

## GÖREVE UYUMLU KANAT TASARIM VE GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Güçlü SEBER <sup>(a)</sup>, Melin ŞAHİN <sup>(b)</sup>, Serkan ÖZGEN <sup>(c)</sup>, Volkan Nalbantoğlu <sup>(d)</sup>, Yavuz YAMAN <sup>(e)</sup>

<sup>(a)</sup> Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06531, Ankara, [gseber@ae.metu.edu.tr](mailto:gseber@ae.metu.edu.tr)

<sup>(b)</sup> Y. Doç. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06531, Ankara, [msahin@metu.edu.tr](mailto:msahin@metu.edu.tr)

<sup>(c)</sup> Doç. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06531, Ankara, [sozgen@ae.metu.edu.tr](mailto:sozgen@ae.metu.edu.tr)

<sup>(d)</sup> Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06531, Ankara, [volkan@ae.metu.edu.tr](mailto:volkan@ae.metu.edu.tr)

<sup>(e)</sup> Prof. Dr. ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06531, Ankara, [yaman@metu.edu.tr](mailto:yaman@metu.edu.tr)

### ÖZET

Tüm hava araçlarında ağırlığın en aza indirilmesi, yakıt tüketiminin azaltılması, manevra kabiliyeti ve sessizlik en önemli tasarım gerekleridir. Yeni nesil göreve uyumlu, şekil değiştirebilen kanatlara sahip insansız hava araçlarının tasarımı da anılan bu özellikler göz önünde tutularak yapılmaktadır. Özellikle çok aşamalı görevlerde bu tip hava araçları, sabit bir kanat geometrisine sahip olan klasik tasarımlara göre daha üstün bir uçuş performansı sergileyebilmekte ve yapısal esneklikleri nedeniyle anlık uçuş değişikliklerine daha iyi uyum sağlayabilmektedir. Ancak sahip oldukları bu yapısal esneklik, kontrol edilmediği takdirde tehlikeli aeroelastik problemlere yol açabilir.

Bu bildiri, göreve uyumlu kanatlarda kamburluk ve burulma etkileri konularında ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde yapılan tasarım ve geliştirme çalışmalarını tanıtmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansız Hava Araçları, akıllı yapılar, göreve uyumlu kanat, aktif titreşim kontrolü, kanat çırpması, kamburluk, burulma

### ABSTRACT

The most important design requirements in all air vehicles are the weight reduction, reduction in fuel consumption, maneuverability and silence. New generation unmanned aerial vehicles with mission adaptive morphing wings are also designed to meet these requirements. Especially in multi-purpose missions, these vehicles with morphing wings can exhibit better flight performance compared to the conventionally designed air vehicles and due to their structural flexibilities can adopt themselves to instantaneous changes in the flight regimes. But their flexible nature render them prone to the aeroelastic instabilities and failures if not controlled appropriately.

This study presents the ongoing research and development studies in METU, Aerospace Engineering Department for camber and twist control of mission adaptive wings.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicles, smart structures, mission-adaptive wing, active vibration control, aeroelasticity, camber, twist.

## 1. GİRİŞ

Göreve uyumlu kanatlarla ilgili çalışmalar, ilk olarak 70'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar, kamburluk değişikliklerinden faydalanarak, uçağın belirlenen görev profili dışındaki koşullarda da performansını geliştirmeyi hedef almıştır. Bu çalışmalar 80'li yıllarda 'Göreve Uyumlu Kanat' programı [1] adı altında devam etmiş ve daha geniş bir görev yelpazesini hedef almıştır. Bu öncü çalışmalar, o dönemde kullanılan teknolojinin yetersizliğinden kaynaklanan ağırlık artışları ve mekanizmaların karmaşıklığı gibi sebeplerden dolayı uygulamada yaygınlaşmamıştır. 1990'lar itibariyle hız kazanan 'Aktif Esnek Kanat' [2-3] ve 'Aktif Aeroelastik Kanat' [4] programları, teknolojik gelişmelerden de faydalanarak bu dalda gelişmelerin sağlanmasına önayak olmuştur. Bu yıllarda Maclean [5] şekil bellekli alaşımlardan yararlanarak uçuş yüzeylerini kontrol etmiş ve Koconis [6] kompozitlerin içine gömülen piezoelektrik malzemelerle şekil kontrolü konusunda çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Aktif kanat tasarımları, 2000'li yıllar itibariyle insansız hava araçlarında da uygulanmaya başlamıştır. Bu uygulamalar, kanat yüzeylerinin kuşlara benzer bir şekilde daha verimli ve göreve uyumlu olarak kullanılmasını hedeflemiştir. Kanat yüzeyindeki şekil değişiklikleri genel olarak kamburluk [8,10] veya burulma [9] değişiklikleri olmak üzere iki grupta yapılmıştır.

Şekil değiştiren kanatların aeroelastik davranışları çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır [7-10] ve bu kapsamda 'Aktif Aeroelastik Kanat' programı altında modifiye edilmiş bir F/A 18 kanadının burulma özellikleri incelenmiştir

Literatürdeki son yayınlar, geleneksel kanat yapılarının yerine yeni konseptler geliştirerek bunları incelemektedir. Bunlara örnek olarak Monner [11] ile Campanile ve Anders'in [12] kamburluk değişikliği üzerine yaptığı çalışmaları gösterilebilir. Monner'in geliştirmiş olduğu yapısal konsept, yolcu uçaklarının kanatlarındaki geleneksel kontrol yüzeylerini devamlı yüzeylerle yenilemeye yöneliktir. Kanadın arka kısmı, birbiri üzerinde hareket edebilen dönen parçalar ve doğrusal rulmanlar sayesinde şekil değiştirebilen bir yapıya dönüştürülmüştür. Campanile ve Anders da benzer bir yaklaşımla kanadın iç yapısını değiştirmiş ve kontrol kuvvetleri uygulayarak kamburluk değişikliği sağlamışlardır. Her iki çalışmada da yapılan sayısal ve deneysel analizlerin sonuçları bu konseptin uygulama aşamasında başarı kazanacağı yönündedir.

Değişken kanat biçimli hava taşıtları (Morphing wing air vehicles), uçuş esnasında kanat yüzeylerinin belirgin olarak değiştiği yapılardır. Klasik sabit kanatlı uçaklar uçuş zarfındaki bir durum için tasarlanır ve en iyileştirilir (optimization). Değişken kanatlı bir yapıyla tırmanma, alçalma gibi diğer uçuş durumlarında da etkin verim alınabilir. Konvansiyonel kontrol yüzeylerinin olmadığı bir kanatta aerodinamik sürüklenme azalır, ayrıca gerek üretim gerekse de bakım esnasında basitlik ve kolaylık sağlanır. Değişken kanatlı hava taşıtlarında boyutlandırma önemli bir sorundur ve bunun temel nedeni de kanat ağırlıklarının hassas önkestiriminde (accurate prediction) yaşanan sıkıntılardır. Bu sorunu giderici bazı öneriler Skillen [13] tarafından yapılmıştır. Bu tür hava taşıtlarının uçuş mekaniği açısından incelenmeleri de gelişmiş doğrusal olmayan yöntemleri zorunlu kılmaktadır [14].

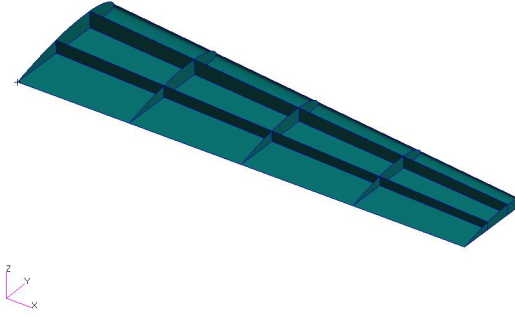
## 2. TEORİ

Bu çalışma kapsamında göreve uyumlu bir kanadın tasarımı, imalatı, yer ve uçuş testleri yapılacaktır. Amaç, İnsansız Hava Aracında belli bir görev profilindeki sürüklemeyi azaltıp, yakıt tüketiminin ve emisyonunun en aza indirgenmesine yardımcı olmanın yanı sıra daha verimli, daha sessiz ve daha hızlı çalışan, yüksek manevra kabiliyetine sahip, daha güvenilir hava araçlarının tasarlanmasıdır. Bu amaca ulaşmak için kanattaki ya da kuyruk yüzeylerindeki flap, irtifa dümeni, istikamet dümeni durumlarındaki değişiklikleri algılayabilecek dağıtılmış algılayıcılar ve bu algılayıcılardan gelecek sinyalleri işleyip gerekli komutları uyarıcılara iletecek bir kontrol mekanizması kurulacaktır. Bu kontrol mekanizması kendi başına algılama ve uyarma özelliğine sahip olmanın yanında gürbüz de olacaktır. Uyarıcıların temel görevi, buldukları yüzeyin geometrisini değiştirmek suretiyle o yüzeydeki aerodinamik yükün dağılımını istenen konfigürasyonda en uygun hale getirmektir. Çünkü taşıma yüzeyine etki eden aerodinamik kuvvetler yüzeyin geometrisiyle doğrudan ilişkilidir ve bu yüzey şekli ne kadar iyi kontrol edilirse yapıdan aerodinamik açıdan o kadar iyi verim alınır. Kontrol yüzeylerinin tasarımı ilk aşamalarda geleneksel oynar parçalardan meydana gelen yapılar olarak yapılacaktır. Daha sonraki süreçte aerodinamik avantajları arttırmak için kanat tek parça olarak üretilecek, ve içten uygulanan kontrol kuvvetleri ile göreve uygun şekilde biçim değiştirecektir. Havacılık uygulamalarında ağırlık en önemli faktör olduğundan tasarımın hafifliği ve boyutlarının küçük olması gerekmektedir. Bu da algılayıcı-uyarıcı çiftlerinin seçiminde önemli bir rol oynayan ağırlık en iyileştirme probleminin de göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Bunlara ilaveten seçilecek algılayıcı-uyarıcı çiftlerinin bağlı oldukları yapının pasif yapısal özelliklerini çok değiştirmeden, yapıdaki hareketli parçaların azaltılmasına katkıda bulunacak şekilde yerleştirilmeleri de ele alınacak önemli konulardan biridir.

Çalışmanın ana adımları aşağıdaki gibidir.

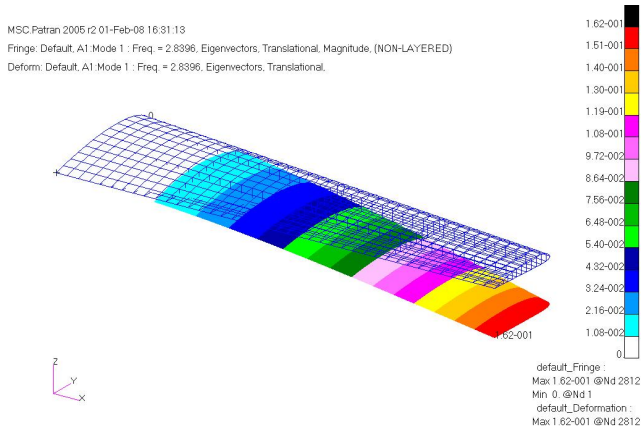
- Tasarlanacak ve üretilecek uçakların görev profillerinin belirlenmesi
- Etkin aerodinamik modellerin geliştirilmesi
- En uygun kamburluk ve en uygun burulma özelliklerini gereken zamanlarda sağlayacak göreve uyumlu kanadın tasarlanması
- Kanadın sonlu elemanlar modeli kullanılarak dinamik analizi
- Aktif kontrol mekanizmalarının ve algoritmalarının geliştirilmesi
- Göreve uyumlu kanadın üretiminin ve testlerinin yapılması
- Göreve uyumlu kanatla donatılmış İnsansız Hava Aracının uçuş testlerinin yapılması.

Çalışmada başlangıç tasarımları yapılan kanadın katı model görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

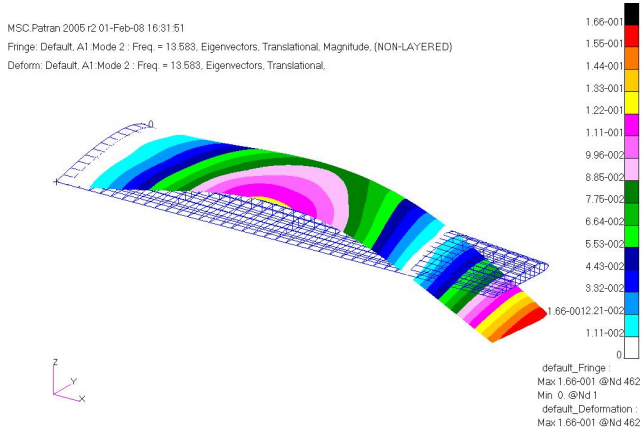


**Şekil 1.** Göreve uyumlu kanadın katı modeli

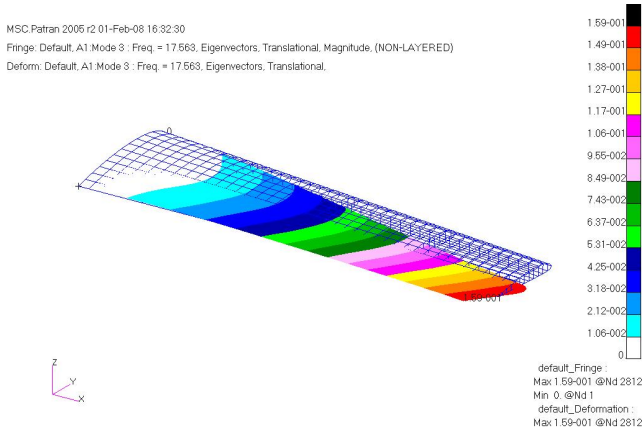
Kanatla ilgili çalışmalar sonucunda elde edilen ilk 4 titreşim biçimine ait doğal frekanslar ve titreşim biçimleri Şekiller 2-5 ile gösterilmiştir.



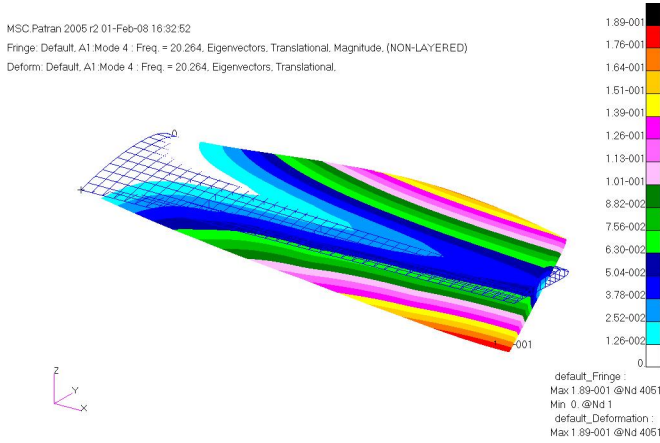
Şekil 2. Göreve uyumlu kanadın birinci titreşim biçimi ( $f=2.84$  [Hz])



Şekil 3. Göreve uyumlu kanadın ikinci titreşim biçimi ( $f=13.58$  [Hz])

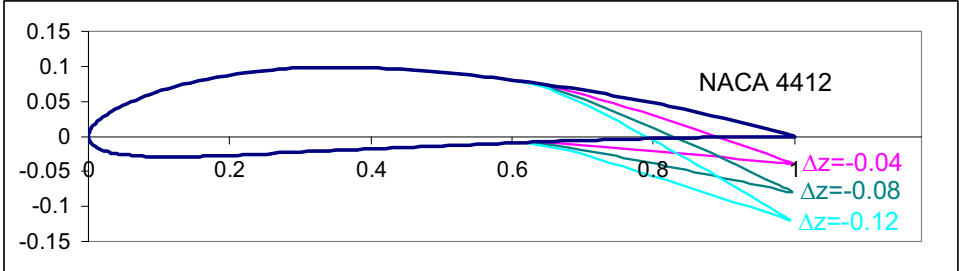


Şekil 4. Göreve uyumlu kanadın üçüncü titreşim biçimi ( $f=17.56$  [Hz])



Şekil 5. Göreve uyumlu kanadın dördüncü titreşim biçimi ( $f=20.26$  [Hz])

Çalışmada kamburluk değişiminin taşıma ve sürüklenme kuvvetlerine etkileri de NACA 4412 kanat profilinde ve sıfır hücum açısında ANSYS®/FLUENT kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada türbülans modellemesi de yapılmış ve akımın yüzeyden ayrılma durumuna kadar incelemeler devam ettirilmiştir. Artan kamburluk değerleri ve hesaplanan taşıma ve sürüklenme katsayıları ( $C_l$  ve  $C_d$ ) Şekil 6 ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 6. NACA 4412 kanat profilinin kamburluk değişimi

Çizelge 1. NACA 4412 kanat profilinin artan kamburluk değerleri için değişen aerodinamik katsayılar

	$\Delta z=0.0$	$\Delta z=-0.02$	$\Delta z=-0.04$	$\Delta z=-0.06$	$\Delta z=-0.08$	$\Delta z=-0.10$	$\Delta z=-0.12$
$C_l$	0.4397	0.6829	0.9094	1.1201	1.2897	1.3934	1.3911
$C_d$	0.03207	0.01347	0.01550	0.01816	0.02207	0.02953	0.04452

### 3. SONUÇ

Taşıyıcı yüzeylerin kamburluk ve burulma özelliklerinin uçuş sırasında aktif kontrol ile değiştirilmeleri günümüzde araştırmacılar ve Havacılık Endüstrisinin çok yoğun ilgisini çekmektedir. Bu sayede taşıyıcı yüzeylerin aerodinamik verimliliklerinin birincil göstergesi olan taşıma/sürüklenme oranı her uçuş durumu için en iyileştirilebilmektedir. Bu kontrolün var olmadığı durumlarda taşıyıcı yüzey sadece bir uçuş durumu (genellikle seyir durumu) için gerekli kamburluk ve burulma değerleri verilerek üretilmektedir. Bu durumda taşıyıcı yüzey, en iyileştirilmenin yapıldığı belli uçuş durumu dışında kalan tüm uçuş durumlarda ciddi performans kayıpları yaşamakta dolayısıyla potansiyelinin tümünü kullanamamaktadır. Bu teknoloji sayesinde, her uçuş durumu için gereken iyileştirme uçuş sırasında aktif olarak yapılabilecektir. Havacılık alanında büyük yatırım ve girişimlerde bulunan ülkemiz için bu teknolojinin özgün olarak kazanılması çok yararlı olacaktır. Ülkemizde İnsansız Hava Araçları alanında belli bir tasarım, üretim ve test kabiliyeti kazanmış olan birkaç kuruluş vardır. Bu nedenle kazanılmış bu kabiliyeti destekleyecek, ülkemizin dünya ölçeğinde itibarını ve rekabet gücünü artıracak olan bu kilit ve güncel teknolojinin ürüne yönelik olarak hayata geçirilmesi çok önemlidir. Bu projenin gerçekleştirilmesi sonucunda bilimsel birikime ve ulusal ekonomiye yapılabilecek katkılar ve sağlanabilecek yararlar şu şekilde özetlenebilir.

- Daha az yakıtla daha uzun süre havada kalma özelliğinin hava taşıtlarına kazandırılması,
- Yüksek manevra kabiliyetine sahip, daha güvenilir ve çevreye duyarlı hava taşıtlarının tasarımına katkı,
- Kontrol yüzeyi kumanda mekanizmalarının aktif kontrol mekanizmalarıyla değiştirilmesi dolayısıyla uçak tasarımlarının basitleştirilmesi, ağırlık avantajı sağlanması ve bu değişikliklerin getireceği maliyet düşüşü,
- Hava aracı tasarım kabiliyeti bulunan yurt içi kuruluşların teknolojik seviyelerinin çağın gereklerine uygun olarak yükseltilmesi ve dünya piyasalarında rekabet güçlerinin artırılması,
- Çalışma sayesinde kazanılacak altyapı ve bilgi birikiminin üniversitelerin eğitim ve araştırma programlarına açılması ve akademik alanda da yaygın fayda sağlanması,
- Tasarımın hava ile etkileşen araçların dışında, insansız su altı araçlarında da (*Unmanned Underwater Vehicle*) kullanılması ve disiplinler arası uygulamalara katkılar beklenmektedir. .
- Çalışmanın daha ileri aşamalarında, konvansiyonel uçak tasarımının aksine şekil değiştirmeler kullanılarak asimetric uçakların tasarımı da düşünülmektedir. Böylece kontrol yüzeyi hareketi olmaksızın tek bir kanadın alanını artırarak, manevra yeteneklerinin artırılması hedeflenmektedir

## KAYNAKÇA

- [1] W. W. Gilbert, (1981), "Mission adaptive wing system for tactical aircraft", *Journal of Aircraft*, 18, 597-602.
- [2] E. Pendleton, M. Lee, ve L. Wasserman, (1992), "Application of active flexible wing technology to the agile falcon", *Journal of Aircraft*, 29, 444-457.
- [3] B. Perry, S. R. Cole ve G. D. Miller, (1995), "Summary of an active flexible wing program", *Journal of Aircraft*, 32, 10-31.
- [4] E. Pendleton, D. Bessette, P. B. Field, G. D. Miller ve K.E. Griffin, (1998), "The Active Aeroelastic Wing (AAW) Flight Research Program", AIAA Paper 98-1972, Proc. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC 39<sup>th</sup> SDM Conf., April 20-23 Long Beach, USA
- [5] B.J. Maclean, B. F. Carpenter, J. L. Draper ve M. S. Mirsa, (1993), "A shape memory actuated compliant control surface", *Proceedings of SPIE*, 809-818.
- [6] D. B. Koconis, L. P. Kollar ve G. S. Springer, (1994), "Shape control of composite plates and shells with embedded actuators. I. Voltages specified", *Journal of Composite Materials*, 28, 415-58.
- [7] J. R. Wilson, (2002), "Active Aeroelastic Wing: A New/Old Twist on Flight", *Aerospace America*, 40(9), 34-37.
- [8] F. H. Gern, D. J. Inman ve R. K. Kapania, (2002), "Structural and Aeroelastic Modeling of General Planform Wings with Morphing Airfoils", *AIAA Journal*, 40(4), 628-637.
- [9] M. Amprikidis, J. E. Cooper, (2003), "Development of Smart Spars for Active Aeroelastic Structures", *AIAA Paper 2003-1799*.
- [10] B. Sanders, F. E. Eastep ve E. Foster, (2003), "Aerodynamic and Aeroelastic Characteristics of Wings with Conformal Control Surfaces for Morphing Aircraft", *Journal of Aircraft*, 40(1), 94-99.
- [11] H. S. Monner, (2001), "Realization of an optimized wing camber by using formvariable flap structures", *Aerospace Science and Technology*, (5), 445-455.
- [12] L. F. Campanile ve S. Anders, (2005), "Aerodynamic and Aeroelastic Amplification in Adaptive Belt-rib Airfoils", *Aerospace Science and Technology*, 9(1), 55-63.
- [13] M. D. Skillen ve W. A. Crossley, (2007), "Modeling and Optimization for Morphing Wing Concept Generation", *NASA/CR-2007-214860*.
- [14] M. S. Shearer ve C. E. S. Cesnik, (2007), "Nonlinear flight dynamics of very flexible aircraft", *Journal of Aircraft*, 44(5), 1528-1545.

## Teşekkür:

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından, '107M103, Taktik İnsansız Hava Araçlarının Göreve Uyumlu Kanatlarında Kambur ve Burulma Etkisinin Çırpma ve Kontrol Yönünden Analizi' projesi kapsamında desteklenmektedir.