

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİR ARKASINA EKLENEN ESNEK PARÇANIN AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Süleyman TEKŞİN
DANIŞMAN : Doç. Dr. Sedat YAYLA

VAN-2016

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİR ARKASINA EKLENEN ESNEK PARÇANIN AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Süleyman TEKŞİN

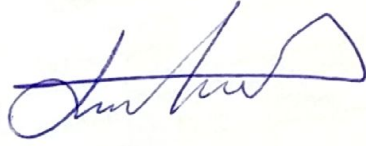
VAN-2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Sedat YAYLA danışmanlığında, Süleyman TEKŞİN tarafından sunulan “**Silindir Arkasına Eklenen Esnek Parçanın Akış Karakteristiklerine Etkisi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 24/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

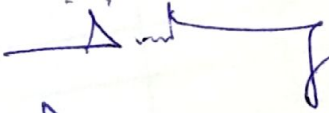
Başkan : Doç. Dr. Sedat YAYLA

İmza:



Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan UÇKAN

İmza:



Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin PINAR

İmza:



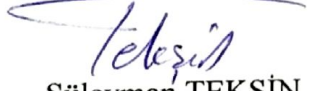
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..03../..06../2016 tarih ve ...2016../25-I..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

10../06/2016
Prof. Dr. Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Süleyman TEKŞİN

ÖZET

SİLİNDİR ARKASINA EKLENEN ESNEK PARÇANIN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

TEKŞİN, Süleyman

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat YAYLA

Mayıs 2016, 87 sayfa

Dikey dairesel silindir arkasına farklı uzunluklardaki esnek parçalar eklenerek oluşan akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV) ve boya görüntüleme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, silindir arkasına yerleştirilen ve uzunluğun çapa oranı, L/D , 0, 1.25, 1.5, 2, 2.25, 2.5, 3 ve 4 olan esnek parçalar ile çapa bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 için silindir arkasındaki kararsız akışın kontrolü çalışılmıştır. PIV ile ölçülen akış verileri ile zaman ortalamalı, akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$, girdap, $\langle \omega \rangle$, Reynolds gerilmeleri, $\langle u'u' \rangle$, $\langle v'v' \rangle$, $\langle u'v' \rangle$, türbülans kinetik enerji, $\langle TKE \rangle$, akım yönünde ve akıma dik yöndeki, hız bileşenlerinin rms değerleri, $\langle u_{rms} \rangle$, $\langle v_{rms} \rangle$, hız vektörleri, $\langle V \rangle$, akım yönünde ve akıma dik yöndeki hız bileşeni, $\langle u \rangle$, $\langle v \rangle$ ve girdap kopma frekansları, f gibi akış karakteristikleri hesaplanmıştır. Art izi bölgesindeki akış yapısı, eklenen esnek parça uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Farklı L/D oranlarının ve Reynolds sayısının akış yapısı üzerinde etkili olduğu belirlenmiş ve L/D oranına bağlı olarak tüm akış yapılarının maksimum değerlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Parçacık görüntülemeli hız ölçme, Esnek ayırıcı plaka, Akış, Silindir, Pasif kontrol, Girdap kopması.



ABSTRACT

EFFECTS OF THE FLEXIBLE SPLITTER PLATE ATTACHED TO REAR OF THE CYLINDER ON FLOW CHARACTERISTICS

TEKŞİN, Süleyman

M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering Department

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sedat YAYLA

May 2016, 87 pages

An experimental investigation of vortex shedding around a vertical circular cylinder was applied using Particle Image Velocimetry (PIV) technique and dye visualization to examine the characteristics of water flow. In this experiment, instabilities that behind the cylinder were studied flexible splitter plate attached to rear of the cylinder which had length ratio to diameter, L/D , 0, 1.25, 1.5, 2, 2.25, 3 and 4 for Reynolds number based on the cylinder diameter, $Re_D=2500, 5000$ and 7500 . Time-averaged flow data that taken from PIV measurements were studied such as streamline, $\langle\psi\rangle$, vortex, $\langle\omega\rangle$, Reynolds stresses, $\langle u'u'\rangle$, $\langle v'v'\rangle$, $\langle u'v'\rangle$, turbulent kinetic energy, $\langle TKE\rangle$, root mean square of streamwise, $\langle u_{rms}\rangle$, and transverse velocity component, $\langle v_{rms}\rangle$, velocity vector, $\langle V\rangle$, streamwise and transverse velocity components, $\langle u\rangle$, $\langle v\rangle$ and spectral analysis of vortex shedding, f . Occurred flow structure at the wake flow region altered with respect to length of the flexible matter. It is found that the variable parameter of L/D and Reynolds number affect the flow structures and also noted that it decreased maximum level of all characteristic values.

Keywords: Particle image velocimetry, Flexible splitter plate, Flow, Cylinder, Passive control, Vortex shedding.



ÖN SÖZ

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren, ilgisini esirgemeyen ve emek veren danışmanım ve hocam Sayın Doç. Dr. Sedat YAYLA 'ya teşekkürlerimi sunarım. Yardım ve desteklerinden mahrum bırakmayan tüm dostlarıma, yüksek lisans çalışmam boyunca beni sürekli motive eden, cesaretlendiren özellikle ömrüm boyunca her zaman yanımda olacak olan karım Kübra TEKŞİN 'e, dünyaya yeni gözlerini açan kızım Zehra TEKŞİN 'e ve diğer tüm aile fertlerine yanımda oldukları için en içten dileklerimi sunuyorum.

2016

Süleyman TEKŞİN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	5
2.1. Cisim Etrafındaki Akış Yapılarının Kontrolü.....	6
2.1.1. Aktif Kontrol Sistemleri	6
2.1.2. Pasif Kontrol Sistemleri	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV)	19
3.1.1. Su kanal Sistemi	19
3.2. PIV Tekniğinin Çalışma Prensipleri ve Bileşenleri	19
3.2.1. Kamera.....	23
3.2.2. Lazer	24
3.2.3. Eş Zamanlayıcı	24
3.2.4. Bilgisayar.....	25
3.3. Deney Düzenekleri.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Farklı Esnek Parça Uzunluklarının Sınır Tabaka Altında Akış Yapısına Etkisi	27
4.1.1. Giriş	27
4.1.2. Çalışmanın Amacı	27
4.1.3. Deney Düzenekleri	27
4.1.4. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) Sonuçları	29
4.2. Sınır Tabakanın Etkili Olmadığı Bölgede Esnek Parça Uzunluklarının Etkisi ..	41
4.2.1. Giriş	41
4.2.2. Çalışmanın Amacı	41
4.2.3. Deney Düzenekleri	41

4.2.4. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) Sonuçları	43
4.3. Farklı Reynolds Sayılarının Sınır Tabakanın Etkili Olmadığı Bölgede Silindirik Bir Cismin Etrafındaki Akış Yapısına Etkisi	50
4.3.1. Giriş	50
4.3.2. Çalışmanın Amacı	50
4.3.3. Deney Düzeneği	50
4.3.4. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) Sonuçları	52
4.4. Farklı Reynolds Sayılarında Sınır Tabakanın Etkili Olduğu Bölge İçin Dairesel Silindirin Akış Yapısının Kontrolü	61
4.4.1. Giriş	61
4.4.2. Çalışmanın Amacı	61
4.4.3. Deney Düzeneği	61
4.4.4. Boya Deney Sonuçları	62
4.4.5. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) Sonuçları	64
5. SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Farklı Reynolds sayılarında silindir ardındaki çıkış çizgileri.....	1
Şekil 1.2. Silindir etrafında oluşan akış yapısının şematik gösterimi.....	2
Şekil 1.3. Akım yönündeki Karman girdap caddesi değerleri.....	3
Şekil 1.4. Kelvin-Helmholtz girdapları.	3
Şekil 1.5. Silindirde uygulanan farklı kontrol yöntemleri	4
Şekil 2.1. Reynolds sayısı ve frekans değişimi	7
Şekil 2.2. İkili silindirin boya görüntüleme sonuçları.	10
Şekil 2.3. Silindir arkasına yerleştirilen ayırıcı plakanın gösterimi.	11
Şekil 2.4. Anlık Boya görüntülerinin karşılaştırılması.	12
Şekil 2.5. Düz ve dalgalı silindirin girdap yapısı.	13
Şekil 2.6. Deneylerde kullanılan delikli dış silindirin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranına sahip dış silindir ve farklı çaplara ($D_i=30$ mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, ve 90 mm) sahip olan iç silindirlerin birlikte şematik gösterimi.	15
Şekil 2.8. İç ve dış silindirin şematik gösterimi.	16
Şekil 2.9. Yiv açılmış plakalı ısı değiştiricinin üst görünüşü.	17
Şekil 3 1. PIV sisteminin çalışma prensibi	20
Şekil 3.2. Partiküllerin korelasyonu ve pik değeri.	20
Şekil 3.3. Deney Düzenekinin Genel Gösterimi.....	23
Şekil 3.4. Sistemde kullanılan Kamera.....	23
Şekil 4.1. Deney düzenekinin detaylı gösterimi.	28
Şekil 4.2. Deney düzenekinin yan görünüşü ve parametreleri.	28

Şekil 4.3. Farklı L/D oranları için ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, Reynolds gerilme değeri.	31
Şekil 4.4. Zaman ortalamalı girdap konturları.....	32
Şekil 4.5. Farklı L/D oranlarındaki $\langle u/U \rangle$ hızı değerleri.	34
Şekil 4.6. Farklı L/D oranlarındaki $\langle v/U \rangle$ hızı değerleri.	35
Şekil 4.7. Farklı L/D oranlarındaki akım yönündeki Reynolds normal gerilmeleri $\langle u'u'/U^2 \rangle$ hızı değerleri.....	36
Şekil 4.8. Farklı L/D oranlarındaki $\langle v'v'/U^2 \rangle$ hızı değerleri.	37
Şekil 4.9. Farklı L/D oranlarındaki Türbülans Kinetik Enerji değerleri.	39
Şekil 4.10. Farklı L/D oranlarındaki FFT analiz değerleri.	40
Şekil 4.11. Parametrelerin gösterimi.	42
Şekil 4.12. Hız vektörü alanı, girdap konturları ve Reynolds gerilmeleri.....	44
Şekil 4.13. Akım yönündeki çalkantı hızlarının rms değerleri, u_{rms}/U	45
Şekil 4.14. Akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının rms değerleri, v_{rms}/U	46
Şekil 4.15. Akım yönündeki Reynolds normal gerilme.	48
Şekil 4.16. Akıma dik yöndeki Reynolds normal gerilme.	48
Şekil 4.17. Türbülans Kinetik Enerji (TKE).....	49
Şekil 4.18. Deney düzeneğinin üstten şematik olarak gösterimi.	51
Şekil 4.19. Reynolds sayısı, $Re_d:2500$ için zaman ortalamalı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$	53
Şekil 4.20. Reynolds sayısı, $Re_d:5000$ için zaman ortalamalı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$	54
Şekil 4.21. Reynolds sayısı, $Re_d:7500$ için zaman ortalamalı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$	54
Şekil 4.22. Reynolds sayısı, $Re_d=2500$ için boyuzsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle/U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle/U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle/U^2$	55

Şekil 4.23. Reynolds sayısı, $Re_d=5000$ için boyuzsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$	56
Şekil 4.24. Reynolds sayısı, $Re_d=7500$ için boyuzsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$	57
Şekil 4.25. Farklı Reynolds sayıları için Türbülans Kinetik Enerji, TKE konturları.	58
Şekil 4.26. Zaman ortalamalı akım yönündeki hız bileşeninden alınan, v (mm/s) üç farklı Reynolds sayılarında, $Re=2500, 5000$ ve 7500 FFT sonuçlarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.27. Zaman ortalamalı akım yönündeki hız bileşeni, $\langle u / U_\infty \rangle$ silindir eksenine doğrultusunda $Re_d=2500, 5000$ ve 7500 için karşılaştırılması.	60
Şekil 4.28. Sistemin yandan görünüşü ve parametrelerin tanımları.	62
Şekil 4.29. Deneylerin akım yönündeki boya ile anlık görüntüleri ve Reynolds sayısı, $Re=2500, 5000$ ve 7500 için Kelvin-Helmholtz gösterimleri.	63
Şekil 4.30. Reynolds sayısı, $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı girdap, $\langle \omega \rangle$ hız vektör alanının, $\langle V \rangle$ karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.31. Reynolds sayısı, $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı akım çizgilerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.32. Reynolds sayısı, $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u_{rms} \rangle / U_\infty$ ve akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının, $\langle v_{rms} \rangle / U_\infty$ rms değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.33. $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı Reynolds gerilme, $\langle u'v' \rangle / U_\infty$ değerlerinin karşılaştırılması.	70
Şekil 4.34. $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u \rangle / U_\infty$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v \rangle / U_\infty$ hız bileşenlerinin karşılaştırılması.	72
Şekil 4.35. $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı Türbülans Kinetik Enerji $\langle TKE \rangle$ karşılaştırılması.	73
Şekil 4.36. $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı frekans, f (Hz) değerlerinin karşılaştırılması.....	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D	Dairesel silindirin çapı (mm)
h_L	Lazer huzmesinin üstteki yüksekliği (mm)
h_m	Lazer huzmesinin ortadaki yüksekliği (mm)
h_w	Su seviyesi (mm)
L	Kontrol elemanının uzunluğu (mm)
L/D	Esnek parça çap oranı
Re_D	Çapa bağlı Reynolds sayısı
TKE	Türbülans Kinetik Enerji
U_∞	Serbest akış hızı (mm/s)
f	Frekans (Hz)
u	Akış yönündeki hız bileşeni (mm/s)
v	Akışa dik yöndeki hız bileşeni (mm/s)
U_{rms}	Akış yönündeki türbülans şiddeti
V_{rms}	Akışa dik yöndeki türbülans şiddeti
$u'u'$	Akım yönündeki Reynolds normal gerilmesi
$v'v'$	Akışa dik yöndeki Reynolds normal gerilmesi
$u'v'$	Reynolds kayma gerilmesi
V	Hız vektörü
ω	Girdap (s^{-1})
ψ	Akım Çizgisi
$< >$	Ortalama
x	Akış yönündeki mesafe (mm)
y	Akışa dik yöndeki mesafe (mm)

Kısaltmalar**Açıklama**

PIV

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği

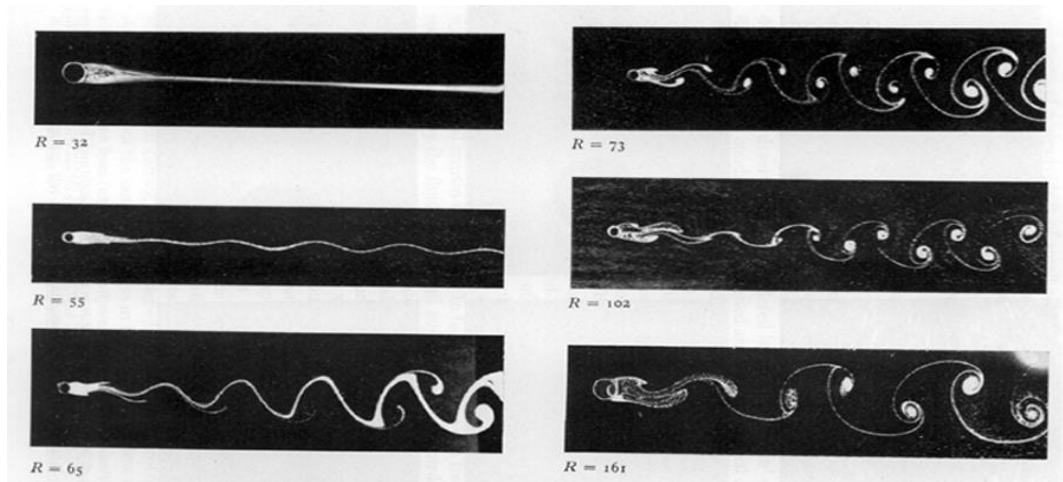


1. GİRİŞ

Akış içerisinde yerleştirilmiş olan bir cismin arkasında oluşan girdaplar periyodik yüzey yüklemeleri, gürültü ya da rezonans gibi çeşitli problemlere sebep olmakta hatta cismin ömrünün kısalmasına yol açmaktadır. Meydana gelen bu sorunların önlenmesi için daimi olmayan akış yapısının kontrol altına alınması ve Reynolds gerilme değerlerinin azaltılması gerekmektedir. Daldırılmış cisimlerin girdap kopması ve akış yapısı, dairesel bir silindirin etrafından geçtiği durumlarda aerodinamik iyileştirmeler için mühendisler, araştırmacılar, tasarımcılar ve bilim adamları Bearman (1984; 2009; 2011); Williamson ve Govardhan (2004; 2008); Akıllı ve ark. (2005; 2008); Matsumoto (1999); Williamson (1996) tarafından yıllardır araştırılmaktadır.

Dairesel bir silindirin akış yapısının incelenmesi, geometrik yapısının basitliğinden dolayı sık olarak tercih edilmektedir. Gürültü ve titreşim gibi bazı mühendislik uygulamalarında ölü akış bölgesinin, kayma tabakalarının ve Karman girdap caddelerinin etkileşimlerinden dolayı Sumner ve ark. (2004)'nın çalışmasında da bahsedildiği gibi oldukça önem arz etmektedir.

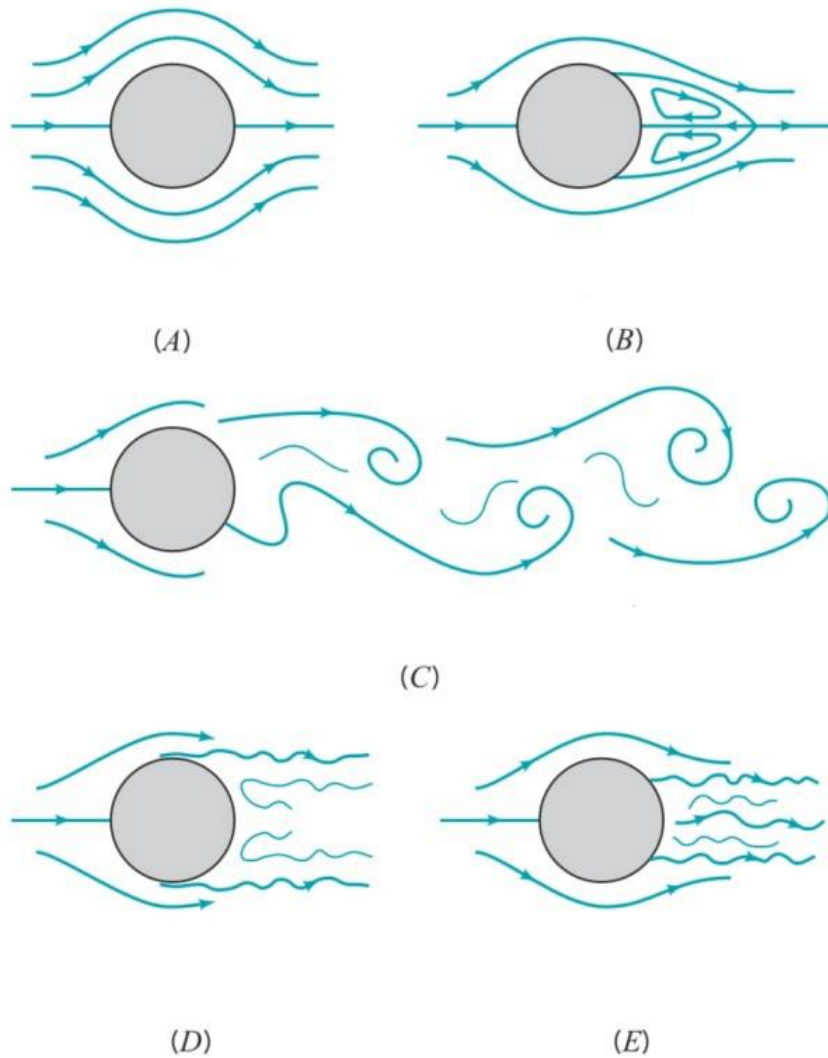
Silindirin ölü akış bölgesinde meydana gelen girdaplar, girdap kopması, Karman girdap caddesi ve Kelvin-Helmholtz olmak üzere üç başlık altında toplanabilir.



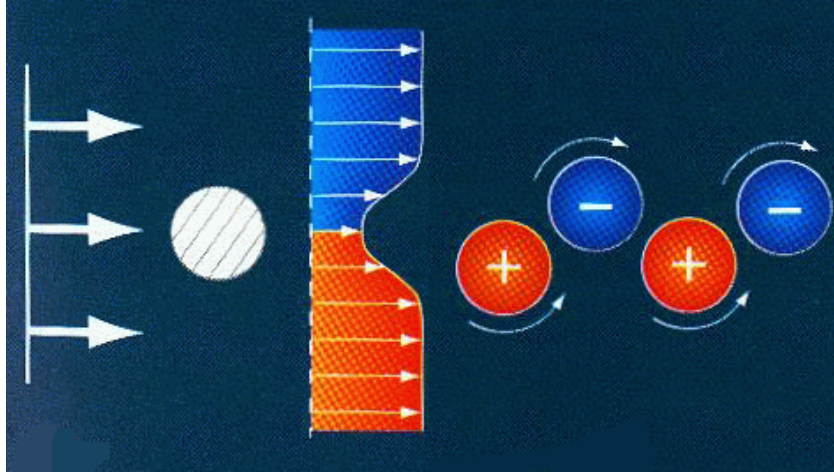
Şekil 1.1. Farklı Reynolds sayılarında silindir ardındaki çıkış çizgileri (Cabana ve Massoulier, 2002).

Silindirin ölü akış bölgesinde meydana gelen karman girdap caddeleri Şekil 1.1’de belirtilmiştir. Düşük Reynolds sayılarında silindirin art izi bölgesi düz bir halde iken akış rejiminin artmasıyla karman girdap caddeleri oluştuğu gözlemlenmiştir.

Farklı Reynolds sayılarında silindir etrafındaki akış Şekil 1.2 ’de gösterilmiştir. (A) $Re < 1$ kopmaların olmadığı akış; (B) girdap çiftinin oluşması ($Re \approx 10$); (C) Karman girdaplarının salınımı $Re \approx 100$, girdap kopmalarının başlaması ($Re \approx 47$); (D) laminar sınır tabakası geniş art iz $Re \approx 5 \times 10^4$, (E) türbülanslı sınır tabakası, dar art iz $Re \approx 4 \times 10^5$ olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.2. Silindir etrafında oluşan akış yapısının şematik gösterimi (Munson ve ark., 2009).



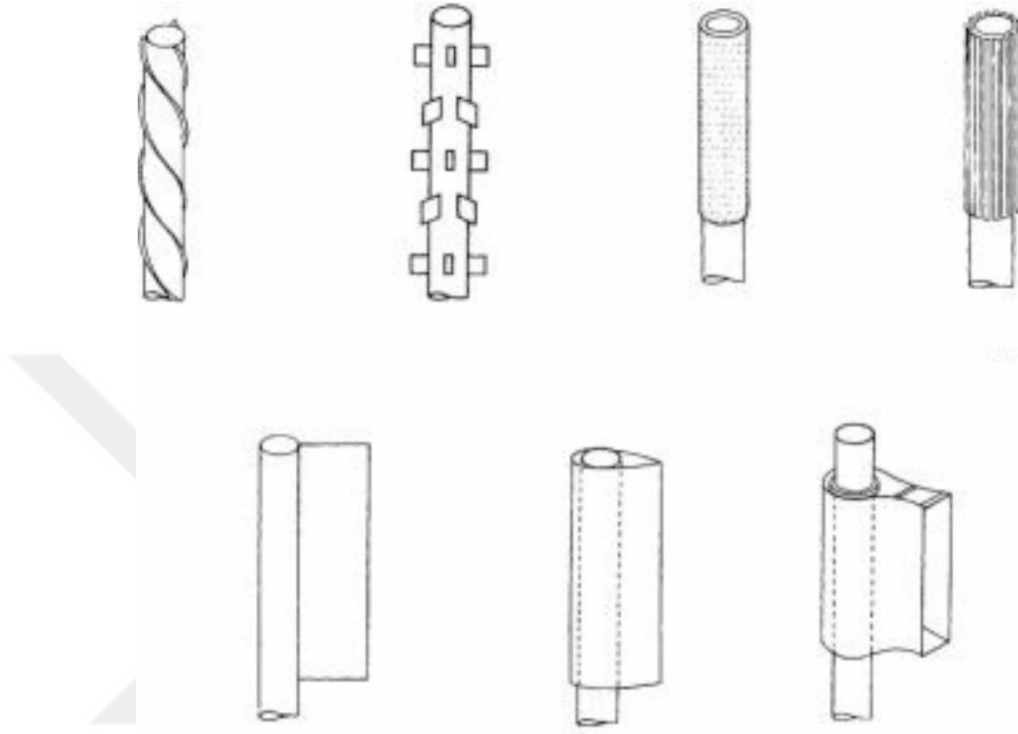
Şekil 1.3. Akım yönündeki Karman girdap caddesi değerleri (Cabana ve Massoulier, 2002).

Şekil 1.3 'te belirtilen artı ve eksi değerler cismin etrafından geçtikten sonra dönüş yönüne göre belirlenmiştir. Saat yönünde meydana gelen girdaplar eksi ile gösterilirken saat yönünün tersi yönündekiler artı ile belirtilmiştir. Karman girdap caddeleri için örnek olarak verilen bu değerler girdap kopması içinde geçerli olup dönüş yönü ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 1.4. Kelvin-Helmholtz girdapları.

Art izi bölgesinin kenarlarında Karman girdap caddesinin haricince Şekil 1.4'te görüldüğü üzere küçük ölçekte ve sayı olarak fazla Kelvin-Helmholtz olarak adlandırılan girdaplar oluşmaktadır.



Şekil 1.5. Silindirde uygulanan farklı kontrol yöntemleri (Blevins, 1990).

Yukarıda verilen Şekil 1.5'te silindire pasif olarak uygulanan farklı kontrol türlerinden bazıları belirtilmiştir. Kullanılan kontrol elemanın şekli farklı olabileceği gibi boyutları ve sayıları da değişebilmektedir. Bu çalışmada, silindir arkasında meydana gelen akış yapısındaki kararsızlıkları en aza indirmek için kullandığımız kontrol elemanı esnek bir yapıya sahiptir. 80 mikron kalınlığındaki kâğıda benzer şeffaf bir film ile akış karakteristikleri incelenmiştir. Kullanılan esnek ayırıcı plakanın elastik modülü çok düşük olduğu için farklı Reynolds sayılarında akış yönüne doğru deforme olabilmekte ve girdap kopmalarında sönümleyici etki göstermektedir.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Silindirin art izi bölgesinde oluşan akış yapısı son yıllarda incelenen araştırma konularının başında gelmektedir. Silindir şekil itibari ile en basit geometrilerden biri olmasına rağmen uygulama alanı çok çeşitlidir. Literatürde bildirildiği gibi üniform akış içerisinde aerodinamik kuvvetler ve silindir arkasında meydana gelen akış alanı için oldukça fazla araştırmalar bulunmaktadır.

Yapılan araştırmalar neticesinde akışın ayrılma noktası ve daha sonrasında oluşan girdap kopmasının direnci yapıya zarar veren kararsız kuvvetler meydana getirdiği anlaşılmaktadır. Bu tür problemlerden dolayı, girdap kopmasının kontrolü ya da azaltılması cismin ömrünün uzatılması veya daha verimli bir hale getirilmesi için önem taşımaktadır.

Uygulama alanında sıklıkla karşılaşılan durumların başında silindir içinden veya üzerinden geçen akışlar oluşturmaktadır. Örnek olarak gövde-borulu ısı eşanjörünün borularının içinden geçen akış, *iç akış* adını alırken üzerinden geçen akışa, *dış akış* adı verilmektedir. Meydana gelen bu iki akış analiz sırasında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Dairesel küre ya da silindir için Reynolds sayısı, $Re=VD/\nu$ olarak tanımlanırken kullanılan karakteristik uzunluk, dış çap, D , ve üniform hız, V , olarak alınır (Çengel ve Cimbala, 2012).

Silindir duvarına doğru gelen akış daha sonra dallara ayrılarak silindir çevreler ve bir sınır tabaka oluşturur. Silindirin tam ortasına temas eden akışkan parçacıkları hızını sıfıra indirerek o bölgede bir durma noktası oluşturur ve basıncı artırır. Diğer bir ifadeyle akış yönüne doğru akışkan hızı arttıkça basınç değerinde azalma meydana gelir (Çengel ve Cimbala, 2012).

Sınır tabakanın laminar olduğu durumda akıştaki meydana gelen ayrılma 80° 'de gerçekleşirken türbülanslı rejime geçildiğinde bu değer 140° 'ye çıkmaktadır. Laminer akışa kıyasla türbülanslı akışın ayrılmasındaki bu gecikme enine doğru akan yüksek şiddetteki çalkantı hızlarından kaynaklanır. Bu durum neticesinden akış silindir yüzeyinden ayrılmadan bir müddet daha sınır tabaka boyunca silindir yüzeyinde kalır ve sonrasında ayrılma başlar. Buradaki ayrılmanın daha geç olması art izinde daralmaya ve basınç direncinde azalmalara yol açar. Durma noktasının olduğu bölgedeki yüksek basınç

değeri ile art izi kısmındaki düşük basınç akış yönünde daldırılmış cisim üzerinde net bir kuvvete neden olur (Çengel ve Cimbala, 2012).

Yalnız silindirik cisimler için değil herhangi bir geometrinin art izinde oluşan girdabın kontrolü için yaygın bir şekilde çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Genel olarak bir cisim etrafındaki akışta kontrol yöntemleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1. Cisim Etrafındaki Akış Yapılarının Kontrolü

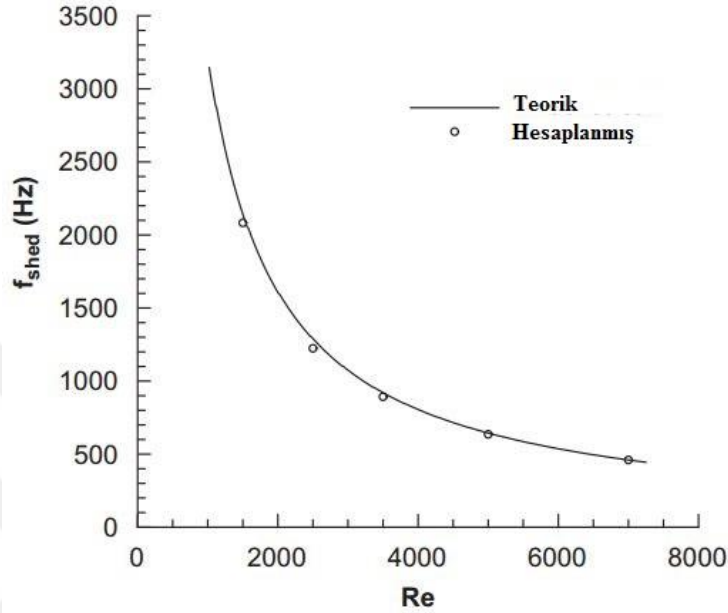
2.1.1. Aktif kontrol sistemleri

Akışı kontrol etmek için sisteme enerji girdisi sağlanıyorsa, bu aktif kontrol olarak adlandırılmaktadır. Akışa uygulanan elektro-manyetik, Fujisawa (2001), emme-üfleme, Patniak (2002); Delaunay (2001) gibi birçok aktif kontrol yöntemi bulunmaktadır. Li ve ark. (2003), sisteme emme ve üfleme uygulayarak Reynolds, $Re=110$ 'a kadar girdap kopmasının (vortex shedding) tam kontrolü üzerinde nümerik olarak çalışmış ve kısa sürede girdabın azaldığını gözlemlemişlerdir.

Herhangi bir cismin akış yapısının kontrolü akustik ya da sisteme enerji girdisi sağlanarak yapılabilir. Silindiri ısıtma Lecordier ve ark. (1991), sabit bir frekansta silindirin döner salınım yapması Lee ve Lee (2008); Naim ve ark. (2007), akustik uyarımlarla ilgili Blevins, (1985) ve elektro manyetik kuvvetle kontrole örnek olarak verilebilir. Kim ve Lee (2001) tarafından yapılan çalışmada da aktif kontrol yöntemine ilişkin örnek bulunabilir. Tabatabaeian ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada plazma aktüatörün farklı konfigürasyonlarda silindir etrafındaki akış yapısına olan etkisini araştırmışlardır. İncelemeleri sonucunda, kullanılan geometrinin basınç direnç katsayısındaki düşüşü göstermişlerdir. Başka bir çalışmada, Sohankar ve ark. (2015), kare silindirden meydana gelen bir düzenek oluşturarak üniform emme ve üflemenin ölü akış bölgesine ve ısı transferine etkisini $Re=70-150$ değerinde nümerik olarak incelemiştir. Kaldırma ve direnç çalkantılarında zayıflamanın ve maksimum direnç kuvvetinde %61 ve %72 arasında düşüşünün optimum Reynolds aralığını $Re=70-100$ ve 150 olduğunu rapor etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar üzerine herhangi bir cismin etrafındaki akış farklı uzunluklarda ya da kalınlıklarda yardımcı kontrol elemanı kullanarak veya cisimde

oluşturulan farklılıklar ile değiştirilebilir. Kuhl ve DesJardin (2012), silindirin ölü akış bölge tarafına elastik bir ayırıcı plaka yerleştirerek deformasyon ve eğilimi üzerine enerji hasatı çalışmasında bulunmuştur. Şekil 2.1’de belirtildiği gibi Reynolds sayısındaki artışın oluşan girdap kopma frekanslarında da artışa sebep olduğunu saptamışlardır.



Şekil 2.1. Reynolds sayısı ve frekans değişimi (Kuhl ve DesJardin, 2012).

Bu örneklerden de görüldüğü üzere aktif metodun uygulanmasının karmaşıklığı pasif kontrole göre daha zor ve nadiren kullanılan bir yöntemdir. Aktif ve pasif olmak üzere iki farklı ana kontrol metodu olmasına rağmen, çoğu araştırmacılar ölü akış bölgesinin incelenmesi ile alakalı olarak daha kolay bir yöntem olan pasif kontrol metodunu tercih etmişlerdir.

2.1.2. Pasif kontrol sistemleri

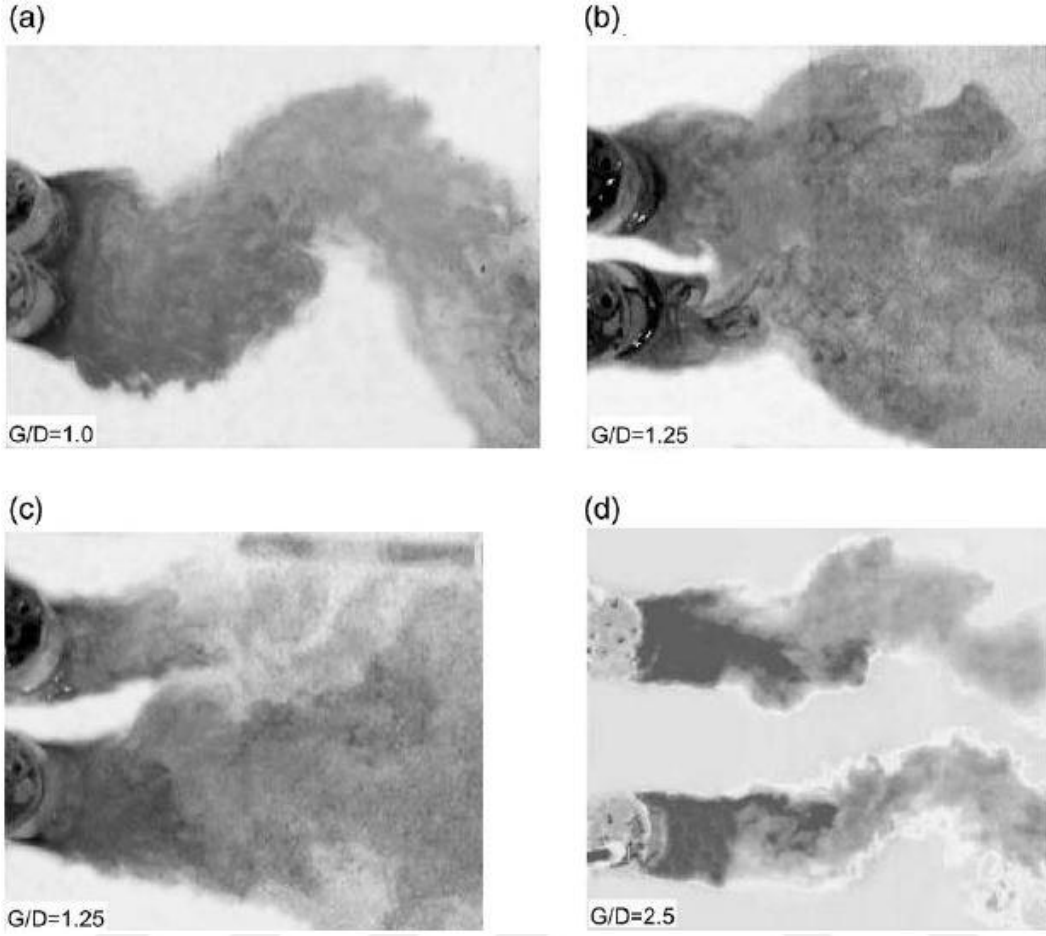
Pasif kontrolde akış yapısını değiştirmek için dışarıdan enerji verilmesi söz konusu değildir. Bunun yerine parça ya da sistem üzerinde kontrol amacıyla çeşitli geometrik değişiklikler yapılır.

Akışı kontrol altına almak anlamında üretken araştırma alanları için pasif kontrol yöntemi üzerinde sıkça incelemelerde bulunulmuştur. Silindirin ölü akış bölgesindeki girdap kopmalarını kontrol etmek için en yaygın olarak kullanılan pasif kontrol

yöntemlerinden biri de ayırıcı plaka kullanmaktır. Akış yönüne sonsuz bir silindirin arkasına eklenen ayırıcı plaka durumu için, kararsız basınç ve çalkantılar ölü akış bölgesine akış yükleri olarak ayırıcı plakanın şeklinde deformasyona sebep olmaktadır. Eski çalışmalarda, Roshko (1954a; 1954b), silindir çapından beş kat daha uzun olan ayırıcı plaka kullanmış, silindir ve plaka arasında hem boşluğun olduğu hem de olmadığı ile ilgili akış analizinde bulunmuştur. Ayırıcı plaka sayesinde cisme gelen dirençte düşüşün olduğunu rapor etmiş, Ayırıcı plaka ile silindir arasındaki boşluk olduğunda Strouhal sayısının, $St \approx 2.7D$ mesafesine kadar düştüğünü gözlemlemiş fakat yalın haldeki silindire göre $4D$ mesafesinden daha uzun aralıklarda değişimin olmadığını saptamıştır. Roshko (1954); Bearman (1965) gibi araştırmacılar daldırılmış cismin herhangi bir şeklin ölü akış bölgesinde sabit ayırıcı plaka ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır. Ölü akış bölgesindeki girdap kopma kararsızlıklarına belirli uzunluktaki ayırıcı plakanın kontrol altına alındığını göstermişlerdir. Gerrard (1966), daldırılmış cismin arkasındaki ölü akış bölgesinde girdap oluşumunun fiziğini açıklamaya çalışmıştır ve bunu gerçekleştirmek için silindire ayırıcı plaka ekleyerek Roshko'nun çalışmalarının bir kısmını incelemiştir. Elde ettiği sonuçlar ile Roshko'yu doğrulamış ve girdabın oluşma uzunluğunun ayırıcı plakanın uç kısmından boşluğa doğru kaydığını saptamıştır. Unal ve Rockwell (1988a; 1988b), düşük Reynolds sayılarında ve uzun ayırıcı plakanın etkisinde silindir etrafındaki akış üzerine etkiyen kararsızlıkları açıklamak üzere çalışmalarda bulunmuştur ve bu ayırıcı plakanın girdap kopmasında zayıflamaları tespit etmiştir. Apelt ve ark. (1973); Apelt ve West (1975), dairesel silindir arkasındaki ölü akış bölgesine yerleştirdikleri ayırıcı plakanın etkisini incelemişler ve sürekli olarak ayırıcı plakanın uzunluğunu değiştirmişlerdir. Uzun ayırıcı plakalar ($L/D > 5$) için dahi ölü akış bölgesinde frekanslar belirlemişlerdir. Uzunlukları $2D$ ile $5D$ arasında değişen ayırıcı plakaların kullanılması direnç kuvvetinde düşüşe sebep olmuştur. Ölü akış bölgesinin yakınındaki alanlardaki sonuçlardan açıkça görülmektedir ki sabit ayırıcı plakanın etkisi plakaların uzunluklarının değişmesiyle farklılık göstermektedir.

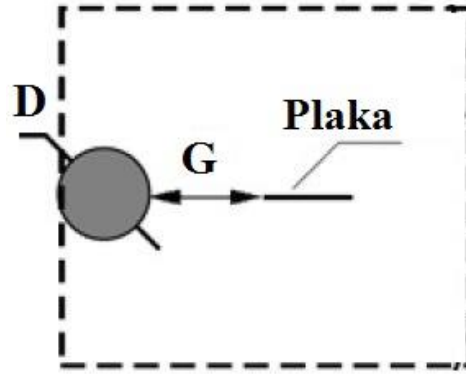
Bir silindir, köprü ayağı gibi düşünüldüğünde pratikte uygulanabilirliği bir gerçektir ve cismi sığ ya da derin ortamda incelemek mümkündür. Böyle bir durumu araştırmak amacıyla özellikle son yıllarda akademik ve endüstriyel alanda Parçacık Görüntülemeli Hız ölçüm Tekniği (PIV) tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniği, Akıllı ve ark. (2008), deneysel olarak silindir arkasına plaka yerleştirerek

kullanmışlardır. Anlık ya da zaman ortalamalı alınan verilere göre yerleştirilen sabit plakanın silindir ardındaki girdap kopmalarının (vortex shedding) önemli ölçüde kontrol altına aldığını tespit etmişlerdir. Silindir arkasına ekledikleri plaka $L/D=0.6$ oranına kadar uzatıldığında oluşan girdabın frekansında düşüş gözlemlemişlerdir. $L/D=1.2$ 'den sonra ise Reynolds gerilme değerlerinde ve türbülans kinetik enerjideki değişimler ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Akış yapısının kontrolü ile ilgili çalışmalarda Ozono (1999); Cimbala ve ark. (1991); Cardell (1993), silindir arkasına plaka yerleştirerek, Kuo ve ark. (2007), silindir ardındaki bölgeye daha küçük çaplı silindirler ekleyerek akışı kontrol altına almayı başarmışlardır. Akıllı ve ark. (2004), hazırladıkları düzenekte birden fazla silindir kullanmışlardır. Silindir çapı, D , sabit kalırken silindirler arasındaki boşluğu, G , artırarak PIV ve boya deney sonuçlarını kıyaslamalarda bulunmuşlardır. Şekil 2.2'de yan yana iki silindire ait boya deney sonuçları verilmiştir. $G/D= 1.25$ oranı akışa ciddi anlamda etki ettiği, sonrasında $G/D=2.0$ seviyesine kadar orta değerde etkirken daha uzun boşluklarda silindir art izinde ihmal edilebilecek düzeyde etkilerin olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. İkili silindirin boya görüntüleme sonuçları (Akıllı ve ark., 2004).

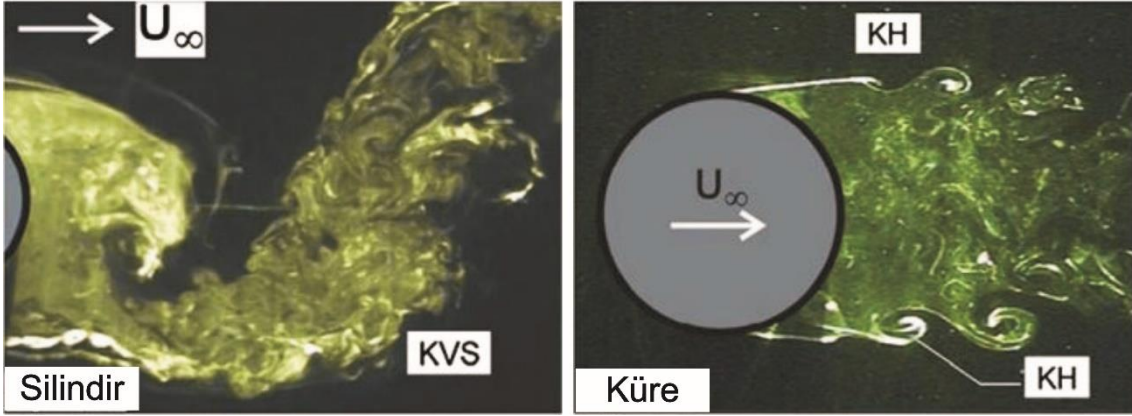
Akıllı ve ark. (2005), Şekil 2.3'te görüldüğü üzere silindir ve kontrol elemanı arasında belirli bir mesafe bırakıp sabit plaka kullanarak deney düzeneğini hazırlamış ve sığ suda incelemelerde bulunmuşlardır. Hazırladığı ayırıcı parçanın uzunluğu silindir çapına eşittir. Çalışma neticesi göstermiştir ki; 0 ile 1.75 D arasında değişen ayırıcı plakanın uç kısmı ile silindir yüzeyi arasındaki mesafeyi ifade eden boşluktaki girdap kopması üzerine ciddi anlanma bastırıcı etkisi vardır. Yaptıkları deneysel çalışma neticesinde plaka kalınlığının akış yapısına önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır.



Şekil 2.3. Silindir arkasına yerleştirilen ayırıcı plakanın gösterimi (Akıllı ve ark., 2005, değiştirilerek alınmıştır).

Choi ve ark. (2008); Williamson (2004), su içerisine yerleştirilmiş çeşitli geometrilerin etrafındaki akış yapısı ile ilgili önemli çalışmalarda bulunmuşlardır. Diğer bir çalışmada ise Bao ve Tao (2013), dairesel silindirin ölü akış bölgesini kontrol etmek için cisim arka yüzeyine paralel olarak bir çift paralel plaka yerleştirmişlerdir.

Ölü akış bölgesinde yalnız şekil modifikasyonu ile değil rejimin değiştirilmesiyle de farklı bulgular elde edilmiştir. Lin ve ark. (1995), silindir etrafındaki akış yapısını Reynolds sayısı, Re : 1000, 5000 ve 10000 için incelemişlerdir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte hız dağılımlarında ve girdabın oluşum uzunluğunda azalmalar meydana geldiğini belirtmişler ayrıca akım çizgilerinde de düzenli görüntüler elde etmişlerdir. Ozgoren ve ark. (2011), yaptıkları deneysel çalışmada silindir ve kürenin akış yapısını iki ayrı rejim ($Re=5000$ ve 10000) için karşılaştırmışlardır. Küre arkasında oluşan girdap, 3 boyutlu yapısından dolayı dalgalı bir hal aldığını rapor etmişlerdir. $Re=5000$ için maksimum türbülans kinetik enerji değerinin küre için silindire göre üç kat daha fazla olduğunu kanıtlamışlardır. Şekil 2.4'te yaptıkları deneyin boya ile görüntüleme sonuçları silindir ve kürenin art izi bölgesindeki durumları verilmiştir. Şekil 2.4'ten de görüleceği gibi akış yönünde oluşan Karman girdabı ve Kelvin-Helmholtz kararsızlıkları açık bir halde belirtilmiştir.



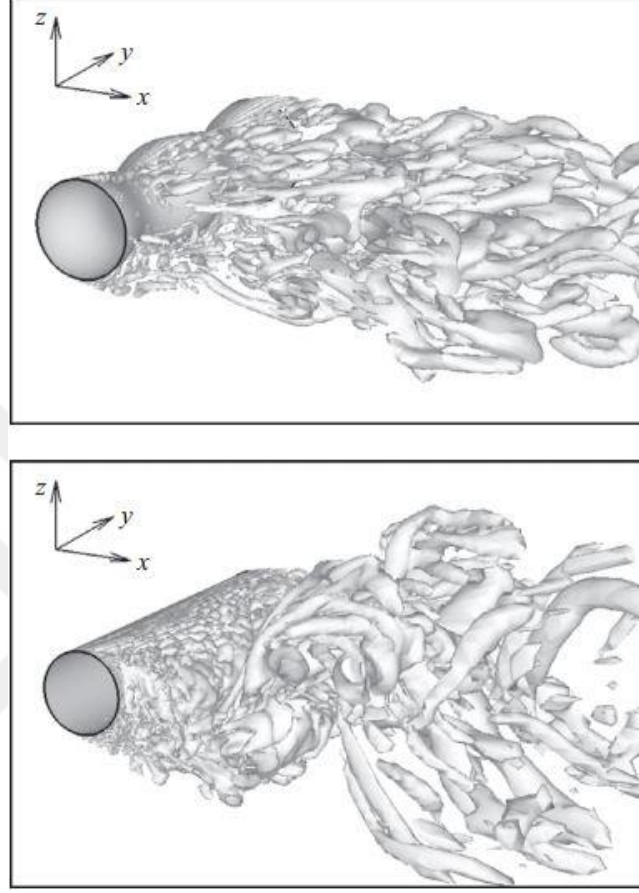
Şekil 2.4. Anlık Boya görüntülerinin karşılaştırılması (Özgoren ve ark., 2011, değiştirilerek alınmıştır).

Kwon ve Choi (1996), silindir arkasına ayırıcı bir plaka yerleştirerek akıntı yüzünde oluşan girdapları kontrol altına almaya çalışmıştır. Plaka sayesinde önemli ölçüde azalmalar olmuş ve Reynolds sayısı ile orantılı olan kritik uzunluğun üzerine çıktığında girdap kopması tamamen ortadan kaybolmuştur.

Teksin ve Yayla (2014), yaptıkları çalışmada tek silindir arkasına 240 mm uzunluğunda elastik bir parça ekleyerek $Re_D=2500$ değerinde girdap yapısını kontrol etmeye çalışmışlar. Yayla ve Teksin (2014), benzer bir çalışma olarak esnek ayırıcı plaka ekleyerek Reynolds sayısı, $Re_D=7500$ 'de incelemiş ve sınır tabakanın etkisi altına kalan bölge ile sınır tabakanın etkisinin olmadığı bölgeyi kıyaslamışlardır. İki çalışmanın neticesinde akış yapılarının maksimum değerlerinde (türbülans kinetik enerji, akım yönünde ve akıma dik yöndeki Reynolds gerilmeleri gibi) düşüş gözlemlemişlerdir. Shukla ve ark. (2013), deforme olabilen ayırıcı plakanın akış üzerindeki etkisini incelemek için silindirin ölü akış bölgesine plastik ince ve esnek bir plaka eklemişlerdir. Ayırıcı parçanın esnekliği çok düşük olduğu durumda kontrol elemanının periyodik olarak salınım yaptığı belirlenmiştir.

Test edilen hedef cisimlerin şeklinde değişikliğe gidilerek pasif olarak akış karakteristiklerinin kontrolü anlatılmaya çalışılmıştır. Xu ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada dalgalı bir silindir üzerinden geçen akışı pasif olarak kontrol etmiş ve neredeyse yalın haldeki silindire kıyasla %26 oranında direnç katsayısında düşüş belirlemiştir. Hatta çalkantı hızlarının ortalama olarak sıfıra yaklaştığını saptamıştır. Şekil 2.5'te düz ve dalgalı silindirin ölü akış bölgesinde meydana gelen girdap yapısı belirtilmiştir. Yaptıkları kıyaslamada akış karakteristiğindeki önemli farklılıkları rapor

etmişlerdir. Dalgalı silindir için daha düşük girdap yapıları elde ederlerken düz silindir de bu değerler daha üst mertebe olduğunu görmüşlerdir.



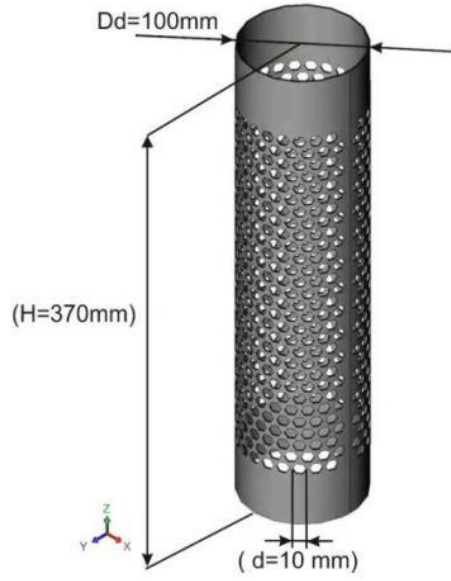
Şekil 2.5. Düz ve dalgalı silindirin girdap yapısı (Xu ve ark., 2010).

Geometrik şekil ya da parçaya eklenen parçalara ek olarak Pınar ve ark. (2015), Reynolds sayısı, $Re=10000$ de akış karakteristikleri hakkında bilgi elde etmek için deneysel olarak gözenekli silindir kullanmışlardır. Gözenek aralığını, β değiştirerek bu parametrenin akış yapısı üzerindeki etkisi incelemiştir. Gözenekli kontrol elemanı kullanarak büyük ölçekteki girdaplarda zayıflama çalkantı hızlarında azalmaların olduğunu gözlemlemişler ve delikli silindirin gözeneklerinin artmasıyla oluşan girdabın akım yönüne doğru uzadığı ve türbülans istatistiklerinde azalmaların olduğunu göstermişlerdir. Oruç (2013), dairesel silindire temas etmeyen fakat silindiri çevreleyen, belirli oranda geçirgenliğe sahip delikler açmış ikinci bir elips şekline benzeyen ve boyutları değişen bir kontrol elemanı ekleyerek akış yapısını incelemiştir. Yalnız sınır tabakada değil sınır tabakanın etkili olmadığı bölge içinde Reynolds gerilme değerleri,

türbülansın şiddeti ve türbülans kinetik enerji çok küçük değerlere düştüğünü göstermiştir. Thiria ve ark. (2009), ortaya koyduğu çalışmada ise iki boyutlu bir cisim arkasına iki ayrı küçük silindirler ekleyerek türbülans bölgesini deneysel olarak incelemiştir. Bayraktar ve ark. (2013), ortaya koydukları çalışmada ise dairesel, kare ve elmas şeklindeki cisimlerin arkasında oluşan ölü akış bölgesini iki boyutlu olarak incelemiştir. Farklı Reynolds sayılarında yaptıkları deneylerde dairesel silindirin direnç katsayısı en düşük düzeyde çıkarken kare silindirin direnç katsayısının en yüksek seviyede olduğunu deneysel sonuçlarla desteklemiştir.

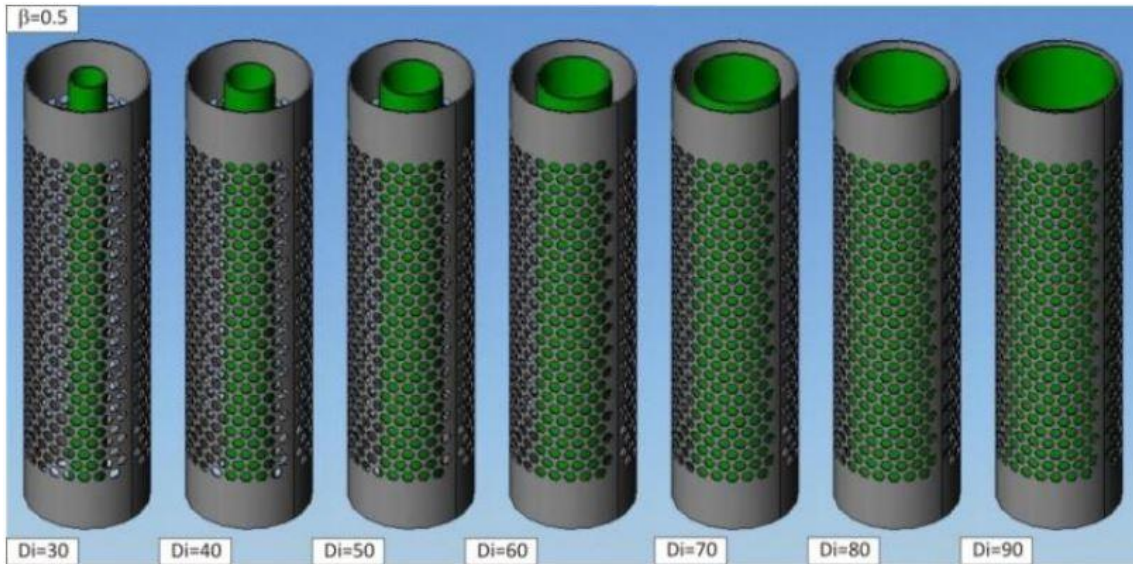
Assi ve ark. (2009); Shukla ve ark. (2009) akış yapısı hakkında birçok özelliği ortaya çıkarmak için mafsallı sabit ayırıcı plaka kullanmıştır. Bu ayırıcı silindirin arka kısmında meydana gelen akış kuvvetleri sayesinde plaka mafsallı etrafında hareket edebilmektedir. Shukla ve ark. (2009), çalışmasında göstermiştir ki, mafsallanmış kontrol elemanının hareketi ve etkisi mafsallı üzerinde zayıflamalar neden olmuştur. $L/D \leq 3$ gibi kısa ayırıcı plaka uzunları için salınımlar neredeyse periyodik olarak gözlemlenmiştir. Fakat bu uzunluk artırıldığında yani, $L/D \geq 4$, ayırıcı plakanın özelliğini hızlı bir şekilde değiştirmektedir. Kontrol elemanı periyodik olmayan bir harekete dönüşmektedir.

Küçük ve Akar (2013), silindir yüzeyine temas etmeyen bir kontrol elemanı tasarlayıp silindir etrafına monte etmişlerdir. Silindirin ölü akış bölgesindeki akış yapısını kontrol etmek için Şekil 2.6'da gösterildiği gibi kontrol elemanında değişken oranlarda gözenek bulunmaktadır. Deneyleri belirli bir serbest akış hızı altında ve belirli bir Reynolds sayısında yapmışlardır. 0.5 gözenek değerine sabit kontrol elemanın akış karakteristikleri üzerinde ciddi anlamda etkili olduğunu saptamışlardır. Bu değer üzerine çıkıldığında ise akışa olan etkinin azaldığını bildirmişlerdir.



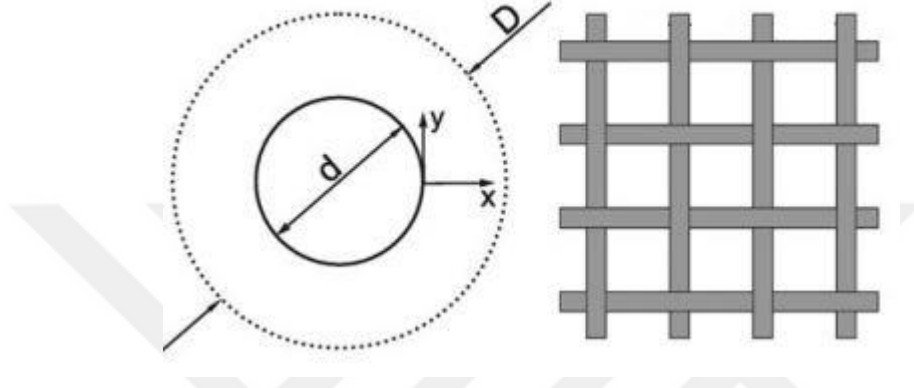
Şekil 2.6. Deneylerde kullanılan delikli dış silindirin şematik gösterimi (Küçük ve Akar, 2013).

Küçük ve Akar (2014) tarafından yapılan diğer bir çalışmada (Şekil 2.7) ise geçirgenlik oranı, β sabit tutulurken iç silindir çapı değiştirilmiştir. Deney sonucunda iç silindir çapı arttıkça arasındaki mesafe azaldığından dolayı akış karakteristikleri üzerindeki etkisinin azaldığı belirlenmiştir.



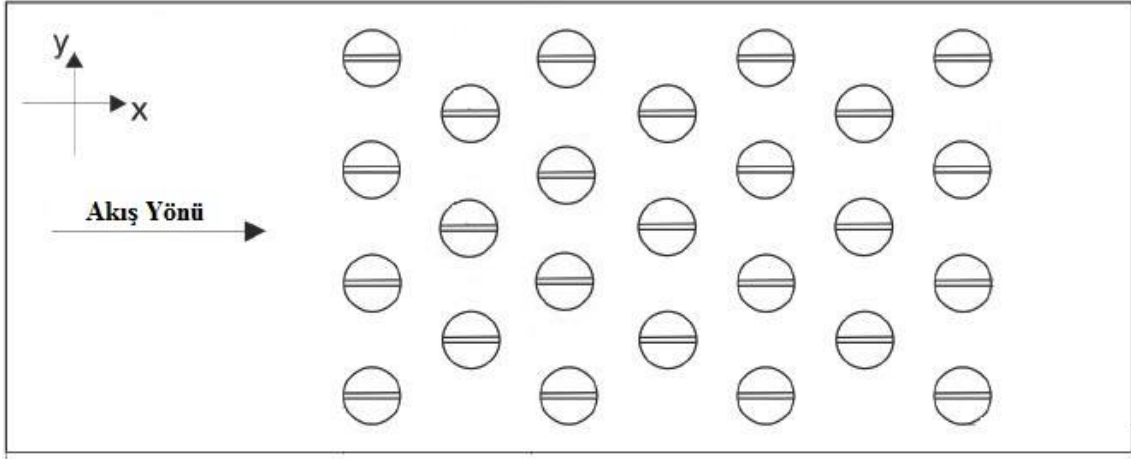
Şekil 2.7. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranına sahip dış silindir ve farklı çaplara ($D_i=30$ mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, ve 90 mm) sahip olan iç silindirlerin birlikte şematik gösterimi (Küçük ve Akar, 2014).

Özkan ve ark. (2012), yaptığı çalışmada akış yapısını incelemek için kullandığı sistemde hem cismin hem de gözenekli kontrol elemanının çapını ve gözeneklerini değiştirerek araştırmışlardır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi iç silindir çapını D ve gözenekli cismin çapını d ile göstererek $0.4 \leq D/d \leq 0.6$ aralığını akış karakteristikleri üzerinde en etkili oran olduğunu ortaya çıkarmışlardır.



Şekil 2.8. İç ve dış silindirin şematik gösterimi (Özkan ve ark., 2012, değiştirilerek alınmıştır).

Tiwari ve ark. (2005), ayırıcı plaka kullanarak nümerik olarak bir deney düzeneği hazırlamıştır. Bu ayırıcı plakanın akış karakteristikleri üzerinde değişimlere sebep olduğunu göstermiştir. Ozone (2003), ayırıcı plakanın uzunluğunun akış karakteristikleri üzerinde etkili olmamasına rağmen bu kontrol elemanının asimetric düzenlemede girdap kopması üzerinde azalmalarını yorumlamıştır. Gomes ve ark. (2010), silindire eklediği bir serbestlik derecesine sabit tek sabit ayırıcı plakayı su kanalı içerisine yerleştirmiş ve PIV tekniği ile incelemiştir. Elde ettiği sonuçları ise deneysel ve nümerik olarak karşılaştırmıştır. Gomes ve Lienhart (2010; 2013), yaptıkları çalışmada aynı geometriye atıfta bulunmuştur fakat türbülans rejimi altında akışkan kullanmışlardır.



Şekil 2.9. Yiv açılmış plakalı ısı değiştiricisinin üst görünüşü (Yayla, 2013, değiştirilerek alınmıştır).

Birçok araştırmalar sonucunda Reynolds gerilmelerinin azaltılması gerektiği belirlenmiştir. Fakat ısı değiştiriciler gibi türbülanslılığın önem arz ettiği noktalarda Reynolds gerilme değerlerinin diğer uygulamaların aksine artırılması için çaba sarf edilmektedir. Bu değerlerin artırımıyla ilgili Yayla (2013), Şekil 2.9’da gösterildiği gibi saptırılmış olarak üzerine yiv açılmış silindirler kullanarak plakalı ısı eşanjörünü PIV tekniği ile incelemiştir. Açtığı bu yiv sayesinde türbülans istatistiklerinde artış meydana getirmiş ve verimliliği artırarak ısı transferinde iyileşme sağlamıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde birçok tasarlanan kontrol elemanlarıyla akış içerisinde meydana gelen olumsuzluklar aktif kontrole göre daha kolay olan pasif kontrol yöntemi ile minimum düzeye indirilebildiği görülmüştür.

Tüm bu çalışmalar, cisim üzerindeki geometrik değişiklikler ile ya da cisme farklı bir malzeme eklenmesi sayesinde verimde artış veya aerodinamik yapı açısından farklılıklar meydana getirdiğini göstermiştir. Akışta meydana gelen kararsızlıkları azaltmak veya yok etmek ilerideki yapılacak olan çalışmalar ve uygulamalar için çok faydalı olacaktır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV)

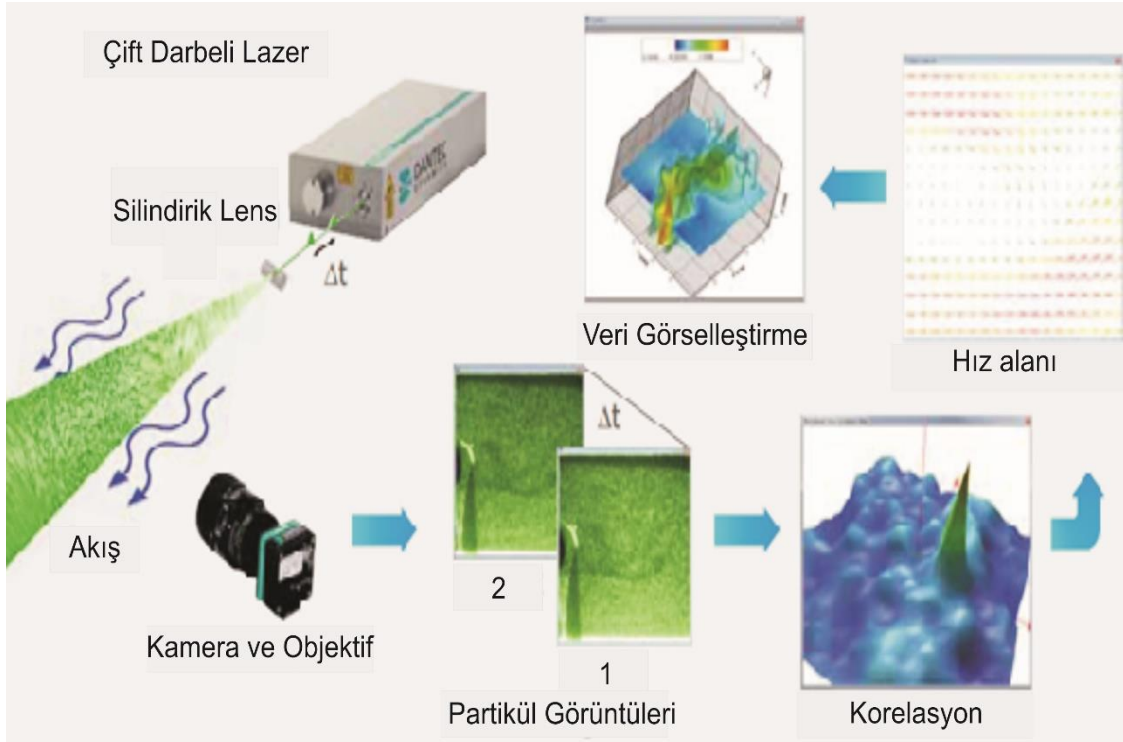
Akışkanlar mekaniğinde, akışkanın hız alanını zamana bağlı olarak ölçmede kullanılan en modern ve yaygın metot Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV)'dir. Su kanalı ve hava tüneli ile birlikte kullanılan bu yöntemde lazer huzmeleri altında kalan alan aydınlatılmakta ve her lazer atımında anlık görüntüler kaydedilmektedir.

3.1.1. Su kanal sistemi

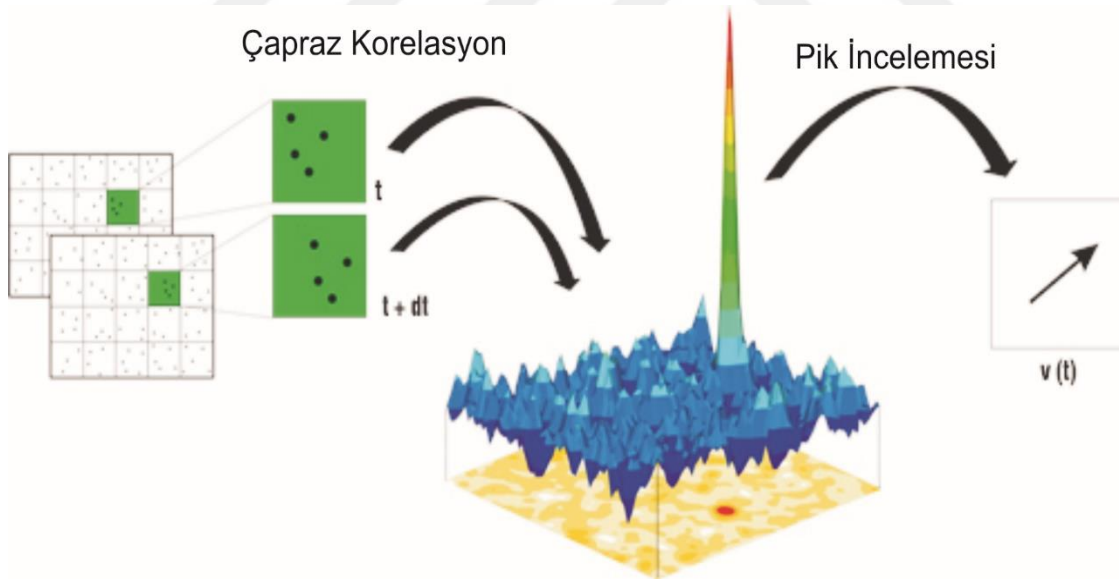
PIV ve boya deneyleri Çukurova Üniversitesi, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarına yerleştirilmiş olan kapalı devre açık su kanalında yapılmıştır. 8000 mm uzunluğunda 1000 mm genişliğinde ve 750 mm yüksekliğinde olan bu kanal akış alanını gözlemleyebilmek için akrilik şeffaf malzemeden üretilmiştir. Bu akrilik kısmın iki uç tarafında su depoları bulunmaktadır. Hızı ayarlanabilen 15 kW gücündeki elektrik motoru ile santrifüj pompa tahrik edilmekte ve serbest akış hızı belirli bir seviyede tutulabilmektedir. Serbest akış hızı 41 mm/s ile 125 mm/s arasında değiştirilmektedir. Su yüksekliği ise 600 mm'de sabit tutulmaya çalışılmıştır. Bal peteği kısmı ile 2:1 oranında daralmanın olduğu iki adet ek kısım test bölümünde çalkantıları en aza indirmek için tasarlanmıştır.

3.2. PIV Tekniğinin Çalışma Prensibi ve Bileşenleri

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) tekniği temassız bir test yöntemi olup temelde; $Yol = Hız \times Zaman$ prensibine dayanmaktadır. Lazer huzmesinin silindirik bir lensten geçip test bölgesindeki akış alanını aydınlatmasının ardından kaydedilen ilk görüntü, Δt zaman aralığından sonra Şekil 3.1'de gösterildiği gibi ikinci kez diğer görüntü yakalanır. Burada parçacığın aldığı yol, Δx ve geçen süre bilindiği için basit bir hesap ile hız vektörü tayin edilebilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. PIV sisteminin çalışma prensibi (Anonim, 2014).



Şekil 3.2. Partiküllerin korelasyonu ve pik değeri (Anonim, 2015).

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme, (PIV) tekniği cisme ya da akışa temas etmeden sadece akış içerisine serpiştirilmiş çok küçük boyutlardaki partiküllerin hareketini izleyerek hızlarını belirler. Mikroskobik akışlardan ses üstü hızlardaki akışlara kadar geniş ölçekli uygulama alanları bulunmaktadır. Bu yöntemin yetenekleri ise:

- Anlık vektörel hız haritası
- Akım çizgileri
- Girdap
- Türbülans ve diğer istatistik ölçümleri ve
- Zaman çözünürlüklü ölçümler yapabilme olarak sıralanabilir.

Esnek ağ tasarımı sayesinde sonuçlar Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, (HAD) ile benzerlik göstermektedir.

Lazer ışınları altında parlayan partiküller ile yapılan deneylerde maksimum verim elde edebilmek için bazı dikkat edilmesi gereken hususlar vardır:

- Akış ortamı (hava/su)
- Eklenen partiküllerin hacmi
- Akış hızı
- Işın yayılması
- Görüntü boyutu
- Güvenlik faktörleri
- Maliyet

Partikül boyutu ve yoğunluğu ile akışkanın viskozitesi ve yoğunluğu deneyin genelini ilgilendirmektedir. Tam olarak eşit bir yoğunluk elde etmek problem olduğu için bu değerlere yakın bir sonuç elde edilebilmektedir.

Zaman ortalamalı PIV verileri aşağıda belirtilen formüllerden hesaplanmaktadır:

Akım yönündeki hız bileşeni, u ,

$$\langle u \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n(x, y) \quad (3.1)$$

Akıma dik yöndeki hız bileşeni, v ,

$$\langle v \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v_n(x, y) \quad (3.2)$$

Girdap, ω ,

$$\langle \omega \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \omega_n(x, y) \quad (3.3)$$

Akım yönündeki çalkantı hızının rms değeri, u_{rms} ,

$$u_{rms} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.4)$$

Akıma dik yöndeki çalkantı hızının rms değeri, v_{rms} ,

$$v_{rms} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [v_n(x, y) - \langle v(x, y) \rangle]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.5)$$

Reynolds kayma gerilmesi değeri, $u'v'$,

$$\langle u'v' \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle][v_n(x, y) - \langle v(x, y) \rangle] \quad (3.6)$$

Akım yönündeki Reynolds normal gerilme değerleri, $u'u'$,

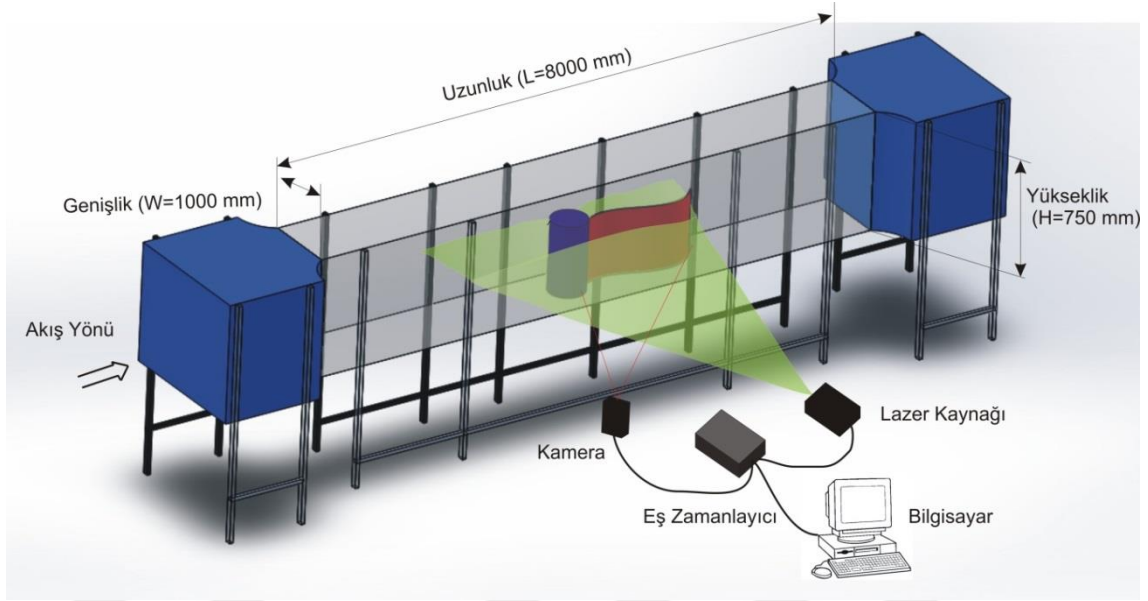
$$\langle u'u' \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle][u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle] \quad (3.7)$$

Akıma dik yöndeki Reynolds normal gerilme değerleri, $v'v'$,

$$\langle v'v' \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [v_n(x, y) - \langle v(x, y) \rangle][v_n(x, y) - \langle v(x, y) \rangle] \quad (3.8)$$

Buradaki N değeri deneylerde alınan toplam görüntü sayısını ifade ederken, n , anlık görüntüleri belirtmektedir.

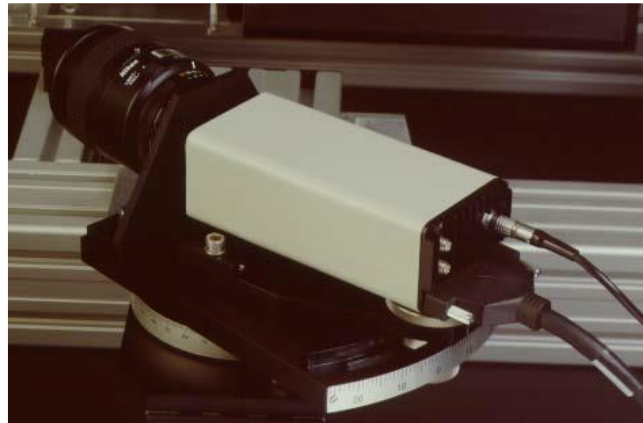
PIV sisteminin genel olarak gösterimi Şekil 3.3'te verilmiş ve bileşenleri aşağıda listelenmiştir.



Şekil 3.3. Deney Düzenekinin Genel Gösterimi.

3.2.1. Kamera

Günlük hayatta kullanılan kameralara benzese de kısa zaman diliminde fazla sayıda görüntü kaydeden cihazlardır. Tek kamera kullanılan deneylerde iki boyutlu görüntüler elde edilirken ikinci bir kameranın eklenmesiyle görüntüyü üç boyutlu olarak kaydetmek mümkündür. CCD (Charged Coupled Device) olarak adlandırılan bu cihazlar içerisine giren ışığı sensörler aracılığıyla kaydedebilmekte ve ışığa duyarlı diyetler sayesinde gerilimlere dönüştürülmekte ve görüntü alınabilmektedir.



Şekil 3.4. Sistemde kullanılan Kamera (Yayla, 2009).

Bazı PIV kullanılan deneysel çalışmalarda aynı açı ile aynı noktaya bakan iki adet kamera kullanılmaktadır. Kullanılan bu kameralar insan gözünün çalışma prensibine dayandırılmış ve odaklanabilmesi için kalibre edilmesi gerekmektedir. 200 x 200 mm boyutlarındaki delikli kalibrasyon tahtası kullanılmaktadır. Kalibrasyon sonunda elde edilen resim ile kameraların resimleri adaptif korolasyon tekniği ile sonuçlar üst üste karşılaştırılarak sistemin yazılımı sayesinde üçüncü boyuta geçilebilmektedir (Canpolat ve ark., 2010).

3.2.2. Lazer

Akış alanı içerisindeki gümüş kaplı parçacıklar hareketleri esnasında lazer huzmesi altında parlayarak anlık olarak yakalanmasında bölgenin aydınlatılması gerekmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan Lazer ünitesi ise bu duruma çözüm sunmaktadır.

İsimlerini içerisindeki ışınımı sağlayan maddelerden alan lazerler mevcuttur. Sık kullanılan lazerlerden ND:YAG lazer bunlardan yalnızca biridir. Bu lazer türünde ışık kaynağı olarak “Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet” kullanılmaktadır. Lazerin ürettiği ışığın dalga boyu 1064 nanometredir. Dalga boyu ise 532 nm’lik iki dalga haline getirilerek görünür kılınmaktadır (Karadeniz, 2011).

Görüntü alanını aydınlatmak için kullanılan lazer kaynağı silindirik bir lens vasıtasıyla akış alanını kolaylıkla aydınlatabilmektedir. Her bir lazer atımı 5 ms gibi çok kısa periyotlarla gönderilirken akış yüksek hızlarda bile olsa (>100 m/s) anlık olarak görüntü donduruluyormuş gibi kayıt altına alınabilir. 1 cm/s’den küçük hızlar için kullanılan YAG-lazer tipi ünite için frekans 10-30 Hz aralığındadır. Ancak bu iki lazer atımı arasındaki zaman farkının olmaması istendiğinde ikinci bir lazer ünitesi PIV sistemine dâhil edilebilmektedir.

3.2.3. Eş zamanlayıcı

Lazer ünitesi ile kameranın görüntü alanının aydınlatılması ve o anda bölgenin görüntüsünün eş zamanlı olarak kaydedilmesi aşamasında kullanılan yardımcı elemandır.

3.2.4. Bilgisayar

Lazer huzmeleriyle aydınlatılan alandaki görüntülerin kaydedildiği ve içerisinde hazır olan paket programlar ve yazılan programları kurulu olduğu ve bu yazılımlar ile işlemlerin yapılmasına imkân tanıyan cihazdır.

3.3. Deney Düzeneği

Bu çalışma esnasında sınır tabakanın etkisinin olduğu ve olmadığı bölge için iki farklı noktadan anlık görüntüler alınmıştır. Silindir çapı, $D=60$ mm olarak seçilirken kanal içerisindeki su yüksekliği, $h_w=600$ mm seviyesinde sabit tutulmaya çalışılmıştır. Belirlenen iki ayrı seviye için hem üç farklı Reynolds sayılarında, ($Re_D=2500, 5000$ ve 7500) incelemelerde bulunulmuş hem de silindirin ölü akış bölgesine eklenen esnek ayırıcı plakanın uzunluğunda, ($L=75, 90, 120, 135, 150, 180$ ve 240 mm) değişiklikler yapılmıştır. Tüm deneylerde kullanılan kontrol elemanı 1400 N/mm^2 sabit elastiklik modülüne sahip ve 80 mikron kalınlığında akrilikten imal edilmiş şeffaf vinildir. Elde edilen PIV deney sonuçları yalın haldeki silindir, $L/D=0$ ile kıyaslamalarda bulunulmuş ve esnek ayırıcı plakanın akış karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Esnek Parça Uzunluklarının Sınır Tabaka Altında Akış Yapısına Etkisi

4.1.1. Giriş

Akış içerisinde yerleştirilmiş olan bir cismin arkasında oluşan girdaplar periyodik yüzey yüklemeleri, gürültü ve rezonans gibi çeşitli problemlere sebep olmakta bu girdaplar cismin ömrünün kısılmasına yol açmaktadır. Meydana gelen bu sorunların önlenmesi için daimi olmayan akış yapısının kontrol altına alınması ve Reynolds gerilme değerlerinin azaltılması gerekmektedir.

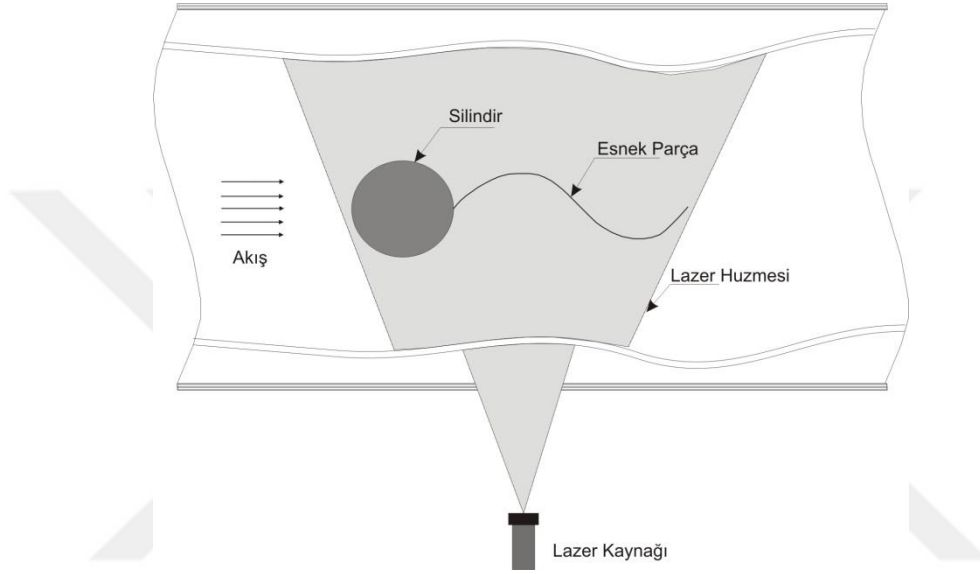
4.1.2. Çalışmanın amacı

Bu çalışmada, PIV yöntemi ile belirlenen hız alanlarından silindirin art izi bölgesindeki akışın hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, girdap konturları $\langle \omega \rangle$, boyutsuz Reynolds gerilme değerleri $\langle u'v'/U^2 \rangle$, akım yönündeki $\langle u'u'/U^2 \rangle$ ve akıma dik yöndeki Reynolds normal gerilme değerleri $\langle v'v'/U^2 \rangle$ ve zaman ortalamalı boyutsuz türbülans kinetik enerji $\langle TKE \rangle$ sonuçları silindirin orta yüksekliğinden alınan veriler ile hesaplanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde köprü ayakları etrafında oluşan daimi olmayan girdapların etkisi azaltılarak yapının yorulma ömründe artış ve buna bağlı olarak yıpranma/aşınma gibi malzeme deformasyonunda azalma sağlanması amaçlanmıştır. Silindir art izinde oluşan daimi olmayan akış yapısını kontrol etmek amacıyla art izi bölgesine yerleştirilen esnek parça ile ölü akış bölgesindeki akış karakteristikleri incelenmiştir.

4.1.3. Deney düzeneği

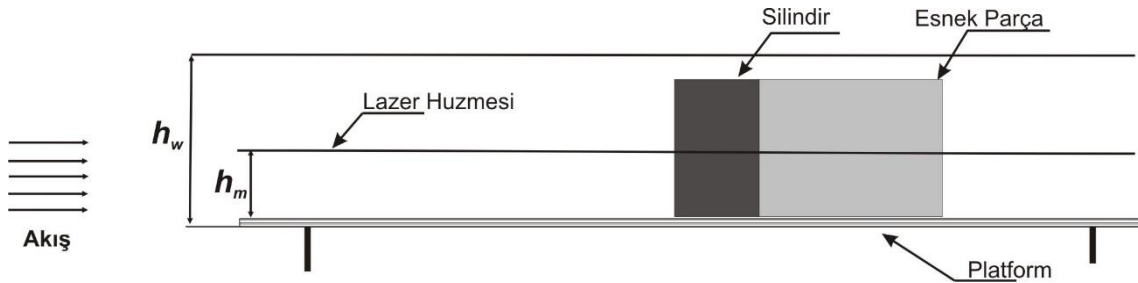
Silindir ardında oluşan daimi olmayan girdap yapısını esnek parça kullanarak kontrol etmek amacıyla Şekil 4.1’de gösterilen farklı uzunluklardaki esnek parçalar dikey olarak yerleştirilen silindire eklenmiştir. Kontrol elemanı olarak esnek parçanın

kullanılması ile birlikte silindirin art izi bölgesinde oluşan akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV) ile deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan silindirin çapı ve yüksekliği sırasıyla 60 mm ve 500 mm olarak belirlenmiş, su derinliği ise $h_w=600$ mm'de sabit tutulmuştur. Eklenen parçanın etkisini incelemek amacıyla $L=75$ mm, 90mm, 120mm, 135mm ve 180mm ($L/D=0, 1.25, 1.5, 2, 2.25, 3$) olarak farklı uzunluklarda ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin detaylı gösterimi.

Lazer huzmesi silindirin tam ortasından ($h_m=250$ mm) geçmektedir. Bu yüksekliğin üzerine çıkıldığında sınır tabaka etkisini kaybetmektedir. Silindir çapına bağlı Reynolds, $Re_D=5000$ ve Froude, $Fr=0.035$ sayılarına karşılık gelecek şekilde serbest akış hızı $U_\infty=85$ mm/s olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.2. Deney düzeneğinin yan görünüşü ve parametreleri.

Deneyler Şekil 4.2’de görüldüğü gibi su kanalına yerleştirilen bir platform üzerinde yapılmaktadır. Bu platformun uzunluğu 2300 mm, genişliği 980 mm ve platformun su kanalının tabanından yüksekliği ise 600 mm’dir.

4.1.4. Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) sonuçları

Farklı L/D oranları için silindirin art izinde oluşan akış yapıları Şekil 4.3-4.9 arasında gösterilmiştir. Şekil 4.3’te ilk sütunda zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, ikinci sütunda akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, ve son sütunda ise Reynolds gerilmeleri eş değer konturları $\langle u'v'/U^2 \rangle$ gösterilmiştir. Her bir satırda ise farklı uzunluktaki esnek parçanın etkisi incelenmiş ve daha iyi bir kıyaslama yapabilmek için L/D=0 ile karşılaştırılmıştır. Diğer şekiller için de geçerli olmak üzere Reynolds gerilme değerleri, girdap konturları, akım yönündeki ve akıma dik yöndeki hız bileşenleri için sürekli çizgiler pozitif değerlere sahipken negatif değerlere sahip konturlar kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Verilen tüm resimlerde serbest akış yönü soldan sağa doğrudur.

Şekil 4.3’te ilk sütunda hız vektörleri gösterilmiştir. Görüntülerde silindir arkasındaki kalan bölgede açık renkte kalan kısım hız değerlerinin çok düşük olduğu basıncın ise buna zıt olarak yüksek olduğu bölgedir. Resimlerin geneline bakıldığında esnek parçaya bağlı olarak ölü akış bölgesi akım yönünde uzadığı görülmüş ve bu bölgenin uzaması dairesel silindirin arkasında oluşan büyük ölçekteki girdapların yayılandığı belirlenmiştir.

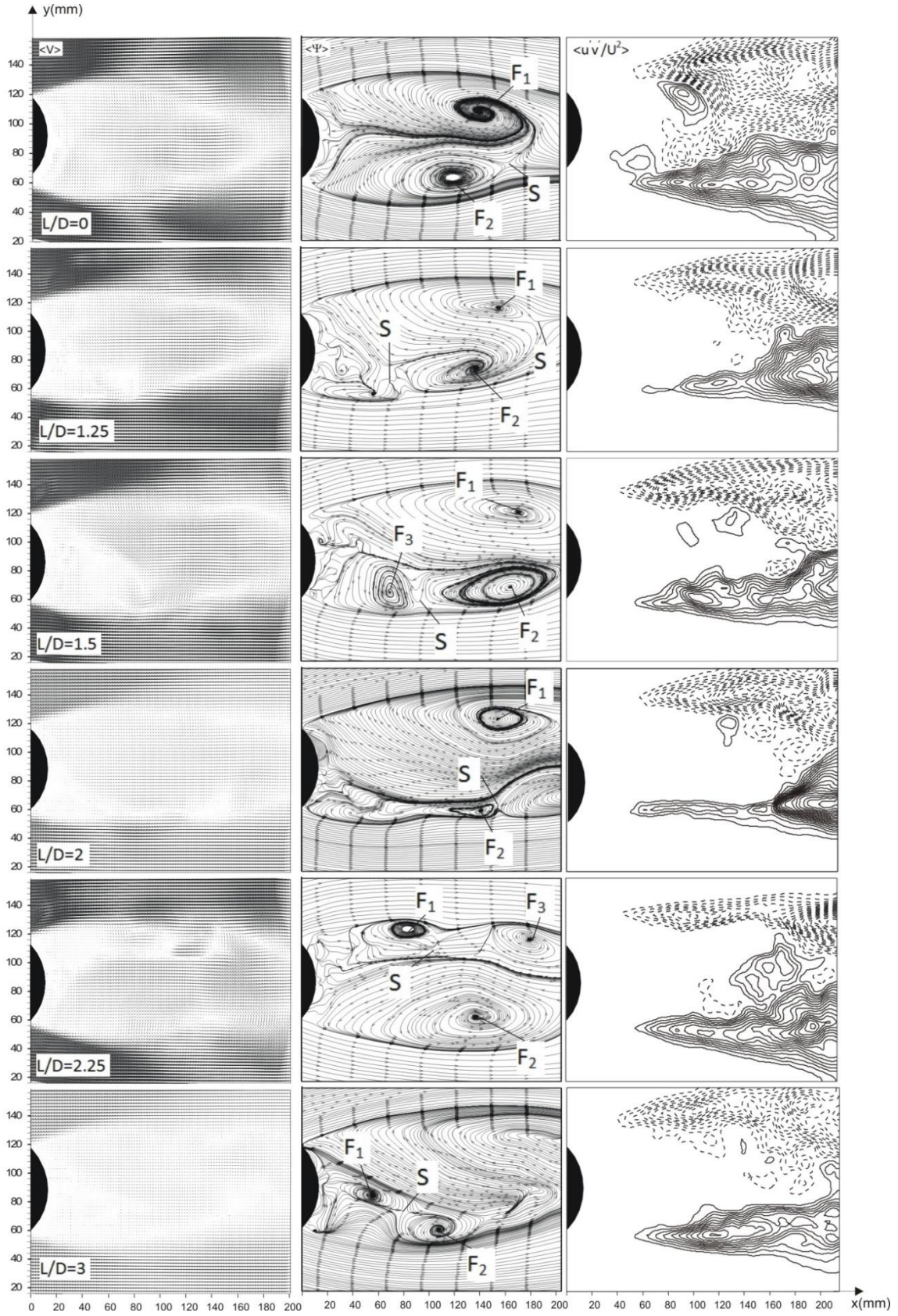
Boyutsuz Reynolds gerilmeleri için minimum değerler ve artırım miktarı ± 0.003 ve $\Delta 0.003$ olarak belirlenmiş olup silindirin art izinde meydana gelen değişimler Şekil 4.3’te karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Kesik çizgilerle verilen Reynolds gerilme değerleri negatif (saat yönünün tersi) değerleri gösterirken sürekli çizgiler pozitif (saat yönünü) ifade etmektedir. İlk sütunda verilen hız vektörleri ile $\langle V \rangle$ yüksek ve düşük yoğunluklu hız alanları açık ve net bir şekilde görülmektedir. L/D=0 için maksimum $\langle u'v'/U^2 \rangle$ değeri ± 0.1 olarak belirlenmiştir. L/D=1.25’ten başlayıp önce ± 0.06 değerine L/D=1.5 için ± 0.05 ’e L/D=3’e varıncaya kadar ise bu değer düşüş göstermiş ve L/D=3’te 0.045 değerine kadar azalmıştır.

Reynolds gerilme değerindeki bu azalma, orta sütunda belirtilen akım çizgileriyle de paralellik göstermektedir. Zaman ortalamalı Reynolds gerilmelerinin maksimum

değerlerinin oluştuğu yer $L/D=0$ için ortalama 2D mesafesinde oluşurken en kısa parça eklense bile daha ileride oluşan bu maksimum değer silindir yüzeyinden akım yönüne doğru ileri tarafa ötelendiği diğer resimlerde net bir şekilde görülmektedir.

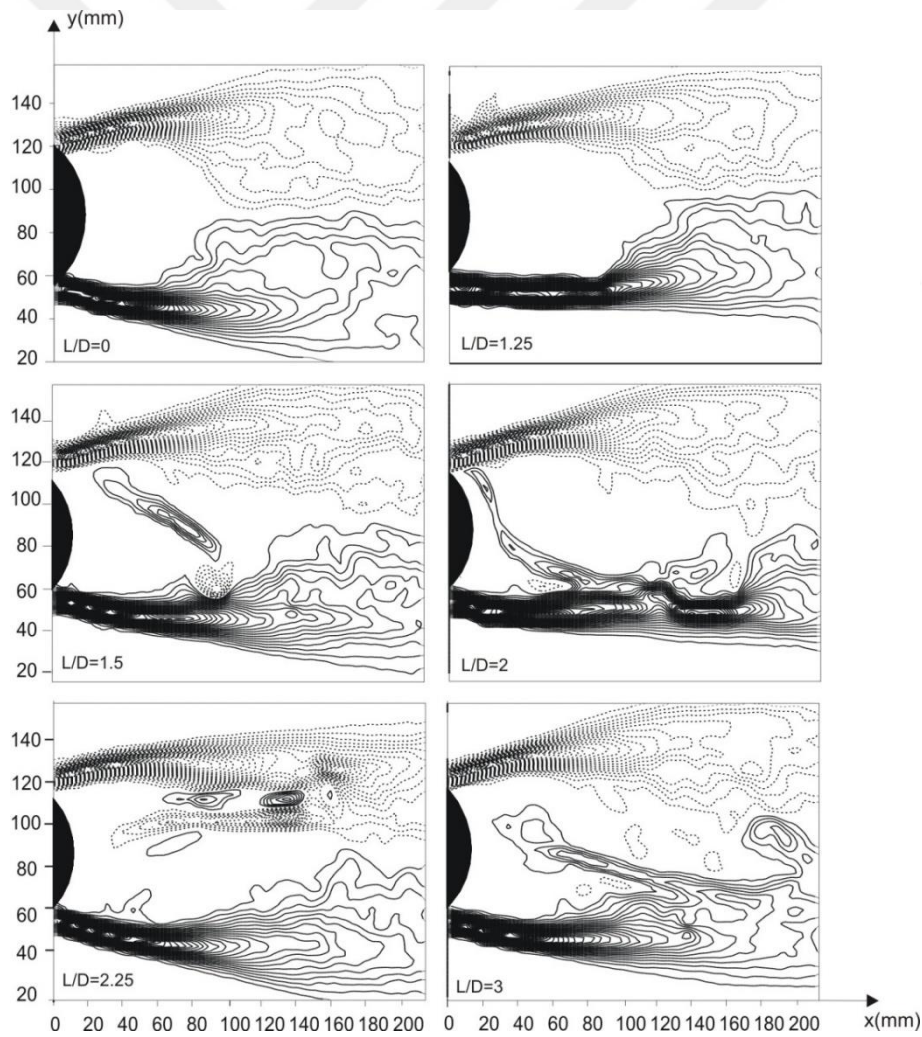
Silindirin çevresinden ayrılan akım çizgilerinin tekrar birleştiği yer olarak tanımlanan bir adet düğüm noktası, *S*, (Saddle Point) Şekil 4.3'te görüldüğü gibi L/D oranı arttıkça esnek parçanın hareketine bağlı olarak akım yönünde ileri doğru kaydığı gözlemlenmiştir. L/D oranı 2 ve 2.25'te esnek parçanın yapmış olduğu *S* hareketine bağlı olarak birincil düğüm noktaları görüntü alanından çıkarken ikincil düğüm noktaları oluşmuştur. Akım çizgilerinin sirkülasyonunu simgeleyen, *F*,döngü (Foci) noktalarında momentum transferine bağlı olarak artış meydana geldiği görülmektedir.





Şekil 4.3. Farklı L/D oranları için ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, Reynolds gerilme değeri.

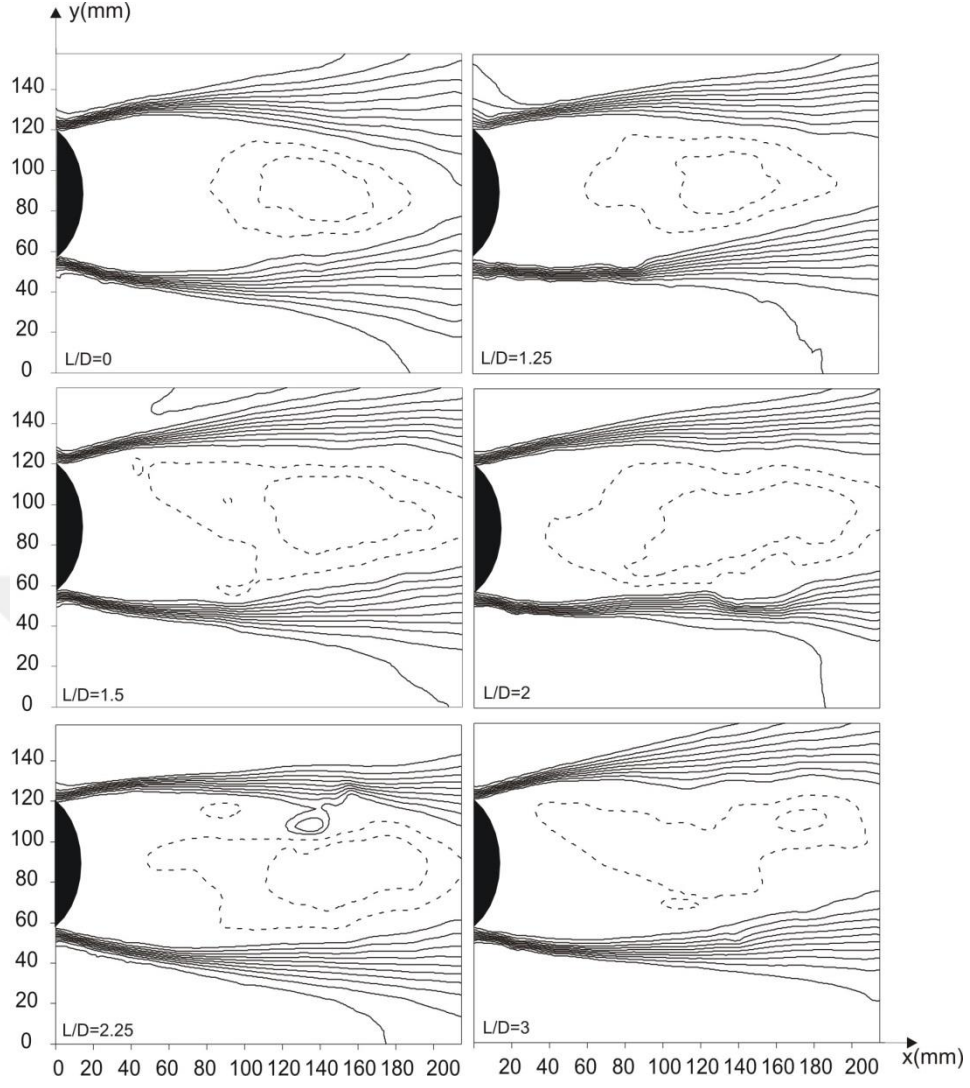
Özellikle $L/D=1.5$ ve daha sonrasında küçük ölçekli farklı girdapların oluştuğu akım çizgilerinden ve girdap konturlarından görülmektedir. Elastik parça sayesinde boyutsuz Reynolds gerilmelerinin maksimum değeri ortalama %50 oranında düşmüştür. Şekil 4.4'te zaman ortalamalı girdap eş düzey konturları için minimum değer $\langle \omega \rangle_{min} = \pm 0.5 \text{ s}^{-1}$ ve artırım miktarı $\Delta \langle \omega \rangle = 0.5 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Zaman ortalamalı girdap eş düzey konturlarına bakıldığında, pozitif ve negatif konturların simetrik bir yapıya sahip olduğu ve art izi bölgesinde birbirlerine doğru yaklaştığı görülmektedir. Maksimum girdap şiddetinin oluştuğu yer, (L/X) ciddi bir yer değişikliği göstermemiştir. $L/D=1.5$ değerine kadar simetrik bir yapıda oluşan zaman ortalamalı girdap eş düzey konturları $L/D=1.5$ değerinden sonra bu simetrik yapı kaybolmuş farklı değerde ve noktada başka girdaplar meydana gelmiştir.



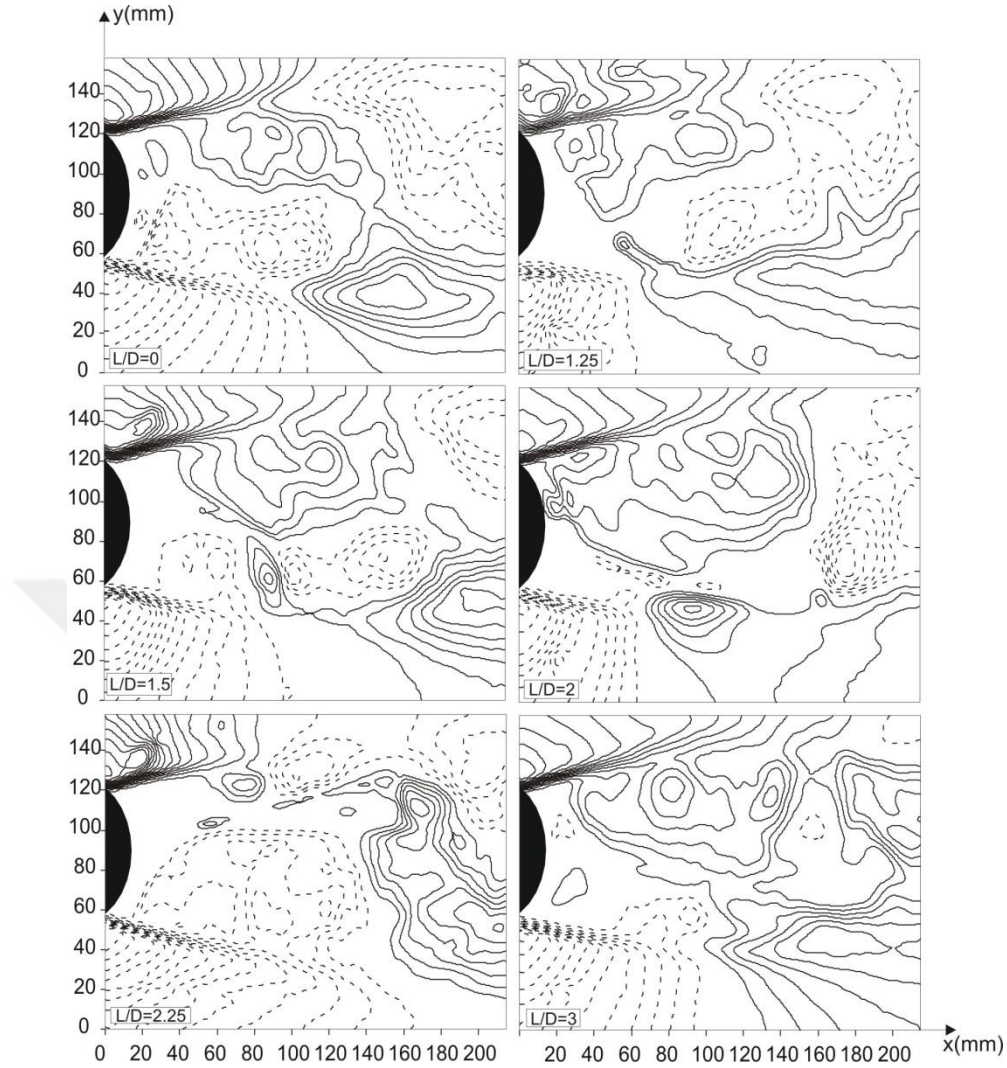
Şekil 4.4. Zaman ortalamalı girdap konturları.

Akım yönündeki zaman ortalama boyutsuz hız bileşenleri $\langle u/U \rangle$ ve Reynolds normal gerilme değerleri $\langle u'u'/U^2 \rangle$, akıma dik doğrultudaki boyutsuz hız bileşenleri $\langle v/U \rangle$ ile normal gerilme değerleri $\langle v'v'/U^2 \rangle$ farklı uzunluklardaki esnek parçalara göre Şekil 4.5-4.8’de ayrı ayrı gösterilmiştir. Sürekli kontur çizgiler akışın saat yönünün tersi (pozitif) olduğunu gösterirken kesikli çizgiler ise saat yönünü (negatif) göstermektedir.

Akım yönündeki hız değerleri minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u/U \rangle]_{\min}=10$ ve $\Delta[\langle v/U \rangle]=10$ iken, akıma dik yönde olan hız bileşenleri $[\langle v/U \rangle]_{\min}=2$ ve $\Delta[\langle v/U \rangle]=2$, için belirlenmiştir. Şekil 4.5’teki hemen hemen her durumda maksimum değerlerin sabit kaldığı ve eklenen farklı uzunluklardaki esnek parçanın akışın yapısına ciddi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. $L/D=1.25$ ’e kadar oluşan negatif yöndeki girdap konturları dairesel bir geometride iken artan L/D değerleri için hız konturlarının olduğu alan genişlemiş, akım yönünde uzamış ve maksimum değeri silindir art izinde x eksenine doğrultusunda ilerlemiştir.



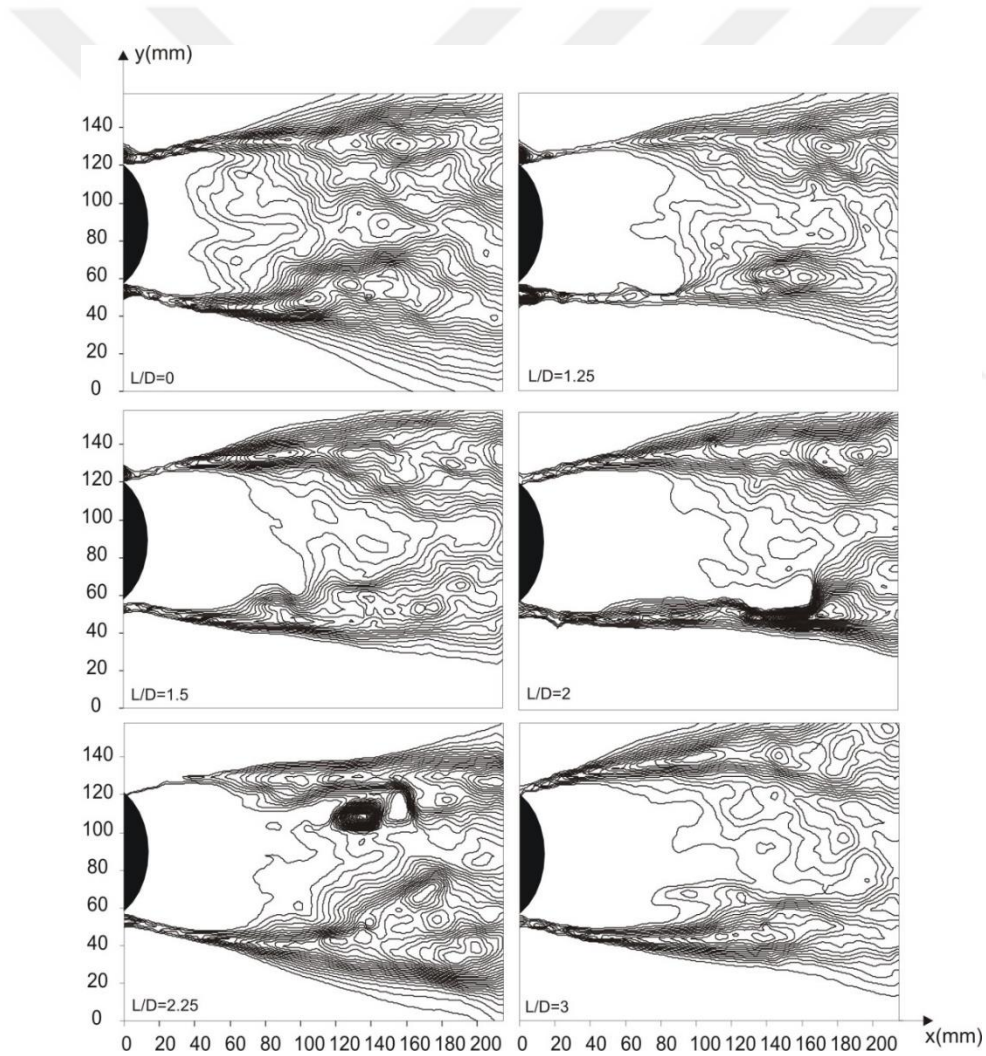
Şekil 4.5. Farklı L/D oranlarındaki $\langle u/U \rangle$ hızı değerleri.



Şekil 4.6. Farklı L/D oranlarındaki $\langle v/U \rangle$ hızı değerleri.

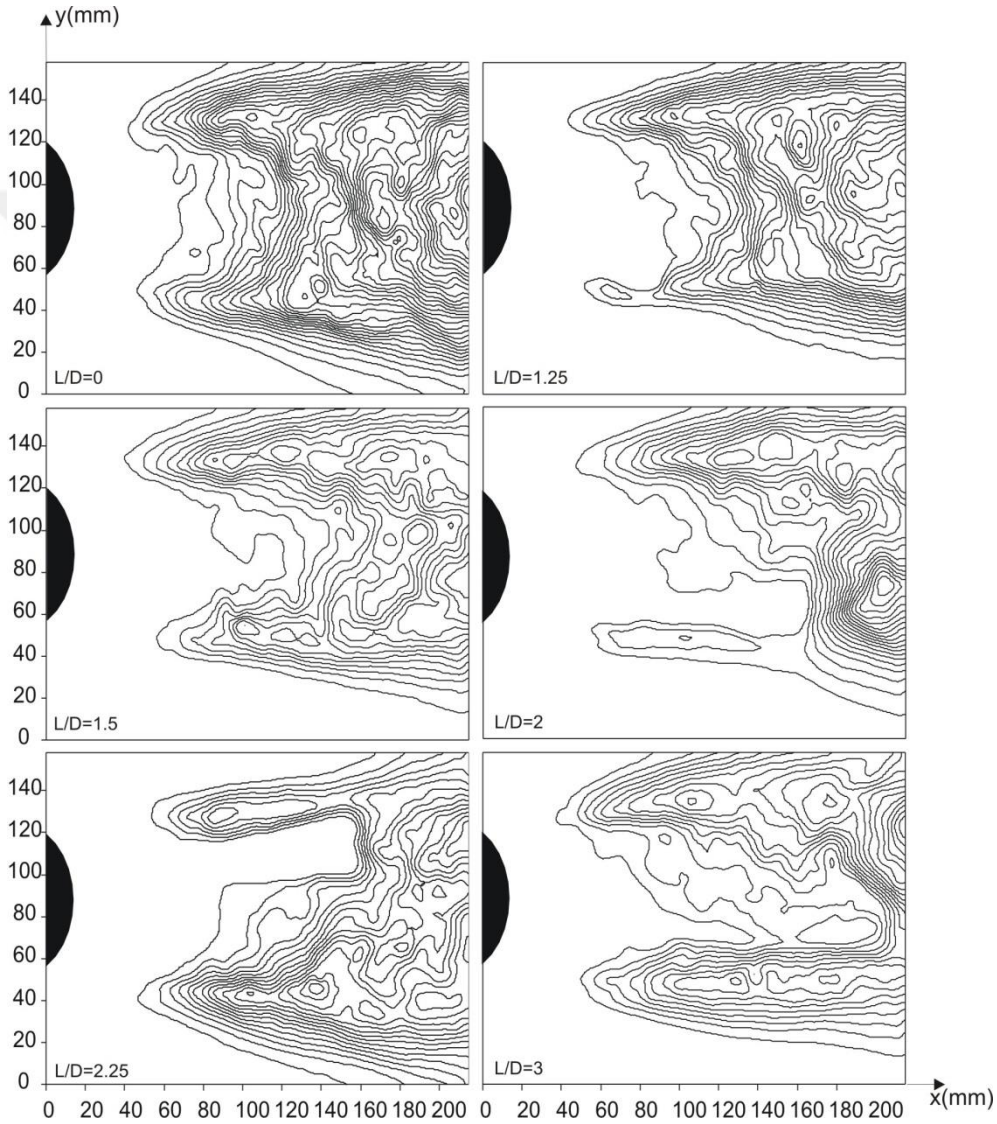
Şekil 4.6 'da belirtildiği gibi akıma dik yöndeki zaman ortalama boyutsuz hız bileşenlerinin $\langle v/U \rangle$, akım yönüne kıyasla daha karmaşık ve dağınık bir yapıda olduğu görülmektedir. Kanal boyunca akışa dik yönündeki boyutsuz $\langle v/U \rangle$ hızı akış yönündeki boyutsuz $\langle u/U \rangle$ hızın % 30'u gibi düşük hesaplanması beklentimiz doğrultusundadır. Artırım miktarlarına göre baktığımızda maksimum hız bileşeni $[\langle v/U \rangle]_{\min}=28$ değerindeyken $L/D=1.25$ için bu değer elastik parça etkisinden dolayı bölgede oluşan momentum transferiyle 24'e düşmüştür. Geri kalan uzunluklarda ise fazla bir değişim meydana gelmemektedir. Pozitif ve negatif konturların tek bir bölgede oluşmadığı her ikisinin de karşılıklı olarak ikiye kez meydana geldiği görülmüştür. $L/D=0$ 'da saat yönünün tersine doğru oluşan hızlar daha baskın iken $L/D=3$ 'e doğru artan L/D değerleri için saat yönündeki değerler artış göstermektedir. Özellikle $L/D=2.25$ 'te negatif yöndeki

hızlar daha belirgindir. Farklı L/D oranlarındaki akım yönündeki zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme değeri $\langle u'u'/U^2 \rangle$ için, minimum $[\langle u'u'/U^2 \rangle]_{\min} = 0.01$ ve $\Delta[\langle u'u'/U^2 \rangle] = 0.005$ artırım miktarlarıyla Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Eş değer hız eğrilerinin kapladığı alan $L/D=0$ ’da daha geniş iken diğer resimlerde de görüldüğü üzere bu alan akışa dik yönde daralmıştır. En kısa esnek parça eklense dahi bu eğrilerden anlaşılacağı gibi akım yönündeki boyutsuz Reynolds gerilme değerlerinin maksimum noktaları silindirin ekseni hizasında aşağı akım yönünde ilerleme kaydettiği saptanmıştır. Deneylerden elde edilen maksimum $\langle u'u'/U^2 \rangle$ değeri $L/D=0$ için $[\langle u'u'/U^2 \rangle]_{\max} = \pm 0.17$ ’dir. $L/D=3$ durumunda ise bu değer ± 0.09 ’a düşmüştür ki bu %50’ye varan bir azalmadır.



Şekil 4.7. Farklı L/D oranlarındaki akım yönündeki Reynolds normal gerilmeleri $\langle u'u'/U^2 \rangle$ hızı değerleri.

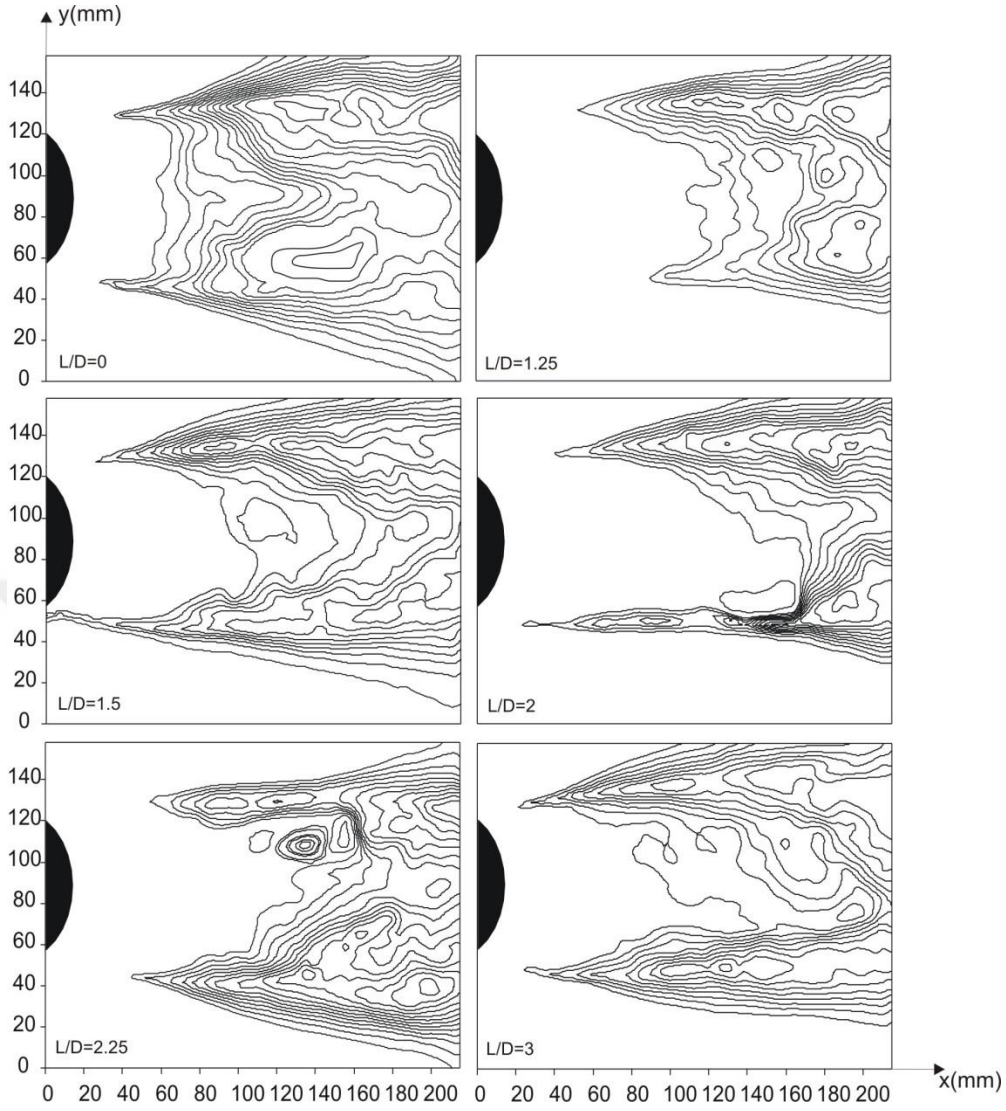
Akıma dik yöndeki zaman ortalama boyutsuz Reynolds normal gerilmeleri $\langle v'v'/U^2 \rangle$ değerlerine ait farklı uzunluklardaki esnek parça eklenmiş görüntüler Şekil 4.8’de verilmiştir. Konturlar için minimum değer $[\langle v'v'/U^2 \rangle]_{\min}=0.01$ olarak belirlenmiş ve artırım miktarı ise $\Delta[\langle v'v'/U^2 \rangle]=0.005$ ’tir. $L/D=0$ durumunda oluşan maksimum Reynolds normal gerilme değeri akım yönündeki gerilme değerine paralellik göstererek ortalama 0.17’dir.



Şekil 4.8. Farklı L/D oranlarındaki $\langle v'v'/U^2 \rangle$ hızı değerleri.

Türbülans kinetik enerji (TKE) konturları farklı L/D oranları için Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Minimum TKE değeri ve artırım miktarı sırasıyla $[\langle TKE \rangle]_{\min}=0.005$ ve

$\Delta[\langle TKE \rangle]_{min} = 0.01$ 'dir. Yalın haldeki durum $L/D=0$ için art izi bölgesindeki TKE değeri akım yönüne doğru giderek artmaktadır ve maksimum değeri 0.17 olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık $2.35D$ mesafesinde de maksimum değerine ulaşmakta. En kısa ($L=75\text{mm}$) uzunluktaki parçayı eklediğimizde dahi maksimum değerinde %30 civarında azalma gözlemlenmiştir. $L/D=3$ durumda minimum seviyesine inmiş ve 0.09'a kadar gerilemiştir. Yalın hal ile kıyaslandığında bu değer yaklaşık 3 katı olduğu belirlenmiştir. Özellikle $L/D=0, 1.25$ ve 1.5 'te açıkça görülebileceği gibi silindir etrafından geçen akış silindir merkezine göre simetrik bir yapı oluşturmuştur. $L/D=2, 2.25$ ve 3 durumlarında ise bu simetrik olan yapı kaybolmaya başlamıştır. Türbülans enerji konturları en düşük değerden başlayarak artan çizgiler orta kısma doğru ilerleme kaydetmiştir.

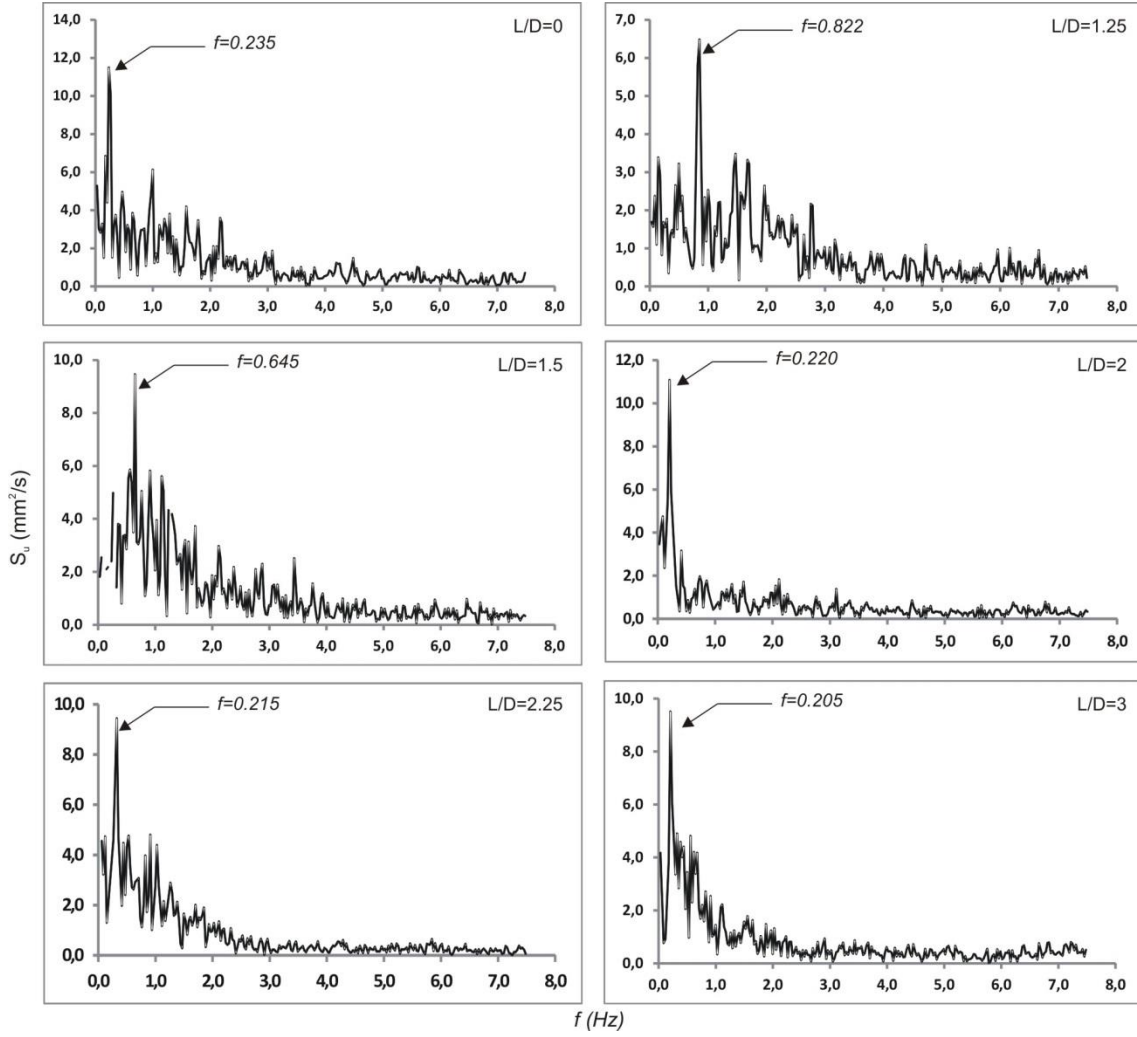


Şekil 4.9. Farklı L/D oranlarındaki Türbülans Kinetik Enerji değerleri.

Deneyde akış izotropik kabul edilip iki boyutlu bir yaklaşımla (Sheng ve ark. 2000) tarafından tarif edilen Türbülans Kinetik Enerji değerini aşağıdaki formülle hesaplamak mümkündür.

$$TKE = \frac{3}{4} (< u'u' > + < v'v' >) \quad (4.1)$$

Silindirin akım yönü tarafına yerleştirilen esnek parça silindirin art izinde oluşan büyük ölçekli girdapları ciddi anlamda bastırmayı başarabildiğinden akım yönünde $<u'>$ ve akıma dik yönde $<v'>$ meydana gelen çalkantı hızlarında yukarıda bahsedildiği gibi azalmalar olmuş ve dolayısıyla yukarıda verilen formülden de anlaşılacağı üzere TKE değerlerindeki azalma beklediğimiz bir sonuçtur.



Şekil 4.10. Farklı L/D oranlarındaki FFT analiz değerleri.

Ölü akış bölgesindeki girdap kopma frekanslarını elde etmek için deneylerin FFT analizleri 350 adet anlık görüntü kullanılarak değişken L/D oranları için Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Altı farklı L/D oranlarındaki görüntüler Reynolds sayısı, $Re_D=5000$ de sabit tutularak elde edilmiştir. Maksimum frekans değerleri, f , L/D=0, 1.25, 1.5, 2, 2.25 ve 3 oranları için sırasıyla 0.235, 0.822, 0.645, 0.220, 0.215 ve 0.205 olarak bulunmuştur. Frekanslar incelendiğinde L/D oranı arttırıldıkça esnek parçanın uzunluğu akışın momentumuna direnç göstererek girdap oluşumunu kısıtlamaktadır. Buna bağlı olarak L/D oranı arttıkça girdap kopma frekansın düştüğü gözlemlenmektedir.

4.2. Sınır Tabakanın Etkili Olmadığı Bölgede Esnek Parça Uzunluklarının Etkisi

4.2.1. Giriş

Özellikle akışkan mekaniği ile ilgilenen bazı araştırmacılar daldırılmış cisimler etrafındaki akış karakteristikleri hakkında incelemelerde bulunmaktadır. Bu çalışmalarla ilgili açıklayıcı örnek olarak otomobiller, uçaklar, uzay araçları, köprü ayakları, bacalar, soğutma kuleleri ve elektronik parçalar etrafındaki akışlar verilebilir. Dairesel bir silindir etrafındaki akış yapısının incelenmesi geometrik yapısının basitliğinden dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir. Gürültü ve titreşim gibi bazı mühendislik uygulamalarında kayma tabakalarının ve Karman girdap caddelerinin etkileşimlerinden dolayı Sumner ve ark. (2004)'nın çalışmasında da bahsedildiği gibi kararsız girdap yapılarının bastırılması veya azaltılması oldukça önem arz etmektedir.

4.2.2. Çalışmanın Amacı

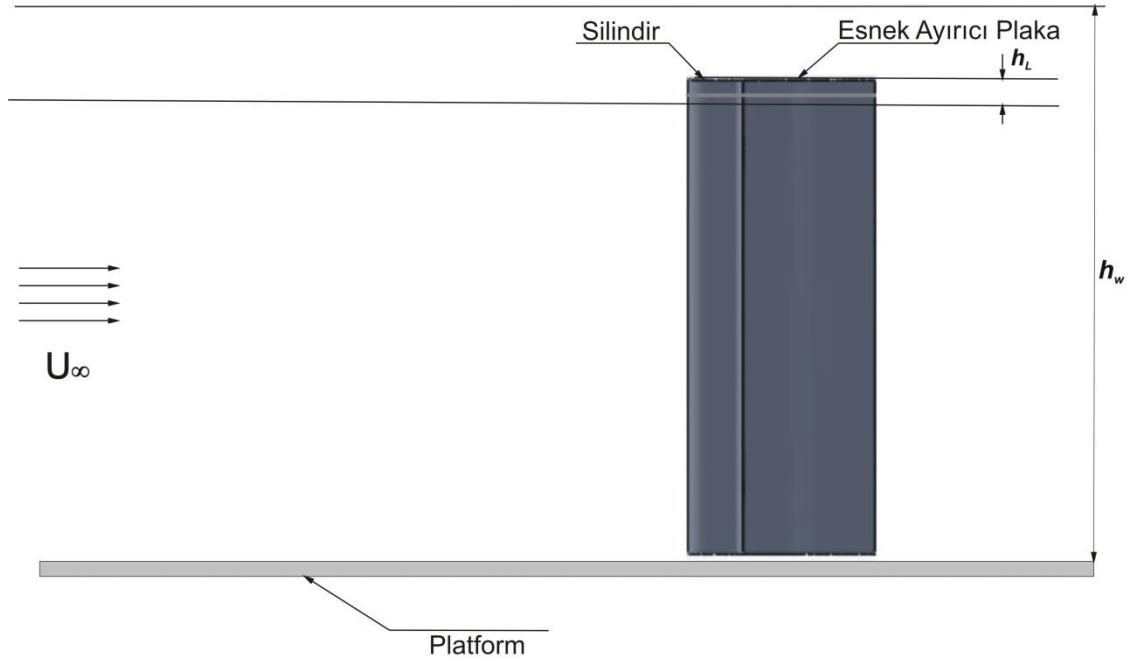
Bu çalışmada, ayırıcı plaka olarak tamamen esnek bir parça dikey daire silindire eklenerek ölü akış bölgesinde kalan akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi ile deneysel olarak araştırılmıştır. Dikey olarak daldırılmış cismin etrafındaki girdap oluşumu pasif olarak kontrol edilmiş ve silindirin üst kısmından alınan görüntüler doğrultusunda derin su rejiminde hız vektörleri, zaman ortalamalı boyutsuz türbülans kinetik enerji, Reynolds gerilmeleri ve zaman ortalamalı eş değer girdap konturları gibi bazı akış yapıları çalışılmıştır.

4.2.3. Deney Düzeneği

Kanal içerisindeki su yüksekliği, (hw) 600 mm'dir. Düzeneğin, test bölümünün üstten görünümü, tüm boyutlar, lazer huzmesinin yerleşimi gibi şematik resmi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Tüm deneyler 2300 mm uzunluğunda olan bir platform üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu platformun uç kısmı ile silindirin yerleştirildiği yer arasındaki mesafe ise 2000 mm'dir. Kullanılan silindirin çapı, D , 60 mm, serbest akış hızı 41 mm/s

ve silindir çapına bağlı olarak verilen $Re_D=2500$ olarak belirlenmiştir. Kullanılan esnek ayırıcı plaka uzunluğu ise, $L=0$ mm, 75 mm, 135 mm ve 150 mm'dir. Kontrol elemanının kalınlığı 80 mikron düzeyinde olup elastikiyet modülü 1400 N/mm^2 'dir. Dairesel silindir PIV verilerinin alınabilmesi için şeffaf pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Serbest akış hızı sabit tutulmuş ve tüm deneylerde tam gelişmiş akış durumunda incelemelerde bulunulmuştur. Burada belirtilen tüm deneylerde, dikey silindir etrafındaki akış yapısının incelenmesi esnek parça uzunluğunu değiştirerek yapılmıştır.



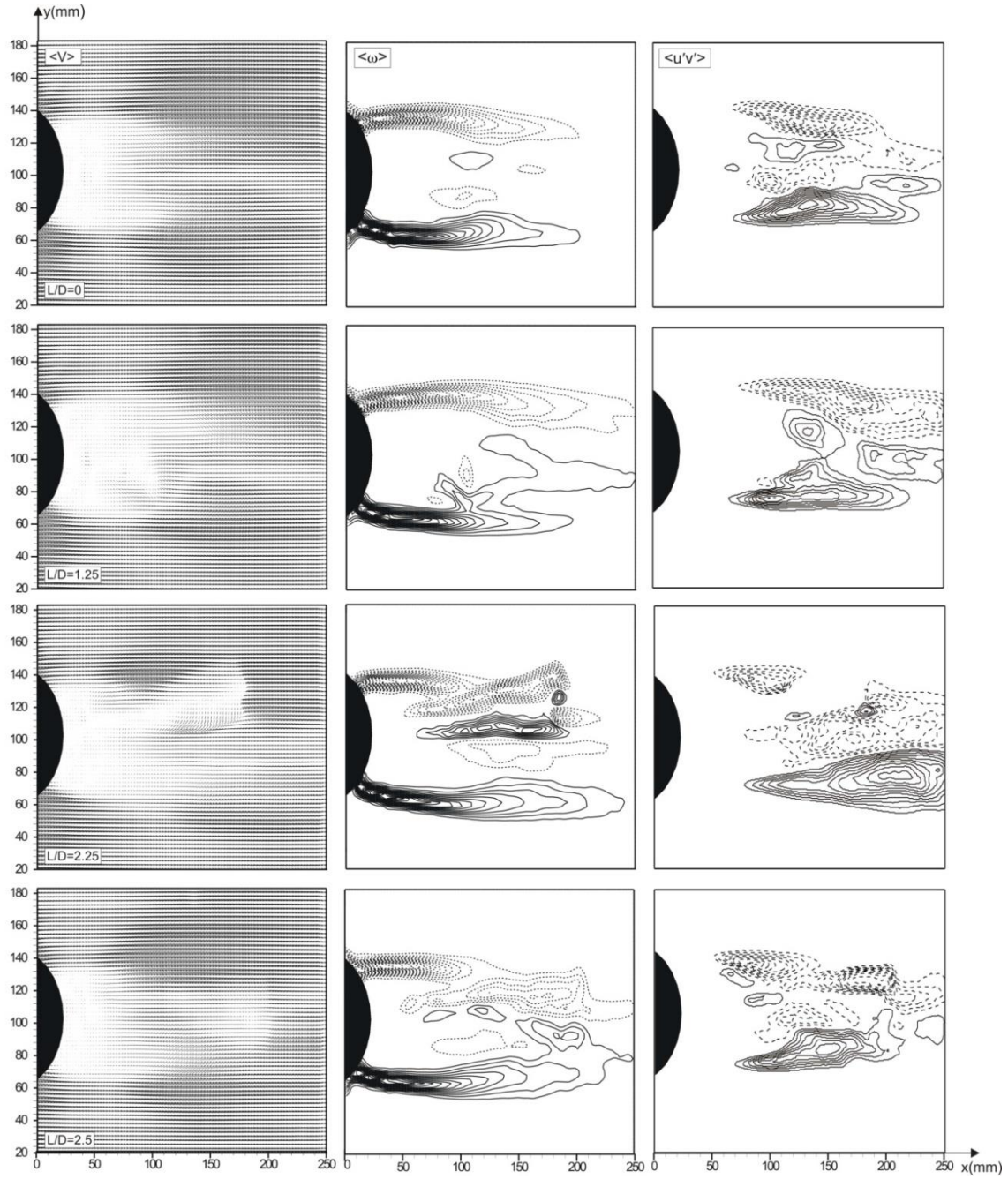
Şekil 4.11. Parametrelerin gösterimi.

Deneyler Dantec Dynamic PIV sistemi ve bilgisayara yüklenmiş Flow Manager isimli yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama 1.5-2 mm kalınlığındaki lazer huzmesiyle çift darbeli Nd: YAG lazer ünitesi kullanılarak hedef ölçüm alanı aydınlatılmaktadır. Lazer ekipmanının 120 mJ enerji çıkışına ve dalga boyu 532 nm dalga boyuna sahiptir. Lazer huzmesi silindirin üst kısmının 5 mm altına yerleştirilmiştir. Görüntüler 1020 x 1020 piksel çözünürlüğe ve Nikon 60 mm lense sahip CCD kamera vasıtasıyla alınmıştır. 15 Hz frekansında anlık hız alanları için toplamda 7227 (99x73) hız vektörleri elde edilmiştir. Akış alanının ortalama hız vektörleri ve diğer istatistiksel özelliklerini elde etmek için toplamda 350 adet görüntü yakalanmış ve kaydedilmiştir. $12 \mu\text{m}$ çapında ve 1100 kg/m^3 yoğunluğuna sahip gümüş kaplı metalik küçük parçacıklar su içerisine

serpiştirilmiştir. Daha düzgün ve doğru sonuçlar almak için hatalı hız vektörleri temizlenmiştir.

4.2.4. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) Sonuçları

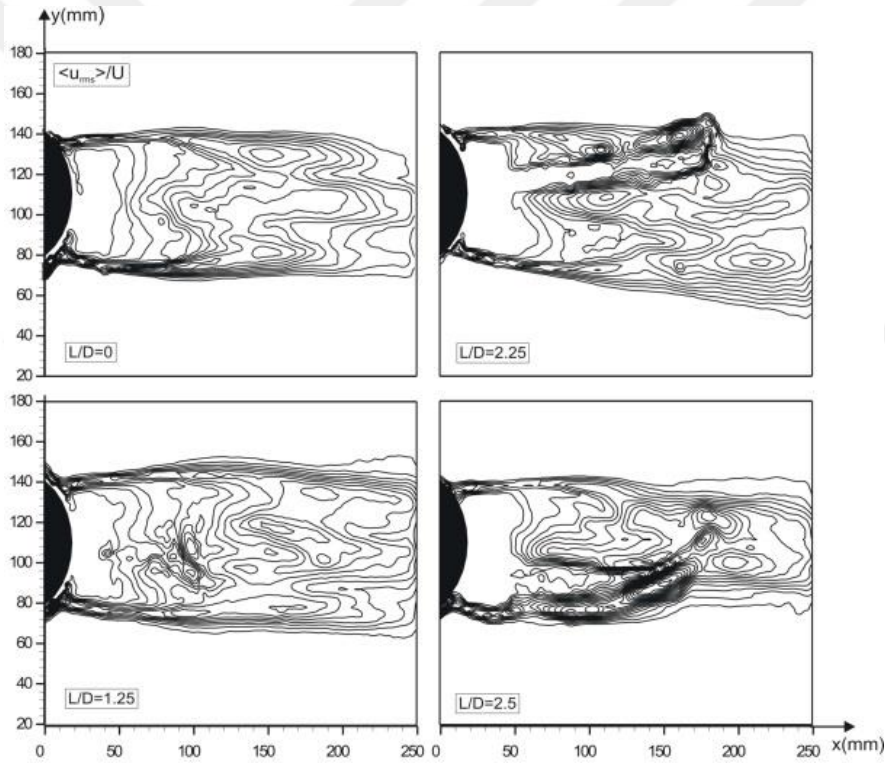
Zaman ortalamalı hız vektörlerinin, ($\langle V \rangle$), girdap konturları, ($\langle \omega \rangle$) ve boyutsuz Reynolds gerilmelerinin, ($\langle u'v' \rangle / U^2$) akış yapısı silindirin üst kısmının 5 mm aşağısından alınan sonuçlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Esnek ayırıcı plakanın etkisi araştırmak için kullanılan farklı boyutlardaki ($L/D=1.25-2.5$ aralığında değişen) malzeme silindirin arka kısmına eklenmiştir. Silindir çapına bağlı olarak Reynolds sayısı, $Re_D=2500$ belirlenmiştir. PIV deney sonuçları esnek parça uzunluğunun akış yapıları üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Şekil 4.12'de belirtilen zaman ortalamalı akış karakteristiklerinin farklı boyutsuz plaka uzunlukları için ölü akış bölgesine göre simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Silindirin art izinde oluşan girdap yapısı ilgili Reynolds gerilmesi ile de desteklenmektedir. Ölü akış bölgesi olarak tanımlanan düşük hız bölgesi Şekil 4.12'nin ilk kolonundan anlaşılacağı üzere esnek ayırıcı plaka sayesinde akım yönüne doğru uzamaktadır. $L/D=1.25$ için ölü akış bölgesi diğer konfigürasyonlara göre daralmışken bu bölge akım yönüne doğru uzamıştır. Şekil 4.12'nin ikinci kolonu girdap konturlarını dört farklı uzunluğu yalın haldeki silindire göre karşılaştırmaktadır. Burada, sürekli çizgiler pozitif zaman ortalama girdap konturları (saat yönünün tersi), kesikli çizgiler ise negatifini (saat yönünü) göstermektedir. Girdap konturları için belirlenen minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle \omega \rangle]_{\min} = \pm 0.5 \text{ s}^{-1}$ ve $\Delta[\langle \omega \rangle] = 0.5 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Esnek ayırıcı plaka silindir arkasına eklendiği zaman, bu parça hem $L/D=2.25$ ve hem de $L/D=2.5$ için ölü akış bölgesinde ikincil girdapların oluşmasına neden oluşturmuştur. Fakat bu girdap konturlarının seviyesi $[\langle \omega \rangle]_{\max} \pm 7.4 - 7.5$ civarlarında sabit kalmıştır.



Şekil 4.12. Hız vektörü alanı, girdap konturları ve Reynolds gerilmeleri.

Şekil 4.12'nin üçüncü kolonunda pozitif ve negatif konturları belirten Reynolds gerilmeleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$ tüm durumlar için gösterilmiştir. Reynolds gerilme değerlerinin yüksek konsantrasyonu olduğu bölgeler yalın haldeki durumla kıyasla x yönüne doğru hareket ettiğini göstermektedir. Reynolds gerilmesinin düşük değer bölgesi silindirik cismin her iki tarafında oluşmaktadır. Akışkan akım yönünde zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme değeri artmakta ve konturların merkezinde en yüksek değerine

çıkılmaktadır. Bu ortalamalı boyutsuz gerilme değeri için minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u'v' \rangle / U^2]_{\min} = \pm 0.01$ ve $\Delta[\langle u'v' \rangle / U^2] = 0.005$ olarak belirlenmiştir. Yalın haldeki silindir için maksimum Reynolds gerilme değeri 0.05 iken bu değer $L/D=1.25$ için 0.032 seviyesine gerilemiştir. Reynolds gerilme değerindeki bu düşüş en kısa esnek ayırıcı plaka silindir arkasına eklense dahi elde edilmiştir. Esnek parçanın uzunluğu artırıldıkça bu gerilme değerindeki düşüş devam etmekte ve $L/D=2.5$ için 0.028 mertebesine kadar gerilemektedir. Reynolds gerilme değerindeki bu düşüş dairesel silindirin direnç kuvvetindeki azalmayla yakından ilgilidir. (Fujisawa ve ark., 2003; Kim ve ark. 2006). Sonuçta Reynolds gerilmelerinin maksimum değeri $L/D=2.5$ için yalın haldeki silindirle kıyaslandığında neredeyse yarısına düştüğü belirlenmiştir.

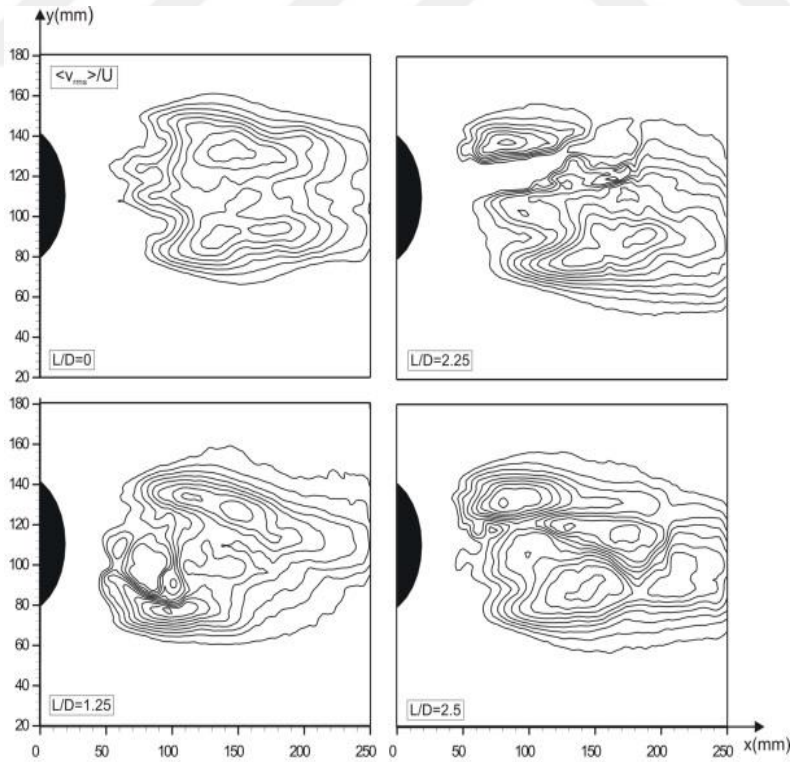


Şekil 4.13. Akım yönündeki çalkantı hızlarının rms değerleri, u_{rms}/U .

Türbülans akış karakteristikleri olarak tanımlanan akım yönündeki rms, $\langle u_{rms} \rangle / U$ değerleri yalın haldeki silindir ile esnek parçanın eklendiği durum Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u_{rms} \rangle / U]_{\min} = 0.02$, $\Delta[\langle u_{rms} \rangle / U] = 0.02$ olarak belirlenmiştir. Dairesel silindirin ölü akış bölgesindeki türbülans seviyesi L/D oranına göre çalkantıların oluşmasıyla artmıştır. Diğer bir ifade

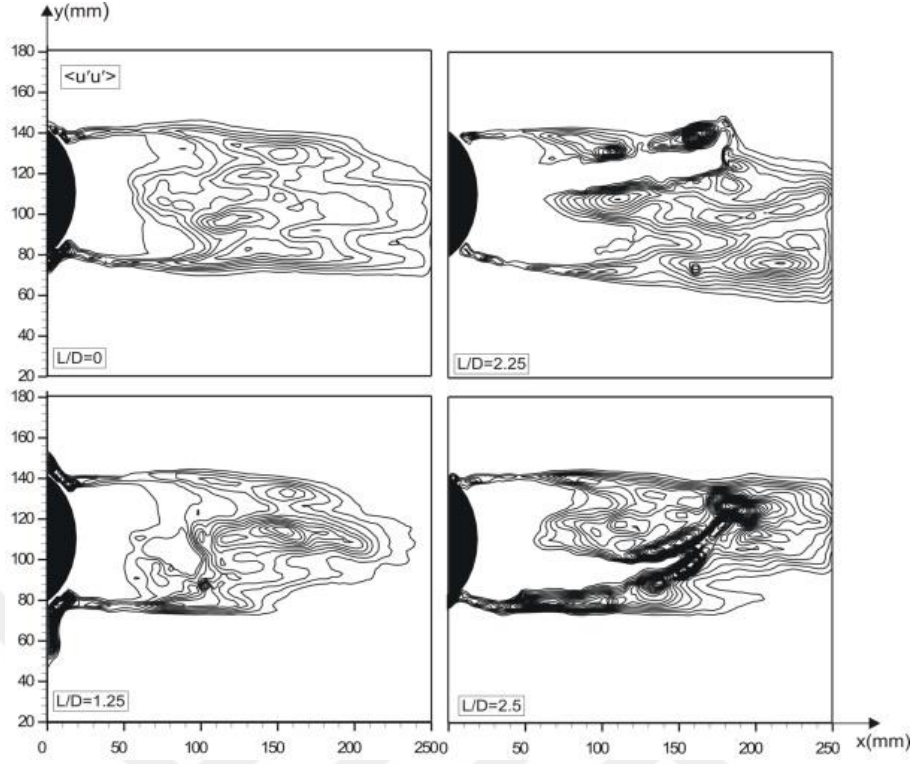
ile, türbülans şiddeti, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve $\langle v_{rms} \rangle / U$ akım yönüne doğru artmaktadır. Yalın haldeki silindir için simetrik bir yapı görülmekte ve $\langle u_{rms} \rangle / U$ değerinin maksimum seviyesi 0.44 olarak belirlenmiştir. Bu rms hız bileşenleri $L/D=2.25$ değerine kadar 0.3 seviyesine düşmüş ve daha uzun esnek parça için sabit kaldığı görülmüştür. $\langle u_{rms} \rangle / U$ değerinin oluştuğu maksimum nokta silindir yüzeyinden aynı uzaklıkta sabit kalmıştır. Akım yönündeki $\langle u_{rms} \rangle$, konturları silindirin her iki tarafında uzak bir yerde kümelenmiştir ve Şekil 4.13'ün ikinci kolonunda görüldüğü gibi silindirden ayrılmaktadır.

$L/D=0$ 'dan $L/D=2.5$ aralığındaki $\langle v_{rms} \rangle / U$ değerleri Şekil 4.14'de gösterilmiş ve minimum ve artırım miktarları akım yönündeki rms değerlerinde olduğu gibi sırasıyla $[\langle v_{rms} \rangle / U]_{\min}=0.02$, $\Delta[\langle v_{rms} \rangle / U]=0.02$ olarak belirlenmiştir. Akıma dik yöndeki çalkantı hızları, $\langle v_{rms} \rangle / U$ silindire temas halindedir. Yalın haldeki durumda maksimum $\langle v_{rms} \rangle$ değeri 0.3 olarak hesaplanmıştır. $L/D=1.25$ ve $L/D=2.5$ aralığında bu maksimum düşüş göstermiş ve $L/D=2.5$ 'te eklenen esnek parçaya momentum transferi ve parçanın enerji absorbe etmesinden dolayı bu seviye 0.19 düzeyine gerilemiştir.

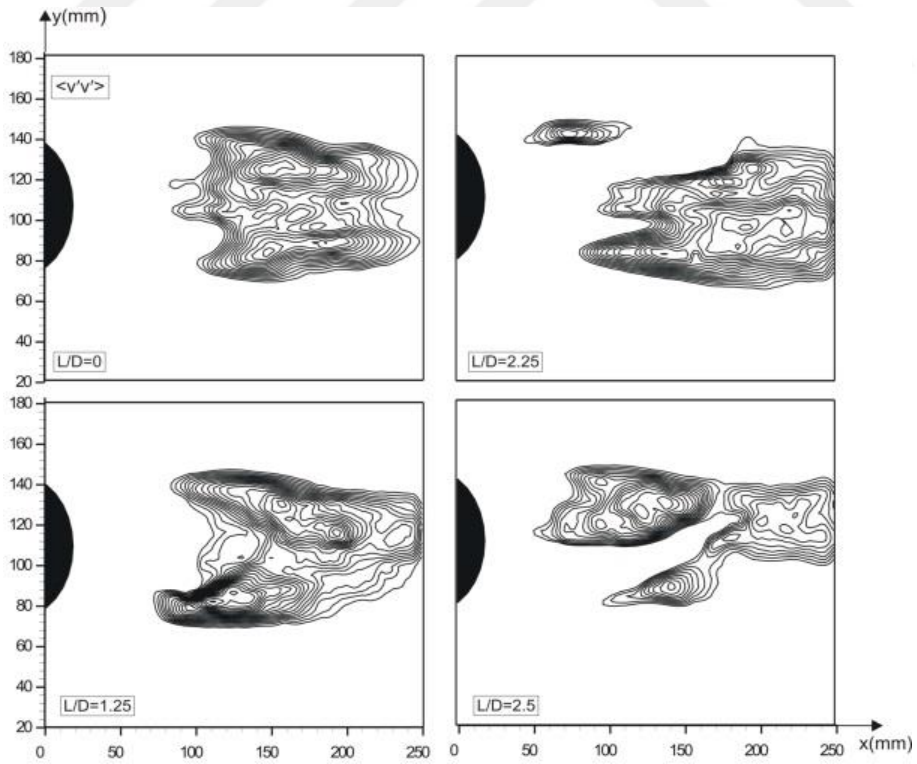


Şekil 4.14. Akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının rms değerleri, v_{rms}/U .

Zaman ortalama boyutsuzlaştırılmış akım yönündeki, $\langle u'u' \rangle$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v'v' \rangle$ Reynolds gerilme maksimum değer varyasyonları, esnek parça silindir oranları, L/D ile ilişkilendirilmiş olarak Türbülans Kinetik Enerjinin, TKE azalmasına olan etkiyi göstermek için, Şekil 4.15'te ve 4.16'da verilmiştir. Reynolds gerilme değerleri serbest akış hızının karesine bölünerek $\langle u'u' / U^2 \rangle$ şeklinde boyutsuzlaştırılmıştır. Feng ve Wang (2010); Schafer ve ark. (2009)'nın çalışmalarına göre Türbülans Kinetik Enerjisinin tahmini noktasında türbülans karışımı girdapların dinamiğinin kavranmasında yardımcı olmaktadır. Akım yönündeki zaman ortalama boyutsuz Reynolds gerilmeler için minimum ve artırım miktarı sırasıyla $[\langle u'u' \rangle]_{\min}=0.01$ ve $\Delta[\langle u'u' \rangle]=0.005$ olarak belirlenirken akıma dik yöndeki Reynolds gerilme için minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle v'v' \rangle]_{\min}=0.01$ ve $\Delta[\langle v'v' \rangle]=0.002$ olarak alınmıştır. Her iki zaman ortalama boyutsuz Reynolds gerilme değerlerinin maksimum değeri eklenen esnek parçanın uzunluğunun arttırılmasıyla düşmüştür. Fakat akışa dik yöndeki Reynolds gerilme değerinin azalış miktarı akım yönündeki Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Reynolds gerilme değerinden daha fazladır. Zaman ortalama boyutsuz akım yönünde ve akıma dik yöndeki Reynolds gerilmelerinin maksimum değerleri sırasıyla 0.19 ve 0.09 olarak hesaplanmıştır. $L/D=1.25$ için bu değerler 0.036 ve 0.042'ye düşmüş $L/D=2.5$ için ise 0.13 ve 0.036 seviyesine gerilemiştir. Diğer taraftan, Reynolds gerilmelerinin maksimum değerlerindeki bu değişimden dolayı $L/D=2.5$ oranından daha yüksek uzunluklarda bu değerler ihmal edilebilir düzeydedir ve diğer esnek parça uzunlukları bu çalışmaya eklenmemiştir. Verilerden görüldüğü üzere bu sayısal değerler zaman ortalama boyutsuz akıma dik yöndeki Reynolds gerilme değerlerinin Türbülans Kinetik Enerjindeki azalmaya etkisi akım yönündeki Reynolds gerilme değerlerinden daha fazla etki etmiştir.

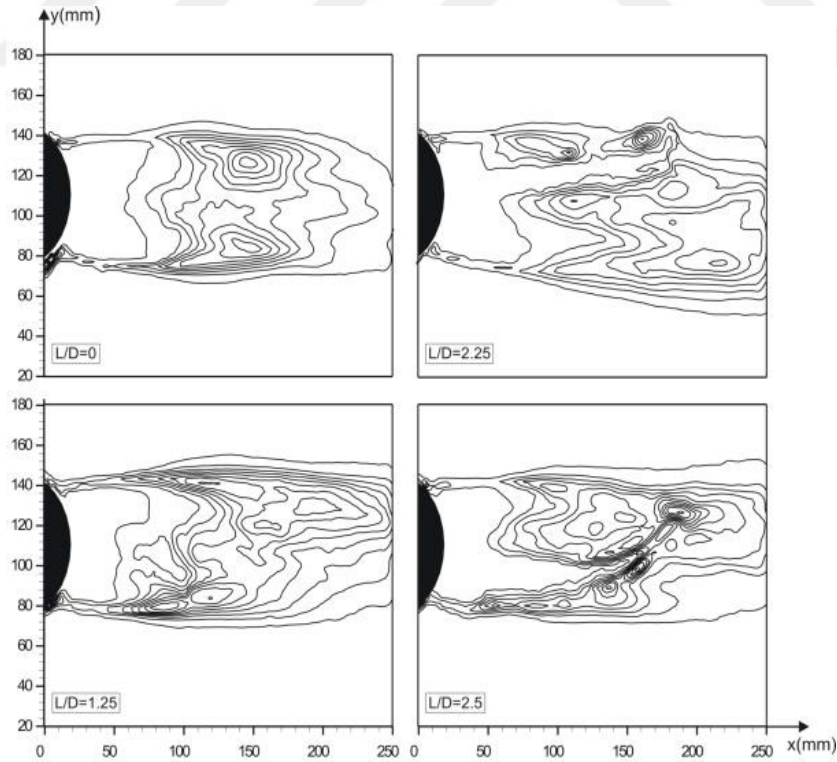


Şekil 4.15. Akım yönündeki Reynolds normal gerilme.



Şekil 4.16. Akıma dik yöndeki Reynolds normal gerilme.

Zaman ortalama türbülans Kinetik Enerji, TKE konturlarının farklı esnek parça uzunluklarının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.17’de gösterilmiştir. TKE değerlerinin minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[<TKE>]_{min}=0.005$ ve $\Delta[<TKE>]=0.01$ olarak belirlenmiştir. TKE dairesel silindirin kenarından başlayarak akım yönüne doğru artmakta ve $L/D=1.25$ için l akış bölgesi içerisindeki orta hat boyunca $1.5D$ ve $L/D=2.25$ ve 2.5 için $2.5D$ mesafesinde maksimum seviyesine ulaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle TKE esnek parçanın arka uç kısmında maksimum değerine ulaşmakta ve akım yönüne doğru sürekli azalmaktadır. Esnek ayırıcı plaka eklenen silindir L/D durumu ile karşılaştırıldığında silindirin her iki tarafında meydana gelen TKE konturlarının Reynolds gerilmeleri, $<u'v'/U^2>$, akım yönündeki çalkantı hızlarının rms değerleri, $<u_{rms}>/U$ gibi simetrik bir yapıda olduğu grlmştir. Diğer taraftan, büyük ölçekteki girdapların oluşumu esnek ayırıcı parça sayesinde zayıflatıldığında dolayı TKE değeri ve serbest akışın l akış bölgesine doğru simetrik bir hat boyunca ilerlemediği gözlemlenmiştir. Yalın haldeki silindir ile kıyaslandığında kontrol elemanı eklenen silindirlerde l akış bölgesinin boyutunda önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.17. Türbülans Kinetik Enerji (TKE).

Yalın haldeki silindirin maksimum TKE değeri yaklaşık olarak 0.19 iken en kısa uzunluktaki esnek parça, $L/D=1.25$ eklendiğinde bu değer 0.145'e inmiştir. Hatta bu düşüş $L/D=2.25$ için daha belirgin olmakta ve %38 oranında azalarak 0.09'a kadar gerilemiştir. Maksimum TKE değerindeki bu düşüşün nedeni silindirin arka kısmına eklenen esnek parçanın, ölü akış bölgesine yeni akışkan taşıyan büyük ölçekteki girdapları bastırmasından kaynaklanmaktadır. Hem akım yönündeki hem de akıma dik yöndeki zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds normal gerilmeler, TKE değerine %51-52 oranlarında hemen hemen aynı miktarda etkide bulunmuşlardır. Fakat TKE'deki bu değişim $L/D=2.25$ 'ten daha büyük oranlar için diğer uzunluklara kıyasla küçük farklılıklar göstermiştir.

4.3. Farklı Reynolds Sayılarının Sınır Tabakanın Etkili Olmadığı Bölgede Silindirik Bir Cismin Etrafındaki Akış Yapısına Etkisi

4.3.1. Giriş

Girdap kopmasının etkilerini ortadan kaldırmak ya da etki düzeyini en aza indirmek için silindirin ölü akış bölgesine uygulanması daha pratik olan bir kontrol elemanı ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın ileriki uygulamalara ışık tutması açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

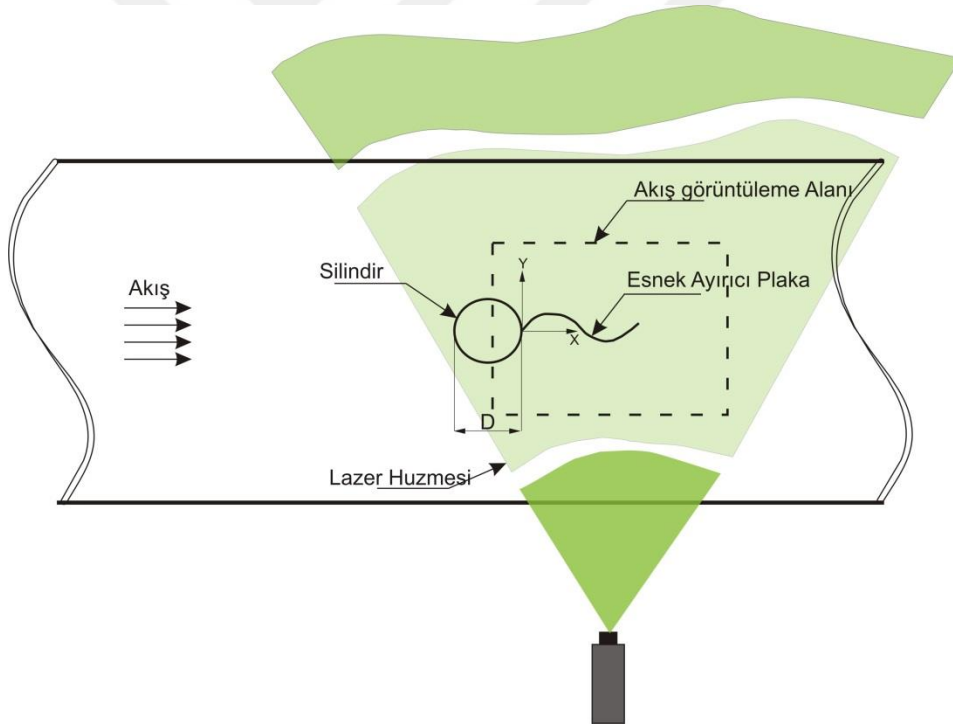
4.3.2. Çalışmanın amacı

Bu çalışmada, derin suya yerleştirilmiş 60 mm çapındaki silindirin arka kısmına esnek bir ayırıcı plaka ekleyerek PIV tekniği uygulanmış ve üç farklı Reynolds sayıları, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500'de oluşan girdap kopmalarını baskılamak ya da azaltmak için deney düzeneği hazırlanmıştır.

4.3.3. Deney düzeneği

Kontrol elemanı olarak kullanılan 80 mikron kalınlığındaki esnek parçanın uzunluğu 180 mm, elastikiyet modülü 1400 N/mm^2 dir. Bu ek parça kâğıt gibi akışkan

kuvveti altında deforme olabilen bir malzemedir. Akıştaki türbülanslılığı ez an seviyeye indirmek için bal peteği şeklindeki düzenleme su kanalı deney düzeneğinin giriş kısmına ilave edilmiştir. Serbest akış hızını kontrol etmek için hız kontrol ünitesi bulunan 15 kW gücündeki santrifüj pompa kullanılmıştır. Tam gelişmiş akışı sağlayabilmek için dairesel silindir su kanalı içerisine yerleştirilen platformun başlangıç noktasından 1800 mm uzaklığa yerleştirilmiştir. Su seviyesi, h_w 600 mm olarak sabit tutulmuş ve buna bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 için sırasıyla Froude sayısı of $Fr = U_\infty/\sqrt{gh}$ =0.016, 0.033, 0.051 olarak hesaplanmıştır. Tüm deneyler için silindir çapına bağlı hesaplanan Reynolds sayısının hesaplanmasında kullanılan ortalama serbest akış hızı, $U_\infty = 41, 81$ ve 125 mm/s dir. Dairesel silindirin çapı, D ve yüksekliği sırasıyla 60 ve 500 mm olarak ayarlanmıştır. Şematik olarak tanımlanan su kanalı deney düzeneğinin üst görünüşü 2 boyutlu olarak Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



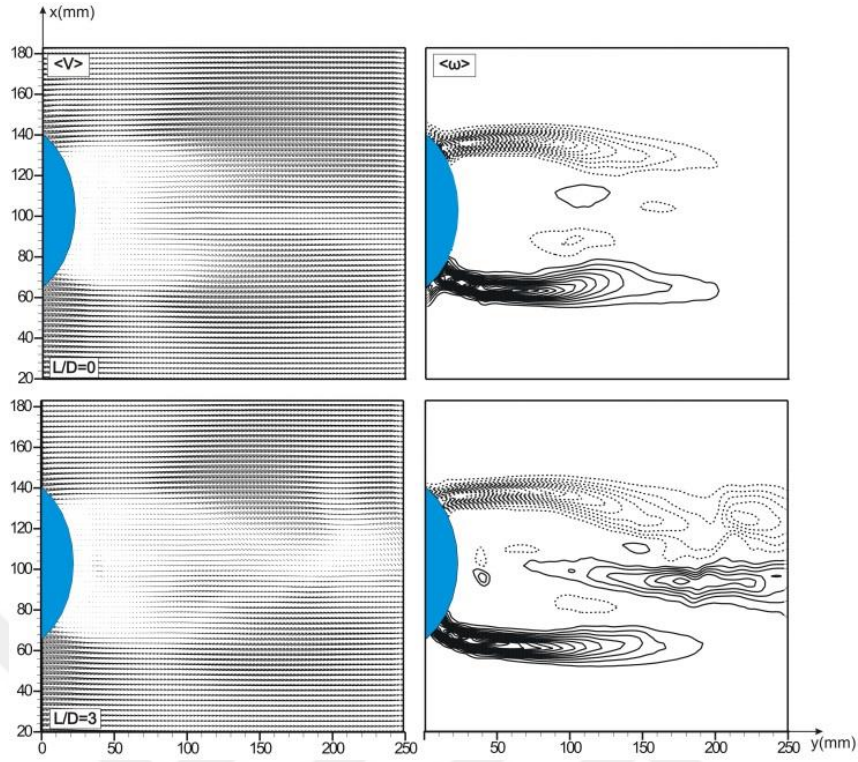
Şekil 4.18. Deney düzeneğinin üstten şematik olarak gösterimi.

Lazer kaynağı, kalınlığı ortalama 1.5-2 mm olan ve 1.5 ms aralıklarla lazer huzmeleri göndererek akış alanını aydınlatmakta ve görüntüler silindirin üst kısmından 5 mm aşağısından alınmaktadır. Gümüş kaplı, 1100 kg/m^3 yoğunluğunda, $10 \mu\text{m}$ çapında ve lazer ışığı altında parlayan gümüş kaplı küresel metal parçacıklar suya serpiştirilmiştir.

Zaman ortalamalı hız vektörleri, girdap konturları, boyutsuz türbülans kinetik enerji, akım yönünde ve akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının rms ve ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme değerleri farklı Reynolds sayıları için 350 anlık görüntü yakalanarak hesaplanmıştır. Aydınlatılan alan 8-bit 1600 x 1186 çözünürlüğünde ve 60 mm lense sahip su kanalının alt kısmına yerleştirilen CCD kamera kullanılarak görüntüler yakalanmıştır. Akış alanını ölçebilmek için lazer ünitesi ile kameranın arasında 90^0 lik bir açı bulunmaktadır. Anlık aydınlatılmış ve görüntü alınan alan için 7227 (99x73) hız vektörü kaydedilmiştir. Li ve Hishida (2009), çalışmalarında akışın hız vektörlerinin taşındığını belirtmişler bozulmalar ise (Keane ve Adrian, 1989; Adrian, 1991; Fouras ve Soria, 1998) tarafından incelenmiştir. Adrian, (2011) çalışmasında belirttiği gibi girdap seviyesi etrafındaki 8 komşu noktaya göre hesaplanmıştır. Serpiştirilen parçacıkların boyutu, bu parçacıkların su içerisinde birleşmesi, elektronik ya da optik gürültülerden dolayı hız ölçümlerinde kararsızlıklara sebep olmaktadır.

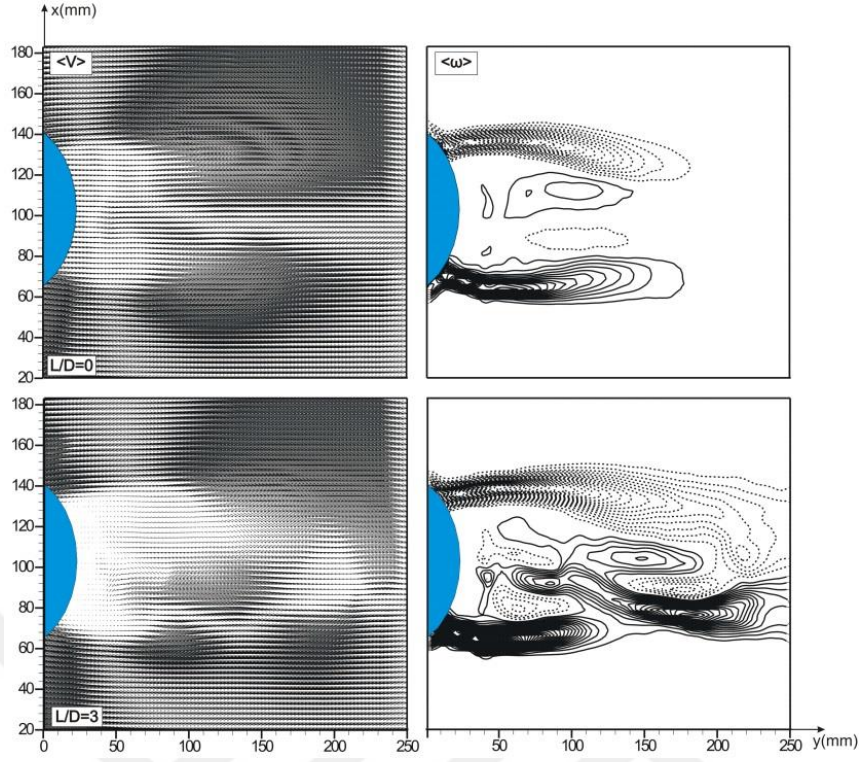
4.3.4. Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) sonuçları

Uzunluğu, $L=180$ mm olan esnek ayırıcı parça dairesel silindirin arka kısmına eklenmiştir. Ortalama serbest akış hızları, $U_{\infty}=41, 81$ ve 125 mm/s olarak ayarlanmış ve buna bağlı Reynolds sayıları sırasıyla, $Re_D=2500, 5000$ ve 5000 'dir. Dairesel silindirin ölü akış bölgesindeki zaman ortalama hız vektörü, $\langle V \rangle$ ve zaman ortalamalı girdap eşdeğer konturları, $\langle \omega \rangle$ Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de gösterilmiştir. Bu şekillerin tamamında ilk kolonlar zaman ortalamalı hız vektörlerini ikinci kolon ise girdap konturlarını göstermektedir. Her satır esnek ayırıcı plakanın olduğu, $L/D=3$ ve yalın hal, $L/D=0$ için düzenlenmiştir. Girdap konturları için minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle \omega \rangle]_{min}=\pm 0.5$, $\Delta[\langle \omega \rangle]=0.5 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiş ve şekiller Reynolds sayılarına göre sınıflandırılmıştır. Hız vektörleri bize silindirin ölü akış bölgesindeki basınç ve hız ilişkisini göstermektedir. Şekillerden açıkça görülebileceği gibi esnek parçanın eklenmesiyle ölü akış bölgesi akım yönüne doğru uzamaktadır. Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'in ikinci kolonu zaman ortalamalı girdap konturlarını yalın haldeki ve esnek parçanın eklendiği durum ile kıyaslamaktadır. Sürekli çizgiler pozitif girdap katmanlarını gösterirken kesikli çizgiler negatif katmanları göstermektedir.

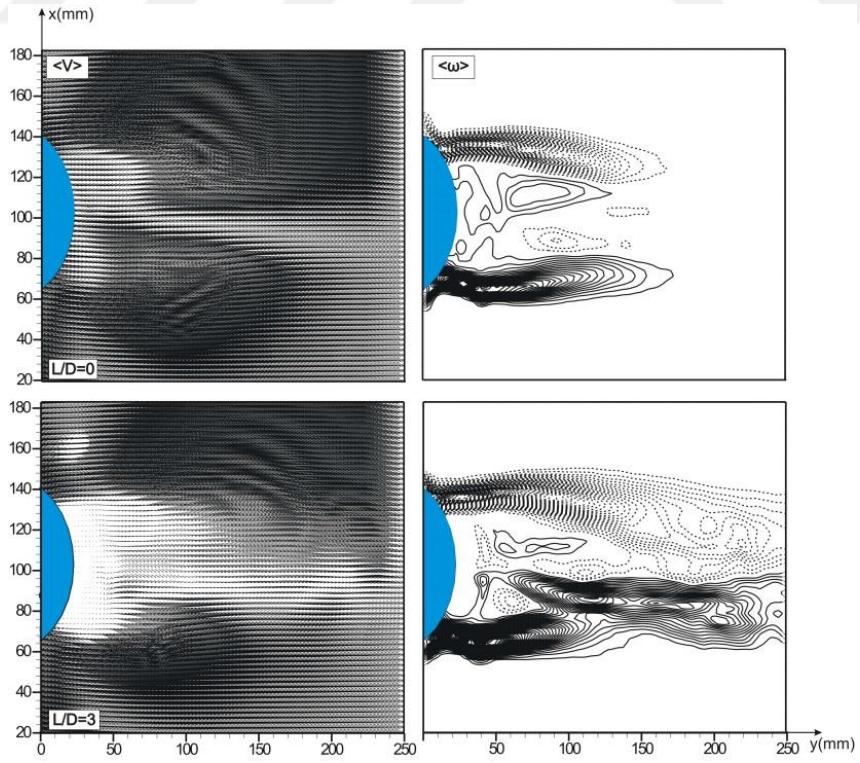


Şekil 4.19. Reynolds sayısı, $Re_d:2500$ için zaman ortalımlı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$.

Ölü akış bölgesinin oluşumu dairesel silindir tabanından akım yönüne doğru taşınmış ve girdap değerleri 2D mesafesinden daha iler bir noktada yoğunlaştığı görülmektedir.



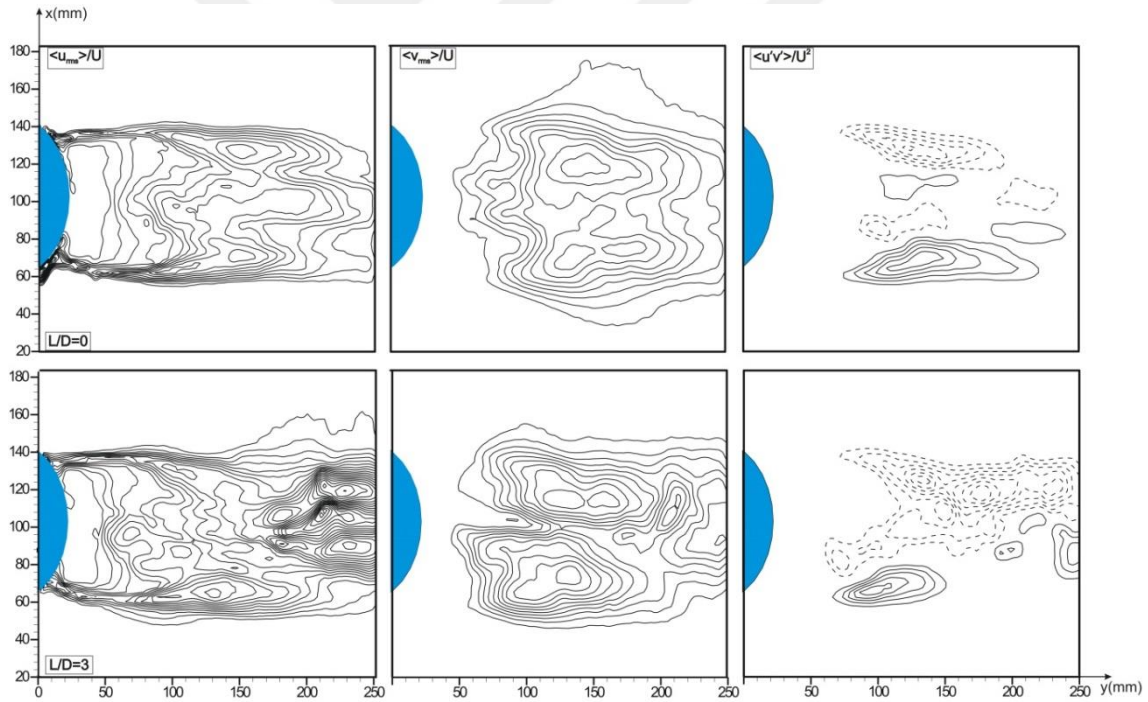
Şekil 4.20. Reynolds sayısı, $Re_d:5000$ için zaman ortalamalı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$.



Şekil 4.21. Reynolds sayısı, $Re_d:7500$ için zaman ortalamalı hız vektör alanı, $\langle V \rangle$ ve girdap konturları, $\langle \omega \rangle$.

Yalın haldeki silindir, $L/D=0$ için tüm Reynolds sayılarında girdabın maksimum noktası neredeyse $1D$ mesafesinde oluşmakta ve ikincil girdaplar meydana gelmektedir. Şekillerden açıkça görüldüğü üzere, özellikle Reynolds sayısı, $Re_d=5000$ ve 7500 için birden fazla pik noktası oluşmakta, $L/D=3$ değerinde ikincil girdaplar giderek büyümekte ve meydana gelen girdap katmanları eklenen esnek parça sayesinde akım yönüne doğru kaymaktadır.

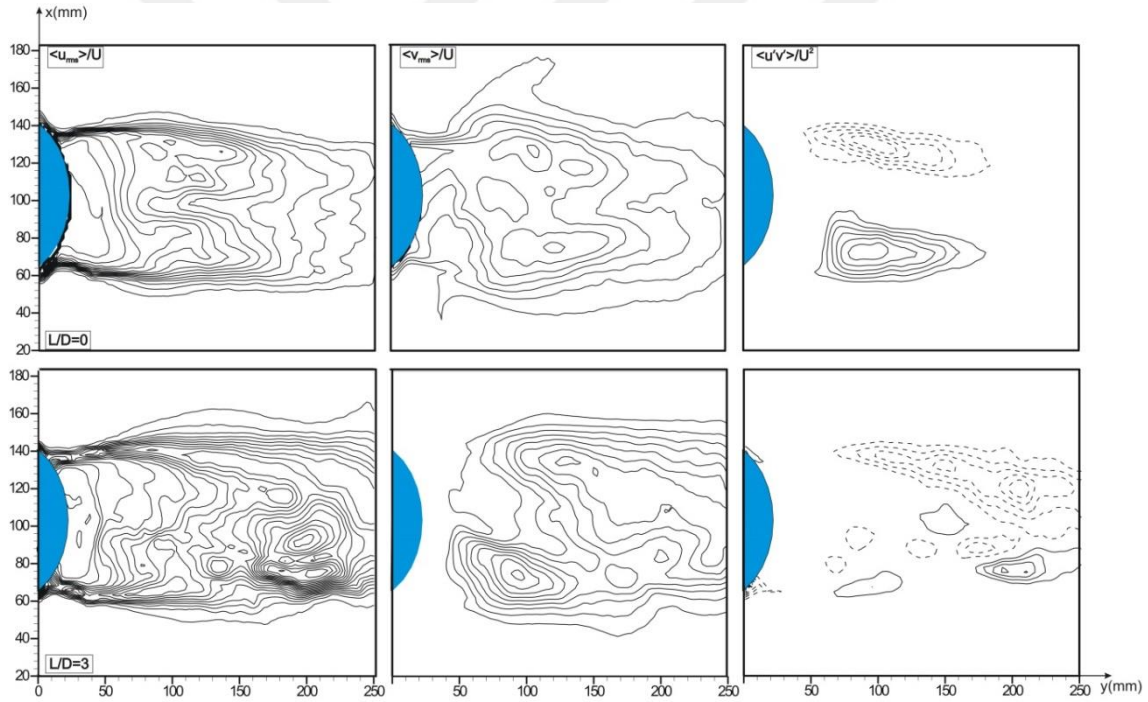
Boyutsuzlaştırılmış zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızları ile zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme, $\langle u'v' \rangle / U^2$ değerleri dairesel silindirin ölü akış bölgesi için farklı Reynolds sayılarında sırasıyla Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir. Tüm şekillerin ilk satırları yalın haldeki silindiri gösterirken ikinci satırda esnek parçanın eklendiği $L/D=3$ durumu belirtilmektedir.



Şekil 4.22. Reynolds sayısı, $Re_d=2500$ için boyutsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$.

Akım yönünde, u_{rms}/U ve akıma dik yöndeki, v_{rms}/U hız bileşenlerinin rms değer konturları serbest akış hızına, U_∞ bölünerek boyutsuzlaştırılmış ve Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'ün birinci ve ikinci kolonunda Reynolds sayısı değiştirilerek gösterilmiştir.

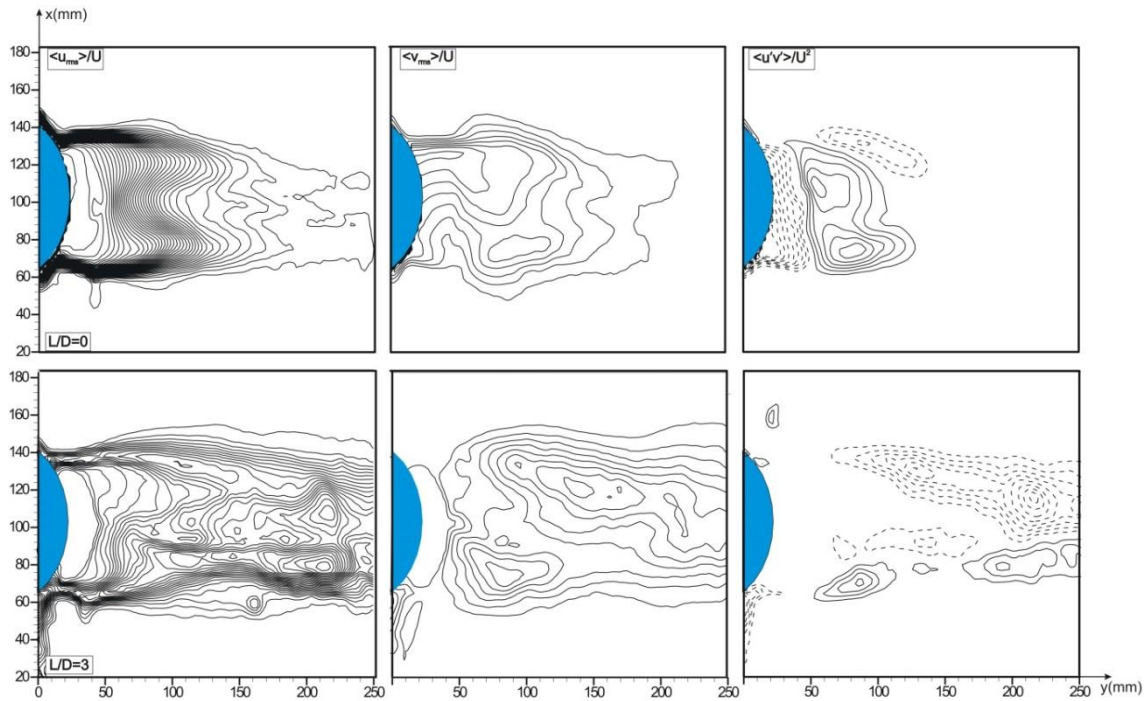
Minimum ve artırım miktarları $[\langle u_{rms} \rangle / U]_{min}=0.02$, $[\langle v_{rms} \rangle / U]_{min}=0.02$, $\Delta[\langle u_{rms} \rangle / U]=0.02$ ve $\Delta[\langle v_{rms} \rangle / U]=0.02$ olarak alınmıştır. Akım yönündeki boyutsuz hız bileşeninin, $\langle u_{rms} \rangle / U$ maksimum değeri yalın haldeki silindir için Reynolds sayısına göre sırasıyla 0.44, 0.75 ve 0.80'dir ve bu değerler $L/D=3$ için 0.38, 0.40 ve 0.44'e düşmüştür. Akıma dik yöndeki boyutsuz hız bileşeninin maksimum rms değerleri, $\langle v_{rms} \rangle / U$, $L/D=0$ için farklı Reynolds sayılarında sırasıyla 0.3, 0.21 ve 0.26 seviyesinde hesaplanmıştır. Düzenli akış yapısı esnek ayırıcı plakanın eklenmesiyle bozulmuş ve akıma dik yöndeki rms hız değerleri 0.22, 0.16 ve 0.19 olarak maksimum seviyeye gerilemiştir. Akım yönündeki çalkantı hızlarının rms değerleri akıma dik yöndeki hız bileşeninden yüksek olduğu için Reynolds gerilmesinin oluşmasında akım yönündeki meydana gelen çalkantı hızının etkisi daha fazladır ve bu durum şekilden görülmektedir.



Şekil 4.23. Reynolds sayısı, $Re_d=5000$ için boyutsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$.

Zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme konsantrasyonu üç şekilde üçüncü kolonunda hem pozitif (saat yönünün tersi) hem de negative (saat yönünde) konturları ifade eden çizgilerle gösterilmiş ve minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u'v' \rangle / U^2]_{min}=\pm 0.04$ ve $\Delta[\langle u'v' \rangle / U^2]=0.005$ olarak alınmıştır. İlk başta Reynolds

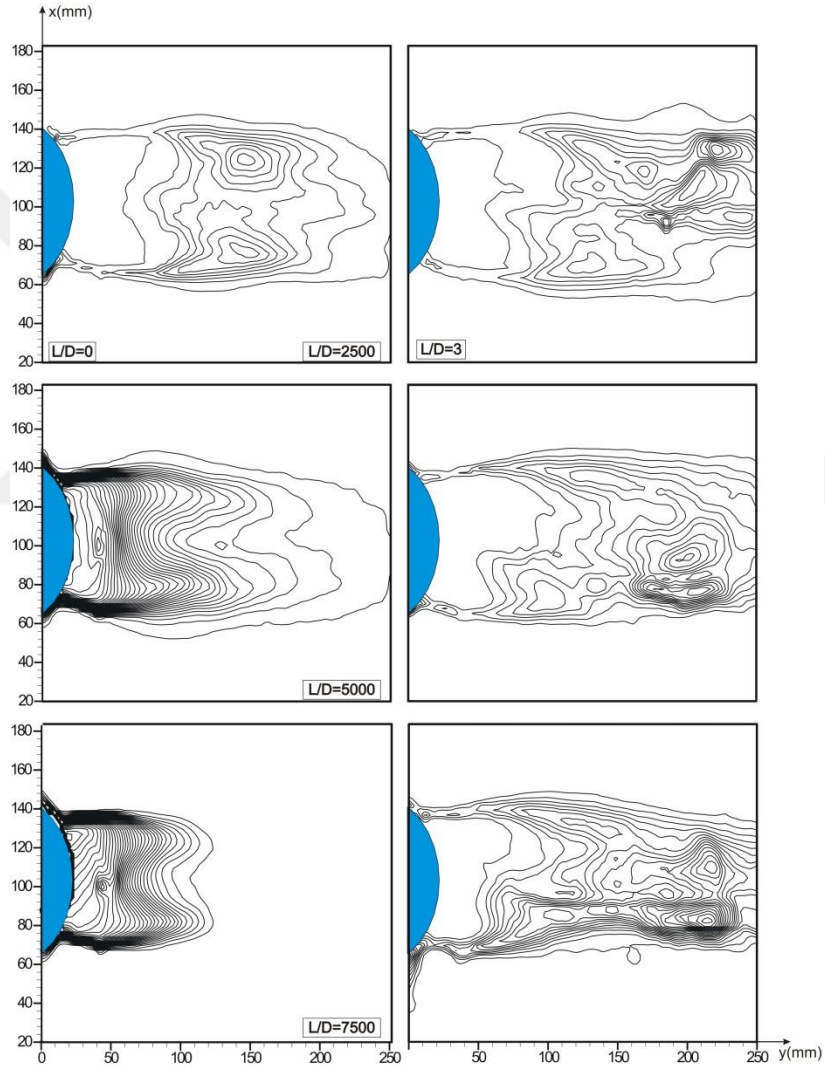
gerilme değerin maksimum değeri, $Re_d=2500$ için $[\langle u'v' \rangle / U^2]_{max}=0.05$ hesaplanırken $Re_d=5000$ ve 7500 için bu değer 0.085 mertebesinde. Bu değerler esnek parça eklendikten sonra 0.03 , 0.032 ve 0.036 değerine azalmıştır. $Re_D=2500$ değerinde oluşan maksimum nokta silindir yüzeyinden $2D$ mesafesi uzaklığında meydana gelirken $3D$ mesafe sonrasına ötelenmiştir. Silindirin yalın hal durumunda zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme konturları simetrik bir yapıda meydana gelirken $L/D=3$ için bu simetriklik bozulmuş ve dağıtılmıştır. Ölü akış bölgesindeki esnek ayırıcı plakaya akış tarafından momentum transferinden dolayı azalma ve simetrik yapıda bozulmalar meydana gelmektedir.



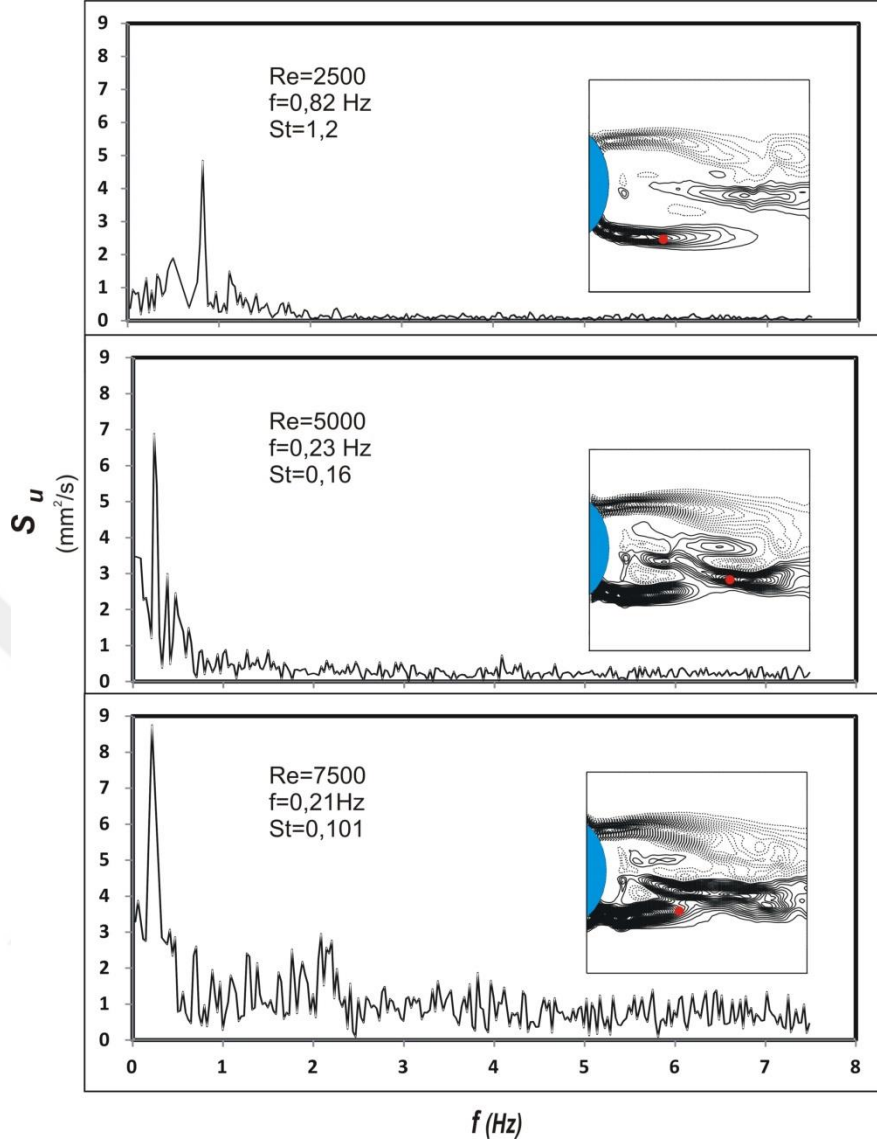
Şekil 4.24. Reynolds sayısı, $Re_d=7500$ için boyutsuzlaştırılmış akım yönünde, $\langle u_{rms} \rangle / U$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v_{rms} \rangle / U$ çalkantı hızların rms ve Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U^2$.

Dairesel silindirin ölü akış bölgesinde oluşan iki boyutlu zaman ortalamalı türbülans Kinetik Enerji, TKE konturları boyutsuzlaştırılmış halde Şekil 4.25'te karşılaştırılmalı olarak gösterilmiş ve minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle TKE \rangle]_{min}=0.005$ ve $\Delta[\langle TKE \rangle]=0.01$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.25'in ilk kolonu yalın haldeki silindiri, $L/D=0$ gösterirken ikinci kolon esnek parçanın eklendiği, $L/D=3$ durumunu ifade etmektedir. Her satırda ise giderek artan Reynolds sayılarına, $Re_D=2500$,

5000 ve 7500 olarak yer verilmiştir. Şekil 4.25'in ilk kolonundan görüldüğü üzere TKE konturları Reynolds sayılarına bağlı olmaksızın simetrik yapıdadır. TKE'nin maksimum değeri $L/D=0$ 'da 0.19, 0.56 ve 0.65'ten $L/D=3$ için 0.145, 0.16 ve 0.19 seviyesine gerilediği belirlenmiştir. Yalın haldeki silindir için Reynolds sayısı arttıkça TKE'nin maksimum değerinin oluştuğu nokta silindir yüzeyine doğru yaklaşırken, $L/D=3$ durumunda ileri doğru ötelenmiştir. Zaman ortalamalı boyutsuz $\langle u_{rms} \rangle / U$ değerleri gibi TKE konturları da belirli bir alanda nispeten kümelenmiştir.



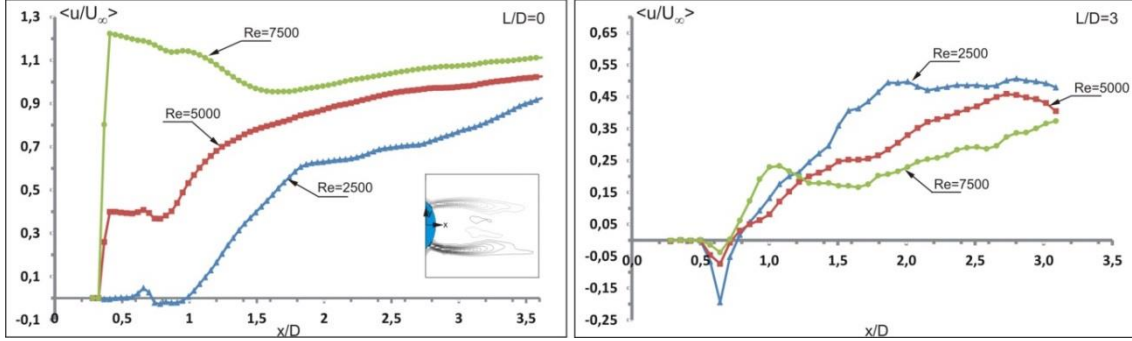
Şekil 4.25. Farklı Reynolds sayıları için Türbülans Kinetik Enerji, TKE konturları.



Şekil 4.26. Zaman ortalamalı akım yönündeki hız bileşeninden alınan, v (mm/s) üç farklı Reynolds sayılarında, $Re=2500$, 5000 ve 7500 FFT sonuçlarının karşılaştırılması.

Akış alanındaki karakteristikler üzerinde bazı özel bilgilere zaman ortalamalı akış verilerinden yeterli bilgiler elde edilememektedir. Dairesel silindirin ölü akış bölgesinde meydana gelen girdap kopmaları ve bu bölgede baskın girdap kopma frekansları, f , PIV deneylerinden alınan veriler doğrultusunda üç farklı akış rejiminde hız vektörlerinin 350 adet anlık görüntüler kaydedilerek Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Elde edilen frekans değerleri, f , $L/D=3$ için $0,82$, $0,23$ ve $0,21$ Hz seviyesinde bulunmuş ve $Re_D=2500$ için $x/D=1,6$, $y/D=0,98$, $Re_D=5000$ için $x/D=0,33$, $y/D=0,79$ ve $Re_D=7500$ için $x/D=0,53$,

$y/D=0.70$ mesafelerinde noktaları belirlenmiştir. İlgili Strouhal sayısı, $St=fD/U_\infty$ sırasıyla 1.2, 0.16 ve 0.101 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.27. Zaman ortalamalı akım yönündeki hız bileşeni, $\langle u/U_\infty \rangle$ silindir eksen doğrultusunda $Re_d=2500$, 5000 ve 7500 için karşılaştırılması.

Her iki model, $L/D=0$ ve $L/D=3$ için zaman ortalamalı akım yönündeki hız bileşenin, $\langle u/U_\infty \rangle$ gelişiminin ve değişiminin anlamak için üç farklı Reynolds sayısına bağlı olarak Şekil 4.27 geliştirilmiştir. Akım yönündeki hız bileşen değerleri silindirin merkez hizasından x doğrultusu boyunca alınmış ve değişen akış rejimlerindeki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.27'nin sol tarafında yalın haldeki silindirin, $L/D=0$ durumu mukayese edilirken sol tarafta esnek parçanın eklendiği, $L/D=3$ durum $Re_D=2500$ (mavi), $Re_D=5000$ (kırmızı) ve $Re_D=7500$ (yeşil) renklerle belirtilen Reynolds sayıları ile karşılaştırılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi y eksen, boyutsuz akım yönündeki hız bileşenlerini gösterirken x eksen silindirin belirli noktasından itibaren akım yönündeki boyutsuz mesafeyi ifade etmektedir. Şeklin sol kısmından da anlaşılacağı üzere $L/D=0$ durumunda akım yönündeki hız bileşeni dairesel silindirin bulunduğu yerden itibaren yüksek değerlerde başlamakta ve akış yönüne doğru gittikçe bu değerler artmaktadır. Diğer taraftan, ayırıcı esnek parka bu yüksek başlangıç değerlerini ciddi anlamda azaltmakta ve akım yönünde ilerlese dahi $L/D=0$ durumuna kıyasla her zaman daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir. Esnek ayırıcı plaka transfer edilen momentum akım yönündeki hız bileşenindeki bu azalmayı fiziksel olarak açıklamaktadır.

4.4. Farklı Reynolds Sayılarında Sınır Tabakanın Etkili Olduğu Bölge İçin Dairesel Silindirin Akış Yapısının Kontrolü

4.4.1. Giriş

Kontrol elemanı, L , 180 mm alınırken Reynolds sayısı, Re_D , 2500, 5000 ve 7500 için sınır tabakanın etkisinin olduğu bölgede incelemelerde bulunulmuştur. Deneyler yapılırken sadece PIV sonuçlarına bakılmamış aynı zamanda da boya deneyleri araştırılarak akışın fiziği konusunda çıkarımlarda bulunulmuştur. Elde edilen tüm değerler yalın haldeki silindir ile kıyaslanarak sisteme eklenen esnek ayırıcı plakanın akış yapısı üzerindeki etkisi hem nicel gözlemle hem de çeşitli hesaplar yapılarak hız vektör alanları çıkarılmıştır.

4.4.2. Çalışmanın amacı

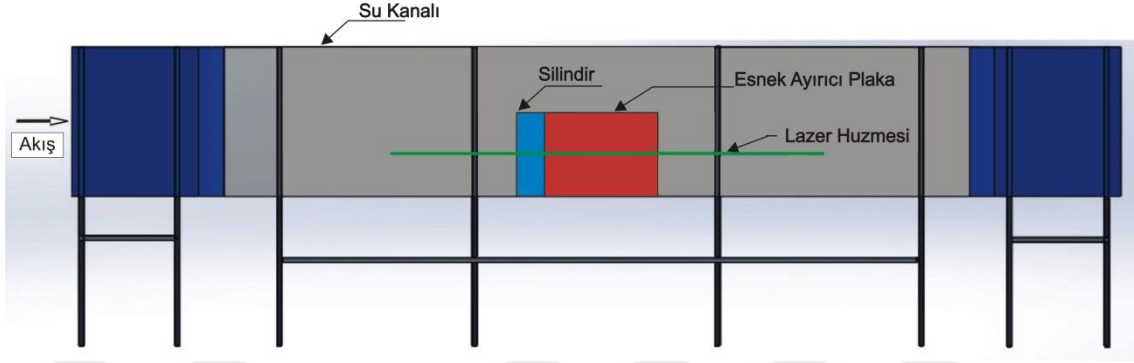
Bu çalışmanın amacı PIV tekniği kullanarak dairesel silindirin ölü akış bölgesindeki aynı uzunlukta bulunan ayırıcı esnek plakanın etkisini incelemektir. Silindir çapına bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 5000 olmak üzere üç farklı akış rejimi için çalışılmıştır. Özellikle aşağıda belirtilen soruların cevabını bulmaya çalışacağız: Deneyde esnek ayırıcı plaka kullanmak akış karakteristikleri üzerinde ne gibi değişikliklere sebep olmaktadır? Reynolds sayısının artırılmasıyla derin suda girdap kopma frekansında ne gibi farklılıklar meydana gelecektir?

4.4.3. Deney düzeneği

Serbest akış hızı, U_∞ , 41 mm/s ile 125 mm/s arasında değişmekte ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 hızı değiştirilebilen bir santrifüj pompa yardımıyla serbest akış hızı ayarlanabilmektedir.

Şekil 4.28’de sistemin detaylandırılmış halini ve kullanılan malzemenin, deneyde yer alan araçların ve dairesel silindirin yüksekliği ile ilişkilendirilmiş lazer huzmesinin tanımlarını ifade etmektedir. Tüm deneylerde su kanalı 600 mm yüksekliğine, (h_w) kadar doldurulmuş ve lazer huzmesi silindir tabanından 250 mm yüksekliğini aydınlatmaktadır.

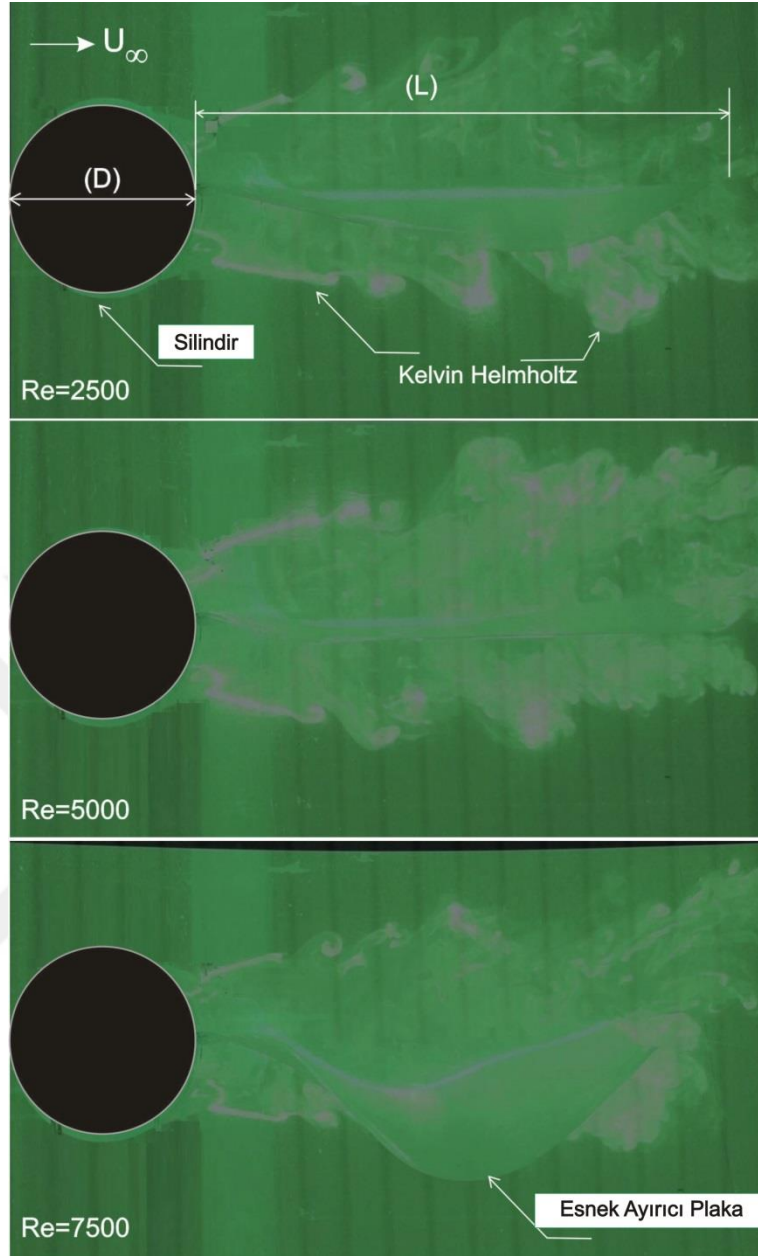
Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 için Froude sayısı, Fr , sırasıyla 0.016, 0.033 ve 0.051 değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere göre elde edilen sonuçlar su üzerindeki çalkantılardan etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 4.28. Sistemin yandan görünüşü ve parametrelerin tanımları.

4.4.4. Boya deney sonuçları

Deneylerin ilk başlarında birçok araştırmacı su içerisindeki cismin arka kısmında meydana gelen ölü akış bölgesi üzerinde ayırıcı plaka kullanımının etkisini incelemişlerdir. Test hareketlerinin davranışı ya da akış alanının genel olarak görüntüsünü anlamak için akış görüntüleme tekniğini uygulamışlardır. Bu deneyde silindirin iki tarafında enjekte edilen boya ile görüntülemesi yapılmıştır.



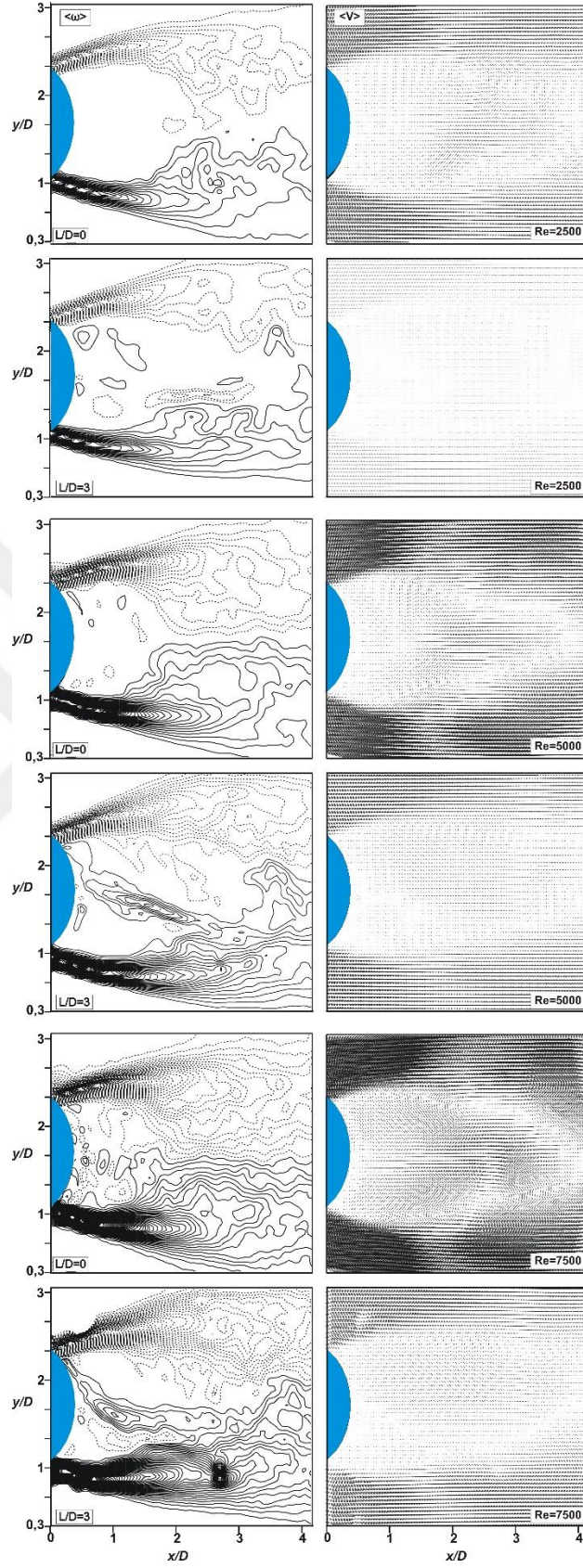
Şekil 4.29. Deneylerin akım yönündeki boya ile anlık görüntüleri ve Reynolds sayısı, $Re=2500$, 5000 ve 7500 için Kelvin-Helmholtz gösterimleri.

Reynolds sayısı 2500 , 5000 ve 7500 değerlerinde dairesel silindirin etrafındaki anlık görüntüleri nicel olarak boya deneyi resimleri Şekil 4.29’da verilmiştir. Devri daim yapan akış, çevreye zararsız ve su ile karışabilen Rhodamine tip boya kullanarak lazer huzmeleriyle aydınlatılmıştır. Kelvin-Helmholtz (*KH*) olarak adlandırılan küçük ölçekli girdapların oluşumu giderek büyük ölçekteki girdaplar meydana getirmektedir. Akışkan akış yönünde ilerlerken girdapların boyutlarında artış meydana geldiği görülmekte ve

esnek ayırıcı plaka hizasında ilerlerken küçük boyutlu girdaplar simetrik yapılarını kaybetmekte ve giderek gözden kaybolmaktadır.

4.4.5. Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) sonuçları

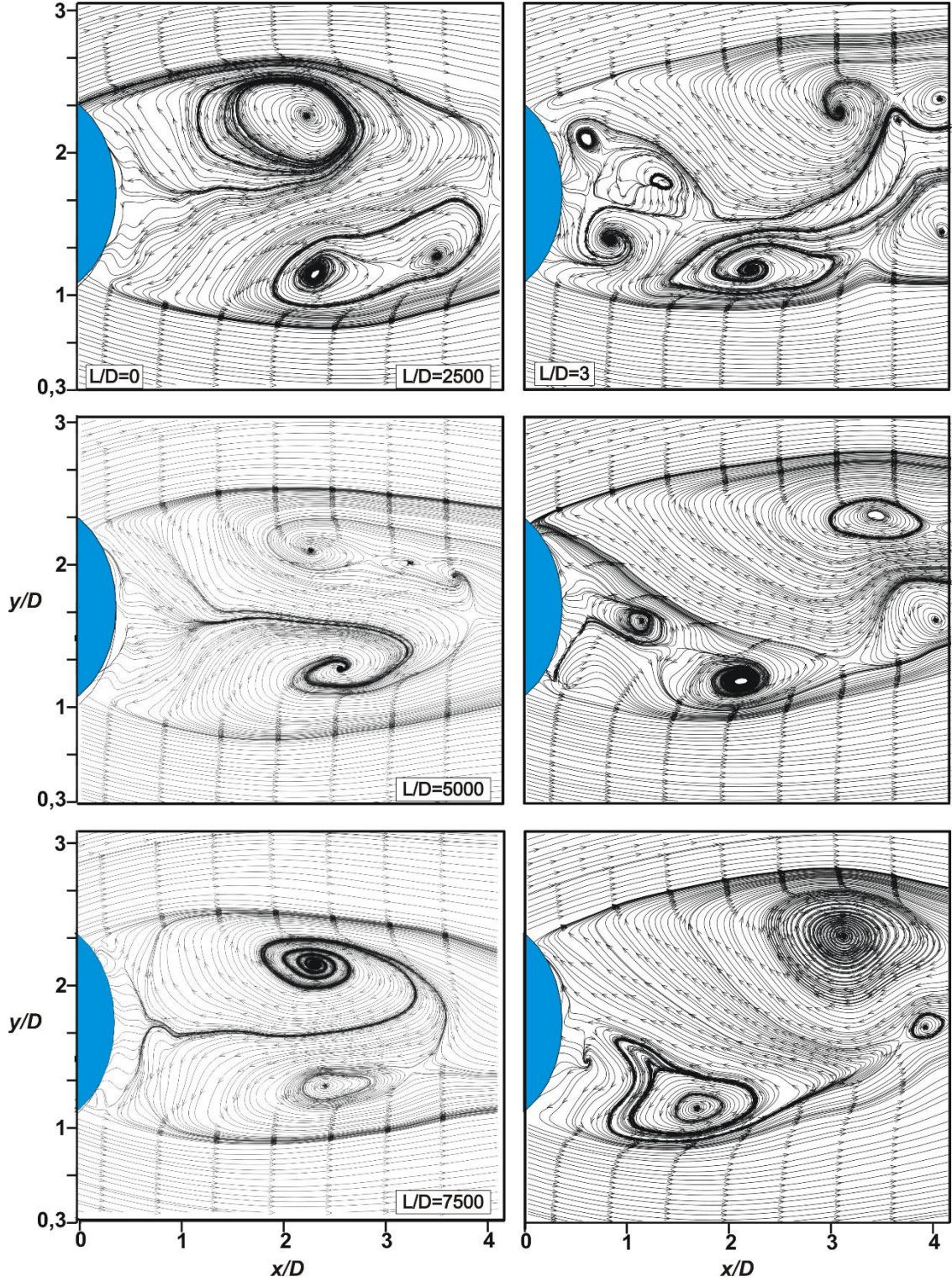
Şekil 4.30 zaman ortalamalı hız vektörlerini, $\langle V \rangle$ ve girdap eşdeğer konturlarını, $\langle \omega \rangle$ içeren akış yapılarını göstermektedir. Şeklin sol sütunu zaman ortalamalı girdap eşdeğer konturlarını gösterirken sağ sütunu zaman ortalamalı hız vektörlerini yalın haldeki silindir, $L/D=0$ ile esnek ayırıcı plakanın eklendiği sistem, $L/D=3$ kıyaslanmakta ve her bir satır Reynolds sayısına göre ayarlanmıştır. Hız vektörleri, $\langle V \rangle$, dairesel silindirin akışı tarafındaki ölü akış bölgesi olarak nitelendirilen düşük hızların olduğu alanı göstermektedir. Sürekli, (saat yönünde, negatif) ve kesikli çizgiler, (saat yönünün tersi, pozitif) zaman ortalamalı girdap konturlarını, $\langle \omega \rangle$ şeklin sol kolonunda ifade etmektedir. Her deney için girdap konturlarının minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle \omega \rangle]_{\min} = \pm 0.5$, $\Delta[\langle \omega \rangle] = 0.5 \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Yalın haldeki silindir için girdap simetrik yapıdadır. Fakat, esnek ayırıcı plakanın eklenmesiyle bu simetrik yapı değişmiş ve girdap konturlarının maksimum değerlerinde çok fazla bir değişikliğe sebep olmamasına rağmen ikincil girdaplar oluşturmuştur. Daldırılmış cisme eklenen bu ayırıcı esnek plaka silindirin ölü akış bölgesindeki girdap yapısını akış yönüne doğru bir miktar uzatmıştır.



Şekil 4.30. Reynolds sayısı, $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı girdap, $\langle \omega \rangle$ hız vektör alanının, $\langle V \rangle$ karşılaştırılması.

Şeklin sol sütununda gösterilen yalın haldeki silindir, $L/D=0$ zaman ortalamalı akım çizgileri Şekil 4.31’de belirtilmiş ve esnek ayırıcı plakanın eklendiği durumun etkisi, $L/D=3$ her satır Reynolds sayısına göre düzenlenerek gösterilmiştir. Reynolds sayısı 2500’de yalın haldeki silindir için cismin her iki tarafında iki adet, Reynolds sayısı 5000 ve 7500 değerlerinde üç adet foci (odak) noktası şekilde açıkça görülebilmektedir. Ancak kontrol elemanı Reynolds sayısı artsa bile girdap uzunluğu ile ilgili daha fazla odak ve döngü noktası oluşturmuştur. Reynolds sayısındaki bu artış odak noktasında artışa sebep olmuş ve bu noktalar silindirin akım yönüne doğru taşınmıştır.

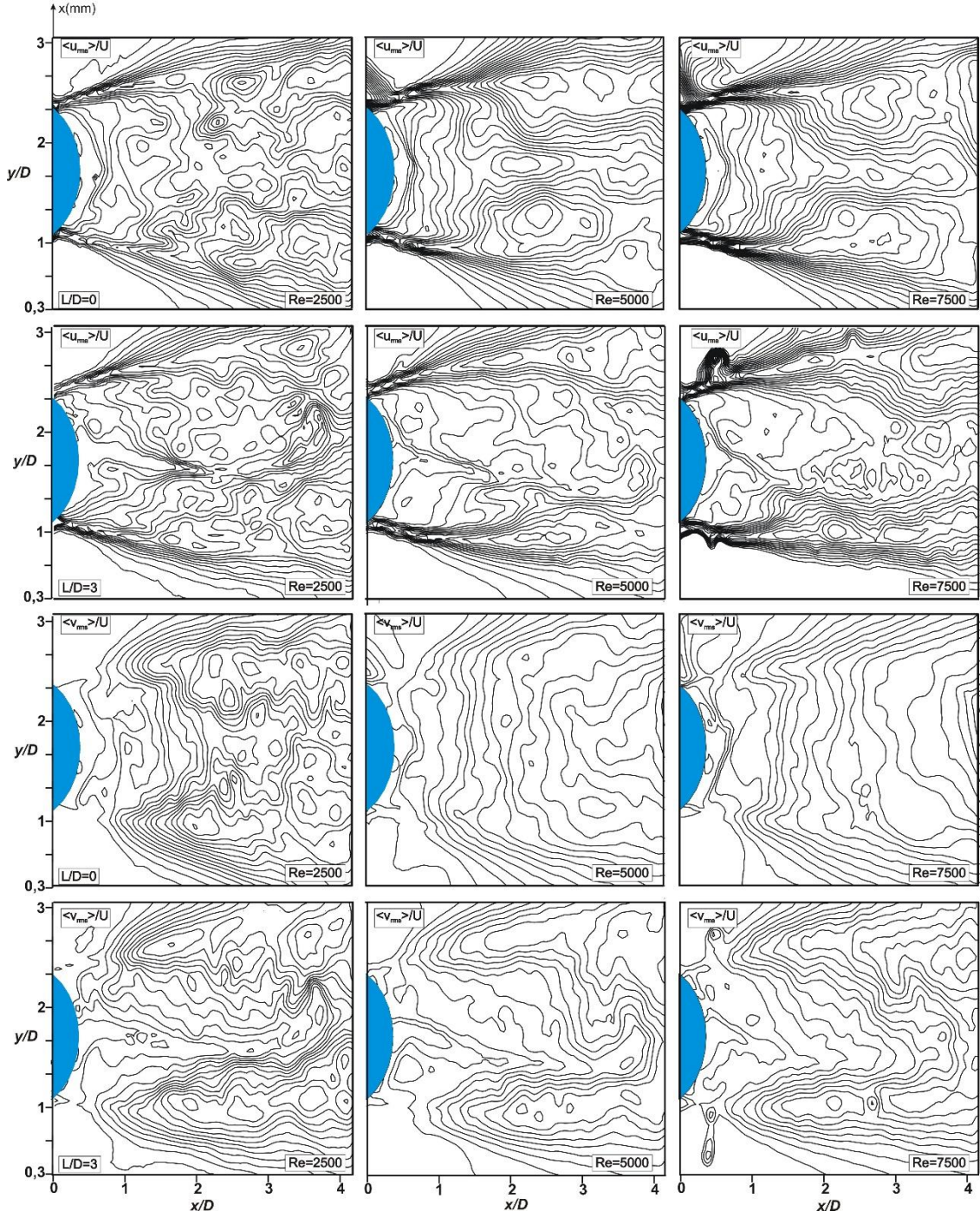




Şekil 4.31. Reynolds sayısı, $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı akım çizgilerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.32’de zaman ortalamalı boyutsuz akım yönündeki çalkantı hızlarının rms değerleri, $\langle u_{rms} \rangle / U_\infty$ ve akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının rms değerleri, $\langle v_{rms} \rangle / U_\infty$

gibi türbülans akış yapılarını $Re_D=2500, 5000$ ve 7500 değerlerinde ölü akış bölgesindeki maksimum çalkantıları anlamak için gösterilmiştir. İlk ve ikinci satır akım yönündeki çalkantı hızları ile ilgili iken diğer iki satır akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının rms değerleri ifade etmektedir. Sol, orta ve sağdaki sütunlar ise ilgili Reynolds sayısını göstermektedir. Rms değerlerinin minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u_{rms} \rangle / U]_{min}=0.02$, $[\langle v_{rms} \rangle / U]_{min}=0.02$, $\Delta[\langle u_{rms} \rangle / U]=0.02$ ve $\Delta[\langle v_{rms} \rangle / U]=0.02$ olarak belirlenmiştir. $L/D=0$ için $\langle u_{rms} \rangle / U$ değerinin maksimum seviyesi $0.40, 0.42$ ve 0.46 ve $\langle v_{rms} \rangle / U$ değerinin maksimum seviyesi $0.34, 0.36$ ve 0.42 olarak $Re_D=2500, 5000$ ve 7500 değerleri için elde edilmiştir. Bu maksimum değerler $L/D=3$ durumunda akım yönündeki çalkantı hızları için $0.36, 0.40$ ve 0.44 seviyesine, $\langle v_{rms} \rangle / U$ için $0.28, 0.36$ ve 0.42 mertebesine gerilemiştir.

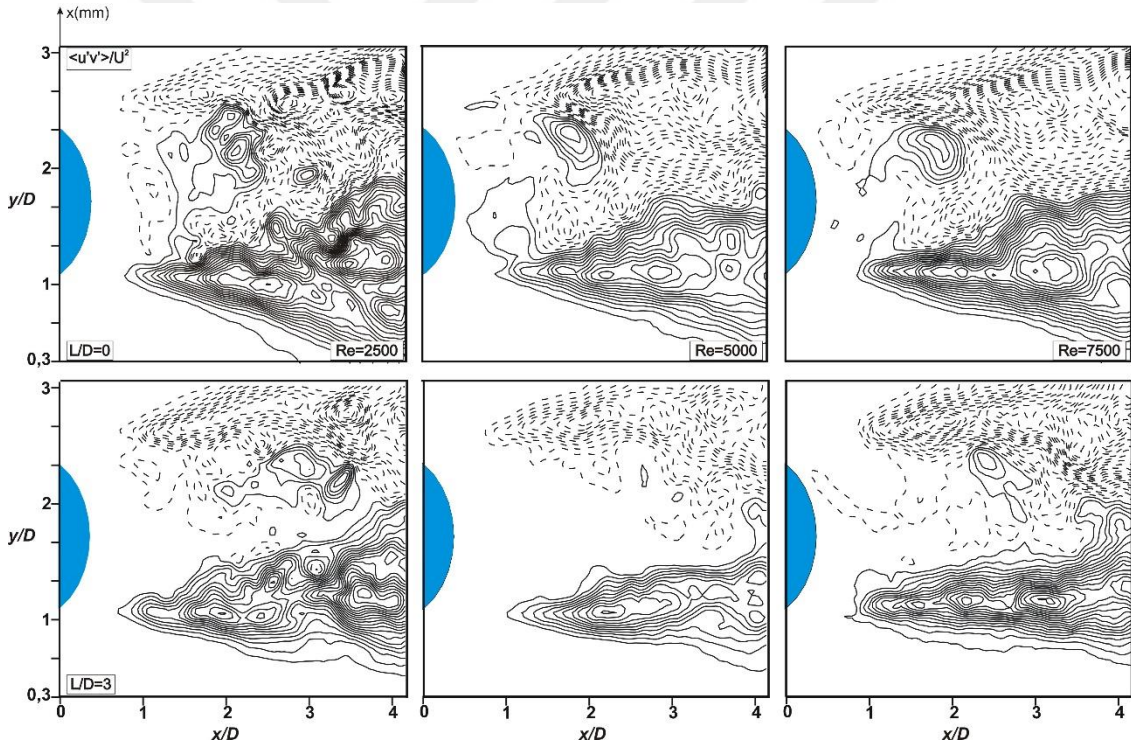


Şekil 4.32. Reynolds sayısı, $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u_{rms} \rangle / U_{\infty}$ ve akıma dik yöndeki çalkantı hızlarının, $\langle v_{rms} \rangle / U_{\infty}$ rms değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.33'te gösterildiği gibi zaman ortalamalı Reynolds gerilme değerleri, $\langle u'v' \rangle / U_{\infty}$ serbest akış hızına bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Burada u' , akım yönündeki çalkantı hızını v' , akıma dik yöndeki çalkantı hızı ifade etmektedir. Yalın

haldeki silindir, $L/D=0$ Şekil 4.33'ün ilk satırında gösterilirken ikinci satır $L/D=3$ durumunu belirtmektedir. Yukarıda girdap konturlarında bahsedildiği gibi sürekli ve kesikli çizgiler pozitif ve negatif konturları anlatmaktadırlar. Reynolds gerilme değerleri için minimum ve artırım miktarları sırasıyla $[\langle u'v' \rangle / U_\infty]_{\min} = \pm 0.003$ and $\Delta[\langle u'v' \rangle / U_\infty] = 0.003$ olarak belirlenmiştir.

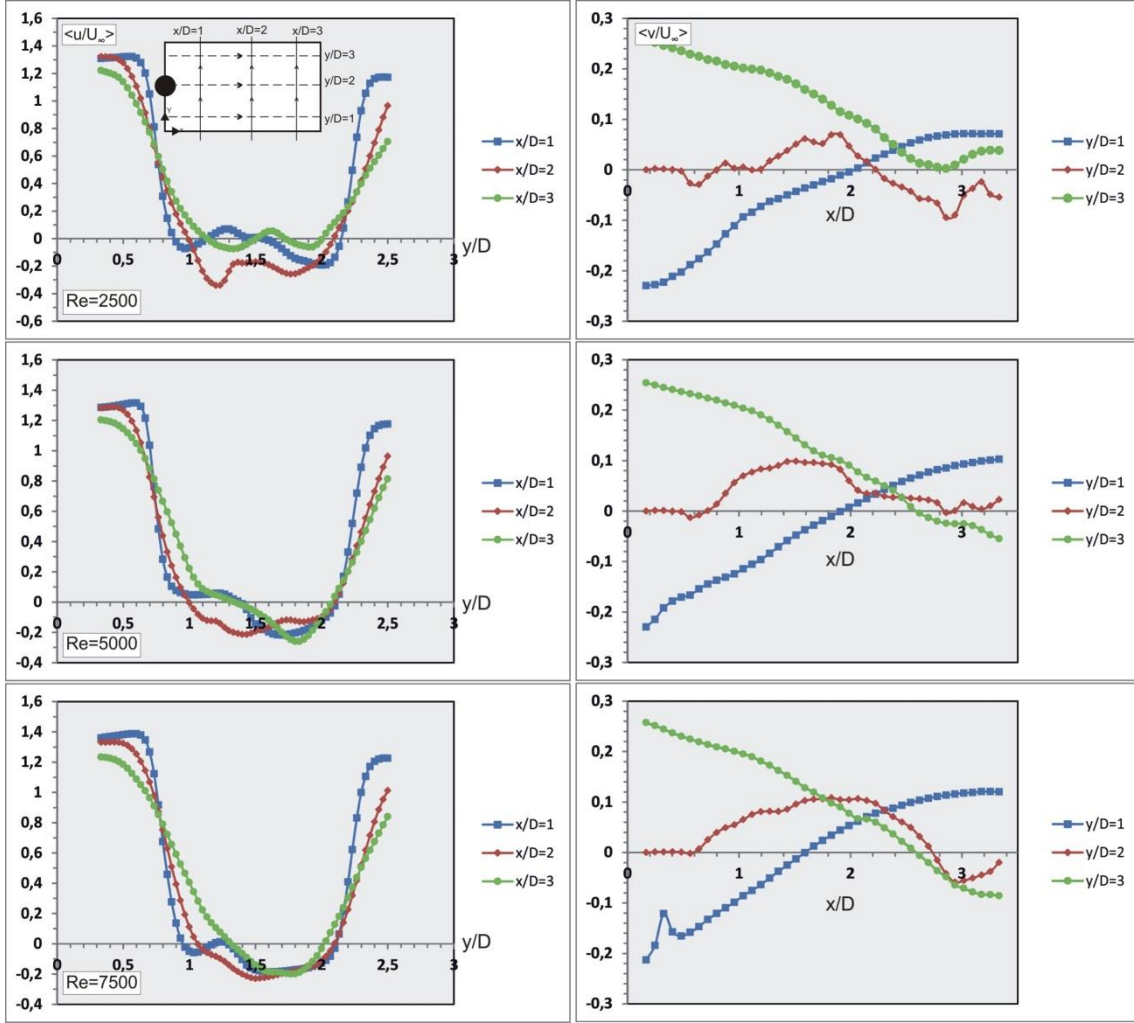
$L/D=0$ için zaman ortalamalı boyutsuz Reynolds gerilme değerlerinin maksimum seviyeleri Reynolds artırımına göre 0.08, 0.10 ve 0.11 olarak hesaplanmıştır. Silindirin akım tarafına eklenen esnek ayırıcı plakanın yardımıyla bu değerler 0.06, 0.065 ve 0.08 mertebelerine düşmüştür. Silindirin ölü akış bölgesindeki Reynolds gerilme değerleri düşük seviyededir. Özellikle $Re_D=5000$ ve 7500 için negatif konturlar pozitif bölge içerisinde oluşmuş ve silindirin akım yönüne doğru taşınmıştır.



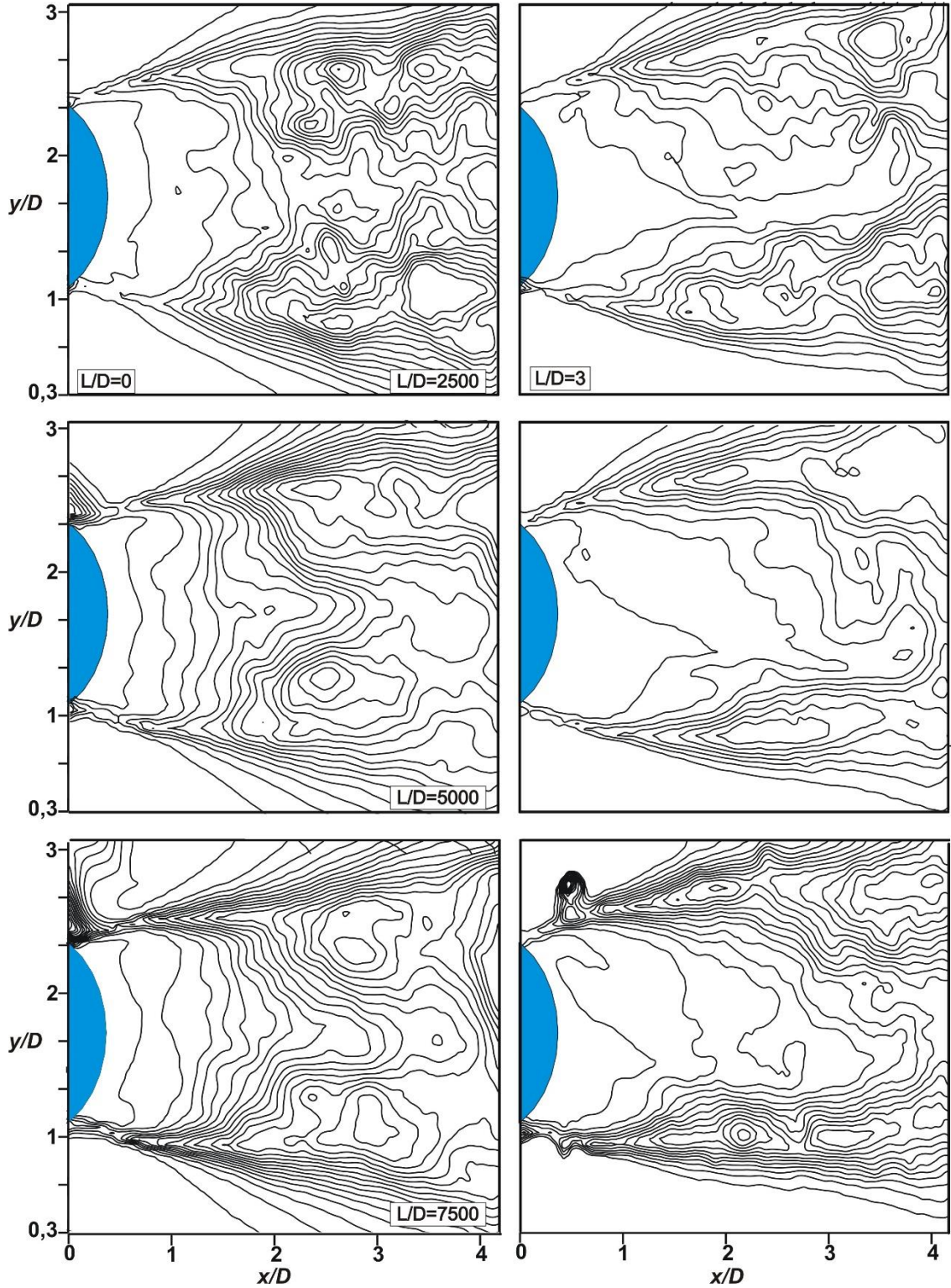
Şekil 4.33. $Re=2500, 5000$ ve 7500 için zaman ortalamalı Reynolds gerilme, $\langle u'v' \rangle / U_\infty$ değerlerinin karşılaştırılması.

Zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u \rangle / U_\infty$, ve akıma dik yöndeki hız bileşenleri, $\langle v \rangle / U_\infty$ Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Minimum ve artırım miktarları akım yönündeki hız bileşeni için $[\langle u \rangle / U_\infty]_{\min} = \pm 10$ ve $\Delta[\langle u \rangle / U_\infty] = 10$ akıma dik yöndeki bileşen için $[\langle v \rangle / U_\infty]_{\min} = \pm 2$ ve $\Delta[\langle v \rangle / U_\infty] = 2$ olarak belirlenmiştir. X ekseni silindirin akım yönüne

dik doğrultuyu gösterirken, y eksenini hız bileşenlerini gösterip boyutsuz değerler elde etmek için bu koordinatlar silindir çapına bölünmüştür. Şekil 4.34'ün sol sütunu akım yönündeki bileşenleri ifade ederken sağ taraftaki sütun ise akıma dik yöndeki hız bileşenlerini ifade etmekte ve her satır Reynolds sayılarına göre oluşturulmuştur. Veriler her deneyde silindirin ölü akış bölgesi içerisinde üç farklı x ve y koordinatlarında alınmıştır. Tüm durumlarda, $x/D=1,2$ ve 3 için zaman ortalamalı boyutsuz $\langle u \rangle / U_\infty$ değerleri maksimum seviyesinden başlayıp $y/D=1.5$ durumunda neredeyse sıfıra inmektedir. Akım yönündeki hız bileşeni için $y/D=1$ ve 2 durumunda negatif bir akış oluşmakta ve bu uzunluktan sonra hız bileşeni giderek artmaktadır. Zaman ortalamalı boyutsuz akıma dik yöndeki hız bileşeni akım yönünde ilerledikçe giderek azaldığı Şekil 4.34'ün sağ sütununda görülebilmektedir. Akım yönündeki hız bileşenlerine uygulanan yöntem farklı yollar izlenerek akıma dik yöndeki hız bileşenine de uygulanmıştır. Diğer bir ifadeyle x eksenini silindirin akım yönüne göre tasarlanmış ve y eksenini $\langle v \rangle / U_\infty$ değerleri için üç farklı veriler ile oluşturulmuştur. Deneyin üstten görünüşüne göre ölü akış bölgesinin alt kısmında $y/D=1$ durumunda $x/D=2$ 'ye kadar negatif değerler görülmektedir. $x/D=2$ değeri aşıldığında hız pozitif dönmektedir ve bu üç farklı Reynolds sayıları içinde geçerlidir.



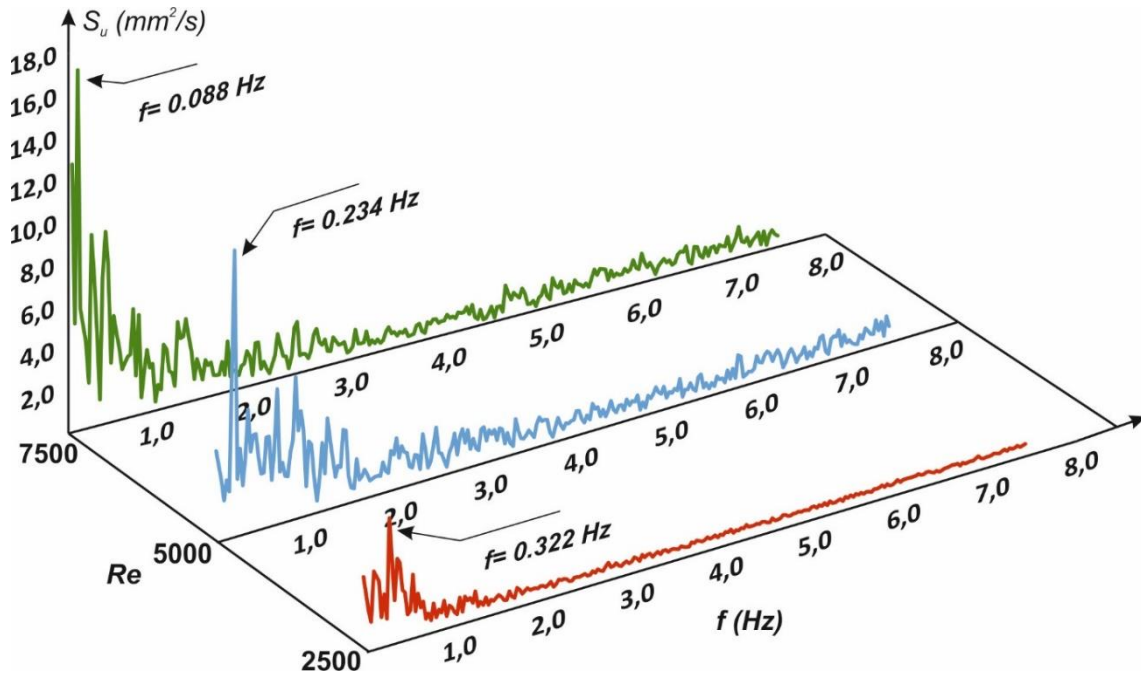
Şekil 4.34. $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı akım yönündeki, $\langle u \rangle / U_\infty$ ve akıma dik yöndeki, $\langle v \rangle / U_\infty$ hız bileşenlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.35. $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı Türbülans Kinetik Enerji $\langle TKE \rangle$ karşılaştırılması.

Zaman ortalamalı Türbülans Kinetik Enerji $\langle TKE \rangle$ değerlerinin veri sonuçları Şekil 4.35’de gösterilmektedir. Şeklin sol ve sağ sütunları esnek ayırıcı plakanın olup

olmaması durumuna göre hazırlanmıştır. Tüm Reynolds sayıları için sırasıyla minimum ve artırım miktarları $[\langle TKE \rangle]_{min}=0.005$ and $\Delta[\langle TKE \rangle]=0.01$ olarak belirlenmiştir. TKE değerleri $L/D=0$ durumunda simetrik yapıdadır fakat burum durum esnek ayırıcı plaka eklendiğinde bozulmakta ve simetrik yapı değişmektedir. Türbülans Kinetik Enerji değerleri direkt olarak rms hızlarıyla ilgili olduğundan akım yönündeki çalkantı hızları, $\langle u_{rms} \rangle$ akıma dik yöndeki çalkantı hızlarına, $\langle v_{rms} \rangle$ göre TKE değerleri üzerinde daha etkili olmaktadır.



Şekil 4.36. $Re=2500$, 5000 ve 7500 için zaman ortalamalı frekans, f (Hz) değerlerinin karşılaştırılması.

$L/D=3$ durumu için 350 anlık görüntü olarak ölü akış bölgesindeki meydana gelen girdap kopma frekanslarını belirlemek için FFT analiz sonuçları Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Reynolds sayısına bağlı olarak üç farklı sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırmalarda bulunulmuştur. $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 için baskın olan frekans, f değerleri sırasıyla 0.322 Hz, 0.234 Hz ve 0.088 Hz olarak bulunmuştur. Bu frekans değerlerinin sonuçları Oruc ve ark. (2016)'nın çalışması ile ters düşmektedir. Çalışmalarında Reynolds sayısının artması ile girdap kopma frekansında düşmelerin olduğunu ifade etmiştir. Ancak bu deneyde sonuçlar akış rejimindeki artış ölü akış bölgesinde meydana gelen girdap kopma frekansında düşüşlerin olduğunu göstermiştir.

Bulunan sonuçlar Kuhl ve DesJardin (2012)'in çalışmasında olduğu gibi Reynolds sayısındaki artışın girdap kopma frekansındaki artış ile orantılı olduğunu desteklemektedir. Kısaca, kullanılan kontrol elemanı sabit ise frekans değerleri Reynolds sayısı ile doğru orantılı olarak değişirken hareket edebilen parçalar kullanıldığında ters orantılı olarak değiştiğini frekans oluşumunu geciktirdiği belirlenmiştir.





5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, akışa maruz kalan dairesel bir silindir arkasına esnek parça eklenerek oluşan akış yapısı kapalı devre, dikdörtgen bir açık su kanalı içerisinde parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV) ve boya deneyi ile incelenmiştir. Silindir çapına bağlı Reynolds sayısı, $Re_D=2500$, 5000 ve 7500 olarak belirlenmiştir. Sınır tabaka etkisinin olduğu silindirin orta yüksekliğinden ve sınır tabakanın etkili olmadığı (silindirin üst kısmının 5 mm altı) bölgeden anlık görüntüler kaydedilmiştir. Uzunlukları 75 mm ($L/D=1.25$) ile 240 mm ($L/D=4$) arasında değişen esnek ayırıcı parçanın akışa etkisini göstermek için zaman ortalamalı hız vektörleri, akım çizgileri, girdap konturları, Reynolds gerilme değerleri, akım yönünde ve akıma dik yönde hız bileşenleri, türbülans kinetik enerji değerleri ve girdabın frekans değerleri hesaplanmıştır ve kıyaslamalarda bulunulmuştur. Özellikle $L/D=3$ durumunda belirgin bir şekilde iyileştirmeler olduğu kaydedilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Reynolds gerilme değerlerinde %50, çalkantı hızlarında ise %30 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir.
- Türbülans Kinetik Enerji (TKE) değerleri üçte birine düşmüş, girdap eşdeğer kontur değerleri silindirin $L/X=0$ noktasından akım yönünde ötelenmiş olup bu değerlerde ciddi azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir.
- Esnek plakanın eklenmesi durumunda ölü akış bölgesinde oluşan zaman ortalamalı akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$, için yalın haldeki silindire göre her Reynolds sayısında daha fazla odak ve döngü noktaları oluşmuştur.
- Yalın haldeki durum için akış arkasında oluşan akış yönüne dik ve akış yönündeki Reynolds gerilmeleri, $\langle v'v'/U^2 \rangle$, $\langle u'u'/U^2 \rangle$ ve TKE gibi tüm değerlerde esnek parçanın eklenmesiyle simetrik yapı bozulmuştur.
- Zaman ortalamalı ikincil girdaplar, $\langle \omega \rangle$ oluşmuştur.
- L/D oranı arttırıldıkça esnek parçanın uzunluğu akışın momentumuna direnç göstererek girdap oluşumunu kısıtlamaktadır.
- Silindirin arka kısmındaki ölü akış bölgesindeki türbülans akış karakteristikleri en kısa esnek ayırıcı parçanın eklenmesiyle bile düşürülmüştür.

- Kontrol elemanının uzunluğunun artması $L/D=2.5$ değerine kadar bir çok akış yapısının maksimum seviyelerinde düşüş sağlamıştır.
- Esnek ayırıcı plaka uzunluğu artırılrsa bile akış karakteristiklerindeki düşüşte fazla bir değişiklik olmadığı saptanmıştır.
- Buna bağlı olarak L/D oranı arttıkça frekansın düştüğü gözlemlenmiştir.
- Reynolds sayısının artmasıyla girdap kopma frekansında düşüş gözlemlenmiştir.
- Kullanılan esnek parça akış kontrolünde (girdap etkisini azaltmada) pasif bir metot olarak tercih edilebilir.

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme tekniğinin sonuçları göstermiştir ki, dairesel silindirin arkasına yerleştirilen esnek ayırıcı plakanın varlığı ölü akış bölgesindeki oluşan girdap kopmalarını bastırmıştır. Sonuç olarak, köprü ayakları, boru hatları ya da diğer denizlerdeki yapıların deformasyonuna sebep olan türbülans şiddeti, Reynolds gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji değerleri esnek ayırıcı plaka sayesinde azaltılmış ve oluşan simetrik girdap yapısı bozulmuştur.

Reynolds sayısı artırılınca bu tip bir esnek ayırıcı plakanın kullanımı girdap kopması ve diğer akış karakteristikleri üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Sonraki çalışmalarda bu kontrol elemanın ısı transferini nasıl iyileştirebileceğinin araştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adrian, R. J., 1991. Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **23**: 261-304.
- Adrian, R. J., Westerweel, J., 2011. *Particle Image Velocimetry*. Cambridge University Press, NewYork, USA.
- Akilli, H., Akar, A. Karakus, C., 2004. Flow characteristics of circular cylinders arranged side-by-side in shallow water. *Flow Meas. Instrum*, **15** (4): 187–197.
- Akilli, H, Sahin, B., Tumen, N. F., 2005. Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate. *Flow Meas. Instrum*, **16**: 211–219.
- Akilli, H., Karakus, C., Akar, A., Sahin, B., Tumen, N. F., 2008. Control of vortex shedding of circular cylinder in shallow water flow using an attached splitter plate. *J. Fluids Eng. Trans ASME*, **130**: 1–11.
- Akilli, H., Rockwell, D., 2002. Vortex formation from a cylinder in shallow water. *Phys. Fluids*, **14**: 2957–2967.
- Anonim, 2014. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV). http://www.bias.com.tr/icerik.php?parent_id=48#PIV. İstanbul.
- Anonim, 2015. PIV Image Evaluation. Lavision Company. http://www.piv.de/piv/measurement_principle/page_1.php. Goettingen, Germany.
- Apelt, C. J., West, G. S., Szewczyk, A. A., 1973. The effects of wake splitter plates on bluff-body flow in the range $10^4 < R < 5 \times 10^4$. *Journal of Fluid Mech*, **61** (1): 187–198.
- Apelt, C. J., West, G. S., Szewczyk, A. A., 1975. The effects of wake splitter plates on bluff-body flow in the range $10^4 < R < 5 \times 10^4$ Part 2. *Journal of Fluid Mech*, **71** (1): 145–160.
- Assi, G. R., Bearman, P. W., Kitney, N., 2009. Low drag solutions for suppressing vortex-induced vibration of circular cylinders. *Journal of Fluids and Structures*, **25** (4): 666–675.
- Bao, Y., Tao, J., 2013. The passive control of wake flow behind a circular cylinder by parallel dual plates. *Journal of Fluids and Structures*, **37**: 201–219.

- Bayraktar, S., Oztekin, A., Yayla, S., Ma, H., 2013. Computational investigation of unsteady flow past a confined cylinder of various cross-sections. ***International Conference on Fluid Mechanics, Heat Transfer and Thermodynamics, (ICFMHTT 2013)***, Istanbul, 20-21, Haziran.
- Bearman, P. W., 1965. Investigation of flow behind a two dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates. ***Journal of Fluid Mech***, **21**: 241–255.
- Bearman, P. W., 1984. Vortex shedding from oscillating bluff bodies. ***Annual Review of Fluid Mechanics***, **16**: 195-222.
- Bearman, P. W., 2009. Understanding and predicting vortex-induced vibrations. ***Journal of Fluid Mechanics***, **634**: 1-4.
- Bearman, P. W., 2011. Circular cylinder wakes and vortex-induced vibrations. ***Journal of Fluids and Structures***, **27**: 648-658.
- Bearman, P.W.i., 1997. Near wake flows. ***Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics***, **69-71**: 125-127.
- Blevins, R. D., 1985. The effect of sound on vortex shedding from cylinders. ***Journal of Fluid Mech***, **161**: 217–237.
- Blevins, R.D., 1990. ***Flow-Induced Vibrations***. Van Nostrand Reinhold, New York. 254.
- Cabana, M., Massoulier, C., 2002. General Purposes Fluid Mechanics Hands-On. <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0203/travaux/optmfn/qpfmho/02-03/grp1/>. Formation d'ingénieurs en, Hydraulique et Mécanique des Fluides, FRANCE. Erişim tarihi: 01.01.2002.
- Canpolat, Ç., Şahin, B., Akıllı, H., Yayla, S., 2010. Sapma açısının delta kanat üzerindeki girdap yapısına etkileri. ***III. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı***. 16-18 Eylül 2010. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Cardell, G.S., 1993. ***Flow past a circular cylinder with a permeable wake splitter plate***. Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, California, USA.
- Chen, D., Jirka, H., 1995. Experimental study of plane turbulent wakes in a shallow water layer. ***Fluid Dyn. Res.***, **16**: 11–41.
- Choi, H., Jean, W.P., Kim, J., 2008. Control of flow over a bluff body. ***Annu. Rev. Fluid Mech.***, **40**: 113–139.
- Cimbala, J. M., Garg, S., 1991. Flow in the wake of a freely rotatable cylinder with splitter plate. ***AIAA J.***, **29**: 1001–1003.

- Cu, C. Y., Chen L. W. and Lu X. Y. (2010). Large-eddy simulation of the compressible flow past a wavy cylinder. *Journal of Fluid Mech*, **665**: 238–273.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., (2012). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, Birinci baskıdan çeviri, Güven Bilimsel, İstanbul, Türkiye. 940.
- Delaunay, Y., Kaiktsis, L., 2001. Control of circular cylinder wakes using base mass transpiration. *Phys. Fluids*, **1**: 3285–3302.
- Feng, L. H., Wang, J. J., 2010. Circular cylinder vortex-synchronization control with a synthetic jet positioned at the rear stagnation point. *J. Fluid Mech*, **662**: 232-259.
- Fouras, A., Soria, J., 1998. Accuracy of out-of-plane vorticity measurements derived from in-plane velocity field data. *Experiments in Fluids*, **25**: 409-430.
- Fu, H., Rockwell, D., 2005. Shallow flow past a cylinder: control of the near wake. *J. Fluid Mech.*, **539**: 1–24.
- Fujisawa, N., 2001. Feedback control of vortex shedding from a circular cylinder by rotational oscillations. *J. Fluid Struct.*, **15**: 23–37.
- Fujisawa, N., Takeda, G., 2003. Flow control around a circular cylinder by internal acoustic excitation. *J. Fluids Struct*, **17**: 903-913.
- Gallanzi, M. F., 1998. High accuracy measurement of unsteady flow using digital particle image velocimetry. *Optic & Laser Tech*, **30** (6-7): 349-359.
- Gerard, J., 1966. The mechanics of the formation region of vortices behind bluff bodies. *Journal of Fluid Mechanics*, **25**, (2): 401-413.
- Gomes, J.P, Munsch, M., Breuer, M., Lienhart, H., 2010. Flow-induced oscillation of a flat plate – a fluid–structure interaction study using experiment and LES. In: Dillmann A, Heller G, Klaas M, Kreplin H, Nitsche W, Schroder W, editors. New results in numerical and experimental fluid mechanics. **VII. Contributions to the 16th STAB/DGLR symposium**, November 3–5, Aachen, Germany. Notes on numerical fluid mechanics and multidisciplinary design, vol. 112. Heidelberg: Springer; p. 347–54.
- Gomes, J.P., Lienhart, H., 2010. Experimental benchmark: self-excited fluid–structure interaction test cases. In: Bungartz H-J, Mehl M, Schäfer M, editors. *Fluid–structure interaction II – modelling, simulation, optimization. Lecture notes in computational science and engineering*, LNCSE, vol. 73. Heidelberg: Springer; p. 383–411.

- Gomes, J.P., Lienhart, H., 2013. Fluid–structure interaction-induced oscillation of flexible structures in laminar and turbulent flows. *Journal Fluid Mech*, **715**: 537–72.
- Gu, F., Wang, J. S., Qiao, X. Q., Huang, Z., 2012. Pressure distribution, fluctuating forces and vortex shedding behavior of a circular cylinder with rotatable splitter plates. *Journal of Fluids and Struct*, **28**: 263–278.
- Hart, D. P., 2006. PIV error correction. *Experiments in Fluids*, **40**: 13-22.
- Hwang, J. Y., Yang, K. S., Sun, S. H., 2003. Reduction of flow-induced forces on circular cylinder using a detached splitter plate. *Physics of Fluids*, **15** (8): 2433–2436.
- Karadeniz, Z. H., Kumlutaş, D., Özer, Ö., 2011. Parçacık görüntülemeli hız ölçüm yöntemi: siplit klima iç ünitesi örneği. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1251-1262.
- Keane, R.D., Adrian, R.J., 1989. Optimization of particle image velocimeters. *Optical methods in Flow and Particle Diagnostics*, **68**: 139-159.
- Kim, S. J., Lee, C. M., 2001. Control of flows around a circular cylinder: suppression of oscillatory lift force. *Fluid Dyn. Res.*, **29**: 47–63.
- Kim, W., Yoo, J. Y., Sung, J., 2006. Dynamics of vortex lock-on in a perturbed cylinder wake. *Phys. Fluids*, **18**: 074103.
- Kucuk, M., Akar, M. A., 2013. Passive control of the flow structure behind the cylinder with perforated cylinder. *Electronic Journal of Machine Technologies*, **10** (1): 35-42.
- Kuhl, J. M., DesJardin, P. E., 2012. Power production locality of bluff body flutter mills using fully coupled 2D direct numerical simulation. *Journal of Fluids and Structures*, **28**: 456–472.
- Kuo, C. H., Chiou, L. C., Chen, C. C., 2007. Wake flow pattern modified by small control cylinders at low Reynolds number. *J Fluid Struct.*, **23**: 938-956.
- Kwon, K., Choi, H., 1996. Control of laminar vortex shedding behind a circular cylinder using splitter plates. *Phys. Fluids*, **8**: 479–486.
- Lecordier, J. C., Hamma, L., Paranthéon, P., 1991. The control vortex shedding behind heated cylinders at low Reynolds numbers. *Exp. in Fluids*, **10**: 224–229.
- Lee, S. J., Lee, J. Y., 2008. PIV measurements of the wake behind a rotationally oscillating circular cylinder. *Journal of Fluids and Struct.*, **24**: 2–17.

- Lee, S. J., Lee, S. I., Park, C. W., 2004. Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod. *Fluid Dynamics Research*, **34**: 233–250.
- Li, Z., Navon, I., Hussaini, M., LeDimet, F., 2003. Optimal control of cylinder wakes via suction and blowing. *Computers&Fluids*, **32**: 149–171.
- Li, F-C., Hishida, K., 2009. Particle image velocimetry techniques and its applications in multiphase systems. *Adv. Chem. Eng*, **37**: 87–147.
- Lin, J. C., Towfighi, J., Rockwell, D., 1995. Instantaneous structure of near-wake of a cylinder: on the effect of Reynolds number. *J. Fluids Struct.*, **9**: 409–418.
- Matsumoto, M., 1999. Vortex shedding of bluff bodies: a review. *Journal of Fluids and Structures*, **3**: 791–811.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., 2009. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, Seventh edition. John Wiley & Sons, USA, 784.
- Naim, A., Greenblatt, D., Seifert, A., Wygnanski, I., 2007. Active control of a circular cylinder flow at transitional Reynolds numbers. *Flow, Turbulence and Combustion*, **78**: 383–407.
- Oruç, V., 2012. Passive control of flow structures around a circular cylinder by using screen. *Journal of Fluids and Structures*, **33**: 229–242.
- Oruc, V., Akilli, H., Sahin, B., 2016. PIV measurements on the passive control of flow past a circular cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **70**: 283–291.
- Ozkan, G. M., Oruc, V., Akilli, H., Sahin, B., 2012. Flow around a cylinder surrounded by a permeable cylinder in shallow water. *Exp Fluids*, **53**: 1751–1763.
- Ozgoren, M., Pinar, E., Sahin, B., Akilli, H., 2011. Comparison of flow structures in the downstream region of a cylinder and sphere. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **32**: 1138–1146.
- Ozono, S., 1999. Flow control of vortex shedding by a short splitter plate asymmetrically arranged downstream of a cylinder. *Phys. Fluids*, **11**: 2928–2934.
- Ozono, S., 2003. Vortex suppression of the cylinder wake by deflectors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **91**: 91–99.
- Patniak, B. S. V., Wei, G.W., 2002. Controlling wake turbulence. *Phys. Rev. Lett.*, **88**: 054502.

- Pinar, E., Ozkan, G. M., Durhasan, T., Aksoy, M. M., Akilli, H., Sahin, B., 2015. Flow structures around perforated cylinders in shallow water. *Journal of Flow Structures*, **55**: 52-63.
- Rajagopalan, S., Antonia, A., 2005. Flow around a circular cylinder-structure of the near wake shear layer. *Exp. Fluids*, **38**: 393–402.
- Rockwell, D., Magness, C., Towfighti, J., Akin, O., Corcoran, T., 1993. High image-density particle image velocimetry using laser scanning techniques. *Experiments in Fluids*, **14**: 181-192.
- Roshko, A., 1954. On the drag and shedding frequency of two dimensional bluff bodies. *NACA Technical Notes*, 3169.
- Roshko, A., 1954a, On the development of turbulent wakes from vortex streets. *report 1191, NACA*.
- Roshko, A., 1954b, On the drag and shedding frequency of two-dimensional bluff bodies. *Technical Note 3169, NACA*.
- Roshko, A., 1955. On the wake and drag of bluff bodies. *Journal of Aeronautical Science*, **22**: 124–132.
- Schafer, F., Breuer, M., Durst, F., 2009. The dynamics of the transitional flow over a backward facing step. *J. Fluid Mech*, **623**: 85-119.
- Sheng, J., Meng, H., Fox, R. O., 2000. A large eddy PIV method for turbulence dissipation rate estimation. *Chem. Eng. Sci.*, **55**: 4423-4434.
- Shukla, S., Govardhan, R.N., Arakeri, J.H., 2009. Flow over a cylinder with hinged-splitter plate. *Journal Fluids and Structures*, **25**: 713-720.
- Shukla, S., Govardhan, R.N., Arakeri, J.H., 2009. Dynamics of a flexible splitter plate in the wake of a circular cylinder. *Journal Fluids and Structures*, **41**: 127-134.
- Sohankar, A., Khodadadi, M., Rangraz, E., 2015. Control of fluid flow and heat transfer around a square cylinder by uniform suction and blowing at low Reynolds numbers. *Computers & Fluids*, **109**: 155–167.
- Sumner, D., Heseltine, J. L., Dansereau, O. J. P., 2004. Wake structure of a finite circular cylinder of small aspect ratio. *Exp. in Fluids*, **37**: 720–730.
- Tabatabaeian, S., Mirzaei, M., Sadighzadeh, A., Damideh, V., Shadaram, A., 2015. Experimental study of the flow field around a circular cylinder using plasma actuators. *J. Applied Fluid Mechanics*, **8** (2): 291-299.

- Teksin, S., Yayla, S., 2014. Comparison of flow structures in the downstream region of a cylinder with flexible strip. *Experimental Fluid Mechanics* 2014, 18-21 November. Český Krumlov, Czech Republic. 617-622.
- Thiria, B., Cadot, O., Beaudoin, J. F., 2009. Passive drag control of a blunt trailing edge cylinder. *Journal of Fluids and Structures*, 25: 766-776.
- Tiwari, S., Chakraborty, D., Biswas, G., Panigrahi, P. K., 2005. Numerical prediction of flow and heat transfer in a channel in the presence of a built-in circular tube with and without an integral wake splitter. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 439–453.
- Unal, F. M., Rockwell, D., 1988a. On vortex formation from a cylinder. Part 1. The initial instability. *Journal of Fluid Mechanics*, 190: 491-512.
- Unal, F. M., Rockwell, D., 1988b. On vortex formation from a cylinder. Part 2. The initial instability. *Journal of Fluid Mechanics*, 190: 513-529.
- Weier, T., Gerbeth, G., Mutschke, G., Platadis, E., Lielausis, O., 1998. Experiments on cylinder wake stabilization in an electrolyte solution by means of electromagnetic forced localized on the cylinder surface. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 16: 84–91.
- Westerweel, J., 1993. *Digital particle image velocimetry. Theory and Application*. Delft University Press.
- Westerweel, J., 1994. Efficiency detection of spurious vectors in particle image velocimetry data. *Experiments in Fluids*, 16, (3-4): 236-247.
- Williamson, C. H. K., Govardhan, R., 2004. Vortex-induced vibrations. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 36: 413-455.
- Williamson, C. H. K., Govardhan, R., 2008. A brief review of recent results in vortex-induced vibrations. *Journal of Wind Engineering Science*, 55: 4423-4434.
- Williamson, C. H. K., 1996. Vortex dynamics in the cylinder wake. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 28: 477–539.
- Wolanski, E., Imberger, I., Heron, M. L., 1984. Island wakes in shallow coastal waters. *J. Geophys. Res.*, 89: 10553–10569.
- Xu, C. Y., Chen, L. W., Lu, X. Y., 2010. Large-eddy simulation of the compressible flow past a wavy cylinder, *J. Fluid Mech.*, 665: 238–273.

- Yayla, S., 2013. Flow characteristic of staggered multiple slotted-tubes in the passage of fin tube heat exchanger. *Strojníški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, **59**, (7-8): 462-472.
- Yayla, S., Teksin, S., 2014. Investigation of effect of boundary layer on flow structure around a cylinder with a strip. *Experimental Fluid Mechanics 2014*, 18-21 November, Český Krumlov, Czech Republic. 738-741.



ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2014 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılından itibaren Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 04/05/2016

Tez Başlığı / Konusu:

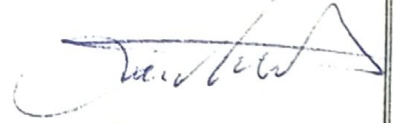
SİLİNDİR ARKASINA EKLENEN ESNEK PARÇANIN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Yukarıda başlığı belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 103 sayfalık kısmına ilişkin, 04/05/2016 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından herhangi bir filtre uygulamadan alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 (beş) tir.

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

04/05/2016



Doç. Dr. Sedat YAYLA
Makine Mühendisliği Bölümü

Adı Soyadı: Süleyman TEKŞİN

Öğrenci No: 139101151

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Y. Lisans ☒

Doktora ☐

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Sedat YAYLA

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Suat GENSOY
Enstitü Müdürü

(Unvan, Ad Soyad, İmza)