

TMMOB Makina Mühendisleri Odası
VI. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı
06-07 Mayıs 2011

ODTÜ'DE YAPILAN İNSANSIZ HAVA ARACI ÇALIŞMALARI

Yavuz YAMAN¹, Serkan ÖZGEN¹, Melin ŞAHİN¹, Güçlü SEBER¹,
Evren SAKARYA^{1,2}, E. Tolga İNSUYU^{1,2}, Levent ÜNLÜSOY¹

¹Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, 06531 Ankara, TÜRKİYE
Tel: 312 210 42 85, E-posta: yyaman@metu.edu.tr

²TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ., Fethiye Mahallesi, Havacılık Bulvarı, No:17,
06980, Kazan, Ankara, TÜRKİYE
Tel: 312 811 18 00

Özet - Bu bildiri ODTÜ'de bir TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan ve bir İnsansız Hava Aracının kanatlarını kambur ve burulma açısından kontrol etmeyi hedefleyen bir çalışma sunulmuştur. Projede, göreve uyumlu kanatları olan bir insansız hava aracı tasarlanmış, kanadın yer titreşim testleri yapılmış ve hava aracı üretilmiştir. İlk uçuş testlerinin ardından hava aracının göreve uyumlu kanadı tüm uçakta yaklaşık % 8 ağırlık azalması sağlanacak şekilde yeniden tasarlanmış ve bu yeni kanat üretilmiştir. Son uçuş testleri de başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bildiri ilk uçuş testleri, kanatta yapılan yeni tasarım çalışmaları ve son uçuş testleri aktarılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Göreve uyumlu kanat, şekil değiştirebilir kontrol yüzeyi, insansız hava aracı

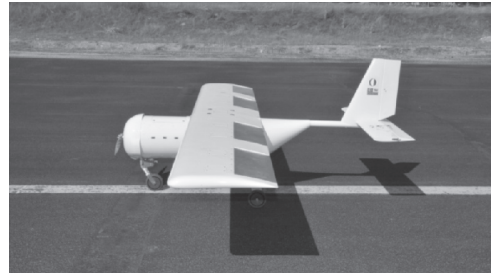
1. GİRİŞ

'TÜBİTAK 107M103, Taktik İnsansız Hava Araçlarının Göreve Uyumlu Kanatlarında Kambur ve Burulma Etkisinin Çırpma ve Kontrol Yönünden Analizi' projesiyle daha az yakıtla daha uzun süre havada kalabilecek, çevreye duyarlı hava taşıtlarının tasarımına katkı sağlamak hedeflenmiştir. Konvansiyonel kontrol yüzeyi kumanda mekanizmalarının aktif kontrol mekanizmalarıyla değiştirilmesiyle uçak tasarım ve bakımlarının basitleştirilmesi, ağırlık avantajının sağlanması ve bunların getireceği olası maliyet düşüşleri de beklenen olumlu sonuçlardır. Bunlara ilaveten hava aracı tasarım kabiliyetine sahip ulusal kurum/ kuruluşlarımızın teknolojik düzeylerinin çağın gereklerine uygun olarak geliştirilmesi ve buna bağlı olarak dünya piyasalarındaki rekabet güçlerinin/işbirliği yeteneklerinin artırılması da projenin hedeflerindedir.

Proje ekibinin hazırladığı daha önceki yayınlarda 1-9 göreve uyumlu kanadın boyutlandırılması ve uçuş görev profilinin belirlenmesi, kanadın katı modelinin oluşturulması ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmesi, kanadın statik ve dinamik analizleri sonucu doğal frekanslarının ve titreşim biçimlerinin saptanması, taşıyıcı yüzeylere etki eden aerodinamik yüklerin dağılımının hesaplanması, taşıma/sürüklenme oranını azamiye çıkaracak kanat şekil değişikliklerinin belirlenmesi, kanadın yer titreşim testlerinin yapılması işlemleri tamamlanmış ve sunulmuştur. Bu bildiri göreve uyumlu kanatla donatılmış insansız hava aracının uçuş testleri ve kanatta yapılan iyileştirme çalışmaları sunulacaktır.

2. İNSANSIZ HAVA ARACININ İLK UÇUŞ TESTLERİ

17 Mart 2010 ve 05 Mayıs 2010 tarihlerinde TUSAŞ-Akıncı tesislerinde yapılan yavaş taksi, hızlı taksi ve sıçrama testleri başarıyla sonuçlanmıştır. İnsansız hava aracının yer koşu testlerinden bir görüntü Şekil 1 de verilmiştir. İlk uçuş testleri 26 Mayıs 2010 tarihinde Sivrihisar Hava Meydanı'nda gerçekleştirilmiştir. Uçuş 5 [knot] yan rüzgar altında başarıyla tamamlanmıştır. Şekil 2 ilk uçuş testlerine ait bir anı görüntülemektedir.



Şekil 1. İnsansız hava aracının yer koşu testlerinden bir görüntü (17 Mart 2010)



Şekil 2. İnsansız hava aracının ilk uçuş testlerinden bir görüntü (26 Mayıs 2010)

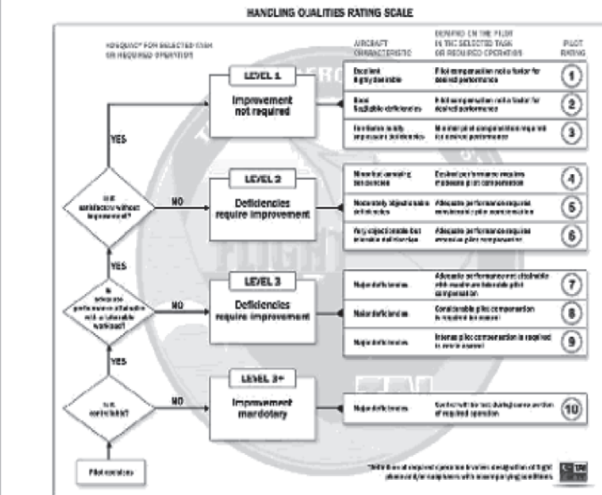
Uçuş testi sonuçları Cooper-Harper kıstaslarına göre değerlendirilmiş ve başarılı olduğu görülmüştür. Şekil 3 TUSAŞ uçuş test ekibi tarafından hazırlanan uçuş raporu nu göstermektedir.

TAI

TUSAŞ - TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİ A.Ş.
Entegre Uçak Sistemleri Grup Başkanlığı

COOPER-HARPER DEĞERLENDİRMESİ:

Görev	Pilot Notu
Kalkış konusunda orta hattın tutulması	3
Tırmanışın kararı gerçekleştirilmesi	2
Düz uçuşun gerçekleştirilmesi	3
Süzülmenin kararı gerçekleştirilmesi	2
İniş konusunda orta hattın tutulması	4



HAZIRLAYAN: E.KOCAADAM, E.C.KAYA

Şekil 3. İnsansız hava aracının ilk uçuş testlerinin Cooper-Harper değerlendirme raporu (26 Mayıs 2010)

3. İNSANSIZ HAVA ARACININ GÖREVE UYUMLU KANADINDA İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

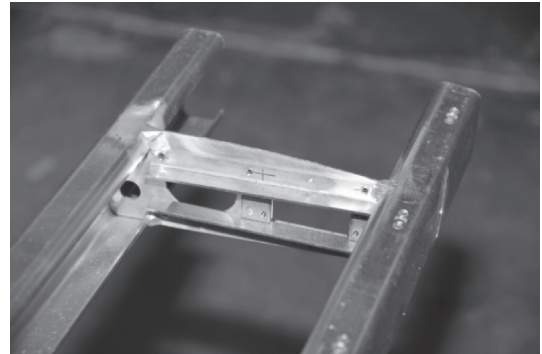
İlk uçuş testleri başarıyla tamamlanan insansız hava aracının göreve uyumlu kanatlarında, toplam ağırlığı azaltmak amacıyla bazı yapısal iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Bu bağlamda kanat kiriş kalınlıkları azaltılarak toplamda yaklaşık 2 [kg] tasarruf sağlanmıştır. Kiriş-sinir bağlantısında kullanılan köşebentlerin ve perçinlerin yerine, kanat iç yapısında kullanılan malzeme alüminyum 6061-T3 olarak değiştirilerek kaynak yöntemi uygulanmıştır. Bu da toplamda yaklaşık 1 [kg] tasarruf getirmiştir.

Bu işlemlerden sonra insansız hava aracının ağırlık merkezinin dengelenmesi amacıyla buruna yerleştirilen kurşun balast miktarında da azalma olmuştur.

Yapılan bu değişimlerin ardından kanat TUSAŞ tesislerinde tekrar üretilmiştir. Üretim yöntemlerinden bazılarında da değişiklik yapılarak kirişler prefabrike kiriş yerine plaka malzemeden bükülerek üretilmiş; kabuklarda da $[45^\circ/-45^\circ]_4$ katman dizilimi yerine $[0^\circ/90^\circ]_4$ katman dizilimi kullanılmıştır.

Şekil 4'te yenilenen kirişleri ve tipik bir siniri göstermektedir.

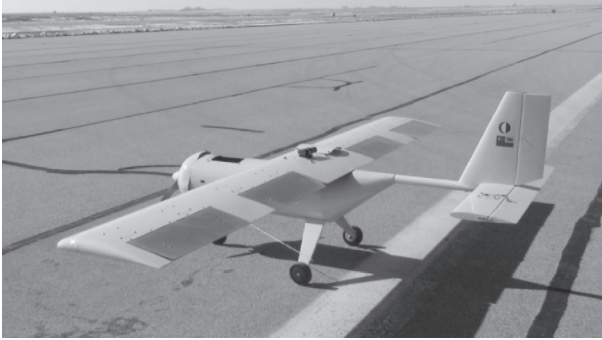


Şekil 4. İnsansız hava aracının yeniden tasarlanıp, üretilen kanadının iç yapısı (23 Temmuz 2010)

4. İNSANSIZ HAVA ARACININ SON UÇUŞ TESTLERİ

İnsansız hava aracının son uçuş testleri 03 Şubat 2011 tarihinde Sivrihisar Hava Meydanı'nda gerçekleştirilmiştir. Göreve uyumlu kanatta yapılan yapısal iyileştirme çalışmaları sonucunda, insansız hava aracının, yakıt

dahil, maksimum kalkış ağırlığı 36.785 kg dan 34.000 kg değerine inmiş ve böylece yaklaşık % 7.5 ağırlık tasarrufu sağlanmıştır. Sivrihisar Hava Meydanında birincisi yaklaşık 04 dakika 50 saniye; ikincisi ise yaklaşık 07 dakika 10 saniye süren iki uçuş yapılmıştır. Uçuşlarda uçağın performansını kontrol edici dönüşler yapılmış ve uçağın üstüne yerleştirilen bir kamerayla sağ flap ve sağ kanatçığın uçuş süresince davranışları kaydedilmiştir. Kalkışa hazır insansız hava aracı Şekil 5'te, Cooper-Harper sonuçları Şekiller 6 ve 7' de gösterilmiştir.



Şekil 5. Uçuş öncesi insansız hava aracı (03 Şubat 2011)

TAI FTSP-8-50-07
TUSAŞ - TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİ A.Ş. GÜNLÜK UÇUŞ TEST RAPORU

UÇAK TİPİ:	İHA	KUYRUK NO:	---	PROJE:	ODTÜ Kanat Geliştirme
TEST ADI:	Kontrol Fonksiyon ve Kanatçık Etkinlik Uçuş Testleri			TEST NO:	4
PILOTLAR:	Ö.VURAL			TARİH:	03.02.2011
UÇUŞ EKİBİ:	S.ÇORA (UTM), E.KOCAADAM (UTM), D.SARIKAYA (TEKN.), O.ÇELİK (TEKN.)				
BOŞ AĞIRLIK:	32,8 kg	HAVA DURUMU:	SICAKLIK: -5°C	RÜZGAR: 240/5 kt	BASINÇ: -
YAKIT AĞIRLIĞI:	1,2 kg	GÖRÜŞ:	-	ACIK:	-
MOTOR ÇALIŞTIRMA:	1112:35 2112:53	KALKIŞ:	1112:38 2112:56	İNİŞ:	1112:43 2113:03
MOTOR SUSTURMA:	1112:48 2113:08				
TAKİP UÇAĞI:	UÇAK TİPİ	KUYRUK NO	PILOTLAR	MOTOR ÇALIŞTIRMA	BAKİS
KONFIGÜRASYON:	DİŞ	İÇ	YAZILIM	FTI	DİĞER
UÇUŞ BİLGİLERİ:	MAKS İRTİFA	MAKS SÜRAT	MAKS G	ROTA	ÇALIŞMA BÖLGESİ
TEST ÖZETİ:	PLANLANAN		GERÇEKLEŞEN		
1) Kontrol/Fonksiyon Uçuş Testi (Meydan Turları)			1) Kontrol/Fonksiyon Uçuş Testi başarıyla tamamlanmıştır.		
2) Kanatçık Etkinlik Uçuş Testi (360° Dönüşler ve Tono)			2) Kanatçık Etkinlik Uçuş Testi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.		
1.SORTİ (Kontrol / Fonksiyon Uçuş Testi)					
- 12:20 - 12:27__ Uçağa yakıt koyuldu, pervane takıldı ve uçuş esnasında flap ve kanatçık hareketlerini gözlemlemek için kamera monte edildi. Motor starter ile çalıştırılarak testleri ve gerekli ayarlamaları yapıldı.					
-12:27 - 12:35__ Motor susturuldu. Pervane çıkarılarak ön cowling takıldı. Motor soğuk hava nedeniyle starter ile çalıştırılmadığından ile çalıştırıldı. Gerekli kontroller gerçekleştirildi.					
12:38__ Uçak pist başı yapıldı. Kararlı pist koşusunu müteakip kalkış 1/3 flap ile başarıyla gerçekleştirildi.					
12:38 - 12:43__ Uçağın kanatçık komutlarına istenilen tepkileri verdiği gözlemlendi. Kanatçıkların kontrol testi için her iki yöne yavaş ve düzeltmeler yapıldı. Yeterli kontrolün sağlandığı gözlemlendi. Gerçekleştirilen 4 meydan turu sonrasında uçak başarılı bir şekilde piste indirildi. Uçuş boyunca verilen kontrollere istenilen tepkiler alındığı ve kanatçıkların etkin olduğu test pilotu tarafından bildirildi.					

Şekil 6. İnsansız hava aracının son uçuş testlerinin Cooper-Harper değerlendirme raporu (03 Şubat 2011, ilk uçuş raporu)

TAI

TUSAŞ - TÜRK HAVACILIK VE UZAY SANAYİ A.Ş.

2.SORTİ (Kanatçık Etkinlik Uçuş Testi)

- 12:44 - 12:48__ İkinci sorti için planlamaların tekrar üzerinden geçildi.
- 12:49 - 12:53__ Uçağa yakıt ikmali yapıldı. Kontroller sonrası motor starter ile çalıştırıldı ve motor testi gerçekleştirildi.
- 12:56__ Uçak pist başı yapıldı. Kararlı pist koşusunu müteakip kalkış 1/3 flap ile başarıyla gerçekleştirildi.
- 12:58__ Esas bacak sonunda 360°'lik dönüşler gerçekleştirilerek pist üstü geçiş yapıldı.
- 12:59__ Ters yöne yatışlarla 360°'lik dönüşler gerçekleştirildi.
- 13:01__ Meydan turu tamamlandıktan sonra pist üzeri alçak geçiş yapıldı.
- 13:02__ Alçak geçiş sonrası uçuk gerekli irtifayı kazandıktan sonra tonno manevrası gerçekleştirildi. Uçağın yapısı ve aerodinamik karakteristikleri gereği tonno esnasında kanatçıkların yetersiz kaldığı ve ekstra olarak dümen kontrolü de verildiği test pilotu tarafından bildirildi.
- 13:03__ Esas bacak ile patem tamamlanarak son yaklaşmaya girildi. Artan yan rüzgar sebebiyle oluşan sürüklenme etkisinde uçuk pist hattından ayrılsa da gerekli kontroller ile hava aracı pist üzerinde tutularak başarılı bir şekilde indirildi.

GÖRÜŞLER:

- Uçağın komutlara itaatinin başarılı olduğu gözlemlendi.
- Hava aracının azalan ağırlığıyla birlikte kalkış ve iniş mesafelerinde kayda değer bir azalma olduğu tespit edildi.
- Kontrol yüzeylerinde kullanılan plaka kalınlıklarının azaltılması ile servolara binen yükün azaltıldığı ve verilen kontrollere daha iyi tepkiler alındığı gözlemlendi.
- Antenlerin uzatılması ile daha önceden yaşanan link kaybı sorunlarının çözüldüğü belirlendi.

COOPER-HARPER DEĞERLENDİRMESİ:

Görev	Pilot Notu
Kalkış koşusunda orta hattan tutulması	3
Tırmışın kararlı gerçekleştirilmesi	2
Düz uçuşun gerçekleştirilmesi	2
Süzülmenin kararlı gerçekleştirilmesi	3
İniş koşusunda orta hattan tutulması	4
360° dönüşler esnasında istenilen patemnin tutulması	2
Tono manevrasının gerçekleştirilmesi	9

Şekil 7. İnsansız hava aracının son uçuş testlerinin Cooper-Harper değerlendirme raporu (03 Şubat 2011, ikinci uçuş raporu)

5. SONUÇ

Bu bildiriye ODTÜ'de tasarlanmış, TUSAŞ tarafından üretilmiş ve uçuş testleri yapılmış göreve uyumlu kanatları olan bir insansız hava aracının ilk uçuş testleri, kanata yapılan yeni tasarım ve son uçuş testleri sunulmuştur. Özgün olarak tasarlanan insansız hava aracının uçuş testlerinde sergilediği yüksek performansta gösterilmiştir.

Teşekkür

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

6. KAYNAKÇA

- [1] Seber G., Şahin M., Özgen S., Nalbantoğlu V., Yaman Y., 'Göreve Uyumlu Kanat Tasarım ve Geliştirme Çalışmaları', SAVTEK 2008, 4. Savunma Teknolojileri Kongresi, 26-27 Haziran 2008, ODTÜ, Ankara
- [2] Seber G., İnsuyu E. T., Özgen S., Şahin M., Yaman Y., 'Değişken Kambura Sahip NACA4412 Kanat Kesitinin 2-

Boyutlu Aerodinamik Analizi', 2. UHUK, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 15-17 Ekim 2008, İTÜ

[3] Yaman Y., Özgen S., Şahin M., Seber G., Nalbantoğlu V., Sakarya E., İnsuyu E. T., Ünlüsoy L., Bayram G., Uludağ Y., Yılmaz A., 'ODTÜ'de Sürdürülen İnsansız Hava Aracı Çalışmaları', TMMOB Makina Mühendisleri Odası, V. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, Bildiriler Kitabı: 87-93, 22-23 Mayıs 2009, Eskişehir

[4] Seber G., Sakarya E., İnsuyu E. T., Şahin M., Özgen S., Yaman Y., 'Evaluation of a Camber Morphing Concept Based on Controlled Flexibility', IFASD2009, International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics 2009, 21-25 Haziran 2009, Seattle, Washington, ABD

[5] Yaman Y., Özgen S., Şahin M., Seber G., Nalbantoğlu V., Sakarya E., İnsuyu E. T., Ünlüsoy L., 'Göreve Uyumlu Kanatlara Sahip Bir İnsansız Hava Aracının Tasarımı', UMTS 2009, 14. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, 481-489, 2-4 Temmuz 2009, ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti

[6] Seber G., Sakarya E., İnsuyu E. T., Özgen S., Şahin M., Yaman Y., 'Structural Modeling and Flutter Analysis of Adaptive Camber Wings', AIAC2009, 5. Ankara International Aerospace Conference, 17-19 Ağustos 2009, ODTÜ, Ankara

[7] Şahin M., Sakarya E., Ünlüsoy L., İnsuyu E. T., Seber G., Özgen S., Yaman Y., 'Design, Analysis and Experimental Modal Testing of a Mission Adaptive Wing of an Unmanned Aerial Vehicle', UVW2010, International Unmanned Vehicle Workshop, Paper ID: 10, 10-12 Haziran 2010, HHO, İstanbul

[8] Şahin M., Ünlüsoy L., Sakarya E., İnsuyu E. T., Seber G., Özgen S., Yaman Y., 'Göreve Uyumlu Bir İnsansız Hava Aracının Kanadının Yapısal Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması', SAVTEK 2010, 5. Savunma Teknolojileri Kongresi, C. 1, 663-670, 23-25 Haziran 2010, ODTÜ, Ankara

[9] Şahin M., İnsuyu E. T., Sakarya E., Ünlüsoy L., Seber G., Özgen S., Yaman Y., 'Göreve Uyumlu Kanatları Olan Bir İnsansız Hava Aracının Gövdesinin Yapısal Tasarımı ve Analizi', SAVTEK 2010, 5. Savunma Teknolojileri Kongresi, C. 1, 671-678, 23-25 Haziran 2010, ODTÜ, Ankara

7.ÖZGEÇMİŞLER

Yavuz YAMAN

1981 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans, 1984 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı.

1989 yılında İngiltere, Southampton Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bölümünden Doktora derecesini aldı. 2001 yılından bu yana ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev yapmaktadır.

Havacılık ve Uzay Yapılarının Tasarımı, Aktif Titreşim Kontrolü, Akıllı Havacılık ve Uzay Yapıları, Aeroelastisite, Aeroservoelastisite, Biyomekanik konularında çalışmaktadır. Odamızın (21152) sicil nolu üyesidir.

Serkan ÖZGEN

1992 yılında ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümünden Lisans, 1994 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı. Belçika, Von Karman Enstitüsünden 1995 yılında Yüksek Lisans Diplomasını, 1999 yılında ise Doktora derecesini aldı. 2000 yılından bu yana ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

Araştırmalarını Sınır Tabaka Akışları, Akış Kararsızlıkları, Uçak Tasarımı, Uçuş Mekanığı ve Uçuş Sırasında Buzlanma konularında sürdürmektedir.

Melin ŞAHİN

1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında Yüksek Lisans derecesini aldı. İngiltere, Southampton Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gemi Mühendisliği Bölümünde 2004 yılında Doktora çalışmasını tamamladı. 2005 yılından bu yana Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır.

Havacılık ve Uzay Yapılarının Titreşim Temelli Analizleri, Aktif Titreşim Kontrolü, Akıllı Havacılık ve Uzay Yapıları, Yapay Sinir Ağları ve Biyomekanik konuları başlıca araştırma alanlarıdır.

Güçlü SEBER

1998 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Kalifornia Üniversitesi, Los Angeles Kampüsünde yüksek lisansını, 2004 yılında doktorasını tamamladı. 2004-2006 yılları arasında M4 Engineering, Inc., Long Beach, Kalifornia araştırma-geliştirmeden sorumlu yüksek mühendis olarak görev yaptı. 2006-2010 yılları arasında ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü'nde

Yrd.Doç.Dr. kadrosunda öğretim görevlisi olarak görev yapmıştır.

Klasik ve Nümerik Aeroelastisite, Şekil Değiştiren Uçaklar, Yapısal Dinamik, Sonlu Elemanlar, Optimizasyon konularında çalışmaktadır.

Evren SAKARYA

2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2010 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı. Doktora çalışmalarına ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde devam etmekte ve TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ'de görev yapmaktadır. Aeroelastisite, akıllı yapılar ve kontrol sistemleri konularında çalışmaktadır.

Erdoğan Tolga İNSUYU

2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2010 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı. Doktora çalışmalarına ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde devam etmekte ve TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ'de görev yapmaktadır. Havacılık yapılarının aerodinamik, aeroelastik ve yapısal konuları üzerinde çalışmaktadır.

Levent ÜNLÜSOY

2006 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2010 yılında Yüksek Lisans derecelerini aldı. 2008 yılından bu yana ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Doktora çalışmalarına "Tamamen Şekil Değiştirebilen Bir Kanadın Yapısal Dinamiği" konusunda devam etmektedir. Yapısal ve çoklu disiplinlerde iyileştirme, aeroelastisite, havacılık yapılarının yapısal tasarım ve analizi konularında çalışmaktadır.