# PERVANENİN KANAT VE FLAP İLE ETKİLEŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Murat Bronz<sup>1</sup>

ENAC, University of Toulouse, Toulouse

Egemen Aydın<sup>2</sup>, Kader Engin<sup>3</sup>, İdil Fenercioğlu<sup>4</sup>, Okşan Çetiner<sup>5</sup>

İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

## ÖZET

Bu çalışmada dikey kalkış ve iniş yapabilme kapasitesine sahip İnsansız Hava Aracı (İHA) Cyclone için pervane arkası akımın kanat konfigürasyonuna etkisi incelenmiştir. Pervaneyi döndüren elektrik motoru kanat planformunun ortasında, hücum kenarına sabitlenmiştir ve araştırmada, yüksek hücum açılarında büyük flap açısı değişiminin moment oluşturma kabiliyeti üzerine yoğunlaşılmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Trisonik Laboratuvarı Su Kanalı test düzeneğinde Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Digital Particle Image Velocimetry - DPIV) sistemi kullanılarak akım ayrılması incelenmiş, eşzamanlı olarak kuvvet/moment ölçümleri 6 eksenli kuvvet/moment sensörüyle yapılmıştır. İncelemeler sonunda taşıma-sürükleme-moment dengesi, kanat üzerinde ve flapta akım ayrılması ile ters akışta kontrol limitlerinin daha iyi anlaşılmasına çalışılmıştır.

## GİRİŞ

Küçük ölçekli İnsansız Hava Araçlarının (İHA) birçok kullanım alanı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden uçuş suresi, menzil ve yük taşıma performansının arttırılmasına yönelik talepler çoğalmaktadır. Bunlar, sabit kanat konfigürasyonu kullanılarak kolaylıkla elde edilebilir. Ayrıca kısıtlı kalkış / iniş alanı veya gemi esaslı operasyonlar gibi durumlarda, döner kanatlı araçlar daha iyi performans göstermektedir. Dikey kalkış ve inişin verimli olarak sabit kanat konfigürasyonuna dahil edilmesi hala büyük zorluklardan biri olmayı sürdürmektedir. Karşılaşılan zorluklar birkaç farklı Hibrit araç tasarımında ele alınmıştır [Lustosa, 2014; Hartmann, 2017; De Wagter, 2017]. Küçük ölçekli İHA'larda basitleştirilmiş konfigürasyonların gerçek yaşam uygulamalarında daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Tilt-body olarak da bilinen Hibrit araç tasarımı en basit ve alışılmış sabit kanat konfigürasyonuna en yakın tasarımdır. Tasarımı gerçekleştirilip prototipi imal edilmiş olan Cyclone aracı [Bronz, 2017] (Şekil 1) pozisyon ve durum kontrolü için iki motor ve iki aerodinamik kontrol yüzeyi olmak üzere dört kontrol girdisi kullanmaktadır.

Kontrol yüzeyleri ile pervane akımının yönünü değiştirip yunuslama momenti elde eden bu tür araçların genel problemi, yüksek hücum açılarında kanat ve kontrol yüzeyleri üzerindeki akım ayrılması nedeniyle yunuslama momentini ve dolayısı ile kontrolünü kaybetmeleridir. Gerekli olan yüksek açıya sahip flaplar Şekil 1b'de görülebilir. Bu nedenle, bu çalışmada, kanadın ve flapın pervane akımının etkisinde olduğu kanat kesitinde kanat etrafı ve yakın iz bölgesindeki akım alanı Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Digital Particle Image Velocimetry - DPIV) sistemi ile

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Yard. Doç. Dr., Uygulamalı Aerodinamik. Böl., E-posta: murat.bronz@enac.fr

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: aydineg@itu.edu.tr

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi Uçak ve Uzay Müh. Böl., E-posta: enginka@itu.edu.tr

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Arş.Grv. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: fenercio@itu.edu.tr

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Prof. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: cetiner@itu.edu.tr

incelenmiştir. Ayrıca, eşzamanlı olarak yunuslama momenti oluşumunun kayıplarını ve yüksek hücum açılarında kuvvet değişimi miktarını belirlemek için kuvvet ve moment ölçümleri alınmıştır.



Şekil 1: Cyclone, a) havada asılı dururken, b) elden serbest bırakılırken.

## DENEY DÜZENEĞİ

## Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri

Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Particle Image Velocimetry - PIV) ölçümleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisonik Laboratuvarında bulunan kapalı devre, geniş ölçekli, serbest yüzeyli su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney odası kesit boyutları 1010 mm x 790 mm olup akış düzeneğinin ayrıntılı bilgileri Fenercioglu ve Cetiner [2012, 2014] 'de verilmektedir. Dikdörtgen kanat planformu (15 cm veter ve 50 cm açıklık) hücum kenarının önünde 12.5 cm çapında bir pervaneyi döndüren bir elektrik motoruyla donatılmıştır. Kanat, yüksek hücum açılarını simüle etmek için açıklık ekseni etrafında 360° döndürülebilmektedir. Yüksek hücum açılarında büyük flap defleksiyonunun moment oluşturma kabiliyeti üzerine yoğunlaşılmıştır. Bu yüzden flap, pervane arkası akımdan etkilenecek şekilde kanadın ortasına yerleştirilmiştir.

MH45 profiline benzerlik gösteren özel tasarım bir kanat, lazer ışığının kanadın hem üst hem de alt yüzeyini aydınlatması için şeffaf Plexiglas'dan CNC ile imal edilmiştir ve hücum kenarından çeyrek-veter uzaklığında dikey bir bağlantı çubuğu ile su kanalına daldırılmıştır. Dynamic Studio (Dantec Dynamics A/S) yazılımı kullanan PIV sistemi ile ayrıntılı akış alanı, kanat ve flapın etrafındaki girdap oluşumları ve gelişimi niceliksel olarak kaydedilmiştir. Akış alanı, kanadın yarı açıklık düzlemi çift kavite Nd-Yag lazeri (maksimum 120 mJ/vuruş) ile aydınlatılmış ve su ortalama 10µm çapında gümüş kaplı cam kürecikler ile tohumlanmıştır. Daha büyük bir akış alanını gözlemleyebilmek için iki adet 1600x1200 piksel çözünürlüklü 10-bit kamera su kanalının altına yerleştirilmiştir. Bu iki kameradan alınan görüntüler, incelenmeden önce aydınlatma düzleminde iki işaretleyici nokta alınarak laboratuvar içi bir kodla birleştirilmiştir. Suyun kırılma indeksi (1.396), plexiglas kanadın kırılma indeksine (1.5025) yakın oldugundan ve kanat profilinin maksimum kalınlığı 12 mm olduğu için refraktif indeks eşleşmesi yapılmamıştır. Bozulmanın olmadığı daha önceki çalışmalarda da doğrulanmıştır [Fenercioglu ve Cetiner, 2012; 2014].

Alınan her bir deneysel veri seti 400 anlık görüntüden oluşmaktadır. PIV verileri çift görüntülü, 64x64 piksel ve her yönde %50 üst üste bindirme ile çapraz korelasyon tekniği kullanılarak işlenmiştir. Akış düzlemindeki vektör çözünürlüğünün en düşük değeri 4.07x4.07 mm'dir. Elde edilen ölçüm alanı yaklaşık 3200 hız vektörüyle temsil edilmiştir. Şekil 2'de verilen deney düzeneğinde gösterildiği üzere kanadın yunuslama hareketi bir adet HEBI X5-1 robotik aktüatör ile gerçekleştirilmiştir.

### Kuvvet ve Moment Ölçümleri

3 eksende kuvvet ve moment ölçümleri için 6 bileşenli ATI Mini-40 kuvvet/moment duyargası kullanılmıştır. Duyarga kanat köküne sabitlenmiş şekilde takılmıştır ve kanat ile birlikte hareket etmektedir. Duyarga çıkışları SI-40-2 için kalibre edilmiş olan kuvvet dönüştürücü ile güçlendirilmiştir. Analog sinyallerden veri alımı LABJACK T7 kartı ile yapılmış ve bu sinyal dijital sinyale diferansiyel modda 16-bit çözünürlükte 13 kanal kullanarak dönüştürülmüştür (6 sensör çıkışı, 6 ayrı referans kanalı ve 1 ortak analog kanal). Sözü edilen LABJACK kartı USB bağlantısı üzerinden operasyon bilgisayarına bağlanmış ve veri toplama kanallarının yapılandırması ise Python programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Veriler 650Hz'de kaydedilirken her sinyalin dinlenme zamanı 100 μs'e ayarlanmıştır.





#### UYGULAMALAR

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, alınan her bir deneysel veri seti 400 anlık görüntüden oluşmaktadır. Ancak, bu derecede yüksek sayıdaki anlık görüntülerden anlamlı sonuçlar elde etmek uzun ve zorlu bir süreç olacağından dolayı, karışıklığı önlemek adına ortalama akış alanları sonuçlarda kullanılmıştır.

#### Pervane Etkisi

Pervanenin etkisini araştırmak için, kuvvet ve moment şemasının (Şekil 3) incelenmesi sonucu görülmüştür ki, beklenildiği üzere, pervanenin kullanılmadığı deney setleri pervaneli olanlara göre daha düşük taşıma ve sürükleme değerlerine sahiptir. Yunuslama moment değerlerinde ise bu oluşumun tam tersi bir durum söz konusudur. Bu moment değişiminde pervaneli durumda düşük, pervanesiz durumda yüksek yunuslama momenti elde edilmiştir bu durum da düşük Reynolds sayı rejiminde gerçekleştirilmiş olan deneylerimizde beklenilen bir sonuçtur.



Şekil 3: a) Taşıma ve sürükleme kuvvetlerinin değişen hücum açısında pervaneli ve pervanesiz durumlardaki grafiği, b) Yunuslama momentinin değişen hücum açısında pervaneli ve pervanesiz durumlardaki grafiği

Şekil 4a'da pervanenin kullanılmadığı halde, model etrafındaki serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, Şekil 4b'de ise vortisite alanları verilmektedir. Model, pervane bulunmadığı durumda normal bir akış alanı içindeki kanat modeli gibi davranmaktadır. Şekil 5'te görülen 30° hücum açısına sahip pervanesiz model için verilen ortalama vortisite alanı ise saat yönüne dönen negatif işaretli bir hücum kenarı girdabının, pervane yuvasının ucundan başlayarak, kanat modelinin üst yüzeyi üzerinde ilerlediğini göstermektedir. Ancak, daha yüksek hücum açılarında bu mesafe beklendiği gibi daha da küçülmektedir. Şekil 6'da görülebileceği üzere 45° hücum açısına sahip modelin üst yüzeyinde oluşan girdap yapısı kanat yüzeyinden ayrılıp, iz bölgesine sürüklenmekte ve akış alanında kaybolmaktadır.





Şekil 4: Pervanesiz durumlar için 0° hücum açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları



Şekil 5: Pervanesiz durumlar için 30° hücum açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları



Şekil 6: Pervanesiz durumlar için 45° hücum açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları

Pervaneli durum deneyleri yaklaşık olarak 410 rpm'de dönen pervanenin etkisi Şekil 7a'da kolaylıkla görülebilmektedir. Pervane yuvasının ucundan çıkan girdap, 0° hücum açısında veter boyunca neredeyse tüm yüzeyi kaplamakta ve 30° hücum açısında ise neredeyse veterin üçte birlik kısmında kalmaktadır (Şekil 8b).





Şekil 7: Pervaneli durumlar için 0° hücum açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları

Şekil 7 ve Şekil 8'in karşılaştırılmasıyla dikkat çeken bir diğer husus da hücum açısının artması sonucu eyer (saddle) noktalarının, pervanenin yardımı ile birlikte arka kenara doğru kaymış olmasıdır. Pervanenin dönüşünden elde edilen pozitif girdabın negatif girdabı kestiğini ve zayıflamış olan parçanın model yüzeyinden ayrılarak iz bölgesine ilerlediği, hücum kenarı girdabının kalan kısmının güçlendiği ve üst yüzeye yakın kalarak veter üzerinden yoluna devam ettiği fark edilebilir.



Şekil 8: Pervaneli durumlar için 30° hücum açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları

Şekil 9'da serbest hızının çıkarılmadığı durumda pervaneli ve pervanesiz halde kanadın 30° hücum açısındaki akım çizgileri verilmiştir. Şekil 9a'da pervanenin çalkantısının yokluğundan dolayı akış yapılarındaki iki boyutluluk, ortalama akış alanlarından açıkça görülebilir. Pervane etkisiyle yaratılan çalkantıdan dolayı akış yapılarındaki üç boyutluluk ise Şekil 9b'de verilen ortalama akış alanlarında gözlemlenebilmektedir. Vortex spiral değil eş merkezli iç içe daireler şeklinde kendini göstermektedir.



Şekil 9: 30° hücum açısında, a) pervanesiz durumda akım çizgileri ile hız vektörleri, b) pervaneli durumda akım çizgileri ile hız vektörleri

### Flap Etkisi

Flapın etkisi kuvvet ve moment grafiklerinden çok net bir şekilde görülebilir (Şekil 10). Beklenildiği gibi, daha yüksek flap açısı, aynı hücum açısı için daha yüksek taşıma ve sürükleme kuvveti değerleri verir. Aynı durum moment için de geçerli olup flap açısının artmasıyla, aynı hücum açısı değeri için yunuslama momentinin arttığı görülmektedir. Pervane kanatçıkları tarafından üretilen pozitif girdapların negatif hücum kenarı girdabını kestikleri ve üst yüzey boyunca hareketlerine devam ettikleri de Şekil 11'de fark edilebilir. Model hücum açısının 30°, pervaneli ve flap açısının 0° olduğu durum ile (Şekil 8b) karşılaştırıldığında, kullanılan flapın girdapları modelden düşey yönde daha uzağa doğru yukarı iterken, kopmuş olan negatif girdap yapısının sarmal yarıçapı azalmakta ve gücü artmakta olduğu görülmektedir. Flap kullanımı halinde pervanenin üflediği hava akımı firar kenarından yatay yolda yönlendirilir ve flap açısının değeri azaldıkça bu yatay yol daha düşey hale gelmektedir. Bu durum da Şekil 12b'de görülebilir. Flap açısı negatif yönde arttıkça, eyer noktaları kanat hücum kenarına doğru kaymakta ve bu durum da taşıma kuvvetinde azalmaya neden olmaktadır (Şekil 11a ve Şekil 12a).





85

60



-0,06 -0.08 -0,1 -15



Şekil 11: Pervaneli durumlar için 30° hücum açısında -25° flap açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları



Şekil 12: Pervaneli durumlar için 30° hücum açısında 10° flap açısında, a) serbest akım hızının çıkarılmış olduğu akım çizgileri ile hız vektörleri, b) vortisite alanları

#### SONUÇ

Bu çalışmada dikey kalkış ve iniş yapabilme kapasitesine sahip bir İHA modeli için pervane arkası akımın kanat konfigürasyonuna etkisi incelenmiştir. DPIV sonuçları ve kuvvet ve moment ölçümleri gerceklestirilmis, tasıma-sürükleme moment dengesi, kanat ve flap üst yüzevindeki akıs ayrımı ve ayrıca ters akısta kontrol limitlerinin daha iyi anlasılması sağlanmıştır. Pervaneli durum deneylerinde, pervanenin ürettiği akım gelen akışı modelin üst yüzeyine yapıştırmakta ve beklenen sekilde kanatlarda daha fazla taşıma kuvveti ile flaplarda daha fazla kontrol sağlanmaktadır. Artan hücum açısı değerleri ile pervanenin dönüşünden elde edilen vorteksin gücü azalmakta ve bu durum, hücum kenarı girdaplarının daha güçlenip model yüzeyinde kalmasını sağlamaktadır. Bu olusum hücum acısı değerleri arttıkca tasıma ve sürükleme kuvvetlerinin değerlerinin arttığını göstermektedir. Flaplar daha yüksek tasıma kuvveti elde etmek icin pervaneden üflenen hava akımını firar kenarından yatay yönde yönlendirmekte ve flap açısının değeri azaldıkça bu yatay yol daha düsey hale gelmektedir. Ancak flap etkisi pozitif yönde arttıkca, eyer noktaları kanat firar kenarına doğru kaymakta ve bu durum da taşıma kuvvetinde azalmaya neden olmaktadır. Yakın gelecekte incelenen İHA'nın manevra durumu, aracın askıda kalma (hover) durumundan ileri uçuşa geçiş veya tam tersi hareketlerinin incelendiği çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Pervanenin efektifliğini görebilmek için ise pervane dönerken serbest akım hızı olmadığı durumların incelenmesi gerekmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Test düzeneğinin geliştirilmesinin bir kısmı MISTRALE Projesi tarafından finanse edilmiştir. M. Bronz deneysel kurulum ve yazılım geliştirme konusundaki katkıları nedeniyle Gautier Hattenberger ve Xavier Paris'e teşekkür eder.

#### Kaynaklar

Bronz, M., Smeur, E. J., de Marina, H. G., and Hattenberger, G., 2017. *Development of A Fixed-Wing mini* UAV with Transitioning Flight Capability, 35th AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA, 2017, p. 3739.

De Wagter, C., Ruijsink, R., Smeur, E., van Hecke, K., van Tienen, F., van der Hors t, E., and Remes, B., 2017. *Design, Control and Visual Navigation of the DelftaCopter*, arXiv:1701.00860v1, January 2017

Fenercioglu, I. and Cetiner, O., 2012. *Categorization of flow structures around a pitching and plunging airfoil*, Journal of Fluids and Structures, Vol. 31, 2012, pp. 92–102.

Fenercioglu, I. and Cetiner, O., 2014. *Effect of unequal flapping frequencies on flow structures*, Aerospace Science and Technology, Vol. 35, 2014, pp. 39–53.

Hartmann, P., Schtt, M., and Moormann, D., 2017. *Control of Departure and Approach Maneuvers of Tiltwing VTOL Aircraft*, uidance, Navigation, and Control Conference, AIAA 2017-1914, 2017.

Lustosa, L., Defay, F., and Moschetta, J.-M., 2014. *Development of the flight model of a tilt-body MAV*, International Micro Air Vehicle Conference and Competition (IMAV 2014), Delft, NL, 2014, pp. 157–163.