0$ mesafesinde), silindir orta bölgesinde ($z/h=0.5$ mesafesinde) ve silindir üst kısmında yani silindir serbest ucu mesafesindeki ($z/h=1.0$ mesafesinde) sonlu silindir arkasında oluşan akış yapısı resimleri incelenmiştir. Soldan sağa doğru sütunlar sırasıyla zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmiştir. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla silindir çapına ve serbest akış hızına bağlı Reynolds sayısı 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000 ve 8000 değerleri için veriler sunulmuştur. Resimlerin tümünde akış yönü soldan sağa doğrudur.

$GO=0.75$ olan sonlu silindirin aşağı akım yönünde (arka tarafında) üst tarafında ($z/h=1.0$) oluşan akış yapısı $Re_d=1000-8000$ değerleri için elde edilen zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16'de zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerine baktığımızda hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgelerde akış hızının arttığı, hız vektörlerinin seyrek olduğu bölgelerde ise akış hızlarının azaldığı anlaşılmaktadır. Burada akış karşısında bir engel oluşturan sonlu silindir etkisiyle sonlu-silindir arka bölgesinde orta bölgede hızın düşük olduğu, buna karşın sonlu-silindir alt ve üst yan yüzeylerinde hızların daha yüksek olduğu görülmektedir. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerini incelediğimizde ise sonlu-silindir yan yüzeylerinin etkisi görülmektedir. Bu etkinin Reynolds sayısının büyümesiyle azaldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca sonlu-silindir arkasında meydana gelen akış yapısı Reynolds sayısının büyümesiyle daha simetrik bir hale gelmiştir. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerinde, sonlu-silindir arkasında akışta serbest akış bölgesi ile ölü akış bölgesini birbirinden ayıran kayma tabakası açıkça görülmektedir. Girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimlerine baktığımızda sonlu-silindir üst ve alt yüzeylerinin aşağı akım uzantı bölgelerinde iki adet girdabın varlığı görülmektedir. Reynolds sayısının büyümesiyle girdaplılık değerinin arttığı ve oluşan akış yapısının daha düzenli olduğu anlaşılmaktadır.

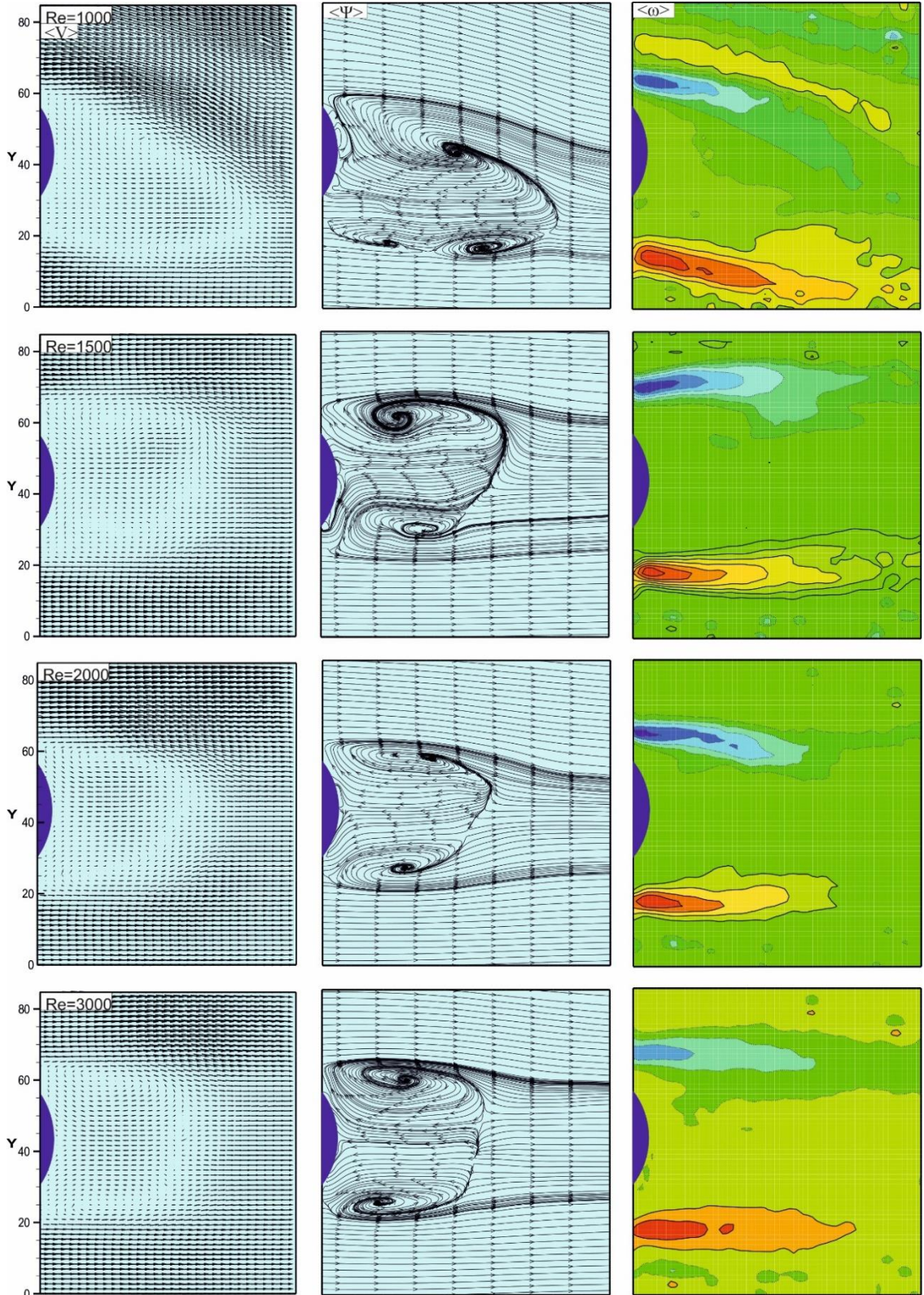


Şekil 4.16. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=1.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

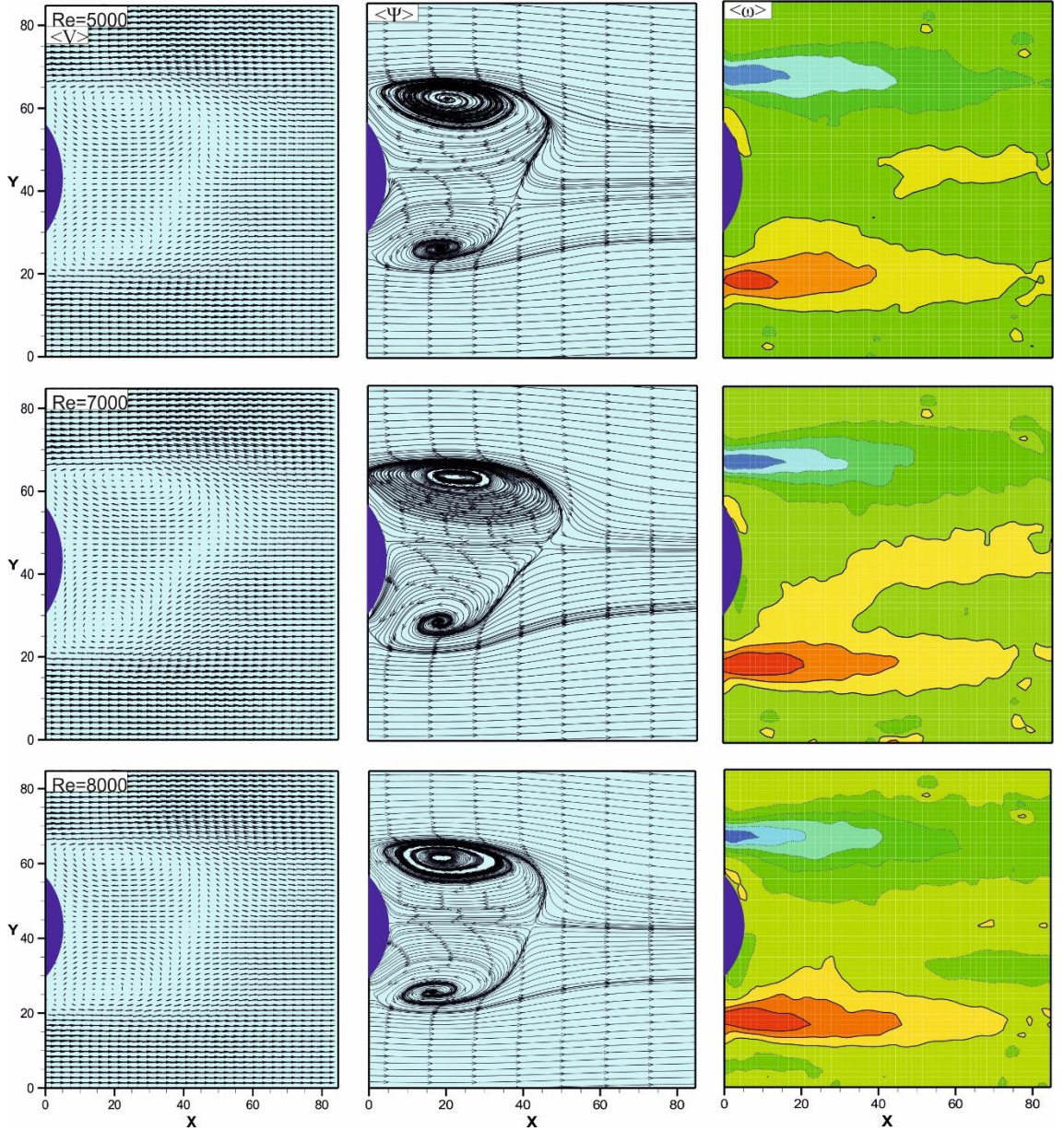


Şekil 4.16. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=1.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

Şekil 4.17’de $GO=0.75$ olan sonlu-silindirin $z/h=0.5$ mesafesinde $Re_d=1000-8000$ değerleri aralığında aşağı akım tarafında akış yapısı ile ilgili zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ resimleri verilmektedir. Şekil 4.17’e baktığımızda yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000$ ve 8000 değerleri ve soldan sağa doğru sırasıyla zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri sunulmuştur. İlk sütunda yer alan zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde sonlu-silindir etrafında oluşan akışın hızlarıyla ilgili fikir sahibi olmak mümkündür. Resimlerde hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgeler, hız vektörlerinin seyrek olduğu bölgelere göre hızların daha yüksek olduğunun ifade etmektedir. Bu çerçevede zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerine baktığımızda $Re_d=1000$ değerinde diğer Reynolds değerlerinden farklı olarak sonlu-silindir üst yan yüzeyinden aşağı akım tarafına doğru uzanan bölgede akış hızının yüksek olduğu ve bu hızın silindir orta bölgesine doğru uzandığı görülmektedir. $Re_d=1000$ değeri için ikinci sütunda yer alan akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsü incelendiğinde sonlu-silindir üst tarafından ayrılan akışın silindir arkasında saat yönünde dönen negatif bir girdabı meydana getirdiği görülmektedir. Bu girdabın merkezinde bir adet foci noktası bulunmaktadır. Benzer şekilde sonlu-silindir alt tarafından ayrılan akışında silindir arka bölgesinde ters akış bölgesi meydana getirdiği, fakat oluşan ters akış bölgesi içerisinde farklı olarak iki adet foci noktası dikkat çekmektedir. $Re_d=1000$ değerinde sonlu-silindir arkasında sonlu-silindir alt tarafından gelen akışın oluşturduğu iki adet foci noktasının arasında bir durma noktası olduğu görülmektedir. Diğer Reynolds değerlerinde, sonlu-silindir alt tarafından gelen akış bir foci noktası oluşturmakta ve $Re_d=1000$ değerinde oluşan bu durma noktası diğer değerlerde görülmemektedir. Tüm Reynolds değerlerinde gözlemlenen diğer bir durma noktası ise sonlu-silindir üst ve alt kısımlarından gelen akışların oluşturduğu birbirine ters yönde hareket eden girdapların arasından olduğu görülmektedir. Birbirine ters yönde dönen bu iki girdabın arasında oluşan bu durma noktası $Re_d=1000-7000$ değerleri arasında Reynolds sayısının artmasıyla sonlu-silindir cidar yüzeyine doğru yaklaşmaktadır. Fakat $Re_d=7000$ değerine baktığımızda oluşan durma noktası $Re_d=5000$ değerinde oluşan durma noktasına göre sonlu-silindir cidar yüzeyine daha uzak bir mesafede oluşmaktadır. $Re_d=7000$ ile 8000 değerleri arasında ise yine sonlu-silindir cidar yüzeyine yaklaşmıştır.



Şekil 4.17. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

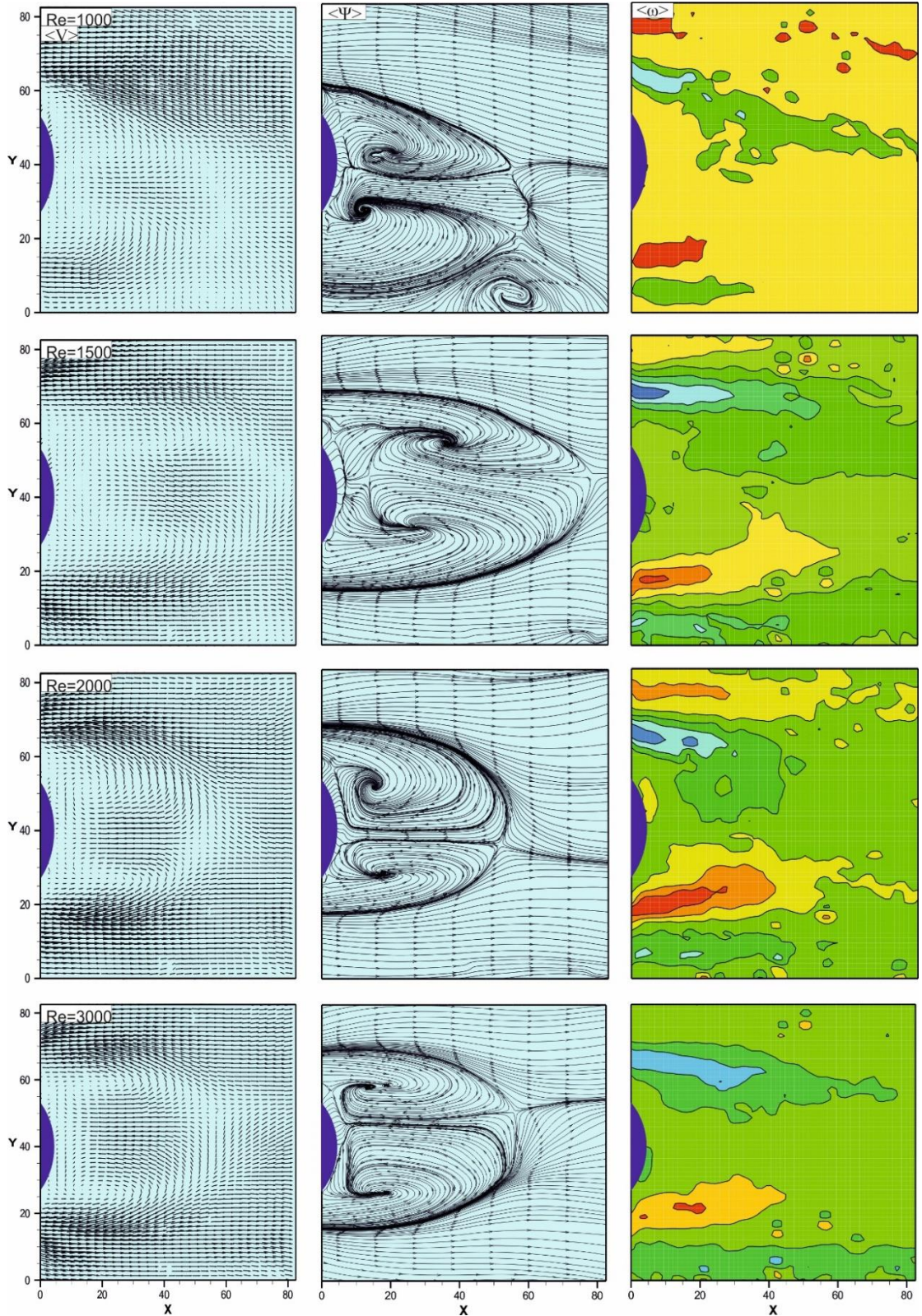


Şekil 4.17. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

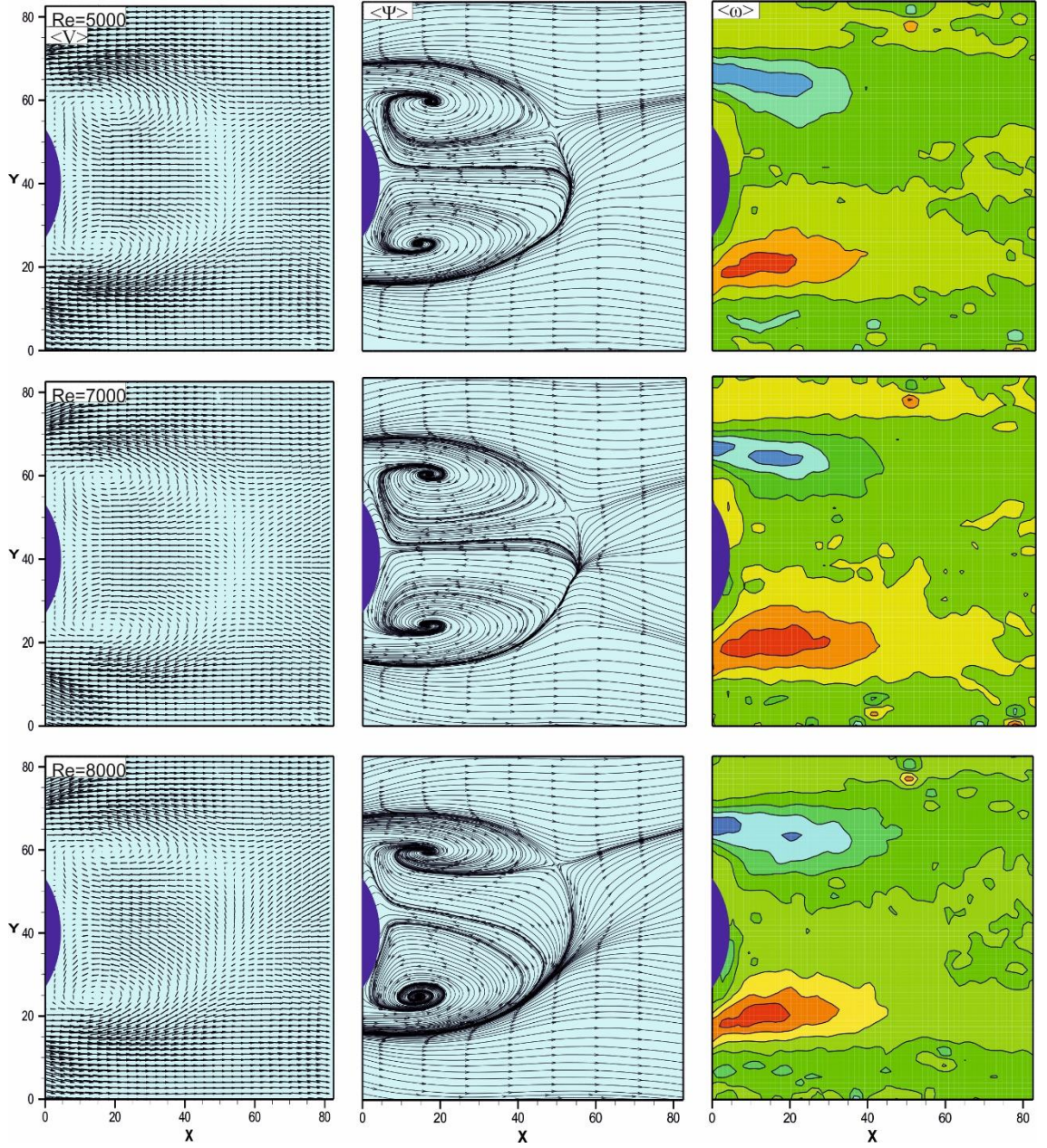
Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resimlerine baktığımızda, Reynolds sayısının büyümesiyle sonlu-silindir arkasında oluşan akış yapısının daha düzenli bir hal aldığı görülmektedir. $Re_d=5000, 7000$, ve 8000 değerlerinde sonlu-silindir üst tarafından oluşan girdabın daha baskın olduğu görülmektedir. Oluşan iki girdabın birbirine göre farklı büyüklüklerde oluşması ve $z/h=0.0$ mesafesindeki resimlerde görülmeyen düzensizlik ve karmaşık akış yapısı sonlu-silindir serbest ucu etkisinin $z/h=0.5$ mesafesinde daha belirgin olduğunu göstermektedir. Girdap eş düzey eğrilerine bakıldığında sonlu-silindir üst ve alt kısımlarında ters akış bölgeleri görülmektedir. Tüm Reynolds sayılarında bu bölgelerde

birbirine zıt yönde hareket eden biri negatif diğeri pozitif iki adet girdap görülmektedir. $Re_d=5000, 7000$ ve 8000 değerlerinde sonlu-silindir cidar yüzeyine yakın üst tarafta saat yönünde dönen bir girdabın varlığı dikkat çekmektedir. Bu girdap Reynolds sayısının büyümesiyle küçülmektedir.

Şekil 4.18’de $GO=0.75$ olan sonlu-silindir üzerindeki akış yapısı $Re_d=1000-8000$ değerleri arasında $z/h=0.0$ mesafesinde üstten görünüş görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.18.’de soldan sağa doğru sırasıyla zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ ve yukarıdan aşağıya doğru $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000, 8000$ değerleri için görüntüler verilmiştir. Zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ resimlerinde hız vektörlerinin yoğun olduğu bölgeler hızların yüksek, seyrek olduğu bölgeler ise düşük olduğunu ifade etmektedir. $Re_d=1000$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsüne bakıldığında sonlu-silindir alt bölgesi yan yüzeyinden gelen akışın oluşan kayma tabakası boyunca devam eden ANG’ın da etkisiyle yukarı ve aşağıya doğru ikiye ayrıldığı görülmektedir. Yukarı yönlene akış saat yönünün tersi yönünde ortasında bir adet foci noktasının olduğu negatif bir girdap meydana getirmektedir. Diğer tarafa yönlene akış ise saat yönünde hareket ederek bu bölgede bir ters akış meydana getirmiştir. Sonlu-silindir üst yan yüzeyinden ayrılan akış aşağıya doğru yönlenecek saat yönünde hareket eden ve ortasında bir adet foci noktasının bulunduğu pozitif bir girdap oluşturmaktadır. Dikkat edilirse oluşan bu iki girdabın arasında bir iki adet durma noktası görülmektedir. Bu durma noktaları sırasıyla $x/D=1.1375, 1.475$ ve $y/D=0.95, 0.45$ noktalarında meydana gelmektedir. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ resminde serbest akış bölgesi ile ters akış bölgesini birbirinden ayıran kayma tabakası açıkça görülmektedir. $Re_d=1500$ değeri için akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüsü incelendiğinde sonlu-silindir cidar yüzeyine yakın iki adet ve cidar yüzeye daha uzakta konumlanan bir adet durma noktası görülmektedir. Bu noktalar yaklaşık olarak sırasıyla $x/D=0.075, 0.25, 1.9$ ve $y/D=1.4, 1.125, 1.225$ noktalarında oluşmaktadır. $x/D=1.9$ ve $y/D=1.225$ noktasında meydana gelen durma noktası diğer Reynolds sayılarında da gözlemlenmektedir.



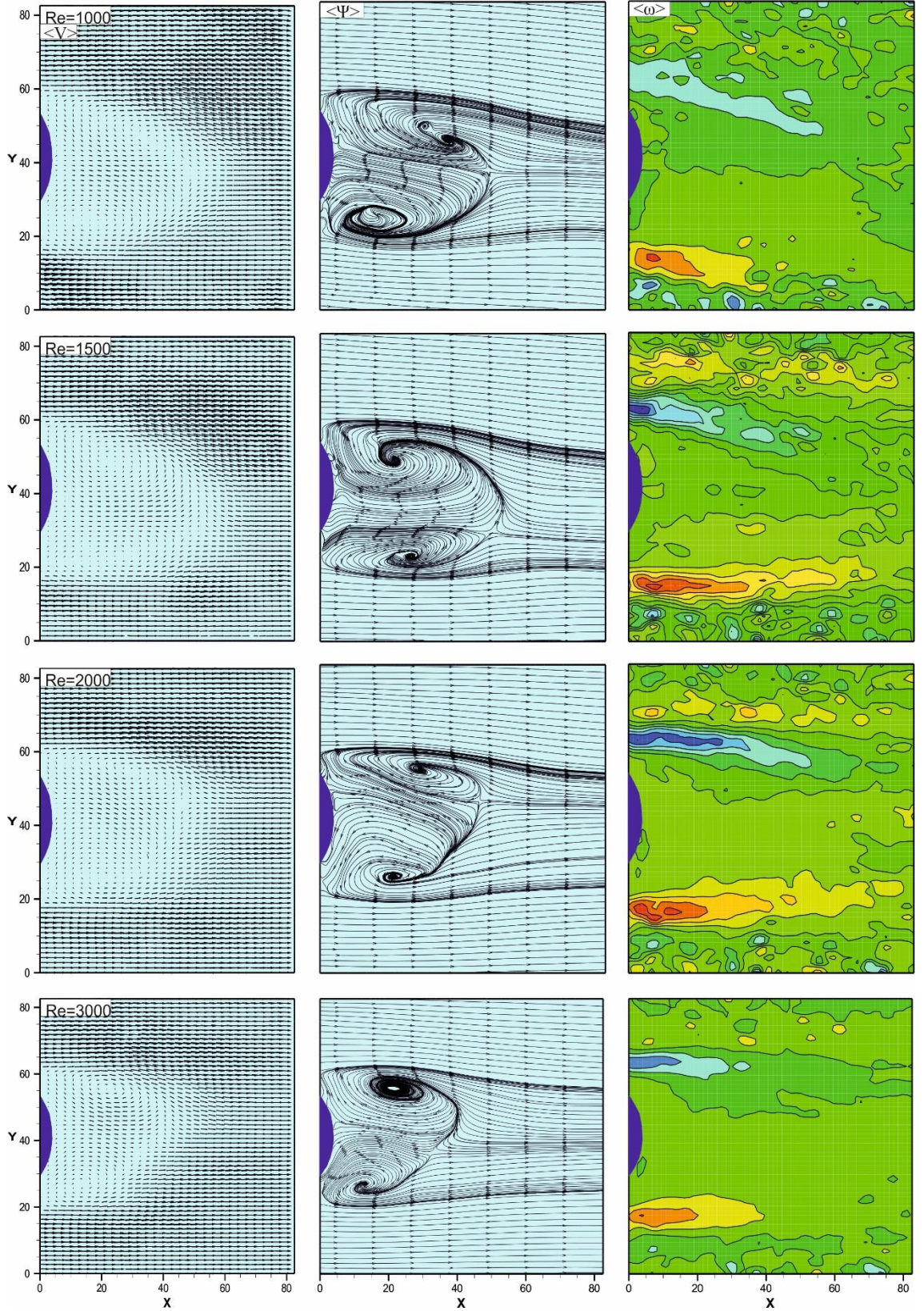
Şekil 4.18. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



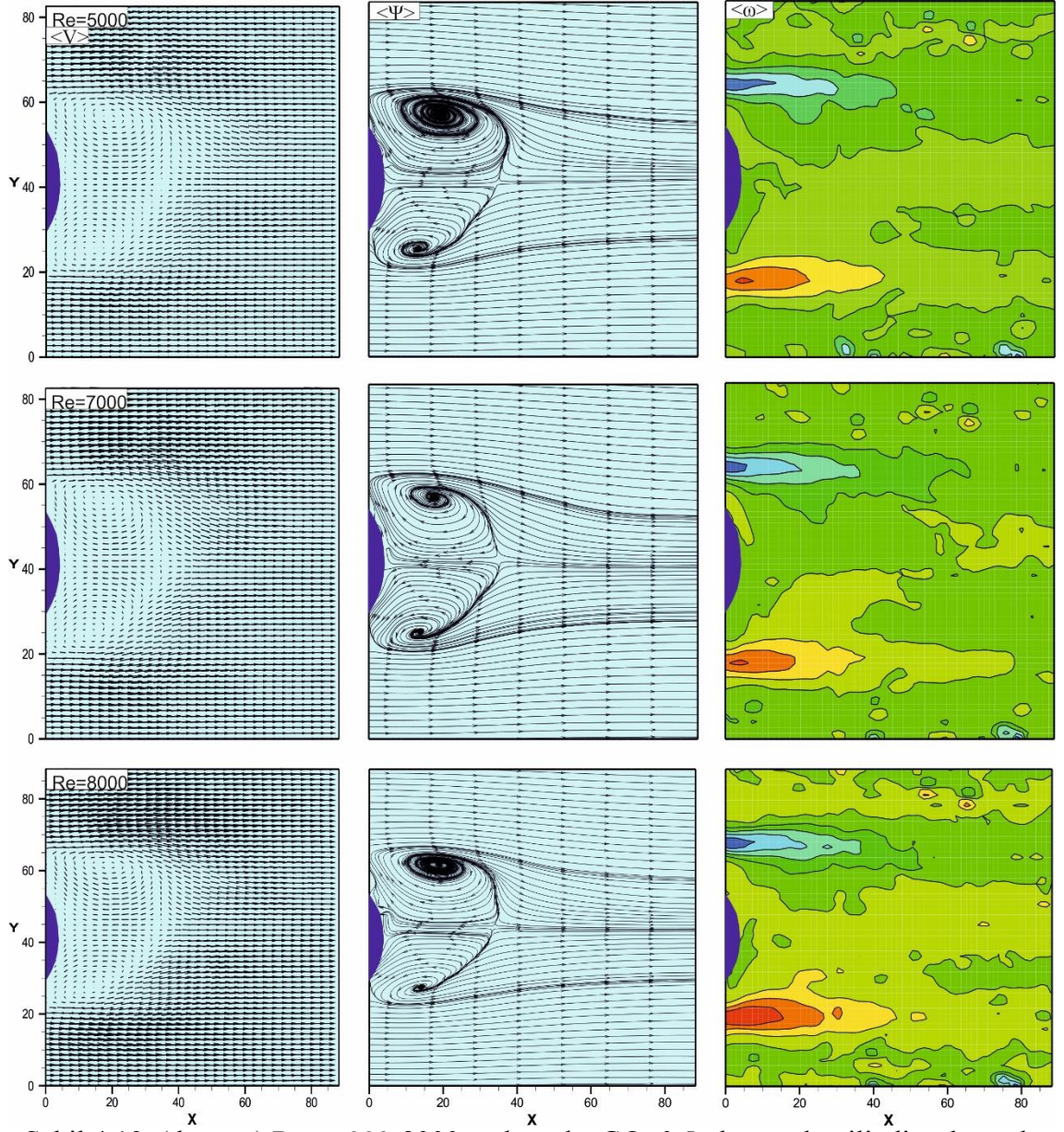
Şekil 4.18. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.75$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

Bu durma noktası $Re_d=1500-5000$ değerleri aralığında sonlu-silindir cidar yüzeyine yaklaşırken $Re_d=5000-8000$ aralığında ise yaklaşık olarak sonlu-silindir cidar yüzeyine olan mesafeleri değişmemektedir. Dikkat edilirse $z/h=0.5$ mesafesindeki görüntülerde görülen sonlu-silindir serbest ucu etkisinden kaynaklı sonlu-silindir arkasında oluşan düzensiz akış yapısı $z/h=0.0$ mesafesinde daha düzenli bir hal almış ve dolayısıyla serbest uç etkisinin azaldığı görülebilmektedir. Girdap eş düzey eğrileri $\langle\omega\rangle$ resimlerine baktığımızda daha önce de bahsedilen iki adet farklı yönde dönen girdabın varlığı görülmektedir. Ayrıca Reynolds sayısının büyümesiyle girdaplılık değerinin arttığı görülmektedir.

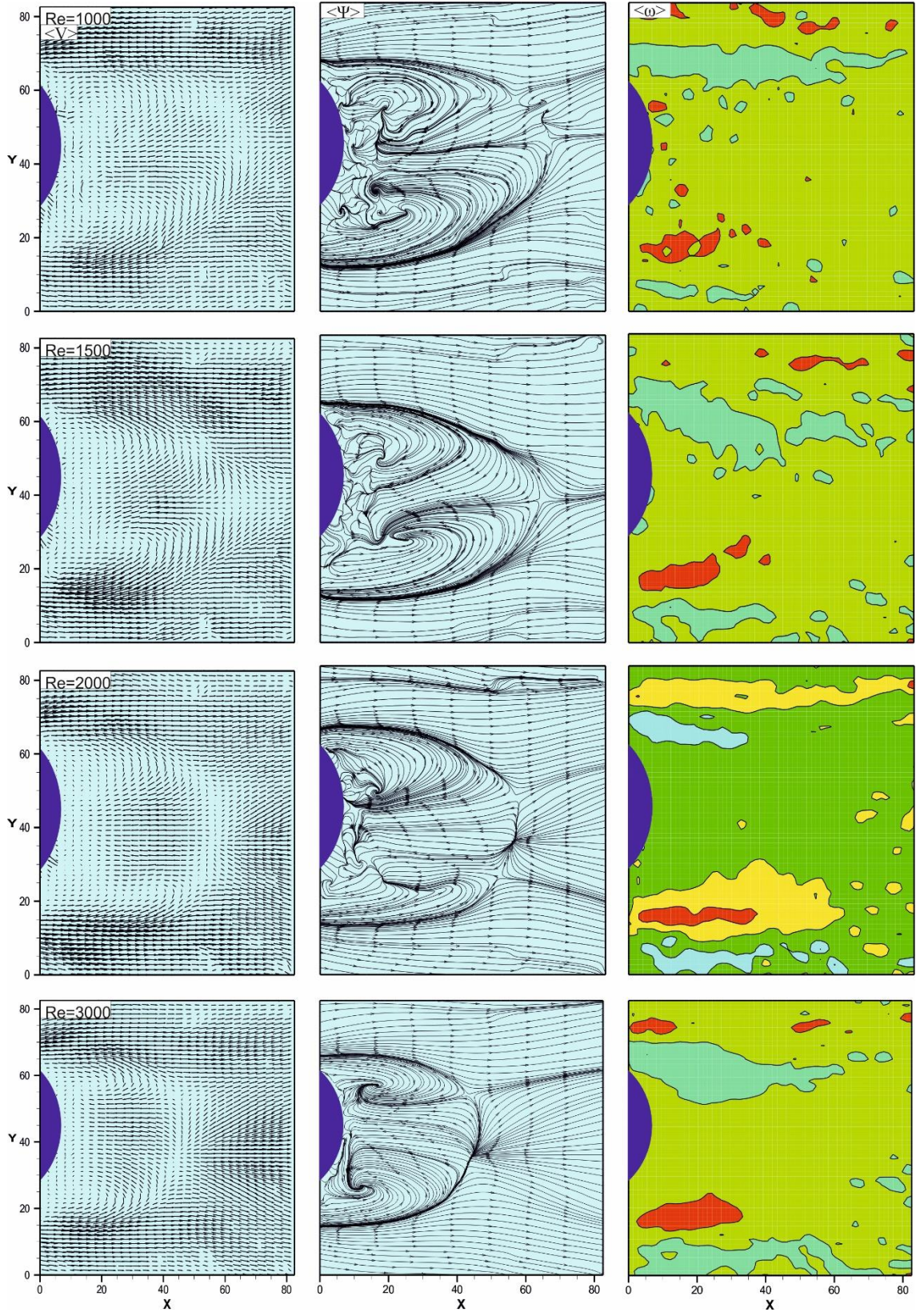
şekil 4.19’da $GO=0.5$ olan sonlu-silindirin arkasında $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman-ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri resimleri verilmiştir. Akım çizgileri resimleri incelendiğinde $Re_d=1000$ değerinde silindir üst tarafından ayrılarak gelen akışın iki adet foci noktası oluşturduğu görülmektedir. Diğer tüm Reynolds sayılarında silindir üst tarafında bir adet foci noktası oluşmaktadır. Resimlerde silindir üst tarafından gelen akışın oluşturduğu foci noktası saat yönünde hareket ederken, silindir alt tarafından gelerek oluşan foci ise saat yönünün tersine hareket etmektedir. Yine $GO=0.75$ olan sonlu-silindirde görüldüğü gibi burada da oluşan bu iki adet foci noktasının arasında bir adet durma noktası meydana gelmektedir. Oluşan bu durma noktasının konumu girdapların durumuna göre değişmektedir. Akım çizgileri resimlerine bakıldığında üst ve alt tarafta oluşan girdapların simetrik olmadığı ve sürekli değişerek birbirlerine karşı baskın olduğu görülmektedir. Buradaki simetrik ve düzenli olmayan yapının oluşma sebebi sonlu-silindir serbest ucundan kaynaklanan aşağı akım akışı olarak gösterilmektedir. Bu etki silindir tabanında etkisini azaltmıştır (şekil 4.20). şekil 4.20 incelendiğinde silindir tabanında ($z/h=0.0$) daha simetrik yapılar görülmekle birlikte, şekil 4.21’de $GO=0.25$ olan sonlu-silindirde ise $GO=0.5$ olan silindire nazaran yüksek Reynolds sayılarında daha simetrik bir yapı görülmektedir. Fakat şekil 4.21’de düşük Reynolds sayılarında sonlu-silindir arkasında daha karmaşık bir yapı gözlenmiştir. Reynolds sayısının büyümesiyle silindir arkasında oluşan girdaplar daha düzenli bir hal almaktadır.



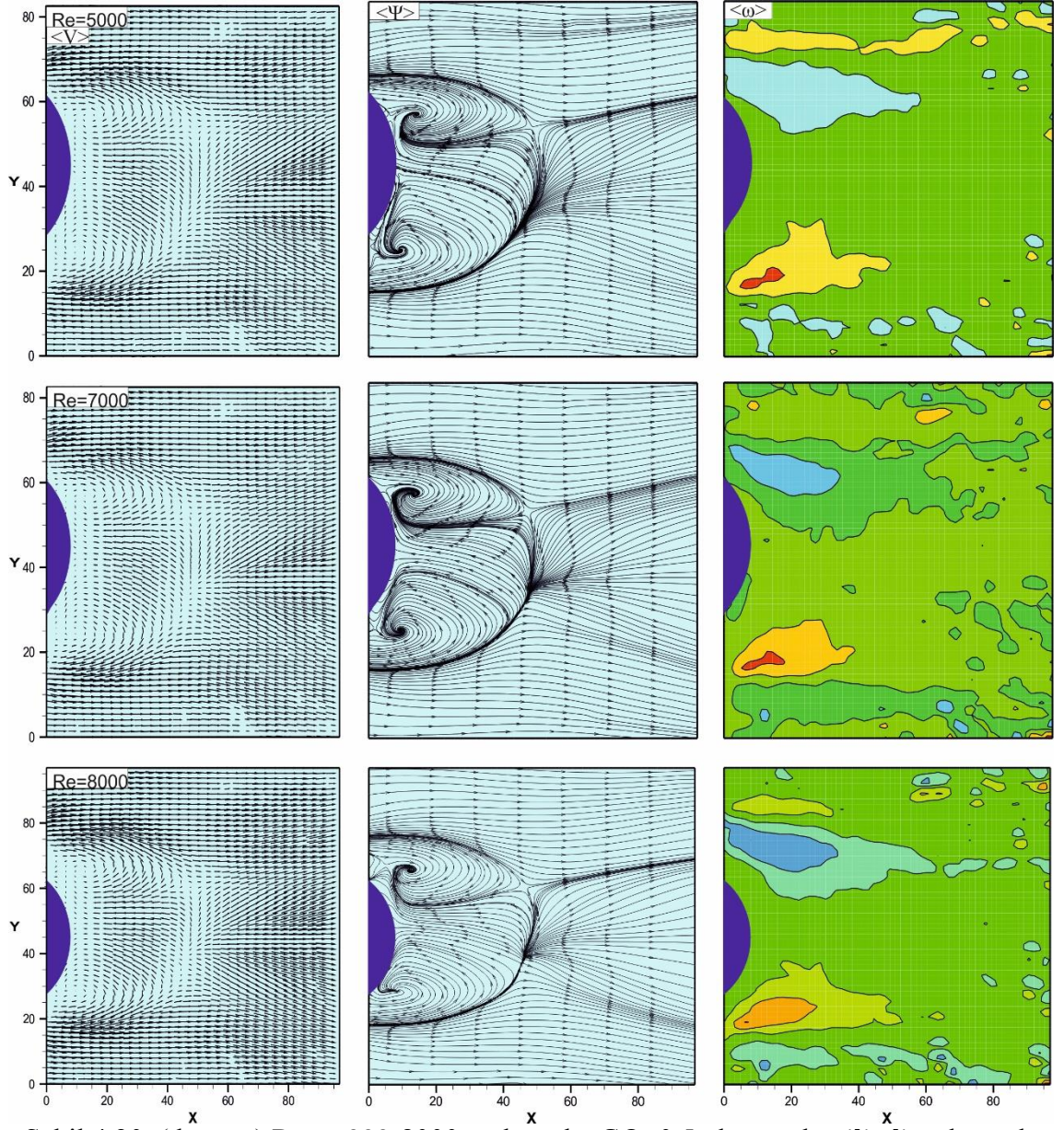
Şekil 4.19. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



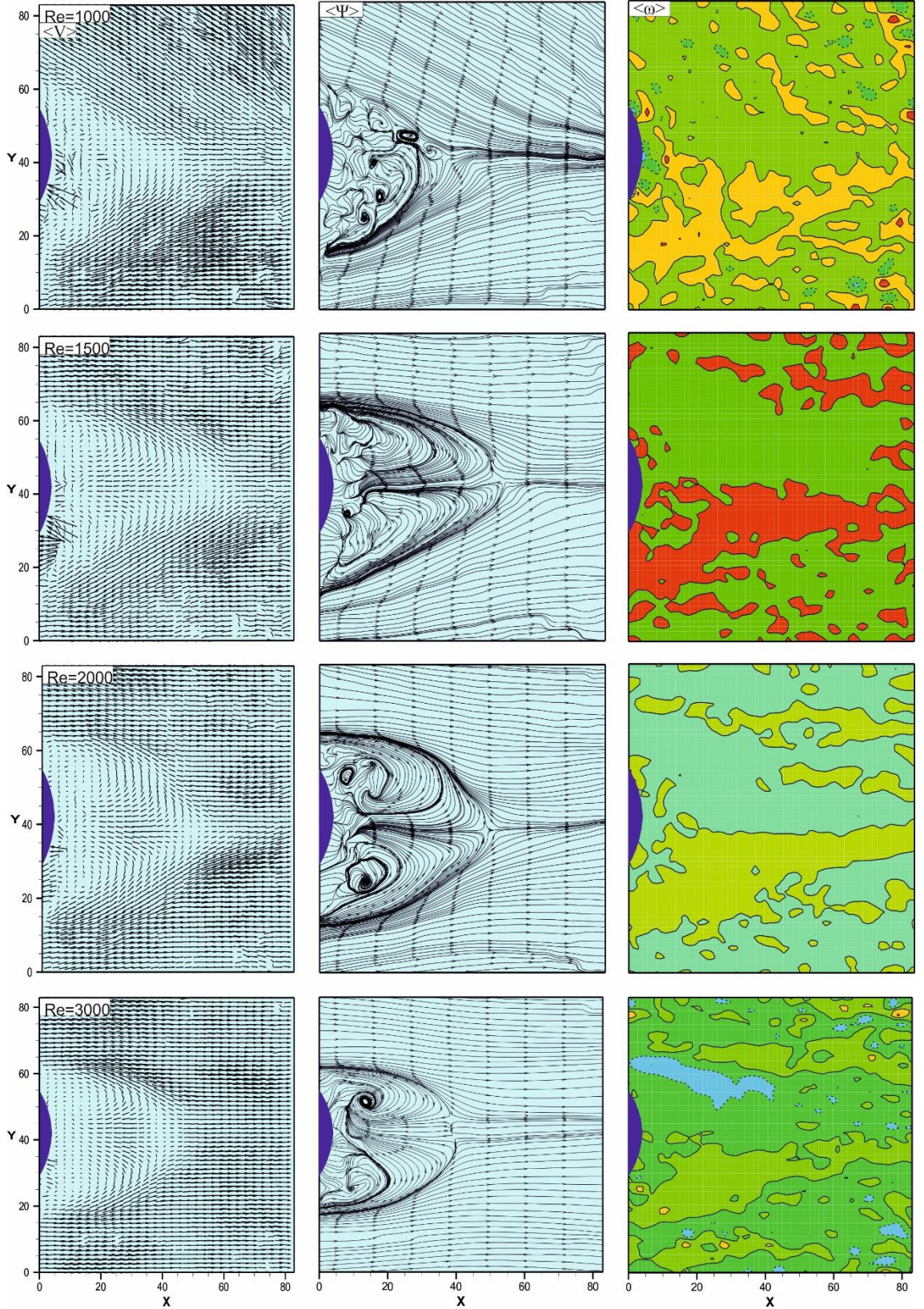
Şekil 4.19. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.5$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



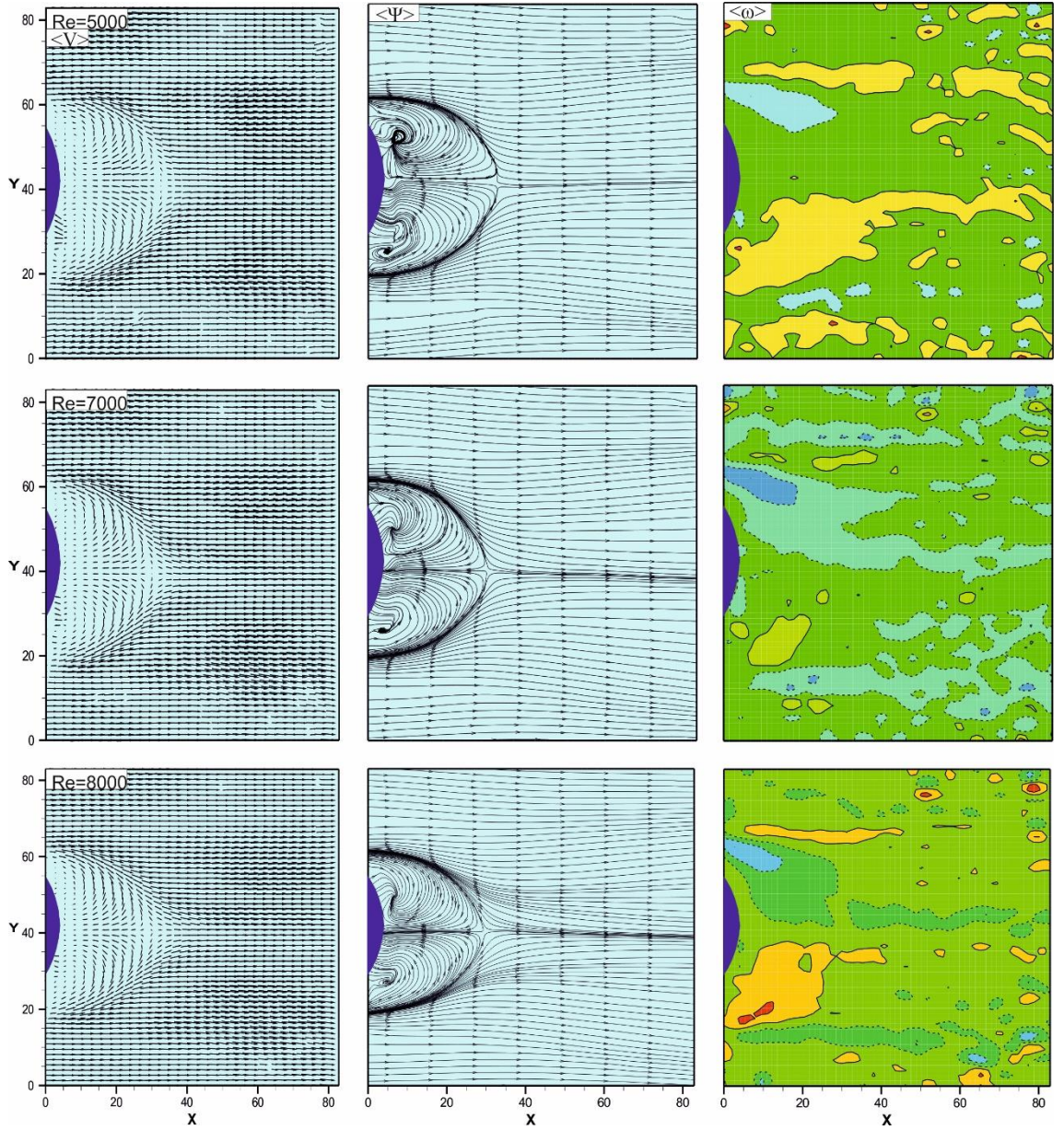
Şekil 4.20. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



Şekil 4.20. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.5$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



Şekil 4.21. $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.25$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



Şekil 4.21. (devamı) $Re_d=1000-8000$ aralığında, $GO=0.25$ olan sonlu-silindir arkasında (aşağı akım tarafı), $z/h=0.0$ mesafesinde oluşan zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, $GO = 0.75, 0.5$ ve 0.25 olan sonlu silindirler üzerindeki akış yapısı serbest akış hızı ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_d = 1000, 2000, 3000, 5000$ ve 7000 değerleri için yan görünüş PIV görüntüleri ile $Re_d=1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000$ ve 8000 değerleri için üst görünüş PIV görüntüleri deneysel olarak kapalı devre su kanalı içerisinde Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm tekniği (PIV) kullanılarak incelenmiştir.

Deney sonucunda alınan verilere göre sonlu silindir önünde, sonlu silindir cidarı ile zemin düzlem birleşme bölgesinde her üç GO 'na sahip sonlu-silindirde ve her Reynolds sayısı değerinde Krajnovic, 2011' in H_1 olarak isimlendirdiği Birincil ANG oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sonlu silindir cidarında bir adet durma noktası oluşmaktadır. Durma noktası akışı silindir serbest ucu yönüne ve zemin düzleme doğru olmak üzere ikiye bölmektedir. Bu durma noktası $GO=0.25$ olan sonlu silindir üzerindeki akışta gözlemlenmemiştir.

Sonlu silindir serbest ucu ile ilgili alınan verilere göre sonlu-silindir serbest ucunda $GO=0.75$ olan sonlu-silindir serbest ucunda yüksek Reynolds sayılarında ayrılma baloncuğu açıkça görülmektedir. Fakat GO 'nın küçülmesiyle sonlu-silindir serbest ucunda akış ayrılmasının gözlemlenmediği, dolayısıyla ayrılma baloncuğununda oluşmadığı gözlemlenmiştir. Sonlu-silindir serbest ucu görüntülerinde silindir hücum kenarının akışa etkisi gözlemlenebilmektedir.

Sonlu silindir arka bölgesinde silindir serbest ucunun akışı oldukça etkilediği görülmektedir. Sonlu silindir üstten görünüş resimlerine bakıldığında bu etkinin en çok silindir orta bölgesinde yani $z/h = 0.5$ mesafesinde olduğu, ayrıca zemin düzleminde de etkinin en az olduğu görülmektedir. Sonsuz silindir üzerinde akışta görülen düzenli iki boyutlu girdap yapılarının sonlu silindirin serbest ucu etkisiyle düzensiz ve üç boyutlu bir akış alanı oluşturduğu görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda sonlu silindir üzerindeki akış yapısının sonsuz silindirden farklı olarak üç boyutlu karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu karmaşık yapının oluşmasında serbest ucu etkisinin oldukça fazla olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adrian, R. J., 1988. Statistical properties of particle image velocimetry measurements in turbulent flow. **Laser Anemometry in Fluid Mechanics**, 115-129.
- Akilli, H., Akar, A., Karakus, C., 2004. Flow characteristics of circular cylinders arranged side-by-side in shallow water. **Flow Measurement and Instrumentation**, 15, 187-197.
- Akkoca, A., Öztürk, N. A., Şahin, B., Akıllı, H., 2004. Horseshoe vortex formation and evolution in a single row plate fin and tube heat exchanger. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 19(2), 15-25.
- Anonymous, 2015. <http://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-piv> Erişim Tarihi: 07. 03. 2015
- Anonymous, 2011. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jeju_Do_Von_Karman_Vortex_street_Mar_2_2011_02.35\(UTC\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jeju_Do_Von_Karman_Vortex_street_Mar_2_2011_02.35(UTC).jpg) Erişim Tarihi : 04. 08. 2015
- Arat, H. T., 2010. İki plaka arasına yerleştirilmiş elips silindir üzerindeki akış yapısının deneysel incelenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Baker, C. J., 1979. The laminar horseshoe vortex. **J. Fluid Mech.**, 95, part 2, 347-367.
- Chang, P. K., 1970. Separation of flow. **Pergamon Press Inc.**
- Çelik, S., 2012. Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının deneysel olarak incelenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Çelik, S., Karakuş, C., Akıllı, H., Şahin, B., 2011. Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile incelenmesi. **Tesisat Mühendisliği**, sayı 125, 33-51.
- Fröhlich, J. and Rodi, W., 2004. LES of the flow around a circular cylinder of finite height. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, 25, 537-548.
- Gao, Q., Wang, H. P., Shen, G. X., 2013. Review on development of volumetric particle image velocimetry. **Chinese Science Bulletin**, 58, 4541-4556.
- Grant, I., ed., 1994. Selected papers on particle image velocimetry SPIE Milestone Series MS 99, **SPIE Optical Engineering Press**, Bellingham, Washington.
- Hain, R., Kähler, C. J., Michaelis, D., 2008. Tomographic and time-resolved PIV measurements on a finite cylinder mounted on a flat plate. **Experiments in Fluids**, 45, 715-724.
- Javadi, K., Kinai, F., 2014. On the turbulent flow structures over a short finite cylinder: numerical investigation. **Proceeding of the International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow**, 129, Prague, Czech Republic.
- Johnston, C. P. and Wilson, D. J., 1996. A vortex pair model for plume downwash into stack wakes. **Atmospheric Environment**, Vol. 31, Issue 1, 13-20.
- Karakuş, C., 2007. Investigation of tip vortex formation, development and merging using particle image velocimetry (PIV) technique. **Ph. D. Thesis**. Cukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Karakuş, C., Çelik, S., Şahin, B., Akıllı, H., 2010. Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının deneysel olarak incelenmesi. **III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı**, UHUK-2010-065.

- Kawamura, T., Hiwada, M., Hibino, T., Mabuchi, I., Kuwada, M., 1984. Flow around a finite circular cylinder on a flat plate (cylinder height greater than turbulent boundary layer thickness). **Bulletin of JSME**, Vol. 27, No. 232, 2142-2151.
- Krajnovic, S., 2011. Flow around a tall finite cylinder explored by large eddy simulation. **J. Fluid Mech.**, vol. 676, pp. 294-317.
- Meynard, R., 1983. Measure de champs de vitesse d'écoulements fluides par analyse de suites d'images obtenues par diffusion d'un feuillet lumineux. **Ph.D. Dissertation**, Faculté des Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles.
- Ozturk, N. A., 2006. Investigation of flow characteristics in heat exchangers of various geometries. **Ph.D. Thesis**. Cukurova University, Inst. of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Palau-Salvador, G., Stoesser, T., Fröhlich, J., Kappler, M., Rodi, W., 2010. Large eddy simulations and experiments of flow around finite-height cylinders. **Flow Turbulence Combust**, 84, 239-275.
- Park, C. W., Lee, S. J., 2000. Free end effects on the near wake flow structure behind a finite circular cylinder. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 88, 231-246.
- Park, C. W., Lee, S. J., 2004. Effects of free-end corner shape on flow structure around a finite cylinder. **Journal of Fluids and Structures**, 19, 141-158.
- Pattenden, R. J., Turnock, S. R., Zhang, X., 2005. Measurements of the flow over a low-aspect-ratio cylinder mounted on a ground plane. **Experiments in Fluids**, 39, 10-21.
- Praisner, T. J., Sabatino, D. R., Smith, C. R., 2001. Simultaneously combined liquid crystal surface heat transfer and PIV flow-field measurements. **Experiments in Fluids**, Vol.30, 1-10.
- Roh, S. C., Park, S. O., 2003. Vortical flow over the free end surface of a finite circular cylinder mounted on a flat plate. **Experiments in Fluids**, 34, 63-67.
- Rostamy, N., Sumner, D., Bergstrom, D. J., Bugg, J. D., 2012. Local flow field of a surface-mounted finite circular cylinder. **Journal of Fluids and Structures**, 34, 105-122.
- Sahin, B., Ozturk, N. A., Akilli, H., 2007. Horseshoe vortex system in the vicinity of the vertical cylinder mounted on a flat plate. **Flow Measurement and Instrumentation**, 18, 57-68.
- Sumer, B. M. and Fredsøe, J., 1997. Hydrodynamics around cylindrical structures. **World Scientific**, London.
- Sumner, D., 2013. Flow above the free end of a surface-mounted finite-height circular cylinder: A review. **Journal of Fluids and Structures**, 43, 41-63.
- Sumner, D., Heseltine, J. L., 2008. Tip vortex structure for a circular cylinder with a free end. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 96, 1185-1196.
- Sumner, D., Heseltine, J. L., Dansereau, O. J. P., 2004. Wake structure of a finite circular cylinder of small aspect ratio. **Experiments in Fluids**, 37, 720-730.
- Tanaka, S. and Murata, S., 1999. An investigation of the wake structure and aerodynamic characteristics of a finite circular cylinder (time-averaged wake structures behind

- circular cylinders with various aspect ratios). **JMSE International Journal**, Series B, Vol. 42, No.2, 178-187.
- Tsai, S. F. and Shev, T. W. H., 1999. Heat transfer in a conjugate heat exchanger with a wavy fin surface. **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 42, 1735-1745.
- Umur, H., 2009. Akışkanlar mekaniği. **Dora Yayın Dağıtım Ltd. Şti.**, Bursa.
- Willert, C. E. and Gharib, M., 1991. Digital particle image velocimetry. **Experiments in Fluids**, 10, 181-193.
- Williamson, C. H. K., 1996. Vortex dynamics in the cylinder wake. **Annual Review Fluid Mechanics**, 28, 477-539.
- Yüksel, Y., 2013. İleri akışkanlar mekaniği. **Beta Basım A. Ş.**, İstanbul.
- Zdravkovich, M. M., 1997. Flow around circular cylinders vol 1: Fundamentals. **Oxford University Press**, Oxford.
- Zhang, H., Yang, J., Xiao, L., Lü, H., 2015. Large-eddy simulation of the flow past both finite and infinite circular cylinders at $Re=3900$. **Journal of Hydrodynamics**, 27(2), 195-203.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1990 yılında Konak’ da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Muğla’da tamamladı. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nü 2008 yılında kazandı. 2009 yılında yatay geçiş ile Uludağ Üniversite geçti ve 2013 yılında “Makine Mühendisi” unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2014 yılında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı ve Yüksek Lisans eğitime de Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etti. Halen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.