

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

PROJE BAŞLIĞI

Farklı Kanat Profillerinin Aerodinamik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi

Proje No: FBA-2013-4914

Proje Türü
Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Yrd. Doç. Dr. Adem KARCI
Sivil Havacılık Yüksekokulu
Uçak Gövde Motor Bölümü

Araştırmacılar:

Doç. Dr. İlker YILMAZ
Öğr. Gör. Cevahir TARHAN
Arş. Gör. Murat TAŞTAN
Arş. Gör. Ömer ÇAM
Sivil Havacılık Yüksekokulu
Uçak Gövde Motor Bölümü

Ağustos 2014

KAYSERİ

TEŐEKKÜR

Projenin gerçekleŐtirilmesinde her tŸrlŸ finansal desteęi saęlayan Erciyes Ÿniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teŐekkŸrlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

Özet.....	4
Abstract.....	4
1.Giriş/Amaç ve Kapsam.....	4
2. Genel Bilgiler.....	4
3.Gereç ve Yöntem.....	5
4. Bulgular.....	7
5.Tartışma ve Sonuç.....	13
6.Kaynaklar.....	13

ÖZET

Proje sayesinde Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu aerodinamik laboratuvarında mevcut bulunan rüzgar tüneli test edilmiş ve karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Sistemi test amacıyla NACA 2415 kanat profilinin taşıma ve sürüklenme katsayıları incelenmiştir. Bulunan verilerinin literatürdeki daha önce yapılmış çalışmalarla uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : rüzgar tüneli, kanat profili, yük hücresi

ABSTRACT

With this project Erciyes University Civil Aviation College's wind tunnel is tested and its characteristics are determined. For testing the system, NACA 2414 airfoil's drag and lift coefficients are investigated. Founded results are agree with past researches.

Keywords: wind tunnel, airfoil, load cell

1. GİRİŞ / AMAÇ VE KAPSAM

Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu bünyesinde bulunan rüzgar tüneline 3 eksenli moment ve kuvvet ölçümü testlerinin eklenecek yük hücresi ile yapılabilmesi amaçlanmıştır. Farklı geometrilere sahip kanat profillerinin aerodinamik performanslarının (taşıma,sürüklenme,moment katsayıları) yük hücresi yardımı ile ölçülmesi havacılık ve rüzgar türbini üretimi alanlarında kullanılan kanat profillerinin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı düşüncesiyle proje oluşturulmuştur. Aynı zamanda söz konusu sistem sayesinde rüzgâr tünelinin işlevselliği artırılmış olacak ve daha geniş deney yapma imkanları elde edilmiş olacaktır.

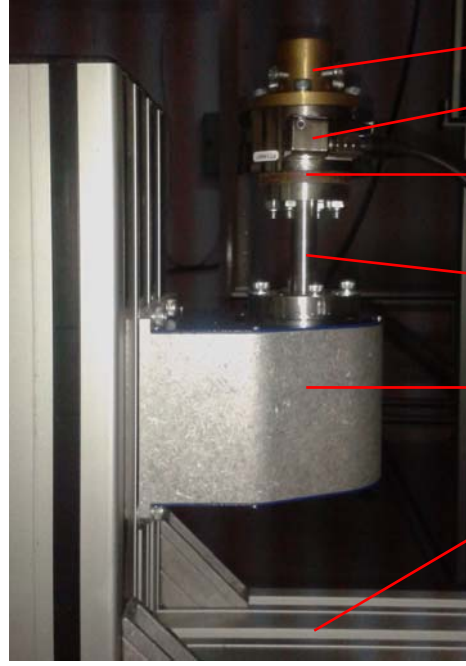
2. GENEL BİLGİLER

Yük hücreleri içerisinde bulunan piezo elektrik yapı sayesinde rüzgar tünellerinde, tünelde test edilen profilin üzerine rüzgar nedeniyle etkiyen kuvvet ve momentleri ölçerek, profilin taşıma,sürüklenme ve moment katsayısı gibi karakteristik özelliklerinin tespitinde kullanılır. En başta havacılık sanayi olmak üzere, otomotiv, rüzgar türbini ve hatta spor müsabakalarında kullanılan malzemelerin analizine kadar yük hücreleri rüzgar tünelleri vasıtası ile çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. Bu alanlarda yapılan bazı çalışmalar şunlardır;1997 yılında Okajima ve ark. hareket eden dikdörtgenel bir silindirin blokaj etkisini ölçmek amacıyla yük hücresinden faydalanmışlar ve silindirin üzerine etkiyen sürüklenme kuvvetini bu sayede ölçmüşlerdir.2001 yılında Nick Pornsin-sirirak ve ark. mikro hava aracı uygulamaları için titanyum alaşımlı MEMS kanat teknolojisinin kullanımını araştırmışlar ve ölçüm sistemlerinde yük hücresini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda söz konusu teknolojinin mikro hava araçlarında kullanımının çok hızlı modifikasyona imkân verdiğini ve bunun yalnızca MEMS kanat yapısı sayesinde mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.2010 yılında Aoki ve ark. bir golf topunun aerodinamik karakteristiklerinin tespiti ve akış izinin belirlenmesi amacıyla yük hücresini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda golf topunun düzgün ve dönerek hareketi esnasında değişik Reynolds sayılarında sergilediği karakteristik özelliklerle ilgili bulgular edlde etmişlerdir. 2013 yılında Ertveldt ve ark. aero elastik dalgalanmanın zaman değişkenli analizi için yük hücresini sistemlerinde kullanmışlar ve

aeroelastic sistemi için TV-WNLS tahmincisi uygulanmasının kullanılmasının çok daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. McCroskey 40'dan fazla rüzgar tüneline geniş mach sayısı, hücum açısı ve reynolds sayısı aralıkları için NACA0012 profilinin özelliklerini tespit etmek üzere çalışmalar yapmıştır. Liu ve Ark., araştırmalarında rüzgar tüneline sınır tabaka akışında iki önemli parametre olan sürtünme hızı ve yüzey pürüzlülük uzunluğu ve sürtünme hızı verilerinin elde edilmesinde, rüzgar hız profili yerine türbülans yoğunluk profilinin kullanılmasının uygun olacağını belirtmektedirler. Kamoun ve ark. kanat profillerinin rüzgar türbinleri için kullanımında, özelliklerinin daha iyi tespit edilmesi için sayısal modellemeler oluşturarak, bu modeller üzerinde incelemeler yapmıştır. Merabet ve Necib NACA0012 kanat profilinin değişik plan biçimlerini, taşıma ve sürüklenme değerlerinin tespiti için deneysel olarak incelemiş ve Prandtl taşıma teorisi ile karşılaştırmasını yapmıştır. Hölzer ve Sommerfeld küresel olmayan parçacıkların taşıma ve sürüklenmesinin Lattice Boltzmann metodu ile hesaplamıştır Owen ve Owen sesaltı ve sesüstü rüzgar tünellerinde hava akımının kalitesini ve türbülans özelliklerini ölçmüşlerdir. Hirahara ve ark. 500 mm rotor çaplı oldukça küçük bir rüzgar tüneline genel performansının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Wang ve ark. düşük rüzgar hızlarında rüzgar türbini vasıtasıyla elde edilen enerji miktarını arttırmak için, rüzgar türbini ve pallerinin rüzgar tüneline deneysel incelemesini yapmış ayrıca bu sonuçları sayısal veriler ile karşılaştırmışlardır. Kishinami ve ark. yatay eksenli rüzgar türbininin aerodinamik özelliklerini belirlemek için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Amiralaei ve ark. düşük reynolds sayılarında düzensiz parametrelerin hareketli bir kanat profilinin aerodinamiğine etkilerini analiz etmiştir. Sheldehl ve Klimas simetrik profillerin 180°'ye kadar olan hücum açıları için rüzgar tüneline oluşan taşıma ve sürüklenme katsayılarını araştırmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Proje süresinde yük hücresinin kurulumu tamamlanmış, yük hücresi (Load Cell)'in bütün aparatları sisteme monte edilmiş ve çalışabilirliği test edilmiştir. Ayrıca döndürme ünitesi (Rotary Unit) ile yük hücresi arası bağlantı aparatı paslanmaz metalden işlenerek üretilmiştir. Döndürme ünitesinde meydana gelebilecek ısınmaların yük hücresine olan etkisini minimize etmek için bağlantı bölgesine ısı geçirmez malzeme konmuştur. Bunlara ek olarak deneyi yapılacak kanat profilleri için bronz malzemeden yapılmış 10mm iç delik çapına sahip tutucu işlenerek montajı yapılmıştır. (Montajı yapılan sistem bütün olarak Şekil – 1'de gösterilmiştir.)



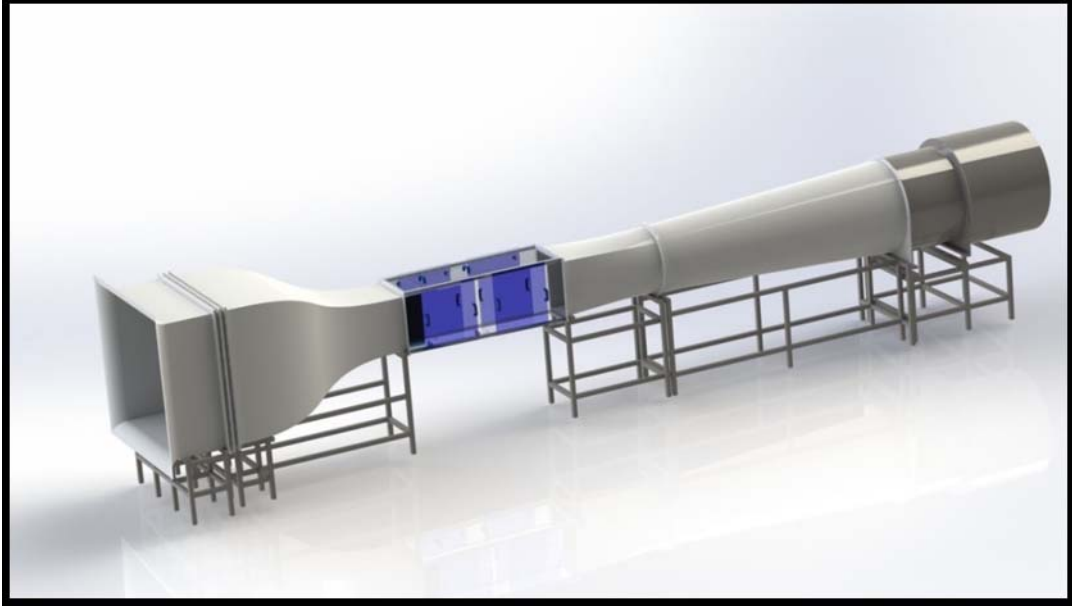
- Tutucu
- Yük Hücresi (Loadcell)
- Isı Yalıtım Malzemesi
- Paslanmaz Metalden Ara Bağlantı Elemanı
- Döndürme Ünitesi (Rotary Unit)
- Alüminyum Sigma Profilden Yapılan Destek

Şekil – 1 Montajı yapılan sistem



Şekil – 2 Montajı yapılan sistemin diğer bir görüntüsü

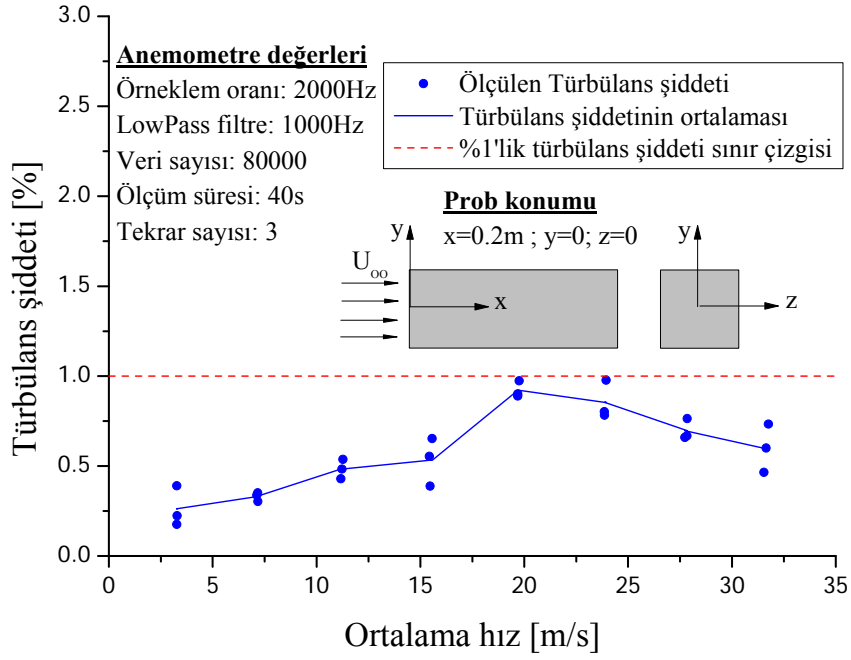
Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda Uçak Tasarım Uygulama dersini alan öğrencilerden bazılarının çalışmaları rüzgar tüneli laboratuvarımızda yapılmış olup, sistemin çalışabilirliğinin testi için NACA 2415 kanat profili üretilerek yük hücresi ile ölçümler yapılmış ve elde edilen bilgiler sunulmaya çalışılmıştır.



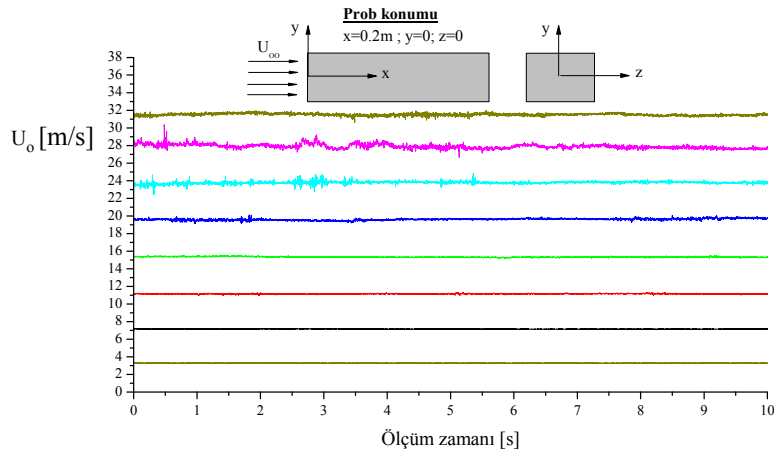
Şekil – 3 Rüzgâr tünelinin katı model genel görünüşü

4. BULGULAR

Loadcell ile ölçümlere başlamadan önce Hotwire Anemeter ile hız ölçümleri yapılarak frekans invertörü ile hız arasındaki bağıntı elde edilmiştir. Proben ilk önce test bölgesinde elde edilen akış ortamında pitot tüpü ile ölçülen ortalama hız değerlerine göre kalibrasyonu yapılmıştır. Test bölgesi girişinden 20cm mesafede tünel kesitinin merkez eksenine yerleştirilen 55P11 model prob ile ölçümler alınmıştır. Anemometre çıkış sinyalleri PCI-6220 model analog/dijital dönüştürücülü veri toplama kartı aracılığıyla anemometrenin yazılı ile bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümlerde Anemometrenin low pass filtre değeri 1000Hz olarak ayarlanmış ve örnekleme oranı 2000Hz olarak ölçümler alınmıştır. Her bir ölçüm için 80000 adet hız ölçümü alındığından her bir ölçüm 40s sürmüştür. Rüzgar tüneli motorunun 5 Hz ile 40 Hz arasındaki kontrol frekanslarında elde edilen 3 m/s ile 33 m/s arasındaki her bir hız için ölçümler 3'er defa tekrarlanmıştır. Şekil 4'de bu hızlarda elde edilen türbülans şiddeti dağılımları görülmektedir. 20 ve 25 m/s'lik hızlarda türbülans şiddeti %1 sınır değerine yakın çıkmakla birlikte bütün değerlerde %1'in altında olarak elde edilmiştir. Mevcut tünelde iki adet akış düzenleyici elek kullanılmış olmasına rağmen elde edilen sonuç oldukça iyidir. Türbülans şiddetinin %1'in altında olması birçok aerodinamik çalışma için yeterli olabilmektedir. Kullanıcıların arzu etmesi durumunda mevcut bulunan üçüncü eleğinde takılması ile türbülans şiddetinin bir miktar daha düşmesi sağlanabilecektir. Daha yüksek türbülans şiddetinin gerekli olduğu çalışmalarda ise test bölgesi girişinde türbülans üreticiler kullanılmaktadır. Şekil 5'de serbest akım hızının anlık ölçümlerinin zaman geçmişi grafiği görülmektedir. Burada anlık hız geçişinin tipik çalkantı karakteristiği görülmektedir.



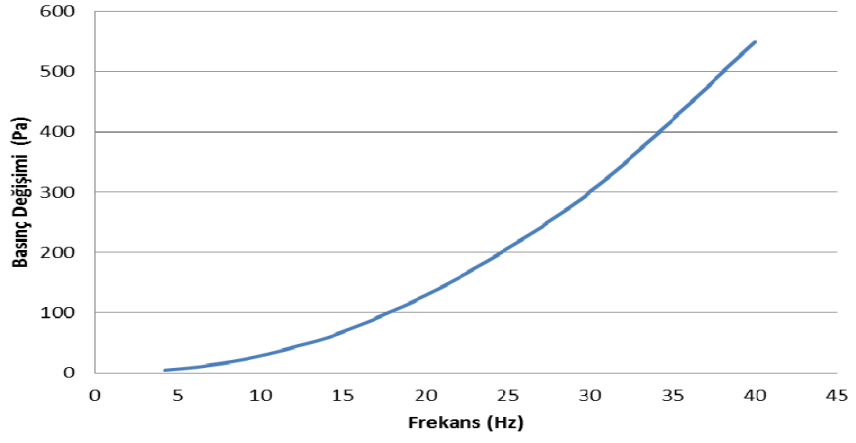
Şekil – 4 Test bölgesi türbülans şiddetinin serbest akış hızı ile değişim grafiği



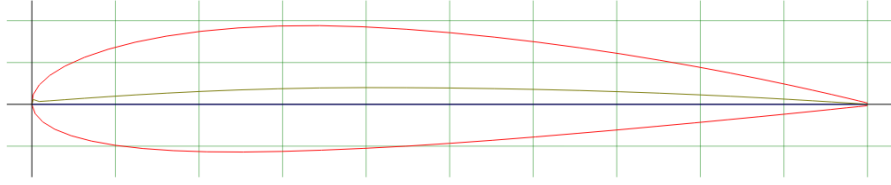
Şekil – 5 Test bölgesi serbest akım hızının anlık ölçümlerinin zaman geçmişi grafiği

Tablo – 1 Pitot tüpü ile yapılan basınç ölçüm değerleri

Frekans değerleri (Hz)	ΔP (Pa)
4.2	4.6
6.2	10.2
9	22.4
12	42.5
15	68.2
20	128.3
25	206.5
30	300
35	420
40	550



Şekil – 6 Pitot tüpü ile yapılan basınç ölçüm değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil – 7 NACA 2415 Kanat profili



Şekil – 8 2 boyutlu çizimler ile lazer kesimden profillerin elde edilişi



Şekil – 9 Profiller ile köpük malzemedan kanat üretimi



Şekil – 10 Kanat profilini yük hücreesine bağlamak için silindirik çubuğun kanada monte edilmesi



Şekil – 11 Kanat profilinin yüzey pürüzsüzlüğü giderildikten sonra rüzgar tüneline yük hücreesine sabitlenmesi

İki farklı hız ve 7 farklı hücum açısı değerlerinde analizler yapılmıştır. Birinci hız değeri 4.2 Hz frekans değerinde 3.03 m/sn'dir. İkincisi ise 6.2 Hz frekans değerinde 4.51 m/sn hız değeridir. Hücum açıları ise sırayla 0, 4, 8, 10, 12, 14 ve 16 derece olarak dikkate alınarak analizler tamamlanmıştır.

Taşıma ve sürüklenme katsayılarının hesaplanması için havanın yoğunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Gerekli ölçümler ve hesaplamalar neticesinde havanın yoğunluğu 1.036 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

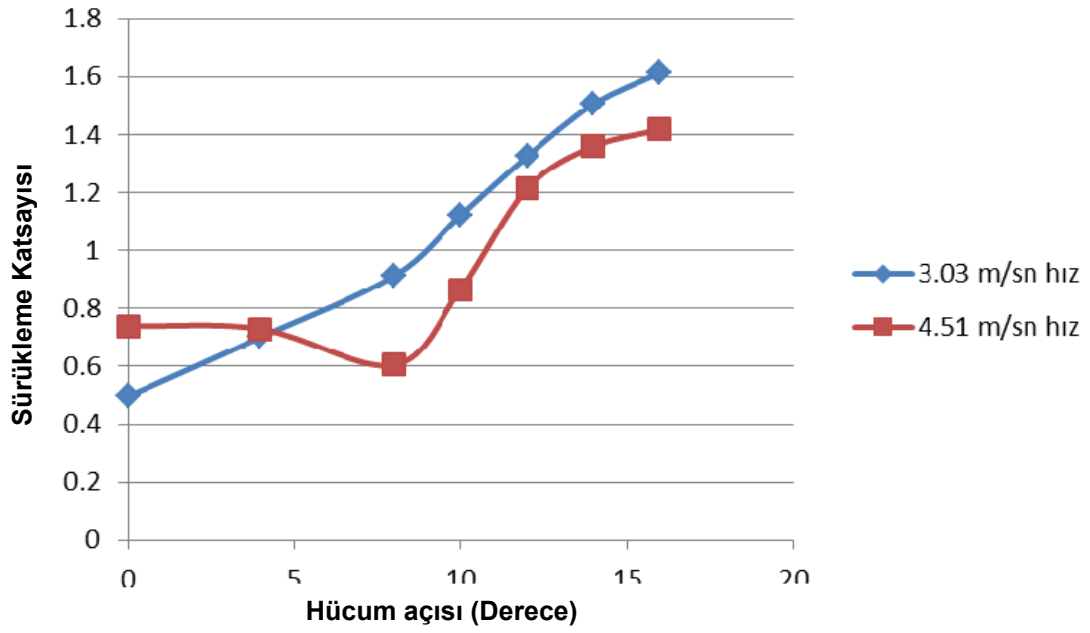
Hava Sıcaklığı (300F-50F):	25	C
Deniz Seviyesi (30.000 ft -5000 ft) Yükseklik:	1050	m
Bağıl Nem (% 0% 100):	39	%
Hava Yoğunluk:	1.036	kg/m ³

Şekil – 12 Havanın yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan parametreler

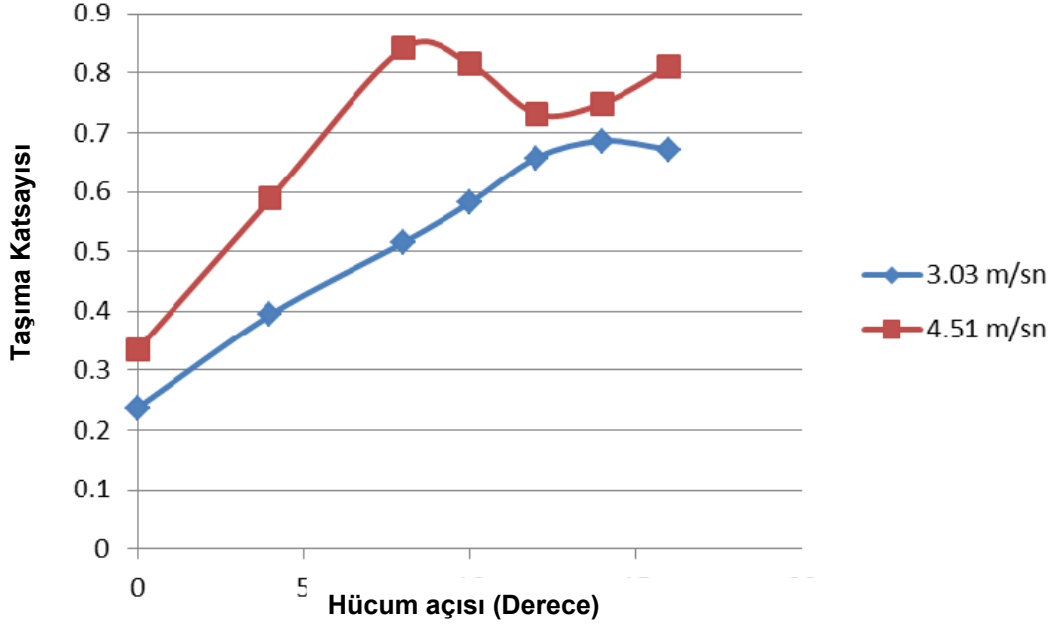
Kanat profilinin ön izdüşümü 40x3.5 cm ebatlarında bir alanı tanımlarken, üst iz düşüm alanı 40x24.5 cm ebatlarında bir alanı tanımlar. Yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Hücum Açıları (Derece)	Taşıma Katsayısı	
	3.03 m/sn hız	4.51 m/sn hız
0	0.236724168	0.33496104
4	0.393974886	0.588932293
8	0.514909075	0.840528229
10	0.581523468	0.814541293
12	0.657576574	0.730941265
14	0.686291389	0.748841564
16	0.671900236	0.810036368

Hücum Açıları (Derece)	Sürüklenme Katsayısı	
	3.03 m/sn hız	4.51 m/sn hız
0	0.498013407	0.740478587
4	0.701888437	0.729973701
8	0.912584644	0.605596919
10	1.121412145	0.865546446
12	1.325618849	1.214214984
14	1.505804093	1.359721592
16	1.614073157	1.417209605



Şekil – 13 Sürüklenme katsayısının hücum açısına göre değişimi



Şekil – 14 Taşıma katsayısının hücum açısına göre değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Proje sayesinde Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu aerodinamik laboratuvarında mevcut bulunan rüzgar tüneli test edilmiş ve karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Tespit edilen karakteristik özelliklerin rüzgar tünelleri için kabul edilebilir bulunan değerler içerisinde olduğu görülmüştür. Sistemi test amacıyla NACA 2415 kanat profilinin taşıma ve sürüklenme katsayıları incelenmiştir. Bulunan verilerinin literatürdeki daha önce yapılmış çalışmalarla uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. McCroskey, W. J., 1987. A Critical assessment of wind tunnel results for the **NACA0012 airfoil**. **NASA Technical Memorandum, 100019**.
2. Liu, G., Xuan, J., Park, S., 2003. A new method to calculate wind profile parameters of the wind tunnel boundary layer. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91**: 1155–1162
3. Kamoun, B., Afungchui, D., Chauvin, A., 2005. A wind turbine blade profile analysis code based on the singularities method. **Renewable Energy, 30**, 339–352.
4. Merabet, A., Necib, B., 2003. Characterisation of wings with NACA 0012 airfoils. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131-137**

5. Wittwer, A.R., Moller, S.V., 2000. Characteristics of the low-speed wind tunnel of the UNNE. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, **84**, 307-320.
6. Balendra, T., Shah, D.A., Tey, K.L., Kong S.K., 2002. Evaluation of flow characteristics in the NUS-HDB wind tunnel. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, **90**, 675-688.
7. Moonen, P., Blocken, B., Carmeliet, J., 2007. Indicators for the evaluation of wind tunnel test section flow quality and application to a numerical closed-circuit wind tunnel. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, **95**, 1289-1314.
8. Hölzer A., Sommerfeld, M., 2009. Lattice Boltzmann simulations to determine drag, lift and torque acting on non-spherical particles. **Computers & Fluids**, **38**, 572-589.
9. Owen, F.K., Owen, A.K., 2008. Measurement and assessment of wind tunnel flow quality. **Progress in Aerospace Sciences**, **44**, 315- 348.
10. Baker, T.J., 2005. Mesh generation: art or science? **Progress in Aerospace Sciences**, **41**, 29-63.
11. Moonen, P., Blocken, B., Roels, S., Carmeliet J., 2006. Numerical modeling of the flow conditions in a closed-circuit low-speed wind tunnel. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, **94**, 699-723.
12. Shan, H., Jiang, L., Liu, C., Love, M., Maines, B., 2008. Numerical study of passive and active flow separation control over a NACA0012 airfoil. **Computers & Fluids**, **37**, 975-992
13. Daud, H.A., Li, Q., Bég, O.A., AbdulGhani S.A.A., 2011. Numerical investigations of wall-bounded turbulence. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, **225**, 1163-1174.
14. Hirahara, H., Hossain, M.Z. Kawahashi, M., Nonomura, Y., 2005. Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes. **Renewable Energy**, **30**, 1279-1297.
15. Wang, F., Baia, L., Fletcher, J., Whiteford, J., Cullen, D., 2008. The methodology for aerodynamic study on a small domestic wind turbine with scoop, **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, **96**, 1-24.
16. Kishinami, K., Taniguchi, H., Suzuki, J., Imano, H., Kazunou, T., Turuhami, M., 2005. Theoretical and experimental study on the aerodynamic characteristics of a horizontal axis wind turbine, **Energy**, **30**, 2089-2100.
17. Shan, H., Jiang, L., Liu, C., 2005. Direct numerical simulation of flow separation around a NACA 0012 airfoil, **Computers & Fluids**, **34**, 1096-1114.
18. (Web Page: http://en.wikipedia.org/wiki/File:NACA_2412.png#filelinks, (Erişim Tarihi: Mart 2012).
19. (Web Page: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fox_files/23241/1/naca5.png, (Erişim Tarihi: Mart 2012).
20. Amiralaei, M.R., Alighanbarin, H., Hashemi, S.M., 2010. An investigation into the effects of unsteady parameters on the aerodynamics of a low reynolds number pitching airfoil, **Journal of Fluids and Structures**, **26**, 979-993.
21. Zhou, Y. , Alam, M., Yang, H.X., Guo, H., Wood, D.H., ,2011. Fluid forces on a very low Reynolds number airfoil and their prediction. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, **32**, 329-339.
22. Sheldehl, R.E., Klimas, P.C., 1981. Aerodynamic characteristics of seven symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamic analysis of vertical axis wind turbines. **Sandia National Laboratories Energy Report**, **2114**.
23. Ahmed, N.,Yilbaş, B.S., Buddair M.O., 1998. Computational study into the flow field developed around a cascade of NACA 0012 airfoils. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, **167**, 17-32.

24. Güleren, K.M., Demir, S.,2010. Rüzgar türbinleri için düşük hücum açılarında farklı kanat profillerinin performans analizi. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, **31, 2**, 51-59.
25. Ansys Fluent 12.0, Theory Guide.
26. Eleni, D.C., Athanasios, T.I., Dionisios, M.P., 2012. Evolution of the turbulence models for the simulation of the flow over a National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 0012 airfoil. **Journal of Mechanical Engineering Research**, **4(3)**, 100-111.
27. Abbott, I.H., Von Doenhoff A.E., 1959. Theory of wing sections. **Dover Publishing, New York**.