

YALIN PERVANE VE KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİNİN SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Onur Önal*, Zafer Öznalbant† ve Mehmet Şerif Kavsaoğlu‡
Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada yalın pervane ile kanal içi pervane sisteminin statik itki performansları deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Öncelikle yalın pervane ve kanal içi pervane itki verilerinin ölçülmesi için deney standı tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Belirli çaplarda değişik ilerleme oranına ve malzemelere sahip pervaneler kullanılarak itki verileri elde edilmiştir. İtki verileri dinamometre yardımıyla ölçülmüş, motor devri ise takometre kullanılarak ölçülmüştür. Kanal sistemi simetrik bir profil olan NACA 0012 profiline sahiptir. Elde edilen deneysel veriler paket bir yazılım içinde geliştirilen model ile karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Kanal içi pervane sistemi, yalın pervaneden alınan statik itkiyi arttırmak için geliştirilmiştir. Kanal, aerodinamik profilin bir eksen etrafında döndürülmesiyle elde edilen tüp şeklinde oluşturulur ve pervane kanalın içine yerleştirilir. Kanalın ön kısmı hava alığı ve arka kısmı da egzoz olarak adlandırılır. Bu sistemin amacı pervane arkasındaki akışın hızının azaltılması böylece itkide artış sağlanmasıdır. Akışın hızının azalması ise akış iz bölgesi alanının genişletilmesiyle mümkün olmaktadır [Leishman, 2006].

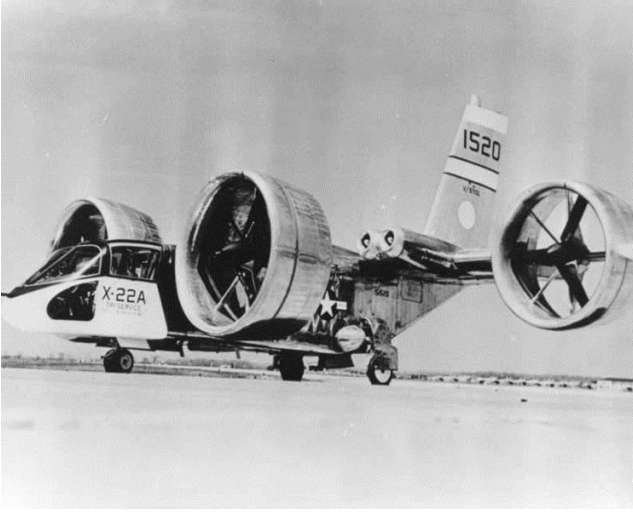
Kanal içi pervane sistemi ile ilgili ilk çalışma 1931 yılında İtalyan Stipe tarafından gerçekleştirilmiştir. Stipe (1931), testlerini statik hal ve düşük hızlar için gerçekleştirmiş elde ettiği başarılı sonuçlar sayesinde çalışmaları İtalyan devleti tarafından desteklenmiştir [Sacks, Burnell, 1959].

Kanal içi pervane sistemleri düşük hız gerektiren alanlarda, dikey iniş kalkış, helikopter kuyruk rotorları gibi alanlarda kullanılmaktadır [Koç, Erdem, Kavsaoğlu, 2010]. Şekil 1’de görülen Bell X-22 kanal içi pervane sistemini kullanan ve dikey iniş kalkış yapabilen bir uçaktır [Koç, Erdem, Kavsaoğlu, 2010]. Kuyruk rotorunda fan bulunan helikoptere ise Şekil 2’de görülen RAH Comanche 66 helikopteri örnek olarak gösterilebilir [Leishman, 2006].

* Araştırma görevlisi, Onur Önal, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, onuronal@anadolu.edu.tr

† Araştırma görevlisi, Zafer Öznalbant, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, zoznalbant@anadolu.edu.tr

‡ Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoğlu, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, mskavsaoğlu@anadolu.edu.tr



Şekil 1: Bell X-22[URL-1]



Şekil 2: Comanche RAH 66[URL-2]

Bu çalışmada öncelikli olarak yalın pervane ve kanal içi pervane sistemlerinin deneysel incelemelerinin yapılabilmesi için test standı tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İlgili standın tasarım kriterleri birinci bölümde incelenmiştir. İkinci bölümde, yapılan yalın pervane testleri ve statik itki değerleri belirtilmiştir.

TEST DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE İMALATI

Kanal içi pervane sistemi ile yalın pervane sisteminin karşılaştırılması için yapılacak deneylere yalın pervane deneyleri ile başlanmıştır.

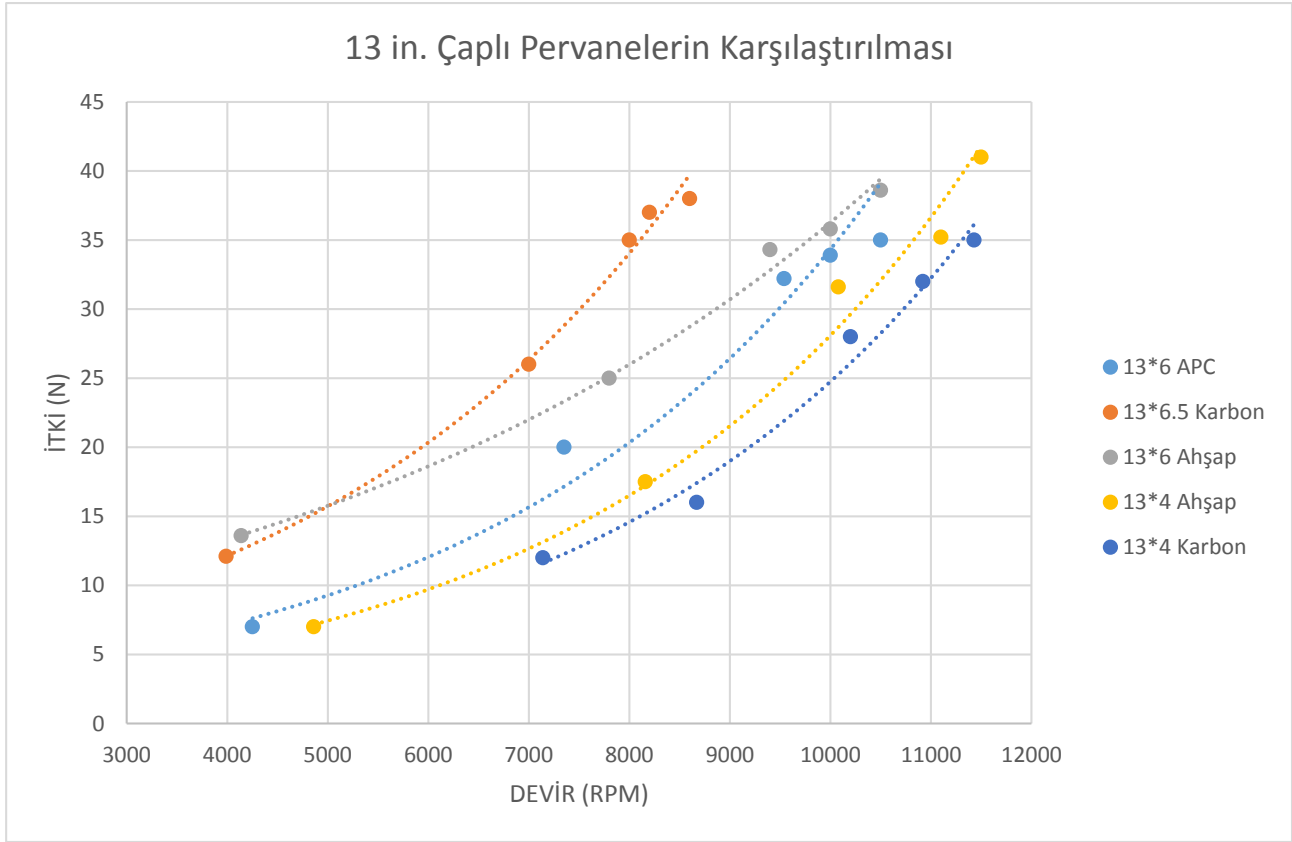


Şekil 3: Deney Düzeneği

Deney için özgün bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Şekil 3'te deney düzeneği görülmektedir. Motor bir tablaya montajlanmıştır. Bu tabla ise dinamometreye bağlanmıştır. Motorun bağlı olduğu tabla itki doğrultusunda serbestliğe izin veren bir ray ile deney düzeneğine bağlanmıştır. Bu

deneyler esnasında 0.944 cm³'lük iki zamanlı patlar motor kullanılmıştır. Motoru çalıştırmak için %15'i nitro olan yakıt kullanılmıştır.

YALIN PERVANE STATİK İTKİ TESTLERİ



Grafik 1: Yalın pervane itki sonuçları

Yalın pervane deneyleri Grafik 1'de gösterilen deney düzeneğinde yapılmıştır. Bütün deneyler açık havada yapılmıştır. Deneyler esnasında değişik ilerleme oranlarına sahip 11 inç, 12 inç ve 13 inç çapına sahip pervaneler kullanılmıştır. En yüksek itki değerleri 13 inç çapındaki pervanelerle elde edildiğinden kanal tasarımı 13 inç çapında pervane temel alınarak yapılmıştır. Grafik 1'de çeşitli ölçü ve malzemelere sahip 13 inçlik pervanelerin ürettiği itki değerleri gösterilmektedir. Burada en yüksek itkiyi ahşap 13*4 pervane üretmiştir. Bu deneyler sonucunda 13*6 bir pervanenin daha fazla itki üretmesi beklenmesine karşın motorun gücü 13*6 pervaneyi yüksek devirlerde döndürmek için yetersiz gelmiştir.

KANAL GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ

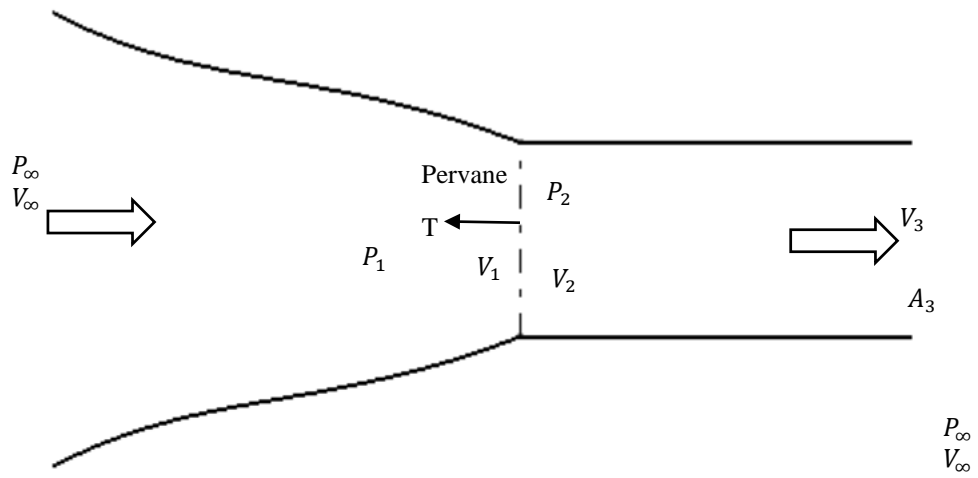
Kanal geometrisinin belirlenmesinde başlıca kriterler Graf [Graf, Fleming ve Ng, 2008], Abrego [Abrego, Bulaga, 2002] ve Martin [Martin ve Tung, 2004] tarafından yapılan çeşitli çalışmalar temel alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre kanal performansını doğrudan etkileyen parametreler: kanal profili (geometrisi), uç aralığı, daralma oranı, veter boyunca pervane yerleştirme yeridir. Kanalın profili için NACA 0012 seçilmiştir. Pervane uç bölgesi ile kanal iç duvarı arasındaki boşluk ise Martin ve Tung^[3] tarafından yapılmış çalışmalardan elde edilmiş sonuçlardan yola çıkarak pervane yarıçapının %2 si olarak belirlenmiştir. Kanalın veter uzunluğu ise Abrego ve Blugfa tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada kanalın veter uzunluğunun artmasının ya da azalmasının performans için olumlu veya olumsuz bir etkisi gözlenmediği için kanal veter uzunluğu pervane çapının %65'i olarak yani 215 mm olarak belirlenmiştir. Kanalın giriş ve çıkış alanının birbirlerine olan oranı ise 0,85 olarak belirlenmiştir. Bu noktada daha küçük bir alan oranına(pervane alanının pervane iz bölgesindeki alana oranı) sahip kanal tasarımının neden yapılmadığı düşünülebilir. Bunun nedeni ise küçük alan oranına sahip kanalda akım ayrılmamasını sağlamak için daha uzun bir kanal kullanmak gerekliliğidir.

YALIN PERVANE SİSTEMİNİN VE KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİNİN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Momentum Teorisi [McCormick, 1967]

Yalın pervane sisteminin itki, güç gibi değerlerini analitik olarak hesaplamak için kullanılan yöntemlerden birisi de Momentum Teorisidir. Momentum teorisini kullanmak için bazı varsayımlar yapılması gereklidir. Bu varsayımlar:

1. Tamamen üniform bir sistem
2. Pervane etrafında basınç farkı sabit
3. İndüklenmiş hız disk boyunca sabit
4. Pervane iz bölgesinde akışta dönme hareketleri yok
1. Dikey hız bileşeni pervane boyunca sabit



Şekil 4: Momentum Teorisi Modeli

Şekil 4’de momentum teorisine göre pervane akım alanı gösterilmiştir.

Bu şekilde;

T: İtki

P_{∞} : Dış basınç

V_{∞} : Serbest akım hızı

P_1 : Pervane önündeki basınç

P_2 : Pervane arkasındaki basınç

V_3 : Pervane iz bölgesindeki hızdır.

$$T = \dot{m}_{akış} * (V_3 - V_{\infty}) \quad (1)$$

$$T = A_d * (P_2 - P_1) \quad (2)$$

Burada A_d pervane alanıdır.

1 ve 2 numaraları denklemleri birleştirilirse:

$$\dot{m}_{akış} = A_{\infty}V_{\infty}\rho = A_dV_1\rho = A_3V_3\rho \quad (3)$$

denklemleri elde edilir.

3 numaralı denklemde ρ akışkanın yoğunluğudur.

Pervane önüne ve pervane arkasına Bernoulli denklemlerini uygulanacak olursa;

Pervane önü için:

$$P_{\infty} + \frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 \quad (4)$$

Pervane arkası için:

$$P_{\infty} + \frac{1}{2}\rho V_3^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 \quad (5)$$

4 ve 5 numaralı denklemler kullanılarak

$$T = A_d * (P_2 - P_1) = \frac{1}{2}\rho A_d (V_3^2 - V_{\infty}^2) = \dot{m}_{akış} * (V_3 - V_{\infty}) \quad (6)$$

denklemleri elde edilir.

6 numaraları denklem sadeleştirilirse;

$$V_1 = \frac{V_3 + V_{\infty}}{2} \quad (7)$$

V_1 hızı bulunur.

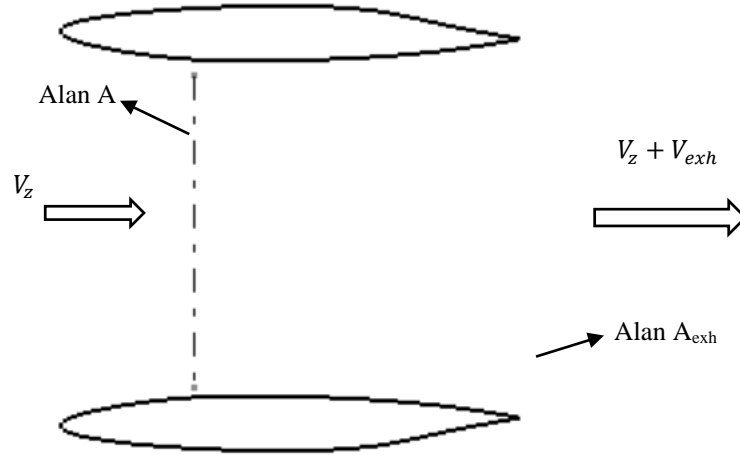
$V_1 = V_{\infty} + w$ olarak tanımlanırsa $V_3 = V_{\infty} + 2w$ olarak bulunur. Statik hal için $V_{\infty} = 0$ olduğundan 3 numaralı denklem kullanılarak;

$$A_d V_1 \rho = A_3 V_3 \rho \longrightarrow \frac{A_d}{A_3} = 2 \quad (8)$$

Statik hal için alan oranı 2 olarak bulunur.

Kanal İçi Sistem İçin Momentum Teorisi [Newman,1994]

Momentum teorisini kanal içi pervane sistemine de uygulamak mümkündür. Yalnız burada momentum teorisinin yanı sıra kinetik enerji teorisinden de yararlanılacaktır. Şekil 5'te kanal içi pervane sistemi modeli gösterilmiştir.



Şekil: 5 Kanal İçi Pervane Sistemi Modeli

V_z kanal girişindeki aksel hız ve V_{exh} kanal çıkışındaki aksel hız artışı olarak tanımlanır. A disk alanı ve A_{exh} kanal çıkış alanıdır.

Kinetik enerji formülünü kullanarak güç (P):

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_z - V_{exh})^2 - \frac{1}{2} \dot{m} V_z^2 \quad (9)$$

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (2V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (10)$$

İtki(T) için ise;

$$T = \dot{m} (V_z + V_{exh}) - \dot{m} V_z \quad (11)$$

$$T = \dot{m} V_{exh} \quad (12)$$

Böylece kanal içi sistem için itki ve güç tanımlanmış olur. 10 ve 12 numaralı formülleri kullanarak gücün itkiye oranı şu şekilde olacaktır:

$$\frac{P}{T} = V_z + \frac{V_{exh}}{2} \quad (13)$$

Kütle debisi (\dot{m}) şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{m} = \rho A (V_z + V_{exh}) \quad (14)$$

14 numaralı formülden yararlanarak itkiyi şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$T = \rho A (V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (15)$$

Alan oranı Φ ile gösterilir ve $\Phi = \frac{A}{A_{exh}}$ şeklinde tanımlanır. İtkiyi yeniden yazacak olursak;

$$T = \frac{\rho A}{\Phi} (V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (16)$$

16 numaralı formülü düzenlersek:

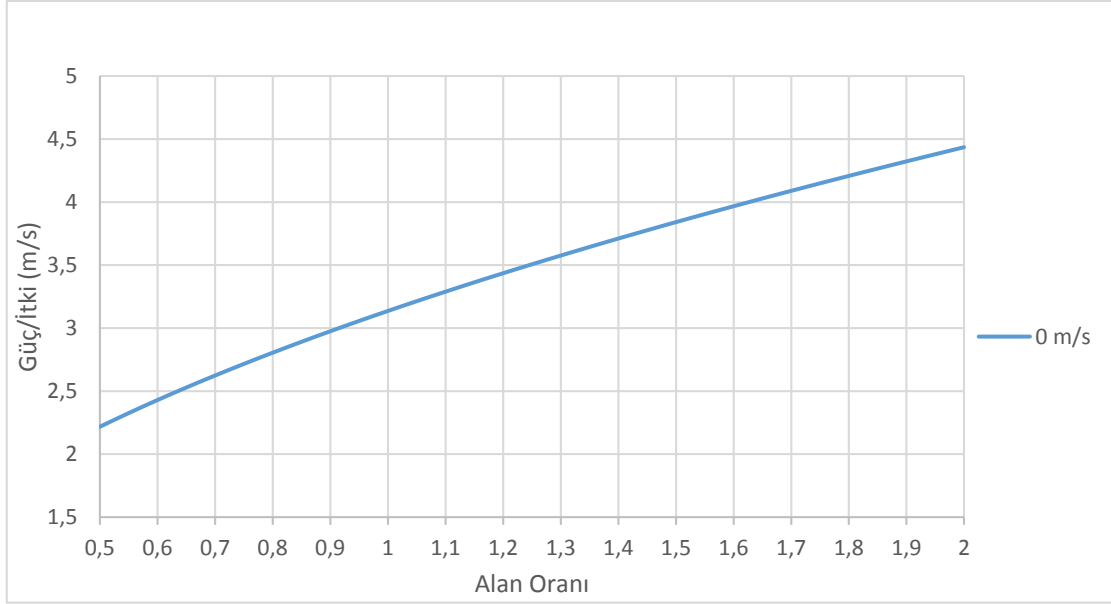
$$V_{exh}^2 + V_z V_{exh} - \frac{T}{\rho A} \Phi = 0 \quad (17)$$

13 numaralı formül 16 numaralı formül ile tekrar yazılırsa güç/itki oranı şu şekilde bulunur:

$$\frac{P}{T} = V_z + \frac{-V_z + \sqrt{V_z^2 + 4\Phi \frac{T}{\rho A}}}{4} \quad (18)$$

Kanal İçi Pervane Sistemi ile Yalın Pervane Sisteminin Analitik Olarak Karşılaştırılması

18 numaralı formülde güç/itki oranı hesaplanmıştır. 8 numaralı formülde ise yalın pervane sistemi için alan oranı hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanarak 25 N'luk bir itki üreten 13 inç yarıçapındaki bir pervanenin çeşitli alan oranları için güç/itki oranları grafik 1'de gösterilmiştir.



Grafik: 2 Alan Oranı Etkisi

Grafik 2'de statik hal yani serbest akış hızının 0 m/s olduğunda alan oranının güç/itki oranına etkisi gösterilmiştir. Bu grafikte alan oranının 2 olduğu kısım yalın pervane sistemini göstermektedir. Burada sabit bir güç harcandığında alan oranı küçüldükçe itkinin artacağı gösterilmiştir.

Alan oranı 2 iken Güç/İtki oranı= 4,43519

Alan oranı 0,85 iken Güç/İtki oranı= 2,892 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak kanal içi pervane sisteminin yalın pervane sistemine göre yaklaşık %53'lük bir itki artışı sağladığı görülmektedir.

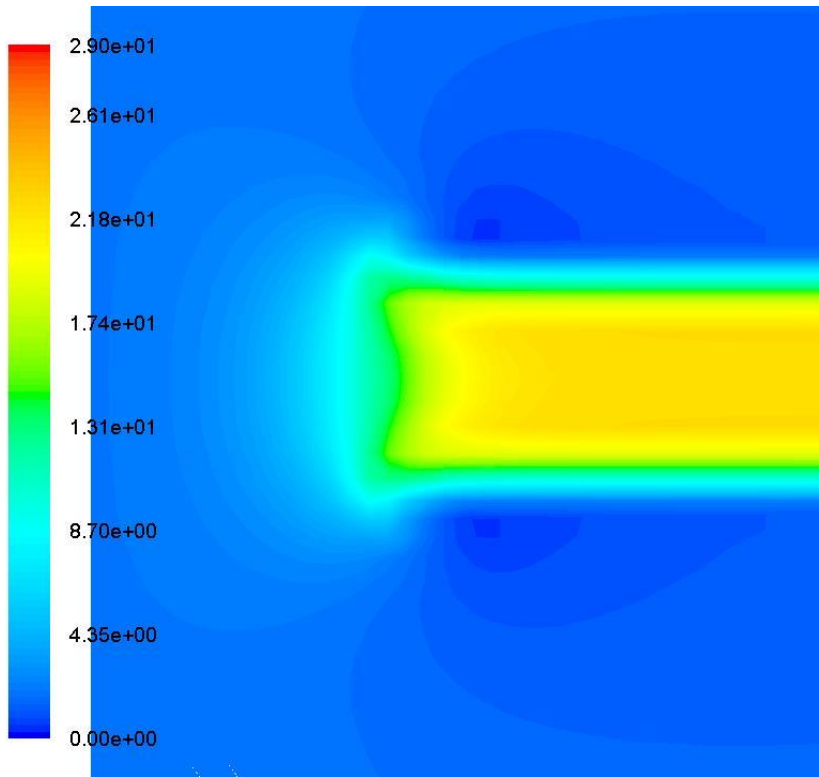
SAYISAL (SONLU ELEMAN YÖNTEMİYLE) AKIŞ ANALİZİ

Yalın pervaneye göre kanal içi pervane sistemin farkını görebilmek amacıyla ilk olarak ANSYS ile bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde kullanılan yalın pervane modeli 13*6 APC pervanedir. Kanal ise 396 mm iç çapa sahiptir. Kanalın giriş ve çıkış alanları oranı ise 1'dir.

Yapılan analizlerde pervane bir fan olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan bu fanın önünde ve arkasında oluşan basınç farkının sabit olduğu kabul edilmiştir. Şekil 6'da yalın pervanenin oluşturduğu hız alanı görülmektedir. Burada sistem laminer bir akış kullanarak modellenmiştir ve serbest akım hızı 0 m/s'dir. Bu sonuçlardan yola çıkarak yalın pervanenin statik itkisi; Bu sabit basınç değeri ise 25 N'luk itki oluşturan 300 Pa'lık bir basınç değişimidir. Bu değer momentum teorisinin bir sonucu olan

$$T = A_d * \Delta P$$

formülü kullanılarak bulunmuştur.

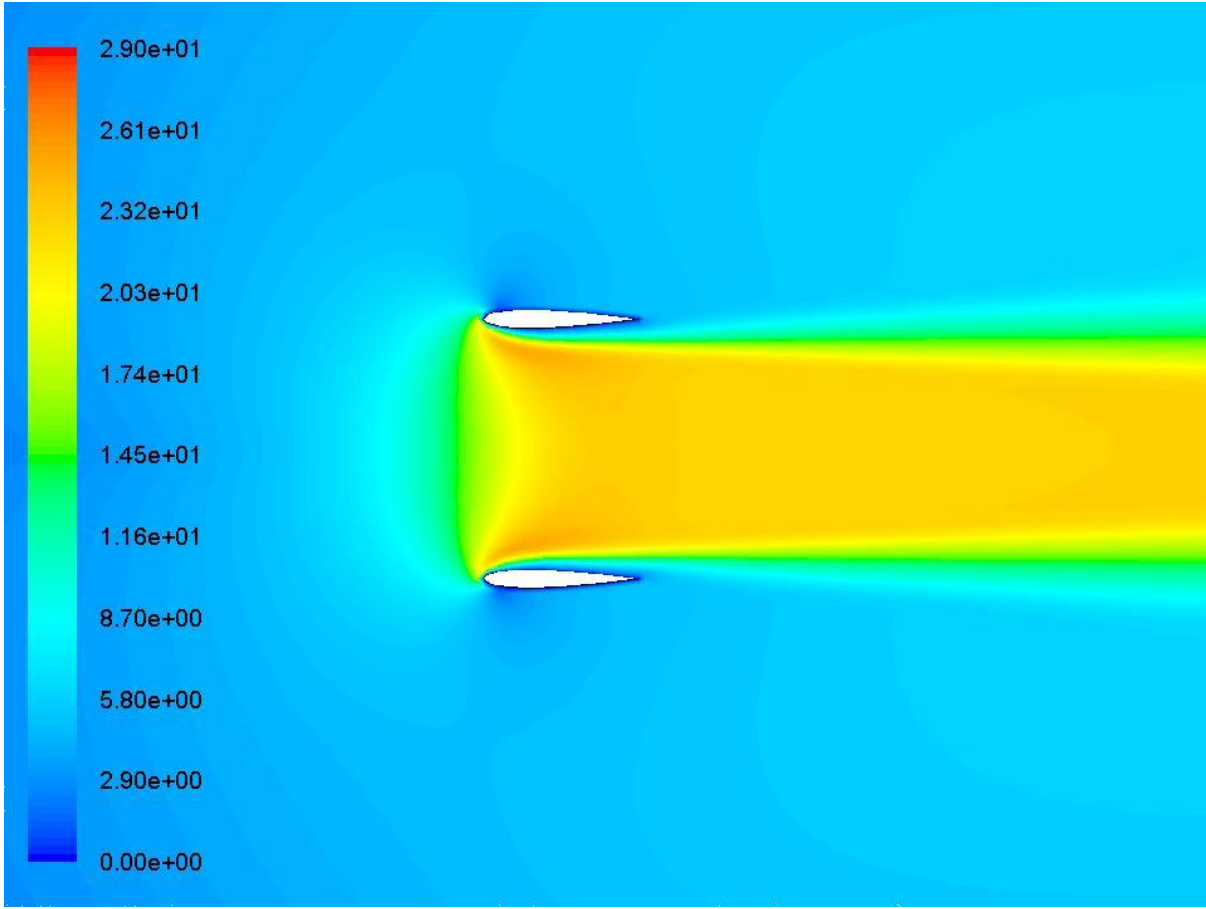


Şekil 6: Yalın Pervane Hız Alanı

Analiz sonucunda pervane iz bölgesindeki hızın 22 m/s olduğu hesaplanmıştır. Pervane önündeki ve arkasındaki basınç değişimini momentum teorisine Bernolulli denklemlerinin uygulanması ile hesaplanmıştır. Bu denklem:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho (V^2 - V_{\infty}^2)$$

Elde edilen veriler yerine konduğunda $\Delta P = 297 Pa$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç analiz başında hesaplanmış olan 300 Pa değerine yakın olduğundan, analiz için yapılan modelin gerçek modele yakın olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 7: Kanal İçi Pervane Sistemi Hız Alanı

Şekil 8'de ise kanal içi pervane sistemi gözükmektedir. Pervane, profil kesitinin en kalın olduğu yerde konumlandırılmıştır ve profil ile pervane arasındaki boşluk 0'dır. Bu analizde, analiz süresinin kısılması için serbest akım hızı düşük bir hız olan 2 m/s olarak kabul edilmiş ve akış modellemesinde k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü üzere iz bölgesindeki akış çok fazla azalmamış olsa da akışın iz bölgesinin alanı arttırılmıştır.

Kanal içi pervane sisteminin itkisi ise şu şekilde tanımlanır:

$$T = \frac{\rho A}{\phi} (V_z + V_{exh}) V_{exh}$$

Verileri formülde yerine koyduğumuzda itki 35 N olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere statik halde kanal içi sistem kullanılarak itkide yaklaşık olarak %29 civarında bir itki artışı sağlanmıştır.

UYGULAMALAR

İlk olarak itki deneylerinin yapılacağı deney düzeneği tasarlanmıştır. Daha sonra bu düzeneğe üretilmiştir. Kanal içi pervane sistemi ile yalın pervane sisteminin karşılaştırılması için yapılacak deneylere yalın pervane deneyleri ile başlanmıştır. Yalın pervane deneylerinin bitiminden sonra kanal üretimine başlanacaktır. Kanalı üretmek için kompozit malzemeler kullanılacaktır. Bu nedenden dolayı kanalın oluşturacağı ağırlık dezavantajının önüne geçilmesi beklenecektir.

SONUÇ

Çalışmanın ilk aşamasında yalın pervaneden elde edilen statik itki değerleri ölçülmüştür. Burada en sağlıklı sonuçlar ahşap pervanelerden elde edildiğinden ilerleyen aşamalarda gerçekleştirilecek olan kanal içi pervane sistemi statik itki deneylerinde ahşap pervaneler kullanılacaktır. Deneysel olarak elde edilen verilerin yanı sıra kanal içi pervane sistemi ve yalın pervane analitik olarak ve paket program ile CFD analizi yapılarak da karşılaştırılmıştır. Analitik incelemede kanal içi pervane sistemi ile itkide %53'lük bir artış sağlamıştır. CFD analizinde ise %29 oranında bir itki artışı olmuştur. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak kanal içi pervane sisteminin üretilmesine karar verilmiştir.

Kaynaklar

- Abrego A. I. ve Bulaga R. W. 2002: *Performance Study of a Ducted Fan System*, AHS Aerodynamics, Aeroacoustics, and Test and Evaluation Technical Specialists Meeting, San Francisco, CA. Reno, Nevada.
- Graf W. Fleming J. ve Ng W. 2008: *Ducted Fan UAV Aerodynamics in Forward Flight*, 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
- Koç S. T., Erdem D., Kavsaoglu M. Ş., *Kanal İçi Pervane Sisteminin Deneysel İncelenmesi*, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Kongresi, Eskişehir, Eylül 16-18, 2010.
- Leishman J. G. 2006: *Principles of Helicopter Aerodynamics*, Cambridge University Press, Cambridge
- Martin P. ve Tung C, 2004: *Performance and Flowfield Measurements in a 10-inch Ducted Rotor VTOL UAV*, NASA Technical Report, Document ID: 20050009943, Ames Research Center.
- McCormick, B.W. 1967. *Aerodynamics of V/STOL Flight*, Academic Press, New York.
- Newman S. 1994. *Foundations of Helicopter Flight*, Butterworth-Heinemann, Burlington.
- Sacks A. H., Burnell J. A. 1959, Ducted Propellers – A Critical Review of The State of The Art, Armed Services Technical Information Agency Report No. ARD-232, Virginia, 26 June.
- URL-1: http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-22a_onground_bw.jpg
- URL-2: <http://www.boeing.com/boeing/history/boeing/comanche.page>