

BİR UÇAK KANADININ YAPISAL MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Özlem ERDENER

TAI TUSAŞ Havacılık ve Uzay Sanayi AŞ, Tasarım ve Geliştirme Müdürlüğü, Akıncı 06936, ANKARA,
oordener@tai.com.tr

Yavuz YAMAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ANKARA,
yyaman@metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, bir uçak kanadının statik ve dinamik özellikleri incelenmiştir. Kanadın geometrik modelinin ve sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında ve analiz sonuçlarının incelenmesinde MSC/PATRAN® v9.0 programı kullanılmış, analizler ise MSC/NASTRAN® v70.5 programıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle kanadın ana parçaları olan kanat kutusu, hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığı belirlenmiş, ardından parça detayları olan uçak kaplaması, kirişler ve sinirler modellenmiştir. Daha sonra bu geometrik model uygun boyutta ve yapıda bir ağ ile taranmış ve kanadın sonlu elemanlar modeli yaratılmıştır. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken ana ve detay parçaların ortak düğüm noktalarına sahip olabilmesi için ağ oluşturma işlemi çeşitli yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Öncelikle kirişler ve sinirler üzerinde ağ yapısı oluşturulmuş, kaplama daha sonra taranmıştır. Oluşturulan model üzerinde statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Üzerine harici bir dikey yük uygulandığında herhangi bir dönme olmaksızın sadece dikey yerdeğiştirme olarak tanımlanan kanadın elastik çizgisi, etkin dikey ve dönme direngenlikleri kanadın incelenen statik özellikleridir. Dinamik analizlerde kanadın doğal frekansları ve bu frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri belirlenmiştir. Olası dahili yakıt ve harici yüklerin kanadın dinamik davranışları üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçak kanadı, sonlu elemanlar modeli, elastik çizgi, doğal frekans, titreşim biçimi

DEVELOPMENT OF STRUCTURAL MODEL OF AN AIRCRAFT WING

ABSTRACT

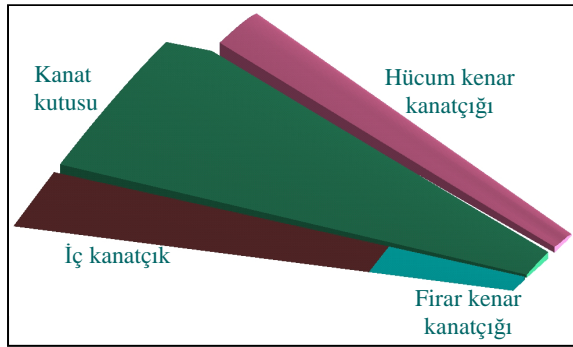
In this study, the static and the dynamic characteristics of an aircraft wing are investigated. MSC/PATRAN®v9.0 finite element package program is used in construction of the geometric model, the finite element model of the aircraft wing and post processing the analysis results whereas the analysis are run by using MSC/NASTRAN®v70.5. In this study first, the main parts namely the wingbox, leading edge flap, flaperon and trailing edge are located, then the detail parts such as the skins, spars and ribs are geometrically modelled. Afterwards the finite element model of the aircraft wing is created by meshing the geometric model by using appropriate element type with appropriate element length. During the construction of the finite element model of the structure, the coincidence of the nodes on different components are guaranteed by using various techniques. First, the spars and the ribs are meshed, which is followed by the construction of the finite element model of the skins. Static and dynamic analyses are conducted on the finite element model. The elastic line, effective transverse stiffness and effective rotational stiffness of the wing are the static characteristics of the wing which are examined. The natural frequencies and the corresponding mode shapes of the wing are the dynamic characteristics that are investigated. The effects of probable internal fuel and the external stores on the dynamic characteristics are also investigated.

Keywords: Aircraft wing, finite element model, elastic line, natural frequency, mode shape

1. GİRİŞ

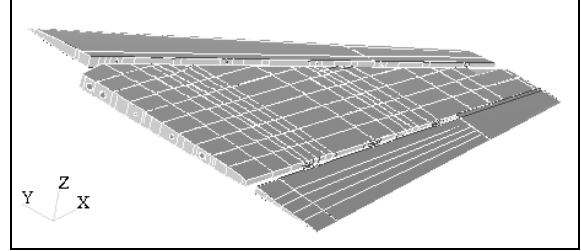
Bu çalışmada, bir uçak kanadının statik ve dinamik özellikleri incelenmiştir. Kanadın geometrik modelinin ve sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında ve analiz sonuçlarının incelenmesinde MSC/PATRAN® v9.0 programı kullanılmış, analizler ise MSC/NASTRAN® v70.5 programıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada incelenen uçak kanadı; kanat kutusu, hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığı olmak üzere dört ana parçadan oluşmaktadır.[1] Bu ana parçalar Şekil 1’de verilmiştir.



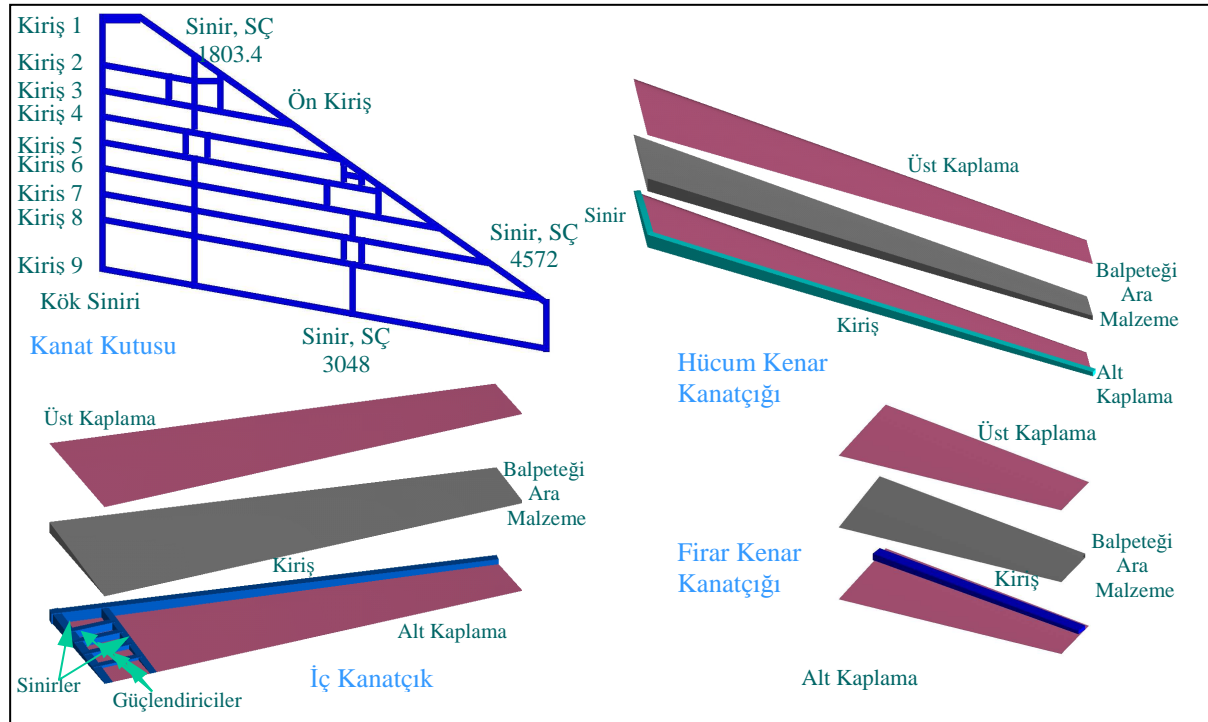
Şekil 1. Kanadın ana parçaları

Tüm çalışma boyunca kullanılan ana koordinat sistemi, kiriş boyunca artan ve simetri çizgisi (SÇ) ile keşişen X eksenini, sinir boyunca firar kenarından hücum kenarına doğru artan ve gövde istasyonlarıyla (Gİ) keşişen Y eksenini ve su çizgisiyle (Su Ç) keşişen Z eksenini tanımlanmıştır. Şekil 2’de bu koordinat sistemi verilmiştir.



Şekil 2. Koordinat sistemi

Kanadı oluşturan ana parçalar yapısal olarak kirişler, sinirler ve uçak kaplamasından oluşmaktadır. Hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığında bu yapılar dışında alt ve üst kaplama arasında balpeteği ara malzeme bulunmaktadır. Kanat kutusu üzerinde, kirişler hücum kenarından, firar kenarına doğru numaralarla, sinirler ise simetri çizgisi üzerinde, merkezden milimetre cinsinde uzaklıklar ile adlandırılmaktadır. Ana parçaların iç yapısı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Kanat ana parçalarının iç yapısal detayları

2. GEOMETRİK MODELLEME

Kanadın geometrik modelinin oluşturulmasına kanat kökü ve kanat ucundaki kanat profillerinin modellenmesiyle başlanmıştır. Bu profiller modellendikten sonra kanadın alt ve üst yüzeyleri oluşturulmuştur.

2.1. Malzeme Özelliklerinin Atanması

Kanat yapısında metalik malzemelerin yanısıra, kompozit malzemeler de kullanılmıştır. Metalik malzeme olarak alüminyum alaşımları tercih edilmiştir. Hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığında kullanılan alüminyum balpeteği ara malzemelerin modellenmesinde ortotropik malzeme özellikleri kullanılmıştır. Bu

sayede balpeteği yapının z-yönündeki aksel yüklerle karşı daha mukavim yapısı modele yansıtılmıştır.

2.2. Fiziksel Özelliklerinin Atanması

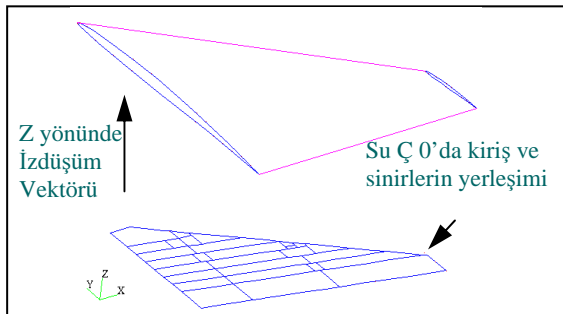
Sonlu elemanlar analizi için tüm parçaların yoğunluk, flanş alanı, panel ve kaplama kalınlığı gibi fiziksel özelliklerinin atanması gereklidir. Bu fiziksel özellikler sonlu eleman modeline atanabileceği gibi geometrik modelde tanımlanabilir. Ayrıca fiziksel özelliklerin geometrik modelde tanımlanması, sonlu eleman modelinde değişiklik yapılması durumunda fiziksel özelliklerin tekrar atanmasını gerektirmediğinden daha avantajlı olmaktadır.[2] Bu çalışmada fiziksel özellikler kanat kutusu kaplaması ve hücum kenar kanatçığı-kanat kutusu ve iç kanatçık-kanat kutusu bağlantı elemanları haricinde geometrik modele atanmıştır. Geometrik model oluşturulurken, fiziksel özelliklerin değişimi de göz önünde bulundurulmuştur.

Kiriş ve sinirlerin modellenmesinde çubuk ve kabuk elemanları kullanılmıştır. Alt ve üst kaplamalarda kabuk, balpeteği ara malzemelerde ise katı elemanlar kullanılmıştır. Dahili yakıt ve harici yüklerin modellenmesinde noktasal elemanlar kullanılmıştır.[3]

2.3. Geometrik Modelleme

Geometrik modelin oluşturulmasına öncelikle kanat kutusu ile başlanmıştır. Kanat kutusunu sırasıyla hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığı takip etmiştir.

İlk olarak kiriş ve sinirlerin pozisyonları su çizgisi sıfırda Şekil 4'de görüldüğü gibi modellenmiş ve oluşturulan alt ve üst kanat kaplaması üzerine Z yönünde iz düşürerek eğimli kiriş ve sinir flanşları elde edilmiştir. Kiriş ve sinirler her ne kadar tek parçadan oluşsalar da, daha sonra oluşturulacak sonlu eleman modelinin daha kontrollü olması ve fiziksel değişimlerin modele yansıtılabilmesi açısından keşisim noktalarından ana parçalara bölünmüştür.



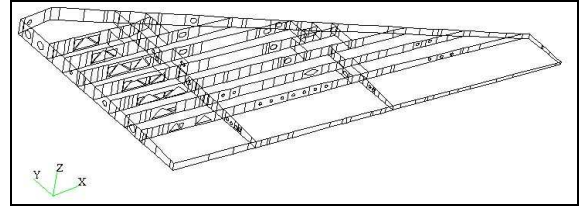
Şekil 4. Kiriş ve sinirlerin modellenmesi

Kiriş ve sinirlerin panelleri iz düşüm yöntemiyle yaratılan alt ve üst flanşlar kullanılarak modellenmiştir.

Fiziksel özelliklerin geometrik modele atanacağını göz önüne alarak, ana parçalar fiziksel özelliklerin değişimine göre daha da küçük parçalara ayrılmıştır.[1]

Genelde kanat kutusunun kiriş ve sinir panellerinde kablolama, yakıt akışı, havalandırma boruların geçişi gibi nedenlerle çeşitli ebatlarda kesitler bulunmaktadır. Bu kesitlerde geometrik modelde birebir modellenmiştir. Kanat kutusu kiriş ve sinirlerinin geometrik modeli Şekil 5'te verilmiştir.

Kanat kutusunun alt ve üst kaplamaların geometrik modelinin oluşturulmasında, alt ve üst kaplamaya iz düşümü alınmış kiriş ve sinirlerin flanşlarını oluşturan eğriler kullanılmıştır. Alt ve üst kaplama tek parça olmasına karşın kiriş ve sinirlerde olduğu gibi kaplamalar da ana parçalara bölünmüştür.

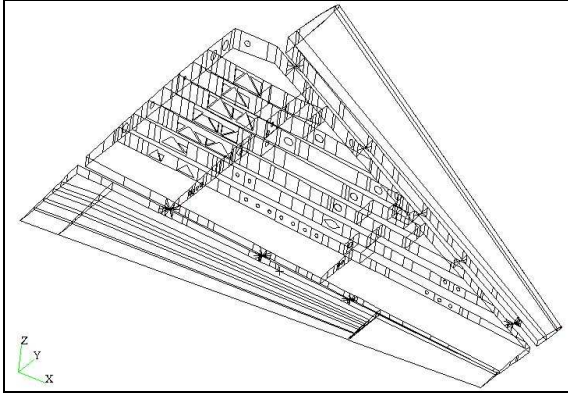


Şekil 5. Kanat kutusu kiriş ve sinirlerinin geometrik modeli

Kanat kutusunun modellenmesinin ardından hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığının modellenmesine başlanmıştır. Kiriş ve sinirlerin flanş ve panelleri kanat kutusuna benzer şekilde modellenmiştir. Hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığında bulunan balpeteği ara malzemeyi modellemek için, kiriş ve sinir flanşlarını kullanarak katı modeller oluşturulmuştur. Bu katı modellerin üst ve alt yüzeyleri de hücum kenar kanatçığı, iç kanatçık ve firar kenar kanatçığının alt ve üst kaplamalarını oluşturmuştur.

Hücum kenar kanatçığı kanat kutusuna beş bağlantı noktasından, firar kenar kanatçığı ise üç bağlantı noktasından bağlanmaktadır. Bağlantı elemanları sonlu elemanlar modelinin düğüm noktaları kullanılarak yaratıldığı için bağlantı elemanlarının geometrik modeli sonlu elemanlar modelinin yaratılmasından sonra oluşturulmuştur. Kiriş ve sinirlerde olduğu gibi flanşların modellenmesinde eğriler, panellerin modellenmesinde ise yüzeyler kullanılmıştır.

Şekil 6'da tüm kanadın geometrik modeli verilmektedir.



Şekil 6. Kanat geometrik modeli

3. SONLU ELEMANLAR MODELLEMESİ

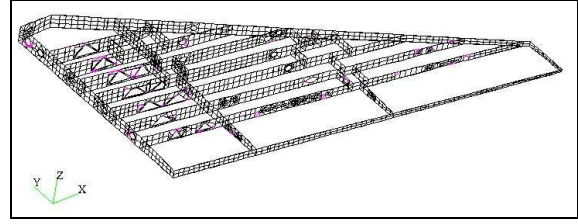
Kanat genel olarak kirişler, sinirler, kaplamalar ve balpeteği ara malzemelerden oluşmaktadır. Kiriş ve sinirlerin flanşlarının modellenmesinde 1Boyutlu (1-B) elemanlar, kaplama ve panellerin modellenmesinde 2Boyutlu (2-B) elemanlar, balpeteği ara malzemelerin modellenmesinde ise 3Boyutlu (3-B) elemanlar ve dahili yakıt ve harici yüklerin modellenmesinde ise 0Boyutlu (0-B) elemanlar kullanılmıştır. 1-B elemanlar için BAR2 elemanları kullanılmıştır. 2-B elemanlarda genelde QUAD4 elemanları ile modellenmiş, gereken yerlerde TRIA3 elemanlarından da yararlanılmıştır. 3-B elemanlar olarak HEXA8 ve HEXA6 elemanları kullanılmıştır. [4,5] 2-B yüzeyler üzerinde, geometri elverdiği ölçüde eşit aralıklı ağ yapısı tercih edilmiştir. Ancak kesitlerin olduğu kompleks geometrilerde eşit aralıklı ağ yapısı kullanılmadığı için bu yüzeyler düzensiz ağ yapısı ile taranmıştır. 3-B katılarda ise eşit aralıklı ağ yapısı kullanılmıştır. Bu çalışmada elemanların global kenar uzunluğu 50 mm olarak belirlenmiştir.

3.1. Kanat Kutusu

Sonlu eleman modeli yaratılırken, farklı ana ve detay parçaların birbirlerine bağlandıkları bölgelerde ortak düğüm noktalarına sahip olmaları büyük önem taşımaktadır. Geometrik model, bu kriteri de göz önüne alarak yaratılmıştır. Sonlu eleman modelini oluştururken izlenen sıralama da ortak düğüm noktalarını kontrol altına alacak şekilde organize edilmiştir.

Kanat kutusunun sonlu eleman modelinin oluşturulmasına öncelikle kiriş ve sinirlerin flanşlarının taranmasıyla başlanmıştır. Ardından kiriş ve sinirlerin panelleri üzerindeki ağ yapısı yaratılmış ve flanşlarla ortak düğüm noktalarının kullanılması sağlanmıştır.

Kanat kutusunun kiriş ve sinirlerinin sonlu elemanlar modeli Şekil 7'de de görüldüğü gibi, 1287 1-B eleman, 2097 2-B eleman ve 3104 düğüm noktasından oluşmaktadır.



Şekil 7. Kanat kutusu kiriş ve sinirlerinin sonlu eleman modeli

Kanat kutusunun sonlu eleman modelinin oluşturulmasına, alt ve üst kaplamaların uygun ağ yapısıyla taranmasıyla devam edilmiştir. Kaplamalarda ağ yapısının sıklığı genel olarak kiriş ve sinirlerin flanşlarının ağ yapısı tarafından belirlenmiştir. Bu sayede alt ve üst kaplamalarla kiriş ve sinirlerin ortak düğüm noktalarına sahip olması garanti edilmiştir.

Genel yaklaşımdan farklı olarak alt ve üst kaplamaların fiziksel özellikleri geometrik modele değil de sonlu elemanlar modeline atanmıştır. Bunun için su çizgisi 0'da fiziksel özelliklerin değişim planı çizilmiş ve özellikler sonlu elemanlar modeline atanmıştır.

Kanat kutusu sonlu elemanlar modeli 1287 1-B eleman ve 6636 2-B eleman olmak üzere toplam 7923 eleman ve 6233 düğüm noktasından oluşmaktadır.

3.2. Hücum Kenar Kanatçığı, İç Kanatçık ve Firar Kenar Kanatçığı

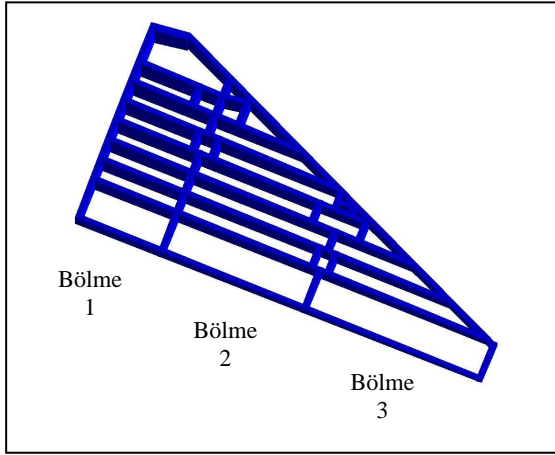
Kanatçıkların sonlu eleman modeli kiriş ve sinirlerin flanşlarının uygun ağ yapısı ile taranmasıyla başlamıştır. Bunu kiriş ve sinirlerin panellerinin sonlu eleman modelinin oluşturulması takip etmiştir. Ardından balpeteği ara malzemeler, 3-B elemanlar ile kiriş ve sinirlerin ağ yapısı göz önüne alınarak taranmış ve ortak düğüm noktaları teke indirilmiştir. Üst ve alt kaplamaların sonlu eleman modelinin oluşturulmasında da balpeteği ara malzemelerin ağ yapısı kullanılmıştır. Bu sayede tüm parçaların ortak düğüm noktalarına sahip olması garanti altına alınmıştır.

Hücum kenar kanatçığı-kanat kutusu ve iç kanatçık-kanat kutusu bağlantıları da kiriş ve sinirler gibi önce flanşların ve ardından panellerin sonlu eleman modelinin oluşturulmasıyla modellenmiştir. Bağlantı elemanlarının fiziksel özellikleri sonlu eleman modeline atanmıştır.

3.3. Dahili Yakıt ve Harici Yüklerin Modellenmesi

Dahili yakıt ve harici yükler ilgili pozisyonlarda 0-B elemanlarla toplanmış kütle olarak modellenmiştir.

Kanat, Şekil 8'de gösterildiği üzere üç bölmeden oluşmuştur. Bu üç bölmede de dahili yakıt bulunduğu varsayılmıştır. Her bölmede taşınan dahili yakıtın ağırlığı komşu iki sınır üzerinde yaratılan toplanmış kütlelerle modellenmiştir.

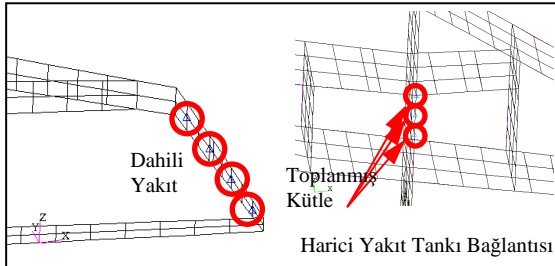


Şekil 8. Kanat kutusunda taşınan dahili yakıt

Kanatta harici yükler sınırların üzerine asılmaktadır. SÇ 1803.4 sınırı üzerinde harici yakıt tankı ve paylonu, SÇ 3048 sınırı üzerinde harici yük 1 ve paylonu, kanat ucu sınırında ise harici yük 2 taşındığı düşünülmüştür.

Harici yükler ilgili pozisyonlarda bağlantı boyutuna göre iki ya da üç toplanmış kütle şeklinde modellenmişlerdir.

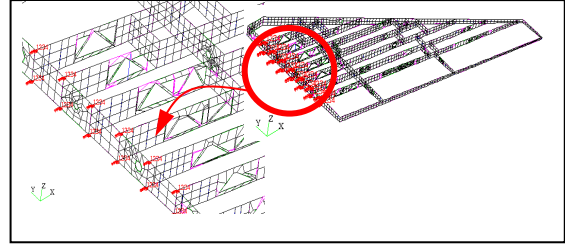
Şekil 9'da dahili yakıt ve harici yüklerin kanat üzerindeki modellenmesi gösterilmektedir.



Şekil 9. Dahili yakıt ve harici yüklerin sonlu eleman modeli

3.4. Sınır Koşulları

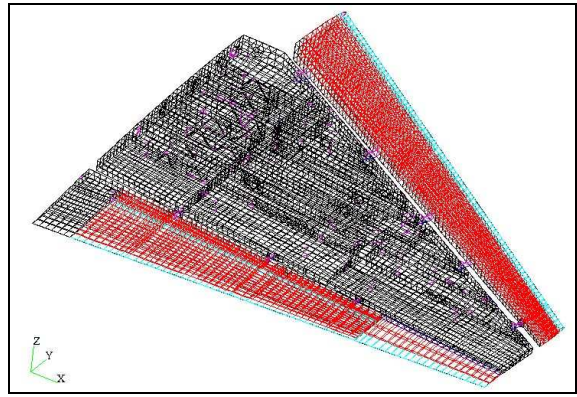
Kanat-gövde bağlantısı için en uygun sınır koşulu sabit mesnet sınır koşuludur. Kanadın gövdeye bağlandığı, sekiz üstte sekiz altta toplam on altı noktada, tüm yerdeğiştirme ve x ekseninde dönme serbestlikleri sıfırlanarak bu sınır koşulu Şekil 10'daki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 10. Sınır koşulu

3.5. Kanat Sonlu Eleman Modeli

Kanat sonlu eleman modeli 40 0-B eleman, 1746 1-B eleman, 10528 2-B eleman ve 2592 3-B eleman olmak üzere toplam 14906 elemandan ve 10890 düğüm noktasından oluşmuştur.[1] Şekil 11'de tüm kanadın sonlu eleman modeli verilmektedir.



Şekil 11. Tüm kanadın sonlu eleman modeli

4. KANADIN STATİK ANALİZLERİ

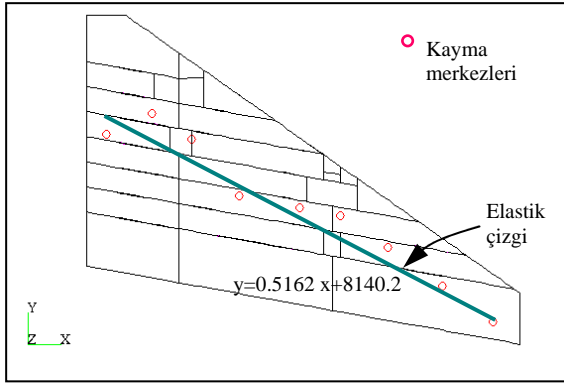
Kanadın incelenen statik özellikleri; kanadın elastik çizgisi, etkin dikey ve dönme direngelikleridir.

4.1. Kanadın Elastik Çizgisi

Üzerine harici bir dikey yük uygulandığında herhangi bir dönme olmaksızın sadece dikey yerdeğiştirme çizgisi olarak tanımlanan kanadın elastik çizgisi, sınır boyunca kayma merkezlerinin belirlenmesiyle bulunmuştur. Elastik çizginin belirlenmesi için kanat dokuz bölmeye ayrılmış ve her bölmede kiriş boyunca kayma merkezleri hesaplanmıştır.

Her bölmedeki kayma merkezlerinin belirlenmesi için, bölme içindeki kayma akışları hesaplanmıştır. Daha sonra Y yönündeki kayma merkezleri birleştirilerek kanadın elastik çizgisi bulunmuştur.

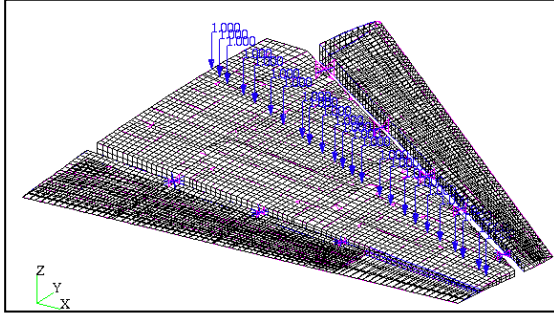
Şekil 12'de kanadın dokuz bölmedeki kayma merkezlerinin yerleri ve bu kayma merkezleri birleştirilerek elde edilen elastik çizgisi verilmektedir.



Şekil 12. Kanadın elastik çizgisi

4.2. Kanadın Etkin Dikey Direngenliği

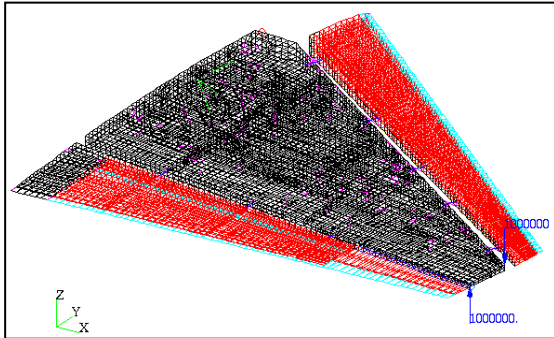
Kanadın etkin direngenliği elastik çizgi üzerine Şekil 13'te gösterilen şekilde dağılmış bir dikey yük ile yüklendiğinde ortaya çıkan dikey yerdeğiştirmeden hesaplanmıştır.



Şekil 13. Kanadın etkin dikey direngenliği

4.3. Kanadın Etkin Dönme Direngenliği

Kanat, Şekil 14'teki gibi kanat ucundan bir kuvvet çiftiyle yüklendiğinde ortaya çıkan dönmeden kanadın etkin dönme direngenliği hesaplanmıştır.



Şekil 14. Kanadın etkin dönme direngenliği

Kanadın etkin dikey ve dönme direngenlikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kanadın etkin direngenlikleri

Z yönündeki etkin dikey direngenliği [mN/mm²]	71.01 x 10 ⁴
X-ekseni etrafındaki etkin dönme direngenliği [mNmm/rad]	24.4 x 10 ¹⁰

5. KANADIN DİNAMİK ANALİZLERİ

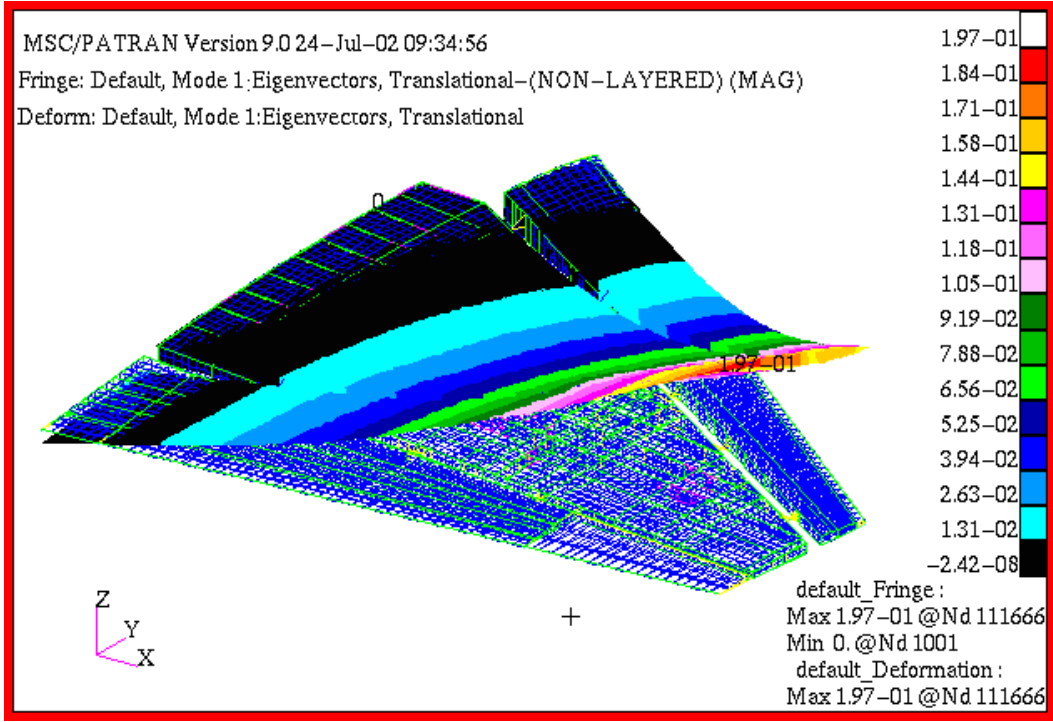
Dinamik analizlerde kanadın doğal frekansları ve bu frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri belirlenmiştir. Olası dahili yakıt ve harici yüklerin kanadın dinamik davranışları üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Dinamik analizlerde NASTRAN/Lanczos metodu kullanılmıştır.

5.1. Kanadın Dinamik Analizleri

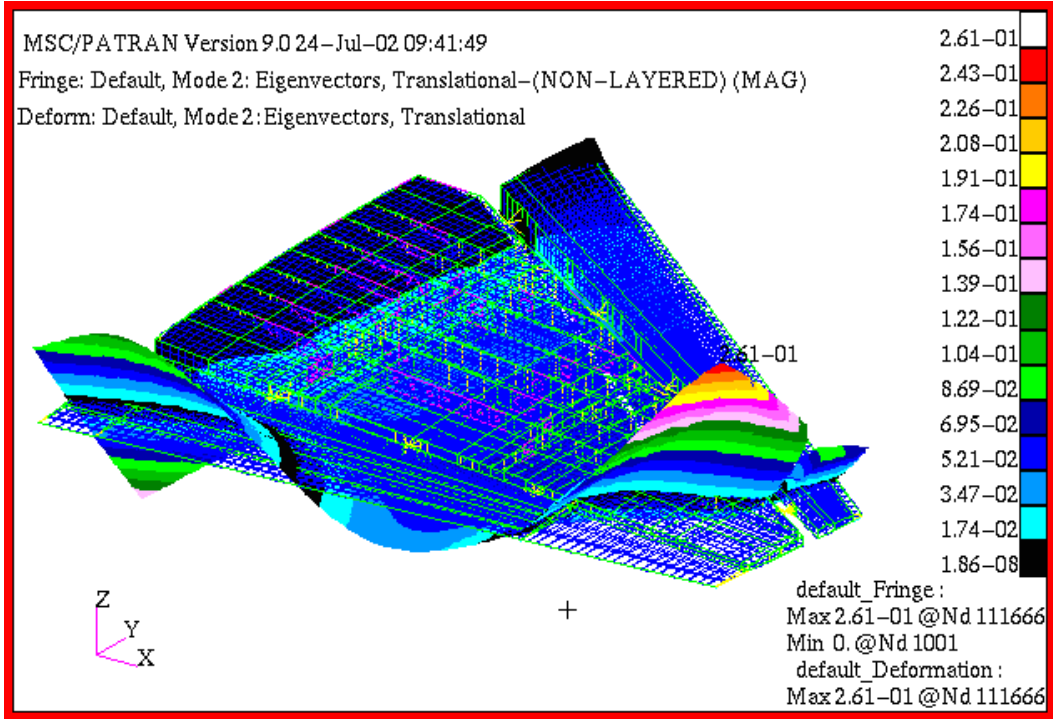
Kanadın ilk dört global doğal frekansı ve bu frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri incelenmiştir. Kanadın ilk dört global doğal frekansının benzer uçak kanatlarının doğal frekanslarına oranı Tablo 2'de, bunlara karşılık gelen titreşim biçimleri ise Şekil 15- Şekil 18'de kadar verilmiştir.

Tablo 2 Kanadın doğal frekanslarının benzer uçak kanatlarının doğal frekanslarına oranı

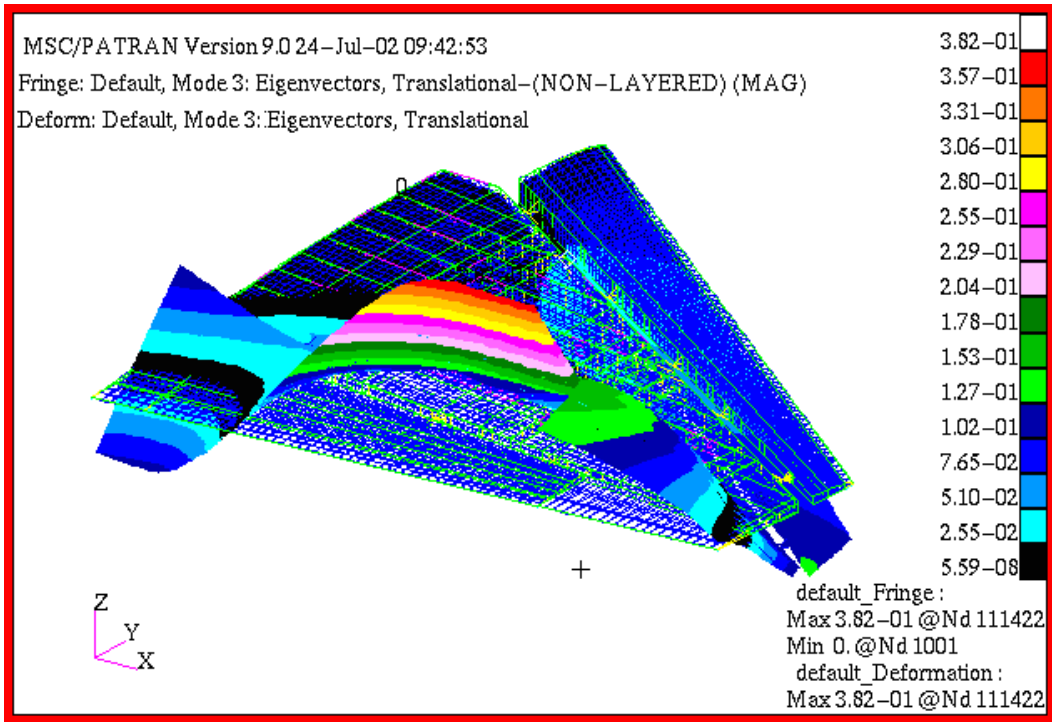
Doğal Frekanslardaki Değişim [Hz]	Titreşim Biçimleri
+4.5%	Y-ekseni etrafında birinci eğilme
+4.4%	Y-ekseni etrafında ikinci eğilme
-11.0%	Burulma
+3.4%	Z-ekseni etrafında birinci eğilme



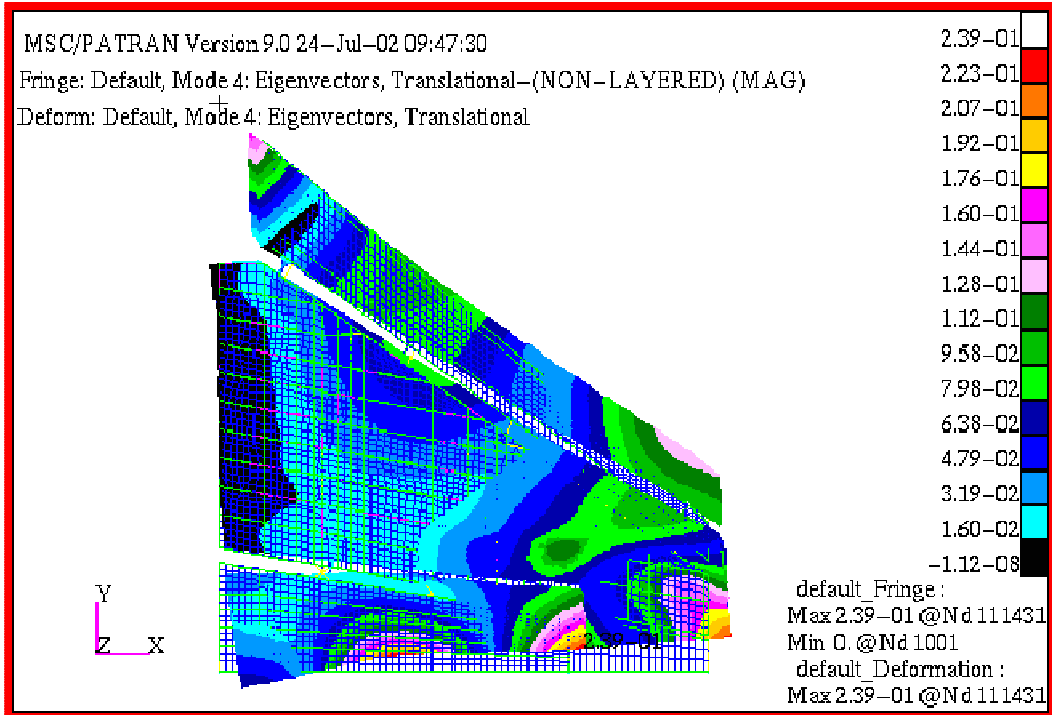
Şekil 15. Kanadın birinci titreşim biçimi



Şekil 16. Kanadın ikinci titreşim biçimi



Şekil 17. Kanadın üçüncü titreşim biçimi



Şekil 18. Kanadın dördüncü titreşim biçimi

5.2. Dahili Yakıtın Etkileri

Kanadın dahili yakıt taşıdığı durumlar göz önüne alındığında, yukarıda bahsi geçen boş kanat haricinde üç konfigürasyon daha incelenmiştir. Bunlar:

- Yakıt dolu (Bölme 1, 2 ve 3 dolu)
- Bölmeler 1 ve 2 yakıt dolu
- Bölme 1 yakıt dolu

Dahili yakıtın kanadın dinamik özelliklerine etkileri, her üç konfigürasyon için ilk dört global doğal frekansının boş kanadın doğal frekanslarına oranı şeklinde Tablo 3'de verilmiştir. [1]

Tablo 3. Dahili yakıtın, yakıtsız kanadın doğal frekanslarına oranla etkisi

Konfigürasyon	Birinci doğal frekans	İkinci doğal frekans	Üçüncü doğal frekans	Dördüncü doğal frekans
Bölme 1,2 ve 3 yakıt dolu	-40.9%	-43.9%	-19%	-35.6%
Bölme 1 ve 2 yakıt dolu	-9%	-16.8%	-10.4%	-12.3%
Bölme 1 yakıt dolu	-0.2%	-1.9%	-1%	-0.7%

5.3. Dahili Yakıt ve Harici Yüklerin Etkileri

Kanadın dinamik analizleri, kanadın uçuş boyunca karşılaşacağı tüm yük durumları için incelenmiştir. İncelenen yük durumları; tüm kanadın yakıt ile dolu olduğu, yakıt tankı ve harici yükün ilgili sınırlarda taşındığı kalkış durumundan, kanattaki tüm yakıtın boşaldığı ve harici yüklerin atıldığı duruma kadar Tablo 4’te detaylarıyla verilmiştir.[1]

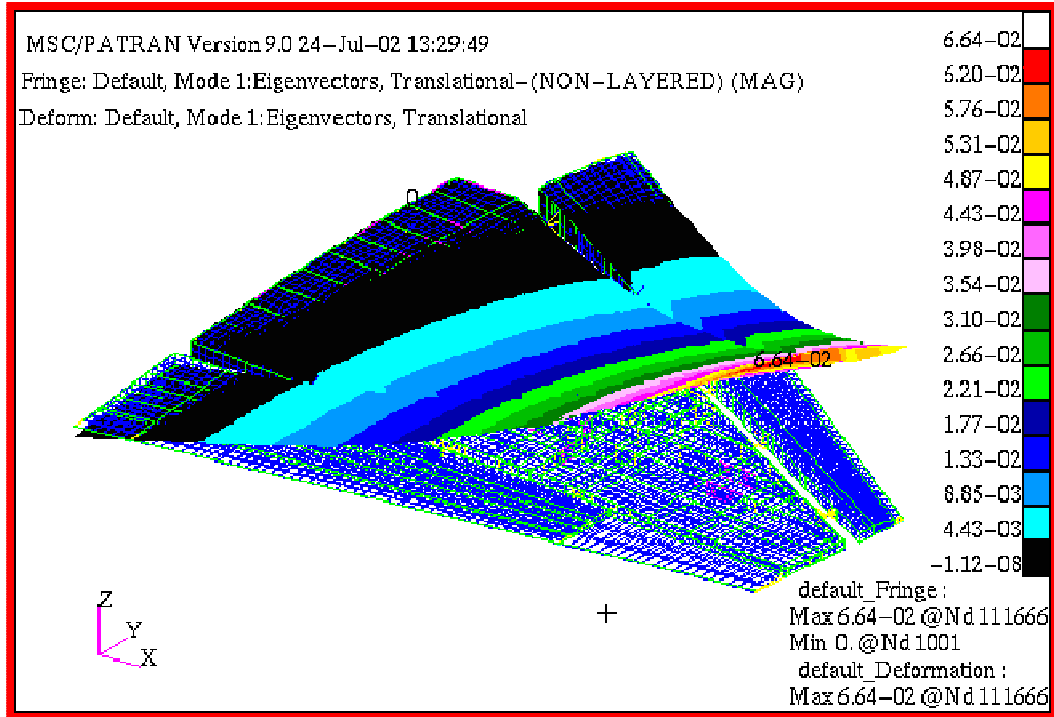
Tablo 4. Farklı yük durumlarında kanat konfigürasyonları

Konfigürasyon No	Tanım
1	Tüm kanat yakıt ile dolu, sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan dolu harici yakıt tankı ve harici yük taşınmakta
2	Harici yakıt tankındaki yakıt kullanılmış. Tüm kanat yakıt ile dolu, sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan boş harici yakıt tankı ve harici yük taşınmakta
3	Paylonla kanada bağlanan harici yük fırlatılmış, paylonu sinire bağlı durumda. Tüm kanat yakıt ile dolu, sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan boş harici yakıt tankı ve harici yük paylonu taşınmakta
4	Kanat kutusu bölme 3’teki yakıt kullanılmış. Bölme 1 ve 2 yakıt ile dolu, sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan boş harici yakıt tankı ve harici yük paylonu taşınmakta
5	Kanat kutusu bölme 2’deki yakıt kullanılmış. Bölme 1 yakıt ile dolu, sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan boş harici yakıt tankı ve harici yük paylonu taşınmakta
6	Kanat kutusu bölme 1’deki yakıt kullanılmış. Sınırlar üzerinde paylonu ile kanada asılan boş harici yakıt tankı ve harici yük paylonu taşınmakta

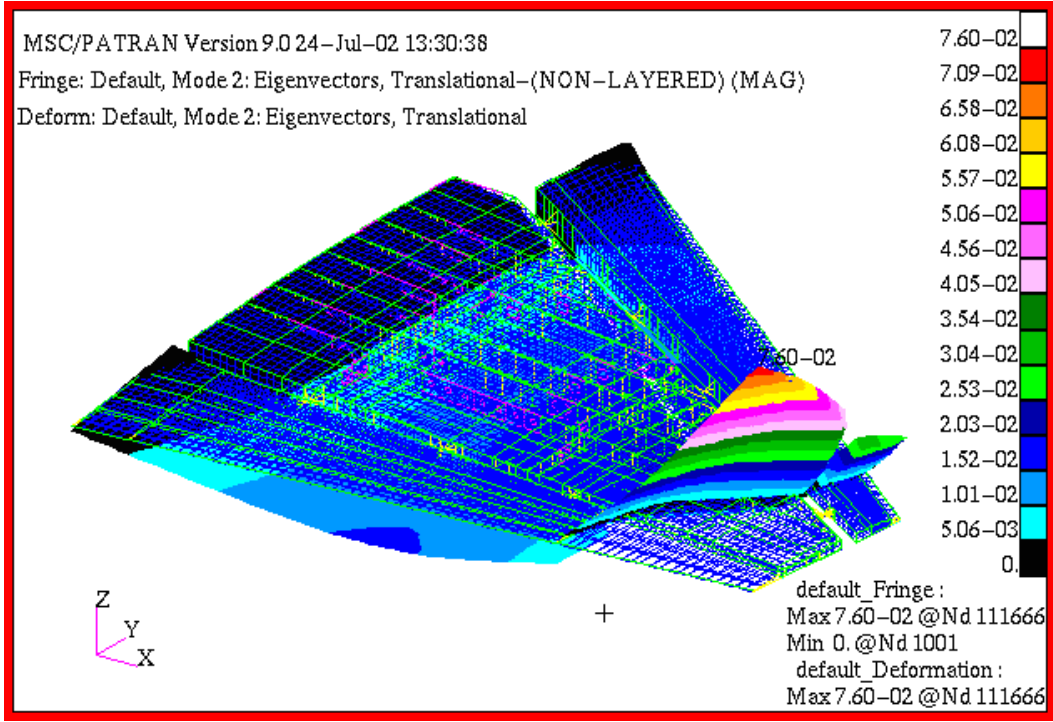
Bu koşullar için doğal frekanslardaki değişim boş kanadın doğal frekanslarına oran olarak Tablo 5’de verilmiştir. Birinci konfigürasyonun doğal frekanslarına karşılık gelen titreşim biçimleri Şekiller 19-22 de verilmiştir.

Tablo 5. Dahili yakıt ve harici yüklerin, yakıtsız kanadın doğal frekanslarına oranları

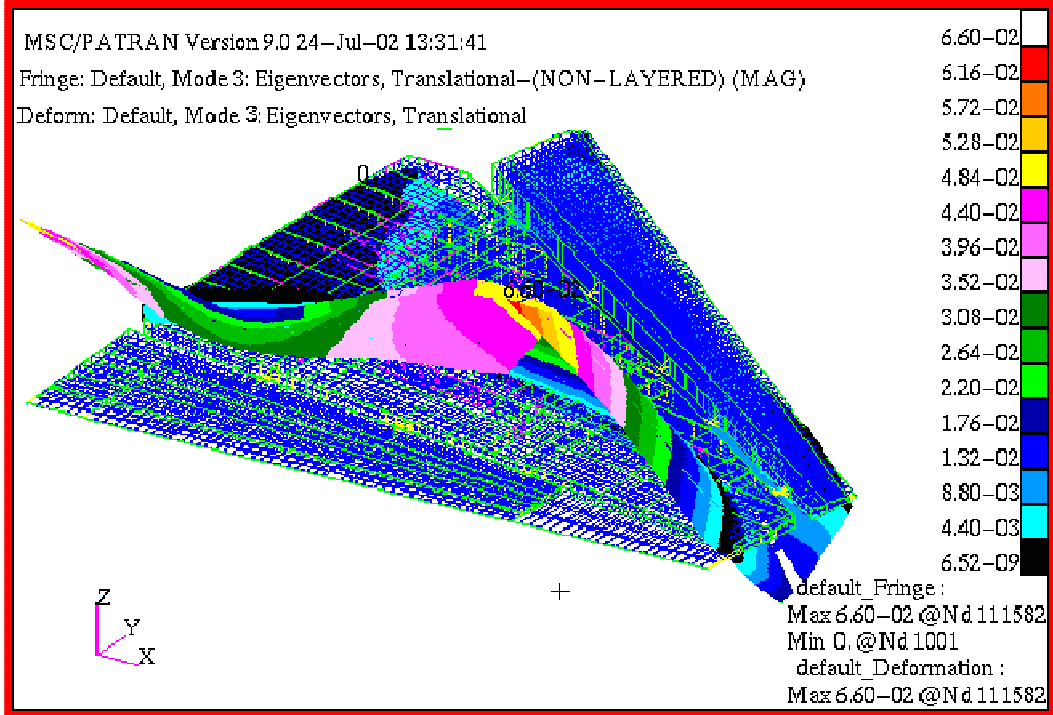
Konfigürasyon No	Birinci Doğal Frekans	İkinci Doğal Frekans	Üçüncü Doğal Frekans	Dördüncü Doğal Frekans
1	-66.5%	-74%	-63.4%	-66.3%
2	-66.4%	-73.9%	-59.8%	-65.6%
3	-44.2%	-52.8%	-32.9%	-42%
4	-21.7%	-29.5%	-23.1%	-27.6%
5	-15.8%	-25.4%	-16.4%	-20.7%
6	-15.7%	-25%	-15.3%	-20%



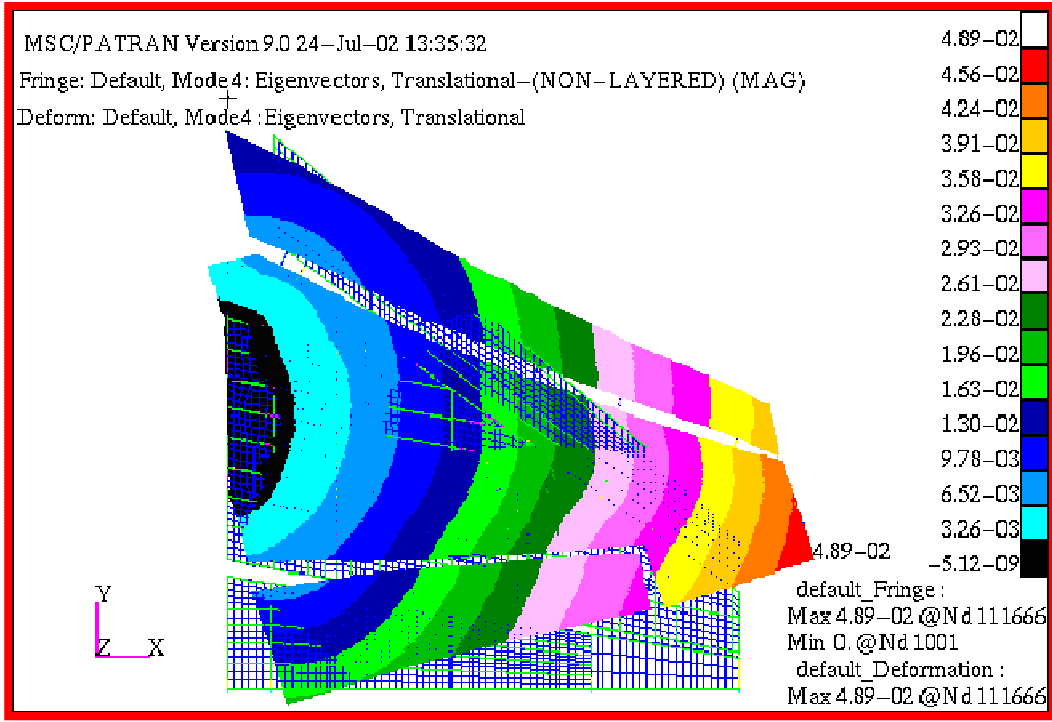
Şekil 19. Birinci konfigürasyon için kanadın birinci titreşim biçimi



Şekil 20. Birinci konfigürasyon için kanadın ikinci titreşim biçimi



Şekil 21. Birinci konfigürasyon için kanadın üçüncü titreşim biçimi



Şekil 22. Birinci konfigürasyon için kanadın dördüncü titreşim biçimi

6. SONUÇ

Bu çalışmada, bir uçak kanadının yapısal özellikleri MSC/PATRAN® ve MSC/NASTRAN® programları kullanılarak incelenmiştir.

Kanadın geometrik modelinin yaratılmasının ardından sonlu eleman modeli de MSC/PATRAN® ortamında oluşturulmuştur. Kanadın statik ve dinamik özellikleri MSC/NASTRAN® ortamında yürütülen analizlerle belirlenmişlerdir. Kanadın elastik çizgisi, etkin dikey ve dönme direngenlikleri incelenen statik özellikleridir. Dinamik analizlerde de kanadın ilk dört global doğal frekansı ve bu frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri farklı yakıt ve harici yük konfigürasyonları için incelenmiştir.

Boş kanadın doğal frekansları benzer uçak kanatlarının doğal frekanslarıyla yakın değerlerde çıkmıştır. Kanada eklenen dahili yakıt ve harici yüklerin doğal frekansları beklendiği şekilde azalttığı görülmüştür. Yakıt tamamen doluyken ve tüm harici yükler mevcutken kanadın birinci ve dördüncü doğal frekansının %66 oranında düştüğü, diğer doğal frekansların da aynı miktarda azalma gösterdiği gözlemlenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Erdener, Ö., Bir Uçak Kanadının Yapısal Modelinin Geliştirilmesi, Y. Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

2. Msc. Patran Version 9 MSC. Nastran Preference Guide Structural Analysis, Volume 1 MSC Software Corp. © 1999
3. Computer Based Modeling for Design and Analysis with MSC/PATRAN, Release 6.0, The MSC Institute of Technology, 1996
4. User's Guide, Getting Started with MSC/NASTRAN®, 1st Edition, The MacNeal-Schwendler Corporation©, 1993
5. MSC Nastran Reference Manual Version 68 The MacNeal-Schwindler Corporation