TMMOB Makina Mühendisleri Odası
VII. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı
03-04 Mayıs 2013 / ESKİŞEHİR

KÜÇÜK ÖLÇEKTE ÖZGÜN BİR GAZ TÜRBİN MOTORUNUN YER ve UÇUŞ TESTLERİ

Ercan EKEN, Ersin BAŞARAN, Kahraman ÇOBAN

TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. Eskişehir, TÜRKİYE
Tel: 222 211 21 00/858 E-Posta: ercan.eken@tei.com.tr
Tel: 222 211 21 00/827 E-Posta: ersin.basaran@tei.com.tr

1. ÖZET

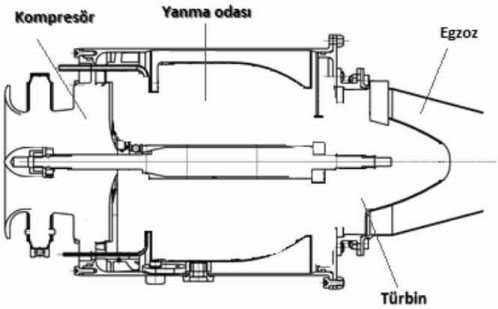
Yapısal ve aerodinamik performans testleri, uçuş testleri öncesi motorla ilgili bilgi toplama ve motorun performansının arttırılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle yer testlerinde motor çalışma performansı, titreşim değerleri, çalışma ömrü gibi verilerin dikkatli bir şekilde alınıp incelenmesi gerekir. Aerodinamik performans testleri, tasarımda CFD analizlerinin doğrulanması ve gerektiğinde tasarımda yapılacak iyileştirmelerde çok önemli bir araçtır. Yapılan testlerde motorun kompresör, yanma odası ve türbin gibi bileşenlerinde termodinamik ve aerodinamik parametrelerin mümkün olan en iyi doğrulukta alınarak, bu bileşenlerin verimlerini belirleyecek performans haritalarının çıkarılması amaçlanmaktadır.

Burada yapılan çalışmayla, küçük boyutlu bir gaz türbinli motor (TJ35) ve bir turboprop motorun (TP38) tasarımından uçuşa kadar olan süreçte, motor bütününde veya modül bazında yapılan performans, validasyon ve uçuş testlerinden bahsedilmektedir. Motor kontrol birimi, FADEC (Full Authority Digital Engine Control) testlerine ve TJ35 ve TP38 motorlarına yönelik özgün FADEC geliştirme çalışmalarına değinilmiştir. Uçuş performansına yönelik hava platformu seçimi ve motor platform entegrasyon çalışmaları hakkında yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Uçuşlardan elde edilen tecrübelerle, yerli platform geliştirme çalışmaları ve İnsansız Hava Aracı (İHA) sınıfında, daha büyük ölçekte, platform tasarımı ve üretilmesi konusunda TEI-Üniversite işbirliğinden bahsedilmişitir.

2. GİRİŞ

Küçük boyutlu gaz türbinli motorlar, büyük enerji yoğunlukları (Wh/kg) nedeniyle bir çok uygulama alanında kullanılabilecek ürünlerdir. Bu motorlar temel olarak kompresör, yanma odası, türbin, egzoz ve ihtiyaca göre bir jeneratörden oluşmaktadır. Tusaş Motor Sanayii A.Ş. (TEI)'de geliştirilen özgün gaz türbin motoru (TJ35) Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu boyuttaki gaz türbinleri, rotor çapına oranla çok yüksek ölçekte çevresel hızlara sahiptirler.



Şekil 1. T35 Turbojet Kesit Görünümü.

Küçük gaz türbinleri, taşınabilir güç üretim sistemleri ve itki üreterek taşıt ilerletmek için kullanılabilirler. Taşınabilir olmaları, yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahip olmaları ve diğer avantajlarından dolayı küçük hava araçları, jeneratör v.b. gibi, askeri bir çok alanda kullanılabilirler. Avantajlarına karşılık, yüksek yakıt tüketimi, yüksek gürültü seviyeleri, yüksek egzoz sıcaklıkları, türbin giriş sıcaklılarının sınırlı olması ve güvenlik gibi dezavantajlarından dolayı günümüzde özellikle sivil alanlarda kullanımları sınırlıdır[1].

Büyük ölçekli gaz türbinlerinde, kanatçıklara açılan iç hava kanallarıyla yüzey soğutma yapılabilmektedir. Bu da, türbinin daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesine olanak verir. Basınç oranı 3-4 mertebesinde olan küçük ölçekteki gaz türbinlerinde, soğutma imkanı kısıtlı olduğundan, ancak seramik bazlı malzeme kullanılmasıyla türbin giriş sıcaklıkları arttırılabilir. Ayrıca kompresör ve türbin arasında sıcaklık farklarının çok yüksek olmasından kaynaklı, motor bileşen verimlerinde azalma olmaktadır[2].

3. TJ35 ve TP38 TEKNİK ÖZELLİKLERİ

TJ35 turbojet motoru, toplam basma oranı 4.1 olan radyal kompresör ve maksimum 120 krpm dönüş hızına sahip eksenel bir türbinin güç üretmesi prensibiyle çalışan küçük ölçekli bir gaz türbin motorudur. TP38 turboprop motoru ise, TJ 35 motorundan alınan yüksek enerjili gazların Düşük

Basınçlı Türbin (LPT) ve dişli kutusu yardımıyla şaft gücü üretmesi prensibiyle çalışan bir turboprop motordur (Şekil 2).

Şekil 2. TP38 TurbopropTasarımı.

Tablo 1 ve Tablo 2'de TP38 teknik özellikleri ile TJ35 performans parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.. TP38 Teknik Özellikleri

Motor Çapı	D	280	mm
Motor Boyu	L	530	mm
Motor Ağırlığı	m	11.5	kg
Özgül Yakıt Tüketimi	SFC	0.66	Jet: g/(dk*N Prop: kg/(kW*h)
Azami Ġtki Seviyesi	F_t	450	N(pervane)
Motor azami güç	P	31	kW

Tablo 2. TJ35 Tasarım ve Performans Parametreleri

Hava Debisi	M_{hava}	0.3	kg/s
Yakıt debisi	$M_{yakıt}$	0.006	kg/s
Yanma Odası Sıcaklık Oranı	T_{04}/T_{03}	2.3	
Toplam Basınç Oranı	P_{03}	4.1	bar
Yanma Odası Çıkış Basıncı	P_{04}	3.9	kPa
Yakıt Alt Isınma Değeri	LHV	43124	kJ/kg
Yakıt Hava Oranı	f	0.02	
Stoikiometrik Yak Hava Oranı	f_s	0.07	

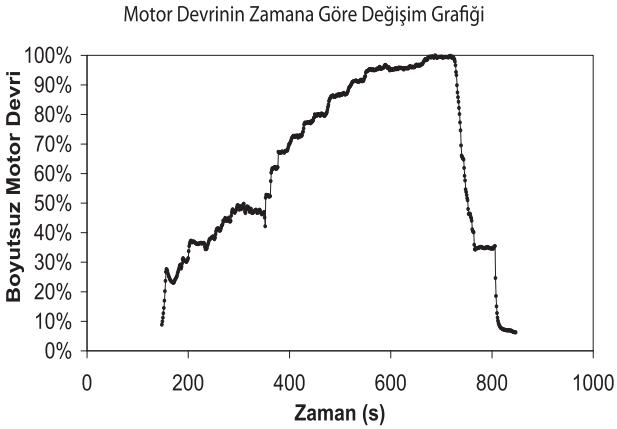
4. YAPISAL ve AERODİNAMİK PERFORMANS TESTLERİ

Gaz türbinli motorlarda validasyon ve performans testleri, motor verimi ve oluşabilecek sorunların belirlenebilmesi açısından oldukça önemlidir. TJ35 ve TP38 geliştirme aşamasında yapılan testlerde elde edilen bilgiler, tasarımda gerekli görülen iyileştirmeler ve motor modülüllerinin belirli parçalarında ya da tamamında tasarım değişikliğine gidilebilecek çıktılar vermektedir. Örnek olarak 1 ve 2 numaralı rulman bölgelerinde titreşim sönümleyicilerin geliştirilmesi, veya farklı bir rulman kullanılmasından, uçuşta motor devrinin tanımlandığı RPM sensöründe oluşabilecek hataların görülmesi gibi, uçuş güvenliğinin en küçük araçlarınının seçimine kadar olan süreçlerin iyileştirilmesi sayılabilir. LPT nozul döküm modelinde iyileştirme, akış alanının arttırılması, egzoz ve türbin bölgesinde yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme seçimi gibi yapısal ve aerodinamik açıdan tasarım değişiklikleri, test sonuçlarından elde edilen çıktılarla yapılan iyileştirmelerdir.

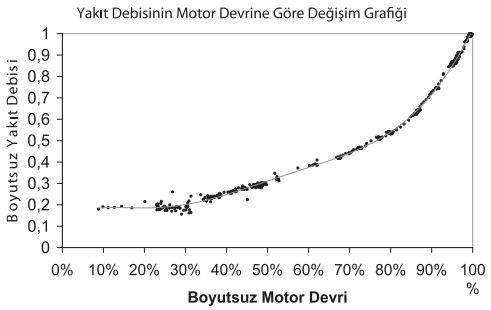
TEI'de gelişitirilen küçük ölçekli gaz türbinli motorlar, TEI bünyesindeki açık alana kurulu Test Merkezinde validasyon ve performans testlerine tabi tutulmaktadır.

Validasyon ve performans teslerinde, özellikle belirli bir çevrime göre tasarlanmış motor bileşenlerinden alınan termodinamik veriler, yüksek hızlarda örneklenerek, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) değerleriyle karşılaştırlmaktadır. Bu bağlamda, özellikle kompresör, difüzör yanma odası ve türbin bileşenlerinde birçok noktadan statik, toplam basınç ve toplam sıcaklık değerleri alınmaktadır. Yatak sıcaklıkları, egzoz gaz sıcaklıkları (EGT), yakıt ve yatak yağlama miktarları ölçülmektedir. Yağlama bölgelerinden elde edilen verilere bakılarak, rulman soğutmasında iyleştirme yapacak tasarım değişikliğine veya farklı rulman seçimine gidilerek bu alandaki sorunlar giderilebilmektedir.

Standart bir performans testinde, motor çalışma çevriminde, motor devrimin zamana göre değişimi ve yakıt miktarının motor devriyle değişimi boyutsuz değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. TP38 Motor Devrinin Zamana Göre Değişimi.



Şekil 4. Yakıt Debisinin Motor Devrine Göre Değişimi (TP38)

Giriş hava debisinin belirlenmesinde, havaalığı (bellmouth) tasarlanarak bu yapı üzerinden açısal yönde prop ve pitot tüp kanallarından basınç ve sıcaklık ölçülmesiyle, kütlesel debi hesaplanabilmektedir. Havaalığı, tasarım ve üretiminden sonra basınç ve sıcaklık verileri alınacak noktalardan rakeler yardımıyla, pitot ve ısılçiftler yerleştirilirerek enstrumantasyon uygulanır. Yapılan tüm bu enstrumantasyon işlemlerinden sonra, havaalığının kalibrasyonu yapılması gerekir.

Şekil 5'te kütlesel debi belirlenmesi amacıyla testlerde kullanılan örnek bir havaalığı modeli gösterilmiştir.

Şekil 5. Bellmouth(havaalığı) tasarımı.

Yanma odası veriminin deneysel olarak hesaplanabilmesi için, yanma odasında sıcaklıkların ölçülebilmesi gerekir. Fakat teknik zorluklardan dolayı, yanma odası sıcaklığı yerine veriminin deneysel doğrulaması için egzozda yanma ürünlerinin ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümlerde yanmamış hidrokarbon ile yanma ara ürünlerinin miktarından yanma verimi hakkında verilere ulaşılabilmektedir.

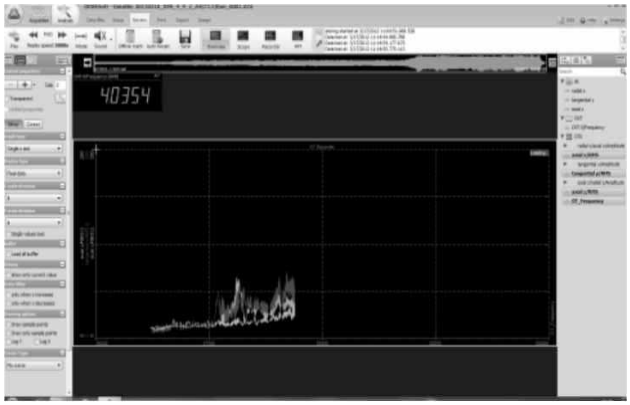
TEI'de TJ35, TP38 ve diğer küçük ölçekli motorlarda motor bütününde yapılan performans ve validasyon teslerinin yanısıra, parça ve modül testleri, dinamometre testleri ve uçuşa yönelik diğer testler de yapılmaktadır. Turboprop/Turboşaft motorların asıl performans parametrelerinden biri de motorun ürettiği şaft gücüdür. TP38 turboprop motorunda yerli firma tarafından üretilen bir dinamometre ile şaft torku ölçümleri yapılarak şaft gücü hesaplanabilmektedir (Şekil 6).

Şekil 6. Dinamometre Test Sistemi

Turna hava platformu ile yapılan uçuş testlerinde paraşütle yapılan inişlerde, pervane düzeneğinin yatayda sabit tutulmasını sağlayan pervane kilitleme mekanizması geliştirilmişitir. Hava tünelinde uçuş şartları benzeşim yöntemiyle, durdurma ve kilitleme mekanizması testleri yapılabilmektedir.

TAI Turna platformu ve benzer hedef uçak platformları, katapult aracılığıyla fırlatılmaktadır. Katapulttan fırlatma sırasında platformun üzerine 15g ivme oluşmaktadır. Bu büyüklükte bir yük altında motorun sorunsuz bir şekilde çalışabildiğinin belirlenebilmesi için, motor 15g testlerine maruz bırakılmaktadır. Pnömatik bir silindire bağlanan motor, tam güçte 15g ve üzerinde bir kuvvet ile sürekli sarsılarak, motorun dayanımı ölçülmektedir.

Testlerde motor performans verileriyle birlikte, motor bütününde veya kompresör, türbin, yatak bölgesi gibi bileşenlerinde oluşabilecek dinamik kararsızlıkların veya balansızlıkların tespit edilmesinde son derece önemli olan titreşim verileri de alınmaktadır. Küçük ölçekteki turbojet motorları yüksek devirlerde döndüğünden testlerde kullanılan titreşim örneklemelerinin de yüksek frekanslara sahip bant genişliklerinde olması gerekir. Bu testler TEI test merkezinde bulunan 2 farklı veri toplama (Data Acqusition) ve veri analiz (Data Analysis) sistemi kullanılmaktadır. Şekil 7'de titreşim testlerinde kullanılan sistemler verilmiştir.



Şekil 7.Titreşim testi veri toplama sistemi.

Bundan sonraki aşamalarda performans ve validasyon testleriyle yeterli olgunluğa ve çalışma zamanına ulaşan motorlar üzerinde uçuş testleri başlatılmaktadır.

5. UÇUŞ PLATFORMLARI BELİRLENMESİ

Tasarım ve test faaliyetleriyle motorda durağan alanda yeterli çalışmalar yapıldıktan sonra, görev tanımı gereği uçuş testleri yapılmakadır. TJ35 ve TP38 ürettiği itki değerlerine göre, uçuş görev tanımına uygun hava platformları seçilmektedir. Motorlara özgü hava platformları, gerek yurt dışından hazır alınarak, gerekse yurt içinde çeşitli yerli tedarikçiler ve Üniversite-Sanayii işbirliğiyle Havacılık Bölümlerinde yapılan özgün tasarımlarla karşılanmaktadır.

6. ÖZGÜN FADEC GELİŞTİRME

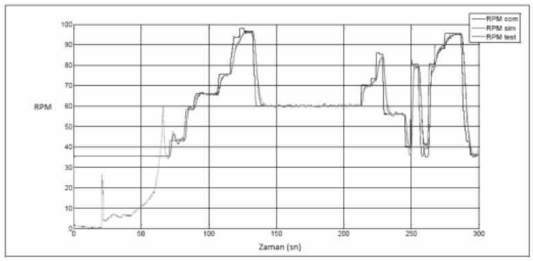
Motorun ilk çalışmasından duruncaya kadar olan süreçte, pilotun gaz komutuna göre motoru kontrol eden, başlatma ve durdurma fonksiyonlarını otomatik yöneten birimler FADEC (Full Authority Digital Engine Control) olarak adlandırılırlar. TJ35 ve TP38 motorlarına özgün olarak üretilen FADEC sistemi, TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş., ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü ve Aerotim Mühendislik işbirliğiyle tüm yazılım ve donanımlarıyla yerli tasarım olan bir kontrol birimidir. Bu çalışmalar sonucunda jet ve turboprop motor yer ve uçuş testlerinde kullanılabilen 10 adet protatif FADEC üretilmiştir. Uçuş testlerinde başarılı bir şekilde kullanılmış protatip FADEC Şekil 8'de gösterilmiştir[3].

Şekil 8. TEI -Özgün FADEC.

FADEC işlemcisi, bir PIC karta üzerinde, 2 adet devir sensörü, 5 adet ısılçift, 1 adet analog throttle (gaz ayarı), 4 adet pompa, 4 adet yakıt ve gaz valfleri, 1 adet buji (engine starter) aynı anda sürülebilmektedir. Motor ON/OFF komutunun alındığı bir sinyal girişi ve uçuş kontrol bilgisayarıyla haberleşmesinin sağlandığı ve motor üzerindeki sensörlerden bilgi alındığı RS232 başdaştırıcı girişi mevcuttur.

7. FADEC KONTROL YÖNETİMİ

Protatip FADEC, uçuş şartlarında çevresel koşullar altında güvenli bir şekilde ateşleme, belirlenen süre içerisinde rölanti devrine kadar olan aralıkta başlatma (start-up), motoru istenen devirlerde otomatik olarak tutma, EGT değerini belirlenen eşik değerinin altına gelinceye kadar soğutma ve motoru kapatma işlevlerini tam otamatik şekilde yapabilmektedir. Rölanti ve maksimum devir aralıklarında belirli bir kapalı döngüde uçuş şartlarında istenilen devirlerde motoru kontrol etme kabileyetine sahiptir (Şekil 9).

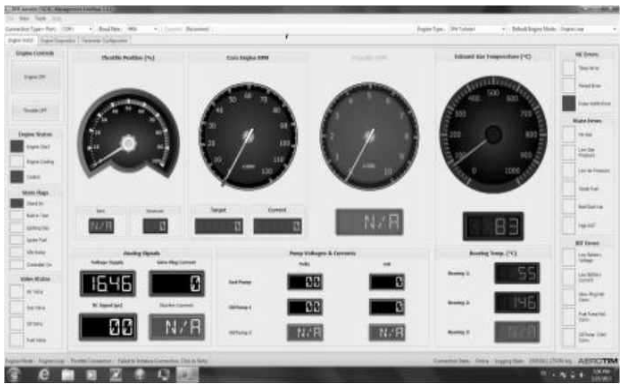


Şekil 9. Kapalı döngüde test ve simulasyon sonuçları[3].

Tasarlanan kontrolcüler, öncelikle simülasyon ortamında doğrusal modellerin birleştirilmesiyle ortaya çıkan doğrusal olmayan matematiksel modeller oluşturularak üzerinde testler gerçekletirilmiştir. Geliştirilen kontrolcü, FADEC dananımı üzerine gömülmüş, TJ35 ve TP38 motoru üzerinde yapılan testlerle elde edilen cevaplar, simülasyon cevapları ile tutarlılığı karşılaştırılmıştır.

8. EKÜ/FADEC TESTLERİ

Motor yer veya uçuş testlerinde, motor üzerinde bulunan sensör verilerinin gerçek zamanlı görüntülenmesi, motora gönderilen kontrol komutları, buji ve pil voltaj değerleri, gibi bilgilerin anlık olarak görüntülenmesi ve kaydedilmesi için kullancı ara yüzü(GUI) tasarlanmıştır. TJ35 ve TP38 motorları için geliştirlen arayüz, anlık EGT, yatak sıcaklıkları, yakıt ve yağlama pompalarına gönderilen PWM sinyalleri ve başlatma ve durdurma anında oluşabilecek hata durum bayraklarını da göstermektedir. FADEC donanım ve arayüz haberleşmesi doğrudan RS 232 kablolu bağlantı ve uçuş anında modem vasıtasıyla kablosuz iletişim kurulabilmektedir. Şekil 10'da geliştirilen arayüz ekranı verilmiştir.

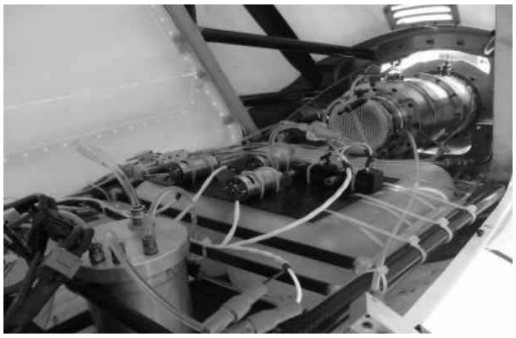


Şekil 10. FADEC Arayüz(GUI) ekranı.

Donanım, algoritma, gömülü yazılım ve kullanıcı ara yüzü tasarımıyla TEI TJ35 turbojet ve TP38 turboprop motorlarında kullanılan FADEC tamamen yerli ve özgün bir çalışma olarak uçuş testlerinde başarıyla uygulanmıştır. Motor bütün olarak düşünüldüğünde önemli bir sistem parçası olan FADEC yapısı uzun süreli validasyon testleriyle açıkları kapatılarak daha gelişkin ve büyük ölçekli yerli motorlar için geliştirilecek FADEC'ler için öncü olmaya adaydır.

9. MOTOR PLATFORM ENTEGRASYONU

Uçuş testlerinde kullanılacak hava platformlarının seçilmesiyle, motor uçak entegrasyonu önem kazanmaktadır. Motorun platform üzerinde uygun sabitleyiclerle montajının yapılması ve uçuş donanımlarının bağlantı kablolarının ve aksesuarların yerleşimi, uçuş güvenliği açısından önemlidir. FADEC, yakıt ve yağlama pompaları çalışma güvenliğini riske etmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır. Platform donanımları, FADEC, modem, sürücü pompalar, yakıt ve yağlama depoları, soğutma serpantinleri, servolar, RC kumanda alıcıları, voltaj dönüştürücüler, batarya ve diğer bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Uçağın motor ve diğer bileşenleri arasındaki iletişimini sağlayan harness, askeri standartlara uygun olacak şekilde yapılmalıdır. Uçağın tüm bileşenlerinin gövde içerisinde bağlantıları tamamlandıktan sonra uçuş kararlılığını belirleyecek ağırlık merkezinin yeri ayarlanmalıdır. Şekil 11'de Wilga platformu içerisinde montajı tamamlanmış TJ35 motoru ve tüm aksesuar bağlantıları görülmektedir.



Şekil 11. Wilga platformu motor ve donanım entegrasyonu.

10. UÇUŞ TECRÜBELERİ

Futura1.9 platformu 2,05 m uzunluğa ve 1,90 m kanat açıklığına sahip bir model uçaktır. Motorun uçak üzerine enegrasyonu ve platformla uzun süreli yer teslerinden sonra ilk uçuş 12 Haziran 2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Uçağın aerodinamik yapısında olduğu düşünülen bir aksaklıktan dolayı sağ kanat kalkıştan hemen önce yere çarpmış, pilot manevrasıyla uçak havalanmayı başarmıştır. Uçağın havada bir süre seyretmesinden sonra, sebebi bilinmeyen bir aksaklıktan dolayı motor havada durmuş ve uçakta kırım oluşmuştur. Kırım sebebinin araştırılması konusunda çalışmalar yapılmış ve bulgulardan kesin olmayan yargılara varılmışsa da, kazanın kesin sebebi belirlenememiştir[4].

Şekil 12. Futura1.9 platformu ile ilk uçuş testi.

TJ35 ile ilk başarılı uçuş testi 4 Ekim, 2012 tarihinde ikinci bir Futura platformuyla gerçekleştirilmişitir. Futura1.9/2 ile yapılan bu uçuş testi yaklaşık 3.5 dk sürmüştür. TJ35 Türkiye'nin başarılı şekilde uçuşunu tamamlayan ilk yerli jet motorudur.

Şekil 13. Futura1.9/2 platformu ile ilk uçuş testi.

Futura1.9 platformlarıyla yapılan uçuş testlerinden sonra TJ35'in yerli bir uçak üzerinde uçması için arayışlara gidilmiştir. Tasarımdan üretime kadar tüm süreçleri yerli bir firma tarfından yapılan T-62C platformu geliştirilmiştir. Bu platform üzerinde TJ35 motoru ile uzun süreli yer testleri yapıldıktan sonra 07 Kasım 2012 tarihinde 4 dk süren başarılı bir uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuştan sonra T-62C platformuyla uçuş testleri tekrarlanarak TJ35'in uçuş güvenirliği daha fazla sayıda uçuş ve daha uzun süreli havada kalışla pekişmiştir (Şekil 14).

Şekil 14. T-62C platformu ile uçuş testi.

11. TP38 TURBOPROP İLE WİLGA UÇUŞU

TP38 turboprop motorunun ilk versiyonu olan itici TEI-TP-1X ile TAI Turna platformu üzerinde başarılı uçuşlar gerçekleştirilmişti. TP38'in çekici versiyonu üzerinde yapılan teknoljik gelişmeleri uçuş testleriyle görmek için Wilga platformu temin edilmiştir. Wilga 2,7 m uzunlukta ve 3,7 kanat açıklığına sahip gerçeğinin 1/3 oranında küçültülmüş bir model uçaktır. Toplam kalkış ağırlık 36 kg'dır. Wilga platformunun TP38 motoru ile tüm entegrasyonu TEI içerisinde gerçekleştirilmiştir. Wilga ilk uçuşunu 27 Şubat, 2013 tarihinde başarıyla tamamlamıştır. Şekil 15'te uçuş anındaki Wilga platformunun bir görüntüsü verilmiştir.

Şekil 15. Wilga platformu ile TP38 uçuş testi.

12. PLATFORM GELİŞTİRME VE UÇUŞ PLANLARI

TJ35 ve TP38 jet ve turboprop motorlarında uçuş testleriyle elde edilen tecrübeleri arttırmak için farklı boyut ve uçuş karakterisitiğine sahip platformlarla uçuş test sayısı ve zamanının arttırılması planlanmaktadır. Bu platformlardan 1,9 m ve 2,5 m uzunluklara sahip Futura1.9 ve Futura2.5, Decathlon, Wilga ve 7 m kanat açıklığına sahip planör gibi modeller dışarıdan temin edilirken, 2 adet T-62C yerli firmalarca tasarlanıp üretilmişitir.

Şekil 16. T-62C/2 platformu yerde taksi testi.

Yerli platformların geliştirilmesi amacıyla TEI ve 19 Mayıs Üniversitesi Havacılık ve Uzay Teknolojileri Araştırma Merkezi(UZAYTEM) ile yapılan işbirliğiyle, TP38 hava motoruna özgün hava platformu tasarım çalışmaları tamamlanarak üretim faaliyetlerine başlanmıştır. İnsansız Hava Aracı (İHA) sınıfında olacak bu platformun yaklaşık kalkış ağırlığı 170-180 kg, kanat açıklığı 5,5 m ve gövde uzunluğu 4,5 m olacak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 17. TEI-UZAYTEM platform modeli.

13. SONUÇ

Bu çalışmada, TEI'de geliştirilen küçük boyutta TJ35 gaz türbinli motoru ve TP38 turboprop motorlarının validasyon, performans ve uçuş testlerinden bahsedilmiştir. Test çalışmaları, tasarımı yapılan bir ürününün veya modülün meydana getirilmesiyle, tasarım hedeflerinin sonuçlarına hızlı ve kesin bilgilerle ulaşılmasını sağlayan bir süreçtir. Bu nedenle test faaliyetlerinin, tasarım ve üretim aşamalarının hemen ardından fakat, bütünleyici bir şekilde sürdürülmesi gerekir. Küçük ölçekli gaz türbinli motorların taktik hava platformları için geliştirilen TJ35 ve TP38 motorları, parça/modül üretimiyle neredeyse paralel yapılan testlerle olgunlaşmış ve farklı platformlar üzerinde uçuş testleriyle güvenirliklerini kanıtlamışlardır. Platform seçimi, motor entegrasyonu ve uçuş testleriyle elde edilen kazanımlar, özellikle askeri alanda yaygınlaşan ve sivil kullanımı da giderek artacak olan bu ölçekteki motorların geliştirlmesi bakımından önemlidir. Daha büyük boyutta platformlarla yapılacak olan uçuş testleriyle ülkemizde İHA sınıfının gelişmesine katkıda bulunacak ve aynı zamanda, orta büyüklükte motor geliştirme çalışmalarının da önünü açacaktır.

14. TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, motor testlerinde özverili çalışmaklarından dolayı montaj ve test ekibine; uçuş faaliyetlerine katılan Taner Memiş ve Murat Bükey'e; FADEC ayarlarıyla ilgili çalışmalarından ötürü Sinan Ekinci'ye ve uçuş testlerinin gerçekleştirilmesinde havaalanı pistini kullanıma açtıklarından dolayı AÜ Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakultesi yönetici ve görevlilerine teşekkürü bir borç bilir.

15. KAYNAKLAR

[1] Lewis, R. I., Turbomachinery Performance Analysis, Elsevier Science and Technology Books,1996.

[2] J.Peris, R Van Den Braembussche, Micro Gas Turbines-A Short Surey of Design Problems, VKI-RTO-AVT-131, Belçika, 2005.

[3] S. Ekinci, A.T. Kutay, O.Uzol, K.Kahraman, Küçük Turbojet/turboprop Motorları İçin Özgün Elektronik Kontrol Ünitesi(EKÜ/FADEC) Tasarımı, Doğrulanması ve Uygulanması, Savunma Teknolojileri Kongresi 20-22 Haziran 2012, ODTÜ, Ankara

[4] K. Orbay, C.Gölcük, Futura 1.9-1 Uçağının Kırım incelemesi,TEI Teknik Rapor,2012.

16. ÖZGEÇMİŞLER

Ercan EKEN

2003 yılında Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2005-2011 yılları arasında özel ve kamu kuruluşlara ait yapılarda mekanik tesisat ve HVAC konularında proje uygulama mühendisi ve kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2011 yılında İTÜ Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü Disiplinler Arası Programında yüksek lisansını tamamlamıştır. Akışkanlar mekaniği hesaplamalı ve deneysel alanlarda, ses altı ve ses üstü jet akışlarında deneysel çalışmalar yapmıştır. 2011 yılından itibaren Tusaş Motor Sanayii A.Ş'de test mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Ersin BAŞARAN

2010 yılı İTÜ Uçak Mühendisliğinden mezun oldu. Meslek hayatına 2011 yılında Tusaş Motor Sanayii A.Ş. Ar-Ge departmanında Test Mühendisi olarak başladı ve halen görevini devam ettirmektedir. Motor test sistemleri, ölçüm sistemleri ve veri toplama sistemlerinde uzmanlığı vardır.

Kahraman ÇOBAN

2004 yılında ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Çalışma hayatına Toyota Motor Türkiye A.Ş'de Kalite mühendisi olarak başladı. 2006 yılından itibaren Tusaş Motor Sanayi A.Ş'de tasarım mühendisi, test mühendisi ve test liderliği yaptı. Halen test liderliği görevini sürdürmektedir.