

Determining the Static Pressure Distribution over the Circular Finite Cylinder in Low Speed Wind Tunnel

Muhammed Enes Kuyumcu,

Department of Mechanical Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, 46100,
Kahramanmaraş, Turkey, m.enes.kuyumcu@gmail.com

Hakan Oral,

Department of Mechanical Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, 46100,
Kahramanmaraş, Turkey

Muharrem İmal,

Department of Mechanical Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, 46100,
Kahramanmaraş, Turkey

Ahmet Kaya

Department of Mechanical Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, 46100,
Kahramanmaraş, Turkey

Abstract

In this study, the static pressure distribution over the cylinder model having a circular finite geometry have been determined experimentally. In the experiments open circuit and suction type wind tunnel has been used. The wind tunnel test section has 20 cm x 21 cm cross section and 48 cm length, and maximum air flow velocity is 15 m/s. The experiments have been carried out at the air flow rates changing an increase of 5%. The variation of the static pressure over the circular finite cylinder model with air velocity, and the variation of the static pressure coefficient with Reynolds number have been investigated. In the experiments, occurrence of D'Alembert's paradox over the circular finite cylinder model has been determined. Because of the lower air flow velocity of the studied wind tunnel, low Reynolds values has been achieved. For this reason, the higher capacity wind tunnel has been needed for obtaining stable static pressure coefficient (C_p) values.

Key words: Circular finite cylinder, Static pressure, Static pressure coefficient, Reynolds number.

Düşük Hızlı Rüzgâr Tünelinde Dairesel Sonlu Silindir Üzerindeki Statik Basınç Dağılımının Belirlenmesi

Özet

Bu çalışmada, dairesel sonlu silindir geometriye sahip bir model üzerindeki statik basınç dağılımı deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak açık devreli ve emişli tip rüzgâr tüneli kullanılmıştır. Rüzgâr tünelinin test bölümü 20 cm x 21 cm kesite ve 48 cm uzunluğa sahiptir ve maksimum hava akış hızı 15 m/s'dir. Deneysel olarak %5 oranında artarak değişen hava akış hızlarında yapılmıştır. Dairesel sonlu silindir model üzerindeki statik basıncın hava hızıyla ve statik basınç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde dairesel sonlu silindir model üzerinde D'Alembert paradoksunun olduğu belirlenmiştir. Çalışılan rüzgâr tünelinin düşük hava akış hızı sebebi ile düşük Reynolds değerlerine ulaşılmıştır. Bu nedenden dolayı kararlı statik basınç katsayısı (C_p) değerlerini elde etmek için daha yüksek kapasiteli rüzgâr tüneline ihtiyaç duyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Dairesel sonlu silindir, Statik basınç, Statik basınç katsayısı, Reynolds sayısı.

1. Giriş

Günümüzde farklı bilimsel alanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda teorik veriler ile beraber deneysel uygulamalar da oldukça önemlidir. Teoride hesaplanan değerlerin gerçek veriler ile hangi oranda uyduğunun kontrolü ancak deneysel çalışmalarından elde edilen değerlere yaklaşılmasıyla mümkündür. Özellikle aerodinamik ve akışkanlar mekaniği alanlarında yapılan çalışmalarda deneysel uygulamalar, karmaşık ve zor olan problemlerin çözümünde somut iyileştirme getirmesi açısından önemlidir. Bu nedenle rüzgâr tünelleri geçmişten günümüze aerodinamik ve akışkanlar mekaniği konularında çalışma yapan araştırmacıların temel deney laboratuvar cihazı olmuştur.

Geçmişten günümüze özellikle havacılık, uzay teknolojisi, otomotiv ve inşaat alanında önemli teknolojik gelişmeler meydana gelmiştir. Hava içerisinde hareket eden veya hava akımına maruz kalan cisimler üzerinde aerodinamik kuvvet ve momentler oluşur. Bu etkenlerin büyüklüğü ve özellikleri, cismin geometrik şeklinden kaynaklanan diğer etkiler, bu etkilerden dolayı meydana gelen akım tipleri ve sınır tabaka oluşumu laboratuvar ortamında rüzgâr tünelleri kullanarak araştırılmasını gerektirmektedir.

Literatürde silindir gibi dairesel forma sahip cisimlerin üzerindeki aerodinamik akış karakteristikleri farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bunlardan bazıları;

Kareem ve ark., (1989) Sonlu-Silindirin serbest ucundaki akışı ayrıntılı olarak incelemiştir. Akım yönündeki silindir serbest ucunda oluşan akış yapısının; silindirin orta bölgesindeki iki boyutlu ölü akış bölgelerini bozması neticesinde meydana gelen girdap kopmalarının üç boyutluluk özelliği olduğunu belirlemişlerdir. Norberg (2002), dairesel sonlu silindir üzerindeki basınç dağılımını incelemiş ve silindir üzerinde açılmış bir deliğe etkileyen bağıl basıncı ve akışın ayrılma noktasını gözlemlemiştir. Deneylerde $0,2 \times 10^3$ ile $2,1 \times 10^5$ aralığındaki Reynolds değerleri kullanılmıştır. Şahin ve ark., (2006), farklı Reynolds sayılarında ve farklı yükseklik/çap değişimlerinde, silindir çevresindeki akışla ilgili araştırma yapmışlardır. Elipsleri sıg su, türbülanslı ve düz akışta incelemiştir. Öztürk ve ark., (2006), Reynolds 1500-6750 değerleri arasında, plaka üzerindeki 50 mm çapa sahip silindirin akış yapısını incelemiş ve at nalı girdaplarının akışa direkt etkilerini irdelemiştir. Özgören (2006), kübik silindir ve pah kırılmış silindir şekillerinin akış yapısını incelenmiş ve karşılaştırmıştır. Libii (2010), düşük hızlı rüzgâr tüneli kullanarak dairesel silindir modeli çevresinde verilen bir noktaya etkileyen basınç dağılımını ve Reynolds sayısı büyüklüğünü belirlemişlerdir. Viskoz akışın silindirin üst yarısındaki davranışı ile alt yarısındaki davranış farklılıklarını elde etmişlerdir. Kritik eşik üzerindeki Reynolds sayılarında oluşan türbülansın silindirin alt kısmındaki viskoz akışın basınç geri kazanım kabiliyetini arttırarak silindirin sürüklenmesini düşürdüğünü belirlemişlerdir. Karakuş ve ark., (2010), parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile sonlu silindir üzerindeki akış yapısını deneysel olarak araştırmış ve silindir çap-boy oranına bağlı olarak girdapların etkisini incelemiştir. Çelik ve ark., (2011), parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile sonlu silindir üzerindeki akış yapısını incelemiş ve silindir etrafındaki akışı Reynolds sayısına bağlı olarak ($Re=1000-7000$) irdelemiştir. Duve ve ark. (2014), düşük hızlı bir rüzgâr tüneline farklı hava akımı hızlarında dairesel silindir üzerindeki basınç dağılımı ve basınç katsayısı değerlerini elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda silindiri farklı açılarda yerleştirerek, θ açısıyla değişen ideal ve gerçek şartlardaki basınç katsayısı grafiklerini oluşturmuşlardır. Grafikler üzerinde belirli noktalarda teorik ve pratik değerlerin birbiri ile örtüşüğünü ifade etmişlerdir. Deneyler sonucunda hız arttıkça, basınç katsayısının $\theta=0^\circ$ dan $\theta=90^\circ$ a gidildikçe azaldığını, $\theta=90^\circ$ dan $\theta=180^\circ$ e gidildikçe arttığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, açık devreli ve emişli tip rüzgâr tüneli kullanılarak, serbest yüzeyli dairesel sonlu silindir modeli üzerindeki statik basınç dağılımı ve statik basınç katsayısı karakteristiği belirlenmiştir. Bulunan basınç değerlerinin hava hızıyla ve boyutsuz basınç katsayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiştir. Dairesel sonlu silindir modeli için deneyler üçer defa tekrar edilerek ortalama değerleri alınmıştır.

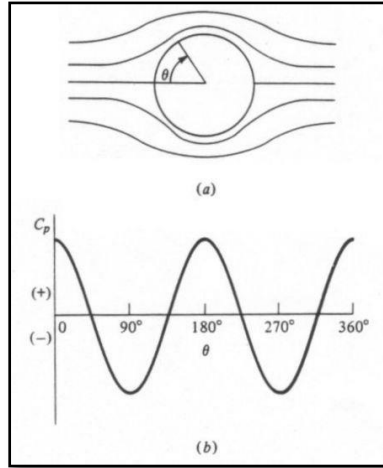
2. Materyal ve Metod

2.1 Dairesel silindir üzerindeki akış karakteristiği

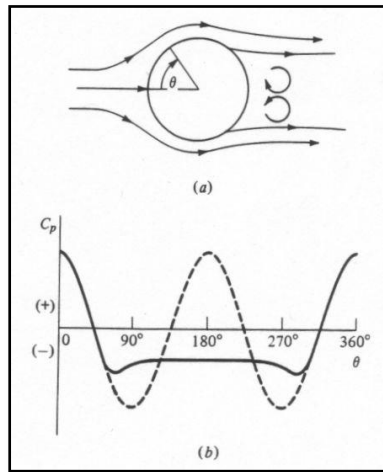
Dairesel sonlu silindir model, eksenine dik sürtünmesiz akışa maruz kaldığı zaman Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi silindirin yüzeyine bağlı olan simetrik akış deseni oluşur. Akış sürtünmesiz olduğundan potansiyel akım teorisine göre, hava partikülleri herhangi bir enerji kaybı olmadan silindirin katı yüzeyi üzerinde kayabilir ve bu nedenle silindirin ön ve arka yüzeyleri üzerindeki basınç dağılımı simetrik olacaktır (Şekil 1(b)).

Şekil 1(a)'da θ açısı incelenen noktanın kesit alanı boyunca konumunu temsil etmektedir. Cismin hava akımıyla ilk karşılaşan noktası, $\theta=0^\circ$ noktası iken, ayrılma noktası ise $\theta=180^\circ$ noktasıdır. $\theta=90^\circ$ ile $\theta=270^\circ$ noktalarında sürtünmenin olmadığı durumda hava akım çizgileri simetriktir. Şekil 1(b)'de

dairesel sonlu silindir model üzerindeki basınç katsayısı değerleri görülmektedir. Pozitif basınç katsayısına sahip noktalardaki basınç yüksek, negatiflerde ise düşüktür. Zaman içinde yapılan deneyler göstermiştir ki Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi silindirin yüzeyine bağlı olan simetrik akış deseninin oluşmadığı ve akışkan moleküllerinin hem birbirleri hem de cisim ile aralarındaki sürtünme direncinden dolayı Şekil 2(a)'da ki gibi akım deseninin oluştuğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, dairesel sonlu silindir model üzerindeki basınç katsayısı değerleri Şekil 1(b)'de ki gibi olmayıp Şekil 2(b)'de ki gibi olduğu deneyler sonucunda gözlemlenmiştir.



Şekil 1. (a) Sürtünmesiz akışta hava akım çizgileri, (b) Basınç katsayısı değerleri.



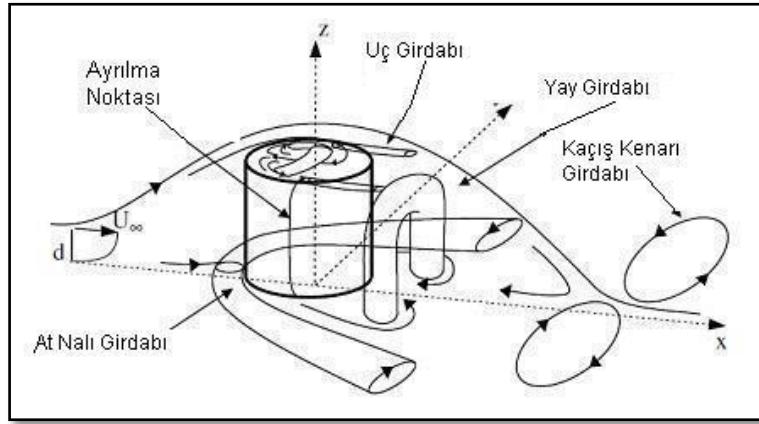
Şekil 2. (a) Sürtümlü akışta hava akım çizgileri, (b) Basınç katsayısı değerleri.

Bu durum ilk defa 18. yy sonlarında akışkan ortamdaki cisimler üzerinde çalışan D'Alembert tarafından tespit edilmiş ve daha sonra D'Alembert paradoksu olarak anılmaya başlanmıştır (Duve ve Agrawal, 2014).

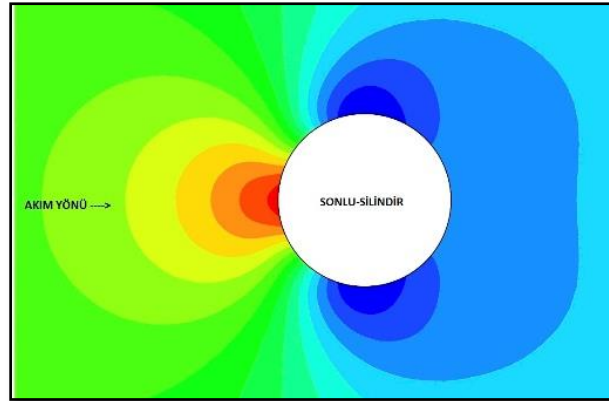
Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi, cismin hava akımıyla ilk karşılaştığı noktada ($\theta=0^\circ$) basınç artışı ile birlikte akım durmaktadır. Bu noktadan sonra, basınç akım çizgisi yönünde azalır ve sınır tabaka uygun bir basınç gradyanı etkisiyle gelişir ($dp/dx < 0$). Bununla birlikte, silindirin arka kısmına doğru, sınır tabaka oluşumu ters yönde bir basınç gradyanının ($dp/dx > 0$) etkisinde kalır. Akışkan durma noktasından ($\theta=0^\circ$, $u=0$ m/s) başlayarak, uygun basınç gradyanı ($dp/dx < 0$ olduğunda $du/dx > 0$) ile hızlanmaktadır, $dp/dx=0$ olduğunda en yüksek hıza ulaşır ve ters basınç gradyanı sonucunda ise ($dp/dx > 0$ olduğunda $du/dx < 0$) yavaşlar (Şekil 2(b)).

Akışkan yavaşlarken, yüzeydeki hız gradyanı, $(\partial u / \partial y)_{y=0}$, sıfır olmaktadır. Ayrılma noktası denilen bu yerde, havanın silindir yüzeyindeki hareketini devam ettirecek, basınç gradyanını yenmek için yeterli momentumu yoktur. Bu noktada sınır tabaka ayrılması ve aşağı akış yönünde bir iz bölgesi oluşur. Bu bölgedeki akış, türbülansların oluştuğu düzensiz bir akış olarak ifade edilir (Incropera ve Dewitt, 1996).

Sürtünlü akışta dairesel sonlu silindir model üzerinde Şekil 3 ve 4'te gösterildiği gibi bir akış yapısı ve basınç dağılımı oluşur.



Şekil 3. Dairesel sonlu silindir model üzerindeki akış yapısı.



Şekil 4. Dairesel sonlu silindir model üzerindeki basınç dağılımı.

2.2 Statik basınç katsayısı

Dairesel sonlu silindir model için basınç değişimi boyutsuz statik basınç katsayısı (C_p) ile ifade edilebilir ve Denklem 1'deki şekilde hesaplanır (Çengel ve Cimbala, 2008).

$$C_p = \frac{P_p}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (1)$$

Burada, P_p statik basıncı, ρ havanın yoğunluğunu, V hava akış hızını ifade etmektedir. Ayrılma noktasının konumunu, Reynolds sayısına bağlı olan sınır tabakanın laminardan türbülansa geçiş bölgesi belirler. Reynolds sayısı akışkanın viskozitesi ile ters orantılıdır. Dış akışta Reynolds sayısı Denklem 2'deki şekilde hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

Burada, ρ havanın yoğunluğunu, V hava akış hızını, D karakteristik çap ve μ dinamik viskoziteyi ifade etmektedir.

2.3 Deneysel çalışmalar

2.3.1 Dairesel sonlu silindir modelin tanımı

Bu çalışmadaki deneylerde 100 mm boya ve 60 mm çapa sahip dairesel sonlu silindir model kullanılmıştır. Model üzerinde manometreye bağlı 22.5° açıyla yerleştirilmiş 16 adet basınç ölçüm

delikleri bulunmaktadır. Resim 1’de dairesel sonlu silindir modelin önden görünüşü verilmiştir. Bu modelin seçilmesindeki etken gündelik hayatta sık karşılaşılan; yüksek binalar, soğutma kuleleri, bacalar ve elektronik devreler gibi birçok mühendislik uygulamasına geometrik benzerliğidir.



Resim 1. Dairesel sonlu silindir model (önden görünüş).

2.3.2 Rüzgâr tüneli

Bu deneysel çalışmada Resim 2’de gösterilen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan açık devreli ve emişli tip rüzgâr tüneli kullanılmıştır.



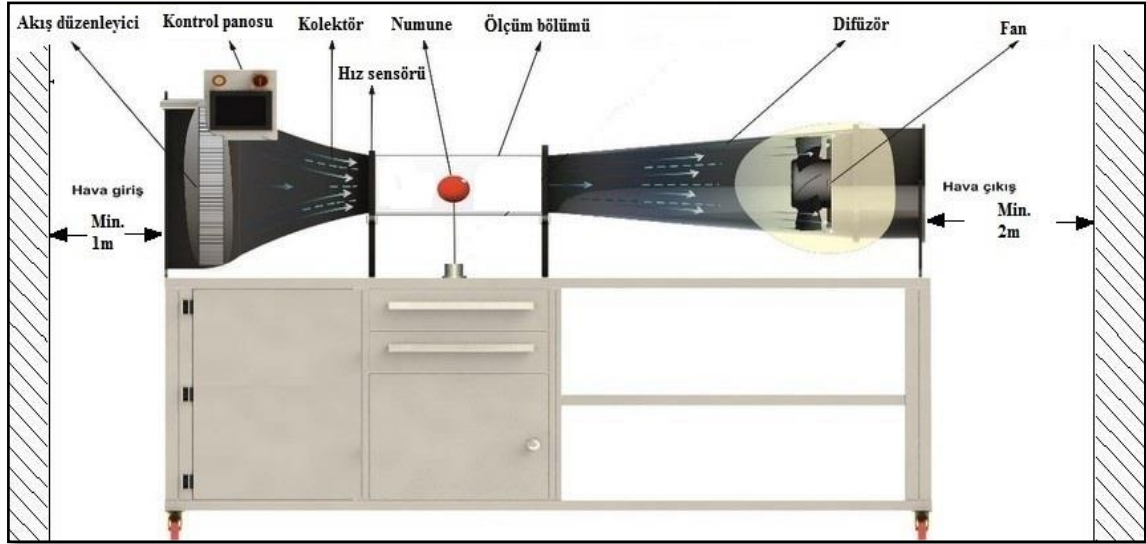
Resim 2. Açık devreli ve emişli tip rüzgâr tüneli.

Bu rüzgâr tünelinde, hava atmosferden alınır ve yine atmosfere verilir. Rüzgâr tünelinin test bölgesi 20 cm x 21 cm kesite ve 48 cm uzunluğa sahip olup toplam uzunluğu 2,4 m’dir. Tüneldeki hava akışı difüzörden sonra yerleştirilen frekans dönüştürücülü hız kontrollü aksiyel fan vasıtasıyla sağlanır ve hava girişi emiş yönündendir. Test bölgesindeki en yüksek serbest akış hızı 15 m/s olarak ölçülmüştür. Rüzgâr tünelinin teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Rüzgâr tünelinin teknik özellikleri.

Parça Adı	Özelliği
LCD ekran	DOP-B05S101
Hava hız sensörü	QVM 62,1
Şeffaf çalışma alanı	20x21x48 cm
Fan motor deviri	2800 d/d
Fan debisi	7.000 m ³ /h
Fan çapı	39.5 cm

Rüzgâr tüneline nominal performans elde etmek için Şekil 5'teki gibi hava giriş tarafının en az 1m ve hava çıkış tarafının da en az 2m önünde hava giriş ve çıkışını engelleyebilecek duvar yada herhangi bir cismin bulunmaması gerekmektedir (İçingür ve Solmaz, 2011).



Şekil 5. Rüzgâr tüneline şematik gösterimi.

Tünelin hava giriş tarafında hava hareketini düzenleyen akış düzenleyicisi bulunmaktadır. Akış düzenleyicisinden sonra hava kapalı ölçüm bölümündeki hızın kararlı dağıtılmasını kontrol altına almak için kolektörden geçirilir. Tüneldeki havanın akış hızı, LCD dokunmatik kontrol ünitesindeki Şekil 6'da gösterilen fan kontrol menüsünden aksiyel fanın elektrik motorunun frekansının yüzdelik oranlarda artırılıp azaltılmasıyla hassas bir şekilde kontrol edilmektedir.



Şekil 6. Rüzgâr tüneline kontrol menüsü.

Hava akış hızı rüzgâr tüneline test bölgesinin hemen önüne monte edilmiş sıcak telli hız sensörü ile ölçülerek LCD dokunmatik kontrol ünitesinden okunmaktadır. Dairesel sonlu silindir model üzerindeki 16 noktaya etki eden basınçın ölçümü için rüzgâr tüneline üzerine yerleştirilen manometre kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Deneylerde, dairesel sonlu silindir model için Resim 3'de gösterilen rüzgâr tüneline test bölgesinde aksiyel fanın elektrik motorunun frekansı % 5'er artırılarak 7,8-15 m/s hız aralığında çalışılmıştır. Model üzerindeki statik basınç dağılımı belirlenmiş ve bu verilere bağlı olarak boyutsuz statik basınç katsayıları (C_p) hesaplanmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak dairesel sonlu silindir model üzerindeki basınçın hava hızıyla ve statik basınç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimleri incelenmiştir. Resim 4'te dairesel sonlu silindir modelin üstten görünüşü verilmiştir.



Resim 3. Rüzgâr tüneli test bölgesi.



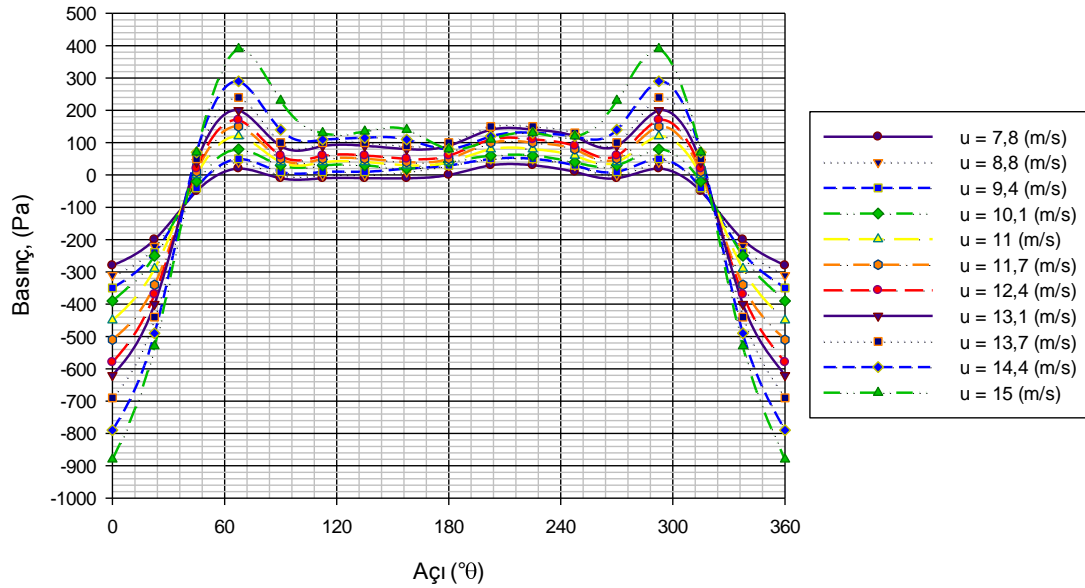
Resim 4. Dairesel sonlu silindir model (üstten görünüş).

Şekil 7’de dairesel sonlu silindir model üzerindeki farklı hava hızlarının etkimesi sonucu meydana gelen statik basınç dağılımı görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere $\theta=0^\circ$ noktasına hava akımının direkt etkimesi ile statik basınç minimum olmuştur. Silindir üzerinde $\theta=0^\circ$ noktasından pozitif ve negatif yönde simetrik olarak gidildikçe (Resim 3, 2-3-4-5 ve 16-15-14-13 noktaları yönünde) silindirin yüzeyi üzerinde hareket eden hava akımı viskoz etkilerden dolayı hızını kaybetmiş ve statik basınç etkisi yavaş yavaş artmıştır. Silindirik modelin yüzeyinin pürüzsüz olması sebebi ile 5. ve 13. noktalara kadar ince laminer sınır tabakası oluşmuştur. Bu noktalardan itibaren ters basınç gradyeni etkisinin giderek artması ile silindirin yüzeyden hava akımı ayrılmaya başlamıştır. Hava akımının yüzeyi terk etmesi ile birlikte silindirin arka bölgesinde vorteksler oluşmuştur. Şekil 7’de görüldüğü üzere, bu noktada simetrik yapı vortekslerin etkisiyle kaybolmuş ve statik basınç etkisi her noktada farklı değerler almıştır. Elde edilen bu sonucun literatür çalışmalarını desteklediği görülmüştür (Duve ve Agrawal, 2014).

Şekil 7’de en yüksek statik basınç değeri 4.ve 5. noktalar ile bunların simetrik olarak karşılığında bulunan 13. ve 12. noktalarda kaydedildiği görülmektedir. Bu noktalar silindirin $\theta=90^\circ$ ve $\theta=270^\circ$ bölgelerine yakın konumda bulunmaktadır. Bu bölgelerde kaydedilen yüksek pozitif statik basınç değerleri negatif bir kaldırma etkisinin gerçekleştiğini göstermektedir. Ölçülen en düşük basınç değerleri silindirin $\theta=0^\circ$ noktasına en yakın noktalar olan 1. ve 16. noktalarda kaydedilmiştir. Bu durum 1. ve 16. noktalarda akışın hızlanarak statik basıncı düşürdüğünü ifade etmektedir. Kaydedilen negatif statik basınç değerleri ise 1. ve 16. noktalarda pozitif bir kaldırma etkisinin olduğunu göstermektedir.

Dairesel sonlu silindir modele etkileyen statik basınç dağılımının tek başına bilinmesi, basınç dağılımı karakteristiğini tam olarak belirlemede yeterli olmayabilir. Çünkü farklı geometrideki silindirik cisimlere etkileyen basınç etkisi farklı farklı olacağından bu modellerin statik basınç dağılımlarını karşılaştırmak her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu sebeple, bu model hız ve boyutlardan

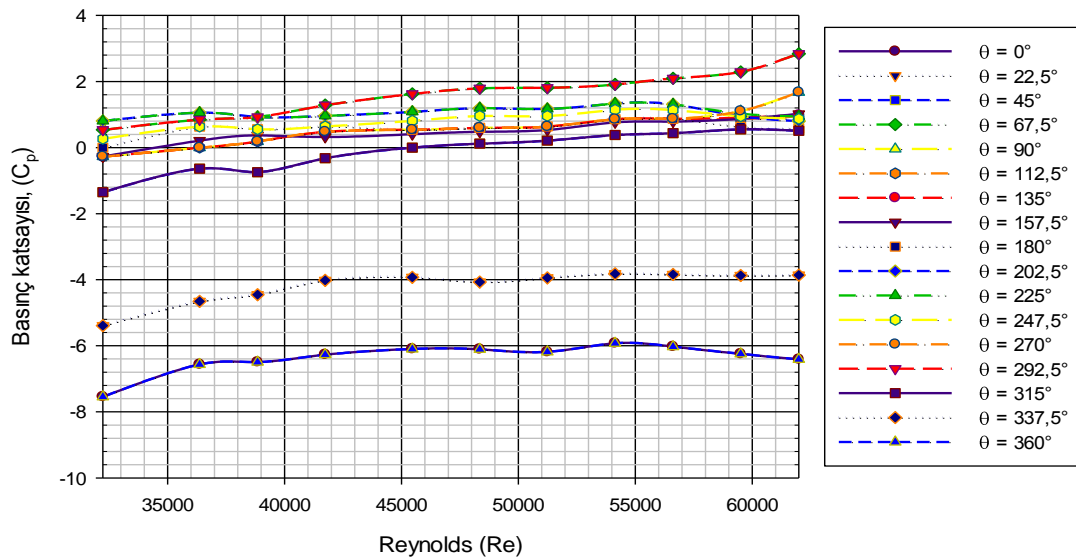
bağımsız olan boyutsuz bir katsayıyla karşılaştırılarak da verilmelidir.



Şekil 7. Model üzerindeki basıncın hava hızına bağlı olarak değişimi.

Şekil 8'de boyutsuz statik basınç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Statik basınç katsayısı (C_p) ve Reynolds sayısını etkileyen değişkenler havanın yoğunluğu, hızı ve kullanılmış olan modelin karakteristik çapıdır. Deneyde kullanılmış olan açık devreli rüzgâr tüneli atmosferik şartlarda olduğundan havanın yoğunluğunda test sürecinde herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Bu durumda, modelin statik basınç katsayısı (C_p) hava hızıyla değişen Reynolds sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Statik basınç katsayısı (C_p) Reynolds sayısının belirli bir eşik değerinden sonra ($dış akış için Re=3 \times 10^5$) kararlı hale gelir. Bu duruma Reynolds sayısı bağımsızlığı denir. Şekil 8'de görüldüğü üzere $Re = 32000-62000$ aralığında model için $Re 40000$ değerine kadar kararsızlıklar görülmesine rağmen, bu değerden daha büyük değerlerde kararlı bir eğilim tespit edilmiştir. Ancak Reynolds sayısı bağımsızlığı elde edilememiştir. Bu durumun tam olarak tespit edilebilmesi için daha yüksek Reynolds sayılarına çıkılması gerekmektedir.



Şekil 8. Boyutsuz statik basınç katsayısının (C_p) Reynolds sayısı ile değişimi.

4. Sonuçlar

Bu deneysel çalışmada, dairesel sonlu silindir model açık devreli tip rüzgâr tüneline teste tabi tutularak üzerindeki statik basıncın hava hızıyla ve statik basınç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Hava hızının artması ile silindirin hava akımına en fazla maruz kalan 1-2-3 ve 16-15-14 noktalarına etkiyen statik basınç değerleri azalırken, silindirin yanal bölgelerine doğru (4-5- ve 13-12 noktaları) viskoz etkilerden dolayı hava akım hızının azalması ile statik basıncın arttığı görülmüştür. Bu noktalardan itibaren hava akım hızı sıfırlanarak ileri yönde momentumu kalmadığından akış yüzeyden ayrılmıştır. Akış ayrılması ile oluşan vorteksler, hava akış hızını arttırarak 6-11 noktaları arasındaki bölgeye etkiyen statik basıncın düşmesini sağlamıştır.
- Dairesel sonlu silindir model üzerinde oluşan en yüksek statik basınç değerleri 4.ve 5. noktalar ile 12. ve 13. noktalarda kaydedilmiştir ve yüksek pozitif statik basınç değerleri negatif bir kaldırma etkisinin gerçekleştiğini göstermiştir. En düşük basınç değerleri 1. ve 16. noktalarda tespit edilmiştir ve negatif statik basınç değerleri bu noktaların pozitif bir kaldırma etkisi altında olduğunu göstermektedir.
- En yüksek statik basınç katsayısı (C_p) 4. ve 13. noktalarda, en düşük ise 1. ve 16. noktalarda tespit edilmiştir.
- Deneilerin yapıldığı açık devreli ve emişli tip rüzgâr tüneli test bölgesindeki hava hızı düşük olduğundan (en yüksek 15 m/s) düşük Reynolds değerleri elde edilmiştir. Kararlı statik basınç katsayılarına ulaşmak için Reynolds bağımsızlığına ulaşılmalıdır. Bu sebeple daha yüksek kapasiteli rüzgâr tüneli kullanılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma; KSÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince 2013/7-19M nolu proje ile desteklenmiştir.

Semboller

C_p	Statik basınç katsayısı
P_p	Statik basınç
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
V	Hava akış hızı (m/s)
Re	Reynolds sayısı
D	Karakteristik çap (m)
μ	Dinamik viskozite (kg/ms)

Kaynaklar

- Çelik S., Karakuş C., Şahin B., Akıllı H., (2011), “Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile incelenmesi.”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 106-126.
- Çengel, Y.A, Cimbala, J.M., (2008), “Akışkanlar Mekaniği”, McGraw Hill, London 562–599.
- Duve S.C., Agrawal M.K. (2014), “An experimental study of pressure coefficient and flow using sub sonic wind tunnel the case of a circular cylinder” International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(2), 373-376.
- İçingür, Y., Solmaz H., (2011), “Düşük hızlı bir rüzgar tüneline değişik otomobil modellerinin aerodinamik direnç katsayılarının belirlenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 26(2), 455-460.
- Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., (1996) , “Introduction to Heat Transfer”, Third Edition, John Wiley and Sons.
- Kareem, A., Cheng, C.M. and Lu, P.C., (1989), “Pressure and force fluctuations on isolated circular cylinders of finite height in boundary layer flows”, J. Fluids Structure, 3, 481-508.
- Karakuş C., Çelik S., Şahin B., Akıllı H., (2010), “Sonlu-silindir üzerindeki akış yapısının deneysel olarak incelenmesi.”, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, UHUK-2010-065.

- Libii J.N.(2010), "Using wind tunnel tests to study pressure distributions around a bluff body: the case of a circular cylinder", World Transactions on Engineering and Technology Education, 8(3), 361-366.
- Norberg, C., (2002), "Pressure distributions around a circular cylinder in cross-flow.", In: Proceedings of the Conference on Bluff Body Wakes and Vortex-Induced Vibrations, December, Port Gouglas, Australia, 237-240.
- Öztürk, N.A., (2006), "Investigation of flow characteristics in heat exchangers of various geometries.", PhD. Thesis. Cukurova University, Inst. Of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Özgören, M., (2006), "Flow structure in the downstream of square and circular cylinders", Flow Measurement and Instrumentation, 17(4), 225-235.
- Şahin, B., Akkoca, A., Öztürk, N.A., Akıllı, H.,(2006), "Investigations of flow characteristics in a plate fin and tube heat exchanger model composed of single cylinder.", Int. J. Heat and Fluid Flow, 27, 522-530.

Muhammed Enes KUYUMCU İzmir'de doğdu, 1984. Sakarya Üniversitesi'nde Makine mühendisliği alanında 2006 yılında ve Anadolu Üniversitesi'nde İşletme alanında 2013 yılında Lisans derecelerini aldı. Drexel University, ABD'de Makine mühendisliği alanında 2010 yılında Yüksek Lisans derecesini aldı. İlgi alanları: Enerji transferi, Enerji depolama, Akışkanlar mekaniği, Isı transferi. E-mail: m.enes.kuyumcu@gmail.com

Hakan ORAL Malatya'da doğdu, 1988. Kocaeli Üniversitesi'nde Makine mühendisliği alanında 2012 yılında Lisans derecesini aldı. 2013 yılında başladığı yüksek lisans eğitimine Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nde devam etmektedir. İlgi alanları; Makine Teorisi, Aerodinamik, Robotik, Alternatif Enerji Kaynakları. E-mail: horal@ksu.edu.tr

Muharrem İMAL Kahramanmaraş'ta doğdu, 1966. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında 1988 yılında Lisans, 1991 yılında aynı üniversiteden Yüksek Lisans derecesini aldı. Çukurova Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği alanında 2004 yılında doktora derecesini aldı. İlgi alanları; Isı transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği. E-mail: muharremimal@ksu.edu.tr

Ahmet KAYA Kayseri'de doğdu, 1978. Niğde Üniversitesi'nde Makine mühendisliği alanında 1999 yılında Lisans ve 2002 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı. Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde Makine mühendisliği alanında 2008 yılında Doktora derecesini aldı. İlgi alanları: Akışkanlar mekaniği, Konveksiyon ile kurutma, Isı transferi, Dış akış, Benzerlik çözümleri. E-mail: ekaya38@gmail.com, kaya38@ksu.edu.tr