

**TVS 2000 YOLCU VAGONLARININ BİLGİSAYAR
YARDIMIYLA YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh Murat ÖZSOY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : MAK. TASARIM ve İMALAT

Bu tez 06/07/1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı
Yrd. Doc. Dr
Ümit KOCABIÇAK

Jüri Üyesi
Doc.Dr
Abdullah MİMAROĞLU

Jüri Üyesi
Yrd.Doc.Dr
Muhammed CERİT

ÖNSÖZ

Son derece hızla gelişen ekonomik ve sosyal şartlar, mühendislik alanındaki çalışmaların da aynı şekilde gelişmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle son yıllarda, bilgisayar donanımlarındaki gelişim, mühendislik problemlerinin çözümünde bilgisayarların yaygın şekilde kullanılmasına yol açmıştır.

Sonlu eleman metoduyla çalışan yazılımlar günümüzde epey popüler hale gelmiştir. Umarım ki, bu yazılımlardan birini kullanarak yaptığım çalışma ülkemiz ve insanlara olumlu katkılarda bulunur.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını benden eksik etmeyen danışmanım Sayın Yrd. Doc. Dr. Ümit Kocabaş'a, Dr. Erdal Aba'ya (Tüvasaş), Figes Ltd. Şti çalışanlarına ve tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. TVS 2000 Yolcu Vagonları	1
1.2. Çalışmanın Amacı	5
1.3. Çalışmanın Tanıtılması	5

BÖLÜM 2.

TVS 2000 YOLCU VAGONLARININ DAYANIKLILIĞINA YÖNELİK STATİK

DENEYLER	7
2.1. Deney Standartları	7
2.2. Statik Basma Deneyleri	7
2.2.1. Tampon seviyesinde 200 ton	7
2.2.2. Tampon seviyesinde diagonal olarak 50 ton	7
2.2.3. Dam boy kiriş seviyesinde 30 ton	7
2.2.4. Otomatik kuplore 200 ton	8
2.3. Statik Çekme Deneyleri	8
2.3.1. Otomatik kuplore 150 ton	8
2.4. Statik Dikey Yükleme Deneyleri	9
2.4.1. Şase üzerinde yayılı yük	9
2.5. Müsaade Edilen Gerilmeler	9

BÖLÜM 3.

SONLU ELEMAN YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ ve ANSYS PAKET

PROGRAMI	10
3.1. Sonlu Eleman Yöntemi	10
3.1.1. Eleman biçiminin seçimi	14
3.1.2. Niçin sonlu eleman	15
3.2. Sonlu Eleman Yönteminin Hata Kaynakları	16
3.2.1. Prensip hataları	16
3.2.2. Geometrik hatalar	17
3.2.3. Malzemeye özgü hatalar	18
3.2.4. Sınır şartlarına özgü hatalar	18
3.3. Genel Amaçlı Sonlu Eleman Programları	18
3.4. ANSYS Paket Programı	20
3.4.1. Programın kabiliyetleri	21
3.4.2. Koordinat sistemleri	21
3.4.2.1. Global ve lokal koordinat sistemleri	21
3.4.2.2. Global koordinat sistemleri	22
3.4.2.3. Lokal koordinat sistemleri	22
3.4.2.4. Display koordinat sistemleri	23
3.4.2.5. Nodal koordinat sistemleri	23
3.4.2.6. Element koordinat sistemleri	24
3.4.3. Element kütüphanesi	24
3.4.4. Çözüm metodları	24
3.4.5. Ön hazırlık kapasitesi	25
3.5. ANSYS İle Başlangıç	25
3.5.1. Analiz yapma	25
3.5.2. Modeli oluşturmak	26
3.5.3. İsimlendirme	26
3.5.4. Eleman tipi tanımlama	26
3.5.5. Real constant tanımlama	27
3.5.6. Malzeme özelliklerini tanımlama	27
3.5.7. Model geometrisini oluşturma	28
3.5.8. Yüklerin yerleştirilmesi ve çözüm	28

3.5.9. Sonuçların incelenmesi	28
-------------------------------------	----

BÖLÜM 4.

TVS 2000 YOLCU VAGONUNUN SONLU ELEMAN MODELİ VE ANALİZİ..

4.1. TVS 2000 Yolcu vagonunun Sonlu Eleman Modeli	30
4.2. Sınır Şartları	30
4.3. Eleman Tipleri	31
4.3.1. Üç Boyutlu Elastik Kiriş Eleman	31
4.3.2. Üç Boyutlu Elastik Kabuk Eleman	32
4.4. Deneysel Sonuçları	33
4.4.1. Statik Basma Deneysel Sonuçları	33
4.4.1.1. Tampon Seviyesinde 200 ton	33
4.4.1.2. Tampon Seviyesinde Diagonal Olarak 50 ton	34
4.4.1.3. Dam Boy Kiriş Seviyesinde 30 ton	34
4.4.1.4. Otomatik Kuplore 200 ton	34
4.4.2. Statik Çekme Yükleri	35
4.4.2.1. Otomatik Kuplore 150 ton	35
4.4.3. Statik Dikey Yük	35
4.4.3.1. Şase Üzerinde Yayılı Yük	35

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER	37
----------------------------	----

KAYNAKLAR	38
-----------------	----

EKLER

Ek A Analiz Sonuçları	40
-----------------------------	----

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER LİSTESİ

[K]: Global direngenlik matrisi

{ δ }: Deplasman vektörü

{P}: Kuvvet vektörü

f_n : Çökme değeri

F : Kuvvet

P : Basınç

S : Emniyet katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	TVS 2000 yolcu vagonu	1
Şekil 2.1a	Statik basma yüklerinin uygulanması	8
Şekil 2.1b	Statik basma yüklerinin uygulanması	8
Şekil 2.1c	Statik basma yüklerinin uygulanması	8
Şekil 2.1d	Statik basma yüklerinin uygulanması	8
Şekil 2.2	Statik çekme yükünün uygulanması	9
Şekil 3.1a	Üç doğrusal sonlu elemana ayrılmış bir boyutlu cisim	10
Şekil 3.1b	Üçgen elemanlar sistemi haline getirilmiş iki boyutlu delikli bir bir cisim	11
Şekil 3.1c	8 özdeş dikdörtgen prizma elemana ayrılmış üç boyutlu bir cisim..	11
Şekil 3.2a	Birim üniform kalınlıklı iki düzlem sonlu eleman	12
Şekil 3.2b	Şekil 3.2a'daki sonlu elemanların düğümlerle bağlantısı	12
Şekil 3.3	İki boyutlu düzlem elemanlar	14
Şekil 3.4	Üç boyutlu düzlem elemanlar	14
Şekil 3.5	Üçgen ve dikdörtgen elemanlara bölünmüş düzlemsel cisim	15
Şekil 3.6	Köşeler	16
Şekil 3.7	Sonlu elemanların sıklığına bağlı hata değişimi	17
Şekil 3.8	Sonlu eleman yöntemi ile çalışan programların çalışma şeması ...	19
Şekil 3.9	ANSYS paket programı menüsü	20
Şekil 3.10	Global koordinat sistemleri	22
Şekil 3.11	Nodal koordinat sistemleri	23
Şekil 3.12	Lokal koordinat sistemleri	24
Şekil 4.1	TVS 2000 vagonunun sonlu eleman modeli	30

Şekil 4.2	Sonlu eleman modeli sınır şartları	31
Şekil 4.3	Üç boyutlu elastik kiriş eleman	32
Şekil 4.4	Üç boyutlu elastik kabuk eleman	33

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1	TVS 2000 yolcu vagonları teknik karakteristikleri	4
-----------	---	---

ÖZET

Anahtar Kelimeler: TVS 2000 yolcu vagonları, sonlu elemanlar analizi

TVS 2000 yolcu vagonlarının, işletim sırasında oluşabilecek kaza durumlarında yolcuların güvenliğinin sağlanması için uyulması zorunlu olan uluslararası standartlar oluşturulmuştur..

Standartlarda belirtilen deneylerin gerçekleştirilmesi hem maliyetli hem de fazla zaman almaktadır. TVS 2000 yolcu vagonlarının daha tasarım aşamasında bilgisayar ortamında Sonlu Elemanlar Yöntemiyle statik yükleme deneylerinin yapılması yüksek tasarım, imalat ve deney harcamalarını azaltacaktır.

Bu çalışmada UIC (Avrupa Demiryolları Birliği)'nin belirttiği statik yükleme deneylerinin uygulama yöntemi açıklandı. Sonlu elemanlar yöntemi ve TVS 2000 yolcu vagonunun sonlu elemanlar metoduna uyarlanması ile ilgili bilgi verildi. Çalışmada deneylerin çözümünü yapan ve Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanan ANSYS paket programı hakkında bilgi verildi. Analizler sırasında üç boyutlu elastik kiriş ve üç boyutlu elastik kabuk eleman kullanıldı. Yapılan çözümler sonrasında görüldü ki TVS 2000 yolcu vagonları, uygulanan deneylerin çoğundan başarıyla geçti.

SUMMARY

Keywords: TVS 2000 passenger coaches, finite element method

TVS 2000 passenger coaches have to provide some standards for the safety of human beings during the transportation which are formed by International Union Railways (UIC).

Applicating of these standard static loading tests on real models is cost consuming procedure, therefore carrying out these tests on computer environment will reduce time and cost.

In this study the methods of applicating of these static loading tests, specified by International Union Railways are explained.

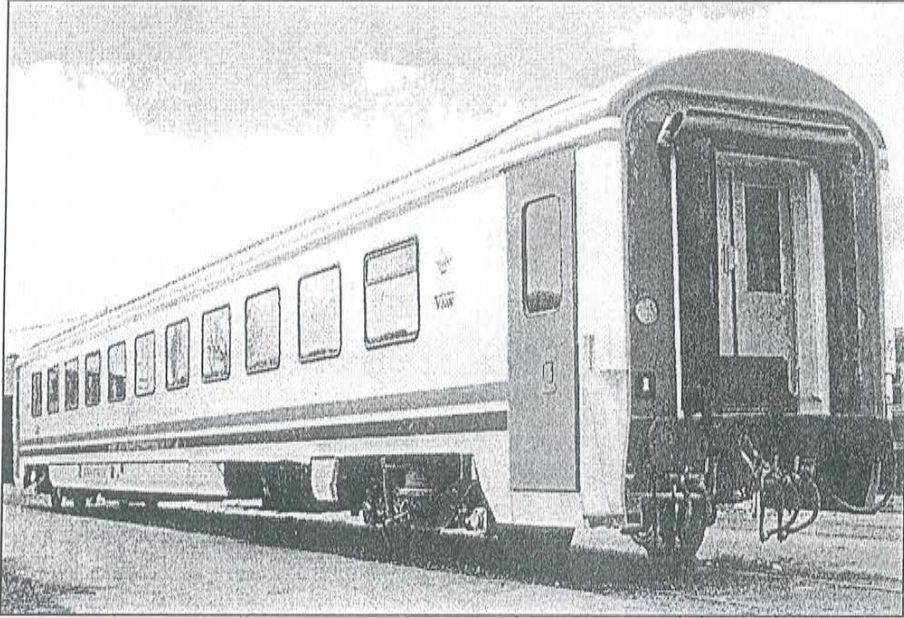
Enlightened about finite element method, finite element model of TVS 2000 passenger coaches and how to use computer code ANSYS. During the modeling, 3D elastic beam and 3D elastik shell elements were used.

The results showed that the TVS 2000 passenger coaches passed most of the static loading tests successfully.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda sanayinin pek çok dalında bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri geniş yer tutmaya başlamıştır. Bu yöntemler tasarım ve analiz aşamasında harcanan zamanı kısaltmakta, tasarım parametrelerinin kısa zamanda değiştirilebilmesini sağlamakta ve tasarım aşamasına esneklik kazandırmakta, bunun yanı sıra tasarım ve analiz maliyetini de azaltmaktadır. İmal edilmiş konstrüksiyonların kontrolünde zaman ve külfet kaybına neden olan deneylerin yükünü azaltmak için kullanılan sonlu eleman yöntemine dayalı bilgisayar yazılımları günümüzün vazgeçilmez unsurları olmuşlardır [1-5]

1.1. TVS 2000 Yolcu Vagonları



Şekil 1.1 TVS 2000 yolcu vagonu

TVS 2000 vagon serisinin ilk örneği olan TÜVASAŞ tasarımı olan lüks pulman vagon; teknik emniyet, yolcu konforu, iç dekorasyon ve estetiğe önem veren özgün bir anlayışın ürünüdür.

Araç gövdesi korozyona karşı dayanıklı malzeme kullanılarak hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir.

İzolasyona büyük önem verilmiş, etkin bir korozyon, ısı ve ses izolasyonu için özel tedbirler alınmıştır. Tüm araç gövdesi kaynak işleminden sonra kumlama tekniği ile temizlenerek epoksi primer boya ile boyanıp iç yüzeyler ve taban sacı özel izolasyon malzemeleri ile kaplanmıştır. Isı izolasyonu için araç gövdesi tamamen cam yünü ile kaplıdır. Lastik süspansiyonlar üzerindeki yüzer taban konstrüksiyonu, salon bölümünde daha az gürültülü ve titreşim oluşmasını sağlar

Yan duvarlarda ve damda kullanılan kaplama panelleri tamir olayını kolaylaştıracı şekilde modüler tasarım anlayışı ile SMC malzemedен imal edilmiştir.

Uzun yolculuklarda maksimum yolcu konforunu sağlayacak şekilde ergonomik olarak tasarlanmış koltuklar, lastik titreşim yutucular ile tabana bağlanmıştır. Salon bölümünde, (2+1) oturma düzeninde 60 adet koltuk vardır. Pencereleerde, emniyet camından imal edilmiş çift camlı ısıcam üniteleri kullanılmıştır. Her pencerede yolcuları güneş ışığına karşı koruyacak stor perdeler mevcuttur.

İndirekt aydınlatma sistemi, salon bölümünde iyi aydınlatılmış ferah bir ortam oluşturmakta, aynı zamanda bağımsız okuma lambaları bulunmaktadır.

Seyahat sırasında yolculara bilgi vermek ve arzu ettikleri müziği dinletebilmek amacıyla, vagonlar anons ve 6 kanallı kapalı devre müzik yayın sistemi ile donatılmıştır.

Modern iç dizaynı, ergonomik ve estetik özellikleri ile renk uyumuna sahip pulman vagonlar, sıcaklığın her tarafta kararlı olmasını sağlayan kombine bir iklimlendirme sistemine sahiptir. Isıtma, havalandırma ve soğutma işlemleri tam otomatik olarak yapılmakta ve yüksek bir konfor sağlamaktadır.

Elektro-pnömatik giriş kapıları ve alınuvar kapıları kısa ve uzun mesafede tam emniyet sağlamaktadır. Kapı kanatları yüksek mukavemetli alüminyum malzeme ve petek kağıttan hafif yapıda imal edilmiştir. Vagonlar 5 km/saat hıza ulaştığında yan giriş kapıları içeriden otomatik olarak kilitlenmektedir.

Vagonun her iki başında hijyenik şartlarda, bir alaturka ve bir alafranga tuvalet mevcuttur.

160 km/saat hıza göre imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip y-32 bojileri, yol şartlarına göre 200 km'ye kadar araç hızında bile yolcuların konforlu bir yolculuk yapmalarına elverişlidir. Bojiler, elektro-pnömatik olarak çalışan disk fren sistemine sahiptirler [2].

Tablo 1.1 TVS 2000 Yolcu Vagonları Teknik Karakteristikleri

Ray Açıklığı	: 1435 mm
Tampondan Tampona Vagon Boyu	: 26400 mm
Sandık Boyu	: 26100 mm
Boji Göbek Eksenleri Ara Mesafesi	: 19000 mm
Vagon Genişliği	: 2825 mm
Vagon Yüksekliği	: 4050 mm
Döşeme Yüksekliği	: 1250 mm
Hareketli Basamak Yüksekliği	: 565 mm
Dış Kapılar	: Elektro-Pnömatik Döner Kayar Tip
Alın Duvar Geçit Kapıları	: Elektro-Pnömatik kayar Tip
Boji	: Y-32
Tekerlek Çapı (yeni/aşınmış)	: 920/870 mm
Tekerlek Tipi	: Monoblok
Fren	: Diskfren
Maksimum Hız	: 200 Km/saat
Gabari	: UIC-505
Koltuk Düzeni	: 2+1
Oturma Yeri Sayısı	: 60
Aydınlatma Düzeni	: İki Sıralı Floresant (gizli)
Wc Sayısı	: 2 (1 Alafranga - 1 Alaturka)
İklimlendirme Sistemi	: 40 Kw Isıtma, 35 Kw Soğutma, 1200 m ³ Taze Hava

1.2. Çalışmanın Amacı

TVS 2000 vagonlarının tasarımı aşamasında mühendislerin tecrübelerinden ve eski vagon tasarımlarından yararlanılmıştır.

Kullanım sırasında bazı bölgelerde burulmalar meydana gelmiş ve bu bölgelere takviye yapılarak oluşan sorunlar giderilmiştir.

Bu durum dikkate alınarak çalışmada TVS 2000 vagonlarının UIC'nin belirtmiş olduğu mukavemet şartlarına uygunluğu incelenmiştir.

Vagon sandığı ve şaseye teorik olarak UIC'nin belirttiği yükler uygulanmış, bu yükler ile vagon sandığı ve şasesindeki elastik şekil değiştirmenin yine UIC'nin belirttiği sınır değerler içinde kalıp kalmadığı incelenmiştir.

Bu şekilde; vagon sandığı ve şase üzerinde herhangi bir değişikliğe gidildiğinde baştan yapısal deney yapmaya gerek olmadan değişiklik model üzerinde uygulanarak, yapısal analiz bilgisayar yardımıyla rahatlıkla yapılabilecektir.

Bu çalışmaya benzer bir çalışma, Tübitak Bilgisayar Destekli Projeler Laboratuvarı tarafından Tüvasaş Ray Otobüsünün Yapı Tasarımı için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ray otobüsü, giriş elemanları ile modellenerek sonlu eleman yöntemi ile elastik statik analiz yapılmıştır. Fakat bu çalışma ray otobüsü için bir ön tasarım olmaktan ileri gidememiştir [3].

1.3. Çalışmanın Tanıtılması

Bölüm 1'de TVS 2000 yolcu vagonları hakkında genel ve teknik bilgiler verilmiş yapılan çalışmanın amacı anlatılmıştır.

Bölüm 2’de Avrupa Demiryolları Birliği (UIC)’nin belirttiği standart test yükleri ve bunların uygulama noktaları açıklanmıştır.

Bölüm 3’de Sonlu Elemanlar Yöntemi hakkında genel bilgi verilmiş ve ANSYS paket programı tanıtılmıştır.

Bölüm 4’de TVS 2000 yolcu vagonlarının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi, UIC’nin belirttiği test yüklerinin uygulanması ve deney sonuçları anlatılmıştır.

Bölüm 5’de Çalışmanın sonucu ve öneriler açıklanmıştır.

BÖLÜM 2. TVS 2000 VAGONLARININ DAYANIKLILIĞINA YÖNELİK DENEYLER

2.1. Deney Standartları

TVS 2000 yolcu vagonlarının UIC (Uluslararası Demiryolu Birliği) 'nin 566 OR raporunda belirtilen mukavemet şartlarına uygunluğu aşağıda belirtilen test yükleriyle kontrol edilmelidir. Vagon kalıcı deformasyon olmadan ve müsaade edilen gerilmeler aşılmadan aşağıdaki test yüklerine karşı dayanabilmelidir [4].

2.2. Statik Basma Deneyleri

2.2.1. Tampon seviyesinde 200 ton

Bu yük, tampon seviyesinde, iki tampona eşit olarak bölünmüş şekilde uygulanır (Şekil 2.1a).

2.2.2. Tampon seviyesinde diagonal olarak 50 ton

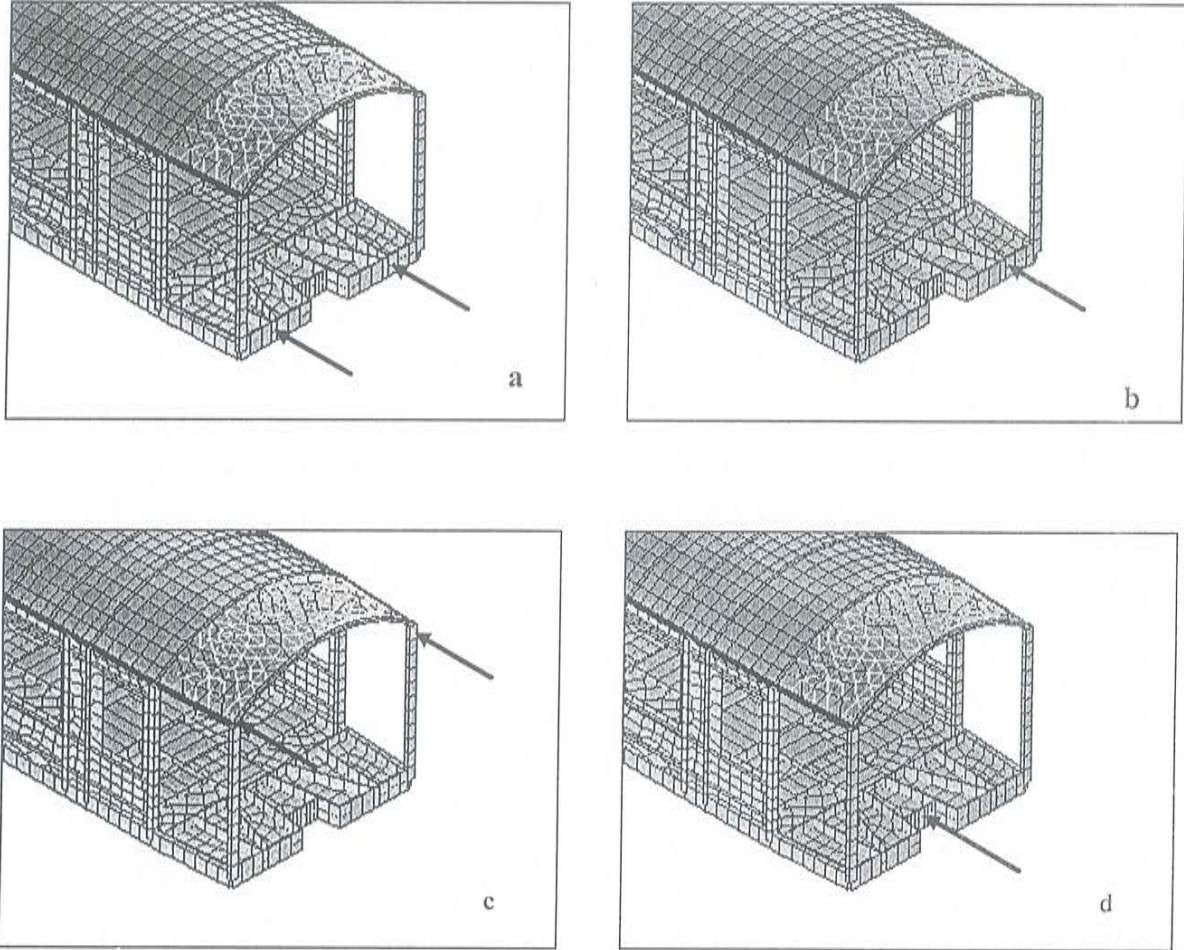
Bu yük tampon seviyesinde ve tek tampondan uygulanır (Şekil 2.1b).

2.2.3. Dam boy kiriş seviyesinde 30 ton

Bu yük dam boy kiriş hizasında ve eşit iki parçaya bölünmüş olarak uygulanır (Şekil 2.1c).

2.2.4. Otomatik kuplore 200 ton

Bu yük vagon bağlantı kancası seviyesinde uygulanır (Şekil 2.1d).

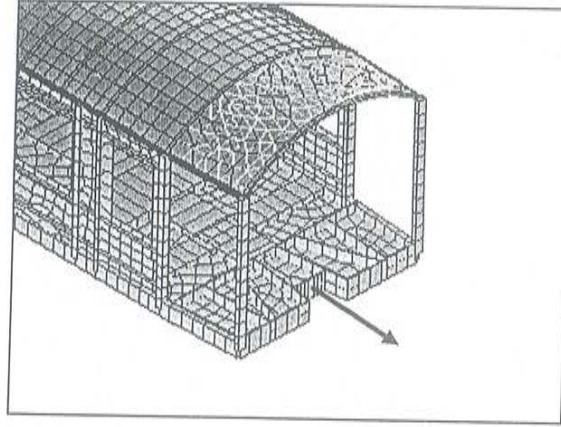


Şekil 2.1 Statik basma yüklerinin uygulanması

2.3. Statik Çekme Deneyleri

2.3.1. Otomatik kuplore 150 ton

Bu yük vagon bağlantı kancası seviyesinde uygulanır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Statik çekme yükünün uygulanması

2.4. Statik Dikey Yükleme Deneyleri

2.4.1. Şase üzerinde yayılı yük

Bu yük vagon Şase elemanları üzerine ve ortalama olarak hesaplanan 0.01 N/mm^2 'lik düşey basınç olarak uygulanır.

2.5. Müsaade Edilen Gerilmeler

Müsaade edilen gerilmeler malzeme yük sınırının emniyet faktörüne bölünmesiyle elde edilir. Müsaade edilen gerilme = Akma Gerilmesi / Emniyet Faktörü' dür.

Emniyet faktörleri

Akmaya göre $S=1.1$

Servis şartları altındaki yüklemeler için $S=1.65$

Bu yüklemeler sonucunda kalıcı deformasyonlar meydana gelmemelidir. Ayrıca dikey yüklemelerde, şasenin maksimum sehimi boji göbekleri arasındaki mesafenin en fazla % 0.3 'ü kadar olmalıdır.

BÖLÜM 3. SONLU ELEMAN YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ VE ANSYS PAKET PROGRAMI

3.1. Sonlu Eleman Yöntemi

Bilim adamları ve mühendisler alışılmış analitik metotlarla çözümü çok zor hatta imkansız fiziksel problemlerle sık sık karşılaşır. Örneğin: Bir dış kuvvet takımı etkisinde üç boyutlu bir elastik cisim düşünelim. Bu kuvvetlere cismin “kesin” tepkisini hesaplamak için deformasyonlar cinsinden yazılmış denklemlerin bir “kapalı form” çözümünü aramak zorundayız. Bununla birlikte genellikle kompleks geometrik şekilli uygulama problemlerinin böyle bir çözümünü elde etmek aşırı ölçüde zor ve çoğunlukla imkansızdır. Bu tip problemler mühendislik ve diğer bilim dallarında çok sık ortaya çıkmaktadır. Böyle bir problemle karşılaşan çözümleyici doğal olarak “sayısal” adı verilen çözüme başvuracaktır. Başka metodlarla çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılabilen çok sayıda sayısal yol vardır. Sonlu eleman metodu bunlardan biridir. Sonlu eleman metodu yeni bir çözüm yöntemi olup kendisini diğerlerine üstün kılan seçkin özelliklere sahiptir [5].

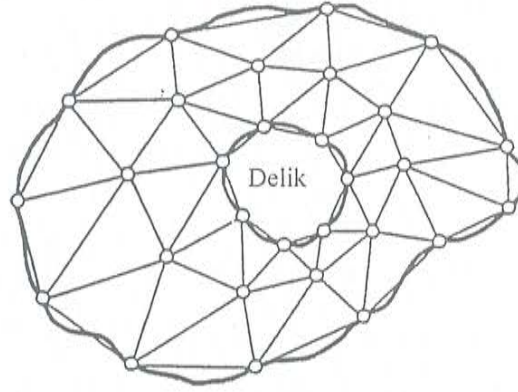
Bu methodda cismin “sonlu” boyutta çok sayıda “elemana” ayrıldığı tasavvur edilir. Metodun adı da buradan gelmektedir. Cisim uzayda n ($= 1, 2, 3$) boyuta sahipse, n -boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır.



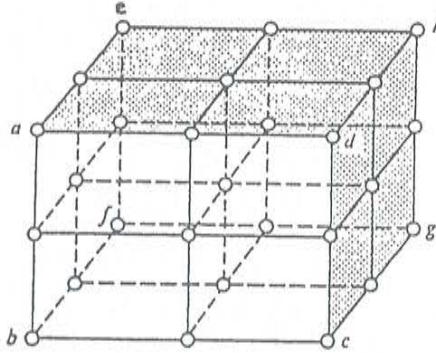
Şekil 3.1a Üç doğrusal sonlu elemana ayrılmış bir boyutlu cisim.

Bir boyutlu cisimler Şekil 3.1a’deki gibi düğümlerle; iki boyutlu cisimler Şekil 3.1b’deki gibi çizgilerle; üç boyutlu cisimler Şek 3.1c’deki gibi düzlemlerle sonlu

elemanlara ayrılacaktır. Bir boyutlu cisimlerde sonlu elemanlar farklı uzunlukta olabilirler. Ancak iki veya üç boyutlularda elemanlar, eşit olmayan boyutlarda olabileceği gibi farklı şekillerde de olabilirler. Bununla birlikte, bütün durumlarda cisimi temsil eden sonlu elemanlar Şekil 3.1 a,b ve c'de görüldüğü gibi düğümlerle bağlanacaktır. Sonuçta cisim, sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır.

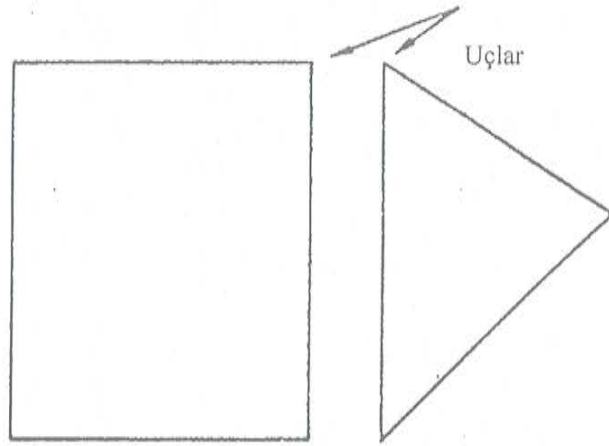


Şekil 3.1b Üçgen elemanlar sistemi haline getirilmiş iki boyutlu delikli bir cisim.

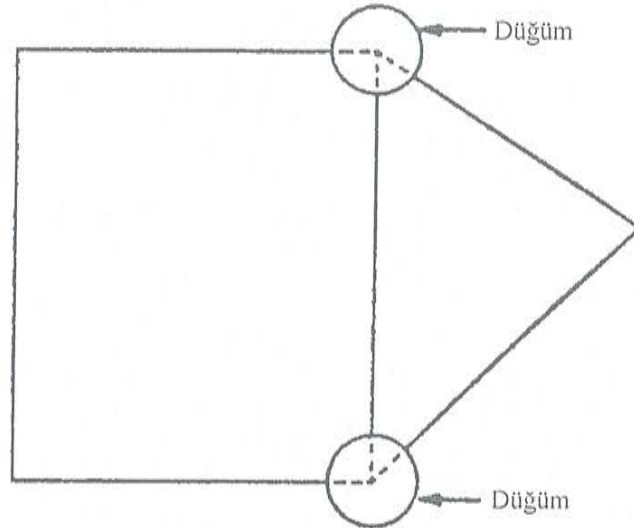


Şekil 3.1c a, b, c, d, e, f, g, h şeklinde 8 özdeş dikdörtgen prizma elemana ayrılmış üç boyutlu bir cisim.

Sonlu elemanların düğümlerle bağlantı durumu Şekil 3.2' deki gösterimde en iyi şekilde anlaşılmaktadır. Burada düzgün, birim kalınlıklı biri üçgen diğeri dikdörtgen iki düzlem sonlu eleman vardır.



Şekil 3.2a Birim üniform kalınlıklı iki düzlem sonlu eleman.



Şekil 3.2 b Şekil 3.2 a'daki sonlu elemanların düğümlerle bağlantısı

Şekil 3.2 a'daki elemanlar ayrı ayrı, birbirlerine bağlanmamış şekilde gösterilmiştir. Düğümleri şekil 3.2 b'deki gibi komşu sonlu elemanları uçlarından birbirine bağlayan ve onları bir arada tutan "somun-cıvata" bağlantısı gibi düşünebiliriz. Öyleki düğümler kaldırıldığında elemanlar birbirinden ayrılırlar.

Düğümler kaldırıldığında elemanlar birbirinden ayrılacağından komşu sonlu elemanlar arasında fiziksel süreklilik yoktur. Metodun çözümlemesinde bundan sonraki adım, cismi temsil eden elemanların her birinin "eleman direngenlik matrisi"ni (element stiffness matrix) tanımlamaktır. Daha sonra eleman direngenlik matrisleri," parçalara ayrılmış cismin tamamına ait "global direngenlik matrisi" ni

(overall stiffness matrix) oluşturmak üzere toplanır. Bu toplamada, cismin sonlu eleman modelindeki bütün düğümlerde kuvvetlerin dengesi ve yer değiştirmelerin sürekliliği sağlanır. Buradan şu matris denkleminde ulaşılr.

$$[K]\{\delta\} = \{P\} \quad (3.1)$$

[K], cismin global direngenlik matrisini tanımlar. Tümel kuvvet vektörü {P}, bütün düğümlere uygulanan dış kuvvetleri; {δ} ise, bütün düğümlerin yer değiştirmelerini göstermektedir. [] işareti kare veya dikdörtgen matrisleri, { } işareti ise vektörü göstermektedir.

Denklem (3.1) incelenirse, [K] nitelik bakımından, parçalara ayrılmış cisimde birim yer değiştirme oluşturacak kuvveti ifade eder. Buradan cismin sonlu eleman modelini bir yaya eşdeğer olarak düşünürsek cismin “direngenliği” [K]’nin “yay sabitine” karşılık olacağı açıktır. Dolayısıyla sonlu eleman metodu, esas itibariyle, cismin “direngenlik” açısından analizinin yapıldığı bir metoddur.

Cisme etkileyen belirli dış kuvvetler ve belirli sınır şartları takımı için, denklem (3.1)’de çözüm olarak düğüm yer değiştirmeleri {δ} bulunur. Yer değiştirmelerden de, gerilmeler ve zorlanmalar hesaplanabilir.

Özetlenirse, verilen bir problemin sonlu eleman metodu ile çözmek için sıra ile aşağıdaki işlemlerin uygulanması gerekir:

Cismi sonlu elemanlar sistemi halinde “parçalama”

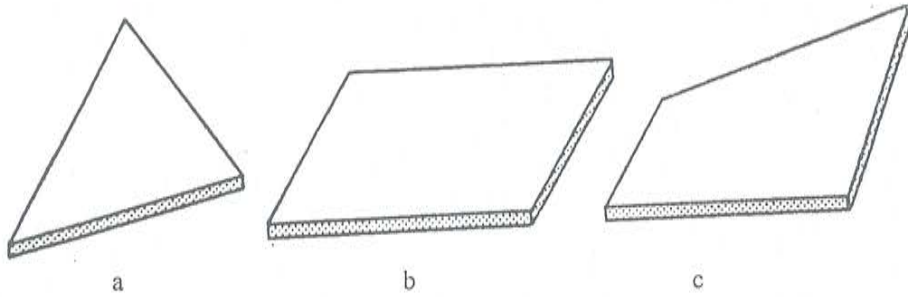
Cismi temsil eden elemanların herbirinin “eleman direngenlik matrisi” ve diğer özelliklerinin çıkarılması.

“Global direngenlik matrisi” [K], ve “Tümel kuvvet vektörü” {P}’nin toplama işlemi {δ} yı tayin etmek için, belirlenmiş sınır şartlarıyla denklem (3.1)’i çözmek için bilgisayar kullanılması kaçınılmaz hale gelir. Yukarıdaki işlemleri otomatik hale

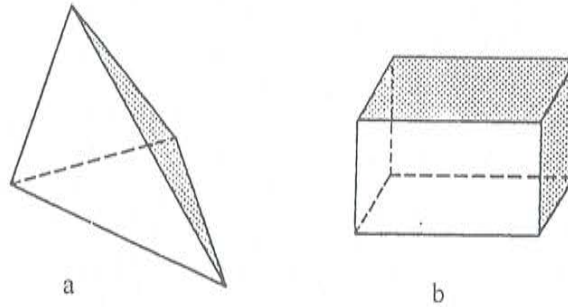
getirmek için programlar yazılabilir. Gerçekten sonlu elemanlar metodu, otomatik hesaplama ile birleştirilmekle, çözümü çok zor hatta olanaksız karmaşık fiziksel problemleri hassas olarak çözmekte çok etkin ve zarif bir araç oluşturur.

3.1.1. Eleman biçiminin seçilmesi

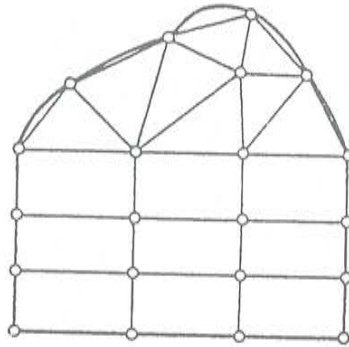
Şekil 3.3 ve şekil 3.4, tipik bazı eleman biçimlerini göstermektedir. Verilen bir cismin nasıl bölüneceğinin belirlenmesinde cismin geometrisi, özellikle iç ve dış sınırlarının biçimi, geniş ölçüde yol gösterici olacaktır. İki boyutlu çizimlerde, elemanın biçimi, cismin biçimine bağlı olarak bulunur. Eğri ve düzgün olmayan sınırlarda, üçgen ve dörtgen elemanlar, dikdörtgen elemanlardan daha elverişlidir. Üç boyutlu çizimlerde, üçgen prizma (dörtüzlü), dörtgen prizmadan daha elverişlidir (şekil 3.4). Cismin şekline bağlı olarak, uygulamada karışık bölme yapma belli bir eleman kullanmaktan daha uygun olabilir. Şekil 3.5 bir düzlem cismi temsil eden böyle bir kombinasyonu göstermektedir.



Şekil 3.3 İki boyutlu düzlem elemanlar (a) Üçgen, (b) dikdörtgen, (c) dörtgen



Şekil 3.4 Üç boyutlu elemanlar (a) dörtüzlü, (b) dikdörtgen prizma



Şekil 3.5 Üçgen ve dikdörtgen elemanlara bölünmüş bir düzlemsel cisim

3.1.2 Niçin sonlu elemanlar

Diğer sayısal metodlar özellikle sonlu farklar metodu daha eski ve güvenilir olduğu halde, sonlu eleman metodu kullanımı neden tercih edilmelidir? Sonlu eleman metodunu diğer metodlara üstün kılan başlıca hususlar aşağıda belirtilmiştir.

Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.

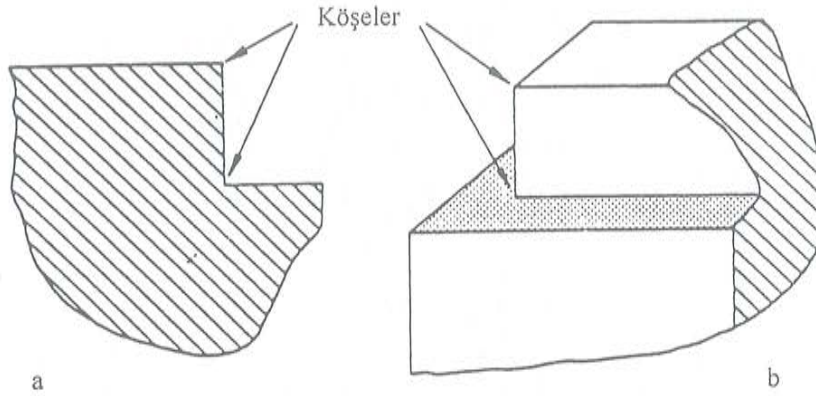
Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler (şekil 3.6) zorluk çekilmeksizin incelenebilir.

Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme non-lineeriteleri, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri, kolaylıkla göz önüne alınabilir.

Sebep-sonuç bağlantılarına ait problemler global direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş “kuvvetler” ve “yer değiştirmeler” cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.

Sınır şartları kolayca uygulanır.

Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metodlardan çok daha hassas sonuç verir.



Şekil 3.6 Köşeler; (a) iki boyutlu cisimde, (b) üç boyutlu cisimde

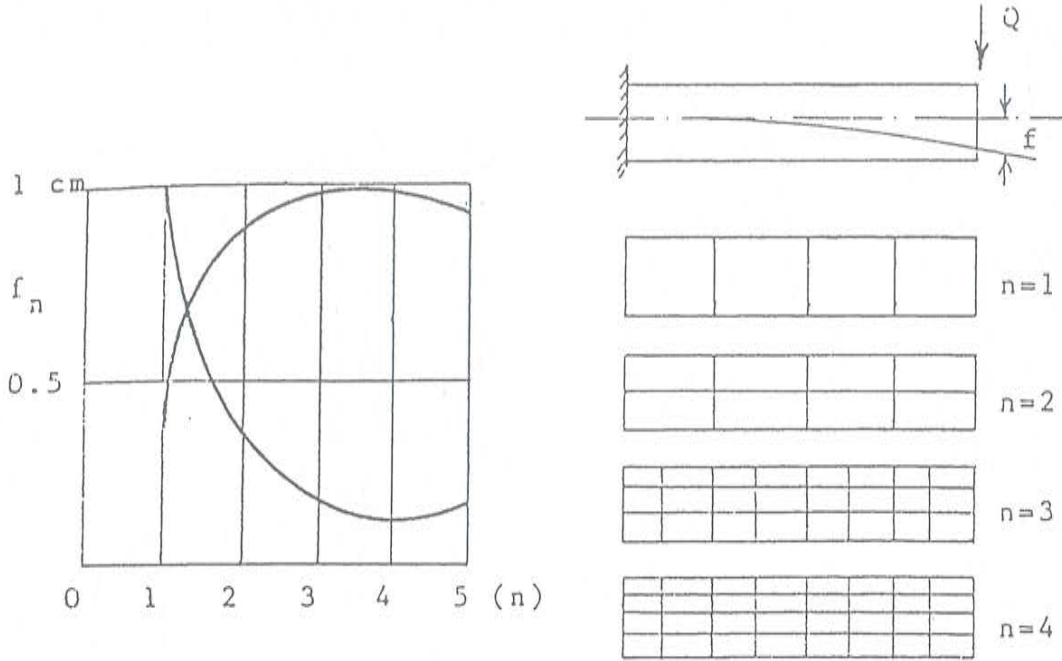
3.2. Sonlu Eleman Yönteminin Hata Kaynakları

3.2.1. Prensipten hataları

Prensip olarak bu metod, araştırılacak yapı modelinin fiziki olarak oluşturulmasına dayanır. Burada en başta gelen sonlu elemanların büyüklükleridir. Prensip olarak modele ait bazı bölgelerde büyük gerilmele yığılmaları söz konusuysa, oralarda sonlu eleman ölçüleri daha da küçültülmelidir. Bu hususta modelde oluşacak sapmalar sonuçları da küçümsenmeyecek derecede etkiler [6].

Ayrıca gerilme-zorlanma ifadelerine bağlı olarak sonuçlarda hatalar oluşmaktadır. Normal şartlarda Hook kanunu bu ifadeyi yerine getirir. Ancak gerçek malzeme davranışları az çok bu kanuna uymazlar. Demek ki gözden kaçırılmaması gereken husus bu yöntemden mutlak surette doğru netice beklenmemesidir. En iyi şartlarda elde edilen sonuçlarda bile %3 hata payı vardır.

Sonlu elemanların model üzerindeki sıklığı ile bu sıklığa bağlı hata arasındaki ilişki şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Sonlu elemanların sıklığına bağlı hata değişimi

Erişilecek en iyi sonuca geldikten sonra, yani teorik değere maximum yaklaştıktan sonra çökme değeri f_n artık ordinat ekseninde teorik olarak sabit bir değerde kalmalıydı. Ancak pratikte, şekilden de görüleceği gibi sonlu eleman boyutlarını küçülmesine devam edildiğinde sonuçların belli bir noktadan sonra teorik değerden uzaklaştığını görüyoruz. Diğer bir ifade ile modelin gittikçe daha çok elemanlara ayrılması sonuçlardaki hassasiyeti bir yere kadar arttırmakta bir yerden sonra kötüleşmektedir. Böyle bir etkinin ortaya çıkmasının sebebi bilgisayar programı hesaplayıcılarıdır. Buradaki yuvarlatma hataları v.s sonucu bu şekilde etkiler.

3.2.2. Geometrik hatalar

- Gerçek yapı ile konstrüksiyon resimleri arasında oluşacak küçük farklar
- İmalat toleranslarından doğan gövde sac aksamına ait kalınlık farkları
- Sac aksamı presleme sonucu kıvrım yerlerindeki incelmeler
- Hafif bükük yüzeylerin modelde düz elemanlarla temsil edilmesi

3.2.3. Malzemeye özgü hatalar

- Malzemenin kimyasal bileşimindeki sapmalardan dolayı elastiklik modülü E 'nin değişmesi
- Soğuk şekil verme hataları
- Haddeleme ve çekmeden doğan malzeme bozukluğu
- Karbon miktarındaki toleranslara uyulmaması ve ısı işlem hataları sonucu akma sınırının değişmesi

3.2.4. Sınır şartlarına özgü hatalar

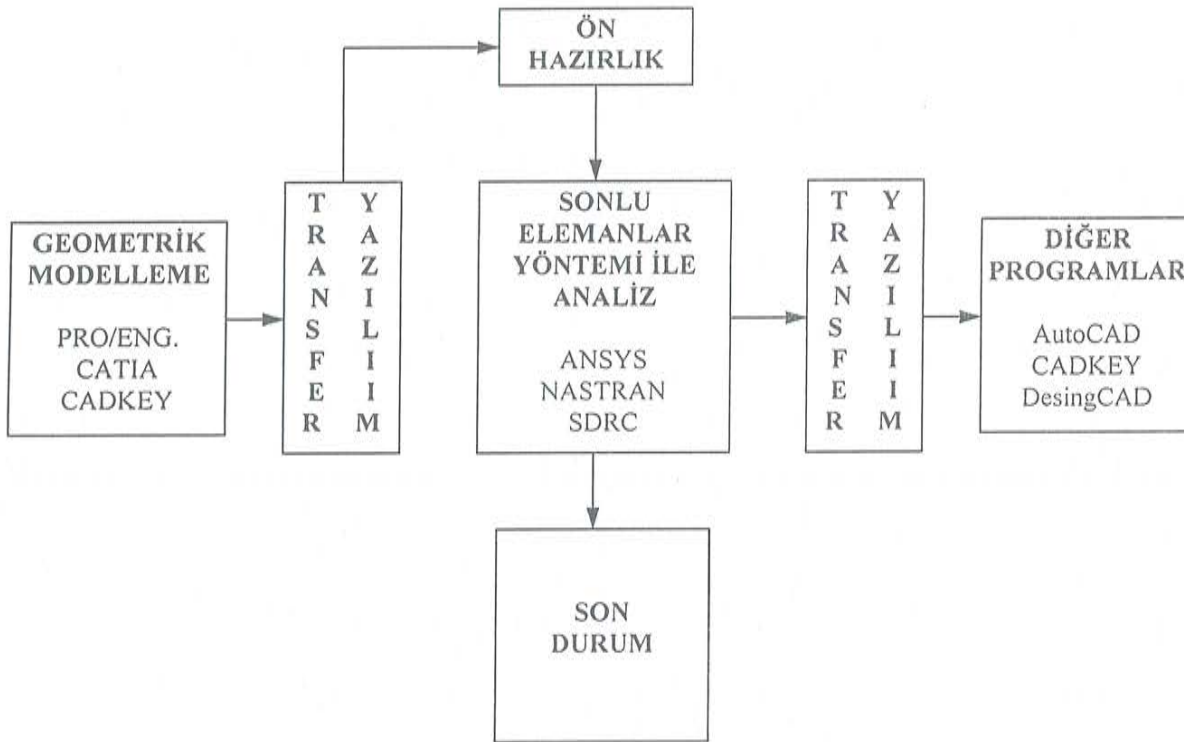
- Bağlantı noktalarının esnekliğinin ihmal edilmesi
- Bilhassa burulmada kesit çarpılması bakımından hatalı kabullerin yapılması
- Üç boyutlu bağlantı noktalarının doğrusal veya nokta şeklinde idealize edilmesi
- Sürekli ve yayılı kütle dağılımı yerine modelde nokta formunda kütle dağılımı kabul edilmesi

Özetle söylemek gerekirse, sonlu elemanlar metodu yapı analistleri için, çok kıymetli bir araç olmuştur. Başlangıçta uygulama alanı bulduğu uçak sanayiinde başarısını kanıtladıktan sonra, hemen hemen bütün mühendislik dallarında süratle uygulamaya girmiştir. Bilhassa karoseri tasarımında görülmüştür ki, bu metod geliştirme süresini son derece kısaltmakta, geniş bir spektrumu taramakta ve nihayet sonradan çıkabilecek bir çok hatanın daha başlangıçta fark edilip önüne geçilmesine imkan vermektedir. Diğer taraftan sonlu eleman metodunu bilmenin de ancak geniş ve kuvvetli bir bilgisayar yazılım-donanım sistemi yardımı ile mümkün olduğunu unutmamak gerekir.

3.3. Genel Amaçlı Sonlu Eleman Programları

İyi bir sonlu eleman programı aşağıdaki bilgileri içermelidir.

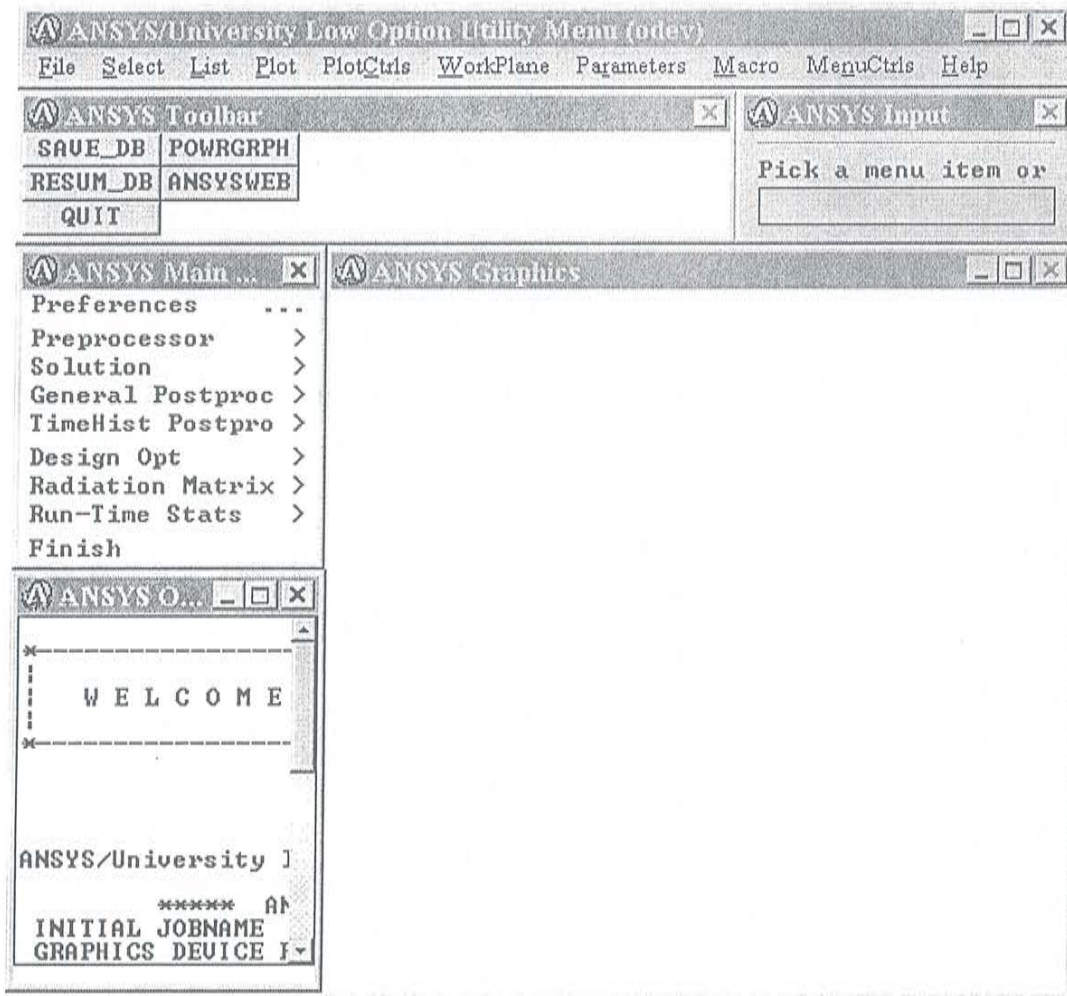
- Program geniş bir tabana sahip olmalıdır. Yani birçok mühendislik konusunu içermelidir. Örnek olarak; sık olarak kullanılan gerilme analizinden, ender olarak kullanılan piezoelektrik analizleri gibi.
- Kullanıcının; malzeme özelliklerini, yapısal özellikleri, yükleri ve bunun gibi diğer kriterleri seçebileceği geniş bir kütüphanesi olmalıdır.
- Kullanımı kolay olmalı. En çok tercih edilen programlar genellikle müşteriye kolay kullanım sunulabilen programlardır.
- Çoğu bilgisayar donanımına uymalıdır. Yani; program için özel olarak donanım aramamak gerekir.
- Diğer yazılımlarla uyumlu olmalıdır. Örneğin: Bir CAD programında oluşturulan model ara transfer yazılımı ile ANSYS'e aktarılabilir.



Şekil 3.8 Sonlu eleman yöntemi ile çalışan programların çalışma şeması

Bu tür programlar ya satın alma ya da belli bir süre için kiralama yöntemiyle kullanılır. Her iki yöntemde de kullanıcı satıcıdan program şifrelerini alır ve bunları yükleyerek programı çalıştırır. Program kiralama yöntemi ile elde edilmişse, süre sonunda şifreler sayesinde program çalışmaz. Kullanıcı süreyi yenilemek için satıcı ile irtibata geçmelidir [7].

3.4. ANSYS Paket Programı



Şekil 3.9 ANSYS paket programı menüsü

Günümüzde piyasada bir çok sonlu eleman yöntemi ile analiz yapan program bulunmaktadır.

ANSYS programı 1970 yılında Swanson Analiz Sistemleri tarafından piyasaya sürülmüş, bu güne kadar da geliştirilmiştir. Tahminlere göre en çok kullanıcısı bulunan analiz programıdır. Dünyanın her tarafında mühendisler tarafından kullanılmaktadır.

3.4.1. Programın Kabiliyetleri

Structural: Yapısal analizleri yapar.

Thermal: Sıcaklık analizleri yapar.

Electro-Magnetic: Mağnetik analizleri yapar.

Coupled Field: İki farklı analizi aynı anda yapar.

3.4.2. Koordinat sistemleri

ANSYS programı herbiri farklı sebeplerden dolayı kullanılan birkaç koordinat sistemine sahiptir.

Global ve lokal koordinat sistemleri uzayda geometrileri oluşturan düğüm noktaları, keypointler gibi parçaları yerleştirmek için kullanılır.

Display koordinat sistemi geometrilerin hangi parçalarının listeleneceğini veya görüntüleneceğini belirler.

Nodal koordinat sistemi her düğümdeki serbestlik derecelerini ve eleman sonuçlarının yönelimini tanımlar.

Element koordinat sistemi malzeme özellikleri ve eleman sonuçlarının yönelimini tanımlar.

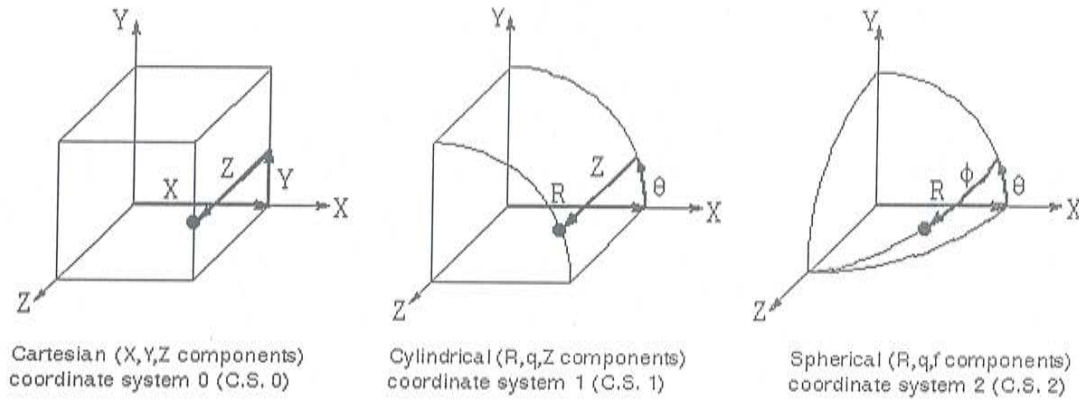
3.4.2.1. Global ve lokal koordinat sistemleri

Bu koordinat sistemleri geometrileri oluşturmada düğüm noktaları, keypointleri ve bunun gibi özellikleri yerleştirmede kullanılır. Herhangi bir düğüm noktası veya keypoint tanımladığınızda bu değer default olarak, global sistemde tanımlanır. Bazı modelleri oluştururken, bu modeli oluşturan noktaları global kartezyen koordinat sistemi haricinde tanımlamak zordur. ANSYS programı, bu bilgileri bilgisayara

girmek için (global) koordinat sistemini veya sizin belirlediğiniz bir numarayla tanımlanmış lokal koordinat sistemlerini kullanmanıza imkan verir.

3.4.2.2. Global koordinat sistemleri

Global koordinat sistemi mutlak referans yapısı olarak düşünülebilir. ANSYS programı kartezyen, silindirik ve küresel olmak üzere üç değişik global koordinat sistemi sunar. Üç koordinat sistemi de sağ el kuralı ve aynı orijini kullanırlar. Kartezyen koordinat sistemi 0, silindirik koordinat sistemi 1 ve küresel koordinat sistemi 2 numara ile tanımlanır.

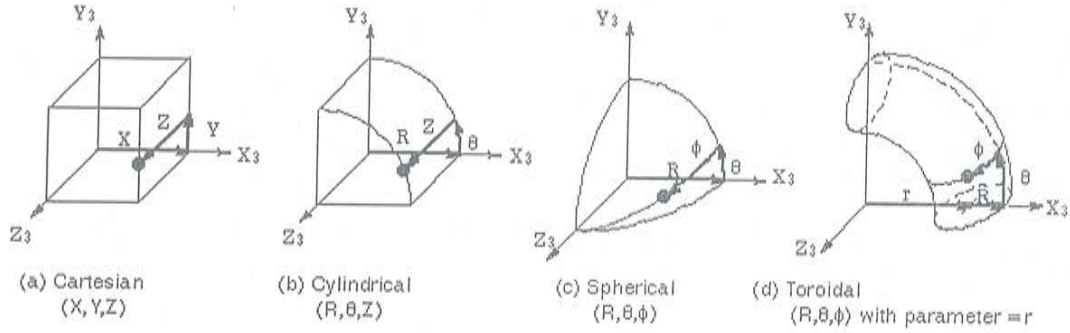


Şekil 3.10 Global koordinat sistemleri

3.4.2.3. Lokal koordinat sistemleri

Bazı durumlarda kullanıcının orijini global orijine göre ofsetlenmiş olan, kendi koordinat sistemini tanımlaması gerekir.

Herhangi bir lokal koordinat sistemi tanımlandığında bu koordinat sistemi aktif koordinat sistemi olur. Böyle bir koordinat sistemi oluşturulduğunda bu koordinat sistemine 11 veya 11'den büyük olmak kaydıyla bir numara atamak gerekir. Lokal koordinat sistemleri kartezyen, silindirik, küresel veya toroidal olabilir.



Şekil 3.11 Lokal koordinat sistemleri

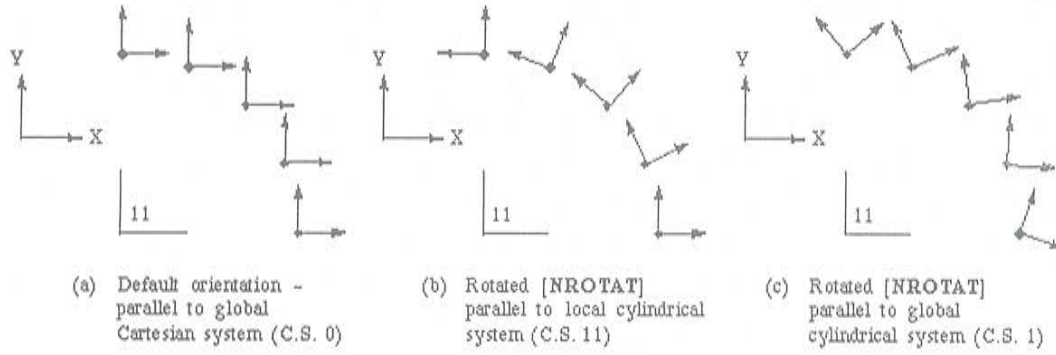
3.4.2.4. Display koordinat sistemi

Default değerde herhangi bir listeleme işlemi yapıldığında, farklı bir koordinat sistemi tanımlanmadıysa değerler Global kartezyen olarak karşımıza çıkar.

Display koordinat sistemini değiştirmek doğal olarak grafiksel görüntüleri de değiştirecektir. Grafiksel görüntülerde bir değişiklik arzu edilmiyorsa, herhangi bir görüntü komutu kullanmadan önce display koordinat sistemini Global kartezyen koordinat sistemine çevirmek gerekir.

3.4.2.5. Nodal koordinat sistemi

Global ve lokal koordinat sistemi kullanılırken, nodal koordinat sistemi her düğüm noktası için serbestlik derecesi yönelimini ayarlar. Her düğüm noktası default olarak Global kartezyen koordinat sistemine paralel olan kendi nodal koordinat sistemine sahiptir.



Şekil 3.12 Nodal koordinat sistemleri

3.4.2.6. Element koordinat sistemleri

Her eleman, bu eleman için belirlenmiş orthotropik malzeme özelliklerini, ilave edilmiş basınçları ve sonuçları tayin eder. Bütün element koordinat sistemleri sağ el kuralına uyan ve ortogonal sistemlerdir.

3.4.3. Element kütüphanesi

ANSYS'te yapılarınızı tanıtabileceğiniz 133 adet element tipi vardır. Element seçimi yapının geometrisine olduğu kadar analizin cinsine de bağlıdır.

3.4.4. Çözüm metodları

ANSYS programında birkaç denklem çözücüsü vardır. En çok kullanılan üç tanesi aşağıda açıklanmıştır.

Frontal Solver: Bu çözücü Gauss eliminasyon yöntemini kullanır ve boş disk alanına ihtiyacı vardır. Model büyüdükçe boş disk alanı ihtiyacı artar.

Sparse Solver: Bu çözücü oluşan matrisi köşegen matris olarak kullanır ve bu şekilde çözüme gider.

İteratif Solver: Bu çözücü de denklemleri iteratif olarak çözdüğü için fazla disk alanına ihtiyacı olmaz fakat çözüm zaman alır.

3.4.5. Ön hazırlık kapasitesi

Modellerde otomatik mesh yapabilme olanağı vardır. Kullanıcı sadece geometriyi ve diğer şartları belirler, mesh otomatik olarak yapılabilir.

Çok çeşitli mesh yapabilme özelliği kullanıcıya yapılarını farklı şekilde tanımlama özelliği sağlar. Örneğin shell eleman ile beam elemanı beraber kullanmak gibi. Daha sonra program oluşan meshleri montaj yapıp birleştirir.

3.5. ANSYS İle Başlangıç

3.5.1. Analiz yapma

Ansys programı, sonlu elemanlar yöntemi ile, basit lineer statik analizden lineer olmayan dinamik analizlere kadar birçok analiz kapasitesine sahiptir [7].

ANSYS'te bir analiz yapmamız için izlememiz gereken bazı kurallar vardır.

Analiz tipinin belirlenmesi

Eleman tipinin seçilmesi

Real constant tanımlanması (gerekliyse)

Malzeme tanımlanması

Modelin oluşturulması

Özellik tanımlanması veya atanması

Sonlu elemanlar ağının oluşturulması

Sınır koşulları ve yüklerin verilmesi

Çözüm

Sonuçların incelenmesi

3.5.2. Modeli oluşturmak

ANSYS'TE modeli oluşturmak, diğer işlemlere göre çok daha uzun zaman alır. İlk olarak yapılan çalışmaya bir isim verilir. Daha sonra preprocessor (ön hazırlık) menüsünden element tipi, real constant, malzeme özellikleri belirlenir ve model geometrisi oluşturulur.

3.5.3. Jobname (dosya ismi) ve title (başlık)

Jobname çalışmaya bir isim vermektir. Title ise o dosyanın altında yapılan bir çalışmanın başlığıdır.. Bir jobname adı altında 4 adet title olabilir. Yani, bir jobname adı altında 4 değişik pencerede çalışılabilir.

Herhangi bir çalışma yaparken o çalışmaya isim vermezseniz ANSYS default değer olarak FILE ismini dosya ismi olarak alır. Dosya ismi birkaç şekilde değişebilir.

ANSYS programına girerken karşımıza çıkan INTERACTIVE isimli pencerede, inital jobname kısmından değiştirilebilir.

Ya da; programa girdikten sonra, komut satırı (input window)'ndan **Filename** veya görsel menüden **Utility menu>File>Change Jobname** tıklanarak değiştirilir.

Başlık tanımlamak için komut satırı (input window)'ndan **title** veya görsel menüden **Utility>File>Change Title** tıklanarak değiştirilebilir.

3.5.4. Element tipi tanımlama

ANSYS element kütüphanesi 100'den fazla değişik element tipine sahiptir. Her element tipi numarasına ve özel bir numaraya ve element kategorisini belirleyen ön eke sahiptir. Örnek: BEAM4, PLANE77, SOLID96, vb... Aşağıda bazı element kategorileri verilmiştir.

Beam	Shell
Mass	Contact
Link	Hyperelastic
Pipe	Viscosolid
Solid	

Element tipi ayrıca serbestlik derecelerini ve elementin 2 veya 3 boyutlu olduğunu belirtir. Örnek: BEAM4; 6 yapısal serbestlik derecesine sahiptir.(UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ) ve üç boyutlu bir elemandır. PLANE 77 termal serbestlik derecesine (TEMP) sahiptir ve 8 nodlu dört kenarlı, 2 boyutlu bir elemandır.

Element tipi **Main menu>Preprocessor>Element tipe>add/edit/delete** tıklanarak tanımlanır.

3.5.5. Real constant tanımlama

Malzeme real constant'ları element tipine bağlı olan özelliklerdir. Örneğin: 2 boyutlu olan BEAM3 için Real constantlar; alan (AREA), atalet momenti (IZZ), yükseklik (HEIGHT), kayma oranı (SHEARZ),

Bütün element tipleri real constant içerir. Farklı kategorideki aynı element tipleri farklı real constantlar içerir. Real constant tanımlamak için ilk önce element tipi belirlenmelidir. Sonra **Main menu>Preprocessor>Real constant** tıklanarak tanımlama yapılır.

3.5.6. Malzeme özelliklerini tanımlama

Uygulamaya göre metal özellikleri;
 Lineer ve lineer olmayan
 Isotropik, orthotropic, anisotropik
 Sabit sıcaklık ve sıcaklığa bağlı

Element tipleri, real constantlar, her malzeme özelliği bir malzeme referans numarasına sahiptir. Bu numaralar malzeme tablosu ismi verilen bir tabloda saklanır. Bu numaraları görmek için komut satırı (input window)'ndan **mat** veya **Main menu>Preprocessor> Attributes>Default attributes** tıklamak yeterli olacaktır.

3.5.7. Model geometrisini oluşturma

Malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra, ikinci adım düğümlerin ve elementlerin oluşturduğu sonlu eleman modelini oluşturmaktır.

Model oluşturmak için **Main menu>Preprocessor>Modeling** kısmı kullanılır. Model bu menüden birkaç yolla oluşturulabilir.

3.5.8. Yüklerin yerleştirilmesi ve çözüm

Bu kısımda analiz tipini, analiz seçeneklerini belirlemek, yükleri yerleştirmek ve çözümü bulmak için **Main menu>Preprocessor>Loads** kısmı da kullanılır.

- Yüklerin yerleştirmesi; **Main menu>Preprocessor>Loads>Apply** kısmından yapılır. Yüklemenin kuvvet, basınç, sıcaklık, vs. olması bu kısımda yapılan seçimle belirlenir.
- Çözüm; Üzerinde çalışma yaptığımız modelin çözümünü elde etmek için komut satırı(input window)'na **Solve** yazmak veya görsel menüden **Main menu>Solution>Current Ls** tıklanır. Bu durumda ANSYS çözümü otomatik olarak yapar.

3.5.9. Sonuçların incelemesi

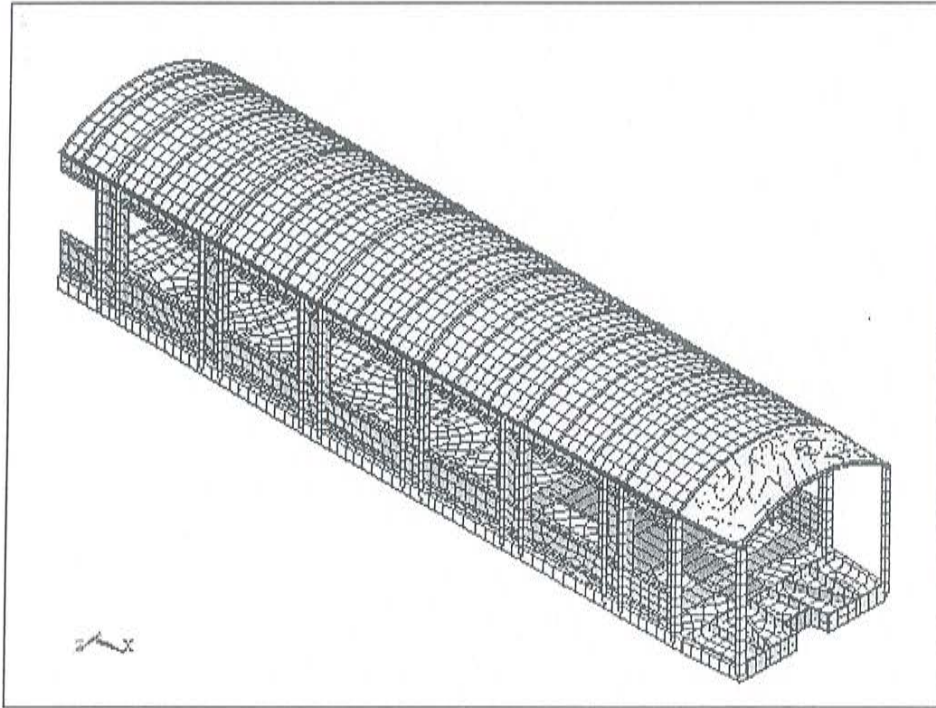
Çözüm bittiğinde ANSYS'in **postprocessor** kısmını kullanarak yaptığımız çalışmanın sonuçlarına göz gezdirebilirsiniz.

Bunun için **POST1** komutunu veya **Main menu>General postprocessor'u** kullanabilirsiniz. Oluşturduğunuz modeldeki değişimleri (structural, thermal, vb...) değişik şekillerde (renkli, vektörel, vb...)

POST26 komutunu veya **Main menu>TimeHist Postpro'yu** kullanırsanız, modelinizde(eğer yaptıysanız) kritik kısımlar için zaman aralıklı değişimleri görebilirsiniz.

BÖLÜM 4. TVS 2000 YOLCU VAGONUNUN SONLU ELEMAN MODELİ VE ANALİZİ

4.1. TVS 2000 Yolcu Vagonunun Sonlu Eleman Modeli



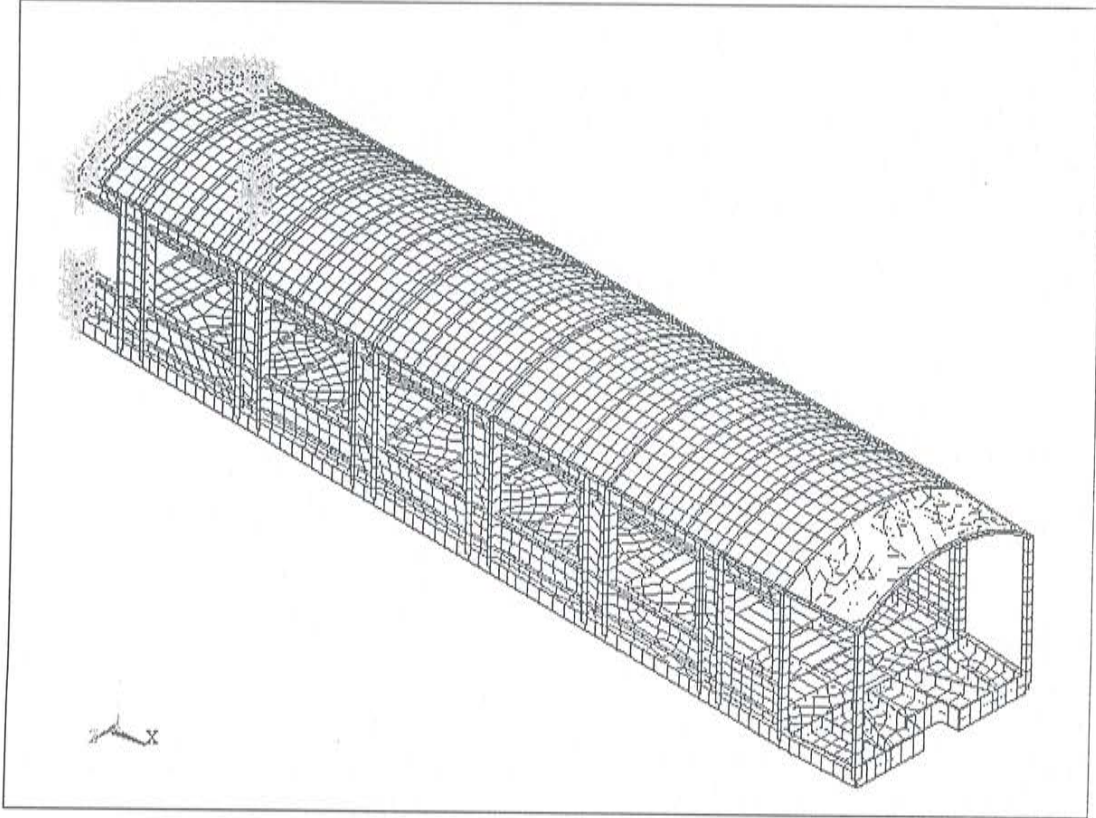
Şekil 4.1 TVS 2000 Vagonunun Sonlu Elemanlar Modeli

Vagonun sonlu eleman modeli; 1710 adet kiriş, 4099 adet kabuk eleman olmak üzere toplam 5809 sonlu eleman ve toplam 4915 düğüm noktası içermektedir (Şekil 4.1).

4.2. Sınır Şartları

Model oluşturulmadan önce yapılan incelemeler sonucunda, vagon sandığının enine orta ekseninde simetrik olduğu görülmüştür. Bu kabul ile vagonun yalnızca yarısı

modellenmiştir. Bu eksen üzerindeki tüm düğüm noktalarının serbestlik dereceleri x eksenini yönünde kısıtlanırken y ve z eksenini yönündeki deplasmanlar serbest bırakılmıştır (Şekil 4.2).



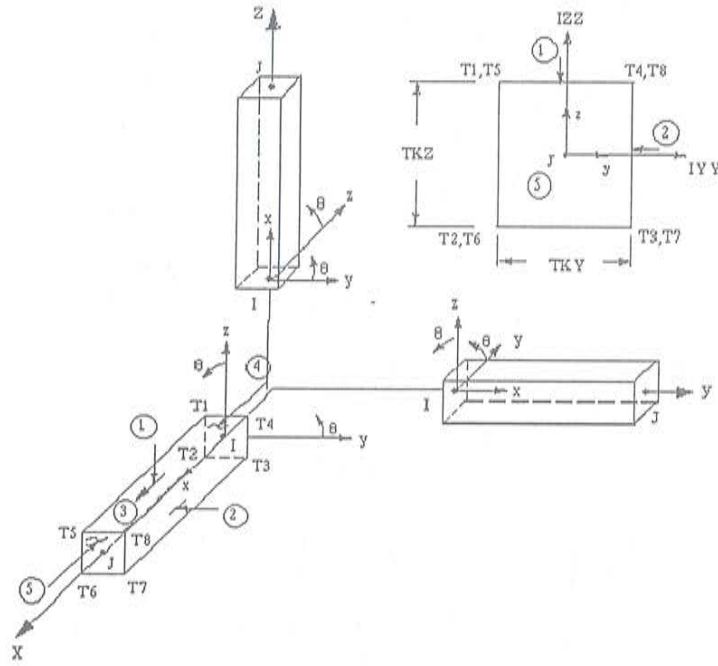
Şekil 4.2 Sonlu eleman modeli sınır şartları

4.3. Eleman Tipleri

4.3.1. Üç boyutlu elastik kiriş eleman

Kiriş eleman olarak 3 boyutlu elastik kiriş eleman kullanılmıştır. Her bir kiriş eleman için; kesit alanı, x ve y eksenlerine göre alan atalet momenti, elastite modülü ve poisson oranı tanımlanmıştır [9, 10, 11].

Serbestlik Dereceleri ise x,y ve z eksenleri yönünde deplasman ve dönmelerden oluşmaktadır ($U_x, U_y, U_z, ROTX, ROTY, ROTZ$) (Şekil 4.3).

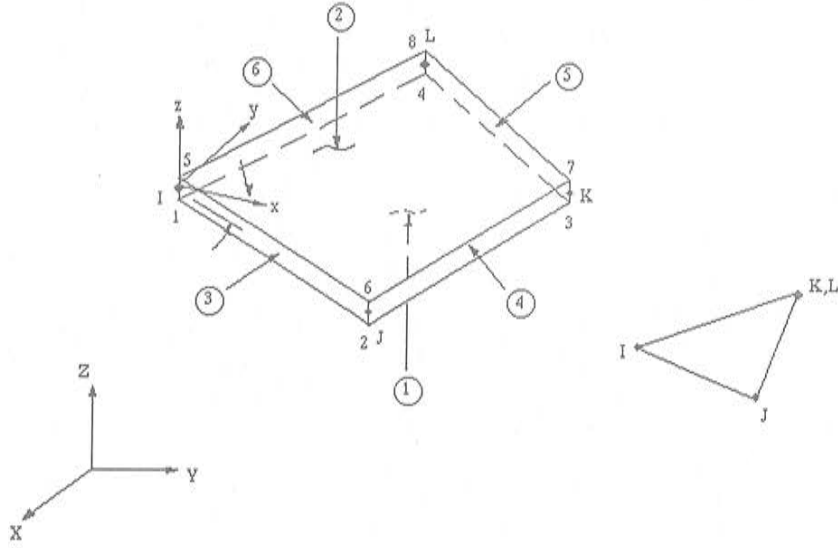


Şekil 4.3 Üç boyutlu elastik kiriş eleman

4.3.2. Üç boyutlu elastik kabuk eleman

Kabuk eleman olarak 3 boyutlu elastik kabuk eleman kullanılmıştır. Her bir kabuk eleman için; elastite modülü, poisson oranı ve kalınlık tanımlanmıştır. Kalınlıklar yan duvar sac kaplamaları için 2 mm şase ve dam ondüle sac kaplamaları için 1.5 mm'dir [9, 10, 11].

Serbestlik Dereceleri ise aynı kiriş elemenda olduğu gibi, x,y ve z eksenleri yönünde deplasman ve dönmelerden oluşmaktadır (U_x , U_y , U_z , ROT_x , ROT_y , ROT_z) (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Üç boyutlu elastik kabuk eleman

4.4. Deney Sonuçları

Tvs 2000 vagonlarının standartlara uygunluğunun araştırılması sırasında yapılan analizlerden bazılarının sonucu aşağıda verilmiştir. Analiz esnasında 64 MB Ram, Pentium Pro 200 Mhz işlemcili bir bilgisayar kullanılmıştır.

4.4.1. Statik basma deneyleri sonuçları

4.4.1.1. Tampon seviyesinde 200 ton

Bu yük tamponlardan ve iki tampona eşit olarak uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda, oluşan maksimum deplasmanlar; X eksen yönünde 9.12 mm (Ek A1), Y eksen yönünde 19.6 mm (Ek A2) ve Z eksen yönünde de 1.047 mm olmuştur . Oluşan maksimum gerilmenin değeri ise 235 N/mm^2 dir (Ek A3).

Sonuçlar incelendiğinde oluşan max gerilmenin 240 N/mm^2 'lik akma sınırının altında olduğu görülmüştür. Fakat UIC'nin bildirdiği 1.1'lik emniyet katsayısını sağlayamamaktadır. Ama şunu söylemek gerekir. Maksimum gerilme çok küçük bir

alan içinde oluşmaktadır ve bu değer göz ardı edilebilir. Çünkü gerçek model ile sonlu eleman modeli arasındaki farklılıklar bu gibi durumlara sebebiyet verebilir.

4.4.1.2. Tampon seviyesinde diagonal olarak 50 ton

Bu yük diagonal olarak (tek tampondan) 50 ton olarak uygulanmıştır. Uygulanan 50 tonluk yükün sonucunda, oluşan maksimum deplasmanlar; X eksen yönünde 3.6 mm (Ek A4), Y eksen yönünde 6.26 mm (Ek A5) ve Z eksen yönünde de 5.06 mm olmuştur. Oluşan maksimum gerilmenin değeri ise 91.52 N/mm^2 dir (Ek A6).

Bu yük altında vagon eğilmeye ve burulmaya zorlanmıştır. Max gerilme olan 91.52 N/mm^2 'lik gerilme 240 N/mm^2 'lik gerilmenin çok altında olduğundan bu yük altında vagon sandığı UIC standartlarını sağlamaktadır.

4.4.1.3. Dam boy kiriş seviyesinde 30 ton

Uygulanan bu kuvvet sonucunda, oluşan maksimum deplasmanlar; X eksen yönünde 2.45 mm (Ek A7), Y eksen yönünde 3.74 mm (Ek A8) ve Z eksen yönünde de 1.145 mm olmuştur. Oluşan maksimum gerilme değeri ise 150.784 N/mm^2 (Ek A9) olarak bulunmuştur.

Görüldüğü gibi uygulanan kuvvet karşısında vagon gövdesi maksimum değerlerin çok altında kalmış ve UIC standartlarını rahatlıkla sağlamıştır.

4.4.1.4. Otomatik kuplore 200 ton

Bu yük vagon bağlantı kancası seviyesinde 200 ton olarak uygulanmıştır. Uygulanan 200 tonluk yükün sonucunda, oluşan maksimum deplasmanlar; X eksen yönünde 10.16 mm (Ek A10), Y eksen yönünde 19.6 mm (Ek A11) ve Z eksen yönünde de 1.08 mm olmuştur . Oluşan maksimum gerilmenin değeri de 304.3 N/mm^2 (Ek A12) olmuştur.

Uygulanan bu yük sonucu görüldüğü gibi oluşan max gerilme malzemenin akma sınırını bir hayli geçmiş durumdadır. Ama yapılan incelemeler sonucu görülmüştür ki max gerilmelerin oluştuğu kısım çok küçük bir alanı aşmamaktadır. Bu da demektir ki bu bölgeler üzerinde yapılacak bir iki ufak ilave ile olumlu sonuç almak mümkün olacaktır .

4.4.2. Statik çekme yükleri

4.4.2.1. Otomatik kuplore 150 ton

Bu yük vagon bağlantı kancası seviyesinde 150 ton olarak uygulanmıştır. Uygulanan 150 tonluk yükün sonucunda, oluşan maksimum deplasmanlar; X eksen yönünde 7.65 mm (Ek A13), Y eksen yönünde 14.7 mm (Ek A14) ve Z eksen yönünde de 0.81 mm olmuştur. Oluşan maksimum gerilmenin değeri de 228.4 N/mm^2 (Ek A15) olmuştur.

Bu yükün uygulanması sonucunda görüldüğü gibi oluşan max gerilme malzemenin akma sınırı olan 240 N/mm^2 'yi geçmemektedir. Fakat UIC standartlarında belirtilen 1.1 değerindeki katsayıyı da sağlayamamaktadır. Bazı bölgeleri takviye ederek UIC'nin belirlediği standartlara ulaşmak mümkün olacaktır.

Aslında standartlara göre max değer olan 218 N/mm^2 ile de arasında çok büyük bir fark yoktur. Gerçek modeli sonlu elemanlar modeline dönüştürürken yapılan bazı kabuller göz önüne alınırsa, bu sonuç göz ardı edilebilir.

4.4.3. Statik dikey yük

4.4.3.1. Şase üzerinde yayılı yük

Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan 0.01 N/mm^2 'lik dikey yük şase'nin elemanları üzerine uygulanmıştır. Uygulanan bu dikey yük sonucunda X ve Z eksenleri yönünde herhangi bir deplasman oluşmamış, Y eksen yönünde ise maksimum 16.927 mm 'lik

bir sehîm oluşmuştur. Yükleme sırasında oluşan maksimum gerilme ise 0.73 N/mm^2 dir.

UIC 'nin müsaade ettiği sehîm miktarı olan 57 mm 'lik ($\% 0.3$) sehîm miktarı, vagon simetri ekseni ile boji yatağı arasında bulunanan 17000 mm 'lik açıklıkta aşılmamaktadır. Bu sonuç, vagonun UIC'nin bu deneyinden başarıyla geçtiğini göstermektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, tasarımı eski vagon tasarımlarından ve mühendislerin tecrübelerinden yararlanılarak yapılan TVS 2000 vagonlarının, Avrupa Demiryolları Birliğinin belirtmiş olduğu mukavemet şartlarına uygun olup olmadığı incelendi. Mukavemet analizi için sonlu elemanlar yöntemi ve buna dayalı bir yazılım olan ANSYS programı kullanılmıştır. Vagon sandığı ve şasiye Avrupa Demiryolları Birliğinin belirttiği yükler uygulanmıştır.

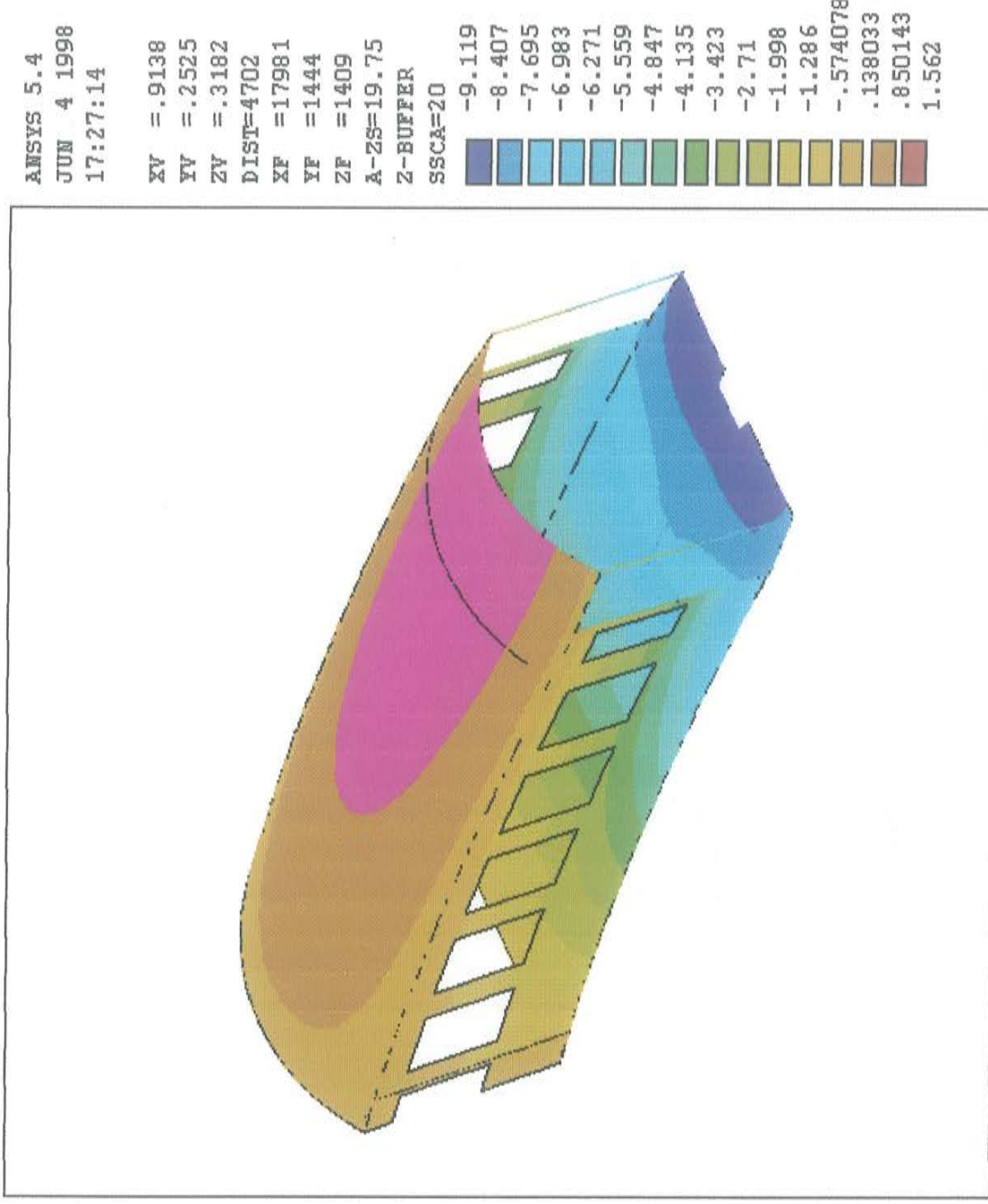
Yapılan analizler sonucunda görülmüştür ki; TÜVASAŞ tarafından üretilmekte olan TVS 2000 vagonları çoğu test yüklerinde başarılı olmuştur. Başarısız olduğu test yüklerinde ise kısmi tedbirlerle (bazı bölgeleri takviye ederek) UIC'nin belirlediği standartlara ulaşmak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] KOCABIÇAK, Ü.,: “Traktör Güvenlik Kabinlerinin Konstrüksiyonu ve Kontrolü için Bir analiz Modeli”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Enst., İstanbul, 1994.
- [2] BAŞOĞLU, H., KAYKAYOĞLU, C.R. ve KOBANER, C., Tüvasaş Ray Otobüsünün Yapı Tasarımı, TÜBİTAK, Gebze,1990
- [3] Tüvasaş, TVS 2000 Yolcu Vagonları, Tüvasaş, Sakarya, 1996
- [4] UIC 566, Loading of Coaches Bodies and the Components, International Union Railways, 3 rd Edition, 1990
- [5] GÜNAY, D., Mühendisler için Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri, Sakarya Üniversitesi Yayınları, Sayı: 003, Adapazarı, 1993
- [6] UÇAR, İ.,: “Sonlu Eleman Deplasman Yönteminin Bilgisayar Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Sos Bil. Enst., İstanbul, 1997
- [7] BATHE, K.J., Finite Element Procedures In Engineering Analysis, Prentice Hall, Inc., New Jersey, U.S.A, 1982
- [8] ANSYS Inc., ANSYS User Guide, SASIP Inc., U.S.A., 1997
- [9] ANSYS Inc., ANSYS Theory Manual, SASIP Inc., U.S.A., 1997
- [10] ZIENKIEWIEZ, O.C., The Finite Element Method, Mc Graw-Hill, U.K., 1991

[11] HINTON, E. ve OWEN, D.R.J., An Introduction to Finite Element Computations, Pineridge Press Limited, Swansea, U.K., 1985

Ek A

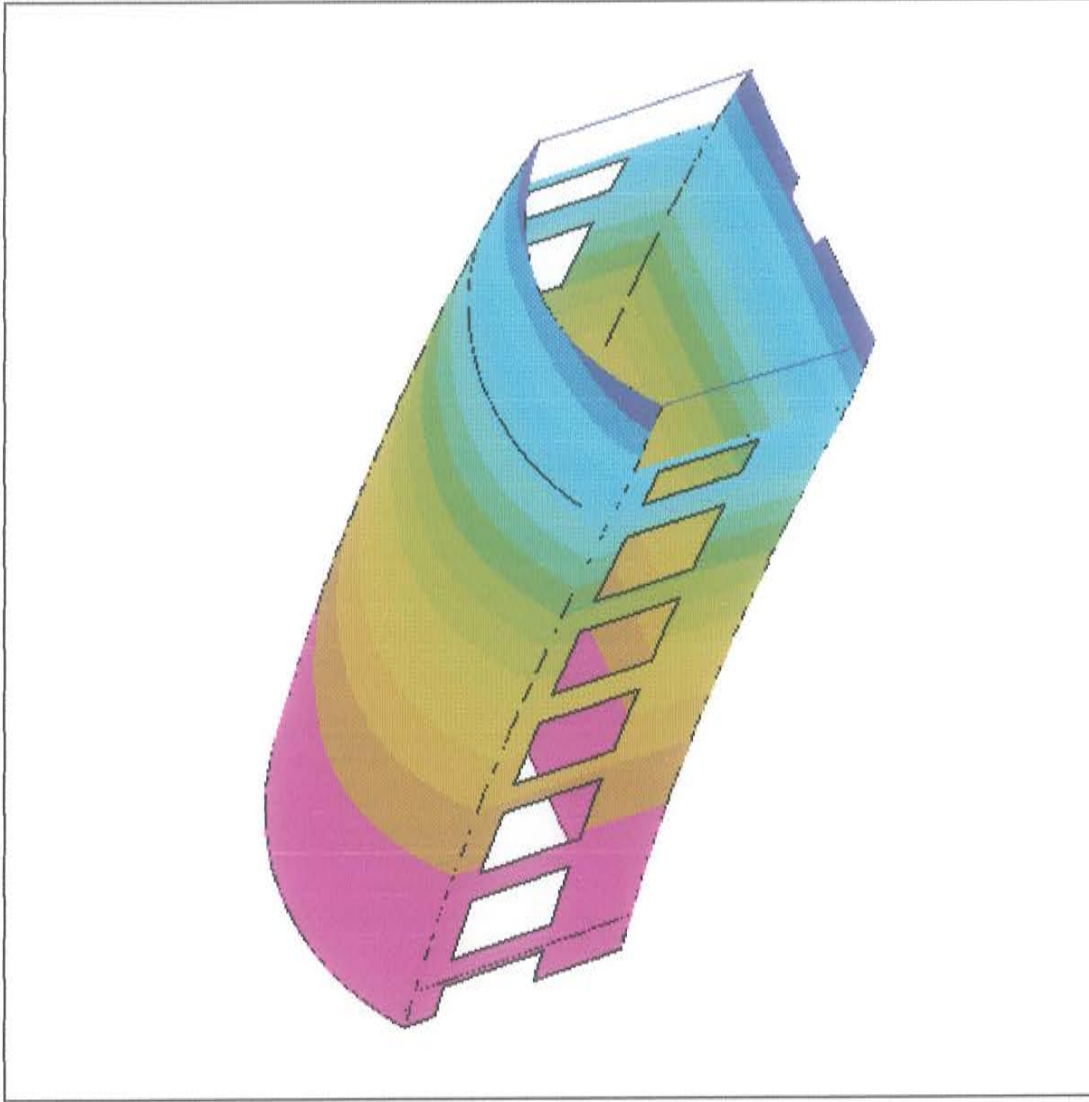


Ek A.1 Tampon seviyesinde uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu X ekseninde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:28:11

XV =.9138
YV =.2525
ZV =.3182
DIST=4702
XF =17981
YF =1444
ZF =1409
A-ZS=19.75
Z-BUFFER
SSCA=20

-8.745
-6.854
-4.964
-3.074
-1.184
.705908
2.596
4.486
6.376
8.266
10.156
12.047
13.937
15.827
17.717
19.607

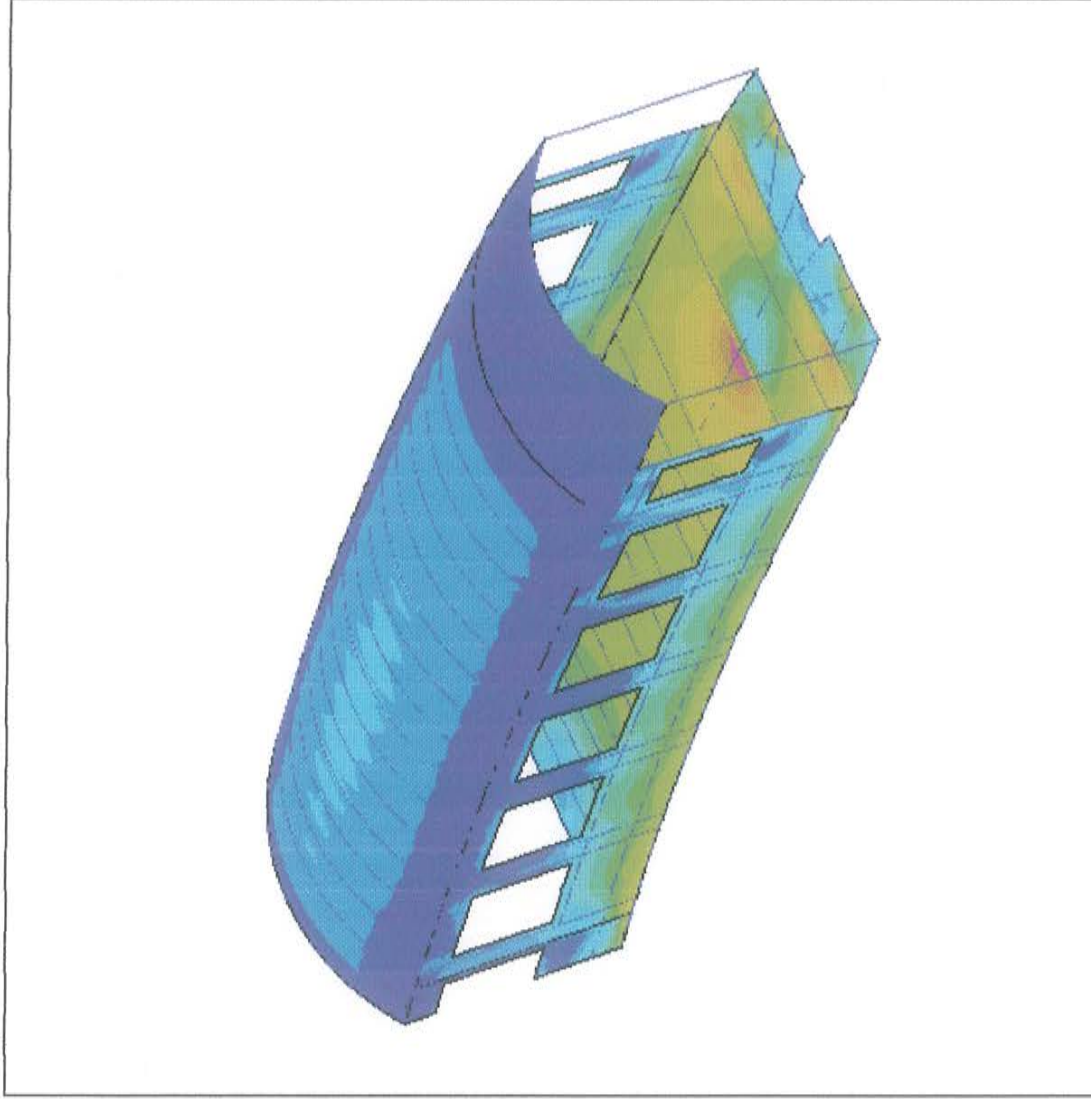


Ek A.2 Tampon seviyesinde uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu Y eksenli yönünde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:26:21

XV =.9138
YV =.2525
ZV =.3182
DIST=4702
XF =17981
YF =1444
ZF =1409
A-ZS=19.75
Z-BUFFER
SSCA=20

.618934
16.236
31.852
47.469
63.086
78.702
94.319
109.936
125.552
141.169
156.786
172.402
188.019
203.636
219.252
234.869



Ek A.3 Tampon seviyesinde uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
18:14:53

XV = .9554
YV = .2184
ZV = .1988
DIST=3919
XF =17972
YF =1323
ZF =1315
A-ZS=14.46
Z-BUFFER

	-3.596
	-3.396
	-3.196
	-2.995
	-2.795
	-2.595
	-2.395
	-2.195
	-1.995
	-1.795
	-.994262
	-.794143
	-.594024
	-.393904
	-.193785
	.006334
	.206454
	.406573

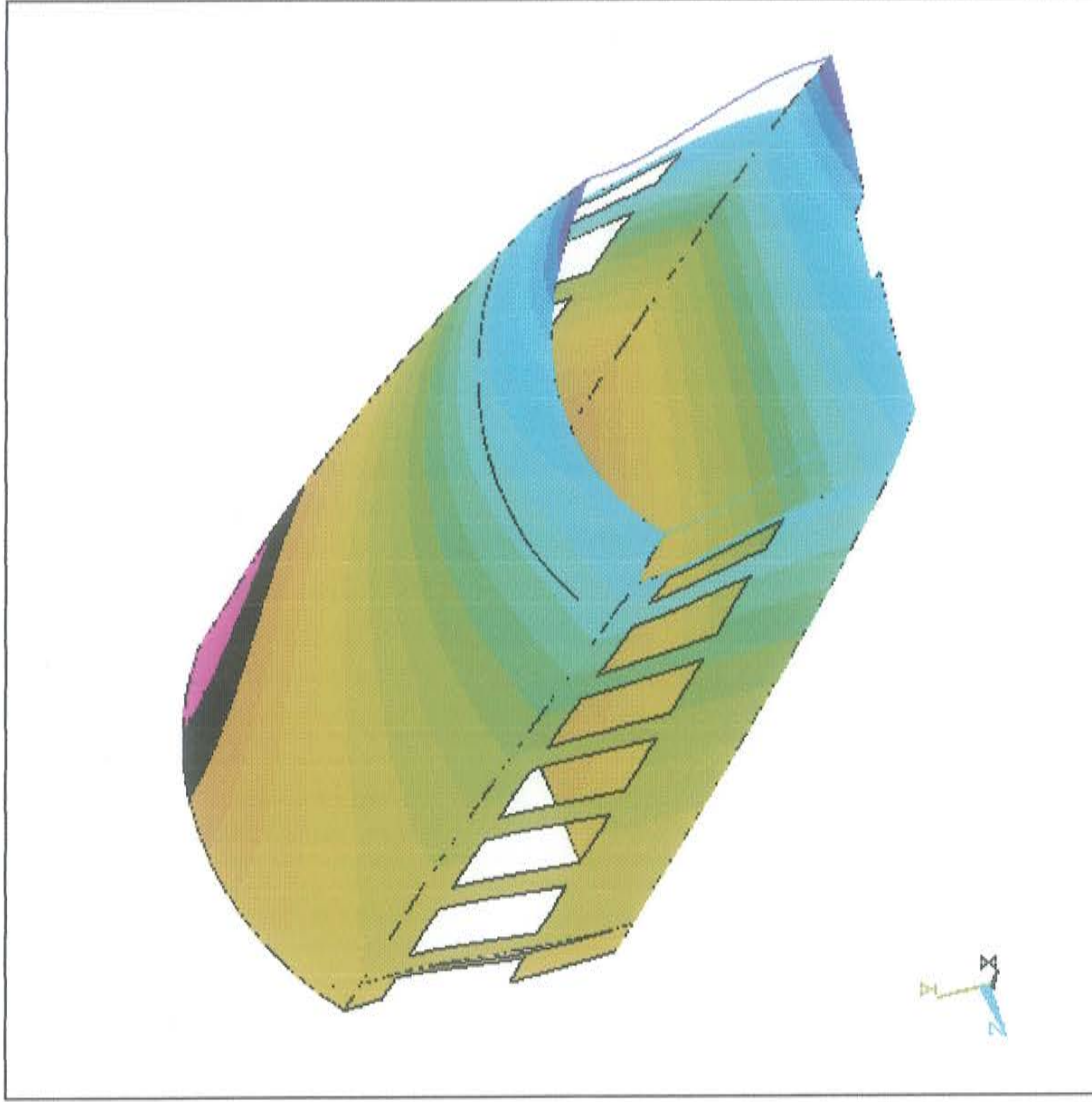


Ek A.4 Tampon seviyesinde diagonal olarak uygulanan 50 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu X eksenini yönünde oluşan deplasmanlar

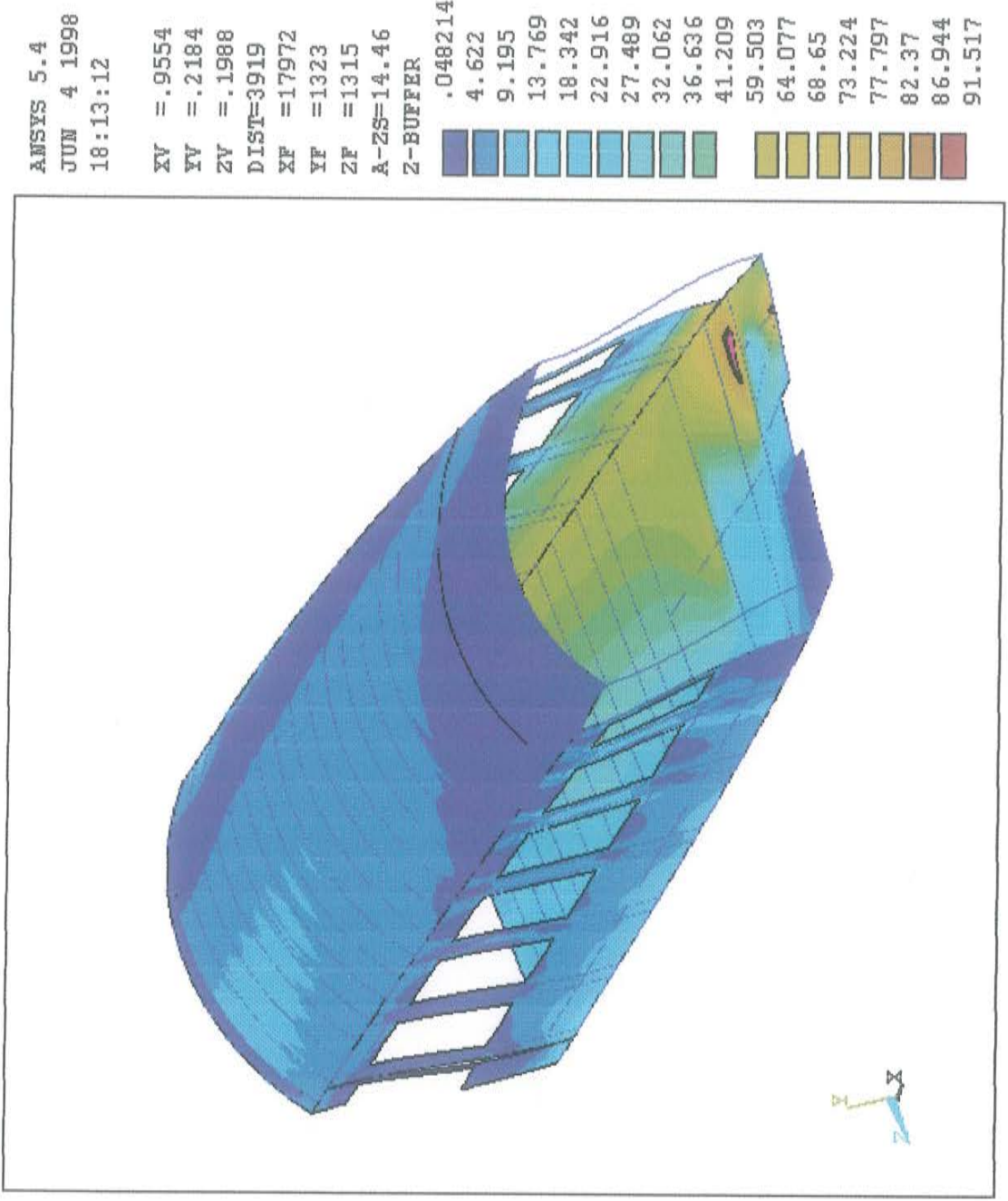
ANSYS 5.4
JUN 4 1998
18:15:18

XV =.9554
YV =.2184
ZV =.1988
DIST=3919
XF =17972
YF =1323
ZF =1315
A-ZS=14.46
Z-BUFFER

	-3.597
	-3.104
	-2.611
	-2.118
	-1.625
	-1.132
	-.638671
	-.14563
	.347412
	.840453
	2.813
	3.306
	3.799
	4.292
	4.785
	5.278
	5.771
	6.264



Ek A.5 Tampon seviyesinde diagonal olarak uygulanan 50 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu Y eksenini yönünde oluşan deplasmanlar

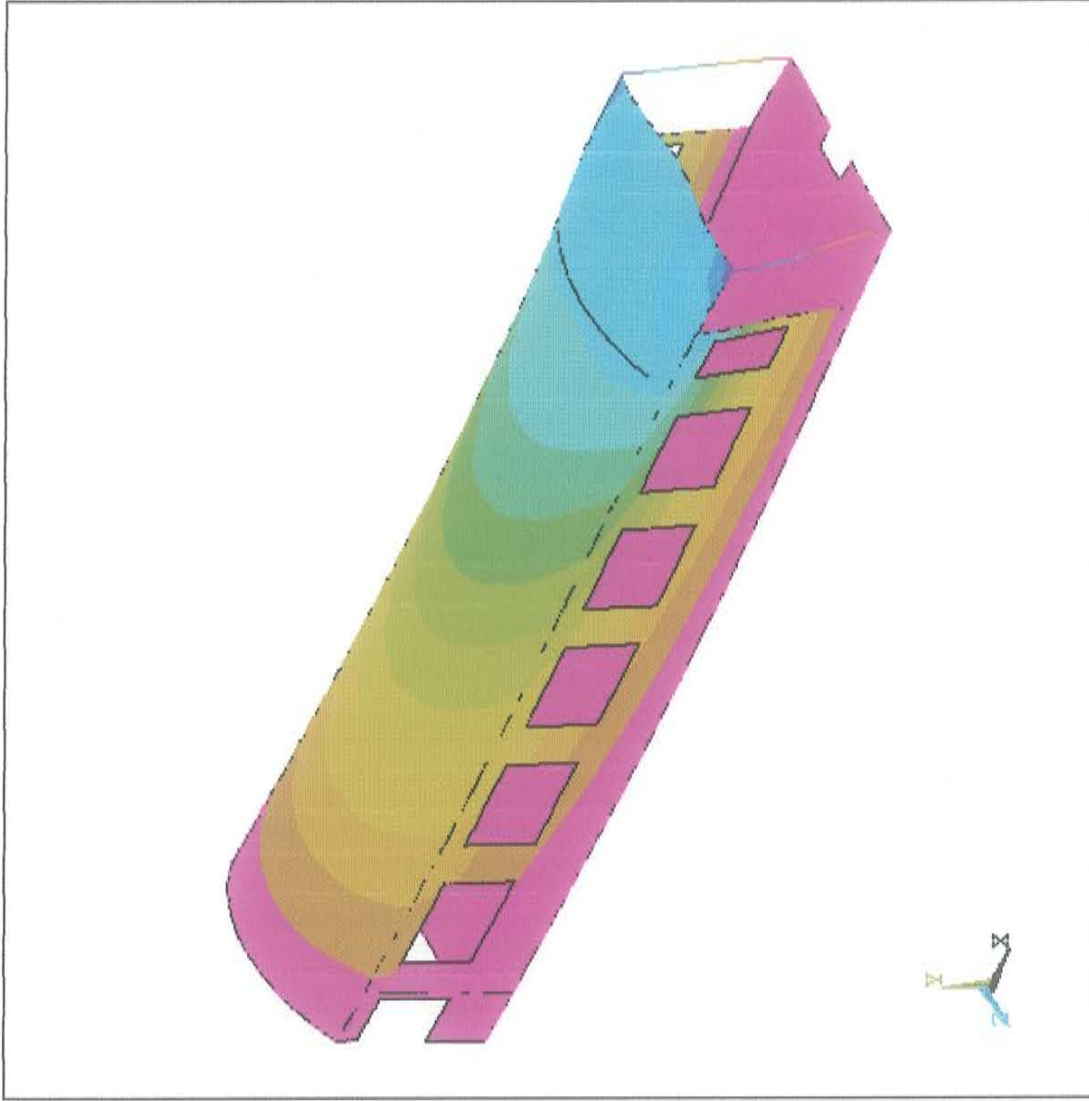


Ek A.6 Tampon seviyesinde diagonal olarak uygulanan 50 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:51:26

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=6084
XF =17965
YF =951.316
ZF =1414
Z-BUFFER

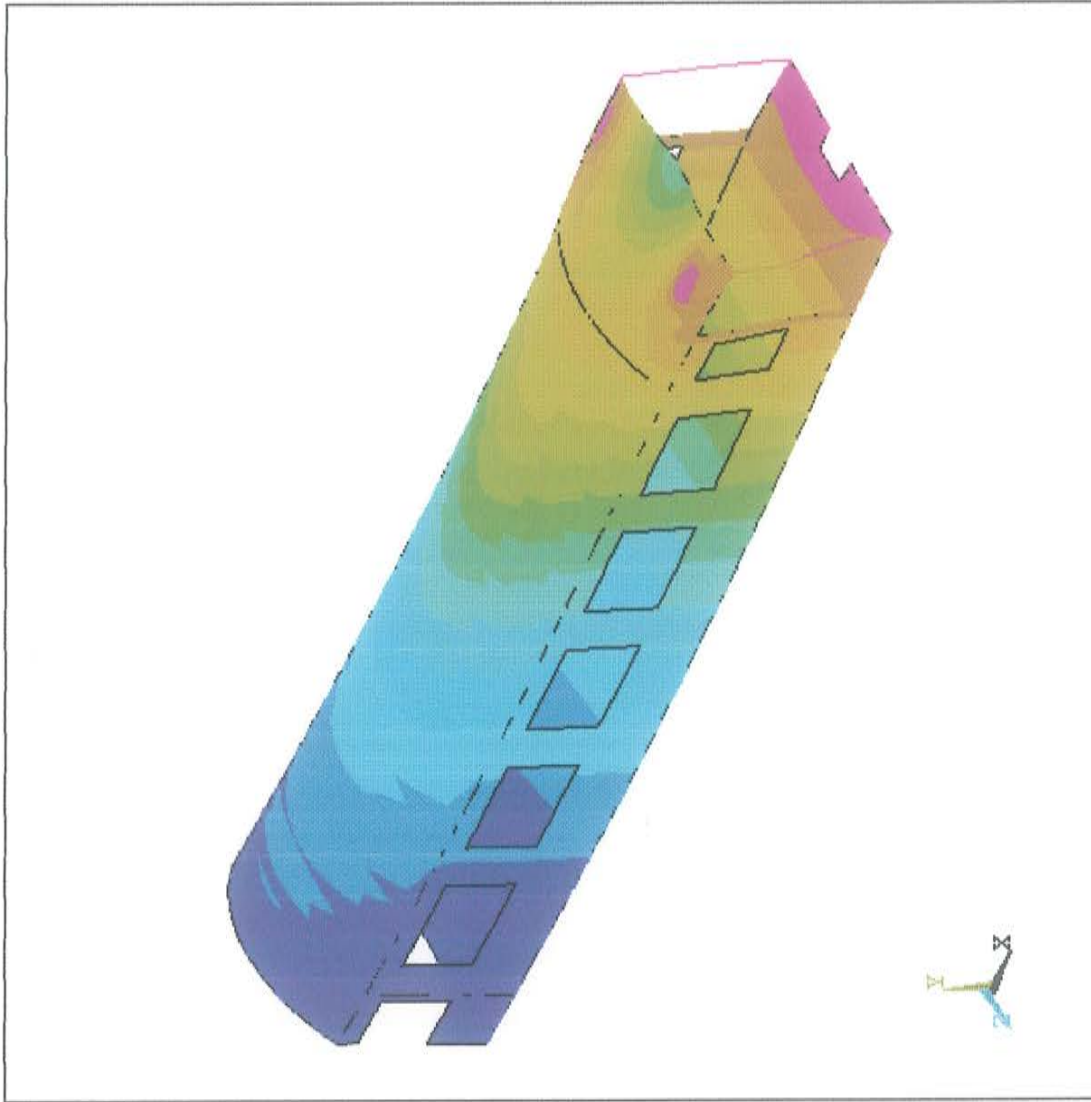
	-2.449
	-2.285
	-2.122
	-1.958
	-1.794
	-1.63
	-1.466
	-1.302
	-1.138
	-.974205
	-.810297
	-.646388
	-.48248
	-.318572
	-.154663
	.009245



Ek A.7 Damboy giriş seviyesinde uygulanan 30 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu X eksenî yönünde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:51:41

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=6084
XF =17965
YF =951.316
ZF =1414
Z-BUFFER



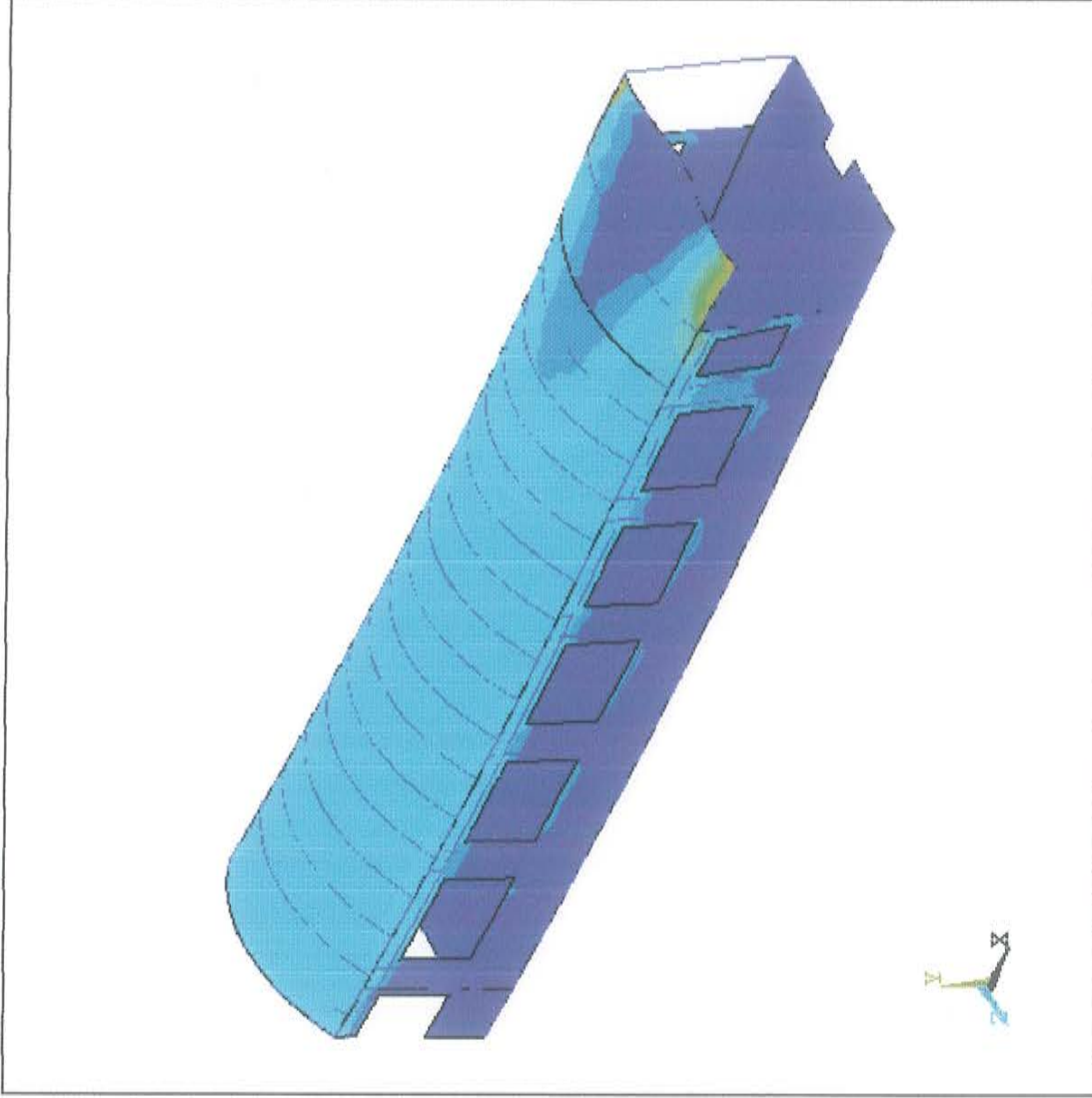
-3.733
-3.404
-3.075
-2.746
-2.417
-2.088
-1.759
-1.43
-1.101
-.771936
-.442917
-.113899
.21512
.544139
.873157
1.202

Ek A.8 Damboy giriş seviyesinde uygulanan 30 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu Y eksenli yönünde oluşan deplasmanlar

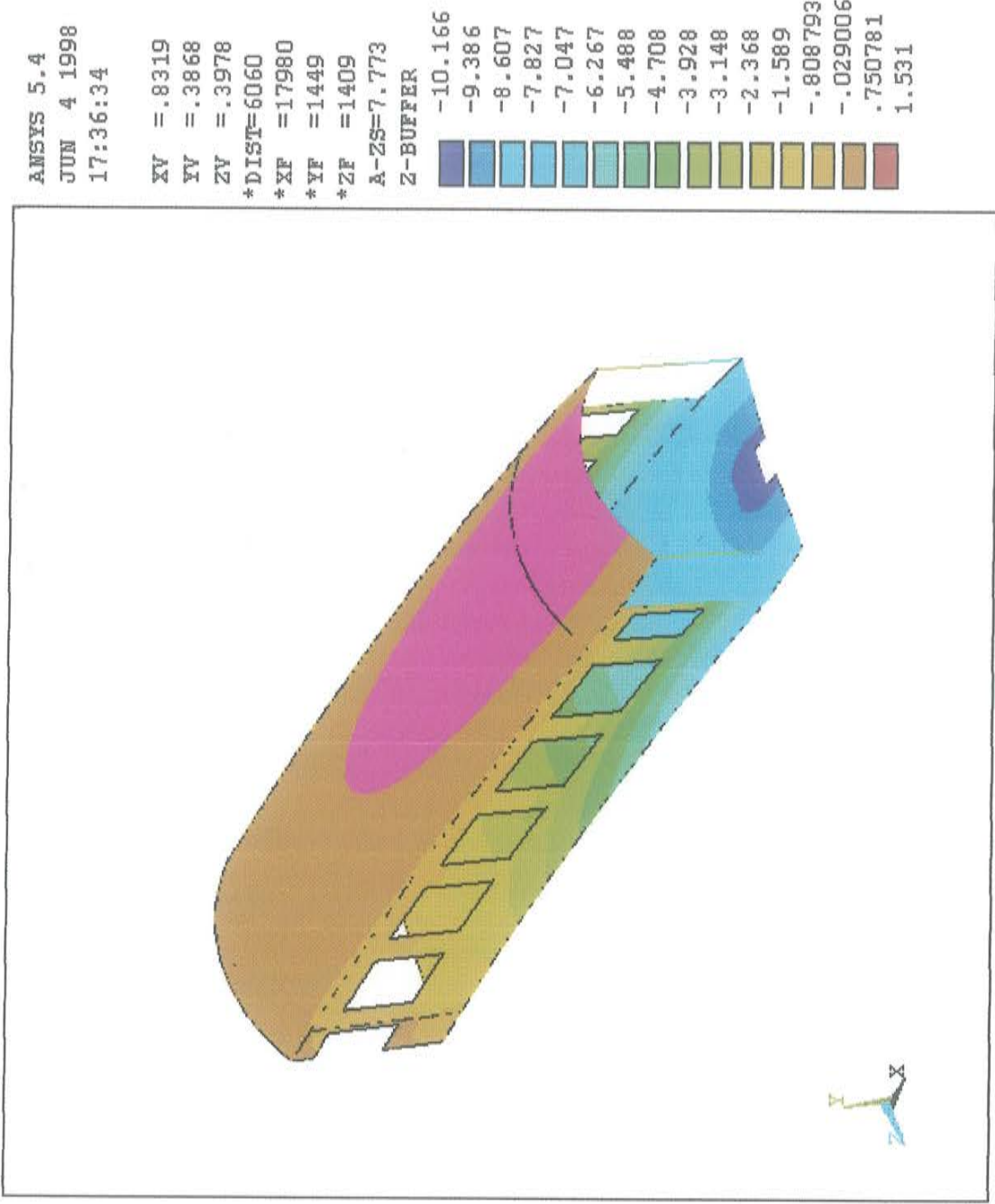
ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:50:36

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=6084
XF =17965
YF =951.316
ZF =1414
Z-BUFFER

0	10.052
10.052	20.105
20.105	30.157
30.157	40.209
40.209	50.261
50.261	60.314
60.314	70.366
70.366	80.418
80.418	90.47
90.47	100.523
100.523	110.575
110.575	120.627
120.627	130.679
130.679	140.732
140.732	150.784



Ek A.9 Damboy kiriş seviyesinde uygulanan 30 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri

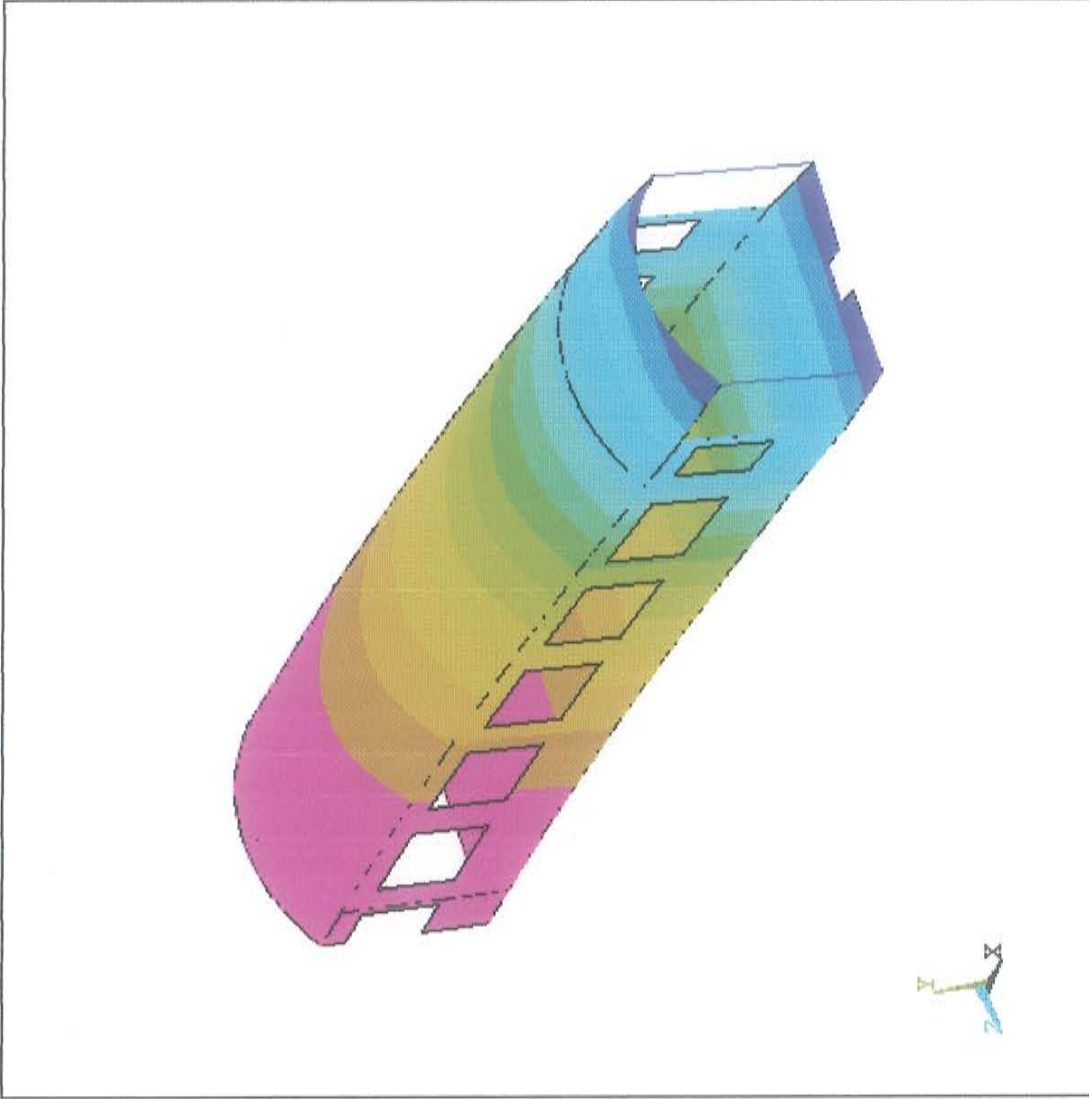


Ek A.10 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu X eksenini yönünde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:36:56

XV =.8319
YV =.3868
ZV =.3978
*DIST=6060
*XF =17980
*YF =1449
*ZF =1409
A-ZS=7.773
Z-BUFFER

-8.423
-6.556
-4.69
-2.823
-.956676
.909831
2.776
4.643
6.509
8.376
10.242
12.109
13.975
15.842
17.708
19.575



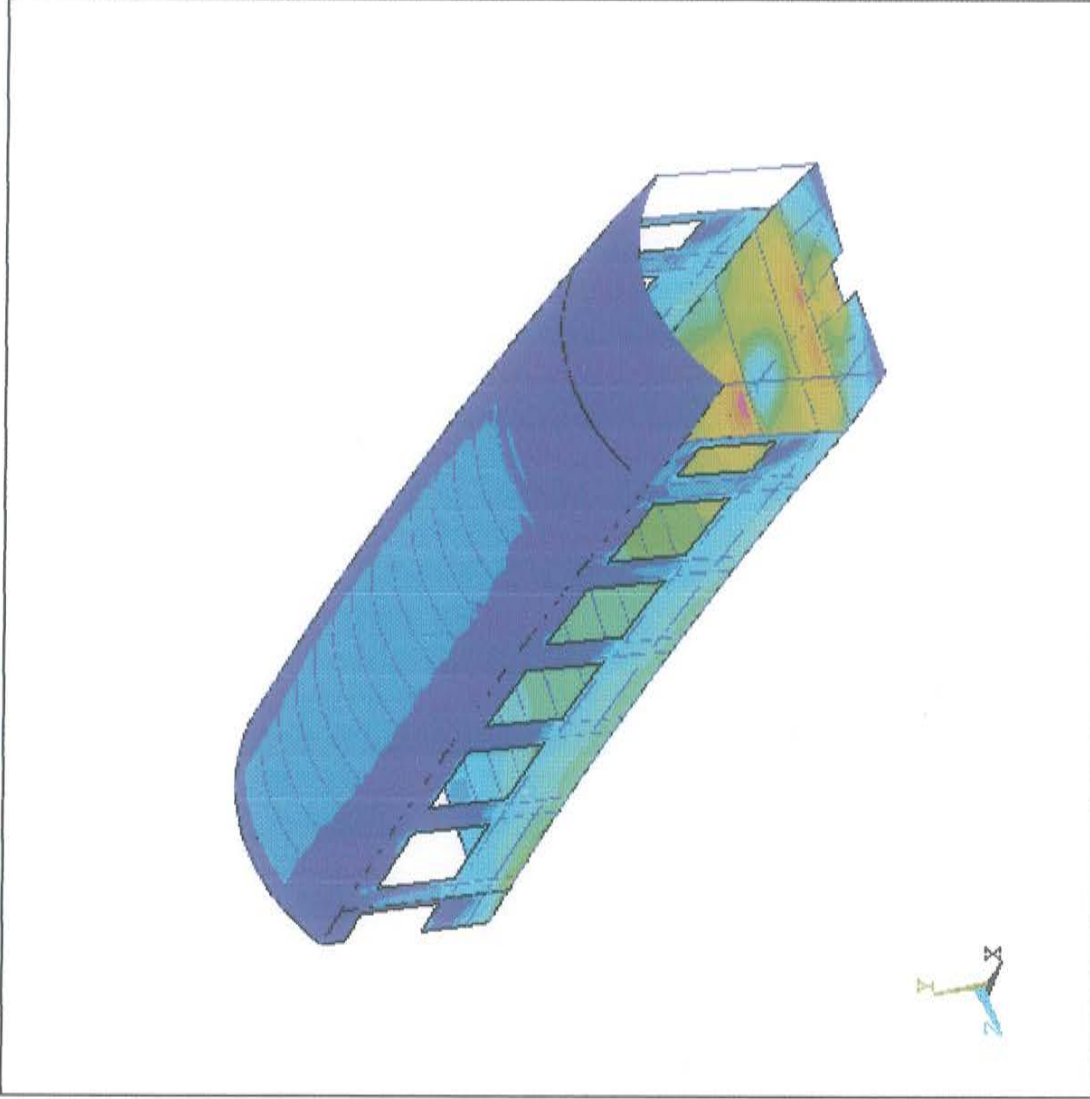
Ek A.11 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu Y eksenini yönünde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:35:55

XV =.8319
YV =.3868
ZV =.3978
*DIST=6060
*XF =17980
*YF =1449
*ZF =1409
A-ZS=7.773

Z-BUFFER

.613815
20.861
41.109
61.356
81.603
101.851
122.098
142.346
162.593
182.841
203.088
223.335
243.583
263.83
284.078
304.325



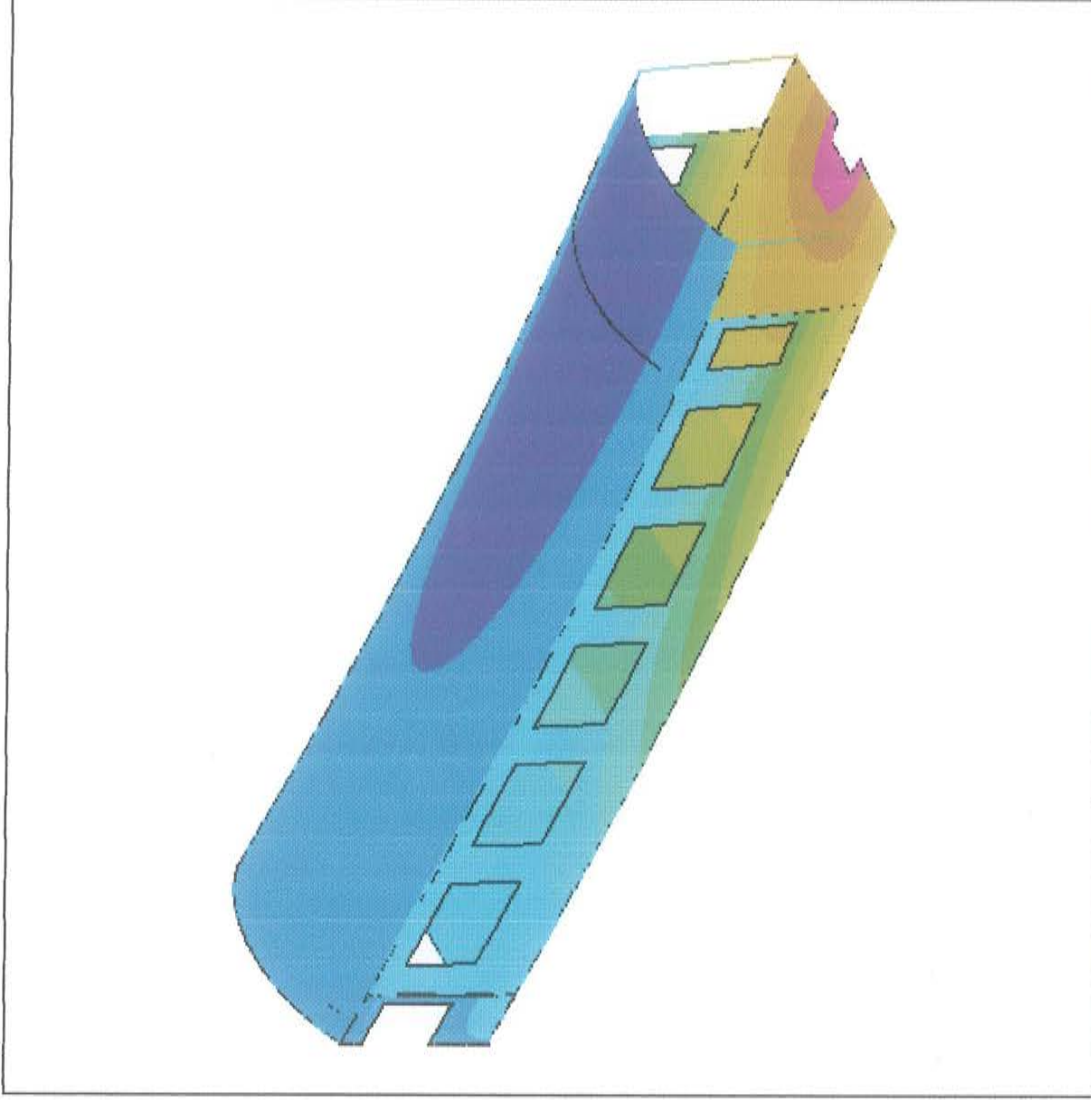
Ek A.12 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 200 tonluk basma yükünün uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:46:02

XV =1
YV =1
ZV =1

DIST=6152
XF =18133
YF =1045
ZF =1412
Z-BUFFER

-1.148
-.561172
.025473
.612117
1.199
1.785
2.372
2.959
3.545
4.132
4.719
5.305
5.892
6.479
7.065
7.652

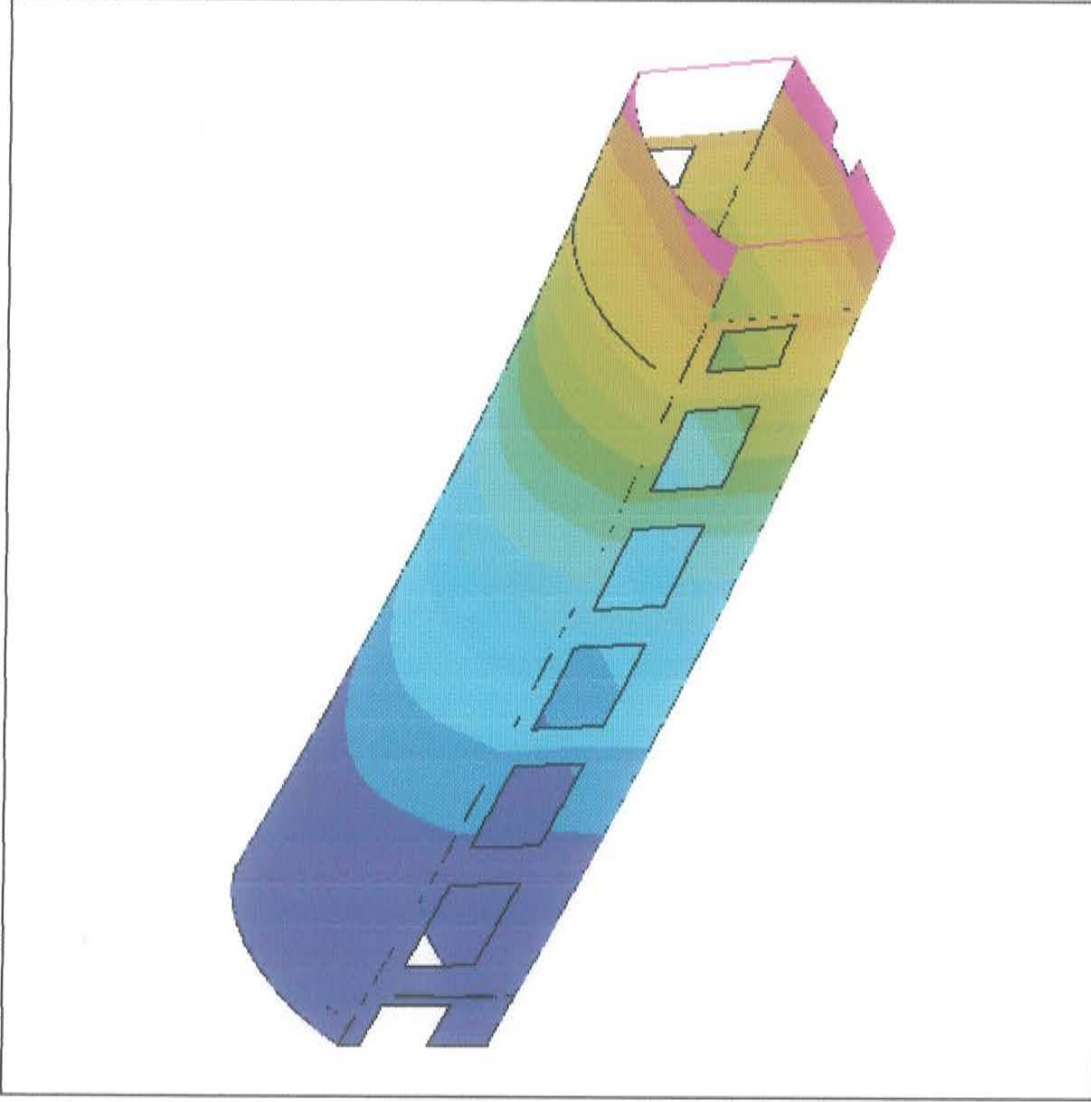


Ek A.13 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 150 tonluk çekme yükünün uygulanması sonucu X ekseninde oluşan deplasmanlar

ANSYS 5.4
JUN 4 1998
17:46:27

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=6152
XF =18133
YF =1045
ZF =1412
Z-BUFFER

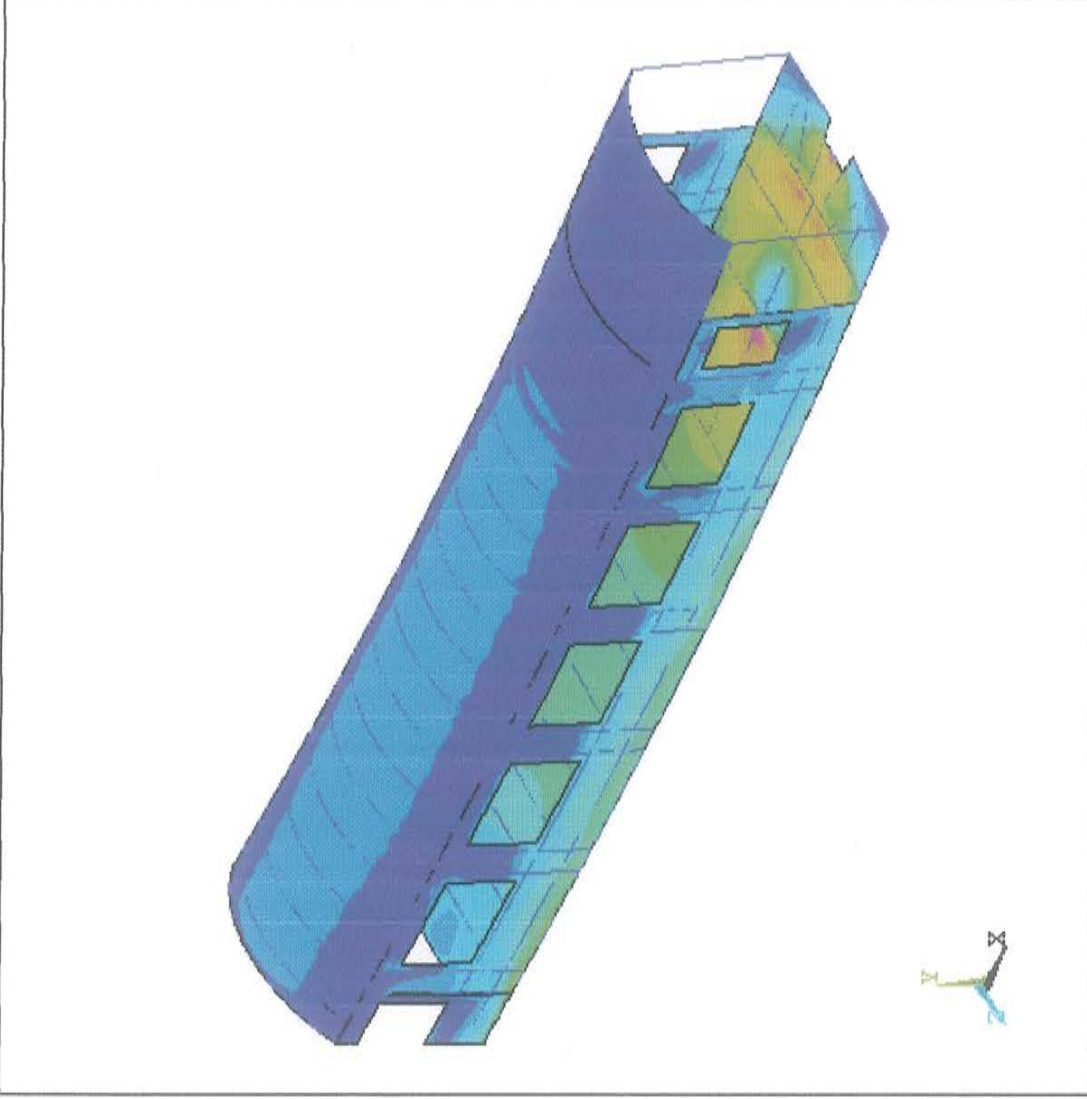
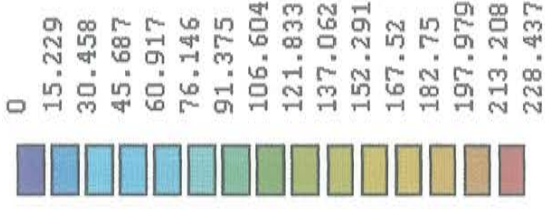
-14.684
-13.284
-11.884
-10.484
-9.084
-7.684
-6.284
-4.884
-3.484
-2.084
-.684278
.715655
2.116
3.516
4.915
6.315



Ek A.14 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 150 tonluk çekme yükünün uygulanması sonucu Y eksenini yönünde oluşan deplasmanlar

AMSYS 5.4
JUN 4 1998
17:42:02

XV =1
YV =1
ZV =1
DIST=6152
XF =18133
YF =1045
ZF =1412
Z-BUFFER



Ek A.15 Otomatik kuplore hizasında uygulanan 150 tonluk çekme yükünün uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri

ÖZGEÇMİŞ

7 Haziran 1974'de Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adapazarı'nda tamamladı. 1991'de Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nin Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. 1996 yılında aynı bölümden mezun oldu. Halen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Uzman olarak görev yapmaktadır. İngilizce dilini bilmektedir.