

BÜYÜK ORANDA ŞEKİL DEĞİŞTİREBİLEN KONTROL YÜZEYLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Harun Tıraş¹, İlhan Ozan Tunçöz², Ercan Gürses³, Melin Şahin⁴, Serkan Özgen⁵, Yavuz Yaman⁶

ABSTRACT:

In this work the excitation forces, which are necessary for the required displacements of morphing control surfaces of an UAV, are studied.

The work has been conducted within the context of an EU FP7 project 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' (CHANGE, 2012). The possible control surfaces of the wing were generated using CATIA V5-6R2012 software. Finite element analysis of the control surfaces was conducted by ANSYS[®] 14.0 package program.

Key Words: *Morphing, Control Surfaces, Finite Element Analysis*

ÖZET:

Bu çalışmada, büyük oranda şekil değiştirebilen kontrol yüzeylerine sahip bir insansız hava aracında, kontrol yüzeylerini hareket ettirip, istenen şekil değiştirmeleri sağlayacak kuvvetler incelenmiştir.

Çalışmalar bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı projesi olan 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' projesi (CHANGE, 2012) kapsamında sürdürülmektedir. Bu tür bir kanatta kullanılması olası şekil değiştirebilen kontrol yüzeyleri, CATIA V5-6R2012 paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Kontrol yüzeylerinin sonlu elemanlar analizi ise ANSYS[®] 14.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelime: *Şekil Değiştirme, Kontrol Yüzeyleri, Sonlu Eleman Analizleri*

1. GİRİŞ:

Konvansiyonel kontrol yüzeyleri uçaklarda daha fazla taşıma kuvveti yaratmak ya da uçaklara gerekli manevraları yaptırmak için kullanılmaktadır. Kullanılan bu kontrol yüzeylerinin çoğunda, kanat ile kontrol yüzeyleri arasında boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklar, taşıyıcı yüzeyler olan kanat ve kontrol yüzeyleri etrafındaki akışı bozarak, aerodinamik verimliliği azaltmakta ve aşırı aerodinamik gürültüye neden olmaktadır.

¹Y. Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, tiras.harun@metu.edu.tr

²Y. Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, ozan.tuncoz@metu.edu.tr

³Y. Doç. Dr., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, gurses@metu.edu.tr

⁴Doç. Dr., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, msahin@metu.edu.tr

⁵Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, sozgen@ae.metu.edu.tr

⁶Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, yyaman@metu.edu.tr

Bu çalışmada, büyük oranda şekil değiştirebilen kontrol yüzeylerine sahip bir insansız hava aracında, kontrol yüzeylerini hareket ettirip, istenen şekil değiştirmeleri sağlayacak kuvvetler incelenmiştir. İncelenen bu kontrol yüzeyleri ile kanat arasında herhangi bir boşluk bulunmamaktadır (seamless wing). Boşlukların bulunmamasının, taşıyıcı yüzeyler etrafındaki akışın kalitesini yükselttiği ve bu durumun kanadın aerodinamik performansını arttırdığı belirtilmiştir (Kintscher, Wiedemann, Monner, Heintze, 2012).

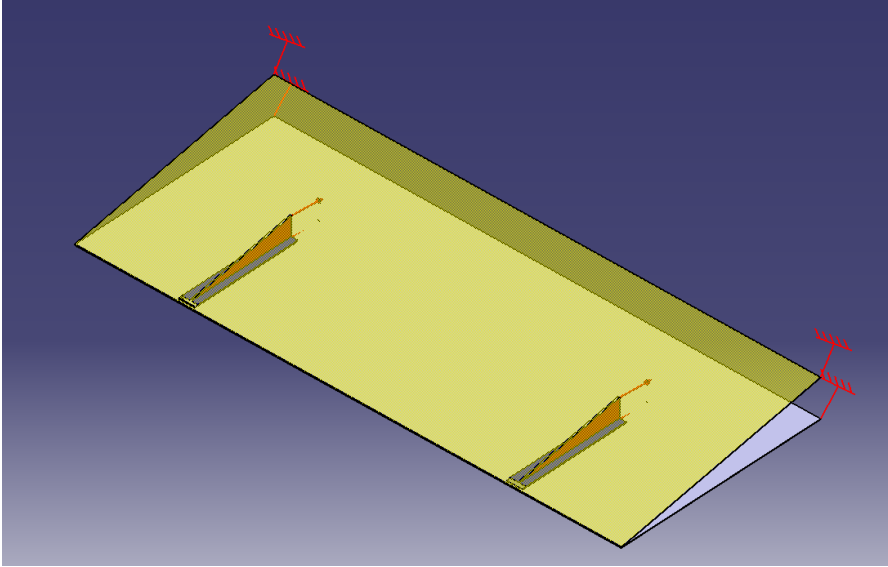
2. MODELLEME:

2.1. Katı Modelleme:

İncelenen kontrol yüzeylerinin, bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı projesi olan 'CHANGE, Combined morphing Assessment software using flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' (CHANGE, 2012) kapsamında geliştirilecek kanatta kullanılması planlanmaktadır.

Bu tür bir kanatta kullanılması olası şekil değiştirebilen kontrol yüzeyi CATIA paket programı kullanılarak oluşturulmuş ve katı model Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Şekil Değiştirebilen Kontrol Yüzeyi Katı Modeli



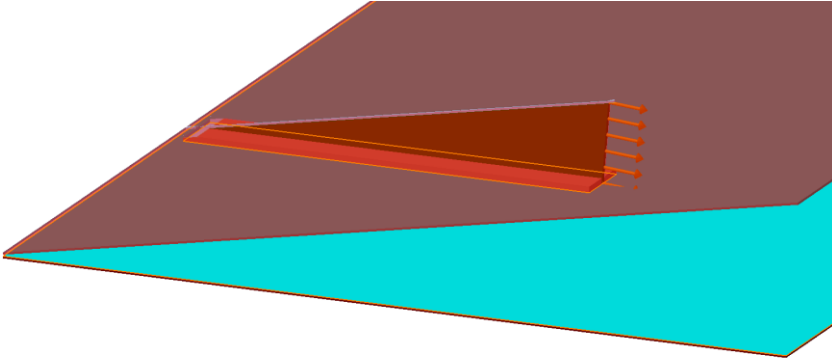
Oluşturulan bu modelde kontrol yüzeyinin veter boyu, kanadın toplam veterinin %40'ı kadardır. Kontrol yüzeylerinde profil kamburunun etkisi göz önüne alınmamış, tüm parçalarda Alüminyum 2024-T3 alaşımı kullanılmıştır. Açık firar kesitli kontrol yüzeylerinde daha düşük yapısal gerilmeler oluştuğundan ve servo motorların uygulaması gereken kuvvetlerin mertebelerinin daha düşük olduğu bilindiğinden (Seber, Sakarya, 2010), kontrol yüzeyleri açık firar kesitli olarak tasarlanmıştır (Ricci, 2008), (Yaman, Özgen, Şahin, Seber, Nalbantoğlu, Sakarya, İnsuyu, Ünlüsoy, 2010). Kanat profili ve incelenen kontrol yüzeyi profili Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2: Kanat Profili ve Kontrol Yüzeyi Profili



İncelenen kontrol yüzeyi modelinde üst yüzey ve alt yüzey arasında, üst yüzeye mesnetlenen iki adet destek bulunmaktadır. Servo motorlardan elde edilen kuvvetler, kontrol yüzeyine bu destekler aracılığıyla iletilerek, kontrol yüzeyinin hareketi sağlanmaktadır. Destekler ve aktarılan kuvvetler Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 3: Kontrol Yüzeyi Destekleri ve Servo Motordan Gelen Kuvvetler



Üst ve alt yüzeyin istenen şekilde hareket etmesini sağlayacak destekler, alt yüzeye bağlanmış olan kanallar içinde kaymaktadır. Modelin basitleştirilmesi amacıyla, kanallar modellemeye dahil edilmemiştir.

2.2. Sonlu Elemanlar Modeli:

Oluşturulan katı modelin sonlu elemanlar analizi ANSYS® paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde, farklı yoğunluklarla ve eleman çeşitleriyle çözüm ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modelinin basitleştirilmesi amacıyla, desteğin kayacağı kanal modellenmemiş, ancak temas özellikleri tanımlanarak modele katılmıştır.

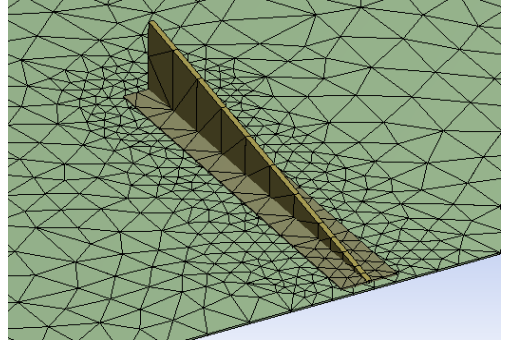
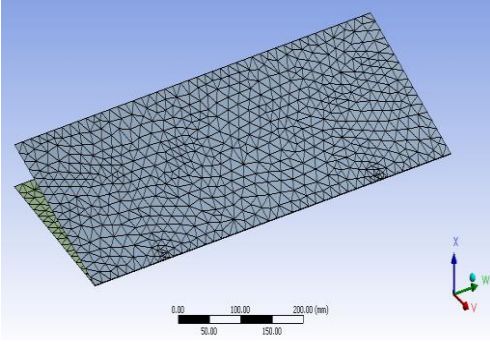
Oluşturulan tüm çözüm ağlarında kabuk elemanları kullanılmış olup, çözüm ağlarının yoğunlukları Tablo 1'de sunulmuştur. Oluşturulan ağlarının hepsi önce doğrusal elemanlar kullanılarak çözülmüş, sadece 7.5 mm'lik üçgen ve dörtgen elemanlardan oluşan ağlar ise ikinci derece elemanlar da kullanılarak çözülmüştür.

Tablo 1: Sonlu Elemanlar Modelinde Oluşturulan Çözüm Ağları

Eleman Tipi	Eleman Büyüklüğü - mm	Eleman Derecesi	Eleman Sayısı	Düğüm Noktaları Sayısı
Üçgen	30	Doğrusal	800	473
Üçgen	20	Doğrusal	1614	912
Üçgen	15	Doğrusal	2570	1418
Üçgen	15	Doğrusal + Yerel Temas Elemanları 5 mm	4216	2264
Üçgen	10	Doğrusal	5636	3011
Üçgen	7.5	Doğrusal	9272	4893
Üçgen	7.5	İkinci Derece	9272	19056
Dörtgen	30	Doğrusal	571	650
Dörtgen	20	Doğrusal	1018	1125
Dörtgen	15	Doğrusal	1686	1822
Dörtgen	15	Doğrusal + Yerel Temas Elemanları 5 mm	2840	2938
Dörtgen	10	Doğrusal	3646	3845
Dörtgen	7.5	Doğrusal	6441	6703
Dörtgen	7.5	İkinci Derece	6441	19845
Dörtgen	5	Doğrusal	13281	14206

Bu analizlere ek olarak temas bölgesi ağ yoğunluğunun çözüm hassasiyetine etkisi de incelenmiştir. Bu bağlamda 15 mm'lik elemanlara sahip hem üçgen hem de dörtgen çözüm ağlarında temas bölgesi ağının yoğunluğu, temas elemanlarının boyutları 5 mm olacak şekilde, yerel olarak arttırılmıştır. Bu duruma karşılık gelen 15 mm'lik üçgen çözüm ağı ve destekler etrafındaki temas elemanları Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4: Kontrol Yüzeyi Sonlu Elemanlar Modelinde 15 mm'lik Elemanlara Sahip Üçgen Çözüm Ağı ve Temas Elemanları



2.2.1. Çözüm Yöntemleri:

Temas içeren ve özellikle büyük şekil değiştirmelerin olduğu sonlu eleman modellerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi ıraksama durumudur. Bu sebepten ötürü, yapılan çözümlerde ıraksama problemini ortadan kaldırmak amacıyla izlenen yöntemleri şu şekilde özetleyebiliriz:

- Temas normal direngenliği (*Contact Normal Stiffness*) program tarafından kontrol edilecek şekilde seçilmiş ve her iterasyonda elde edilen normal direngenlik değeri geniş bir seçim aralığı (*aggressive*) kullanılarak elde edilmiştir.
- Desteklerin yüzeye temaslarında Gauss noktalarında algılama (*Detection Method On Gauss Point*), üst yüzey ile alt yüzey temasında düğüm noktası normal teması (*Nodal-Normal From Contact*) tanımlanmıştır.
- Çözüm aralıkları (*Maximum Substep*) öncelikli olarak en fazla 500 değere bölünmüş ve doğrusal olmayan analizlerde hesaplama zamanını azaltmak açısından çözüm aralıkları değerleri otomatik hale getirilmiştir (*Automatic Time Stepping*). Bu durumda, program ıraksama durumunda çözüm aralıklarını en fazla değer olan 500'e kadar arttırarak sonuç elde etmeye çalışmakta ve fazla hesaplamalardan kaçınmaktadır. En fazla değer olan 500'ün de ıraksaması durumunda, bu sayı arttırılarak çözüm yeniden başlatma (*Restart*) ile tekrar sağlanmıştır.
- Çözüm ağı oluşturulurken doğrusal olmayan yer değiştirme analizi ya da büyük oranlı yer değiştirme analizi için önerilen (*Aggressive Mechanical Shape Checking*) özelliği kullanılmıştır (ANSYS, 2013).

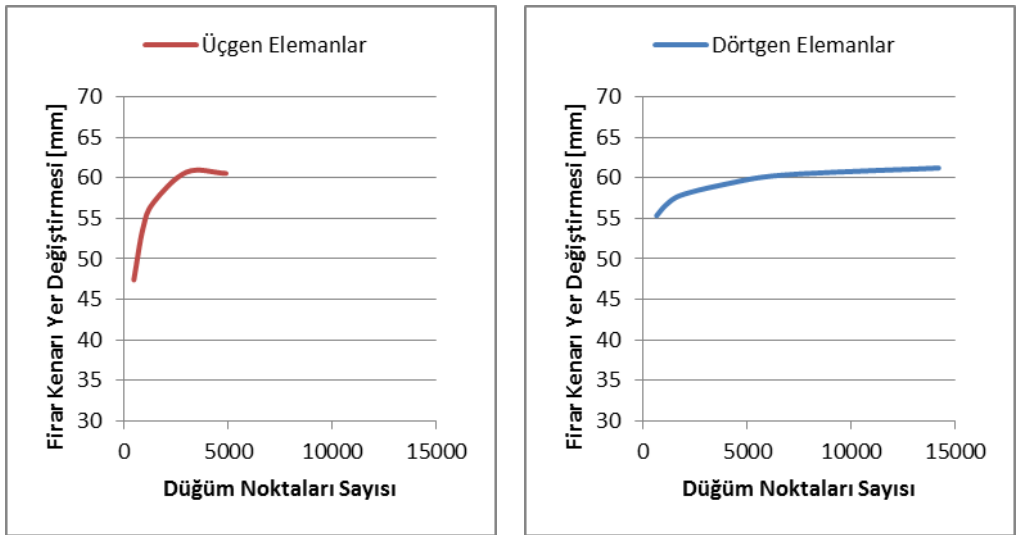
Analizler sürecinde, temas yüzeylerinde hem sürtünmeli hem de sürtünmesiz temas özellikleri kullanılmıştır. Sürtünmeli temas durumları için, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.5 olmak üzere 4 farklı sürtünme katsayısı ile çözümler yapılmış ve katsayıların sonuçlar üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Üst ve alt yüzeylere ankastre sınır şartları uygulanmıştır. Servo motordan gelen kuvvetlerin, Şekil 3 de gösterildiği gibi, desteklerin kenarlarına geldiği varsayılmıştır.

3. BULGULAR:

Yapılan incelemeler sonucunda, istenen şekil değişikliklerini verebilecek olan kuvvetlerin, destek başına 90 N mertebelerinde olduğu bulunmuştur. Farklı eleman tipleri ve çözüm ağları yoğunluklarıyla analizler yapılmıştır. Örnek olarak, üçgen ve dörtgen elemanların farklı yoğunlukta ve 0.2 sürtünme katsayısına sahip çözüm ağlarındaki yakınsama analizleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, dörtgen elemanlar kaba çözüm ağlarında üçgen elemanlara göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Çözüm

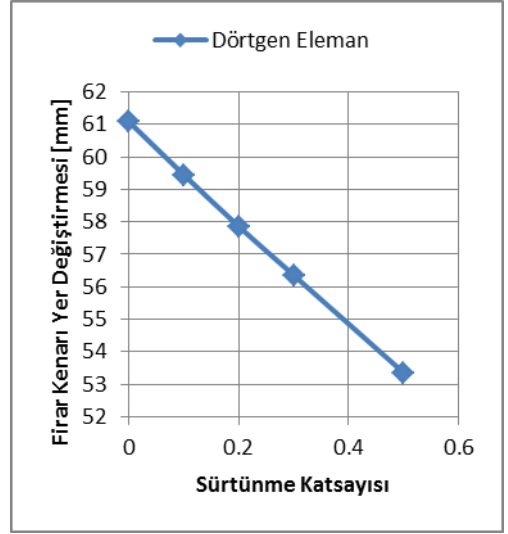
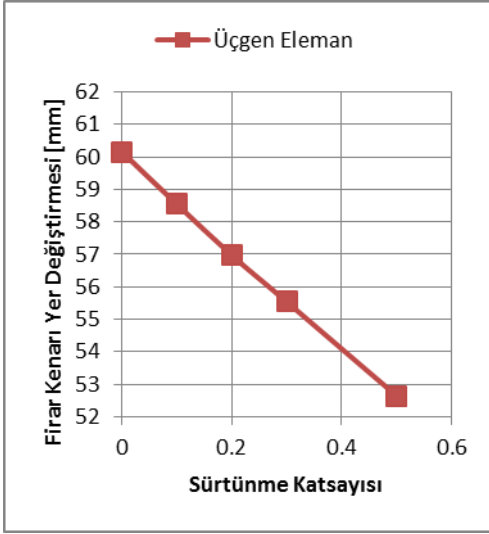
ağlarının yoğunluğu arttıkça her iki eleman tipi için de firar kenarı yer değiştirme değerleri aynı değere yakınsamaktadır.

Şekil 5: Kontrol Yüzeyinin Sonlu Elemanlar Modelinde Firar Kenarı Yer Değiştirme Sonuçlarının Yakınsama Analizi (Sürtünme katsayısı 0.2)



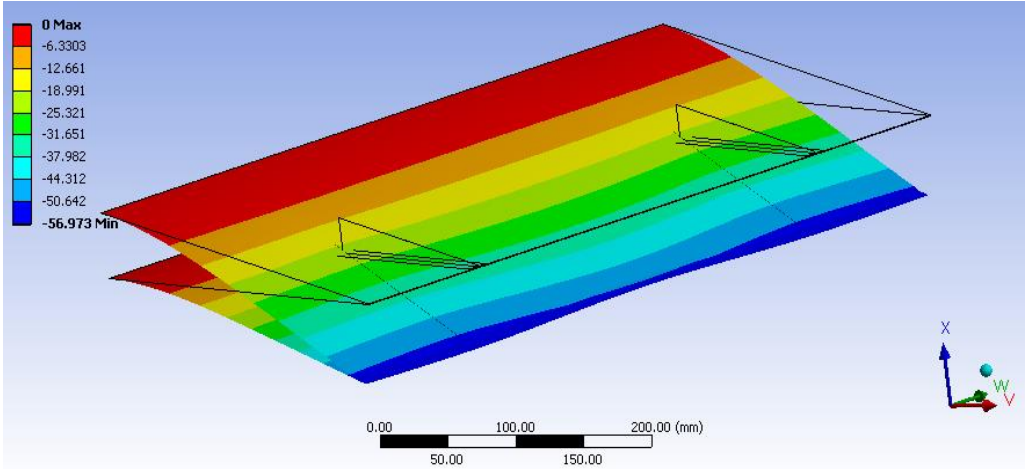
Şekil 6'da ise 15 mm'lik üçgen ve dörtgen elemanlarla oluşturulan kontrol yüzeyi sonlu elemanlar modeli çözüm ağlarındaki firar kenarı yer değiştirme sonuçlarının, sürtünme katsayısına bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir. Beklendiği gibi sürtünme katsayısı arttıkça aynı kuvvete karşılık gelen firar kenarı yer değiştirme azalmaktadır.

Şekil 6: Kontrol Yüzeyinin Sonlu Elemanlar Modelinde Firar Kenarı Yer Değiştirme Sonuçlarının Sürtünme Katsayısı ile Olan Değişimi (15 mm'lik elemanlar)



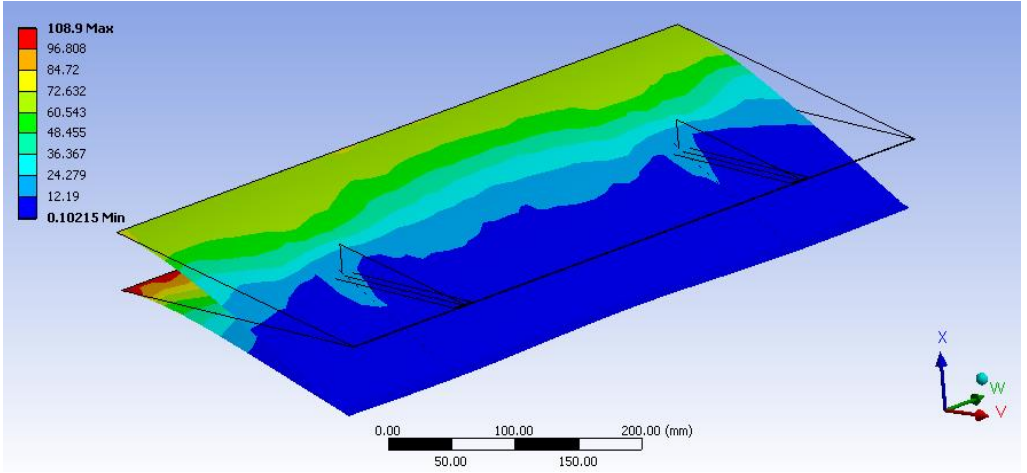
Şekil 7’de sürtünme katsayısının 0.2 olduğu ve 15 mm’lik üçgen elemanların kullanıldığı modelin yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

Şekil 7: Servo Motorlardan Gelen Kuvvetlerin Etkisinde Kalan Kontrol Yüzeyinin Sonlu Elemanlar Modelindeki Yer Değiştirme Sonuçları [mm] (Sürtünme katsayısı 0.2, 15 mm üçgen elemanlar)



Şekil 7’de, gösterilen modelin von Mises gerilme değerleri, Şekil 8’ de sunulmuştur. Bulunan en yüksek gerilme değeri, kullanılan malzemenin akma değeri olan 324 MPa (ASM, 2013) ile karşılaştırılmış ve uygulama sonucu oluşan gerilmelerin malzemenin akma gerilmesinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 8: Servo Motorlardan Gelen Kuvvetlerin Etkisinde Kalan Kontrol Yüzeyinin Sonlu Elemanlar Modelinde Oluşan von Mises Gerilmeleri [MPa] (Sürtünme katsayısı 0.2, 15 mm üçgen elemanlar)



Sürtünme katsayısı 0.2 olacak şekilde tanımlanan sürtüneli temas probleminin, farklı çözüm ağlarında ve farklı eleman derecelerindeki çözümlerinin bulguları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Sonlu Elemanlar Modelinde Farklı Çözüm Ağlarında ve Eleman Derecelerinde Firar Kenarı Yer Değiştirme Değerleri

Eleman Tipi	Eleman Büyüklüğü - mm	Eleman Derecesi	Firar Kenarı Yer Değiştirmesi- mm
Üçgen	30	Doğrusal	47.411
Üçgen	20	Doğrusal	53.808
Üçgen	15	Doğrusal	56.973
Üçgen	15	Doğrusal + Yerel Temas Elemanları 5 mm	57.813
Üçgen	10	Doğrusal	60.731
Üçgen	7.5	Doğrusal	60.562
Üçgen	7.5	İkinci Derece	60.749
Dörtgen	30	Doğrusal	55.335
Dörtgen	20	Doğrusal	56.718
Dörtgen	15	Doğrusal	57.863
Dörtgen	15	Doğrusal + Yerel Temas Elemanları 5mm	59.366
Dörtgen	10	Doğrusal	59.169
Dörtgen	7.5	Doğrusal	60.358
Dörtgen	7.5	İkinci Derece	60.759
Dörtgen	5	Doğrusal	61.225

4. SONUÇ:

Yapılan bu çalışmada, büyük oranda şekil değiştirebilen bir insansız hava aracı kontrol yüzeyleri incelenmiş ve bu kontrol yüzeylerini istenen şekilde hareket ettirebilmek için gerekli servo motor kuvvetleri belirlenmiştir. Oluşturulan katı model CATIA paket programı ile hazırlanmış, sonlu elemanlar analizi ise ANSYS® paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerde farklı yoğunluklarda, farklı eleman çeşitleri kullanılmış ve bulgular incelenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda; yine göreve uyumlu kanatlara sahip başka bir insansız hava aracından elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri göz önünde tutulduğunda (Yaman, Özgen, Şahin, Seber, Nalbantoğlu, Sakarya, İnsuyu, Ünlüsoy, 2010), bu çalışma için gerekli yer değiştirme değerlerinin servo motor başına 90 N'luk bir kuvvet mertebesinde olduğu belirlenmiştir. Bundan sonra yapılması planlanan çalışmalarda; kontrol yüzeyleri kanada entegre edilecek, kanat üzerine aerodinamik yükler uygulanacak ve bu şartlar altında gerekli olacak servo motor kuvvetleri belirlenecektir. Ayrıca kanat profilindeki mevcut boş alanlar dikkate alınarak kullanılacak servo motor belirlenecektir.

KAYNAKÇA

CHANGE (2012), *CHANGE FP7 Project*, <http://change.tekever.com/homepage>, [02.08.2013 tarihinde erişilmiştir.]

Kintscher, Markus, Martin Wiedemann, Hans Peter Monner, Olaf 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.

Seber, Güçlü, Evren Sakarya (2010), "Nonlinear Modeling and Aeroelastic Analysis of an Adaptive Camber Wing", *Journal of Aircraft*, Vol. 47, No. 6, pp. 2067-2074.

Ricci, Sergio (2008), "Adaptive Camber Mechanism for Morphing-Experiences at DIA-PoliMi", *Advanced Course on Morphing Aircraft, Mechanisms and Systems*, Lizbon, Portekiz.

Yaman, Yavuz, Serkan Özgen, Melin Şahin, Güçlü Seber, Volkan Nalbantoğlu, Evren Sakarya, Erdoğan Tolga İnsuyu, Levent Ünlüsoy (2009), "Göreve Uyumlu Kanatlara Sahip Bir İnsansız Hava Aracının Tasarımı", *UMTS2009, 14. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı: 275-281, ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü, Güzelyurt, KKTC*

ANSYS Knowledge Resources: Online Documentation, *Meshing User's Guide*, https://support.ansys.com/AnsysCustomerPortal/en_us/Knowledge+Resources/Online+Documentation/Current+Release/Meshing/ANSYS+Meshing/Meshing+User%27s+Guide?doc_link=/prod_docu/14.5/html/wb_msh/ds_meshing_white_paper.html, [05.08.2013 tarihinde erişilmiştir.]

ASM Aerospace Specification Metals Inc., ASM Material Data Sheet, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>, [13.08.2013 tarihinde erişilmiştir.]