

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**AKIŞKANLAR MEKANİĞİ TEMEL PARAMETRELERİNİN RÜZGAR
TÜNELİNDE İNCELENMESİ**

Proje No: FBT-07-03

NORMAL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU
Mühendislik Fakültesi

Araştırmacıların Adı Soyadı
Yrd.Doç.Dr. M.Serdar GENÇ
Arş.Gör. Gülşah ÖZİŞİK
Ziya Doğan
Mühendislik Fakültesi

KASIM 2010

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma imkanını sağlayan Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine desteğinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Ayrıca, projede yardımlarından dolayı Prof. Dr. Hüseyin YAPICI'ya, Prof. Dr. Beřir ŐAHİN'e, Prof. Dr. Ünver KAYNAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Rüzgar tünelinin tasarımı ve üretimi aşamasında yardımlarından dolayı Nięde Üniversitesi'nden Yrd. Doç. Dr. Y. Erkan AKANSU ve Mehmet ÖZMERT 'e teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

TESEKKÜR	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
SEKİLLER LİSTESİ	x
1.BÖLÜM	
GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Amaç ve Kapsam	2
2.BÖLÜM	
LİTERATÜRARAŞTIRMASI	6
2.1. Giriş	6
2.2. Akış Kontrolü	6
3.BÖLÜM	
SAYISAL AKIŞ KONTROL BENZEŞİM İ	10
3.1. Giriş	10
3.2. Simetrik NACA0012 Kanat Profili	10
3.3. Kamburluklu Kanat Profili	13
4.BÖLÜM	
SONUÇLAR	15
KAYNAKLAR	17

ÖZET

İnsansız hava araçları ve rüzgar türbinlerindeki gelişmeler neticesinde son yıllardaki aerodinamik araştırmalar, düşük Re sayılı akımların kontrolü ve yüksek taşıma elde edilmesi gibi konular üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu projede, bu güncel konularda sayısal incelemeler yapılmıştır. Simetrik NACA0012 kanat profili için flapsız olarak $Re=3 \times 10^6$ iken sayısal benzeşim yapılmış ve literatürdeki deneysel verilere yakın aerodinamik katsayılar elde edilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar NACA2415 profili ile kıyaslanmış ve kamburluklu profilin aerodinamik katsayılarının simetrik profilden yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akış kontrolü, aerodinamik, rüzgar tüneli.

ABSTRACT

As a result of development on micro air vehicles and wind turbines, aerodynamics research in the last decades has been increasingly concentrated on low Re number flow control and high lift production. In this project, numerical investigations related with these subjects are presented. A symmetrical NACA0012 airfoil at $Re=3 \times 10^6$ is simulated and aerodynamic coefficients are obtained that are similar to the experimental results in the literature.

Keywords: Flow control, aerodynamics, wind tunnel.

SEMBOLLER LİSTESİ

c	: Viter uzunluğu (m)
c_s	: Slat veter uzunluğu (m)
α	: Hücüm açısı
α_s	: Kanat profili tutunma kaybı açısı
δ	: Slat açısı
β	: Flap açısı
δ_f	: Flap uzunluğu (%c)
f_{lap0}	: Flap kanadın firar kenarında
f_{lap-5}	: Flap firar kenarından %5c kadar önde
f_{lap+5}	: Flap firar kenarından %5c kadar arkada
C_f	: Yüzey sürtünme katsayısı
C_p	: Basınç katsayısı
C_L	: Taşıma katsayısı
L/D	: Taşıma/sürüklenme oranı
C_{Lmax}	: Azami taşıma katsayısı
C_μ	: Momentum katsayısı
ε	: Türbülanslı bozunma hızı
w	: Spesifik türbülanslı bozunma hızı
k_T	: Türbülanslı kinetik enerji
k_L	: Laminer kinetik enerji
μ	: Moleküler viskozite
μ_T	: Girdapçık viskozitesi
NACA	: National Advisory Committee for Aeronautics
AIAA	: American Institute of Aeronautics and Astronautics
Re	: Reynolds sayısı
θ	: Momentum kalınlığı
Re_θ	: Türbülansa geçiş momentum kalınlığı Re sayısı
γ	: Kesiklilik
V_∞	: Serbest akım hızı (m/s)
Tu	: Türbülans şiddeti (%)
y^+	: Duvar koordinatında dik mesafe

V_{jet}	: Jet hızı
R_{jet}	: Jet hızının serbest akım hızına oranı
L_{jet}	: Jet yeri (%c)
θ_{jet}	: Jet üfleme açısı

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. SST $k\omega$ türbülansa geçiş modeli sabitleri

14

SEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Rüzgar tüneli parçaları	4
Şekil 1.2. Rüzgar tüneli montaj sonrası halinin temsili görüntüsü	5
Şekil 3.1. NACA0012 kanat profili ağ yapısı [1]	11
Şekil 3.2. NACA0012 kanat profili taşıma katsayısının hücum açısı ile değişim grafiği, Ma=0.125, Re=3x10 ⁶ [1]	12
Şekil 3.3. Simetrik NACA0012 ve kamburluklu NACA2415 kanat profillerinin taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimlerinin karşılaştırılması, Ma=0.125, Re=3x10 ⁶ [1]	13

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Konu

Havadan ağır bir cisim olan uçağın uçabilmesi için taşıma kuvvetine ihtiyaç vardır. Bu taşıma kuvvetinin esas kaynağı uçağın yüzeyleri üzerindeki hava akımıdır. Uçak hava içerisinde hareket ederken, uçağın şekli sebebiyle üzerinde oluşacak basınç dağılımı uçağın havada tutunabilmesini sağlar. Bu basınç dağılımı ve kayma gerilmeleri ile cisim üzerinde aerodinamik kuvvetler meydana gelir. Genellikle, sayısal akış hesaplamaları FLUENT ve benzeri paket programlar yardımıyla yapılmaktadır. Deneysel inceleme ise uçak kanadı ve etrafındaki akım simüle edilerek rüzgar tünellerinde yapılmaktadır. Aerodinamik kuvvetleri hesaplamak için kanat profillerinin modellenmesi yapılarak dizayn için testler yapılır. Rüzgar tünellerinde akım ve kanat profilleri simüle edilerek yapılan bu testler ve analizler gerçek uçak ve kanat profili üzerine yapılan testlere göre oldukça düşük maliyete sahiptirler. Rüzgar tüneli çok fazla testlerin yapılmasına imkan vererek doğru çözüme gidilmesini sağlamaktadır. Ayrıca rüzgar tüneline uygun şekilde yerleştirilen kanat profilleri etrafındaki akış incelenerek hesaplanan aerodinamik kuvvet analizleri neticesinde uçuş verimini artırmak üzere optimum kanat profilleri tespit edilir. Rüzgar tünelleri, kanat profillerinin doğru bir şekilde tespit edilmesiyle aerodinamik kuvvetlerin hesaplanmasında ve bu kuvvetlerin optimizasyonu ile uçuş verimini artırmakta kullanılmaktadır. Bir uçağın basınç farklılıklarından dolayı oluşan titreşimlere maruz kaldığındaki akış karakteristikleri ve modelin bağlantı elemanlarındaki gerilmeler ve yorulmalar rüzgar tünellerinde incelenebilmektedir. Bu sayede uçak dizaynında malzeme seçimi yapılırken rüzgar tünellerinde yapılan testler büyük önem kazanır. Ayrıca kanat profili etrafında akış ayrılmasının gerçekleşmesi ile oluşacak türbülans ve vorteksin gözlemlenmesi ve buna bağlı olarak vorteksin kontrolü konusunda rüzgar tüneli testleri kullanılabilir.

Askeri malzemeler, silah sistemleri ve uçaklarda kullanılan sistemlerin karmaşık ve kabiliyetli olması gerektiğinden gittikçe önemli dönemlere girilmektedir. Bu sistemler satın alma yolu ile temin edildiğinde bile karmaşıklık seviyesi nedeni ile kullanım zorluğu ve şüpheleri barındırmaktadır. Bu nedenle kendi sistemlerimizin en azından bir kısmını üretmemizin kesinlikle gerekli olduğu açıktır. Örneğin; bir hava platformunun, silah sistem prototiplerinin veya hava platformu üzerine entegre edilecek harici yüklerin aerodinamik özellikleri öncelikle rüzgar tüneline denemelidir. Rüzgar tüneli testleri yapılan tasarımların uygunluğunu görebilmek ve tasarımı daha da geliştirmek için vazgeçilmez bir unsurdur.

Rüzgar tünelleri; a)Gerçek uçuşun kontrollü bir ortam içerisinde (benzetişim yoluyla) yaratabilmesi, b)Uçuş öncesi tasarımın doğrulanması, c)Uçuş dinamiği denklemlerindeki kararlılık türevlerinin doğru olarak bulunabilmesi, d)Tasarlanan cismin uçuş sırasında maruz kalacağı kuvvet ve momentlerin tam ve e)Akışın cisim üzerindeki davranışını tam ve doğru olarak gözlenebilmesi için gereklidir.

Rüzgar tünelinin işletimi çok önemlidir. Bu rüzgar tünelinin çok özel bir yapısı ve model üretim altyapısı olması kesinlikle gereklidir. Bunun sürekli olarak kullanılabilmesi için üniversite etkinliği şarttır. Böyle bir tesisin canlılığını sürdürebilmesi ve hayati yeteneği sağlayabilmesi için sürekli olarak üniversitelerin yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin çalışmalarıyla beslenmesi gerekir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu projenin amacı; Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu'na 50x50 cm test odasına sahip açık emmeli tip rüzgar tüneli kurmaktır. Rüzgar tüneli kurularak çeşitli kanat profilleri modellenip deney odasında testlere tabii tutulacaktır. Aerodinamik kuvvetler ve bu kuvvetlerin katsayıları hesaplanacaktır. Kanat profiline hücum açıları verilerek oluşacak türbülans ve girdapların oluşumu kademe kademe incelenecektir. Kanat profilinin ön ve arka kuyruk kısmına ilave edilen flaplar ve bu flapların değişik şekillerde yerleştirilmeleri ile kaldırma kuvveti artırılmaya çalışılacaktır ve akış kontrolü sağlanmaya çalışılacaktır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin bir paket programı olan FLUENT programlarında simüle edilen flaplı ve flapsız kanat profillerinin sonuçları deneyden alınan sonuçlarla

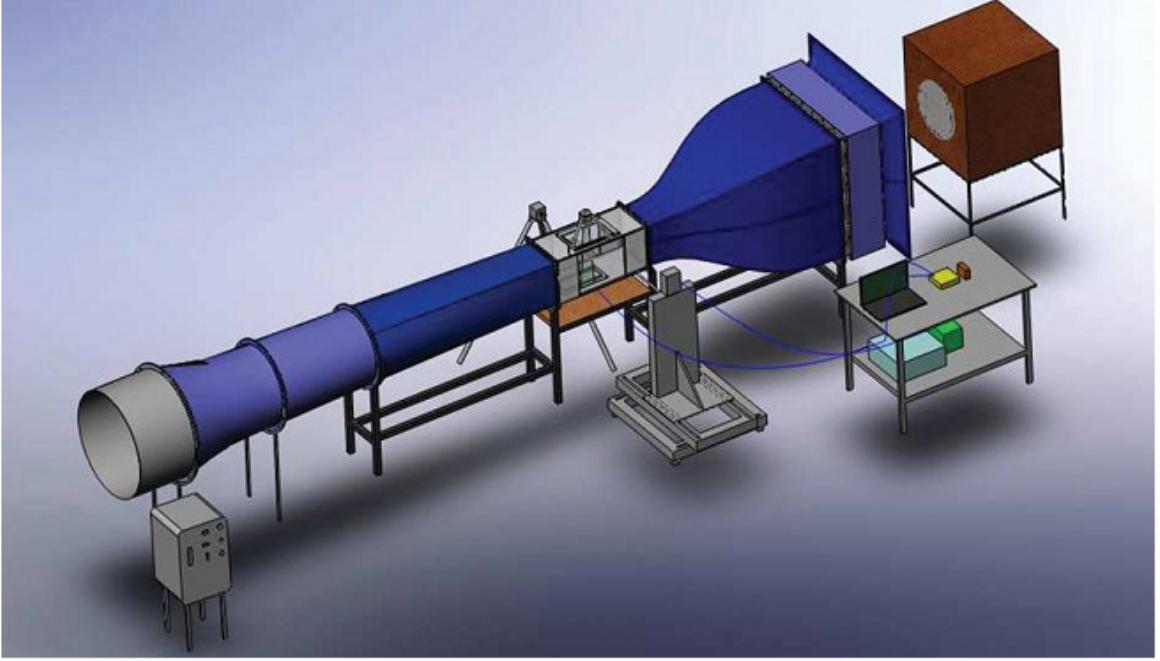
karşılaştırılacaktır.

Bütün bu çalışmalar için yukarıda da bahsedilen rüzgar tüneli gerekmektedir ve bu tüneli kurmak için Doç.Dr. Nafiz KAHRAMAN yönetimindeki FBT0712 nolu "RÜZGAR TÜNELİNDE UÇAK KANATLARI ETRAFINDAKİ AKIŞIN KONTROLÜ VE İYİLEŞTİRİLMESİ" isimli bu proje ile Doç.Dr. S. Orhan AKANSU yönetimindeki FBT0703 nolu "AKIŞKANLAR MEKANİĞİ TEMEL PARAMETRELERİNİN RÜZGAR TÜNELİNDE İNCELENMESİ" isimli proje ortak çalışma olduğu için birleştirilmiştir ve birlikte 1 adet rüzgar tüneli yaptırılmıştır. Bu rüzgar tünelinin kolektör, test odası, difüzör kısmı tasarımı ve imalatı ile deney için kanat profili FBT0703 nolu proje bütçesinden; fan kısmı ve hız kontrol ünitesi ile bütün tünelin taşıma aksamaları ve boyanması FBT0712 nolu proje bütçesinden karşılanarak yaptırılmıştır. Projeler önerilirken Sivil Havacılık Yüksekokulu'na kurulması düşünülen 50x50 cm² lik test odasına sahip rüzgar tüneli (Türkiye'de bu ölçüde birkaç tane rüzgar tüneli mevcuttur) için mevcut laboratuvarın kullanılması düşünülmüş ve laboratuvarın yetmemesi durumunda bahçeye prefabrik bina yapılması için yüksekokul yönetiminden söz alınmıştır. Fakat tünel üretildikten sonra 2008 yılı Haziran ayında Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda hali hazırda bulunan laboratuara tünel sığmamış ve yerleştirilememiştir. Küçük olan laboratuvar kapısının kırılıp yerleştirdikten sonra tekrar yaptırılması düşünülmüş fakat kolonlar buna engel olmuştur. Dolayısı ile tünel kısmı sanayide üretildiği yerde, İstanbul'dan gelen fan kısmı Sivil Havacılık Yüksekokulu bahçesinde 6 ay beklemek zorunda kalmıştır. 2008 yılı EkimKasım aylarında Mühendislik Fakültesi ile görüşülmüş ve rüzgar tünelinin Mühendislik Fakültesi'ne kurulmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda tünel Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Akışkanlar Mekaniği laboratuvarına taşınmıştır (Şekil 1.1). Burada bulunan su tünelinin yanına kurulması düşünülmüş fakat İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün ileriye dönük olarak bu laboratuvarı kullanacak olması ve su tünelinin yanında yoğunlaşma çok olduğundan cihazların zarar görmemesi düşünüldüğü için tünel montajı yapılamamıştır ve hala bu laboratuarda beklemektedir. Şu an Mühendislik Fakültesi ek binasının bitmesi ve bu binada bir laboratuara tünelin montajını yapılması için beklenmektedir (Şekil 1.2). Bu projeler kapsamında kurulacak rüzgar tüneline araştırma yapılması planlanmakta Yukarıda bahsedilen nedenlerle rüzgar tüneli kurulamayınca ancak sayısal incelemeler yapılabilmektedir. Şu an Mühendislik

Fakültesinde kurulma çalışması son aşamasına gelmiştir.



Şekil 1.1. Rüzgar tüneli parçaları



Şekil 1.2. Rüzgar tüneli montaj sonrası halinin temsili görüntüsü

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Aerodinamikteki gelişmeler, bir yandan yüksek hızlı akımlar, diğer yandan düşük Re sayılı akımlar, aktif kontrol kavramı, laminer akış kontrolü ve daha yüksek taşıma kuvveti/sürüklenme oranı gibi konularda yoğunlaşmaktadır [1]. Bu konularda aerodinamik deney olanaklarının kısıtlı ve çok pahalı olmasından dolayı uçak etrafındaki akışın hesaplamalı aerodinamik çerçevesinde sayısal olarak incelenmesi son yıllarda güçlü bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin çok hızlı gelişmesiyle birlikte sanayinin hemen hemen tüm kesimleri için akış problemlerinin incelenmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği çok yaygın hale gelmiştir.

2.2. Akış Kontrolü

Mikro ve insansız hava araçları için yüksek hücum açılarında kritik hava hızlarında kanat profili üzerinde laminer ayrılma kabarcığı oluşturan türbülansa geçiş akışları mevcuttur. Bu ayrılma kabarcıklarını geciktirme, yok etme veya kontrol etme hava aracı tasarımının önemli bir konusu olup ölçme, benzeşim yapma ve ön tahminde bulunma zor bir araştırma konusudur. Akış kontrolünün amacı bir akış durumunda küçük enerji girişi ile taşımayı arttırmak, sürüklemeyi azaltmak, akım gürültülerini azaltmak, türbülansa geçişi geciktirmek, ayrılmayı önlemek ve türbülansı kontrol altına almaktır.

Laminer ayrılma kabarcığının deneysel ölçüm, tanımlama ve gösterim tekniklerindeki modern gelişmelerin paralelinde kanatlar üzerindeki türbülansa geçiş mekanizmasının belirlenmesi

için tahmin metotları gelişmiştir. Türbülansa geçiş ve türbülanslı akışların benzeşimi için RANS tabanlı HAD metotlarının daha aktif kullanımı yüksek performanslı hesaplama ile mümkün hale gelmiştir. Günümüzde, RANS çözücüleri pratik olarak 1 veya 2 denklemlilik kapalı türbülans modelleri içerir [2]. Büyük hücum açısında bir kanat profilinin emme yüzeyinde gerçekleşen laminer ayrılma kabarcıklarının dinamiği ve kontrolü Diwan ve Ramesh [3] tarafından deneysel olarak araştırılmıştır. Kabarcığın en/boy oranı üzerine etkisini belirlemek için akımın referans hızını azaltarak yapılan parametrik çalışmada Re sayısının azalmasıyla kabarcığın yüksekliğinin uzunluğundan daha büyük oranda arttığı görülmüştür. Bu özellik düşük Re sayılı kanat profili dizaynı açısından ayrılma kabarcıklarının tanımlanmasında faydalıdır. Ayrılmanın kontrolü için üç genel strateji Viswanath [4] tarafından gözden geçirilmiştir. Ele alınan stratejiler ayrılmanın üst kısmındaki sınır tabakaya enerji verilmesini, ölü hava bölgesinin veya kabarcıklı akışın değiştirilmesini içerir ve çalışma sonucunda bunların yeniden yapışmada kayma tabakasını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Hücum kenarı yakınında tek bir emme deliği olan bir NACA631012 kanat profilinde akım ayrılmasının gecikmesiyle azami taşıma katsayısının yükselip yükselmeyeceği McCullough ve Gault [5] tarafından araştırılmıştır. Emme deliğinin yerinin ve genişliğinin önemli olduğu bulunmuştur ve ayrıca emme deliğinin hücum kenarı tutunma kaybından hemen önce esas kanat profilinin hücum kenarından akım ayrılmasının olduğu noktadan aşağı yönde olması gerektiği vurgulanmıştır.

Hücum kenarı araçları [6], üfleme ve emme gibi farklı mekanizmalarla akım ayrılması ve türbülansa geçiş noktasının kontrolü yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Wu ve arkadaşları [7] 2 boyutlu RANS yaklaşımı ile 18° den 35° hücum açısına kadar hücum kenarından %5'de yerleştirilmiş %2.5 veter boyu kadar genişlikte zamanla tahrik edilen emmeli ve üflemeli sistemle NACA 0012 kanat profili üzerinde kontrolün etkisini çalıştılar. Nae [8] 13° hücum açısına sahip NACA0012 kanat profili üzerinde hücum kenarından %10'da yerleştirilmiş %10 genişliğe sahip sentetik jet ile akış kontrolünü araştırdı. Hassan ve arkadaşları [9] hücum kenarından %13 veter boyu kadar uzaklıkta yerleştirilen sentetik jeti 0° ve 5° hücum açısında incelediler. Bütün bu çalışmalar gösterdi ki; kanat profili üzerindeki sentetik jet ve emme/üfleme sistemleri taşımayı arttırmış ve sürüklemeyi azaltmıştır.

Günümüzde aerodinamik performansı arttırmak için flap ve slatların kullanımının yanında

yeni teknikler de geliştirilmektedir. Özellikle bu denemeler HAD yardımıyla yapılan eniyileştirme çalışmalarıdır [10–16]. Shan ve arkadaşları [10] 6. hücum açısında NACA0012 kanat profili üzerindeki sesaltı akım ayrılmasını ve girdap üretici kullanarak bu ayrılmanın kontrolünü araştırdılar. Onlar kontrolsüz tek kanadı, pasif girdap üreticili akış kontrolü ve aktif girdap üreticili akış kontrolü olmak üzere üç çalışmayı incelediler ve ortalama ayrılma bölgesinin büyüklüğünün % 80'den daha fazla azaldığını gördüler. Ayrıca aktif girdap üretici ile akış kontrolünün daha efektif olduğu ve ayrılma bölgesini yaklaşık olarak yok ettiği sonucuna vardılar. Huang ve arkadaşları [11, 12] 5×10^5 Re sayısında 18. hücum açısında NACA0012 kanat profili üzerindeki akışın emme ve üfleme sistemi ile kontrolünü çalıştılar ve taşımının arttığı ve sürüklemenin azaldığını gösterdiler.

Akçayöz ve arkadaşları [15, 16] çalışmalarında %12.5 kalınlığa sahip bir eliptik profil ve NACA0015 kanat profili üzerine yerleştirilen sentetik jetlerin akış üzerindeki etkileri sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda en iyi akış kontrolünü elde edebilmek için jetin hızı, yeri, açısı ve frekansının eniyileştirilmesi yoluna gidilmiştir ve zamana bağlı, viskoz ve türbülanslı akış 2 boyutlu NavierStokes çözücüsü ve SpalartAllmaras türbülans modeli kullanılarak paralel olarak çözülmüştür. Eniyileştirme yöntemi olarak da Yanıt Yüzeyi Yöntemi (*Response Surface Methodology, RSM*) kullanılmıştır. Eniyileştirme çalışmaları sonucunda, eliptik profil için sürüklenme kuvvetinin azaldığı, NACA0015 kanat profili için ise kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri oranının arttığı görülmüştür.

Seifert ve arkadaşları [17] sıkıştırılabilirlik etkisini görebilmek için düşük ve yüksek Re sayısında (3×10^4 - 4×10^7) periyodik olarak üfleme ile akış kontrolünü deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma periyodik üfleme ile etkili bir şekilde akış ayrılmasının geciktirildiğini göstermiştir. Ayrıca şok dalgası olmadığı zaman sıkıştırılabilirlik etkisi zayıftır ve akış rahatlıkla kontrol edilebilmekte ve ayrılma yok edilmekte iken şok dalgası olduğunda akış ayrılması sadece iyileştirilebilmektedir.

Kim ve Kim [18] sayısal olarak NACA23012 kanat profili aetrafındaki akışı sentetik jet ile kontrol etmek için tek kanat profili, düz flaplı kanat profili, hem düz flaplı hemde hücum kenarı slatlı ve ayrıca iki sentejik jetli tek kanat profilini çalıştılar ve bu çalışma sonucunda sentetik jet ile akış kontrolünün sağlandığını ve en iyi sonucu iki sentejik jetli tek kanat profilininin verdiğini gördüler.

Munday ve arkadaşları [19] kavisli salınım yapan kanadın ayrılmasının aktif kontrolü isimli çalışmalarında NACA4415 profilini 2.5×10^4 ve 5×10^5 Re sayılarında 9. yukarı ve 9. aşağı salınım hareketi verdirilerek ayrılmanın oluşumunu incelemişlerdir. İnceleme sonucunda ayrılma bölgesinde küçülme ve taşıma/sürüklenme (L/D) oranında artış elde etmişlerdir. Ayrıca Englar yaptığı çalışmada [20] üfleli aerodinamik araçlar tasarlayarak bu araçları rüzgar tüneline test etmiş ve bu testlerin sonuçlarını HAD ile karşılaştırmıştır. Alınan sonuçlara göre üfleli aerodinamik yapılar büyük ve ağır araçlara uygulandığında sürüklemeyi %24 arasında azalttığı gözlenmiştir. Aracın gücüne, lastik direncine ve birçok bileşene etkisi olan bu yapıların büyük ve ağır araçlarda uygulanması tavsiye edilmiştir. Bununla birlikte, Liu ve arkadaşları [21–23], sayısal olarak üfleme sistemi ile kanat profillerinin akış kontrolü konusunu çalışmışlardır. Süperkritik bir kanat profiline 30'lik flap eklenip bu kısımdan sürekli ve aralıklı olarak üfleme yapılmıştır. Sonuçta, aralıklı üfleminin sürekli üfleme göre taşıma üretmede daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır.

3. BÖLÜM

SAYISAL AKIŞ KONTROL BENZEŞİMİ

3.1. Giriş

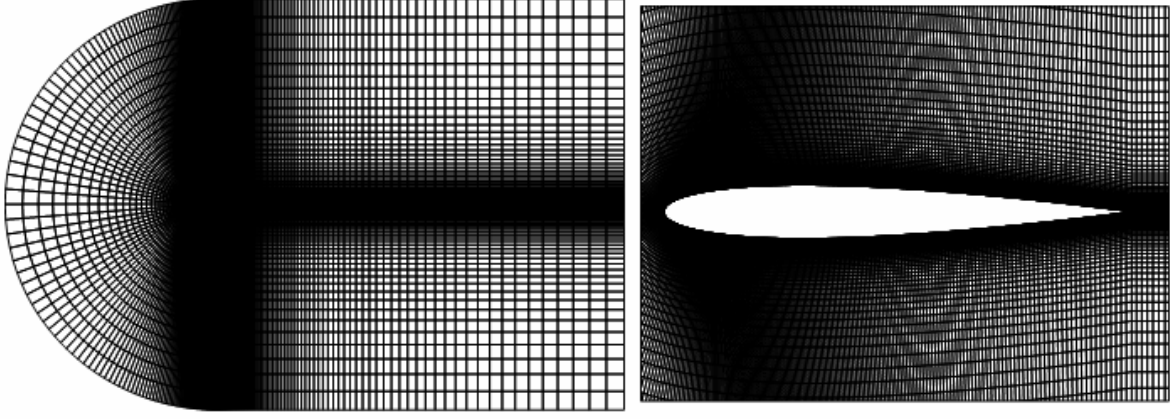
NACA0012 simetrik tek kanat profili etrafındaki akış SpalartAllmaras türbülans modeli yardımıyla benzeşim yapılmıştır. Daha sonra simetrik kanat profili kamburluklu NACA2415 kanat profili ile kıyaslanmıştır.

3.2. Simetrik NACA0012 Kanat Profili

Bu doktora tezi çalışmasında ilk olarak 3×10^6 Re sayısında simetrik bir NACA0012 kanat profili etrafındaki akış SpalartAllmaras türbülans modeli yardımıyla benzeşim yapılmıştır. Bu modelin seçilmesinin sebebi Re sayısının yüksek olması ve yüksek Re sayılarında *FLUENT*TM yazılımında bu modelin tavsiye edilmesidir. Benzeşimlerde kullanılmak üzere *FLUENT*TM'in ağ yapısı için yardımcı programı *GAMBIT*TM yazılımı yardımıyla Şekil 3.1'de görülen Ctipi ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu ağ yapısı, akışın viskoz etkilerden etkilenmemesi için yeteri büyüklükte bir akış ortamı olarak hazırlanmıştır ve kanat profilinin önünde ve altüst bölgelerinde veter boyunun 10 katı kadar, kanat profilinin iz bölgesinde 20 katı kadarlık serbest akım bölgesi ele alınmıştır. Ctipi ağ yapısının kullanılmasının sebebi kanat profili etrafında sınır tabakanın doğru modellenebilmesi için kanat yüzeylerine dik ağ çizgileri oluşturulabilmesidir. Kanat profili duvarına en yakın ağ çizgisinin uzaklığı 10^{-5} yani $y^+ 1$ 'den küçük olacak şekilde ağ oluşturulmuştur.

Üretilen hesaplama ağının benzeşimin sayısal çözüm kararlılığı ve doğruluğu üzerinde büyük bir etkisi vardır. Ağ yapısı oluşturulurken en önemli konulardan birisi de sayısal benzeşim

sonuçlarının ağ elemanlarının sayısından bağımsız olmasına dikkat etmektir.

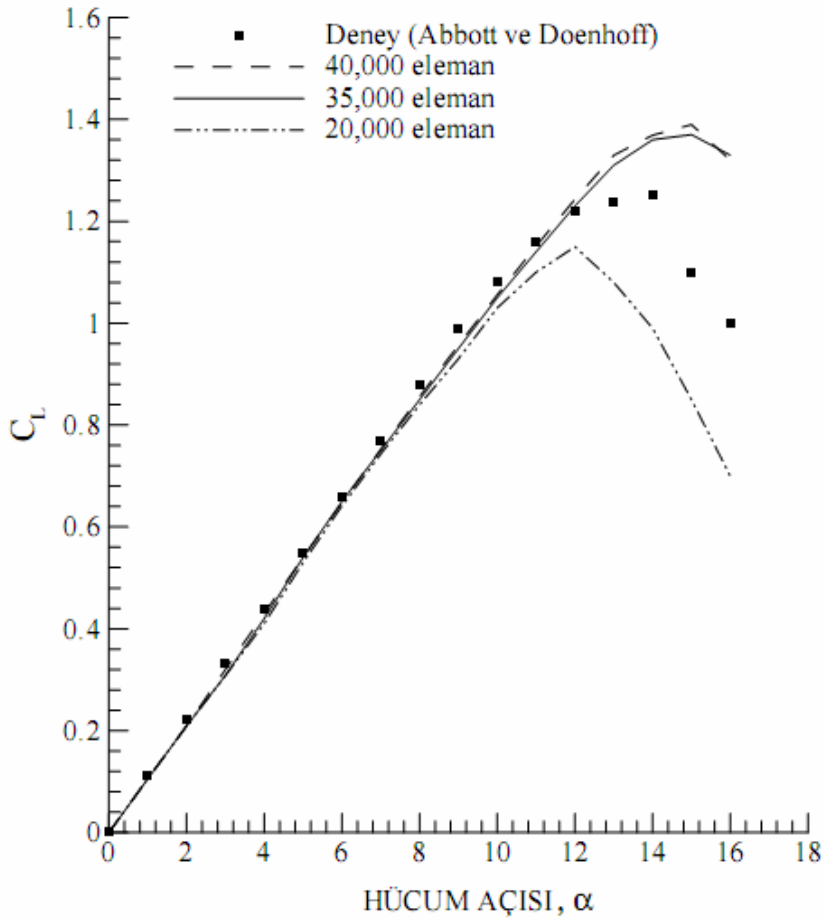


Şekil 3.1. NACA0012 kanat profili ağ yapısı [1]

Ağ yapısı belirli eleman sayısından sonra sayısal sonuçlarda çok fazla değişiklik göstermez ve fazla ağ yapısı hesaplama zamanını uzatır. Bu nedenle, belirli bir ağ sayısından sonra sonuç fazla değişmediği için hesaplama zamanını uzatmaya gerek yoktur. Bu ağ yapısı sayısını elde edene kadar toplam ağ elemanı sayısı artırılır ve her bir sonuç karşılaştırılır. Bu çalışmada toplam ağ elemanı sayısından bağımsızlık çalışması için Şekil 3.2’de görülen 3×10^6 Re sayısında NACA0012 kanat profili taşıma katsayısının hücum açısı ile değişim grafiği verilmiştir. Bu şekilde görülen deney sonuçları Abbott ve Doenhoff’dan [24] referans alınmıştır. Akım şartları $Ma=0.125$, $Re=3 \times 10^6$ olarak ele alınmıştır. SpalartAllmaras türbülans modelinde serbest akım için türbülanslı viskozite oranı 1 olarak alınmıştır. Kanat profili alt ve üst yüzeyleri duvar olarak, ağ yapısının dış çeperleri de serbest basınç alanı olarak ele alınmıştır. Akışkan olarak hava seçilmiştir ve ideal gaz olarak ele alınmıştır. Serbest ortamda ikincimertebe geriyefarklar (*second order upwind*) ayırıştırması seçilmiş ve denklemler *SIMPLE* çözüm algoritması ile çözdürülmüştür. Yakınsama için her parametredeki kalanların 1×10^{-6} olması durumuna kadar çözüme devam edilmiştir.

Şekil 3.2’e baktığımızda öncelikle 20,000 elemana sahip ağ yapısının 12° hücum açısında tutunma kaybına uğradığı ve genel itibari ile deney sonuçlarından daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat 35,000 ve 40,000 ağ yapısına sahip sayısal benzeşimlerde ise en azından tutunma kaybı olana kadar deneysel sonuçlara yakın benzeşimler elde edilmiştir. Deneylerde 14° hücum açısında tutunma kaybı olurken 35,000 ve 40,000 ağ yapısına sahip sayısal

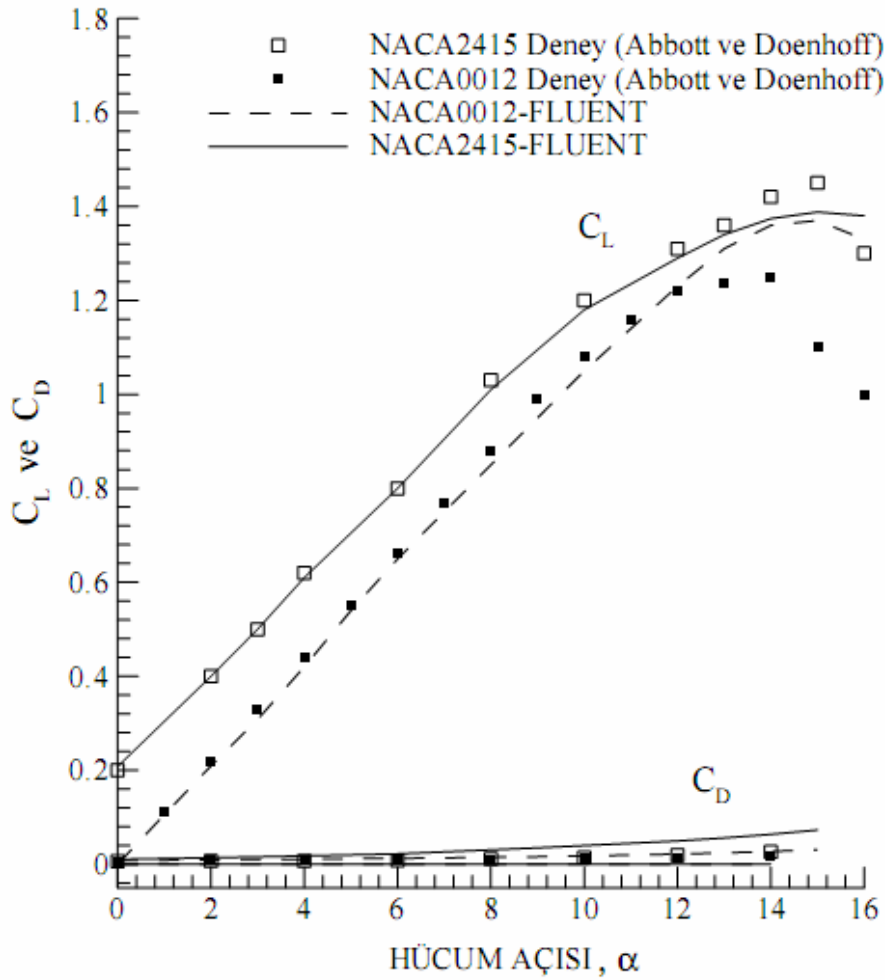
benzeşimlerde 15° 'de tutunma kaybı görülmektedir. Ayrıca NACA0012 kanat profilinde azami taşıma katsayısı Abbott ve Doenhoff'un deneyinde 14° hücum açısında 1.25, sayısal benzeşimde 15° hücum açısında 1.39'dur. Bu grafikten elde ettiğimiz sonuca göre toplam 35,000 elemana sahip ağ yapısının sayısal benzeşimler için yeterli olduğudur ve bu tez çalışması için FLUENTTM'de SpalartAlmaras türbülans modeli ile yapılan sayısal benzeşimlerin en azından tutunma kaybı olana kadar doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 3.2. NACA0012 kanat profili taşıma katsayısının hücum açısı ile değişim grafiği, $Ma=0.125$, $Re=3 \times 10^6$ [1]

3.3. Kamburluklu Kanat Profili

Kanat profiline kamburluk verilerek üst yüzeydeki alan arttırılmakta ve bu alanın arttırılması ile profil üzerinden geçen havanın hızının arttırılması sağlanmaktadır. Hava hızının arttırılması ile basınç daha fazla düşmektedir. Böylece alt yüzey ile üst yüzey arasında oluşan basınç farkı artmakta ve sonuç olarak taşıma kuvveti arttırılmaktadır. Bu durumu görebilmek için Şekil 3.3'deki $Ma=0.125$ ve $Re=3 \times 10^6$ akım şartlarındaki NACA0012 ve NACA2415 kanat profillerine ait taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi grafiğine bakabiliriz.



Şekil 3.3. Simetrik NACA0012 ve kamburluklu NACA2415 kanat profillerinin taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimlerinin karşılaştırılması, $Ma=0.125$, $Re=3 \times 10^6$ [1]

NACA0012 simetrik kanat profilinde azami kalınlık veter boyunun %12'si kadar iken

NACA2415 kanat profilinde veter boyunun %15'si kadardır. Ayrıca NACA2415 kanat profilinde %2 veter boyu kadar kamburluk hücum kenarının %40'lık mesafesindedir. Şekil 3.3'de grafikte görülen deneysel sonuçlar Abbott ve Doenhoff'un kitabından referans alınmıştır [24]. *FLUENTTM*'deki sayısal benzeşimler SpalartAlmaras türbülans modeli ile 35,000 elemanlı ağ yapısı ile yapılmıştır. Bir önceki NACA0012 kanat profili taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi gibi serbest ortamda ikincimertebe geriyefarklar ayırıklaştırması seçilmiş ve denklemler *SIMPLE* çözüm algoritması ile çözdürülmüştür. Yakınsama kriteri olarak 1×10^{-6} kabul edilmiştir.

Grafikte görüldüğü üzere aynı Re sayısında kamburluklu NACA2415 simetrik NACA0012 kanat profilinden daha fazla taşıma kuvvetine sahiptir. NACA0012 simetrik kanat profilinde 0° hücum açısında taşıma kuvveti elde edilemezken NACA2415 kanat profilinde 0° hücum açısında dahi taşıma kuvveti mevcuttur. Ayrıca NACA0012 kanat profilinde azami taşıma katsayısı Abbott ve Doenhoff'un deneyinde 14° hücum açısında 1.25, sayısal benzeşimde 15° 'de 1.39'dur. NACA0012 sayısal benzeşiminde tutunma kaybı 15° hücum açısında görülmüş ve taşıma katsayısı eğrisinin doğrusal bölgede elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile örtüşmüştür. NACA2415 kanat profilinde azami taşıma katsayısı Abbott ve Doenhoff'un deneyinde 15° hücum açısında 1.45, sayısal benzeşimde 15° hücum açısında 1.39'dur. NACA2415 kanat profili hem deneyde hem de sayısal benzeşimde simetrik NACA0012 kanat profilinden daha fazla taşıma kuvveti meydana getirmiştir.

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi her iki kanat profilinin sürüklenme katsayısı hücum açısının artışı ile artmaktadır ve NACA2415 kanat profilinin sürüklenme katsayısı NACA0012 kanat profilinin sürüklenme katsayısından daha fazladır. NACA2415 kanat profilinin kalınlığı NACA0012 simetrik kanat profilinden fazla olduğu için ve ayrıca kamburluk olması sürüklenme katsayısı NACA2415'de daha fazla olacaktır.

Tablo 3.1. SST $k\omega$ türbülansa geçiş modeli sabitleri

Sabit	c_{e1}	c_{a1}	c_a	c_{e2}	c_{a2}	σ_γ	$C_{\theta t}$	$\sigma_{\gamma t}$
Değer	1.0	2.0	0.5	50	0.06	1.0	0.03	2.0

4. BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu projenin amacı; 50x50 cm test odasına sahip açık emmeli tip rüzgar tüneli kurmaktır. Rüzgar tüneli kurularak çeşitli kanat profilleri modellenip deney odasında testlere tabii tutulacaktır. Aerodinamik kuvvetler ve bu kuvvetlerin katsayıları hesaplanacaktır. Kanat profiline hücum açıları verilerek oluşacak türbülans ve girdapların oluşumu kademe kademe incelenecektir. Kanat profilinin ön ve arka kuyruk kısmına ilave edilen flaplar ve bu flapların değişik şekillerde yerleştirilmeleri ile kaldırma kuvveti artırılmaya çalışılacaktır ve akış kontrolü sağlanmaya çalışılacaktır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin bir paket programı olan FLUENT programlarında simüle edilen flaplı ve flapsız kanat profillerinin sonuçları deneyden alınan sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Bütün bu çalışmalar için yukarıda da bahsedilen rüzgar tüneli gerekmektedir ve bu tüneli kurmak için Doç.Dr. Nafiz KAHRAMAN yönetimindeki FBT0712 nolu "RÜZGAR TÜNELİNDE UÇAK KANATLARI ETRAFINDAKİ AKIŞIN KONTROLÜ VE İYİLEŞTİRİLMESİ" isimli bu proje ile Doç.Dr. S. Orhan AKANSU yönetimindeki FBT0703 nolu "AKIŞKANLAR MEKANİĞİ TEMEL PARAMETRELERİNİN RÜZGAR TÜNELİNDE İNCELENMESİ" isimli proje ortak çalışma olduğu için birleştirilmiştir ve birlikte 1 adet rüzgar tüneli yaptırılmıştır. Bu rüzgar tünelinin kolektör, test odası, difüzör kısmı tasarımı ve imalatı ile deney için kanat profili FBT0703 nolu proje bütçesinden; fan kısmı ve hız kontrol ünitesi ile bütün tünelin taşıma aksamaları ve boyanması FBT0712 nolu proje bütçesinden karşılanarak yaptırılmıştır. Projeler önerilirken Sivil Havacılık Yüksekokulu'na kurulması düşünülen 50x50 cm² lik test odasına sahip rüzgar tüneli (Türkiye'de bu ölçüde birkaç tane rüzgar tüneli mevcuttur) için mevcut laboratuvarın kullanılması düşünülmüş ve laboratuvarın yetmemesi durumunda bahçeye prefabrik bina yapılması için yüksekokul yönetiminden söz alınmıştır. Fakat tünel üretildikten sonra 2008

yılı Haziran ayında Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda hali hazırda bulunan laboratuara tünel sığmamış ve yerleştirilememiştir. Küçük olan laboratuvar kapısının kırılıp yerleştirdikten sonra tekrar yaptırılması düşünülmüş fakat kolonlar buna engel olmuştur. 2008 yılı Ekim Kasım aylarında Mühendislik Fakültesi ile görüşülmüş ve rüzgar tünelinin Mühendislik Fakültesi'ne kurulmasına karar verilmiştir. Şu an Mühendislik Fakültesinde laboratuvar imkanı sağlanmış olup kuruluş çalışmaları son hızla devam etmektedir. Bu projeler kapsamında kurulacak rüzgar tüneline Araştırmacı M. Serdar GENÇ 'in doktora çalışmalarının yapılması planlanmakta idi. Yukarıda bahsedilen nedenlerle rüzgar tüneli kurulamayınca ancak sunulmuş olan sayısal incelemeler yapılabilmıştır. Bu çalışmalar sonucunda; simetrik NACA0012 kanat profili 3×10^6 re sayısında sayısal olarak doğrulama amaçlı benzeşim yapılmış ve literatürdeki deneysel verilere yakın hücum açısına göre taşıma ve sürüklenme katsayılarının değişimi elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar kamburluklu NACA2415 kanat profili ile kıyaslanmıştır ve kamburluklu NACA2415 kanat profilinin taşıma katsayısının simetrik NACA0012 kanat profilinden yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, her iki kanat profilinin sürüklenme katsayısının hücum açısının artışı ile artmakta olduğu ve NACA2415 kanat profilinin sürüklenme katsayısının NACA0012 kanat profilinin sürüklenme katsayısından daha fazla olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

1. Genç, M.S., "Kanat Profilleri Etrafındaki Düşük Re Sayılı Akışın Kontrolü ve Aerodinamik Performansın İncelenmesi", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.
2. Wilcox, D.C., Turbulence modeling for CFD, DCW Industries, Inc., La Canada, California, 1998.
3. Diwan, S.S., Ramesh, O.N., Laminar separation bubbles: Dynamics and control, *Sadhana*, 32(12), 103109, 2007.
4. Viswanath, P.R., Some thoughts on separation control strategies, *Sadhana*, 32(12), 8392, 2007.
5. McCullough, G.B., Gault, D.E., An experimental investigation of an NACA631012 airfoil section with leadingedge suction slots, NACA, Technical Note:1683, Ames Aeronautical Laboratory, Washington, August 1948.
6. McCormick, B.W., Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics, Second Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 1995.
7. Wu J.Z., Lu X.Y., Denny A.G., Fan M., Wu J.M., Poststall flow control on an airfoil by local unsteady forcing, *Journal of Fluid Mechanics*, 371, 2158, 1998.
8. Nae C., Synthetic jets influence on NACA0012 airfoil at high angles of attack, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, Boston, Massachusetts, August 1012, 1998.
9. Hassan A., Janakiram R.D., Effects of zeromass synthetic jets on the aerodynamics of the NACA0012 airfoil, *Journal of the American Helicopter Society*, 43(4), 303311, 1998.
10. Shan, H., Jiang, L., Liu, C., Love, M., Maines, B., Numerical study of passive and active

flow separation control over a NACA0012 airfoil, *Computers and Fluids*, 37, 975992, 2008.

11. Huang, L., Optimization of blowing and suction control on NACA0012 airfoil using genetic algorithm with diversity control, PhD Thesis, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA, 2004.

12. Huang, L., Huang, P.G., LeBeau, R.P., Numerical study of blowing and suction control mechanism on NACA0012 airfoil, *Journal of Aircraft*, 41(1), 10051013, 2004.

13. Erler, E., Active flow control studies over an elliptical profile, M.S. Thesis, METU, 2008.

14. Akçayöz, E., Numerical investigation of flow control over an airfoil with synthetic jets and its optimization, M.S. Thesis, METU, 2008.

15. Akçayöz, E., Erler, E., Tuncer, İ.H., Flow control studies over an airfoil and an elliptic profile, 4. Ankara International Aerospace Conference, METU, Ankara, AIAC2007120, 1012 September 2007.

16. Erler, E., Tuncer, İ.H., Akçayöz, E., Sentetik jet parametrelerinin eliptik profil ve kanat kesidi üzerindeki akışın kontrolü için yanıt yüzeyi yöntemi ile eniyileştirilmesi, II.Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 1517 Ekim 2008, İTÜ, İstanbul.

17. Seifert, A., Greenblatt, D., Wagnanski, I.J., Active separation control: an overview of Reynolds and Mach numbers effects, *Aerospace Science and Technology*, 8, 569582, 2004.

18. Kim S.H., Kim C., Separation control on NACA23012 using synthetic jet, *Aerospace Science and Technology*, inpress.

19. Munday, D., Jacoby J., Active control of separation on a wing with oscillating camber, *AIAA Journal of Aircraft*, 39(1), 187189, 2002.

20. Englar, R.J., Development of pneumatic aerodynamic devices to improve the performance economics and safety of heavy vehicles, Georgia Tech Research Institute, SAE Technical

Paper Series, 2000012208.

21. Liu, Y., Sankar, L.N., Englar, R.J., Ahuja, K.K., Numerical simulations of the steady and unsteady aerodynamic characteristics of a circulation control wing airfoil, AIAA 20010704, 2001.

22. Liu, Y., Numerical simulations of the aerodynamic characteristics of circulation control wing sections, PhD. Thesis, Georgia Institute of Technology, April 2003.

23. Liu, Y., Sankar, L.N., Englar, R.J., Ahuja, K.K., Gaeta, R., Computational evaluation of the steady and pulsed jet effects on the performance of a circulation control wing section, AIAA 20040056, 2004.

24. Abbott, I.H., Doenhoff, A.E., Theory of wing sections: Including a summary of airfoil data, Dover Publications Inc., New York, USA, 1959.