

**SİLİNDİR ARKASINDA MEYDANA GELEN
DAİMİ OLMAYAN AKIŞ YAPISININ PASİF
YÖNTEMLE KONTROLÜ**

MEHMET KÜÇÜK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN – 2013**

**SİLİNDİR ARKASINDA MEYDANA GELEN
DAİMİ OLMAYAN AKIŞ YAPISININ PASİF
YÖNTEMLE KONTROLÜ**

MEHMET KÜÇÜK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR**

**MERSİN
HAZİRAN – 2013**

Mehmet KÜÇÜK tarafından Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR danışmanlığında hazırlanan “Silindir Arkasında Meydana Gelen Daimi Olmayan Akış Yapısının Pasif Yöntemle Kontrolü” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Doç. Dr. Ali KESKİN

Doç. Dr. Azize AKÇAYOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR

Yrd. Doç. Dr. Sedat YAYLA



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11.07.2015 tarih ve 2015.13.../386 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

SİLİNDİR ARKASINDA MEYDANA GELEN DAİMİ OLMAYAN AKIŞ YAPISININ PASİF YÖNTEMLE KONTROLÜ

Mehmet KÜÇÜK

ÖZ

Sunulan bu deneysel çalışmanın amacı, silindir arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısının pasif kontrol yöntemiyle kontrol edilmesidir. Deneysel çalışmada kullanılan delikli silindirler $D=100\text{mm}$ çapa sahiptir. Yapılan çalışmada $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ altı farklı geçirgenlik oranlarına sahip silindirler, $D_i/D_d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ yedi farklı çap oranında incelenmiştir. Deneyler boyunca su yüksekliği $h_w=400\text{mm}$ sabit tutulmuştur. Suyun hızı $U=100\text{mm/s}$ ve buna karşılık dış silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_D=10000$ olarak alınmıştır. Yapılan çalışmada silindir arkasında meydana gelen akış yapısı PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak; yüksek geçirgenlik oranında $\beta \geq 0.6$ delikli silindirin kontrol üzerindeki etkinliği azalmaktadır. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı silindir arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısının kontrolünde en etkili geçirgenlik oranı olarak belirlenmiştir. Delikli silindirin, farklı çaplardaki $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90\text{mm}$ silindir arkasında meydana gelen akış yapısında girdap kopmalarını azalttığı gözlenmiştir. Yüksek çap oranlarında $D_i/D_d \geq 0.7$ delikli dış silindir, akış kontrolü üzerindeki etkinliğini kaybetmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pasif Kontrol, PIV, Delikli Silindir, Akış Kontrolü

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR, Mersin Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

CONTROL OF THE UNSTEADY FLOW STRUCTURE OCCURRING BEHIND THE CYLINDER WITH PASSIVE METHOD

Mehmet KÜÇÜK

ABSTRACT

The aim of this present study is to control of the unsteady flow occurring behind the circular cylinder with passive control method. Diameter of perforated outer cylinders used in the experimental study is $D=100\text{mm}$. In this experimental study, six different porosity values $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ and seven different ratio of inner cylinder diameter to outer cylinder diameter $D_i/D_d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ were examined. Depth of the water was kept constant $h_w=400\text{mm}$ throughout the all experiments. Free stream velocity was taken as $U=100\text{mm/s}$ corresponding to Reynolds number of $Re=10000$ based on the outer cylinder diameter. The unsteady flow structure occurring behind the circular cylinder investigated using PIV technique. As a result, for higher porosities $\beta \geq 0.6$ outer cylinder loses its effectiveness on the control. $\beta=0.5$ value of porosity, unsteady vortices formed in the near wake region of the inner cylinder are controlled for the most effective case. It has been observed that the perforated outer cylinder change the flow structure and decrease vortex shedding of the inner cylinder having $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90\text{mm}$ seven different diameter. For higher diameter ratio $D_i/D_d \geq 0.7$, perforated outer cylinder loses its effectiveness on the flow control.

Key Words: Passive control, PIV, Perforated Cylinder, Flow Control

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa Atakan AKAR, Department of Mechanical Education, University of Mersin.

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesiyle bana rehberlik eden yüksek lisans tez danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı olanaklarından yararlanmamı sağlayan Prof. Dr. Hüseyin AKILLI'ya ve Prof. Dr. Beşir ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenimim sürecinde derslerinden aldığım bilgilerden ve desteğinden dolayı hocam Doç. Dr. Ali KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmayı destekleyen Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi [**BAP-FBE MEEE (MK) 2012-3 YL**]’ne teşekkür ederim.

Çalışma süresince manevi desteklerini esirgemeyen ve sabır gösteren değerli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. AKIŞ KONTROLÜ ve AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ.....	3
2.1.1. Silindir Etrafındaki Akış Yapısı	3
2.1.2. Akış Kontrol Yöntemleri	5
2.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
2.2.1. Akış Yapısının Aktif Kontrolü	8
2.2.2. Akış Yapısının Pasif Kontrolü.....	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇME (PIV) TEKNİĞİ.....	20
3.1.1. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğinin Bileşenleri	21
3.1.1.1. Lazer	21
3.1.1.2. Kamera	22
3.1.1.3. Eş zamanlayıcı	23
3.1.1.4. Bilgisayar	23
3.1.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğinin Kabiliyetleri	24
3.1.3. PIV Çalışma Prensipleri.....	25
3.2. DENEY DÜZENİ.....	27
3.2.1. Su Kanalı	27
3.3. DENEY SETİNİN HAZIRLANMASI.....	29
3.3.1. Geçirgenlik Oranının Hesaplanması.....	32
3.3.2. Su Kanalı ve Deney Setinin Hazırlanması.....	33
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. PIV DENEYLERİNİN SONUÇLARI	36

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Silindir arkasında meydana gelen akış yapısı	4
Şekil 2.2. Silindir etrafında oluşan akış yapısının şematik gösterimi	4
Şekil 2.3. Akış kontrol yöntemlerinin grup olarak gösterimi.....	5
Şekil 2.4. Pasif kontrol yöntemlerinde yüzeyde yapılan geometrik değişiklik örnekleri [Kumar vd., 2008].....	6
Şekil 2.5. Pasif kontrol yöntemlerinde silindir arkasında geometrik değişiklik yapma [Kunze ve Brücker, 2012].....	6
Şekil 2.6. Pasif kontrol yöntemlerinde silindir arkasına ayırıcı plaka yerleştirme	6
Şekil 2.7. (a) Pasif kontrol yöntemlerinde silindir etrafına delikli silindir yerleştirme [Pinar vd., 2011], (b) Pasif kontrol yöntemlerinde silindir etrafına ağ yapılı silindir yerleştirme [Özkan vd., 2011].....	7
Şekil 3.1. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin bileşenlerinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.2. Lazer	22
Şekil 3.3. CCD kamera.....	23
Şekil 3.4. Eş zamanlayıcı (Senkronizer)	23
Şekil 3.5. Bilgisayar	24
Şekil 3.6. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği temel analiz işlemleri	25
Şekil 3.7. PIV partiküllerin korelasyonu ve pik inceleme işlemi.....	26
Şekil 3.8. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin çalışma prensibi	26
Şekil 3.9. Deney kanalının genel görünümü	27
Şekil 3.10. Su kanalının şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.11. Su kanalı ve PIV sisteminin birlikte şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.12. Üzerine delik açılmamış iç silindirlerin ve dış silindirle aynı çaptaki (D=100mm) delik açılmamış silindirinin şematik gösterimi	29
Şekil 3.13. Yüzeyine delik açılmış $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ farklı geçirgenlik oranına sahip silindirlerin şematik gösterimi	30
Şekil 3.14. Yüzeyine delik açılmış $\beta=0.5$ geçirgenlik oranına sahip dış silindir ile $D_i=30\text{mm}, 40\text{mm}, 50\text{mm}, 60\text{mm}, 70\text{mm}, 80\text{mm}, 90\text{mm}$ olan delik açılmamış iç silindirlerin birlikte şematik gösterimi	31
Şekil 3.15. Farklı geçirgenlik oranına sahip delikli dış silindirlerin ölçüleri.....	32
Şekil 3.16. Geçirgenlik oranının (β) hesaplanması	32
Şekil 3.17. Deney düzeneğinin yan görünüşünün gösterimi.....	33
Şekil 3.18. Deney düzeneğinin üst görünüşünün gösterimi.....	34

Şekil 4.1. $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm çaplardaki iç silindirler için Reynolds gerilmeleri	37
Şekil 4.2. Delikli silindirin bulunmadığı durum için farklı çaplardaki iç silindirlerin ortalama girdap konturları.....	38
Şekil 4.3. Kontrolün olmadığı durum için farklı çaplardaki iç silindirlerin zaman ortalama hız alanları	39
Şekil 4.4. Delikli dış silindirlerin tek olduğu durum için Reynolds gerilmeleri	40
Şekil 4.5. İç silindirin bulunmadığı delikli dış silindirlerin tek bulunduğu durum için ortalama girdap konturları.....	41
Şekil 4.6. İç silindirin bulunmadığı durumda $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ geçirgenlik oranına sahip delikli dış silindirler için zaman ortalama hız alanları.....	42
Şekil 4.7. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	43
Şekil 4.8. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları.....	44
Şekil 4.9. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	45
Şekil 4.10. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	46
Şekil 4.11. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	47
Şekil 4.12. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	48
Şekil 4.13. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	49
Şekil 4.14. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	50
Şekil 4.15. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	51
Şekil 4.16. Çap oranı $D_i/D_d=0.6$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	52
Şekil 4.17. Çap oranı $D_i/D_d=0.6$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	53
Şekil 4.18. Çap oranı $D_i/D_d=0.6$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	54
Şekil 4.19. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	55
Şekil 4.20. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	56

Şekil 4.21. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	57
Şekil 4.22. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	58
Şekil 4.23. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	59
Şekil 4.24. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	60
Şekil 4.25. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri	61
Şekil 4.26. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları	62
Şekil 4.27. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları	63

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

β	: Geçirgenlik oranı
Δt	: Zaman
d	: Delik çapı
D_d	: Dış silindir çapı
D_i	: İç silindir çapı
D_i/D_d	: İç çap dış çap oranı
H	: Silindir yüksekliği
h_L	: Lazer yüksekliği
h_w	: Su yüksekliği
PIV	: Parçacık görüntülemeli hız ölçme
Re_D	: Dış çapına bağlı Reynolds Sayısı
U	: Suyun hızı
$\langle uv \rangle$: Reynolds gerilmeleri
$\langle w \rangle$: Ortalama girdap konturları
$\langle v \rangle$: Zaman ortalama hız alanları

1. GİRİŞ

Çevremizde görebileceğimiz cisimler ve çok sayıdaki mühendislik uygulamaları bir akış ortamı içerisinde bulunmaktadır ve bu ortam ile sürekli olarak etkileşim halindedir. Bu etkileşim nedeniyle cisimler etrafında meydana gelen akışın kontrolü günümüzün başlıca mühendislik uygulamalarından birisidir. Cisimlere etkiyen dış akış, cisimlerin etrafında karmaşık ve zamana göre değişen bir davranış gösterir. Akışkan, temas ettiği cismin üzerinde cismin şekline ve akışın özelliklere göre basınç farklılıkları oluşturur. Bu durum cisimler üzerinde titreşimler, sürüklenme, kaldırma gibi etkilerle ortaya çıkan çeşitli problemlere neden olur. Zamanla uygulamalarda yorulma ve kullanım ömürlerinde azalma meydana gelir.

Cisimler etrafında meydana gelen akışın şekli ve zamana göre değişen düzensiz yapısı birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve hem sayısal hem de deneysel çok sayıda çalışma ortaya konmuştur.

Akışın cismin üzerinde ve etrafında meydana getirdiği etkilerin ve düzensizliklerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Cisimlerin etrafında meydana gelen girdapların kontrol edilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler; aktif yöntemler ve pasif yöntemler olmak üzere iki grup halinde sınıflandırılabilir. Aktif kontrol yöntemlerinde, cisimlerin etrafında meydana gelen girdapların giderilmesi için akışa dışarıdan enerji vererek kontrol edilmesi amaçlanır. Pasif kontrol yöntemlerinde, girdapların cisim yüzeyinde/üzerinde ya da akış alanı içerisinde değişiklikler yaparak kontrol edilmesi amaçlanır.

Akış içerisine yerleştirilen cisimler farklı geometrilere sahiptir. Dairesel silindir, basit geometrisi ve üzerinde oluşan akış yapısının periyodik girdap oluşturmasından dolayı en çok tercih edilen geometrilerden biridir.

Günümüzde silindir benzeri cisimler etrafındaki akış, makine, uzay-havacılık, inşaat gibi birçok mühendislik dalında karşımıza çıkmaktadır. Bu yapılarla örnek olarak; yüksek binalar ve bacalar, köprülerin taşıyıcı bağlantıları, açık

denizlerdeki petrol-doğal gaz arama platformlarının ayakları, boru hatları gibi çok sayıda uygulama sıralanabilir.

Akışı anlayabilmek, çözümleyebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Akışkanın üzerine etkiyen kuvvetlerin genel bir analitik çözümünün bulunmamasından dolayı sayısal çözümler veya akışı görüntülemek gibi alternatif yollar özellikle son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Bilgisayar ve elektronik alanında gelişmeler yanında akış ölçüm tekniklerindeki gelişmeler ile yeni teknikler kullanılarak akış alanının tamamında ölçümler yapılabilmektedir.

Bu tekniklerden biri olan parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile karmaşık geometriye sahip akışlar için aynı anda bir düzlemsel bölgede ölçümler yapılarak akış hakkında ayrıntılı bilgilerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğinin en önemli avantajlarından biri akış alanına girilmeden ölçüm yapılabilmesidir.

Yapılan bu çalışmada; silindir arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısının pasif kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, dairesel silindir yüzeyine altıgen delikler açılarak farklı geçirgenlik oranlarına sahip delikli silindirler imal edilmiş ve farklı çaplarda iç silindir etrafına eş merkezli olarak yerleştirilerek silindir arkasında meydana gelen akış yapısı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Delikli dış silindir $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ olmak üzere altı farklı geçirgenlik oranına sahiptir. Geçirgenlik oranı; silindirin yüzeyinde açılan deliklerin alanının silindir yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. İç silindir çapının dış silindir çapına oranı $D_i/D_d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ olmak üzere yedi farklı oranda PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

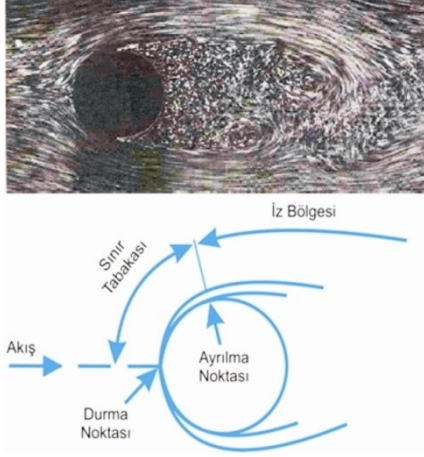
2.1. AKIŞ KONTROLÜ ve AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ

2.1.1. Silindir Etrafındaki Akış Yapısı

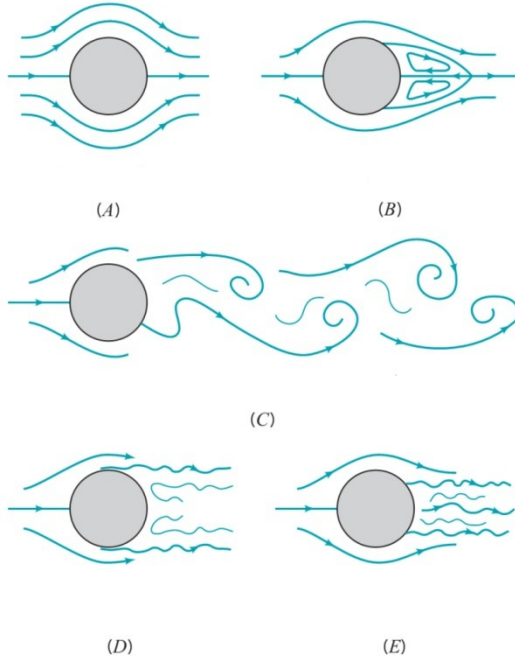
Silindir üzerindeki akış ile ilgili uygulamalara sıklıkla rastlanmaktadır. Dairesel silindirin dış çapı D_d ve çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D=(UD_d)/\nu$ olarak tanımlanabilir. Dairesel silindir veya küre karşısındaki akışın kritik Reynolds sayısı yaklaşık olarak $Re_{kr}=2 \times 10^5$ civarındadır. Yani, $Re \leq 2 \times 10^5$ civarında sınır tabaka laminer, $Re \geq 2 \times 10^5$ için ise türbülanslı olmaktadır [Çengel, 2006].

Silindir üzerindeki akış, (Şekil 2.1.) karmaşık akış desenleri meydana getirmektedir. Silindire yaklaşan akışkan, dallara ayrılır ve silindiri çevreleyerek silindir etrafını saran bir sınır tabakası oluşturur. Orta düzlemdeki akışkan parçacıkları durma noktasında silindire çarpar ve akışkanı tam durma haline getirerek bu noktada basıncı artırır. Akışkan hızı akış yönünde artarken basıncı azalır [Çengel, 2006].

Yukarı akım hızları çok düşük olduğu ($Re \leq 1$) akışkan silindir etrafına tamamen sarılır ve akışkanın iki kolu silindir arka tarafında muntazam bir şekilde birleşir. Böylece akışkan silindirin eğriliğini takip eder. Daha yüksek hızlarda ise, akışkan silindiri ön tarafta yine sarar ancak silindirin yukarısına (veya aşağısına) yaklaşırken yüzeye tutulu kalamayacak kadar yüksek hızlıdır. Bunun sonucunda sınır tabaka yüzeyden kopar ve silindirin arkasında bir ayrılma bölgesi oluşturur. Art iz bölgesinde akış, periyodik çevri oluşumu ve durma noktası basıncından daha düşük basınçlar ile karakterize edilir [Çengel, 2006].



Şekil 2.1. Silindir arkasında meydana gelen akış yapısı



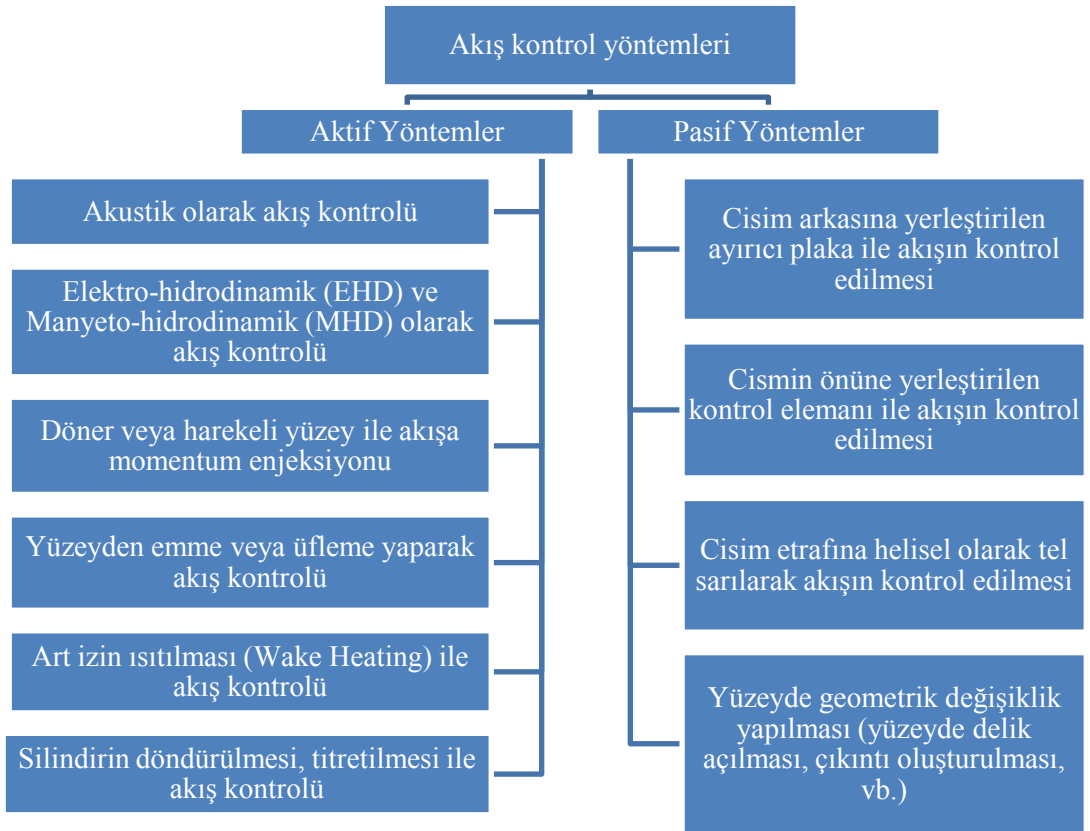
Şekil 2.2. Silindir etrafında oluşan akış yapısının şematik gösterimi

Şekil 2.2.'de (A) $Re < 1$ kopmaların olmadığı akış; (B) vorteks çiftinin oluşması ($Re \approx 10$); (C) Karman girdaplarının salınımı $Re \approx 100$, vorteks kopmalarının başlaması ($Re \approx 47$); (D) laminer sınır tabakası geniş art iz $Re \approx 5 \times 10^4$, (E) türbülanslı sınır tabakası, dar art iz $Re \approx 4 \times 10^5$ farklı Reynolds sayılarında silindir etrafındaki akış gösterilmiştir [Munson, 2009].

2.1.2. Akış Kontrol Yöntemleri

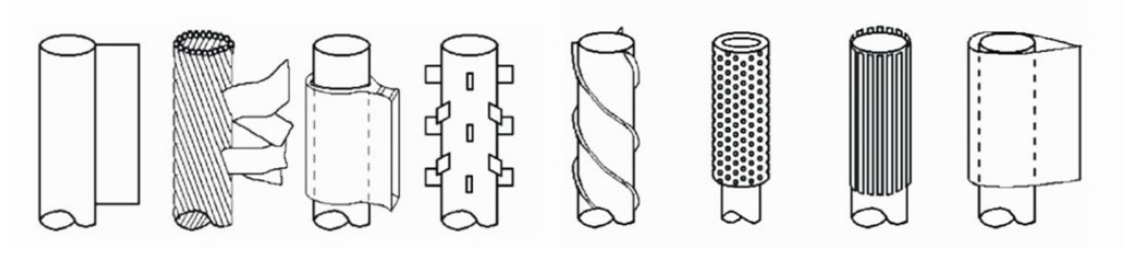
Katı cisimler etrafındaki akış yapısının kontrolü günümüzün başlıca mühendislik uygulamalarından biridir. Katı cisim etrafındaki daimi bir akış cismin şekline bağlı olarak girdap meydana getirmektedir. Bu girdabın katı cisim etrafında periyodik kuvvetlere neden olmadan giderilebilmesi için çeşitli yöntemler ortaya konmuştur. Kullanılan kontrol yöntemleri aktif ve pasif kontrol yöntemleri olmak üzere iki ana başlıkta toplanmaktadır.

Aktif kontrol yöntemlerinde; cisim etrafında oluşan girdaplar akışa dışarıdan enerji vererek kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Pasif kontrol yöntemlerinde ise girdaplar cisim üzerinde ya da akış alanı içerisinde yapısal değişikliklerle kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemler Şekil 2.3.'de özetlenmiştir.

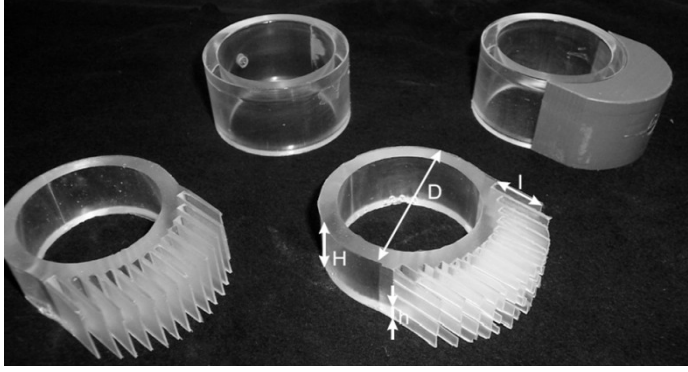


Şekil 2.3. Akış kontrol yöntemlerinin grup olarak gösterimi

Pasif kontrol yöntemlerinden biri silindir yüzeyinde ya da silindir arkasında geometrik değişiklikler yapılarak akış yapısının kontrol edilmesidir. Kumar vd., [2008] ve Kunze ve Brücker, [2012] yaptıkları çalışmada silindirlerin yüzeyinde yaptıkları geometrik değişiklikler Şekil 2.4.'de ve Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.

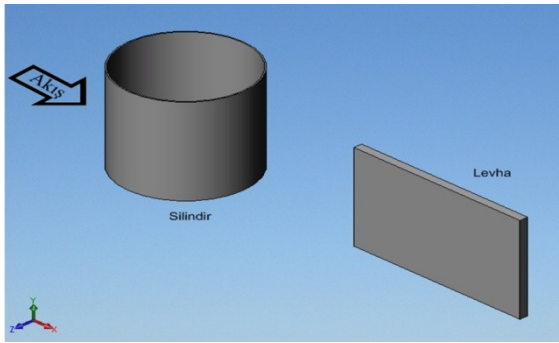


Şekil 2.4. Pasif kontrol yöntemlerinde yüzeyde yapılan geometrik değişiklik örnekleri [Kumar vd., 2008]



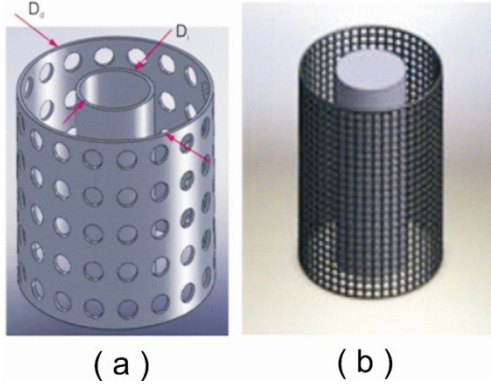
Şekil 2.5. Pasif kontrol yöntemlerinde silindir arkasında geometrik değişiklik yapma [Kunze ve Brücker, 2012]

En çok bilinen diğer pasif kontrol yöntemi Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi silindir arkasına farklı boyutlarda ya da yükseklikte plakalar yerleştirilerek oluşan akış yapısının kontrol edilmesidir.



Şekil 2.6. Pasif kontrol yöntemlerinde silindir arkasına ayırıcı plaka yerleştirme

Silindir arkasında meydana gelen akış yapısının kontrol edilmesinde kullanılan pasif yöntemlerden bir diğeri ise silindir etrafına kontrol elemanı olarak yüzey geometrisinde değişiklik yapılmış bir silindirin eş merkezli olarak yerleştirilmesidir. Şekil 2.7.'de Pınar vd., [2011] silindir etrafına delikli silindir yerleştirerek, Özkan vd., [2011] silindir etrafına ağ yapılı silindir yerleştirerek akış yapısını kontrol etmeye çalışmışlardır.



Şekil 2.7. (a) Pasif kontrol yöntemlerinde silindir etrafına delikli silindir yerleştirme [Pınar vd., 2011], (b) Pasif kontrol yöntemlerinde silindir etrafına ağ yapılı silindir yerleştirme [Özkan vd., 2011]

2.2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.2.1. Akış Yapısının Aktif Kontrolü

Dütsch vd., [1998], yaptıkları çalışmada, dairesel silindirin harmonik doğrusal salınımı tarafından oluşturulan laminer akışı sayısal olarak incelemiştir.

Weier vd., [1998], yaptıkları çalışmada, aktif kontrol yöntemi olarak elektromanyetik düzenek ile silindir üzerinde Lorentz kuvveti oluşturmuşlar ve silindir arkasında oluşan girdap yapısının kontrol edilmesi üzerinde çalışmışlardır.

Delaunay ve Kaiktsis, [1999], yaptıkları çalışmada, silindir içinden emme ve üfleme uygulayarak akış alanında girdapların kontrolü üzerine çalışmışlar ve üfleminin daha etkili bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Kim ve Lee, [2001], yaptıkları çalışmada, $Re=5 \times 10^3$ ve $Re=10^4$ de Lorentz kuvveti altında sürüklenme kuvvetini ölçmüşler. Çalışmada $d=50\text{mm}$ çapa sahip dairesel silindir kullanmışlar. Lorentz kuvvetinin sürüklenme kuvvetinin azalmasında etkili olduğunu ve $Re=10^3$ ve $Re=5 \times 10^3$ de akış ayrılmasının bastırıldığını gözlemlemişler. Lorentz kuvvetini, akış ayrılmasının daha çok olduğu 70° ile 130° arasındaki kısımda uygulamışlar.

Fransson vd., [2004], yaptıkları çalışmada, dış yüzeyi tamamen gözenekli malzemeden yapılmış dairesel silindir etrafındaki akışta sürekli emme ve sürekli üfleminin etkilerini, $Re=10000$ 'de araştırmışlar. Özellikle emme durumunda akışın yüzeyden ayrılma konumunun silindirin arka tarafına kaydığını ve sürüklenme kuvvetinde %70 oranında iyileşme elde etmişler. Üfleme durumunda ise yüzeyden ayrılma daha küçük açılarda gerçekleştiğini ve iz bölgesi genişliğinin büyümesinin sonucu olarak sürüklenme kuvvetinin arttığını belirtmişler. Üfleme ve emmeye bağlı olarak girdap oluşum uzunluklarının değiştiğini, emme durumunda girdap oluşum uzunluğunun %75 azaldığını ve üfleme durumunda %150 arttığını ifade etmişler.

Yuan ve Cheng, [2007], yaptıkları çalışmada, akıştan kaynaklanan titreşimlerin (FIV) bastırılması performansı üzerinde düzensiz yüksek frekans etkilerini deneysel olarak araştırmışlar. Hem yapısal titreşimlerin hem de girdapların bastırılabilirliğini ifade etmişler. FIV için geleneksel kontrol yöntemleri ile çoklu yüksek frekans kontrol edici arasında performansı karşılaştırmışlar.

2.2.2. Akış Yapısının Pasif Kontrolü

Koike vd., [2004], yapılan çalışmada girdap oluşturucuları kullanılarak sedan araçlara etkiyen sürüklenme kuvvetinin azaltılmasına çalışmışlar. Sedan araçlarda aerodinamik sürüklemenin ana sebeplerinden biri, aracın arka ucundaki akış ayrılmasıdır. Bu akış ayrılmasını geciktirmek için aracın tavanının arka tarafına girdap oluşturucuları ekleyerek test etmişlerdir. Girdap oluşturucularının akış ayrılmasını önleyerek sürüklemeyi azalttığı görülmüştür.

Lim ve Lee, [2004], yaptıkları çalışmada silindir üzerine o-ringler monte etmişler, sürüklenmenin ve girdap frekansının azaldığını gözlemlemişler. Çalışmalarında iz bölgesi kontrolünde etkili olduğunu ortaya koymuşlar.

Akar vd., [2006], yaptıkları çalışmada sıg suda yan yana sıralı iki silindir arkasına yerleştirdikleri plakalar ile silindirler etrafında oluşan girdap yapısını kontrol etmeye çalışmışlar. Yaptıkları deneylerde $D=40\text{mm}$ çaplı akrilik malzemedan imal edilmiş silindirler ve yine akrilik malzemedan 1mm kalınlıkta, 40mm uzunlukta plakalar kullanmışlar. Yan yana dizili silindirler arası boşluk $G=10\text{mm} - 40\text{mm}$ aralığında 10mm artımlarla belirlemişler, silindirler ile plakalar arası mesafe olan $X=0 - 80\text{mm}$ aralığında 8mm artımlarla seçmişler. Deneylerde silindir merkezleri arası boşluk oranı $G/D=1.25 - 2$ aralığında ve silindirler ile plakalar arasındaki boşluk $X/D=0 - 2$ aralığında incelemişler. Sonuçta; $G/D=1.25$ için, yerleştirdikleri plakaların akış kontrolünde etkisinin az olduğunu gözlemlemişler, $G/D=1.5$ için plakanın bulunmadığı duruma göre akışın simetrik hale geldiğini gözlemlemişler. Ancak $1 \leq X/D \leq 2$ aralığında silindirler arkasındaki akışın simetri durumunun kaybolmaya başladığını $X/D \geq 2$ de ise simetrik olmayan yapının tekrar oluştuğunu

gözlemlemişler. $G/D=2$ de ise oluşan akışın silindirler arası mesafenin etkili olmadığını ifade etmişler.

Kuo vd., [2007], yaptıkları çalışmada, dairesel silindir arkasındaki akışın kontrolünü iz bölgesine simetrik olarak yerleştirdikleri iki adet dairesel kontrol çubuğu kullanarak incelemişler. $Re=80-300$ aralığında, kaldırma ve sürüklenme kuvvetinin değerleri artan Re sayısı ile azaldığını ve akış kontrol elemanı arasından geçerek simetrik yapı oluşturduğunu ifade etmişler. Oluşan akış silindir yüzeyinde ayrılmayı önleyerek, iz eksen çizgisi üzerinde birleşen, gelişen bir momentum oluşturmaktadır. İz bölgesinin genişliğinin ve sürüklenme kuvvetinin azaldığını ifade etmişler.

Paydaş vd., [2007a], yaptıkları çalışmada sığ suda üzerine delik açılmış silindir arkasında oluşan akış yapısını boya ile akış görselleştirme tekniğini kullanarak deneysel olarak incelemişler. Yaptıkları deneylerde $D=90\text{mm}$ çaplı silindir üzerine $d=2.5 - 5 - 10\text{mm}$ olarak üç farklı delik çapında $\beta=0.14 - 0.61$ aralığında yedi farklı geçirgenlik oranı belirleyerek delikler açmışlar ve bu yolla silindir arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısını kontrol etmeye çalışmışlar. Sonuçta; her üç delik çapında ($d=2.5 - 5 - 10\text{mm}$) geçirgenlik oranına bağlı olarak silindir arkasında benzer akış yapıları gözlemlemişler. Geçirgenlik oranı $\beta=0.14$ ve 0.2 durumunda silindir arkasındaki akış yapısı, üzerine delik açılmamış silindir arkasında oluşan akış yapısına benzer özellikler gösterdiğini belirlemişler. Geçirgenlik oranı $\beta=0.23$ ve daha büyük olması durumunda akış yapısının kontrol altına alındığını belirlemişler, bu durum için $D=90\text{mm}$ çaplı silindir arkasında oluşan akış yapısının kontrolünde $\beta=0.23$ değerini kritik geçirgenlik oranı olarak ifade etmişler.

Akıllı vd., [2007], yaptıkları çalışmada sığ suda silindir arkasına farklı uzunluk, yükseklik ve uzaklıklarda yerleştirdikleri plakalar ile silindir arkasında oluşan akış yapısını kontrol etmeye çalışmışlar. Yaptıkları deneylerde $D=50\text{mm}$ çaplı pleksiglas malzemedan yapılmış silindir ve yine aynı malzemedan yapılmış 4mm kalınlıkta boyu ise $L=25 - 100\text{mm}$ aralığında 25mm artımlarla değişen, yüksekliği

ise $h=6.25 - 12.5 - 18.75$ mm olan plakaları silindirden $G=0 - 100$ mm aralığında 12.5 mm artımlarla değişen mesafelere yerleştirmişler. Deneylede parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğini kullanmışlar. Sonuçta; plakaların yüksekliğinin artması ile daha iyi kontrol sağlandığını gözlemlemişler. Plaka ile silindir arasındaki mesafe $1.75D$ ($G=87.5$ mm) plakanın akış yapısına etkisinin olmadığını ve plaka bulunmayan duruma benzer akış gözlemlendiğini ifade etmişler. Plakaların $1.5D$ ($G=75$ mm) uzaklıkta olması halinde ise optimum kontrol sağlandığını belirlemişler. $1D$ ($G=50$ mm) uzaklıkta ise plaka uzunluğunun artması ile akış yapısının kontrolünün daha iyi olabileceğini belirtmişler.

Yücel vd., [2007], yaptıkları çalışmada, üzerinde o-ringler bulunan dairesel silindir etrafındaki zamana bağlı hız alanlarının DPIV ile su kanalında $Re=1000 - 3000$ aralığında deneysel olarak incelemişler. Hız vektörlerinin ve girdapların o-ringler arasında farklı mesafelerde o-ring bulunmayan duruma kıyasla azaldığını ifade etmişler. O-ringlerin akış yapısının ve aynı zamanda girdap frekansı ve uzunluğunu etkili bir şekilde değiştirdiğini ifade etmişler.

Paydaş vd., [2007b], yaptıkları çalışmada sığ suda delikli dairesel silindir arkasındaki girdap kopma davranışını deneysel olarak incelemişler. Silindir çapı $D=90$ mm ve su yüksekliği $h_w=45$ mm ve silindir üzerindeki deliklerin çapı 10 mm olarak belirlemişler. Geçirgenlik oranı $\beta=0.14 - 0.61$ aralığında seçmişler. Deneylede hız $U=128$ mm/s ve çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D=11500$ olarak parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile incelenmişler. Sonuç olarak; iz bölgesinin, geçirgenlik oranı artması ile önemli ölçüde akış doğrultusunda uzadığını, bu uzamanın büyük ölçekli girdapların oluşumunun zayıflamasının önemli bir göstergesi olduğunu belirtmişler, geçirgenlik oranının artmasıyla hem Reynolds gerilmelerinin hem de normal gerilmelerin yoğunluğunun azaldığını gözlemlemişler. İz bölgesinin karakteristiğinin $\beta=0.23$ geçirgenlik oranından sonra değiştiğini, $\beta=0.61$ en yüksek geçirgenlik oranında silindir arkasındaki iz bölgesinin momentum transferinden dolayı tamamen kaybolduğunu belirtmişler.

Akar vd., [2007], yaptıkları çalışmada, yan yana sıralı iki silindir arkasında meydana gelen akış yapısını iki farklı pasif kontrol yöntemi ile kontrol etmeye çalışmışlar. Yaptıkları deneylerde $D=40\text{mm}$ çaplı pleksiglas malzemeden imal edilmiş silindirler arası mesafe (G) – çap (D) oranı $G/D=1.25 - 1.5 - 1.75$ olarak belirlemişler. İlk yöntemde 40mm çaplı silindirler arasına 3mm kalınlığa sahip $1 - 10\text{mm}$ aralığında yüksekliğe sahip plakalar kullanmışlar. İkinci yöntemde ise yine 40mm çaplı silindirlerin yüzeyine su yüksekliğine kadar olan kısma $d=4\text{mm}$ çaplı delikler açmak suretiyle 0.23 geçirgenlik oranı kullanmışlar. Deneylerde boya ile akış görselleştirme tekniğini kullanmışlar. Sonuçta silindirler arkasında oluşan akış yapısının kontrolünde hem silindirler arası mesafenin hem de kullanılan plakaların yüksekliğinin etkili olduğunu ifade etmişler. Silindirler arası açıklığın artmasıyla akış kontrolünün sağlandığı plaka yüksekliğinin azaldığını belirlemişler. $G/D=1.25$ için plaka yüksekliğinin 4mm ve $G/D=1.5$ için plaka yüksekliğinin 2mm de kontrol sağlandığını $G/D=1.75$ durumunda ise tüm plaka yüksekliklerinde kontrol sağlandığını ifade etmişler. Diğer yöntemde ise üzerine delik açılarak 0.23 geçirgenlik oranı elde edilen silindirlerinin kullanıldığını ve iz bölgesinde meydana gelen akışın birinin diğerine baskın olma durumunun tüm açıklık oranları $G/D=1.25 - 1.5 - 1.75$ için oluşmadığını gözlemlemişler.

Kumar vd., [2008], yaptıkları çalışmada, ısı değiştiriciler, deniz yapıları, köprüler, enerji nakil hatları vb. birçok alanda karşılaşılan girdaplardan kaynaklanan titreşimlerin pasif yöntemlerle giderilmesiyle ilgili yapılan çalışmaların bir derlemesini sunmuşlar.

Galvao vd., [2008], yaptıkları çalışmada, akış yapısını kontrol etmek, girdaplardan kaynaklanan titreşimleri azaltmak ve sürüklenme katsayısını düşürmek için dairesel silindir etrafına iki boyutlu kanatçık yerleştirilmişler. PIV tekniği ile deneysel olarak incelemişler. Silindir etrafına yerleştirilen kanatçıklar yardımıyla silindir üzerinde oluşan titreşimlerin tamamen etkisizleştirildiğini ve alt kritik Reynolds sayısı için sürüklenme katsayısının $C_D=0.5$ 'e kadar düşürülebileceği ifade etmişler.

Akıllı vd., [2008], yaptıkları çalışmada, sığ suda yan yana sıralı üç silindir, iki silindir ve tek silindir arkasında oluşan daimi olmayan akış yapısını aktif ve pasif kontrol yöntemleri kullanarak parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile deneysel olarak incelemişler. Yaptıkları çalışmada su hızı ve derinliğinin silindirler arkasında meydana gelen girdaplara etkisini boya deneyleri ile araştırmışlar, daha sonra farklı kontrol yöntemleri uygulayarak meydana gelen akış yapısını incelemişler. Yaptıkları bu çalışmada, silindirler arkasına plaka yerleştirme, silindirler üzerinde değişik çaplarda delikler açma, silindir içine akış yönünde silindir boyunca oyuk açma, silindir arka geometrisinde değişiklik yapma yöntemlerini kullanarak silindir arkasında meydana gelen akış yapısının ayrıntılı deneysel incelemelerini gerçekleştirmişlerdir.

Kuo ve Chen, [2009], yaptıkları çalışmada, iki küçük kontrol silindiri ile kontrol edilen bir dairesel silindir arkasındaki akış yapısını incelemişler. Büyük silindir üzerindeki kaldırma ve sürüklenmenin azalmasını sağlayan mekanizmayı ortaya koymuşlar. Kontrol silindirlerinin $0.8 \leq X_c/D \leq 3.0$ aralığında, girdap caddesini tamamen baskılamadan büyük silindir üzerindeki karasızlığın %70-80 oranında azaldığını ifade etmişler.

Akar vd., [2009], yaptıkları çalışmada pleksişglas malzemeden imal edilmiş $D=40\text{mm}$ çaplı, $G/D=1.25$ olan (G:Silindirler arasındaki boşluk, D:Silindirlerin Çapı) yan yana sıralı iki silindir arkasında oluşan akış yapısını sığ suda deneysel olarak incelemişler. Deneylerin ilk kısmında yan yana sıralı silindirlerin arkasındaki akış yapısını lazer ışıkta parlayan florasan boya kullanarak görselleştirmişler. İkinci kısımda ise parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğini kullanarak incelemişler. Yapılan deneylerde silindirlerin birinin arkasında daha büyük iz bölgesi oluştuğunu ve bu geniş iz bölgesinin zamanla bir silindirden diğerine değiştiğini, bu durumun Karman girdaplarının aniden oluşması ve serbest akış bölgesinden silindir arkasındaki iz bölgesine doğru momentum transferi ile gerçekleştiğini ifade etmişler.

Al Refaie, [2009], yaptığı tez çalışmasında, farklı delik şekillerinde ve deliklerin düzenlemeleriyle dairesel silindir etrafındaki akışı deneysel ve sayısal

olarak incelemiştir. On farklı delik konfigürasyonunu, $Re_D=55000$ değerinde $0^\circ-180^\circ$ akış açısı aralığında 2.5° artımla test etmiş. Delik düzenlemesiyle ortalama sürüklenme katsayısının deliksiz duruma kıyasla %33.5 azaldığını ifade etmiştir.

Öner vd., [2010], yaptıkları çalışmada tabana yakın dairesel silindir etrafında hızları üç farklı Reynolds sayısında $Re=840, 4150, 9500$ ve beş farklı boşlukta $G/D=0.2, 0.3, 0.6, 1.0, 2.0$ oranında PIV tekniğinin kullanarak incelemişler. Deneysel sonuçlarını sayısal sonuçlarla kıyaslamışlar.

Zhao vd., [2010], dairesel silindir etrafına gözenekli yapı yerleştirerek akış yapısının kontrolünü sağlamaya çalışmışlar. Gözenekli yapı için öncelikle sayısal sonuçlardan yararlanarak sonlu eleman modeli oluşturmuşlar, sonra oluşturulan modeli kullanarak gözenekli tabakanın kaldırma kuvvetinin azaltılması üzerine etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Kaldırma katsayısındaki azalmanın, uygun bir şekilde seçilen gözenekli malzemeyle sağlanabileceğini ifade etmişler. Ayrıca, kaldırma katsayısındaki azalmanın Reynolds sayısına, geçirgenlik oranına bağlı olduğunu belirlemişler.

Gözmen vd., [2011a], yaptıkları çalışmada, sıg suda pleksiglas malzemedan imal edilmiş $D=50\text{mm}$ çaplı silindir ve 4mm kalınlıkta, 50mm boya sahip pleksiglas plakaları kullanmışlar. Plaka yüksekliğinin etkisini gözlemlemek için $6.25 - 12.75 - 18.75\text{mm}$ olmak üzere üç farklı yükseklik belirlemişler. Plaka ile silindir arasındaki mesafe $G=0 - 100\text{mm}$ aralığında 25mm artımlarla seçmişler. Deneyselinde parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğini kullanmışlar. Sonuçta; plaka yüksekliği 6.25 ve 12.75mm için $G/D=1.5$ değerine kadar akış kontrolünün artığını bu değerden sonra plakanın akış kontrolüne etkilediği, plaka yüksekliği 18.75mm için $G/D=1.75$ değerine kadar plaka akış kontrolünde oldukça etkili olduğunu ifade etmişler.

Çelik vd., [2011], yaptıkları çalışmada $D=40\text{mm}$ çapa sahip $h=120\text{mm}$ yükseklikteki dairesel sonlu silindir etrafında oluşan akış yapısını parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğini kullanarak $Re_D=1000 - 7000$ aralığında deneysel olarak incelemişler. Sonuçta; sonsuz silindir üzerinde oluşan iki boyutlu akış

yapısından farklı olarak sonlu silindir üzerinde oluşan akışın daimi olmayan karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ifade etmişler.

Akar vd., [2011], yaptıkları çalışmada sığ su içerisine silindir merkezleri arası mesafe (G)'in silindir çap (D)'ye oranı $G/D=1.25$ olduğu durumda ortaya çıkan akış yapısını boya ile akış görüntüleme tekniğini kullanarak deneysel olarak incelemişler. Deneylede $D=40\text{mm}$ çaplı akrilik malzemedan yapılmış silindirler kullanmışlar. Su yüksekliğini $h_w=20\text{mm}$ ve silindir çapına bağlı Reynolds sayısını $Re_D=5000$ olarak seçmişler. Sonuç olarak; silindir arkasında meydana gelen jet akışın yönünün değişmesi sonucu silindir arkasındaki iz bölgesi büyüklüğünde değişme meydana geldiğini gözlemlemişler. Silindir arkasında oluşan girdabın etkisiyle jet akışın yönünün değiştiğini daha önce büyük olan iz bölgesinin küçük iz bölgesi haline geldiğini ifade etmişler.

Pınar vd., [2011a], yaptıkları çalışmada sığ su içerisine yerleştirdikleri dokuz farklı çapta ($D_i=25 - 90$) silindir dışına geçirgenlik oranı $\beta=0.5$ olan $D_d=100\text{mm}$ çaplı yüzeyine delik açılmış ikinci silindir yerleştirerek silindir arkasında oluşan akış yapısını kontrol etmeye çalışmışlar. [Pınar vd., 2011a], çalışmalarında öncelikle lazer ile aydınlatıldığında parlayan florasan boyayla akışı görselleştirmişler daha sonra parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile ölçümleri gerçekleştirmişler. Çalışmalarının sonucunda; tüm iç silindir dış silindir çap oranlarında yüzeyine delik açılmış olan dış silindirin etkili olduğunu belirlemişler. Silindir arkasında oluşan akış yapısının kontrolü için $D_i/D_d=0.25 - 0.7$ aralığının uygun aralık olduğunu ifade etmişler.

Pınar vd., [2011b], yaptıkları deneysel çalışmada, sığ suda iç silindir dış silindir çap oranı $D_i/D_d=0.5$ oranında ve çapı $D_d=100\text{mm}$ olan dış silindirin yüzeyine açılan $d=10\text{mm}$ çaplı delikler ile sağlanan $\beta=0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ve 0.8 geçirgenlik oranlarına sahip delikli silindirleri kullanarak pasif kontrol yöntemiyle kontrol etmeye çalışmışlar. Deneyleler süresince su yüksekliğini $h_w=50\text{mm}$ de sabit tutmuşlar. Hız $U_\infty=100\text{mm/s}$ ve dış silindirin çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_D=10000$ 'de incelemişler. Deneyleleri iki aşamada

gerçekleştirmişler. Öncelikle lazer ışığı altında parlayan boya ile akış görselleştirme tekniğini kullanmışlar, daha sonra parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile detaylı incelemeleri gerçekleştirmişler. Kontrol elemanı olarak kullanılan dış silindirleri krom-nikel çelik malzemeden imal ettirmişler, iç silindir ise derlin malzemeden kullanılmış. Deneyler sonucunda; farklı geçirgenlik oranlarına sahip dış silindirlerin akış yapısını kontrol ettiğini, $0.3 \leq \beta \leq 0.6$ aralığında iz bölgesindeki türbülans yoğunluğunda azalma olduğunu ifade etmişler. Deneylerde Kelvin-Helmholtz girdapların Karman girdaplarından daha baskın olduğunu gözlemlemişler. $\beta > 0.65$ değerinden sonra dış silindirin etkinliğini kaybettiğinden dolayı $\beta = 0.65$ değerini üst kritik sınır olduğunu belirtmişler.

Gim vd., [2011], yaptıkları çalışmada, farklı boyutlardaki kontrol çubuklarını dairesel silindirin arkasına yerleştirerek oluşan akış yapısını PIV tekniği kullanarak incelemişler. Deneyleri $Re = 5000 - 20000$ arasında değişen dört farklı değeri ve $D = 50\text{mm}$ çapa sahip silindir için, dört farklı kontrol çubuğu boyutunda gerçekleştirmişler. Zaman ortalama hız alanı, türbülans şiddeti ve Reynolds kayma gerilmeleri gibi akış karakteristiklerini elde etmişler. Sonuç olarak; silindir art izinin, kontrol çubuklarının varlığından önemli ölçüde etkilendiğini, akış kontrolü için optimum bir çubuk boyutu ve Reynolds sayısı değerinin olmadığı, her durum için farklı akış karakteristiklerinin elde edildiği sonucuna ulaşıldığını ifade etmişler.

Özkan vd., [2011], yaptıkları çalışmada, sığ suda dört farklı geçirgenlik ($\beta = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$) oranına sahip ve beş farklı çapta ($D = 60\text{mm}, 70\text{mm}, 80\text{mm}, 90\text{mm}$ ve 100mm) dış silindir, $d = 50\text{mm}$ çaplı dairesel silindir etrafına eş merkezli olarak yerleştirerek bu silindirler arkasında oluşan akış yapısını incelemişler. Çalışmalarında ilk olarak akış görselleştirme daha sonra parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniğini kullanmışlar. Çalışmalarının sonucunda geçirgenlik oranı (β) ve dış silindir iç silindir çap oranı (D/d)'nin girdap kopması kontrolü üzerine etkili olduğunu belirlemişler. Silindir etrafına yerleştirilen ağ yapıları silindir yardımı ile oluşan girdapları pasif yöntemle kontrol etmişler. Çap oranının artması ile kontrol derecesi artarken, geçirgenlik oranının artmasıyla ($\beta = 0.7$ için $D/d = 1.8$ ve 2.0 hariç) kontrolün azaldığını belirlemişler.

Özkan vd., [2012], yaptıkları deneysel çalışmada, sığ suda iç silindir etrafına geçirgenli bir dış silindir kullanarak akış karakteristiğinin değişimini PIV tekniğini kullanarak incelemişler. Deneysel süresince iç silindir çapı $d=50\text{mm}$ ve su derinliği $h_w=25\text{mm}$ değerinde sabit tutmuşlar. Deneysel hız $U=170\text{mm/s}$ ve çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D=8500$ olarak belirlemişler. Akış üzerinde dış silindirin geçirgenlik oranı ve çapının etkisini incelemek için dış silindir çapını $D=60, 70, 80, 90$ ve 100mm olmak üzere beş farklı değerde, geçirgenlik oranını $\beta=0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ olarak dört farklı değerde seçmişler. Geçirgen dış silindirin girdap caddesi oluşumunu kontrol ettiğini gözlemlemişler. Deneysel girdapların akış yönünde uzadığını, geçirgenlik oranının ve D/d (dış silindir – iç silindir) çap oranının artmasıyla girdapların gücünü kaybettiğini gözlemlemişler. Dış silindir $1.6 \leq D/d \leq 2$ ve $0.4 \leq D/d \leq 0.6$ aralığı doğal duruma kıyasla en iyi akış kontrol olarak ifade etmişler.

Pınar vd., [2012], yaptıkları çalışmada derin suda çapı 60mm olan silindir etrafında $D_d=100\text{mm}$ çaplı ve $\beta=0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8$ olarak on iki farklı geçirgenlik oranına sahip delikli silindir kullanarak kontrol sağlamaya çalışmışlar. Yaptıkları çalışmada su hızını $U=100\text{mm/s}$ ve dış çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D=10000$ değerinde parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğini kullanarak incelemişler. $D_i/D_d=0.6$ oranında, farklı geçirgenlik oranları için silindirlerin arkasında oluşan akışın boyutsuz Reynolds gerilmeleri ve boyutsuz türbülans kinetik enerjisi eş düzey eğrileri şeklinde sunmuşlar. Çalışmalarının sonucunda tüm geçirgenlik oranlarında $\beta=0.25$ 'den itibaren Karman girdaplarının oluşumunun önlendiğini belirlemişler. Geçirgenlik oranı $\beta=0.25 - 0.8$ aralığında maksimum Reynolds gerilmelerinin %50 – 80 aralığında azaldığını belirlemişler. Dış silindirin tüm geçirgenlik oranları için iç silindirin tek olduğu duruma göre TKE (türbülans kinetik enerjisi) yoğunluğunun %60 – 80 arasında farklı oranlarda azaldığını gözlemlemişler. Pınar vd., [2012], çalışmalarında $D_i/D_d=0.6$ için geçirgenlik oranı $\beta=0.25 - 0.8$ aralığında tüm geçirgenlik oranlarında silindir çiftinin yakın bölgesinde oluşan daimi olmayan akışta kontrol sağlandığını, ayrılmış akış bölgesinde türbülanslılığın azaldığını belirlemişler. $\beta=0.55$ 'den sonra geçirgenliğin artması sonucunda dış silindirin etkinliğinin azaldığını ve silindir çiftine yakın

bölgede türbülanslılığın az miktarda olsa da tekrar ortaya çıktığını gözlemlemişler. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranının kontrolün en iyi sağlandığı oran olarak belirlemişler.

Durhasan vd., [2012], yaptıkları çalışmada sığ suda $D_i=50\text{mm}$ çaplı silindir etrafına meydana gelen akış yapısını silindir etrafına delikli yarım silindir yerleştirerek kontrol etmeye çalışmışlar. PIV tekniğini kullanarak incelemişler. Delikli dış silindir yüzeyine $d=5\text{mm}$ çapta delikler açtıktan sonra $\alpha=180^\circ$ ölçüye sahip yay haline getirmişler. Delikli silindir çapını $D_d=100\text{mm}$ ve $\beta=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$ olmak üzere altı farklı geçirgenlik oranında seçmişler. Yaptıkları deneyleri, su hızını $U=100\text{mm/s}$ ve $Re=10000$ dış çapa bağlı Reynolds sayısında gerçekleştirmişler. Su yüksekliğini $h_w=50\text{mm}$ ve lazer hüzmesinin yüksekliğini 25mm olarak ayarlamışlar. $\beta \leq 0.6$ geçirgenlik oranlarında deliklerden çıkan jet akış girdap oluşumunu ve kopmasını aşağı akımın daha uzak bölgelerine ötelemede etkili olduğunu ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) değerinin azaldığını gözlemlemişler. $\beta > 0.6$ oranından sonra geçirgenlik oranının artmasına bağlı olarak delik sayısındaki artışla deliklerden çıkan jet akışın etkisinin azalmasıyla türbülanslılığın arttığını belirlemişler. Sonuç olarak; delikli yarım silindirin tek silindir durumuna kıyasla tüm geçirgenlik oranlarında Reynolds gerilme değerlerinin azalmada etkili olduğunu, kayma tabakasının uzadığını belirtmişler. $\beta=0.6$ oranının silindir arkasında oluşan büyük ölçekli girdapların bastırılmasında ve aşağı akım ilerisine taşımada en etkili oran olduğunu ifade etmişler.

Kunze ve Brücker, [2012], yaptıkları çalışmada, dairesel silindir arkasındaki hareketli ince plakalar kullanarak deneysel olarak incelemişler. Çalışmada plakaların hareketini ve akış dinamiğini PIV tekniğini kullanarak araştırmışlar. PIV deneylerinde $5000 < Re < 31000$ gerçekleştirmiş ve ince plakaların hareketini anlık olarak kayıt etmişler. Plakaların girdap kopmasını değiştirdiğini ve akış yapısındaki salınımın plakasız duruma göre akış yönünde %42 ve akış eninde %35 oranında azaldığını ifade etmişler.

Durhasan, [2013], yaptığı tez çalışmasında sığ suda silindir arkasında meydana gelen daimi olmayan akışı yapısının pasif kontrol yönteminde kontrol

edilmesini PIV tekniği kullanarak incelemiştir. Kontrol elemanı olarak altı farklı geçirgenlik oranına sahip ($\beta=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8$) ve üç farklı yay ölçüsünde ($\alpha=180^\circ, \alpha=150^\circ, \alpha=120^\circ$) dış silindiri incelemiştir. Çap oranının etkisini incelemek için de $D_i=25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90$ mm dokuz farklı çapa sahip iç silindir kullanmıştır. Gerçekleştirdiği deneylerde su hızını $U=100$ mm/s ve $Re_D=10000$ (dış silindir çapına bağlı) olarak seçmiştir. Sonuç olarak; delik silindirin yay ölçüsü (α)'nın akış kontrol üzerinde etkili olduğunu $\alpha=180^\circ$ 'nin kontrol için en uygun yay ölçüsü olduğunu gözlemiştir. Diğer yay oranlarının çap oranının artması ile etkinliğini kaybetmeye başladığını belirlemiştir. Çalışmada geçirgenlik oranı (β)'nın akış yapısı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu, $\beta=0.5$ ve $\beta=0.6$ oranlarının en ideal oran olduğunu belirlemiştir. İç silindir durumuna kıyasla $D_i/D_d=0.75$ çap oranı ve $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı türbülans istatistiklerinde %80 azalma gözlemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇME (PIV) TEKNİĞİ

Bir akışkanın hareket etmesi için basınç farklılığı, yerçekimi, atalet ve yüzey kuvvetleri gibi birtakım etkilerin olması gerekir. Hareket eden akışın hızı, ivmesi ve akışkanın sıcaklığı, viskozitesi ve yoğunluğu gibi bazı özelliklerinde değişimler meydana gelir. Akış ve akışkandaki bu değişimlerden faydalanarak doğada, endüstride ya da insan vücudunda herhangi bir akışı anlayabilmek, çözümlenebilmek için çalışmalar yapılmaktadır. [Kaykısızlı, 2006]

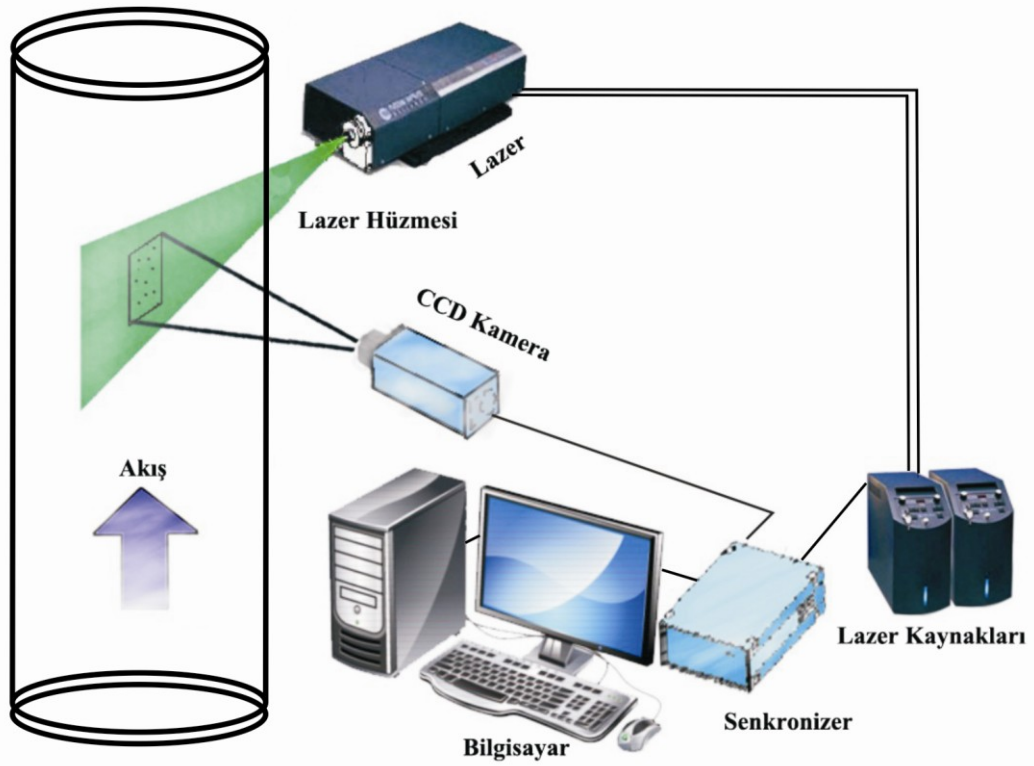
Akışkanın üzerine etkiyen kuvvetler Navier-Stokes adı ile bilinen denklem ile ifade edilir ve bu denklemin genel bir analitik çözümünün bulunmayışı dolayısıyla sayısal çözümler veya akışı görüntülemek gibi alternatif yollar özellikle tıp, savunma sanayi ve birçok mühendislik alanında son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Akış görüntüleme tekniklerinden bazıları [Kaykısızlı, 2006] şunlardır;

- Boya, duman, buhar ve şerit
- Hidrojen kabarcıkları
- Gölge Tekniği
- PIV

Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği akış bölgesinin bir kesit alanında anlık hız vektörü ölçümlerinin yapılabildiği bir tekniktir. Bu teknik, uzay-havacılık alanında, içten yanmalı motorlarda, nükleer santrallerde, pompa ve türbinlerde, temel akışkanlar dinamiği konusundaki araştırmalardan, ürün geliştirme ve optimizasyon çalışmalarına kadar birçok alanda iç ve dış akış incelemelerinde ve rüzgâr tüneli, su tüneli, taşıt aerodinamiği vb. iç ve dış akış uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.1. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğinin Bileşenleri

Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi birçok bileşende oluşmaktadır. Bunlar akış alanına eklenen partikülleri aydınlatan lazer ve lazerin üretildiği kaynak, aydınlatılan alandaki partikülleri görüntülemek için kamera, kamera ve lazerin eş zamanlı çalışmasını sağlayan senkronizer (eş-zamanlayıcı) ve bunların tümünü kontrol eden ve görüntülerin aktarıldığı, işlendiği, analizlerin gerçekleştirildiği bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin bileşenlerinin şematik gösterimi

3.1.1.1. Lazer

Akış alanı içerisinde akışla birlikte hareket eden partiküllerin kısa süreli çekimde görüntülenmesi için yeterli miktarda ışığın kamera tarafından algılanması gerekmektedir. Akış hızının artması veya akış içerisine katılan partiküllerin boyutlarının küçülmesi yansıyan ışık miktarını etkilemektedir. Daha yüksek ışık

şiddetine ihtiyaç duyulmaktadır. Lazerler ihtiyaç duyulan bu ışık şiddetini ve istenilen optik özellikleri sunmaktadır.

Işınımı sağlayan maddelere göre isimlendirilen farklı lazerler mevcuttur. Örneğin: Sık kullanılan lazerlerden ND:YAG lazer bunlardan biridir. Işık kaynağı madde olarak “Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet” kullanılmaktadır. Bu lazerin ürettiği ışığın dalga boyu 1064 nanometredir. Bu dalga boyu 532nm’lik iki dalga haline getirilerek görünür kılınmaktadır [Karadeniz, 2011].



Şekil 3.2. Lazer

3.1.1.2. Kamera

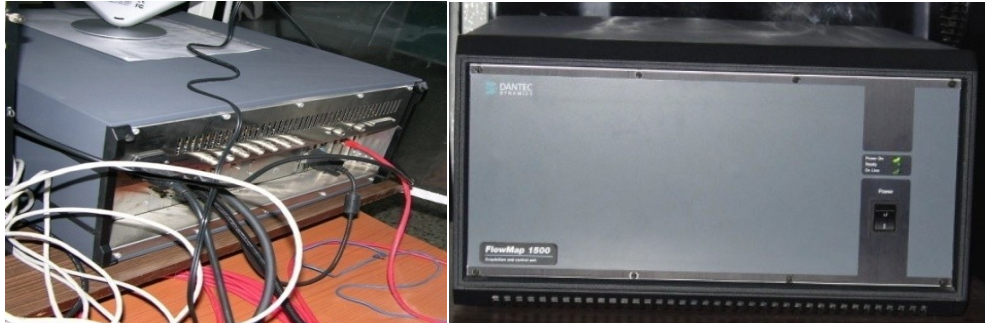
Dijital kamera bir objektif aracılığı ile içeri giren ışığı CCD (Charge Coupled Device) sensör vasıtasıyla kayıt eden elemandır. Kamera içerisinde bulunan bir tabaka üzerine dizilmiş ışığa duyarlı foto diyotlar, üzerlerine düşen ışığı elektrik gerilimine çevirirler. Bu gerilimler bir çevirici ve işlemci vasıtasıyla görüntüye dönüştürülür. Çalışma prensibi fotoğraf makinelerine benzese de onlardan daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Kısa sürede çok sayıda görüntü kayıt edilmektedir.



Şekil 3.3. CCD kamera

3.1.1.3. Eş zamanlayıcı

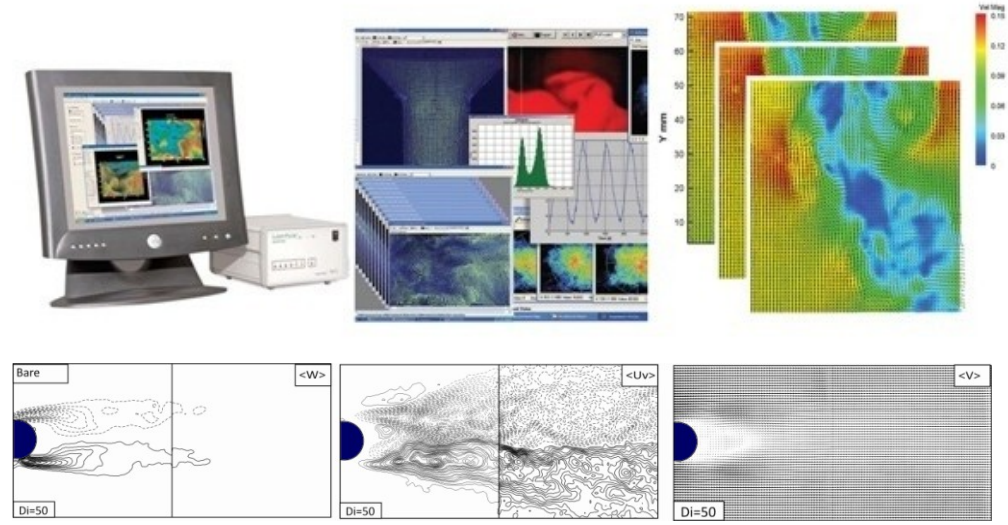
Eş zamanlayıcı (Senkronizer), kamera ile lazerin eş zamanlı olarak çalışmasını sağlayan elemandır. Lazerle aydınlatma ve kamera aracılığı ile görüntü kaydının aynı anda yapılabilmesi için kullanılması gereklidir.



Şekil 3.4. Eş zamanlayıcı (Senkronizer)

3.1.1.4. Bilgisayar

Kamera tarafından aktarılan görüntüleri kayıt eden, sistemin diğer bileşenlerini kontrol eden ve kurulu bulunan paket programlar yardımıyla dataların analizlerinin yapıldığı elemandır.



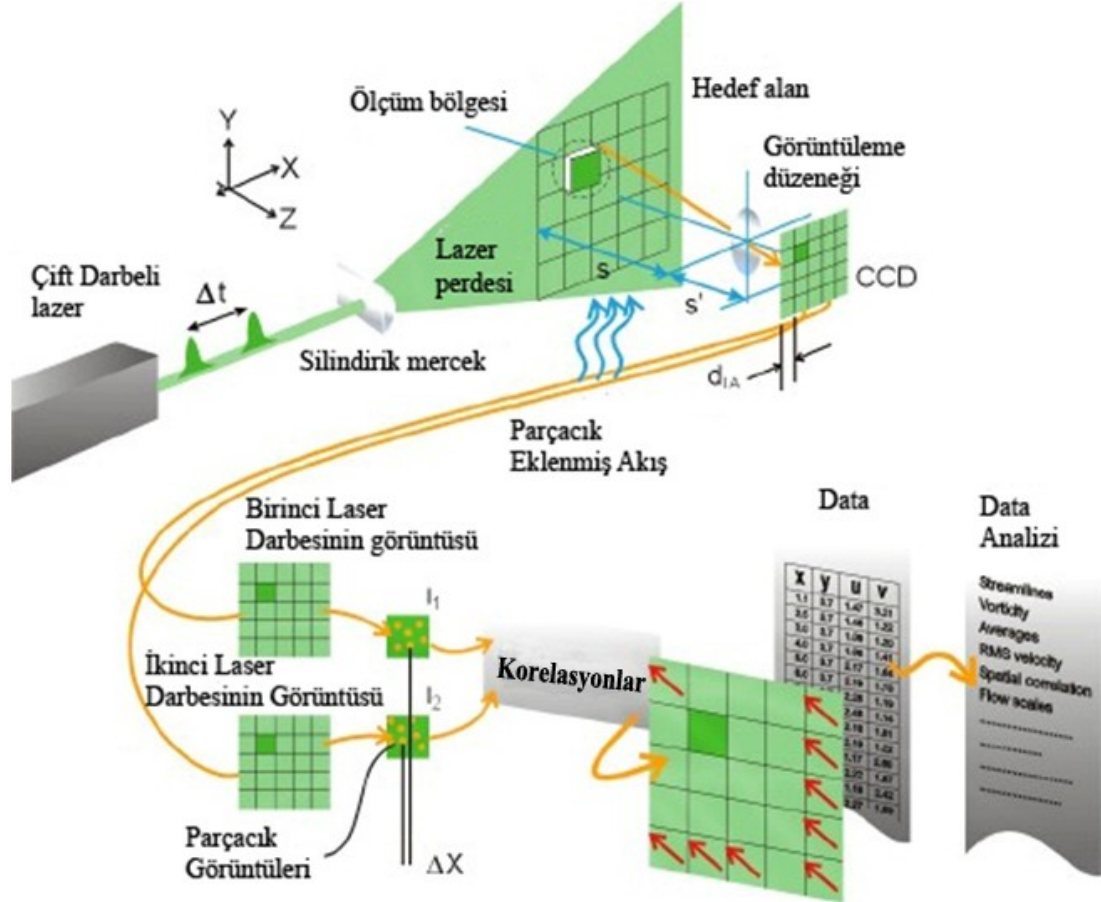
Şekil 3.5. Bilgisayar

3.1.2. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğinin Kabiliyetleri

PIV temassız (non-intrusive) bir teknik olup akışı takip eden mikron ölçeğinde küçük partiküllerin hızlarını ölçmektedir. Bu sistemin özelliklerini söylemek gerekirse:

- * Bu teknik akış alanını bozacak herhangi bir parça içermez ve akışla birlikte hareket eden mikron boyutlarında partiküllerin hızını ölçer.
- * Ölçüm yapılabilecek hız aralığı sıfırdan süpersonik hızlara kadar çıkabilir.
- * Akış kesit alanının
 - Anlık vektörel hız haritası
 - Akış çizgileri (Streamline)
 - Girdaplılık (Vorticity)
 - İstatistik ve türbülans ölçümleri
 - Zaman çözünürlüklü ölçümler yapılabilir

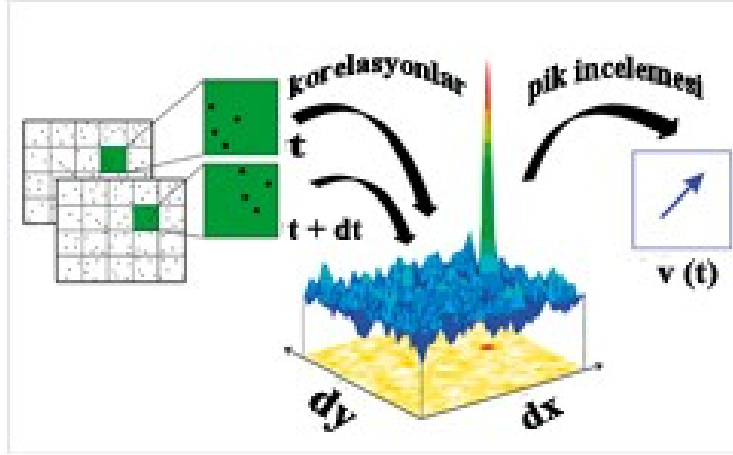
3.1.3. PIV Çalışma Prensipli



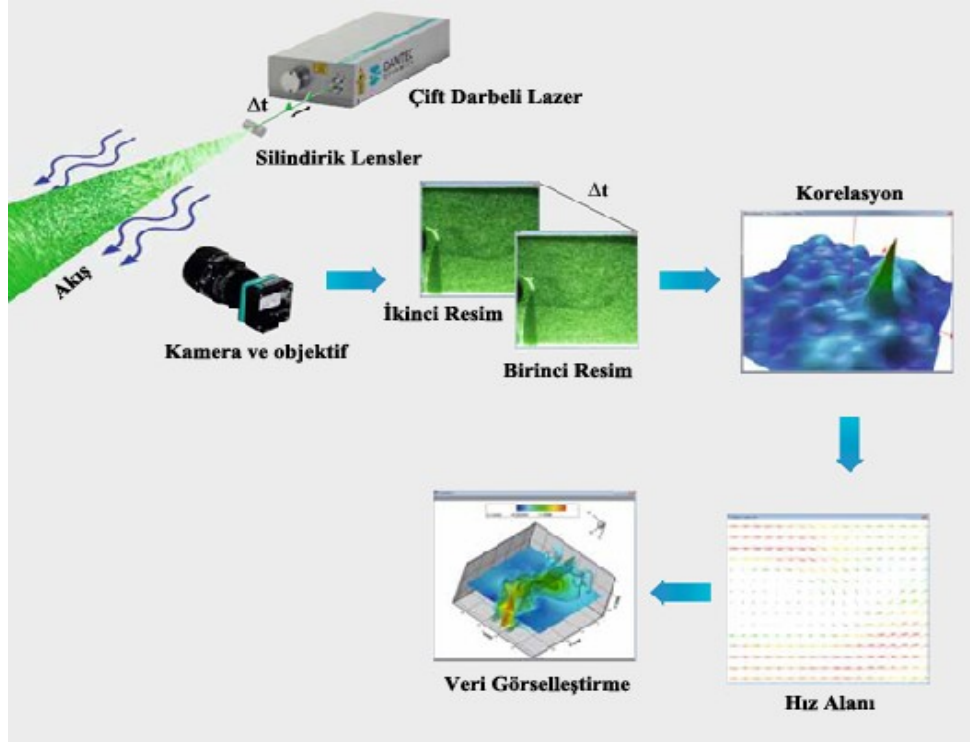
Şekil 3.6. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği temel analiz işlemleri

[Kaynak:<http://www.dantecdynamics.com/Default.aspx?ID=1049>]

Akış alanı, lazeri silindirik bir lensten geçirerek yaratılan lazer hüzmesi ile aydınlatılır. Kamera ise bu lazer hüzmesi üzerine odaklanarak her bir atımında bir görüntüyü fotoğraflar. Art arda iki görüntü kaydedildikten sonra görüntüler daha küçük alt parçalara ayrılır. Yaklaşık başparmak izi büyüklüğünde olan bu küçük kareler I_1 ve I_2 olarak alınır ve piksel piksel bu görüntülerin korelasyonu yapılır. Bu korelasyon ile tepe noktası olan bir sinyal elde edilir ve bu partikülün yer değişimi, Δx bilgisini verir. Tüm hedef alanının vektör haritasının çıkarılması için kamera ile elde edilmiş görüntülerin her bir alt küçük karelerinin korelasyonu yapılır (Şekil 3.7.'de).



Şekil 3.7. PIV partiküllerin korelasyonu ve pik inceleme işlemi
[Kaynak: <http://www.piv.de/images/content/pivposter1280x905.jpg>]



Şekil 3.8. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin çalışma prensibi
[Kaynak: <http://www.ex-en.com.tr/217E1CF5AE0D434483744F119795D778/piv/>]

Akışın görünür olması için havada yapılan ölçümlerde sis veya duman jeneratörü, suda yapılacak ölçümlerde ise partiküller kullanılır. Tek kamera ile bir yüzeyden iki hız bileşeni hesaplanabildiği gibi ikinci bir kamera kullanılarak, üçüncü hız hesaplanabilir. [Kaynak: <http://www.ex-en.com.tr/217E1CF5AE0D434483744F119795D778/piv/>]

3.2. DENEY DÜZENİ

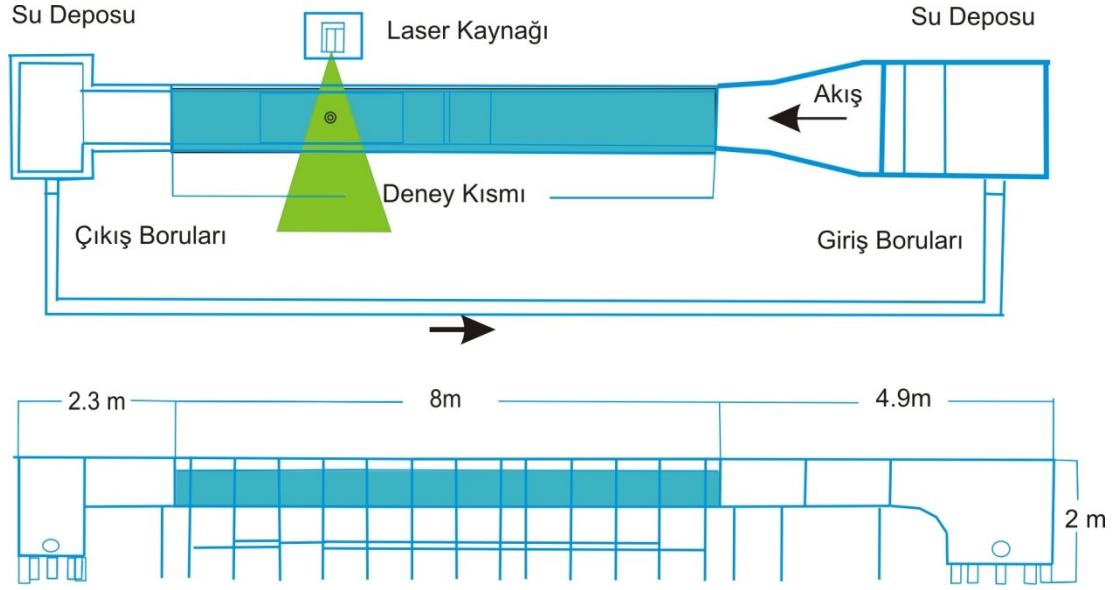
3.2.1. Su Kanalı

Yapılan bu çalışmada deneyler, Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında kurulu bulunan kapalı devre açık yüzey su kanalında gerçekleştirildi. Su kanalının genel görünümü Şekil 3.9.'da sunulmuştur.

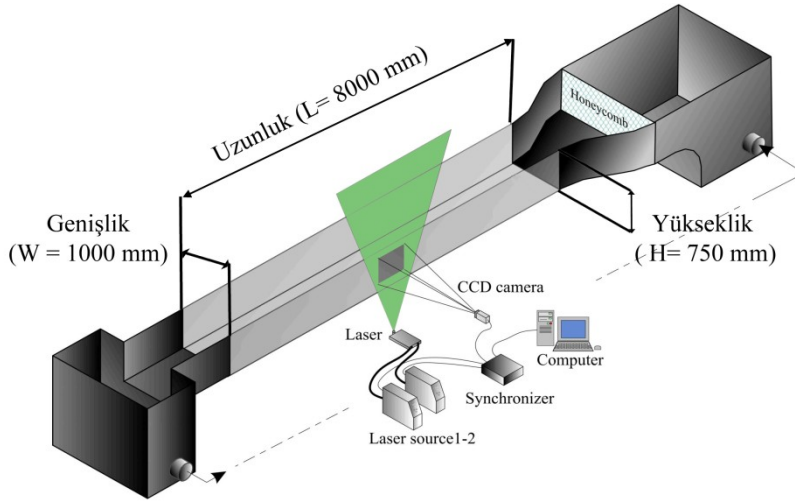


Şekil 3.9. Deney kanalının genel görünümü

Kullanılan su kanalı iki adet su deposu ve bu iki depo arasında bulunan ve ebatları 750mm x 1000mm x 8000mm (Yükseklik x En x Boy) olan akrilik kısımdan oluşmaktadır. Girişteki su deposu ile deney kesiti arasındaki geçişi sağlamak amacıyla 2:1 oranında daralma kısmı mevcuttur. Kanal içerisindeki suyun hızı, bir hız kontrol ünitesi yardımıyla değişik devirlerde çalışabilen bir santrifüj pompa ile ayarlanmaktadır. Su kanalının şematik görünümü Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



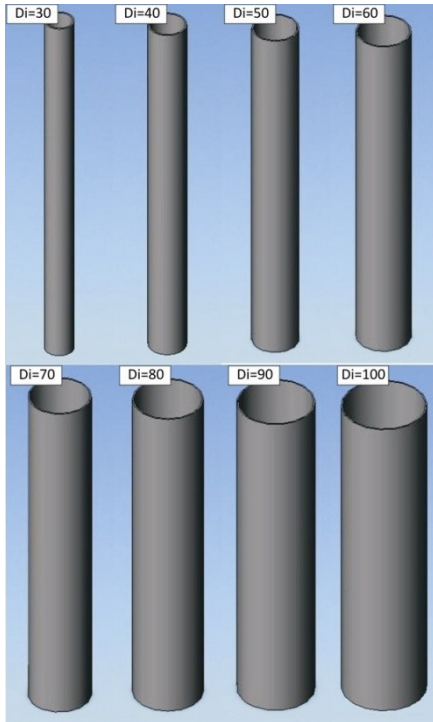
Şekil 3.10. Su kanalının şematik gösterimi



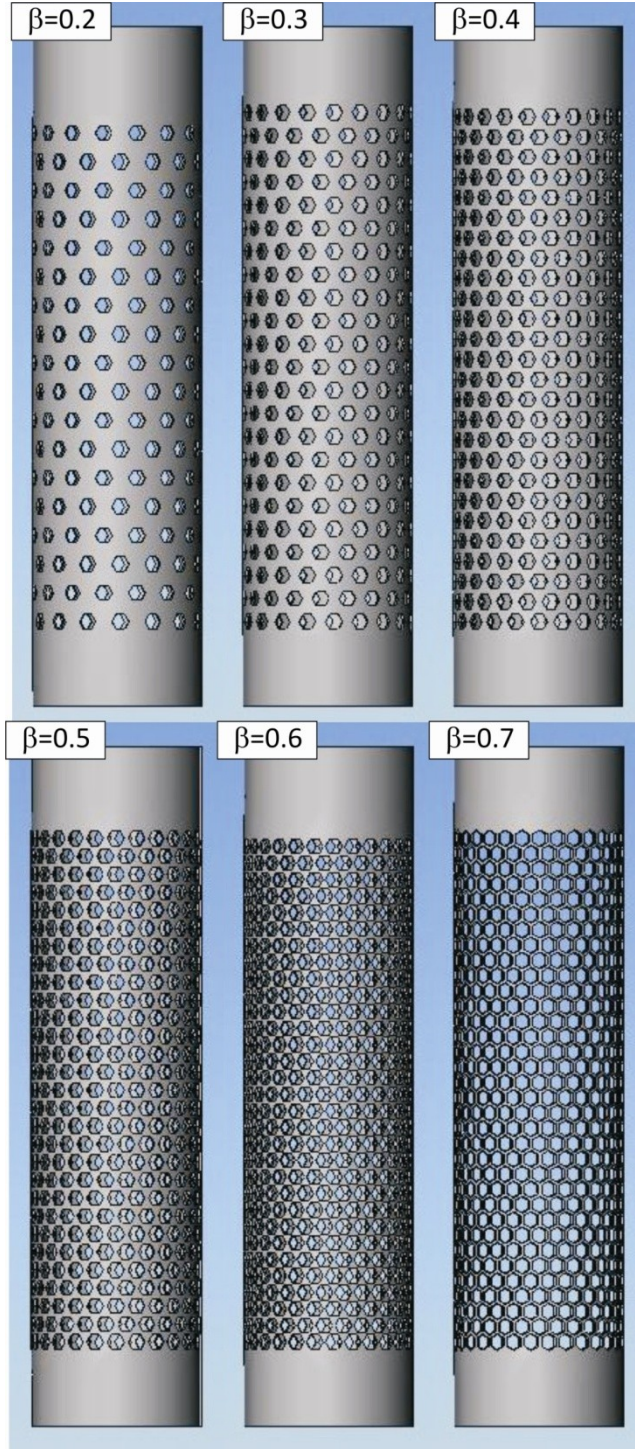
Şekil 3.11. Su kanalı ve PIV sisteminin birlikte şematik gösterimi

3.3. DENEY SETİNİN HAZIRLANMASI

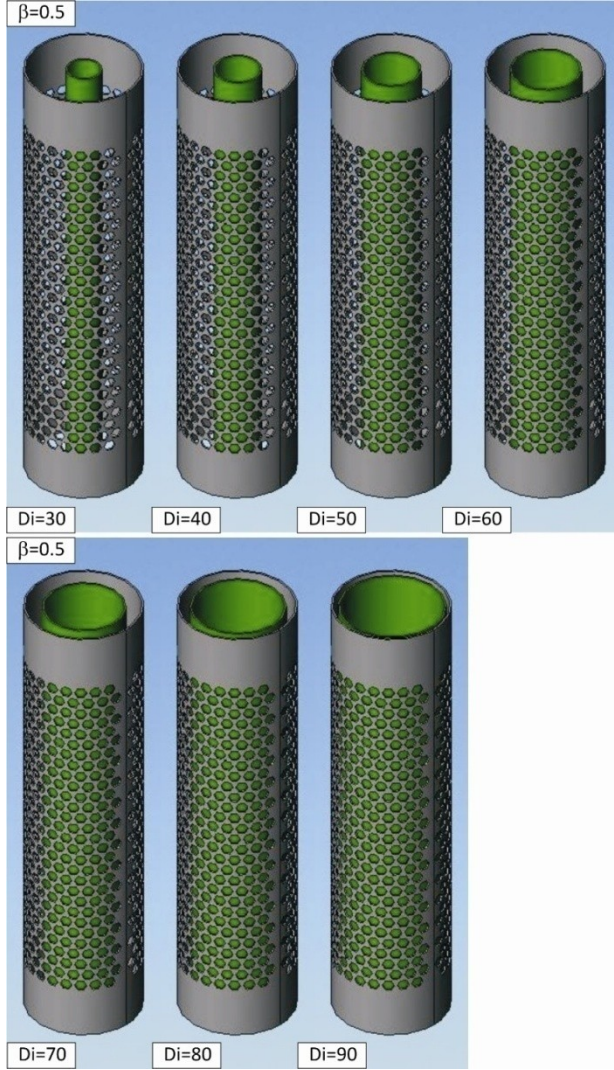
Deneysel çalışmalar esnasında kullanılan silindirler $D_d=100\text{mm}$ çapa sahiptir. Bu silindirler üzerine altıgen geometride $d=10\text{mm}$ çapa sahip delikler açılmak suretiyle silindir arkasında iz bölgesinde meydana gelen daimi olmayan akış yapısı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Geçirgenlik oranının akış yapısına etkisini incelemek amacıyla aynı delik çapında, $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ altı farklı geçirgenlik oranı (silindirin yüzeyinde açılan deliklerin toplam alanının silindir yüzey alanına oranı) çalışılmıştır. Deneyler boyunca Şekil 3.12.'de gösterilen farklı çaplara $D_i=30\text{mm}, 40\text{mm}, 50\text{mm}, 60\text{mm}, 70\text{mm}, 80\text{mm},$ ve 90mm sahip olan deliksiz silindirler ile Şekil 3.13.'de altıgen delik açılmış $D_d=100\text{mm}$ çapa sahip olan delikli silindir çifti arkasında meydana gelen akış yapısı deneysel olarak incelenmiştir. Şekil 3.12.'de ikinci sırada görülen, çapı $D_i=100\text{mm}$ olan silindir dış silindirle aynı çapa sahip olup üzerine delik açılmamış olarak imal edilmiş kıyaslama yapmak için deneylere eklenmiştir.



Şekil 3.12. Üzerine delik açılmamış iç silindirlerin ve dış silindirle aynı çaptaki ($D=100\text{mm}$) delik açılmamış silindirin şematik gösterimi

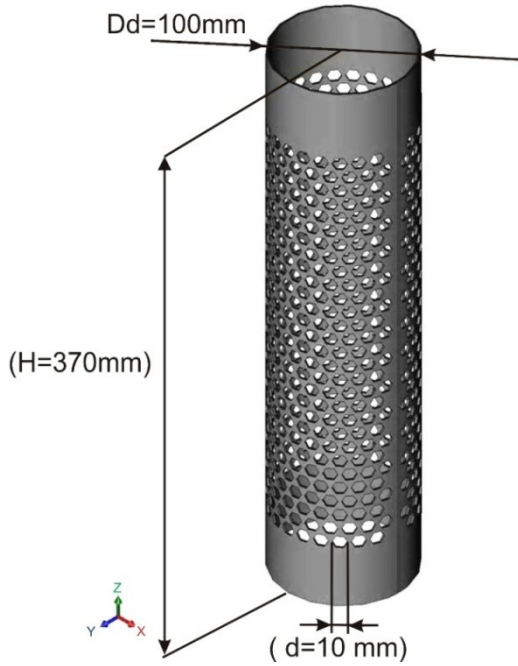


Şekil 3.13. Yüzeyine delik açılmış $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ farklı geçirgenlik oranına sahip silindirlerin şematik gösterimi



Şekil 3.14. Yüzeyine delik açılmış $\beta=0.5$ geçirgenlik oranına sahip dış silindir ile $D_i=30$ mm, 40mm, 50mm, 60mm, 70mm, 80mm, 90mm olan delik açılmamış iç silindirlerin birlikte şematik gösterimi

Deneysel çalışmalarda kullanılan $D_d=100$ mm çapa ve farklı geçirgenlik oranlarına $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ sahip silindirler Şekil 3.14.'de şematik olarak sunulmuştur. Bu silindirler $t=1.5$ mm kalınlıktaki çelik sac malzeme üzerine lazer ile altıgen geometriye sahip $d=10$ mm çaplı delikler açıldıktan sonra çapı $D_d=100$ mm olan silindirler imal edilmiştir. Silindirleri boyutları Şekil 3.15.'de gösterilmiştir.



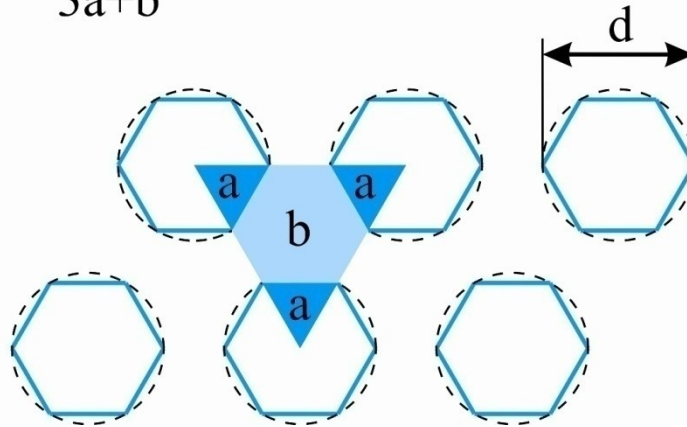
Şekil 3.15. Farklı geçirgenlik oranına sahip delikli dış silindirlerin ölçüleri

3.3.1. Geçirgenlik Oranının Hesaplanması

Geçirgenlik oranı; silindirin yüzeyinde açılan deliklerin alanının silindir yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır ve Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

Geçirgenlik Oranı (β) Hesabı

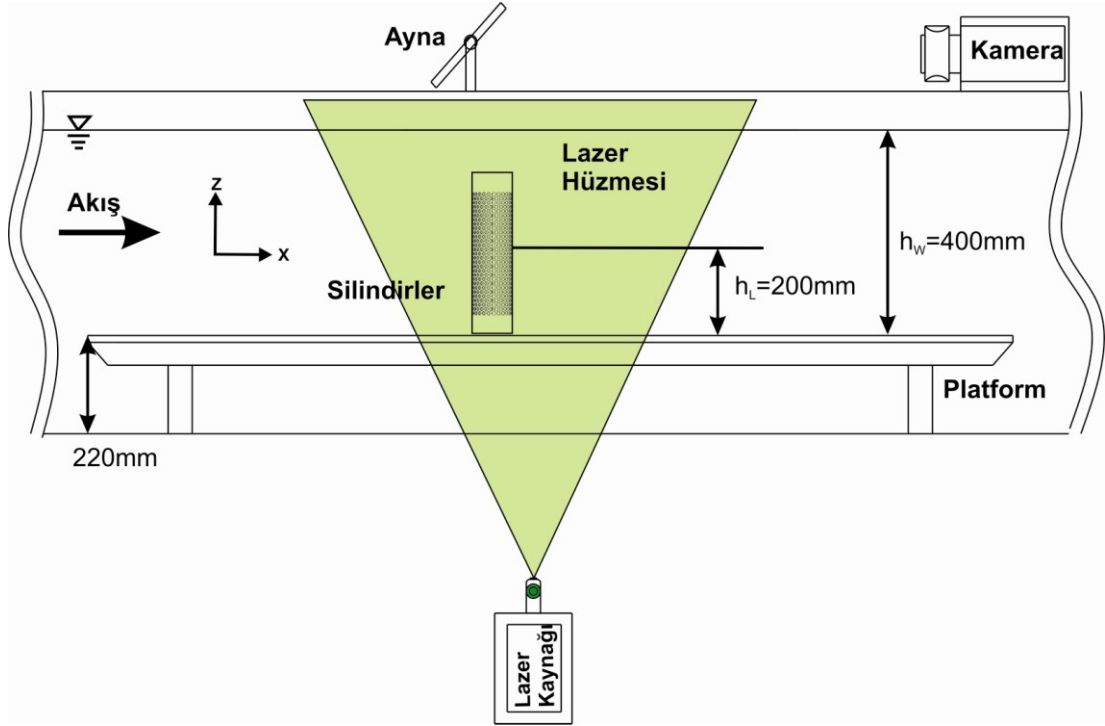
$$\beta = \frac{3a}{3a+b}$$



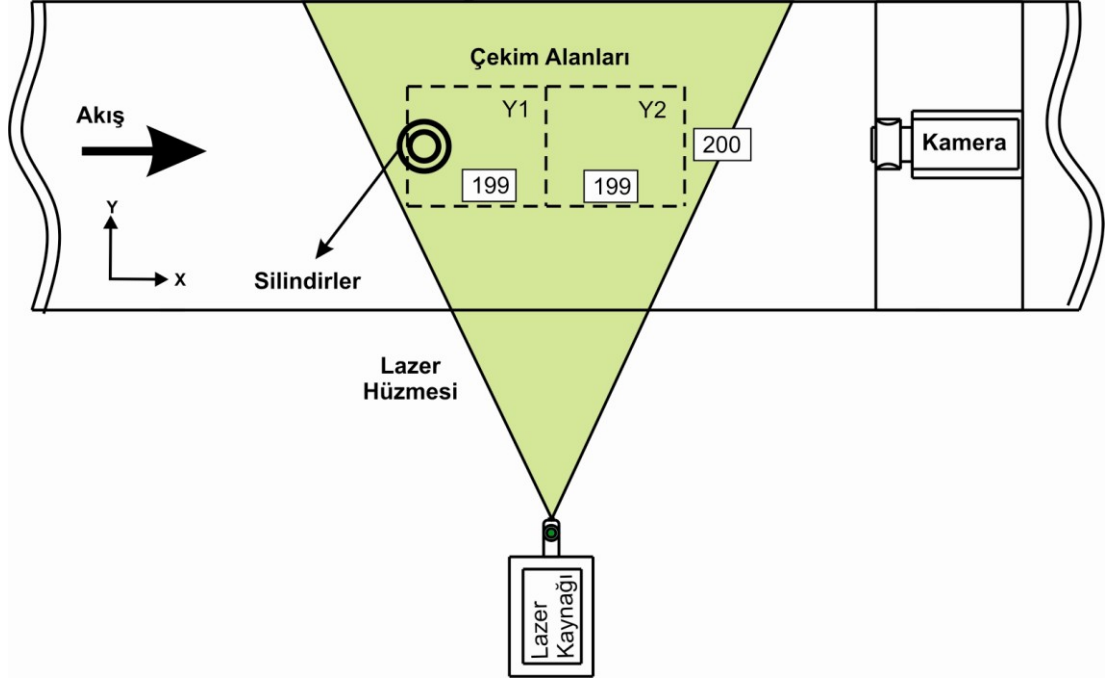
Şekil 3.16. Geçirgenlik oranının (β) hesaplanması

3.3.2. Su Kanalı ve Deney Setinin Hazırlanması

Yapılan bu çalışmada kullanılan yüzeyine delik açılmış silindir ve iç silindir daha önce özellikleri belirtilen su kanalında, $h_p=220\text{mm}$ yükseklikteki bir platform üzerine Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.'de gösterildiği üzere yerleştirilmiştir. Platformun kullanılmasının nedeni istenilen Reynolds sayının bu şekilde sağlanmasıdır. Kanal içerisindeki su yüksekliği 620mm ve su yüzeyi ile kanal içerisine yerleştirilen platform arasındaki mesafe ise $h_w=400\text{mm}$ olarak ayarlanmıştır. Lazer hüzmesi kanal içerisindeki platform yüzeyinden $h_L=200\text{mm}$ yükseklikte, su yüzeyi ile platform arasındaki mesafe $h_w=400\text{mm}$ 'nin yarısı olacak şekilde gönderilmiştir. Deneyler süresince pompa hızı 27Hz olarak ayarlanmış, suyun hızı $U=100\text{mm/sn}$ dış silindir çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_D=10000$ alınmıştır. Bu çalışmada deneyler boyunca her bir silindir çifti için 350 tane anlık hız alanı ölçümü gerçekleştirilmiş ve her ölçüm üç kez tekrarlanmıştır. Akış alanındaki anlık hız vektörlerinin belirlenmesi sonucunda girdap konturları, akış yapısı hakkında bilgi verecek parametreler ve Reynolds gerilmeleri gibi türbülans istatistiklerinin belirlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.17. Deney düzeneğinin yan görünüşünün gösterimi



Şekil 3.18. Deney düzeneğinin üst görünüşünün gösterimi

Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği akış içerisine akış ile aynı hızda hareket eden gümüş kaplı partiküller hızlarının ölçülmesi ile akış yapısı hakkında anlık ve ortalama bilgi elde edilmektedir. Bu teknik ile iki boyutlu hız ölçümü yapabilmek için su içerisine 10–20 mikrometre çapında, yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakın gümüş kaplı partiküller eklenmektedir. Partiküllerin yoğunlukları suyun yoğunluğundan nispeten büyük olmasına rağmen (1100kg/m^3 aralığında değişen) boyutları mikron mertebesinde olduğu için su ile aynı hızda hareket etmektedir. Çift darbeli 120mJ gücündeki Nd:YAG lazer kaynağı tarafından üretilen lazer ışınları optik araçlar kullanılarak istenilen kalınlıkta ve genişlikte lazer hüzmesi halinde gönderilmektedir. Lazer kaynağından saniyede en fazla 15 lazer çifti gönderilebilmektedir. Lazer hüzmesi ile aydınlatılan akış alanı içinde hareket eden partiküllerin mili saniye boyutunda (Δt) zaman aralıklarında dijital kamera (Sony DRC-TR355E) aracılığı ile kayıt edilen iki adet görüntü piksel piksel küçük alt bölgelere bölünerek her bir alt bölgedeki partiküllerin kayıt edilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Bilgisayara aktarılan görüntülerin prosesi sonucunda anlık hız vektörleri belirlenmektedir. Lazer kaynağı darbeli olduğu için lazerle kamera eş zamanlı olarak çalışması senkronizer (eş zamanlayıcı) ile sağlanmakta ve bilgisayar yardımıyla kontrol edilmektedir. Bilgisayara aktarılan

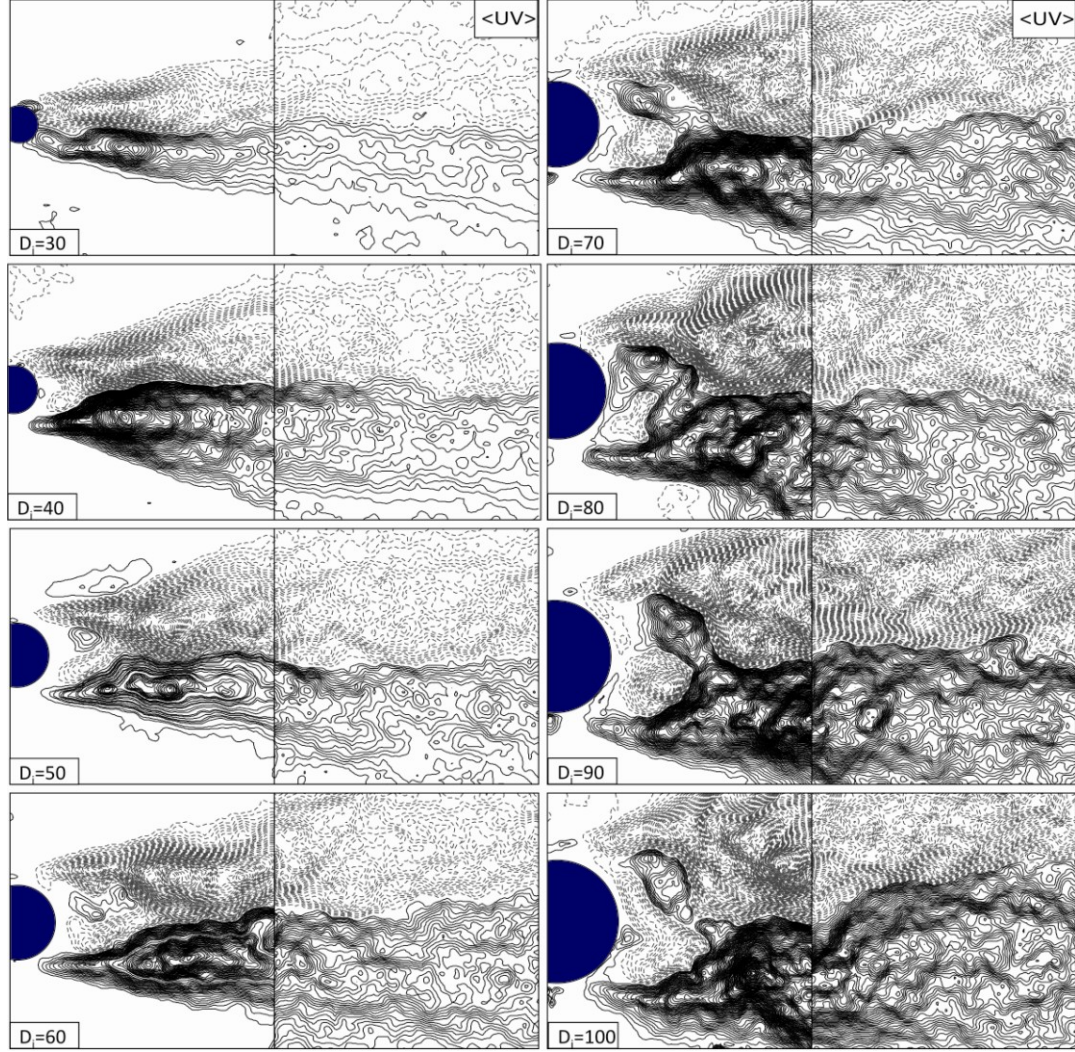
bu görüntüler 32x32 piksel küçük alt bölgelere bölünmekte ve Hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak her bir alt bölgedeki partiküllerin kayıt edilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Vektör sayısını arttırmak ve Nyquist kriterini sağlamak için hız vektörü hesaplanarak ağ yapısı %50 üst üste bindirilerek kaydırılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu görüntülerin prosesi neticesinde anlık hız vektörleri hesaplanmaktadır. Bu ölçme yönteminde kullanılan matematiksel ifadeler ve gerekli bilgiler [Westerweel vd., 1993] ve [Adrian vd., 1991]'in çalışmalarında verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. PIV DENEYLERİNİN SONUÇLARI

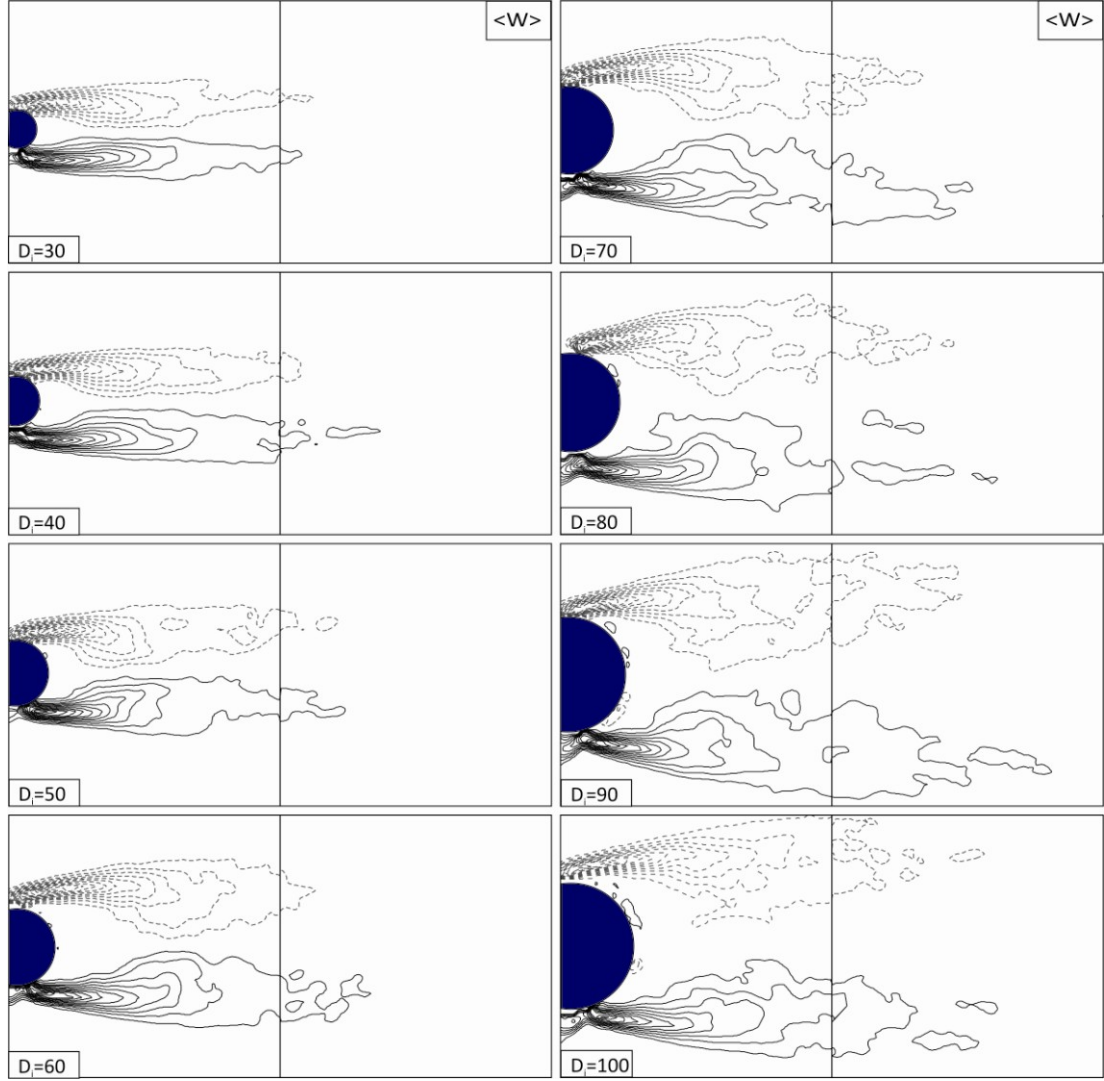
Yapılan bu çalışmada, $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm yedi farklı çapa sahip iç silindir çevresine eş merkezli olarak $D_d=100$ mm çapa ve $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ geçirgenlik oranlarına sahip delikli silindir yerleştirilmiştir. Delikli silindir üzerindeki altıgen delikler çapı $d=10$ mm olarak seçilmiştir. Eş merkezli olarak yerleştirilen iç silindir ve kontrol elemanı olarak seçilen delikli silindir çifti arkasında meydana gelen akış yapısı pasif kontrol yöntemi kullanılarak parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği ile detaylı olarak incelenmiştir.

Deneyleerde elde edilen çekim alanlarındaki, silindirler arkasında meydana gelen akış yapısının karakteristikleri; Reynolds gerilmeleri $\langle uv \rangle$, ortalama girdap konturları $\langle w \rangle$ ve zaman ortalama hızları $\langle v \rangle$ sunulmuştur. Her bir D_i/D_d çap oranı için ortalama girdap konturlarında kesik çizgiler negatif girdapları (saat yönünde hareket eden), düz çizgiler pozitif girdapları (saat yönünün tersi yönde hareket eden) göstermektedir. Deneyleerde, Y1, Y2 çekim alanı birleştirilerek tek bir çekim alanı halinde gösterilmiştir. Reynolds gerilmeleri $\langle uv \rangle$ için minimum değerleri ± 0.001 ve artım oranı 0.001, girdap konturları $\langle w \rangle$ için minimum değerleri ± 1 ve artım oran 1 olarak alınmıştır.



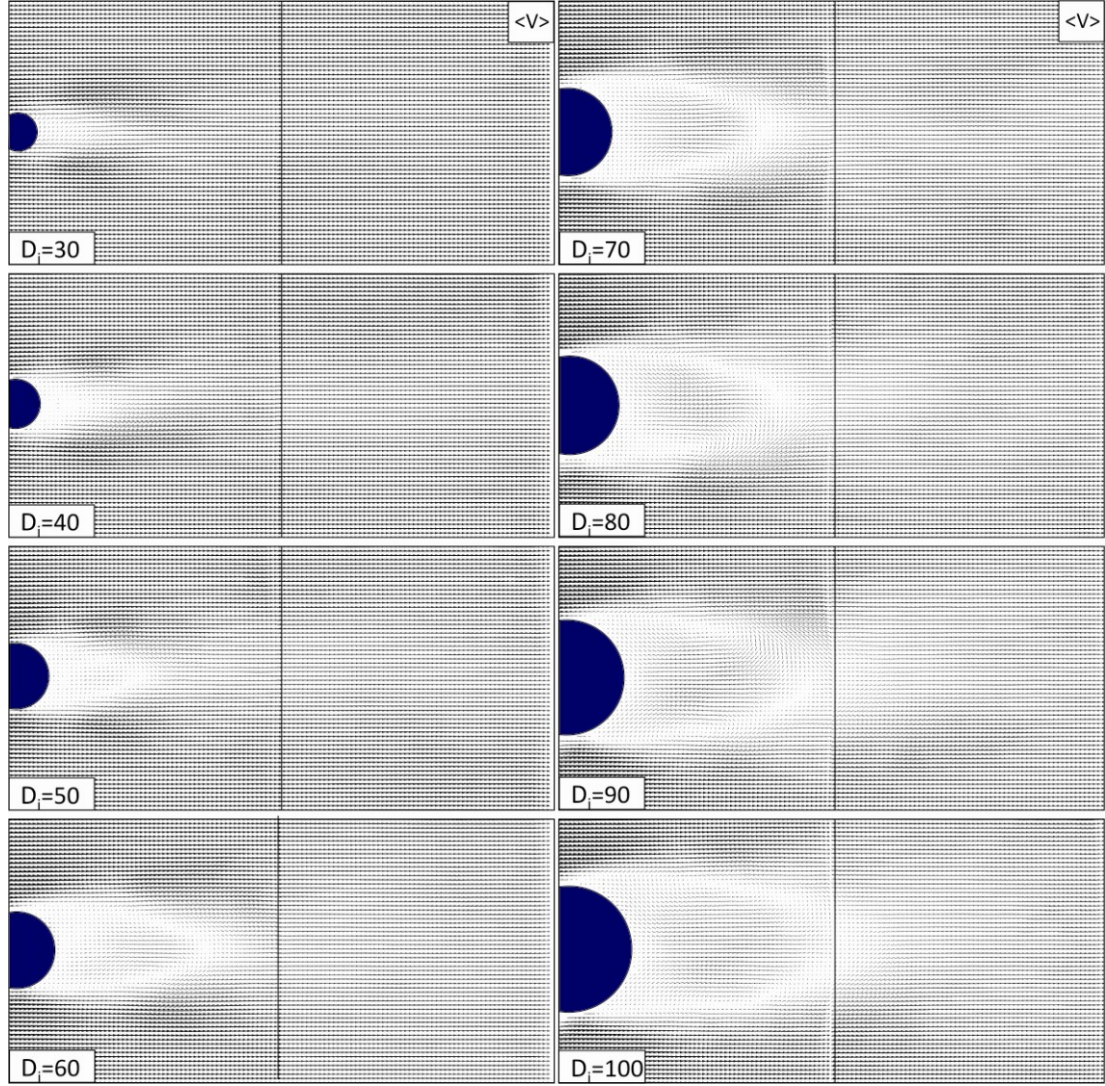
Şekil 4.1. $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm çaplardaki iç silindirler için Reynolds gerilmeleri

İç silindirlerin tek bulunduğu durum $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm ve delikli silindirler aynı çapa sahip $D_i=100$ mm olan deliksiz silindir arkasında meydana gelen Reynolds gerilmeleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Reynolds gerilmelerindeki artışın momentum transferinden kaynaklandığı açıktır. $D_i \leq 60$ mm olduğu durumlarda gerilmeler silindir arkasında iki küme halinde yoğunlaştığı ve $D_i \geq 70$ mm'den itibaren gerilmelerin yoğunluğunun arttığı görülmektedir.



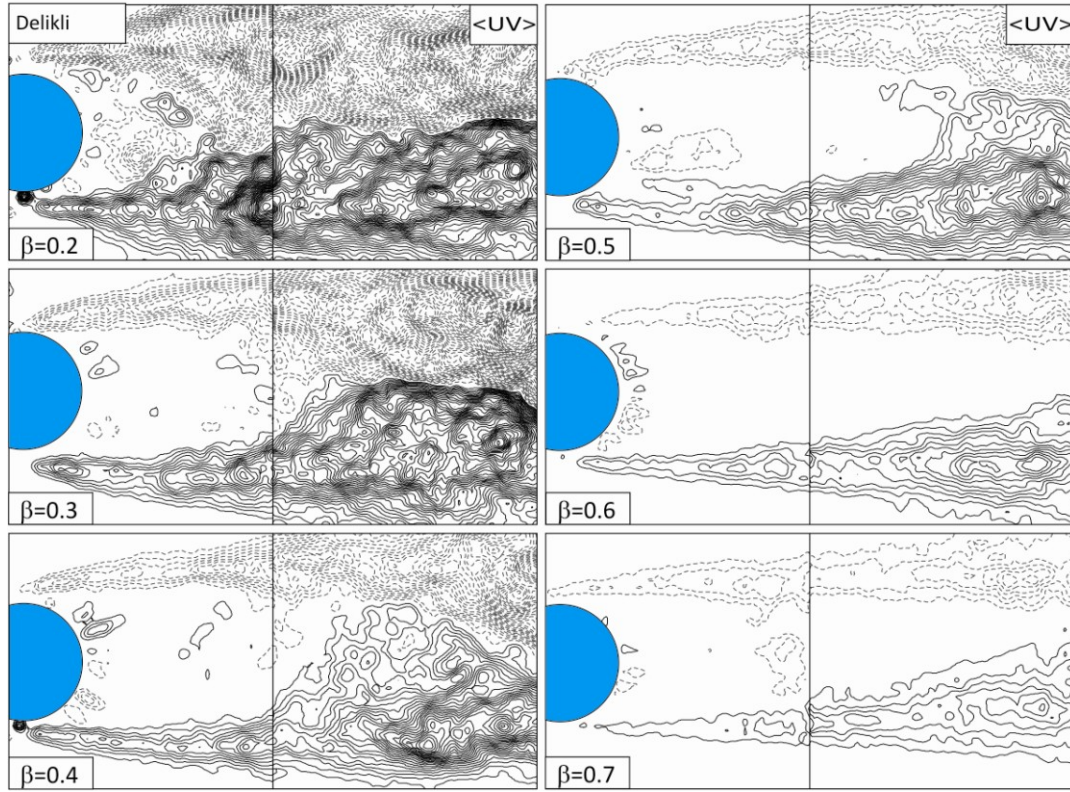
Şekil 4.2. Delikli silindirin bulunmadığı durum için farklı çaplardaki iç silindirlerin ortalama girdap konturları

İç silindirlerin tek bulunduğu durum $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm ve delikli silindirler aynı çapa sahip $D_i=100$ mm olan deliksiz silindir arkasında meydana gelen girdap konturları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Silindirin iki yanında iki küme halinde görülen pozitif ve negatif girdaplar silindir çapının artmasına paralel olarak birbirlerine yöneldikleri ve silindir arkasında akış doğrultusunda önceki çaplara kıyasla uzadığı görülmektedir.



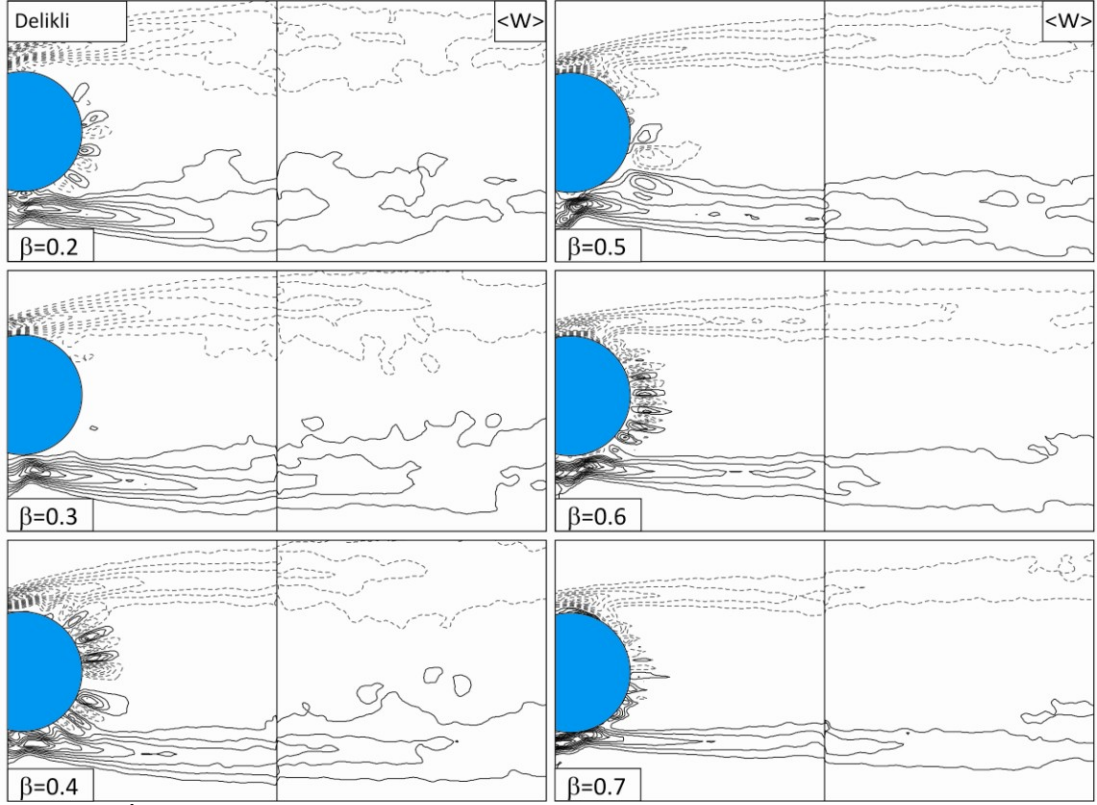
Şekil 4.3. Kontrolün olmadığı durum için farklı çaplardaki iç silindirlerin zaman ortalama hız alanları

İç silindirlerin tek bulunduğu durum $D_i=30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ mm ve $D_i=100$ mm olan deliksiz silindir arkasında meydana gelen hız alanları Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. Silindirlerin çapının artmasıyla birlikte silindiler arkasında meydana gelen iz bölgesinin akış doğrultusunda uzadığı görülmektedir. Silindir arkasındaki iz bölgesinin genişliği de silindir çapının artışına paralel olarak büyümektedir.



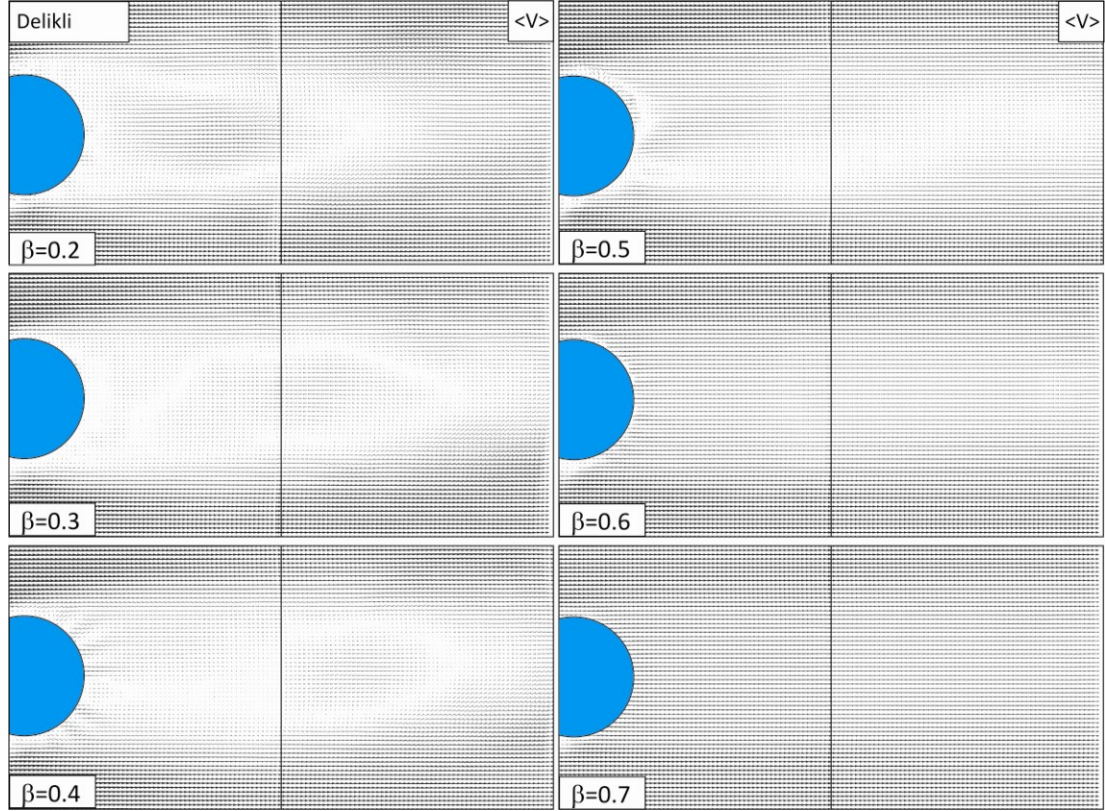
Şekil 4.4. Delikli dış silindirlerin tek olduğu durum için Reynolds gerilmeleri

Delikli silindirlerin tek olduğu durum Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Şekil 4.1.'de gösterilen $D_i=100\text{mm}$ çaplı deliksiz silindirle kıyaslandığında deliklerden çıkan jet akışın silindir arkasında meydana gelen akış yapısı üzerindeki etkisi açık olarak görülmektedir. Deliklerden çıkan jet akış, ölü akış bölgesine momentum transferini önlemiş ve Reynolds gerilmelerinin yoğunluğu azalmıştır. Geçirgenlik oranının artması ile silindir arkasında meydana gelen gerilmelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. $\beta \geq 0.6$ oranından itibaren silindir yüzeyindeki deliklerin sayısının artmasından dolayı deliklerden çıkan jet akışın etkisi azalmaktadır. Reynolds gerilmelerinin konturları çizilirken minimum değerler ± 0.001 ve artım oranları 0.001 olarak alınmıştır.



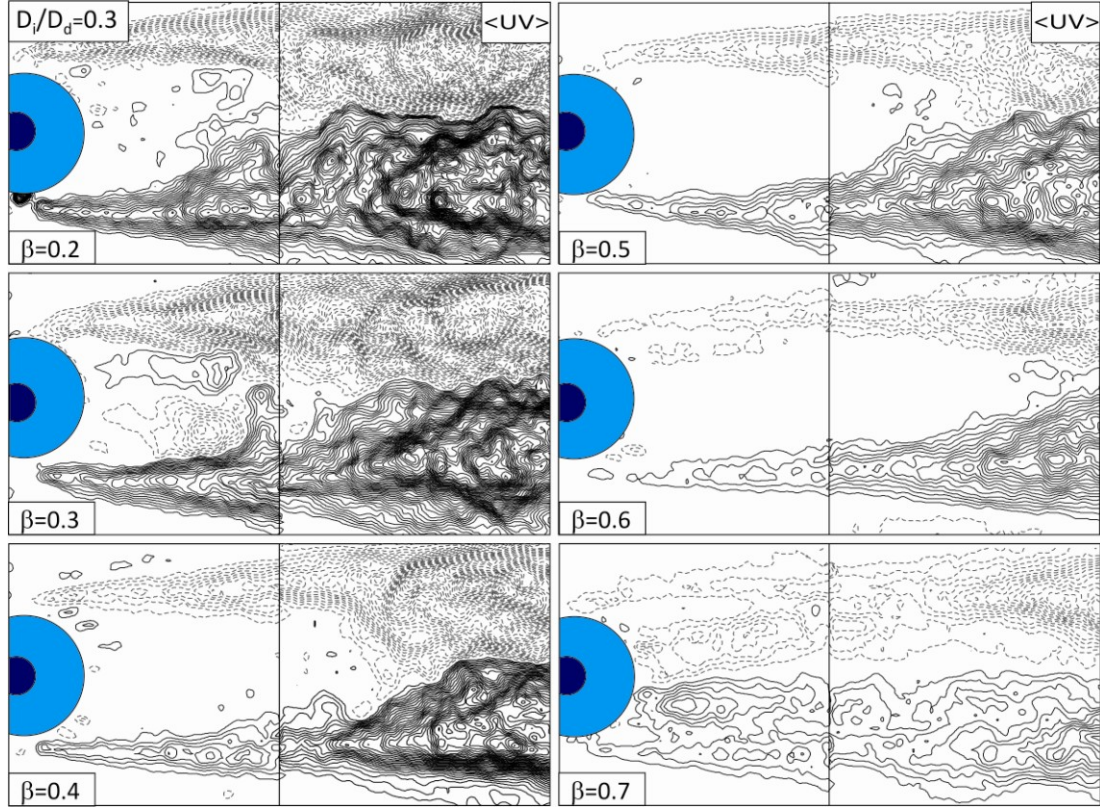
Şekil 4.5. İç silindirin bulunmadığı delikli dış silindirlerin tek bulunduğu durum için ortalama girdap konturları

Şekil 4.5.'de delikli dış silindirlerin tek olduğu durum için girdap konturları gösterilmiştir. Tüm geçirgenlik oranları için Şekil 4.2.'de gösterilen $D_i=100\text{mm}$ çaplı deliksiz silindirle kıyaslandığında girdaplar birbirlerine simetrik olarak silindir arkasında akış doğrultusunda uzamaktadır. $\beta \leq 0.4$ geçirgenlik oranlarında, geçirgenlik oranının artmasıyla girdap çiftinde birbirine yönelimin azaldığı görülmektedir. Girdap konturları $\langle w \rangle$ için minimum değerleri ± 1 ve artım oranı 1 olarak alınmıştır.



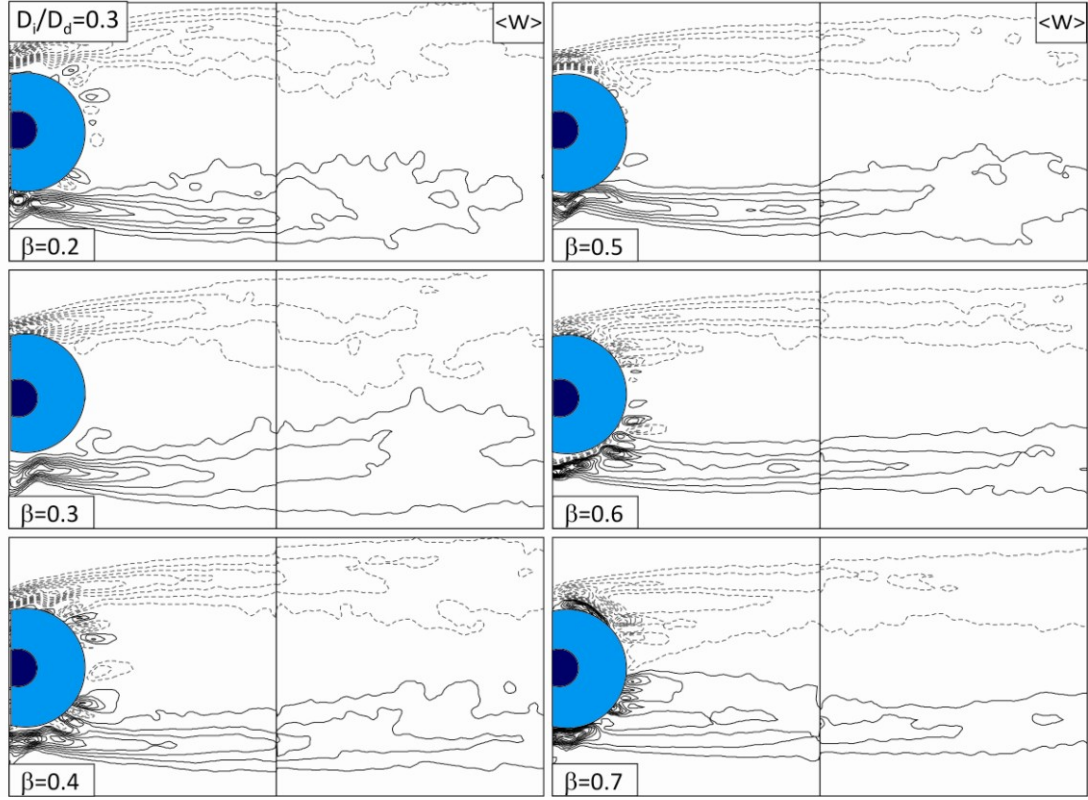
Şekil 4.6. İç silindirin bulunmadığı durumda $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ geçirgenlik oranına sahip delikli dış silindirler için zaman ortalama hız alanları

Şekil 4.6.'da delikli silindirler için zaman ortalama hız alanları gösterilmiştir. İç silindirin bulunmadığı, kontrol elemanı olarak seçilen farklı geçirgenlik oranlarına sahip delikli silindir tek olarak gösterilmiştir. Şekil 4.6. gösterilen delikli silindir ile Şekil 4.3.'de gösterilen aynı çapa sahip deliksiz silindir kıyaslandığında silindir arkasında meydana gelen iz bölgesinin akış doğrultusunda uzadığı görülmektedir. Geçirgenlik oranının artmasına bağlı olarak, $\beta>0.5$ durumunda silindir yüzeyindeki delik sayısının artmasından dolayı deliklerden çıkan jet akışın etkisini azalmaktadır.



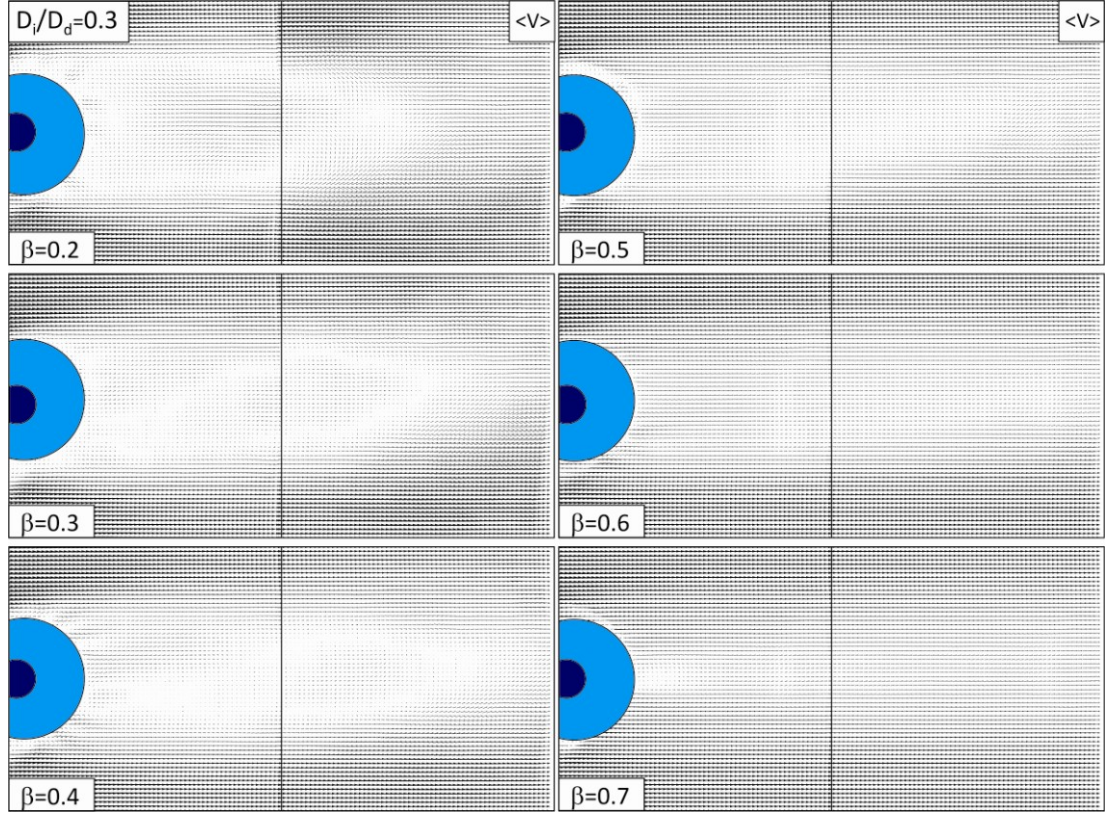
Şekil 4.7. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ durumunda silindir çifti arkasında meydana gelen Reynolds gerilmeleri Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Reynolds gerilmelerinin konturları çizilirken minimum değerler ± 0.001 ve artım oranları 0.001 olarak alınmıştır. Delikli silindirin, $D_i=30\text{mm}$ çapa sahip silindir arkasında meydana gelen gerilmeler üzerinde kontrolün olmadığı durumla kıyaslandığında etkili olduğu görülmektedir. Geçirgenlik oranının 0.2'den 0.7'ye doğru arttığında gerilmelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. $\beta \geq 0.6$ oranından itibaren delik sayısının artmasına bağlı olarak dış silindirin kontrol üzerindeki etkinliğinin azaldığı belirlenmiştir.



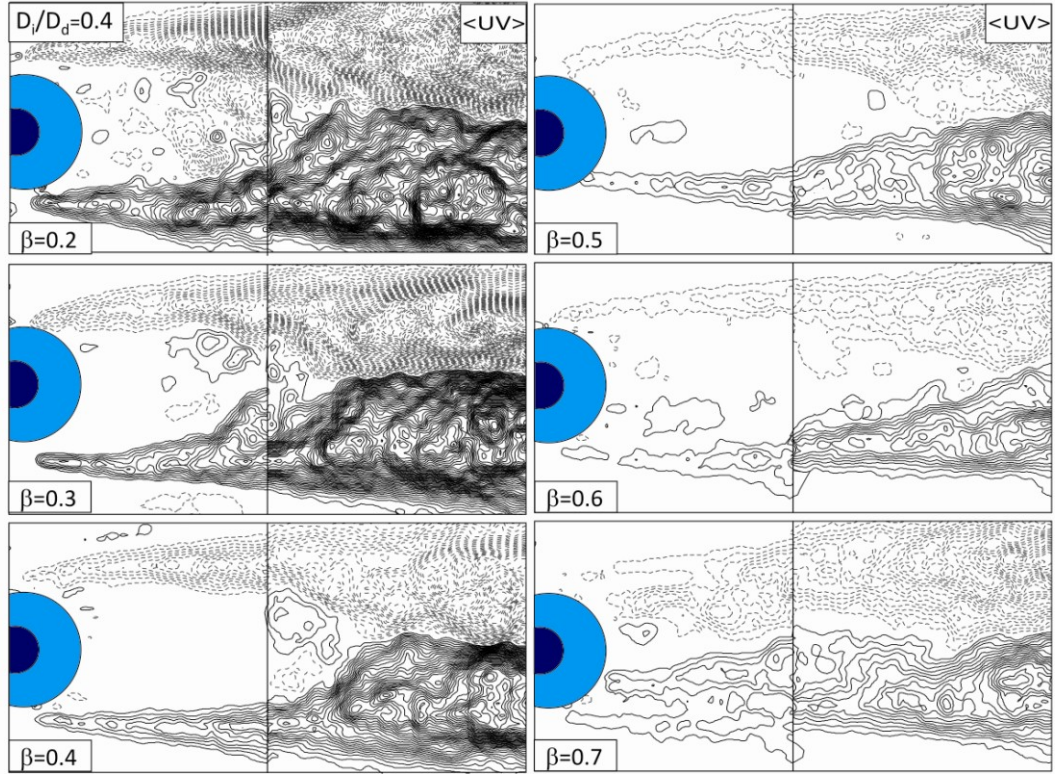
Şekil 4.8. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.8.'de $D_i/D_d=0.3$ çap oranı durumu için girdap konturları gösterilmiştir. Girdap konturları $\langle w \rangle$ için minimum değerleri ± 1 ve artım oranı 1 olarak alınmıştır. Geçirgenlik oranının artması ile pozitif ve negatif girdapların birbirlerine yönelimlerin azaldığı ve iç silindirin tek olduğu durumla kıyaslandığında dış silindirin eklenmesiyle girdapların akış doğrultusunda uzadığı görülmektedir.



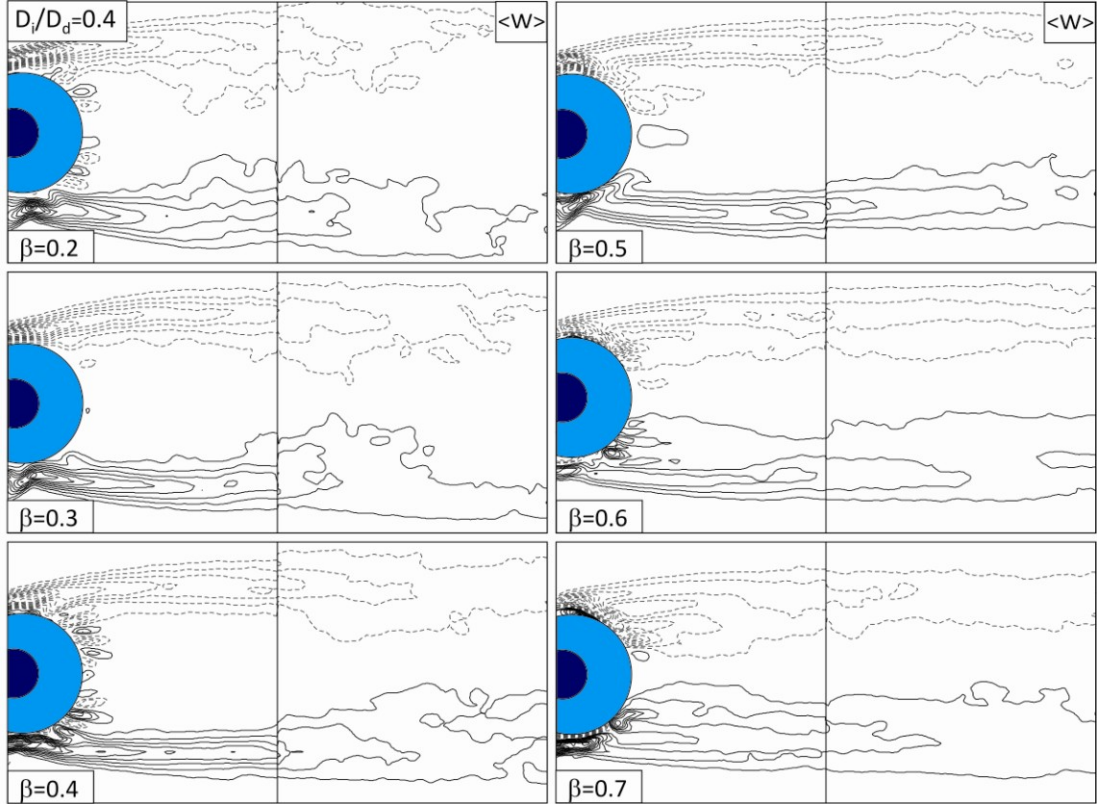
Şekil 4.9. Çap oranı $D_i/D_d=0.3$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

Şekil 4.9’da çap oranı $D_i/D_d=0.3$ için hız alanları gösterilmiştir. Şekil 4.3.’de gösterilen dış silindirin bulunmadığı durum ve delikli silindir ile aynı çaplı deliksiz $D_i=100\text{mm}$ olan silindir ile kıyaslandığında art iz daha uzun olduğu görülmektedir.



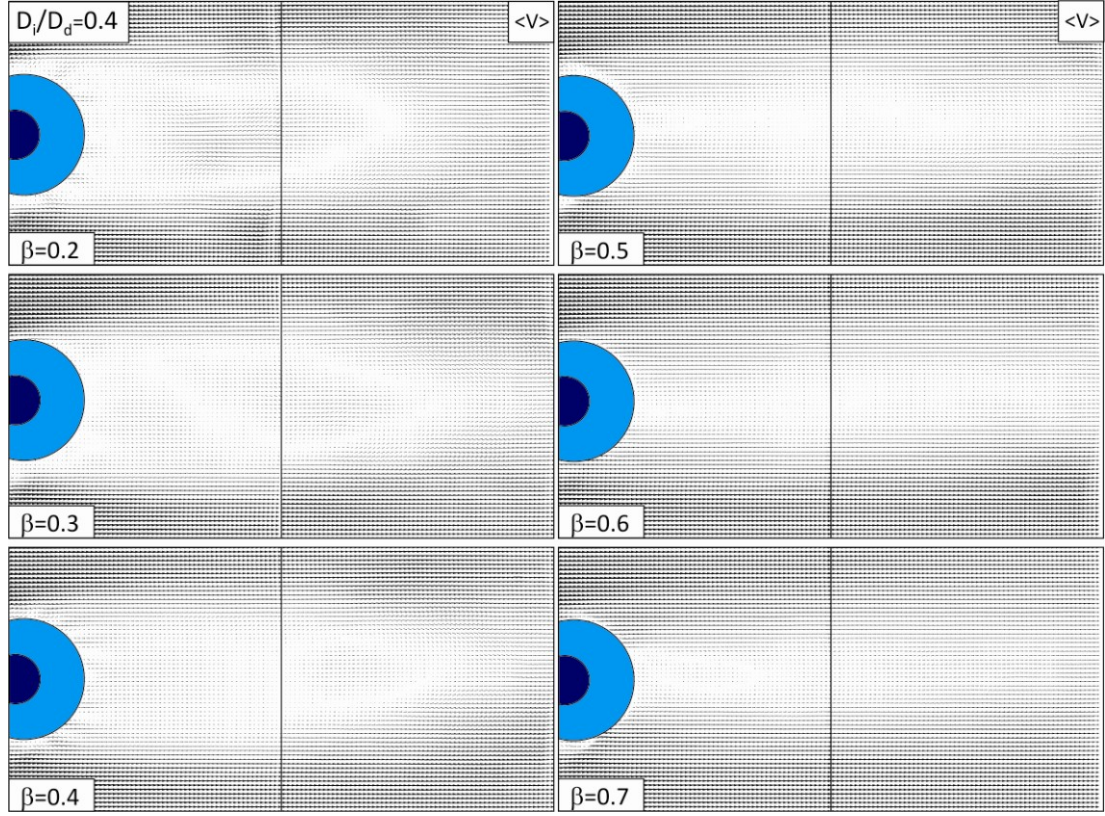
Şekil 4.10. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

$D_i/D_d=0.3$ çap oranına benzer durum bu çap oranı içinde gözlenmiştir. Reynolds gerilmelerinin konturları çizilirken minimum değerler ± 0.001 ve artım oranları 0.001 olarak alınmıştır. Geçirgenlik oranının artmasıyla gerilmelerin yoğunluğu azalmaktadır. Geçirgenlik oranı $\beta=0.5$ 'de görüldüğü gibi gerilmeler yaklaşık olarak simetrik bir yapı göstermektedir. Bu durum $\beta=0.6$ dan itibaren kaybolmaya başladığı ve $\beta=0.7$ oranında ise gerilmeler iç silindire yakın bölgede yeniden oluştuğu belirlenmiştir.



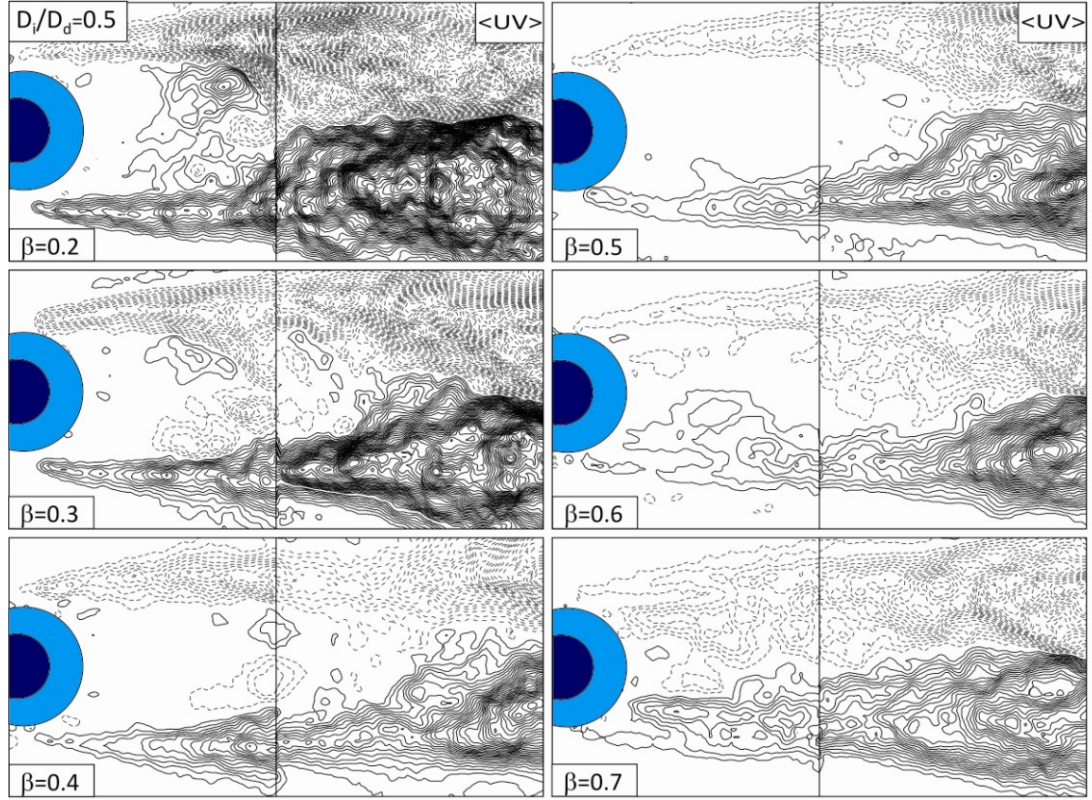
Şekil 4.11. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.11.'de çap oranı $D_i/D_d=0.4$ için girdap konturları gösterilmiştir. Girdap konturları $\langle w \rangle$ için minimum değerleri ± 1 ve artım oranı 1 olarak alınmıştır. Genel olarak tüm geçirgenlik oranlarında girdap konturlarının silindir arkasında akış doğrultusunda uzadığı belirlenmiştir. $\beta < 0.5$ pozitif ve negatif girdapların az da olsa birbirlerine yöneldiği görülürken $\beta \geq 0.5$ itibaren girdapların birbirlerine yönelimlerinin azaldığı görülmektedir.



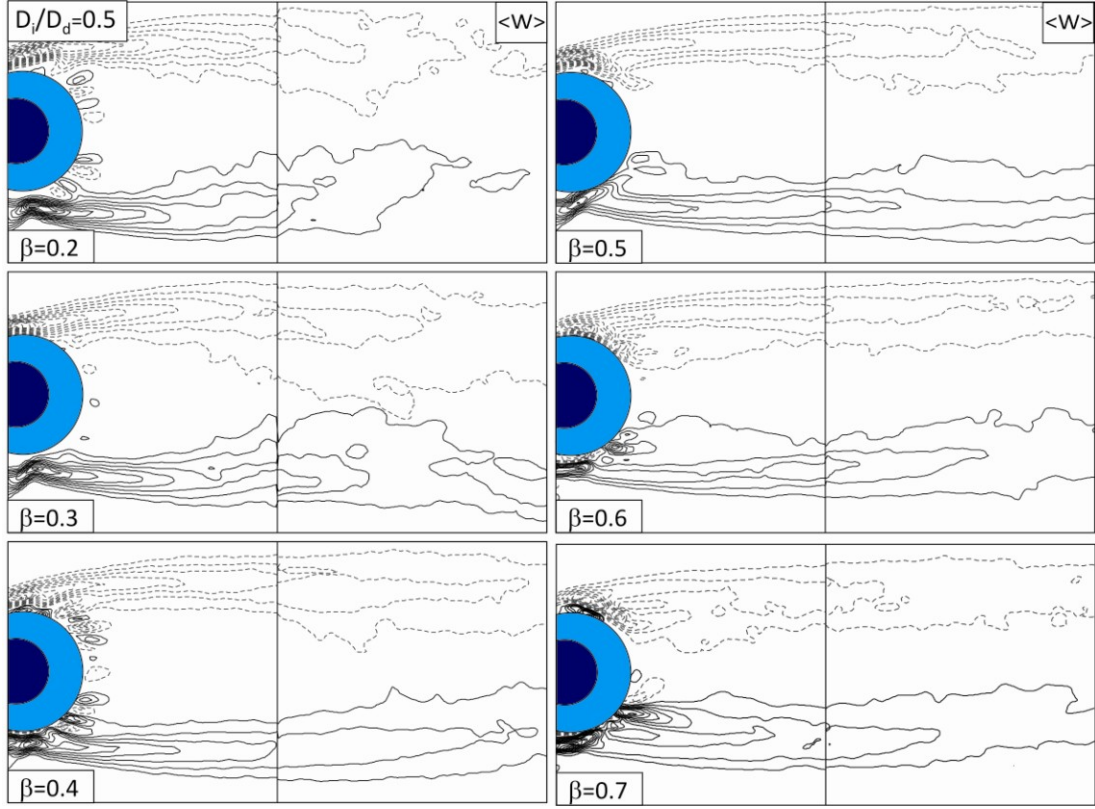
Şekil 4.12. Çap oranı $D_i/D_d=0.4$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

$D_i/D_d=0.4$ çap oranı durumunda silindir çifti arkasında meydana gelen akış yapısı için ortalama hız alanları $\langle v \rangle$ Şekil 4. 12.'de gösterilmiştir. Delikli silindirin eklenmesiyle $D_i=40\text{mm}$ çaplı iç silindirin duruma kıyasla art izi daha geniş iz bölgesi oluşmaktadır. Geçirgenlik oranının artmasıyla ($\beta \leq 0.6$ 'ya kadar) dış silindirdeki deliklerden çıkan akışın etkisi iz bölgesi dış silindirin bulunmadığı duruma kıyasla daha uzundur.



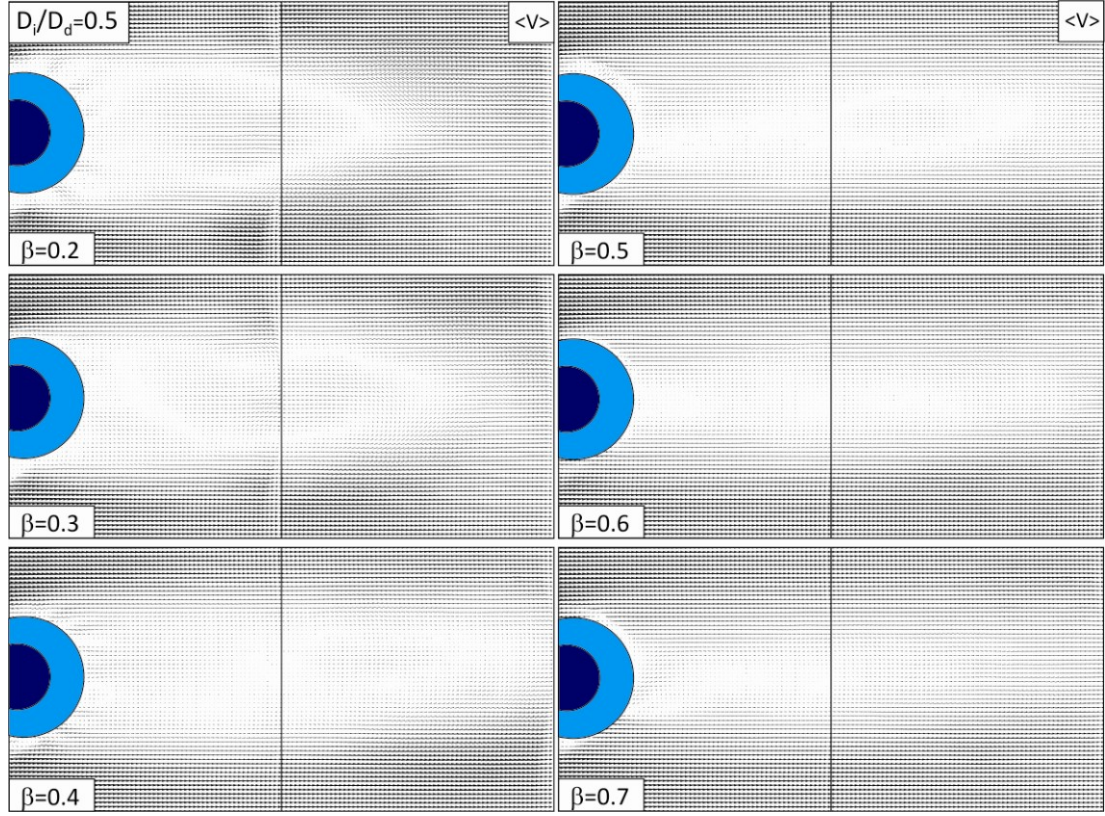
Şekil 4.13. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

Şekil 4.13.'de çap oranı $D_i/D_d=0.5$ için Reynolds gerilmeleri gösterilmiştir. Bundan önceki çap oranlarında görülen durum bu oran içinde geçerlidir. Bu çap oranında geçirgenlik oranının artmasıyla $\beta=0.2$ 'den $\beta=0.7$ 'ye doğru ilerledikçe gerilmelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Her geçirgenlik oranı kendi içinde bir önceki çap oranına kıyaslandığında ise çap oranı (D_i/D_d)'nın artmasıyla silindirler arasındaki boşluğun azalmasından dolayı dış silindirin etkinliğini kaybetmesi nedeniyle yoğunluğun arttığı görülmektedir.



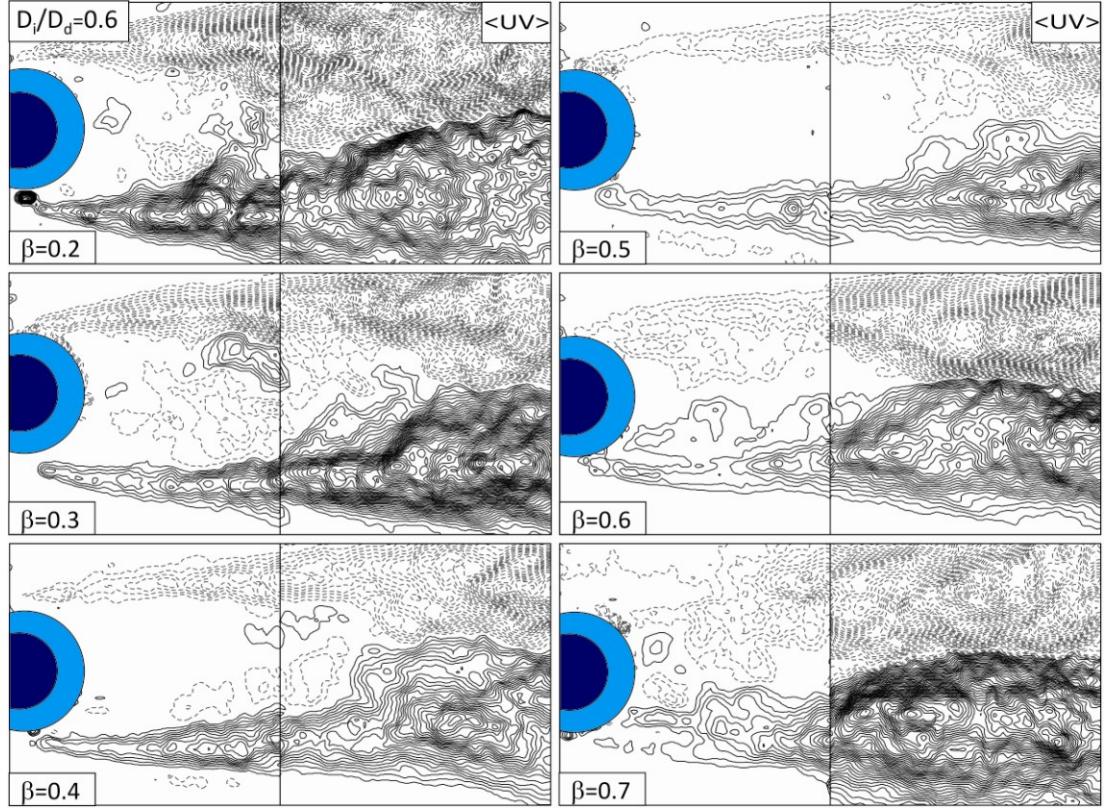
Şekil 4.14. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.14.'de çap oranı $D_i/D_d=0.5$ için girdap konturları gösterilmiştir. Bu çap oranında geçirgenlik oranının artmasıyla $\beta=0.2$ 'den $\beta=0.7$ 'ye doğru ilerledikçe pozitif ve negatif girdap çiftinin birbirine yöneliminin azaldığı görülmektedir. $\beta=0.2$ ve $\beta=0.3$ geçirgenlik oranlarında girdap çiftlerinin iç silindirin tek olduğu durumdakine benzer olarak birbirine yöneldiği görülmektedir. Bu durum çap oranının artmasıyla silindirler arasındaki boşluğun azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.15. Çap oranı $D_i/D_d=0.5$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

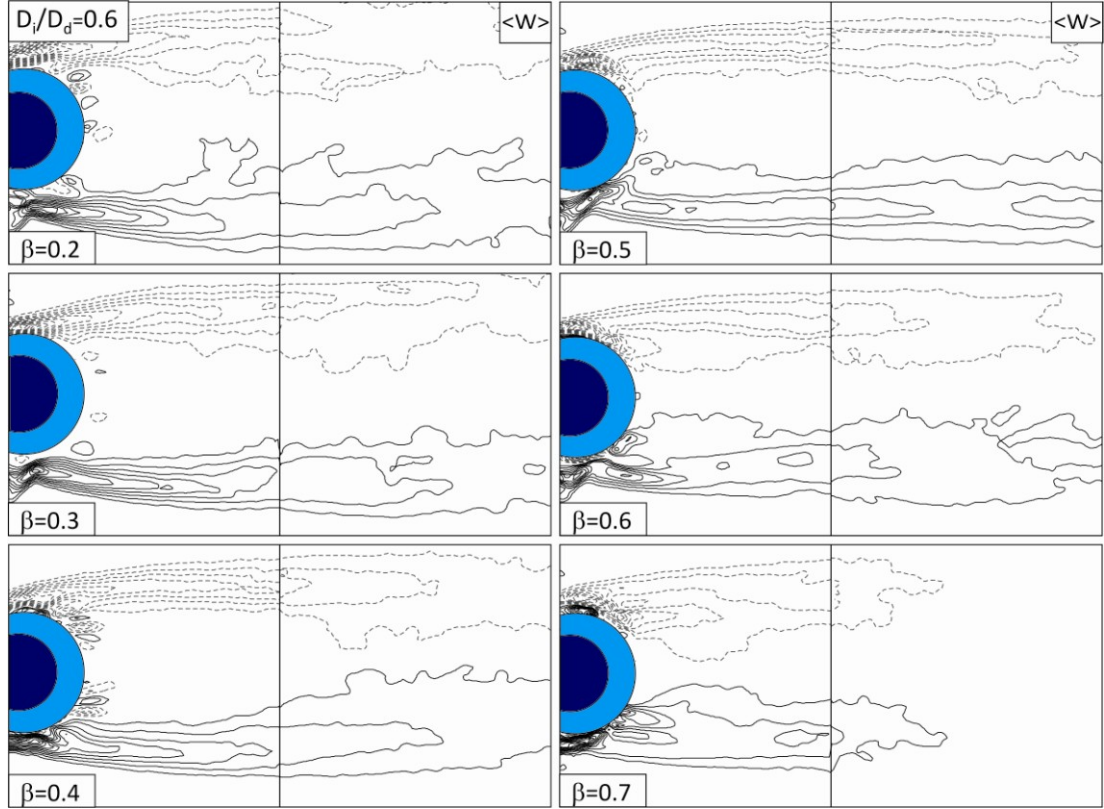
$D_i/D_d=0.5$ çap oranı durumunda silindir çifti arkasında meydana gelen akış yapısı için ortalama hız alanları $\langle v \rangle$ Şekil 4. 15.'de gösterilmiştir. Bundan önceki çap oranları ($D_i/D_d=0.3$ ve 0.4) için yapılan yorumların benzeri bu çap oranı içinde ifade edilebilir.



Şekil 4.16. Çap oranı $D_i/D_d=0.6$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

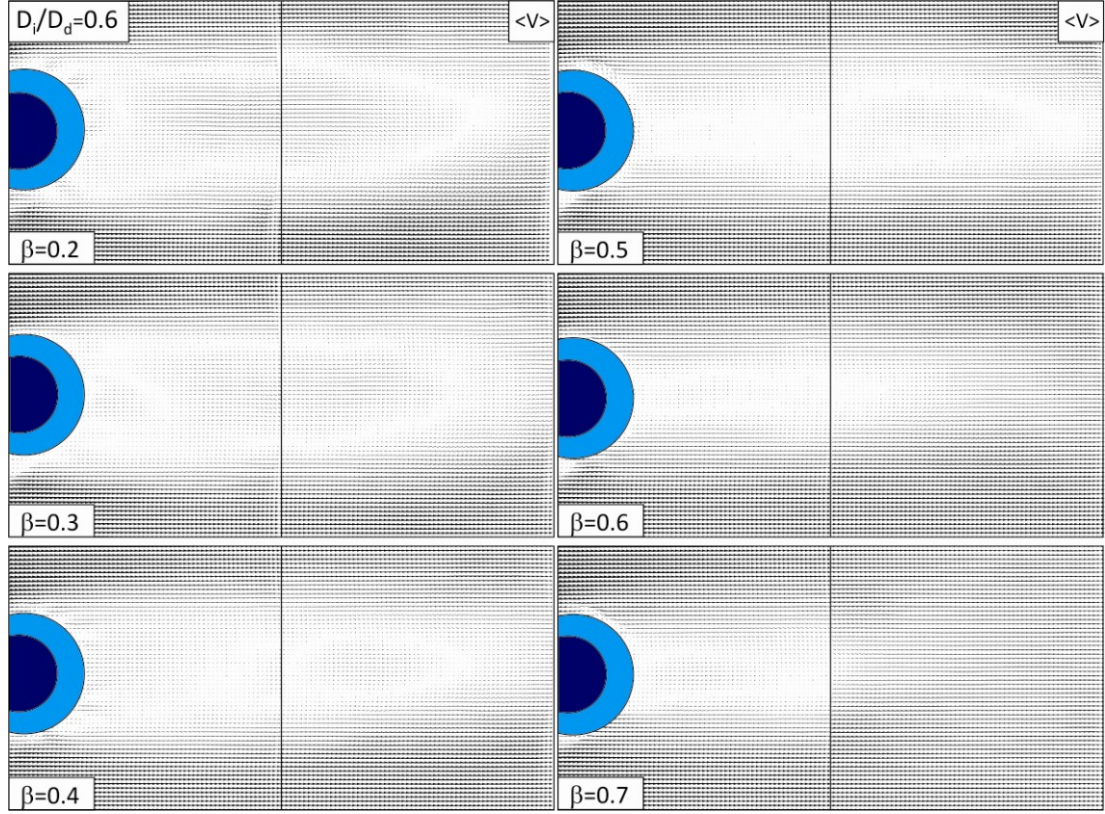
Şekil 4.16.'da $D_i/D_d=0.6$ çap oranı için farklı geçirgenlik oranında silindir çifti arkasında oluşan Reynolds gerilmeleri gösterilmiştir. Geçirgenlik oranının artmasına paralel olarak gerilmelerin yoğunluğunun azaldığı ve $\beta=0.5$ oranı $D_i/D_d=0.6$ için en iyi kontrol sağlandığı oran olarak belirlenmiştir. $\beta \geq 0.6$ dan itibaren silindirler arasındaki boşluk oranının azalmasıyla delikli silindirin kontrol üzerindeki etkisinin azaldığı görülmektedir.

$D_i/D_d \leq 0.6$ durumları için dış silindir üzerinde bulunan deliklerden çıkan jet akış, silindirin her iki yanında meydana gelen girdapların birbiriyle etkileşimini engelleyerek, ölü akış bölgesine momentum transferini azaltmakta ve girdapların oluşumu ve kopması akış doğrultusunda uzak bölgelere taşınmaktadır.



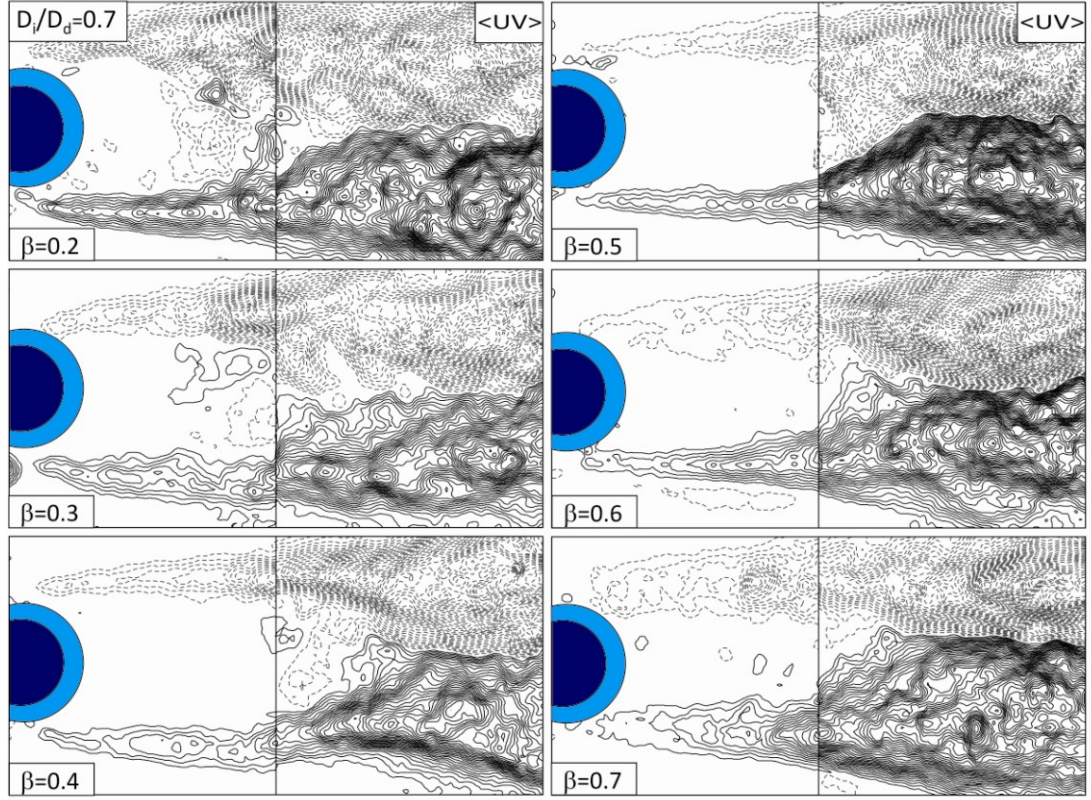
Şekil 4.17. Çap oranı $D_i/D_d=0.6$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.17.'de $D_i/D_d=0.6$ çap oranı için girdap konturları gösterilmiştir. $D_i/D_d \leq 0.6$ önceki oranlardan farklı olarak $\beta \geq 0.6$ 'dan itibaren girdapların kısaldığı görülmektedir. $D_i/D_d=0.6$ oranı için $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı kontrolün en iyi sağlandığı orandır.



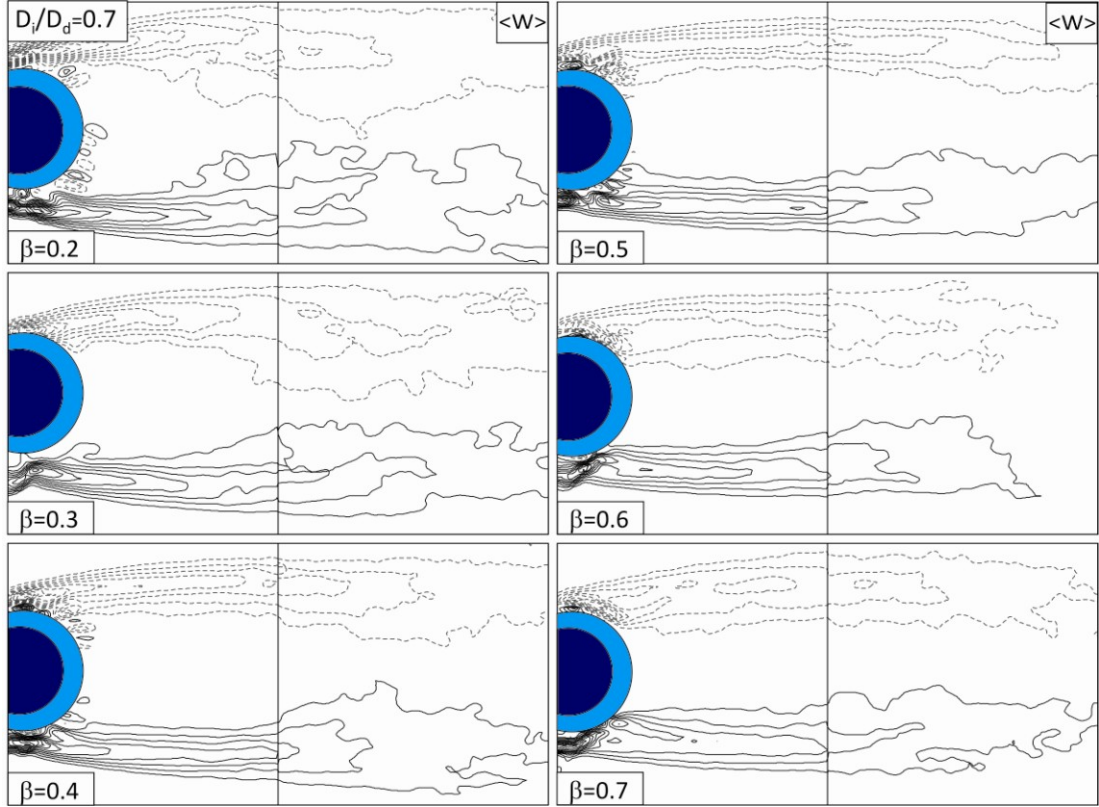
Şekil 4.18. Çap oranı $D_i/D_a=0.6$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

Şekil 4.18.'e bakıldığında $\beta=0.5$ 'e kadar silindir arkasındaki iz bölgesi akış doğrultusunda uzamaktadır ancak bu değerden sonra delikli silindirin akış kontrolü üzerindeki etkisinin kaybolmaya başlamasından dolayı tekrar kısaldığı gözlenmiştir. $\beta=0.7$ oranı için silindirler arkasında oluşan iz bölgesi yaklaşık olarak dış silindirle aynı çaplı deliksiz arkasındaki iz bölgesi kadar olduğu görülmektedir.



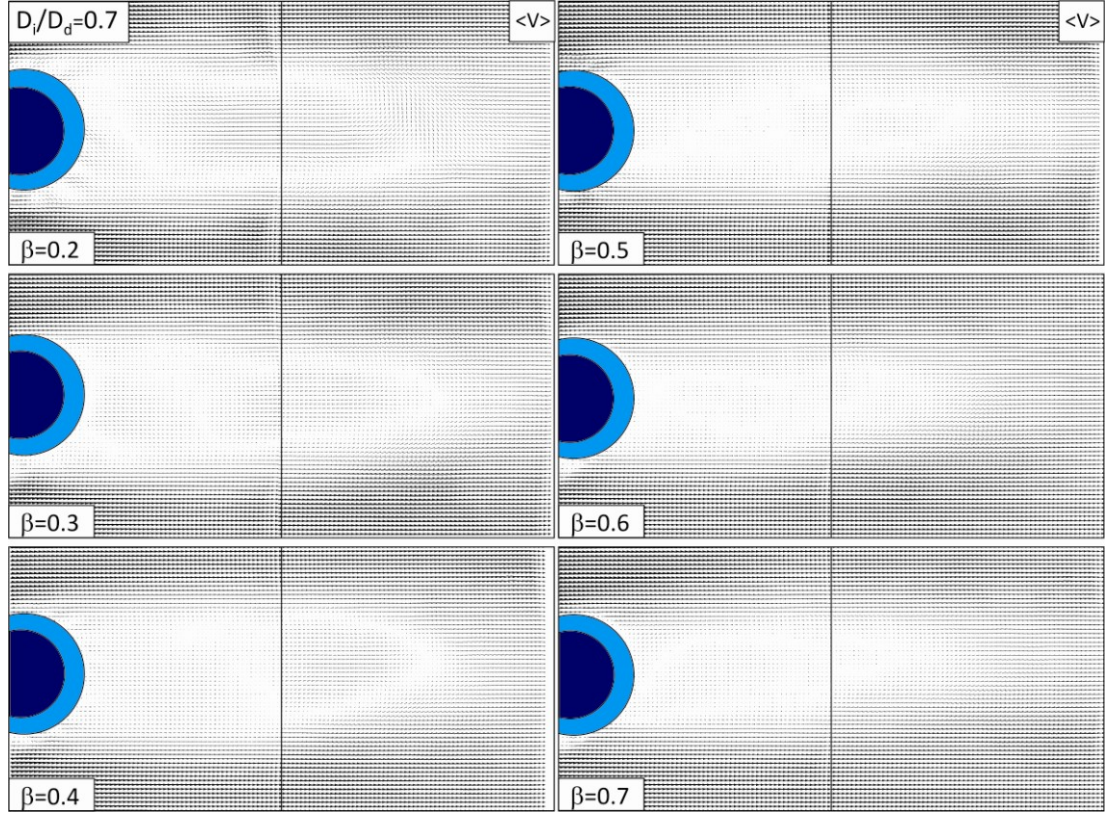
Şekil 4.19. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

Şekil 4.19.'da $D_i/D_d=0.7$ çap oranı için Reynolds gerilmeleri gösterilmiştir. $D_i/D_d \leq 0.7$ durumlarında kontrol üzerinde fazla etkili olmayan $\beta=0.6$ ve $\beta=0.7$ geçirgenlik oranlarının bu çap oranında çok az etkili olduğu görülmüştür. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı $D_i/D_d=0.7$ durumu için kontrolün sağlandığı en iyi geçirgenlik oranı olarak görülmektedir.



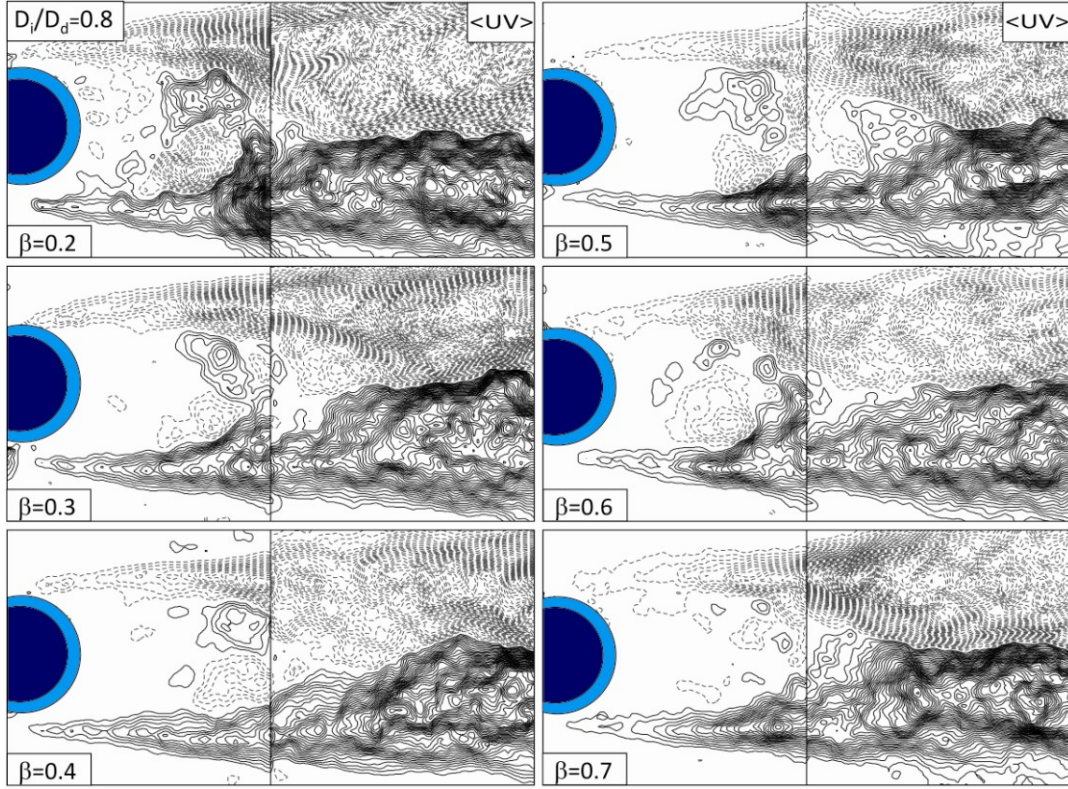
Şekil 4.20. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.20.'de gösterilen $D_i/D_d=0.7$ çap oranı için girdap konturlarına bakıldığında $\beta \leq 0.5$ oranına kadar girdapların birbirlerine yöneliminin azaldığı gözlenmiştir. $D_i/D_d > 0.7$ durumlarda geçirgenlik oranı $\beta > 0.5$ için girdapların kısaldığı belirlenmiştir.



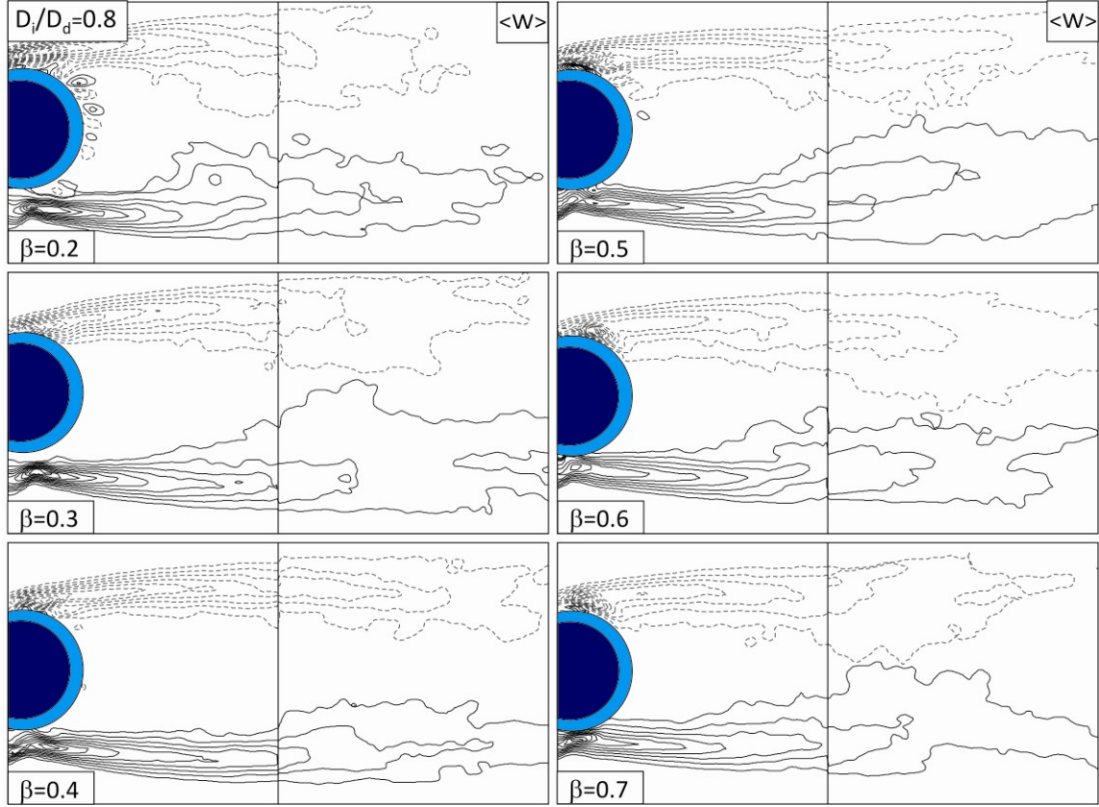
Şekil 4.21. Çap oranı $D_i/D_d=0.7$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

$D_i/D_d=0.6$ çap oranı için yapılan yorumlar $D_i/D_d=0.7$ çap oranı içinde geçerlidir. $D_i/D_d \geq 0.7$ olduğu oranlarda silindir çifti arasındaki boşluk oranı azaldığı ve $\beta \geq 0.6$ oranından sonra deliklerden çıkan jet akışın etkisinin azalmasından dolayı delikli silindirin akış yapısının kontrolü üzerinde etkisinin azalamaya başladığı gözlenmiştir.



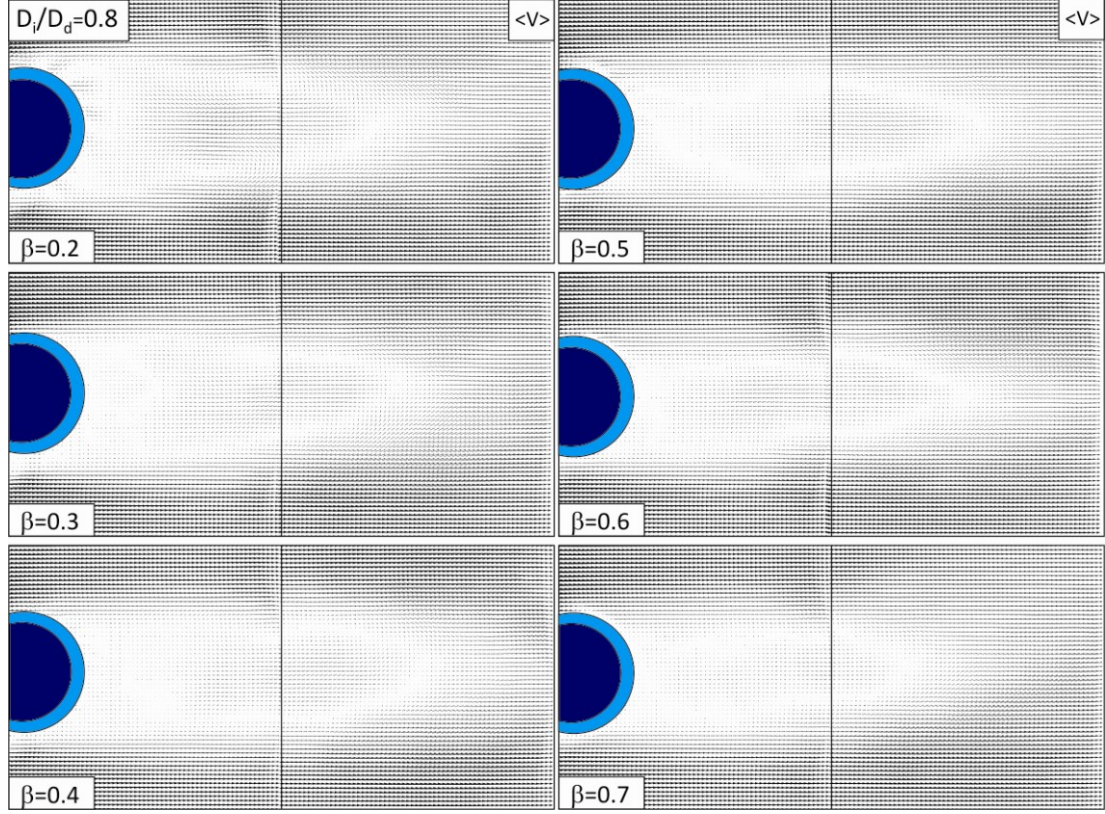
Şekil 4.22. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

Şekil 4.22.'de $D_i/D_d=0.8$ çap oranı için Reynolds gerilmeleri gösterilmiştir. $D_i/D_d \geq 0.7$ 'den itibaren delikli dış silindirin silindirler arasındaki boşluk oranının azalmasına bağlı olarak akış yapısının kontrolü üzerindeki etkinliğinin azaldığı gözlenmektedir.



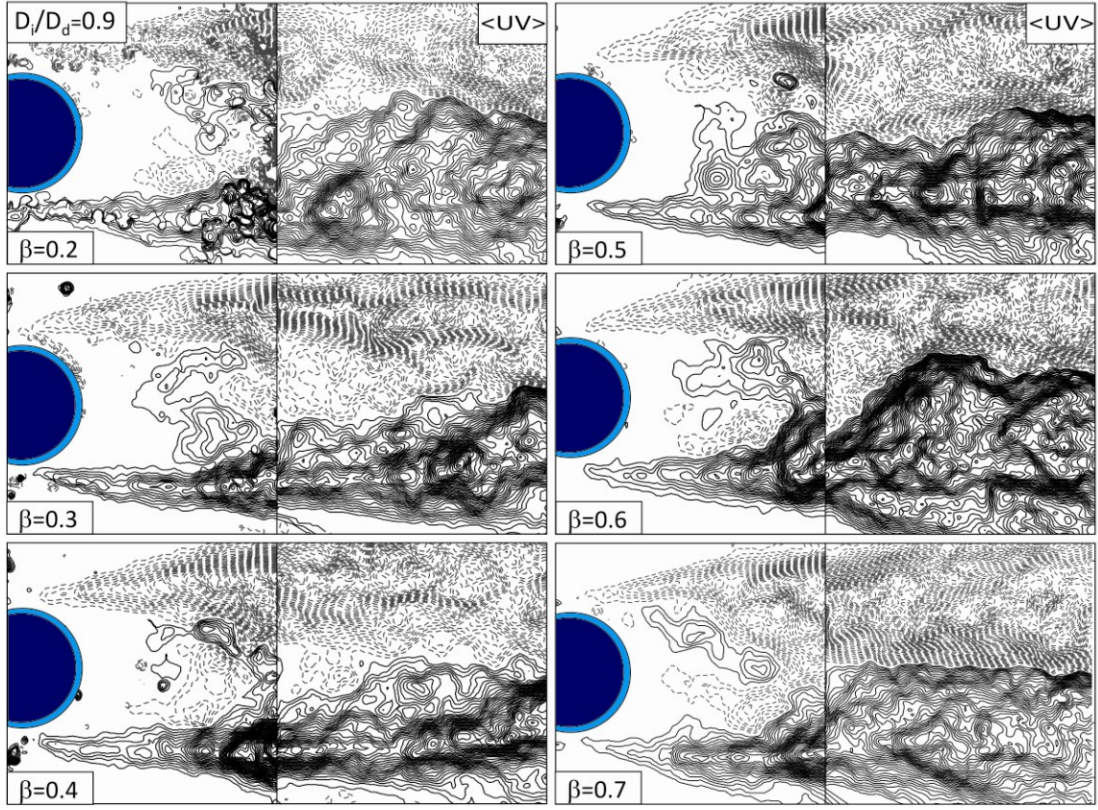
Şekil 4.23. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.23.'e bakıldığında önceki çap oranlarında ($D_i/D_d \leq 0.7$) geçirgenlik oranının artmasıyla girdap çiftlerinin birbirine yönelimlerinin azaldığı gözlenirken yüksek çap oranlarında $D_i/D_d \geq 0.7$ silindirler arası boşluğun azalmasından kaynaklı dış silindirin etkinliğinin azaldığı görülmemektedir. $D_i/D_d \leq 0.7$ olduğu çap oranlarında $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı kontrolün sağlandığı en iyi oranken, $D_i/D_d=0.8$ için $\beta=0.4$ oranı $\beta=0.5$ 'e göre daha iyi kontrol sağlandığı görülmektedir.



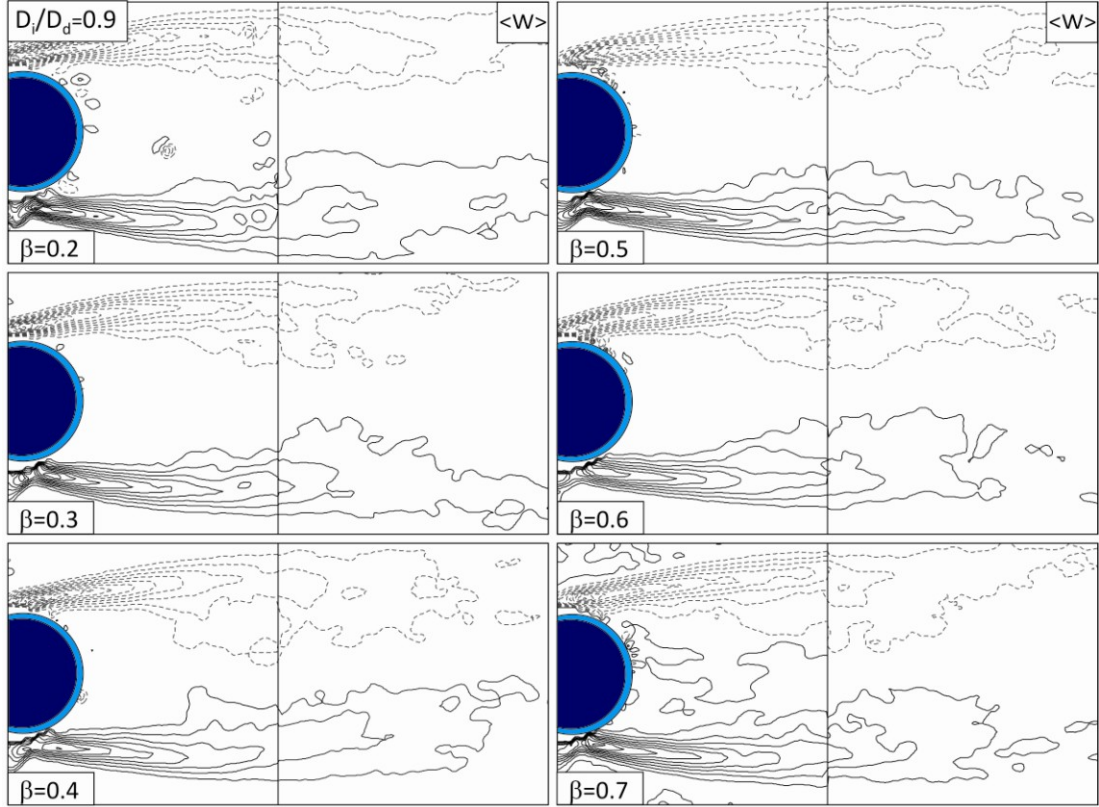
Şekil 4.24. Çap oranı $D_i/D_d=0.8$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

Şekil 4.24.'de $D_i/D_d=0.8$ çap oranı için silindirler arkasında oluşan hız alanları $\langle v \rangle$ gösterilmiştir. $D_i/D_d=0.7$ durumunda yapılan yorumların benzeri bu çap oranı içinde geçerlidir.



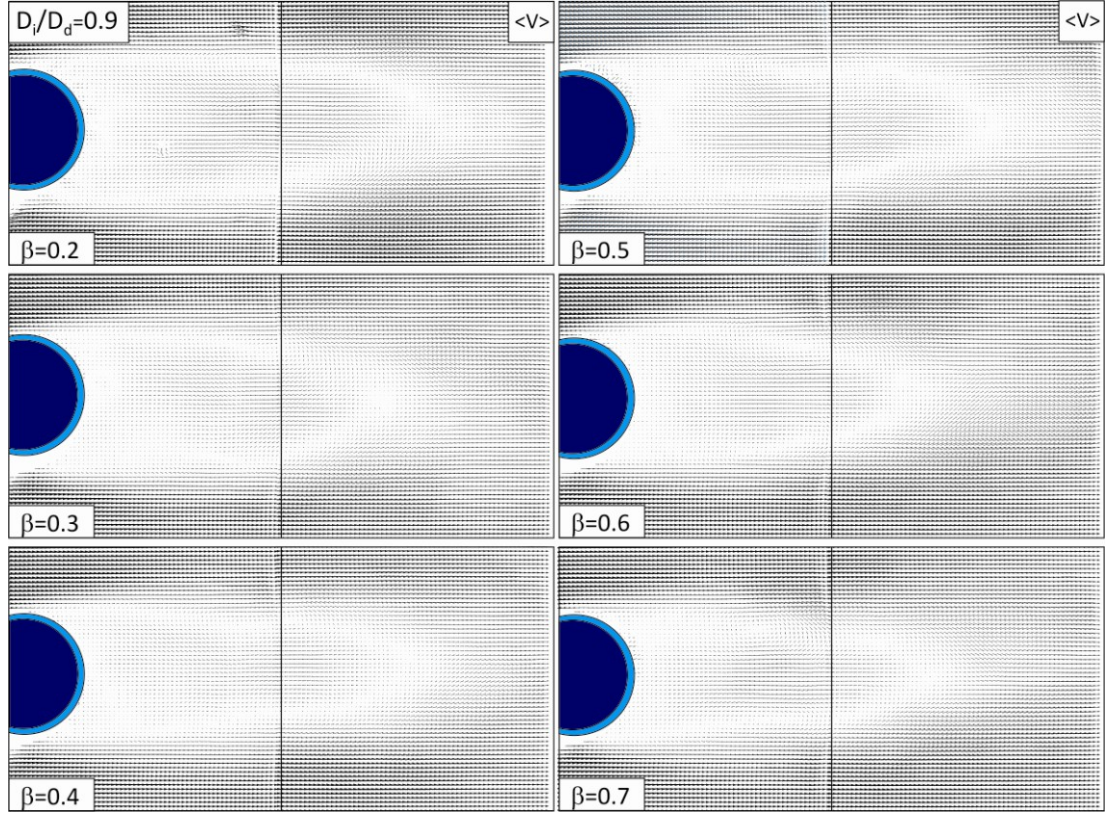
Şekil 4.25. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftinin Reynolds gerilmeleri

Yapılan çalışmada silindirleri arasındaki boşluğun en az olduğu çap oranı $D_i/D_d=0.9$ için Reynolds gerilmeleri Şekil 4.25.'de gösterilmiştir. Şekil 4.25. incelendiğinde önceki çap oranlarında görülen geçirgenlik oranının artmasıyla azalan gerilme yoğunluğu bu çap oranında gözlenmediği ifade edilebilir. Dış silindirin etkinliği, çap oranının artmasıyla azalmaktadır. Silindir çiftinin tek bir silindir gibi davrandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.26. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ durumu için farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çiftine ait ortalama girdap konturları

Şekil 4.26.'da $D_i/D_d=0.9$ çap oranı için girdap konturları incelendiğinde tüm geçirgenlik oranlarında pozitif ve negatif girdapların birbirlerine yöneldikleri görülmektedir. Bu durum iç silindir ($D_i=90\text{mm}$) ve dış silindir ($D_d=100\text{mm}$) arasındaki boşluğun azalmasından dolayı dış silindirin kontrol üzerinde etkin olmadığı görülmektedir. Silindir çifti tek bir silindir gibi davrandığı girdapların birbirlerine yöneliminden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.27. Çap oranı $D_i/D_d=0.9$ durumunda farklı geçirgenlik oranlarına göre silindir çifti için zaman ortalama hız alanları

$D_i/D_d=0.9$ çap oranı için hız alanları incelendiğinde tek silindir durumuna göre akış doğrultusunda daha uzun olan, silindir arkasındaki iz bölgesinin “s” benzer salınım yaptığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çap oranı $D_i/D_d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ ve geçirgenlik oranı $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ durumları için eş merkezli olarak yerleştirilen silindirler derin suda PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Deneysel boyunca su yüksekliği $h_w=400\text{mm}$ (platform ile su yüzeyi arasında) sabit tutulmuş, su hızı $U=100\text{mm/s}$ ve dış çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D=10000$ olarak alınmıştır. Lazer kaynağından gönderilen lazer platform ile su yüzeyi arasındaki mesafe $h_w=400\text{mm}$ 'ın yarısı olacak şekilde orta düzlemden platform yüzeyinden $h_L=200\text{mm}$ yükseklikte gönderilmiştir. Deneysel süresince her bir çap oranı için farklı geçirgenlik oranı $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ durumları, iç silindirlerin tek bulunduğu durum ve dış silindirlerin tek bulunduğu durumlar için 350 adet anlık ölçüm gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm üç kez tekrarlanmıştır. Deneysel elde edilen Y1 ve Y2 alanları birleştirilerek tek bir alan halinde sunulmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda, altıgen delikli silindirin tüm çap oranlarında ($D_i/D_d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$) iç silindirin tek bulunduğu duruma kıyasla etkili olduğu gözlenmiştir. Silindir arkasında meydana gelen akış yapısı pasif yöntemle kontrol edilmiştir. Çap oranının artmasıyla iç ve dış silindir arasındaki boşluğun azalmasından dolayı dış silindirin akış yapısının kontrol üzerinde etkinliğinin azaldığı gözlenmiştir. $D_i/D_d \geq 0.7$ 'den itibaren dış silindirin etkisi azalmaya başladığı belirlenmiştir. Delikli silindirin, tüm geçirgenlik oranlarında ($\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$) iç silindirin tek olduğu duruma kıyasla kontrol üzerinde etkili olduğu ancak geçirgenlik oranının artmasıyla $\beta \geq 0.6$ delikli silindirin kontrol üzerindeki etkinliği azalmaktadır. $\beta=0.5$ geçirgenlik oranı, $D_i/D_d \leq 0.6$ durumları için akış yapısı kontrolü üzerinde en ideal geçirgenlik oranı olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adrian, R. J., “Particle-imaging techniques for experimental fluid Mechanics”, Annual Review of Fluid Mechanics, 23: 261-304, (1991).
- Akar, M. A., “Sığ Suda Yan Yana Dizili Silindirler Arkasında Oluşan Türbülanslı Akışın İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102 s., (2003).
- Akar, M. A., “Sığ Suda Yan Yana Dizili Silindirler Arkasındaki Akış Yapısının Kontrolü”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 224 s., (2008).
- Akar, M. A., Akıllı H., Şahin, B., “ Sığ suda Yan Yana Dizili Silindirler Arakasında Oluşan Girdapların Plakalar Yardımıyla Kontrol Edilmesi”, GAP V. Mühendislik Kongresi Bildir Kitabı, Şanlıurfa, (2006).
- Akar, M. A., Akıllı, H., Şahin, B., “Sığ Suda Yan yana Sıralı İki Silindir Arkasındaki Daimi Olmayan Akış Yapısının İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 99 – 104, (2011).
- Akar, M. A., Matur, M. A., Akıllı, H., Şahin, B., “Sığ Suda Yan Yana Sıralı İki Silindir Arakasında Oluşan Akış Yapısının Pasif Yöntemlerle Kontrolü”, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri, (2007).
- Akar, M. A., Pınar, E., Akıllı, H., Şahin, B., “Sığ Suda Yan Yana Sıralı İki Silindir Arkasındaki Simetrik Olmayan Akış Yapısının İncelenmesi”, 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sivas, (2009).
- Akçadircı, E., “ Dairesel Silindir Etrafındaki Akım Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83 s., (2006).
- Akıllı, H., Gözmen, B., Şahin, B., “Değişik Yükseklikte Plakaların Silindir Arkasındaki Akış Yapısına Etkisi”, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 22(2), 175-184, (2007).
- Akıllı., H., Şahin, B., Akar, A., Karakuş, C., Aksoy, M., Özalp, C., “Sığ suda silindir/silindirler ardında oluşan daimi olmayan akış yapısının aktif ve pasif yöntemlerle kontrolü”, TÜBİTAK Destekli Projeler Veri Tabanı, TÜBİTAK ÇAYDAG 105M267, 179 s. (2008). [<http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/> (Erişim Tarihi 01.05.2012)].

- AlRefaie, A.M., “Flow Control Around Circular Cylinder: Ventilation holes Method”, Toledo Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 55s., (2009).
- Apaçoğlu, B., “Silindir üzerindeki Laminer ve Türbülanslı Akışın Kontrolsüz ve Kontrollü HAD Analizleri”, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104 s., (2010).
- Çakır Ö., “Sıg Su Akışında Ardı Ardına Dizili Silindirler Arkasındaki Akış Yapısının İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96 s., (2008).
- Çelik, S., Karakuş, C., Akıllı, H., Şahin, B., “Sonlu Silindir Üzerindeki Akış Yapısının Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV) ile İncelenmesi”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 107 – 126, (2011).
- Delaunay, Y., Kaiktsis, L., “Active control of cylinder wakes: use of base suction and blowing”, ESAIM: Proceedings, 7, 104-119, (1999).
- Durhasan, T., “Sıg Suda Dairesel Silindir Arkasındaki Akışın Delikli Yarım Silindir Tarafından Kontrolü”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 167s., (2013).
- Durhasan, T., Pınar, E., Özkan, G. M., Akıllı, H., ve Şahin, B., “Silindir Arkasındaki Akışın Delikli Yarım Silindir Yardımıyla Kontrolü”, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, İstanbul, (2012).
- Dütsch, H., Durst, F., Becker, S. and Linenhart, H. “Low-Reynolds-number flow around an oscillating circular cylinder at low Keulegan-Carpenter numbers”, *J. Fluid Mech.*, 360:249-271, (1998).
- Engin, T. (Çeviri Editörü), Öz, H. R., Küçük, H., Çeşmeci, Ş., “Akışkanlar Mekaniği: *Temelleri ve Uygulamaları*”, Güven Kitapevi, İzmir, 938s., (2008). [Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., “Fluid Mechanics: *Fundamentals and Applications*”, McGraw-Hill, 992 s., (2006).]
- Fransson, J.H.M., Konieczny, P. ve Alfredsson, P.H., “Flow Around a Porous Cylinder Subject to Continuous Suction or Blowing”, *Journal of Fluids and Structures*, 19: 1031-1048, (2004).

- Galvao, R., Lee, E., Farrell, D., Hovera, F., Triantafyllou, M., Kitney, N., Beynet, P., “Flow control in flow–structure interaction”, *Journal of Fluids and Structures*, 24: 1216–1226, (2008).
- Gim, O., HyunKim, S., Lee, G., “Flow control behind a circular cylinder by control rods in uniform stream”, *Ocean Engineering*, 38:2171–2184, (2011).
- Gözmen B., Akıllı, H., Şahin, B., “Sığ Suda Silindir Arkasındaki Akışın Değişik Yükseklikteki Plakalar Yardımı ile Kontrolü”, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak, 88 – 93, (2011a).
- Gözmen, B., “Sığ Suda Silindir Arkasında Oluşan Girdabın Kontrol Edilmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112 s., (2007).
- Gözmen, B., Akıllı, H., Şahin, B., “Control of circular cylinder wake via splitter plate in shallow flow”, 6. Ankara International Aerospace Conference, Ankara, (2011b).
- Karadeniz, Z. H., Kumlutaş, D., Özer, Ö., “Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Yöntemi: siplit klima iç ünitesi örneği”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1251-1262, (2011).
- Kaykısızlı, H., “Rüzgar Tüneli ve Akış Görüntüleme Teknikleri”, Kocaeli, 173 s., (2006).
- Kemalli, O., “Measurements of Velocity Profiles by Using Particle Image Velocimeter”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153s., (2009).
- Koike, M., Nagayoshi, T. and Hamamoto N., “Research on aerodynamic drag reduction by vortex generators”, *Technical papers* 16:11-16, (2004).
- Kumar, R, A, Shon, C, ve Gowda, B. H. L., “Passive Control of vortex-induced vibrations: An Overview”, *Recent Patents on Mechanical Engineering*, 1: 1-11, (2008).
- Kunze, S., Brücker, C., “Control of vortex shedding on circular cylinder using self-adaptive hairy-flaps”, *C. R. Mecanique*, 340:41 – 56, (2012).

- Kuo, C.-H., Chen, C.-C., “Passive control of wake flow by two small control cylinders at Reynolds number 80. *Journal of Fluids and Structures*, Taiwan, 25:1021–1028, (2009). *Journal of Fluids and Structures*, Republic of Korea, 24:2–17, (2008).
- Kuo, C.H., Chiou, C. and Chen, C., “Wake flow pattern modified by small control cylinders at low reynolds number”, *Journal Of Fluids And Structures*, 23:938-956, (2007).
- Lim Hee-Chang, Lee Sang-Joon, “Flow control of a circular cylinder with o-rings”, *Fluid Dynamics Research*, 35:107-122, (2004).
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W. “Fundamentals of Fluid Mechanics”, John Wiley & Sons, 784s., (2009).
- Öner, A. A., Çobaner, M., Kırkgöz, M. S., Aköz, M.S., “Yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımda maksimum hızın yapay sinir ağları ile tahmini”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1):63-70, (2010).
- Öner, A. A., “Dairesel Kesitli Yatay Elemanlar Etrafındaki Akımın Deneysel İncelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 142 s., (2007).
- Özkan, G. M., “Sığ Suda Ağ Yapılı Silindir Vasıtasıyla Dairesel Silindirin Akış Kontrolü”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 99 s., (2011).
- Özkan, G. M., Pınar, E., Akıllı, H., Şahin, B., “Silindir Etrafındaki Akış Yapısının Ağ Yapılı Silindir ile Kontrolü”, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak, 94 – 98 , (2011).
- Özkan, G.M., Oruç, V., Akıllı, H., Şahin B., “Flow around a cylinder surrounded by a permeable cylinder in shallow water”, *Experiment in Fluids*, (2012).
- Özmert, M., “Bir Kontrol Çubuğu ile Kare Model Etrafındaki Akış Kontrolünün Deneysel İncelenmesi”, *Niğde Üniversitesi Fen Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 84 s., (2010).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) <http://www.ex-en.com.tr/217E1CF5AE0D434483744F119795D778/piv> (31.08.2012).

- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) www.piv.de/piv/index.php (31.08.2012).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) <http://ocw.metu.edu.tr/course/view.php?id=66> (31.08.2012).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) <http://www.dantecdynamics.com/Default.aspx?ID=820> (31.08.2012).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) <http://www.seika-mt.com/product/piv-en/index.html> (31.08.2012).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_image_velocimetry (31.08.2012).
- Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV_Particle Image Velocimetry) <http://www.tsi.com/PIV-System-2D-Measurement/> (31.08.2012).
- Paydaş, K., Akar, A., Karakuş, C., Akıllı, H., Şahin, B., “Delikli Silindir Arkasında Oluşan Akış Yapısının Sığ Suda İncelenmesi”, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri, (2007a).
- Paydaş, K., “Sığ Suda Delikli Silindir Arkasındaki Akış Yapısı”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87 s., (2008).
- Paydaş, K., Akıllı, H., Şahin, B., “Flow Structure Behind a Perforated Circular Cylinder in Shallow Water”, 4. Ankara International Aerospace Conference, Ankara, (2007b).
- Pınar, E., Özkan, G. M., Akıllı, H., Şahin, B., “ Flow Control Downstream of a circular cylinder via a surrounding perforated cylinder”, 6. Ankara International Aerospace Conference, Ankara, (2011b).
- Pınar, E., Özkan, G. M., Akıllı, H., Şahin, B., “Sığ Suda Silindir Arkasında Oluşan Girdabın Delikli Silindir Yardımıyla Kontrol Edilmesi”, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak, 76 – 81 , (2011a).
- Pınar, E., Özkan, G.M., Aksoy, M. M., Akıllı, H., Şahin, B., “Derin Suda Silindir Arkasında Oluşan Girdabın Delikli Silindir Yardımıyla Kontrol Edilmesi”, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, İstanbul, (2012).
- Seong- Jae Kim, Choung Mook Lee, “Control of flows around a circular cylinder: suppression of oscillatory lift force”, Fluid Dynamics Research, 29:47-63, (2001).

- Tümen, N. F., “Silindir Arkasında Oluşan Girdabın Plaka Yardımıyla Kontrol Edilmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70 s., (2005).
- Weier, T., Gerbeth, G., Mutschke, G., “Experiments on cylinder wake stabilization in an electrolyte solution by means of electromagnetic forced localized on the cylinder surface”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 16:84-91, (1998).
- Westerweel J., *Digital particle image velocimetry, Theory and Application*, Delft University Press, (1993).
- White, F. M., “*Fluid Mechanics*”, McGraw-Hill, 862s., (2010).
- Wu, W., Yuan, J., Cheng, L., “Multi-high-frequency perturbation effects on flow-induced vibration control.” *Journal of Sound and Vibration*, 305:226–242, (2007).
- Yücel, S. B., Çetiner, O., Ünal, M. F., “Flow around a circular cylinder with o-rings”, 4. Ankara International Aerospace Conference, Ankara, (2007).
- Zhao, M., Cheng, L., “Finite element analysis of flow control using porous media”, *Ocean Engineering*, 37: 1357–136, (2010).

ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Mehmet KÜÇÜK

Doğum Tarihi: 01/05/1985

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Mersin Mehmet Adnan Özçelik Anadolu Lisesi	1997 – 2004
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Mersin Üniversitesi	2005 – 2009
Yüksek Lisans	Makine Eğitimi	Mersin Üniversitesi	2010 – 2013

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
-----YOK-----	-----YOK-----	-----

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Küçük, M., Akar, M. A., “Silindir Arkasındaki Daimi Olmayan Akış Yapısının Pasif Yöntemle Kontrolü”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (Kabul Edildi)