

56082

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE YAPI ANALİZİ,
ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

F. Meltem SOYSAL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ruhi Kaykayoğlu

OCAK - 1996

ÖNSÖZ

Uluslararası rekabet, müşteri isteklerinin karşılanması, üretimle ilgili işlemlerin esnekleştirilmesi, kalitenin ve verimin arttırılmaya çalışılması, işletmelerde bilgisayar kullanımını kaçınılmaz hale getirmektedir. Böyle bir rekabet ortamında üretici, üretimdeki teknolojisini, esnekliğini, kalite ve hızını arttırabilmek için tasarım ve imalat çevresinde bilgisayar kullanımına gitmektedir. Tasarım aşamasında kullanılan sistemlerin genel adı CAD-Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Dizayn / CAE-Computer Aided Engineering-Bilgisayar Destekli Mühendislik, imalat aşamasında kullanılanların genel adı ise CAM-Computer Aided Manufacturing-Bilgisayar Destekli Üretim'dir.

Bu tez'e konu teşkil eden Bilgisayar Destekli Mühendislik; yazılım ve donanım teknolojilerinin, mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmasıdır. Bunun için yaygın olarak kullanılan yazılım teknolojisi Sonlu Elemanlar Metodu'dur. Bu çalışmada Bilgisayar Destekli Mühendislik uygulaması olan endüstriyel bir problem ele alınmıştır. Uygulama, bir firma tarafından üretilen televizyonların ön cephe boss yapısının Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanan ANSYS paket programı ile yapılan statik yapı analizini kapsamaktadır.

Tezime ile ilgili çalışmalarımda yönlendirme ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ruhi KAYKAYOĞLU' na teşekkür ederim. Bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan BEKOTEKNİK A.Ş.'ye, özellikle çalışmanın başlatılması ve yönlendirilmesine destek olan Dr. Mustafa GEVREK'e bilimsel işbirliğinden dolayı teşekkür ederim. Çalışma sırasında FIGES A.Ş. 'ye, sağladığı bilgisayar yazılımı, TÜRKİYE ELEKTRİK ENDÜSTRİSİ'ne de donanım desteği katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Meltem Soysal

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZ	IV
ABSTRACT	V
I. GİRİŞ	
1.1. Problemin Tanımı	2
II. PROBLEMİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLENMESİ	4
2.1. Bilgisayar Destekli Mühendislik	4
2.2. Yazılım Değerlendirme	6
2.3. Bilgisayar Destekli Yapısal Analiz	9
2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	11
2.4. Matematiksel Formülasyon	14
2.4.1. Statik Analiz	14
2.4.2. Gerilme - Genleme İlişkileri	15
2.5. Yapısal Matrislerin Elde Edilmesi	19
2.6. Yapısal Genleme-Gerilme ilişkilerinin Değerlendirilmesi	23
2.6.1. Bileşik Genlemeler	24
2.6.2. Bileşik Gerilmeler	24
2.7. ANSYS Sonlu Elemanlar Programı Özellikleri	25
2.7.1. Yapının Sonlu Elemanlar Modeli	26
2.7.2. Kullanılan Elemanların Özellikleri	28
2.7.2.1.SOLID45	28
2.7.2.2.SOLID73	29
2.7.2.3.MASS21	29
2.7.3. Sınır Koşulları ve Yükleme Yaklaşımı	30
2.7.4. Çözüm Algoritmaları	34

III. BULGULAR	39
3.1. Analiz Modelleri	39
3.1.1. Durum 1 - Resim 1	39
3.1.2. Durum 2 - Resim 2	40
3.1.3. Durum 3 - Resim 3	43
3.1.4. Durum 4 - Resim 4-5	44
3.1.5. Durum 5 - Resim 6	48
3.1.6. Durum 6 - Resim 7	49
3.1.7. Durum 7 - Resim 8	50
3.1.8. Durum 8 - Resim 9	50
3.1.9. Durum 9 - Resim 10-11	55
3.1.10. Durum 10 - Resim 12	58
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	60
V. ÖZET	62
VI. SUMMARY	63
VII. KAYNAKLAR	64
VII. ÖZGEÇMİŞ	66

ÖZ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPI ANALİZİ, ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEM

Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering) uygulamaları işletmelerde verimliliği ve kaliteyi arttırmayı hedefler. Mühendislik problemlerinin çözümünde yazılım ve donanım teknolojilerinin kullanılması olarak tariflenir. Bilgisayar Destekli Yapı Analiz (Computer Aided Structural Analysis) teknolojisi ise modellerin, mukavemet karakteristiklerine göre hazırlanmış bir yazılım ile analiz edilmesidir.

Bu tip yazılımlarda en çok tercih edilen metod Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method) dir. Metod, statik - dinamik analiz, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, manyetik analiz, akustik gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanımı, ticari paket programları ile olmaktadır. Bu çalışma, bu tip bir ticari paket program olan ANSYS 5.0 yazılımı ile, bir firmanın ürettiği televizyon plastik ön cephe boss yapısının statik yapı analizini kapsamaktadır.

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS USING FINITE ELEMENT METHOD , AN INDUSTRIAL APPLICATION

In industry, Computer Aided Engineering (CAE) applications enhance productivity and quality. It is defined by the use of computer hardware and software technologies in solving engineering problems. Among them, the Computer Aided Structural Analysis method is applied for the analysis of strength characteristics of models using related special software.

The Finite Element Method is the most frequently used CAE software. This method performs well in static and dynamic analysis, heat transfer, fluid mechanics, magnetic and acoustic applications.

In industries, Finite Element Applications are performed using related software packages. This study shows the static analysis of the plastic front panels used in televisions, using the ANSYS 5.0 software packages.

I. GİRİŞ

Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering - CAE), bilgisayar desteği ile mühendislik problemleri çözümünü kapsamaktadır. Son yıllarda günümüz endüstriyel uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Makine, inşaat, elektronik-elektrik mühendisliği, uzay, gemi, otomotiv, savunma endüstrisi çeşitli kullanım alanlarındandır. Bilgisayar Destekli Mühendislik, tasarım prosesinin tamamlayıcısıdır. Daha az zamanda ve daha düşük maliyetle, daha yüksek kalitede mamul üretilmesini hedefler.

Bilgisayar Destekli Yapı Analiz teknolojisi (Computer Aided Structural Analysis), bilgisayar yardımı ile dizayn edilmiş modellerin, mukavemet karakteristiklerine göre hazırlanmış bir yazılım ile analiz edilmesidir. Genelde bu tip yazılımlar, model hazırlama modülünü de içermektedir. Bu modülün olmaması halinde başka bir yazılımda yaratılmış parça transfer edilip kullanılır.

Geliştirilmiş olan yazılımlar değişik yaklaşımlar ve yöntemler taşımaktadırlar. Bu yöntemlerin içinde en çok tercih edilen yöntem Sonlu Elemanlar Yöntemi'dir (Finite Element Method). Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapıların ve mekanik parçaların gerilme, titreşim karakteristikleri, ısı akıları ve sıcaklık dağılımları, statik ve dinamik davranışları, magnetik davranışları analiz edilebilmektedir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin endüstriyel tasarım sürecinde kullanımı ticari paket programları ile olmaktadır. Ticari paket programlarının endüstriyel bir probleme uygulanması yönünde, ANSYS Sonlu Elemanlar yazılımı ile, bir firmanın ürettiği televizyon ön cephe boss yapısının statik yapı analizi yapılmıştır.

1.1. Problemin Tanımı

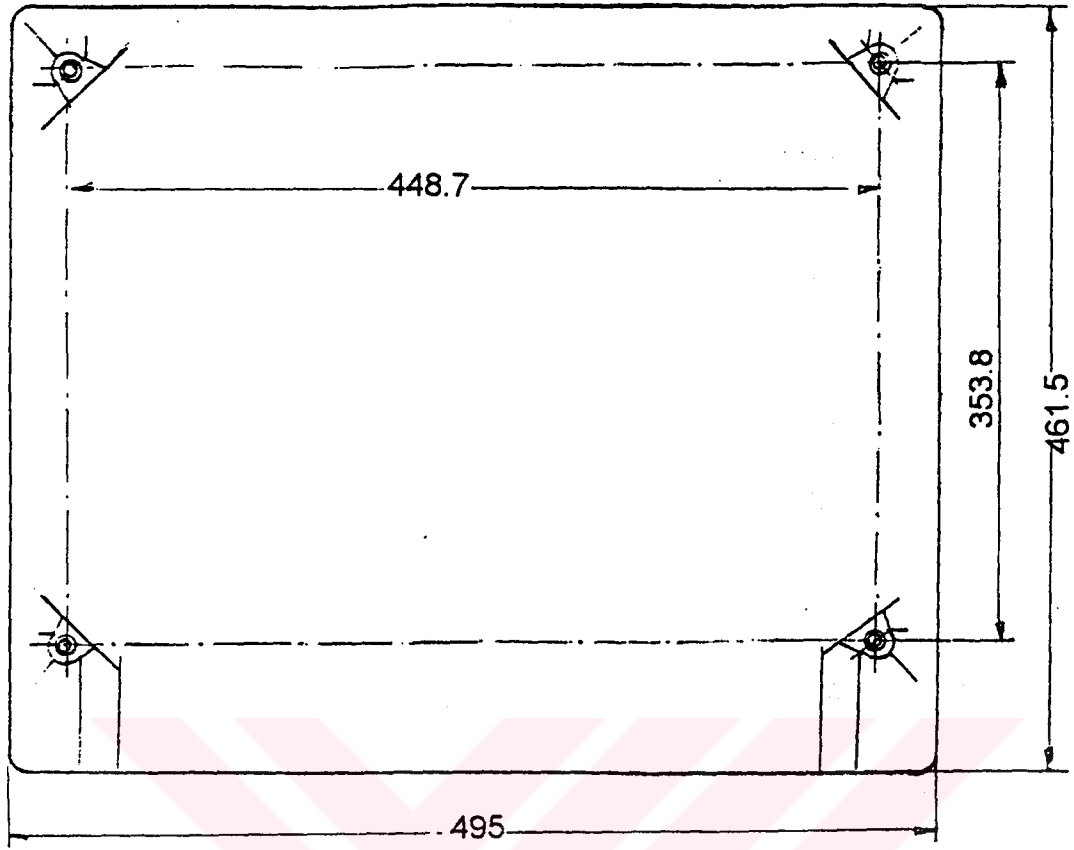
Bir firmada üretimi yapılmakta olan TV plastik ön cephesinde resim tüpü, vida ile ön cephedeki bir boss yapısına bağlanmaktadır. Bu yapının konfigürasyonu ve tasarımı birikmiş tecrübelerle göre yapılmaktadır. Tasarım sonrası kalıp parçalarının işlenmesi uzun zaman dilimleri gerektirdiği için boss yapısının en optimum bir şekilde yapılması mühendislik hizmetleri açısından önem taşımaktadır. Şekil 1, boss yapısını göstermektedir.

Diğer taraftan ambalajlanmış TV'lere uygulanan düşürme testlerinde tüp bağlantı noktalarında çatlamların ve kırılmaların gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu oluşumun sebeplerinin araştırılması için yapının statik ve dinamik yüklenmesi durumunda yapıda meydana gelen gerilmelerin doğasının araştırılması gerekmektedir. Deneysel ve simülasyon yöntemleriyle yapılabilecek çalışmalar araştırılmıştır. Simülasyon yaklaşımı içinde bilgisayar destekli yaklaşım son yılların en etkin araştırma yöntemidir. Bilgisayar Destekli Analiz kapsamında yapının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile statik ve dinamik analizi hedeflenmiştir.

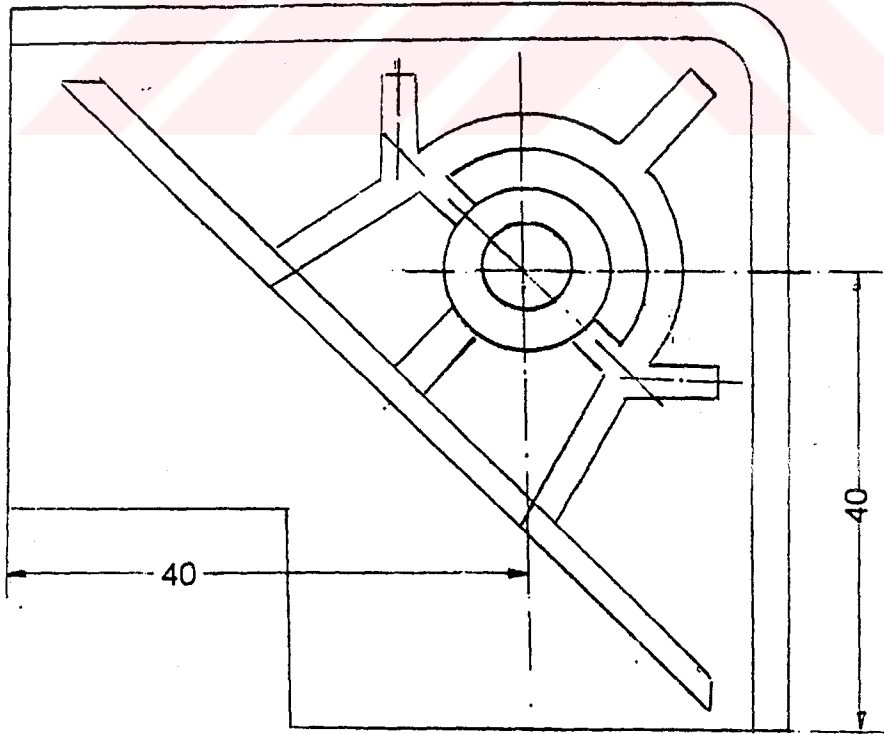
Bilgisayar Destekli Analiz sonrası elde edilen sonuçların çeşitli deneylerle test edilmesinden sonra optimum yapı tasarımının gerçekleştirilmesi için ;

- Minimum malzeme kullanımı,
- Çöküntüsüz ön cephe enjeksiyonu,
- Kolay kalıp imalatı,
- Yeterli mukavemet sağlanması

gibi hususların incelenerek optimum tasarım prensiplerinin saptanması hedeflenmelidir.



T.V. Plastik Ön Cehesi Şematik Görünüşü



Şekil 1. Katı model için seçilen kısım

II.PROBLEMİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLENMESİ

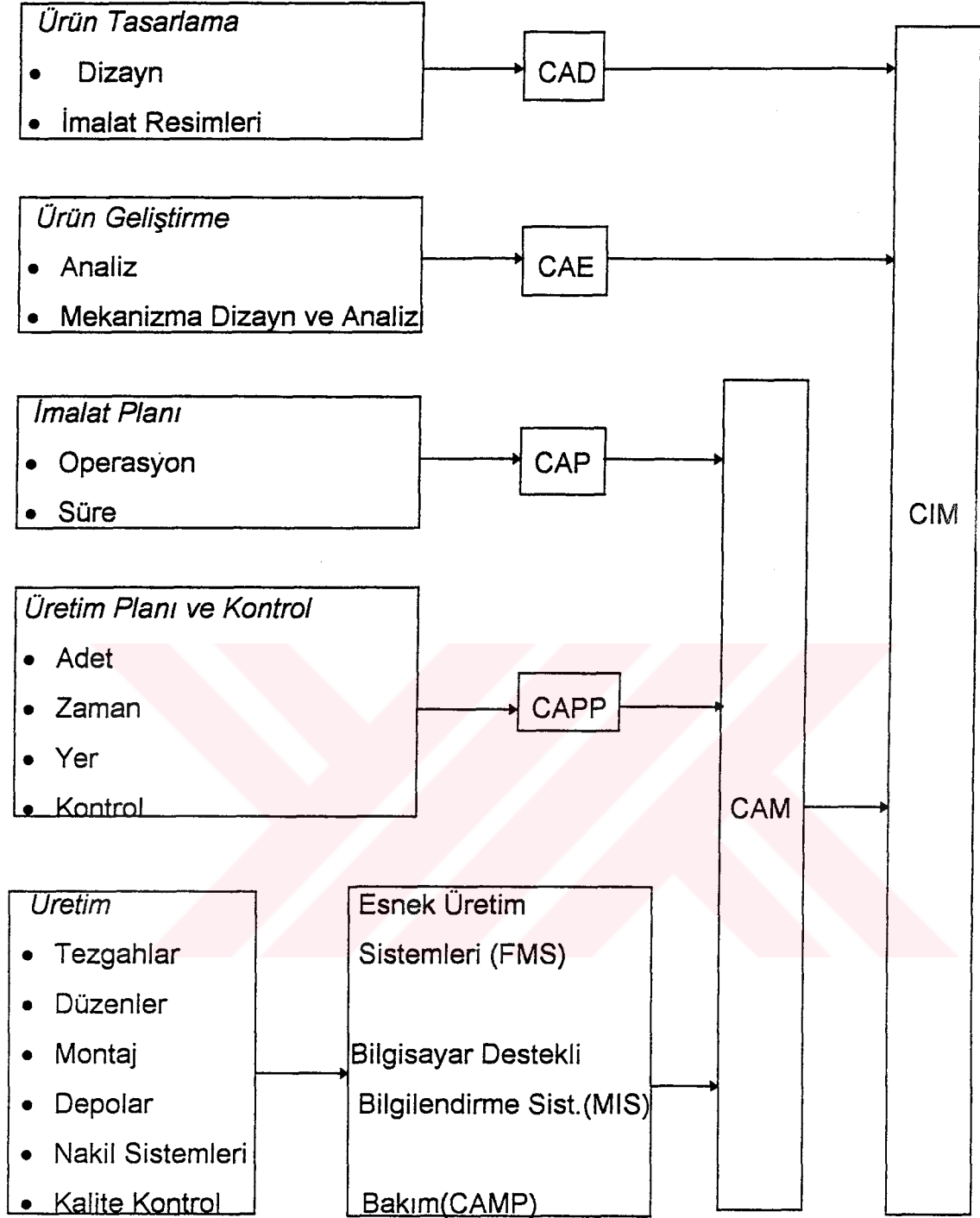
2.1. Bilgisayar Destekli Mühendislik Kavramı

Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering) yaklaşımı, yazılım ve donanım teknolojilerinin, mühendislik problemlerinin çözümlenmesinde kullanılmasıdır. Günümüzde makina, inşaat, elektronik, elektrik, uçak, gemi mühendisliklerinde, uzay, otomotiv, savunma endüstrisi gibi alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Firmalar, her birinin kendine ait yazılım ve donanım konfigürasyonu olan çeşitli analiz, grafik ve geometrik modelleme paketlerini pazara sunmaktadırlar. Bunlara NASTRAN, ABAQUS, ADINA, ARIES, ANSYS, PAFEC, MARC, SAP, EASE gibi iş istasyonlarında çalışan ayrıntılı yazılımlar, MSC/PAL, ANSYS-PC, COSMOS/M, ALGOR gibi hem PC hem de iş istasyonlarında çalışan yazılımlar örnek verilebilir. Bu yazılımlar kendilerine ait kodları ve dataları ile çeşitli fiziksel problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar [2].

Parça geometrisi bilgisayarda tanımlandıktan sonra, değişik açıdan görüntüleri, kesitleri alınır, diğer parçalarla gruplaması yapılır. İkinci adım parçanın ısı, yük v.b. altında analiz edilmesidir. Analizden sonra sonuçların grafik görünüşleri ve değerleri çıktı olarak alınır.

Bilgisayar Destekli Mühendislik, günümüzde işletmelerde uygulaması kaçınılmaz olan Bilgisayar Destekli Bütünleşik Üretim (Computer Integrated Manufacturing - CIM) olarak adlandırılan bilgisayar desteğinin bir taşıdır.

Aşağıda bilgisayar desteğinde yapılan çalışmaların fazları gösterilmiştir.



Şekil 2. Bilgisayar desteğinde yapılan çalışmalar [3]

Kısaltmalar :

CAD	: Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Dizayn
CAE	: Computer Aided Engineering - Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAP	: Computer Aided Production - Bilgisayar Destekli Üretim
CAPP	: Computer Aided Process Planning - Bilg. Dest. Proses Planlama
CAM	: Computer Aided Manufacturing - Bilgisayar Destekli İmalat
FMS	: Flexible Manufacturing Systems - Esnek Üretim Sistemleri
MIS	: Management Information Systems - Yönetim Bilgilendirme Sistemleri
CAMP	: Computer Aided Maintenance and Planning - Bilg. Dest. Bakım ve Planlama

2.2. Yazılım Değerlendirme

Endüstriyel yazılım kullanıcı firmalar, yazılımları çeşitli kriterlere göre karşılaştırıp değerlendirerek, kendi özel ihtiyaçlarına en uygun olan sistemi seçmektedirler.

Yazılımlar aşağıdaki özellikler çerçevesinde değerlendirilirler [4].

Genel

- . Katı Modelleme
- . Yüzey Modelleme
- . Analiz Programları ile Ara Yüzey
- . FEM/BEM Ağ Yapısı Oluşturma
- . Mekanizma ve Kinematik Simülasyon
- . Parametrik Dizayn

Grafik

- . 2D
- . 3D

- . Renk Gösterimi
- . Kesit Gösterimi
- . Görünmez Çizgilerin Otomatik Kaldırılması
- . Çizime Yazı Ekleme
- . Ölçülendirme
- . Listeleme
- . Kullanıcının da Hazırlayabileceği Eleman Kütüphanesi

Uygulama

- . Mekanik
- . Akışkanlar Mekaniği
- . Isı Transferi
- . Fabrika Dizaynı
- . Piping
- . Saç Metal
- . Kalıp Dizaynı
- . Gemi Endüstrisi
- . Hava Endüstrisi
- . Elektrik Mühendisliği
- . Elektronik Mühendisliği
- . Mimari
- . İnşaat Mühendisliği
- . Şehir Planlama
- . Haritacılık

Geometrik Yapılandırma Elemanları

- . Katı modelleme
 - Analitik modelleme
 - Süpürerek
 - Boundary representation
 - Konstrüksiyon Çizgileri İle

- . Yüzey modelleme

- Yama, Eğri

- Quadratik

- Süpürerek

- Döndürerek

- Radyüslerle

- . Eğri modelleme

- Eğrilerle

- Spline

Ara Yüzeyler

- . Kullanıcı ile

- Open pack

- Closed pack

- Input

- Menü

- Tablet

- Yazı yazarak

- Kullanıcı grupları

- Program dili

- . Analizle

- FEM

- BEM

- Diğer

- . Diğer sistemlerle

- İletişim paketi

- IGES

- Grafik standartlar

- Database sistemler

. CAM ile

Otomatik

NC Programları

Robot hareketleri

Simülasyon

Takım hareketleri

Robot hareketleri

Donanım

IBM, Digital Equipment Corporation (DEC), Data General(DG), Alliant, Apollo, Sun, Hewlett-Packard(HP), Silicon Graphics, Honeywell, Univac, Prime, Harris, Cray, Convex v.b.

2.3. Bilgisayar Destekli Yapısal Analiz

Bilgisayar Destekli Yapı Analiz teknolojisi (Computer Aided Structural Analysis), bilgisayar desteğinde modelleri oluşturulmuş parçaların, mukavemet karakteristiklerini tespit etmektedir.

Geliştirilmiş olan yazılımlar değişik yaklaşımlar ve yöntemler taşımaktadırlar. Bunların içinde en çok kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi'dir (Finite Element Method). Sonlu Elemanlar Yöntemi ile parçaların statik-dinamik analizleri, gerilme, titreşim karakteristikleri, magnetik davranışları, ısı akıları ve sıcaklık dağılımları v.b. analiz edilebilir.

Yapısal analiz problemleri analitik veya sayısal metodlar kullanılarak çözülmektedir. Analitik metodlar karmaşık yapılar için uygun olmamaktadır. Yapısal analiz problemlerinde kuvvet metodu veya yer değiştirme metodu olmak üzere iki temel yöntem izlenmektedir. Bu yöntemler :

Kuvvet Metodu [5]

Bu yöntemde önce bilinmeyen iç ve dış bağımsız kuvvetlerin sayısı belirlenir ve bağımsız denklemlerin sayısı ile karşılaştırılır. Eğer bu iki sayı eşitse, problem statik belirgin olarak tanımlanır ve bilinmeyenler bu denklemlerden hesaplanabilir. Eğer bilinmeyen kuvvetlerin sayısı bağımsız denklemlerin sayısını aşıyorsa problem statik belirgin değildir. Bilinmeyen güçlerin fazlası redundant güçler olarak tanımlanır ve esas yapının sınırlayıcıları olarak farzedilir. Böylece elde edilen statik belirgin yapıya birincil yapı denir. Bu şekilde birincil yapının denklemleri çözüldükten sonra redundant güçler için yazılmış denklemler yardımcı ile tüm bilinmeyenler bulunur.

Yer Değiştirme Metodu [5]

Bu metodun kullanımında önce bağımsız bilinmeyen yer değiştirme komponentleri belirlenir ve esas bilinmeyenler olarak kabul edilir. Yapıdaki iç kuvvetler bu bilinmeyen yer değiştirmelere bağlı olarak tarif edilir. Her bilinmeyen yer değiştirme komponenti için bilinen dış güçler ve bilinmeyen iç güçlere bağlı olarak birer denklem yazılabilir. Bilinmeyen yer değiştirmelerin sayısına eşit olarak kurulan bu denklemler çözülür. Yer değiştirmeler bulunduktan sonra iç güçler geriye doğru hesaplanır. İlk yer değiştirme yapısında kullanılmayan dış kuvvetlerle ilgili denklemlerin yardımcı ile bilinmeyen dış kuvvetler hesaplanır.

2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

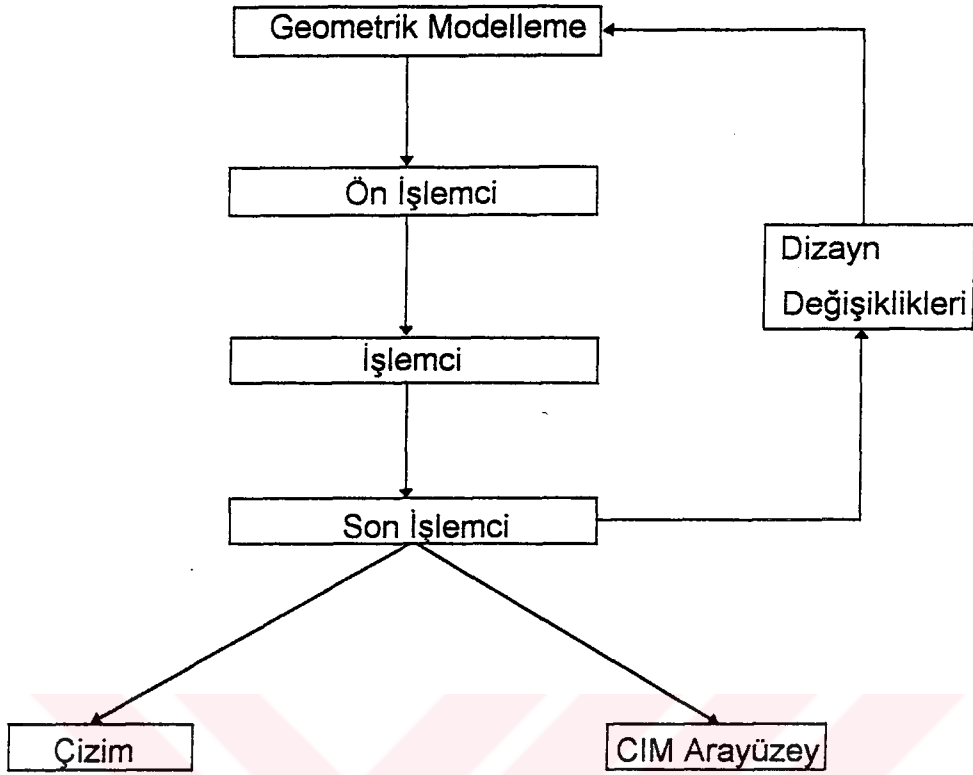
1930'lu yıllarda inşaat mühendisleri tarafından kullanılmaya başlanan Sonlu Elemanlar yöntemi, günümüzde, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, akustik, elektromagnetik v.b. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sonlu Elemanlar Metodu, dış etkiler altındaki fiziksel sistemler için tanımlanmış soyut denklemlere nümerik çözümler sağlayan bilgisayar destekli bir matematiksel tekniktir. Sonlu Elemanlar Yönteminin amacı, sürekli fiziksel sistemin veya yapının seçilmiş noktalarında diferansiyel denklemlere belli bir doğruluk derecesinde çözüm üretmektir. Sonlu Elemanlar Programı, diferansiyel denklemleri bilgisayar tarafından kolaylıkla çözülebilen cebirsel denklemlere dönüştürmektedir. Fiziksel sistemin veya yapının matematiksel modeli noktalara ve sonlu elemanlara bölünür, her bir düğüm noktası için uygulanan denklemler çözülür [6].

[7] Sonlu Elemanlar programı başlıca üç birimden oluşmaktadır. Bunlar,

1. Ön İşlemci (*Preprocessor*)
2. İşlemci (*Processor*)
3. Son İşlemci (*Postprocessor*)

Şekil 3'de Sonlu Elemanlar Prosesi gösterilmiştir.



Şekil 3 . Sonlu Elemanlar Prosesi [4]

1. Ön İşlemci

Ön işlemcinin fonksiyonu, yapının veya mekanik parçanın sonlu elemanlar modelini oluşturmaktır. Parçanın geometrisi hazırlandıktan sonra, elemanlar seçilir, malzeme parametreleri girilir, modelin ağ yapısı oluşturulur, sınır koşulları, yükler verilir. Ön işlemci kodları katı modelleme sonuçları ile fiili analiz kodları arasında ara yüz oluşturur. Bu safhada problemin çalışması için gerekli veriler hazırlanır ve tutarlılık kontrolleri yapılır.

2. İşlemci

Parçanın kuvvet, ısı v.b. altında analizi işlemidir. Sistem denklemlerini oluşturulur ve çözülür. Program eleman matris ve vektörlerini hesaplar, toplar, sınır koşullarını uygular ve ortaya çıkan sistemi çözer. Program önce giriş verilerini okur, bu veriler için gerekli dosyaları açar ve düğüm koordinatları, malzeme özellikleri, sınır koşulları ve yüklemelere göre dirençlik matrisinin montajı tamamlanabilir. Bilinmeyen düğüm noktaları için düğüm denklemleri montajı yapılır. Gauss indirgeme veya lineer denklem sistem çözümü için başka bir algoritma ile katılık matrisinin tersi bulunur. Bilinmeyen düğüm değerleri (yer değiştirme, sıcaklık v.b.) ve sonuç eleman değerlerini hesaplar.

3. Son İşlemci

Son işlemciler analiz edilmiş dataların anlaşılması ve değerlendirmesi kolay olan grafiksel görünümünü oluşturur (Gerilim dağılımı, yer değiştirmeler, modelin şekil değiştirmiş hali v.b.). Alınan sonuçlar mühendislik yaklaşımı ve farklı çözüm teknikleri ile karşılaştırılıp doğrulanmalıdır. Farklılık gösteren sonuçlar varsa problem tekrar ele alınıp değerlendirilmelidir. Alınan sonuçlar bilgisayar çıktısı olarak alınabilir veya CIM prosesinde kullanılabilir.

2.4. Matematiksel Formülasyon

2.4.1. Statik Analiz

Lineer yapısal statik analiz denklemi ;

$$[K]\{u\} = [F] \quad (2.4.1.1)$$

veya

$$[K]\{u\} = \{F^a\} + \{F^r\} \quad (2.4.1.2)$$

şeklinde tanımlanır [8]. Bu denklemde,

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K_e] : \text{toplam katılık matrisi}$$

$\{u\}$: düğüm noktaları deplasman vektörü

N : eleman sayısı

$[K_e]$: eleman katılık matrisi

$\{F^r\}$: reaksiyon yük vektörü'dür.

Toplam uygulanan yük vektörü, $\{F^a\}$ ise,

$$\{F^a\} = \{F^{nd}\} + \{F^{ac}\} + \sum_{m=1}^N (\{F_e^{th}\} + \{F_e^{pr}\}) \quad (2.4.1.3)$$

olacaktır.

Bu formülde ;

$\{F^{nd}\}$: uygulanan düğüm noktaları yük vektörü

$\{F^{ac}\} = -[M]\{a_c\}$: ivme yük vektörü

$[M] = \sum_{m=1}^N [M_e]$: toplam kütle matrisi

$[M_e]$: eleman kütle matrisi

$\{a_c\}$: toplam ivme vektörü

$\{F_e^{th}\}$: eleman ısı yük vektörü

$\{F_e^{pr}\}$: eleman basınç yük vektörü

2.4.2. Gerilme - Genleme İlişkileri

Linear malzemeler için gerilme-genleme (stress - strain) ilişkisi ;

$$\{\sigma\} = [D] (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{th}\}) \quad (2.4.2.1)$$

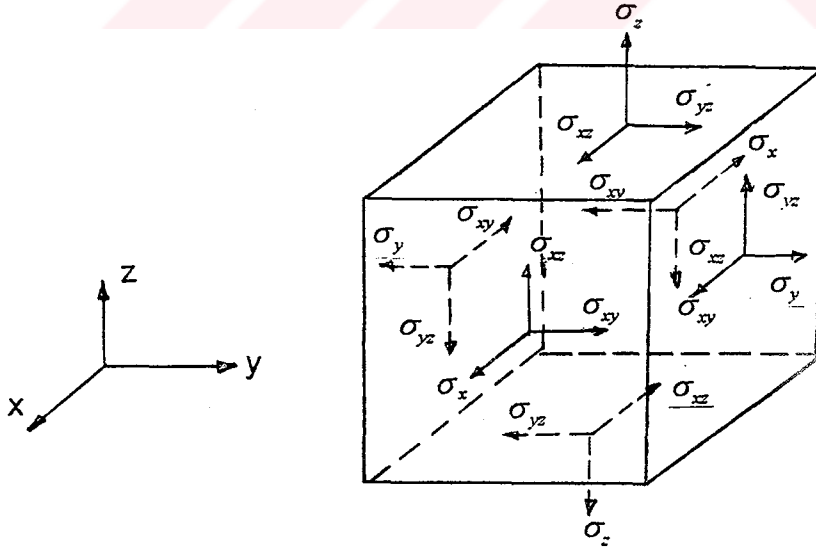
şeklinde tanımlanmıştır [8]. Bu denklemde,

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{yz} \quad \sigma_{xz}]^T \quad : \text{gerilme vektörü (Bakınız Şekil 4)}$$

$[D]$: elastisite matrisi

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{xz}]^T \quad : \text{genleme vektörü}$$

$\{\varepsilon^{th}\}$: ısı genleme vektörü



Şekil 4 : Gerilme Vektörü

(2.4.2.1) denklemi şöyle de ifade edilebilir.

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1}\{\sigma\} \quad (2.4.2.2)$$

3 boyutlu durum için ısı genleme vektörü ;

$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_x & \alpha_y & \alpha_z & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (2.4.2.3)$$

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$: x,y,z yönlerindeki ısı genleşme katsayıları

$$\Delta T = T - T_{REF}$$

T = Ortamdaki sıcaklık

T_{REF} = Referans sıcaklığı

Sütün normalizesi yapılırsa ;

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -v_{xy}/E_y & -v_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -v_{yx}/E_x & 1/E_y & -v_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -v_{zx}/E_x & -v_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix} \quad (2.4.2.4)$$

Satır normalizesi yapılırsa ;

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\bar{v}_{xy}/E_x & -\bar{v}_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\bar{v}_{yx}/E_y & 1/E_y & -\bar{v}_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\bar{v}_{zx}/E_z & -\bar{v}_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix} \quad (2.4.2.5)$$

- E_x : x yönündeki elastisiklik modülü
 ν_{xy} : Poison oranı ($\varepsilon_x = -\nu_{xy}\sigma_y / E_y$)
 $\bar{\nu}_{xy}$: Poison oranı ($\varepsilon_x = -\bar{\nu}_{xy}\sigma_y / E_x$)
 G_{xy} : xy düzlemindeki kayma modülü

Ortotropik malzemeler için ;

$$\frac{\nu_{yx}}{E_x} = \frac{\nu_{xy}}{E_y} \quad (2.4.2.6)$$

$$\frac{\nu_{zx}}{E_x} = \frac{\nu_{xz}}{E_z} \quad (2.4.2.7)$$

$$\frac{\nu_{zy}}{E_y} = \frac{\nu_{yz}}{E_z} \quad (2.4.2.8)$$

veya

$$\frac{\bar{\nu}_{yx}}{E_y} = \frac{\bar{\nu}_{xy}}{E_x} \quad (2.4.2.9)$$

$$\frac{\bar{\nu}_{zx}}{E_z} = \frac{\bar{\nu}_{xz}}{E_x} \quad (2.4.2.10)$$

$$\frac{\bar{\nu}_{zy}}{E_z} = \frac{\bar{\nu}_{yz}}{E_y} \quad (2.4.2.11)$$

$\nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{zx}, \bar{\nu}_{yx}, \bar{\nu}_{yz}, \bar{\nu}_{zx}$ yukarıda belirtilen değerlere bağlı olduklarından giriş dataları değillerdir.

İzotropik malzemeler için $E_x = E_y = E_z$ ve $\nu_{xy} = \nu_{yz} = \nu_{zx}$ olmaktadır.

(2.4.2.3), (2.4.2.4) ve (2.4.2.6-8) denklemlerini (2.4.2.1) denkleminde yerine koyarsak aşağıdaki eşitlikler elde edilir ;

$$\varepsilon_x = \alpha_x \Delta T + \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{xy}\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_{xz}\sigma_z}{E_z} \quad (2.4.2.12)$$

$$\varepsilon_y = \alpha_y \Delta T - \frac{\nu_{xy} \sigma_x}{E_y} - \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_{yz} \sigma_z}{E_z} \quad (2.4.2.13)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T - \frac{\nu_{zx} \sigma_x}{E_z} - \frac{\nu_{yz} \sigma_y}{E_z} - \frac{\sigma_z}{E_z} \quad (2.4.2.14)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}} \quad (2.4.2.15)$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{G_{yz}} \quad (2.4.2.16)$$

$$\varepsilon_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{G_{xz}} \quad (2.4.2.17)$$

Burada ;

$\varepsilon_x = -\nu_{xy} \sigma_y / E_y$: x yönündeki normal genleme

ε_{xy} : x-y düzlemindeki kayma genlemesi

σ_x : x yönündeki normal gerilme

σ_{xy} : x-y düzlemindeki kayma genlemesi

2.4.2.1 denklemini, 2.4.2.4 denklemini ters çevrilip 2.4.2.3, 2.4.2.6 ve 2.4.2.6-8 denklemleri ile birleştirilerek altı adet denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} \sigma_x = \frac{E_x}{h} \left(1 - (\nu_{yz})^2 \frac{E_y}{E_z} \right) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_x}{h} \left(\nu_{xy} + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_y}{E_z} \right) \\ (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_x}{h} (\nu_{xz} + \nu_{yz} \nu_{xy}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \end{aligned} \quad (2.4.2.18)$$

$$\begin{aligned} \sigma_y = \frac{E_x}{h} \left(\nu_{xy} + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_y}{E_z} \right) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} \left(1 - (\nu_{xz})^2 \frac{E_x}{E_z} \right) \\ (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_y}{h} \left(\nu_{yz} + \nu_{xz} \nu_{xy} \frac{E_x}{E_y} \right) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \end{aligned} \quad (2.4.2.19)$$

$$\sigma_z = \frac{E_x}{h} (v_{xz} + v_{yz}v_{xy}) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} \left(v_{yz} + v_{xz}v_{xy} \frac{E_x}{E_y} \right) (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} \left(1 - (v_{xy})^2 \frac{E_x}{E_y} \right) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (2.4.2.20)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \varepsilon_{xy} \quad (2.4.2.21)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \varepsilon_{yz} \quad (2.4.2.22)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \varepsilon_{xz} \quad (2.4.2.23)$$

Yukardaki denklemlerde ;

$$h = 1 - (v_{xy})^2 \frac{E_x}{E_y} - (v_{yz})^2 \frac{E_y}{E_z} - (v_{xz})^2 \frac{E_x}{E_z} - 2v_{xy}v_{yz}v_{xz} \frac{E_x}{E_z}$$

Eğer G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} değerleri giriş dataları olarak verilmemiş ise şöyle hesaplanır :

$$G_{xy} = \frac{E_x E_y}{E_x + E_y + 2v_{xy} E_x} \quad (2.4.2.24)$$

$$G_{yz} = G_{xy} \quad (2.4.2.25)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (2.4.2.26)$$

Bu çalışmada sıcaklık etkileri göz önüne alınmamıştır. ($\Delta T = 0$)

2.5. Yapısal Matrislerin Elde Edilmesi

Virtuel iş prensibi :

$$\delta U = \delta V \quad (2.5.1)$$

$\dot{U} = U_1 + U_2$: genleme enerjisi (iç iş)

$V = V_1 + V_2 + V_3$: dış iş

δ : virtuel operatör

Virtuel genleme enerjisi ;

$$\delta U_1 = \int_{vol} \{\delta \varepsilon\}^T \{\sigma\} d(vol) \quad (2.5.2)$$

$\{\varepsilon\}$: genleme vektörü

$\{\sigma\}$: gerilme vektörü

vol : eleman hacmi

2.5.1 ve 2.6.2 denklemleri birleştirilirse ;

$$\delta U_1 = \int_{vol} \left(\{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon^{th}\} \right) d(vol) \quad (2.5.3)$$

Genleme ve düğüm noktaları yer değiştirmeleri arasındaki ilişki ;

$$\{\varepsilon\} = [B] \{u\} \quad (2.5.4)$$

$[B]$: genleme-yer değiştirme matrisi (eleman şekil fonksiyonuna bağlı)

$\{u\}$: düğüm noktası yer değiştirme vektörü

2.5.3 ve 2.5.4 denklemleri $\{u\}$ ' nun hacim üzerinde değişmediği gözönüne alınıp birleştirilecek olursa ;

$$\delta U_1 = \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) \{u\} - \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} d(vol)$$

Bir yüzeyin bir etki ile hareket etmesi durumunda, virtuel genleme enerjisi başka bir formda şöyle ifade edilebilir ;

$$\delta U_2 = \int_{area_f} \{\delta w_n\}^T \{\sigma\} d(area_f) \quad (2.5.6)$$

$\{w_n\}$: yüzeye dik hareket

$\{\sigma\}$: yüzey tarafından taşınan gerilme

$area_f$: etki alanı

Düğüm noktası dik yer değiştirmesi ve düğüm noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişki ;

$$\{w_n\} = [N_n]\{u\} \quad (2.5.7)$$

$[N_n]$: Yüzeğe dik hareketler için Şekil fonksiyonları matrisi

$\{\sigma\}$ gerilmesi ise ;

$$\{\sigma\} = k\{w_n\} \quad (2.5.8)$$

k : katılık (kuvvet/uzunluk/alan) Őeklinededir.

k nın alan boyunca sabit olduğu varsayılarak 2.5.6 ve 2.5.8 denklemleri birleştirilirse ;

$$\delta U_2 = \{\delta u\}^T k \int_{area_f} [N_n]^T [N_n] d(area_f) \{u\} \quad (2.5.9)$$

Dış virtuel iş için önce atalet etkiler incelenmelidir ;

$$\delta V_1 = - \int_{vol} \{\delta w\}^T \frac{\{F^a\}}{vol} d(vol) \quad (2.5.10)$$

$\{w\}$: nokta yer değiştirme vektörü

$\{F^a\}$: ivme (D'Alembert) kuvvet vektörü

Newton 'un ikinci kanununa gÖre ;

$$\frac{\{F^a\}}{vol} = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{w\} \quad (2.5.11)$$

ρ : yoğunluk

t : zaman

Eleman içindeki yer deđiŐtirmelerle dÖğüm nokta yer değiştirmeleri arasındaki ilişki;

$$\{w\} = [N]\{u\} \quad (2.5.12)$$

$[N]$: Şekil fonksiyonları matrisi

ρ hacim boyunca sabit kabul edilip, 2.5.10, 2.5.11 ve 2.5.12 denklemleri birleştirilirse ;

$$\delta V_1 = -\{\delta u\}^T \rho \int_{vol} [N]^T [N] d(vol) \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} \quad (2.5.13)$$

Basınç kuvveti vektörü formülasyonu ise şöyledir :

$$\delta V_2 = \int_{area_p} \{\delta w_n\}^T \{P\} d(area_p) \quad (2.5.14)$$

$\{P\}$: uygulanan basınç vektörü

$area_p$: basıncın etkilediği alan

2.5.12 ve 2.5.14 denklemleri birleştirilir ise ;

$$\delta V_2 = \{\delta u\}^T \int_{area_p} [N_n]^T \{P\} d(area_p) \quad (2.5.15)$$

Eleman üzerine etkiyen düğüm noktaları kuvvetleri , $\{F_e^{nd}\}$

$$\delta V_3 = \{\delta u\}^T \{F_e^{nd}\} \quad (2.5.16)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Son olarak, 2.5.1, 2.5.5, 2.5.9, 2.5.13, 2.5.15 ve 2.5.16 denklemleri birleştirilirse;

$$\begin{aligned} & \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) \{u\} - \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] \{e^{th}\} d(vol) \\ & + \{\delta u\}^T k \int_{area_f} [N_n]^T [N_n] d(area_f) \{u\} \\ & = -\{\delta u\}^T \rho \int_{vol} [N]^T [N] d(vol) \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} \\ & + \{\delta u\}^T \int_{area_p} [N_n]^T \{P\} d(area_p) + \{\delta u\}^T \{F_e^{nd}\} \end{aligned} \quad (2.5.17)$$

Bu denklemde $\{\delta u\}^T$ virtuel yer değiştirmelerin her terimde ortak olduğu dikkate alınırsa ;

$$\left([K_e] + [K_e^f] \right) \{u\} - \{F_e^{th}\} = [M_e] \{\ddot{u}\} + \{F_e^{pr}\} + \{F_e^{nd}\} \quad (2.5.18)$$

$$[K_e] = \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) \quad : \text{ eleman katılık matrisi}$$

$$[K_e^f] = \int_{area_f} [N_n]^T [N_n] d(area_f) \quad : \text{ eleman katılık matrisi}$$

$$\{F_e^{th}\} = \int_{vol} [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} d(vol) \quad : \text{ eleman ısı yük vektörü}$$

$$[M_e] = \rho \int_{vol} [N]^T [N] d(vol) \quad : \text{ eleman kütle matrisi}$$

$$\{F_e^{pr}\} = \int_{area_p} [N_n]^T \{P\} d(area_p) \quad : \text{ eleman basınç vektörü}$$

$$\{\ddot{u}\} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} \quad : \text{ ivme vektörü}$$

2.6. Yapısal Genleme-Gerilme İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Eleman integrasyon noktaları genlemeleri ve gerilmeleri 2.4.2.1 ve 2.5.4 denklemleri birleştirilerek ;

$$\{\varepsilon^{el}\} = [B] \{u\} - \{\varepsilon^{th}\} \quad (2.6.1)$$

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon^{el}\} \quad (2.6.2)$$

şeklinde elde edilir.

$\{\varepsilon^{el}\}$: gerilmeye neden olan genlemeler

$[B]$: integrasyon noktalarında hesaplanan genleme yer değiştirmeleri

$\{u\}$: düğüm noktası yer değiştirme vektörü

$\{\varepsilon^{th}\}$: ısı genleme vektörü

$\{\sigma\}$: gerilme vektörü

$[D]$: elastisite matrisi

2.6.1 Bileşik Genlemeler :

Temel genlemeler ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$) ;

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon & \frac{1}{2} \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \frac{1}{2} \varepsilon_{xy} & \varepsilon_y - \varepsilon & \frac{1}{2} \varepsilon_{yz} \\ \frac{1}{2} \varepsilon_{xz} & \frac{1}{2} \varepsilon_{yz} & \varepsilon_z - \varepsilon \end{vmatrix} = 0 \quad (2.6.1.1)$$

Genleme yoğunluğu (ε_I) ise, $\varepsilon_1 - \varepsilon_2, \varepsilon_2 - \varepsilon_3, \varepsilon_3 - \varepsilon_1$ değerlerinin mutlak değerce en büyük olanıdır. Yani ;

$$\varepsilon_I = \text{MAX} (|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|, |\varepsilon_2 - \varepsilon_3|, |\varepsilon_3 - \varepsilon_1|) \quad (2.6.1.2)$$

Von Mises veya eşdeğer genlemeler, ε_e ;

$$\varepsilon_e = \left(\frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6.1.3)$$

2.6.2. Bileşik Gerilmeler :

Temel gerilmeler ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) ;

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0 \quad (2.6.2.1)$$

denklemden hesaplanır. Temel genlemeler de aynı şekilde elde edilir. Gerilme yoğunluğu (σ_I) ise, $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2 - \sigma_3, \sigma_3 - \sigma_1$ değerlerinin mutlak değerce en büyük olanıdır. Yani ;

$$\sigma_I = \text{MAX} (|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|) \quad (2.6.2.2)$$

Von Mises veya eşdeğer gerilmeler, σ_e ;

$$\sigma_e = \left(\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6.2.3)$$

2.7. ANSYS Sonlu Elemanlar Programı Özellikleri

Makina Mühendisliği Bölümü ve bir firma arasında yapılan ortak toplantılar sonucu ilk etapta pahalı ve kalıcı bir sonlu elemanlar paketi yerine, deneme süreci ile kullanılabilir ve PC üzerinde çalışan bir yazılım sağlanması yoluna gidilmiştir. Bu çalışmada ANSYS ticari yazılım paketi kullanılmıştır. Yazılım 20 MB Ram, 200 MB hard disk kapasiteli bir 486 PC ' ye yüklenmiştir. ANSYS Sonlu Elemanlar Mühendislik Programı merkezi, Amerika'da olan Swanson Analysis Systems, Inc. tarafından geliştirilmiştir. Sistem, aynı firma tarafından pazara sunulmaktadır.

ANSYS yazılımı ile lineer ve nonlineer olmak üzere statik ve dinamik (doğal modlar ve frekanslar, zorlamalı titreşimler, deprem analizi, random titreşimler), ısı transferi (kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon), akışkanlar dinamiği, elektromanyetik analizler yapılır [9].

Ansysis programı ile analiz yaparken sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenir.

1) Ön işlemci (Preprocessing)

- Katı modelleme
- Malzeme değerlerinin girilmesi
- Sonlu elemanlar ağının oluşturulması
- Sınır şartları ve kuvvet,ısı v.b değerlerinin girilmesi

2) Çözüm (Solution)

Sistem denklemlerinin kurulduğu ve çözüldüğü bölümdür. Frontal çözücü ve Jacobi Conjugate Gradient Çözücü olmak üzere iki çözüm algoritması vardır. En çok zaman alan safhadır ancak bu süre içinde bilgisayarda çözümü geri planda çalıştırarak başka işlemlere devam etmek mümkündür.

3) Son işlemci (Post-processing)

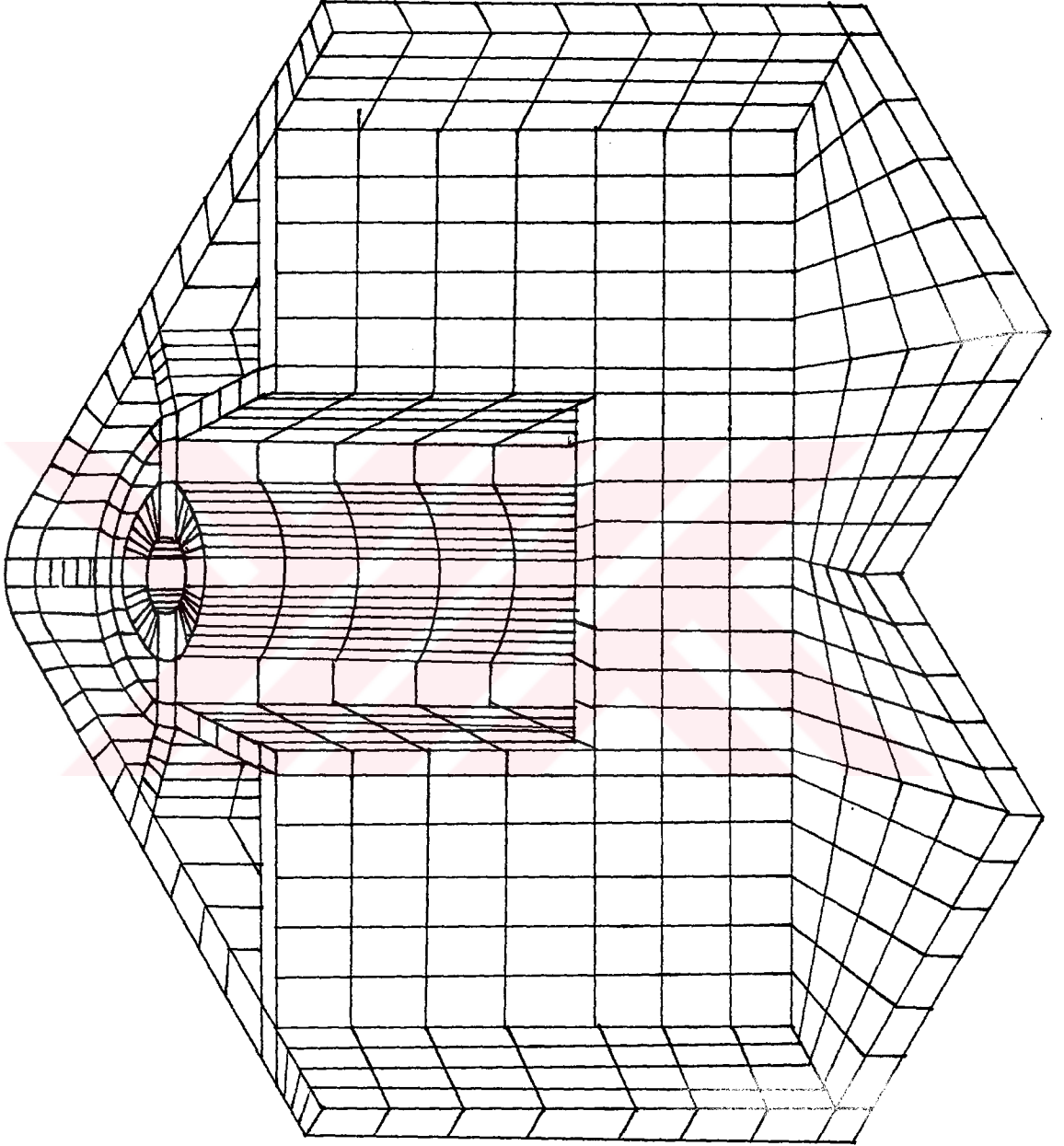
Çözümden sonra bilgisayar bulduğu değerleri (deformasyon, gerilme v.b.) sabit diske yazar. Bulunan sayısal sonuçları incelemek ve yorumlamak için renkli grafik olanakları kullanılarak çözüm irdelenir.

ANSYS için donanım olarak kişisel bilgisayarlar (PC-486 veya Pentium), Unix iş istasyonları ve süper bilgisayarlar (Convex, Cray) kullanılır.

2.7.1. Yapının Sonlu Elemanlar Modeli

Modelin ağ yapısı, modeli, eleman kütüphanesinden seçilmiş olan sonlu sayıdaki elemanlara bölerek hazırlanır. Eleman kenarlarının kesişime noktalarına düğüm noktaları denir. Kullanıcı ağ yapısını adım adım kontrollü olarak oluşturabilir veya otomatik olarak programa yaptırabilir.

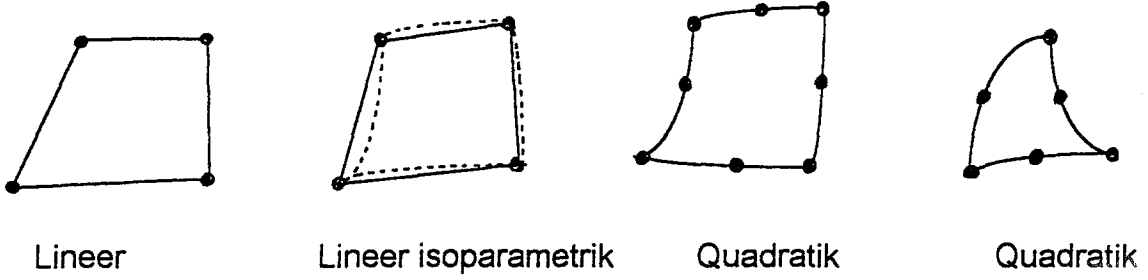
Şekil 5, analiz sırasında kullanılacak olan yapının sonlu elemanlara bölünmüş yapısını göstermektedir. TV ön cephesinin 1/4 lük kısmı ele alınmıştır. Yapı analizinde ' brick ' elemanlar kullanılmıştır. Eleman sayısının ve dağılımının analiz üzerine etkileri bu çalışmada incelenememiştir. Buna neden analiz için gerekli hızda bilgisayar imkanlarının olmamasıdır. Elemanlar civatanın olduğu bölgeye daha sık şekilde dağıtılmıştır. Derinlik boyunca 7 ayrı kademede sonlu eleman yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 5. Yapının Sonlu Elemanlar Modeli

2.7.2 Kullanılan Elemanların Özellikleri

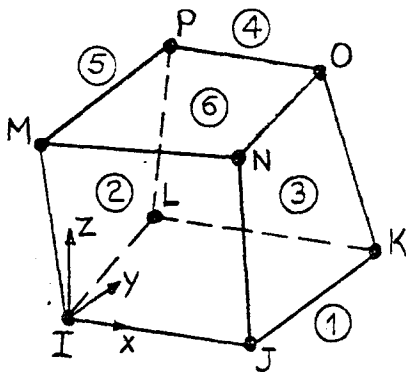
Elemanlar iki ve üç boyutlu, nokta, çizgi, alan, katı elemanlar olarak sınıflandırılırlar. ANSYS eleman kütüphanesi lineer ve quadratik olmak üzere iki temel alan ve hacim eleman tipine sahiptir.



Şekil 6. ANSYS programında bulunan temel alan ve hacim tipleri [10]

Çalışılan problemin özellikleri incelenmiş ve kullanılacak sonlu eleman modelleri seçilmiştir. Kabuk (shell) ve katı (solid brick) sürekli modeller arasında yapılan incelemeler sonucunda her ikisinin de birtakım avantajları tespit edilmiştir. Shell tipi elemanlar ile yapılacak bir modelin esnekliği fazla olmakla beraber ayrıntıların incelenememesinden dolayı katı model tercih edilmiştir. Ancak 'brick' eleman kullanımı çok sayıda eleman kullanımını gerektirmektedir. Seçilen eleman modellerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

2.7.2.1. Solid 45



Node : 8

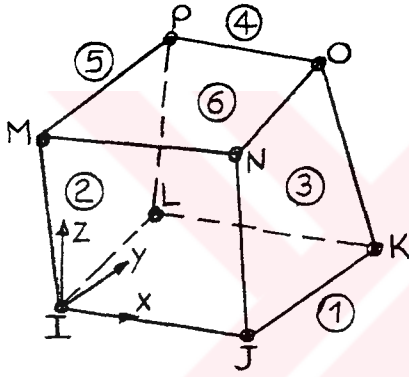
I, J, K, L, M, N, O, P

Serbestlik Derecesi : 3

UX, UY, UZ

Solid 45 , katı yapıların üç boyutlu modellenmesinde kullanılmaktadır. Sekiz düğüm nokta'lıdır (I, J, K, L, M, N, O, P). Her düğüm noktasında x, y, z doğrultularında yer değiştirmeler olmak üzere üç serbestlik derecesi (UX, UY, UZ) vardır. Bu modelde düğüm noktalarında deplasmanlar olurken, dönme ile ilgili kısımlar hesaplanamamaktadır. Bu nedenle aşağıdaki daha ileri bir eleman modeli seğilmiştir.

2.7.2.2. Solid 73



Node : 8

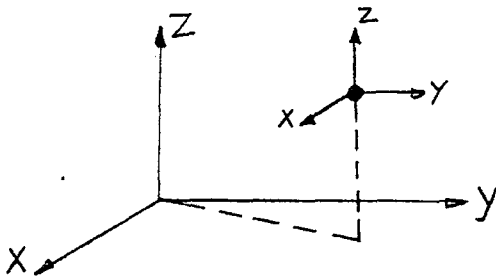
I,J,K,L,M,N,O,P

Serbestlik Derecesi : 6

UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ

Solid 73 katı yapıların üç boyutlu modellemesinde kullanılır. Sekiz düğüm noktalı (I, J, K, L, M, N, O, P) bir elemandır. Her düğüm noktasında x, y, z doğrultularında yer değiştirmeler (UX, UY, UZ), x, y, z eksenlerinde dönmeler (ROTX, ROTY, ROTZ) olmak üzere altı serbestlik derecesi vardır.

2.7.2.3. Mass 21



Serbestlik Derecesi : 6

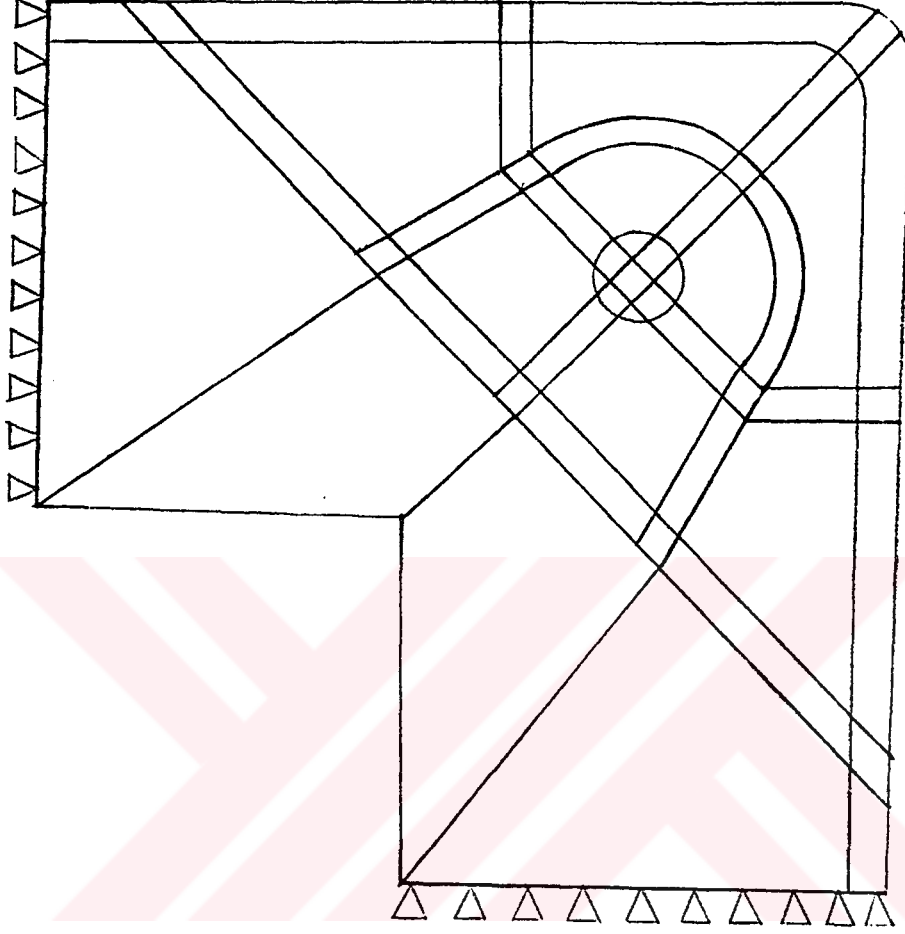
UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ

Mass 21 x, y, z doğrultularında yer değiştirmeler, x, y, z eksenleri etrafında dönmeler olmak üzere altı serbestlik derecesine sahip tek düğüm noktalı bir elemandır. Cıvatanın etkisinin modellenmesi ile sınır koşullarının verilmesinde kullanılmıştır.

2.7.3. Sınır Koşulları ve Yükleme Yaklaşımları

şekil 7'de kullanılan sonlu elemanlar modelinin sınırlarındaki deplasman ve dönmeler sıfır olarak alınmıştır. n cephe yüklenmesinde yapının bütünleşik deformasyonu böylece sınırlandırılmıştır. Tüm model alınarak yapılacak modellemelerde yapının deformasyonu incelenebilecektir.

Cıvatalar yardımı ile cepheye monte edilen resim tüpünün düşürme testi sırasındaki cıvata yuvasında yaptığı dış yüklenmelerin doğası bu çalışmada değişik yollarla simüle edilmiştir. Yüklemenin statik olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle sadece statik analiz gerçekleştirilmiştir. Değişik yüklemeler altında yapının statik doğası hakkında n bir bilgi edinilmiştir.



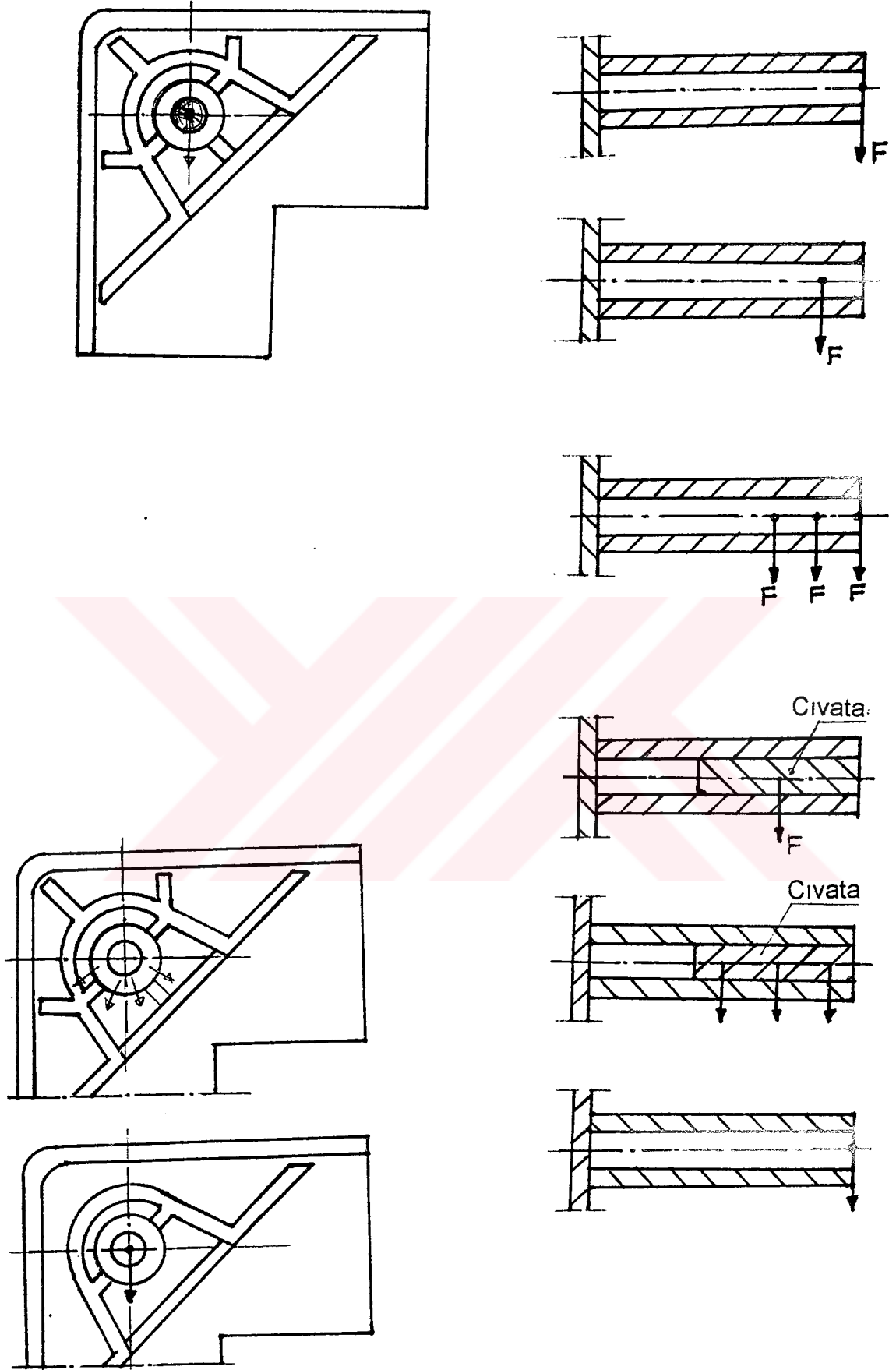
Parçanın kesildiği düzlemler boyunca x , y , z eksenleri boyunca yer değiştirmeler ve dönmeler sıfır alındı.

Şekil 7. Fiziki Sınır Koşulları

Resim tüpünün ağırlığı TV cephesinin dört köşesine eşit olarak dağıtılmıştır. şekil 9, analizler sırasında kullanılan yüklenme yaklaşımlarını şematik olarak göstermektedir. Bu yüklenmeleri kısaca özetleyelim:

1nolu yüklenme	civata yuvasının n yüzeyinde tam orta noktada dış kuvvet girilmiştir.
2nolu yüklenme	civata yuvasının n yüzeyinde içeride bir noktada dış kuvvet girilmiştir.
3nolu yüklenme	civata yuvasının n yüzeyinden içeriye doğru üç noktada dış kuvvet eşit paylarla girilmiştir.
4nolu yüklenme	civata yuvasının içine yerleştirilen bir katı modelin ortasına dış yük etki ettirilmiştir.
5 nolu yüklenme	civata yuvasının içine yerleştirilen katı modelin yuvaya yaptığı basıncı, dağılı yük olarak düşünülmüştür.
6 nolu yüklenme	civata yuvasını dış yapıya bağlayan 3 adet yaprak kaldırılmış ve n yüzeyinde tam orta noktada dış kuvvet etki ettirilmiştir.

şekil 8. Yüklenme yaklaşımları

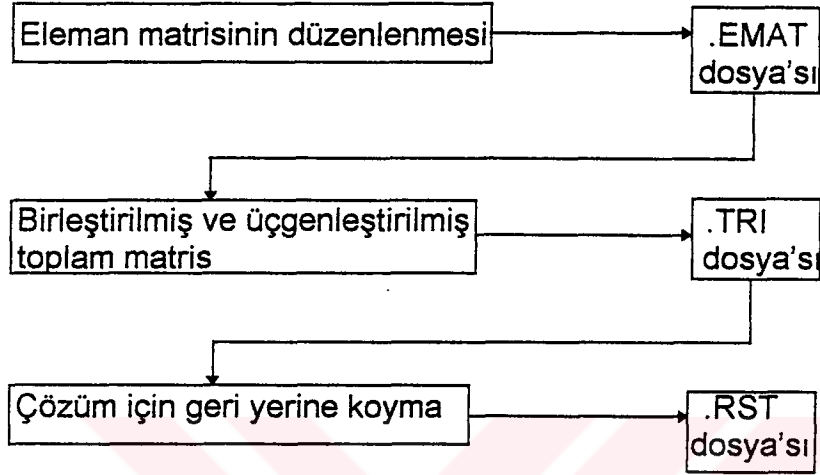


Şekil 9. Yükleme Yaklaşımı

2.7.4. Çözüm Algoritmaları

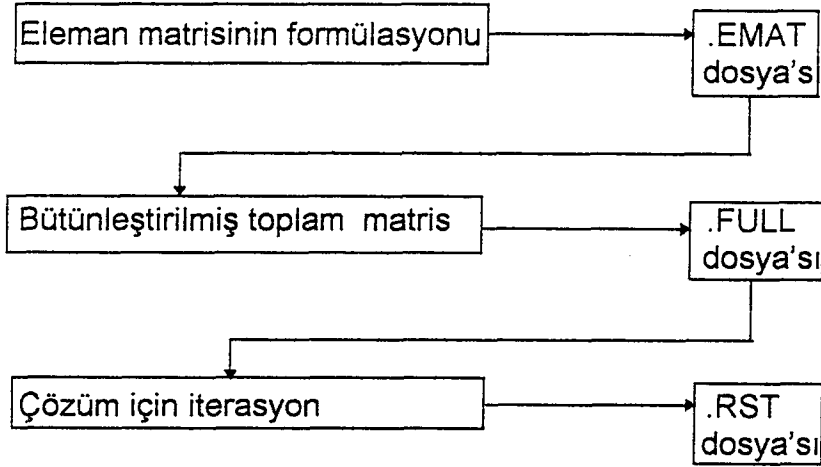
Tanımlanan problemi çözmek için ANSYS yazılımında iki tip çözüm mevcuttur. Bunlar;

1.Frontal Çözücü



Şekil 10. Frontal Çözücü adımları

2.Jacobi Conjugate Gradient (JCG) Çözücüsü



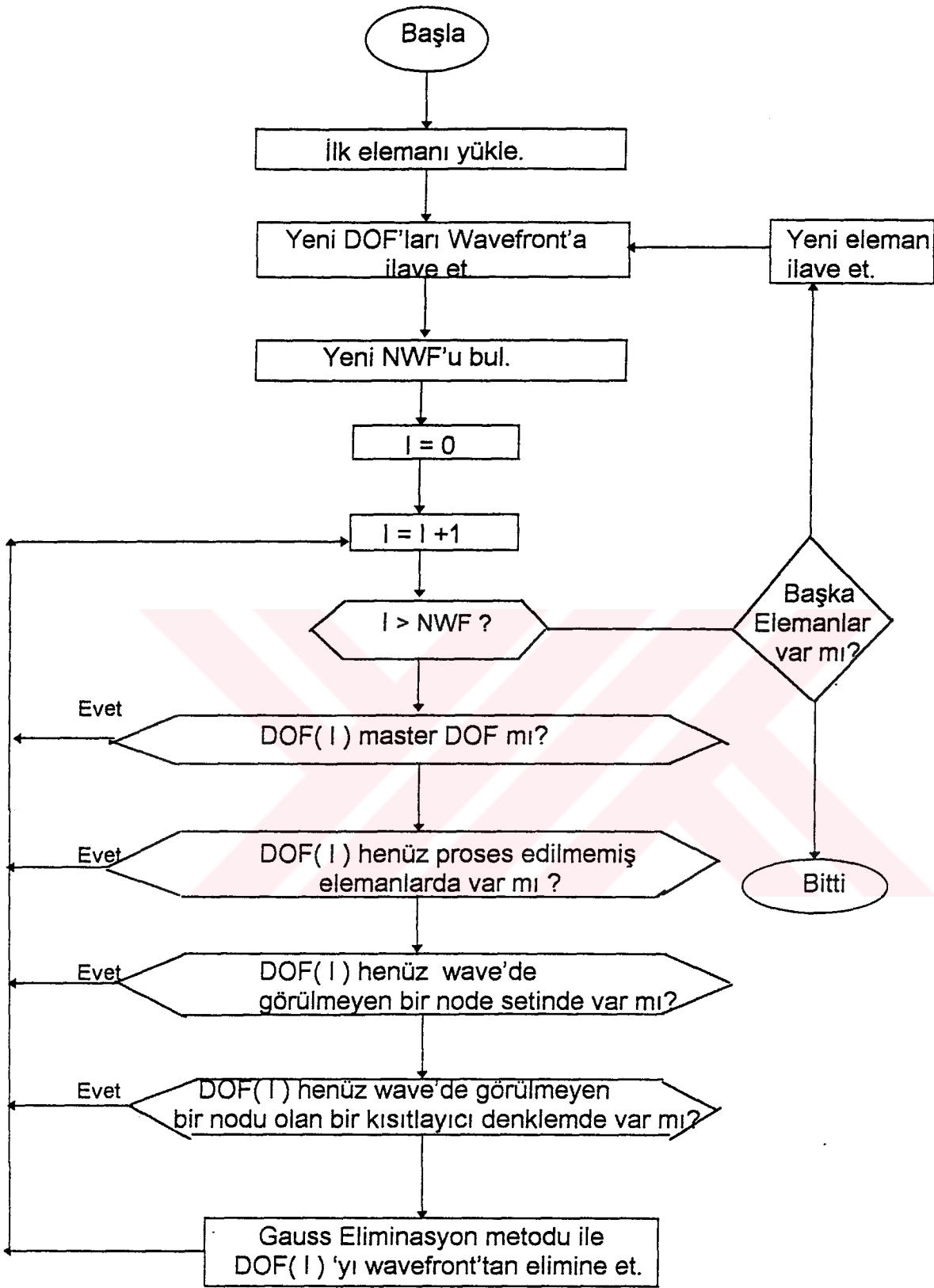
Şekil 11. Jacobi Conjugate Gradient Çözücü

ANSYS yazılımı, Sonlu Elemanlar Metodunun oluşturduğu simültane lineer denklemlerin çözümünde frontal çözüm metodu veya Jacobi Conjugate Gradient çözüm metodu kullanılmaktadır. İncelenen problem için frontal çözücü yöntemi kullanılmıştır.

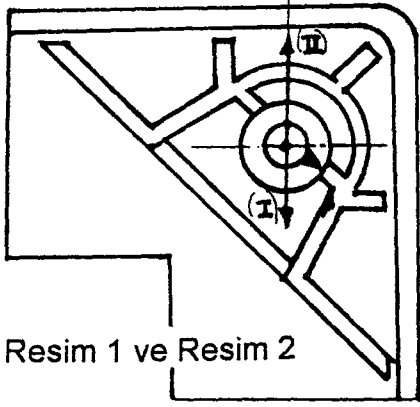
Global matris sisteminin tümü bilgisayar hafızasına sığmayabilir. Frontal Solver metodunda bu durum çözümün adım adım yürütülmesi ile aşılar. Metod şöyle çalışır: Her eleman matrisinin hesaplanmasını takiben, çözücü ilk elemanın serbestlik derecesini (Degrees of freedom-DOF) alır. Bu serbestlik derecesine bağımlı olan tüm diğer serbestlik dereceleri elimine edilir. Bu işlem tüm elemanlar ele alınarak ve tüm serbestlik dereceleri elimine edilinceye kadar tekrar edilir. Sonunda bir üçgensel matris elde kalır. Bu adımdan sonra nodlara göre serbestlik derecesi çözümü, geri yerine koyma (back substitution) metodu ile yapılır. Bunu takiben her eleman matrisi, eleman çözümlerinin bulunmasında kullanılır [11].

Frontal Çözücü yönteminde adı geçen wavefront terimi, çözüm sırasında henüz elimine edilememiş serbestlik derecelerinin sayısını ifade eder. Çözücü her eleman ve serbestlik derecesini proses ettikçe wavefront küçülür ve tüm serbestlik dereceleri proses edildiğinde sıfır olur. Wavefront'un en yüksek değeri maksimum wavefront, ortalama karekök değeri de RMS wavefront (root-mean-square) olarak adlandırılır. RMS wavefront bilgisayarın kullanacağı CPU zamanına direkt etkindir. Bu değer küçükse, gerekli CPU zamanı da o ölçüde az olacaktır. Prosese başlamadan önce daha küçük RMS değerine gelmek için matrisin yeniden düzenlenmesinde fayda vardır. Bazı yazılımlar aksi belirlenmedikçe bu işlemi otomatik olarak yapmaktadır. Maksimum wavefront ise kullanılacak hafıza gereksinimi için ölçü oluşturur.

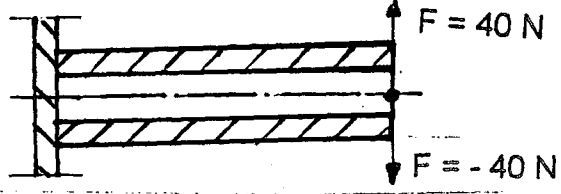
Şekil 12 'de Frontal Çözücünün akış şeması verilmiştir.



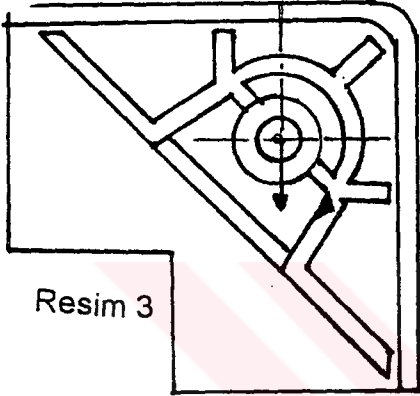
Şekil 12. Frontal Çözücü Akış Şeması [8]



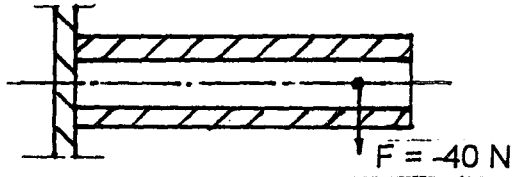
Resim 1 ve Resim 2



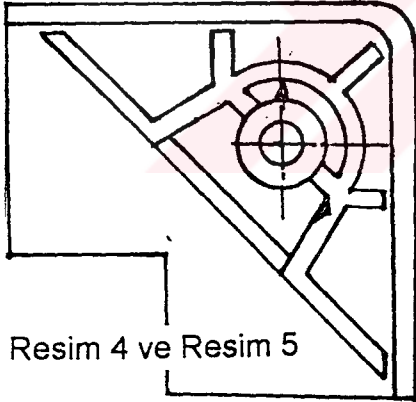
- Kuvvet Y eksenine doğrultusunda ∓ 40 N
- $S_{max} = 3.148$ $D_{max} = 2.93$
- Elemanlar : SOLID45 (uxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1535
- S : Gerilim D : Yer Değişirme



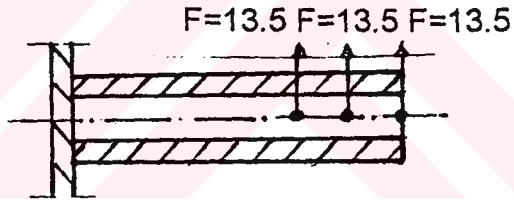
Resim 3



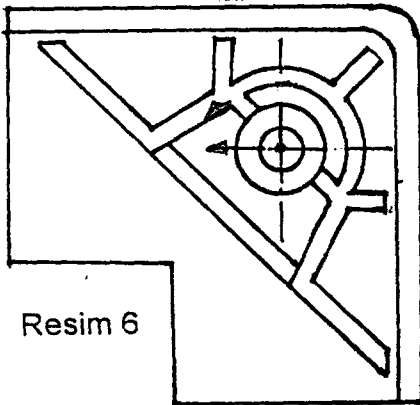
- Kuvvet Y eksenine doğrultusunda - 40 N
- $S_{max} = 2.151$ $D_{max} = 2.21$
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1535



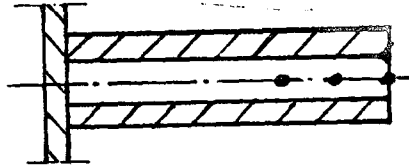
Resim 4 ve Resim 5



- Kuvvetler Y eksenine doğrultusunda $3 * 13.5$ N
- $S_{max} = 2.275$ $D_{max} = 2.19$
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1537

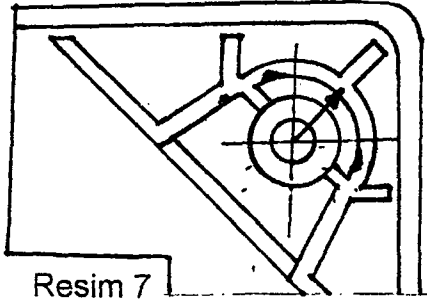


Resim 6

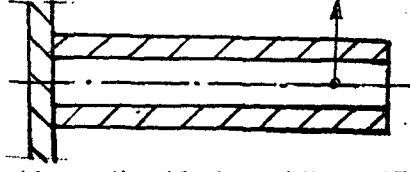


- Kuvvetler X eksenine doğrultusunda $3 * - 13.5$ N
- $S_{max} = 2.275$ $D_{max} = 2.193$
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1537

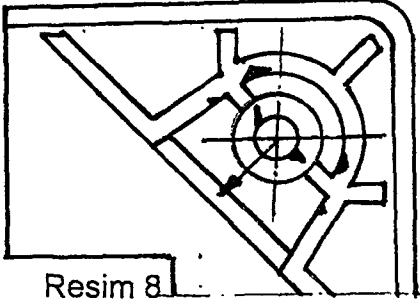
Şekil 13. Yükleme Modelleri



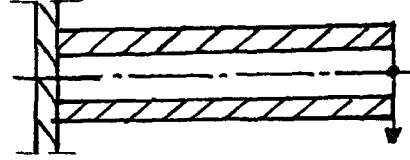
Resim 7



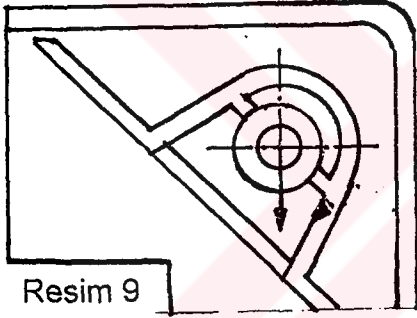
- Kuvvetler X eksenine ile + 45 açılı 40 N
- $S_{max} = 1.96$ $D_{max} = 2.66$
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1535



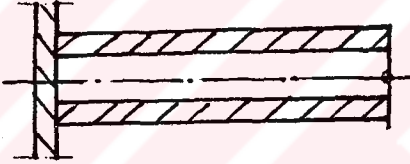
Resim 8



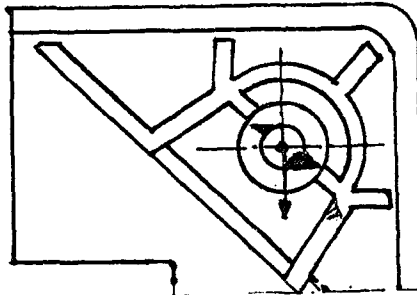
- Kuvvetler X eksenine ile -135 açılı 40 N
- $S_{max} = 3.247$ $D_{max} = 3.79$
- Elemanlar : SOLID45 (uxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1535



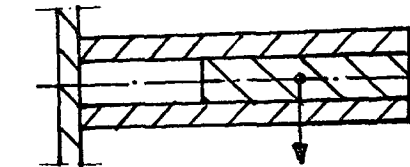
Resim 9



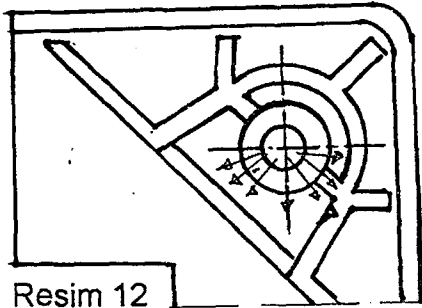
- Kenar bayraklar kaldırılmış,
- Kuvvet Y eksenine doğrultusunda - 40 N
- $S_{max} = 4.469$ $D_{max} = 7.69$
- Elemanlar : SOLID45 (uxyz)
 MASS21 (uxyz, rotxyz)



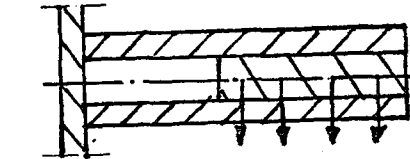
Resim 10 ve Resim 11



- Kuvvet civata merkezinden Y eksenine doğrultusunda - 40 N
- $S_{max} = 9.24$ $D_{max} = 1.73$
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 2827



Resim 12



- Civatanın alt yüzeyinden yüzey basıncı
- Elemanlar : SOLID73 (uxyz, rotxyz)
- Eleman Sayısı : 1535

III. BULGULAR

3.1. Analiz Modelleri

Şekil 13'de analizler sırasında kullanılan durumların ayrıntılarını verilmektedir. Tartışılacak olan sonuçlar bu durumlar üzerine kurulmuştur. Her durumda etki ettirilen kuvvetin doğası verilmiştir. Ayrıca kullanılan eleman tipi ve eleman sayıları da belirtilmiştir. Sonuçlardan elde edilen maksimum gerilme ve yer değiştirme değerleri de belirtilmiştir.

3.1.1. Durum 1 -Resim 1

Cıvata deliğinin üst yüzeyinde merkezde bir 'mass' eleman alınmış, delik çevresindeki düğüm noktaları bu elemana bağlanarak burada rigid bir bölge oluşturulmuştur. Merkezde alınan bu mass elemana y eksenini boyunca ağırlık merkezi doğrultusunda bir civataya düşen TV tüpünün ağırlığı olan 40 N'luk tekil kuvvet uygulanmıştır. İki tip sonlu eleman seçilerek analiz yapılmıştır. Birincisi 'SOLID45' adlı, her düğüm noktasında üç serbestlik derecesi (ux, uy, uz) olan , 8 düğüm noktalı, 3 boyutlu yapısal brick elemandır. Diğeri ise tek düğüm noktalı, x, y, z doğrultularında yer değiştirmeleri ; x, y, z eksenlerinde dönmeleri olan altı serbestlik dereceli (ux, uy, uz, rotx, roty, rotz) noktasal 'MASS21' adlı elemandır.

Aşağıda analiz ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

Elastik modülü : Petren, 40 N/mm²
Kuvvet : FY-40N
Eleman : SOLID45, MASS21
Eleman sayısı : 1535
Düğüm noktası : 3049

Çözüm süresi : 4 dakika

Minimum değer	SINT	SEQV(Von Mises)			
Düğüm noktası	2732	2732	x=-40	y=0	z=0
Değer	.2559E-01	.2237E-01			
Maksimum değer	SINT	SEQV			
Düğüm noktası	2003	2003	x=2.55	y=-1.1	z=47
Değer	3.538	3.148			

Bilgisayarda yapılan hesap sonrası analizden elde edilen 3 boyutlu yüklenme Resim 1 de verilmiştir. Koyu maviden, kırmızıya doğru artan gerilme şiddetlerinin doğası kolayca bu resimde görülmektedir. Ayrıca kritik yüklenmelerin olduğu yerler de bu resimde tespit edilmiştir. Resim Von-Mises gerilmelerini göstermektedir. Kritik yüklenmeler cephenin alt elemanlarında olan yüklenmelerden 100-150 defa daha büyüktür. Bu sonuç Durum 1 yüklenmesinde civata yuvasının yüklendiğini diğer çevre elemanlarda pek yüklenmenin olmadığını göstermektedir. Yani tüpün ağırlığından dolayı oluşan statik yüklenme gerilme olarak kritik değerler yaratmamaktadır. Ancak sınırlar boyunca oluşan deplasmanlara dikkat edilmelidir.

3.1.2. Durum 2-Resim 2

Durum 1deki koşullar aynen alınmış , yalnız kuvvetin doğrultusu değiştirilmiştir.

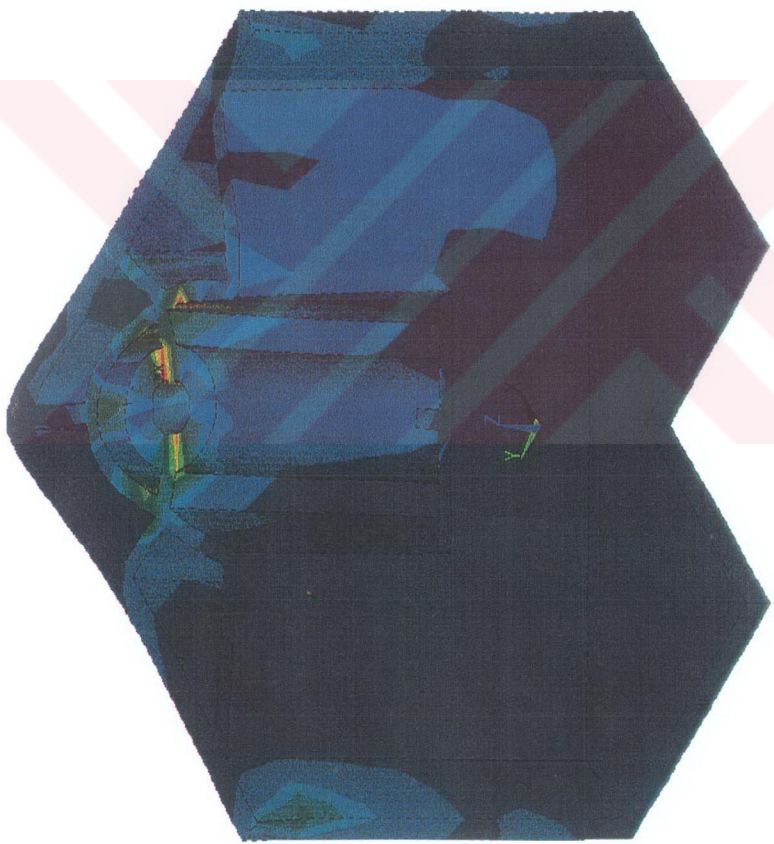
Kuvvet : FY + 40 N

Resim 2 de gerilme dağılımı verilmiştir. Sonuçlar 1 nolu durumla çok paralellik göstermektedir.

01F 20 1994

13:45:54
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =2.937
SMN =.022372
SMX =3.148
SMXB=4.782

- .022372
- .196036
- .369699
- .543363
- .717027
- .890691
- 1. 064
- 1. 238
- 1. 412
- 1. 585
- 1. 759
- 1. 933
- 2. 106
- 2. 28
- 2. 454
- 2. 627
- 2. 801
- 2. 975
- 3. 148



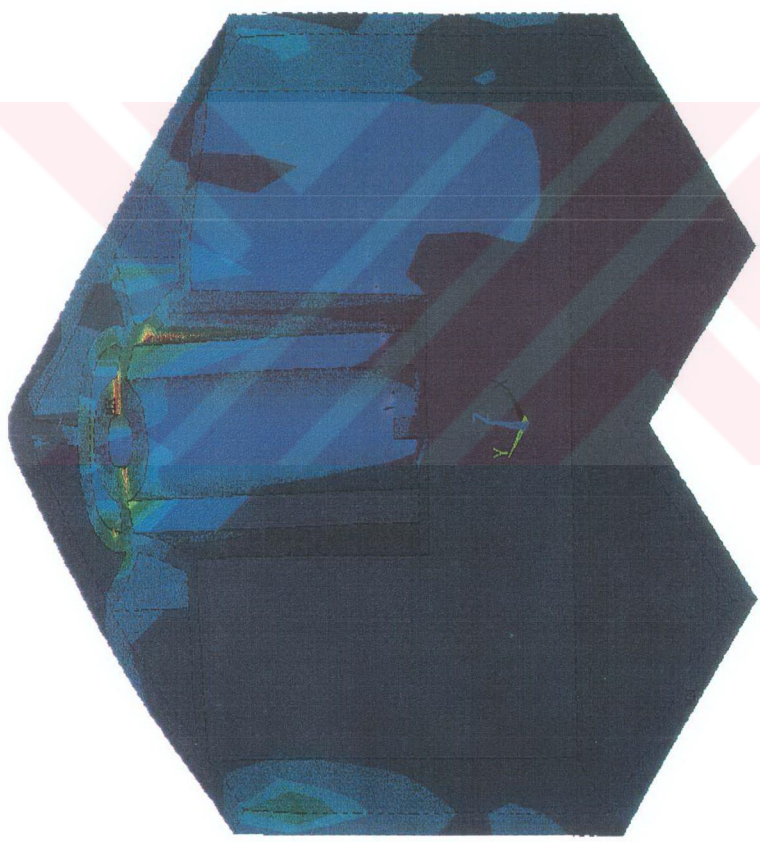
NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =1
TIME=1

SEQV (AVG)

DMX = 2.937
SMN = 0.22372
SMX = 3.148
SMXB= 4.782

- .022372
- .196036
- .369699
- .543363
- .717027
- .890691
- 1.064
- 1.238
- 1.412
- 1.585
- 1.759
- 1.933
- 2.106
- 2.28
- 2.454
- 2.627
- 2.801
- 2.975
- 3.148



3.1.3. Durum 3-Resim 3

Cıvata deliğinin üst yüzeyinden z eksenini doğrultusunda bir eleman boyu içerde merkezde bir 'mass' eleman alınmış delik çevresindeki düğüm noktaları bu elemana bağlanarak burada rigid bir bölge oluşturulmuştur. Merkezde alınan bu mass elemana y eksenini boyunca ağırlık merkezi doğrultusunda bir civataya düşen TV tüpünün ağırlığı olan 40 N'luk tekil kuvvet uygulanmıştır. İki tip sonlu eleman seçilmiştir. Birincisi 'SOLID73' adlı, her düğüm noktasında altı serbestlik derecesi olan (ux, uy, uz, rotx, roty, rotz), 8 düğüm noktalı, 3 boyutlu yapısal brick elemandır. Diğeri tek düğüm noktalı x, y, z doğrultularında yer değıştirmeleri; x, y, z eksenlerinde dönmeleri olan altı serbestlik dereceli (ux, uy, uz, rotx, roty, rotz) noktasal 'MASS21' adlı elemandır. Aşağıda analiz ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm²

Kuvvet : FY - 40 N

Eleman : SOLID73, MASS21

Eleman sayısı : 1535

Düğüm noktası : 3049

Çözüm süresi : 35 dakika

Maksimum değer : SEQV = 2.151

Minimum değer : SEQV = 0.008

Durum 1-2 de kullanılan aynı eleman sayısı kullanılarak yapılan bu analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımı Resim 3 te verilmiştir. Kritik gerilmelerin genliği bir önceki durumlarda gözlenen maksimum gerilmenin %70'ı kadardır. Bir eleman derinliğinde aynı şiddette verilen dış kuvvetin ne derece yüklenmeye etki ettiğini işaret etmek yararlı olacaktır.

3.1.4. Durum 4 -Resim 4 ve 5

Cıvata deliğinin üst yüzeyinde, z eksenini doğrultusunda yüzeyde, bir ve iki eleman boyu içeride, merkezlerde mass elemanlar alınmış, delik çevresindeki düğüm noktaları bu elemanlara bağlanarak rigid bölgeler oluşturulmuştur. Merkezde alınan mass elemanlara y eksenini boyunca ağırlık merkezinin tersine bir cıvataya düşen TV tüpünün ağırlığı olan 40 N'luk kuvvet üç'e bölünerek 13.5 N'luk üçer tekil kuvvet uygulanmıştır. İki tip eleman seçilmiştir. Birincisi 'SOLID73' diğeri ise noktasal 'MASS 21' adlı elemandır. Sonuçların özeti ise,

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm^2

Kuvvet : FY + 13.5 N, 3 adet

Eleman : SOLID73, MASS21

Eleman sayısı : 1537

Düğüm noktası : 3051

Çözüm süresi : 45 dakika

Minimum değer	SINT	SEQV(Von Mises)	
Düğüm noktası	2756	2756	x=-35.4 y=-2.5 z=0
Değer	.106E-01	.9205E-02	
Maksimum değer	SINT	SEQV	
Düğüm noktası	2635	2635	x=4.9 y=-9.5 z=47
Değer	2.50	2.275	

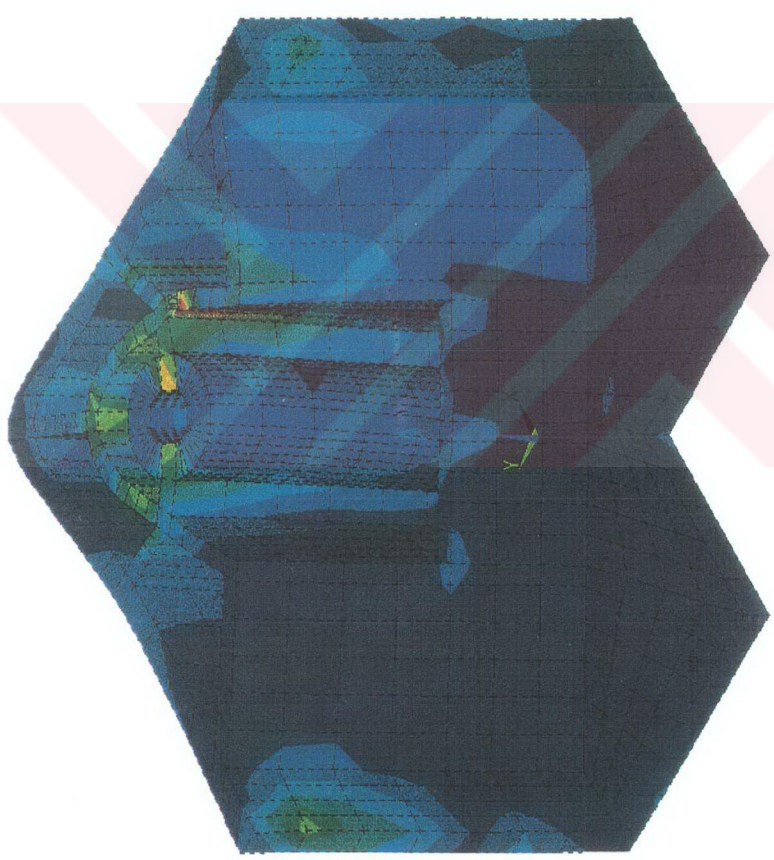
Resim 4 gerilme dağılımını gösterirken, Resim 5 de sonlu elemanlarda olan deformasyonları göstermektedir. Deplasmanların ve gerilmenin kritik değeri bir önceki duruma çok yakındır.

```

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV      (AVG)
DMX = 2.21
SMN = 0.08536
SMX = 2.151
SMB = 3.238

```

█	-0.08536
█	-0.246587
█	-0.484638
█	-0.72269
█	-0.960741
█	1.199
█	1.437
█	1.675
█	1.913
█	2.151



SEP 29 1994

09:17:33

MODAL SOLUTION

STEP=1

SUB =1

TIME=1

SEQV (AVG)

DMX =2.192

SMN =.009205

SMX =2.275

SMXB=3.451

.009205

-.13507

-.260935

-.386801

-.512666

-.638531

-.764396

-.890262

1.016

1.142

1.268

1.394

1.52

1.645

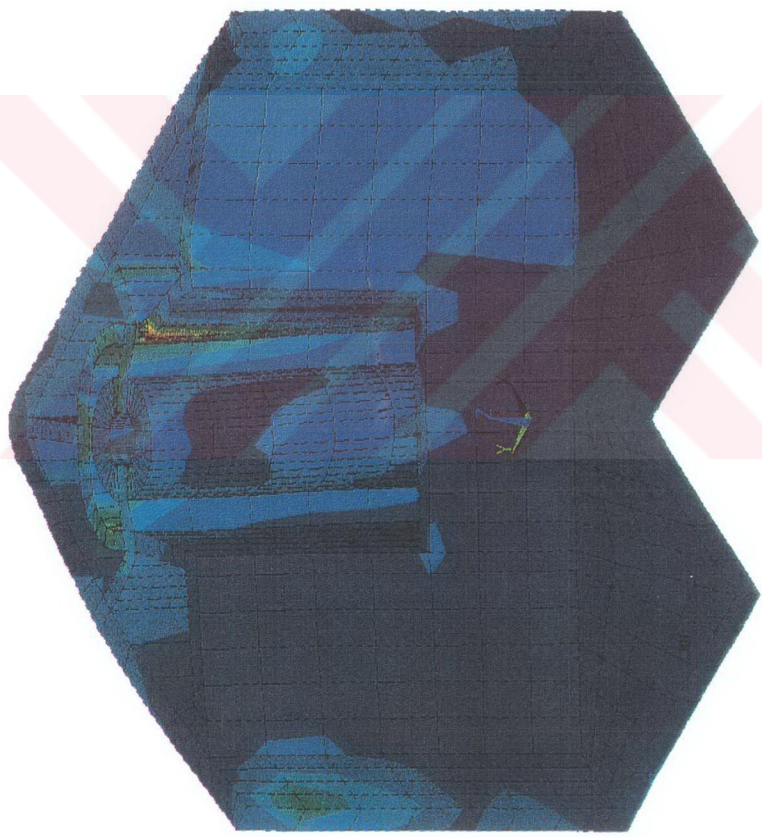
1.771

1.897

2.023

2.149

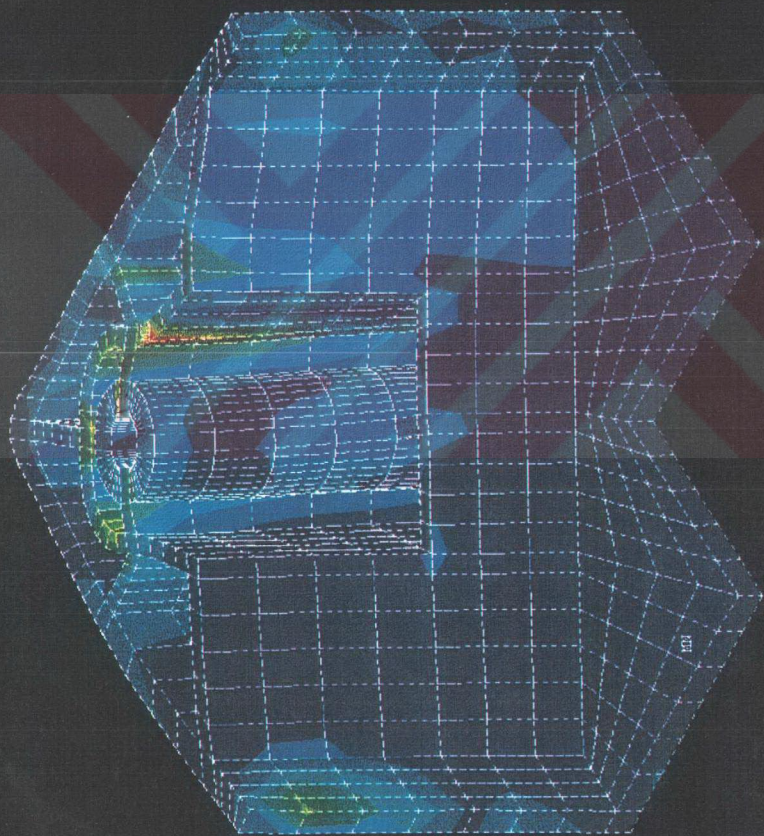
2.275



Resim 4.

al an. i ge

17:52:50
PLOT NO. 1
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB = 1
TIME = 1
SEQV (AVG)
DMX = 2.192
SMN = .009205
SMX = 2.275
SMXB = 3.451



3.1.5. Durum 5- Resim 6 :

Durum 4'deki koşullar aynen alınmış , yalnız kuvvetlerin doğrultusu değiştirilmiştir.

Kuvvet : $F_X = - 13.5 \text{ N}$, 3 adet

Resim 6 da son gerilme dağılımı verilmiştir. Kritik yüklenmelerin mertebesi aynı olmakla beraber yeri değişmiştir.

3.1.6. Durum 6-Resim 7

Cıvata deliğinin üst yüzeyinden z eksenini doğrultusunda bir eleman boyu içeride merkezde bir mass eleman alınmış delik çevresindeki düğüm noktaları bu elemana bağlanarak burada rigid bir bölge oluşturulmuştur. Merkezde alınan bu mass elemana x eksenini ile 45 açı yapan, bir civataya düşen TV tüpünün ağırlığı olan 40 N'luk tekil kuvvet uygulanmıştır. İki tip eleman seçilmiştir. Birincisi 'SOLID 73' ve noktasal 'MASS21' adlı elemandır. Gözlemler şöyledir:

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm^2

Kuvvet : X eksenini ile 45 açılı , $F = 40 \text{ N}$

Eleman : SOLID73, MASS21

Eleman sayısı : 1535

Düğüm Noktası : 3049

Çözüm süresi : 35 dakika

Minimum değer	SINT	SEQV(Von Mises)			
Düğüm Noktası	2247	2247	x=-13	y=5.28	z=3
Değer	.114E-01	.9908E-02			
Maksimum değer	SINT	SEQV			
Düğüm Noktası	2500	2500	x=2.97	y=8.4	z=47
Değer	2.11	1.96			

Bu durumda yüklenme altında kritik gerilmelerin olduğu noktalar artmıştır. Cıvata yuvasının dışında kritik yüklenme söz konusudur.

3.1.7. Durum 7- Resim 8

Resim 7'deki koşullar alınmış, yalnız kuvvetin yönü ve eleman değiştirilmiştir.

Kuvvet : X eksenine ile - 135 açılı $F = 40 \text{ N}$

Eleman : Solid 45, mass21

Minimum değer	SINT	SEQV(Von Mises)			
Düğüm noktası	2108	2108	$x=-5.06$	$y=-3.6$	$z=3$
Değer	.163E-01	.141E-01			
Maksimum değer	SINT	SEQV			
Düğüm noktası	2503	2503	$x=-4.3$	$y=7.8$	$z=47$
Değer	3.69	3.24			

Bu durumda kritik yüklenmelerin mertebeleri bir önceki durumdan daha yüksektir. Ayrıca cıvatanın bulunduğu silindirik kalıp iki bayrak kökünde gerilmeler maksimum değerlerindedir.

3.1.8. Durum 8-Resim 9

Cıvata deliğinin üst yüzeyinde merkezde bir mass elemanı alınmış delik çevresindeki düğüm noktaları bu elemana bağlanarak burada rigid bir bölge oluşturulmuştur. Merkezde alınan bu mass elemana y eksenine boyunca ağırlık merkezi doğrultusunda bir cıvataya düşen TV tüpünün ağırlığı olan 40 N 'luk tekil kuvvet uygulanmıştır.

Boss yapısını TV ön cephesine bağlayan üç adet bayrak kaldırılmıştır. İki tip eleman seçilmiştir. Birincisi 'SOLID45', ikincisi ise 'MASS21' adlı elemandır.

Boss yapısını TV ön cephesine bağlayan üç adet bayrak kaldırılmıştır. İki tip eleman seçilmiştir. Birincisi 'SOLID45', ikincisi ise 'MASS21' adlı elemandır.

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm²

Kuvvet : FY= -40N

Eleman : SOLID45, MASS21

Eleman sayısı : 1535

Düğüm noktası : 3049

Çözüm süresi : 4 dakika

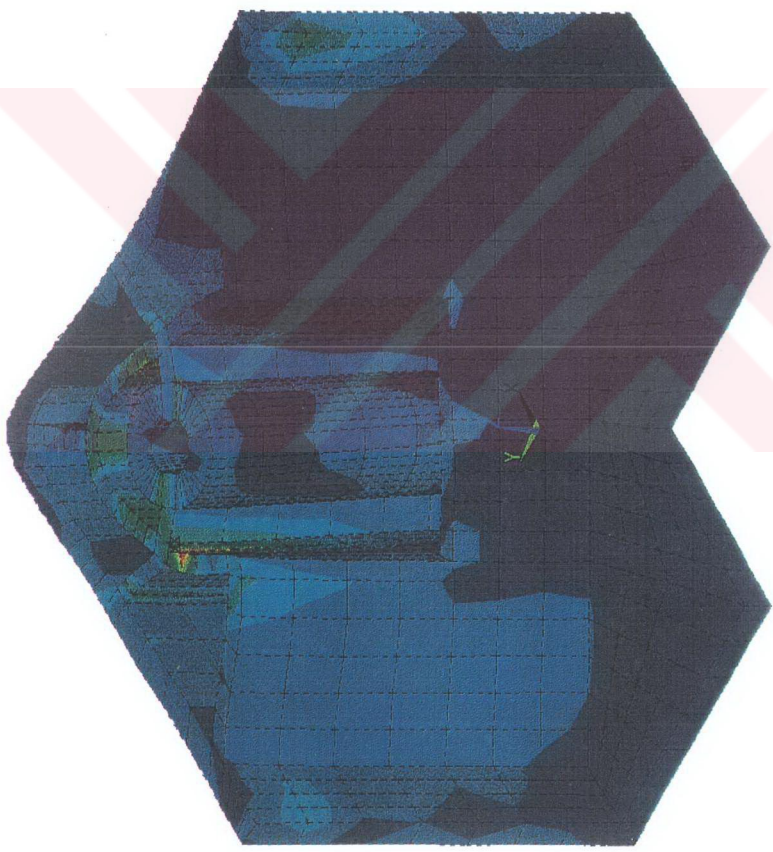
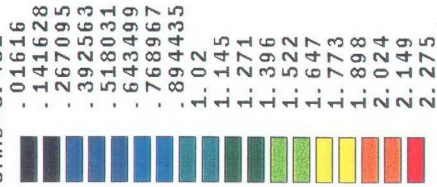
Minimum değer	SINT	SEQV(Von Mises)			
Düğüm noktası	288	288	x=-7	y=18	z=40.2
Değer	.453E-01	.395E-01			
Maksimum değer	SINT	SEQV			
Düğüm noktası	2639	2639	x=4.9	y=-9.5	z=47
Değer	4.86	4.46			

Resim 9'u Resim 1 ile karşılaştırabiliriz. Bayrakların kaldırılması sonucu maksimum Von Misses gerilmesi %42 artarken, maksimum deplasmanda %262 artmıştır.

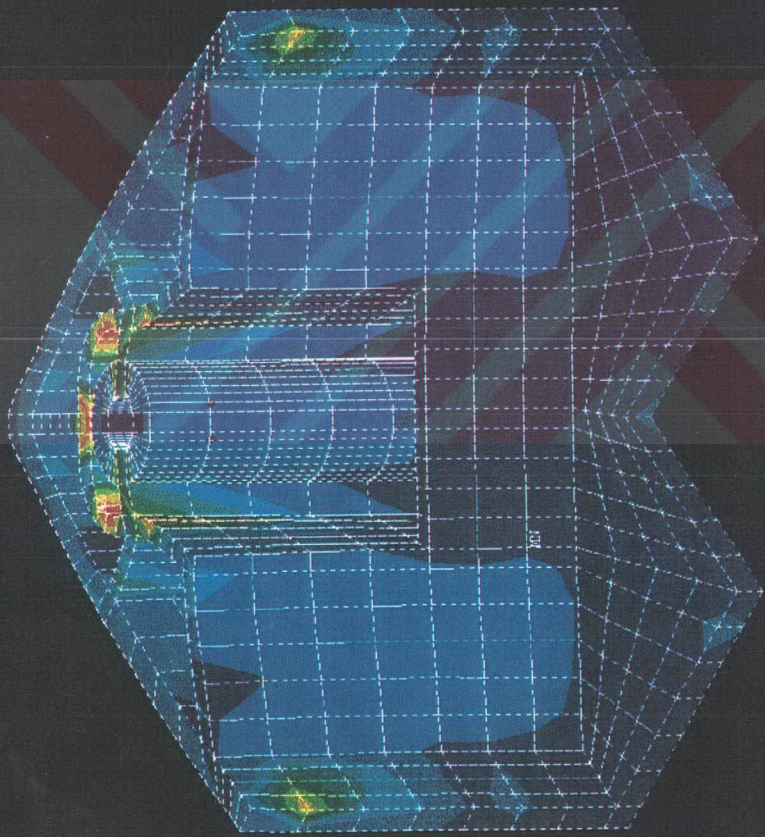

```

LU: 1b: 44
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV
      (AVG)
DMX = 2.193
SMN = .01616
SMX = 2.275
SMXB= 3.451

```



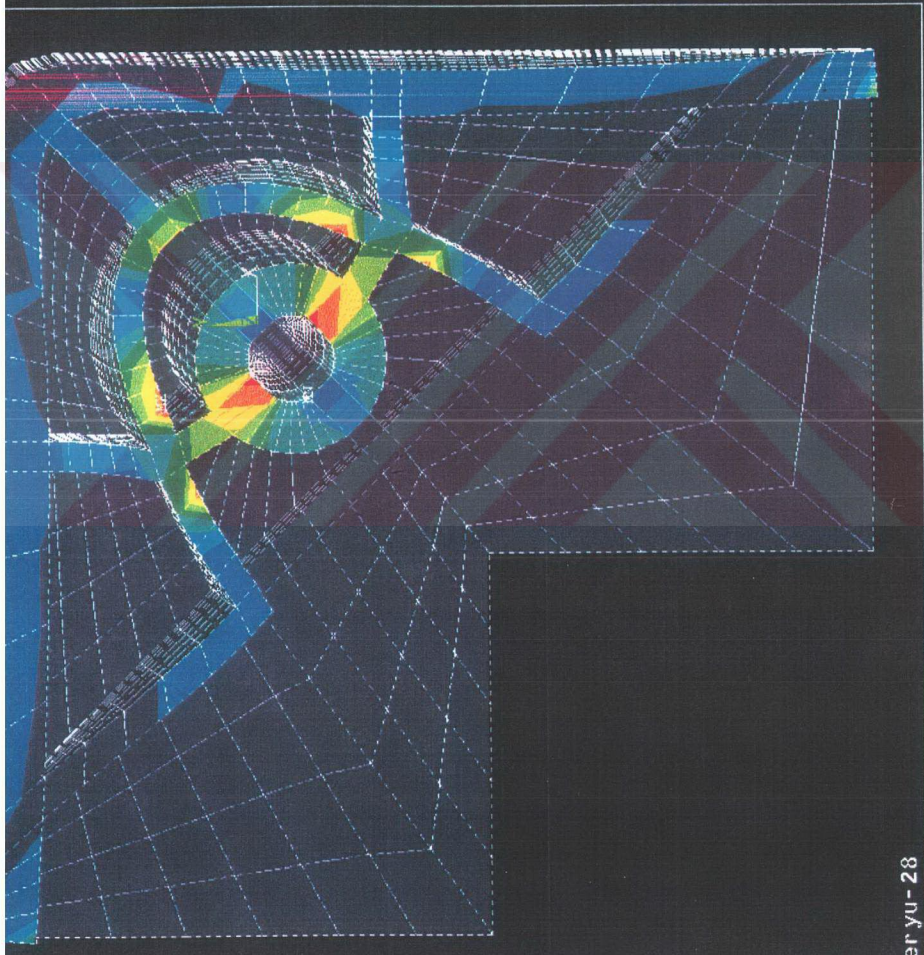
15:46:47
PLOT NO. 1
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB = 1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX = 2.661
SMN = 0.09908
SMX = 1.961
SMXB=3.063



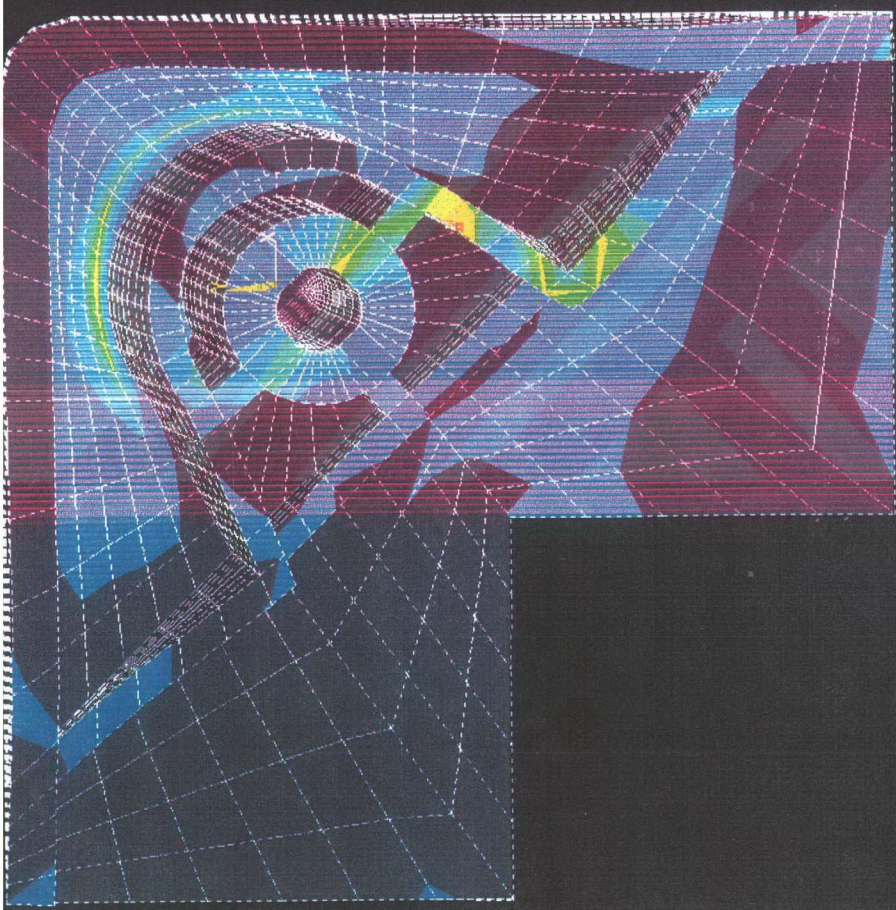
PLOT NO. 1
 MODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 SEQV (AVG)

DMX = 3.799
 SMN = 0.14168
 SMX = 3.247
 SMXB= 5.218

.014168
 .193792
 .373417
 .553041
 .732665
 .912289
 1.092
 1.272
 1.451
 1.631
 1.81
 1.99
 2.17
 2.349
 2.529
 2.709
 2.888
 3.068
 3.247



Resim 8



16: 51: 37
 PLOT NO. 1
 MODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB = 1
 TIME=1
 SEQV (AVG)
 DMX = 7.694
 SMN = .039532
 SMX = 4.469
 SMXB= 6.702
 .039532
 .285609
 .531686
 .777763
 1.024
 1.27
 1.516
 1.762
 2.008
 2.254
 2.5
 2.746
 2.992
 3.239
 3.485
 3.731
 3.977
 4.223
 4.469

3.9. Durum 9 -Resim 10 ve 11

Katı modelin üst yüzeyinden z eksenini doğrultusunda 27 mm uzunluğunda, verilen çapta, civata malzemesi modellenmiştir. 27 mm uzunluğundaki bu civatanın ortasına, merkezdeki elemanın alt ucundan y eksenini boyunca, ağırlık merkezi doğrultusunda 40 N'luk bir tekil kuvvet uygulanmıştır. Eleman olarak SOLID73 adlı, her düğüm noktasında altı serbestlik derecesi olan (ux, uy, uz, rotx, roty, rotz), 8 düğüm noktalı, 3 boyutlu yapısal brick eleman seçilmiştir. Analiz sonuçlarını sıralarsak,

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm^2

Civata için 10 N/mm^2

Kuvvet : FY = - 40 N

Eleman : SOLID73

Eleman sayısı : 2827

Düğüm noktası : 4624

Çözüm süresi : 50 dakika

Minimum değer SEQV(Von Mises)

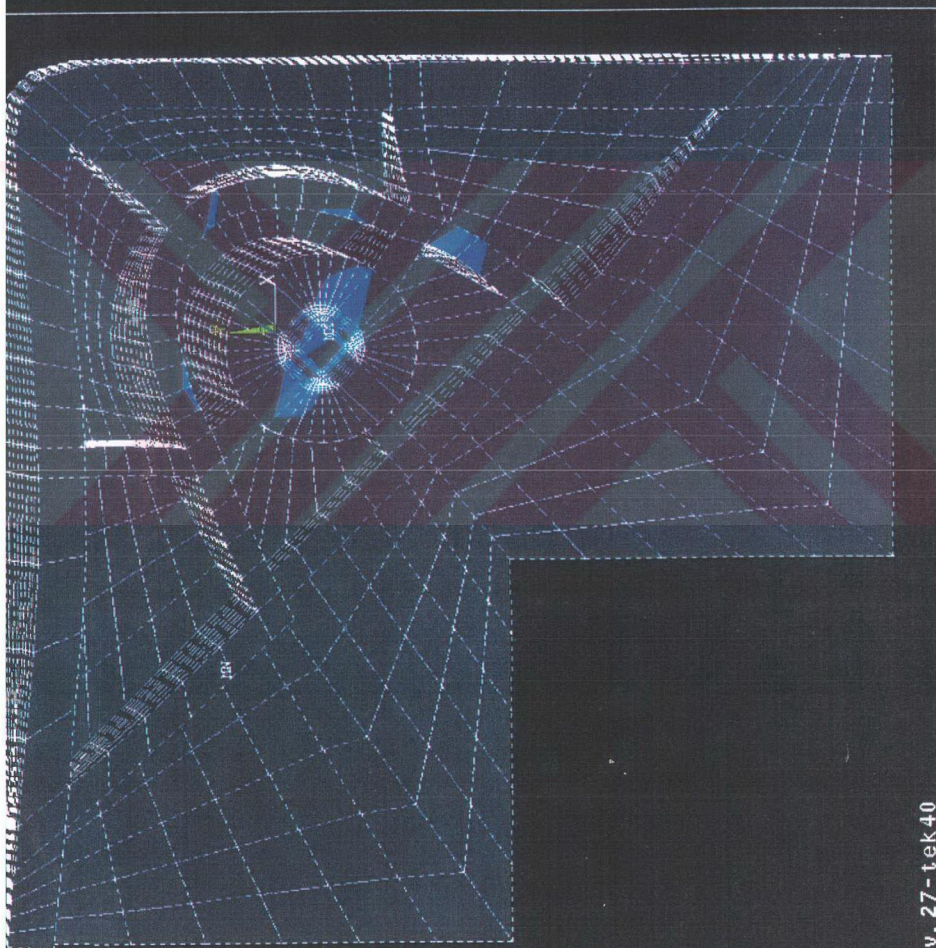
Değer 0.0145

Maksimum değer SEQV(Von Mises)

Değer 9.24

Bu modelleme sonucu elde edilen maksimum gerilme miktarı daha evvel incelenen bütün gerilme değerlerinden bir hayli yüksektir.

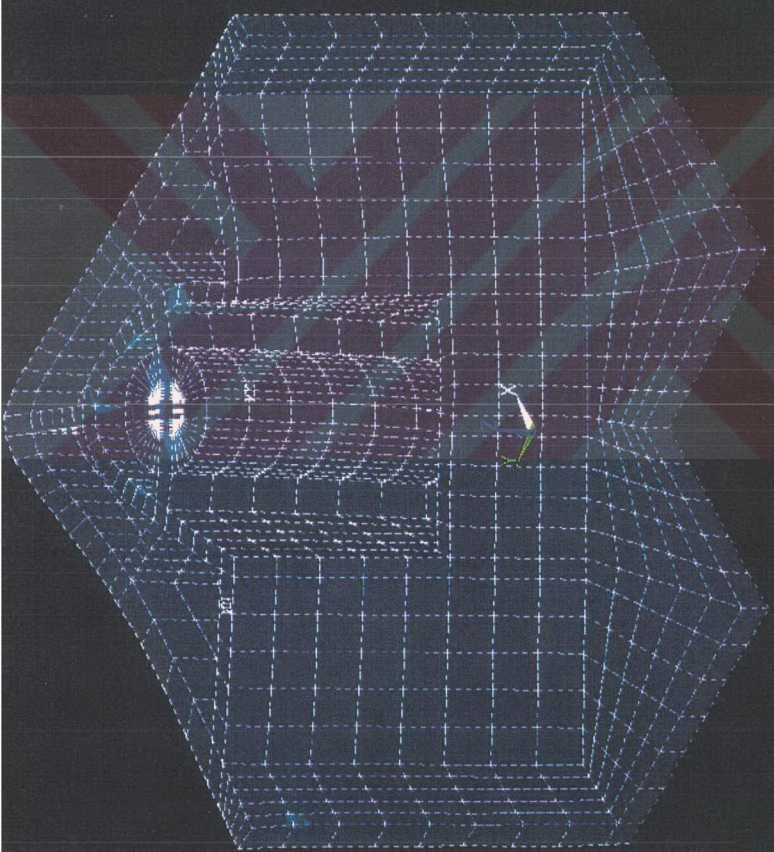
14: 46: 49
 PLOT NO. 1
 MODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB = 1
 TIME=1
 SEQV (AVG)
 DMX = 1.734
 SMN = .014509
 SMX = 9.246
 SMXB=18.742
 .014509
 .527365
 1.04
 1.553
 2.066
 2.579
 3.092
 3.605
 4.117
 4.63
 5.143
 5.656
 6.169
 6.682
 7.195
 7.707
 8.22
 8.733
 9.246




```

PLOT NO. 3
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX =1.734
SMN =.014509
SMX =9.246
SMXB=18.742
.014509
.527365
1.04
1.553
2.066
2.579
3.092
3.605
4.117
4.63
5.143
5.656
6.169
6.682
7.195
7.707
8.22
8.733
9.246

```



3.1.10. Durum 10-Resim 12

Katı modelin üst yüzeyinden z eksenine doğrultusunda 27 mm uzunluğunda, verilen çapta, cıvata malzemesi modellenmiştir. 27 mm uzunluğundaki bu cıvatanın alt yarısına, cıvata boyunca, yuvayı ezmeye çalışan yüzey basıncı uygulanmıştır. Eleman olarak ' SOLID73' adlı, her düğüm noktasında altı serbestlik derecesi olan (ux, uy, uz, rotx, roty, rotz) , 8 Düğüm noktalı, 3 boyutlu yapısal brick eleman seçilmiştir. Bazı parametreleri hatırlarsak,

Elastik modülü : Petren için 40 N/mm^2
Cıvata için 10^5 N/mm^2

Eleman : Solid 73

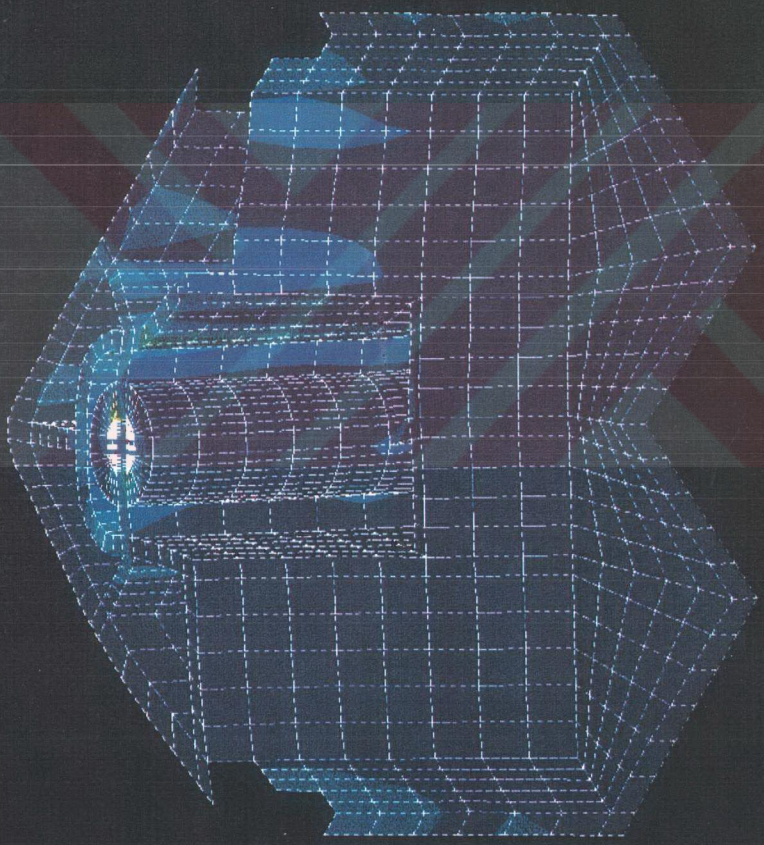
Eleman sayısı : 2827

Düğüm noktası : 4624

Çözüm süresi : 50 dakika

Verilen basınç değerleri düzgün seçilemediğinden sonuçlar hakkında bir yorum yapmak zordur.

12:34:33
PLOT NO. 2
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB = 1
TIME = 1
SEQV (AVG)
DMX = 80.365
SMN = .666836
SMX = 168.692
SMXB = 361.319



IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu kısımda bir önceki bölümde tartışılan hususlar kısaca özetlenmiştir. Aşağıdaki çeşitli yüklenme koşullarında, boss yapısının statik davranışı irdelenmiştir,

Durum 1 ve 2'de kritik yüklenmeler cephenin alt elemanlarında olan yüklenmelerden 100-150 defa daha büyüktür. Bu sonuç civata yuvasının yüklendiğini, diğer çevre elemanlarda pek yüklenmenin olmadığını göstermektedir. Ancak sınırlar boyunca oluşan deplasmanlara dikkat edilmelidir.

Durum 3'de kritik gerilmelerin genliği bir önceki durumlarda gözlenen maksimum gerilmenin %70'ı kadardır.

Durum 4'de yer değiştirmelerin ve gerilmenin kritik değeri bir önceki duruma çok yakındır, **Durum 5'de** ise yer değiştirmiştir.

Durum 6'da yüklenme altında kritik gerilmelerin olduğu noktalar artmıştır. Civata yuvasının dışında kritik yüklenme söz konusudur. **Durum 7'de** ise kritik yüklenmelerin mertebeleri bir önceki durumdan daha yüksektir. Ayrıca civatının bulunduğu silindir kalıp iki bayrak kökünde gerilmeler maksimum değerlerindedir.

Durum 8'de bayrakların kaldırılması sonucu maksimum Von Misses gerilmesi %42 artarken, maksimum deplasmanda %262 artmıştır.

Durum 9'da , modelleme sonucu elde edilen maksimum gerilme miktarı daha evvel incelenen bütün gerilme değerlerinden bir hayli yüksektir.

Durum 10'da katı modelin üst yüzeyinden z eksenini doğrultusunda 27 mm uzunluğunda, civata malzemesi modellenmiştir. 27 mm uzunluğundaki bu civatanın alt yarısına, civata boyunca , yuvayı ezmeye çalışan yüzey basıncı

uygulanmıştır. Verilen basınç değerleri düzgün seçilemediğinden sonuçlar hakkında bir yorum yapmak zordur.

Yukarıdaki sonuçlardan gerçek yüklenmenin hangi durumda olacağını tespit etmek güç görülmektedir. Bunun için deneysel çalışmalarla sonuçların desteklenmesi gerekmektedir.

VI. ÖZET

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPI ANALİZİ, ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEM

Bu çalışmaya, Bilgisayar Destekli Mühendislik yaklaşımının bir alt grubu olan Bilgisayar Destekli Yapı Analiz Teknolojisi temel oluşturmaktadır. Giriş bölümünde ilgili kavramların tanımları verilmiş ve endüstriyel problemin tarifi yapılmıştır.

ikinci bölümde Bilgisayar Destekli Mühendislik kavramı açıklandıktan sonra, firmaların bu amaç için kullanacakları ticari paket programları değerlendirme kriterleri sıralanmıştır. Daha sonra Bilgisayar Destekli Yapı Analiz teknolojisi ve bu teknolojiye en çok kullanılan metod olan Sonlu Elemanlar Yöntemi açıklanmıştır. Kullanılan ANSYS CAD/CAE programı hakkında bilgi verildikten sonra problem ele alınmıştır. Yapının sonlu elemanlar modeli, kullanılan elemanların özellikleri, sınır koşulları ve yükleme yaklaşımları, çözüm algoritmaları tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde hazırlanan analiz modelleri tek tek açıklandıktan sonra, bilgisayardan elde edilen sonuç değerleri ve grafikleri verilmiştir.

Son bölümde alınan bu sonuçlar irdelenmiştir.

VII. SUMMARY

STRUCTURAL ANALYSIS USING FINITE ELEMENT METHOD, AN INDUSTRIAL APPLICATION

This study is based on the Structural Analysis Technology, which is a Computer Aided Engineering (CAE) Applications.

The first section defines the problem.

In the second section, Computer Aided Engineering Method is explained and the criterias and parameters used in selection among the related software packages are discussed. Then, Computer Aided Structural Analysis and the most frequently used one of them, The Finite Element Method are explained, information related to the ANSYS software package is provided. The finite element model, characteristics of the used elements, boundary conditions and loading, solution algorithms are discussed.

In the third section, all analysis models are explained, the solutions of the system are provided, also using graphics.

The last section analysis and discusses these solutions.

VII. KAYNAKLAR

- [1] STARK, J. (1986) : What every engineer should know about practical CAD/CAM applications, Marcel Dekker, Inc.
- [2] ASTLEY, R.J. (1992) : Finite elements in solid and structures, Chapman and Hall, London
- [3] STARK, J. (1989) : Managing CAD/CAM, McGraw-Hill International Editions, Singapore
- [4] PEG, J.P., BREBBIA, C.A. (1987) : Computer aided engineering systems handbook, Volume I, Computational Mechanics Publications
- [5] Norris, C.H., WILBUR J.B., UTKU,Ş., (1977) : Elementary structural analysis, McGraw-Hill Company
- [6] BURNETT, D.S. (1987) : Finite element analysis, AT&T BELL Laboratories
- [7] KNIGHT, C.E. (1993) : The Finite element method in mechanical design, PWS-KENT Publishing Company, Boston
- [8] ANSYS Kullanım Kılavuzu, Theory

[9] BARAN, N.M. (1988) : Finite element analysis on microcomputers, McGraw-Hill Book Company

[10] ANSYS Kullanım Kılavuzu, Element

[11] IRONS, B., AHMAD, S. (1984) : Techniques of finite elements, Ellis Horwood Ltd.

VIII. ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini 1970 - 1981 yılları arasında Kütahya'da tamamladı. 1985 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1986 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsünün açmış olduğu işletmecilik ihtisas bölümünden sertifika aldı. 1986-1991 yılları arasında Arçelik A.Ş. firması, Üretim Mühendisliği Müdürlüğünde Konstrüksiyon Mühendisi olarak çalıştı. 1991-1992 yılında Tekom - Teknik Kompüter Programları A.Ş. firmasında CAD/CAM uzmanı olarak görev yaptı.