

KONVANSİYONEL VE KONVANSİYONEL OLMAYAN KONTROL YÜZEYLERİNE SAHİP İNSANSIZ HAVA ARACIN KANATLARININ AERODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İlhan Ozan TUNÇÖZ ^(a), Yosheph YANG ^(b), Serkan ÖZGEN ^(c),
Ercan GÜRSES ^(d), Melin ŞAHİN ^(e), Yavuz YAMAN ^(f)

- (a) ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, ozan.tuncoz@metu.edu.tr
(b) ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, yosheph.yang@metu.edu.tr
(c) Prof. Dr., ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, sozgen@ae.metu.edu.tr
(d) Y. Doç. Dr., ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, gurses@metu.edu.tr
(e) Doç. Dr., ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, msahin@metu.edu.tr
(f) Prof. Dr., ODTÜ, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., 06800, Ankara, yaman@metu.edu.tr

ÖZET

Bu bildiride insansız hava aracına ait bir kanattaki kontrol yüzeyleri konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan iki farklı konfigürasyonda aerodinamik açıdan incelenmiştir. Aerodinamik analizler için Pointwise® V17.0-R2 ve SU2 V2.0.001 adlı paket programlar kullanılmıştır. Konvansiyonel kontrol yüzeylerini hareket ettirebilecek tork miktarı aerodinamik veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerini hareket ettirecek tork miktarı ise bu çalışmadaki aerodinamik verileri kullanarak diğer bir çalışmada hesaplanmıştır [1].

Anahtar Kelimeler: Konvansiyonel kontrol yüzeyleri, Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyleri, Aerodinamik analiz, İnsansız Hava Aracı

ABSTRACT

In this work, aerodynamic analysis of an unmanned aerial vehicle wing having conventional and unconventional control surfaces was conducted. Pointwise® V17.0-R2 and SU2 V2.0.001 package programs were used for the analysis. Required torque to deflect conventional control surfaces was calculated by using aerodynamic data obtained from the analysis. Required torque to deflect unconventional control surfaces was calculated in another proceeding using aerodynamic data obtained in this study [1].

Keywords: Conventional control surfaces, Unconventional control surfaces, Aerodynamic analysis, Unmanned Aerial Vehicle

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, insansız hava aracına ait bir kanattaki kontrol yüzeyleri iki ayrı konfigürasyonda aerodinamik açıdan incelenmiştir. Bu iki ayrı konfigürasyon

konvansiyonel kontrol yüzeylerini ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerini kapsamaktadır.

Elde edilen bu bulguların bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı Projesi olan "CHANGE, Combined morphing assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development" [2] kapsamında geliştirilecek kanatta kullanılması planlanmaktadır.

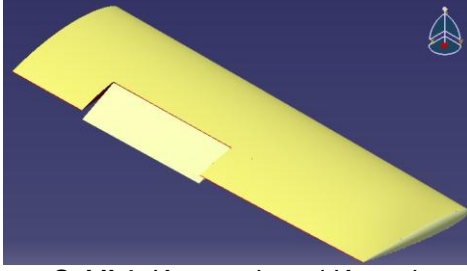
Kontrol yüzeylerinin amacı hava akışını bükerek kanat üzerindeki taşıma kuvveti dağılımını değiştirmektir. Konvansiyonel kontrol yüzeyleri havayı bükebilmek için kanada menteşelenmiş olup menteşe eksenini etrafında serbestçe dönebilmektedir. Dolayısıyla, konvansiyonel kontrol yüzeylerinin bu dönüş hareketi katı cisim hareketi gibi düşünülebilir, ve yapı içinde bir gerinme oluşmadığı varsayımı yapılabilir. Bu sayede, kontrol yüzeyini hareket ettirecek gerekli tork miktarı, aerodinamik verilerin direkt olarak kontrol yüzeyi üzerinde sayısal entegrasyonu ile hesaplanabilmektedir. Diğer bir yandan, konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin hareketi esnasında hem hava akışı bükülmekte hem de yapıya gerinme uygulanmaktadır. Dolayısıyla, bu kontrol yüzeylerini hareket ettirecek gerekli tork miktarı, sadece aerodinamik veriler kullanarak hesaplanamamaktadır. Tork miktarının hesaplanması için uygulanabilecek yöntemlerden biri tek yönlü katı-akışkan etkileşimi kullanılarak yapılacak sonlu elemanlar analizidir. Bu kapsamda yapılan analiz ve sonuçlar, yapısal özelliklerin değerlendirildiği paralel çalışmada sunulmuştur. [1]

Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyleri ile kanat arasında herhangi bir boşluk bulunmamaktadır. Boşlukların bulunmamasının, taşıyıcı yüzeyler etrafındaki akış kalitesini yükselttiği ve bu durumun kanadın aerodinamik performansını arttırdığı bilinmektedir [3]. Ayrıca, konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinde girinti ve çıkıntıların ortadan kaldırılması aerodinamik gürültünün de azalmasını sağlamaktadır [4].

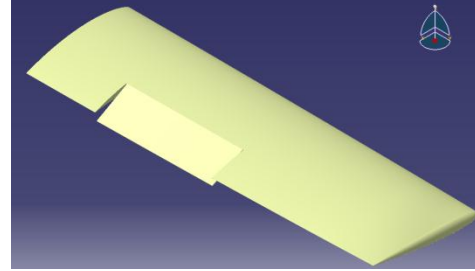
2. AERODİNAMİK ANALİZ

Aerodinamik analizlerde, CHANGE Projesi kapsamında tasarlanan iniş safhası kanat katı modeli kullanılmıştır. Kanat katı modeline, konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyleri ayrı ayrı eklenmiştir. Çözüm geometrisi de dahil olmak üzere oluşturulan tüm katı modeller CATIA V5-R62012 paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan katı modeller **Şekil 1** ve **Şekil 2**'de gösterilmiştir.

Aerodinamik analizler dört farklı durum olan, konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin eğilmediği ve eğildiği durumları kapsamaktadır. Aerodinamik analiz Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak yapılmıştır. HAD için çözüm ağı Pointwise® V17.0-R2 [5] paket programı kullanılarak oluşturulmuş, çözüm için ise SU2 V2.0.001 [6] paket programı kullanılmıştır.



Şekil 1. Konvansiyonel Kontrol Yüzeylerine Sahip Kanat (Anlaşılrlık Açısından Kontrol Yüzeylerinin Eğilmiş Durumu Gösterilmiştir)



Şekil 2. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeylerine Sahip Kanat (Anlaşılrlık Açısından Kontrol Yüzeylerinin Eğilmiş Durumu Gösterilmiştir)

CHANGE Projesi paydaşlarından “The Aircraft Research Association (ARA)” [7] tarafından, proje kapsamında planlanan uçuş profili kullanılarak, tüm uçuş safhalarındaki uçuş parametreleri belirlenmiştir. Yapılan bütün HAD analizlerinde, girdiler için iniş safhasındaki uçuş parametreleri kullanılmış olup, bu bilgiler

Çizelge 1'de gösterilmiştir.

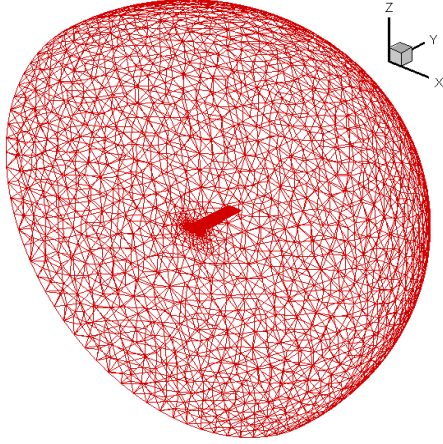
Çizelge 1. Tüm Konfigürasyonlar İçin Kullanılan İniş Safhası HAD Girdileri

Uçuş Hızı	47.68 [km/h]
Uçuş Mach Sayısı	0.0391
Reynolds Sayısı	524567
İrtifa	1000 [ft]
Hücum Açısı	6.373 [deg]
Türbülans Modeli	Spalart Allmaras
Çözücü Tipi	Incompressible RANS

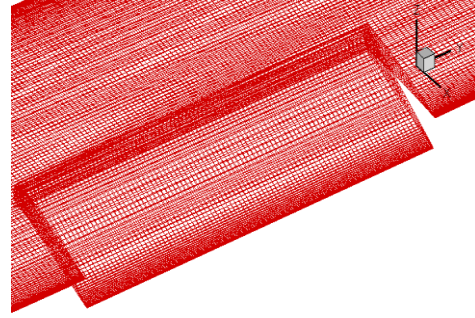
Çizelge 1'deki irtifa, deniz seviyesinden yükseklik cinsinden verilmiştir.

Bu çalışmada konvansiyonel kontrol yüzeylerinin eğilme miktarı yaklaşık 16 derece olarak kabul edilmiştir. Bu değer, TÜBİTAK 107M103 [4] projesi kapsamında geliştirilen insansız hava aracının konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin eğilmeleri baz alınarak elde edilmiştir. Eğilme açısı projedeki konvansiyonel olmayan kontrol yüzeyinin firar kenarı dikey yer değiştirmesi ve kontrol yüzeyinin boyu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sayede, aynı eğilme açısında konvansiyonel kontrol yüzeylerinin ve konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin aerodinamik davranışları karşılaştırılabilecektir.

Konvansiyonel kontrol yüzeyinin eğildiği durum için oluşturulan örnek çözüm kümesi geometrisi ve kanat geometrisi **Şekil 3** ve **Şekil 4**'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Konvansiyonel Kontrol Yüzeyine Sahip Bir Kanadın, Kontrol Yüzeyinin Eğildiği Durumda HAD İçin Oluşturulan Çözüm Kümesi Geometrisi



Şekil 4. Konvansiyonel Kontrol Yüzeyine Sahip Bir Kanadın, Kontrol Yüzeyinin Eğildiği Durumda HAD İçin Oluşturulan Kanat Çözüm Kümesi Geometrisi (Anlaşılabilirlik Açısından Sadece Konvansiyonel Kontrol Yüzeyi Gösterilmiştir)

Yapılan analizlerde tüm durumlar için kanat ve kontrol yüzeyi üzerinde dörtgen elemanlar oluşturulmuş ve oluşturulan çözüm ağı bilgileri **Çizelge 2**'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Tüm Konfigürasyonlarda Kanat ve Kontrol Yüzeyi Üzerinde Dörtgen Elemanlarla Oluşturulan Çözüm Ağı Bilgileri

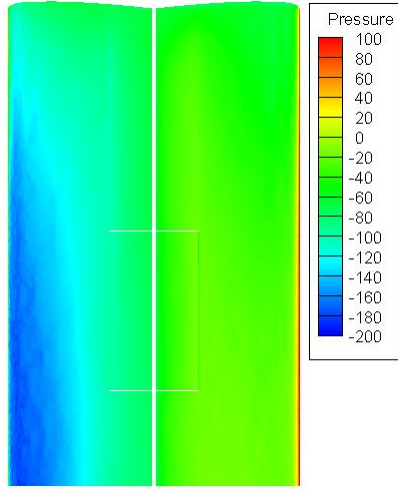
Durum	Eleman Sayısı	Düğüm Noktası Sayısı
Konv. – Eğilmemiş	1039349	218402
Konv. – Eğilmiş	1088178	225609
Konv. Olmayan – Eğilmemiş	1025530	214830
Konv. Olmayan - Eğilmiş	1042172	218016

3. BULGULAR

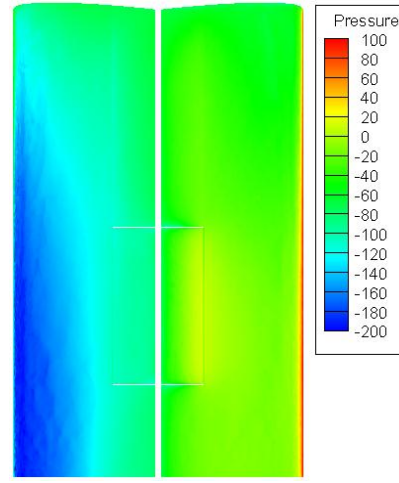
Yapılan analizler sonucunda kanat ve kontrol yüzeyi üzerinde elde edilen gösterge basıncı dağılımları incelenen dört farklı durum için **Şekil 5**, **Şekil 6**, **Şekil 7** ve **Şekil 8**'de sunulmuştur.

Elde edilen bulgular sonucunda konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerine sahip kanadın, konvansiyonel kontrol yüzeylerine sahip kanattan daha iyi bir aerodinamik performans göstermekte olduğu görülmektedir.

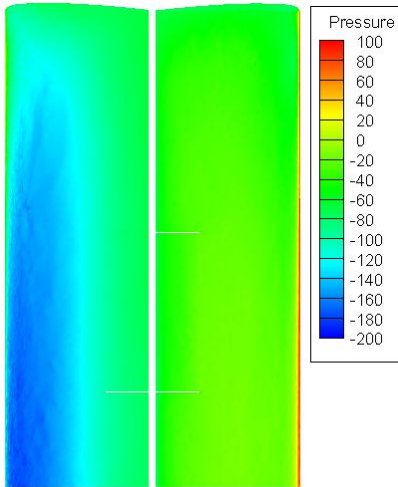
Analizler sonucunda elde edilen aerodinamik katsayılar, incelenen dört farklı durum için **Çizelge 3**'te sunulmuştur.



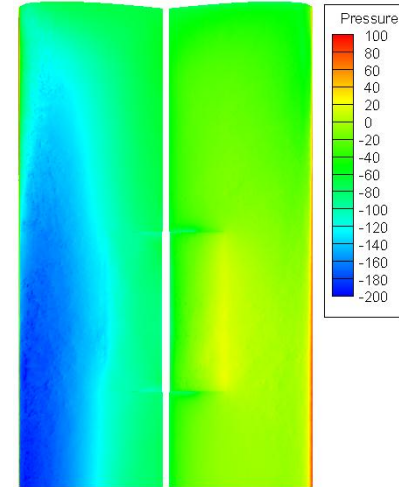
Şekil 5. Konvansiyonel Kontrol Yüzeylerine Sahip Bir Kanadın İnış Safhası Koşullarında ve Kontrol Yüzeyinin Eğilmediği Durumda HAD ile Elde Edilen Gösterge Basınç Dağılımı [Pa] (Üst Yüzey Solda, Alt Yüzey Sağda Gösterilmiştir)



Şekil 6. Konvansiyonel Kontrol Yüzeylerine Sahip Bir Kanadın İnış Safhası Koşullarında ve Kontrol Yüzeyinin Eğildiği Durumda HAD ile Elde Edilen Gösterge Basınç Dağılımı [Pa] (Üst Yüzey Solda, Alt Yüzey Sağda Gösterilmiştir)



Şekil 7. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeylerine Sahip Bir Kanadın İnış Safhası Koşullarında ve Kontrol Yüzeyinin Eğilmediği Durumda HAD ile Elde Edilen Gösterge Basınç Dağılımı [Pa] (Üst Yüzey Solda, Alt Yüzey Sağda Gösterilmiştir)



Şekil 8. Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeylerine Sahip Bir Kanadın İnış Safhası Koşullarında ve Kontrol Yüzeyinin Eğildiği Durumda HAD ile Elde Edilen Gösterge Basınç Dağılımı [Pa] (Üst Yüzey Solda, Alt Yüzey Sağda Gösterilmiştir)

Çizelge 3. HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Aerodinamik Katsayılar

Durum	Taşıma Katsayısı	Sürüklenme Katsayısı	Taşıma / Sürüklenme
Konv. – Eğilmemiş	0.769	0.070	10.986
Konv.– Eğilmiş	0.895	0.097	9.227
Konv. Olmayan – Eğilmemiş	0.808	0.073	11.068
Konv. Olmayan - Eğilmiş	0.964	0.104	9.269

Çizelge 3'ten konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerine sahip kanadın daha fazla taşıma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Aynı kanadın sürüklenme katsayısının konvansiyonel kontrol yüzeylerine sahip bir kanada göre daha fazla olduğu gözükmemektedir. Diğer yandan taşıma-sürüklenme oranına bakılırsa, konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerine sahip kanadın aerodinamik performansının daha iyi olduğu sonucuna rahatlıkla varılabilmektedir. Bunun birinci nedeni olarak konvansiyonel olmayan kanatta kumanda yüzeyi ile asıl kanat bileşeni arasında bir boşluk bulunmaması söylenebilir. Bu boşluğun olmaması o bölgede akışın bozulmasını engellemektedir. İkinci neden olarak konvansiyonel kanattaki kumanda yüzeyinin birleşme yerinde özellikle üst yüzeyde bir geometri süreksizliği bulunması ve bunun akım kopmasını tetikleyebileceği düşünülebilir. Konvansiyonel olmayan kanatta böyle bir süreksizlik bulunmadığı için akım kopmasının olumsuz etkilerinin daha az olacağı değerlendirilmektedir.

3.1 KONVANSİYONEL KONTROL YÜZEYLERİNİN OLUŞTURDUĞU TORKUN HESAPLANMASI

Kontrol yüzeyleri için kullanılacak olan servo motor seçimi için yüzeylerin ürettiği toplam tork miktarının hesaplanması çok önemlidir. Bu yüzden, HAD bulgularını kullanarak konvansiyonel kontrol yüzeyi üzerinde oluşan toplam tork miktarı, kontrol yüzeyinin hem eğildiği hem de eğilmediği durumlar için hesaplanmıştır.

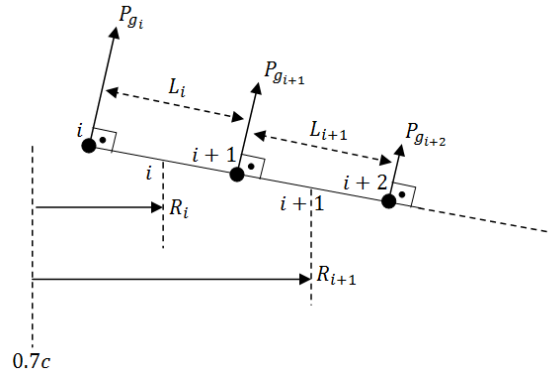
Hesaplamalarda kontrol yüzeyinin tam orta kanat açıklığı bölgesinde, kontrol yüzeyi veter boyu panellere bölünmüş ve basınç dağılımları kontrol yüzeyinin başlangıcı olan kanat veterinin %70'ine göre sayısal olarak entegre edilmiştir.

Tork hesabında kullanılan formül **Denklem (1)**'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} T_{cs} &= \sum_{i=1}^{N_{panel}} \left(\frac{C_{p_i} + C_{p_{i+1}}}{2} \times q_{\infty} \times b \right) \times L_i \times R_i \\ &= \sum_{i=1}^{N_{panel}} \left(\frac{P_{g_i} + P_{g_{i+1}}}{2} \times b \right) \times L_i \times R_i \end{aligned} \quad (1)$$

Denklem (1)'de, T_{cs} kontrol yüzeyinin ürettiği toplam tork [N-m], C_{p_i} i noktasındaki basınç katsayısı, q_∞ dinamik basınç [Pa], b kontrol yüzeyi açıklığı [m], L_i i panelinin uzunluğu [m], R_i i panelinin orta noktasının 0.7 veter göre olan moment kolu [m], P_{g_i} i noktasındaki gösterge basıncıdır [Pa].

Şekil 9'da, **Denklem (1)**'de kullanılan parametrelerden bazıları görselleştirilmiştir.



Şekil 9. Konvansiyonel Kontrol Yüzeylerinde Tork Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler (Anlaşılabilirlik Açısından Sadece Üst Yüzeyin Bir Bölümü Gösterilmiştir, c Veter Uzunluğudur)

Konvansiyonel kontrol yüzeyinin hem eğildiği hem de eğilmediği durumlar için üst ve alt yüzeyler 50'şer panele bölünmüş olup, sayısal entegrasyon toplamda 100 panel için gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda **Çizelge 4**'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4. Konvansiyonel Kontrol Yüzeyinin Eğildiği ve Eğilmediği Durumlarda Ürettiği Tork Miktarı

Eğilme Durumu	Tork [N-m]	Tork [kg-cm]
Eğilmemiş Durum	0.46	4.69
Eğilmiş Durum	0.8	8.20

Elde edilen bulgulara 1.5 güvenlik faktörü uygulanırsa, servo motorların uygulaması gereken tork miktarı 12.3 [kg-cm] mertebelerindedir. Servo motor ve uygun pil seçimi elde edilen bu bulgular doğrultusunda gerçekleştirilmiştir [1].

4. SONUÇ

Yapılan analizler ve elde edilen bulgular sonucunda, beklendiği gibi, konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerinin aerodinamik performansının konvansiyonel kontrol yüzeylerine kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda konvansiyonel kontrol yüzeylerini 16 derece eğdirebilecek tork miktarının 12.3 [kg-cm] olduğu tespit edilmiştir. Aerodinamik analizler uçuşun iniş safhasında yapıldığından ötürü kontrol yüzeylerinin flap olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda uygun servo motor ve pil seçimi yapılmıştır [1].

Konvansiyonel olmayan kontrol yüzeylerini hareket ettirecek tork miktarı direkt olarak aerodinamik verilerden hesaplanamayacağından ötürü, elde edilen aerodinamik veriler paralel bir çalışmada kullanılmış ve gerekli tork miktarı hesaplanmıştır [1].

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 'FP7-AAT-2012-RTD-1, Collaborative Project, Grant Agreement Number: 314139. 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' projesi kapsamında desteklenmektedir.

Yazarlardan İlhan Ozan Tunçöz ve Yosheph Yang, yüksek lisans eğitimleri boyunca kendilerini destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] P. Arslan, U. Kalkan, H. Tıraş, E. Gürses, S. Özgen, M. Şahin, Y. Yaman, (2014), "Konvansiyonel ve Konvansiyonel Olmayan Kontrol Yüzeylerine Sahip İnsansız Hava Aracı Kanatlarının Ağırlıklarının İncelenmesi", *SAVTEK2014, 7. Savunma Teknolojileri Kongresi*, 25-27 Haziran 2014, ODTÜ, Ankara
- [2] CHANGE FP7 Project, www.fp7-change.eu, (14.12.2014)
- [3] M. Kintscher, M. Wiedemann, H. P. Monner, O. Heintze (2012), "Design of a Smart Leading Edge Device for Low Speed Wind Tunnel Tests in the European Project SADE", *2nd EASN Workshop on Flight Physics and Propulsion*, Prag, Çek Cumhuriyeti.
- [4] Y. Yaman, S. Özgen, M. Şahin, G. Seber, L. Ünlüsoy, E.T. İnsuyu, E. Sakarya, (2011), "Göreve Uyumlu Kumanda Yüzeylerinin Geliştirilmesi", *Savunma ve Havacılık Dergisi*, ISSN: 1300-2082, Cilt: 25/143, Sayı: 2011/01, Sayfa: 161-162, 2011
- [5] Pointwise Mesh Generation Software, <http://www.pointwise.com/>, (14.12.2014)
- [6] Stanford University Unstructured (SU2), <http://su2.stanford.edu/>, (14.12.2014)
- [7] The Aircraft Research Association (ARA), <http://www.ara.co.uk/>, (14.12.2014)