



FARKLI GÖZENEKLİLİK VE AÇI DEĞERLERİNE SAHİP GEÇİRGEN AYIRICI PLAKA İLE DAİRESEL BİR SİLİNDİRİN AKIŞ KONTROLÜ

Serdar ŞAHİN*, Tahir DURHASAN**, Engin PINAR***, Hüseyin AKILLI****

* Çukurova Üni., Makine Müh. Böl., Adana, Türkiye serdarsa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6451-3329>

** Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, tdurhasan@atu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-5212-9170>

*** Çukurova Üni., Makine Müh. Böl., Adana, Türkiye epinar@cu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7484-8616>

**** Çukurova Üni., Makine Müh. Böl., Adana, Türkiye hakilli@cu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-5240-8441>

(Geliş Tarihi: 06.06.2023, Kabul Tarihi: 18.03.2024)

Özet: Titreşim ve akustik gürültü veya rezonans gibi iz akışının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için batık gövdelerin akış kontrolü kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Isı eşanjör boruları, enerji nakil hatları, egzoz bacaları, köprüler, radyo teleskoplar, enerji hatları, açık deniz sondaj kuleleri vb. birçok mühendislik uygulamalarında kullanılan, silindir gövdenin iz akışını kontrol etmek için çeşitli art iz konumuna geçirgen bir ayırıcı plaka yerleştirilmiştir. Tüm deneyler, Çukurova Üniversitesi Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'ndaki büyük ölçekli bir kapalı devre su kanalında, PIV kullanılarak, silindir çapına (D) bağlı olarak $Re=5000$ 'de gerçekleştirilmiştir. Dört farklı ayırıcı plaka açısı ($\theta=0^\circ$; 15° ; 30° ; 45°), üç farklı gözeneklilik ($\epsilon=0.30$; 0.50 ; 0.70) incelenmiştir. Ayırıcı plakaların geçirgenliği (ϵ) plaka üzerindeki toplam delik alanının, plaka toplam alanına oranı olarak belirlenmiştir. Tüm değişkenler silindir çapına (D) bölünerek boyutsuzlaştırılmış ve * indisi ile gösterilmiştir. Ayırıcı plaka uzunluğu da deney sırasında $l_s^*=1$ olarak sabit tutulmuştur. Ayırıcı plaka ile silindir arasındaki mesafe, ayırıcı plakanın art iz eksenine göre açısı değişken olduğundan sabit değildir. Bunun üstesinden gelebilmek için silindir ile ayırıcı plaka dönme eksenini arasındaki mesafe ele alınmış ve ** indisi ile gösterilmiştir. Ayırıcı plaka orta noktası ile silindir (l_g^{**}) arasındaki boşluk, deneyler boyunca $l_g^{**}=1.5$ olarak sabit tutulmuştur. Plakalar döndürüldüğünde akışa paralel kesit azalmakta, bu da sınır tabakaları arasındaki etkileşimi artırmaktadır. Geçirgen ayırıcı plakalar, silindir etrafındaki akışta oluşan sınır tabakalarının etkileşimini engellediğinden, sınır katmanlarının etkileşiminin arttığı ardıl bölgelerde geçirgen ayırıcı plakaların etkisi artmaktadır. Böylece dalgalanmalar azalmakta ve silindirin akış aşağısında daha kararlı bir iz akışı oluşmaktadır. Ayırıcı plaka açısının artmasıyla çevrinti oluşumunun geciktiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ayırıcı plaka açısının etkisi ve plaka geçirgenliğinin etkisi net bir şekilde gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PIV, Akış Kontrol, Silindir, Ayırıcı plaka, Geçirgen plaka

FLOW CONTROL OF A CIRCULAR CYLINDER BY PERMEABLE SPLITTER PLATE WITH DIFFERENT POROSITIES AND ANGLE VALUES

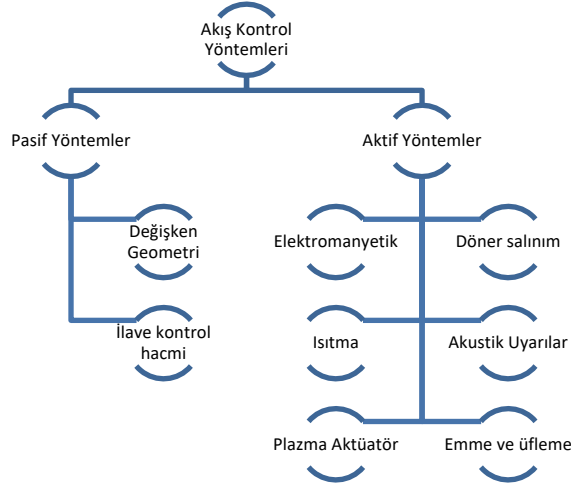
Abstract: Flow control of bluff bodies has been studied extensively to eliminate adverse effects of wake flow such as vibration and acoustic noise or resonance. The circular cylinder has been studied as the bluff body since it is basic geometry and has been used in engineering applications such as heat exchanger tubes, power transmission lines, chimney stacks, bridges, radio telescopes, power lines, offshore drilling rigs etc. In this study, a permeable splitter plate was located at various downstream locations to control the wake flow of the cylinder. All experiments were carried out in a large-scale closed-loop water channel in the Fluid Mechanics Laboratory at Cukurova University. PIV was used to measure the instantaneous velocity vector field in the wake region of the cylinder at Reynolds number $Re=5000$, which is based on the cylinder diameter, D. Four different splitter plate angle values ($\theta=0^\circ$; 15° ; 30° ; 45°), three different porosity values ($\epsilon=0.30$; 0.50 ; 0.70) were investigated. The porosity (ϵ) of the separator plates is defined as the ratio of the total hole area to the plate surface area. All lengths are nondimensionalized by dividing by the cylinder diameter and shown with the * index. The splitter plate length kept to constant during the experiment as $l_s^*=1$. The distance between the leading edge of the splitter plate and the cylinder (l_g^*) is variable due to the rotation of the separator plate at certain angles in the flow direction. To overcome this, the distance between the splitter plate rotation axis and the cylinder was taken as a parameter and shown with the **. The gap between splitter plate midpoint and cylinder (l_g^{**}) kept to constant during the experiments as $l_g^{**}=1.5$. When the plates are rotated, the cross-section parallel to the flow decreases, which increases the interaction between the boundary layers. Since the permeable separator plates prevent the interaction of the boundary layers formed in the flow around the cylinder, the effect of the permeable separator plates increases in the downstream regions where the interaction of the boundary layers increases. Thus, the fluctuations are reduced, and a more stabilized trail flow occurs downstream of the cylinder. It was observed that the vortex

formation was delayed with the increase of the separator plate angle. In this study, the effect of the separator plate angle and the effect of the plate permeability were clearly observed.

Key Words: PIV, Flow Control, Cylinder, Separator plate, Permeable plate

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Batmış bir cisim etrafındaki sabit bir akış periyodik çevrinti dökülmesine neden olur. Meydana gelen çevrinti dökülmesi, cisim üzerindeki sürüklenme kuvvetlerini artmasına sebep olur ve akışa dik yönde oluşan periyodik kuvvetler, cisim üzerinde istenmeyen zorlanmalara sebep olur. Bu zorlanmalar enerji nakil hatları, baca bacaları, köprüler, binalar, radyo teleskopları, açık deniz sondaj kuleleri, su altı boru hatları, deniz kabloları vb. gibi birçok mühendislik uygulamasında istenen veya istenmeyen titreşimlere, akustik gürültüye, rezonansa ve yorulmaya sebep olabilir. Mühendislik uygulamalarında olumlu veya olumsuz etkilerinden ötürü, art izi bölgesindeki akış davranışını kontrol etmek önemlidir. Akış kontrol yöntemleri pasif akış kontrol yöntemleri ve aktif akış kontrol yöntemleri olarak iki ana dal altında incelenebilir. Pasif akış kontrol yöntemleri batmış cismin geometrisini değiştirme (Favier, vd., 2009) ve/veya ilave kontrol hacimleri (A. Roshko 1952) kullanımıyla sınırlıdır. Aktif kontrol yöntemlerinin de ise elektromanyetik kontrol (Weier, vd., 1998), döner salınımı (Guilmineau 2002), ısıtma (Lecordier vd. 1991), akustik uyarılar (Blevins 1985), plazma aktüatörleri (Tabatabaeian 2015) gibi yöntemlerle akışa ilave enerji verilir. Kontrol yaklaşımı ise akış geri bildirim yapılmayan açık çevrim veya akıştan anlık geri bildirim yapıldığı ve buna göre değişkenlerin ayarlandığı kapalı çevrim olabilir.

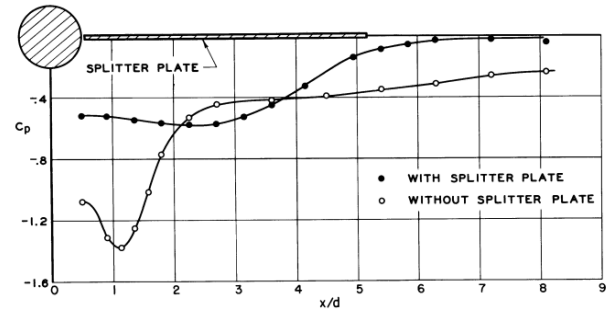


Şekil 1. Akış kontrol yöntemleri

Akış kontrolü için ayırıcı plaka kullanımı ilave kontrol hacmi ile kontrol yöntemlerinden biridir. Plaka yukarı akış, aşağı akış veya hem yukarı hem de aşağı akış bölgelerine yerleştirilebilir. Plakanın esnek (Teksin ve Yayla 2016) veya katı (Sahin vd., 2021) olabildiği uygulamalarda plaka uzunluğu ve plaka ile incelenen cisim arasındaki mesafe temel değişkenler olmakla birlikte, duruma göre plaka katılığı (Zhou vd. 2019), plaka geçirgenliği (Cardell 1993) ve plaka konumu (Gao,

vd., 2020) gibi değişkenler, farklı Reynolds akış değerlerine sahip durumlar için sürüklenme katsayısı (Cd), çevrinti dökülme sıklığı (St), Reynolds gerilmeleri, türbülans kinetik enerji seviyeleri gibi veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. **Şekil 1** de akış kontrol yöntemleri gösterilmiştir.

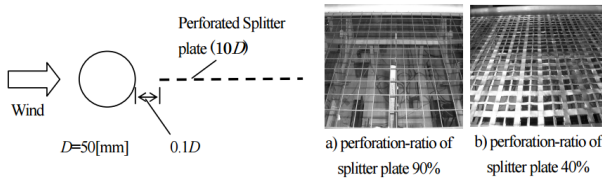
Ayırıcı plakalar ile akış kontrolü üzerine çalışan araştırmacıların öncülerinden Roshko (A. Roshko 1952), (A. Roshko 1954), periyodik saçılmanın serbest girdap katmanları arasındaki iletişime bağımlılığını göstermek için bir dizi çalışma yaptı (Re=14500). Silindirin art izi merkez düzlemine yerleştirdiği ayırıcı plaka uzunluğu 5d'ye ulaştığında (d, silindirin çapıdır), girdap dökülmesinin tamamen ortadan kalktığını ve basınç direnci önemli ölçüde azaldığını gözlemledi. Ayırıcı plakanın uzunluğu 1d olup silindire bağlandığında dökülme frekansını çok değiştirmedikçe ancak silindir ile plaka arasında boşluk bırakıldığında dökülme frekansının azaldığını ve taban basıncının arttığını bulmuştur. (**Şekil 2**). Aralık 3.85d'ye ulaşıldığında, dökülme frekansını minimuma inmiş ve taban basıncı maksimuma çıkmıştır. Burada Roshko, boşluğu silindir yüzeyi ile ayırıcı plakanın arka tarafı arasındaki mesafe olarak vermektedir.



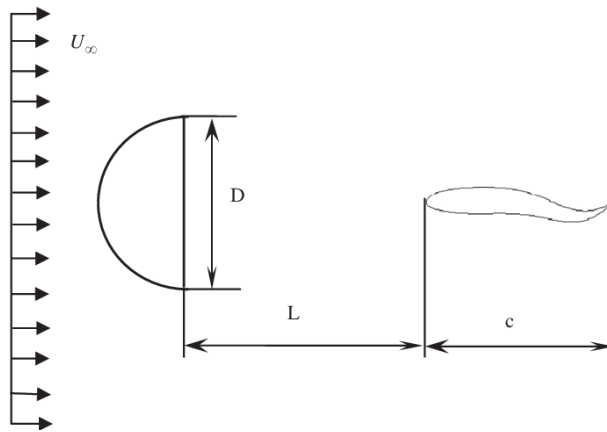
Şekil 2. Ayırıcı plakalı ve ayırıcı plakasız iz merkez hattı üzerindeki basınç. Re:14500 (A. Roshko 1954)

Cardell (Cardell 1993) $2.5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 1.8 \cdot 10^4$ Reynolds sayısı aralığında düzgün bir akışta dairesel bir silindirin art izi bölgesine farklı geçirgenlikte ayırıcı plakalar yerleştirilerek bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Ayırıcı plaka olarak ince tellerden oluşturulan plakalar kullanılmıştır ve plakaların geçirgenliği ile plakaların katılığı arasında basınç düşüşüne bağlı olarak bir ilişki belirlemiştir. Kwon ve Choi (Kwon 1996) ayırıcı plaka uzunluğu, Reynolds sayısı ile orantılı olan kritik uzunluktan daha büyük olduğunda, silindirin arkasındaki girdap saçılımının tamamen ortadan kalktığını buldular. Belirli bir Reynolds sayısı için sürüklenmeyi en aza indirmek için $1 < l/d < 2$ arasında bir optimum uzunluk olduğunu tespit ettiler. Hwang ve diğerleri (Jong-Yeon Hwang 2003) silindir art iz bölgesine yerleştirilmiş, silindir çapıyla aynı uzunluğa sahip bir ayırıcı plakanın akış kaynaklı kuvvetlere etkisini sayısal olarak incelemiştir. Ayırıcı plaka ile silindir arasındaki mesafenin ayırıcı plaka çapına oranı $G/D=2.6$ olduğunda, Girdap dökülmesini sönmelenmesi, sürüklenme kuvvetini ve kaldırma kuvvetlerinin dalgalanmasını önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır. Akıllı ve ark. (Huseyin Akilli

2005) (Akıllı vd., 2005), sıg akışta silindir arkasına yerleştirilen ayırıcı plakaların kalınlık çap oranı (T/D) ve silindir ayırıcı plaka arası mesafe oranının (G/D) girdap dalgalanmasına etkisini $Re=5000$ 'de incelemişler ve $G/D=1.75$ olduğunda akıştaki Reynolds gerilmesinin 8.5 kat azaldığını tespit etmişlerdir. Matsumoto ve ark. (Matsumoto vd. 2008) ruzđar tüneline, silindir art iz bölgesine yerleştirdikleri %60-%70 geçirgenlikli ayırıcı plakalar vasıtasıyla girdap dökülmesinin %10 civarında azaltılabileceğini gösterdiler. Xiao ve diğerleri (Xiao 2011) D kesitli silindirin art iz bölgesine yerleştirilmiş NACA0012 folyosunun hidrodinamik performansı üzerine bir dizi sayısal çalışma yaptı ve dalgalı folyonun silindir sürüklenme ve kaldırma genliği üzerindeki etkilerinin, dalgalanma oranının yanı sıra boşluk oranına da önemli ölçüde bağlı olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 3. Deneysel düzenleme (Matsumoto, ve diğerleri 2008)



Şekil 4. Deneysel düzenleme (Xiao 2011)

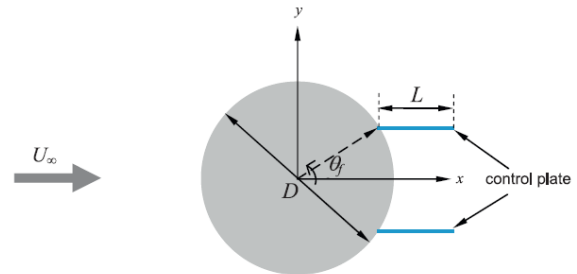
Özgören (Ozgoren 2006) alışmasında $550 \leq Re \leq 3400$ aralığında, kare ve dairesel silindir art iz bölgesindeki akışı incelemiştir. Kesitlere ve kesit yerleşimine bağlı olarak Strouhal sayılarındaki değişimleri tespit etmiş ve literatürdeki değerlerle uyumluluğunu göstermiş, Beklendiği gibi Reynolds sayısının artışı ile birlikte evrinti oluşumu mesafesinin azaldığını belirlemiştir. Özgören ve arkadaşları (Ozgoren vd. 2011) bir başka çalışmalarında ise $Re=5000$ ve $Re=10000$ de silindir ve kürenin art iz bölgesindeki akış özelliklerini incelemişlerdir. Küre art iz bölgesinde küçük ölçekli evrintilerin daha baskın olduğunu ve silindirden farklı olarak, küre için 3 boyutlu akış sebebiyle ayrılma tabakları boyunca TKE'nin en yüksek değerinin iki noktada görüldüğünü ifade etmişlerdir. Ghadimi ve ark. (Ghadimi vd. 2013) $Re=200$ için farklı uzunluk ve konuma sahip ayırıcıların dairesel bir silindirin ses basıncı düzeyine etkilerini araştırmışlar. Ayırıcıların frekans üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Kaldırma kuvveti salınımının. Ayırıcılar

Çift formda kullanıldığında ve merkez çizgisinden yarım silindir yarıçapı uzaklıkta bir konuma yerleştirildiğinde, kaldırma kuvveti salınımı yaklaşık %99.6 oranında azalır ve ses basıncı seviyesi (SPL) yaklaşık %15.4 oranında artar (durum 8). Son olarak, bir ayırıcı aynı belirlenen konuma yerleştirildiğinde, SPL %6.4 oranında azalır ve kaldırma kuvveti salınımı da %90.5 oranında bir azalma sergiler (durum 7).

Case	Length of splitter (m)	Vertical position of splitter from the center of cylinder (m)	Shape
1	-	-	
2	0.1	0	
3	0.075	0	
4	0.05	0	
5	0.025	0	
6	0.1	0.025	
7	0.1	0.05	
8	0.1	0.025	

Şekil 5. Plaka yerleşimleri (Ghadimi, ve diğerleri 2013)

Bao ve Tao (Bao ve Tao 2013) sayısal olarak laminar akış rejimi ($Re=20-160$) dahilinde olan, arka yüzeye simetrik olarak tutturulmuş çift plakalar tarafından dairesel bir silindirin art iz akış bölgesini incelemişlerdir. ($40^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$) için, $Re=160$ 'ta sürüklenme değerlerinde %13'e varan düşüş tespit etmişlerdir; bu, aynı plaka uzunluğundaki tek ayırıcı plakanın neredeyse iki katıdır.

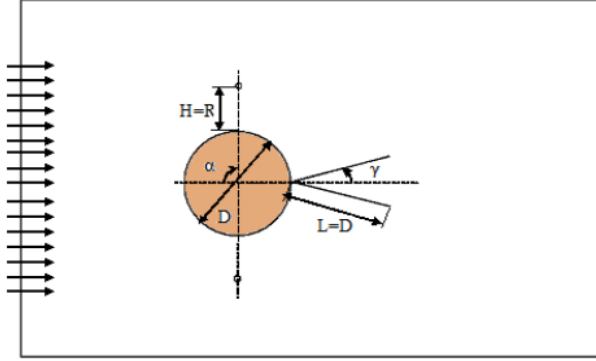


Şekil 6. Deneysel düzenleme (Bao ve Tao 2013)

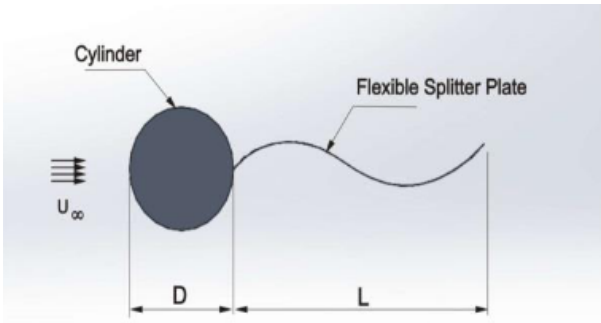
Reza-zadeh (Reza-zadeh 2013) silindir etrafındaki sıvı akışını kontrol etmek için tel plakalı elektrotları ve ayırıcı plakayı aynı anda uyguladı. Ayırma plakasının açısı 5° derecelik artışlarla 0° ila 45° arasında değişir. Bu düzenlemeye bağlı olarak korona ruzđar etkisinin nasıl değiştiğini gözlemladiler.

Lee ve You (Lee ve You 2013) ayırıcı plakanın uzunluğunu ve rijitliğini değiştirerek, esnek bir ayırıcı plakaya sahip dairesel bir silindir art iz akışını incelemişlerdir. Bir ayırıcı plakanın esnekliğinin, plakanın salınımını arttırırken, silindir yüzeyine etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerini olumsuz yönde modüle ettiğini buldular. Oruç ve diğerleri (Oruç vd. 2013) yan yana iki silindir arasına uzunluğu L ($1 \leq L/D \leq 5$) olan bir ayırıcı plaka yerleştirerek art iz bölgesindeki akışı incelediler. $L/D \geq 3$ için ayırıcı plakanın varlığıyla izdeki sapmanın ve dolayısıyla izdeki iki durumlu luğun önemli ölçüde önlendiğini, bunun da yaklaşık olarak aynı girdap salınımı büyüklük sırasına sahip iki iyi simetrik,

kararlı iz ile sonuçlandığını bulmuşlardır. Teksin ve Yayla (Teksin ve Yayla 2016) parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) kullanarak $Re=2500$ için silindir art iz bölgesine farklı uzunlukta elastik ayırıcı plakalar yerleştirmişler ve $L/D=2.5$ için girdap özgün değerlerindeki düşüşün en yüksek seviyeye çıktığını ve $L/D \Rightarrow 2.5$ için bu düşüşün neredeyse sabit kaldığını tespit etmişlerdir.



Şekil 7. Deneysel düzenleme (Reza-zadeh 2013)



Şekil 8. Deneysel yerleşimi (Teksin ve Yayla 2016)

Sahin ve arkadaşları (Sahin vd., 2021) $Re=5000$ için, silindir art iz bölgesinde farklı konumlara yerleştirdikleri, farklı geçirgenliklere sahip ayırıcı plakaların akış özneliklerine etkisini incelemişler, özneliklerdeki en yüksek düşüş için plaka geçirgenliği arttıkça plaka ile silindir arasındaki mesafenin artması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Bu makalenin amacı, iki boyutlu Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) teknikleri kullanılarak, farklı gözenekliliğe sahip ve akış yönünde çeşitli konumlarda bulunan ayırıcı plakalar kullanılarak silindirin arkasındaki kararsız akış yapısının pasif kontrolünü araştırmaktır. Hesaplama alanı, sınır koşulları ve kullanılan yöntemliliği Bölüm 2'de anlatılmakta, ardından Bölüm 3'te deney sonuçları ve irdelemeler verilmiş, bulunan sonuçlar Bölüm 4'te sunulmuştur.

DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada, düşey konumda bulunan dairesel bir silindirin art izi bölgesindeki akış davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Tüm deneysel çalışmalar, Çukurova üniversitesinin 8000 mm uzunluğunda, 1000 mm genişliğinde ve 750 mm derinliğindeki su kanalında,

Dantec PIV sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında ve su yüksekliği 0.45m (hw) ye sabitlenmiş olup tüm deneyler $Re=5000$ de yapılmıştır. Bu çalışmada seçilen Reynolds sayısı ($Re=5000$) gibi kritik altı Reynolds sayılarına sahip akışlar ters basınç gradyanları ve türbülansa geçiş süreci etkisi ile akış kararlı bir rejimde değildir. Kritik altı akışlarda, küt cisim etrafındaki daimî olmayan akış yapıları mühendislik açısından birçok belirsizliğe yol açmaktadır ve dikkatle incelenmelidir. Düşük Reynolds sayılarını gerçek dünya akış yapılarına uyarlamak, deneysel kurulum ile gerçek sistem arasında geometrik, kinematik ve dinamik benzerliklerin korunmasını gerektirir. Geometrik benzerlik, ölçeklenmiş deneysel kurulumun gerçek dünya uygulamasının fiziksel geometrisini doğru bir şekilde temsil etmesini sağlar. Kinematik benzerlik, model ve gerçek sistem arasında akış hızlarını ve ivmeleri eşleştirmeye odaklanır. Dinamik benzerlik, model üzerinde etkili olan kuvvetlerin gerçek uygulamadaki kuvvetlere orantılı olmasını sağlar, böylece genel akış davranışı korunur.

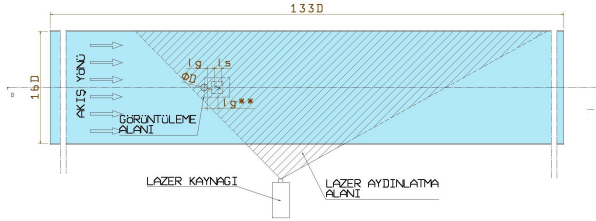
$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

1 numaralı denklemde Re Reynolds sayısı, $U_{\infty}=0.0837\text{m/s}$ serbest akış hızı, D silindir çapı, $\nu = 1.00401\text{E} - 06$ 20°C de suyun kinematik viskozitesidir. Dantec PIV Sistemi, akış alanı aydınlatması için her biri maksimum 120 mJ enerji çıkışlı, 532 nm dalga boyuna sahip iki Nd-YAG darbeli lazer kaynağı kullanmaktadır. Su, çapı 12 μm , yoğunluğu 1100kg/m^3 olan, nötr olarak yüzer, gümüş kaplı küresel cam parçacıklar ile tohumlanmış, akış alanını tarayan yaklaşık 1.5mm kalınlığındaki lazer tabakası tarafından aydınlatılarak akışkan hareketi gözlemlenmiştir. Parçacıkların Stokes sayısı 1.83×10^{-3} civarında hesaplanmıştır ve bu değer, deneylerde parçacıkların akış çizgilerini tam olarak takip ettiğini göstermektedir (Raffel vd., 2007) (Gozmen vd., 2013). Kullanılan üstü açık dikdörtgen kesitli su kanalı için Froude sayısı denklem 2 de verilmiştir.

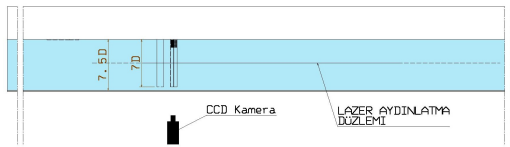
$$Fr = \frac{U_{\infty}}{\sqrt{g \cdot h_w}} \quad (2)$$

2 numaralı denkleme göre Froude sayısı 0.042 hesaplanmış olup kritik Froude sayısı (1) den çok düşük olmasından ötürü akış serbest yüzeyinin etkisi göz ardı edilmiştir. Tüm deneyler, Nikon AF micro 60 f/2.8D lens ile donatılmış CCD kamera kullanılarak, 1600x1200 piksel çözünürlük ve 60 mm odak uzaklıklı lens ile görüntülenmiştir. Deneyler iki set olarak gerçekleştirilmiş olup, her iki set de 1000 anlık görüntü içerir. Görüntü işlemede 7227 (99x73) hız vektörünü kapsayan 32x32 piksel dikdörtgen etkili sorgulama pencereleri kullanılmıştır. Sorgulama sürecinde, Nyquist kriterini karşılamak için %50'lik bir örtüşme kullanılmıştır. Westerweel (Westerweel 1993), Adrian (Adrian 1991) ve Raffel (Raffel vd., 2007) PIV yönteminde kullanılan matematiksel ve fiziksel yaklaşımları çalışmalarında detaylı olarak anlatmışlardır.

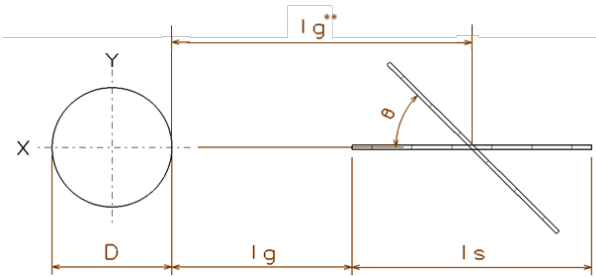
Westerweel (Westerweel 1993) PIV yönteminde, lazer tarafından aydınlatılacak taneciklerin rastlantısal dağılımı, hız hesaplarının yapıldığı alanın boyutu, ölçüm ve görüntüleme aygıtlarının hassasiyeti gibi sebeplerden dolayı, taneciklerin hız ölçümlerinde %2 oranında yaklaşık belirsizlik olduğunu hesaplamıştır. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşım yapıldığı için, yapılan deneylerde derinlik ortalamalı hıza göre hızdaki belirsizlik yaklaşık %2 olarak kabul edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimleri **Şekil 9**, **Şekil 10** ve **Şekil 11**'de verilmiştir.



Şekil 9. Deney düzeneği üstten bakış

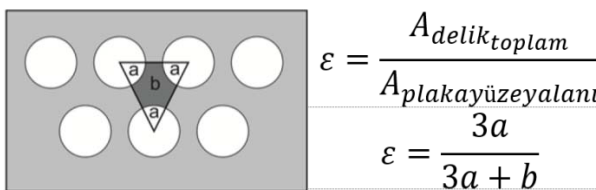


Şekil 10. Deney düzeneği B-B kesiti



Şekil 11. Deney değişkenleri

Silindir art izi bölgesinde, farklı konumlara yerleştirilen, farklı geçirgenliklere sahip bir akış ayırıcı plaka vasıtasıyla, art izi bölgesindeki akış niteliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Delikli ayırıcı plakalar $t=8 \times 10^{-4}$ m kalınlığında paslanmaz çelik saçtan imal edilmiştir. Plaka üzerindeki $d=2.5 \times 10^{-3}$ m çapındaki delikler lazerde kesilmiştir. Ayırıcı plakaların geçirgenliği (ϵ) toplam delik alanının, plaka yüzey alanını oranı olarak tanımlanmıştır. (**Şekil 12**)



Şekil 12. Plaka geçirgenlik tanımı

Deneylerde kullanılan silindir çapı (D) 60 mm'dir. Silindir (h) yüksekliği 7D'dir. Dört farklı ayırıcı plaka açısı değeri ($\theta=0^\circ; 15^\circ; 30^\circ; 45^\circ$) ve üç farklı gözeneklilik

değeri ($\epsilon=0.30; 0.50; 0.70$) incelenmiş ve ayırıcı plaka uzunluğu (l_s^*) ve ayırıcı plaka orta noktası ile silindir (l_g^{**}) arasındaki boşluk, deneyler sırasında $l_s^*=1$ ve $l_g^{**}=1.5$ olarak sabit tutulmuştur.

$$l_s^* = \frac{l_s}{D} \quad (2)$$

$$l_g^* = \frac{l_g}{D} \quad (3)$$

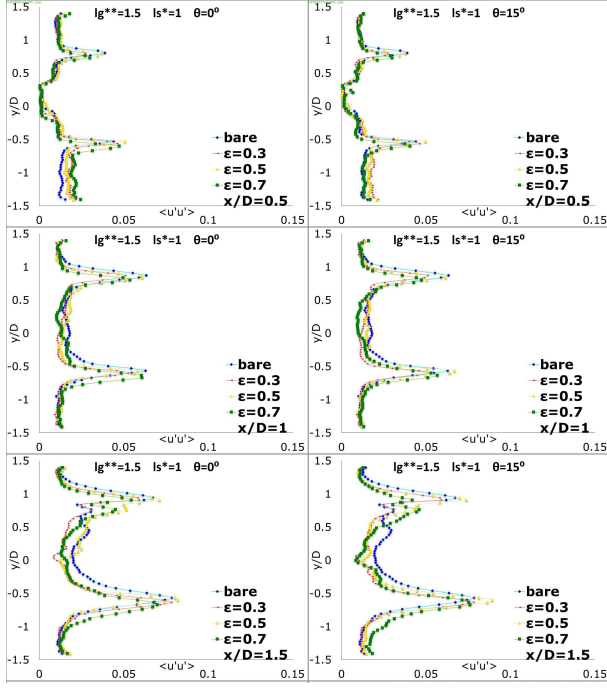
$$l_g^{**} = l_g^* + l_s^*/2 \quad (4)$$

DENEYSSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

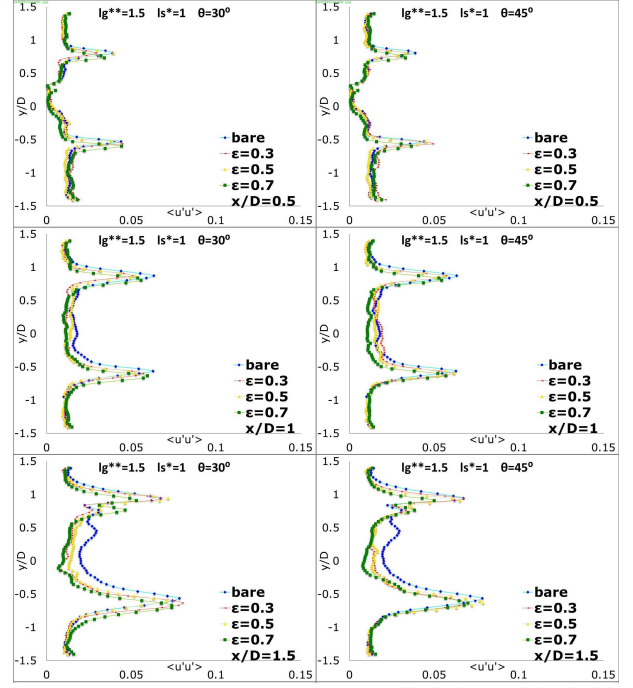
Farklı geçirgenlik ve açısız konumlamalar için akış yönündeki farklı kesitlerdeki Reynolds Gerilme profilleri, $|u'u|$, **Şekil 13**, **Şekil 14**, **Şekil 15** ve **Şekil 16**'de verilmiştir. Şekillerde, her sütun farklı açısız konumu ve her satır kesit konumunu göstermektedir. Her hücrede $|u'u|$, plakasız silindir ve art izi akış bölgesine farklı geçirgenlikte plakalar yerleştirilmiş silindirlere için yapılan ölçümlerle oluşturulmuş, akış yönündeki Reynolds gerilme profilleri verilmiştir. Silindirin akışta oluşturduğu kayma tabakaları büyük bir hız gradyanına yol açar. Hız gradyanındaki tepe noktaları en yüksek $|u'u|$ değerlerini temsil eder. Bundan ötürü elde edilen Reynolds gerilme profilleri, silindir kayma tabakasına benzer bir davranış göstermektedir. Akış yönünde ilerleyen (x/D) kesit konumlarında, çevrinti dökülmesi ve kuyruk çevrintilerinin artışından ötürü, tepe noktaları akış yönünde büyümektedir.

Her hücrede $|v'v'|$, plakasız silindir ve art izi akış bölgesine farklı geçirgenlikte plakalar yerleştirilmiş silindirlere için yapılan ölçümlerle oluşturulmuş, akışa dik yöndeki Reynolds gerilme profilleri verilmiştir. Akış yönünde ilerleyen (x/D) kesit konumlarında, çevrinti dökülmesi ve kuyruk çevrintilerinin artışından ötürü, $|v'v'|$ tepe noktaları akış yönünde büyümektedir.

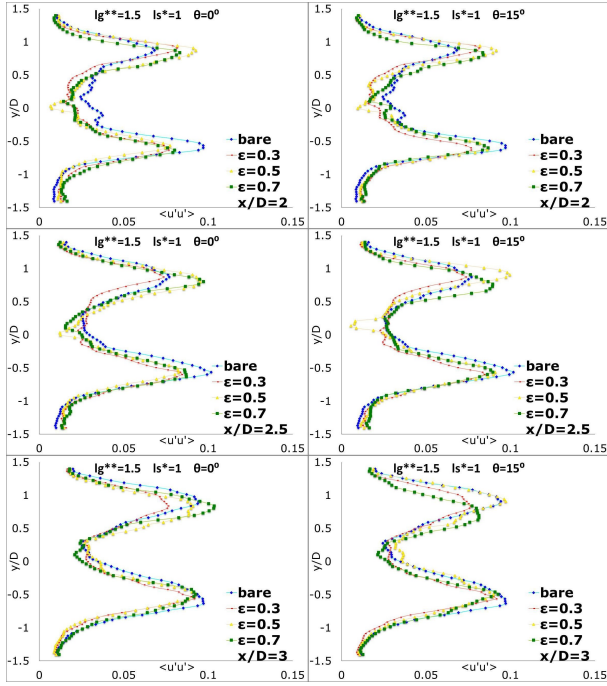
Tüm açısız yönelimler ve tüm geçirgenlik değerleri için $|u'u'|$ 'nin ulaştığı en büyük değerde, plakasız silindire göre düşüş olduğunu görülmektedir. Özellikle $x/D=1.5$ ve $x/D=2$ kesitlerinde $|u'u'|$ 'nin tepe değerlerindeki düşüş daha açık olarak gözlemlenmektedir. $x/D=2.5$ ve $x/D=3$ kesitlerinde çevrinti çalkalanması ve kuyruk çevrintilerinin etkisiyle profiller birbirine yaklaşmaktadır. $\epsilon = 0.3$ geçirgenlik değeri, düşük geçirgenlik değeri sebebiyle, tabakalar arasındaki karışmayı önlemekte bu da genel olarak $|u'u'|$ değerlerinin daha düşük olmasını sağlamaktadır. Açısız yönelim artıca akış simetrisi bozulmakta, 30° ve 45° 'lik yönelimler için ise bu bozulma daha açık bir şekilde görülebilmektedir. $|u'u'|$ tepe değerlerindeki en büyük düşüş, 45° 'lik yönelimli plaka ve $x/D=2$ kesitinde, $\epsilon = 0.3$ geçirgenliği için sağlanmaktadır.



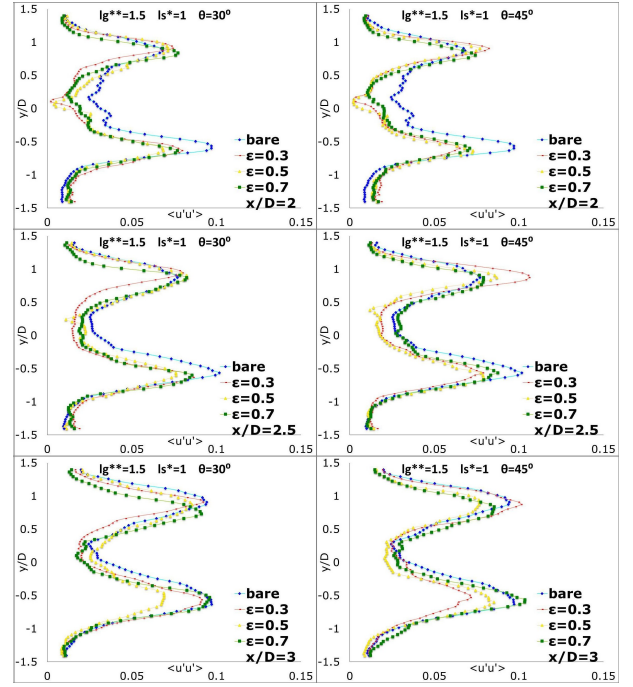
Şekil 13. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $0.5 \leq x/D < 1.5$ kesitlerinde oluşan akış yönünde Reynolds gerilimi profilleri.



Şekil 15. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $0.5 \leq x/D \leq 1.5$ kesitlerinde oluşan akış yönünde Reynolds gerilimi profilleri.

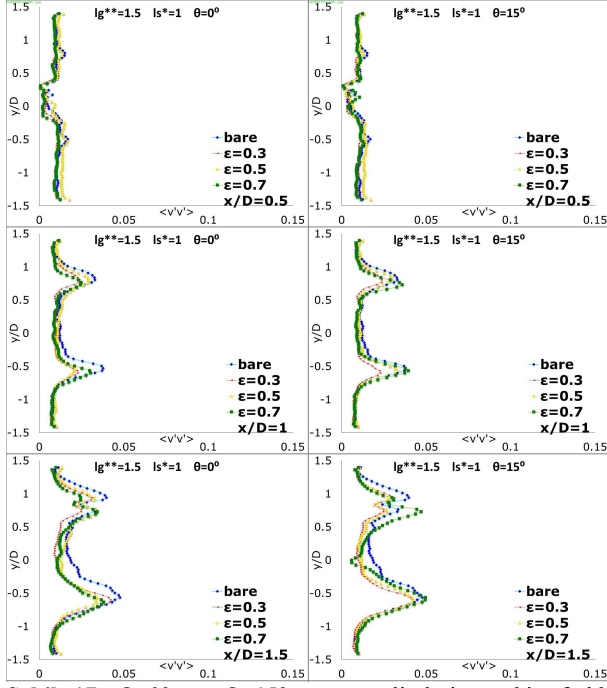


Şekil 14. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan akış yönünde Reynolds gerilimi profilleri

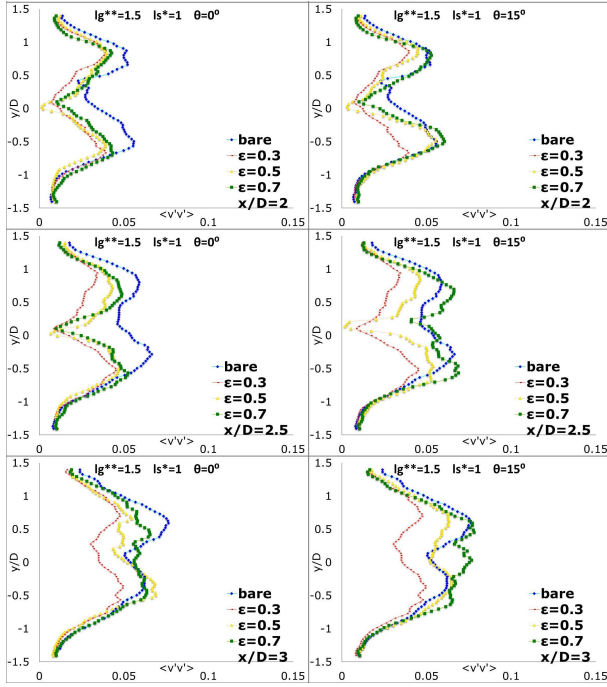


Şekil 16. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan akış yönünde Reynolds gerilimi profilleri

Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20, silindirik art izi akış bölgesine farklı açılarda farklı geçirgenliklere sahip plakaların yerleştirildiği durumlar için, farklı kesitlerdeki, akışa dik yönde oluşan Reynolds gerilim, $|v'v'|$, profillerini göstermektedir. Şekillerde, her sütun farklı açılarda ve her satır kesit konumunu göstermektedir.



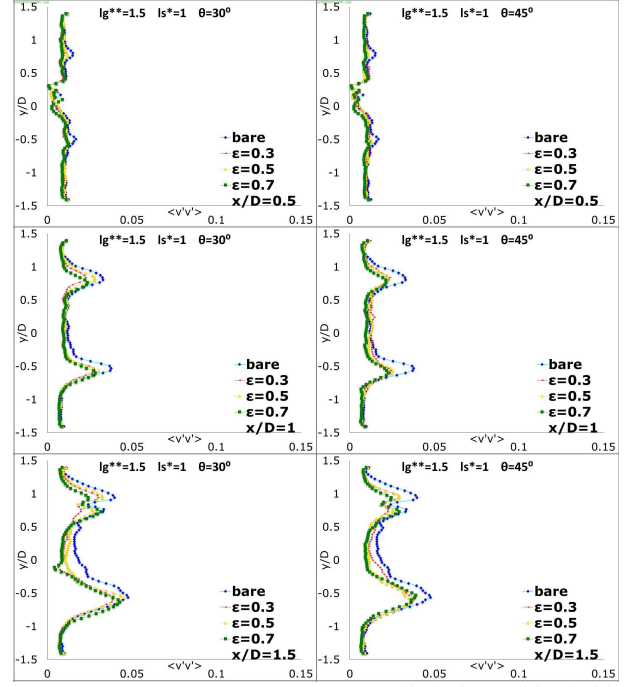
Şekil 17. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $0.5 \leq x/D < 1.5$ kesitlerinde oluşan akış yönüne dik Reynolds gerilimi profilleri.



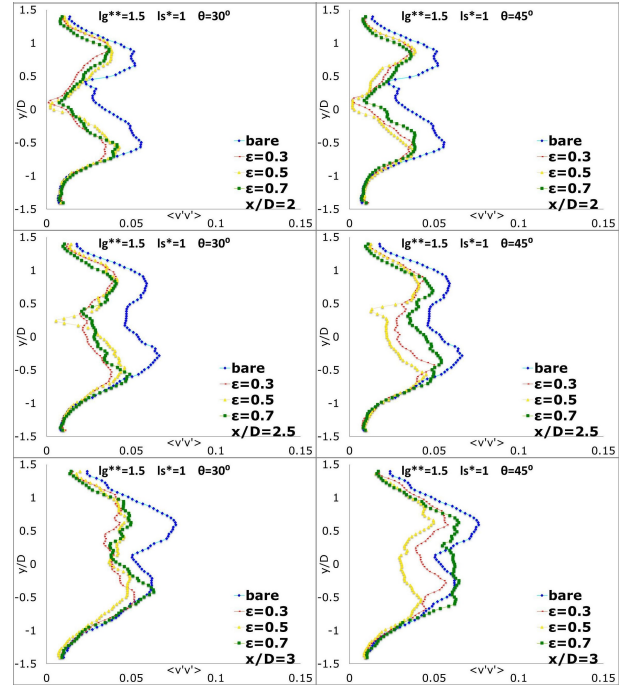
Şekil 18. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan akış yönüne dik Reynolds gerilimi profilleri.

Tüm açısal yönelimler ve tüm geçirgenlik değerleri için $|v'v'|$ 'nin ulaştığı en büyük değerde, plakasız silindire göre düşüş olduğunu görülmektedir. Özellikle $x/D=1.5$ ve $x/D=2$ kesitlerinde $|v'v'|$ 'nin tepe değerlerindeki düşüş daha açık olarak gözlemlenmektedir. $x/D=2.5$ ve $x/D=3$ kesitlerinde çevrinti çalkalanması ve kuyruk çevrintilerinin etkisiyle profiller birbirine yaklaşmaktadır. $\epsilon=0.3$ geçirgenlik değeri, düşük geçirgenlik değeri sebebiyle, tabakalar arasındaki karışmayı önlemekte bu da genel olarak $|v'v'|$

değerlerinin daha düşük olmasını sağlamaktadır. Açısal yönelim arttıkça akış simetrisi bozulmakta, 30° ve 45° 'lik yönelimler için ise bu bozulma daha açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 19. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $0.5 \leq x/D < 1.5$ kesitlerinde oluşan akış yönüne dik Reynolds gerilimi profilleri.

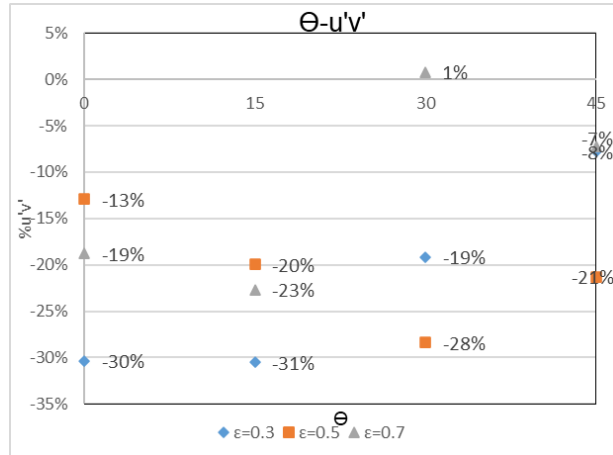


Şekil 20. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan akış yönüne dik Reynolds gerilimi profilleri.

$|v'v'|$ tepe değerlerindeki en büyük düşüş, 45° 'lik yönelimli plaka ve $x/D=2$ kesitinde, $\epsilon=0.3$ geçirgenliği için sağlanmaktadır. Tüm durumlar için, art izi bölgesindeki zaman ortalamalı normalize çevrinti

dağılımı Şekil 23'de verilmiştir. Negatif işaretli çevrinti büyüklükleri saat yönünde dönüşü gösterir. Silindirin her iki tarafında kayma tabakaları oluşur ve bunların mukavemeti aşağı yönde azalır. Arkasında plaka olmayan silindir ile yapılan deneylerde, kayma tabakasındaki girdabın büyüklüğü-12.1'e ulaşmaktadır. Art izi bölgesine plaka yerleştirilmiş durumlarda, $\epsilon=0.3$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° , ve 45° derecelik yönelimlerde oluşan en büyük çevrinti değerleri sırasıyla %1, %3, %2 ve %2 oranlarında düşmüştür. Art izi akış bölgesine plaka yerleştirilmiş durumlarda, $\epsilon=0.5$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° ve 45° derecelik yönelimlerde oluşan en büyük çevrinti değerleri sırasıyla %4, %3, %3 ve %2 oranlarında düşmüştür. Art izi akış bölgesine plaka yerleştirilmiş durumlarda, $\epsilon=0.7$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° ve 45° derecelik yönelimlerde oluşan en büyük çevrinti değerleri sırasıyla %9, %3, %9 ve %6 oranlarında düşmüştür. İz bölgesindeki geçirgen ayırıcı plaka kesme tabakalarının etkileşimlerini engellediğinden, kayma tabakalarının direncinin azaldığı açıktır. Artan gözeneklilik ile ayırıcı plaka etkinliği artmaktadır.

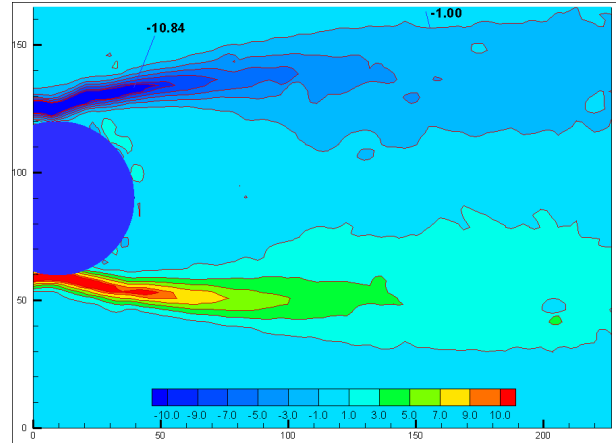
Silindir art iz bölgesine konuşlandırılmış farklı geçirgenlikli ve farklı yönelimli plakalar için Reynolds kayma gerilmesinin, yalnız silindir olması durumuna göre değişimi Şekil 21 de verilmiştir. Yalnız silindir olması durumunda, silindir art iz bölgesindeki Reynolds kayma gerilmesinin en yüksek değeri 0.05 olarak bulunmuştur.



Şekil 21. Farklı geçirgenlikteki plakalar için plaka yöneliminin en büyük Reynolds kayma gerilmesi değerine etkisinin, plakasız silindire göre mukayesesi

Ayırıcı plakaların akış iziyle aynı doğrultuda yerleştirildiği durumda, tabakalar arasındaki etkileşimin en düşük olduğu $\epsilon=0.3$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° ve 45° derecelik açısız yönelimlerde, Reynolds gerilme değerinin ulaştığı en yüksek değerde sırasıyla %30, %31, %19 ve %8'lik düşüşler görülmüştür. $\epsilon=0.5$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° ve 45° derecelik açısız yönelimlerde, Reynolds gerilme değerinin ulaştığı en yüksek değerde sırasıyla %13, %20, %28 ve %21'lik düşüşler görülmüştür. $\epsilon=0.7$ geçirgenlik değeri için, 0° , 15° , 30° ve 45° derecelik açısız yönelimlerde, Reynolds

gerilme değerinin ulaştığı en yüksek değerde sırasıyla %19, %23, %1 ve %7'lik düşüşler görülmüştür.



Şekil 22. Arka plakasız silindir için yakın iz bölgesinde çevrinti dağılımları.

15° 'lik açılı konumlandırma için, Reynolds gerilmesi tepe değerlerindeki düşüş, tüm geçirgenlikler için en yüksek değerlerine ulaşmış ve geçirgenlik ve açısız konumlandırma değerlerindeki artışla birlikte Reynolds gerilme değerinin tepe noktasındaki düşüş, artan etkileşimle birlikte azalmıştır. Reynolds kayma geriliminin belirli bir oranda azalması, kayma katmanlarının etkileşiminin delikli ayırıcı plaka tarafından zayıflatıldığını ve dolayısıyla çevrinti şiddetinin düştüğü şeklinde değerlendirilebilir. Özkan ve diğerleri (Ozkan vd. 2017), temel silindire göre türbülans istatistiklerinin azaldığı durumlarda sürüklenme direnç katsayısının da düştüğünü göstermiştir. Dolayısıyla Reynolds kayma gerilmesindeki bu azalma, silindirin direnç katsayısının azalması olarak ta değerlendirilebilir. Arka plakasız silindire için yakın iz çevrinti dağılımları Şekil 22'de, tüm test durumları için yakın iz bölgesinde çevrinti dağılımları Şekil 23'de verilmiştir.

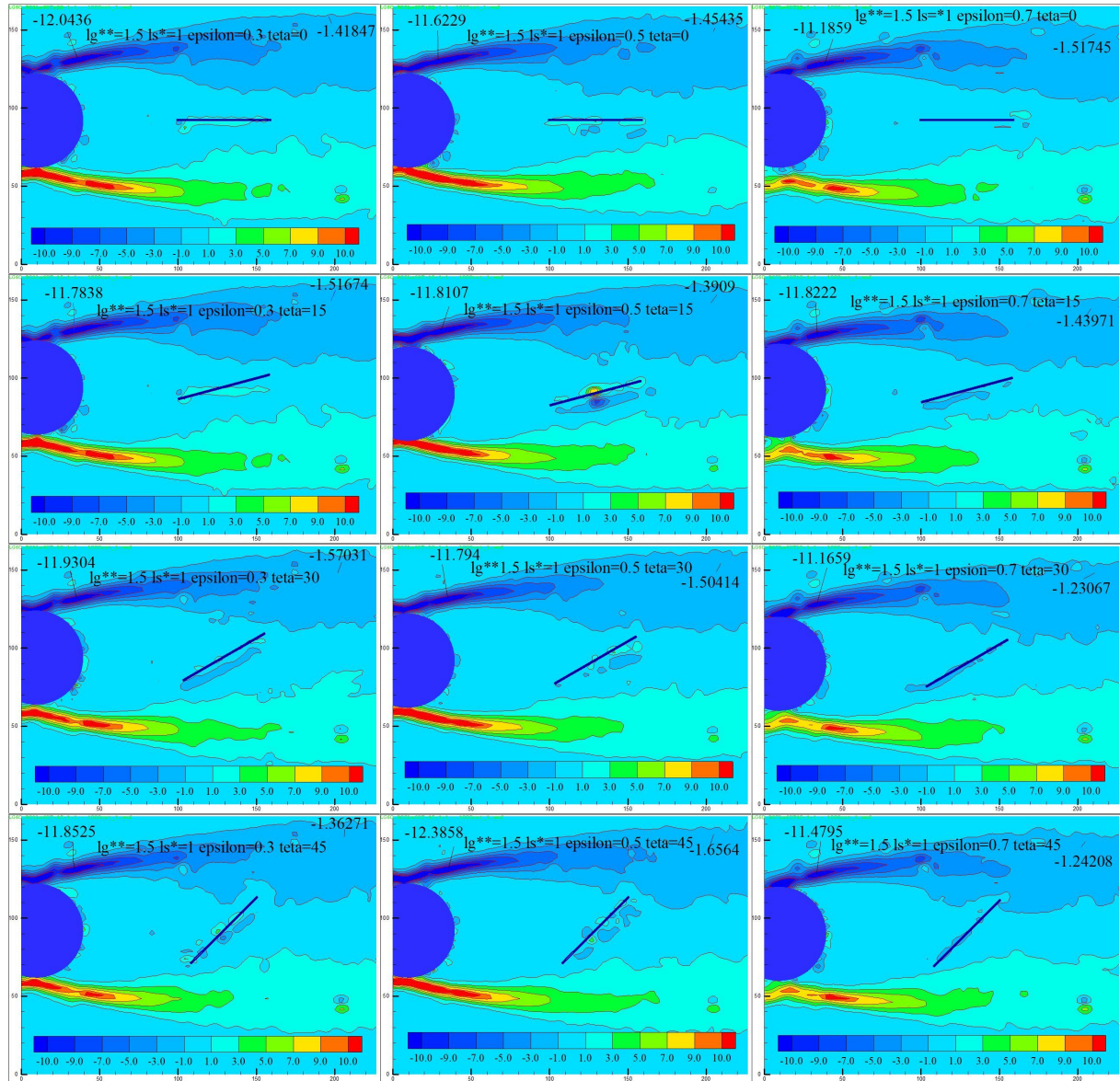
Yüksek Reynolds sayılarında, basınç ve hız dağılımının periyodik olarak değişmesinden ötürü art izi bölgesinde türbülans oluşumları görülür. Diğer bir deyişle, bu bölgedeki akışta, akışkanın hızı ve akış yönü sürekli değişir. Boyutsuz türbülans kinetik enerjisi (TKE), türbülansın yoğunluğunun bir ölçüsüdür ve Chen tarafından belirtildiği gibi art izi bölgesindeki akış özellikleri için bir değerlendirme göstergesi olarak kullanılabilir (Chen vd., 2014) (Pinar vd., 2015). 2D-PIV ölçümleriyle yakalanan iki boyutlu hız alanları sayesinde ortalama TKE yaklaşık olarak 5 numaralı formülle hesaplanır.

$$TKE = \frac{3}{4} \frac{(\overline{u'})^2 + (\overline{v'})^2}{U^2} \quad (5)$$

Bu formülde u' akış yönündeki hız değişimlerini, v' akış yönüne dik yöndeki hız değişimlerini gösterir. Bu çalışmada da TKE art izi bölgesindeki akış kontrolünde değerlendirme parametresi olarak seçilmiştir. Farklı geçirgenliklere sahip ayırıcı plakaların, silindir art izi bölgesindeki akış yapısına etkisini belirlemek için bir dizi PIV çözümü yapılmıştır.

Tüm test durumları için yakın iz bölgesindeki akış çizgileri Şekil 24 de verilmiştir. Şekil 24 de sütunlar sırasıyla 0.3, 0.5 ve 0.7 plaka geçirgenliklerini, satırlar ise sırasıyla 0°, 15°, 30° ve 45° açısız plaka yönelimleri için akış çizgilerini göstermektedir. Yapılan deneylerde, türbülans kinetik enerjisinin tepe değerleri ile türbülans kinetik enerjisinin tepe değerinin oluşum noktaları, ayırıcı plaka kullanılmayan, çıplak silindir durumundaki değerlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 25, Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28 da silindir art iz bölgesine yerleştirilen farklı geçirgenlikli plakalar kullanılarak yapılan deneylerde, akış yönündeki farklı kesitlerde yapılan ölçümlerden elde edilen türbülans kinetik enerji (TKE) profilleri, plakasız yapılan ölçümlerle birlikte verilmiştir. Şekillerde her

sütun farklı açısız yönelimi, her satır ise farklı kesti konumlarını belirtmektedir. Kesit konumu, silindir çapına bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Silindir merkezi koordinat merkezidir. Profillerdeki tepe noktaları, en yüksek türbülans kinetik enerji değerlerinin, silindirin alt ve üst akış ayrılma hattı boyunca oluştuğunu göstermektedir. Plakasız silindir grafikleri incelendiğinde, beklendiği gibi art izi bölgesindeki TKE değerleri akış yönünde büyük ölçekli çevrinti dalgalanmaları sebebiyle artış göstermektedir $X/D=0.5$ kesiti silindirin arka teğetine denk gelmesinden ötürü, herhangi bir açıyla yönelmiş ayırıcı plakaların türbülans kinetik enerji profilleri üzerinde fark edilir bir etkisi gözlemlenmemiştir.



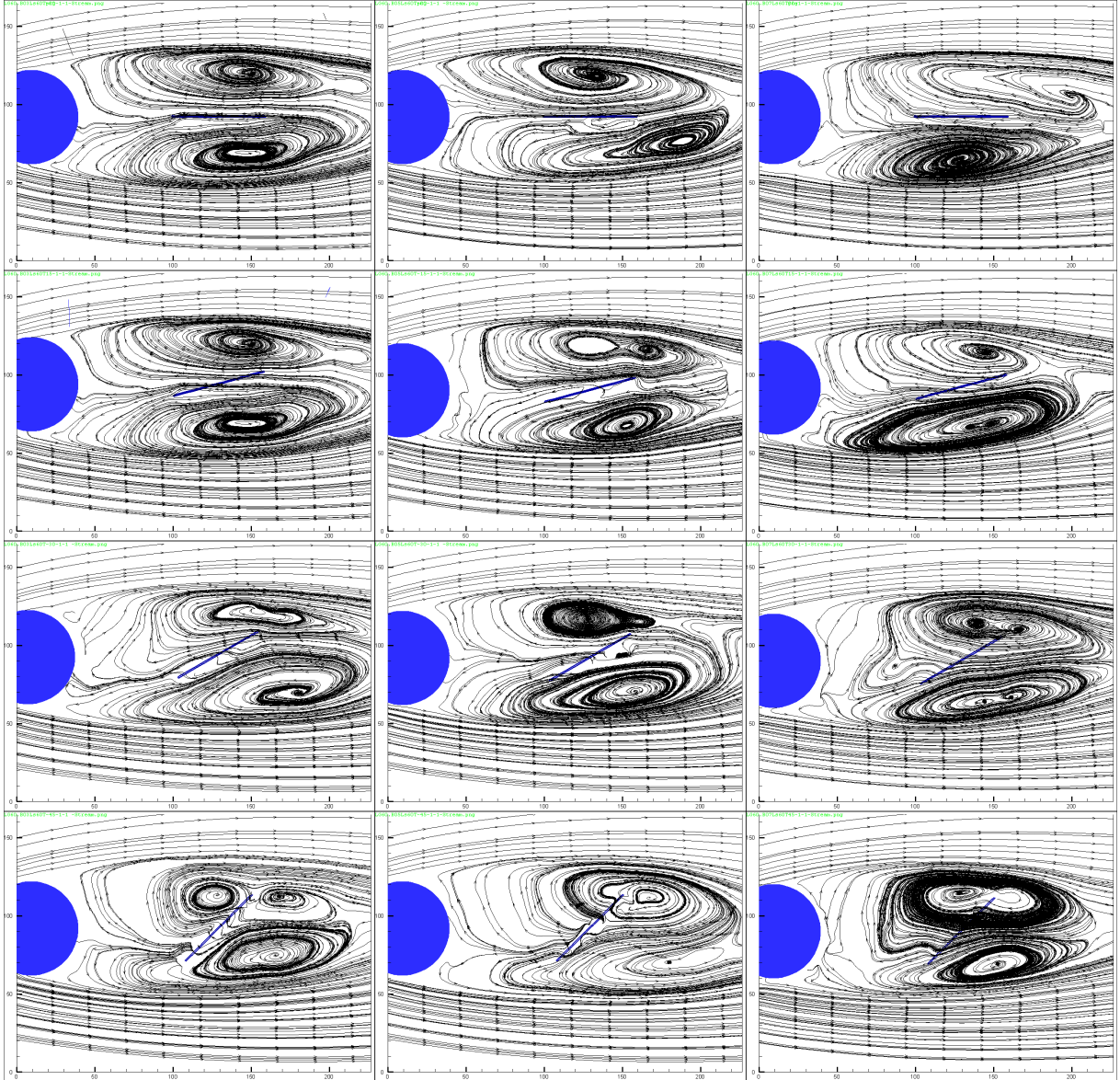
Şekil 23. Tüm test durumları için yakın iz bölgesinde çevrinti dağılımları

Bu durum tüm plaka geçirgenlikleri için aynıdır. $X/D=1$ kesitiyle beraber ayırıcı plakaların etkisi görülmeye başlanmakta ve art izi bölgesindeki TKE değerlerinde, plakasız akışa göre düşüş görülmektedir. Tüm geçirgenlikler için bu düşüş geçerli olmakla birlikte, farklı geçirgenlikteki plakaların çok yakın sonuçlar vermesi sebebiyle, $X/D=1$ kesiti için

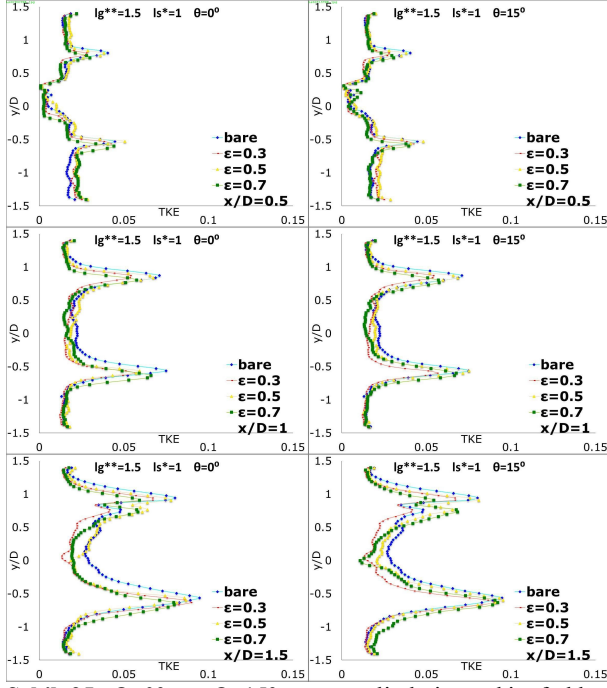
geçirgenliğin TKE üzerindeki etkisi gözlemlenmemiştir. $X/D=1.5$ ve sonrasındaki kesitlerde ayırıcı plakaların, türbülans kinetik enerji profilleri üzerindeki etkisi daha açık görülmeye başlanmaktadır. $X/D=2.5$ ve $X/D=3$ kesitlerinde akış içindeki etkileşimin artmasından ötürü, özellikle yüksek geçirgenlikli ayırıcı plakaların etkisinde azalma

gözlemlenmektedir. Plakalar döndürüldüğünde, plakaların akışa paralel kesiti azalmaktadır bu durum ayırıcı plaka uzunluğunun, silindir çapına eşit olmasından ötürü sınır tabakalar arasındaki etkileşimi artırmakta buda açıdan dolayı oluşan akışa dik yöndeki kesitten gelen faydayı sıfırlamaktadır. Geçirgen ayırıcı plakalar, silindir etrafındaki akışta oluşan sınır tabakalarının etkileşimini engellediği için, sınır tabakaların etkileşiminin arttığı daha geri konumdaki kesitlerde geçirgen ayırıcı plakaların etkisi artmaktadır. Böylece, akış yönünde ve enine dalgalanmalar

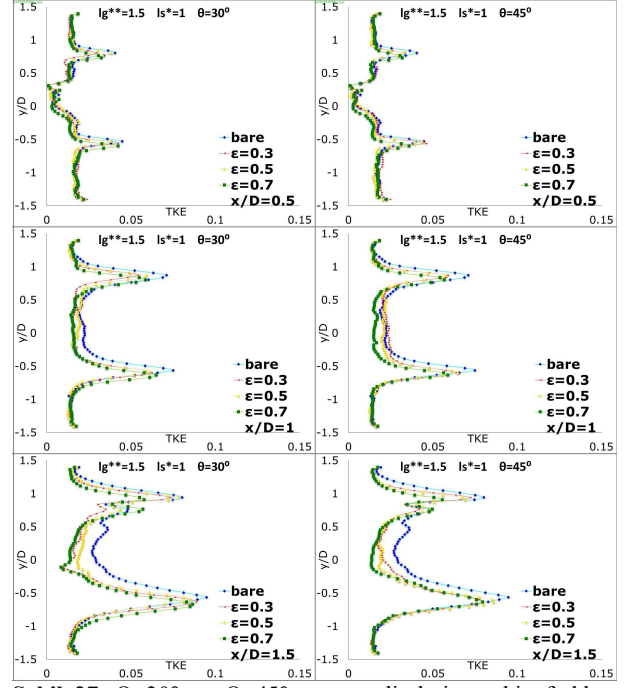
azalmakta ve silindirin aşağı akışında daha stabilize bir iz akışı meydana gelmektedir. Geçirgenlik arttıkça, etkileşimde arttığı için en yüksek sönümlenmeyi, neredeyse tüm açı ve kesit değerlerinde $\varepsilon = 0.3$ için sağlamaktadır. Farklı açılardaki plakaların etkisi, plakalar henüz sınır tabakalarla yeterli temasa geçemediği için belirsizdir. Tüm kesit değerleri, iki defa alınan ölçümlerin ortalaması alınarak oluşturulmuştur.



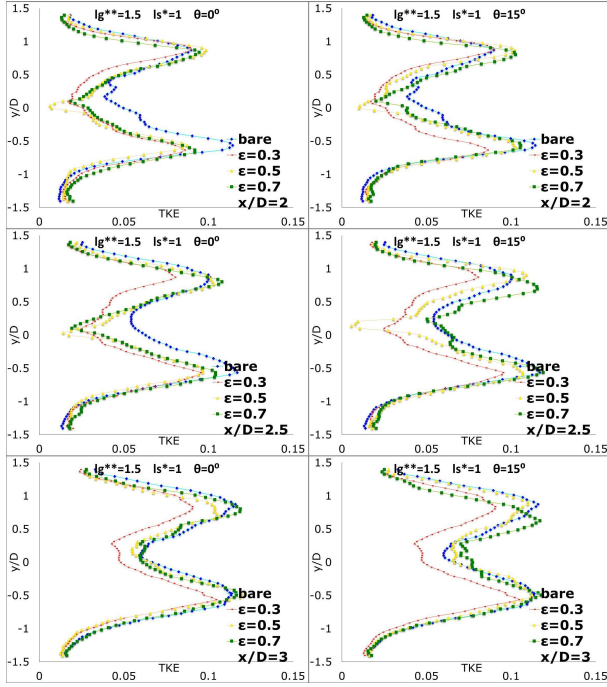
Şekil 24. Tüm test durumları için yakın iz bölgesinde akış çizgileri



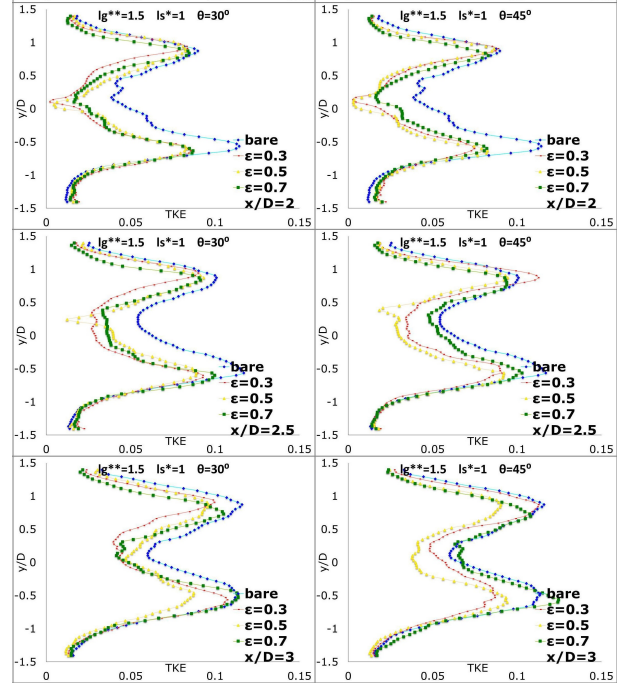
Şekil 25. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için silindir ardıl bölgesindeki $0.5 \leq x/D < 1.5$ kesitlerinde oluşan TKE profilleri.



Şekil 27. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için silindir ardıl bölgesindeki $0.5 \leq x/D < 1.5$ kesitlerinde oluşan TKE profilleri.



Şekil 26. $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=15^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için silindir ardıl bölgesindeki $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan TKE profilleri.

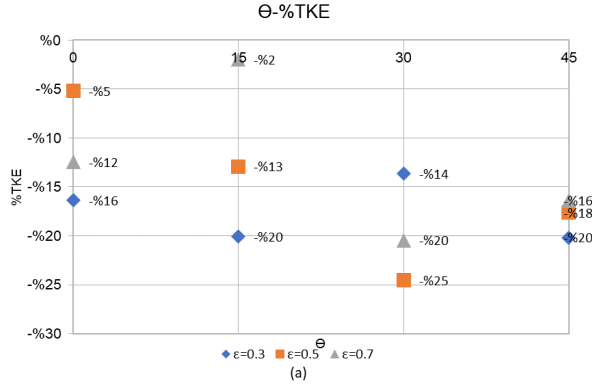


Şekil 28. $\Theta=30^\circ$ ve $\Theta=45^\circ$ açı yönelimlerine sahip farklı geçirgenlik değerlerindeki plakalar için silindir ardıl bölgesindeki $2 \leq x/D \leq 3$ kesitlerinde oluşan TKE profilleri.

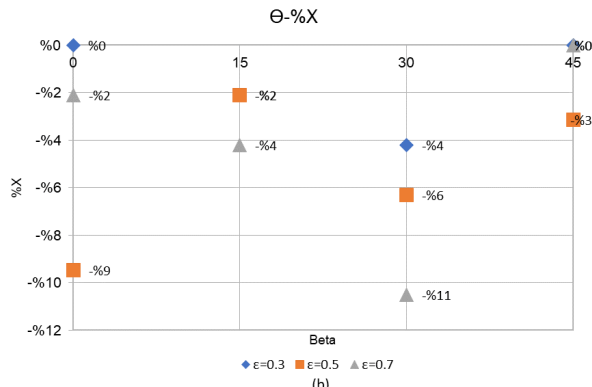
Şekil 29 tüm açısall yönelimler ve tüm geçirgenlik değerleri için türbülans kinetik enerjisinin ulaştığı en büyük değerde, plakasız silindire göre ne kadar düşüş olduğunu göstermektedir. Oluşan en büyük TKE değerleri, $\epsilon = 0.3$ geçirgenlik değeri ve 0° , 15° , 30° ve 45° açısall plaka yönelimleri için sırasıyla %16, %20, %14 ve %20 oranlarında düşüş göstermiştir. $\epsilon = 0.3$ Geçirgenlikli ayırıcı plaka, 30° açısall yönelim haricinde tüm diğer ayırıcı plakalar göre daha iyi sonuç vermiştir.

TKE'nin en büyük konuma ulaştığı noktalar ise 0° ve 30° açısall yönelimler için %2 ve %4 oranlarında silindire doğru yaklaşmıştır (Şekil 30). Oluşan en büyük TKE değerleri, $\epsilon = 0.5$ geçirgenlik değeri ve 0° , 15° , 30° ve 45° açısall plaka yönelimleri için sırasıyla %5, %13, %25 ve %18 oranlarında düşüş göstermiştir. TKE'nin en büyük konuma ulaştığı noktalar ise 0° , 15° , 30° ve 45° açısall yönelimler için %9, %2, %6 ve %3 oranlarında silindire doğru yaklaşmıştır. Oluşan en büyük TKE değerleri, $\epsilon = 0.7$ geçirgenlik değeri ve 0° ,

15°, 30° ve 45° açısız plaka yönelimleri için sırasıyla %12, %2, %20 ve %16 oranlarında düşüş göstermiştir. TKE'nin en büyük konuma ulaştığı noktalar ise 0°, 15°, 30° ve 45°'lik açısız yönelimler için %2, %4, %11 ve %0 oranlarında silindire doğru yaklaşmıştır.



Şekil 29. Farklı geçirgenlikteki plakalar için plaka yöneliminin en büyük TKE değerine etkisinin, plakasız silindire göre mukayesesi



Şekil 30. Farklı geçirgenlikteki plakalar için plaka yöneliminin en büyük TKE değerine olduğu konuma etkisinin, plakasız silindire göre mukayesesi

SONUÇ

Farklı gözeneklere sahip ayırıcı plakaların, çıplak bir silindirin iz bölgesindeki akış yapılarına etkisini belirlemek için TKE tepe değerleri ve bu değerlerin oluşum noktaları karşılaştırılmıştır. Dört farklı ayırıcı plaka açısı değeri ($\theta = 0^\circ; 15^\circ; 30^\circ; 45^\circ$) ve üç farklı gözeneklilik değeri ($\epsilon = 0.3; 0.5; 0.7$) incelenmiş ve ayırıcı plaka uzunluğu (l_s^*) ve ayırıcı plaka orta noktası ile silindir arasındaki boşluk (l_g^{**}) deneyler boyunca $l_s^* = 1$ ve $l_g^{**} = 1.5$ olarak sabit tutulmuştur. PIV ölçümlerinden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Ayırıcı plakanın geçirgenliği ve açısız konumu girdap dökülmesini azaltmak için etkili değişkenlerdir.
- Plakalar döndürüldüğünde, akışa paralel kesit azalmakta, bu da sınır katmanları arasındaki etkileşimi arttırmaktadır.
- Geçirgen ayırıcı plakalar, silindir etrafındaki akışta oluşan sınır katmanlarının etkileşimini engellediğinden, sınır katmanlarının etkileşiminin

arttığı art izi akış bölgelerinde geçirgen ayırıcı plakaların etkisi artmaktadır. Böylece, dalgalanmalar azalmakta ve silindirin aşağı yönünde daha stabilize bir iz akışı meydana gelmektedir.

- Ayırıcı plaka açısının artmasıyla çevrinti oluşumunun geciktiği gözlenmiştir. $\epsilon = 0.5$ ve $\theta = 30^\circ$ derece için akış kontrolü sağlanır. TKE'nin tepe büyüklüğünün konumu %6 oranında silindir merkezine yaklaşmış, TKE'nin tepe büyüklüğü %25'e kadar azaltılmıştır. Aynı açı ve geçirgenlik değeri için Reynolds kayma gerilmesi %28 oranında azalmıştır. Bir başka akış kontrol noktası ise $\epsilon = 0.3$ ve $\theta = 15^\circ$ derece için sağlanmıştır. Bu açı ve geçirgenlik değerleri için TKE'nin ulaştığı en yüksek değer %20 oranında, Reynolds kayma gerilmesinin tepe değeri ise %31 oranında azalmıştır.

Türbülans istatistiklerindeki belirli bir azalma (TKE, $|u'u'|$, $|v'v'|$ ve $|u'v'|$), kesme tabakaları arasındaki etkileşimin delikli ayırıcı plaka tarafından zayıflatıldığını gösterir. Bu nedenle, çevrinti saçılım kontrolünün ayırıcı plakalar vasıtasıyla sağlandığı sonucuna varılabilir. Bu çalışmada ayırıcı plaka açısının etkisi ve plaka geçirgenliğinin etkisi açıkça gözlemlenmiştir.

İSİMLENDİRME

D	Silindir çapı [m]
θ	Ayırıcı plakanın akış yönüyle yaptığı açı
ϵ	Ayırıcı plaka geçirgenliği
Re	Reynolds sayısı [$Re = \frac{U_\infty D}{\nu}$]
l_s^*	Boyutsuzlaştırılmış ayırıcı plaka uzunluğu
l_g^{**}	Boyutsuzlaştırılmış ayırıcı plaka silindir arası mesafe
l_g^{**}	Boyutsuzlaştırılmış ayırıcı plaka dönme eksenine ile silindir arası mesafe
U	Akış hızı [m/s]
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi [m^2/s]
ρ	Akışkan yoğunluğu [kg/m^3]
$u'u'$	Akış yönünde Reynolds normal gerilmesi
$u'v'$	Reynolds kayma gerilmesi
$v'v'$	akışa dik yöndeki çevrinti yoğunluğu
$v'v'$	akışa dik yönde Reynolds normal gerilmesi
TKE	Türbülans kinetik enerjisi [$TKE = \frac{3}{4} \frac{((u')^2 + (v')^2)}{U^2}$]
Urms	Akış yönünde çevrinti yoğunluğu
u'	Akış yönündeki hız değişimi
v'	Akış yönüne dik yöndeki hız değişimi
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
hw	Serbest su yüksekliği [m]
fr	Froude sayısı [$Fr = \frac{U_\infty}{\sqrt{g \cdot h_w}}$]

KAYNAKÇA

- Adrian, Ronald J. 1991. «Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics.» *Annual Review of Fluid Mechanics*, 261-304. doi:https://doi.org/10.1146/annurev.fl.23.010191.001401.
- Bao, Y., ve J. Tao. 2013. «The passive control of wake flow behind a circular cylinder by parallel dual plates.» *Journal of Fluids and Structures*, 201-219. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2012.11.002.
- Blevins, R. D. 1985. «The effect of sound on vortex shedding from cylinders.» *J. of Fluid Mech.*, 217-237. doi:https://doi.org/10.1017/S0022112085002890.
- Cardell, G. S. 1993. *Flow Past a Circular Cylinder with a Permeable Wake Splitter Plate. Dissertation (Ph.D.)*. California Institute of Technology. doi:10.7907/25C5-1150.
- Chen, WL., H Li, ve H. Hu. 2014. «An experimental study on a suction flow control method to reduce the unsteadiness of the wind loads acting on a circular cylinder.» doi:https://doi.org/10.1007/s00348-014-1707-7.
- Favier, J., A. Dauptain, D. Basso, ve A. Bottaro. 2009. «Passive separation control using a self-adaptive hairy coating.» *J Fluid Mech*, 451-483. doi:10.1017/S0022112009006119.
- Gao, Dong-Lai, Guan-Bin Chen, Ye-Wei Huang, Wen-Li Chen, ve Hui Li. 2020. «Flow characteristics of a fixed circular cylinder with an upstream splitter plate: On the plate-length sensitivity.» *Experimental Thermal and Fluid Science*. doi:https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110135.
- Ghadimi, Parviz, Saman Kermani, Sabra Razughi, ve Rahim Zamanian. 2013. «Aerodynamic and Acoustical Analysis of Flow around a Circular Cylinder in a Channel and Parametric Study on the Effects of a Splitter Plate on the Generated Vibration and Noise.» *Applied Mathematics and Physics*, 1-5. doi:https://doi.org/10.12691/amp-1-1-1.
- Gozmen, Bengi, Huseyin Akilli, and Besir Sahin. 2013. "Passive control of circular cylinder wake in shallow flow." *Measurement* (46): 1125-1136. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2012.11.008.
- Guilmineau, P. Q. E. 2002. «A numerical simulation of vortex shedding from an oscillating circular cylinder.» *J. Fluid Struct.*, 773-794. doi:https://doi.org/10.1006/jfls.2002.0449.
- Huseyin Akilli, Besir Sahin, N. Filiz Tumen,. 2005. «Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate.» *Flow Measurement and Instrumentation*, 211-219. doi:https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2005.04.004.
- Jong-Yeon Hwang, Kyung-Soo Yang, Seung-Han Sun. 2003. «Reduction of flow-induced forces on a circular cylinder using a detached splitter plate.» *Physics of Fluids*, 1 8: 2433-2436. doi:https://doi.org/10.1063/1.1583733.
- Kwon, K., & Choi, H. 1996. «Control of laminar vortex shedding behind a circular cylinder using splitter plates.» *Physics of Fluids*, 479-486. doi:https://doi.org/10.1063/1.868801.
- Lecordier, J. C., L. Hamma, ve P. Paranttheon. 1991. «The control vortex shedding behind heated cylinders at low Reynolds numbers.» *Exp. in Fluids*, 224-229. doi:https://doi.org/10.1007/BF00190392.
- Lee, Jinmo, ve Donghyun You. 2013. «Study of vortex-shedding-induced vibration of a flexible splitter plate behind a cylinder.» *Physics of Fluids*. doi:https://doi.org/10.1063/1.4819346.
- Matsumoto, Masaru, Michio Hashimoto, Tomomi Yagi, Tomoyuki Nakase, ve Kouji Maeta. 2008. «Steady Galloping/Unsteady Galloping And Vortex-Induced Vibration Of Bluff Bodies Associated With Mitigation Of Karman Vortex Shedding.» *BBAA VI International Colloquium on:Bluff Bodies Aerodynamics & Applications*. Milano.
- Oruc, V., M. Akar, Akilli, H. A., ve B. Sahin. 2013. «Suppression of asymmetric flow behavior downstream of two side-by-side circular cylinders with a splitter plate in shallow water.» *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 442-455. doi:https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.07.020.
- Ozgoren, Muammer. 2006. «Flow structure in the downstream of square and circular cylinders.» *Flow Measurement and Instrumentation*, 225-235. doi:https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2005.11.005.
- Ozgoren, Muammer, Engin Pinar, Besir Sahin, ve Huseyin Akilli. 2011. «Comparison of flow structures in the downstream region of a cylinder and sphere.» *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 1138-1146. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2011.08.003.
- Ozkan, G.M., E Firat, ve H. Akilli. 2017. «Control of vortex shedding using a screen attached on the separation point of a circular cylinder and its effect on

drag.» *J. Fluids Eng. Transactions ASME*, July. doi:<https://doi.org/10.1115/1.4036186>.

Pinar, Engin, Gokturk M. Ozkan, Tahir Durhasan, Muhammed M. Aksoy, ve Besir Sahin Huseyin Akilli. 2015. «Flow structure around perforated cylinders in shallow water.» *Journal of Fluids and Structures*, 52-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2015.01.017>.

Raffel, M., Christian Willert, Steve Wereley, ve Juergen. Kompenhans. 2007. *Particle Image Velocimetry*. Springer.

Reza-zadeh, S. 2013. «Investigation of fluid flow around a cylinder with EHD actuation on inclined plates behind the cylinder.» *In Proceedings of the 2013 International Conference on Applied Mathematics and Computational Methods in Engineering.*, 212-217.

Roshko, A. 1954. «On the drag and shedding frequency of two-dimensional bluff bodies.» *NACA Technical Note 3169*, 1-30. doi:<https://doi.org/10.1.1.477.979>.

Roshko, Anatol. 1952. *On the development of turbulent wakes from vortex streets. Dissertation (Ph.D.)*. California Institute of Technology. doi:10.7907/4WDN-9807.

Sahin, Serdar, Tahir Durhasan, Engin Pinar, ve Huseyin Akilli. 2021. «Experimental study on passive flow control of circular cylinder via perforated splitter plate.» *Wind and Structures*, 613-621. doi:10.12989/WAS.2021.32.6.613.

Tabatabaeian, S., Mirzaei, M., Sadighzadeh, A., Damideh, V., & Shadaram, A. 2015. «Experimental Study of the Flow Field around a Circular Cylinder Using Plasma Actuators.» *J. Applied Fluid Mechanics*, 291-299. doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.jafm.67.221.21459>.

Teksin, S., ve S. Yayla. 2016. «Effects of Flexible Splitter Plate in the Wake of a Cylindrical Body.» *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 3053-3059. doi:10.29252/jafm.09.06.25564.

Weier, T., G. Gerbeth, G. Mutschke, E. Platacis, ve O. Lielausis. 1998. «Experiments on cylinder wake stabilization in an electrolyte solution by means of electromagnetic forced localized on the cylinder surface.» *Exp. Therm Fluid Sci.*, 84-91. doi:[https://doi.org/10.1016/S0894-1777\(97\)10008-5](https://doi.org/10.1016/S0894-1777(97)10008-5).

Westerweel, J. 1993. *Digital particle image velocimetry: Theory and application, PhD Thesis*. Delft University Press.

Xiao, Q., Sun, K., Liu, H., & Hu, J. 2011. «Computational study on near wake interaction between undulation body and a D-section cylinder.»

Ocean Engineering, 3: 673-683. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.12.017>.

Zhou, X., J. Wang, ve Y. Hu. 2019. «Experimental investigation on the flow around a circular cylinder with upstream splitter plate.» *J Vis (Tokyo)*, 683-695. doi:10.1007/s12650-019-00560-x.