

DÜŞÜK TÜRBÜLANS ŞİDDETİNE SAHİP AÇIK ÇEVİRİM BİR RÜZGAR TÜNELİ TASARIMI VE İMALATI

DESIGN AND FABRICATION OF AN OPEN LOOP WIND TUNNEL WITH LOW
TURBULENCE INTENSITY

Rıdvan UÇAR

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

ORCID ID: 0000-0003-2087-8200

Onur ERKAN

Arş. Gör., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

ORCID ID: 0000-0001-7488-8039

Sinan BAŞARAN

Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

ORCID ID: 0000-0002-3783-2260

Musa ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

ORCID ID: 0000-0002-1322-3276

ÖZET

Bu çalışmada, düşük hızlı, açık çevrim bir rüzgar tüneli tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Rüzgar tünellerinin tasarımında, istenilen hız değerlerine erişebilmenin yanı sıra tünel içerisinde test bölgesinde düzgün bir hız dağılımının elde edilmesi ve türbülans şiddetinin de mümkün olan en düşük seviyelerde tutulması önem arz etmektedir. Bu incelemede de 50x50 cm test bölgesine sahip bir rüzgar tüneli için uygun kolektör, elek ve difüzör kullanımı sayesinde, türbülans şiddetinin %5'in altında olması sağlanmıştır. Bu düşük türbülans şiddetine ek olarak test bölgesi içerisinde istenilen homojenlikte bir hız konturu elde edilmiştir. Tünelde kullanılan 60 cm çap ve 8000 m³/h debi değerine sahip fan sayesinde test bölgesi içerisinde elde edilebilen en yüksek hız değeri 5.5 m/s olmuştur. Test bölgesinde müsaade edilen blokaj oranı aşılmadan kullanılabilecek bir model ile bu hız değeri sayesinde 10⁵ mertebelerinde Reynolds sayıları elde etmek mümkündür. Çalışma neticesinde, düşük maliyetle tasarlanmış ve imal edilmiş olan bu rüzgar tüneline, ilgili alanlarda yürütülecek olan aerodinamik akış incelemelerinde güvenilir bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik, Rüzgar Tüneli, Sıcak Tel Probu, Türbülans Şiddeti.

ABSTRACT

In this study, a low-speed, open-loop wind tunnel was designed and fabricated. In the design of wind tunnels, it is important to achieve the desired velocities, as well as to obtain a uniform velocity distribution in the test section within the tunnel and to keep the turbulence intensity at the lowest possible level. In this study, the turbulence intensity was ensured to be below 5%, by means of the use of an appropriate collector, wire and a diffuser for a wind tunnel with a 50x50 cm test section. In addition to this low turbulence intensity, a velocity contour with the desired homogeneity was obtained in the cross sectional area of the test section. By means of the fan used in the tunnel with a diameter of 60 cm and a flow rate of 8000 m³/h, the highest velocity value that could be obtained in the test region was 5.5 m/s. With a model that can be used without exceeding the allowable blockage rate in the test region, it is possible to obtain Reynolds numbers of the order of 10⁵ with this velocity value. As a result of the study, it was concluded that this wind tunnel, which was designed and manufactured at low cost, can be used reliably in aerodynamic flow studies to be carried out in the relevant areas.

Keywords: Aerodynamics, Wind Tunnel, Hot Wire Probe, Turbulence Intensity.

1. GİRİŞ

Rüzgar tüneli uygulamaları, bir model üzerindeki aerodinamik akışın incelenmesinde başvurulan en kullanışlı ve en verimli deneysel yaklaşımlardır. Kara ve hava taşıtlarının ve de köprü, gökdelen vb. mühendislik yapılarının geometrik tasarımlarında aerodinamik inceleme büyük önem arz etmektedir. Bu incelemeler çoğu zaman hesaplamalı akışkanlar dinamiği disiplini altında farklı modelleme ve analiz teknikleri kullanılarak sayısal olarak yürütülmektedir. Ancak bu numerik araştırmalar çoğu zaman deneysel olarak doğrulanmaya muhtaçtırlar. Bir katı model üzerine etki eden aerodinamik kuvvetlerin en kolay, ucuz ve kolay tekrarlanabilir şekilde gözlemlenebilmesine olanak tanıyan deney düzenekleri rüzgar tünelleri olarak bilinir (1).

Rüzgar tünelleri prensip olarak, tünel içerisine sabitlenmiş katı modeller üzerinden farklı hızlarda hava akışı geçirilmesi ve bu sayede incelenen modelin gerçek boyutlardaki çalışma koşullarında maruz kalacağı etkilerin bire birinin elde edilmesi şeklinde çalışırlar. Tünel içerisindeki hava akışı bir veya birden fazla fan sayesinde gerçekleştirilir. Rüzgar tünelleri genel olarak açık çevrim ve kapalı çevrim olarak iki çeşide ayrılırlar.

Kapalı devre tünellerde, içeride dolaşan havanın dış ortama bırakılması söz konusu değildir ve çeşitli yönlendiriciler sayesinde ve dış ortamdan izole edilmiş kapalı bir kanal içerisinde havanın sürekli olarak devridaimi söz konusudur. Bu tip rüzgar tünellerinde enerji kaybı daha azdır ve dolayısıyla fana daha düşük enerji verilerek istenen akış koşulları sağlanabilir. Ancak bu tünellerin tasarım ve imalat süreçleri oldukça zorlu ve pahalıdır. Bunun yerine, havanın dış ortamdan tünel içerisine alınması ve sonrasında tekrar dış ortama atılması prensibi ile çalışan açık çevrim rüzgar tünelleri sıklıkla tercih edilirler.

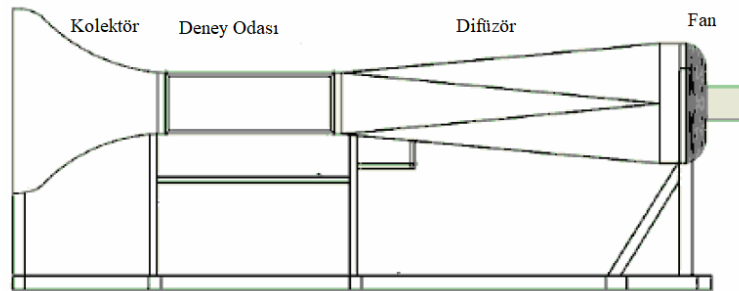
Açık çevrim rüzgar tünelleri, fanın yerleştirildiği konuma göre emişli tip veya üflemeli tip olarak ikiye ayrılırlar. Emişli tip tünellerde dışarıdan tünel içerisine çekilen hava incelenen modele ulaşmadan önce fan ile karşılaşmayacağı için daha düzgün dağılımlı ve az türbülanslı bir akış elde etmek mümkün olacaktır. Aerodinamik çalışmalarda, incelenen modelin maruz kalacağı türbülansın şiddeti dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden birisidir. Çünkü gerçek çalışma koşullarında bir kara veya hava taşıtı durağan olduğu kabul edilebilecek bir hava ortamında hareket ederek havayı yarmaktadır. Dolayısıyla içerisinde hareket ettiği havanın hızı kendi hareketine kıyasla neredeyse sıfır olacağından, taşıtın maruz kalacağı türbülans şiddeti de neredeyse sıfır olacaktır. Bu sebeple, rüzgar tünellerinde istenilen hız değerlerinde hava akışı elde etmenin yanı sıra kesit alanı üzerinde düzgün dağılımlı ve de düşük türbülans şiddetine sahip bir akış elde etmek çok önemlidir.

Burada bahsedilen öneme istinaden, bu çalışmada, tünelin inceleme bölgesinde düzgün hız dağılımlı ve düşük türbülans şiddetine sahip, emişli tip ve açık çevrim bir rüzgar tüneli tasarlanmış, düşük maliyet ile imal edilmiş ve gerekli kontrol testleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE KURULUMU

Şekil 1’de bu çalışmada tasarlanmış olan rüzgar tünelinin şematik bir gösterimi bulunmaktadır. Fan sayesinde tünel içerisine emilen hava ilk olarak kolektörden geçmekte ve daralma sebebiyle hızlanarak test bölgesine ilerlemektedir. Aerodinamik açıdan performansı incelenmek istenen model, $0,5 \times 0,5$ m kesit alanına ve 1,25 m uzunluğa sahip olan deney odasına (test bölgesine) yerleştirilerek üzerinden havanın geçmesi sağlanmaktadır (2). Daha sonra deney odasından geçen hava difüzörden geçerek buradaki genişleme oranı ile akışın kinetik enerjisi azaltılır ve en nihayetinde fan üzerinden akan hava dış ortama geri döner.



Şekil 1. Açık çevrimli, emişli tip bir rüzgar tüneli şematik gösterimi.

Şekil 2’de ise imal edilen rüzgar tünelinin gerçek görünümü görülmektedir. Tünel toplam 3,55 m uzunluğundadır. Hava girişinin sağlandığı kolektör Şekil 2’de gösterilmiştir ve giriş kesiti

1,25 × 1,25 m iken çıkış kesiti test bölgesi kesiti ile uyumlu olacak şekilde 0,5 × 0,5 m olarak imal edilmiştir (3). Bu sayede kolektörün daralma oranı olarak 6,25 değeri elde edilmiş ve literatürde belirtilen 6-9 sınırı içerisinde olması sağlanmıştır (4–6). Kolektör giriş kesiti bir tel elek ile kapatılmıştır. Bu elek sayesinde tünel içerisine alınan havada bulunan büyük girdaplar küçük girdaplara parçalanmaktadır (7). Boyutları küçültülen girdap yapılarının da test bölgesine ulaşana kadar viskozite etkisi altında enerjilerini kaybetmeleri ve akış içerisine yayılarak yok olmaları hedeflenmiştir. Elek yapısında kullanılan tellerin çapı 1 mm olmakla birlikte teller arası yatayda ve dikeyde 13 mm'dir. Bir başka ifadeyle elek yapı 13 × 13 mm boyutlarında küçük kare yapılardan oluşmaktadır. Bu ölçülere göre kullanılan eleğin yaklaşık olarak %14,4'lük bir blokaj etkisi olduğu söylenebilir. Çalışmanın asıl amacı düşük türbülans şiddetine sahip bir tünel elde etmek olduğu için bu blokaj oranı sebebiyle bir miktar kinetik enerji kaybı göze alınmıştır.



Şekil 2. İmal edilen rüzgar tünelinin gerçek görüntüsü.

Aşağıdaki Şekil 3'te kolektörün yanı sıra rüzgar tünelinin diğer ana bileşenleri de gösterilmektedir. Şekil 3(a)'da gösterilen kare kesitli test bölgesinin üst ve yan yüzeyi pleksiglas malzemeden üretilmiş ve bu sayede deney esnasında akış alanının gözlemlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca test bölgesinin altına 5 cm kalınlığında bir tahta plaka yerleştirilerek hem modellerin tahta üzerine kolay monte edilmesi hem de fan motoru sebebiyle oluşacak olan titreşimin azaltılması amaçlanmıştır.



a



b



c



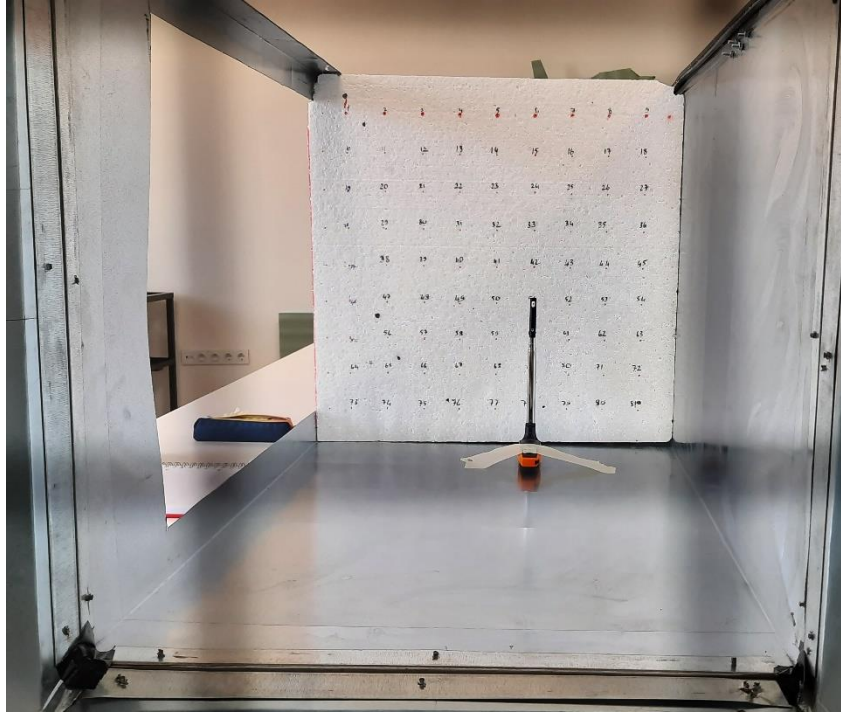
d

Şekil 3. Rüzgar tünelinin ana elemanları, (a) test bölgesi, (b) difüzör, (c) kolektör, (d) fan.

Şekil 3(b)'de gösterilen difüzördeki genişleme oranı sayesinde test bölgesinden geçen akışın hızı düşürülerek kinetik enerjisi azaltılmakta ve bu sayede enerji kayıpları azaltılmaktadır. Burada difüzörün genişleme açısı, literatürdeki çalışmalara istinaden, 7° olarak seçilmiştir (8). Bu değer üzerindeki genişleme açıları, ters basınç gradyenlerinin oluşması ve buna bağlı olarak sınır tabaka ayrılması gerçekleşmesi çok muhtemeldir (9). Difüzörde kare kesitten dairesel kesite geçişi sağlayan adaptör yapısı vardır ve difüzörün toplam uzunluğu 165 cm'dir.

Rüzgar tünelinin temel bileşeni olan aksel fan Şekil 3(d)'de gösterilmektedir. Fanın çapı 60 cm'dir ve maksimum güçte 1370 dev/dk'da $8000 \text{ m}^3/\text{h}$ debi sağlayabilmektedir.

2.2. DENEYSEL ÖLÇÜMLERİN ALINMASI



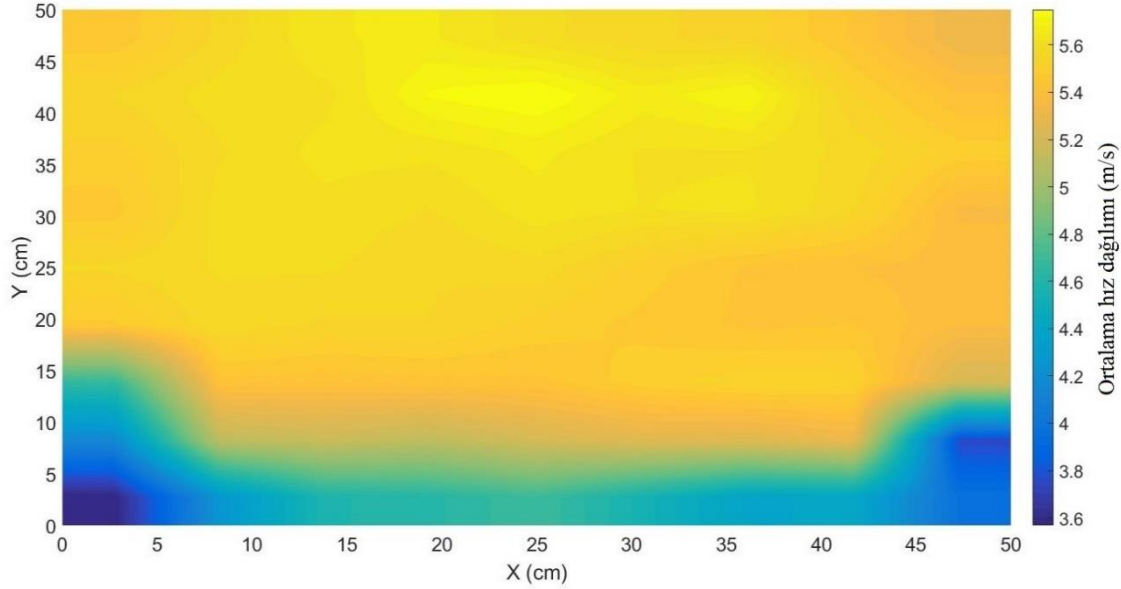
Şekil 4. Sıcak tel probu ve kılavuzlama işlemi.

Tünel test bölgesi içerisindeki hava hızı ölçümleri Testo 405i sıcak tel probu ile elde edilmiştir (10). Şekil 4'te test bölgesi içerisine yerleştirilmiş olarak gösterilen bu prob, kablosuz şekilde bluetooth teknoloji sayesinde akıllı telefondaki uygulamaya bağlanarak hem hava hızını hem de sıcaklığını anlık olarak göstermektedir. Probun ölçüm aralığı 0-30 m/s olmakla birlikte çözünürlüğü 0,01 m/s'dir. Probun anten uzunluğu 400 mm'dir ve bu sayede ölçüm alınması istenilen noktadaki hava akışı, probun gövdesinden etkilenmeden ölçümler yapılabilir. Şekilde gösterilen kılavuz üzerine yatay ve dikeyde aralarında 5 cm boşluk olan toplam 81 adet nokta işaretlenmiştir. Sıcak tel probu bu kılavuz sayesinde 81 ayrı noktadan ölçüm alacak şekilde pozisyonlandıktan sonra kılavuz test bölgesi içerisinden çıkartılarak rüzgar tüneli çalıştırılmaktadır.

3. BULGULAR

Şekil 5'te kare kesitli test bölgesi içerisindeki ortalama hız dağılımı bir kontur grafiği şeklinde gösterilmektedir. Burada x ve y eksenleri sırası ile test bölgesinin ilgili eksenlerindeki koordinatları göstermektedir. Bir başka ifadeyle şekilde görülen kontur grafiği test bölgesinin kesit alanına karşıdan bakışı temsil etmektedir. Şekil 5'teki hız dağılımı fanın maksimum dönme hızında elde edilmiş olan değerlerdir. Burada görüleceği gibi test bölgesi içerisinde elde edilen maksimum hız yaklaşık olarak 5,6 m/s civarlarındadır. Test bölgesinin tabanına yakın

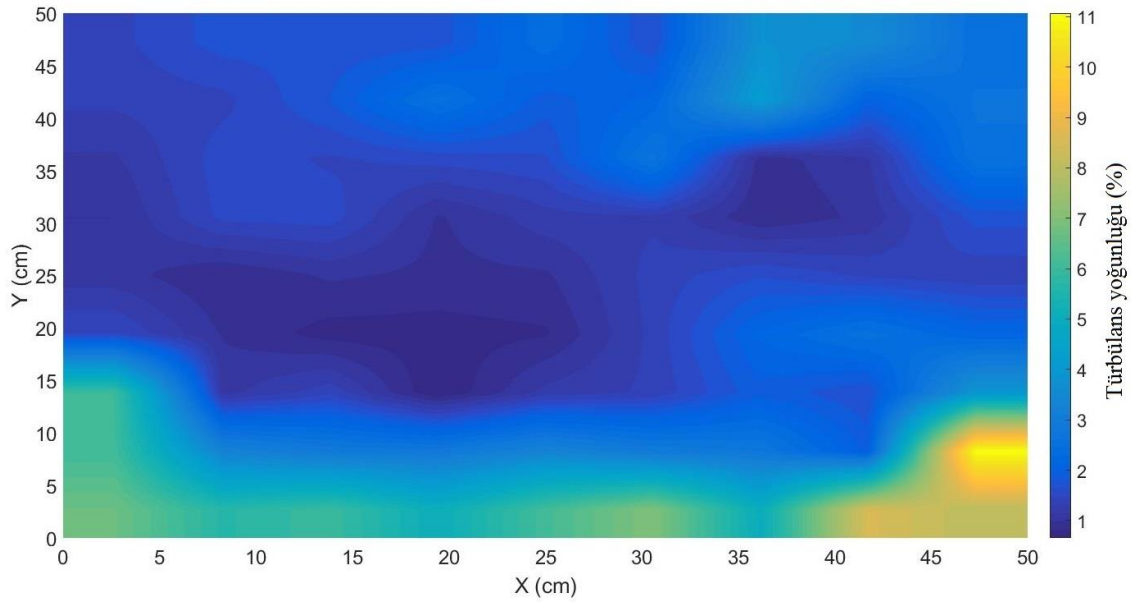
olan yaklaşık 5 cm'lik bir kalınlığa sahip olan kesimde hızın diğer bölgelere göre çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak titreşimi önlemek için test bölgesinin içerisine yerleştirilmiş olan 5 cm kalınlığındaki tahta plaka gösterilebilir. Test bölgesinin tabanına yakın olan bölgeler dışında kalan yerlerde hız dağılımının oldukça düzgün dağılımlı olduğu ve yaklaşık olarak ortalama 5,5 m/s civarlarında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. Fanın maksimum dönme hızında test bölgesindeki ortalama hız dağılımı.

Fan maksimum dönme hızında çalışırken sıcak tel probu ile anlık hızlara ek olarak ayrıca her bir noktada bir dakikalık süreler boyunca da hızlar kaydedilmiştir. Bu bir dakikalık süre boyunca kaydedilen hız değişimleri sayesinde ilgili noktadaki türbülans şiddetleri hesaplanabilmektedir. Test bölgesi içerisinde 81 noktada elde edilen bu türbülans şiddeti değerleri kullanılarak, Şekil 6'da gösterilen kontur grafiği elde edilmiştir. Bu grafik, test bölgesi içerisindeki türbülans yoğunluğunu yüzdesel olarak göstermektedir.

Şekil 6'ya bakıldığında ilk göze çarpan bulgu, test bölgesinin sadece çok küçük bir kısmı dışında kalan büyük bir kesiminde türbülans yoğunluğunun yaklaşık olarak %5'in altında olduğudur. Sadece test bölgesinin tabanına yakın bölgelerde türbülans yoğunluğu %8-10 civarlarındadır. Test bölgesi tabanında titreşim önleyici olarak kullanılan tahta plaka sebebiyle bu bölgedeki akışta daha fazla bozulma ve dolayısıyla daha şiddetli türbülans olması anlaşılabilir. Buna rağmen, test bölgesinin büyük bölümünde ve incelenecek olan modellerin yerleştirilmesi beklenen bölgelerde hız dağılımında olduğu gibi türbülans yoğunluğu dağılımında da uniform bir yapı söz konusudur. Bu geniş bölgede elde edilen türbülans yoğunluğu da yaklaşık olarak %5 değerinin altında kalarak böyle düşük bütçe ile hazırlanmış bir rüzgar tüneli için oldukça iyi bir değerdedir.



Şekil 6. Fanın maksimum dönme hızında test bölgesindeki türbülans şiddeti dağılımı.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, açık çevrimli ve emişli tip bir ses altı rüzgar tüneli tasarlanmış ve düşük bütçe ile imalatı gerçekleştirilmiştir. Rüzgar tünellerinde, model üzerinde akışın incelendiği kısım test bölgesi olarak geçmekte ve bu bölgede mümkün olan en düzgün akış alanı elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan rüzgar tüneli oldukça düşük bütçe ile üretilmiş olsa da test bölgesi içerisinde elde edilen uniform hız dağılımı sayesinde oldukça verimli bir kullanım sunmaktadır. Test bölgesi içerisindeki düzgün hız dağılımına ek olarak kullanılan elek yapısı ve kolektör sayesinde oldukça düşük türbülans şiddeti de elde edilebilmiştir.

Aerodinamik açık çalışmaları için çok önemli olan düşük türbülans şiddeti değerlerini elde edebilmek adına çok yüksek bütçeli yatırımlar gerekirken, bu çalışmadan üretilen rüzgar tüneli içerisinde 5,5 m/s'lik maksimum hız değeri, %5'in altında tutulabilen bir türbülans yoğunluğu ile elde edilmiştir. Bu rüzgar tüneli, gerek ileriki akademik çalışmalar için, gerekse de özel sektörden gelebilecek aerodinamik testler için uygun bir inceleme ortamı sağlayabilecek kapasitededir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2020-01.BŞEÜ.03-04 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. White F. Fluid Mechanics. 7th ed. Boston: McGraw-Hill Education; 2015.
2. Gorlin SM, Slezinger II. Wind Tunnels and Their Instrumentations. Moscow: John Wiley & Sons, Inc.; 1966.
3. Singh TV, Vipul S, Shaktiman S, Kumar SR, Jubin A. Design, Analytical Analysis, Instrumentation and Flow Simulation of Sub-Sonic Open Circuit Wind Tunnel Model. Int J Mod Eng Res. 2014;4(1):43–52.
4. Rae WH, Pope A. Low-Speed Wind Tunnel Testing. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 1984.
5. Mehta RD, Bradshaw P. Design rules for small low speed wind tunnels. Aeronaut J [Internet]. 1979 [cited 2021 Aug 25];83(827):443–53. Available from: <https://www.cambridge.org/core/product/600999B496885D7383AB1B04CFF9F4C0>
6. Almeida O De, De Miranda FC, Neto OF, Saad FG. Low Subsonic Wind Tunnel – Design and Construction. J Aersp Technol Manag [Internet]. 2018 Feb 26;10. Available from: <http://www.jatm.com.br/ojs/index.php/jatm/article/view/716>
7. Stathopoulos T. Design and fabrication of a wind tunnel for building aerodynamics. J Wind Eng Ind Aerodyn. 1984;16(2–3):361–76.
8. Punkhurst RC, Holder DW. Wind Tunnel Technique. London, UK: Sir Isaac Pitman & Sons Comp.; 1952.
9. Arifuzzaman M, Mashud M. Design Construction and Performance Test of a Low Cost Subsonic Wind Tunnel. IOSR J Eng. 2012;2(10):83–92.
10. Testo. Testo Smart Probes [Internet]. Available from: <https://www.testo.com/en-US/thermal-anemometers/thermal-anemometers-with-smartphone-operation/c/air-flow-anemometer-thermal-with-smartphone-operation>