

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DİKDÖRTGEN-ÇENTİKLİ PLAKA İLE BİR SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ
DİRENCİ DÜŞÜRME**

Ferzan FİDAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ – 2020

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DİKDÖRTGEN-ÇENTİKLİ PLAKA İLE BİR SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ
DİRENCİ DÜŞÜRME**

Ferzan FİDAN
(1388000041)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TUNCELİ– 2020

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DİKDÖRTGEN-ÇENTİKLİ PLAKA İLE BİR SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ
DİRENCİ DÜŞÜRME

Ferzan FİDAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 10/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Ali CELEN
(Erzincan Binali Yıldırım
Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Olcay KAPLAN İNCE
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmemiştir.

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Ferzan FİDAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın gerçekleşmesinde; değerli katkılarından dolayı Danışman Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erhan FIRAT'a, Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm hocalarıma, öğrenim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen başta babam Mehmet FİDAN ve annem Mehdiye FİDAN olmak üzere aileme ve ismini yazamadığım tüm kadim dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ferzan FİDAN
TUNCELİ – 2020



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	V
RESİMLER LİSTESİ.....	VI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Kapsamı.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. MATERYAL VE METOT.....	10
2.1. Kapalı Çevrim Rüzgar Tüneli.....	10
2.2. Kızgın-Tel Anemometresi.....	11
2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı.....	12
2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi.....	14
2.5. Hizalama Lazeri.....	15
2.6. Test Modeli ve Parametreler.....	16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. Plakaların Etkisi.....	22
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	27
5. KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çap oranının $d/D=0,5$ ve boyutsuz boşluğun yukarıdan aşağıya, sırasıyla, $L/D=2,0, 2,5, 3,0, 6,0$ ve $9,0$ olduğu durumlar için elde edilen çevrinti desenleri (Zhang ve ark., 2006).....	3
Şekil 1.2. Deney düzeneği ve parametreler (Wang ve ark., 2006).....	4
Şekil 1.3. Sayısal çalışmanın düzeneği ve ilgili parametreler (Ayyapan ve Vengadesan, 2008).....	5
Şekil 1.4. Silindir üzerindeki ortalama direnci düşürmek için kullanılan düzenek ve parametreleri (Prasad ve Williamson, 1997).....	5
Şekil 1.5. Plaka üzerindeki direnci düşürmek için kullanılan sistemin şematığı ve parametreler (Igarashi ve Terachi, 2002).....	6
Şekil 1.6. Prizma üzerindeki direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Igarashi, 1997).....	7
Şekil 1.7. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Zhou ve ark., 2005).....	7
Şekil 1.8. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Moussaoui ve ark., 2010).....	8
Şekil 1.9. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Rosales ve ark., 2000)	8
Şekil 2.1. Kuvvet ölçüm sisteminin blok diyagramı	15
Şekil 2.2. Deneyde test edilecek sistemin üstten en-kesitinin şematığı.....	18
Şekil 2.3. Kontrol plakasının geometrik özellikleri.....	18
Şekil 3.1. Çentikli (P01) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması.....	23
Şekil 3.2. Çentikli (P02) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması.....	24
Şekil 3.3. Çentikli (P03) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması.....	25
Şekil 3.4. Çentikli (P04) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması.....	26

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. PLA+ malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler	13
Tablo 2.2. Deneylerde kullanılan parametreler ve değerleri.....	19
Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan plakaların kodları.....	21



RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Silindirlere ait akış görselleri (Lee ve ark., 2004)	2
Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tünelinin dışarıdan bir görüntüsü (orijinal).....	10
Resim 2.2. Değişken frekans sürücüsünün bir görüntüsü (orijinal).....	11
Resim 2.3. Kızgın-tel anemometresinin bir görüntüsü (orijinal).....	12
Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcının bir görünümü (orijinal).....	13
Resim 2.5. Veri toplama cihazı (orijinal).....	14
Resim 2.6. Kuvveti ölçmede kullanılan salıncak mekanizma, açma ayar aparatı ve yük hücresi (orijinal).....	14
Resim 2.7. Rüzgar tüneli içerisinde bulunan plaka ve döner tabla (orijinal).....	15
Resim 2.8. Dikey ve yatay hizalama lazeri (DeWALT, DW088CG) (orijinal).....	15
Resim 2.9. Üç-boyutlu yazıcıda basılan çentikli ve düz plakalar (orijinal).....	16
Resim 2.10. Üç-boyutlu yazıcıda basılan uç plakalar (orijinal).....	17
Resim 2.11. Üç-boyutlu yazıcıda basılan boş dairesel silindir (orijinal).....	17
Resim 2.12. Test edilecek sistemin nihai halinin genel bir görüntüsü (orijinal).....	17

SEMBOLLER LİSTESİ

A_F	: Plakalı veya plakasız silindire ait ön görünüş alanı
a	: Genlik
C_D	: Direnç katsayısı
c	: Çentikler arası faz farkı
D	: Silindir dış çapı
$D_{iç}$	: Silindir iç çapı
$F_{D-Tüm}$	: Tüm sisteme etkiyen direnç kuvveti
F_{D-Par}	: Model dışı parçalara etkiyen toplam direnç kuvveti
F_{D-Sis}	: Sadece plakalı veya plakasız sisteme etkiyen direnç kuvveti
g	: Silindir ile plaka arası mesafe
h_o	: Çentikli plaka maksimum yüksekliği
h_i	: Çentikli plaka minimum yüksekliği
i	: Anlık direnç veri numarası
l	: Tepe uzunluğu
N	: Alınan toplam direnç verisi sayısı
n	: Anlık direnç veri bitiş numarası
Re	: Reynolds sayısı
t	: Et kalınlığı
U_{∞}	: Serbest-akım hızı
u	: Direnç katsayısına ait yüzdelik belirsizlik
λ	: Dalga boyu
μ	: Havanın viskozitesi
ρ	: Havanın yoğunluğu

KISALTMALAR LİSTESİ

BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
FDM	: Fused Deposition Modeling
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
KOK	: Karelerinin Ortalamasının Karekökü
PLA+	: İyileştirilmiş Polilaktik Asit
TS	: Tek Silindir
3B	: Üç-Boyutlu



ÖZET

Literatürde önceki araştırmacılar tarafından küt cisim direncini düşürmek için birçok akışa ters yönde konumlanmış küçük parçalar önerilmiş olmasına rağmen, bu araştırmaların hiçbirinde bir akışa ters yöndeki parça ve bir küt cisimden oluşan sistemin direncini düşürmek için üç-boyutlu bir parça kullanılmamıştır. Bu çalışmada, çeşitli dikdörtgen-çentikli plakalı sistemlerin aerodinamik performansı deneysel olarak test edilmiştir. Deneyler kapalı-çevrim rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Tüm zaman-ortalama direnç, $\langle C_D \rangle$, ölçümlerinde, silindir çapına (D) bağlı Reynolds sayısı (Re) 12000 civarındadır. Bir dairesel silindir ve onun önündeki çentikli plakalardan meydana gelen sistemlerin (P01, P02, P03 ve P04 durumları) sonuçları, tek silindirinki (TS durumu) ve bir dairesel silindir ve onun önündeki düz plakadan meydana gelen sisteminki (P00 durumu) ile kıyaslanmıştır.

Ön kısımdaki plakanın tipine bakılmaksızın, sistemlerin $\langle C_D \rangle$ 'leri TS'ninkinden daha düşüktür. İki cisim arasındaki çok düşük boyutsuz mesafelerde, $0 < g/D < 0,25$, $\langle C_D \rangle$ düşürme bakımından en iyi performansı P00 durumu göstermiştir. $g/D > 0,25$ için, P04 durumunun performansı P00'üne çok benzemektedir. Bununla birlikte, olası en düşük g/D 'de $\langle C_D \rangle$ 'yi minimuma düşürmede, P03'ün etkinliği en yüksek durum olduğu tespit edilmiştir. $g/D = 0,75$ olduğu durumda, P03 sisteminin $\langle C_D \rangle$ 'si, TS'ninkinden ve P00 sistemininkinden, sırasıyla, %37 ve %11 daha düşüktür.

Anahtar kelimeler: Direnç düşürme, dairesel silindir, pasif akış kontrolü, dikdörtgen-çentikli plaka

ABSTRACT

Drag Reduction on a Cylinder with Rectangular-Notched Plate

Although many upstream-placed small parts for the reduction of bluff body drag have been proposed in the literature by previous investigators, none of these investigations employed a three-dimensional part to reduce the drag of the system consisting of a bluff body and an upstream small part. In this work, aerodynamic performances of the systems with various rectangular-notched plates were tested experimentally. Experiments have been carried out in a closed-circuit wind tunnel. In all of the time-averaged drag, $\langle C_D \rangle$ measurements, the Reynolds number (Re) based on the cylinder diameter (D) was about 12000. The results for the systems consisting of a circular cylinder and upstream rectangular-notched plates (P01, P02, P03, and P04 cases) are compared with that for the single cylinder (case TS) and system consisting of a cylinder and an upstream plain plate (case P00).

Irrespective to the type of the upstream plate, $\langle C_D \rangle$ of the systems are lower than that of the TS. At very low dimensionless distance between two body, $0 < g/D < 0.25$, case P00 showed the best performance in terms of $\langle C_D \rangle$ reduction. For $g/D > 0.25$, the performance of the case P04 is very similar to that of the case P00. However, case P03 found to be the most effective in reducing the $\langle C_D \rangle$ to minimum at the lowest g/D possible. At $g/D = 0.75$, the $\langle C_D \rangle$ of the P00 system is %37 and %11 lower than those of the TS and P00 system, respectively.

Keywords: Drag reduction, circular cylinder, passive flow control, rectangular-notched plate

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması, temelde, bir dairesel silindir üzerine etkiyen aerodinamik direncin, akış sistemine başka bir parça ilave edilmesi sonucu ne tarz bir değişim sergileyeceğini belirleme üzerinedir. Bu sebeple, çalışma aerodinamik akış kontrolü kapsamındadır. Akış kontrolü, akla uygun her türlü cihaz ve ekipman kullanarak akış alanı içerisinde herhangi bir bölgede değişiklik yaratma girişimi olarak tanımlanabilir. Akış kontrolü, en genel haliyle pasif ve aktif akış kontrol tekniklerinden meydana gelmektedir. Şayet bir teknik herhangi bir akış alanı içerisinde kullanılırken enerji sarfiyatı gerektiriyorsa aktif, gerektirmiyorsa pasif akış kontrol teknikleri içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada akış sistemine ilave edilen plakalar herhangi bir enerji sarfiyatı gerektirmediğinden pasif akış kontrol elemanlarıdır.

1.2. Tezin Amacı

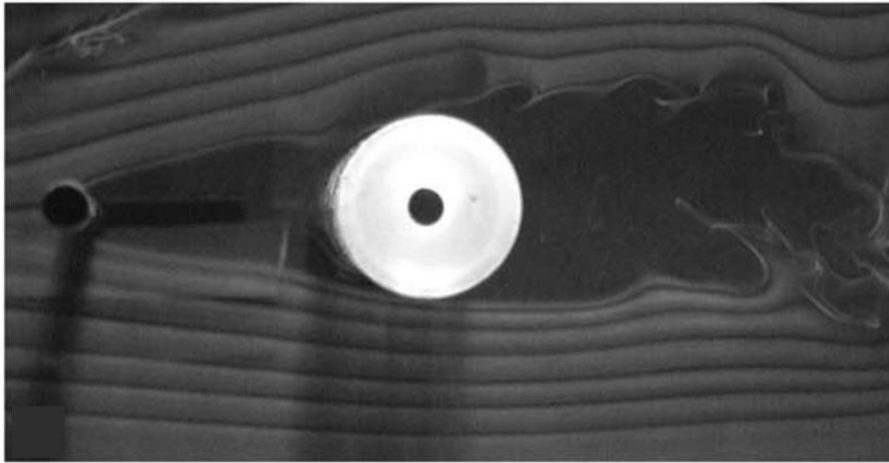
Dairesel silindir, üzerinde bir takım önemli akış fenomenleri (Akış ayrılması, laminar sınır tabakadan türbülanslı sınır tabakaya geçiş, çevri dökülmesi gibi) gözlemlenen, birçok araştırmacı tarafından ana model olarak kullanılmış ve kullanılmaya devam edilen, temini kolay ve uygun fiyatlı bir aerodinamik model olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada da akış sisteminin ana parçasını temsil etmektedir. Çentikli ve çentiksiz (düz) plakaların, ana modelin ön kısmına (akışa ters yönde), ana modelin yatay eksenine merkezli olacak şekilde ve belirli mesafelerde yerleştirilmesi sonucu oluşan sisteme (Sistem = Plaka + Silindir) etkiyen direncin tek silindirinkine nazaran ne tarz değişimler sergileyeceğini ortaya çıkarmak bu tezin temel amacıdır. Diğer amaçlar ise aşağıda sıralanmıştır.

- Aerodinamik direnci düşürmek adına akış alanı içersine ne tarz pasif akış kontrol elemanlarının dahil edildiğini öğrenmek ve etkilerini kavramak.
- Zaman-ortalama hız, kuvvet ve sıcaklık ölçümlerinin deneysel olarak nasıl gerçekleştirildiğini tecrübe etmek.

1.3. Literatür Taraması

Bu kısımda özellikle akış alanı içerisine sonradan dahil edilen pasif akış kontrol elemanlarının aerodinamik direnç düşürebilme etkinlikleri üzerinde durulmuştur. Sonrasında ise literatürdeki boşluk belirtilmiş ve bu boşluğun, henüz denenmemiş bir yöntemle (çentikli plakalar) nasıl kapatılacağı açıklanmıştır. Bu kısma başlamadan önce şunu da belirtmemizde fayda vardır. Aksi belirtilmedikçe dairesel silindir yalnızca silindir olarak anılacaktır.

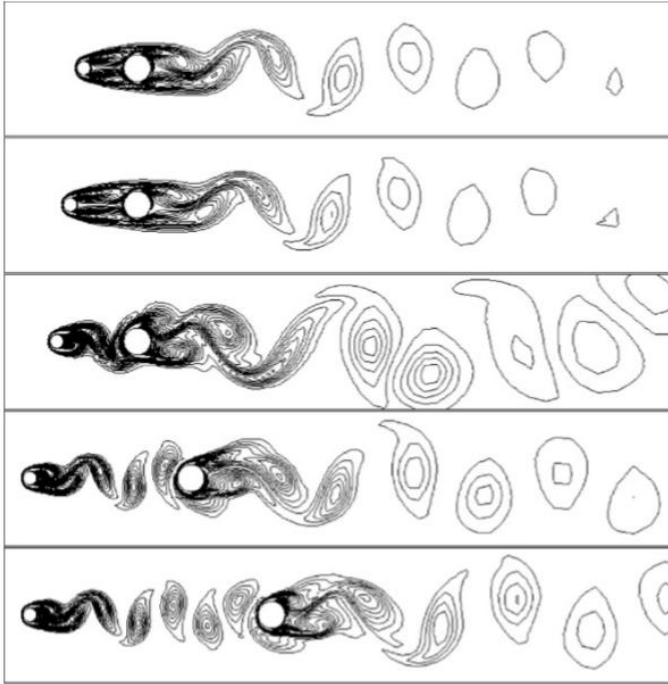
Lee ve ark. (2004), bir silindire etkiyen direnci düşürmek adına onun ön tarafına, ondan daha düşük çaplara sahip silindirleri sırayla, belirli mesafelere yerleştirerek test etmişlerdir (Resim 1.1). Çalışmalarını, büyük silindir çapına (D) bağlı Reynolds sayısının (Re) 20000 değerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, d küçük silindirin çapı olmak üzere, iki silindir arası mesafenin $2,081D$ olduğu ve küçük silindir çapının büyüğüne oranının $d/D=0,233$ olduğu durumda, toplam sisteme (küçük + büyük silindir) etkiyen direncin, tek başına büyük silindire etkiyeninkinden %29 daha az olduğunu ortaya koymuşlardır.



Resim 1.1. Silindirlere ait akış görselleri (Lee ve ark., 2004)

Zhang ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen sayısal çalışmada da, yukarıdaki çalışmanın düşük Re 'li durumu ele alınmıştır. Sayısal çalışma olduğu için akışa dair birçok parametrenin değişimi incelenebilmiştir. Yüksek Re 'de elde edilen akış yapısının aynısı bu çalışmada da elde edilmiştir. Buna göre, büyük silindir ile küçük silindir arasındaki boyutsuz boşluğun (L/D) bir kritik değere kadar olan kısmı için akış yapısı değişmezken

bu kritik değerden sonra akış yapısında değişiklik olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.1). Ortalama direnç ve çalkantı kaldırma katsayısının bu kritik boşluktan önce minimum değerlere düşürülebildiği gösterilmiştir. Özellikle, küçük silindir çapının büyüğüne oranının (d/D) artması sonucu hem ortalama dirençte hem de çalkantı kaldırma katsayısında düşüşler elde edilmiştir. Maksimum düşüşler $d/D = 0,5$ ve $L/D \approx 2,5$ değerlerinde elde edilmiştir ve değerleri, ortalama direnç ve KOK (karelerinin ortalamasının karekökü) kaldırma katsayısı için, sırasıyla, %35 ve %73'tür.



Şekil 1.1. Çap oranının $d/D=0,5$ ve boyutsuz boşluğun yukarıdan aşağıya, sırasıyla, $L/D=2,0, 2,5, 3,0, 6,0$ ve $9,0$ olduğu durumlar için elde edilen çevrinti desenleri (Zhang ve ark., 2006)

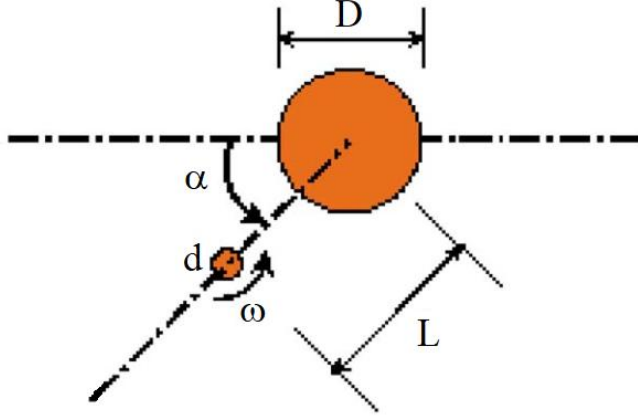
Wang ve ark. (2006) ise yukarıdaki iki çalışmada kullanılan küçük silindir çapı ve boyutsuz boşluk parametrelerine ek olarak hücum açısının (α) etkisini de incelemiştir (Şekil 1.2). Deneysel çalışmalarını $Re = 82000$ değerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında basınç ölçümünden faydalanarak büyük silindir üzerine etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin değişimini ve hidrojen kabarcığı yöntemiyle de farklı akış yapılarını incelemiştir. Hücum açısının 5° 'den düşük olduğu durumlarda silindir üzerine etkiyen ortalama direncin, küçük silindir çapına ve boyutsuz boşluğa bakılmaksızın, tek silindire nazaran düşük olduğu belirtilmiştir. Hücum açısının $10^\circ < \alpha < 45^\circ$ olduğu durumlarda küçük silindirin hidrodinamik direnci düşürme bakımından etkin olmadığı

Diagram illustrating the geometry of a hydrodynamic bearing system. A small cylinder (Küçük silindir) with diameter d is positioned near a large cylinder (Büyük silindir) with diameter D . The distance between the centers of the two cylinders is L . The small cylinder is offset from the horizontal centerline by a distance a . The flow velocity is U_0 . The contact points are labeled C_1 and C_2 .

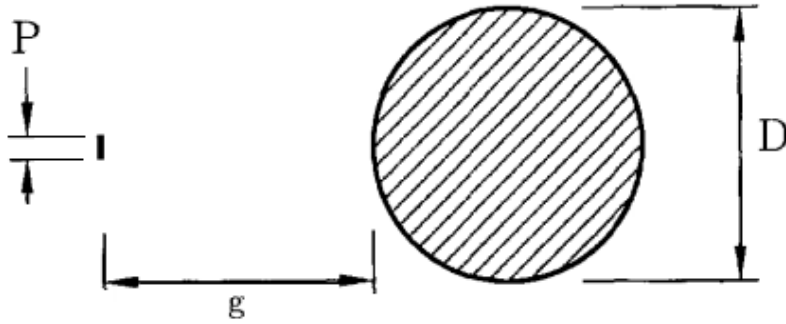
Ayyapan ve Vengadesan (2008) ise boyutsuz boşluğu 1 değerinde sabit tutup, iki farklı çap oranı için, hücum açısının küçük silindire saat yönünün tersinde ve serbest akım hızının 3 katı kadar dönme hızı verildiği durum için sistem etrafındaki akışı incelemiştir (Şekil 1.3). Sayısal çalışmalarını $Re = 100$ ve 500 olmak üzere iki değerde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, $Re = 100$ için, $d/D = 0,2$ olan küçük silindirin büyük silindirle yan yana getirildiği durumda (yani $\alpha = 90^\circ$), sistem art izinde meydana gelen çevri dökülmesi olayının ortadan kalktığını belirtmişlerdir. Aynı sonuca $d/D = 0,5$ olan küçük silindirin $\alpha = 45^\circ$ 'ye yerleştirildiğinde de ulaşıldığını belirtmişlerdir. Ortalama direnç katsayılarındaki maksimum düşüşler $Re = 100$ ve $d/D = 0,2$ durumu için $\alpha = 3^\circ$ 'de gerçekleşirken ($1,05$ 'e düşmüştür), $Re = 500$ ve $d/D = 0,5$ durumu için $\alpha = 10^\circ$ 'de gerçekleşmiştir ($0,65$ 'e düşmüştür).

4

bulunduğu sisteme etkiyen toplam direnç katsayısının, tek başına silindire etkiyeninkinin %38'i olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.3. Sayısal çalışmanın düzeneği ve ilgili parametreler (Ayyapan ve Vengadesan, 2008)

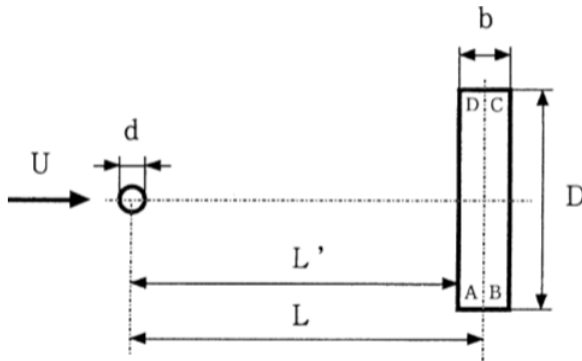


Şekil 1.4. Silindir üzerindeki ortalama direnci düşürmek için kullanılan düzenek ve parametreleri (Prasad ve Williamson, 1997)

Triyogi ve ark. (2009) ise büyük silindirin ön kısmına yerleştirilen küçük silindirin ön ve arka durma noktalarından başlayarak belirli açılarda düşey olarak kesmişler ve ortaya çıkan I-tipi küt kontrol elemanlarının ve boyutsuz boşluğun sistemin direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını $Re = 52000$ değerinde gerçekleştirmişlerdir. Sisteme ait ortalama direnç katsayısının, kontrol elemanı olarak 65° 'lik kesilme açılara sahip I-tipi model kullanıldığında tek silindirinkine nazaran %48 düşürülebildiği belirtilmiştir.

Hem ana modelin silindirden farklı olduğu hem de ön kısmına yerleştirilen kontrol elemanının daireye ya da farklı bir en-kesite sahip olduğu çalışmalar da bulunmaktadır. Mesela, Igarashi ve Terachi (2002), hava akımına dik yerleştirdikleri düz plaka

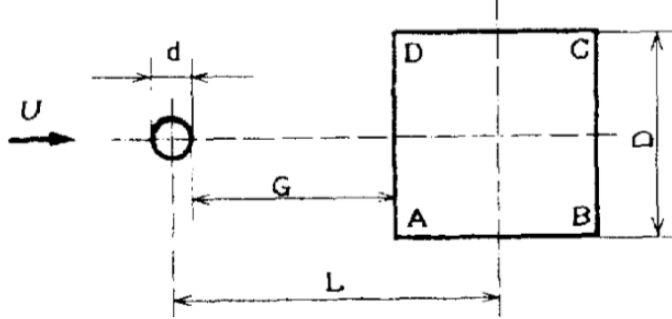
üzerindeki direncin azaltılması üzerine gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, plaka etrafındaki akışı kontrol etmek için plakanın önüne küçük bir silindir yerleştirmişlerdir (Şekil 1.5). Çalışmalarında, plakanın yüksekliği 50 mm'dir, küçük silindirin çapı 2 ile 20 mm arasında seçilmiştir, model merkezleri arasındaki boyutsuz mesafe (L/D) 1,0 ile 2,6 arasında değişmektedir ve Re ise 19000 ile 77000 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, silindir çapının levha yüksekliğinin %40'ı ve $L/D = 2,0$ olduğu durumda sisteme etkileyen toplam direncin, çalışılan Re aralığında, tek silindirinkinden %20-30 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.



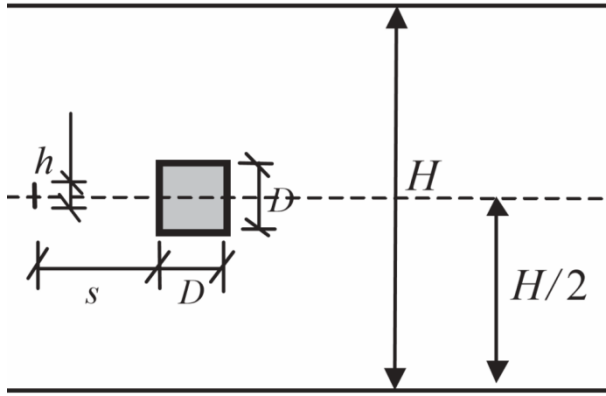
Şekil 1.5. Plaka üzerindeki direnci düşürmek için kullanılan sistemin şematığı ve parametreler (Igarashi ve Terachi, 2002)

Igarashi (1997), kare prizma etrafındaki akışı kontrol edebilmek için onun ön kısmına küçük bir silindir yerleştirmiştir (Şekil 1.6). Deneysel çalışmasında, prizmanın kenar uzunluğu 30 mm, $Re = 32000$, küçük silindir çapı 1 ile 6 mm arasında ve model merkezleri arası mesafe 55 ile 120 mm arasında olacak şekilde seçmiştir. Küçük silindir çapının kare prizmanın kenar uzunluğuna oranının 0,1 ile 0,2 arasında değiştiği durumda, sisteme etkileyen direncin tek başına prizmaya etkileyen dirence oranla kritik mesafeden önce %70 civarı azaldığını, kritik mesafeden sonra ise %50 civarı azaldığını belirtmiştir. Zhou ve ark. (2005), kare prizma kenar uzunluğunun 8 katı yüksekliğe sahip bir kanal içerisinde bulunan prizma üzerine etkileyen aerodinamik kuvvetleri düşürebilmek için prizma ön kısmına düşey yönde ince bir plaka yerleştirmişlerdir (Şekil 1.7). Sayısal çalışmalarında $Re = 250$ 'dir, plaka yüksekliği prizma kenar uzunluğunun %10'u ile %100'ü arasında değişmektedir ve modeller arası boşluk prizma kenar uzunluğunun 0,5 ile 3,0 katları arasında değişmektedir. Plaka yüksekliğinin artmasıyla birlikte sisteme etkileyen toplam direncin iyi bir oranda düşürüldüğünü belirtmişlerdir. Kontrol plakasının,

tek prizmaya etkiyen KOK kaldırma katsayısını düşürmede de çok etkili bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

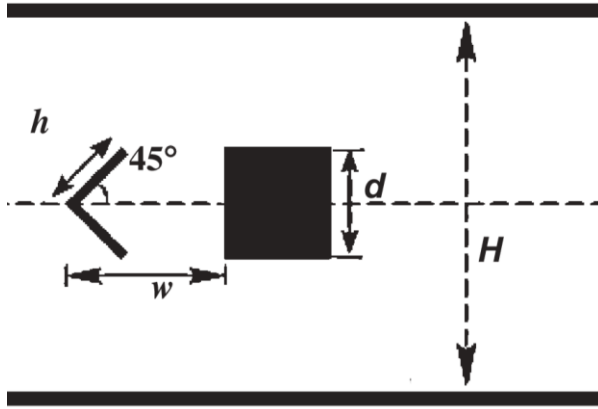


Şekil 1.6. Prizma üzerindeki direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Igarashi, 1997)



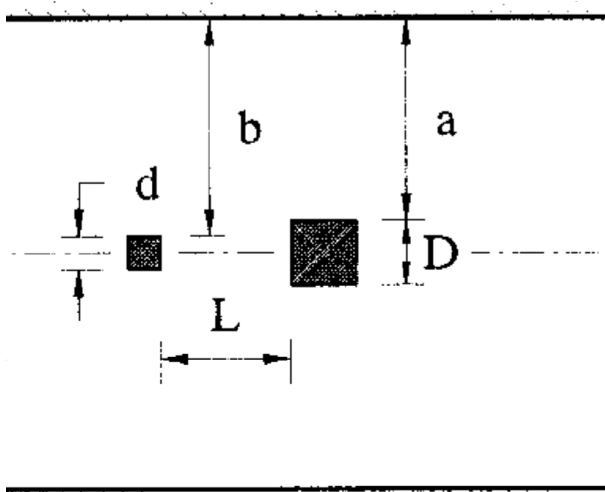
Şekil 1.7. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Zhou ve ark., 2005)

Moussaoui ve ark. (2010) ise yukarıdaki çalışmada kullanılan plaka yerine sola bakan ve sağ kenarı bulunmayan içi boş ok şeklindeki kontrol elemanını kullanmışlardır (Şekil 1.8). Kanal yüksekliği ve Re yukarıdaki çalışma ile aynı değerlere sahiptir. Sayısal çalışmalarında, ok ucundan prizma ön yüzeyine olan yatay mesafenin prizma kenar uzunluğuna oranı 1 ile 5 arasında, boyutsuz kontrol elemanı yüksekliği ise 0,1 ile 1,0 arasında değişmektedir. Çalışmaları sonucunda, ok şeklindeki kontrol elemanının aerodinamik açıdan yukarıdaki çalışmada kullanılan plakaya benzer etkinlik gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 1.8. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Moussaoui ve ark., 2010)

Rosales ve ark. (2000) ise, kenar uzunluğunun yaklaşık 7,3 katı yüksekliğe sahip kanal içerisine yerleştirilmiş kare prizma etrafındaki akışta ve ısı transfer oranında, prizma önüne daha küçük bir kare prizma yerleştirilmesi durumunda ne tarz bir değişiklik olacağını sayısal olarak incelemişlerdir (Şekil 1.9). Çalışmalarında, prizmaların kenar uzunluk oranı 0,5'tir, büyük prizmanın kenar uzunluğuna bağlı $Re = 500$ 'dür ve duvara olan yakınlık ile modeller arası mesafenin etkileri incelenmiştir. Hem tek hem de kontrol prizmasının olduğu durumda, duvara yaklaşıldıkça ısı transfer oranının ve ortalama direncin düştüğü belirtilmiştir.



Şekil 1.9. Kanal içerisindeki prizmaya etkiyen direnci düşürmek için kullanılan sistem ve parametreler (Rosales ve ark., 2000)

Yukarıdaki literatür özetinden de anlaşılacağı üzere bir model üzerine etkiyen direnç, onun ön kısmına yerleştirilen ve ondan daha küçük boyuta sahip bir eleman yardımıyla düşürülebilmektedir. Yukarıdaki özet içerisinde yer alan çalışmaların hiç birinde üç-boyutlu akış meydana getirecek bir kontrol elemanı yer almamaktadır. Bunun temel sebebi kullanılan kontrol elemanlarının en-kesitlerinde derinlik boyunca herhangi bir değişiklik olmadığıdır. Mevcut deneysel çalışmada ise üç-boyutlu akış oluşturacak bir kontrol plakası (dikdörtgen-çentikli plaka) kullanılacaktır ve oluşan bu üç-boyutlu akışın plaka-silindir üzerine etkiye direnç üzerindeki etkisi araştırılacaktır.



2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kapalı Çevrim Rüzgar Tüneli

Kapalı çevrim rüzgar tüneli, Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akış Kontrol Laboratuvarında bulunmaktadır (Resim 2.1). Tünel test bölgesi 3 m uzunluğundadır. En kesit alanı ise $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 'dir. Test bölgesi sonrasında yer alan 18,5 kW gücündeki eksenel fan ile tünel içinde akış oluşturulmaktadır. Serbest akım hızının (U_∞) değerine, eksenel fan elektrik motorunun devir sayısını değiştirerek erişilmektedir. Bu elektrik motorunun devir sayısını değiştirmede bir değişken frekans sürücüsü kullanılmaktadır (Mitsubishi Electric Co., FR-F740-00380-EC). Bu sürücünün bir görüntüsü resim 2.2'de verilmiştir. Yüksek fan devir sayılarında tünel içi titreşim artmaktadır. Bu yüzden yüksek serbest akım hızı değerlerine çıkılmamaktadır. Sonuç olarak, test bölgesinde erişilebilen maksimum rüzgar hızı 8 m/s olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışmada da bu değerin altında çalışılmıştır. Bu değerin altındaki hızlarda türbülans şiddetinin serbest akım doğrultusundaki bileşeni %1'in altında kalmaktadır.



Resim 2.1. Kapalı çevrim rüzgar tünelinin dışarıdan bir görüntüsü (orijinal)



Resim 2.2. Değişken frekans sürücüsünün bir görüntüsü (orijinal)

2.2. Kızgın-Tel Anemometresi

Tünel test bölgesi içerisindeki serbest akım hızı kızgın tel anemometresi yardımıyla ölçülmüştür (Resim 2.3). Bu hızölçer el tipidir, teleskopik bir proba sahiptir, anlık veya ortalama değer ölçümü yapabilmektedir ve hem sıcaklık (0°C ile 50°C aralığında) hem de hız ölçümü (0,1 m/s ile 25 m/s aralığında) yapabilmektedir (PCE Instruments, PCE-423).

İstenilen serbest akım hızının değerine hangi fan frekansı değerinde ulaşıldığını tespit etmek için şu adımlar kullanılmıştır. İlk adımda, cihazın probu test bölgesi duvarındaki bir açıklıktan içeri doğru sokularak test bölgesi en kesit alanının merkezinde sabitlenmiştir. İkinci adımda, fan frekans değeri sabit tutularak tünel içi serbest akım hızı 60 saniye boyunca alınan anlık değerlerin ortalaması şeklinde elde edilmiştir. Üçüncü adımda, istenilen hız değerini elde edene kadar bu işlem tekrarlanmıştır.



Resim 2.3. Kızgın-tel anemometresinin bir görüntüsü (orijinal)

2.3. Üç-Boyutlu Yazıcı

Eklemeli üretim (additive manufacturing) olarak da bilinen üç-boyutlu (3B) üretim, bilgisayar üzerinde tasarlanmış veya 3B olarak hazırlanmış modelleri, çeşitli malzemeler kullanarak hızlı bir şekilde, ekstra bir kalıp veya fikstüre ihtiyaç duymadan üreten süreçleri ve sistemleri içeren bir kavramdır. Üç-boyutlu yazıcılar ise bu kavramın sistemleri içerisinde yer alan cihazlardır. Bu cihazlar yardımıyla bir ürünü basmak için genel olarak şu adımlar takip edilir. İlk olarak, üretilmesi planlanan ürünün bir bilgisayar destekli tasarım (BDT) programı yardımıyla üç-boyutlu sayısal modeli ortaya çıkartılır ve kullanılan dilimleme programının tanıyacağı bir uzantıda (.stl, .obj, vb.) kaydedilir. İkinci adımda, sayısal model dosyası dilimleme programı içerisine atılır ve baskı ile ilgili ayarlar yapıldıktan sonra bir kod dosyası elde edilir. Üçüncü adımda, bu kod dosyası yazıcıya okutulur ve üç boyutlu yazıcı baskı hacmi sınırları içerisinde verilen bu modeli ya da onun bir parçasını basar. Son adım ise basılan modelin yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ile ilgili süreçleri içermektedir.

Akış Kontrol Laboratuvarında bulunan yazıcının baskı hacmi 300 mm (uzunluk) × 300 mm (derinlik) × 400 mm (yükseklik) şeklindedir (Resim 2.4). Yazıcı, eriyik yığılma modelleme (fused deposition modeling, FDM) teknolojisini kullanmaktadır (TEVO 3D Electronic Technology Co.,Ltd., Tornado). Baskısı alınan tüm parçalarda, filament olarak, 1,75 mm anma çapına sahip iyileştirilmiş polilaktik asit türü olan PLA+ kullanılmıştır (Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd., PLA+). Bu malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1. PLA+ malzemeye ait fiziksel ve mekanik özellikler

Özellik	Değer
Baskı sıcaklığı (°C)	190-210
Yoğunluk (g/cm ³)	1,24
Deformasyon sıcaklığı (°C, 0,45 MPa)	52
Eriyik akış indeksi (g/10 dk)	2 (190°C/2,16 kg)
Gerilme dayanımı (MPa)	60
Uzama kopması (%)	29
Eğilme dayanımı (MPa)	87
Esneklik modülü (MPa)	3642
IZOD darbe dayanımı (kJ/m ²)	7



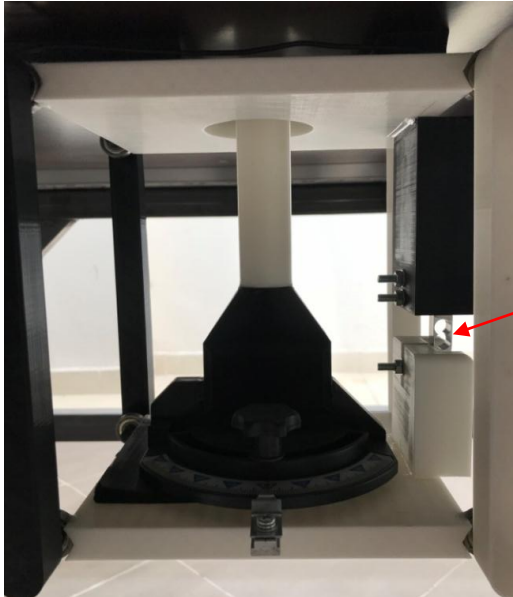
Resim 2.4. Üç-boyutlu yazıcının bir görünümü (orijinal)

2.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Bu sistem, ± 5 N ölçüm aralığına sahip küçük boy yük hücresi (ME-Meßsysteme GmbH, KD60), veri toplama cihazı (Marmatek Measurement Technologies, VTA-1704), tünel alt kısmına yerleştirilmiş ve sadece rüzgar doğrultusunda salınabilen salıncak mekanizması, sapma açısı ayar aparatı ve tünel alt duvarının üst kısmına kurulmuş döner tablalı plakadan oluşmaktadır. Veri toplama cihazına, yük hücresinin salıncak mekanizmaya bağlantısına ve döner tablalı plakaya ait fotoğraflar aşağıda görülmektedir (Resim 2.5, 2.6 ve 2.7). Kuvvet verilerini elde etmede kullanılan blok diyagram ise şekil 2.1’de sunulmuştur.



Resim 2.5. Veri toplama cihazı (orijinal)

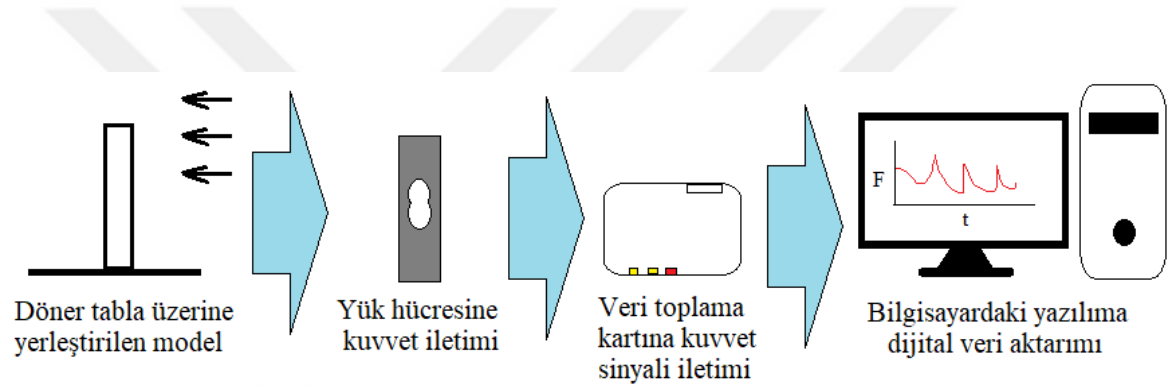


Yük hücresi

Resim 2.6. Kuvveti ölçmede kullanılan salıncak mekanizma, açı ayar aparatı ve yük hücresi (orijinal)



Resim 2.7. Rüzgar tüneli içerisinde bulunan plaka ve döner tabla (orijinal)



Şekil 2.1. Kuvvet ölçüm sisteminin blok diyagramı

2.5. Hizalama Lazeri

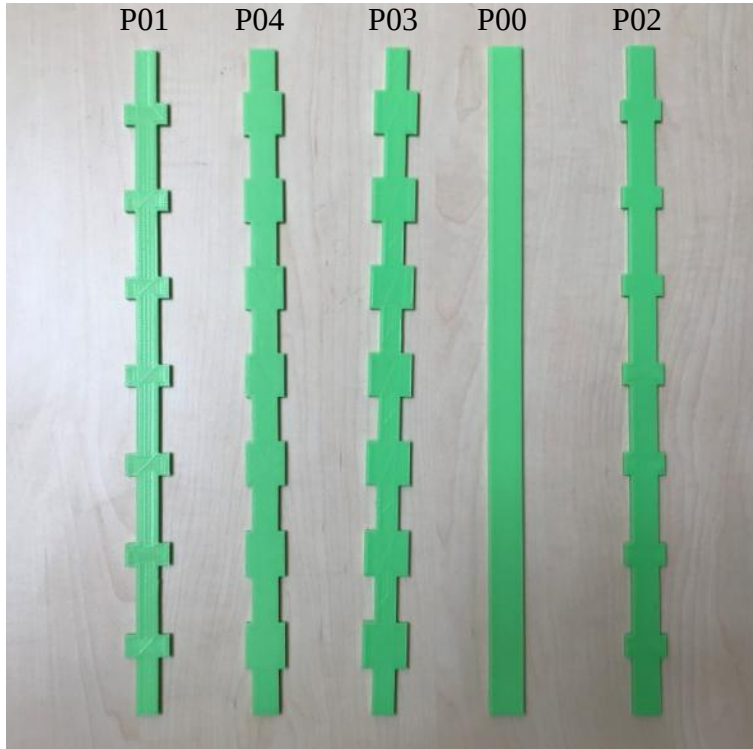


Resim 2.8. Dikey ve yatay hizalama lazeri (DeWALT, DW088CG) (orijinal)

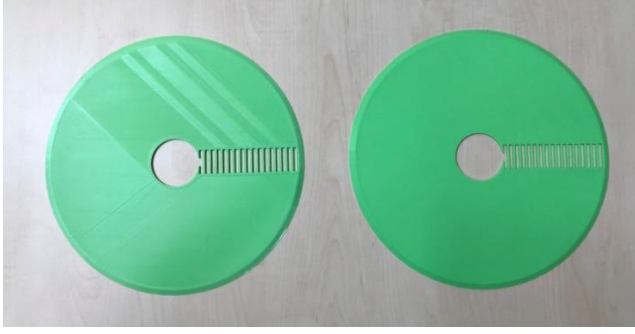
Hizalama lazeri model merkezleri arasındaki eksenin serbest akım doğrultusuna hizalanmasında kullanılmıştır (Resim 2.8). Lazer, $\pm 0,3$ mm/m maksimum sapma ile sadece düşey, sadece yatay ve eş zamanlı düşey ve yatay düzlemsel ışık oluşturabilmektedir. Lazer yeşil ışık kaynağına sahiptir ve belirli bir açıya kadar olan eğimli yüzeylere yerleştirildiğinde bile istenilen hizalamayı sağlayabilmektedir.

2.6. Test Modeli ve Parametreler

Deneylerde kullanılan çentikli ve çentiksiz plakalara ait fotoğraf resim 2.9’da verilmiştir. Bu plakalar uçlarından uç plakadaki oluklara düşey eksene hizalı şekilde yerleştirilmektedir (Resim 2.10). Ana modeli temsil eden dairesel silindir de uç plakadaki dairesel deliklere düşey eksene hizalı şekilde yerleştirilmiş ve yapıştırıcılarla sabitlenmiştir (Resim 2.11). Bu işlemden önce, üç-boyutlu yazıcının silindirik modeli katman katman basarken yüzeyinde oluşturduğu pürüzleri gidermek için ince zımpara ile pürüzsüzleştirilme işlemi yapılmıştır. Hem plakanın hem de silindirin uç plakalarla sabitlendiği düzeneğe ait fotoğraf da resim 2.12 içerisinde verilmiştir. Uç plaka içerisinde boşta kalan oluklar ise ince bir bant yardımıyla kapatılmıştır.



Resim 2.9. Üç-boyutlu yazıcıda basılan çentikli ve düz plakalar (orijinal)



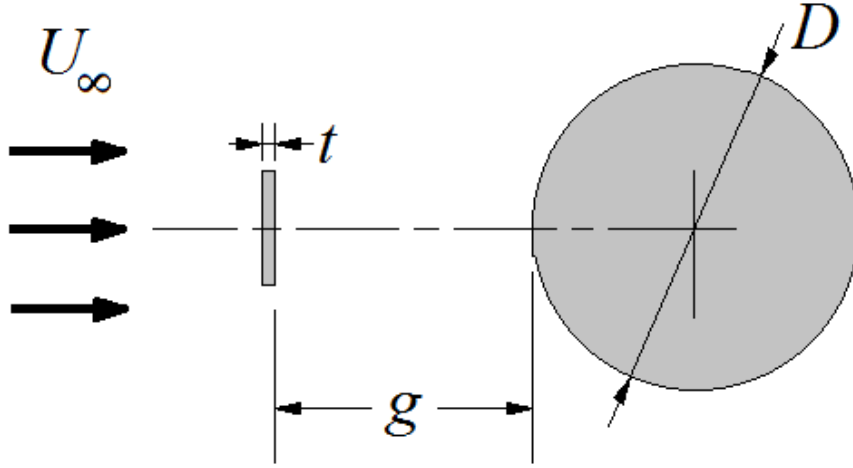
Resim 2.10. Üç-boyutlu yazıcıda basılan uç plakalar (orijinal)



Resim 2.11. Üç-boyutlu yazıcıda basılan boş dairesel silindir (orijinal)

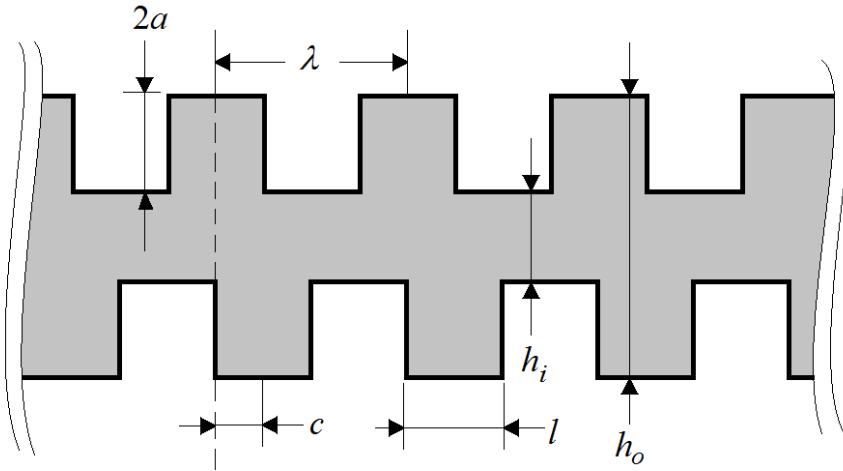


Resim 2.12. Test edilecek sistemin nihai halinin genel bir görüntüsü (orijinal)



Şekil 2.2. Deneyde test edilecek sistemin üstten en-kesitinin şematığı

Yük hücrelerine salıncak mekanizması ile bağlı döner tabla üzerinde direnç ölçümleri gerçekleştirilecek plaka ve silindirden oluşan sisteme ait şematik şekil 2.2’de verilmiştir. Burada, t sembolü kontrol plakasının kalınlığını, D sembolü silindir dış çapını, U_∞ sembolü serbest-akım hızını ve g sembolü de iki cisim arasındaki boşluğu göstermektedir.



Şekil 2.3. Kontrol plakasının geometrik özellikleri

Silindirin ön kısmına, silindirin ön durma noktasına teğet olacak şekilde ve merkezi silindirin yatay eksenine çakışacak şekilde yerleştirilen çentikli plakaya ait şematik ve geometrik parametreler Şekil 2.3’te verilmiştir. Burada, a sembolü genliği, λ sembolü dalga boyunu, c sembolü faz farkını, h_i çentikli plaka minimum yüksekliğini, h_o sembolü çentikli plaka maksimum yüksekliğini ve l sembolü ise tepe uzunluğunu göstermektedir.

Tablo 2.2. Deneylerde kullanılan parametreler ve değerleri

Fiziksel büyüklük/parametre	Kullanılan değerler	Değer sayısı
Hava sıcaklığı (°C)	17-21	1
Yerel atmosfer basıncı (kPa)	89,6-91,6	1
Serbest akım hızı, U_{∞} (m/s)	$5,1 \pm \%5$	1
Fan devir frekansı (Hz)	18,80	1
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	$1,08 \pm \%2$	1
Viskozite, μ (kg/m/s)	$1,825 \times 10^{-5} \pm \%0,5$	1
Serbest akım hızı ve silindir dış çapına dayalı Reynolds sayısı (Re)	$12000 \pm \%5,5$	1
Uç plakalarla sınırlandırılmış silindir ve plakaların uzunluğu (mm)	$300 \pm 0,5$	1
Silindir dış çapı, D (mm)	$40 \pm 0,5$	1
Silindir iç çapı, $D_{iç}$ (mm)	$36 \pm 0,5$	1
Uç plaka dış çap (mm)	$220 \pm 0,5$	1
Uç plaka et kalınlığı, t (mm)	$3 \pm 0,5$	1
Uç plakaya uygulanan pah	$60^{\circ} \pm 1^{\circ}$	1
Düz plaka yüksekliği (mm)	$15 \pm 0,5$	1
Çentikli plaka maksimum yüksekliği, h_o (mm)	$18 \text{ ve } 20 \pm 0,5$	2
Çentikli plaka minimum yüksekliği, h_i (mm)	$10 \text{ ve } 12 \pm 0,5$	2
Plakaların kalınlığı, t (mm)	$3 \pm 0,5$	1
Tepe uzunluğu, l (mm)	$10 \text{ ve } 20 \pm 0,5$	2
Silindir ile plaka arası boyutsuz mesafe, g/D	0, 0,125, 0,250, 0,375, 0,500, 0,625, 0,750, 0,875, 1,000, 1,125, 1,250, 1,375, 1,500, 1,625, 1,750, 1,875 ve $2,000 \pm 0,7$	17
Dalga boyu, λ (mm)	$40 \pm 0,5$	1
Çentikler arası faz farkı, c (mm)	0	1

Yukarıda tanıtımı yapılan parametrelerin ve diğer parametrelerin tanımları tablo 2.2 içerisinde sunulmuştur. Tabloda yer alan değerler belirsizlik değerleri ile birlikte verilmiştir. İlgili tabloda verilen Reynolds sayısı (Re), atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak bilinir, boyutsuz hız olarak da düşünülebilir ve silindir dış çapına bağlı olarak aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot D}{\mu} \quad (2.1)$$

Zaman-ortalamalı direnç kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Formülde yer alan F_D (N) tünel içerisindeki tüm sisteme etkiyen rüzgar direncini, N sembolü alınan toplam veri sayısını, i sembolü anlık veri numarasını ve n ise anlık veri bitiş numarasını temsil etmektedir.

$$\langle F_D \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.2)$$

Direnç ölçüm sisteminde kullanılan örnekleme sayısı 200 Hz'dir. Buda her 0,005 s'de bir veri alındığını ifade eder. Her bir kuvvet ölçümü 40 s boyunca veri alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu da her bir set içerisinde 8000 adet verinin alındığını, dolayısıyla da her bir zaman-ortalamalı direnç kuvvetinin 8000 verinin ortalamasından elde edildiğini ifade eder.

Direnç ölçüm sisteminin rüzgar tüneli test bölgesi içerisinde bulunan her parçaya etkiyen direnç yük hücresi tarafından algılanmaktadır. Bu sebeple uç plakalara, döner tablaya ve tabla destek silindirine etkiyen direnç de biz istemesek de yük hücresi tarafından algılanmaktadır. İşte, adı geçen bu parçalarında dahil olduğu tüm sistemin ortalama direncinden, $\langle F_{D-Tüm} \rangle$ sadece bu parçalara etkiyen ortalama direnç, $\langle F_{D-Par} \rangle$ çıkarıldığında geriye uç plakalar arasında kalan sisteme (plakalı veya plakasız silindir) ait ortalama direnç, $\langle F_{D-Sis} \rangle$, kalmaktadır. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\langle F_{D-Sis} \rangle = \langle F_{D-Tüm} \rangle - \langle F_{D-Par} \rangle \quad (2.3)$$

Yukarıdaki formülde kullanılan $\langle \dots \rangle$ operatörü içerisinde yazılan parametrenin zaman-ortalamalı halini ifade etmektedir. Sadece uç plakalar arasında kalan sisteme akış doğrultusunda hava tarafından etkiyen net kuvvetin boyutsuzlaştırılmış hali olan direnç katsayısı, zaman-ortalamalı olarak, aşağıda verilmiştir.

$$\langle C_D \rangle = \frac{\langle F_{D-sis} \rangle}{0,5 \cdot \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot A_F} \quad (2.4)$$

Formüldeki A_F (m^2), plakalı veya plakasız silindire ait ön görünüş alanını temsil etmektedir. Zaman-ortalamalı direnç katsayısına ait yüzdelik belirsizlik (u), aşağıdaki formül kullanılarak $\pm\%8$ olarak tespit edilmiştir.

$$u_{C_D} = \sqrt{(u_{F_D})^2 + (-1 \cdot u_{\rho})^2 + (-2 \cdot u_{U_{\infty}})^2 + (-1 \cdot u_{A_F})^2} \quad (2.5)$$

Plakalar değişik ebatlarda olduğundan dolayı, sistem içerisinde kullanılan her bir plaka özelliklerine uygun olacak şekilde kodlanmıştır (Tablo 2.3). Bu kodlama sayesinde, sistemde, silindir ön kısmına yerleştirilen plakanın ne olduğu basitçe anlaşılabilecektir. Bunun dışında, aşağıdaki tabloda verilmeyen tek silindir (plakanın olmadığı durum) ise TS olarak kodlanmıştır.

Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan plakaların kodları

Plaka kodu	Plaka türü	l (Tepe genişliği)	h_i (Çentikli plaka minimum yüksekliği)	h_o (Çentikli plaka maksimum yüksekliği)
P00	Düz	-	-	-
P01	Çentikli	10 mm	10 mm	20 mm
P02	Çentikli	10 mm	12 mm	18 mm
P03	Çentikli	20 mm	10 mm	20 mm
P04	Çentikli	20 mm	12 mm	18 mm

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

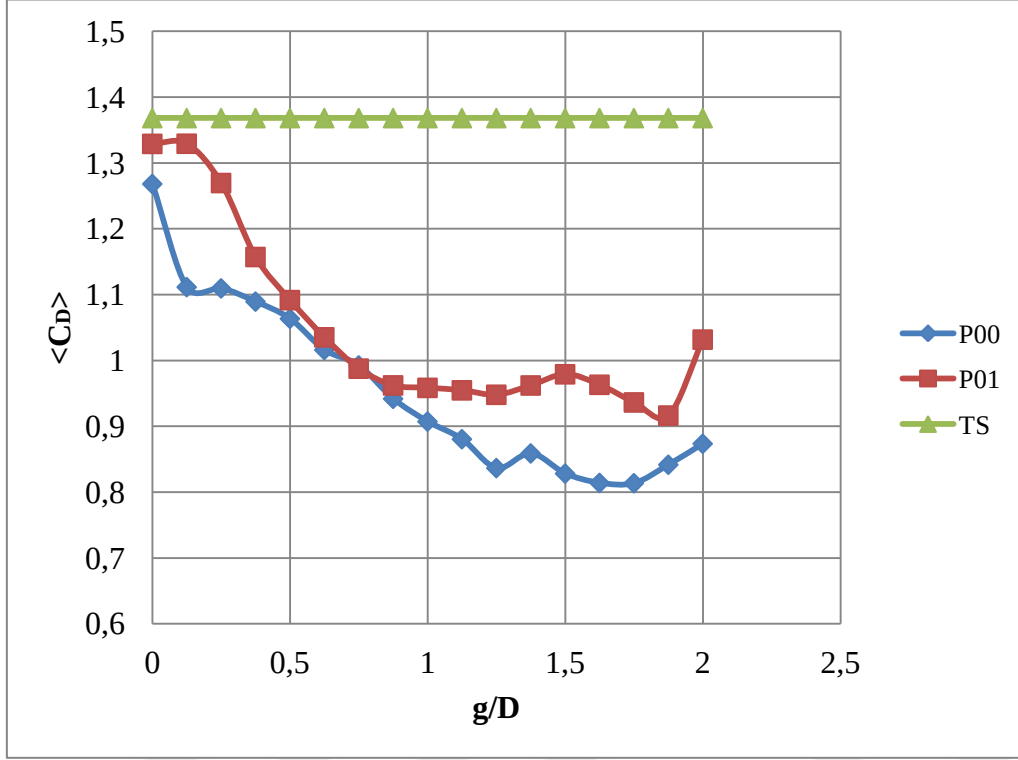
3.1. Giriş

Test edilen modellere geçmeden önce tek silindirle ilgili bir takım bilgilerin verilmesinde fayda vardır. Test edilen tek silindirin şekil oranı (yükseklik/çap) 7,5'tir. Bu şekil oranına sahip silindir yüzeyinin yüksekliği boyunca genişçe bir bölgede iki-boyutlu bir akışın olduğu varsayılabilir. Bu silindire etkiyen blokaj oranı ise (çap/tünel genişliği) %4'tür. Bu değer küçük olmasına karşın direncin beklenenden daha büyük çıkmasına sebebiyet vermektedir. Buna rağmen herhangi bir blokaj düzeltme faktörü sisteme uygulanmamıştır. Mevcut çalışmada tek silindir için elde edilen zaman-ortalama direnç katsayısının, $\langle C_D \rangle$, değeri $Re = 12000$ için $1,37 \pm 0,1$ olarak elde edilmiştir. Aynı Re 'de, Silva-Ortega ve Assi (2018) ile Wieselsberger (1922) tarafından ölçülen değerler, sırasıyla, 1,4 ve 1,2'dir. Elde edilen bu değerlerdeki farklılıklar, literatüre bakıldığında çok farklı parametrelerden kaynaklı olabilmektedir. Bu parametrelerden en göze çarpanları şekil oranı, blokaj oranı, kuvvet ölçüm yöntemi ve türbülans şiddeti olarak verilebilir.

3.2. Plakaların Etkisi

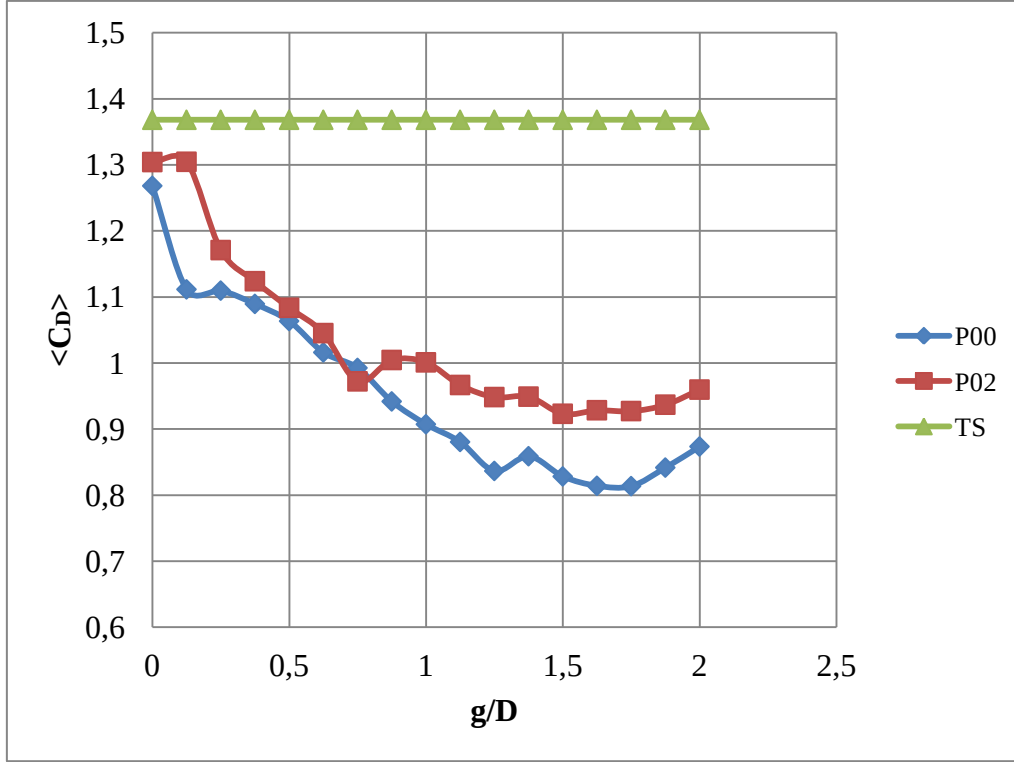
Bu kısımda, bir plaka ve silindirden oluşan sisteme etkiyen zaman-ortalama direnç katsayısını tek silindire etkiyen ile kıyaslayarak plakaların aerodinamik direnci düşürebilme etkinliği tartışılacaktır. Şekil 3.1, TS, P00 ve P01 modellerine etkiyen ortalama dirençlerin boyutsuz mesafeye (g/D) göre değişimlerini göstermektedir. Şekilde ilk göze çarpan durum, iki plaka da hangi g/D 'ye yerleştirilirse yerleştirilsin sisteme etkiyen ortalama direncin tek silindire etkiyeninkinden hep düşük olduğudur. Özellikle düz plaka, düşük g/D 'lerde bile sistem direncini iyi bir oranda düşürebilmiştir. Mesela, $g/D = 0,125$ durumunda P00 sisteminin direnci tek silindirinkinden %18,7 daha düşüktür. Direncin, g/D 'nin düşük değerlerde düşürülmesi de büyük önem arz etmektedir çünkü bileşenler arası mesafenin düşük olması daha kompakt bir sistem geometrisinin elde edilmesine olanak tanır. P00 sistemine etkiyen direnç minimum değerine $g/D = 1,750$ değerinde erişmiştir. Bu durumda ona etkiyen direnç tek silindirinkinden %40 daha düşüktür. P01 sistemine etkiyen direnç, sadece $g/D = 0,500-0,875$ aralığında P00'unki kadar düşük değerlere erişebilmiştir. P01 sistemine etkiyen direnç minimum değerine g/D

= 1,875 değerinde erişmiştir. Bu durumda ona etkiyen direnç tek silindirinkinden %33 daha düşüktür.



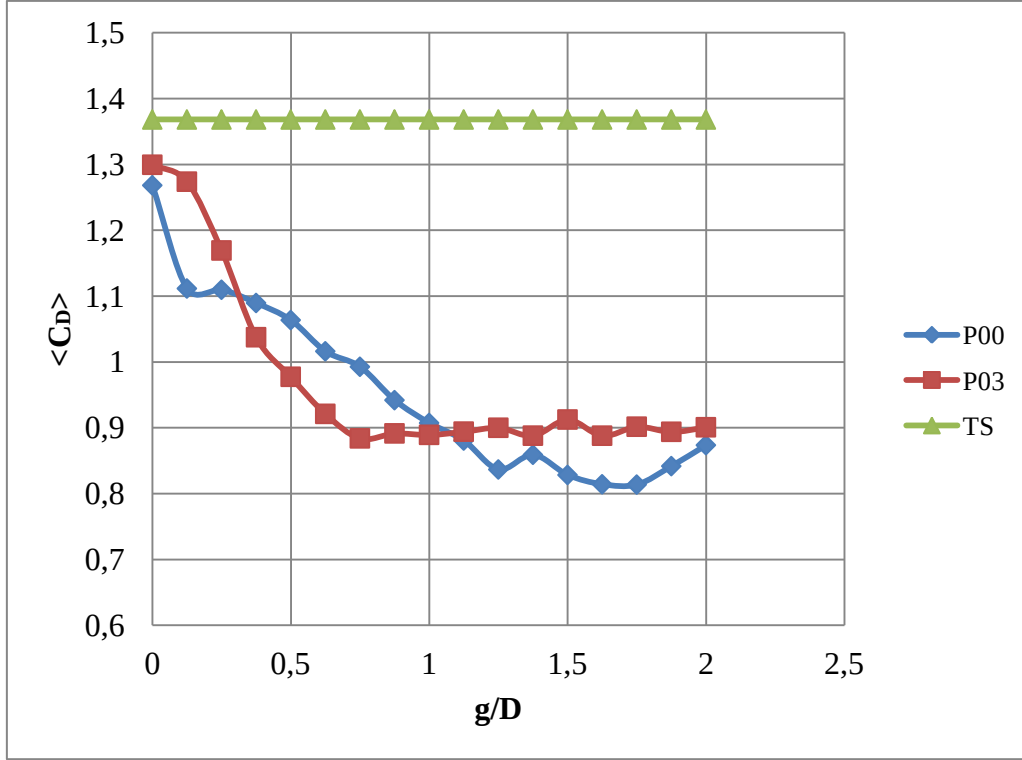
Şekil 3.1. Çentikli (P01) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması

TS, P00 ve P02 modellerine etkiyen ortalama dirençlerin boyutsuz mesafeye (g/D) göre değişimleri ise şekil 3.2 içerisinde verilmiştir. P02 modeline etkiyen direnç $g/D = 0-0,125$ aralığında değişim sergilememiştir. Boyutsuz mesafenin 0,125'ten 0,750'ye olan değişimi ile bu modele etkiyen direnç neredeyse doğrusal olarak azalım sergilemiştir. Hatta, bu model, $g/D = 0,750$ 'de, düz plakalı sisteme etkiyen dirençten daha düşük bir dirence sahiptir. Boyutsuz mesafenin 0,750'den 2,000'a kadar olan kısmı için bu sistemin direnci 0,9-1,0 bant aralığında kalmıştır. P02 sistemine etkiyen direnç minimum değerine $g/D = 1,500$ değerinde erişmiştir. Bu durumda ona etkiyen direnç tek silindirinkinden %33 daha düşüktür.



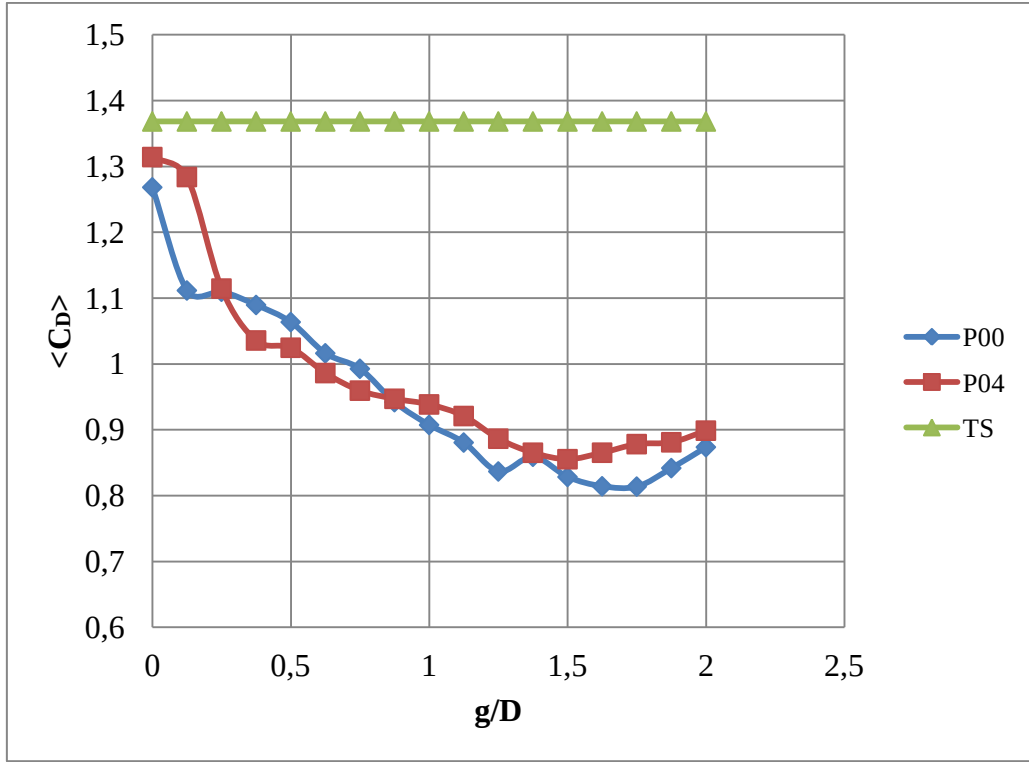
Şekil 3.2. Çentikli (P02) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması

TS, P00 ve P03 modellerine etkiyen ortalama dirençlerin boyutsuz mesafeye (g/D) göre değişimleri de şekil 3.3 içerisinde verilmiştir. P03, P01 ve P02'ye nazaran düşük boyutsuz mesafelerde ortalama dirençte daha keskin düşüşlerin meydana geldiği sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. P03'ün, $g/D = 0,375-1,000$ aralığında, P00'a göre aerodinamik açıdan daha etkin bir sistem olduğu görülmektedir. P03'e etkiyen ortalama direnç $g/D = 0,125-0,750$ aralığında neredeyse orantılı biçimde azalmıştır. P03'e etkiyen ortalama direnç $g/D = 0,750$ değerinde minimum değerine erişmiştir. Bu boyutsuz boşlukta P03'e etkiyen ortalama direnç TS'inkinden ve P00'inkinden, sırasıyla, %35 ve %11 daha düşüktür. P03'e etkiyen ortalama direnç $g/D = 0,750-2,000$ aralığında neredeyse değişmeden 0,900 değerinde sabit kalmıştır. Bu durum, boyutsuz boşluğun 0,750'nin üzerine çıkarılmasının akış yapısında bir değişiklik meydana getirmediğinin bir göstergesidir. P00'a etkiyen ortalama direnç, $g/D > 1,000$ için P03'ünkünden hep daha düşük değere sahiptir.



Şekil 3.3. Çentikli (P03) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması

TS, P00 ve P04 modellerine etkiyen ortalama dirençlerin boyutsuz mesafeye (g/D) göre değişimleri de şekil 3.4 içerisinde verilmiştir. Şekle bakıldığında, $g/D > 0,250$ için P00 ve P04 modellerine etkiyen ortalama direnç verilerinin eğilimleri birbirine çok benzerlik göstermektedir ve değerleri birbirlerine yakındır. Diğer çentikli-plakaya sahip sistemlerde de gözlemlendiği gibi, P04 modeli de, aerodinamik bakımdan düşük g/D oranlarında P00'dan daha verimsizdir. Bu da bize, düşük boşluk oranlarında ön kısma yerleştirilen parçadan ayrılan akışın iki-boyutlu olma durumunun üç-boyutluya nazaran aerodinamik açıdan daha verimli olduğunu göstermektedir. Şekil 3.4'e bakıldığında, P04'e ait grafiğin dört parçalı doğrusal bir fonksiyona benzer olduğu gözlenebilir. Parçaların, 0-0,125, 0,125-0,375, 0,375-1,500 ve 1,500-2,000 aralığında yer aldığı söylenebilir. Her bir parça ayrı bir akış yapısını temsil edebilir. P04'e etkiyen direnç minimum değerine $g/D = 1,500$ 'de erişmiştir. Bu durumda ona etkiyen direnç tek silindirinkinden %37,5 daha düşüktür. Bu da, çentikli-plakaya sahip sistemler üzerine etkiyen direnci en etkili şekilde düşürebilen sistemin P04 olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.4. Çentikli (P04) ve çentiksiz (P00) plakadan oluşan sisteme etkiyen ortalama direnç katsayısının plakasız durum ile kıyaslanması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üzerlerine etkiyen direnci düşürebilmek için cisimlerin art arda konumlanma durumuyla çeşitli durumlarla karşılaşmışızdır. Mesela, araba yarışlarında arkadaki araç öndeki aracı solamadan önce ona tam arkasından belirli bir mesafeye kadar yaklaşır. Benzer durum bisiklet yarışlarında da sıklıkla gözlemlenir. Bu tez çalışmasında ise yine aynı etkiyi yaratabilmek adına sadece ana modelin ön kısmına ondan daha küçük yüksekliğe sahip bir parça yerleştirilmiştir. Ana parça olarak silindir ve öne yerleştirilen parça olarak düz ve dikdörtgen-çentikli plakalar kullanılmıştır. Düz plakalı sisteme ait çalışmalar literatürde mevcut olmasına karşın dikdörtgen-çentikli plakaların aerodinamik etkinliğini sınamak adına burada da kullanılmıştır. Çünkü düz plakalardan ayrılan akış iki-boyutludur fakat çentikli plakalardan ayrılan ise üç-boyutludur. Tez çalışmasının ana hedefinde, bu üç-boyutlu akış yapısının ortalama direnci düşürebilme kabiliyeti kıyaslamalı olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- İncelenen Re ($Re = 12000$) değerinde, incelenen boyutsuz boşluk (g/D) ne olursa olsun, sistemlere etkiyen direnç katsayısı tek silindirinkinden her zaman düşük çıkmaktadır.
- Çok düşük g/D 'lerde düz plakanın kullanıldığı sistem (P00), çentikli plakaların kullanıldığı sistemlere (P01, P02, P03 ve P04) göre aerodinamik açıdan çok daha başarılıdır. Mesela, $g/D = 0,125$ durumunda P00 sisteminin direnci tek silindirinkinden %18,7 daha düşüktür. Bu durum bizlere, cisimler arası mesafe yakın olduğunda cisimler arasındaki akışın iki-boyutlu olma durumunun üç-boyutlu duruma nazaran aerodinamik açıdan daha etkin olduğunu göstermiştir.
- Boyutsuz mesafelere bakılmaksızın P00, P01, P02, P03 ve P04 sistemleri için elde edilen minimum dirençler tek silindirinkinden, sırasıyla, %40, %33, %33, %35 ve %37,5 daha düşüktür. Bu durum bizlere, sistemin bileşenleri arasındaki akışın iki-boyutlu olduğu durumda direncin daha fazla düşürülebileceği gerçeğini göstermektedir.
- Bu minimum direnç değerlerine P00, P01, P02, P03 ve P04 sistemleri için, sırasıyla, 1,750, 1,875, 1,500, 0,750 ve 1,500 boyutsuz boşluklarda erişilmiştir. Bu durum bizlere, P03 sisteminin minimum direncine erişebilmesi için sistem bileşenleri arasındaki mesafenin P00'ünün yarısından daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu önemli bir avantajdır çünkü pratikte modeller arası mesafe arttıkça sistemin kapsayacağı alan artmaktadır. Bu da pratiklik açısından istenmeyen bir durumdur.

Bu çalışma ile ana model ön kısmına yerleştirilen kontrol parçasının üç-boyutlu akış oluşturma durumu incelenmiş ve literatürdeki bu açık kapatılmıştır. Mevcut deneysel çalışmada yalnızca dört farklı dikdörtgen-çentikli plaka kullanılmıştır. Dalga boyu, genlik ve faz farkı temel parametreler olarak alınarak üretilen plakaların sistem direnci üzerine etkisi araştırılmayı bekleyen bir durumdur.

Diğer bir durum dikdörtgen profile sahip çentikler yerine sinüzoidal profile veya çeşitli çokgen profillere (üçgen, beşgen gibi) sahip çentikler açılması durumudur.

Mevcut çalışma deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı eldeki cihazlar ile ölçümler gerçekleştirilebilmiştir. Özellikle akış davranışı hakkında daha iyi yorumlar yapabilmek adına bu basit sistem etrafındaki akış, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı kullanılarak benzetimi yapılabilir.

Mevcut çalışmada, hücum açısının veya plaka açısının etkileri incelenememiştir. Bunlar da yine incelenebilecek parametreler arasında yer almaktadır.

Çalışma, ana model olan silindirin çapına dayalı Reynolds sayısının (Re) 12000 değerinde gerçekleştirilmiştir. Bu değer kritik-altı aralıkta yer almaktadır. Kritik-üstü aralıkta da ($Re > 200000$) test edilen modellerin aerodinamik etkinlikleri çalışılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Ayyapan, T., Vengadesan, S.,** 2008. Influence of staggering angle of a rotating rod on flow past a circular cylinder. *Journal of Fluids Engineering*, 130:031103.
- Igarashi, T., Terachi, N.,** 2002. Drag reduction of flat plate normal to airstream by flow control using a rod. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90:359–376.
- Igarashi, T.,** 1997. Drag reduction of a square prism by flow control using a small rod. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 69-71:141-153.
- Lee, S.-J., Lee, S.-I., Park, C.-W.,** 2004. Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod. *Fluid Dynamics Research*, 34:233-250.
- Moussaoui, M.A., Jami, M., Mezrhab, A., Naji, H., Bouzidi, M.,** 2010. Multiple-relaxation-time lattice Boltzmann computation of channel flow past a square cylinder with an upstream control bi-partition. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 64:591-608.
- Prasad, A., Williamson, C.H.K.,** 1997. A method for the reduction of bluff body drag. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 69-71:155-167.
- Rosales, J.L., Ortega, A., Humphrey, J.A.C.,** 2000. A numerical investigation of the convective heat transfer in unsteady laminar flow past a single and tandem pair of square cylinders in a channel. *International Journal of Computation and Methodology*, 38:443-465.
- Silva-Ortega, M., Assi, G.R.S.,** 2018. Hydrodynamic loads on a circular cylinder surrounded by two, four and eight wake-control cylinders. *Ocean Engineering*, 153:345-352.
- Triyogi, Y., Suprayogi, D., Spirda, E.,** 2009. Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an I-type bluff body as passive control. *J. Mechanical Engineering Science*, 223:2291-2296.
- Wang, J.J., Zhang, P.F., Lu, S.F., Wu, K.,** 2006. Drag reduction of a circular cylinder using an upstream rod. *Flow, Turbulence and Combustion*, 76:83-101.
- Wieselsberger, C.,** 1922. Further data on the law of liquid and air drag. *Phys. Zeit.*, 23:219-224.
- Zhou, L., Cheng, M., Hung, K.C.,** 2005. Suppression of fluid force on a square cylinder by flow control. *Journal of Fluids and Structures*, 21:151-167.

Zhang, P.F., Wang, J.J., Huang, L.X., 2006. Numerical simulation of flow around cylinder with an upstream rod in tandem at low Reynolds numbers. *Applied Ocean Research*, 28:183-192.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ferzan FİDAN

Yabancı Dil: İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı: Diyarbakır/1994

E-posta: fidanferzan88@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2013-2017, Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- 2018-2020, Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

