

**İstanbul Teknik Üniversitesi**  
**Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi**  
**Maslak,34469 İstanbul**



**UCK 328 YAPI TASARIMI**  
**Prof. Dr. Zahit Mecitoğlu**

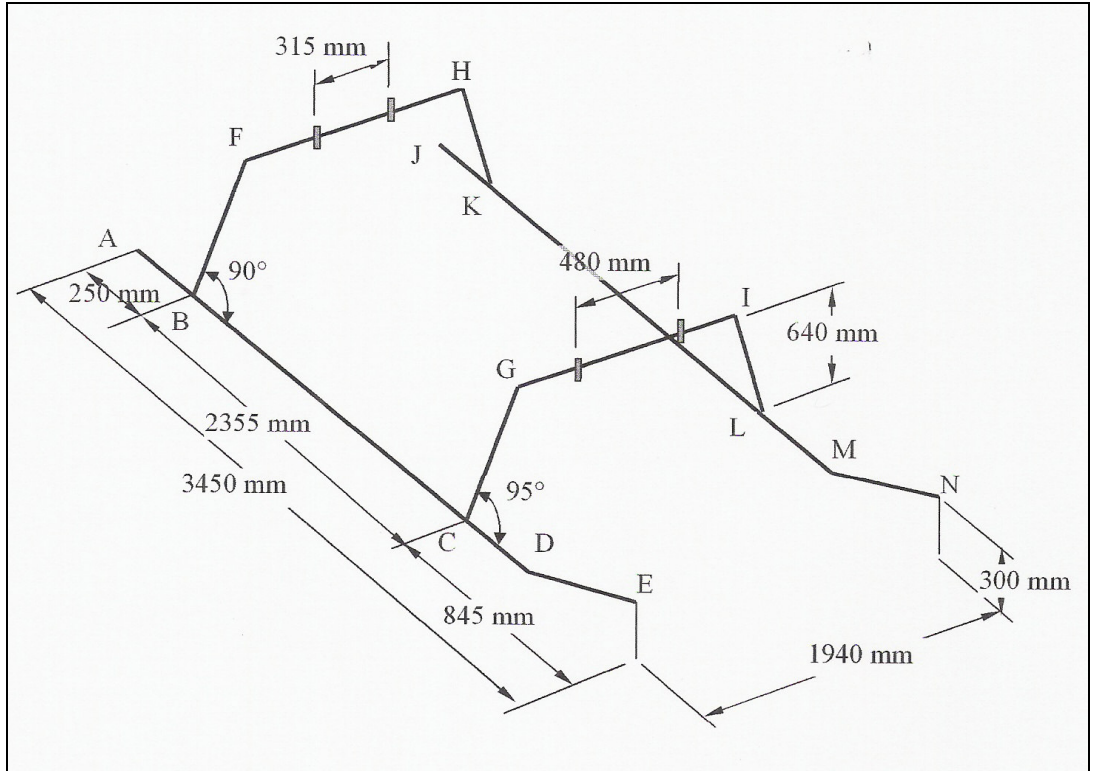
*ÖDEV-II: "İTÜ hafif ticari helikopteri için iniş takımı analizi"*

**110030011 HAFİZE EBRU SEVGİ**  
**Uçak Mühendisliği**

**Nisan 2006**

## I. GİRİŞ

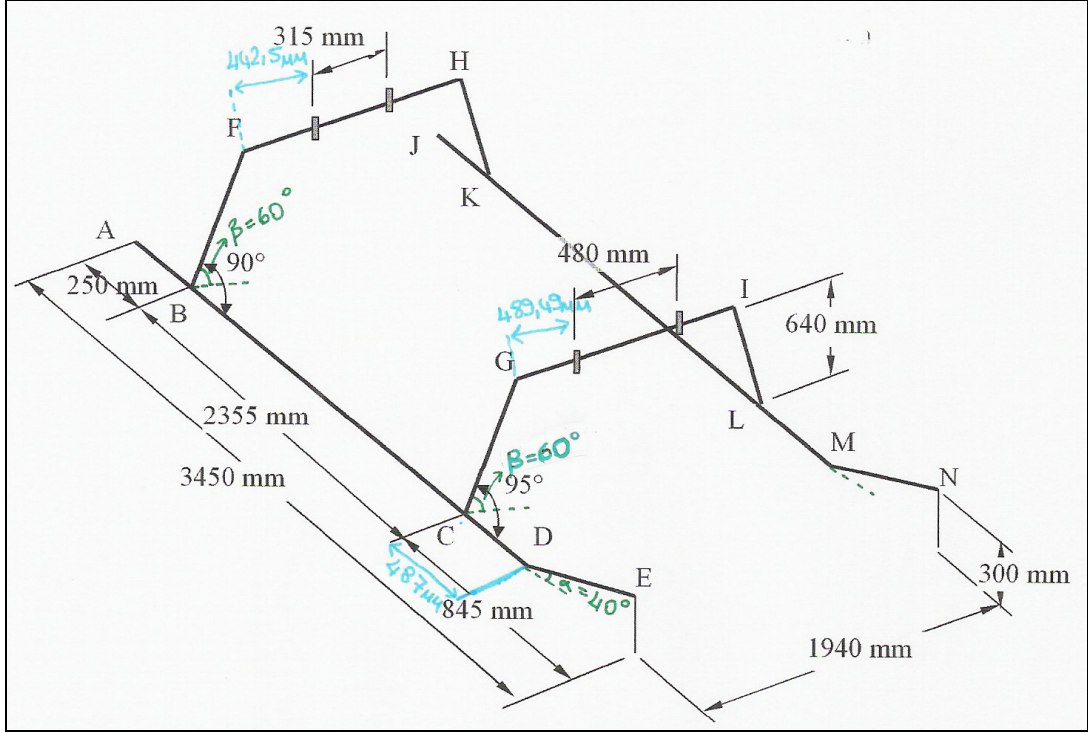
2005–2006 Bahar döneminde UCK 328 Yapı Tasarımı dersi kapsamı altında yapılmış olan ikinci ödevde Şekil 1.1’ de görülen İTÜ hafif ticari helikopteri için tasarlanmış olan kızak tipi iniş takımının ayrıntılı boyutlandırılması yapılmış, malzemesi belirlenmiş, üzerine gelecek olan yükler hesaplanmış ve iki farklı yükleme durumu için analizi yapılmıştır. İlerleyen bölümlerde detaylı olarak anlatılan modelleme ve analiz aşamaları, ANSYS 8.0 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımına göre iniş takımının çeşitli bölgelerindeki kesit geometrileri değiştirilerek, daha özdeş bir gerilme dağılımına ulaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen özdeş gerilme dağılımının, çözüm ağından bağımsızlığına emin olmak için çözüm ağı yakınsatması yapılmıştır. Bu şekilde yapılan iyileştirmelerden sonra elde edilen gerilme değerleri, seçilen malzemenin emniyetli akma gerilmesi ile kıyaslanmış ve son olarak da yapının nihai ağırlığı hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, değerlendirme bölümünde incelenmiş ve gerçeğe uygunluğu araştırılmıştır. Proje esnasında yararlanılan tüm kaynaklar VII. bölümde belirtilmiştir. Projedeki çözümlerinin tümünde SI birimi esas alınmış; uzunluklar [mm], kuvvetler [N] ve gerilmeler ise [MPa] cinsinden kullanılmıştır.



Şekil-1.1 İncelenen iniş takımı

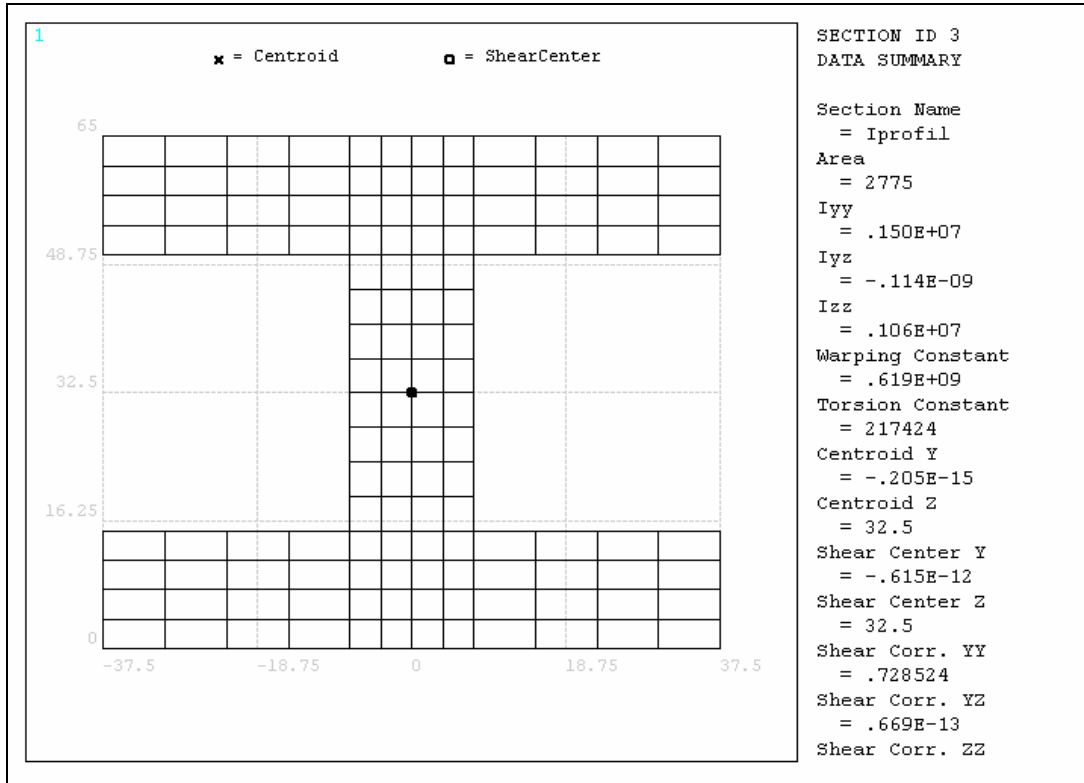
## II. GEOMETRİ, KESİT ALANI VE MALZEME

İncelenen iniş takımı için Şekil 1.1’ de belirtilmiş olan uzunluk ve açı değerlerinin yanı sıra, bazı değerlerin de eklenmesi ile yapının geometrisi oluşturulmuştur. Belirtilmemiş açı değerlerinin belirlenmesi ve bu açılar için uzunlukların hesaplanması ile yapılan bu tam ölçülendirme Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.

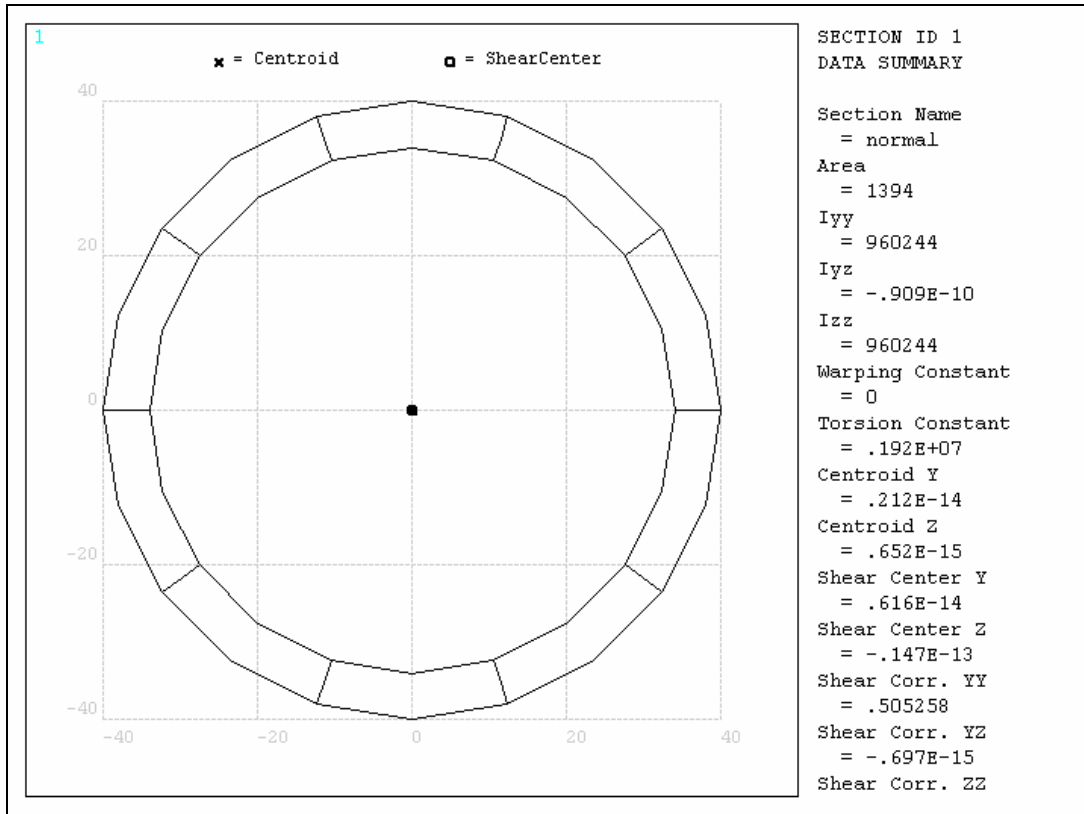


**Şekil-2.1 Ölçülendirilmiş iniş takımı geometrisi (mm)**

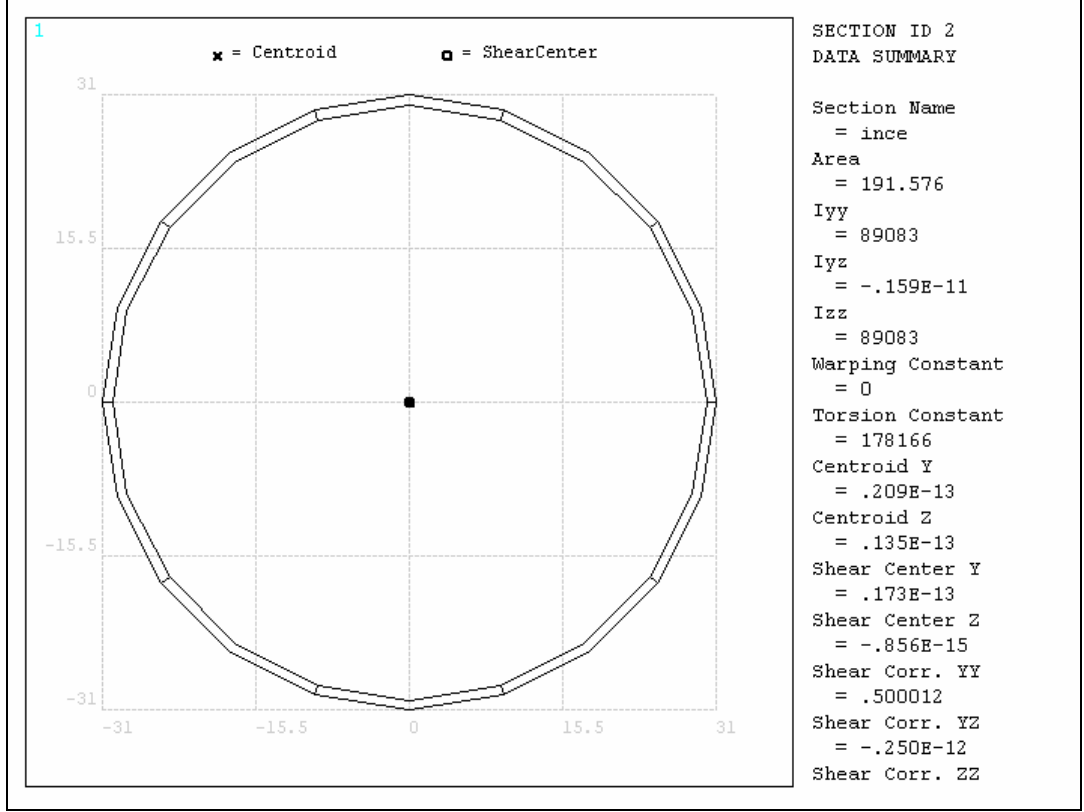
Yapısı itibariyle, iniş takımının farklı bölgeleri için değişik gerilme durumları gözlenecektir. En ideal yapıya ulaşabilmek için kesitlerin her yerde aynı olmaması gerektiğine karar verilmiş ve oluşabilecek gerilmeler için 3 farklı kesit belirlenmiştir. Asimetrik iniş sırasında çok yüksek gerilmelere maruz kalacağı düşünüldükçe, G-I arasında I profil kullanılmış, oluşturulan kesit Şekil 2.2’ de gösterilmiştir. C-E, L-N, G-C ve L-I kısımlarında simetrik yükleme durumu düşünüldükçe tasarlanan içi boş yuvarlak kesit Şekil 2.3’ te görülmektedir. En az gerilmeye maruz kalacak A-C, B-F, J-L, K-H ve F-H kısımlarında ise yine içi boş ve daha ince cidarlı yuvarlak kesit kullanılmış ve bu kesit geometrisi Şekil 2.4’ te gösterilmiştir. Modelleme kısmında sırayla kırmızı, mavi ve mor olarak bahsedilen kesitler değişen gerilme durumları için yeterli olmuştur.



Şekil-2.2 Kırmızı kesit için oluşturulan geometri (mm)



Şekil-2.3 Mavi kesit için oluşturulan geometri (mm)



**Şekil-2.4 Mor kesit için oluşturulan geometri (mm)**

İniş takımı, helikopterin en fazla mukavemete sahip olması gereken kısmıdır. Dayanımının yanı sıra hafifliği de göz önünde bulundurulduğunda çelik kullanılmasına karar verilmiştir. İTÜ hafif ticari helikopteri iniş takımı malzemesi olarak yüksek akma dayanımı ve yüksek Elastisite modülüne sahip olan 17-7 PH paslanmaz çelik seçilmiştir. Bu malzemeye ait analizde kullanılan özellikler Tablo 2.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1 17-7 PH paslanmaz çelik özellikleri [1,2]**

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| Kopma Gerilmesi   | 1170 MPa               |
| Akma Gerilmesi    | 965 MPa                |
| Yoğunluk          | 7800 kg/m <sup>3</sup> |
| Elastisite Modülü | 204 GPa                |
| Poisson Oranı     | 0,31                   |

### III. YÜKLEME DURUMU

Havacılık sanayiinde standartları belirleyen en önemli kurumlardan biri olan Federal Aviation Regulation (FAR)'ın hazırladığı nizamnamelere göre; iniş takımına etkiyecek yük, helikopterin maksimum kalkış ağırlığının 1,33 katı olarak alınmaktadır.[3] Maksimum kalkış ağırlığı 20 KN olan helikopterin iniş takımına etkiyecek toplam kuvvet aşağıda denklem-3.1' de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$F = W_{\max} * n = 20KN * 1,33 = 26600N \quad (3.1)$$

Geometrisi ve malzemesi belirlenen iniş takımı için iki farklı yükleme durumu öngörülmüştür. İlk olarak mükemmel düz iniş durumunda her iki kızağın da aynı anda yere temas ettiği kabulü ile kızağa etkiyecek yük belirlenmiştir. Yere temas eden çubuklara yukarıda hesaplanan kuvvet yayılı ve lineer olarak uygulanacağından, bu değer yüke maruz kalan çubukların toplam boyuna bölünerek uygulanacak yük denklem-3.2' deki gibi belirlenmiştir.

$$w_1 = \frac{F}{l_1} = \frac{26600N}{6184mm} = 4,301 \frac{N}{mm} \quad (+ y \text{ yönünde}) \quad (3.2)$$

İkinci olarak asimetrik iniş durumunda, tek kızak üzerine burun ilk temaslı iniş yapıldığı kabulü ile D-E çubuğuna lineer yayılı olarak etkiyecek yük denklem-3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

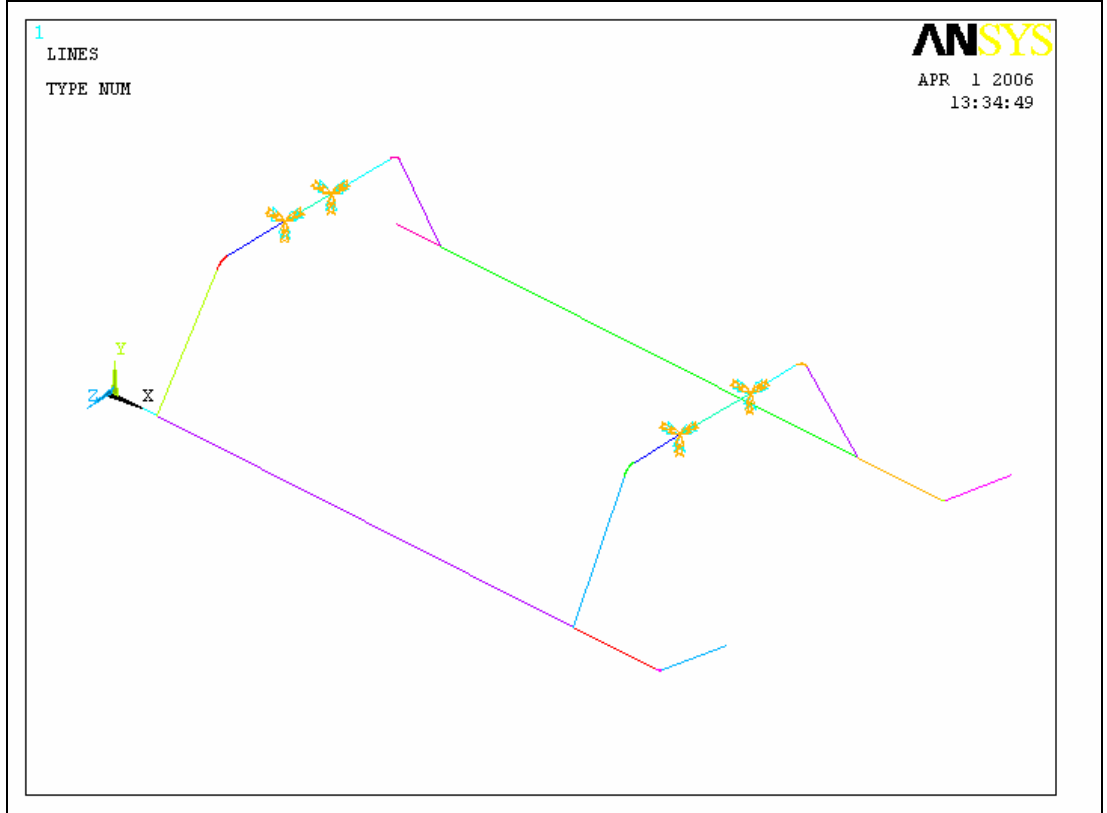
$$w_2 = \frac{F}{l_2} = \frac{26600N}{519,92693mm} = -51,161 \frac{N}{mm} \quad (-2 \text{ yönünde}) \quad (3.3)$$

Havacılık sanayinde yapıda oluşabilecek kararsızlıklar, analiz sırasında yapılan varsayımlar ve beklenmedik durumlar yüzünden oluşabilecek herhangi bir göçmeyi önlemek için emniyet katsayısı kullanılmaktadır. Yine FAR' ın hazırladığı nizamnamelere göre emniyet katsayısının 1.5 alınmasına karar verilmiştir.[3] Bu durumda analiz sonrasında elde edilen gerilmelerin kıyaslanacağı emniyetli gerilme değeri denklem-3.4' te görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{emniyet}} = \frac{\sigma_{akma}}{n_{\text{emniyet}}} = \frac{965MPa}{1.5} = 643MPa \quad (3.4)$$

#### IV. MODELLEME VE ANALİZ

İTU hafif ticari helikopterin iniş takımının modellenmesi ANSYS 8.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Modellemeye öncelikle raporun ikinci bölümünde ölçülendirilen geometri için, noktaların belirlenmesiyle başlanmıştır. Malzeme özelliklerinin atanmasının ardından oluşturulan noktaların çizgilerle birbirine bağlanması ile oluşan yapı Şekil 4.1’ de görülmektedir. Gerilme konsantrasyonlarından kaçınılması amacıyla F,H,G ve I noktalarına 80 mm, D ve M noktalarına ise 50 mm yarıçapla yuvarlatma yapılmıştır.



Şekil-4.1 ANSYS programında modellenen iniş takımı

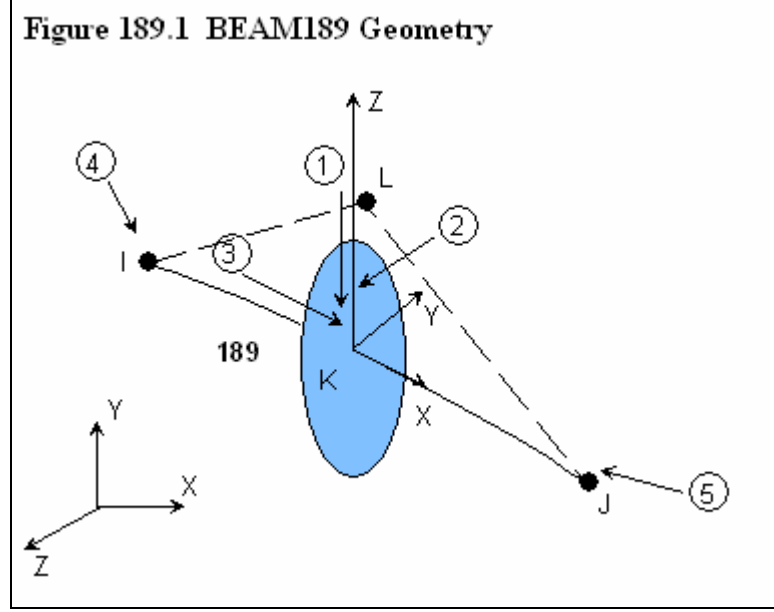
#### **Sınır Koşulları:**

Gerçektekine uygun olması açısından iniş takımı, Şekil-4.1’ den de görüleceği üzere G-I ve F-H çubukları arasında belirtilen noktalardan ankastre mesnetle tutturulmuş böylelikle 3-eksendeki hareket sabitlenmiştir. Yükleme durumu bölümünde anlatıldığı gibi hesaplanan kuvvet değerleri en uygun şekilde kanada uygulanmış ve analiz aşamasına geçilmiştir.

#### **Cözüm Ağı:**

17-7 PH paslanmaz çelik kullanılarak yapılan modellemede BEAM eleman olarak “beam 189” kullanılmıştır. Şekil 4.2’ de görülen “beam 189” elemanı I, J ve L

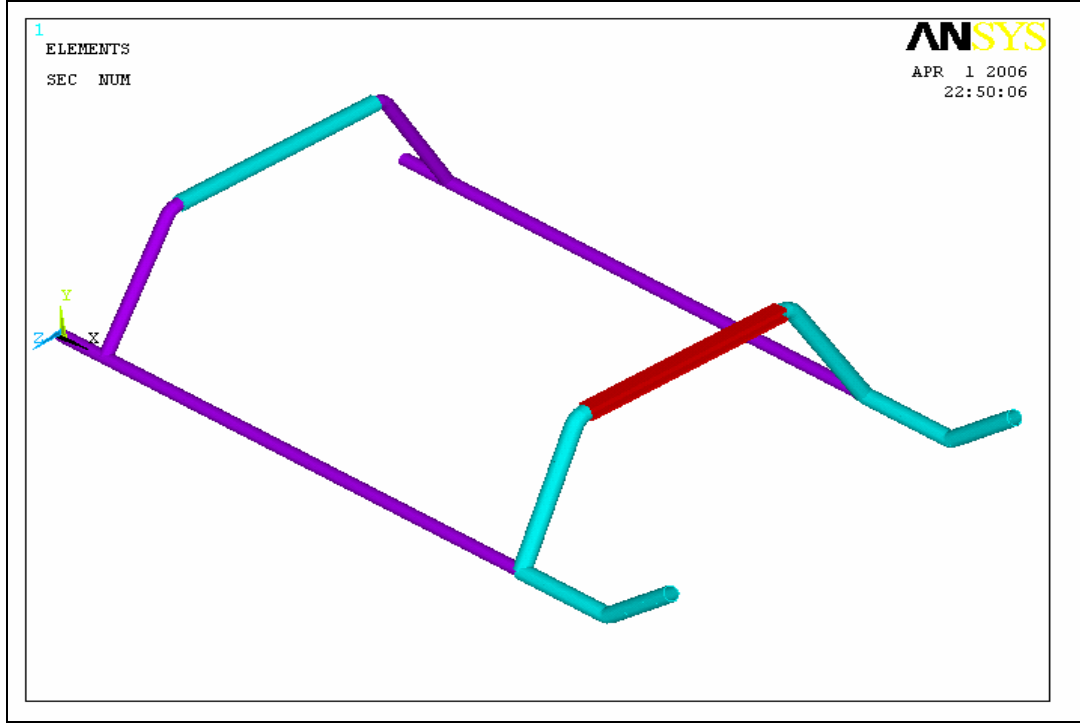
düğüm noktalarında 6' şar adet serbestlik derecesine sahiptir (UX, UY, UZ, ROTX, ROTZ, ROTY ve WARP). Kesidine oranla uzunluğunun fazla olduğu kiriş elemanlar için daha doğru sonuçlar verdiği için tercih edilen bu eleman temelde “Timoshenko Kiriş Teorisi” ne dayanmaktadır.



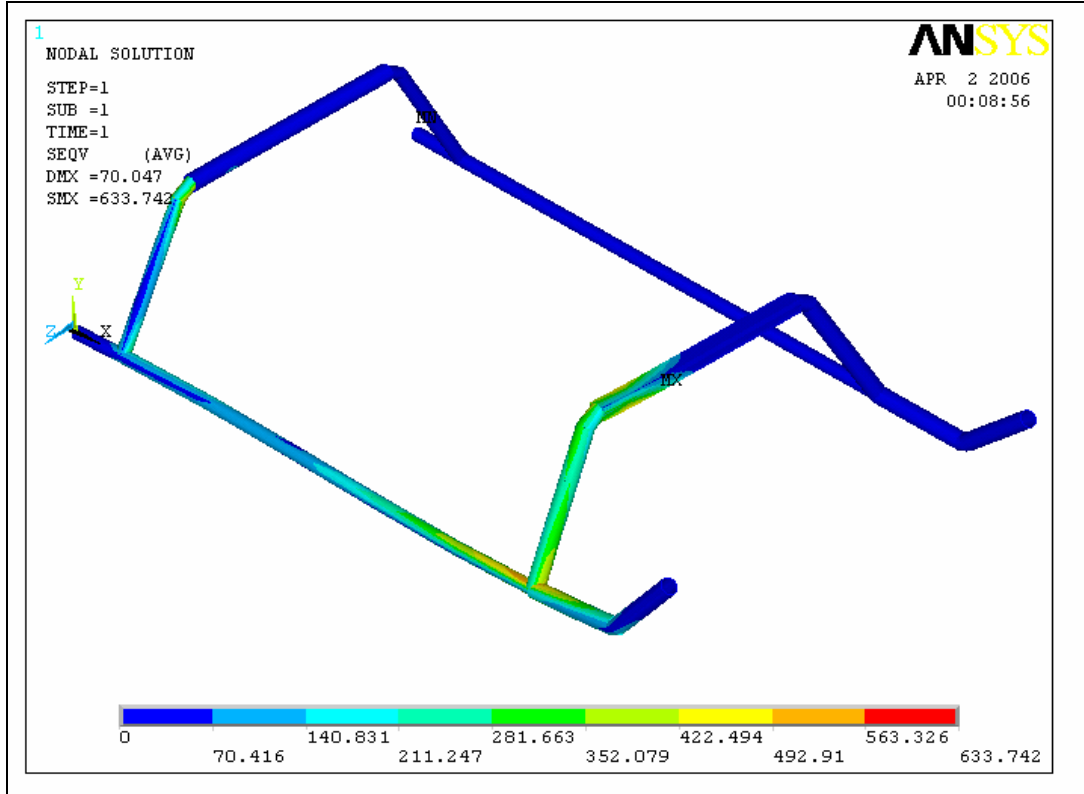
**Şekil-4.2 BEAM 189 için geometrik yapı**

Kullanılacak sonlu eleman olarak “beam 189” un atanmasının ardından daha önceden belirlenmiş olan kesit yapıları çubuklara Şekil 4.3’ te görüldüğü şekilde atanmıştır. Farklı gerilmelere maruz kalacak olan ve farklı uzunluktaki çubuklara değişen boyutlarda tahmini bir çözüm ağı atanmıştır. Uygulanan ilk çözüm ağı toplam 52 eleman ve 110 düğüm noktasından oluşmaktadır. Asimetrik yükleme durumu için analizi yapılan ilk tasarım için elde edilen gerilme dağılımı Şekil 4.4’ te yer almaktadır.



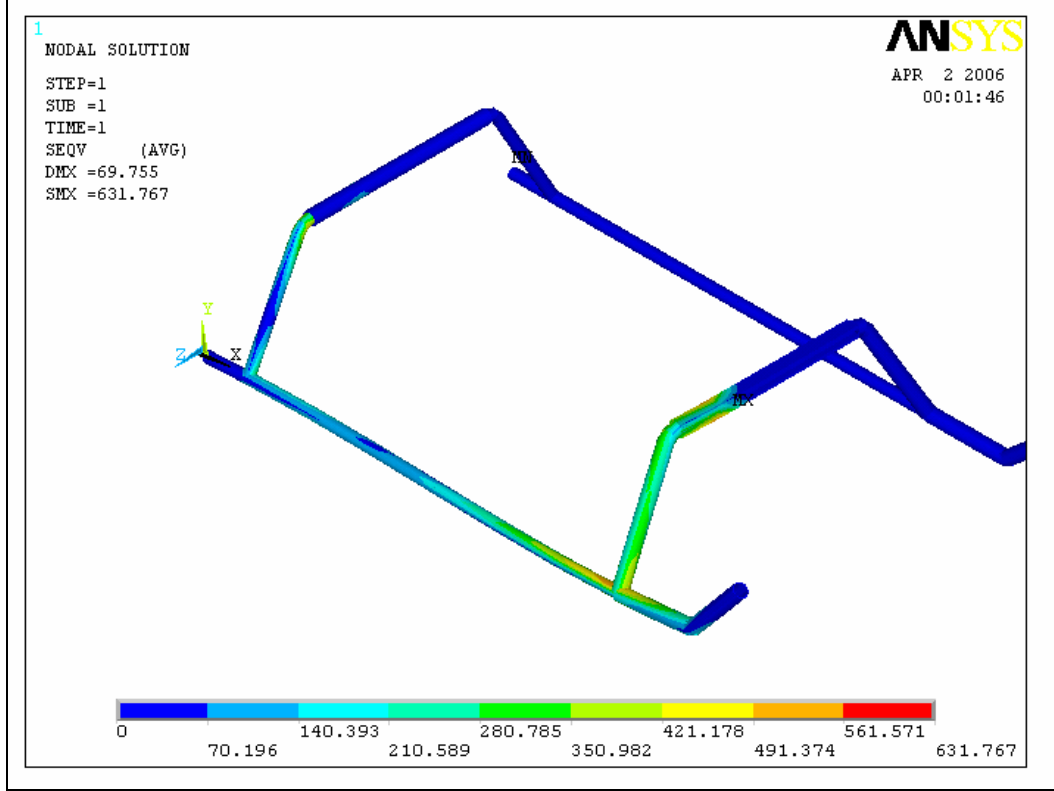


Şekil-4.3 Oluşturulan 3 kesidin yapıya uygulanışı



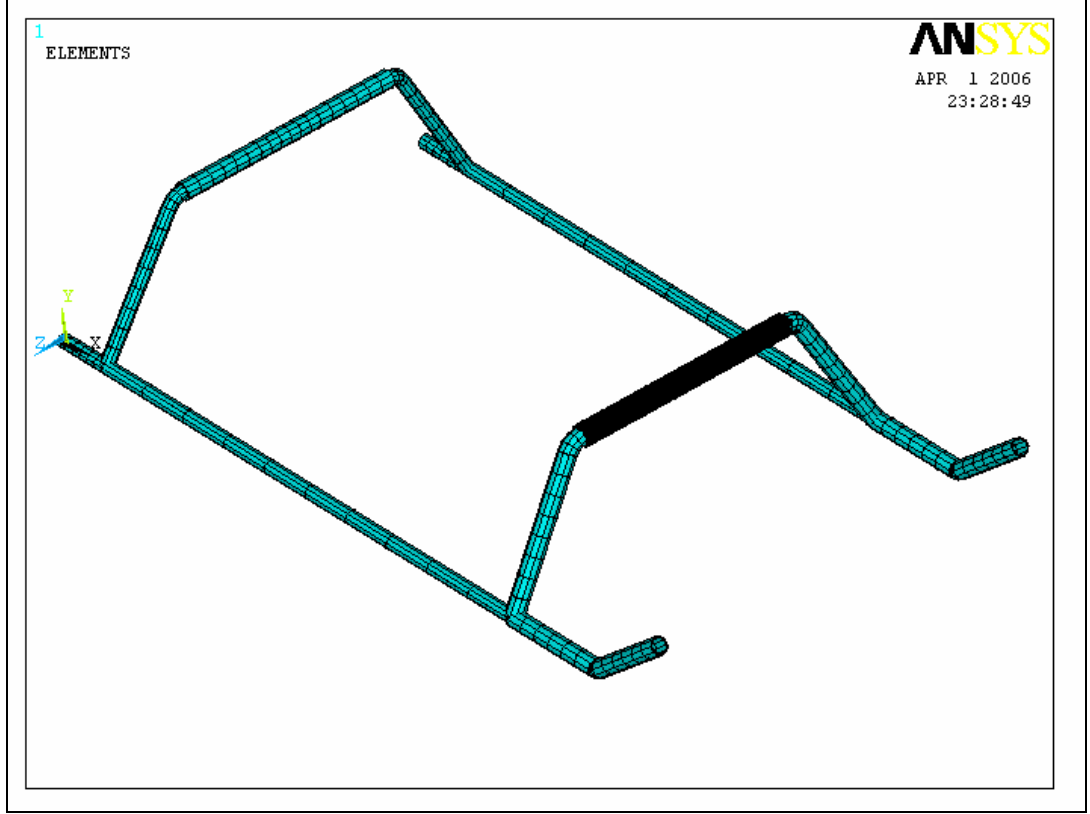
Şekil-4.4 İlk olarak tasarlanan yapı için gerilme durumu ( $\sigma_{\max}=633,742$  MPa)

Maksimum gerilmesi  $\sigma_{emniyet}$  değerinden düşük çıkan yapı için daha doğru sonuçlara ulaşılması amacıyla çözüm ağı yakınsaması yapılmıştır. Daha fazla sonlu eleman kullanılarak oluşturulan ikinci çözüm ağında toplam 92 eleman ve 196 düğüm noktası mevcuttur. Şekil 4.5’ de yine asimetrik iniş için gerilme durumu görülen ve ilk tasarlanan yapıdakinden daha düşük bir maksimum gerilmeye sahip yapı ile % 0,3116’ lık bir iyileştirme sağlanmıştır.



**Şekil-4.5 İkinci olarak tasarlanan yapı için gerilme durumu( $\sigma_{max}=631,767\text{MPa}$ )**

Bir kez daha yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda oluşturulan, 142 eleman ve 302 düğüm noktasına sahip yapının asimetrik inişteki gerilme sonuçlarının %0,06’ lık bir yakınsama ile beklenene uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

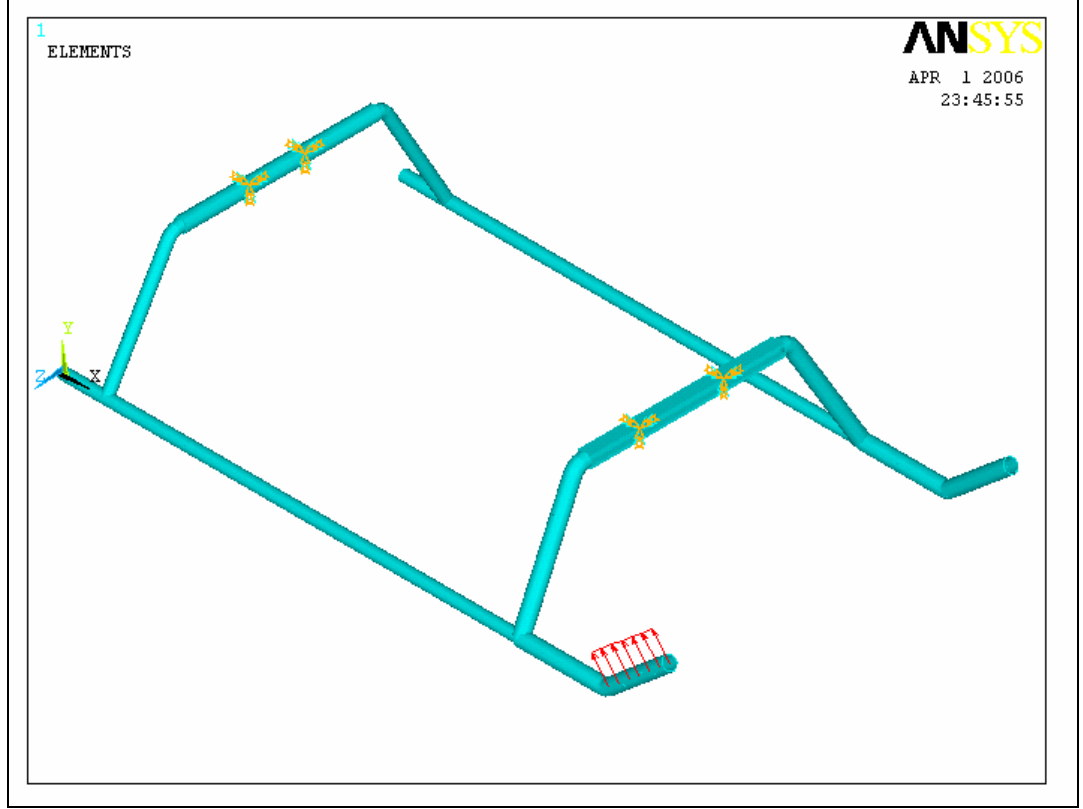


**Şekil-4.6 Modellenen iniş takımı için belirlenen çözüm ağı**

Tasarlanan iniş takımı için seçilen malzemenin akma dayanımını sağlayacak en uygun kesitlerin ve çözüm ağının atanmış olduğu ulaşılan yakınsama değeri ile görülmüştür. Şekil 4.6’ da ideal çözüm ağı ile görülen yapının analizi bu aşamada tamamlanmıştır.

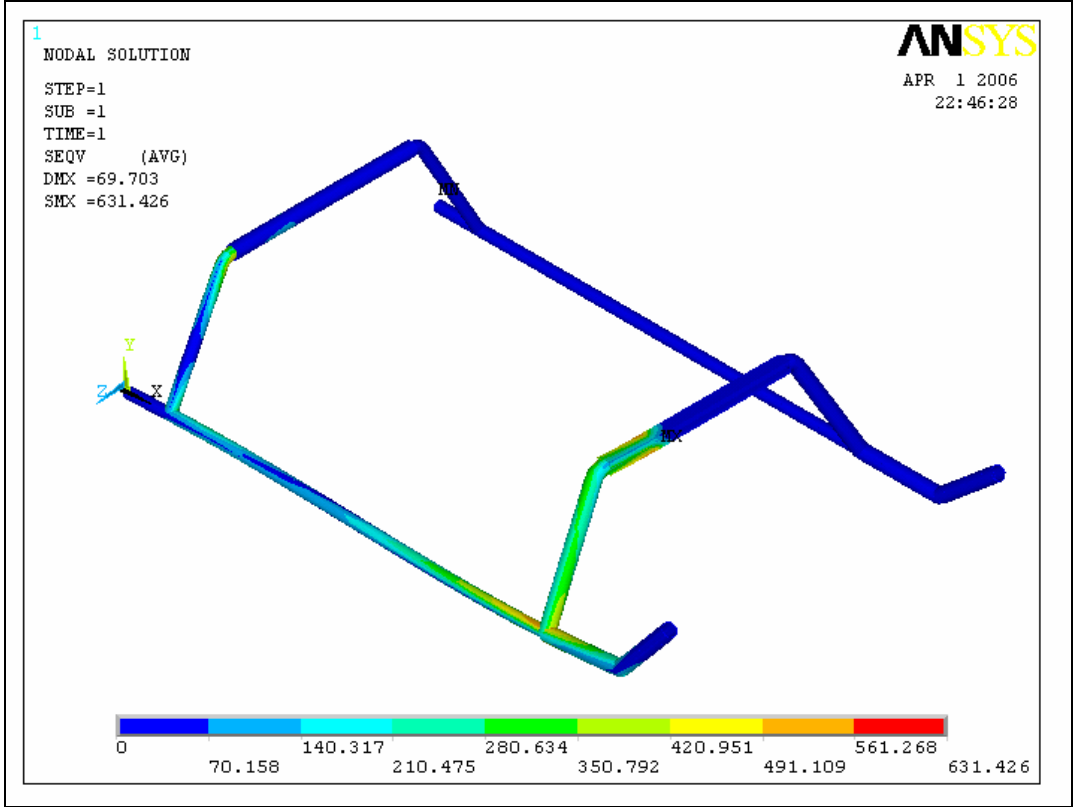
## **V. ANALİZ SONUÇLARI**

Daha önceden belirtilmiş olan geometri ve sınır şartları ile modellenen iniş takımı için uygun çözüm ağı 2. iyileştirme ile sağlanmıştır. Tek kızak üzerine burun ilk temaslı asimetrik iniş durumunda gerilmelerin daha fazla olacağı düşünülerek analizlerde ilk yükleme asimetrik durum için uygulanmıştır. Şekil 5.1’ de asimetrik iniş için analiz edilen yapı, sınır şartları ve yükleriyle görülmektedir.

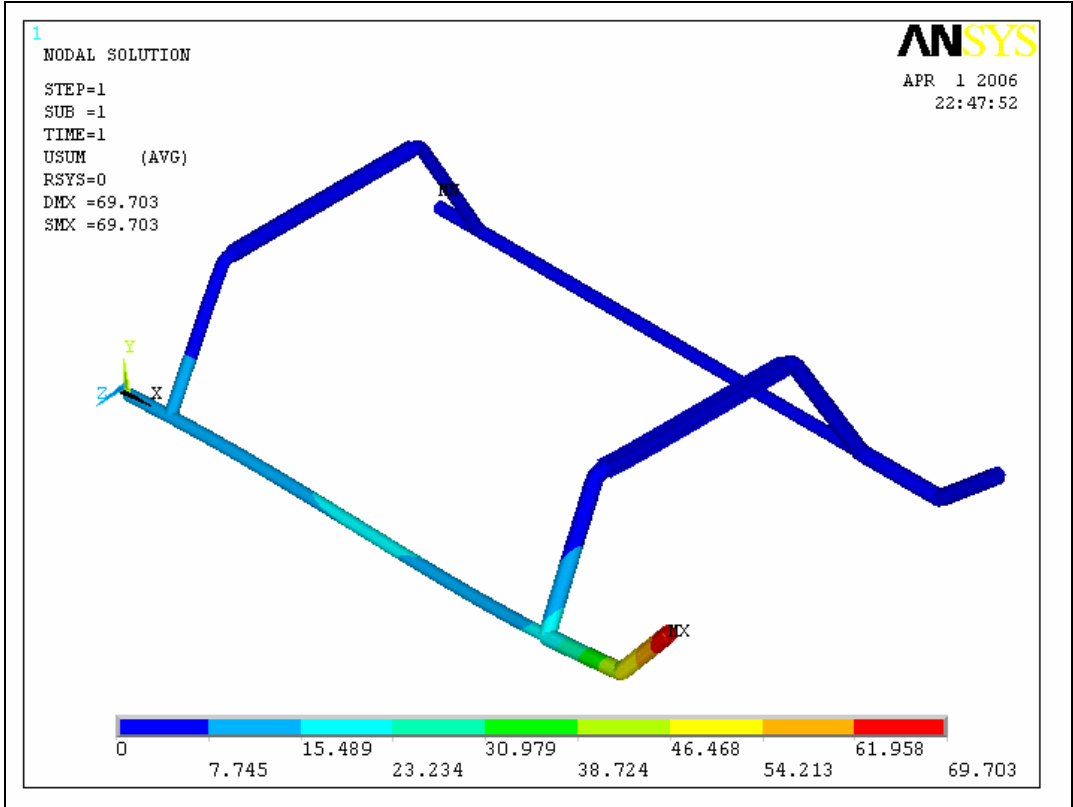


**Şekil-5.1 Asimetrik iniş durumu için analiz edilen yapı**

Analiz sonuçlarında kırmızı bölgeler tehlikeye yakın olup maksimum değerleri ifade eder. Sarı bu sıralamada ortalamayı belirtir. Mavi kısımlar ise minimum bölgeleri işaretler. Bu bölgeler en tehlikesiz yüzeylerdir. Şekil 5.2' de gerilme durumu verilen iniş takımının maksimum gerilme değerinin, malzemenin akma gerilmesi sınırını geçmediği görülmektedir. Şekil 5.3' te ise aynı şartlarda ortaya çıkan yer değiştirme durumu verilmiştir. Gerilme sınır şartı, asimetrik yükleme durumu için sağlandığından yapılan bu analiz uygun olarak kabul edilmiştir.

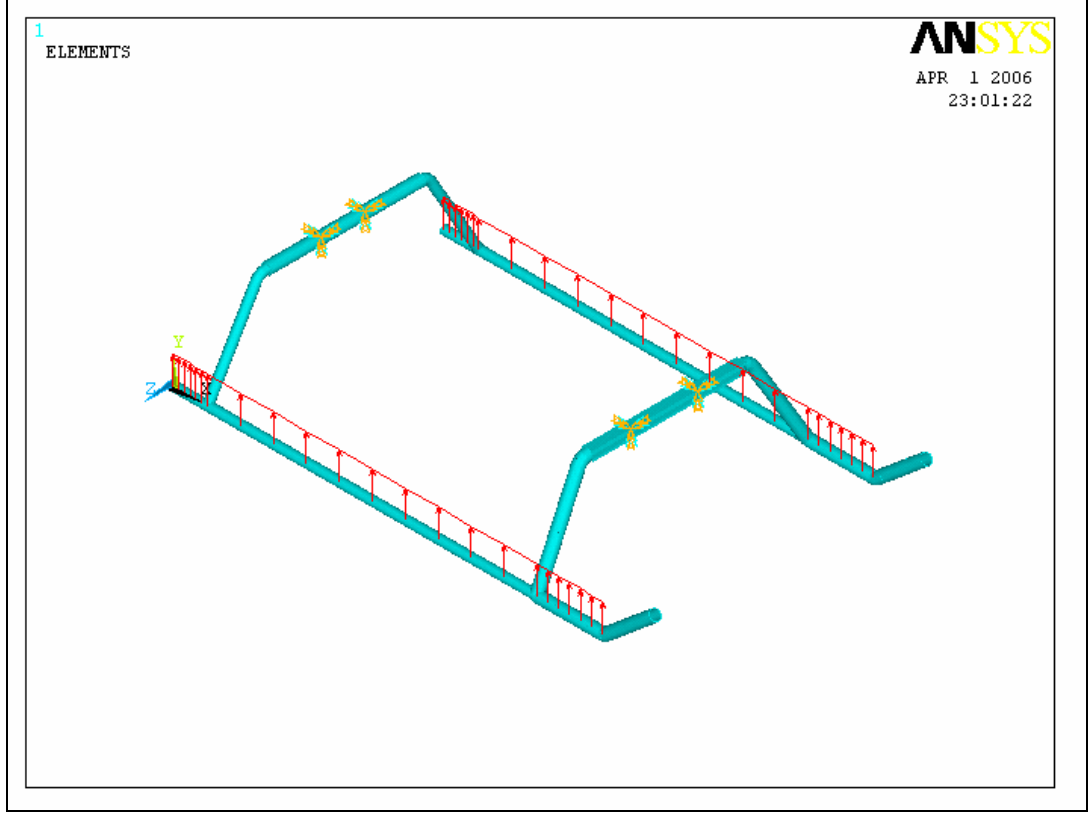


Şekil-5.2 Asimetrik iniş için gerilme durumu ( $\sigma_{\max}=631,426\text{MPa}$ )



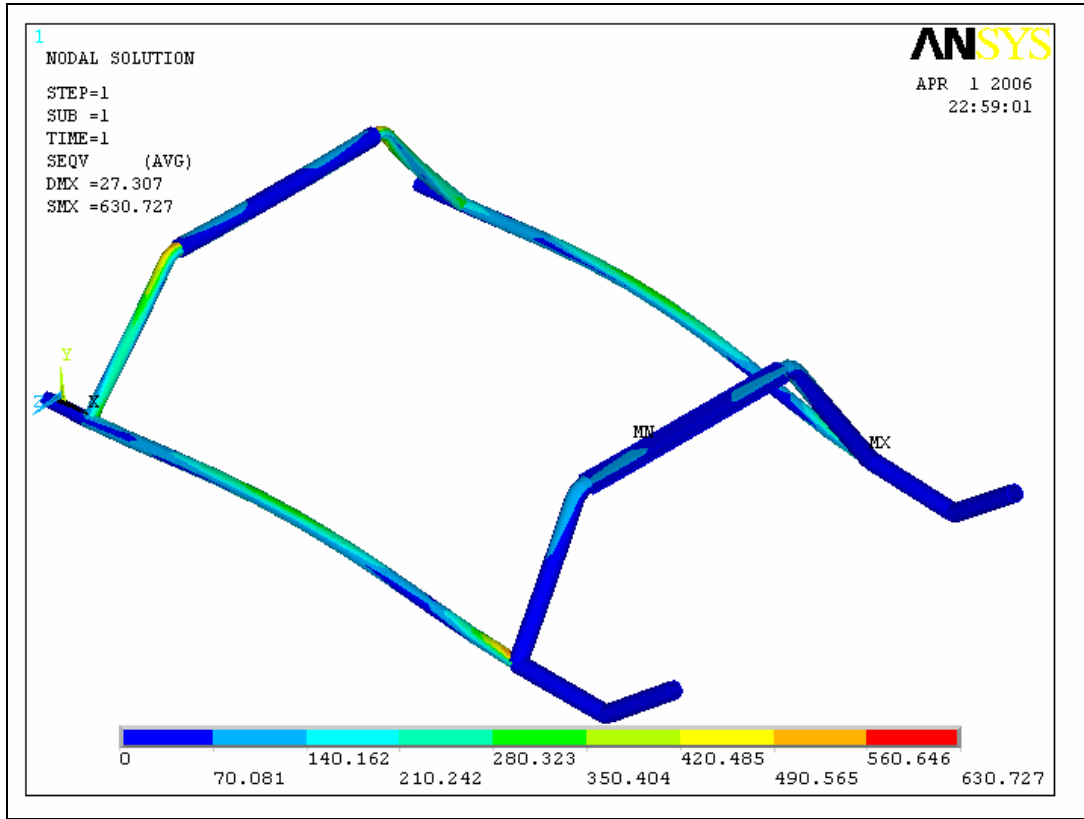
Şekil-5.3 Asimetrik iniş için yerdeğiştirme durumu ( $\delta_{\max}=69,703\text{mm}$ )

Asimetrik durum için uygun yapı bu kez mükemmel düz iniş durumu için incelenmiştir. Aynı kesitler ve çözüm ağı için yüklemenin değiştiği yapı Şekil 5.4' te görülmektedir.

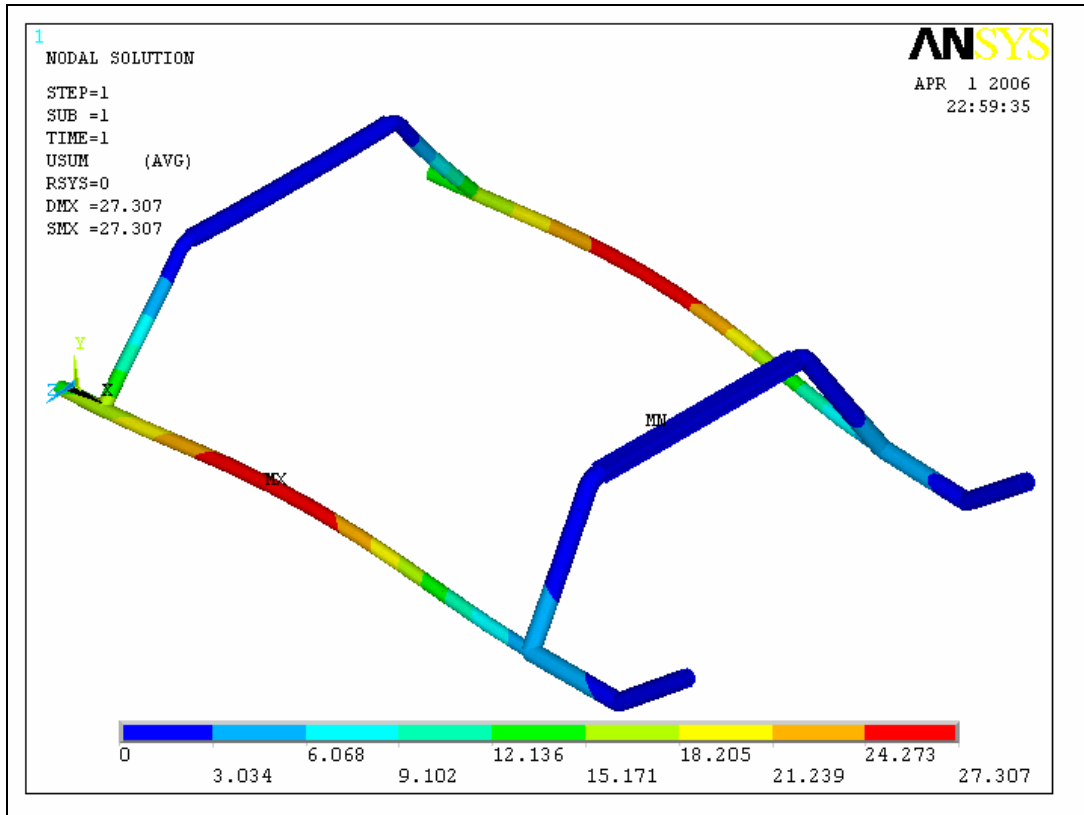


**Şekil-5.4 Mükemmel düz iniş durumu için analiz edilen yapı**

İki kızağın da aynı anda yere temas ettiği durum için yapılan ikinci analizde elde edilen gerilme dağılımı Şekil 5.5' te, yer değiştirme sonuçları ise Şekil 5.6' da gösterilmiştir. Asimetrik iniş durumuna göre, daha düşük gerilme ve yer değiştirmenin görüldüğü analiz sonuçları beklenenle uyumludur. Mükemmel düz iniş durumu için sağlanan gerilme sınır şartı tasarlanan yapının her iki iniş durumu için de uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil-5.5 Mükemmel düz iniş için gerilme durumu ( $\sigma_{\max}=630,727\text{MPa}$ )



Şekil-5.6 Mükemmel düz iniş için yer değiştirme durumu ( $\delta_{\max}=27,307\text{mm}$ )

## VI. DEĞERLENDİRME

İTÜ hafif ticari helikopteri için tasarlanan kızak tipi iniş takımının analizinin yapıldığı bu çalışmada, verilen sınır şartları ve belirlenen yükleme durumları için en uygun sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Geometrisi ve ana boyutları verilen bu iniş takımı için analizden önce ANSYS bilgisayar programı ile modelleme yapılmıştır. 'BEAM' eleman olan "beam 189" un kullanıldığı modellemede biri asimetrik, diğeri mükemmel düz iniş olmak üzere iki iniş durumu için yükler belirlenirken FAR kriterlerine uygunluk sağlanmıştır. Bu amaçla, emniyet katsayısı 1,5 olarak kabul edilmiştir. İniş takımında, çubukların farklı uzunlukta olduğu ve gerilmelerin çubuktan çubuğa değişeceği göz önünde bulundurularak üç farklı kesit tanımlanmıştır. Biri I profil, diğer ikisi ise farklı yarıçaplardaki içi boş dairelerden oluşan kesitler tahmini gerilme durumlarına göre yapıya uygulanmıştır. Dayanıklılığı ve hafifliği bakımından tercih edilen 17-7 PH paslanmaz çeliğin malzeme özellikleri tüm yapıya uygulanmış ve analize başlanmıştır. Daha yüksek gerilmelerin gözleneceği düşünülerek ilk olarak asimetrik iniş için analiz yapılmıştır. Birinci analiz sonucunda elde edilen maksimum gerilme değerinin malzemenin akma gerilmesinden düşük çıkması sonucunda, çözüm ağı yakınsaması yapılmıştır. 633,742 MPa değerinde maksimum gerilmeye sahip ilk çözüm ağından % 0,3116' lık iyileştirme ile 631,767 MPa maksimum gerilmesine sahip ikinci bir çözüm ağı oluşturulmuştur. Daha sonra 142 eleman ve 302 düğüm noktasına sahip üçüncü çözüm ağı % 0,06' lık bir iyileştirmeyle oluşturulmuş ve analiz için yeterli bulunmuştur. Mükemmel düz iniş durumu için de gerilme sınır şartını sağlayan bu üçüncü çözüm ağı ile yapı belirlenen yüklemeler ve sınır şartları için en uygun olarak kabul edilmiştir. ANSYS analiz programı kullanılarak incelenen bu iniş takımı için nihai ağırlık 821,99 N olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen gerilme ve yer değiştirme değerleri gerçekte uyumludur.



## **VII. KAYNAKLAR**

[1] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQM177E>

[2] [http://www.engineersedge.com/manufacturing\\_spec/average\\_properties\\_structural\\_materials.htm](http://www.engineersedge.com/manufacturing_spec/average_properties_structural_materials.htm)

[3] <http://atlas.cc.itu.edu.tr/~mecit/>

[4] ANSYS 8.0 help dokümanları