

BÜYÜK ORANDA ŞEKİL DEĞİŞTİREBİLEN KANAT YÜZEYLERİNİN AERODİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Pınar Arslan¹, Uğur Kalkan², Yosheph Yang³, Serkan Özgen⁴, Melin Şahin⁵,
Ercan Gürses⁶, Yavuz Yaman⁷

ABSTRACT:

In this study, a morphing wing's structural properties are examined under the aerodynamic loads. This study is conducted within the scope of the 7th Framework Programme of the European Commission project 'CHANGE, Combined morpHing Assesment software usiNG flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' (CHANGE, 2012). For the Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis ANSYS Fluent® 14.0 is used as a package program. For the Structural analysis, ANSYS Static Structural® 14.0 package program is used. The wing skin characteristics were obtained by ignoring the effects of the wing internal structure. During the study different skin thicknesses were also considered.

Key Words: *Morphing Wings, Aerodynamic Analysis, Structural Analysis*

ÖZET:

Bu çalışmada, şekil değiştirebilen bir kanadın aerodinamik yükler altındaki yapısal özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve programı olan 'CHANGE, Combined morpHing Assesment software usiNG flight Envelope data and mission based morphing prototype wing development' projesi (CHANGE, 2012) kapsamında sürdürülmektedir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi için ANSYS Fluent® 14.0 paket programı kullanılmıştır. Yapısal analiz için ANSYS Static Structural® paket programı kullanılmıştır. Kanadın iç yapısının etkileri göz ardı edilerek kanat kabuğunun özellikleri elde edilmiştir. Çalışma sırasında farklı kabuk kalınlıkları incelenmiştir.

Anahtar Kelime: *Şekil Değiştirebilen Kanat, Aerodinamik Analiz, Yapısal Analiz*

1. GİRİŞ

Büyük oranda şekil değiştirebilen kanatlar uçağın aerodinamik verimini artırarak hem yakıt tasarrufu sağlamak hem de daha az yakıt kullanımına neden olacaklarından dolayı çevre kirliliğini azaltmakta etkin bir rol oynayacaklardır. Havayolu şirketlerinin maddi harcamalarının yaklaşık %50'si uzun mesafe uçuşlarının yakıt maliyetinden dolayıdır (Bolonkin, Gilyard, 1999). Bunun yanında bir uçağın harcadığı yakıtın %1 azaltılmasıyla yıllık 140,000\$ tasarruf elde edilebileceği de belirlenmiştir (Gilyard, Georgie,

1 Y. Lisans Öğrencisi., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, e167965@metu.edu.tr

2 Y. Lisans Öğrencisi., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, e167980@metu.edu.tr

3 Y. Lisans Öğrencisi., Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, e170236@metu.edu.tr

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

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

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

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

Barnicki, 1999). Günümüzde pek çok uçağın aktif olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, bir uçağın aerodinamik verimini artırmanın maddi açıdan çok önemli olduğu açıktır.

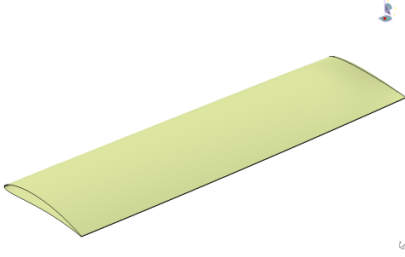
Bu çalışmada, büyük oranda şekil değiştirebilen bir kanadın aerodinamik yükler altındaki yapısal davranışı incelenip, değerlendirilmiştir.

2. KATI MODEL

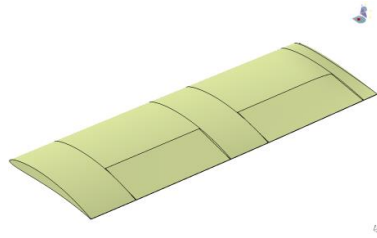
2.1 Kanat Katı Modeli

Kanat geometrisi, CHANGE projesi kapsamında diğer proje ortakları tarafından oluşturulan kanat katı modelinin açık yüzeylerinin de CATIA® paket programı kullanılarak kapatılması ve kontrol yüzeylerinin de eklenmesiyle tüm yüzeyleri kapalı ve ince cidarlı olarak tasarlanmıştır. Kanadın kontrol yüzeyleri, göreve uyumlu bir insansız hava aracı kanat geometrisinden (Yaman, Özgen, Şahin, Seber, Nalbantoğlu, Sakarya, İnsuyu, Ünlüsoy, 2009) esinlenerek tasarlanmıştır. Kanat katı modeli Şekil 1’de, kontrol yüzeylerinin eklendiği kanat katı modeli ise Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 1 Şekil Değiştirebilen Kanadın Katı Modeli



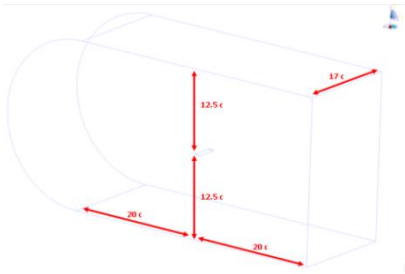
Şekil 2 Şekil Değiştirebilen Kanat ve Kontrol Yüzeyleri



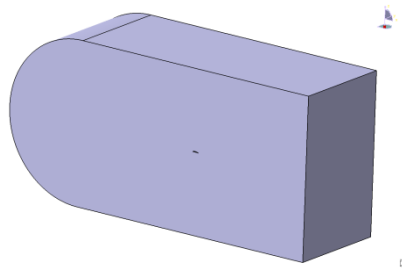
2.2 Aerodinamik Çözüm Kümesi

Çözüm kümesi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) çözümünde kullanılmak üzere CATIA® paket programında tasarlanmıştır. Çözüm kümesi geometrisi ve boyutları Şekil 3’de gösterilmiştir. Çözüm kümesini Şekil 3 (a)’daki boyutlara göre oluşturulduğundan kanat veter uzunluğuna “c” ihtiyaç vardır. Kanat veter uzunluğu CATIA® paket programı kullanılarak Şekil 2’den elde edilmiştir.

Şekil 3 Şekil Değiştiren Kanat Üzerinde Yapılacak HAD İçin Gerekli Çözüm Kümesi Boyutları ve Geometrisi



(a) Çözüm Kümesi Boyutları



(b) Oluşturulan Çözüm Kümesi

3. AERODİNAMİK ANALİZ

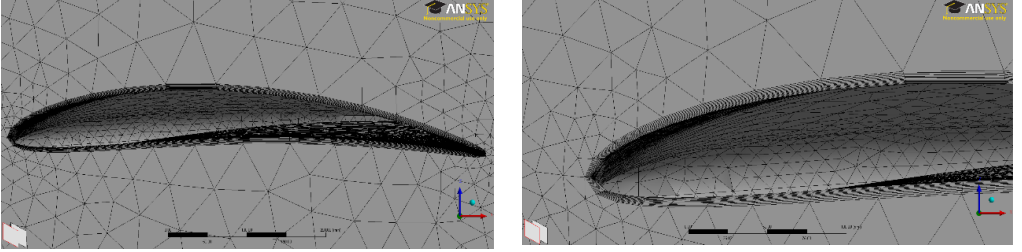
ANSYS Fluent® paket programı kullanılarak yapılacak aerodinamik analizler için, Şekil 3’de verilen çözüm kümesi geometrisine iri taneli piramit şekilli üç boyutlu elemanlarla çözüm ağı oluşturulmuştur. Tablo 1’de görüldüğü gibi en küçük ve en büyük eleman uzunluğu tanımlanıp, köşelere yaklaştıkça ve eğik yüzeylerde sık çözüm ağı atılmıştır.

Tablo 1 Şekil Değiştiren Kanadın Aerodinamik Analizi İçin Oluşturulan Çözüm Ağı Özellikleri

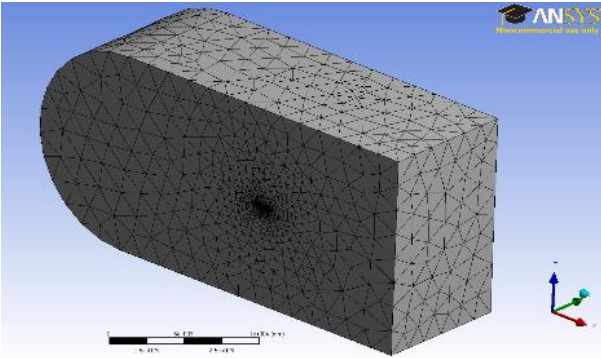
Eleman Tipi	En Küçük Eleman Uzunluğu [mm]	En Büyük Eleman Uzunluğu [mm]	Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı
Üç Boyutlu Piramit	12	3618	124735	510685

Aerodinamik analizin doğruluk derecesinin artırılması amacıyla yüzeydeki sınır tabakasının özellikleri de hesaplanmıştır. İlk katman yüksekliği 0.5 mm olarak tanımlanıp her katmanda yükseklik bir önceki katmanın yüksekliğinin 1.05 katı olarak 12 katmanlı yüzey tabakası oluşturulmuştur. Çözüm kümesi geometrisine oluşturulan çözüm ağı ise Şekil 5’de gösterilmiştir.

Şekil 4 Şekil Değiştiren Kanat Aerodinamik Analizi İçin Tanımlanan 12 Kat Ağ Tabakası (Ağ Tabakasının Daha İyi Görülebilmesi İçin Sağ Şekilde Ön Kenarın Yakınlaşmış Görüntüsü Verilmiştir)



Şekil 5 Çözüm Kümesi Geometrisinde Oluşturulan Çözüm Ağı



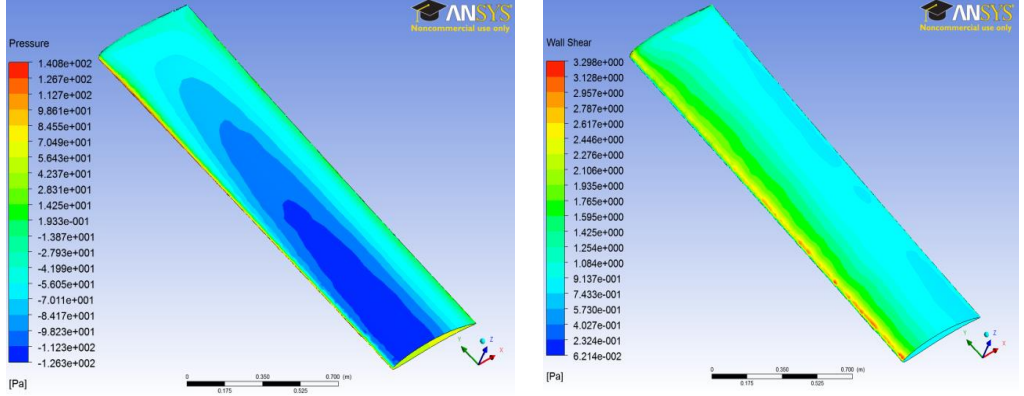
Seyir uçuşu için ANSYS Fluent® paket programı kullanılarak yapılan aerodinamik analiz için kullanılan temel girdiler Tablo 2’de verilmiştir. Spalart Allmaras türbülans modelinin kullanıldığı viskoz bir analiz yapılmıştır.

Tablo 2 Seyir Uçuşu İçin Yapılan Aerodinamik Çözüm İçin Kullanılan Temel Girdiler

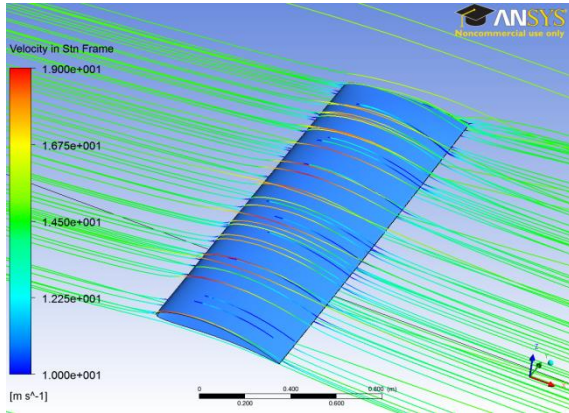
Hız [km/saat]	Hız [m/s]	Hücum Açısı [derece]	Hava Yoğunluğu [kg/m ³]	Havanın Yapışkanlığı [kg/(m*s)]
55	15.28	2.854	1.189	1.802e-5

Bu çalışmadaki aerodinamik analizin amacı şekil değiştirebilen uçak kanadına anlık etki eden aerodinamik kuvvetleri hesaplamaktır. Aerodinamik kuvvetlerde basınç kuvvetinin yanı sıra kayma gerilmesi de var olmasına rağmen büyüklük olarak basınç kuvvetiyle kıyaslanınca çok küçük olduğu için bu kuvvetin etkisi yok varsayılarak, yapısal çözümler elde edilmiştir. Tablo 2’deki girdilerle yapılan HAD analizi sonucunda şekil değiştirebilen uçak kanadına etki eden basınç kuvveti ile kayma kuvvetinin büyüklükleri Şekil 6’da karşılaştırılmıştır. Kanat üzerinde oluşan akım çizgileri ise Şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 6 Şekil Değiştirebilen Kanada Etki Eden Basınç Gerilmesi (sol) ve Kayma Gerilmesi (Sağ)



Şekil 7 Şekil Değiştirebilen Kanat Üzerinde Oluşan Akım Çizgileri



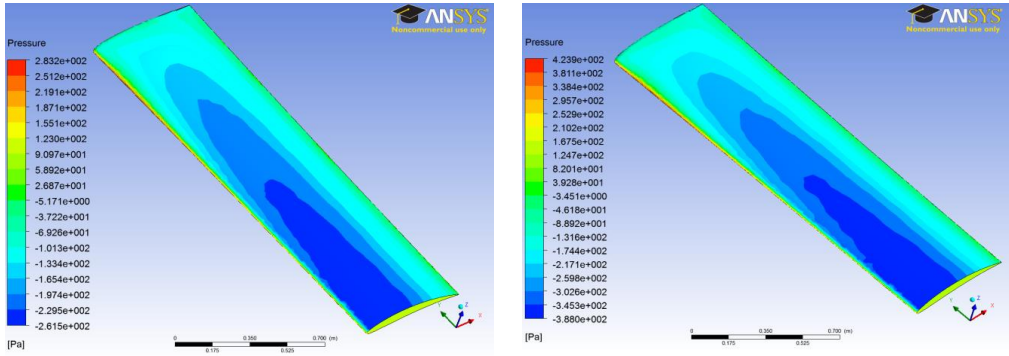
Kanadın aerodinamik analizinde hem 1g normal seyri, hem de 2g ve 3g'lik yüklerin oluşacağı uçuş durumları incelenmiştir. Teorik olarak hesaplanan (Raymer, 1992) ve ANSYS Fluent® paket programı kullanılarak belirlenen kaldırma kuvvetleri ile 2g ve 3g'lik yüklerin oluşacağı uçuş durumundaki hızlar teorik olarak hesaplanarak (Raymer, 1992) Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3 Farklı g Kuvvetlerinde Teorik Olarak Hesaplanan Hız ve Kaldırma Kuvvetleri ile ANSYS Fluent Paket Programıyla Hesaplanan Kaldırma Kuvvetleri

	Hız [m/s]	Teorik Hesaplanan Kaldırma Kuvveti [N]	ANSYS FLUENT® Paket Programıyla Elde Edilen Kaldırma Kuvveti [N]
1g	15.28	125.8	124.65
2g	21.609	249.3	250.936
3g	26.465	373.95	370.31

Şekil değiştirebilen kanat üzerinde 2g ve 3g kuvvetlerinde oluşan basınç değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8 Şekil Değiştirebilen Kanatta Farklı Kuvvetlerde Hesaplanan Basınç Değerleri (2g (sol) ve 3g (sağ))



4. AERODİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ KANADIN YAPISAL ANALİZİ

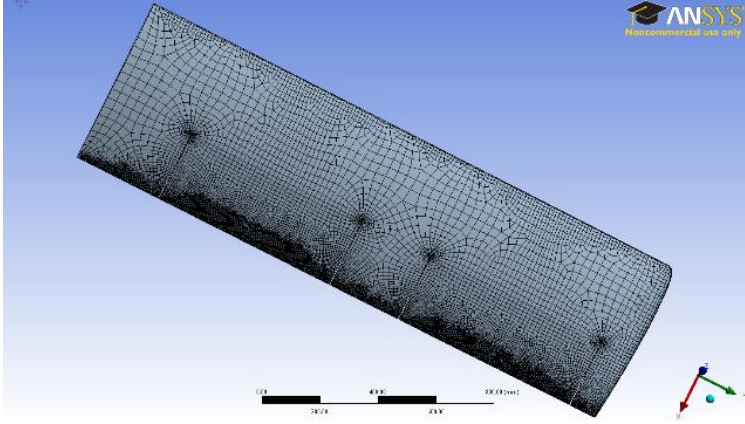
Şekil değiştirebilen bir kanadın yapısal analizinde Alüminyum 2024 T3 malzemesi kullanılarak farklı kabuk kalınlıkları değerlendirilmiştir.

HAD'dan gelen basınç kuvvetinin aktarılabilmesi için önce şekil değiştirebilen kanatta ANSYS Static Structural® paket programı kullanılarak çözüm ağı oluşturulmuştur. En küçük ve en büyük eleman uzunlukları ANSYS Static Structural® paket programına tanımlanarak çözüm ağı otomatik olarak oluşturulmuştur. Geometride süreksizliğin veya ani değişikliğin olduğu kontrol yüzeyi kanat bağlantı noktaları ve firar kenarı bölgelerinde çözüm ağı yoğunlaşmıştır. Çözüm ağı özellikleri Tablo 4'de gösterilmiştir. Şekil değiştirebilen kanat sonlu elemanlar modelinin ağ yapısı Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 4 Şekil Değiştirebilen Kanat Yüzeyinde Oluşturulan Yapısal Çözüm Ağı Özellikleri

Eleman Tipi	Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı
Dörtgen	48566	48658

Şekil 9 Şekil Değiştirebilen Kanat Yapısal Analiz Sonlu Elemanlar Modeli

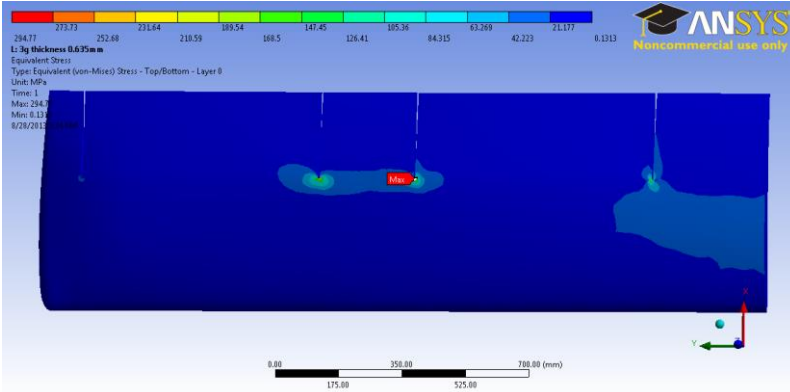


Daha sonra, aerodinamik ve yapısal model farklı ağ yapılarına sahip olduğu için, basınç dağılımları ara değerlendirme yöntemi kullanılarak yapısal model üzerine aktarılmıştır.

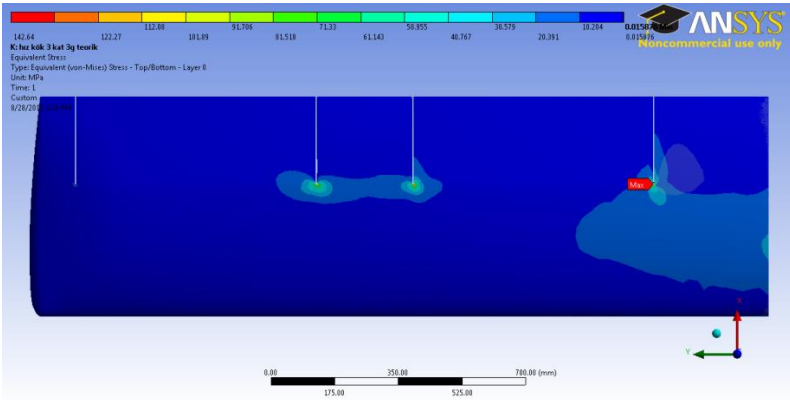
Elde edilen basınç dağılımları altında, farklı kalınlıklardaki geometriler için yapısal analizler yapılmış, von Mises gerilme ve von Mises gerinim dağılımları elde edilmiştir. En fazla yük ve gerilmeler 3g uçuş koşulunda olduğu için, sonuçlar 3g durumu için verilmiş ve bu durumda da yapının mukavim olduğu saptanmıştır.

3g uçuş koşulundaki, 2 farklı kanat yüzey kalınlığında kanat yüzeyinde oluşan von Mises gerilme ve gerinim dağılımları sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Kontrol yüzeyi kanat birleşim bölgesindeki geometrik süreksizlikten dolayı von Mises gerilmeleri bu bölgede en büyük değerlerini almaktadır. Kanadın bu bölgesi aslında bir çatlak ucu olarak değerlendirilebilir ve çatlak uçlarında yükler altında gerilme yoğunlaşması olduğu bilinmektedir.

**Şekil 10 3g Uçuş Durumunda Şekil Değiştiren Kanat Yüzeyinde Oluşan von Mises Gerilme Dağılımları
(a) Yüzey Kalınlığı =0.635 mm, (b) Yüzey Kalınlığı =1mm**

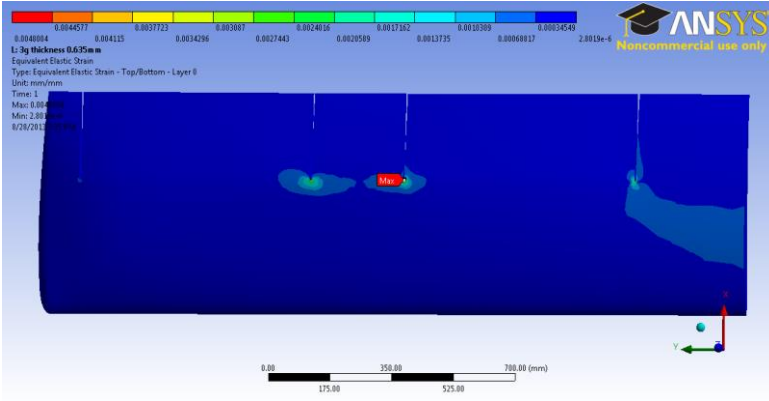


(a)

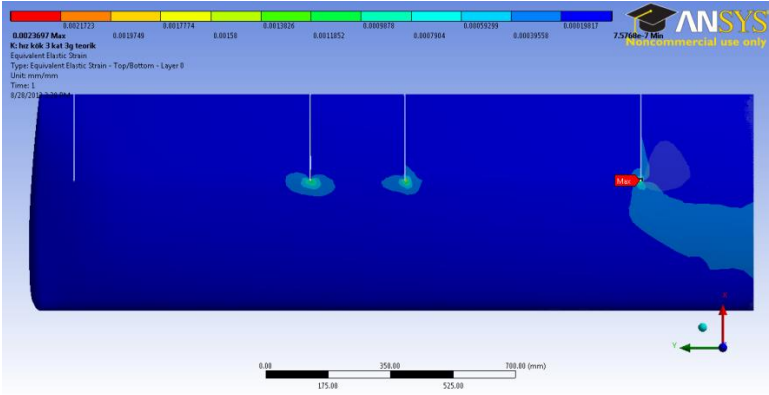


(b)

Şekil 11 3g Uçuş Durumunda Şekil Değiştiren Kanat Yüzeyinde Oluşan von Mises Gerinim Dağılımları (a) Yüzey Kalınlığı =0.635 mm, (b) Yüzey Kalınlığı =1mm)



(a)



(b)

0.635 mm ve 1 mm kabuk kalınlıklarında ve 1g, 2g ve 3g kuvvetlerde oluşan en yüksek von Mises gerilme ve gerinim değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5 Farklı Kalınlıklarda ve Uçuş Koşullarında Kanatta Oluşan En Yüksek von Mises Gerilme ve Gerinimleri

	Kalınlık 0.635 [mm]			Kalınlık 1 [mm]		
	1g	2g	3g	1g	2g	3g
En Yüksek Gerilme [MPa]	102.26	200.09	294.77	48.294	96.491	142.64
En Yüksek Gerinim [mm/mm]	1.65E-03	3.26E-03	4.80E-03	7.99E-04	1.60E-03	2.37E-03

5.SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak ANSYS Fluent® paket programı kullanılarak şekil değiştirebilen bir kanat üzerinde 1g, 2g ve 3g kuvvetlerinde oluşan basınç değerleri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu basınç değerleri altında kanat yüzeyinde oluşan von Mises gerilme ve gerinim değerleri bulunmuştur. Alüminyum 2024 T3 malzemesinin akma direnci 345 MPa olduğundan (ASM, 2013) hem 1mm hem de 0.635 mm kalınlıkları için kanadın yeterli mukavemeti gösterebileceği bulunmuştur. Kanadın daha hafif olarak tasarlanması isteneceğinden şekil değiştirebilen kanat yüzeyinin 0.635 mm kalınlığında seçilmesi daha uygundur.

Ulaşılan sonuçlar doğrultusunda sonraki hedef olarak farklı malzeme seçenekleri düşünülerek yeterli mukavemeti sağlayacak daha hafif bir şekil değiştirebilen kanat tasarlanması amaçlanmaktadır.

Kaynakça

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

Bolonkin, Alexander, Glenn B. Gilyard (1999), "Estimated Benefits of Variable-Geometry Wing Camber Control for Transport Aircraft", *NASA TM-1999-206586*.

Gilyard, Glenn B., Jennifer Georgie and Joseph S. Barnicki (1999), "Flight Test of an Adaptive Configuration Optimization System for Transport Aircraft", *NASA TM-1999-206569*.

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: 481-489, ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü, Güzelyurt, KKTC*

Raymer, Daniel P. (1992), *Aircraft Design: A Conceptual Approach*, Slymar, California: Conceptual Research Corporation

ASM Aerospace Specification Metals Inc., ASM Material Data Sheet, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>, [23.08.2013 tarihinde erişilmiştir.]