

HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN MORPHING YAPILAR

Rabia BAYLI¹
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii TUSAŞ,
Ankara

Bülent ÖZKAN²
Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü,
Ankara

ÖZET

Havacılık çoğu zaman doğadan ilham almıştır. Kuşların uçuş esnasındaki kanat ve gövde şekil değişimleri de göstermektedir ki hava araçları farklı uçuş zarflarında farklı uçuş parametreleri ve geometrilere ihtiyaç duyarlar. Konvansiyonel sabit kanatlı uçakların kanat plan şekilleri ve kanat profilleri bu tip uçakların görev profillerinin sadece bir evresi için optimize edilmiş olarak tasarlanmaktadır. Bu durum her görev profili için farklı tasarım ve hava aracı ihtiyacını doğurur. Morphing yapılar kullanıcıya bu bağlamda esneklik ve görev kabiliyeti sağlamaktadırlar. Uçuş zarfı süresince morphing yapılar sayesinde istenilen şekli alabilen kanat veya başka bir yapısal sayesinde bir tasarım birden fazla göreve entegre edilebilir ve böylece çeşitli iyileştirmelerin yanında yakıt tasarrufu da sağlanmış olur. Morphing kanatlar uçuş sırasında kanat yüzeyinde herhangi bir ayrılma olmaksızın uçak üzerinde meydana gelen geri sürüklemeyi en aza indirmeyi amaçlayan şekilde ve bunu pilotun direkt müdahalesi dışında bir kontrol sistemiyle sağlayan tasarımlardır. Bu çalışmada, "morphing" türündeki yapıların sabit kanatlı uçaklardaki kullanımları ele alınmaktadır.

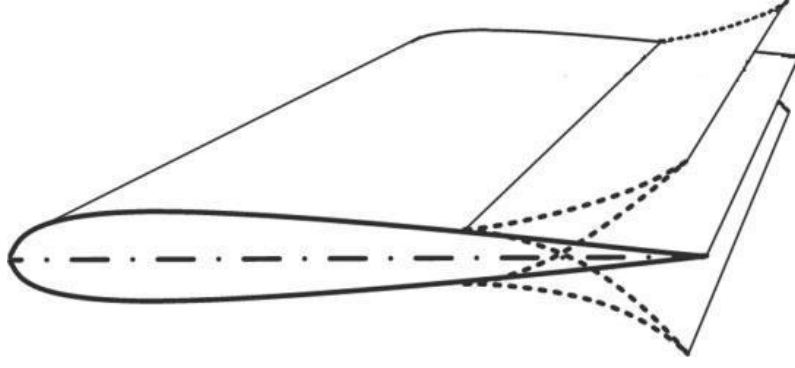
GİRİŞ

Konvansiyonel sabit kanatlı uçakların kanat profilleri bu tip uçakların görev profillerinin sadece bir evresi için en iyileştirilmiş olarak tasarlanmaktadır. Örneğin keşif ve gözetleme yapacak bir uçak yüksek havada kalma kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Yüksek performanslı bir savaş uçağı için farklı savaş durumlarına adapte olabilmek için düşük görünürlük, yüksek manevra kabiliyeti gibi özellikler önem taşır. Geleneksel savaş uçaklarında aerodinamik karakteristiği geliştirmek için flap denilen kumanda yüzeyleri bulunur. Fakat flap açısı değiştikçe kanat ve flap arasında bir boşluk meydana gelir.

Bu boşluk savaş uçağının sahip olduğu görünmezlik özelliğini düşürür ve kanat üzerinde meydana gelen hava akımı ayrılması da uçağın aerodinamik karakteristiğini olumsuz yönde etkiler [Li,2016]

¹Rabia BAYLI, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii TUSAŞ, E-posta: baylirabiaa@gmail.com

² Doç Dr.Bülent ÖZKAN, Gazi Üniversitesi Makine Müh. Böl., E-posta: bozkan@gazi.edu.tr



Şekil 1. Camber Morphing Wing Model [Li,2016]

Uçuş test sonuçları göstermektedir ki, camber morphing kanat, uçağın seyir halindeyken geri sürüklenmesini %7 oranında azaltabilir ve bu yüksek hızlı seyir halinde %20 oranlarına ulaşabilir [Li,2016].

Örnelemeye kanat üzerinden devam edilecek olursa, pilot irtifa kazanmak istediğinde kanat üzerinde yer alan kontrol yüzeylerini büker ve aerodinamik kaldırma kuvvetini artırmaya çalışır. Morphing kanat yapısı sayesinde manevra sırasında da kaldırma kuvveti/sürüklenme kuvveti oranını azami düzeye çekecek şekli alan kanat, uçağın performansını artırır. İstenen iyileştirmeler göz önünde bulundurularak morphing yapılardan büyük kazanımlar sağlanabilir.

Günümüz hava araçları için kalkış ve uçuş performansı yanında yakıt tasarrufu da önem arz etmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmaya göre , yakıt kullanımındaki %3'lük azalma her bir hava aracı için yılda 300.000 dolar kar sağlamaktadır [Sullivan,2009].

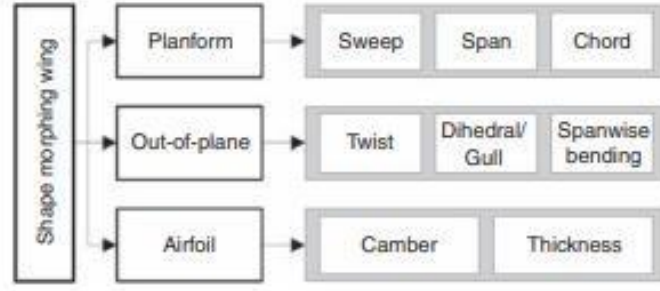
Kanat üzerindeki kaldırma, sürüklenme, moment kuvvetlerini airfoile ait birçok faktör etkiler.

[Choudhuri,2016]:

- Hücum açısı
- Uçuş hızı
- Kanat alanı
- Airfoil geometrisi
- Viskoz sürtünme katsayısı
- Havanın sıkıştırılabilirliği

Bu faktörlerden birçoğuna kanat şekil değişimi ile müdahale edilebilir. Önerilen birçok kanat şekil değişimi yolu bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2'deki gibi üç ana gruba ayrılabilir.

Kaldırma kuvveti katsayısını (Ing.lift coefficient) öncelikle profil kamburluğu etkiler.Bu durumdan aerodinamik verimliliği artırmak ve gerekli manevra kabiliyetini sağlamak için faydalanılır [Previtali,2015].



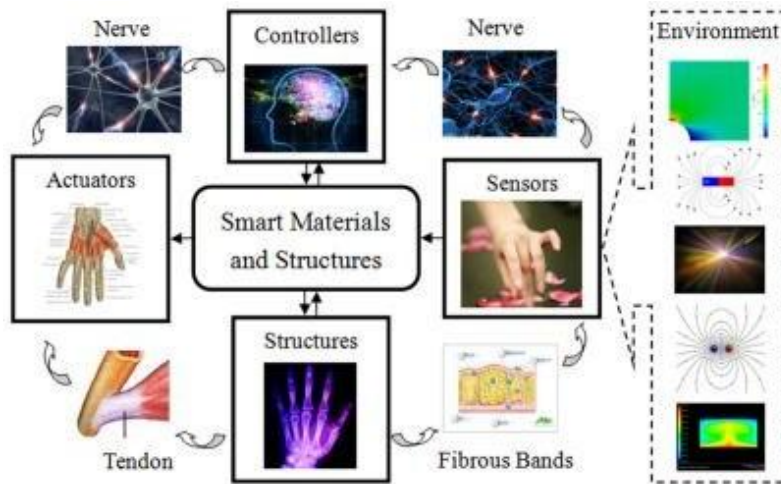
Şekil 2. Morphing Şekillendirme İşlem Şeması [Barbarino,2011]

Morphing yapılarla ilgili üzerinde durulması gereken en önemli konu uyum sağlayabilen malzemelerdir. (şekil hafızalı alaşımlar, şekil hafızalı polimerler ve piezoelektrik malzemeler gibi) Ağır ve kompleks geleneksel mekanik ve hidrolik sistemlerle karşılaştırıldığında temeli şekil hafızalı alaşımlara dayanan aktüatörler yüksek enerji yoğunluğu, kontrol kolaylığı, hafiflik vb parametrelerle üstünlük sağlıyor [Xiaojun,2020].

Burada bahsi geçen aktüatör (eyletici)lerin temel görevi, buldukları yüzeyin geometrisini değiştirmek suretiyle o yüzeydeki aerodinamik yükün dağılımını istenen konfigürasyonda en uygun hale getirmektir [Özgen,2008]. Kanat üzerindeki aerodinamik yük dağılımının sensörler sayesinde algılanması ve görev şartlarına uygun en iyi yük dağılımını üretecek kanat şeklinin uyarıcılar sayesinde ortaya çıkarılması morphing yapıların temel prensibidir.

Genel olarak akıllı malzemeler ve yapılar akıllı bir sistemden oluşur.

Aşağıdaki görsel bu yapıların insan analoguna benzetimini göstermektedir. Akıllı yapılar skin etrafındaki çevreden bilgileri algılar, ardından kimyasal veya fiziksel bir etki, bir cevap oluşturabilmek için beyne iletilir (denetim) ve son olarak kaslar aracılığıyla eylemleri gerçekleştirirler (uyarılma) [Sun,2016].



Şekil 3. Akıllı yapılar ve insan analogu benzetimi

Morphing Yapılarda Malzeme Yaklaşımı

Morphing teknolojisi ile ilgili yapılan birçok çalışma uygun esnek skin varlığı kabulü yapar. Esnek skin malzemesi gereklilikleri birbiri ile çakışır. Skin, şekil değişimine müsaade edecek kadar yumuşak olmalıdır fakat aynı zamanda kanat üzerine gelecek aerodinamik kuvvetlere dayanacak sertliğe de sahip olmalıdır [Barbarino,2011]. Bunun yanında yüksek geri kazanım,çevre koşullarına dayanım da istenen özellikler arasındadır. Tasarım çalışmaları bu gereklilikleri sağlayacak şekilde sürdürülmektedir.

Şekil hafızalı polimerler, elektroaktif bir malzeme olarak şekil geri kazanımı sağlayabildiklerinden morph yapılarda kullanılmaya uygundur.

Polimer malzemelerde gözlemleyebildiğimiz elektriksel etki şekil değişikliğini gerçekleştirebilen bir uyarıcı olarak düşünülebilir.

Bunun yanında ısıl,kimyasal, optik ve manyetik uyarı mekanizmaları da bulunmaktadır fakat elektriksel uyarıcılar ek donanım gerektirmez ve pratik şekilde kullanıma uygundur [Özgen,2008].

Kompozit malzemeler havacılıkta metalik malzemelerin yerini hafiflik, korozyon direnci, dayanım gibi üstünlükleriyle almaya devam ederken şekil değiştiren yapılarda da kullanımıyla 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 [Özgen,2008]



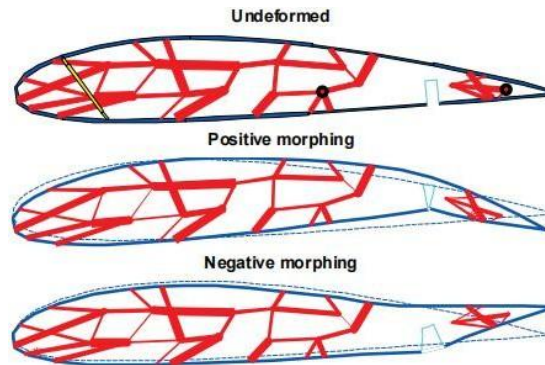
Şekil 4. Belirli Zaman Aralıklarında ŞHP Kompozit Dış Yüzey’de Meydana Gelen Şekil Değişimi [Sun,2016]

Kanat dış yüzey konsepti temelde aşağıdaki gibi gruplandırılabilir [Previtali,2015];

Pasif esnek malzemeler (elastomerler,esnek matris kompozitler)

Aktif ve yarı aktif malzemeler (elektro aktif polimerler,şekil hafızalı alaşımlar)

Uyumlu hücresel yapısalılar (oluklu (Ing.corrugated))



Şekil 5. Aerodinamik Yükler Altında Deforme Edilmiş Tek Oluklu Kaburga [Previtali,2015]

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME



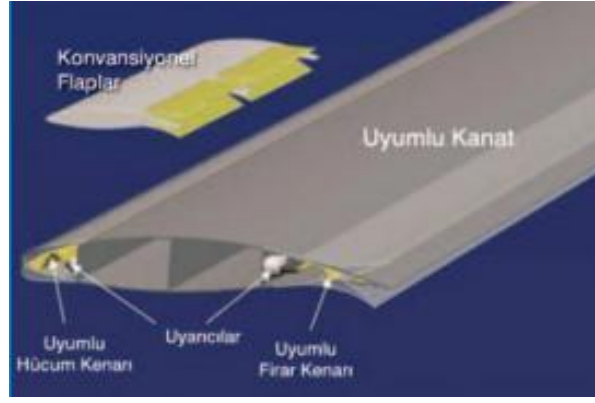
Şekil 6. NASA'ya ait Dikişsiz Morphing Kanat Tasarımı [Uzun,2021]

İniş sırasında “flap” tipindeki denetim yüzeyleri aşağı doğru eğilir. Bu esnada uçağın kanadı ile flap parçası arasında bir boşluk ortaya çıkar. NASA tarafından geliştirilen projedeki kanat tasarımı, flap parçalarının uçak kanadı ile birleştiği kısımlarda boşluk oluşmaksızın eğilmesine imkân vermektedir. Esneyebilen malzemelerden üretilen bu parçalar, uçaklarda kalkış ve iniş sırasında ortaya çıkan gürültüyü önemli miktarda azaltmakta, aynı zamanda yakıt tüketiminin de düşmesini sağlamaktadır [Uzun,2021].



Şekil 7. TUSAŞ-ODTÜ İşbirliğiyle Tasarlanan Göreve Uyumlu Kanatlara Sahip İnsansız Hava Aracı [Ünlüsoy,2011]

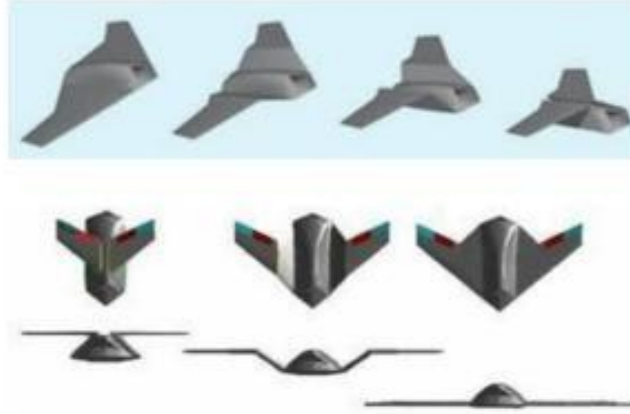
Aerodinamik verimliliği artırmayı amaçlayan ve böylece daha uzun görev süresi, çoklu göreve uygunluk gibi gerekliliklerden yola çıkarak, tasarım ve yer testleri ODTÜ, üretim ve uçuş testleri TUSAŞ ortaklığıyla yapılan şekil değiştirebilen kanatlı uçak başarıyla uçurulmuştur. Sistem sayesinde, kanatlardaki sürtünme kuvveti azaltılarak, uçuş aerodinamik açıdan daha verimli hale getirilmiştir. Uçak, aynı görevi daha az yakıt kullanarak yaptığı için hem daha ekonomik bir uçuş gerçekleştirildi, hem de havaya daha az azotoksit ve karbondioksit bırakılarak doğanın daha az kirlenmesi sağlanmıştır .



Şekil 8.FlexSys Inc. Firmasına Ait Uyumlu Kanat Kavramı

FlexSys Inc. Firması tarafından, Amerikan Hava Kuvvetleri Laboratuvarı'nın (American Air Force Research Laboratory- AFRL) desteği ile 'Uyumlu Kanat'ın (compliant wing) rüzgar tüneli ve uçuş testleri gerçekleştirilmiştir. 127 cm açıklığa sahip değişken kamburluklu tek parça kanadın firar kenarı 30 derece/saniye hızla bükülebilmektedir.

Kanadın veter boyu 76,2 cm uzunluğunda olup, firar kenarı toplam 10 derece bükülebilmekte, tüm kanat ise 1 derece/feet oranında burulabilmektedir (Ing.twist). Deneyler, hücüm 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 [Özgen,2008]



Şekil 9. Lockheed Martin Katlanan Kanat Konsepti

Şekil 9'da bulunan Lockheed Martin firmasının geliştirdiği "Katlanan Kanat (Ing.folding wing)" konseptinde, kanat kaplama malzemesi olarak şekil hafızalı polimerler (Ing.Shape Memory Polymer) kullanılmıştır. Bu malzeme içerisine yerleştirilen küçük ısıtıcılar sayesinde gerçekleşen ısıtma işlemi sayesinde malzeme saniyeler içerisinde yumuşayarak şekil değiştirmektedir

Geometrik şeklinde meydana gelen hızlı değişim sayesinde uzun menzilli seyir, yüksek hızlı fırlamaya geçiş gibi aşırı görev gereksinimlerini yerine getirebilmektedir. Gelişmiş cilt malzemesi ve dikişsiz cilt tasarımı, uçuş sırasında yüksek aerodinamik verimlilik için yüzey düzgünlüğünü koruyabilmektedir. Bu sistemle kanat kıvrım bölgelerindeki karmaşık altyapı da önlenmiştir. Sistem 130° kanat katlanmasına izin vermektedir.Bu değer mekanik bağlantılarla elde edilemeyecek kadar yüksektir. Ancak, Lockheed-Martin'in uçağının kumanda sistemi yazılımındaki sorunlardan dolayı uçuşunu gerçekleştirmediği bildirilmektedir [Uzun,2021].



Şekil 10. Boeing 777-X Folding Wingtip

Airbus ve Boeing'in ortak amacı, kanat uçlarının havalimanı kısıtlamalarını karşılamak için yerde katlanabildiği ve uçuş sırasında daha geniş kanat açıklığının aerodinamik verimliliği en üst düzeye çıkarmasına izin veren daha geniş kanat açıklığına sahip uçaklar inşa etmektir. Umut verici bir örnek, 777-200LR için 64,8 m'ye kıyasla 71,0 m kanat açıklığına sahip olmasını sağlayan katlanır kanat uçlarına sahip olan Boeing 777-x'tir. (Mills ve Ajaj, 2017).

Ayrıca, Boeing'e ait ticari hava araçlarının motor nozzle'unda jet gürültüsünü azaltıp yakıt verimliliğini artırmak için şekil hafızalı alaşımlar kullanılmıştır [Calkins,2006]



Şekil 11. X-5 Uçağına ait Sweep Wing Kapasitesi

Değişken sweep açısına sahip kanatların kaldırma kuvveti/geri sürüklenme kuvveti (L/D) oranının daha yüksek olacağı durumundan hareketle hıza bağlı olarak değişen kanat şekli 1951 yılında X-5 uçağına uygulanmıştır [Durmuş,2020]

SONUÇ

Şimdiye kadar olan çalışmalar incelendiğinde hepsinde ortak hedefin aerodinamik verimliliği artırmak, maliyeti düşürmek ve çoklu görev profiline sahip hava araçları elde etmek olduğu görülmektedir. Morphing yapıların hayata geçirilmesiyle karmaşık ve ağır kumanda mekanizmaları ortadan kaldırılacak, yakıt tüketimi azaltılacak, aerodinamik gürültü oluşumunun da önüne geçilecektir.

Çeşitli akıllı malzemeler morphing wing yapısını uyarabilmek için kullanılsa da pratikte halen dezavantajları mevcuttur. Piezoelektrik malzemeler geniş bir frekans bant aralığında nispeten yüksek kuvvet çıkışı sunar fakat gerinim çıkışı düşüktür. Şekil hafızalı alaşımlar aerodinamik değişikliklerle birlikte kanadın uçuş görev adaptasyonu içinde değişimine uygun olsa da SMA'nın düşük soğuma oranı uçuş kontrol uygulamaları için uygun değildir. Hücresel malzemeler, morphing kanatlar için geleneksel malzemelere kıyasla daha uygundur [Li,2018]

Yapılan son çalışmalara rağmen akıllı morphing sistemler üzerindeki optimize dizayn yaklaşımları aktüatör ve ana yapı üzerindeki bağlaşım deformasyonlarını gözardı eder. Aslında deformasyon yükleme-taşıma özellikleri birçok parametreden etkilenir [Yuzhu,2021].

Kontrol stratejisi geleneksel mekanizmalara kıyasla daha basit olsa da düşük geri cevap hızı akıllı malzeme uygulamalarını halen araştırma ve geliştirme aşamasında tutmaktadır.

KAYNAKLAR

Abdullah, E., Bil, C., & Watkins, S. (2012). *Application of Smart Materials for Adaptive Airfoil Shape Control*.

BARBARINO, S., BILGEN, O., AJAJ, R. M., FRISWEL, M. I., & INMAN, D. J. (2011). A Review of Morphing Aircraft. *Center for Intelligent Material Systems and Structures*.

BERKKURT, T. Z. (2016). *KUMAŞ TAKVİYELİ POLİETİLEN MALZEMENİN ŞEKİL HAFIZASI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*. İTÜ.

Calkins FT, Butler GW, Mabe JH. Variable geometry chevrons for jet noise reduction. In 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf. (27th AIAA Aeroacoustics Conf.): Proceedings of AIAA 2006-2546; 200 May 8–10, Cambridge, Massachusetts, US. Reston: AIAA; 2006. p. 1–11

Choudhuri, U. (2016). *MATHEMATICAL MODELING, DESIGN VALIDATION, AND SIMULATION OF MORPHING MECHANISM FOR WINGLET APPLICATIONS*.

Clean Sky's Morphing Wing Project Brings Shape Shifting Capabilities to European Regional Aircraft. (tarih yok). *Clean Sky*.

Durmuş, D. (2020). *Aeroelastic Analysis of Variable-Span Morphing Wings*. İTÜ.

Gaspari, A. D., & Ricci, S. (2015). Knowledge-Based Shape Optimization of Morphing Wing for More Efficient Aircraft. *Hindawi*.

KAYGAN, E. (2020). Aerodynamic Analysis of Morphing Winglets for Improved Commercial Aircraft Performance. *Journal of Aviation*.

Lİ, B., & Lİ, G. (2016). Analysis and Optimization of a Camber Morphing Wing Model. *International Journal of Advanced Robotic Systems*.

Li, D., Drofelnik, J., & Monner, H. P. (2018). A Review of Modelling and Analysis of Morphing Wings. *Progress in Aerospace Science*

Özgen, S. (2008). Şekil Değiştiren Uçaklar Havacılıkta Yeni Bir Devrim Yaratabilir mi ? *Savunma ve Havacılık*, No:125.

Previtali, F. (2015). *Morphing Wing Based on Compliant Elements*. ETH ZURICH.

Sharma, K. (2019). *Flying smart: Smart Materials Used in Aviation Industry*.

Sullivan, J., Igbal, D.U., (2009). Comprehensive Aircraft Preliminary Design Methodology Applied to the Design of MALE UAV

Sun, J., Guan, Q., Liu, Y., & Jinsong, L. (2016). Morphing aircraft Based on Smart Materials and Structures: A State-of-the-Art Review. *Journal of Intelligent Materials and Systems Structures*.

Uzun, S., İsen, B., & Sınmazçelik, T. (2021). Havacılıkta Şekil Değiştirebilir Teknoloji Uygulamaları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 53-62.

Ünlüsoy, L., Körpe, D. S., Şahin, M., Özgen, S., & Yaman, Y. (2012). Büyük Oranda Şekil Değiştirebilen Kanatların Aerodinamik ve Yapısal Tasarımı. *SAVTEK Savunma Teknolojileri Kongresi*. Ankara.

ÜNLÜSOY, L., YAMAN, Y., ŞAHİN, M., ÖZGEN, S., SEBER, G., İNSUYU, E. T., & SAKARYA, E. (2011). GÖREVE UYUMLU KANATLARA SAHİP BİR İNSANSIZ HAVA ARACININ, UÇUŞ TESTLERİ VE YAPISAL GELİŞTİRİLMESİ. *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*.

Xiaojun, G., Kaike, Y., & Manqiao, W. (2020). Integrated Optimization Design of Smart Morphing Wing for Accurate Shape Control. *Chinese Journal of Aeronautics*.

YUZHU, L., WENJIE, G., & JİN, Z. (2021). Design and Experiment of Concentrated Flexibility-Based Variable Camber Morphing Wing. *Chinese Journal of Aeronautics*.

