

Mehmet Hanifi Doğru

Araş. Gör.
Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
Gaziantep

İbrahim Halil Güzelbey

Prof. Dr.
Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
Gaziantep

Kanal Fanının İtme Kuvvetinin Deneysel Olarak Hesaplanması

Bu çalışmada kanal fanının farklı hızlarda ürettiği itme kuvveti iki farklı deneysel çalışma ile belirlenmiştir. İlk metotta kanal fanı durağan basınç noktaları için delik açılmış bir boru içine yerleştirilmiştir. Durağan basınç bu sistemle ölçülmüştür ve kanal fanının itme kuvveti bu ölçümden yararlanarak elde edilmiştir. İkinci metotta kanal fanının itme kuvvetini elde edebilmek için bir yay sistemi kurulmuştur. Bu iki ölçüm sisteminin sonuçları birbirleriyle kıyaslanmış ve sonuçlar tablolarda gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanal Fanı, İtme Kuvveti, Durağan Basınç Sistemi, Yay Sistemi ve Hava Akışı.

GİRİŞ

İtme sistemleri ve bunların analizleri hakkında birçok çalışma olmasına rağmen, kanal fanının itme kuvveti ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. Açık literatürde, kanal fanının performansları, itme sistemleri ve kullanılan teorileri hakkında sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. Performans için kanal fanı ile alakalı analiz ve programlama çalışılmıştır [1]. Sabit eksenel akışta kanal fanının performansını tahmin edebilmek için var olan bir yazılıma çeşitli yetenekler kazandırılmıştır. Ayrıca doğrusal olmayan kanatların kaldırma özellikleri kullanılarak ağırlık merkezleri modelleme ve çok düşük oranlarda dahi performans hesaplama yeteneği eklenmiştir. Hatta boru yüzeyindeki basınç dağılımı ve düşük hücum açılarında performans hesabı yapılabilmektedir.

Bir diğer çalışmada, sabit açısız hızda, ses ötesi pervane çapı azaltılarak önemli bir gürültü azalmasına ulaşılmıştır. Gerekli itme kuvvetini elde edebilmek için kanat sayısı artırılmıştır. Tasarım için kanat eleman, panel ve Euler metodu gibi metotlar kullanılmıştır. Kanat eleman metodu aerodinamik, panel metodu aeroakustik hesaplamalar için kullanılmıştır. Uç biçimleri sürtünmesiz panel metoduna göre incelenmiştir.[2]

Kanal fanı itme sistemiyle güçlendirilmiş küçük bir hava taşıtı geliştirildi [3]. Önerilen hava taşıtı ultra hafif hava taşıtı kategorisinde onaylanmıştır. Bu

başlamda çapraz akış fanları hava taşıtlarında geniş entegrasyon potansiyellerinden ötürü, itme ve akış kontrol sistemleri için eşsiz fırsatlar vermektedir. Çapraz akış fan itme ve akış kontrol konseptleri incelenmiştir.[4]

Diğer taraftan hava taşıtlarının pervanelerinin aerodinamik performansları kanat eleman ve momentum teorileri girdap konsepti ile birlikte incelenmiştir [5 and 6]. Bir rüzgar türbini kanadın uç noktasındaki değişikliğin etkisi mevcut bir program ile kanat eksen eğrisinin dönme düzlemi içinde veya dışında olduğu düşünülerek incelenmiştir. Çalışma iki kanatlı rotor ve NREL kanat ile yapılmıştır [7] ve ayrıntılı kanat yüklemeleri ve havada kalma performansı düzenlenmiştir.[8]

Bu çalışmada ise kanal fanının itme kuvveti yay sistemi ve durağan basınç noktaları sistemi kullanılarak tanımlanmış ve iki metot kıyaslanmıştır. Bu metotların sonuçlarının birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür.

TEST METOTLARI

Deney için iki düzenek hazırlandı. Bu düzeneklerde tablo 1'de özellikleri verilen 70 mm kanal fanı durağan basınç noktaları sistemi (Bkz Şekil.2) ve yay sistemi (Bkz Şekil 6) için kullanıldı.

Tablo 1: Kanal Fanı Parametreleri

Kanal fanı Özelliği	Değeri
Motor	4800 (rpm/V) fırçasız motor
Motor Gücü	290 Watt
Pil	11.1 V lipo -3 hücreli -2300 mAh
Boyut	70 mm çap
Göbek Çapı	29.5 mm
Ağırlık	130 gr
Uzunluk	60 mm
Kanat sayısı	6
Sabit kanat sayısı	4
Elekt. hız kontrol ünitesi	30 amp esc (BEC) programlanabilir



Şekil 1: Kanal Fanı Sistemi



Şekil 2. Durağan Basınç Sistemi

DURAĞAN BASINÇ SİSTEMİ İLE İTME KUVVETİ HESAPLANMASI

Kanal fanı (Bkz Şekil. 1) boru içine yerleştirildi ve durağan basınç sistemi için gerekli delikler boru üzerine delindi. Kütleli debi boru boyunca sabittir. Bundan dolayı durağan basınç, alkol metrede durağan basınç sistemi kullanılarak ölçüldü.(Bkz Şekil 3). Daha elde edilen basınç kanal fanının kesit alanı ile çarpılır ve bu sistemden itme kuvveti elde edilir. Ayrıca hava hızı anemometre ile tespit edildi. Fırçasız elektrik motoru devir sayısı takometre ile ölçülmüştür.



Şekil 3. Durağan Basınç Sistemi (arka görünümü)

Durağan Basınç Sistemi Denklemleri

Aşağıdaki bazı değerler ölçülmüştür. Daha sonra bu değerler durağan itme kuvvetinin hesaplanması da kullanılmıştır.

Havanın Yoğunluğu

$$P_{atm} = 690 \text{ mmHg} \quad T=22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R = 287 \text{ (J/kgK)}$$

$$T = 273 + 22 = 295 \text{ K}$$

Laboratuar şartlarında atmosferik basınç ölçülmüştür. Havanın yoğunluğu denklem 2 kullanılarak bulunmuştur.

$$P_{atm} = \rho gh \quad (1)$$

$$= 92 \text{ kpa}$$

$$P_{atm} = \rho RT \quad (2)$$

$$\rho = \frac{P_{atm}}{RT}$$

$$\rho = 1,12 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ortalama Hız

Kanal fanının içindeki akışın hacimsel debisi ile denklem 3 kullanılarak ortalama hız hesaplanmıştır. Hacimsel debi anemometre ile ölçülmüştür.

$$U_{ortalama} = \frac{Q}{A} \left(\frac{m}{s} \right) \quad (3)$$

$$A=0.00385 \text{ (m}^2\text{)}$$

Akışın Doğasını Belirleme

Mach sayısı denklem'4 de ortalama hızın ses hızına bölünmesiyle bulunmuştur.

$$a=348 \text{ (m/s)}$$

$$M = \frac{U_{ortalama}}{a} \quad (4)$$

Mach sayısı 0.2 den küçük olduğu için akış sıkıştırılmaz kabul edilmiştir [9]. Bazı araştırmacılar ise sıkıştırılabilirlik limitini 0.3 olarak kabul etmektedirler.[10]

Reynold Sayısı

Reynold sayısı denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$Re = \frac{\rho \times U_{ortalama} \times D}{\mu} \quad (5)$$

$$\text{Viskozite değeri } \mu = 1.705 \times 10^{-6} \text{ (kg/ms)}$$

Sürtünme Faktörü

Sürtünme faktörü f akışı türbülanslı olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.

$$f = \frac{0.079}{Re^{1/4}} \quad (6)$$

Kayıpların Hesaplanması

Kanal fanı bir boru içerisine yerleştirilmiştir (Bkz Şekil. 4). Bazı kayıplar sürtünmeden dolayı oluşmaktadır ve denklem 7 ile hesaplanmıştır.

$$H_{kayıp} = 4 \times f \times \left(\frac{L}{D} \times \frac{U_{ortalama}^2}{2 \times g} \right) \quad (7)$$

Genel Denklemler

Boru içindeki basınç farkını bulabilmek için Bernoulli denklemi kullanılmıştır. Akışın sıkıştırılmaz olmasından dolayı genel olarak kullanılan Bernoulli denklemi denklem 8'de basınç farkını hesaplayabilmek için kullanılmıştır.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 + H_{fan} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 + H_{kayıp} \quad (8)$$

Havanın yoğunluğu (ρ) sıkıştırılmazlıktan ötürü boru içinde sabit kalmaktadır;

$$\rho \cdot U_1 \cdot A_1 = \rho \cdot U_2 \cdot A_2$$

$$A_1 = A_2$$

$$\rho \cdot U_1 \cdot A_1 = \rho \cdot U_2 \cdot A_1$$

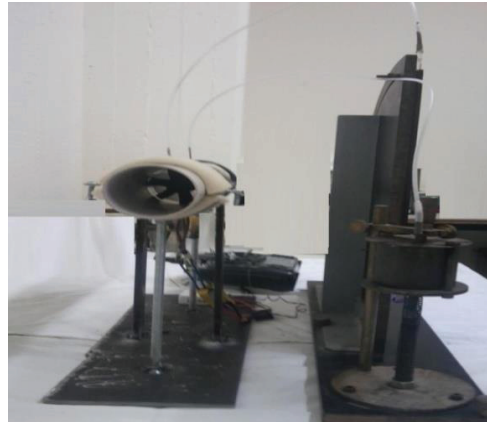
$$U_1 = U_2$$

Z_1 ve Z_2 aynı dikey yüksekliğe sahiptir. Bundan dolayı denklem 8 aşağıdaki forma indirgenmiştir.

$$\frac{P_1}{\rho g} + H_{fan} = \frac{P_2}{\rho g} + H_{kayıp} \quad (9. a)$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot (H_{fan} - H_{kayıp}) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (9. b)$$

Deney parametrelerinden V_{out} , H_{fan} , RPM ve Q gibi değerler anemometre, takometre ve alkol metre ile ölçülmüştür. Tablo 2'deki diğer parametreler ise yukarıdaki denklemler ile hesaplanmıştır.



Şekil 4. Durağan Basınç Sistemi (Sol Yan Görünümü)



Şekil 5. Boru İçindeki Kanal Fanı Sistemi

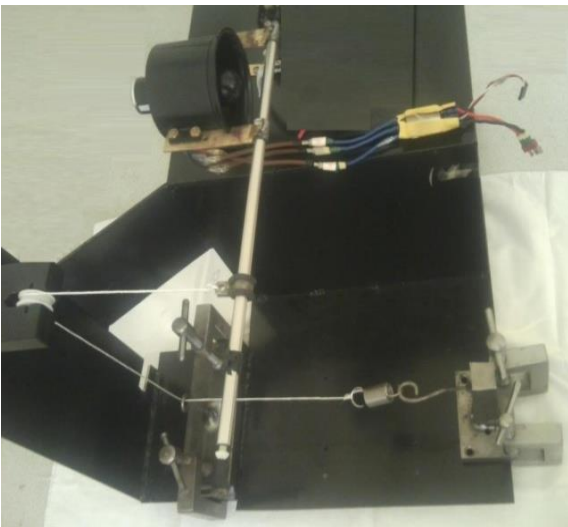
İtme Kuvveti Hesaplama

İtme kuvveti durağan basınç ile kanal fanın kesit alanın(Bkz Şekil 5) çarpılması ile hesaplanmıştır.

$$T_{\text{durağan basınç}} = \Delta P \times A \quad (\text{N}) \quad (10)$$

İTME KUVVETİNİN YAY SİSTEMİ İLE HESAPLANMASI

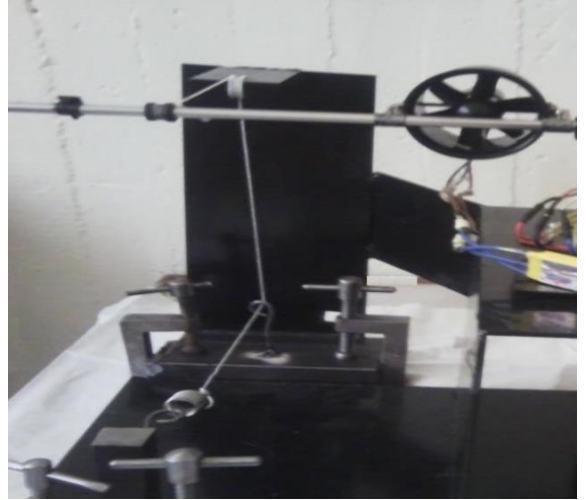
Farklı bir sistemle itme kuvveti hesaplamak için yay sistemi tasarlanmıştır (Bkz Şekil. 6). Bu sistemde boru tarafından oluşturulan itme kuvveti yay ve makara sistemi ile ölçülmüştür. Yayın ilk ve son boyları ölçülmüş ve yay katsayısı tayini yapılmıştır. Daha sonra yayın geriniminden ötürü oluşan itme kuvveti hesaplanmıştır.



Şekil 6. Yay Sistemi

$$L_f = 0,02545 \text{ (m)}$$

$$x = L_e - L_f \text{ (m)}$$



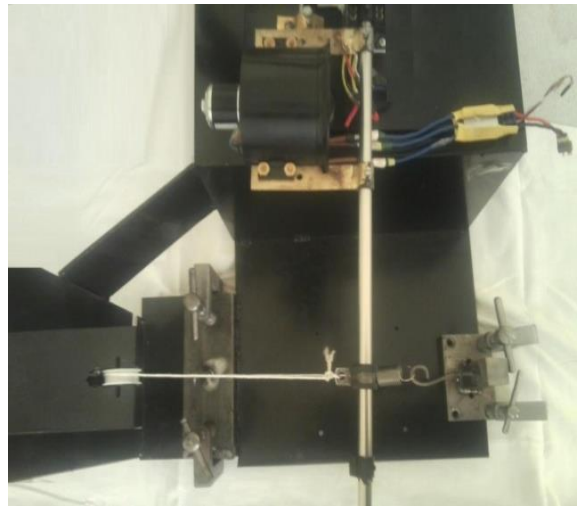
Şekil 7. Yay Sistemi (Ön Görünümü)

İtme Kuvveti Hesaplama

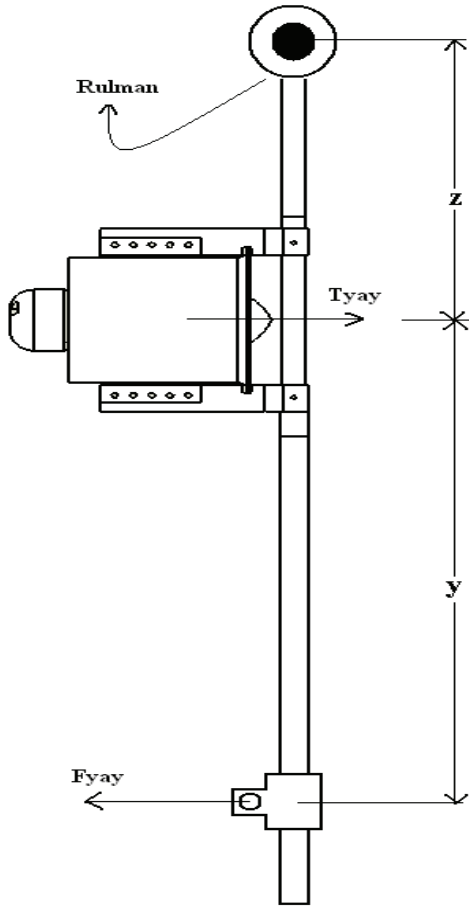
Kuvvet denklem 11'de yayın son boyu ile ilk boyu arasındaki fark ile yay katsayısının çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$F_{\text{yay}} = k_{\text{yay}} \cdot x \quad (\text{N}) \quad (11)$$

Tablo 3' de farklı RPM' de ölçülmüş birçok değer vardır.



Şekil 8. Yay Sistemi Üst Görünümü



Şekil 9. Yay Sistemi Moment Şeması

T_{yay} denklem 12’de hesaplanmıştır. Tablo 2’de hesaplanan T_{yay} değerine rulmanın sürtünme katsayısı 0.031 olarak eklenmiştir.

$$T_{yay} \cdot z - F_{yay} \cdot (y + z) = 0 \quad (12)$$

$$y = 0.175 \text{ (m)}$$

$$z = 0.125 \text{ (m)}$$

SONUÇ

Bu çalışmada kanal fanının farklı hızlarda ve RPM’lerde ürettiği itme kuvvetini belirlemek için iki deneysel yaklaşım uygulanmıştır. Uygulanan metotlar benzer sonuçlar vermiştir.

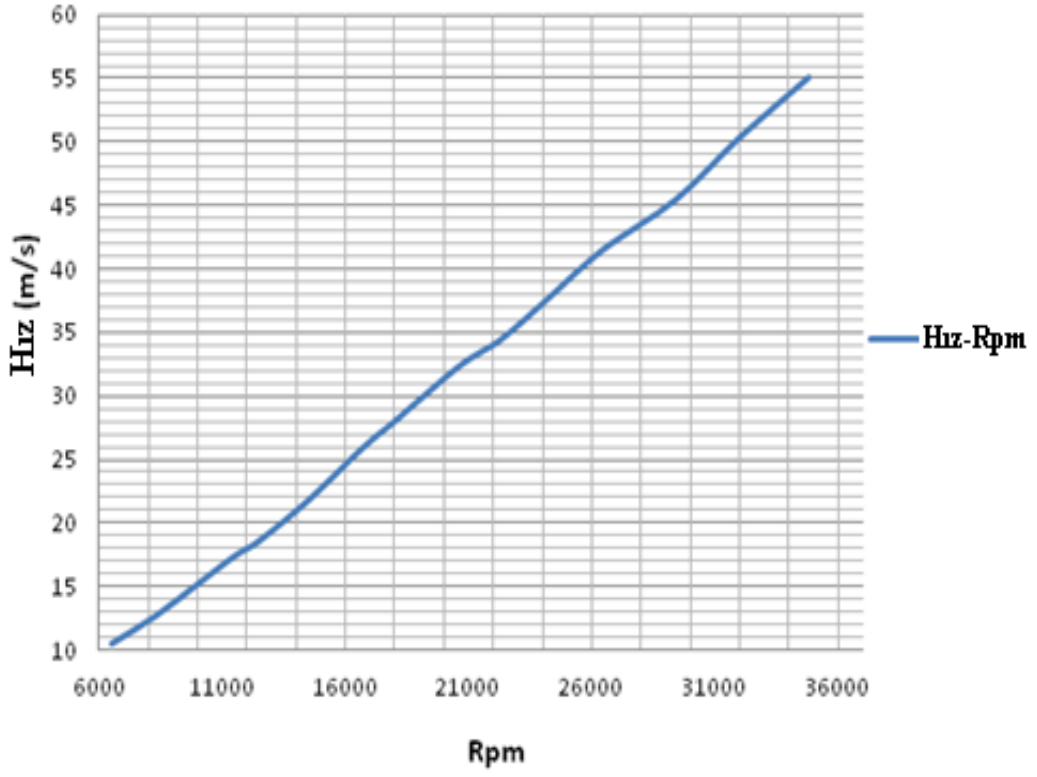
Metotlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca iki metotta yapılan hesaplamalara göre hata oranı hesaplanmıştır. RPM ve hata oranında açık ilişki tablo 3’de verilmiştir. Kanal fanı için hıza karşılık RPM grafiği şekil 10’da elde edilmiş ve itme kuvveti ile RPM için düşük hızlarda birbirlerine yakın fakat yüksek hızlarda doğruluk oranı azalmaktadır (Bkz Şekil. 11).

Tablo 2: Durağan Basınç Noktası Test Sonuçları

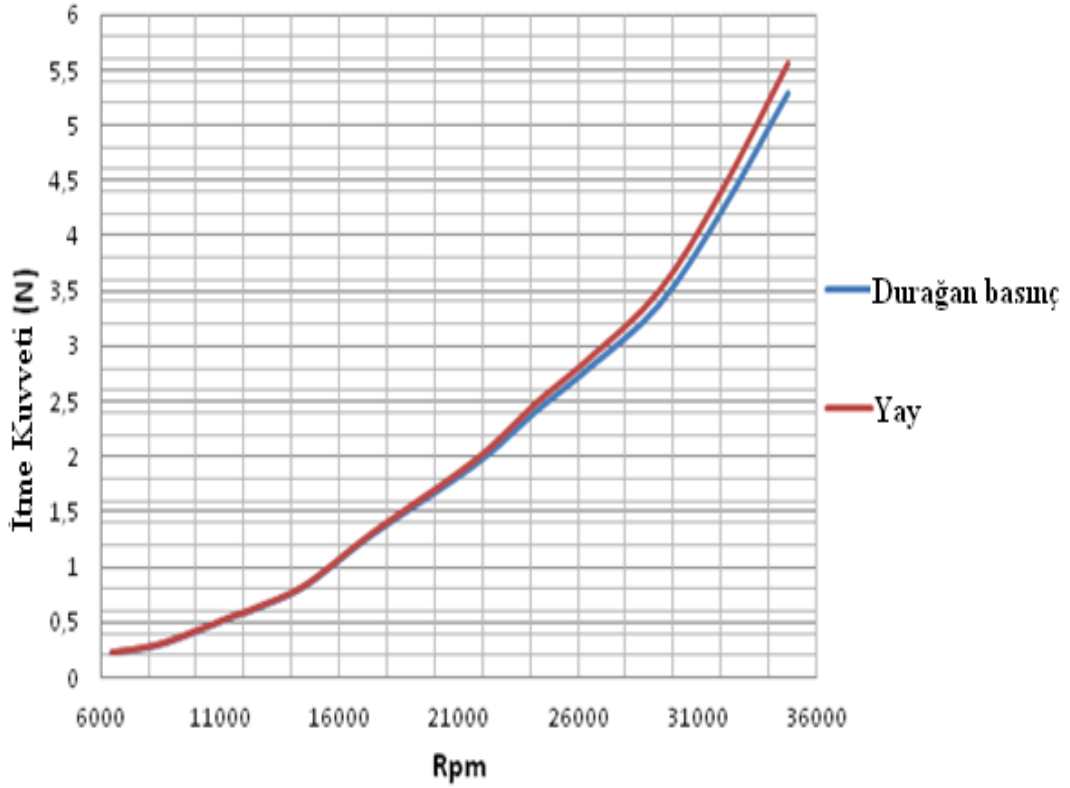
Deney. No	RPM	Durağan Basınç İtme Kuvveti(N)
1	6500	0,21978
2	8300	0,27974
3	10000	0,40975
4	11500	0,54039
5	12500	0,61626
6	14500	0,81311
7	16700	1,17787
8	18000	1,38097
9	20600	1,75821
10	22300	2,02800
11	24200	2,40176
12	26400	2,78904
13	29400	3,37434
14	32000	4,21638
15	34800	5,29783

Tablo 3: Yay Sistemi Test Sonuçları

Deney. No	RPM	Yay İtme Kuvveti (N)	Hata Oranı (%)
1	6500	0,2197	-0,0297
2	8300	0,2846	1,7165
3	10000	0,4144	1,1367
4	11500	0,5442	0,7153
5	12500	0,6241	1,2699
6	14500	0,8189	0,7113
7	16700	1,1884	0,8908
8	18000	1,3981	1,2312
9	20600	1,7876	1,6479
10	22300	2,0723	2,1380
11	24200	2,4717	2,8330
12	26400	2,8712	2,8640
13	29400	3,4954	3,4650
14	32000	4,3942	4,0486
15	34800	5,5577	4,6773



Şekil 10. Kanal Fanın RPM-Hız Grafiği



Şekil 11. Durağan Basınç Noktası Sistemi ile Yay Sistemi İtme Kuvveti Hesabı Kıyas Grafiği

EXPERIMENTAL THRUST CALCULATION OF DUCT FAN

In this paper, two experimental studies carried out the determination of the produced trusts of a duct fan in various speeds. In the first method, the duct fan is placed in the pipe regarding to drill some static tapping holes on the pipe. Static pressure is measured in this system and the trust of the duct fan has been obtained from this measurement. In the second method, a spring system has been established for getting duct fan thrust force. The results of two measurement systems are compared and reported based upon those measurements.

Keywords: Duct Fan, Thrust, Static Tapping System, Spring System and Air Flow.

KAYNAKÇA

1. Michael R. Mendelhall & Selden B. Spangler, 'Theoretical study of ducted fan performance', *National aeronautics and space administration contractor report*, NASA CR-1494, January 1970.
2. J. A. Lieser, D. Lohmann, C. H. Rohardt, Aeroacoustic, "Design of a 6-Bladed Propeller", *Aerospace Science and Technology*, 1997, n° 6, 381-389.
3. E. Ritschl, R. Theiner, D. Hanus, "Inlet Channel for a Ducted Fan Propulsion System of a Light Aircraft", *Acta Polytechnica* Vol. 43 No. 6/2003.
4. Thong Q. Dang & Peter R. Bushnell, "Aerodynamics of cross-flow fans and their application to aircraft propulsion and flow control", *Progress in Aerospace Sciences* 45 (2009) 1-29.
5. Quentin R. Wald, "the aerodynamics of propellers", *Progress in Aerospace Sciences* 42 (2006) 85-128.
6. M. K. Rwigema, 'propeller blade element momentum theory with vortex wake deflection', *In ICAS, 27th international congress of the aeronautical sciences*, France, 2010, ICAS 2010-2.3.4
7. Jean-Jacques Chattot, "Effects of blade tip modifications on wind turbine performance using vortex model", *Computers & Fluids* 38 (2009) 1405-1410.
8. Sven Schmitz, J. J. Chattot, Mahendra Bhagwat, Marvin Moulton, Francis Caradonna, "the Prediction and Validation of Hover Performance and Detailed Blade Loads", *AHS Aeromechanics Specialist's Conference*, San Francisco, CA, Jan. 2008.
9. H. Jing, L. Ru, H. Yaling, Q. Zhiguo, "Solutions for variable density low Mach number flows with compressible pressure-based algorithm", *Applied Thermal Engineering* 27 (2007) 2104-2112.
10. Almgren, A.S., Bell, J.B., Rendleman, C.A., Zingale, M., "Low mach number modeling of type Ia supernovae. 1.Hydrodynamics", *The Astrophysical Journal*, 2006, 637:922-936.

EKLER

Sembol Listesi

P_{atm}	Atmosfer basıncı (N/m^2)
R	Evrensel gaz sabiti (J/kgK)
T	Sıcaklık (K)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
Q	Hacimsel debi (m^3/s)
U_{mean}	Ortalama hız (m/s)
A	Boru alanı (m^2)
D	Boru çapı (m)
r	Boru yarıçapı ($D/2$) (m)
M	Mach sayısı
a	Ses hızı (m/s)
g	Yer çekimi sabiti (m/s^2)
μ	Dinamik viskozite (kg/ms)
f	Darcy-weisbach sürtünme faktörü
H_{loss}	Sürtünmeden dolayı oluşan yük kaybı (m)
H_{fan}	Fanın oluşturduğu yük (m)
L	Durağan basıncın alındığı noktalar arası mesafe (m)
Z_1, Z_2	Durağan basıncın alındığı noktalar arasında dikey fark (m)
k	Havanın özgül ısısı
L_f	Yayın ilk boyu (m)
L_e	Yayın uzama durumundaki boyu (m)
x	Yayın gerinmesi (m)
k_{spring}	Yay katsayısı (N/m)
T_{spring}	Yayın itmesi (N)
$T_{static pressure}$	Durağan basınç ölçüm sistemindeki kuvvet (N)
F_{spring}	Yay kuvveti (N)
y, z	Yayın denge eksenine ile arasındaki mesafe (m)