DÜŞÜK VE ORTA OK AÇILI DELTA KANATLAR ÜZERİNDEKİ AKIŞIN PASİF AKITMA YÖNTEMİ İLE KONTROLÜ

Burcu Ramazanlı¹ ve Kayacan Kestel ² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara Mehmet Metin Yavuz ³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, pasif akıtma metodunu kullanarak, düşük, 35 derece, ve orta, 45 derece, ok açılı delta kanatlar üzerindeki akış yapısını, üç boyutlu yüzey ayrımının ortadan kaldırılmasını amaçlayarak kontrol etmektir. Pasif akıtma; kanadın içindeki basit geçitler sayesinde iç basınç farkını kullanarak havanın basınç tarafından emme tarafına akışını sağlayan bir yöntemdir. Farklı akıtma konfigürasyonlu kanatlardaki akışı Referans kanatlar yüzeyindeki akış yapılarıyla kıyaslamak için, geniş bir hücum açısı aralığında $8 \le \alpha \le 23$ derece ve çeşitli Reynolds sayıları $10^4 < Re < 12.5 \times 10^4$ için deneyler yapılmıştır. Yakın yüzey hızı, girdap yapıları ve emme basınç katsayısı –*Cp* sonuçlarında görüldüğü üzere, pasif akıtma, kanat üzerindeki akış yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Referans kanatlar yüzeyinde yüksek hücum açılarında görülen büyük ölçekli, üç boyutlu yüzey ayrılmasının pasif akıtma yöntemiyle büyük ölçüde engellenebildiği görülmüştür. Ayrıca, Arka açının hücum açısından yüksek olduğu durumlarda, girdaplı yapının canlanmaya meyilli olabileceği gözlenmiştir.

Giriş

Son yıllarda, araştırmacılar, İnsansız Hava Araçları (İHA)ve Mikro Hava Araçlarında (MHA) yaygın kullanımları ile ortaya çıkan, düşük ve orta ok açılı delta kanatların karmaşık akış yapısının ardındaki fiziksel fenomeni anlamayı ve kontrol etmeyi amaçlamaktadırlar. Bu araçların uçuş performanslarını istikrarlı hale getirmek ve çalışma kabiliyetlerini geliştirmek için, düşük ve orta ok açılı delta kanatların üzerindeki akış yapılarını anlama ve kontrol etme konusunda ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bir delta kanadın çevresindeki akış, hücum kenarından ayrılan kesme tabakalarında ortaya çıkan, ters dönüşlü iki girdabın hakimiyeti altındadır. Girdaplar kanadın emme tarafının üzerinde oluşurlar ve akış yönündeki eksenel hız, girdap eksenindeki düşük basınçlara bağlı olarak serbest akış hızından dört ila beş kat daha fazla olabilir. Düşük basınca bağlı olarak, ok açısı arttıkça girdap sayesinde kaldırma kuvveti artar. Fakat bu kuvvet düşük ve orta açılı delta kanatlar için toplam kaldırmanın görece daha küçük bir kısmıdır. Literatürde yüksek ok açılı kanatlara yönelik bir çok çalışma mevcut olmasına karşın [Gursul, 2003], düşük ok açılı kanatlar için yapılan çalışmalar son yıllarda epey rağbet görmektedir [Gursul, Gordnier ve Visbal, 2005].

Farklı uçuş koşulları nedeniyle, girdaplar dengesiz hale gelir ve bazı istenmeyen oluşumlar görülebilir. Artan hücum açısı, girdap kırılması, makaslama tabakası dengesizlikleri, girdap

¹ Araştırma görevlisi, Makine Müh. Böl, E-posta : karburcu@metu.edu.tr

² Araştırma görevlisi, Makine Müh. Böl, E-posta : kayacan@metu.edu.tr

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

dolaşımı ve sarmal modda istikrarsızlık gibi birçok istenmeyen akış yapısını ortaya çıkarabilir. Özellikle yeterince yüksek hücum açılarında ortaya çıkan ve perdövites başlangıcının bir göstergesi olarak kabul edilen üç boyutlu yüzey ayrılması, girdap yapısını bozduğu için kaldırma kuvvetinin düşmesine sebep olabilmektedir [Yavuz ve Rockwell, 2006]. Bu istikrarsızlıklardan kaynaklanacak olumsuzlukları engellemek adına, kanadın üzerindeki akış yapısı aktif ve pasif yöntemlerle kontrol edilmelidir. Bu kontrol yöntemleri, ayrılmayı ve girdap kırılmasını geciktirmeyi, üç boyutlu yüzey ayrımını önlemeyi ve yüzeyde girdap yapısını yeniden canlandırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçlara ulaşmak için, aktif kontrol yöntemleri, enerji girdilerinden yararlanarak akış ortamı için sabit veya istikrarsız uyarılar oluşturur. Öte yandan, pasif kontrollerde pasif kontrol yöntemleri geometri ve malzeme modifikasyonları kullandığı için herhangi bir enerji girişi gerekmemektedir. Ok açısına bağlı olarak kontrol edilmek istenen akışın yapısı değiştiği için, kanat türlerine göre uygulanan teknikler de değişmektedir. Örneğin, yüksek ok açılı kanatlardaki en büyük problem girdap kırılması olduğundan ötürü, kontrol teknikleri çoğunlukla kırılmayı ertelemeye yönelik yöntemlerinden oluşur. Düşük ok açılı kanatlardaysa genel olarak amaç üç boyutlu yüzey ayrılmasıdır ve çalışmalar problemi ortadan kaldırmaya odaklanmıştır. Bu amaçlarla geliştirilen yöntemler arasında en belirginleri kenar değişiklikleri [Celik ve Yavuz, 2016], geometri değişiklikleri [Verhaagen, 2012] ve üfleme tekniği ile kontrol [Cetin, Celik ve Yavuz 2018; Zharfa, Ozturk ve Yavuz, 2016] olarak sayılabilir. Bu çalışmada ise "akıtma" olarak adlandırılan pasif bir kontrol yöntemi uygulanmaktadır. Akıtma yöntemi, kanadın üst ve alt yüzeyi arasında oluşan basınç farkından faydalanarak uygulanan basit bir yöntemdir. Bu teknik kanadın içindeki basit geçitler sayesinde, iç basınç farkını kullanarak havanın basınç tarafından emme tarafına akışını sağlayarak akışa müdahale eder.

Literatürde akıtma prensibini kullanan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, iki boyutlu VR-7 kanat profilinin akıtma ile kontrolü yapılmış ve akıtmanın aerodinamik kuvvetler üzerinde olumlu etkileri olduğu ifade edilmiştir [Kearney ve Glezer, 2012]. Bu önemli bulgu, literatürde delta kanatlar üzerinde pasif akıtma metodunu ilk kez uygulayan yeni bir çalışmayla da desteklenmektedir [Celik, Cetin ve Yavuz, 2017]. Bahsedilen çalışmada, 45 derece ok açılı kanatlarda Arka (B), Kenar (E) ve Arka-Kenar (BE) geometrilerinde üç farklı akıtma deliği, Referans kanat baz alınarak incelenmiştir. Yüzey basınç ölçümü, dumanla akış görüntüleme ve parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) sonuçlarına göre, üç boyutlu yüzey ayrımının gerçekleştiği $\alpha = 16$ derece hücum açısında, Arka (B) açılı akıtma konfigürasyonlu kanatta girdap yapısının geri kazanıldığına dair bulgular rapor edilmiştir. Bu sebepten ötürü, genel olarak akıtma konfigürasyonlarının etkisi ve özellikle Arka (B) açılı konfigürasyonunun etkisi geniş operasyon aralıklarında incelenmeye ihtiyacı vardır.

Bu kapsamda bu çalışmada 35 derece ok açılı kanadın Arka (B), Kenar (E) ve Arka-Kenar (BE) açılı akıtma geometrilerinde performansı ve 45 derece ok açılı kanadın farklı Arka (B) açılı konfigürasyonlarında performansı geniş hücum açısı ve Reynolds sayısı aralıklarında incelenmiştir.

YÖNTEM

Deneyler, yüzey basınç ölçümleri, dumanla akış görüntüleme ve parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) kullanılarak düşük hızlı bir rüzgar tünelinde gerçekleştirilmiştir. Rüzgar tüneli Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında yer almaktadır ve test bölgesinin boyutları 750 mm x 510 mm x 2000 mm olup kaydedilen en yüksek çalkantı yoğunluk değeri %1'in altındadır. Kullanılan delta kanatlar, hızlı prototipleme tekniğiyle üretilmiş olup, 45 derece ok açılı, Λ, kanatların kalınlığı 8 mm, veter açıklığı 135 mm ve kanat açıklığı 270 mm iken, 35 derece ok açılı, Λ, kanatlar 8 mm kalınlığa, 105 mm veter açıklığına ve 300 mm kanat açıklığına sahiptir. Tüm akıtma konfigürasyonlarını gösteren kanat çizimleri Şekil-1 de verilmiştir.





Referans kanatlar hariç tüm kanatlar için basınç yüzeyi Şekil 1'in üst sol resimde gösterilmiştir. Basınç yüzeyinde deliklerin yeri ve boyutları tüm kanatlar için aynıdır. Deliklerinin kanat basınç yüzeyindeki konumları ile ilgili ölçüler sembolik olarak tabloda gösterilmiş olup, I = 21 mm, d = 3.5 mm, t = 4 mm ve r = 1.5 mm dir. Şeklin sağ üst köşesinde görülen ilk tabloda 35 derece ok açılı kanat çalışması için Arka (B), Kenar (E) ve Arka-Kenar (BE) konfigürasyonlarının geometrilerini belirleyen açılar verilmiştir. Kenar açısı " Φ " sembolü ile gösterilirken, Arka açısı " θ " sembolü ile gösterilmektedir ve her konfigürasyon için kullanılan Kenar ve Arka açı kombinasyonları da bahsi geçen tabloda belirtilmektedir. Akıtma deliklerinde hava, belirtilen akıtma açısı doğrultusunda basınç yüzeyinden emme yüzeyine iletilmektedir ve bu çalışmada kullanılan üç farklı akıtma açısı konfigürasyonu olan Arka (B), Kenar (E) ve Arka-Kenar (BE) açılı akıtma geometrileri de şeklin sol tarafında mevcuttur. Bunun yanı sıra, 45 derece ok acılı kanatta Arka acının etkisini incelemek icin yürütülen çalışmada kullanılan üç farklı kanadın emme yüzeyleri de numaralandırılmış ve şeklin sağ kısmında ayrı ayrı gösterilmiştir. Arka açısı tüm kanatlarda farklı olduğu için, akıtma deliklerinin emme yüzeyindeki lokasyonları da birbirinden farklıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, 45 derece ok açılı kanatların kullanıldığı önceki calışmada, Arka açı (θ) konfigürasyonlu akıtma kanadında girdap yapısının canlanmaya meyilli olduğu gözlemlenmistir [Celik, 2017]. Bu sebepten ötürü, öncelikle θ = 13.18 and 23 derece Arka açılı üç kanat üzerinde, Arka açı konfigürasyonlu pasif akıtmanın akış yapısı üzerindeki etkisini Referans kanat yüzeyindeki akış yapısıyla kıyaslamak için, $13 \le \alpha \le 23$ derece hücum açısı aralığında ve 3.5×10^4 < Re < 12.5×10^4 Reynolds sayıları için deneyler yapılmıştır. Daha sonra, akıtma metodunun daha düşük ok açılı kanatlardaki etkisini gözlemlemek adına, 35 derece ok açılı Arka (B), Kenar (E) ve Arka-Kenar (BE) akıtma konfigürasyonlu delta kanatlar kullanılarak $10^4 < \text{Re} < 10^5$ Reynolds sayılarında ve $3 \le \alpha \le 12$ hücum açıları aralığında denevsel calısma vürütülmüstür. Tüm kanat tiplerinde pasif akıtmalı kanatların vanı sıra. sonuçların kıyaslanması amacıyla deliklerin olmadığı referans kanat profilleri de üretilmiştir. Kanatlar üzerindeki ölçüm düzlemleri Şekil 2'de paylaşılmıştır.



Yakın Yüzey PIV

Basınç Ölçümü

Şekil 2: Ölçüm düzlemlerinin gösterimi

UYGULAMALAR

Şekil 3'te Re = 10×10^4 'de ve x/C=0.44 düzleminde, yarı kanat için α = 9 ve α = 11 derece hücum açılarında, 35 derece ok açılı kanatlarda elde edilen boyutsuz basınç katsayıları gösterilmektedir. Sonuçlara göre, Kenar (E) kanadın referans kanada ve diğer kanatlara göre girdap yapısını bozduğu, öte yandan α = 9 derece hücum açısında, Arka (B) kanadın üzerindeki girdap yapısının Referans kanada göre geliştiği gözlemlenmiştir. Hücum açısı α = 11 derecede ise, Referans kanat üzerindeki –*Cp* dağılımı girdap yapısının kaybolduğunu gösteren düz bir yapıdayken, Arka (B) üzerindeki –*Cp* dağılımı ise girdap yapısının canlandığının göstergesi olan kambur şeklindedir. 35 derece ok açılı delta kanatlarda, 45 derecelerde olduğu gibi [Celik, Cetin ve Yavuz, 2017], pasif akıtma metodunun Arka (B) kanadında etkili olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3: Re=10 x 10⁴ 'de referans,arka, kenar ve arka-kenar pasif akıtma kontrollü kanatların atak açıları α =9 ve 11 derecelerde –Cp karşılaştırması

Şekil 4'te Re = 35000'de ve x/C=0.5'de dört farklı hücum açısı α = 13, 16, 17 ve 18 derece olacak şekilde, 45 derece ok açılı kanatlarda gerçekleştirilen basınç ölçümlerinden elde edilen boyutsuz basınç katsayıları gösterilmektedir. Dört farklı hücum açısının sonuçları sol üst köşeden sağ alt köşeye kadar artan bir sıralamayla yerleştirilmiştir ve her figür tüm konfigürasyonların sonuçlarını içermektedir. Şekillerdeki en yüksek –*Cp* değerleri ile emmenin en fazla olduğu girdap merkezi lokasyonlarında karşılaşılırken, en düşük –*Cp* değerleri ise girdabın yüzeye yeniden bağlandığı yerlerde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4: Re=35000'de referans kanat ve pasif akıtma kontrollü kanatların atak açıları α =13, 16, 17 ve 18 derecelerde –Cp karşılaştırması

5 Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

Aynı şeklin sol üst köşesinde $\alpha = 13$ derece için çizilen -Cp grafiğinden görüldüğü gibi, akıtma metodu düşük hücum açıları için akış yapısını bozmaktadır. Fakat, üç boyutlu yüzey ayrılmasının gerçekleştiği görece yüksek hücum açılarında durum farklıdır. $\alpha = 16$ derece hücum açısında Referans kanat, üç boyutlu ayrılmanın en önemli göstergesi olan düz yapılı -Cp yapısına sahip olmaya başlamıştır. Halbuki, akıtma deliğine sahip olan kanatlarda durum farklıdır. Bilhassa Arka açısı $\theta = 18$ ve 23 dereceli kanatlarda girdaplı yapının göstergesi olan kamburlu -Cp eğrisi gözlemlenmektedir. Daha yüksek atak açılarında ise bu gözlemler doğrulanmaktadır. Örneğin $\alpha = 17$ derece hücum açısında Referans kanat üç boyutlu yüzey ayrımını deneyimlerken, Arka açısı $\theta = 18$ ve 23 dereceli kanatlarda akış, girdaplı yapıyı canlandırmaya meyillidir. $\alpha = 18$ derece hücum açısında ise bilhassa $\theta = 23$ derece Arka açılı kanat girdabı canlandırma noktasında büyük ilerleme kaydetmiştir. Burdan yola çıkarak, Arka açının hücum açısından büyük olduğu durumlarda, pasif akıtmalı kanat üzerinde girdaplı yapının canlanmaya daha meyilli olduğu sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 5: Re=35000'de referans kanat ve pasif akıtma kontrollü kanatların hücum açısı α =17 derecede yüzey akım iplikçikleri < ψ > karşılaştırması

Tüm bu bulgular yakın yüzey PIV deneyleri ile desteklenmiştir. Şekil 5'te Re = 35000'de ve α = 17 derece hücum açısında yakın yüzey PIV sonuçları gösterilmektedir. Sol üst köşedeki figürde Referans kanadın yüzey akım iplikçikleri < ψ > gözlemlenirken, sol alt köşede θ = 13 derece, sağ üst köşede θ = 18 derece ve sağ alt köşede θ = 23 derece Arka açılı kanatların yüzey akım iplikçiği yapıları < ψ > gösterilmektedir. Referans kanat üzerindeki akış yapısında büyük ölçekli bir odak gözlemlenmektedir. Kararlı bir odakta ortaya çıkan büyük ölçekli bir odak gözlemlenmektedir. Kararlı bir odakta ortaya çıkan büyük ölçekli, içe dönük yüzey akım iplikçiği alanı < ψ >, üç boyutlu yüzey ayrılmasının bir göstergesidir [Yavuz ve Rockwell, 2006]. Akıtma konfigürasyonlu kanatlarda ise, akıtma deliklerinden ötürü kanatlara karmaşık bir akış yapısı hakimdir. Bunun yanı sıra, tüm akıtma konfigürasyonlarında büyük ölçekli odağın küçüldüğü, odak noktasının da kanadın uç noktasına doğru yaklaştığı gözlemlenmektedir. Ek olarak, Referans kanatta büyük ölçekli odak yapısı dolayısıyla ortaya çıkan ters akış, tüm akıtma konfigürasyonlarında belirgin bir şekilde azalmıştır. Tüm bu bulgular, üç boyutlu yüzey ayrılmasının pasif akıtma ile bertaraf edilebileceğinin göstergesidir.

Şekil 6'da en yüksek Arka açı olan θ = 23 dereceli kanat ve Referans kanadın Re=35000 ve α =18 derece hücum açısında yüzey akım iplikçikleri $\langle \psi \rangle$, çevrinti değerleri $\langle \omega_z C/U \rangle$ ve –Cp sonuçları karşılaştırılmaktadır. Yüzey akım iplikçiklerinden görülebileceği gibi, Referans kanatta üç boyutlu ayrılmanın göstergesi olan büyük ölçekli bir odak gözlemlenirken, θ = 23 dereceli kanatta bu yapı küçülmüş ve odak kanadın ucuna doğru ilerlemiştir. Yüzey çevrinti değerlerine baktığımızda, Referans kanatta çevrinti yoğunluğu neredeyse gözlenmiyorken, Arka açılı kanatta yoğun ve uzamış bir yüzey çevrinti yapısı mevcuttur. –Cp sonuçlarına bakıldığında ise, tüm bu bulguları destekler nitelikte bir eğri mevcuttur. Referans kanatta neredeyse düzleşmiş olan –Cp eğrisi, Arka açılı kanatta kamburlu yapıya dönüşmüştür. Tüm bu sonuçlar bize Arka açılı akıtma konfigürasyonunun üç boyutlu yüzey ayrılmasını erteleme konusunda etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: Re=35000'de referans kanat ve 23 derece Arka açılı pasif akıtma kontrollü kanatların hücum açısı α =18 derecede yüzey akım iplikçikleri < ψ >, çevrinti değerleri < $\omega_z C/U$ > ve –Cp karşılaştırması

SONUÇ

8 Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

Bu çalışmada 45 ve 35 derece ok açılarına sahip delta kanatlar üzerindeki akış yapılarının pasif akıtma tekniği ile kontrolü hedeflenmiştir. Pasif akıtma için kanat üzerinde hücum kenarına paralel delikler delinmiştir. Ok açısı 35 derece olan kanatlarda ise incelenen boyutsuz basınç katsayısı ölçümlerine göre, Arka (B) kanadın, daha önce uygulanan pasif akıtma yönteminde olduğu gibi en etkili konfigürasyon olduğu saptanmıştır. Ok açısı 45 derece olan kanatlar üzerinde önceki çalışmalarda zaten Arka açının etkili olduğu gözlemlendiği icin, bu calısmada Arka acının etkisini gözlemlemek adına θ = 13, 18 ve 23 derece Arka açılarda, Re=35000'de ve nispeten düşük atak açılarında (bu deneyler için α = 13 derece) yapılan deneylerde, tüm Arka açılı akıtma konfigürasyonlarında basınç katsayısında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu, düşük atak açıları için, pasif akıtmanın kanadın emme kabiliyetinde kayba yol açtığını göstermektedir. Fakat yeterince yüksek bir atak acısında (yani, $\alpha = 16,17$ ve 18 derece), Arka acılı kanatların emme basınc katsayısında gözlemlenen belirgin artış, girdap yapısının geri kazanımına bir işarettir. Yüzey akım iplikçiği yapılarından da görüldüğü üzere, üç boyutlu ayrılmanın bir işareti olan büyük ölçekli odak noktasının, tüm Arka açı konfigürasyonlarında küçüldüğü ve kanadın uç noktasına doğru ilerlediği, ters akısın ise azaldığı gözlemlenmiştir. Referans kanatta yoğunluğu cok düsük olmasına rağmen Arka açılı kanatlarda yoğunlaşan ve uzayan yüzey çevrinti yapısı da bu bulguları destekler niteliktedir. Arka açının hücum açısından büyük olduğu durumlarda girdaplı yapının canlanmaya daha meyilli olduğu gözlemlendiğinden ötürü, ileriki çalışmalarda bu konunun daha detaylı çalışılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Celik, A., Cetin, C., and Yavuz, M. M., 2017 *Effect of Passive Bleeding on Flow Structure over a Nonslender Delta Wing*, s. 1–11

Celik, A., Yavuz, M. M., 2016 *Effect of Edge Modifications on Flow Structure of Low Swept Delta Wing*, AIAA J., Cilt. 54, no 5, s. 1789-1797

Cetin, C., Celik, A., Yavuz, M. M., 2018 Control of Flow Structure over a Nonslender Delta Wing Using Periodic Blowing, AIAA J., Cilt. 56, no. 1, s. 90-99

Gursul, I., 2003. *Review of unsteady vortex flows over slender delta wings*, Journal of Aircraft, Cilt.42-2, s.299–319

Gursul, I., Gordnier, R. ve Visbal, M., 2005. *Unsteady aerodynamics of nonslender delta wings*, Progress in Aerospace Sciences, Cilt.41-7, s.515–557

Kearney, J. M., and Glezer, A., 2012 *Aerodynamic Control using Distributed Bleed*, in 6th AIAA Flow Control Conference, no. Haziran, s. 1–17

Verhaagen, N. G., 2012 Leading-Edge Radius Effects on Aerodynamic Characteristics of 50-Degree Delta Wings, J. Aircr., Cilt. 49, no. 2, s. 521–531

Yavuz, M. M., and Rockwell, D., 2006 *Identification and Control of Three-Dimensional* Separation on Low Swept Delta Wing, AIAA J., Cilt. 44, no. 11, s. 2805–2811

Zharfa, M., Ozturk, I., and Yavuz, M. M., 2016 Flow Structure on Nonslender Delta Wing: Reynolds Number Dependence and Flow Control, AIAA J., Cilt. 54, no. 3, s. 880-897