

UÇUŞ TEST ENSTRÜMANTASYONU VE UYGULAMALARI

Ali İhsan MENEVŞE¹
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve
Teknolojileri A.B.D., Eskişehir

Işıl YAZAR²
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Uçak
Mühendisliği, Eskişehir

ÖZET

Uçuşta veya yerdeki test faaliyetlerinde, veri toplanmasına ya da bu verilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine/iletilmesine olanak sağlayan uygulamalar Uçuş test enstrümantasyonu (Flight Test Instrumentation- FTI) olarak adlandırılmaktadır. Uçuş test enstrümantasyonu, yeni bir hava aracı prototipinin oluşturulması ya da mevcut hava aracına bağlı bir sistemin veya bu hava aracına entegre edilecek faydalı yüklerin üretilmesi, geliştirilmesi ve arızalarının tespiti sürecinde uygulanabilmektedir. Gelişen teknolojinin, hem askeri hem de sivil havacılık alanındaki etkisi göz önüne alındığında uçuş test enstrümantasyonunun ne kadar faydalı ve önemli olduğu açıktır. Çünkü meydana getirilen fikir veya tasarımın nihai ürün olarak ortaya çıkması uzun ve titizlik gerektiren bir süreçtir. Bu süreçteki uçuş ve yer testlerinin maliyeti, çevresel etkisi ve riski oldukça yüksektir. Hava aracının her noktasına uygulanabilecek doğru ve kapsamlı uçuş test enstrümantasyonu ile tüm bu dezavantajları ortadan kaldırmak, daha güvenilir yapılar oluşturmak ve riskleri en aza indirmek mümkündür. Bu çalışma kapsamında, yabancı literatürde kısıtlı kaynak bulunan ve yerli literatürde ise nerdeyse yok denecek kadar az kaynak bulunan uçuş test enstrümantasyonu ve uygulamaları hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

GİRİŞ

Günümüzde, sistem gereksinimlerinin artması sebebiyle karmaşık sistem tasarımları ortaya çıkmakta ve bu durum tasarım aşamalarının her birini zorlaştırmaktadır. Teorik bilgi ve tasarım gereksinimleri hakkında bilgi sahibi olarak, minimum süre ve minimum bütçeyi aynı anda kullanarak eksiksiz bir tasarımı ortaya çıkarmak tasarım sanatı olarak adlandırılmaktadır. Tasarım konusu havacılık açısından ele alındığında da uçuş test faaliyetleri, hava aracı geliştirme projelerinde doğrulama ve test faaliyetlerinin tamamlanabilmesi açısından en önemli basamaklardan biridir. Test faaliyetleri, en az projenin kendisi kadar özenle planlanmalıdır [Tambova, 2021]. Hava araçları, prototip aşamasından uçuş ömrünü tamamlayacağı zamana kadar çeşitli testler ve bakım süreçlerinden geçmektedir. Bu test aşamalarından ilki hem askeri hem de sivil hava araçlarında uygulanan uçuş test enstrümantasyonudur [Günaydın ve diğerleri, 2019]. Uçuş test enstrümantasyonu, uçuş testi sırasında hava aracına takılan çeşitli ekipmanlarla ihtiyaç duyulan verilerin toplanması, kaydedilmesi veya gerçek zamanlı olarak iletilmesi için yapılan faaliyetlerin tümüdür. Yaygın olarak uçuş test ölçümlendirme olarak da karşımıza çıkmaktadır. Uçuş test enstrümantasyonu, genellikle kalıcı olmayan bir entegrasyondur; hem uçuşta hem de yer testleri boyunca uygulanabilir. Uçuş test enstrümantasyonu için kullanılan ekipmanların belirleyici rengi genellikle turuncudur.

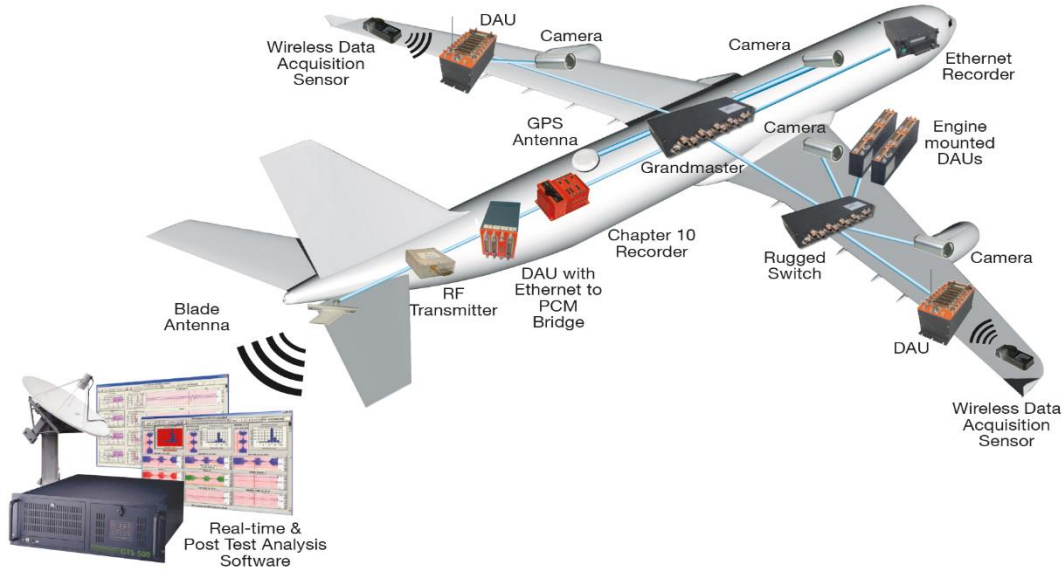
¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Ali İhsan MENEVŞE, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri A.B.D., E-posta: menevsealiihsan@gmail.com

² Doç. Dr. Işıl YAZAR, Uçak Müh. Böl., E-posta: iyazar@ogu.edu.tr

Teknolojinin ve buna bağlı olarak havacılığın gelişmesiyle daha kusursuz, daha güvenilir yapıların tasarlanması, oluşturulması ve geliştirilmesi, sebebi bulunamayan arızaların tespit edilmesi ve test amaçlı fazla uçuşlardan kaynaklı çevresel ve maddi zararların azaltılması için uçuş test enstrümantasyonu uygulanabilmektedir. Bu enstrümantasyon işlemi, sivil ve askeri her türlü uçak, helikopter, insanız hava aracı ve bunlara takılabilecek pilon, harici yakıt tankı, mühimmat vb. faydalı yükler üzerinde gerçekleştirilebilir [AGARD,1994; Crouse, 2005]. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde uçuş test enstrümantasyonu genel yapısı, uygulama aşamaları ve örnek uygulamalar hakkında bilgi verilecektir.

UÇUŞ TEST ENSTRÜMANTASYONU GENEL YAPISI

Uçağın neredeyse tamamına yerleştirilmiş uçuş test enstrümantasyonu ekipmanları temsili olarak Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Uçuş test enstrümantasyonu genel yapısı [esa, 2022]

Hava aracına veya faydalı yüklere uygulanacak ekipman entegrasyonu ile,

- Veri haberleşmeleri (MIL-STD-1553, ARINC 429 vb.),
- Kamera ve ekran görüntüleri,
- Sesli haberleşmeler,
- Sıcaklık, titreşim, gerinim, basınç, kuvvet, ivme, frekans, akım ve gerilim gibi fiziksel büyüklükler,
- GPS parametreleri gibi veriler kaydedilebilir, işlenebilir veya iletilebilir.

Planlanan uçuş testi kapsamında istenilen veri ve iletim tipine göre,

- Veri toplama şasileri,
- Şasiler üzerine takılıp programlanabilen modüller (analog, dijital, veri kayıt, video, bus vb.),
- Sensör, transdüser, gyro, gerinim ölçer, termokupl vb. ölçüm elemanları,
- Anten ve telemetri sistemleri,
- Zaman üreteçleri,
- Ağ kayıt cihazları ve ağ anahtarları,
- Taşınacak sinyal tipine göre uygun kablo donanımları ve konnektörleri,
- Ekipmanlara uygun yazılım arayüz ve cihazları gibi ürünler kullanılır [curtisswrightds, 2022 a].

Uçuş test faaliyetleri tipik olarak sıkışık zaman dilimlerinde icra edilirler ve bu zamandaki gecikmeler, aksaklıklar işgücü kaybına ve yüksek maliyetli ilave uçuşlara yol açar. Bu faaliyetler sırasında toplanması istenen verilerin değişmesi genellikle alışılmış bir durum değildir. Aksi takdirde, ekipman ve kablo donanımı değişimi uzun zaman alır. Bu yüzden havacılık çevresel

şartlarına uyumlu, onaylanmış ürünlerin kullanımı doğru veri toplanması için riskleri en aza indirecektir [curtisswrightds, 2022 b].

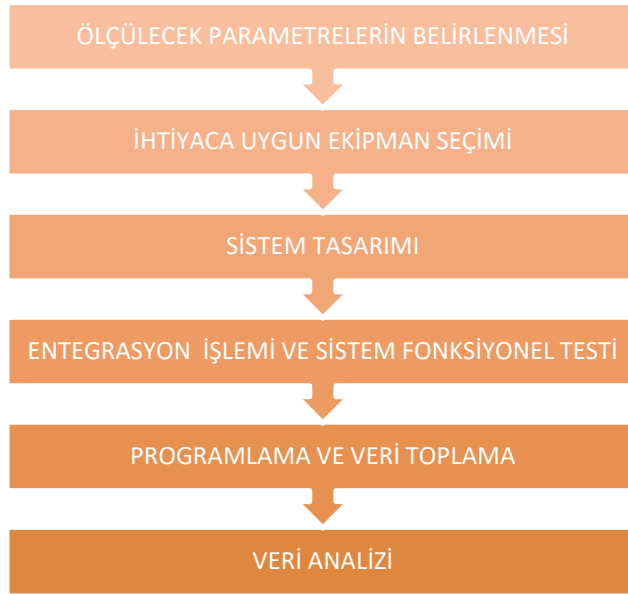
UÇUŞ TEST ENSTRÜMANTASYONUNUN UYGULAMA AŞAMALARI VE ÖRNEK UYGULAMALAR

Hava aracı tasarımı alanındaki büyük ilerlemeler uçuş test enstrümantasyon tekniklerinin gelişmesinde tetikleyici rol oynamıştır. Hava araçlarının performanslarındaki artışlar, uçuş test parametrelerinin daha fazla sayıda olması ve daha yüksek doğrulukta ölçülmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Ölçülecek parametrelerdeki bu artış, enstrümantasyon sistemi tasarımını daha sistemli yapmayı gerektirmiştir. Test koşma ve bir saatlik uçuş maliyetleri düşünüldüğünde, sistematik tasarım yapmamanın maliyeti çok fazla olabilmektedir.

Sistematik yaklaşımdaki amaç, toplanan verileri analiz etmek için harcanan zaman ve iş gücünü indirmek, sistemin karmaşıklığı ve büyüklüğünü azaltmak, bununla beraber güvenilirliği arttırmaktır. Bu amaç çerçevesinde sistematik yaklaşımlarla yapılacak enstrümantasyon tasarımlarında, komponentlerin performansını ve her bir alt sistemin özelliklerini iyi bilmek gerekmektedir. Enstrümantasyon tasarımındaki önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir [Durbin]:

- (1) Ölçülecek veri sayısı
- (2) Ölçüm sistemi için gerekli dinamik cevaplar
- (3) Ölçüm sonu istenen veri şekli
- (4) Sistemin karmaşıklığı
- (5) Hesaplanacak ve otomatik indirgenecek verilerin uygun ve makul olması
- (6) Önceden kayıtlı hesaplamaların makul olması
- (7) Aerodinamik verilerin doğruluğu
- (8) Ekipman, tesis ve tecrübe yeterliliği

Tasarım aşamasındaki önemli faktörler göz önüne alınarak gerçekleştirilecek bir uçuş test enstrümantasyonu faaliyeti uygulama aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



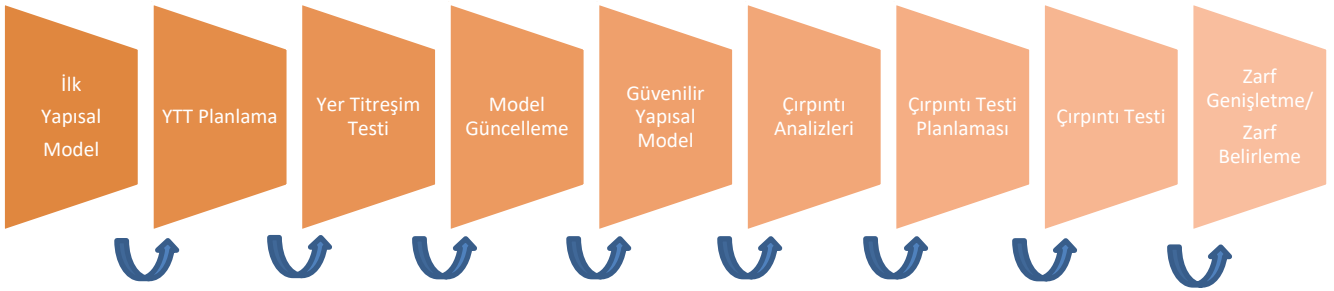
Şekil 2: Uçuş test enstrümantasyonu uygulama aşamaları

Örnek Uygulama 1:

Yeni yüzyılda uzay destekli hava kuvvetinin önem kazanmasıyla birlikte akıllı mühimmatlar, savunma sanayinin yüksek teknolojiye sahip sistemleri haline gelmiştir. Ancak askeri uçak tasarımları kadar, askeri uçaklar üzerinde yapılacak değişiklikler de uçuş emniyeti nedeni ile

esnetilemeyen kurallara bağlanmıştır [Department of Defense Handbook, 1992]. Yapılacak değişiklikler bu kurallara uyulduğunun testler ile ispatlanması durumunda onaylanmaktadır. Bu testlerin en önemlilerinden olan uçuşta çarpıntı (flutter) testi, uygunluk testleri arasında en riskli olanı ve öncesinde en çok analitik çalışma gerektiren testtir. Analitik çalışmaların ilkinin yer titreşim testleri oluşturmaktadır. Yer titreşim testinin amacı, yapının doğal frekanslarını, mod şekillerini ve sönümlenme oranlarını belirlemektir. Bu parametreler, çarpıntı analizlerinde kullanılacak analitik modeli doğrulamak ve güncellemek için kullanılmaktadır. Yer titreşim testleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen veriler kullanılarak yapısal modeller güncellenmektedir. Aerodinamik modeller ile birleştirilen yapısal modeller kullanılarak da çarpıntı analizleri gerçekleştirilir. Analizler sonucunda gerekli görülen kullanım konfigürasyonlarının çarpıntı testleri gerçekleştirilerek zarf belirleme/genişletme çalışmaları tamamlanmaktadır. Sürecin döngüsü Şekil 3'te verilmiştir.

Çarpıntı testleri için kullanılacak uçak üzerine testler sırasında ölçüm yapmayı ve elde edilen verinin ilgili noktalara iletimini sağlayacak donanımların yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu donanımlar arasında bulunan sarsıcılar, eyletim (tahrik) kuvveti ilgilenilen frekans aralığında yeterli olacak, uçağın modal özelliklerini etkilemeyecek ve elektriksel ya da hidrolik eyletim gereksinimleri açısından uçak tarafından desteklenebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Testler sırasında eyletim, modal sarsıcı, dönen kütle, hareket eden aerodinamik yüzey veya piroteknik sarsıcı ile verilebilmektedir. Bazı yöntemlerde hava burgacı ölçülemese de kuvvet kaynağı olarak kullanılabilir. Eyletim sinyali olarak 4 çeşit sinyal tipi (impulse, dwell, sweep, noise) kullanılabilir. Uygulanan kuvvete karşı yapıda oluşan titreşimler ivmeölçerler ya da gerinim pulları ile ölçülerek yer istasyonuna iletilmektedir. Daha sonra iletilen veri kullanılarak modal analizler gerçekleştirilmekte ve elde edilen frekans ve sönümlenme sonuçları çarpıntı hızı kestiriminde kullanılmaktadır [Köksal ve Özşahin, 2012].



Şekil 3: Çarpıntı sertifikasyonu döngüsü [Köksal ve Özşahin, 2012]

Örnek Uygulama 2

Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri Akademisi ve Sahil Güvenliği, merkez kanat kutusunu izleyerek HC-130H tipi uçağın emniyetli uçuş ömrünü tahmin etmek için birlikte çalışmışlardır.

Acra KAM-500 tipi veri toplama ünitelerini ivmeölçerlere, gerinimölçerlere ve sıcaklık, basınç irtifası ve nem sensörlerine bağlamışlardır.

Yapılan bu veri toplama işlemi ile Sahil Güvenliğe ait 16 adet uçağın servis ömrü %20 uzatılmıştır, Filo yaş ortalaması %11 azalmıştır ve gelecek nesil C130'lar için korozyon çalışmasında kullanılacak çevresel veriler toplanmıştır [Curtiss-Wright Defense Solutions Division, 2015].

Örnek Uygulama 3

2016 yılının ikinci yarısında Hollanda Havacılık Merkezi (NLR) tarafından daha sonraki helikopter tasarım ve iyileştirmelerine şekil verecek helikopter gürültü emisyonu ve performans verilerinin toplanmasına yönelik bir uçuş test kampanyası düzenlenmiştir.

Uçuş test enstrümantasyonu kapsamında; Şekil 4'de 1 numara ile gösterilen Global Navigation Satellite System (GNSS) anten ve alıcısı kullanılarak zaman senkronizasyonu sağlanmış, hava aracı hız ve konum bilgisi alınmış, aynı şekilde 2 numara ile gösterilen ataletsel ölçüm sistemi

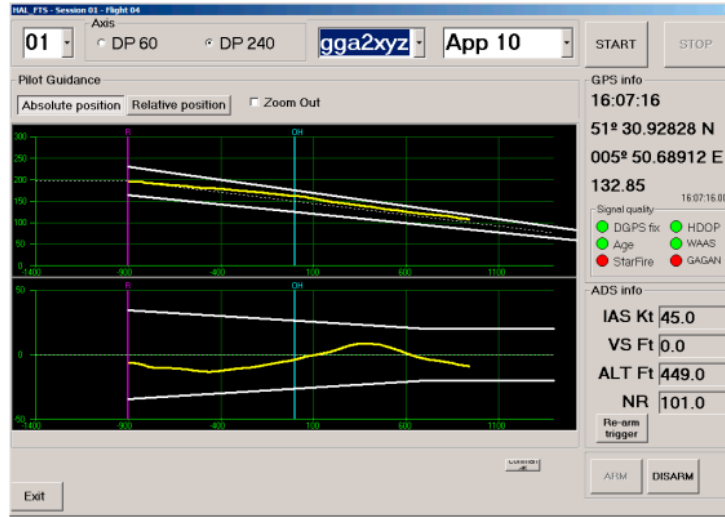
(IMU) sayesinde ise açısız hız, doğrusal ivme ve durum bilgileri elde edilmiştir. Kokpiti hava hızı, dikey hız, irtifa ve ana rotor dönüş hızı göstergelerini görecekte yerleştirilen kamera (Şekil 5) ile alınan görüntülerin işlenmesiyle bu veriler toplanmıştır. Toplanan tüm veriler uçuş sonu analizleri için kaydedilmiş ve uçuş test mühendisi tarafından sertifikasyon prosedürlerinden alınan değerlerle kılavuz program (Şekil 6) karşılaştırılmak üzere Şekil 4'de 3 numara ile gösterilen kokpitteki bilgisayar ile gerçekte zamanlı olarak aktarılmıştır [Uiterlinden ve diğerkleri, 2018].



Şekil 4: Ölçümlendirme sistem baz plakası [Uiterlinden ve diğerkleri, 2018]



Şekil 5: Kokpit kamerası [Uiterlinden ve diğerkleri, 2018]



Şekil 6: Kılavuz program [Uiterlinden ve diğerleri, 2018]

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, uçuş test enstrümantasyonu faaliyetinin yapısından, amaçlarından, avantajlarından ve uygulamalarından bahsedilmiştir. Her türlü hava aracına ve ona bağlı faydalı yüklerle uygulanabilir olmasından dolayı, çok fazla uçuş test verisi hakkında bilgi edinmeye olanak sağlamaktadır. Elde edilen bu veriler sayesinde ise bir yapının üretim aşamasından kullanım aşamasına kadar birçok noktada iyileştirme, geliştirme ve arıza giderme işlemleri icra edilmektedir. Bu işlemler sırasında harcanacak fazla zaman ve uçuş maliyetleri, uçuş test enstrümantasyonu ile azaltılmış olur. Tüm bunlar göz önüne alındığında, havacılık sektöründe uçuş test enstrümantasyonunun çok önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH & DEVELOPMENT (AGARD), 1994, Basic Principles of Flight Test Instrumentation Engineering, AGARDograph 160 Flight Test Instrumentation Series, Cilt 1 (2).
- Crouse, D. R., 2005, Introduction to Flight Test Engineering- Chapter 6-Flight test instrumentation north atlantic treaty organisation, RTO AGARDograph 300 Flight Test Techniques Series, Cilt 14.
- Curtiss-Wright Defense Solutions Division, March 2015 Presentation, 2014, Avionics and Electronics FTI Products.
- Department of Defense Handbook, Haziran 1992, Aircraft/Stores Compatibility: Systems Engineering Data Requirements and Test Procedures, MIL-HDBK-1763, ABD.
- Durbin E.J., The systems concept in planning flight test instrumentation, AGARD FLIGHT TEST MANUEL, Volume IV, Part 1A, Princeton University.
- Günaydın A.C., Hatipoğlu A., Fidanboylu K., 2019, Havacılık Sektöründe Fiber Optik Sensör Uygulamaları, X. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, Eskişehir.
- https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2016/02/Test_flight_instrumentation (Erişim: 24/02/2022)
- <https://www.curtisswrightds.com/products/flight-test/data-acquisition/acrakam500/> (Erişim: 24/02/2022) a.
- <https://www.curtisswrightds.com/applications/aerospace/flight-test/> (Erişim: 24/02/2022) b.

S.Köksal, E.Özşahin “Yer titreşim testleri, çarpıntı incelemeleri ve çarpıntı testlerinin mühimmat tasarımındaki yeri” IV. Ulusal havacılık ve uzay konferansı, Hava Harp Okulu, İstanbul, 12-14 Eylül 2012.

Tambova, Ş., 2021, Data acquisition system design and probabilistic approach to the acquisitional environments, Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi.

Uiterlinden R.M., Timmerman B., Tuinstra M., van Oosten N., Ionescu S.E., 2018, Camera-based imaging flight test instrumentation, NLR-TP-2017-540, Netherlands Aerospace Centre.