

DÜŞÜK OK AÇILI DELTA KANAT AKIŞININ ZAMANA BAĞLI ÜFLEME TEKNİĞİ İLE KONTROLÜ

Cenk Çetin¹
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

Alper Çelik²
Orta Doğu Teknik Üniversitesi/
Tübitak Uzay Teknolojileri
Araştırma Enstitüsü, Ankara

Mehmet Metin Yavuz³
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

ÖZET

Düşük hızlı rüzgar tüneline gerçekleştirilen bu deneysel çalışma, 45 derece ok açılı delta kanat etrafında oluşan akış yapılarının zamana bağlı üfleme tekniği ile kontrol edilmesini amaçlamıştır. Akış yapılarındaki etki yüzey basınç ölçümleri ile incelenmiştir. Zamana bağlı üfleme yapabilen akış kontrol deney düzeneğinin frekans ve üfleme kontrolü Labview yazılımı kullanılarak, üfleme debisi karakterizasyonu ise Kızgın Tel Anemometre (HWA) kullanılarak yapılmıştır. Uygulanan kontrol boyutsuz maksimum üfleme katsayısıyla ifade edilmiş ve 0.01 olarak ayarlanmıştır. Uygulanan kontrolün etkisinin rapor edilebilmesi için, kontrol yapılmayan ve üfleme katsayısı 0.01 ile 0.0025 olan sabit debide üfleli kanat akışları da incelenmiştir. Deneyler Reynolds sayısı 35000 ve hücum açıları 13 ile 16 derecelerde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde frekans arttıkça, akış emme bölgesi boyutsuz basınç katsayısında artışlar gözlemlenmiştir. Basınç sonuçlarına bakıldığında, zamana bağlı üfleme tekniğinin, sabit debide üfleme göre akış yapısını geliştirmekte daha etkili olabildiği görülmüştür.

GİRİŞ

Savunma ve havacılık endüstrisinin güncel araştırma konularından olan insansız hava araçları, bu alanlara bir çok noktada yenilik ve kabiliyet kazandırmaktadırlar. Yüksek kaldırma kuvveti üretebilen ve yüksek manevra kabiliyetine sahip olan delta kanat planformu, bu araçların tasarımında sıklıkla tercih edilmektedir. Delta kanatlar gerek sabit gerek zamana bağlı uçuş koşullarında karmaşık akış yapılarına sahiptirler. Bu akış yapılarının detaylı olarak anlaşılıp kontrol edilebilmeleri, uçuş performansının en iyileştirilmesi ve yapısal kararlılığın sağlanması için gereklidir.

Delta kanat akışındaki baskın yapı hücum kenarından ayrılan kesme tabakalarının kanada doğru yuvarlanarak oluşturduğu birincil girdap çiftidir. Girdapların çekirdeğindeki eksenel hız uçuş hızının dört beş katına kadar çıkabilmekte olup, ortaya çıkan düşük basınç-yüksek hız çifti kaldırma kuvvetine katkıda bulunmaktadır. Yüksek hücum açılarında çıkıldığında girdaplar durgunlaşarak, ani bir genişleme ile kırınımına uğrarlar [Werle, 1954]. Ortaya çıkan kaotik yapı kanattaki kaldırma kuvvetini azalttığı gibi oluşturduğu yüzey titreşimleri ile kanadın yapısal özelliğine de zarar verebilmektedir [Gürsül, 2005]. Yüksek ok açısına ($\Lambda \geq 55^\circ$) sahip delta kanatların temel akış yapısı ve kontrolü üzerine literatürde bir çok çalışma yapılmasına karşın orta ve düşük ok açılı kanatlar ($\Lambda \leq 55^\circ$) için çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır [Yavuz, Elkhoury ve Rockwell, 2004; Gordnier

¹ Araştırma Görevlisi, Makina Müh. Böl., E-posta: ccenk@metu.edu.tr

² Doktora Öğrencisi, Makina Müh. Böl., E-posta: e139230@metu.edu.tr,

Uzman Araştırmacı, Aerodinamik ve Isıl Tasarım Grubu, E-posta: alper.celik@tubitak.gov.tr

³ Doç. Dr., Makina Müh. Böl. E-posta: ymetin@metu.edu.tr

ve Visbal, 2005; Jin-Jun ve Wang, 2008; Zharfa, Öztürk ve Yavuz, 2016]. Düşük ve orta ok açılı kanatlar temel akış yapısı bakımından yüksek ok açılı kanatlara göre temel farklılıklar göstermektedirler. Bu farklılıklar akış kontrolü uygulamalarında yöntem ve yaklaşım bakımından çeşitlilik gerektirmektedir.

Akış kontrolü aktif ve pasif olmak üzere temelde iki başlık altında incelenmektedir. Genellikle kanat geometri değişiklikleri ile gerçekleştirilen pasif akış kontrolü herhangi bir harici enerji girişi gerektirmezken, aktif akış kontrolünde akış ortamına enerji girişi sağlayacak sistemler kullanılmaktadır. Akış kontrolü uygulamalarında yüksek süpürme açılı kanatlarda girdap kırımının geciktirilmesi amaçlanırken, düşük ve orta süpürme açılı kanatlarda yüzey akış bağlanmalarının kontrol altında tutulması önceliklidir.

Aktif akış kontrol teknikleri sabit ve zamana bağlı olarak uygulanabilmektedir. En temel aktif akış kontrol tekniği olarak kabul edilen üfleme veya emme literatürde birçok farklı şekilde uygulanmıştır. Uygulama bölgesi olarak hücüm kenarları, firar kenarı ve kanat yüzeyi girdap hizası kullanılmıştır. Gürsül v.d üç farklı üfleme tekniğini de karşılaştırdıkları derleme makalelerinde en etkili yöntemlerin sırasıyla kanat yüzeyi girdap hizasından üfleme, hücüm kenarından üfleme ve firar kenarından üfleme olduğunu ortaya koymuşlardır [Gürsül, Wang ve Vardaki, 2007]. Literatürde bulunan zamana bağlı aktif akış kontrol teknikleri genellikle delta kanatların sahip olduğu zamana bağlı akış yapısıyla ilişkilendirilmiştir. Salınımlı kanatlar, sesle uyarma ve zamana bağlı üfleme ya da emme bu tekniklere örnek olarak verilebilir. Delta kanatlı yapıların kullanımının artmasıyla birlikte enerji verimliliği daha yüksek tekniklere yönelik çalışmalara da hız verilmiştir. Sabit debideki üflemeleme göre daha verimli olduğu belirtilen [Gürsül, Wang ve Vardaki, 2007] zamana bağlı üfleme tekniği periyodik olarak farklı mod ve frekanslarda yüksek ok açılı kanatlarda sıklıkla uygulanmıştır [Gad-el-Hak ve Blackwelder, 1987; Gu, Robinson ve Rockwell, 1993; Guy, Morrow, McLaughlin ve Wygnanski, 1999; Margalit, Greenblatt, Seifert ve Wygnanski 2005; Kölsch ve Breitsamter 2014]. Girdap kırımının önemli ölçüde geciktirilebildiği bu çalışmalarda, kaldırma kuvvetinde de değerli artışlar gözlemlenmiştir.

Orta ve düşük ok açılı delta kanatların zamana bağlı yöntemlerle kontrolüne yönelik çalışmalar geçtiğimiz yıllarda hız kazanmış olup, halen birçok noktada çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Vardaki, Wang ve Gürsül, 30° - 50° arası açılardaki delta kanatlara düşük genlikte salınım vererek gerçekleştirdikleri etkin çalışmada kontrol parametreleri ve kanat özellikleri arasındaki ilişkiyi rapor etmişlerdir [Vardaki, Wang ve Gursul, 2008]. Kontrol frekansının, genliğinin ve modunun yüzey akış yapışmasına etkileri vurgulanmıştır. Williams, Wang ve Gürsül gerçekleştirdikleri basınç ölçümü ve parçacıkla akış görüntüleme deneylerinde hücum kenarından zamana bağlı üfleminin 50° orta ok açılı bir kanattaki ön kanat ucu girdaplarını nasıl etkilediğini göstermişlerdir [Williams, Wang ve Gürsül, 2008]. Üfleme katsayısının, üfleme frekansının, üfleme kanal düzeninin ve hücum açısının birbirilerine olan etkisi gözlemlenmiştir.

Sunulan bu deneysel çalışmada 45° ok açısına sahip bir delta kanat akışının hücum kenarından zamana bağlı üfleme ile kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hücum kenarlarındaki üçer adet dairesel kesitli deliklerden yapılan üfleme kızgın tel anemometresi ile kalibre edilmiştir. Kanat akışı yapısı yüzey basınç ölçümleri ile incelenerek, uygulanan kontrol tekniğinin etkinliği rapor edilmiştir.

YÖNTEM

Deneyler Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bulunan düşük hızlı rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr tüneli test bölgesinin ölçüleri 750 mm x 510 mm x 2000 mm olup, kaydedilen en yüksek çalkantı yoğunluk değeri %1'in altındadır. Deneyler 13°, 16° hücum açılarında ve $Re=35000$ sayısında gerçekleştirilmiştir. Hızlı prototipleme tekniği ile üretilen delta kanadın ok açısı 45°, kalınlığı 15 mm, veter açıklığı 150 mm ve kanat açıklığı 300 mm'dir. Kanat hücum kenarlarından akış yönünde 45° açı ile pahlanmıştır. Yapılan deneylerde en yüksek blokaj oranı, atak açısı 16 derecededir ve %1.62 oranındadır.

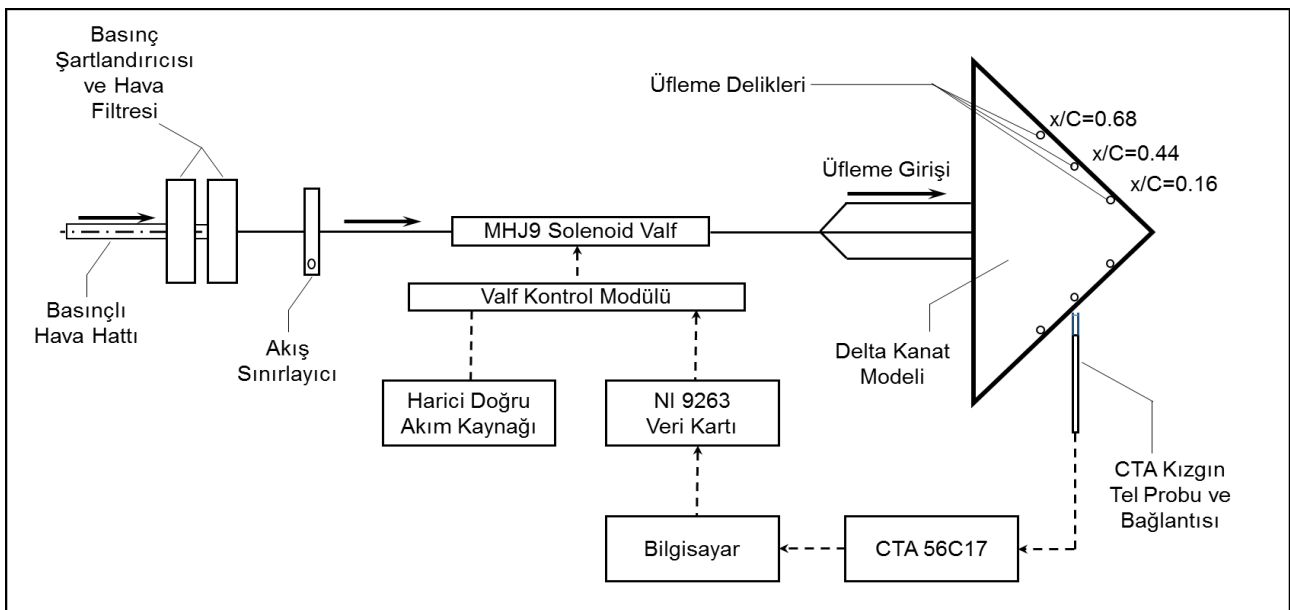
Zamana bağlı hava üfleme kontrol düzeneği Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu deney düzeneği sayesinde kanat hücum kenarlarından 6 bar besleme basıncında zamana bağlı hava

üfleme gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı hava üfleme FESTO-MHJ9 hızlı anahtarlama solenoid valfi kullanılarak sağlanmıştır. Valf, LabView yazılımı ve National Instrument NI-9263 data toplama kartı ile sürülmüştür. 4-9 mikro saniye sürede açılıp-kapama özelliği bulunan bu valfe, 2–24 Hz frekans aralığında (0.5sn-0.005sn), kare dalga formunda ve %25 görev döngüsünde (DC) sinyal girdisi verilmiştir. Üfleme delikleri, “x” kanat ucundan uzaklık ve “C” kanat veteri olmak üzere hucüm kenarlarında, $x/C = 0.16, 0.44$ ve 0.68 'de konumlandırılmıştır. Valften kontrol edilerek çıkan akışın en düşük oranda kayba uğraması için valf kanatlara mümkün olan en yakın mesafeye konumlandırılmış ve en kısa uzunlukta pnömomatik boru kullanılmıştır. Yapılan üfleme karakterizasyonu için DANTEC 56C17 sabit sıcaklık anemometresine bağlı 55P16 probu, özel olarak tasarlanan pozisyonlama sehpasına bağlanarak kullanılmıştır. 2000 Hz örnekleme hızıyla toplam 4 saniyede veri toplanmıştır. Elde edilen hız profilleri, üfleme katsayısının hesaplanması için büyük önem taşımaktadır. Literatürde zamana bağlı üfleme ve/veya emme işlemlerinde kullanılan üfleme katsayısı, jet hızının ortalama karekök (RMS) değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan bu yöntem daha çok sinüs ve üçgen formundaki süreğen dalgalarda tercih edilmiştir. Nispeten çok daha az uygulanan ve aç-kapa prensibine dayalı elde edilen kare dalgalar için akışın sabit olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Mevcut çalışmada valfin açık konumu referans alınarak maksimum üfleme katsayısı $C_{\mu,maks}$ tanımlanmıştır. Bu boyutsuz katsayı akış ortamına eklenen enerjinin ifade edildiği şeklidir.

$$C_{\mu,maks} = \frac{Q_j \bar{U}_j}{U_{\infty}^2 A_s} \quad (1)$$

Bu formülde \bar{U}_j valfin açık olduğu maksimum üfleme hızlarının ortalamasını, Q_j valfin açık olduğu durumda deliklerden üflenenen ortalama debiyi, U_{∞} rüzgar tüneli test bölgesi akış hızını ve A_s kanat yüzey alanını göstermektedir. Zamana bağlı üfleme tekniği, tüm tahrik frekansları için $C_{\mu,maks} = 0.01$ olan durumlar için incelenmiştir.

Kurulan zamana bağlı hava üfleme kontrol düzeneği sabit hava üfleme imkanına da sahiptir. Sabit hava üfleme tekniği için üfleme kat sayısı denklem 1'de olduğu gibi hesaplanmaktadır. Bu çalışmada zamana bağlı üfleme tekniğinin akışa olan etkisiyle karşılaştırılmak üzere $C_{\mu} = 0.0025$ ve 0.01 olmak üzere iki farklı sabit debide üfleme durumu da incelenmiştir. $C_{\mu} = 0.0025$ değeri zamana bağlı üfleme tekniğinde uygulanan $C_{\mu,maks} = 0.01$ değerinin görev döngüsüyle çarpılmasıyla elde edilen sonuçla öngörülmüştür. $C_{\mu} = 0.0025$ değeri zamana bağlı üfleme tekniğiyle akış bölgesine enjekte edilen toplam (kümülatif) momentumu ifade etmektedir.



Şekil 1: Zamana bağlı hava üfleme kontrol düzeneği.

Akış ortamına dair nicel analizler $x/C = 0.56$ 'da yüzey basınç ölçümleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Basınç ölçümleri 16 kanallı basınç tarayıcısı ile yapılmıştır. Kanatta gerçekleştirilen öncül basınç ölçümleri kanat üzerinde simetrik bir akış yapısı olduğunu göstermiştir. Deney tekrarını önlemek için yüzey basınç ölçümleri kanadın sadece sol yarısında alınmıştır. Basınç ölçüm sonuçları denklem 2 kullanılarak boyutsuz basınç katsayısı C_p değerlerine dönüştürülmüş ve basınç dağılımı olarak bu C_p değerleri ($-C_p$ olarak) kullanılmıştır. Ölçümler kesitte bulunan 12 delikten 500Hz örnekleme hızıyla 10 saniye süresince yapılmıştır. Alınan basınç verilerinin ortalaması ve RMS değerleri hesaplanarak akışın basınç yapısı incelenmiştir. Basınç ölçümü ve RMS sonuçlarının hesabı denklem 2 ve 3'e göre yapılmıştır.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2} = \frac{p - p_\infty}{p_{din}} \quad (2)$$

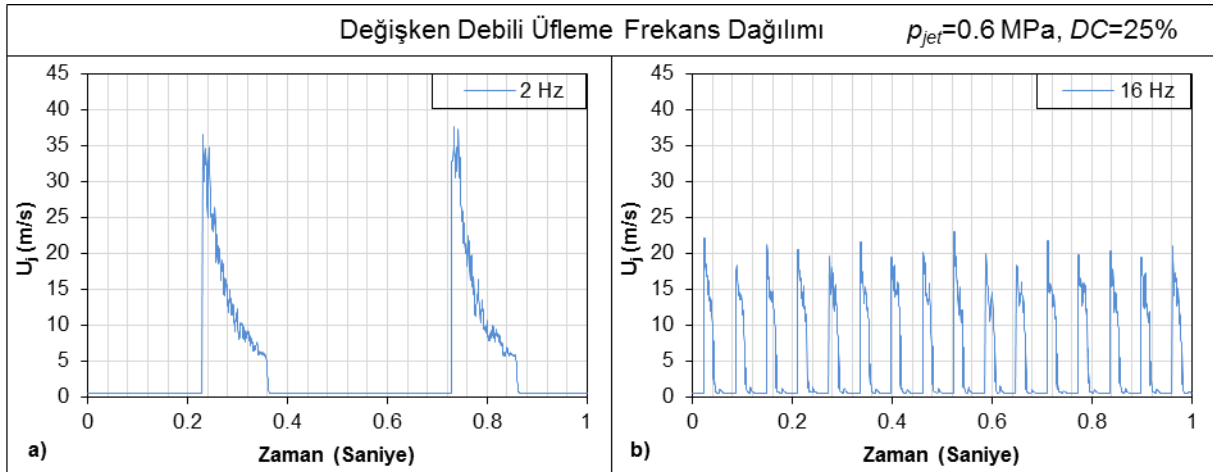
$$C_{p,RMS} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p})^2}{N}}}{p_{din}} \quad (3)$$

Yukarıdaki formüllerde N toplam veri sayısını, p basınç değerini, \bar{p} ölçülen basınç değerlerinin aritmetik ortalamasını, p_∞ test bölgesinde akışın statik basıncını ve p_{din} de test bölgesindeki akışın dinamik basınç değerini göstermektedir.

UYGULAMALAR

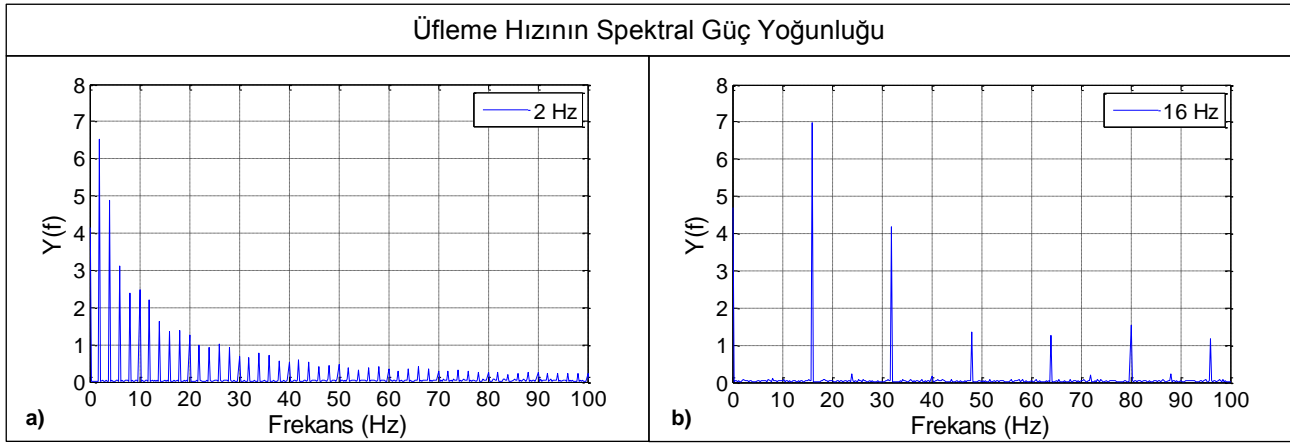
Zamana Bağlı Hava Üfleme Kontrol Düzeneği

Şekil 2'de hücum kenarına paralel olarak hizalanmış üfleme deliklerinden 2 Hz ve 16 Hz frekanslarında ve %25 görev döngüsünde gerçekleştirilen zamana bağlı üfleme hız profilleri gösterilmiştir. Reynolds sayısı 35000'de gerçekleştirilen rüzgar tüneli testleri için maksimum üfleme katsayısı tüm frekanslar için 0.01 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2: $x/C=0.44$ 'de bulunan üfleme deliğinden yapılan zamana bağlı üfleme hız profillerinin frekans dağılımı
a) 2 Hz, b) 16 Hz.

2 Hz, 8 Hz, 16 Hz ve 24 Hz zamana bağlı üfleme kontrol durumlarına karşılık gelen boyutsuz Strouhal sayıları sırasıyla 0.09, 0.34, 0.69 ve 1.03'tür. Uygulanan kontrolün frekans değerlerini doğrulamak için kızgın tel ile üfleme deliği ağzında veri toplanmış, zamana bağlı üfleme hız ölçümlerine spektral analiz uygulanarak sonuçlar frekans alanında ifade edilmiştir. Şekil 3'de 2 Hz ve 16 Hz tahrik frekansları için spektral analiz (Fast Fourier Transform) frekans sonuçları verilmiştir.



Şekil 3: $x/C=0.44$ 'de bulunan üfleme deliğinden yapılan zamana bağlı üflemlerin spektral güç yoğunluğu a) 2 Hz, b) 16 Hz.

Kanat Yüzeyi Basınç Ölçümleri:

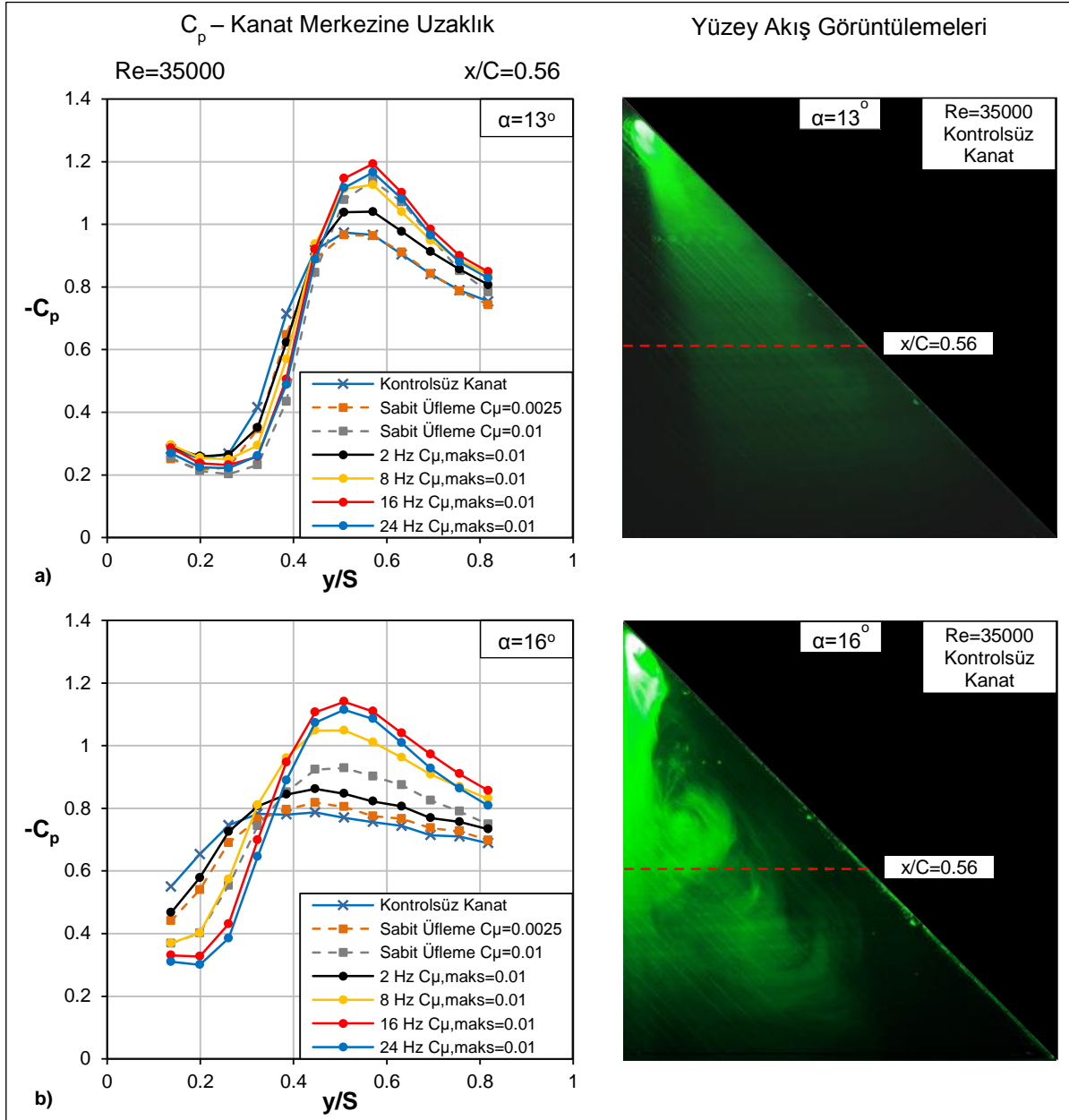
Hücum kenarından zamana bağlı üfleme tekniğinin düşük süpürme açılı delta kanat akışına etkisi yüzey basınç ölçümleri ile incelenmiştir. Ortalama basınç ve basınç çalkantı ölçümlerinin $x/C=0.56$ 'da yarım kanat açıklığındaki dağılımları çizdirilmiştir. Boyutsuz basınç katsayısı C_p dağılımı kanat üzerindeki girdaplı akış yapısının, dolayısıyla kanatın genel aerodinamik performansının anlaşılmasında önemli bir göstergedir. Boyutsuz basınç çalkantı değerleri ile gövde titreşimi için kritik olabilecek bölgelerin tespit edilebileceği düşünülmektedir.

Şekil 4, $Re=35000$ 'de ve $x/C=0.56$ de alınan ölçümleri $-C_p$ olarak göstermektedir. Şeklin üst tarafı (a) 13 derece hücum açısı, alt tarafı (b) ise 16 derece hücum açısı için kullanılmıştır. Şekilde 2 Hz, 8 Hz, 16 Hz ve 24 Hz tahrik frekanslarındaki üflemlerin etkileri, sabit üfleme ve kontrolsüz kanat durumları ile birlikte çizdirilmiştir. Şekilde aynı zamanda her iki hücum açısında kontrol uygulanmayan kanat akışları için yarı kanattaki yüzey akış görüntüleme sonuçları da gösterilmiştir.

13 derece hücum açısının sonuçlarına genel olarak bakıldığında, incelenen bütün durumlar girdaplı yapının ayakizlerine ait olabilecek bir dağılım göstermiştir. Yüzey akış görüntüleme görseli incelendiğinde kontrol uygulanmayan kanat için firar kenarına doğru genişlemekte olan girdaplı bir yapı görülmüştür. $-C_p$ değerinin en yüksek olduğu noktalar, incelenen kesit boyunca yüzeydeki emmenin en yüksek miktarda gerçekleştiği noktaları göstermektedir. Bu bölge aynı zamanda girdap merkezi ekseninin nereden geçtiği hakkında bilgi vermektedir. $-C_p$ değerlerinin en düşük olduğu noktalarda ise akışın kuvvetli bir şekilde yeniden yüzeye bağlandığı kabul edilebilir. 13 derece hücum açısı sonuçları incelendiğinde bütün tahrik frekansları $-C_p$ değerini emme bölgesinden hücum kenarına kadar kontrol uygulanmayan kanat değerlerine göre arttırmıştır. 2 Hz ve 8 Hz tahrik frekanslarındaki zamana bağlı üfleme durumları, kontrol uygulanmayan durumla karşılaştırıldığında giderek artan etkiler gösterip, en yüksek emme bölgesi $-C_p$ değerinde sırasıyla yaklaşık % 7 ve % 16 artış sağlamışlardır. Üfleme frekansının daha da artırılması daha yavaş artan etkiler göstermiştir. $-C_p$ dağılımlarına bakıldığında en iyi etki 16 Hz tahrik frekansında elde edilmiştir. 16 Hz ve 24 Hz frekansları için en yüksek $-C_p$ değerinde sırasıyla yaklaşık % 23 ve % 20 artış kaydedilmiştir. Sabit debide üfleme durumlarına bakıldığında üfleme katsayısı $C_{\mu}=0.0025$ 'e sahip durum için $-C_p$ dağılımında bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Üfleme katsayısı $C_{\mu}=0.01$ 'e arttırıldığında iyileşme açıkça gözlemlenmekte olup 8 Hz tahrik frekanslı zamana bağlı üfleme durumu ile oldukça benzerdir.

Şekil 4'ün alt sırasında yer alan 16 derece hücum açısının sonuçları incelendiğinde, kontrol uygulanmayan durum için kanat açıklığının büyük kısmında düze yakın bir basınç dağılımı göstermektedir. Bu tip düz basınç dağılımları girdaplı yapıların dağıldığı ve akış ayrılmasının yaşandığı perdövites öncesi durumun göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Yüzey akış görüntüleme sonucunda görülen üç boyutlu akış ayrılmaları da bu durumu destekler niteliktedir. Uygulanan en düşük tahrik frekansı olan 2 Hz'den başlamak üzere tüm tahrik frekansları $-C_p$

dağılımında iyileşme sağlamaktadır. Tahrik frekansı arttırıldıkça uygulamanın etkisi artmış $-C_p$ grafiğinde girdaplı yapının ayak izlerine ait olabilecek dağılım görülmüştür. $-C_p$ değerindeki en yüksek artış 16 Hz üfleme frekansı ile elde edilmiş ve boyutsuz kanat açıklığı $y/S=0.51$ 'de 1.14 olarak kaydedilmiştir. Sabit debili üfleminin etkisi gözlemlenebilmesine rağmen oldukça sınırlı kalmış, her iki üfleme katsayısı için de girdaplı yapıya geçiş sağlanamamıştır.



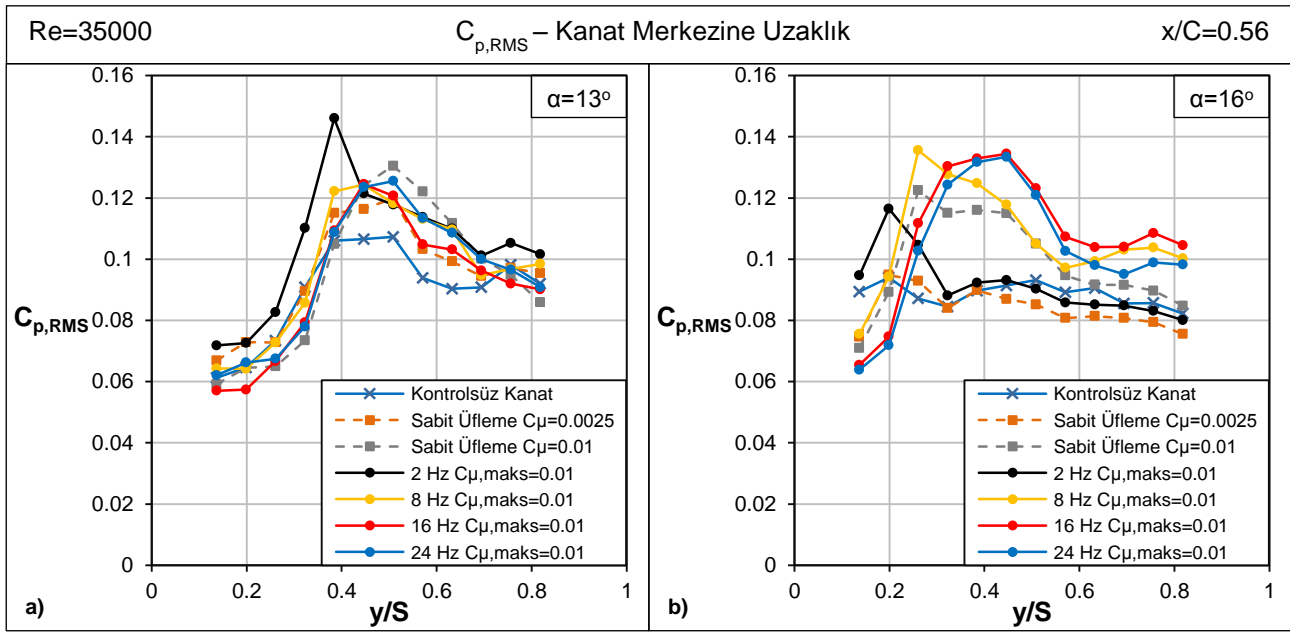
Şekil 4: $Re=35000$ 'de kontrolsüz kanat, zamana bağlı üfleme ve sabit debide üfleme durumlarında, $x/C = 0.56$ 'da kanat yüzeyi birimsiz basınç katsayısı dağılımı ve kontrol uygulanmayan durumlar için yüzey akış görüntülemeleri a) $\alpha=13^\circ$, b) $\alpha=16^\circ$.

Şekil 5'de basınç ölçümlerindeki çalkantı değerleri $C_{p,RMS}$, boyutsuz basınç dağılımları ile aynı yöntem kullanılarak çizdirilmiştir. Şeklin sol tarafı (a) 13 derece hücum açısı, sağ tarafı (b) ise 16 derece hücum açısı için kullanılmıştır.

13 derece hücum açısında $C_{p,RMS}$ değeri incelenen tüm durumlar için $y/S=0.14$ 'den $y/S=0.38$ - 0.50 'ye kadar artan bir eğilim göstermektedir. Bu bölgede en yüksek değerler 2 Hz kontrol durumu için kaydedilmiştir. Kanat hücum kenarına yaklaşıldıkça değerler tüm tahrik frekansları için dalgalı bir şekilde azalma göstermektedir.

16 derece hücum açısında kontrol yapılmayan durumda $C_{p,RMS}$ kanat açıklığı boyunca belirgin bir değişim göstermemiştir. Bu durum perdövites öncesi durumun tespit edilmesini desteklemektedir. Üfleme katsayısı $C_{\mu}=0.0025$ 'e sahip sabit üfleme durumu, kontrol uygulanmayan duruma göre önemli bir farklılık göstermemiştir. $C_{\mu}=0.01$ sabit üfleme durumunda ise $C_{p,RMS}$ yüksek değerlere sahip bir yayılım göstermiştir. 2 Hz tahrik frekanslı durum incelendiğinde, kanat veterine yakın bölgelerde $C_{p,RMS}$ değeri artış göstermiş fakat kanat açıklığının büyük bir kısmında $C_{p,RMS}$ değeri önemli bir değişiklik göstermemiştir. Daha yüksek tahrik frekansları 8 Hz, 16 Hz ve 24 Hz için $C_{p,RMS}$ değerlerinde $y/S=0.26-0.44$ aralığına kadar artış, sonrasında ise hücum kenarına doğru azalma eğilimi kaydedilmiştir.

$C_{p,RMS}$ grafikleri genel olarak incelendiğinde, $C_{p,RMS}$ değerlerini en yüksek olduğu noktaların, $-C_p$ grafiklerindeki yüksek eğimli bölgede, bir diğer deyişle yüzeye bağlanma ve girdap merkezi olarak tanımlanan bölgeler arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 5: $Re=35000$ 'de kontrolsüz kanat, zamana bağlı üfleme ve sabit debide üfleme durumlarında, $x/C = 0.56$ 'da kanat yüzeyi birimsiz basınç ortalama karekök değerleri dağılımı a) $\alpha=13^\circ$, b) $\alpha=16^\circ$.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında zamana bağlı üfleme gerçekleştirebilen aktif akış kontrol deney düzeneğinin kurulumu ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Basınç ölçüm verileriyle hazırlanan $-C_p$ grafiklerinde, çalışılan en düşük frekans olan 2 Hz'ten başlamak üzere kontrol uygulanmayan duruma göre $-C_p$ değerlerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. İncelenen frekans aralığında, frekans değerindeki artışlar $-C_p$ değerlerinde yükselmeye sebep olmuştur. Her iki hücum açısı için de zamana bağlı üfleme tekniği, sabit debide üfleme tekniğine göre akış yapısını geliştirmekte daha etkili olabilmektedir. Zamana bağlı üfleme, görev döngüsü sebebiyle akış ortamına daha az kütle ve dolayısıyla daha az enerji eklemektedir. Bu durum zamana bağlı üfleme tekniğini verimlilik bakımından ön plana çıkarmaktadır. Bu açıdan bakarak, zamana bağlı üfleme tekniğinin en etkin ve en verimli olabileceği frekans ve görev döngüsü daha geniş parametrik çalışmalarla ortaya konulabilir. Böylelikle orta ve düşük ok açılı delta kanat yapılarının operasyonel sınırlarının genişletilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Gad-El-Hak, M. ve Blackwelder, R.F., 1987 *Control of the discrete vortices from a delta wing*, AIAA J., Cilt 25-8, s. 1042–1049
- Gordnier, R.E. ve Visbal, M. R., 2005. *Compact Difference Scheme Applied to Simulation of Low-Sweep Delta Wing Flow*, AIAA Journal, Cilt 43-8, s. 1744–1752
- Gu, W., Robinson, O. ve Rockwell, D., 1994. *Control of vortices on a delta wing by leading-edge injection*, AIAA J., Cilt 32-10, s. 2134–2135
- Gursul, I., 2005. *Review of Unsteady Vortex Flows over Slender Delta Wings*, J. Aircr., Cilt 42-2, s. 299–319
- Gursul, I., Wang, Z. ve Vardaki, E., 2007. *Review of flow control mechanisms of leading-edge vortices*, Prog. Aerosp. Sci., Cilt 43-7,8, s. 246–270
- Guy, Y., Morrow, J., McLaughlin, T. ve Wygnanski, I., 1999. *Pressure measurements and flow field visualization on a delta wing with periodic blowing and suction*, AIAA Pap.
- Jin-Jun. W. ve Wang, Z., 2008. *Experimental Investigations on Leading-Edge Vortex Structures for Flow over Non-Slender Delta Wings*, Chinese Physics Letters, Cilt 25-7, s. 2250–2553
- Kölzsch, A. ve Breitsamter, C., 2014. *Vortex-Flow Manipulation on a Generic Delta-Wing Configuration*, J. Aircr., Cilt 51-5, s. 1380–1390
- Margalit, S., Greenblatt, D., Seifert, A. ve Wygnanski, I., 2005. *Delta Wing Stall and Roll Control Using Segmented Piezoelectric Fluidic Actuators*, J. Aircr., Cilt 42-3, s. 698–709
- Vardaki, E., Wang, Z. ve Gursul, I., 2008. *Flow Reattachment and Vortex Re-formation on Oscillating Low-Aspect-Ratio Wings*, AIAA Journal, Cilt 46-6, s. 1453–1462
- Werle, H., 1954. *Quelques résultats expérimentaux sur les ailes en flèches, aux faibles vitesses, obtenus en tunnel hydrodynamique*, Rech. Aeronautique, Cilt 41, s.23
- Williams, N. M. , Wang, Z. ve Gursul, I., 2008. *Active Flow Control on a Nonslender Delta Wing*, J. Aircr., Cilt 45- 6, s. 2100–2110
- Yavuz, M. M., Elkhoury, M. ve Rockwell, D., 2004 *Near-Surface Topology and Flow Structure on a Delta Wing*, AIAA Journal., Cilt 42-2, s. 332–340
- Zharfa, M., Ozturk, I. ve Yavuz, M. M., 2016 *Flow Structure on Nonslender Delta Wing: Reynolds Number Dependence and Flow Control*, AIAA Journal, Cilt 54-3, s.880–897