



Şekil Değiştiren Uçaklar Havacılıkta Yeni Bir Devrim Yaratabilir Mi?

Giriş ve Tanımlar

Şekil değiştiren uçak [morphing aircraft] terimi, uçuş sırasında kanat plan şeklini [plan-form] verilen bir kumanda sonucunda belirgin olarak değiştirebilme yeteneğine karşılık gelmektedir. Uçuş sırasında şekil değiştirme yeteneği, yakıt ekonomisini, çok rollü görev kabiliyetini ve görev performansını artırıcı bir etken olarak düşünülebilir. Günümüzde mevcut sabit kanatlı uçaklar, görev profillerinin ya da uçuş zarflarının sadece bir evresi için en iyileştirilmiş olarak tasarlanmaktadır. Örneğin bir yolcu uçağı seyir performansı, bir av uçağı ise tırmanış ya da manevra performansı en üst düzeyde olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu tip bir tasarım yaklaşımında uçağın kanat şekli, görev performansı üzerindeki en belirleyici etkidir. Örneğin, görev tanımı yüksek irtifada turlamayı gerektiren bir uçağın kanat açıklığının fazla olması gerekirken, bu kanat şekli alçak irtifada yüksek hızlı uçuş için hiç de uygun değildir. **Şekil 1**, bazı uçuş durumları için en uygun kanat şekillerini göstermektedir [1].

Öte yandan şekil değiştiren uçaklar, kanat şekillerini uçuş profillerinin her evresi için en uygun biçime getirebilme potansiyeline sahiptirler. Örneğin, böyle bir uçak hem yüksek irtifada uzun süre turlama yapıp hem de düşük irtifada keskin manevralar yapabilir. Dolayısıyla, normalde birden fazla tipte uçak gerektiren farklı görevleri yerine getirebilmek için tek tip uçak yeterli olabilmektedir. Bu teknoloji aynı zamanda konvansiyonel kumanda yüzeylerini de ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir. Bu sayede kumanda yüzeyleri ile ilgili ağırlık ve mekanik karmaşıklık gibi sorunlar da ortadan kalkacaktır.

Bir uçağa şekil değiştiren uçak denebil-

mesi için kanat şeklini ne kadar değiştirmesi gerektiğine dair bir standart bulunmamasına rağmen, kanat açıklığının %200, kanat alanının %50 ve kanat ok açısının 20 derece değişmesi hedeflenmektedir [2]. Böyle bir kabiliyet aşağıda belirtilen amaçlara ulaşmada uygulanabilir:

1 Uçağın taşıma kuvvetinin sürüklenme kuvvetine oranının artırılması. Bu iyileştirme uçağın aynı faydalı yük ile daha uzun mesafelere uçabilmesini ya da belli bir mesafede daha fazla faydalı yük taşıyabilmesini mümkün kılacaktır. Böylece, uçakların aerodinamik etkinliği, dolayısıyla da yakıt ekonomileri artacaktır.

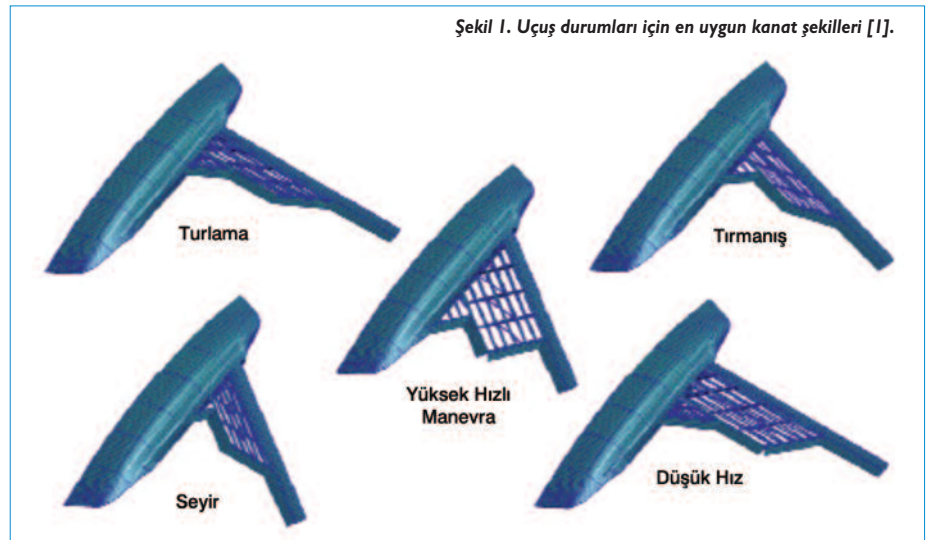
2 Mekanik flap mekanizmaların ortadan kaldırılması. Flaplar, uçaklarda özellikle iniş sırasında kullanılan hayli etkin yüzeylerdir. Ancak, uçuşun büyük bir bölümünde kullanılmamaktadırlar. Bunun yanı sıra, flap mekanizmaları özellikle nakliye ve yolcu

uçaklarında hayli karmaşık bir yapıya sahip ve ağırdırlar. Akıllı bir yaklaşımla, gerekli kamburluk [camber] ve kanat plan şekli verilebilirse, bu karmaşık yapı ve ağırlıktan kurtulmak mümkün olabilir. Sağlanacak ağırlık tasarrufu, daha fazla yakıt ya da daha fazla faydalı yük için kullanılabilir. Her iki durumda da uçağın yakıt ekonomisi artmış olur.

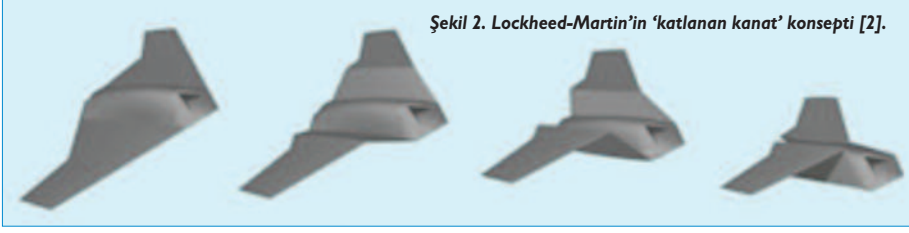
3 Konvansiyonel kumanda yüzeylerinin ortadan kaldırılması. Flaplar için savunulan tezler kumanda yüzeyleri için de geçerlidir. Ancak bu durumda, uçağın manevra kabiliyetinin korunması için kanadın şekil değiştirme işlemini hızlı gerçekleştirmesi gereklidir.

4 Aerodinamik gürültünün azaltılması. Uçakların yaydığı gürültünün en önemli nedenlerinden biri özellikle iniş sırasında flap ve kumanda yüzeyleri etrafındaki hava akışıdır. Nakliye uçaklarının flapları genellikle yarıklı flap tipindedir ve asıl kanat ile flap arasındaki yarıktan geçen yüksek hızlı hava, aerodinamik gürültünün artmasında asıl nedendir. Flapların üstlendiği görev, şekil değiştiren kanatlara istenilen şeklin verilmesiyle yerine getirildiğinde bu gürültü kaynağı da ortadan kalkacaktır.

5 Görev esnekliği. Şekil değiştiren kanat teknolojisi, bir yüksek irtifa keşif uçağını, alçak irtifada keskin manevralar yapabilen bir av uçağına dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel daha çok askeri yönden ilgi çekicidir. Örneğin bir petrol boru hattına sabotaj düzenleyen terörist grubunun hızlı takibi için keşif amaçlı bir İnsansız Hava Aracı [İHA] uygun olmayabilir. Şekil değiştirebilme özelliğine sahip bir İHA ise teröristleri tespit ettikten sonra şeklini yüksek hızlı uçuşa göre değiştirip takibe başlayabilir. Diğer bir örnekte ise muharebe hava devriyesi [Combat Air Patrol] görevi üstlenen bir İnsansız Muharebe Hava Aracı [İMHA] kolu, hedef tespit edildiğinde şeklini turlama ya da devriye konfigürasyonundan yüksek hızlı manevra konfigürasyonuna getirip hedeflere angaje olabilir.



Şekil 1. Uçuş durumları için en uygun kanat şekilleri [1].



Şekil 2. Lockheed-Martin'in "katlanan kanat" konsepti [2].

Şu Andaki Teknolojik Düzey

Şekil değiştiren uçaklar ile ilgili çalışmalar 2003 yılından beridir Defense Advanced Research Projects Agency [DARPA] desteği ile ABD'de sürdürülmektedir. Çalışmalar, Morphing Aircraft Structures [MAS] programı kapsamında yürütülmektedir. Yürütülen çalışmaların neticesinde iki farklı tasarım yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi Lockheed-Martin firması tarafından geliştirilen 'katlanan kanat [folding wing]' konseptidir ve kanat açıklığı ile kanat ok açısında değişimlere olanak tanımaktadır [Şekil 2]. İkinci yaklaşım ise 'değişken açı, değişken veter' [variable sweep, variable chord]' konseptidir ve NextGen Aeronautics isimli kuruluş tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, isiminden de anlaşılacağı gibi kanadın ok açısı ve kanat köküdeki veter boyu değiştirilmektedir [Şekil 3].

MAS programının birinci fazında katılımcılar sesaltı ve transonik hızlarda kanat açıklıkları % 150 değişebilen kanat ve altsistemleri tasarlamış, üretmiş ve rüzgar tüneline test etmişlerdir. İkinci fazda ise uçuş şartlarına benzeyen şartlarda rüzgar tüneline test edilecek uçakların ölçekli modelleri üzerinde durulmuştur.

NextGen firmasının uzaktan kumandalı uçağının ilk olarak 1 Ağustos 2006 tarihinde uçuş raporu edilmektedir. Uçuş sırasında hızın 100 knot [185 km/saat] civarında olduğu, kanat alanının %40, kanat açıklığının ise %30 oranında değiştirildiği belirtilmektedir. Kanat açısının ise 15 dereceden 35 dereceye yükseltildiği bildirilmektedir. Tasarımda, alüminyumdan imal edilmiş, küçük hidrolik motorlarla hareketlendirilen, makas yapısına benzer eklentili bir yapının kullanıldığı belirtilmektedir. Metal parçalarla güçlendirilmiş silikondan yapılmış kaplama ise şekil değiştirmeyi sağlamaktadır [3].

Lockheed-Martin firmasının katlanan kanat konseptinde ise ısı uygulandığında saniyeler içinde yumuşayıp şekil değiştiren Şekil Hafızalı Polimer [Shape Memory Polymer] kanat kaplama malzemesi kullanılmıştır. Isıtma işlemi malzemenin içine tabakalar halinde yerleştirilen küçük, esnek ısıtıcılar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Kaplama malzemesi, sabitlenmiş olduğu yapının hareketine uygun olarak şekil değiştirmekte ve kanada istenen şeklin verilmesine olanak tanımaktadır. İstenen şekil elde edildiğinde, polimer bu defa soğutulmakta ve şekil sabit-

lenmektedir. Bu malzemenin yapılmış yüzeyin %100'e varan gerinimlerde dahi pürüzsüzlüğünü koruyabildiği ifade edilmektedir. Ancak, Lockheed-Martin'in uçağının kumanda sistemi yazılımındaki sorunlardan dolayı uçuşunu gerçekleştirmediği bildirilmektedir [4].

DARPA'nın MAS programının üçüncü fazında uçakların sert manevralar yapabilme ve bir şekilden diğerine hızlıca geçebilme yetenekleri gösterilecektir.

Öte yandan, FlexSys Inc. Firması, Amerikan Hava Kuvvetleri Laboratuvarı'nın [American Air Force Research Laboratory-AFRL] desteği ile 'uyumlu bir kanadın' [compliant wing] rüzgar tüneline ve uçuş testlerini gerçekleştirmiştir. 50 inç açıklığa sahip değişken kamburluklu tek parça kanadın firar kenarı 30 derece/saniye hızla bükülebilmektedir [Şekil 4]. Kanadın veter boyu 30 inç uzunluğunda olup, firar kenarı toplam 10 derece bükülebilmekte, tüm kanat ise 1 derece/ft oranında burlanabilmektedir [twist]. Deneyler, hücum ve firar kenarlarının deforme edilmesinin, kanadın aerodinamik etkinliğini belirgin bir şekilde arttırabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu şekil değişiklikleri uçuş şartlarındaki değişimlere bağlı olarak otomatik olarak yapıldığında önemli yakıt ekonomisi sağlanacak ve manevra kabiliyetinde önemli artışlar gerçekleştirilecektir [5, 6].

Aerodinamik ve Uçuş Mekanik Analizi İle Tasarım Yaklaşımı

Şekil değiştirebilen uçakların tasarlanması, üretilmesi ve uçuşu süreci, konvansiyonel uçaklara göre bir takım farklılıklar ve zorluklar içermektedir. Bu süreç, aerodinamik ve uçuş mekaniği, yapısal analiz ile malzeme başlıkları altında incelenebilir.

Uçak tasarım sürecinin ilk safhası olan ağırlık ve boyutlandırma hesaplamalarında, benzer tipte uçakların özelliklerini kullanarak yıllar içinde bazı istatistiksel ve ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzün sabit kanatlı uçaklarının tasarımında bu yöntemlerden

sıklıkla faydalanılır. Şekil değiştirebilen uçaklar için benzer uçaklardan oluşan bir veri tabanı olmadığından, böyle bir yöntemin kullanılmasına olanak yoktur. Bunun yerine, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir yapay veri tabanı oluşturulması ve ağırlık tahmini ile boyutlandırmanın ise bilinen yöntem-



Şekil 3. NextGen firmasının 'değişken açı, değişken veter' konsepti [3].

lerle devam ettirilmesi önerilmektedir [2].

Şekil değiştirebilen bir uçağın aerodinamik analizi değişen uçuş şartlarının yanı sıra uçağın geometrisindeki değişimleri de dikkate almak durumundadır. Kaldı ki günümüzde uçakların tasarımı ve analizi için kullanılan yöntemlerin büyük bir çoğunluğu uçağı rijit kabul etmekte ve doğrusal yaklaşımı benimsemektedirler. Dolayısıyla, şekil değiştiren bir uçağın uçuş modelinin geometrideki değişimleri de hesaba katarak, doğrusal olmayan bir yöntemle geliştirilmesi gerekmektedir [7].

Tüm uçak geliştirilme süreçlerinde olduğu gibi, şekil değiştirebilen bir uçağın da rüzgar tüneline testlerinin yapılması gereklidir. Rüzgar tünellerinin boyutlarından dolayı, testlerde kullanılan modeller genelde gerçeklerinin küçültülmüş birer kopyasıdır. Şekil değiştirmeyi sağlayacak mekanizmanın belli ölçeğin altında küçültülmesi teknik olarak mümkün olmayacağından, böyle bir uçağın rüzgar tüneline modelinin 1/1 ölçeğe olması gerektiği düşünülmelidir.

Yine her geliştirilme sürecinde olduğu gibi, şekil değiştirebilen uçakların da uçuş testlerinin gerçekleştirilmesi gereklidir. Böyle bir uçağın bir İHA olacağı düşünüldüğünde, kumanda özelliklerinin sabit kanatlı konvansiyonel bir uçaktan farklı olacağı açıktır. Dolayısıyla, böyle bir uçağın gerçek uçuşu yapılmadan önce, sanal ortamda bir simülörde uçuşu gereklidir. Bu süreç, böyle bir uçak için konvansiyonel sabit kanatlı bir uçağa göre çok daha büyük önem arz etmektedir. Uçuş testleri sırasında, uçuş bilgileri ile uçağın yapısının aerodinamik kuvvetlere verdiği tepkileri gerçek zamanlı olarak izlemek için bir telemetri sistemine de ihtiyaç vardır.

Malzeme Tasarımı ve Geliştirme Yaklaşımı

Çeşitli malzemelerin çevresel uyarılara fiziksel özelliklerindeki değişimlerle yanıt verdikleri bilinmektedir. Bu uyarılar ışık, ısı, manyetik etkiler, kimyasal değişimler, basınç ve elektrik alanı ve diğer etkenler olabilir. Fiziksel özelliklerde değişimler ise fiziksel deformasyon, optik veya manyetik özelliklerde değişim olabilir. Bu değişimler malzemenin özelliklerine göre geçici veya sürekli gerçekleşebilir. Şekil değiştiren uçaklarda kullanılmak üzere seçilecek malzemeler yapısal özelliklerde yüksek geri kazanım, dayanıklılık, esneklik, elastikiyet ve çevre koşullarına dayanım gibi çeşitli özellikler taşımalıdır [8]. Bu tür malzemelere örnek olarak çoğunlukla Elektroaktif Polimerler [Electroactive Polymer-EAP] ve Şekil Hafızalı Polimerler [Shape Memory Polymer-SHP] gösterilmektedir. Ayrıca bazı piezoelektrik malzemeler, şekil hafızalı karışımlar ve ferro elektrik malzemeler de aday malzemeler olarak çeşitli araştırmalarda dikkat çekmektedir [9, 10].

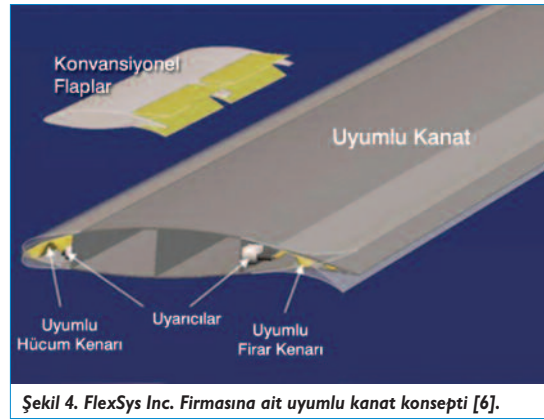
Elektroaktif polimerler, bir uyarıya karşı cevap verebilir ve ayarlanabilir özelliklere sahip oldukları için şekil değiştiren kanat uygulamaları için uygun malzemeler olarak kabul edilebilir. İletken polimerler, iyonik polimer-metal kompozitleri ve dielektrik elastomerler bu tür malzemelere örnek olarak verilebilir. Esas olarak EAP, elektriksel enerjiyi mekanik enerjiye çevirebilme özelliğine sahiptir. Malzemenin seçimi uyarıcıya bağlı gerinim [actuation strain], uyarıcı kuvveti, uyarıcı hızı, uyarıcı voltajı, ve uygulama için gereken tepkeye bağlıdır [11].

Literatürde, EAP'ye örnek olarak iletken polimerlerin karbon nanotüp gibi iletken dolgu maddeleri ile birlikte kullanımı dikkat çekmektedir [12]. Karbon bazlı dolgu maddesi eklendiğinde polimer malzemeye rijitlik özelliği kazandırılırken malzemenin şekil geri kazanımı için gerekli olan uyarıcı performansı da artırılmış olur.

Şekil hafızalı polimerler, voltaj uygulamasına bağlı olarak şekil geri kazanımı [shape recovery] sağlayabildikleri için elektroaktif bir malzeme olarak şekil değiştiren uçak uygulamalarında kullanılabilirler. Genel olarak elektriksel etki, polimer malzemede şekil değişikliğini gerçekleştirebilen bir uyarıcı olarak düşünülebilir. Buna ek olarak ısı, kimyasal, optik ve manyetik uyarı mekanizmaları da bulunmaktadır. Ancak elektriksel uyarıcılar, ek donanım gerektirmemeleri ve pratik olmalarından dolayı şekil değiştiren kanatlarda kullanılmaya daha uygundurlar.

Şekil hafızalı polimer malzemeler elektriksel veya yukarıda belirtilen uyarımlara cevap olarak orijinal şekillerini kazanabilirler; şekil ya da özelliklerini değiştirebilirler. Elek-

triksel ya da ısı uyarılma ile bu malzemeler, eğer geçiş sıcaklığının [camsı geçiş sıcaklığı gibi] üzerine ısıtılırsa şekil hafıza etkisi başlatılmış olur. Bu etkiyi malzemenin yapısındaki sert ve yumuşak olmak üzere iki ayrı faz belirler. Sert kısımlar, hidrojen bağları, polar etkileşimler ve kristallenmelerden oluşan fiziksel çapraz bağları oluşturur; yumuşak kısımlar ise kauçuk-lastiksi durumdaki [rubbery state] tersinir fazı oluşturur. Özellikle şekil değiştiren kanat uygulamaları için elektrikle veya ısı ile uyarıldığında malzeme yumuşar ve kanadın yeni şekline uyumlu olacak şekilde uzama gösterir, eğer soğutulursa hafızasındaki şekline geri döner. Malzemenin özgün durumu, sert ve yüksek modülüsü olan bir yapı özelliğindedir, yani onun hafızasındaki şeklidir. Elektrik, ısı veya optik bir uyarıcı ile uyarıldığında, şekil hafızalı polimerler düşük modülüse sahip bir elastomer haline gelir ve



Şekil 4. FlexSys Inc. Firmasına ait uyumlu kanat konsepti [6].

bu halde iken uzayabilir ve kontrol mekanizmaları ile başka şekle dönüşebilir. Tekrar uyarıldıklarında özgün durumlarına dönerler [13].

Şekil hafızalı polimerler, termoplastik ya da termoset malzemeler olabilir. Malzemenin sert ve yumuşak kısımları sentez sırasında ayarlanabilir. Böylece malzemeye istenilen oranlarda rijitlik ve elastikiyet kazandırılabilir. Sert kısımların yumuşak kısımlara oranı, malzemenin elastomerik özelliğini belirler. Sert kısımlar kristallenmeye veya çarpaz bağlanmaya katkıda bulunur ve malzemeye ısı ve mekanik stabilite kazandırır. Yumuşak kısımlar, malzemeye tokluk ve elastikiyet verir.

Son yıllarda şekil değiştiren yapılar için kompozit malzeme kullanımı dikkat çekmektedir. Şekil hafızalı polimere [epoksi, termoplastik elastomer, v.b.] iletken bir dolgu maddesi [karbon nanotüp, çinko oksit, baryum titanat, karbon fiber laminat gibi] eklendiğinde şekil değiştiren kanatlarda kullanılmak üzere üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir [13].

Yapısal Tasarım, Analiz ve Kontrol Yaklaşımı

Akıllı kanatlar [smart wings] ya da görevle uyumlu kanatlar [mission adaptive wings] ola-

rak tanımlanan kanat yapıları, aerodinamik yük dağılımını algılayıcılar [sensors] sayesinde fark eden ve görev şartlarının gerektirdiği en iyi yük dağılımını üretecek yeni kanat şeklini uyarıcılar [actuators] vasıtası ile ortaya çıkaran kanatlardır. Bu amaca ulaşmak için kanat ya da benzer şekilde herhangi bir kontrol yüzeyindeki flap, irtifa dümeni, istikamet dümeni değişikliklerini algılayabilecek dağıtılmış [distributed] algılayıcılar ve bu algılayıcılardan gelecek sinyalleri işleyip gerekli komutları uyarıcılara iletecek bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu kontrol mekanizması kendi başına algılama ve uyarma [self-sensing and actuating] özelliğine sahip olmanın yanında gürbüz de [robust] olmalıdır. Uyarıcıların temel görevi, buldukları yüzeyin geometrisini değiştirmek suretiyle o yüzeydeki aerodinamik yükün dağılımını istenen konfigürasyonda en uygun hale getirmektir.

Taşıma yüzeyine etki eden aerodinamik kuvvetler yüzeyin geometrisiyle doğrudan ilişkilidir ve bu yüzey şekli ne kadar iyi kontrol edilirse, yapının aerodinamik verimi o kadar yüksek olur. Bunlara ek olarak, seçilecek algılayıcı-uyarıcı çiftlerinin bağlı oldukları yapının pasif yapısal özelliklerini çok değiştirmeden, yapıdaki hareketli parçaların azaltılmasına katkıda bulunacak şekilde yerleştirilmeleri de [location optimization] alınacak verimde önemli etkenlerden biridir.

1990 itibarıyla hız kazanan 'Aktif Esnek Kanat' [14] ve 'Aktif Aeroelastik Kanat' [15] programları, teknolojik gelişmelerden de faydalanarak bu dalda gelişmelerin sağlanmasına önayak olmuştur.

Aktif kanat tasarımları, 2000'li yıllar itibarıyla İHA'larda 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 [16, 18] ve burulma [17] değişiklikleri olmak üzere iki kategoride yapılmıştır. Bu değişiklikler, alınan ölçümleri değerlendiren gürbüz kontrol teorileri kullanılarak yapılmıştır. Literatürdeki son yayınlar, geleneksel kanat yapılarının yerine yeni konseptler geliştirerek bunları incelemektedir. Bunlara örnek olarak Monner [19], Campanile ve Anders'ın [20] kambur değişikliği üzerine yaptığı çalışmalar 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 kambur değişikliği sağlamışlardır. Bendiksen [21], modellediği tork

üreten uyarıcı tüpler sayesinde esnek kanatlarda burulmayı kontrol ederek kanat çırpmasının [flutter] engellenebileceğini ve aynı zamanda kanat yapısal ağırlığının %40'lara varan oranlarda azaltılabileceğini göstermiştir.

Bu tür kanatların tasarımında, yapısal açıdan aşağıdaki adımlar izlenmektedir. Öncelikle yapısal tasarım aşamasında göreve uyumlu kanat konseptleri geliştirilmekte, bu noktada daha sonra kullanılacak olan algılayıcılar ile PZT [Lead-Zirconate-Titanate] ve/veya SMA [Shape Memory Alloy] ve/veya mekanizma tipi uyarıcılar belirlenmektedir. Bunların ardından bilgisayar ortamında göreve uyumlu kanadın katı modelleri ve sonlu elemanlar modelleri hazırlanmaktadır. Üretimde kullanılacak kuvvetli ve esnek polimer tipi malzemelerin belirlenmesinin ardından malzemelere ait veriler sonlu elemanlar modeline uygulanmakta ve kanadın doğal frekansları ile titreşim biçimleri [mode shapes] belirlenmektedir. Ardından çeşitli bilgisayar benzeşimleri [simulations] yardımıyla, kanat sonlu elemanlar modelinin iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak en hafif ve dayanıklı kanat modelinin belirlenmesi aşamaları gerçekleştirilmektedir.

Havacılık yapılarında çok önemli olan aeroelastik analizler; belirlenen aerodinamik kuvvetlerin oluşturulan kanat modeline uygulanması ve kanat ıraksaması [divergence] ve kanat çırpması gibi statik ve dinamik aeroelastik etkilerin incelenip değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Göreve uyumlu kanatların en önemli özelliklerinden birisi de kontrol edilebilir olmasıdır. Bu bağlamda aktif kontrol yöntemlerinin tasarımı sürecinde; tasarlanan kanadın yapısal ve aerodinamik özellikleri göz önüne alınarak, maksimum kaldırma kuvveti ve minimum sürtünme kuvvetini sağlayacak olan kanat şeklini oluşturacak bir denetleme yönteminin tasarlanması gerekmektedir. Bunun için kontrol sistem modellerinin elde edilmesi ve benzeşimlerinin sağlanmasının ardından uyarıcıların uygulayabildiği kuvvetleri ve güç gereksinmelerini de irdeleyerek, denetçiler tasarlanmakta ve gürbüzlükleri sağlanmaktadır. Denetçilerin yapıya uygulanması ve deneysel verilerle sistem modellerinin iyileştirilmesi kontrol sürecindeki diğer ana işlemlerdir. Aeroelastik analizler ve aktif kontrol analizleri göz önünde tutularak, geliştirilen kontrol yöntemlerinin ve yöntemlerin yapıya uygulanması ve denenmesi ile aeroservoelastik analizler de yapılmaktadır.

Yapısal açıdan önemli bir nokta da göreve uyumlu kanada ait yer testleridir. Bu testlerde öncelikle üretilecek kanat modelinin statik testleri yapılmakta ve mukavemet özellikleri belirlenmektedir. Teorik olarak elde edilen rezonans frekansı ve titreşim biçimlerinin doğrulanması amacıyla yapılan testler kanadın dinamik testleri olarak tanımlanmaktadır.

Sonuç

Yukarıdaki bilgilerin ışığında, şekil değiştirebilen uçakların, havacılıkta yeni bir devrim yaratma potansiyeline sahip oldukları açıktır. Bu teknoloji sayesinde sabit kanatlı uçakların kumanda mekanizmalarında, performans özelliklerinde, yakıt ekonomilerinde ve ağırlıklarında olumlu yönde büyük gelişmeler kaydedilebilecektir. Sivil ya da askeri uçaklarda görev esnekliği artacak, günümüzde birden fazla tipte uçak gerektiren görevler için tek tip ama şekil değiştirebilme yeteneğine sahip bir uçak yeterli olabilecektir.

Bu teknolojinin ilk kullanım alanının sabit kanatlı İHA'lar olacağı düşünülmektedir. Yukarıda tanımlanan potansiyel uygulamalar teknolojinin önce askeri uygulamalar için kullanılacağına işaret etmektedir. Ancak uzun

vadede bu teknolojinin, sabit ve döner kanatlı sivil amaçlı hava araçları için de uygulama alanı bulacağı tahmin edilmektedir.

Ancak, sözü edilen teknoloji henüz emekleme aşamasındadır. Böylesine büyük ölçüde bir şekil değişikliği için gerekli olan malzeme ve kullanılacak havacılık yapıları tanımlanma ve geliştirilme aşamasındadır. Böyle bir uçağın tasarımı, aerodinamik ve uçuş mekaniği analizleri için kullanılacak yöntemler de henüz geliştirilmiş durumda değildir **S&H**

Doç. Dr. Serkan ÖZGEN*, Güçlü SEBER, Melin ŞAHİN ve Yavuz YAMAN Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Göknur BAYRAM ve Yusuf ULUDAĞ Kimya Mühendisliği Bölümü ve Ayşen YILMAZ Kimya Bölümü, ODTÜ.

Kaynaklar:

- [1] G.R. Andersen, D.L. Cowan, Aeroelastic modeling, analysis and testing of a morphing wing structure, 48th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2007.
- [2] M.D. Skillen, W.A. Crossley, Modeling and optimization for morphing wing concept generation, NASA/CR-2007-214860, 2007.
- [3] www.flightglobal.com/articles, erişim 23/04/2008.
- [4] www.qwstnevrythg.blog-city.com/the_changing_shape_of_future_aircraft.htm, erişim 23/04/2008.
- [5] Scott, W.B., FlexSys 'morphing' wing offers big fuel savings, Aviation Week & Space Technology, 27/11/2006, s. 72, 2006.
- [6] www.flxsys.com/Applications/Shape%20Morphing/, erişim 23/04/2008.
- [7] M.S. Shearer, and C.E.S. Cesnik, Nonlinear flight dynamics of very flexible aircraft, J. Aircraft 44[5], s.1528, 2007.
- [8] Kikuta, M.T., Mechanical Properties of Candidate Materials for Morphing Wings, M.Sc. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [9] Bar-Cohen, Y. Electroactive Polymer [EAP] Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potential and Challenges, SPIE Press, Bellingham, WA, 2004.
- [10] Schultz, M.R., US Patent 7,321,185, 2008.
- [11] Shankar, R., Ghosh T.K., Spontak, R.J., Dielectric elastomers as next-generation polymeric actuators, Soft Matter, 3, s. 1116, 2007.
- [12] Kim, J., Kang, Y., Ounaies, Z., Bae, S.H., Yun, S., Electroactive paper materials coated with carbon nanotubes and conducting polymers, American Society of Mechanical Engineers, Aerospace Division Publication 70, s.59, 2005.
- [13] Cho W.J., Kim W.J., Jung Y.C., Goo N.S., Electroactive shape memory polyurethane composites incorporating carbon nanotubes, Macromolecular Rapid Communications 26, s.412, 2005.
- [14] Pendleton, E., Lee, M. and Wasserman, L., Application of active flexible wing technology to the Agile Falcon, J. Aircraft 29, s.444, 1992.
- [15] Pendleton, E., Bessette, D., Field, P. B., Miller, G. D., Griffin K. E., The Active Aeroelastic Wing [AAW] Flight Research Program, AIAA Paper 98-1972, Proc. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC 39th SDM Conf., Long Beach, CA, April 20-23, 1998.
- [16] Gern, F.H., Inman, D.J. and Kapania, R.K., Structural and Aeroelastic Modeling of General Planform Wings with Morphing Airfoils, AIAA J. 40[4], s.628, 2002.
- [17] Amprikidis, M. and Cooper, J.E., Development of Smart Spars for Active Aeroelastic Structures, AIAA Paper 2003-1799, 2003.
- [18] Sanders, B., Eastep, F.E. and Foster, E., Aerodynamic and Aeroelastic Characteristics of Wings with Conformal Control Surfaces for Morphing Aircraft, J. Aircraft 40[1], s.94, 2003.
- [19] Monner, H. S., Realization of an optimized wing camber by using formvariable flap structures, Aerospace Science and Technology 5, s.445, 2001.
- [20] Campanile, L.F., Anders, S., Aerodynamic and aeroelastic amplification in adaptive belt-rib airfoils, Aerospace Science and Technology 9, s. 55, 2005.
- [21] Bendiksen, O. O., Hwang, G. Y., 'A Fitter Control Concept for Highly Flexible Transonic Wings', 38th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Kissimmee, FL, April 7-9, 1997.



*Doç. Dr. Serkan ÖZGEN

ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi

Orta Doğu Teknik Üniversitesi [ODTÜ] Havacılık Mühendisliği Bölümü'nden Lisans ve Yüksek Lisans dereceleri bulunan Serkan ÖZGEN, Belçika'da bulunan Von Karman Enstitüsü'nde '95 yılında Lisansüstü Diploma eğitimini Şeref Derecesi ile, '99'da ise Doktora çalışmalarını Üstün Başarı Derecesi ile bitirdi.

'99 yılında Türkiye'ye dönerek ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak göreve başlayan ÖZGEN'e '00 yılında Yüksek Öğretim Kurumu [YÖK] tarafından Doçent ünvanı verildi. ÖZGEN, '07 yılında bir

yıllık akademik izin çerçevesinde TAI'de Tasarım Uzmanı olarak görev yaptı.

Akademik çalışmalarını akışkanlar mekaniği, aerodinamik, uçuş dinamiği ve uçak tasarımı üzerinde sürdüren ÖZGEN'in Ulusal ve Uluslararası dergilerde basılmış ve bilimsel toplantılarda sunulmuş 41 makalesi bulunmaktadır. Doç. Dr. Serkan ÖZGEN evli ve bir kız çocuk babasıdır.