T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Dişli Benzeri Parçaların Ekstrüzyonunda Değişik Ekstrüzyon Oranlı Parçaların Sonlu Elemanlar Analizi

Mak. Müh. Gürkan İRSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd.Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK
EDİRNE-2007

T.C.

TRAKYA ÜNİVERİSTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Dişli Benzeri Parçaların Ekstrüzyonunda Değişik Ekstrüzyon Oranlı Parçaların Sonlu Elemanlar Analizi

Mak. Müh. Gürkan İRSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK

T.C.

TRAKYA ÜNİVERİSTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Dişli Benzeri Parçaların Ekstrüzyonunda Değişik Ekstrüzyon Oranlı Parçaların Sonlu Elemanlar Analizi

Mak. Müh. Gürkan İRSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez …./…./…… tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir

Prof. Dr. H. Erol AKATA

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Erdem UÇAR

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Tahir ALTINBALIK

Jüri Üyesi-Tez Danışmanı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. ÜRETİM KAVRAMI

1.1.Üretim 1
1.2. Üretim Yöntemleri ve Sınıflandırılması 1
1.3. Plastik Şekil Verme 3
1.3.1. Ekstrüzyon 5
1.3.1.1. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı 8
1.3.1.2. Ekstrüzyon İşleminde Etkili Olan Faktörler 9
1.3.1.3. Ekstrüzyon Basıncı ve Şekil Değişimi 10
1.3.1.4. Hızın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi 10
1.3.1.5. Ekstrüzyonda Isı Dengesi ve Sıcaklık Değişimleri 10
1.3.1.6. Ekstrüzyon Basıncına Sıcaklığın Etkisi 11
1.4. Dişli Çarklar 12
1.4.1. Dişli Üretim Prosesleri 12
1.4.1.1. Çapaksız Yöntemler 12
1.4.2. Ekstrüzyonla Dişli ve Benzeri Parçaların Üretimi 13

BÖLÜM 2 ÜRETİMDE BİLGİSAYARLARIN KULLANIMI

21. Giriş 15
2.2. Mühendislikte Yaygın Olarak Kullanılan CAD /CAM Programları 15
2.3. Mühendislikte Kullanılan Programlama Dilleri 15
2.4. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM) 16
2.4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) 17
2.4.1.1. Modelleme 17
2.4.1.2. Montaj 18
2.4.1.3. Analiz ve Optimizasyon 18
2.4.1.3.1.Gerilme Analizi 18

2.4.1.3.2.Optimizasyon 18
2.4.1.4.Değerlendirme ve Kontrol 19
2.4.1.5. Sonuçların Görüntülenmesi 19
2.4.2. Bilgisayar Destekli İmalat (CAM) 19
2.5. Sonlu Elemanlar Metodu 20
2.5.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları 22
2.5.1.1. Denge Problemleri 23
2.5.1.2. Özdeğer Problemleri 23
2.5.1.3. Yayılma Problemleri 23
2.5.2. Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Yaklaşımlar 23
2.5.2.1.Direkt yaklaşım 23
2.5.2.2. Varyasyonel yaklaşım 23
2.5.2.3. Ağırlıklı kalanlar yaklaşımı 24
2.5.2.4. Enerji dengesi yaklaşımı 24
2.5.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Çözüm Adımları 25
2.5.3.1. İnterpolasyon Fonksiyonlarının Seçimi 25
2.5.3.2. Eleman Direngenlik Matrisinin Elde Edilmesi 27
2.5.3.3. Sistem Direngenlik Matrisinin Oluşturulması 27
2.5.3.4. Sisteme Etki Eden Kuvvetlerin Bulunması 27
2.5.3.4.1. Tekil Kuvvetler 27
2.5.3.4.2. Yayılı Kuvvetler 27
2.5.3.4.3. Kütle kuvvetleri 28
2.5.3.5. Sınır Şartlarının Belirlenmesi 28
2.5.4. Sonlu Eleman Modelleri 29
2.5.4.1. Tek Boyutlu Elemanlar 29
2.5.4.1.1. Gerilme Analizi 29
2.5.4.2. İki Boyutlu Elemanlar 32
2.5.4.2.1. Üçgen Elemanlar 32
2.5.4.2.2. Dönel Elemanlar 36
2.5.4.3. Üç Boyutlu Problemler 40
2.5.5. Sonlu Elemanlar Yönteminin Hata Kaynakları 40
2.5.6. Sonlu Elemanlar Metodunun Dezavantajları 41

BÖLÜM 3 CAD/CAM PROGRAMLARI

3.1. CATIA CAD/CAM Programı 42
3.1.1. CATIA Kullanıcı Arayüzü 43
3.1.2. Ana Fonksiyonlar 44
3.1.2.1. Standart Fonksiyonlar 44
3.1.2.2. Görünüş (View) Fonksiyonları 45
3.1.3. Part Design Fonksiyonları 45
3.1.3.1.Sketcher Fonksiyonları 45
3.1.3.1.1. Şartlar (Constraints 45
3.1.3.1.2. Kapalı Profiller (Profiles) 46
3.1.3.1.3. Tel Geometri Fonksiyonları (Wireframe) 46
3.1.3.1.4. Operasyonlar (Operations) 47
3.1.3.2. Katı Modüllü Bazlı Unsurlar (Sketch-Based Features) 47
3.1.3.3. Düzenleme Unsurları (Dress-Up Features) 48
3.1.3.4. Yüzey Bazlı Unsurlar (Surface-Based Features) 48
3.1.3.5. Dönüşüm Unsurları (Transformation Features) 49
3.1.4.CATIA' da Analiz işlemi 50
3.1.4.1.CATIA programında Analiz İşlemlerinde Sıkça Kullanılan İkonlar 50
3.2.I-DEAS CAD/CAM Programı 51
3.2.1. I-DEAS Başlangıç Menüsü 52
3.2.2. I-DEAS Çalışma Ekranı 53
3.2.3. Fonksiyon Tuşlarının Görevleri 54
3.2.4. Temel Çizim Komutları 54
3.2.5. Çalışma Özelliklerinin Oluşturulması 58
3.2.5.1. Koordinat Sistemleri 58
3.2.6. I-DEAS Programında Katı Modelleme 60
3.2.7 I-DEAS Programında Analiz İşlemi 62
3.3. ANSYS CAD Programı 64
3.3.1. ANSYS Genel Çalışma Düzenleme İşlemleri 65

3.3.2. ANSYS Menüleri 66
3.3.3. Programın Kabiliyetleri 68
3.3.4. Koordinat Sistemleri 68
3.3.5. Element Kütüphanesi 68
3.3.6. Çözüm Metotları 68
3.3.7. ANSYS' te Analiz 69

BÖLÜM 4 KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 70

BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 75

BÖLÜM 6… KALIN CİDARLI BORU PROBLEMİ

6.1. GİRİŞ 80
6.2. Ekstrüzyon Kovanı için Analitik Çözüm 83
6.3. Kovandaki Yerdeğiştirmelerin
Sonlu Elemanlar Metoduyla Analitik Çözümü 87

BÖLÜM 7 ANALİZLER ve SONUÇLAR

7.1. GİRİŞ 99
7.2. CATIA Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi 101
7.2.1. Kovanın Modellenmesi 101
7.2.2. Analizin Uygulanması 103
7.2.3. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi 105
7.2.3.1. 21 mm İç Çaplı Kovan Analizleri 106
7.2.3.2. 23 mm İç Çaplı Kovan Analizleri 110
7.2.3.3. 25 mm İç Çaplı Kovan Analizleri 114

7.3. I-DEAS Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi 118
7.3.1. Kovanın Modellenmesi 118
7.3.2. Analizin Uygulanması 120
7.3.3. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi 122
7.3.3.1. 21mm İç Çaplı Kovan Analizleri 123
7.3.3.2. 23mm Gerilme Analizleri 128
7.2.3.3. 25 mm kovan gerilme analizleri 132
7.4 ANSYS Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi 136
7.4.1. Kovanın Modellenmesi ve Analizin Uygulanması 136
7.4.2. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi 138
7.4.2.1. 21 mm kovan gerilme analizleri 138
7.4.2.2. 23 mm kovan gerilme analizleri 138
7.4.2.3. 25 mm kovan gerilme analizleri 143
7.5 Analiz Sonuçlarının Visual Basic Uygulaması 146
7.6 Programların Karşılaştırmalı Analizi 151

SONUÇLAR ve ÖNERİLER 154

KAYNAKLAR 156

ÖZGEÇMİŞ 159

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezinde, dişli benzeri profillerin bir dişli çarkın ön şekli olmasından dolayı, bu profile sahip parçaların ekstrüzyonunda, kalıp kovanında ortaya çıkan gerilmelerin yeri ve büyüklüğünü belirlemek amacıyla modelleme yapılmış ve analiz programları değişik parametreler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Mesh sayısı optimizasyonu yapılarak değişen mesh sayılarıyla elde edilen analizlerin nasıl yorumlanıp gerçek sonuca nasıl ulaşılacağı da çalışmada ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasın da engin bilgi birikimi ve tecrübeleriyle katkıda bulunan değerli hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Sayın Vedat TAŞKIN' a, ve Yrd. Doç. Dr. Sayın Necmettin KAYA' ya, deneysel çalışmalarımıza engin elektronik bilgisi ve tecrübesiyle yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Sayın Hilmi KUŞÇU' ya, bilgisayar yazılımlarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Sayın H. Nusret BULUŞ' a ve gerek teknik, gerekse manevi anlamda her zaman yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Sayın Kamil KAHVECİ' ye, Sayın Mak. Müh. Ercan ADA' ya, Arş. Gör. Dr. Sayın Cenk MISIRLI' ya ve Arş. Gör. Sayın Ümit HÜNER' e emeği geçen tüm hocalarıma, meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugüne kadar maddi, manevi her türlü desteği karşılıksız veren, sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen canım anneme, babama ve kardeşime gönülden teşekkür ederim.

Sanırım teşekkürlerin en büyüğü tecrübeleriyle bana fikir veren, değerli hocam, ve tezin her bölümünde beni yönlendiren ve tez süresince bana bilgi ve fikirlerini esirgemeden sunan, çalışma disiplinine, hayata dair görüşlerine, fikirlerine önem verdiğim bilimsel ve sosyal anlamda desteğini esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Sayın M. M. Tahir ALTINBALIK' a olacaktır.

OCAK 2007 Mak.Müh. Gürkan İRSEL

ÖZET

Bilindiği gibi bir makine elemanının boyutları tasarlanırken taşıyacağı yükler göz önüne alınarak boyutları dikkatlice belirlenir. Karmaşık bir parçanın deformasyon karakteristiklerini belirlemek için yaklaşık son 40 yıldır Sonlu Elemanlar Yöntemi gelişme sürecindedir. Yöntemde problemlerin elle çözümü çok zor olduğundan değişik isimli CAD/CAM yazılımları da beraberinde geliştirilmektedir. Bunlarda CATIA, I-DEAS ve ANSYS en etkili ve yeni olanlarındandır. Günümüzde SEY, mühendislik problemlerini en etkili biçimde çözen bir yöntem haline gelmiştir ve problemi küçük parçalara bölerek çözer.

Diğer taraftan plastik şekil verme metotlarından biri olan ekstrüzyon çok değişik alanlarda kullanılan basit ve karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde kullanılan bir üretim metodudur. Ekstrüzyon kalıplarının imalatında giderek gelişen CNC talaşlı imalat teknolojileri ile daha karmaşık şekilli kalıplar rahatlıkla işlenebilmektedir. Böylece farklı kütle biçimlendirme yöntemleri arasında ekstrüzyon dişli yada dişli benzeri gibi karmaşık biçimli parçaların üretimde diğerleriyle rekabet edebilir bir hale gelmiştir.

Bu çalışmada aynı yüksekliğe fakat üç farklı hammadde çapına sahip kurşun numuneler yonca biçimli bir kalıp boşluğundan geçirilerek ekstrüze edilmiştir. Böylesi bir şekil düz dişli çarkların ön şekli olabilmesi bakımından önemlidir. Ardından prosesteki ekstrüzyon kovanı kalın cidarlı boru olarak kabul edilmiştir ve yükleme sonucu kovanda meydana gelen eksenel, radyal ve teğetsel gerilmeler üç farklı CAD/CAM programı ile belirlenerek literatürdeki amprik formüllerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu programlar ayrıca, problemi çözerken sarfedilen bilgisayar zamanı, mesh boyutu-eleman sayısı ve sonuçların doğruluğu gibi parametrelerin ışığında birbirleriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara rahatça ulaşabilmek amacıyla bir Visual Basic Uygulaması da kodlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Clover(Yonca biçimli) Kesitler, Ekstrüzyon, Sonlu Elemanlar Analizi.

ABSTRACT

As it is known, when a structure of machine element part is designed, its dimensions are determined with carefully by considering the actual loads. In the analysis of a component, in order to determine the deformation characteristics of the complex parts the Finite Elements Method was being developed about in last 40 years. Because of the solution of FEM by hand is highly difficult, various software packets by means of CAD (Computer Aided Design) and CAM (Computer Aided Manufacturing) have been developed. Three of them called CATIA, I-DEAS and ANSYS are the most recent and effective finite element softwares. Today FEM has became the most very effective way of solving engineering problems in which is dividing of the problem into small parts.

On the other hand study of extrusion process has been of interest for long time due to its industrial importance. Development of CNC machines and its technology provides manufacturing of complex shaped die parts. So, among the various manufacturing methods extrusion became competitive complex sections such as gear or gear-like profiles or else.

In this study lead billets which having same initial heights but three different diameters have been extruded from the clover shaped die which are often used for cams and trochoidal gears of external gear pumps. Such a section on the other hand is also preform of the spur gear. Then the die container of the extrusion set was assumed a thick walled tube and the radial, axial and tangential stresses was determined by three different CAD/CAM program called CATIA, I-DEAS and ANSYS and compared with those empirical equations obtained form literature. On the other hand these programs were compared each other by means of various parameters such as computational time, mesh size-element number and sensitivities of the programs. A Visual Basic Program was also coded simulating the results.

Keywords: Clover Sections, Extrusion, Finite Elements Analysis

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil1.1. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Gruplandırılması 4

Şekil 1.2. İleri Ekstrüzyon 6

Şekil 1.3. Geriye Ekstrüzyon 7

Şekil 1.4. Ekstrüzyon Basıncının Istampa Kursu İle Değişimi 8

Şekil 1.5. Direkt Ekstrüzyonda Dört Değişik Akış Tipinin Gösterimi 9

Şekil 1.6. Sıcaklığın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi 11

Şekil 2.1. Konsol Kiriş Sonlu Eleman Modeli 28

Şekil 2.2. Yay Elemanı 29

Şekil 2.3. Yay Elemanı 30

Şekil 2.4. n Sayıda Elemandan Oluşan Sistem 31

Şekil 2.5. Çözüm Bölgesinin Üçgen Elemanlara Ayrılması 33

Şekil 2.6. Üçgen Eleman 33

Şekil 2.7. İç Basınç Uygulanmış ve Kesit Alınmış Kovan 37

Şekil 2.8. Eksenel Simetrik Hacim 37

Şekil 2.9. Eksenel Simetrik Üçgen Eleman 38

Şekil 2.10. Üçgen Prizmatik (4 Yüzlü) Eleman 40

Şekil 3.1. CATIA Kullanıcı Arayüzünün Gösterimi 43

Şekil 3.2. Analiz Modülü 50

Şekil 3.3. I-DEAS Başlangıç Menüsü 52

Şekil 3.4. I-DEAS Çalışma Penceresi 53

Şekil 3.5 Koordinat Sistemi 58

Şekil 3.6 Analiz İşlemleri 62

Şekil 3.6. ANSYS Açılış Penceresi 64

Şekil 3.7. ANSYS Programı Çalışma Ekranı 65

Şekil 3.8 Ansys Temel Menü. 67

Şekil 5.1. Deney Setinin Şematik Görünümü 76

Şekil 5.2. Deney Setinin Fotoğrafı 77

Şekil 5.3. Deneylerde Kullanılan ve Bilgisayar Kontrollü Hale Getirilmiş Pres 78

Şekil 5.4. Basınç Akım Çeviricisi 78

Şekil 5.5. Konum Bilgisini Okuyan Enkoderin Görünümü 79

Şekil 6.1. Kalın Cidarlı Boruda Birim Eleman ve Gerilmeler 80

Şekil 6.2. 3 Farklı Zımba Çapı için Ekstrüzyon Kuvvetlerinin Strokla Değişimi 83

Şekil 6.3. Ekstrüzyon Kovanının Ölçüleri83

Şekil 6.4. d_0=21 mm için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı 85

Şekil 6.5. d_0=23mm için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı 86

Şekil 6.6. d_0=25m için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı 86

Şekil 6.7. Kovanın Sonlu Üçgen Elemanlarına Ayrılması 87

Şekil 6.8. Üçgen Elemanında Düğüm Noktalarının Gösterimi 88

Şekil 6.9. Üçgen Elemanın Düğüm Noktaları 88

Şekil.6.10 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY ile Hesaplayan Visual Basic Uygulaması(d_0=21 mm) 96

Şekil 6.11 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY il Hesaplayan Visual Basic Uygulaması (d_0=23 mm) 97

Şekil 6.12 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY ile Hesaplayan Visual Basic Uygulaması (d_0=25 mm) 98

Şekil 7.1. Ekstrüzyon Prosesinde Uygulanan Eksenel Kuvvetin Kovan Yüzeyinde Meydana Getirdiği Basınç. 100

Şekil 7.2. CATIA Üç Boyutlu Arayüz 101

Şekil 7.3 Sketcher Modülü 102

Şekil 7.4. Katı Modelin Oluşturulması ve Malzeme Atanması 103

Şekil 7.5 Yüklerin ve Sınır Şartlarının Uygulanması 104

Şekil 7.6 Sonuçların Görüntülenmesi 105

Şekil 7.7. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 109

Şekil 7.8. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 113
Şekil 7.9. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 117
Şekil 7.10. I-DEAS Master Modeler Modülü 119
Şekil 7.11. Kovanın Katı Modelinin Oluşturulması 120
Şekil 7.12. Fem Grubunun Seçimi 121
Şekil 7.13. Sınır Şartları ve Kuvvet Değerlerinin Uygulanması 121
Şekil 7.14. Eleman Seçimi 121
Şekil 7.15. Sonlu Elemanlara Ayırma 121
Şekil 7.16. Sonuçların Görüntülenmesi 122
Şekil 7.17. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 126
Şekil 7.18. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 131
Şekil 7.19. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 135
Şekil 7.20 ANSYS Çalışma Penceresi 136
Şekil 7.21 Malzeme Atanması 137
Şekil 7.22 Kovan Geometrisi,Yük ve SınırŞartlarının Uygulanması 137
Şekil 7.23 Sonuçların Görüntülenmesi 137
Şekil 7.24. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 140
Şekil 7.25. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 142
Şekil 7.26. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri 145
Şekil 7.27 Sonlu Elemanlar Analizinin CATIA Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı 148
Şekil 7.28 Sonlu Elemanlar Analizinin I-DEAS Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı149
Şekil 7.29 Sonlu Elemanlar Analizinin ANSYS Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı150
Şekil 7.30 d_o=21 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri 152
Şekil 7.31 d_o=23 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri 152
Şekil 7.32 d_o=25 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri 153

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1. 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kimyasal Bileşimi 75

Tablo 6.1. η ve z Değerleri 88

BÖLÜM 1

ÜRETİM KAVRAMI

1.2. Üretim

Üretim; hammadde halinde bulunan herhangi bir malzemenin istenilen özellik ve biçimdeki bitmiş ürün haline getirilmesine yönelik bir süreç olarak tanımlanır.

Üretim çok geniş bir disiplin olduğundan detaylı olarak anlaşılması sadece makine veya imalat mühendislerine değil, amaçları insan ihtiyaçlarını karşılamak olan diğer mühendislik dallarına da yardımcı olur. Üretime başlangıç olarak enerji, zaman ve insan kaynakları konusunda yeterli fizibilite çalışması yapıldığı taktirde proses aşamasına geçilebilir. Proses aşamasında ilk sırayı dizayn alır. Kaynakların ve prosesin doğru yönetilmesi verimlilik ve üretkenliğin arttırılması bakımından önemlidir. Pazarlama konusu da ürünün en iyi ve karlı şekilde alıcıya ulaşmasında etkin bir rol üstlenmektedir. Son aşama yani sonuç aşamasında ürünün alıcıya ulaştırılması, bu ürünün ürün ile ilintili diğer ürünler ile desteklenmesi ve ürünün kullanılması konusundaki diğer bilgiler ile kullanım karmaşıklığındaki pürüzlülüklerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

1.3.Üretim Yöntemleri ve Sınıflandırılması

İlerleyen teknoloji beraberinde yüksek kaliteli ürünlerin tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan yöntemlerin geliştirilmesini getirmiştir. İnsanların yaşam standardı değişmiş ve insanlar sürekli daha iyiyi daha kaliteliyi arar olmuşlardır. Bu sebepten dolayı insanları daha da memnun etmek görevi mühendislere ve onların yaratma güdülerine bırakılmış durumdadır. Mühendisler her bir üretim yönteminin imkânlarını, üstünlüklerini ve sınırlarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru olarak ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar. Mühendislik disiplini içinde üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak iki gruba ayırmak mümkündür.

İç dönüşümler cevherlerin indirgenmesi, arıtılması ve ısıl işlemleri olarak sıralanırken dış dönüşümler malzemelerin biçimlendirilmesi olarak söylenebilir. (Ayer, Ö., 2006)

Yukarıda bahsedilen üretim yöntemlerinin genel bir sınıflandırmasını yapmak istediğimizde ise 5 grup söz konusudur. Bu grupları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Grup 1. Biçimlendirme İşlemleri
- Grup 2. Talaş Kaldırma İşlemleri
  - I-Geleneksel Yöntemler
  - II-Geleneksel Olmayan Yöntemler
- Grup 3. Yüzey Bitirme İşlemleri
- Grup 4. Birleştirme İşlemleri
- Grup 5. Fiziksel Özellik Değiştirme Yöntemleri

Grup 1. Biçimlendirme İşlemleri: Belirli herhangi bir şekle sahip olmayan katı parçacıklardan birincil şeklin yaratılması veya bir katı cismin kütlesini veya bileşimini değiştirmeden şeklini başka bir şekle dönüştürmeye ya da bağın arttırılması ile ilgili üretim yöntemi. (Ünal, R., 2002,)

1-Dövme
2-Haddeleme
3-Ekstrüzyon
4-Plastik Kalıplama
5-Çekme
6-Döküm
7-Bükme
8-Sıvama
9-Toz Metalürjisi

Grup 2. Talaş Kaldırma İşlemleri: Bağın kopartılarak talaşlı biçimlendirme ile malzemenin ana kütleden kopartılması ile ilgili üretim yöntemi

Grup 3. Yüzey Bitirme İşlemleri: Gerek iş parçasının ömrünü uzatmak, gerekse şekil bütünlüğü sağlamak açısından yapılan işlemlerdir.

Grup 4. Birleştirme İşlemleri: Birbirinden ayrı parçalar arasında bağlantı oluşturarak başka elemanlar meydana getirmeyle ilgili üretim yöntemi.
Grup 5. Fiziksel Özellik Değiştirme Yöntemleri: İş parçasında optimum özellikler elde etmek amacıyla malzeme özelliklerinin değiştirilmesine yönelik işlemler.

1.3. Plastik Şekil Verme

Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla uygulanan ve bu işlem sırasında cismin malzemesinde kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denir. Plastik şekil verme işlemini gerçekleştirebilmek için cismin herhangi bir kesitinde, birim alana gelen kuvvet miktarı olan gerilme değerinin, akma gerilmesinin üzerinde olması gerekir. Eğer plastik şekil verme işlemi esnasında gerilme dağılımını hesaplayabilirsek kontrollü bir plastik şekil verme işlemi gerçekleştirebiliriz. Plastik şekil verme işlemi esnasında hammaddenin üzerinde gerilme değeri, kopma gerilmesine ulaşırsa yırtılma, çatlama v.b. hasarlar oluşur ve bu istenmeyen durum işlemin gerçekleşmesine engel olur.

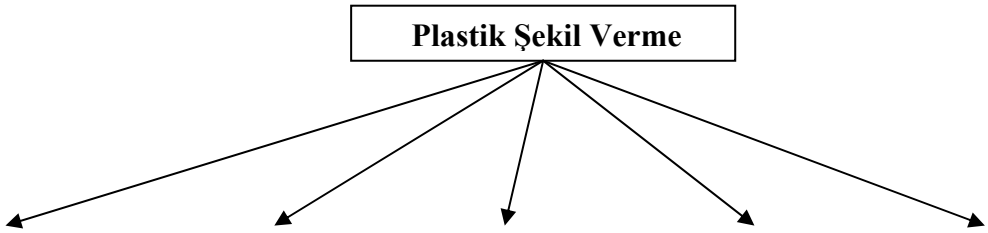
Karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik şekil verme yöntemi ile şekillendirilebilmektedir. Plastik şekil verme (kalıcı şekil değiştirme) ile üretilen iş parçalarının uygulama alanları mutfak aletlerinden otomobil ve havacılık sanayine kadar çok geniş bir alandır.

Plastik şekil verme yöntemi, malzemelere yüksek mekanik özellikler sağlamaktadır. Ayrıca karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde avantajları olduğu gibi, iyi yüzey kalitesi, dar tolerans aralıkları, yüksek üretim hızı ve düşük parça başı maliyetleri nedeniyle de daha çok tercih edilen üretim yöntemlerinin başında gelmektedir. Üretilecek parça sayısının fazla olması gereklidir çünkü, kalıpların pahalı olması nedeniyle belli bir değerin üzerindeki üretim için avantajlı duruma geçilebilir.

Plastik şekil verme işlemlerini başlıca iki grupta sıralayabiliriz: Bunlar saç şekillendirme ve kütle biçimlendirme işlemleridir. Saç şekillendirmede, saç parçalar eşit cidar kalınlıklarında içi boş parçaların üretiminde kullanılır. Kütle biçimlendirme de ise

iş parçası genellikle bütün doğrultularda ve büyük miktarda şekil değiştirerek büyük kesit değişiklikleri ortaya çıkar. Kütle biçimlendirme işlemlerinde karşılaşılan kuvvetler saç şekillendirme işlemlerinde karşılaşılan kuvvetlere nazaran daha büyüktür. Çünkü kütle biçimlendirme işlemleri çok eksenli basma yükleri ile karakterize edilebilir.

Plastik şekil verme yöntemlerinin etkin gerilme türünün esas alındığı bir gruplandırma ile sınıflandırılması gerekirse, 5 etkin gerilme haline göre hazırlanan gruplandırma şekli, Şekil 1.1.'de gösterilmektedir.



Basma Türü Biçimlendirme	Çekme-Basma Türü Biçimlendirme	Çekme Türü Biçimlendirme	Eğme Türü Biçimlendirme	Kesme Türü Biçimlendirme
•Ekstrüzyon •Delme •Kapalı Kalıpla Dövme •Açık Kalıpla Dövme •Haddeleme	•Sıvama •Flanş yapma Biçimlendirme •Derin Çekme •Tel-Çubuk Çekme	•Kabartma •Genişletme •Gerdirme	•Döner ve Lineer Kalıp Hareketiyle Bükme	•Burkulma •Döndürme

Şekil1.1. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Gruplandırılması (Altınbalık, T., 2000)

1) Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri: İş parçası veya hammaddenin esas olarak tek veya çok eksenli basma gerilmelerinin etkisi altında şekil değiştirdiği biçimlendirmelerdir.

2) Birleşik Çekme ve Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri: İş parçasının şekil değişiminin esas olarak birleşik tek veya çok eksenli çekme ve basma gerilmelerinin etkisiyle sağlandığı biçimlendirmelerdir.

3) Çekme Türü Biçimlendirme İşlemleri: İş parçasının şekil değişiminin tek veya çok eksenli çekme gerilmeleri etkisinde oluştuğu biçimlendirmelerdir.

4) Eğme Türü Biçimlendirme İşlemleri: İş parçasının eğilme gerilmeleri ile şekil değiştirdiği işlemler ile biçimlendirmelerdir.

5) Kesme Türü Biçimlendirme İşlemleri: Şekillenen iş parçalarında kayma ve kesme gerilmelerinin daha etkin olmasından kaynaklanan biçimlendirmelerdir.

1.3.1. Ekstrüzyon

Metal bir bloğun, bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvvetinin etkisi altında, ürün kesitinin şeklinde olan matris deliğinden geçirilmesine ekstrüzyon denir. Ekstrüzyon yöntemi ile çubuk, boru, şerit gibi ürünler elde edilebildiği gibi, ayrıca pek çok karmaşık şekiller ve çeşitli kesit şekilleri de elde edilmektedir. Elde edilen şekiller bir yarı mamul olabileceği gibi bazen de doğrudan kullanılan bitmiş ürün, yani mamul de olabilir. Ekstrüzyon işleminde çelik esaslı olmayan malzemeler için şekil ve boyut sınırlaması yok denecek kadar azdır. Alüminyum, bakır, kurşun, magnezyum gibi metallerin alaşımları nispeten düşük akma mukavemeti ve düşük ekstrüzyon sıcaklığına sahip oldukları için ekstrüzyon işleminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Akma mukavemeti yüksek metallerin ekstrüzyonu da mevcuttur. Fosfat esaslı ve ergimiş cam yağlayıcılarının geliştirilmesi ve kullanılması ile metal- metal teması önlediği için akma mukavemeti yüksek metaller için ekstrüzyon alanı genişlemiştir. (Murtezaoğlu, A.A., 1995) Ekstrüzyon prosesinin büyük avantajlarından birisi üretilen mamulün uzunluğu boyunca ketsinin aynı oluşudur.

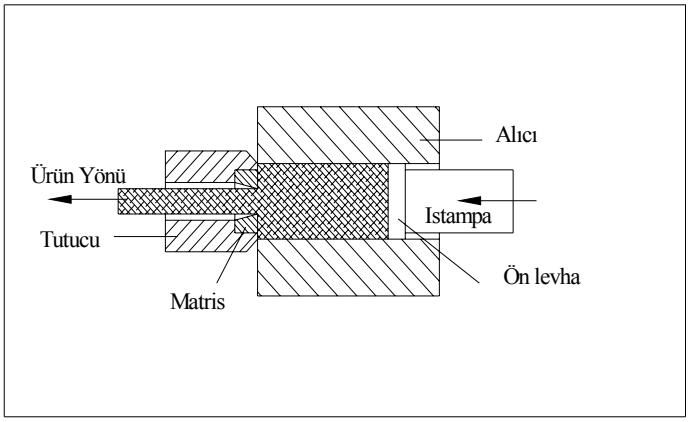
Ürünün çıkış yönü ve ıstampanın hareket yönüne bağlı olarak ekstrüzyon işlemleri 3 ana gruba ayrılır. Bunlar,

1) İleri (direk) ekstrüzyon

2) Geri (endirek) ekstrüzyon

3) Yanal ekstrüzyon diye üçe ayrılır.

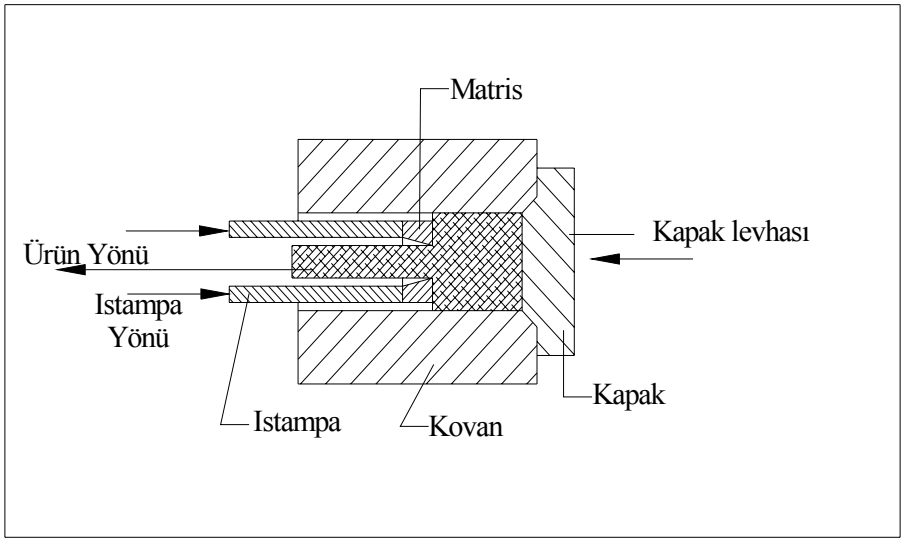
Şekil 1.2.de gösterildiği üzere ileri ekstrüzyonda tutucu tarafından taşınan matris alıcının bir ucunda bulunur. Alıcının diğer tarafından basan ıstampa takoz malzemesinin matris deliğinden geçmesini sağlar. Istampayı korumak amacıyla, ıstampa ile takoz arasına bir ön levha konur. İşlem sonunda bir miktar takoz malzemesi alıcı içinde kalır. Direk ekstrüzyonda alıcı içinde kalan malzeme miktarı takoz ağırlığının %18-%20'si, endirek ekstrüzyonda ise %5-6'sı arasındadır. Ayrıca endirek ekstrüzyon için gerekli kuvvet direk ekstrüzyona göre %25-30 daha küçüktür. Bu üstünlüklerine rağmen gerekli tezgâhların karmaşıklığı nedeniyle sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.



Şekil 1.2. İleri Ekstrüzyon (Mısırlı C., 2002)

Geriye ekstrüzyonda matris ıstampanın ucuna tespit edilmiştir. Bu yöntemde ıstampanın içi deliktir. Böylece, ıstampanın alıcı içine doğru hareketinde basılan çubuk matris ve ıstampa deliğine girer. İleri ekstrüzyonda, matris deliğinden geçen ürünle ıstampanın hareket yönü aynı, geriye ekstrüzyonda ise terstir. Geriye ekstrüzyonda kuvvet direk ekstrüzyona kıyasla daha küçüktür(Şekil 1.3.). Çünkü ileri ekstrüzyonda takoz alıcıya göre hareket ettiği için ikisi arasında bir sürtünme söz konusudur. Geriye ekstrüzyonda ise takoz ile alıcı ara yüzeyinde malzeme hareketi yoktur, dolayısıyla

sürtünme söz konusu değildir. Fakat geriye ekstrüzyon gerekli tezgâhın karmaşıklığı nedeniyle, sınırlı bir uygulama alanına sahiptir (L. Çapan, 1999).



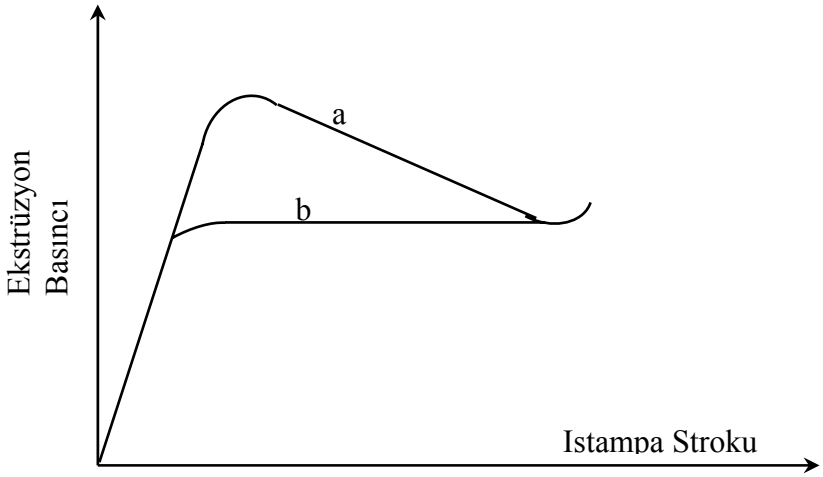
Şekil 1.3. Geriye Ekstrüzyon

Ekstrüzyon işleminin soğuk yapıldığında sağladığı bazı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür:

a) Plastik şekil değişimiyle sürtünmenin açığa çıkardığı ısı malzemenin yeniden kristalleşmesine yol açmadığı takdirde pekleşme nedeniyle mekanik özellikler yükselir ve bu amaçla uygulanan ısıl işlemlere gerek duyulmaz.
b) Boyut toleranslarının küçük olması nedeniyle (0.025-0.125) taşlama veya diğer talaş kaldırma işlemlerine hemen hemen hiç gerek kalmamasını sağlar.
c) İyi bir yağlama ile düzgün yüzeyler elde edilir.
d) Oksitlenme yoktur.

Ekstrüzyon basıncının ıstampa kursu ile değişimi Şekil 1.4.te verilmektedir. Başlangıçta, takozun alıcıyı tamamen doldurması için ıstampa tarafından sıkıştırılması basıncın hızla artmasına sebep olur. Basınç maksimum değerini aldığında ekstrüzyon başlar yani malzeme matris içinde akmaya başlar. Direk ekstrüzyonda alıcı içindeki takoz uzunluğu azaldıkça sürtünme kuvvetinin de azalması ekstrüzyon basıncının

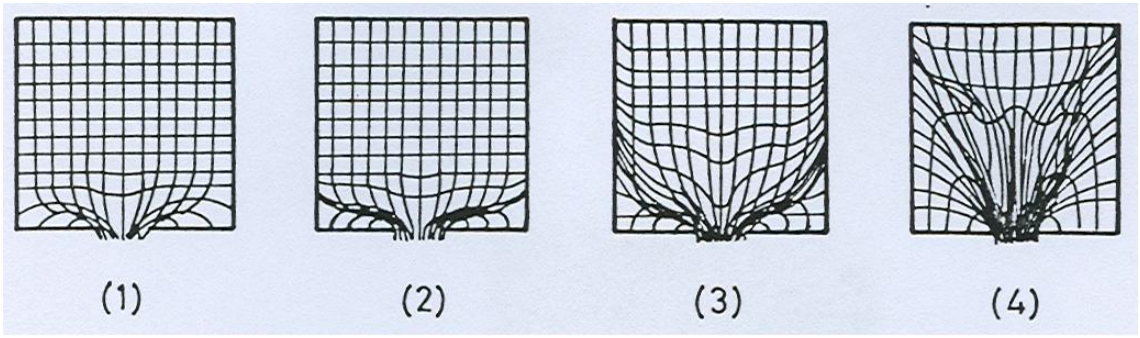
maksimum değerini aldıktan sonra düşmesine yol açar. Endirek ekstrüzyonda ise takozla alıcı arasında sürtünme olmadığı için ekstrüzyon basıncı ıstampa kursuna bağlı değildir. Dolayısıyla, endirek ekstrüzyonda basınç malzemenin matriste şekil değiştirmesi için gerekli olan değere yükseldikten sonra sabit kalır. Takozun alıcı içinde kalan uzunluğu küçüldükçe direk ekstrüzyon basıncı giderek endirek ekstrüzyon basıncına yaklaşır. İşlemin sonuna doğru gerek direk gerekse endirek ekstrüzyonda basınç yeniden artmaya başlar. Bunun nedeni alıcı içinde takozdan arta kalan ince bir disk şeklindeki malzemenin ıstampa tarafından matrise sokulmak istenmesidir. Ancak bu safhadan sonra üretim kusuru oluştuğu için takozun bu kısmı ekstrüzyona dahil edilmez ve üründen kesilerek atılır.



Şekil 1.4. Ekstrüzyon Basıncının Istampa Kursu İle Değişimi
a)Direk Ekstrüzyon b)Endirekt Ekstrüzyon

1.3.1.1. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyonda akış modeli önemli bir faktördür. Ekstrüzyonda akış modellerini gözlemek için, numuneyi uzunlamasına ikiye bölmek ve bu yüzeyleri karelere bölmek yaygın olarak kullanılan araştırma tekniklerinden birisidir.



Şekil 1.5. Direkt Ekstrüzyonda Dört Değişik Akış Tipinin Gösterimi

1- Kovan ve kalıp ara yüzeyinde hiç sürtünme olmadığı zaman en homojen akış modeli elde edilir.(Şekil 1.5.1) Bu tip akış yağlayıcının çok etkili olduğu veya indirekt ekstrüzyon durumunda meydana gelir.

2- Kovan cidarında ve kalıp ara yüzeyinde oluşan az miktarda sürtünme sonucu Şekil 1.5.2.deki akış modeli meydana gelir. Ekstrüzyon esnasında bir miktar metal kovan köşelerinde kalır.Buraya ölü metal bölgesi adı verilir.

3- Sürtünme bütün ara yüzeyler boyunca yüksek olduğu zaman ölü metal bölgesini yırtar ve üçüncü tip akış modeli oluşur. Dikkat edilirse, bu tip akış modelinde, yüzeylerde ve ölü metal bölgesinde biriken malzeme akış bölgesine giderek, ekstrüze olabilmektedir. Belirtilen noktalarda oksit tabakaları ve yağlayıcı maddeler yoğun bir şekilde bulunduğu için ekstrüze edilmiş parçalarda hatalara sebep olabilir (Şekil 1.5.3.).

4- Bu tipte yüksek kayma bölgeleri daha gerilere yayılır. Malzemenin akışını geciktiren yüksek kovan cidarı sürtünmesi ve artan sıcaklıkla hızlıca düşen malzeme akma gerilmesi, olayın meydana gelmesine sebep olan iki faktördür (Şekil 1.5.4.).

1.3.1.2. Ekstrüzyon İşleminde Etkili Olan Faktörler

Ekstrüzyon işlemi modern teknolojide yapıldığı sıcaklık aralığına göre (a) soğuk (oda sıcaklığında), (b) yarı – sıcak , (c) sıcak (980^0C üzerindeki sıcaklıklarda) ekstrüzyon olarak üçe ayrılır. Ekstrüzyon işlem ortamı yönünden klasik ve hidrostatik

olmak üzere iki ayrı karakterde yapılabilmektedir. Hidrostatik ekstrüzyonda yağlayıcı sıcaklık tesiri ile tam sıvı halde kovan, kalıp ve piston önünde eş basınç dağılımı oluşturmakta ve numune ile çevresindeki parçalar arasında ki sürtünmeyi pratik olarak sıfıra indirmek mümkün olmaktadır. (ATMACA, B.,1996)

1.3.1.3. Ekstrüzyon Basıncı ve Şekil Değişimi

Kovanın kesit yüzeyi (A), matris deliği kesit yüzeyi (a) ile gösterilirse, genellikle şekil değişimi

$\%\,\text{Oran} = \frac{(A-a)}{A} * 100$ olarak hesaplanmıştır.

Ekstrüzyon oranı ($\frac{A}{a}$) terimi ekstrüzyonda çok önemli bir terimdir. Özellikle sert malzemelerin ekstrüzyonunda, kovanın kesit yüzeyinin, iş parçasının kesit yüzeyine oranı uygun olmalıdır. Aksi takdirde basıncın aşırı yüksek olması gereği nedeni ile ekstrüzyon oldukça zorlaşacaktır. Ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon oranının logaritması ile, (c) sabit bir katsayı olmak üzere

$p = c.\log(\frac{A}{a})$ denklemine bağlı olarak lineer olarak değişir.

1.3.1.4. Hızın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi

Yumuşak metallerin ekstrüzyonundan elde edilen deneysel sonuçlardan hareketle ekstrüzyon hızı ve basıncı arasında, a ve b sabitler olmak üzere aşağıdaki gibi ampirik bir bağıntı vardır.

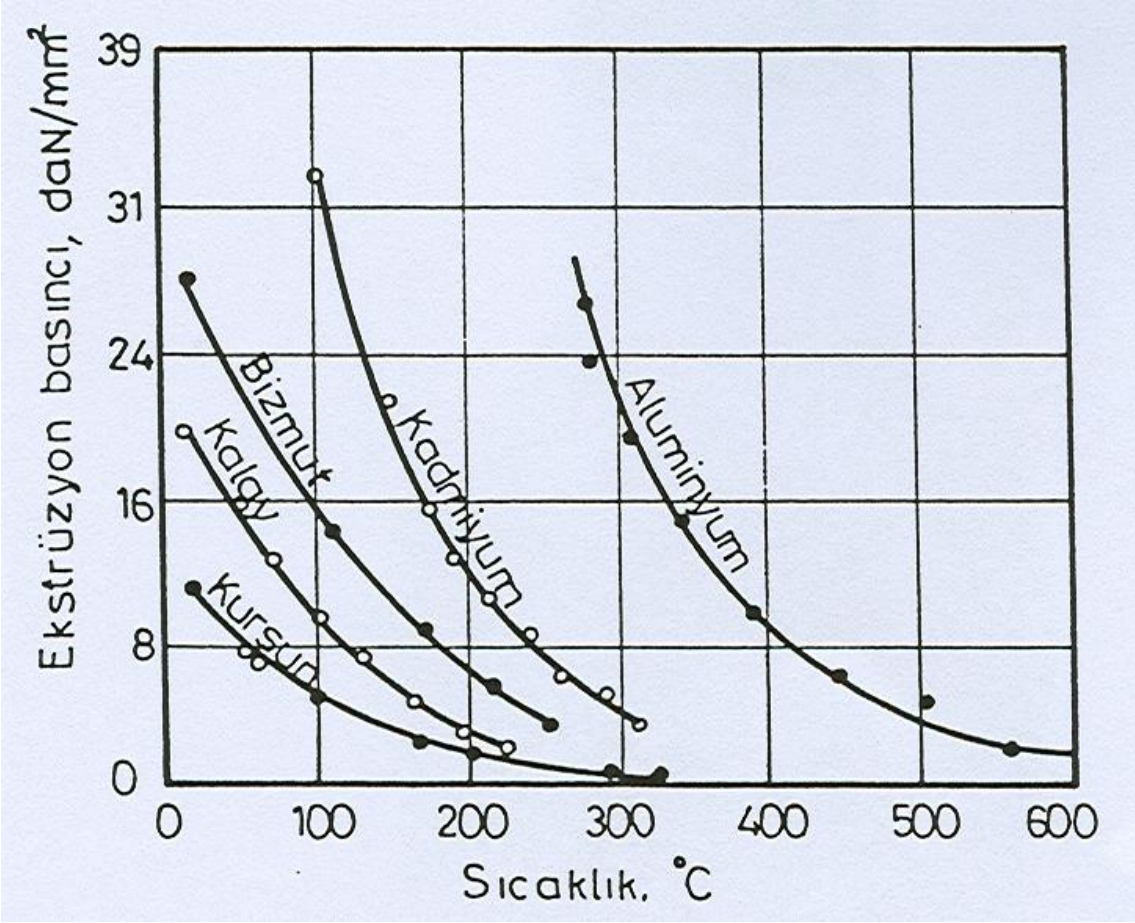
$v = b.p^{a}$

1.3.1.5. Ekstrüzyonda Isı Dengesi ve Sıcaklık Değişimleri

Sıcaklık ekstrüzyonda en önemli faktörlerden birisidir. Eğer sıcaklık arttırılırsa akış gerilmesi indirgenebilir, deformasyon kolaylaşır. Fakat aynı zamanda maksimum ekstrüzyon hızı azalır. Ekstrüzyon süresince sıcaklık değişimleri bilet sıcaklığına bağlıdır. Deformasyon sürtünme ile billet ve kovan arasındaki sıcaklık artar.

1.3.1.6. Ekstrüzyon Basıncına Sıcaklığın Etkisi

Ekstrüzyon basıncı sıcaklıkla azalmaktadır. Kontrollü ve teknolojik bir ekstrüzyon işleminde, analizler yaparak kalıpta oluşan gerilme değerlerini hesaplayabilirsek sıcaklığa bağlı uygun basıncı ve basınca bağlı olarak ta maksimum gerilme değerini aşmayız ve uygun bir plastik şekil verme işlemi hasarsız kaliteli ürünler elde ederiz.



Şekil 1.6. Sıcaklığın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi (Alüminyum için şekil değişimi % 90, ekstrüzyon hızı 0,2 mm / sn.; diğer metaller için şekil değişimi % 96, ekstrüzyon hızı 0,05 mm/sn)

1.4. Dişli Çarklar

Dişli çark mekanizmaları şekil bağı mekanizmalar olup, kuvvet bağlı makinelerden hem daha az yer kaplarlar hem de senkron bir hız iletimine imkan verirler. Dişliler hızı arttırmada ya da azaltmada kullanılan en yaygın mekanik güç iletme elemanlarıdır. Dişli dizaynı hayli karmaşık bir iştir ve dizaynda tüm dişli ve ünitesinin göz önünde bulundurulması gerekir. Dişlilerin karmaşık doğasından dolayı, hem boyutsal hassasiyetin tam sağlanma zorunluluğu ve hem de dişlerin şeklinin mükemmel olması gerekliliği dişli üretim prosesini özel bir konuma getirmektedir. Maksimum performansın gelişen teknoloji ile birlikte artması sanıldığı üzere yalnızca havacılık sektörünü değil otomobil sektörünü de ilgilendirmektedir. Görünen odur ki, uzay teknolojisi ve diğer kritik uygulamalar için dişli teknolojisinde artık daha ucuz, daha küçük, daha hafif ve daha dayanıklı dişli imal etme gereği vardır.

1.4.1. Dişli Üretim Prosesleri

Dişli üretim teknolojisinde pek çok değişik proses kullanılıyor olmasına rağmen aslında iki temel yol vardır: Talaşlı ve talaşsız şekil verme. Bu iki yöntem dişlinin hem ön şeklini elde etmek ve hem de bitirme işlemini yapmak üzere kullanılabilirken, bir yöntemle ön şekil verilmiş parça diğer yöntemle bitirme işlemine tabi tutulabilir. Örneğin ekstrüzyonla ön şekli verilmiş bir dişli parçaya raspalama ve traşlama işlemi ile son şekli verilebilir.

1.4.1.1. Çapaksız Yöntemler

Tarihin eski çağlarından uzanarak günümüze kadar gelmiş ve modern anlamda bilinen ilk üretim yöntemi olan dökümle şekillendirme çapaksız üretim yöntemlerinden birisidir. Yarı mamul ve mamul parçaların üretiminde bazı durumlarda yalnızca döküm yoluyla şekillendirme yeterli olmasına rağmen çoğu zaman dayanım ön plana çıktığında başka yöntemlere başvurulur. Diğer bir çapaksız üretim yöntemi olan haddeleme işlemi de metalik malzemelerin merdane adı verilen ve eksenleri etrafında dönen silindirler arasından geçirilerek plastik olarak şekillendirilmesine denmektedir.

Sinterleme yöntemi de geliştirilen diğer bir çapaksız imalat yöntemidir. Sinterleme işleminde, soğukta toz halden belirli bir şekil verilerek preslenmiş parçacıklar uygun sıcaklık ve sürede fırında tavlanır. Tek bileşenli toz sistemlerinde sinterleme sıcaklığı ergime sıcaklığının 2/3 veya 4/5 i kadardır. Eğer birden fazla bileşen içeriyorsa sinterleme işlemi ergime sıcaklığı en düşük sıcaklıkta ki bileşenin sıcaklığı üzerinden gerçekleştirilir.

Çapaksız yöntemler başlığı altına yer alan prosesler içinde klasik kapalı kalıpla dövme oldukça eski olmakla birlikte enjeksiyon yığma yöntemi ve ekstrüzyon ile net yada nete yakın dişli parçaları elde edilmesi oldukça yeni konular olarak göze çarpmaktadır. Son birkaç on yılda, talaşlı şekil vermeye göre maliyetleri önemli ölçüde düşürdüğü için dişli üretiminde dövme prosesinin kullanımı artmaktadır. Bununla beraber, net ya da nete yakın ölçülerde ve dar boyut toleranslarıyla dişli üretimi bir hayli zordur. Bu konudaki en büyük sıkıntı dişlinin evolvent profilinin ve bazı durumlarda oldukça keskin olan uç kısmının kalıpta doldurulma güçlüğüdür. Bilindiği gibi, yüksek şekillendirme kuvvetleri yalnızca parça kalitesi ile ilgili değil aynı zamanda kalıp ömrü ile de yakından ilişkili bir kavramdır. Bu yüzden dişli ve benzeri parçaların üretilmesinde, dövme proseslerine bir alternatif olarak yine bir plastik şekillendirme prosesi olan ekstrüzyon prosesinin kullanılması düşünülebilir.

1.4.2. Ekstrüzyonla Dişli ve Benzeri Parçaların Üretimi

Ekstrüzyonla üretimde ürünün kalitesi, optimum kalıp geometrisi ve bu geometriye bağlı malzeme akışı ile yakından ilişkilidir. Yağlayıcı kullanılarak gerçekleştirilen soğuk ekstrüzyon işlemi, yüksek dayanımlı parçaların iyi yüzey kalitesiyle eldesinde, basit simetrik parçalardan dişli gibi karmaşık parçalara kadar oldukça geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Örneğin otomobil starterlerinin pinyon dişlileri ekstrüzyon yöntemi ile üretilmektedir. Böylesi bir üretim yönteminde kalıp dizaynı ile ilgili en önemli parametre kabul edilebilir bir yük altında diş profilinin tamamen oluşturulabilmesidir. Pek çok durumda diş geometrisi malzemenin deformasyon davranışını ve ekstrüzyon kuvvetini önemli ölçüde etkiler.

Bu çalışmada dişli benzeri bir parçanın ekstrüzyonu ile ilgili deneysel bir çalışma yapılarak kalıp kovanında ortaya çıkan gerilme ve yer değiştirmelerin yer ve büyüklükleri hem analitik olarak hem de ticari olarak sıkça tercih edilen 3 farklı katı modelleme programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu sebeple takip eden bölümde sonlu elemanlar yöntemi, prensipleri ve tezde kullanılan 3 farklı programın(CATIA, I-DEAS ve ANSYS) tanıtımı yapılacaktır.

BÖLÜM 2

ÜRETİMDE BİLGİSAYARLARIN KULLANIMI

2.1. GİRİŞ

Mühendislikte karşılaşılan çözümü zor ya da uzun işlemler gerektiren problemlerin çözümünde bilgisayar programlarından faydalanırız. Geliştirilen paket programlar sayısal metotların etkin kullanımını, Sonlu Elemanlar Metodunun tasarımda tatbikini sağlamaktadır. Bazen formüllerini ve tüm açıklığıyla modellemesini elde ettiğimiz problemlerde dahi bilgisayar kullanmak zorunda kalınır ve günümüz mühendisliğinde bilgisayar kullanımı zorunluluk haline gelmiştir.

2.2. Mühendislikte Yaygın Olarak Kullanılan CAD /CAM Programları

- I-Deas
- Catia
- Ansys
- Unigraphics
- Solidworks v.b.

Günümüzde konstrüksiyon ve imalata yönelik çok sayıda ticari CAD / CAM programı mevcuttur. Programın tercihinde yetenekleri, fiyatı, kullanılabilirliği, gelişiminin devam edip etmediği, piyasadaki kullanım oranı vb. bizim için önemli olan hususları göz önünde bulundurmalıyız.

2.3. Mühendislikte Kullanılan Programlama Dilleri

- Visual Basic
- Turbo Pascal

- Fortran
- Delphi
- Mathcad v.b.

Programlardan mühendislikte makinelerin kontrolünde, çözümü uzun analitik işlemlerde, çözümünü gerçekleştiremeyeceğimiz boyutlara sahip matrisler içeren problemlerin çözümünde, deneyler sonucu elde edilen verilerin incelenmesinde vb. birçok alanda bunun yanında birçok CAD programı arkasında Basic ve Fortran programları çalışmaktadır.

Mühendislikte bilgisayar sistemlerinin diğer kullanım alanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

Bilgisayar Denetimli Sistemlerde

- Makinelerin Yönetilmesinde
- Otomatik Kontrol Sistemlerinde

Araştırma ve Deneylerde

- Ölçümlerde
- Verilerin Depolanmasında
- Bilimsel Araştırmalarda
- Haberleşmede faydalanılır.

2.4. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM)

Tasarım, bir ürünün kullanılma amacına uygun biçimde şekillendirilmesi ve ardından projelendirilerek modelinin oluşturulmasıdır. Modelin maruz kaldığı kuvvet, sıcaklık, titreşim vb etkilere karşı davranışlarının incelenmesi tasarım süreci içerisinde yer alır ve bu sürecin sonunda prototip imaline gidilir. Prototip imalinden itibaren geri

beslemeli olarak tasarım süreci devam eder ve üretim süreci prototip imaliyle başlar. Prototip üretimi için genelde CNC tezgâhlardan faydalanılır ancak CNC tezgahlarla işlem yapabilmek amacıyla işlem kodlarının hazırlanması gerekir. Günümüzde bu uzun süreci kısaltmak, seri üretime en kısa sürede ancak hatasız başlamak rekabet koşullarında uyum sağlayabilmek amacıyla ticari şirketler gelişen bilgisayar sistemleri ve yazılımlarından faydalanmaktadır.

2.4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

Mühendislik tasarımının ortaya çıkarılması, geliştirilmesi, analizi ve modifikasyonu desteklemek için bilgisayar sistemlerinin kullanılmasıdır.

Tasarlanan ürünün nasıl tepki vereceğini; CAD geometrisi üzerinde mühendislik analizleri yaparak hesaplayan, böylece tasarımı yenileme, iyileştirme olanağı sağlayan teknolojiye de ***bilgisayar destekli mühendislik*** denir. CAD sistemini kullanmanın temel nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

1-Tasarımcının üretkenliğini arttırmak
2-Tasarım kalitesini geliştirmek
3-İmalat için veri tabanı oluşturmak

CAD tasarım işlemi aşamaları ise şu şekildedir:

2.4.1.1. Modelleme

Modelleme mantığı CAD programlarında aynıdır. Tasarımda en uygun modele en kısa sürede ulaşmak esastır. En uygun modele ise optimizasyon ile ulaşılabilir.

Modelleme günümüzde en iyi tanıma / tanımlama aracıdır. Başarılı bir modelleme yapabilmek için aşağıdaki prensiplerin sağlanması gerekir. (Perçin, A.T., 2000,)

1-Geometrik Bilgiler	7-Emniyet
2-Hareket Bilgileri	8-Fiyat
3-İmalat Yöntemi	9-Çevre
4-Ergonomi	10-Zaman
5-Nakliye	11-Kullanım
6-Montaj	12-Malzeme v.b.

2.4.1.2. Montaj

Montaj bir makine sistemini oluşturan parçaların kurallar dahilinde birleştirilmesidir. Montaj sonucu elde edilen sistem bir grup olarak yine bir makinenin parçası ya da tamamıdır ve bu sisteme gerilme, mekanizma, titreşim ve termal analiz uygulanabilir.

2.4.1.3. Analiz ve Optimizasyon

Bu başlık altında pek çok parametre olmakla birlikte tez çalışmasına yönelik olarak aşağıda 2 temel parametreden bahsedilecektir.

2.4.1.3.1.Gerilme Analizi: Parça veya montaj üzerinde oluşan tüm gerilmelerin bilgisayar ortamında incelenmesidir. Gerilme analizi ile optimizasyona gidilerek modeller iyileştirilir. Catia, I-Deas ve Ansyste bu amaçla optimizasyon modülleri vardır. Gerilme analizinin aşamaları ise şunlardır:

1- Sınır şartlarının uygulanması
2- Eleman (mesh) boyutlarının seçilmesi
3- Kuvvet değerlerinin ve uygulama konumunun seçimi
4- Çözüm seti oluşturulması
5- Sonuçların görüntülenmesi

Bilgisayar destekli gerilme analizinde bilgisayar programları tarafından Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılır.

2.4.1.3.2.Optimizasyon: Şekil optimizasyonu parçaların veya sistemin mümkün olan en küçük boyutlarda tasarlanması olarak tanımlanabilir. Optimizasyon mantığı ise parça veya sistem için müsaade edeceğimiz tasarım parametrelerinin alt ve üst sınırını belirleriz. Uygulanacak gerilmenin üst sınırını belirleriz, yapılan optimizasyon ile en uygun modeli elde etmiş oluruz.

2.4.1.4.Değerlendirme ve Kontrol

Dizaynı, problem tanımlama safhasında belirlenen spesifikasyonlara göre ölçmektir. Bu değerlendirme işletim performansı, kalite, güvenirlilik ve diğer kriterleri değerlendirmek için prototip modelin test edilmesi ve imal edilmesidir.

2.4.1.5. Sonuçların Görüntülenmesi

Dizayn prosesin de en son safha sunmadır, yapılan mühendislik tasarımlarının belgelendirilmesi gereklidir. Bunlar genellikle teknik resimler ve raporlar şeklinde olabilir. Bunların hazırlanmaları imalat için şarttır. Bir CAD sisteminde yapılan tasarımların dokümantasyonu çiziciler ve yazıcıların kullanılmasıyla olur. Bu işlem direkt olarak bilgisayardaki çizimlerin kağıda yazıcı ve çiziciler yardımı ile aktarılması yoluyla gerçekleştirilir ve elde edilen çizimler geleneksel metotla yapılan teknik resimlere karşın çok daha hassas ve kaliteli olur.

2.4.2. Bilgisayar Destekli İmalat (CAM)

Yukarıda açıklanan işlem adımlarının nedeni yapılan tasarımların daha sonra imalatta faydalanacak şekilde bir veri tabanı oluşturmasına imkân vermesidir. Geleneksel metotlarla yapılan tasarımlardan sonra imalat mühendisleri tarafından iki ayrı bölümde iki ayrı prosedür uygulanmaktadır. Böylece tasarım ve imalat birimleri tarafından aynı olan bazı işlemler tekrarlanmakta, dolayısıyla belirli ölçüde zaman kaybı

ortaya çıkmaktadır. Buna karşın bir CAD / CAM sisteminde tasarım fazında bir veri tabanı oluşturulmakta ve aynı veri tabanı imalat için de kullanılmaktadır. Daha önce yapılan işlemler yinelenmemektedir. Bir başka deyişle, ekran başında tasarlanan parça, kalıp vb. ürün yine ekran başında işlenmektedir. Bu işleme sırasında sahip olunan takım tezgâhının ve bu tezgâhın mevcut kesici kalem vb. özellikleri bilgisayarla simüle edilebilmektedir. Bu şekilde NC parça programlama yapılmış ve o parça için NC kodlama elde edilmiş olur. Daha sonra bu NC verileri takım tezgâhına gerek şerit, gerek manyetik bant ve gerekse de doğrudan bağlantı ile aktarılır. Böylece imalatı düşünülen parça tasarımdan imaline kadar CAD/CAM sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olur. CAD/CAM programları kullanılarak bir parçanın toplam üretim zamanı aşağıdaki yüzdelik dilimlerine ayrılır:

- Hazırlık ve Konstrüksiyon %50
- Makine imalat %25
- Montaj %25

CAD Programları ile tasarım süresi kısalmış ve buna bağlı olarak üretim hızı artmıştır. Günümüzde CAD programlarını büyük firmalar ve yan sanayileri ile rekabete açık diğer firmalar da kullanmaktadır.

2.5. Sonlu Elemanlar Metodu

İmal edilmiş konstrüksiyonların kontrolünde zaman kaybına neden olan deneylerin yükünü azaltmak için kullanılan sonlu elemanlar yöntemine dayalı bilgisayar yazılımları günümüzün vazgeçilmez unsurları olmuştur. İnsan karmaşık sistemleri ve davranışları bütünüyle kavrayamadığından dolayı çoğu zaman daha kolaylıkla anlaşılabilen bileşenlerine ya da elemanlarına ayırıp incelemeyi ve sonuçları yeniden birleştirerek o sistem ve davranış hakkında bilgi edinmeyi tercih etmiştir. Bu yüzden karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır bir hale getirilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Örneğin; gerilme analizi üzerinde çalışan mühendisler, gerilme problemini

basit kiriş, plak, silindir, küre gibi geometrisi bilinen şekillerle sınırlarlar. Bu elde edilen sonuçlar çoğu kez problemin yaklaşık çözümüdür ve bazen doğrudan bazen de bir katsayı ile düzeltilerek kullanılır. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir. Öyle problemler vardır ki, tam çözüm imkânsız kabul edilerek yaklaşık çözüm tek yol olarak benimsenir. Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmiştir.

Mühendislik analizinde rastlanan problemlerden önemli bir kısmını "denge problemleri" teşkil eder. Bunlar kararlı durum problemleridir. Kararlı durumda ısı dağılımı, kararlı ses altı hızında akışkan akışı elastik yapıda denge gerilmeleri, elektrostatik alanlar ve kararlı doğru ve alternatif akım problemleri gibi konular bu gruba girer. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (basınç, sıcaklık, yer değiştirme, gerilme vb.) sonsuz sayıda değere sahiptir. Sürekli ortamın belirli bir bölgesi de aynı şekilde sürekli ortam özelliği göstereceği tabiidir. Bu alt bölgede alan değişimi sonlu sayıda bilinmeyeni olan bir fonksiyon ile tanımlanır. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden fonksiyon olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri aynı karakteristik özelliği gösteren bölgeler olduğundan bu bölgelere ait olan denklem takımları birleştirilerek bütün sistemi ifade eden lineer denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir. (Solmaz, E., 1990)

Sonlu elemanlar metodunun üç temel niteliği vardır. İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayırır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de

aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyeni olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir.

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca unsurları şöyle sıralayabiliriz:

a) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir. Karmaşık şekillerin incelenmesinde kolaylıklar sağlar.

b) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.

c) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.

d) Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.

e) Sınır şartları kolayca uygulanabilir.

f) Sonlu elemanlar metodu' nun hem fiziksel anlamı ve hemde matematik temelleri vardır.

g) Sürekli, süreksiz veya değişken yükler kolaylıkla ele alınabilir.

2.5.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodunun çok çeşitli mühendislik alanlarında uygulanabilmesi ve bilgisayarlar için genelleştirilmesi, yöntemin, konstrüktörler ve araştırma mühendisleri tarafından benimsenmesine yol açmıştır. Sonlu Elemanlar Metodunun ilk ve en geniş uygulama alanı gerilme analizidir. Makinelerin emniyetli ve ucuz olması için hızlı ve hassas bir gerilme analizi son derece önemlidir.

Sonlu Elemanlar Metodu aşağıdaki tip problemlerin çözümünde sıkça kullanılmaktadır:

2.5.1.1. Denge Problemleri: Bu tip problemlerde sistemin durumu zamanla değişmez. Makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda karalı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri bu gruba girer.

2.5.1.2. Özdeğer Problemleri: Sınır değer problemleri olarak ta adlandırılırlar. Özdeğer problemlerinde özel ve kritik değerler tahmin edilmelidir. Yapıların stabilitesi, öz titreşimleri, lineer viskoelastik, sönümleme, burkulma, göl ve limanlarda dalgaların serbest titreşimleri, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması gibi problemler bu gruba girerler.

2.5.1.3. Yayılma Problemleri: Zamana bağlı problemlerdir. Sistemin ardışık durumları başlangıç şartlarına bağlı olarak belirlenir. Yapıların dalgalara karşı davranışı, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akışlar bu gruba girerler.

2.5.2. Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Yaklaşımlar

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir. Bir elemana ait denklemlerin elde edilmesinde değişik metotlar kullanılabilir. Bunlar içinde en çok kullanılan dört temel yöntem şunlardır:

2.5.2.1.Direkt yaklaşım: Bu yaklaşım daha çok tek boyutlu ve basit problemler için uygundur.

2.5.2.2. Varyasyonel yaklaşım: Bir fonksiyonelin ekstremize yani maksimum ve minimum edilmesi demektir. Katı cisim mekaniğinde en çok kullanılan fonksiyoneller potansiyel enerji prensibi, komplementer (tümleyen) potansiyel enerji prensibi ve Reissner prensibi olarak sayılabilir. Fonksiyonelin birinci türevinin sıfır olduğu noktada

fonksiyonu ekstremize eden değerler bulunur. İkinci türevinin sıfırdan büyük veya küçük olmasına göre bu değerin maksimum veya minimum olduğu anlaşılır.

2.5.2.3. Ağırlıklı kalanlar yaklaşımı: Bir fonksiyonun çeşitli değerler karşılığında elde edilen yaklaşık çözümü ile gerçek çözüm arasındaki farkların bir ağırlık fonksiyonu ile çarpılarak toplamlarını minimize etme işlemine "ağırlıklı kalanlar yaklaşımı" denir. Bu yaklaşım kullanılarak eleman özelliklerinin elde edilmesinin avantajı, fonksiyonellerin elde edilemediği problemlerde uygulanabilir olmasıdır.

2.5.2.4. Enerji dengesi yaklaşımı: Bir sisteme giren ve çıkan termal veya mekanik enerjilerin eşitliği ilkesine dayanır. Bu yaklaşım bir fonksiyonele ihtiyaç göstermez.

Sonlu elemanlar metodu ile problem çözümünde kullanılacak olan yaklaşım çözüm işleminde izlenecek yolu değiştirmez. Çözüm yöntemindeki adımlar şunlardır:

a) Cismin sonlu elemanlara bölünmesi,
b) İnterpolasyon fonksiyonlarının seçimi,
c) Eleman direngenlik matrisinin teşkili,
d) Sistem direngenlik matrisinin hesaplanması,
e) Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması,
f) Sınır şartlarının belirlenmesi,
g) Sistem denklemlerinin çözümü. (Topçu, M., Taşgetiren, S.,1998)

Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar ise boyutlarına göre dört kısma ayrılır:
1- Tek boyutlu elemanlar: Bu elemanlar tek boyutlu olarak ifade edilebilen problemlerin çözümünde kullanılır.

2- İki boyutlu elemanlar: İki boyutlu (düzlem) problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Bu grubun temel elemanı üç düğümlü üçgen elemandır. Üçgen elemanın altı, dokuz ve daha fazla düğüm ihtiva eden çeşitleri de vardır. Düğüm sayısı seçilecek interpolasyon fonksiyonunun derecesine göre belirlenir. Üçgen eleman, çözüm

bölgesini aslına uygun olarak temsil etmesi bakımından kullanışlı bir eleman tipidir. İki üçgen elemanın birleşmesiyle meydana gelen dörtgen eleman, problemin geometrisine uyum sağladığı ölçüde kullanışlılığı olan bir elemandır. Dört veya daha fazla düğümlü olabilir. Dörtgen eleman çoğu zaman özel hal olan dikdörtgen eleman şeklinde kullanılır.

3- Dönel elemanlar (Halka elemanlar): Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde dönel elemanlar kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri ekseni etrafında bir tam dönme yapmasıyla oluşurlar. Gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, eksenel simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözme olanağı sağladığı için çok kullanışlıdırlar.

4- Üç boyutlu elemanlar: Bu grupta temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması veya daha genel olarak altı yüzeyli elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir.

2.5.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Çözüm Adımları

Sonlu elemanlar yöntemi ile incelenecek herhangi bir cismin çözüm bölgesinin sınırları eğri denklemleri ile tanımlanmışsa, kenarları doğru olan elemanların bu bölgeyi tam olarak tanımlaması mümkün değildir. Böyle durumlarda bölgeyi gereken hassasiyette tanımlamak için elemanların boyutlarını küçültmek, dolayısıyla adetlerini artırmak gerekmektedir. Bu durum çözülmesi gereken denklem sayısını artırır, dolayısıyla gereken bilgisayar kapasitesinin ve zamanın büyümesine sebep olur. Bu olumsuzluklardan kurtulmak için, çözüm bölgesinin eğri denklemleri ile tanımlanan sınırlarına uyum sağlayacak eğri kenarlı elemanlara ihtiyaç hissedilmektedir. Böylece hem çözüm bölgesi daha iyi tanımlanmakta hem de daha az sayıda eleman kullanılarak çözüm yapılabilmektedir. Bu elemanlar üzerindeki düğüm noktaları bir fonksiyon ile tanımlanır. İzoparametrik sonlu elemanın özelliği, her noktasının konumunun ve yer değiştirmesinin aynı mertebeden aynı şekil (interpolasyon) fonksiyonu ile tanımlanabiliyor olmasıdır. İzoparametrik elemanlara eşparametreli elemanlar da denir.

İzoparametrik elemanların şu özellikleri vardır:

a) Lokal koordinatlarda iki komşu eleman arasında süreklilik sağlanıyorsa, izoparametrik elemanlarda da sağlanıyor demektir.
b) Eğer interpolasyon fonksiyonu lokal koordinat takımındaki elemanda sürekli ise, izoparametrik elemanda da süreklidir.
c) Çözümün tamlığı lokal koordinatlarda sağlanıyor ise izoparametrik, elemanlarda da sağlanır.

İzoparametrik elemanların anılan özellikleri dolayısıyla, interpolasyon fonksiyonları lokal koordinatlarda seçilir.

2.5.3.1. İnterpolasyon Fonksiyonlarının Seçimi

İnterpolasyon fonksiyonu alan değişkeninin eleman üzerindeki değişimini temsil etmektedir. İnterpolasyon fonksiyonunun belirlenmesi seçilen eleman tipine ve çözülecek denklemin derecesine bağlıdır. Ayrıca interpolasyon fonksiyonları şu şartları sağlamalıdır:

a- İnterpolasyon fonksiyonunda bulunan alan değişkeni ve alan değişkeninin en yüksek mertebeden bir önceki mertebeye kadar olan kısmi türevleri eleman sınırlarında sürekli olmalıdır.
b- İnterpolasyon fonksiyonunda bulunan alan değişkeninin bütün türevleri, eleman boyutları limitte sıfıra gitse bile alan değişkenini karakterize etmelidir.
c- Seçilen interpolasyon fonksiyonu koordinat değişimlerinden etkilenmemelidir. Buna ‘’ geometrik izotropi ‘’ veya ‘’ geometrik sabitlik’’ denir.

Hem yukarıdaki şartları sağlamaları hem de türev ve integral almadaki kolaylığından dolayı interpolasyon fonksiyonu olarak genelde polinomlar seçilir. Seçilen polinom, yukarıdaki şartların gerçekleşmesi için uygun terimleri içermelidir.

2.5.3.2. Eleman Direngenlik Matrisinin Elde Edilmesi

Eleman direngenliğinin bulunması, elemana etki eden dış etkenler ile alan değişkenleri arasında bir ilişki kurmak anlamına gelmektedir. Eleman direngenliğini elde ederken çözülecek problemin konusu, alan değişkeni, seçilen eleman tipi, seçilen interpolasyon fonksiyonu, eleman özelliklerini elde ederken kullanılan metot gibi pek çok faktör göz önüne alınmak durumundadır. Etki eden bu faktörlere göre de eleman direngenliğinin elde edilmesinde değişik yollar izlenir.

2.5.3.3. Sistem Direngenlik Matrisinin Oluşturulması

Sistem direngenlik matrisi sistemin düğüm sayısı ve her düğümdeki serbestlik derecesine bağlı olarak belirlenir. Elemanlar için hesaplanan direngenlik matrisleri, elemanın üzerindeki düğüm numaralarına bağlı olarak genel direngenlik matrisinde ilgili satır ve sütununa yerleştirilir. Farklı elemanlar tarafından ortak kullanılan düğümlerdeki terimler genel direngenlik matrisinin ilgili satır ve sütununda üst üste toplanmalıdır. Elemanların düğüm numaralaması bir sistematiğe göre yapılırsa genel direngenlik matrisinde elemanlar diagonal üzerinde üst üste toplanır. Genelde direngenlik matrisi simetriktir.

2.5.3.4. Sisteme Etki Eden Kuvvetlerin Bulunması:

Bir problemde sisteme etki edebilecek kuvvetler şunlar olabilir:

2.5.3.4.1. Tekil Kuvvetler: Tekil kuvvetler hangi elemanın hangi düğümüne ne yönde etki ediyorsa genel kuvvet vektöründe etki ettiği düğüme karşılık gelen satıra yerleştirilir. Problemin cinsine göre tekil yük kavramı değişebilir Örneğin ısı iletimi

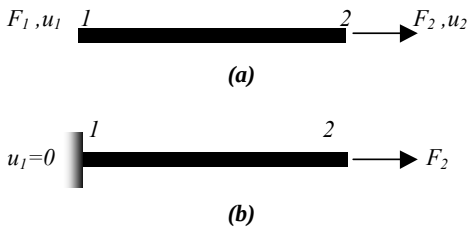
probleminde elastisite problemindeki tekil yüke karşılık noktasal ısı kaynağı veya tanımlı ısı akışı yükleri bulunmaktadır.

2.5.3.4.2. Yayılı Kuvvetler: Bu kuvvetler bir kenar boyunca ya da bir alanda etkili olurlar.

2.5.3.4.3. Kütle kuvvetleri: Eleman hacmi için geçerli olan merkezkaç kuvveti ve ağırlık kuvvetleri gibi kuvvetlerdir.

2.5.3.5. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Her problemin doğal ya da yapay sınır şartları vardır. Sınır şartları, cismin çeşitli kısımlarındaki elastik yer değiştirmelerin ölçülebileceği bir referans sağlar. Bir çubuk elaman ele alalım (Şekil 2.5.1.a). Bu eleman için bir sınır şartı tanımlanmazsa, etki eden düğüm kuvvetlerinin büyük, küçük yada eşit olmasına göre hareket eder ve deplasman $u_1 = u_2$ olarak çubukta rijit cisim hareketi gözlenir.



Şekil 2.1. Konsol Kiriş Sonlu Eleman Modeli

Birinci durumdaki rijit cisim hareketi genel direngenlik matrisinin tekil olmasına sebep olur. Bu durum u_1 ve u_2 'nin ölçüleceği bir referans noktasının belirlenmemiş olmasına bağlanabilir. Gerçekte bir referans noktası sağlanmak zorundadır. Aynı çubuğu Şekil 2.5.1.b. deki gibi düşündüğümüzde;

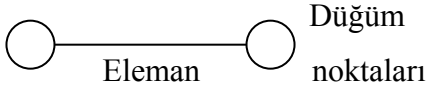
$$u_{2=} F_2 / k \tag{2.1}$$

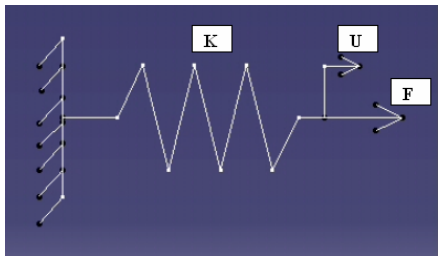
şeklinde ifade edebiliriz. Çünkü u_1 =0 çubuğun sınır şartıdır. Böylece sınır şartları; cismin belli parçasında veya parçalarındaki yer değiştirmelerde yapılan kısıtlamalardır denilebilir. Bu kısıtlamalar, cismin rijit yer değiştirmesine engel olur ve uygulanan dış yüklerin cisim tarafından taşınmasını sağlar. Aynı sınır şartları problemin cinsine göre sonlu elemanlar metodunun uygulandığı diğer vektörel ve skaler alan problemleri için de tanımlanır. (Topçu, M., Taşgetiren, S.,1998,)

2.5.4. Sonlu Eleman Modelleri

2.5.4.1. Tek Boyutlu Elemanlar

Tek boyutlu elemanlar gerilme-şekil değiştirme ve şekil değiştirme-deplasman ilişkileri yardımıyla bir boyutlu problemlerin sonlu elemanlar metodu ile çözümüne ulaşılabilir. Yüklemeler genelde kütle (ağırlık) kuvvetleri ($\{f\}$), yüzey kuvvetleri ({T}) ve tekil basınç (P_i) olmak üzere üç şekilde bulunur. Bu kuvvetlerin bir cisim üzerindeki konumları Şekil 2.2.de gösterilmiştir. Kütle kuvvetleri, tüm hacme dağılmış kuvvetler olup yerçekimi nedeniyle oluşan cismin ağırlığı örnektir olarak verilebilir. Yüzey kuvvetleri cismin yüzeyine dağılmış kuvvetler olup birim yüzey alanına düşen kuvvet olarak ele alınır. Bir boyutlu problemlerde yüzey kuvveti birim boya etkiyen kuvvet olarak ta tanımlanabilir. Sürtünme nedeniyle oluşan kuvvetler ve basınç kuvvetleri buna örnek olarak gösterilebilir. Son olarak $\{P_i\}$, i noktasına etki eden tekil kuvvet ve $\{u_i\}$ de bu noktanın x doğrultusundaki yer değiştirmesidir.





Şekil 2.2. Yay Elemanı (Tek boyutlu eleman)

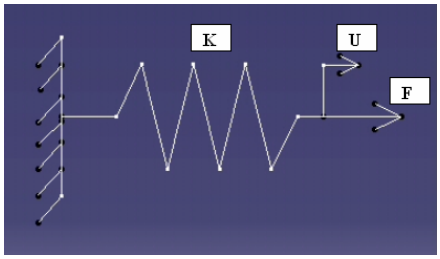
2.5.4.1.1. Gerilme Analizi

Tek boyutlu elemanlarda gerilme analizi adımları aşağıda verilmiştir:

1-Eleman rijitlik matrislerinin hesaplanması
2-Eleman rijitlik matrislerinin birleştirilerek ana rijitlik matrisinin oluşturulması
3-Sınır şartlarının uygulanması
4-Lineer denklem sisteminin çözümü
5-Gerilmenin hesaplanması

Gerilme analizi yapabilmenin ilk yolu eleman rijitlik matrisinin hesaplanmasıdır. Bunun için tek boyutlu eleman bir yay olarak düşünülür ve yay katsayısı olan k değeri elemanın rijitlik matrisi olarak göz önüne alınır(Şekil 2.3.).

E: Elastisite modülü
A: Kesit Alanı
L: Eleman uzunluğu



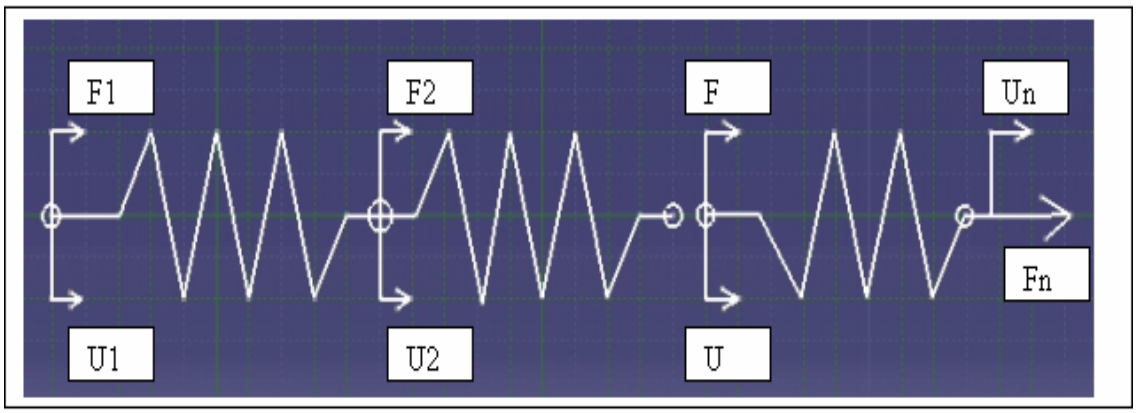
Şekil 2.3. Yay Elemanı

R: Yay iç kuvvetleri = F

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} K_1 & -K_1 \\ -K_1 & K_1 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix}$$ Eleman Rijitlik Matrisi (2.2)

Serbestlik Derecesi = Matris Boyutları
SD=2

2.2. denklemi kullanılarak n sayıda elemandan oluşan sistem için ana rijitlik matrisinin oluşturulması Şekil 2.4 te göz önüne alınarak şu şekildedir



Şekil 2.4. n Sayıda Elemandan Oluşan Sistem

Ana rijitlik matrisi karesel ve simetrik olup aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \cdots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} K_1 & -K_1 & 0 & .....0 \\ -K_1 & K_1+K_2 & -K_2 & .....0 \\ 0 & -K_2 & K_2+K_3 & .....0 \\ & & & .....0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.....K_n \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \cdots \\ U_n \end{Bmatrix} \qquad (2.3)$$

U_1 ve U_4 yer değiştirme sınır şartları olarak sıfır olması durumunda.

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} K_1 & -K_1 & 0 & 0 \\ -K_1 & K_1+K_2 & -K_2 & 0 \\ 0 & -K_2 & K_2+K_3 & -K_3 \\ 0 & 0 & -K_3 & K_3 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{Bmatrix} \qquad (2.4)$$

Sondan bir evvelki adım lineer denklem sisteminin çözümüdür.

$$F_2 = (K_1 + K_2)U_2 + (-K_2)U_3$$
$$F_3 = (-K_2)U_2 + (K_2 + K_3)U_3 \qquad (2.5)$$

Buradan, U_2 ve U_3 mm değerlerini elde ederiz. Son adım olarak ta yer değiştirme değerlerinden gerilmelerin hesaplanması kalır.

$$\sigma = E.\varepsilon \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad \sigma < \sigma_{ak} \text{ olmalıdır. (Emniyetli)} \qquad (2.6)$$

2.5.4.2. İki Boyutlu Elemanlar

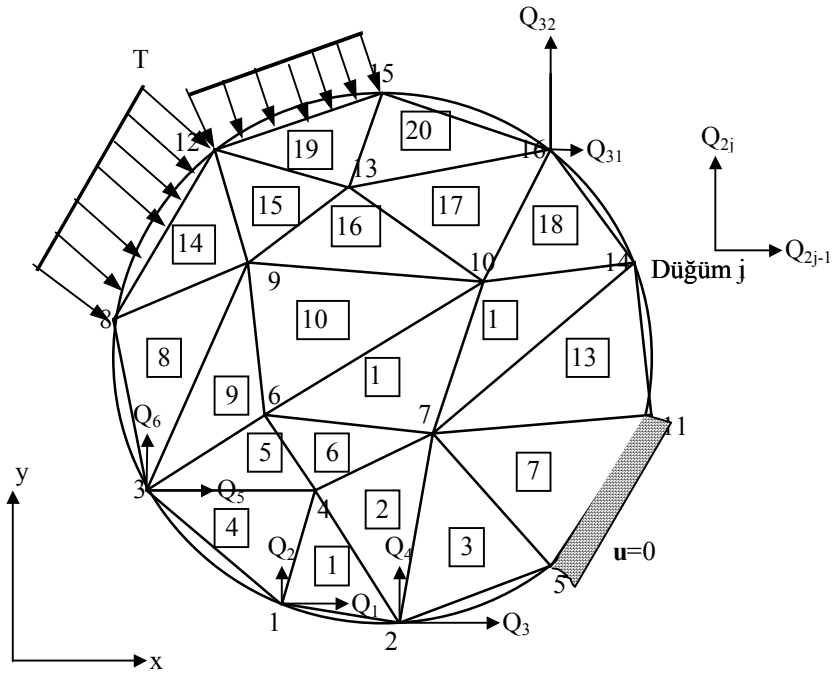
2.5.4.2.1. Üçgen Elemanlar

İki boyutlu problemlerin sonlu eleman modelinin oluşturulmasında eleman içinde şekil değişiminin sabit olduğu üçgen elemanlar kullanılabilir. Üçgen eleman dörtgen ve sekizgen elemana doğru artan düğüm noktalarına sahip elemanlarla da sistemimizi sonlu elemanlarına ayırabiliriz. Üçgen elemana ait rijitlik matrisleri aşağıda verilmiştir.

Üçgen elemanlarla modelleme işine çözüm bölgesinin üçgenlere ayrılması ile başlanır (Şekil2.5). Üçgenlerin köşelerinin birleştiği noktalar düğümleri oluşturmaktadır. Böylece bir üçgen eleman üç düğüm ve üç kenardan meydana gelir. Elemanlar eğriliklere sahip sınırlar dışında bütün bölgeyi kaplamıştır. Esasen, sınırlardaki kaplanmamış bölgeler de daha küçük üçgenlerin seçilmesiyle kaplanabilir. Sonlu elemanlar metodu yaklaşık bir çözüm tekniği olduğundan bu kaplanmamış kısımlar da yaklaşıklığın bir bölümünü oluşturmakta ve kabul edilebilir sınırlar içinde bulundukları sürece sonuçların güvenilirliğini etkilememektedir.

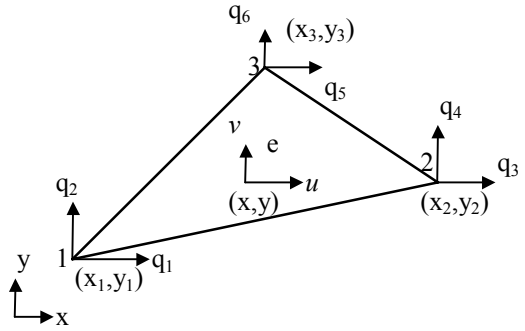
Burada göz önüne alınan iki boyutlu problemde her düğüm x ve y yönünde yer değiştirebilir. Bu nedenle, her düğümün iki serbestlik derecesi vardır. Bu nedenle

eleman (3*2) 6 serbestlik derecesine sahiptir. Üçgen elemana ait rijitlik matrisi buna bağlı olarak $[K]_{6x6}$ olacaktır.



Şekil 2.5. Çözüm Bölgesinin Üçgen Elemanlara Ayrılması

Bilgisayar uygulaması açısından üçgen eleman bilgileri, düğüm noktası koordinatları ve eleman süreklilik bilgileri matrisi şeklinde gösterilebilir. Düğüm noktası koordinatları, toplam düğüm sayısını ve düğümün iki koordinatını gösteren iki boyutlu bir dizi olarak ele alınabilir. Elemanlar arasıdaki süreklilik için de eleman numaraları ve her elemanın genel numaralamada sahip olduğu düğümlerin numaralarını gösteren iki boyutlu bir dizi oluşturulabilir (Şekil 2.6.)



Şekil 2.6. Üçgen Eleman

Üçgen elemanda seçilen şekil fonksiyonu eleman içinde şekil değiştirmeyi sabit olacak şekilde modelleme imkanı veriyorsa buna sabit şekil değişimli üçgen eleman denir. Bir eleman içindeki herhangi bir noktanın yer değiştirmeleri, elemanın düğüm noktalarının yer değiştirmelerinden faydalanılarak hesaplanır. Bu da şekil fonksiyonları yardımıyla yapılabilir ve şekil fonksiyonları lineer fonksiyonlardır. 1, 2 ve 3 düğümlerine karşılık gelen N_1, N_2 ve N_3 şekil fonksiyonları elde edilmiştir.. Birinci düğümde N_1 şekil fonksiyonunun değeri 1 olup diğer düğümlerde sıfıra doğru lineer olarak azalır. Dolayısıyla N_1 şekil fonksiyonu bir düzlem yüzey belirtir. 2. ve 3. düğümde 1 değeri alarak benzer birer yüzey oluşturan N_2 ve N_3 şekil fonksiyonları da sırasıyla 1-3 ve 1-2 düğümlerinde 0 değerini alır. Bu şekil fonksiyonlarının bütün lineer kombinasyonları da birer düzlem yüzey belirtir. Örneğin, $N_1+N_2+N_3$ şeklindeki bir kombinasyon da düğüm noktalarındaki yüksekliği 1 olan bir yüzey oluşturur ki bu yüzey elemana paraleldir. Bunun sonucu olarak;

$N_1+N_2+N_3 = 1$ yazılabilir.

Bir düğüm noktasının x ve y koordinatlarında yer değiştirmesinden

$$[J] = \begin{bmatrix} x_{13} & y_{13} \\ x_{23} & y_{23} \end{bmatrix}$$ 2x2 boyutlarındaki matris elde edilir. (2.7)

$$\det[J] = x_{13}y_{23} - x_{23}y_{13} \tag{2.8}$$

Üçgen alan bilgilerinden, det[J]'nin büyüklüğünün; üçgenin alanının iki katı olduğu görülür. Eğer 1, 2, 3 noktaları saat ibresinin tersi yönünde olursa det[J] pozitif çıkar. Bu durumda üçgenin alanını,

$$A = \frac{1}{2}|\det J| \tag{2.9}$$

olarak yazmak mümkündür.

Üçgenin üç adet düğüm noktasının (3x6)'lık eleman şekil değiştirme- deplasman matrisi:

$$[B]=\frac{1}{\det J}\begin{bmatrix} y_{23} & 0 & y_{31} & 0 & y_{12} & 0 \\ 0 & x_{32} & 0 & x_{13} & 0 & x_{21} \\ x_{32} & y_{23} & x_{13} & y_{31} & x_{21} & y_{12} \end{bmatrix} \tag{2.10}$$

şeklinde elde edilir. Görüldüğü gibi [B] matrisinin bütün elemanları düğüm koordinatlarından elde edilen sabit terimlerdir.

Düzlem gerilme hali için elde edilmiş elastisite matrisi ise:

$$D=\frac{\mathrm{E}}{1-\nu^2}\begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

şeklinde elde edilmiştir.

Eleman rijitlik matrisi, $[K]_{6x6}$ şu şekilde hesaplanır:

$$[K]_e = t_e A_e [B]^T [D][B] \tag{2.12}$$

t: Eleman kalınlığı

A:Elemanın alanı

[B]: üç adet şekil değiştirmenin, altı adet düğüm yer değiştirmeleri ile ilişkisini belirleyen (3x6)'lık eleman şekil değiştirme-deplasman matrisi

[D]: Elastisite matrisi

T: Transpoz

E: Elastisite matrisi

ν : Poisson oranı (0.29- 0.3)

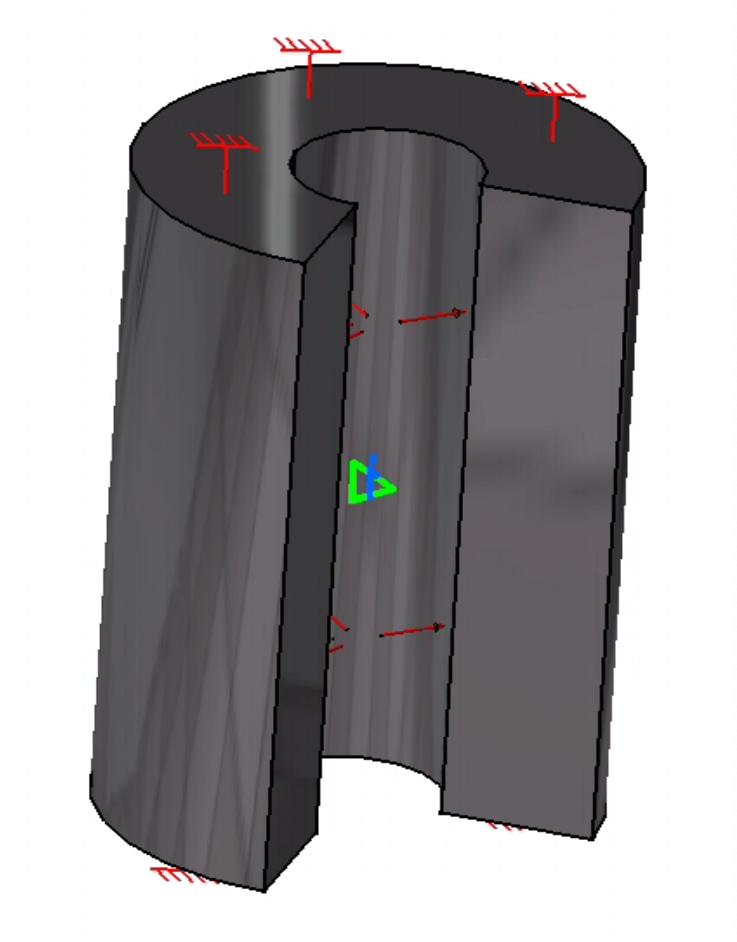
$[K]$ rijitlik matrislerini oluşturduğumuzda kare ve simetrik bir matris elde edilir. Rijitlik matrisine sınır şartlarını uygulayarak lineer denklem sistemi çözülür ve düğüm noktalarına ait yer değiştirmeleri hesaplanır. Eleman içindeki şekil değiştirmeler sabit olduğundan bunlara karşılık gelen gerilmeler de sabittir. Bu nedenle her eleman için bir gerilme hesaplanması yeterlidir. Gerilme ile yer değiştirmeler arasındaki ilişki;

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \tag{2.13}$$

Sonlu eleman denkleminin çözülmesi ile elde edilen sistem deplasman vektöründen eleman süreklilik değerleri de dikkate alınarak elemana ait düğüm deplasman değerleri çıkarılır. Bu değerlerin kullanılmasıyla elemana ait gerilme değeri hesaplanabilir. Gerilmelerin ara bölgelerdeki değerlerini elde etmek için interpolasyon yapılmak istenirse hesaplanan değerlerin elemanların merkezindeki değerler olduğu kabul edilebilir.

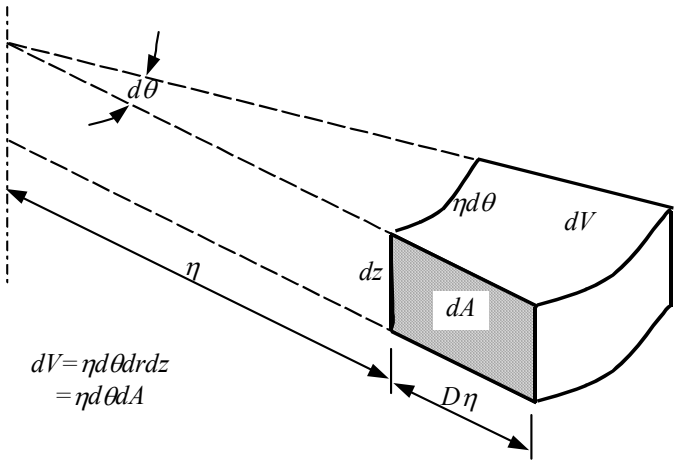
2.5.4.2.2. Dönel Elemanlar

Üç boyutlu eksenel simetriye sahip cisimler ve dönen cisimlerin yükleme durumu da eksenel simetriye uygun olduğu zaman bazı basitleştirmelerle iki boyutlu problem olarak ele alınabilirler. Şekil 2.7.ve 2.8.de görüldüğü gibi *z* ekseni etrafında çepeçevre simetri olması nedeniyle deformasyonlar ve gerilmeler, θ dönme açısından bağımsızdırlar. Bu nedenle, problem *r-z* düzleminde, şekilde görülen alan üzerindeki iki boyutlu bir problem olarak ele alınabilir. Kalınlık olarak ta elemanın ağırlık merkezinin çevresi alınabilir. Yerçekimi kuvvetleri eğer *z* doğrultusunda etkiyorsa hesaba katılabilir. Volan benzeri dönel cisimlerdeki merkezkaç kuvvetleri kütle kuvvetlerine ilave edilerek ele alınır.



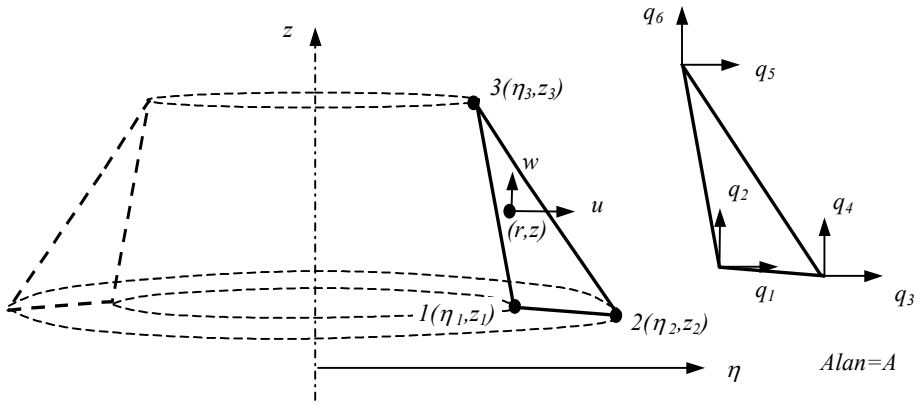
Şekil 2.7. İç Basınç Uygulanmış ve Kesit Alınmış Kovan

Kalın cidarlı borudan şekil 2.7. parçacığı elde ederiz.



Şekil 2.8. Eksenel Simetrik Hacim

Dönel iki boyutlu çözüm bölgesi üçgen elemanlara bölünmektedir. Her bir eleman η-z düzleminde bir üçgen olup, z ekseni etrafında üçgenin dönmesiyle elde edilmiş bir halka şeklindedir (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Eksenel Simetrik Üçgen Eleman

Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki bağıntı $\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\}$ dir. Eksenel simetrik problem için elastisite matrisi, (*4x4*) boyutlarında olup;

$$[D]=\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}\begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & \frac{\nu}{1-\nu} \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 & \frac{\nu}{1-\nu} \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

şeklindedir. Üçgen elemanın üç düğüm noktasında, her düğüm noktasının da iki serbestlik dercesine bağlı Jakobiyen matrisi ise,

$$[J]=\begin{bmatrix} \eta_{13} & z_{13} \\ \eta_{23} & z_{23} \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

det J = $\eta_{13}\, z_{23}$ - $\eta_{23}\, z_{13}$ olup

Elemanın alanı $A_e = \frac{1}{2}|\det J|$ şeklinde hesaplanır

.

Diğer taraftan, *{ε}=[B]{q}* olduğundan, elemanın (*4x6*) boyutundaki şekil değiştirme-deplasman ilişkileri matrisi,

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{z_{23}}{detJ} & 0 & \frac{z_{31}}{detJ} & 0 & \frac{z_{12}}{detJ} & 0 \\ 0 & \frac{\eta_{32}}{detJ} & 0 & \frac{\eta_{13}}{detJ} & 0 & \frac{\eta_{21}}{detJ} \\ \frac{\eta_{32}}{detJ} & \frac{z_{23}}{detJ} & \frac{\eta_{13}}{detJ} & \frac{z_{13}}{detJ} & \frac{\eta_{21}}{detJ} & \frac{z_{12}}{detJ} \\ \frac{N_1}{\eta} & 0 & \frac{N_2}{\eta} & 0 & \frac{N_3}{\eta} & 0 \end{bmatrix} \tag{2.16}$$

olarak elde edilir.

Ortalama yarıçap, eleman ağırlık merkezinde $N_1 = N_2 = N_3 = \frac{1}{3}$ olmasından,

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} \tag{2.17}$$

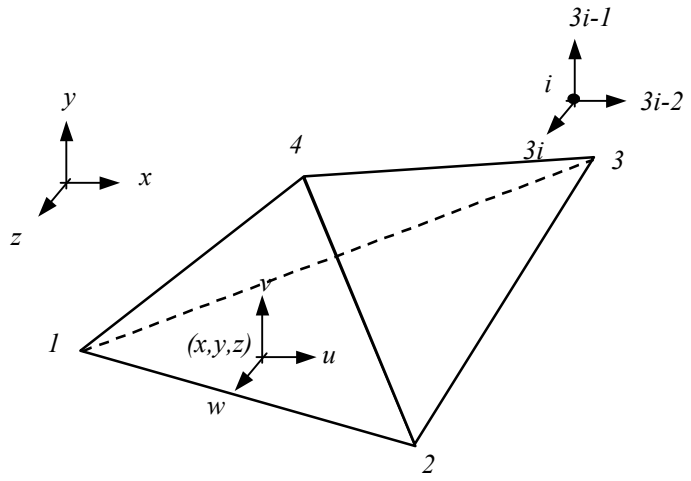
olarak hesaplandıktan sonra, [$\bar{B}$] elemanın kütle merkezinde hesaplanmış [*B*] olmak üzere eleman rijitlik matrisi

$$[K]_e = 2\pi \bar{r} A_e [\bar{\mathrm{B}}]^{\mathrm{T}} [\mathrm{D}][\bar{\mathrm{B}}] \tag{2.18}$$

şeklinde yazılabilir.

2.5.4.3. Üç Boyutlu Problemler

Bir ve iki boyutlu problemleri inceledik. Aslında mühendislik problemlerinin bir çoğu üç boyutludur. Bir ve iki boyutlu olarak yapılan çözümler yeterli doğrulukta sonuçlar verdiğinden üç boyuta göre tercih edilmektedir. Matrislerin büyüklüğünün arttığı ve hesap yöntemin zorlaştığı üç boyutlu sonlu elemanlar problem çözüm yöntemi, cad programları arkasında ve geliştirilen paket programlarda kullanılabilir. Aşağıdaki şekilde verilen elemanın(şekil 2.10) çözümü ve düğüm noktalarına bağlı matrislerin hesabı üçgen elemana oranla daha zordur. Ancak üç boyutlu elemanlarla ulaşılan sonuç gerçeğe daha yakındır.



Şekil 2.10. Üçgen Prizmatik (4 Yüzlü) Eleman

2.5.5. Sonlu Elemanlar Yönteminin Hata Kaynakları

1- Prensip hataları
2- Geometrik hatalar
3- Malzemeye özgü hatalar
4- Sınır şartlarına özgü hatalar

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen bir problemde, analitik çözümlere göre ortalama % 3 hata payı olacağı bilinmelidir.

2.5.6. Sonlu Elemanlar Metodunun Dezavantajları

1-) Sonlu elemanlar metodunun bu günkü seviyesinde, metodun bazı karmaşık olaylara uygulanmasında zorluklar vardır. Örnek olarak; çatlama, kırılma davranışı, temas problemleri, yumuşayan non-lineer malzeme davranışı gibi.
2-) Sonlu elemanlar metodu, genellikle büyük bilgisayar belleğine ve zaman gereksinim duyar.
3-) Metot ancak malzeme parametreleri iyi tanımlanmışsa gerçekçi sonuçlar verir.
4-) Doğru sonuç elde edebilmek için sürekli ortamın çok sayıda elemana bölünmesi ve çok sayıda ki giriş bilgileri hatasız olmalıdır. Programın verileri iyi kontrol edilmelidir.
5-) Diğer yaklaşık sayısal yöntemlerde olduğu gibi, sonlu elemanlar metodunda alınan sonuçlar dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

Ticari olarak kullanılan analiz programlarının hepsi yukarıda açıklanan sonlu elemanlar modellerine ve prensiplerine göre çalışırlar. Bu programların aralarındaki farklar öncelikle problemi çözme hızı ve ihtiyaç duyduğu bilgisayar kapasitesidir. Sunulan tezde bu programlardan 3 tanesinin bir ekstrüzyon prosesi için karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Takip eden bölümde bu programlar açıklanacaktır.

BÖLÜM 3
CAD/CAM PROGRAMLARI

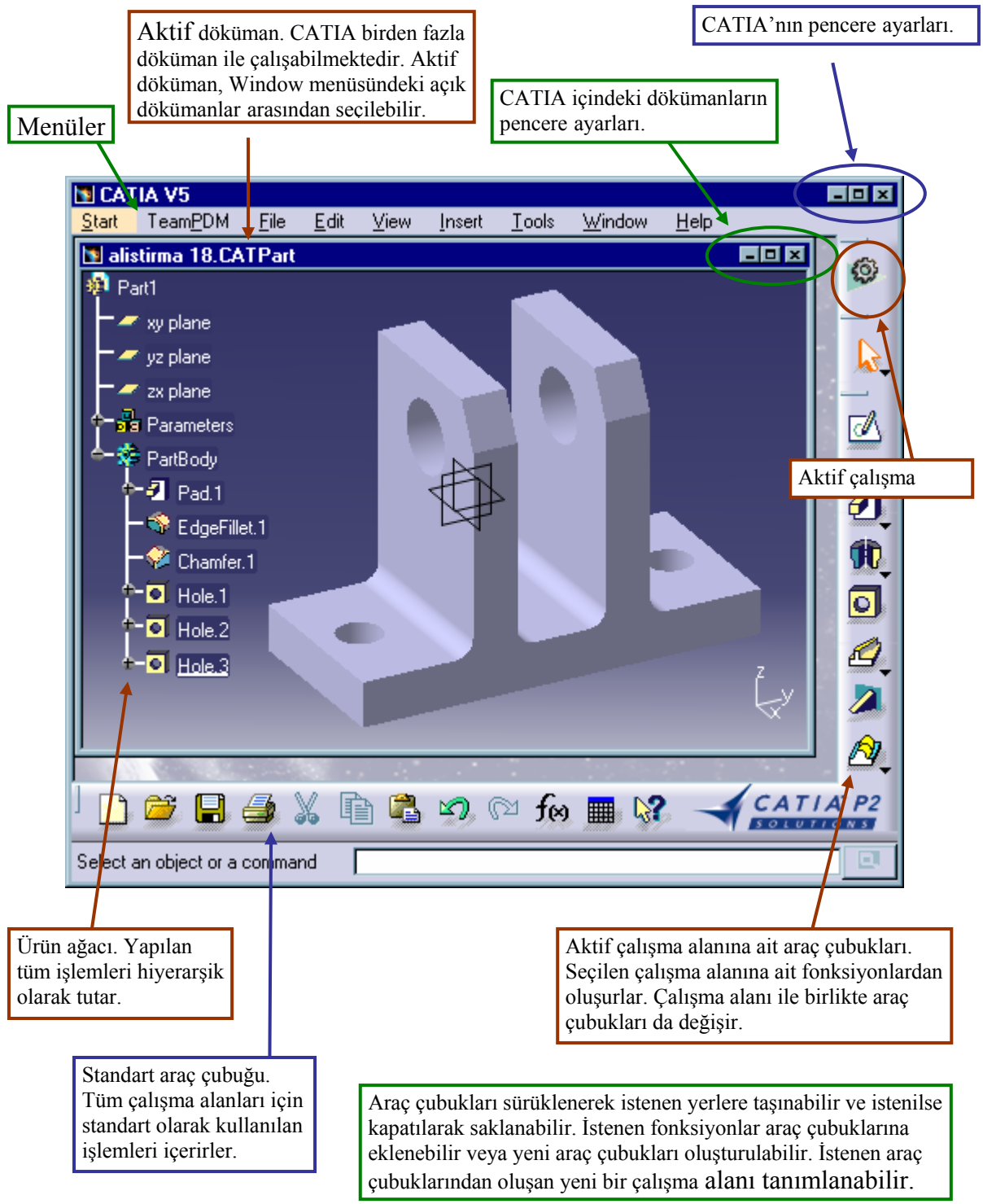
3.1. CATIA CAD/CAM PROGRAMI

CATIA programı üretimde ve bilhassa otomotiv sanayinde vazgeçilemez bir program olarak kabul görmüş bir yazılımdır. Gelişimi devam eden CATIA' nın ergonomik oluşu, görüntü kalitesi, windows ile uyumu, modüllerinin arasında mümkün geçişleri ve tasarımdan üretime kadar olan çalışmalarda tek başına yeterli oluşu, her gün gelişen parça kütüphanesi, ölçeklenebilir oluşu, tasarımda izlenecek yolun tek olmayışı kişinin tasarım kabiliyetinin önüne geçmemesi, bilimsel ve ticari anlamda destekleyen kuruluşların var oluşu bu programın artıları olarak söylenebilir. Bunun yanında, CATIA diğer CAD/CAM programları tarafından da tanınmaktadır ve birçok programda çizilen model CATIA formunda kaydedilebilir ve CATIA' da açılabilir. Diğer programlarla arasında engel olmayışı da hem bilimsel hem ticari anlamda CATIA' nın kabul görmesini sağlamıştır. CATIA kullanıcı ara yüzünde komut yazımına gerek duymaksızın, gelişmiş ikon sistemiyle tasarım süreci ve kabiliyetine yönelik tüm özelliklerinin aynı anda penceresin de görülmesiyle komut yazım işlemlerinde harcanan gereksiz zamanı ortadan kaldırmasıyla da başarılı bir programdır.

Birçok CAD programında modellenen parçalar kaydedilir ve ikinci aşama olarak CAM programı ile açılır ve işleme kodlarının alınmasına yönelik çalışmalara bu CAM programı ile devam edilir. CATIA kendisi kodları alabildiği gibi CATIA ile modellenen bir parçanın kodlarını bir başka CAM programı ile de almamız mümkündür. Ayrıca CATIA yazılımına VB programı ile müdahale edilebilir.

3.1.1. CATIA Kullanıcı Arayüzü

CATIA programı açıldığında şekil 3.1 deki ara yüz ile karşılaşılır. Çalışılacak olan modül seçilir.



Şekil 3.1. CATIA Kullanıcı Arayüzünün Gösterimi

3.1.2. Ana Fonksiyonlar

CATIA programında farklı mühendislik problemlerinin çözümüne yönelik 145 modül mevcuttur. Tüm modüllerde geçerli olan:

3.1.2.1. Standart Fonksiyonlar

 **New:** Yeni döküman açar. Pencereden istenen döküman tipi belirlenir ve OK'a basılır.

 **Open:** Daha önce kaydedilmiş dökümanı açar.

 **Save:** Aktif dökümanı kaydeder.

 **Quick Print:** Aktif dökümanı yazıcıya gönderir.

 **Cut:** Seçilen nesneler kopyası alınarak silinir.

 **Copy:** Seçilen nesnelerin sadece kopyası alınır.

 **Paste:** Kopyalanan nesneleri yapıştırır.

 **Undo:** İstenmeyen bir işlemi geri, bir önceki haline alır.

 **Redo:** Undo ile geri alınan bir işlemi tekrar yapar.

 **Formula:** Design şartları, parametreleri ve formülleri girilir.

 **Design Table:** Dizayn tablosu oluşturur. Dizayn tablosu ile ya daha önceden hazırlanmış bir Excel tablosu içindeki değerler parça içindeki değerlerle ilişkilendirilir, ya da parça içindeki istenen değer alınarak yeni bir Excel tablosu oluşturularak parça içindeki değerler bir Excel tablosundaki değerlere bağlanır.

 **What's This:** Araç çubuklarındaki fonksiyonlarla ilgili kısa yardım verir.

3.1.2.2. Görünüş (View) Fonksiyonları:

 **Examine Mode:** Araştırma moduna geçer. Paralel veya perspektif bakışta kullanılabilir, mouse tuşları kullanılarak pan ,zoom veya döndürme yapılabilir.

 **Fit All In:** Geometrinin ekrana sığacak şekilde ortalanması sağlanır.

 **Pan:** Görüntüyü sağa, sola, yukarı ve aşağı kaydırır. Mouse orta tuşu basılı tutularak da yapılabilir.

 **Rotate:** Görüntüyü döndürür. Mouse orta ve sol tuşları basılıyken de döndürme yapılabilir.

 **Fly Mode:** Uçuş moduna geçer. Uçuş modunu kullanamak için perspektif bakışa geçilmelidir. Mouse hareketleri ile parça içinde gezinilebilir.

 **Turn Head:** Perspektif bakışta sağa, sola, yukarı ve aşağı bakıyormuş gibi parçayı kaydırır.

 **Fly:** Mouse sol tuşu basılarak ilerlemek suretiyle dolaşılabilir

 **Accelerate:** Fly modunda hızlanmak için kullanılır.

 **Decelerate:** Fly modunda yavaşlamak için kullanılır.

 **Normal view:** Seçilen bir düzleme normal bakacak şekilde görünüşü ayarlar.

 **Wireframe (NHR):** Parçayı tel geometri modunda gösterir.

 **Hidden Lines Removal (HLR):** Parçayı arkada kalan çizgileri göstermeyerek tel geometri modunda gösterir.

 **Dynamic Hidden Lines Removal:** Parçayı dinamik olarak arkada kalan çizgileri göstermiyecek şekilde tel geometri modunda gösterir.

 **Shading with Edges:** Parçayı renkli, gölgeli ve kenarları ile gösterir.

 **Hide/Show:** Seçilen nesneleri görünmez alana atar.

3.1.3. Part Design Fonksiyonları

3.1.3.1.Sketcher Fonksiyonları:

Sketcher iki boyutlu kapalı formları oluşturduğumuz bir çok modülün içersinde yer alan bir formdur.

3.1.3.1.1. Şartlar (Constraints):

 **Contraints Defined in Dialog Box:** Seçilen elemanlar arasına ölçü vermek veya şart atamak için kullanılır.

 **Constraints:** Seçilen elemanlar arasına ölçü vermek veya şart atamak için kullanılır.

 **Auto Constraints:** Seçilen elemanların otomatik ölçülendirilmesini sağlar.

 **Animate Constraint:** Seçilen bir ölçü için verilen iki değer arası istenen sayıda basamaklandırılarak, seçilen ölçünün hareketli olarak değişimi incelenebilir.

 **Contact Constraint:** Seçilen iki elemana eşmerkezlilik, çakışıklık ve teğetsellik sırasını izleyerek verilebilecek ilk şartı atar.

3.1.3.1.2. Kapalı Profiller (Profiles):

 **Profile:** Doğrulardan ve yaylardan oluşan bir profil çizmek için kullanılır.

 **Rectangle:** Seçilen iki nokta ile bir dikdörtgen çizer.

 **Oriented Rectangle:** Eksen takımına göre açılı bir dikdörtgen çizmekte kullanılır.

 **Parallelogram:** Bir paralelkenar çizmekte kullanılır.

 **Elongated Hole:** Slot (uzun delik) çizer.

 **Cylindrical Elongated Hole:** Eğrisel slot çizer.

 **Keyhole Profile:** Anahtar deliği şeklinde profil çizer.

 **Hexagon:** Altıgen çizmekte kullanılır.

3.1.3.1.3. Tel Geometri Fonksiyonları (Wireframe):

 **Circle:** Bir merkez ve daire üzerinde bir nokta seçilerek daire oluşturulur.

 **Three Point Circle:** Üç noktadan geçen daireyi çizer.

 **Circle Using Coordinates:** Parametreleri girerek bir daire oluşturur.

 **Ellipse:** Merkez ve üzerinde iki nokta seçilerek bir elips çizer.

 **Arc:** Önce daire merkezi, sonra başlangıç ve bitiş noktaları seçilerek yay çizilir.

 **Spline:** İstenen noktalardan geçen spline çizer.

 **Line:** İki nokta seçilerek bir doğru çizilir.

 **Axis:** Dönme ekseni oluşturur.

 **Point by Clicking:** Tıklayarak nokta oluşturur.

 **Parabola by Focus:** Parabol çizer.

 **Hyperbola by Focus:** Hiperbol çizer.

3.1.3.1.4. Operasyonlar (Operations):

 **Corner:** İki doğru veya eğri arasına fillet atar.

 **Chamfer:** İki doğru veya eğri arasına pah kırar.

 **Trim:** Bir doğru veya eğriyi seçilen bir nokta veya başka bir geometrik elemana kadar uzatır veya keser.

 **Break:** Seçilen doğru veya eğriyi istenen bir noktadan veya seçilecek başka bir geometrik elemanla kesişiminden böler.

 **Symmetry:** Seçilen geometrik elemanların bir doğruya veya eksene göre simetrisini alır.

 **Project 3D Elements:** 3D geometriden seçilen elemanları skeç düzlemine izdüşürür.

 **Intersect 3D Elements:** 3D geometriden seçilen elemanların skeç düzlemiyle kesişimini bulur.

 **Translate:** Seçilen geometrik elemanları belirlenen doğrultuda, istenen sayıda çoğaltarak verilen mesafede öteler.

 **Rotate:** Seçilen geometrik elemanları belirlenen bir merkezde, istenen sayıda çoğaltarak verilen bir açıda döndürür.

 **Scale:** Seçilen geometrik elemanları verilen bir ölçekte (scale) büyültür veya küçültür.

 **Offset:** Seçilen elemanların ofsetini alır.

3.1.3.2. Katı Modüllü Bazlı Unsurlar (Sketch-Based Features):

 **Pad:** Seçilen bir konturu istenen yönde bir veya iki tarafa öteleyerek bir prizmatik katı oluşturur.

 **Pocket:** Seçilen bir konturu istenen yönde bir veya iki tarafa öteleyerek bir prizmatik cep oluşturur.

 **Drafted Filleted Pocket:** Seçilen bir konturu istenen boyda öteleyerek katıdan çıkarır, kalıp açısı verir ve kenarlarına pah kırar.

 **Shaft:** Seçilen bir profilin istenen açılarda döndürülmesiyle bir katı oluşturur.

 **Groove:** Seçilen bir profilin istenen açılarda döndürülmesiyle katıdan bir parça çıkarmak için kullanılır.

 **Hole:** Çeşitli şekillerde, istenen çapta ve derinlikte delik açmak için kullanılır.

 **Rib:** Kapalı bir profilin (profile) bir merkez eğrisi boyunca ötelenmesi için kullanılır.

 **Slot:** Kapalı bir profilin (profile) bir merkez eğrisi boyunca ötelenerek bir yarık açmak için kullanılır.

 **Stiffener:** Belli kalınlıkta destek parçası oluşturur.

 **Loft:** Seçilen iki veya daha fazla kapalı kesit eğrilerinden geçecek şekilde katı oluşturur.

 **Removed Loft:** Seçilen iki veya daha fazla kapalı kesit eğrilerinden geçen katıyı çıkarır.

3.1.3.3. Düzenleme Unsurları (Dress-Up Features):

 **Edge Fillet:** Seçilen kenarlara sabit yarıçaplı pah için kullanılır.

 **Chamfer:** Seçilen kenarlara pah kırmak için kullanılır.

 **Draft Angle:** Kalıp açısı vermek için kullanılır.

 **Draft Reflect Line:** Seçilen yüzleri istenen yönünde otomatik olarak kalıp ayırma çizgisini bularak kalıp açısı verir.

 **Shell:** Parçanın belli bir kalınlığı koruyacak şekilde, boşaltılmak istenen yüzeyler seçilerek içinin boşaltılması için kullanılır.

 **Thickness:** Seçilen yüzleri belli bir değerde kalınlaştırmak için kullanılır.

3.1.3.4. Yüzey Bazlı Unsurlar (Surface-Based Features):

 **Split:** Katının seçilen bir düzlem ya da yüzeyle kesilmesi için kullanılır.

 **Thick Surface:** Seçilen yüzeyin tek veya her iki tarafına kalınlık vererek katı oluşturmak için kullanılır.

 **Close Surface:** Seçilen yüzeyin kapatılarak bir katı oluşturmak için kullanılır.

 **Sew Surface:** Seçilen yüzeyi katıya birleştirmek, dikmek için kullanılır.

3.1.3.5. Dönüşüm Unsurları (Transformation Features):

 **Translation:** Seçilen katının istenen doğrultuda belli bir mesafede ötelenmesi için kullanılır.

 **Rotation:** Seçilen katının belli bir eksen etrafında istenen açıda döndürülmesi için kullanılır.

 **Symmetry:** Seçilen katının belli bir referansa göre simetriğinin alınması için kullanılır.

 **Mirror:** Seçilen nesnelerin veya aktif katının belli bir referans düzlemine göre simetriğinin alınarak katıya eklenmesi için kullanılır.

 **Rectangular Pattern:** Seçilen nesnenin belli bir referans yönde çoğaltılması için kullanılır.

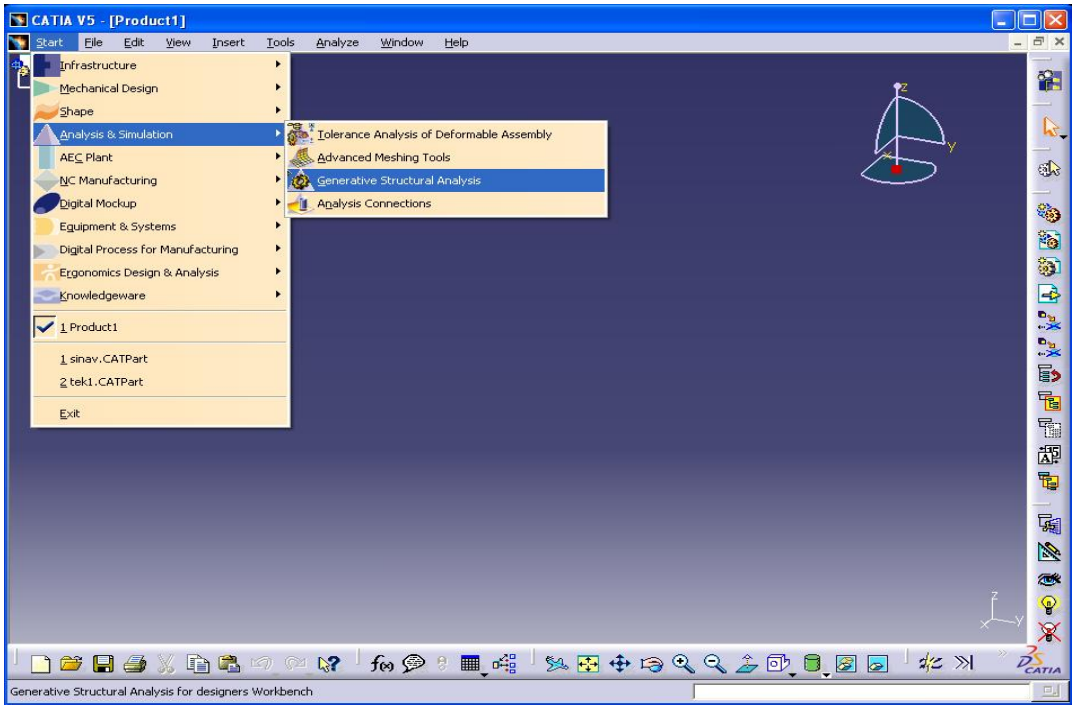
 **User Pattern:** Seçilen nesnenin istenilen yerlere kopyalanması için kullanılır.

 **Scaling:** Katının istenilen oranda ölçeklenmesi için kullanılır.

Yukarıda açıklanan ikonlar (komutlar) ile CATIA da tüm modellemeler yapılabilir. CATIA nın tasarım, montaj yüzey modelleme, simülasyon v.b bir çok yüzü ve bunlara ait yüzlerce ikonu vardır. Komutların fazlalığı CATIA'nın isteklere cevap verebilme kabiliyetini göstermektedir. CATIA'nın diğer bir özelliği ise yapılan işlemin geri alınabilmesidir. I-Deas ve ANSYS programlarında geri alma işlemi kısıtlıdır.

3.1.4.CATIA' da Analiz işlemi

Modellenmesi veya montajı tamamlanan sistem hazırlanarak analiz modülüne geçilir.



Şekil 3.2. Analiz Modülü

Parça dizaynı modülünde modelleme sonunda malzeme atanır.  Analiz bölümünde eğer malzeme ataması yapılmadıysa program hata verir. Parçaya ilk önce sınır şartları girilir. Ardından uygulanacak kuvvet veya basınç değerleri tatbik edilir. Program parçanın büyüklüğüne bağlı olarak eleman boyutunu otomatik olarak atar. Mesh boyutlarını istediğimiz değerlere getirip çözüm işlemini gerçekleştiririz. Çözüm işleminden sonra sonuçları görüntüler ve malzeme özelliklerine ve renk skalası ile parça üzerindeki renk dağılımının durumuna bağlı analiz sonucunu yorumlarız.

3.1.4.1. CATIA programında Analiz İşlemlerinde Sıkça Kullanılan İkonlar

 **Clamp:** Sabit yüzeyleri sınırlamak amacıyla kullanılır. Bu yüzeylerde yer değiştirme sıfırdır.

 **Pressures:** Sisteme etki eden basınç değerlerinin uygulanması için kullanılır.

 **Compute:** Sistemin uygulanan yükler ve gerekli sınırlamalar sonrasında çözüm için kullanılır.

 **Visualize Von Mises Stresses:** Von Mises gerilme değerlerini ve renk sklasında gerilme dağılımını görmek amacıyla kullanılır.

 **Reporting:** Analiz sonuçlarını dosya formatında elde etmek amacıyla kullanılır.

 **Visualize Displacements:** Yer değiştirme değerlerini ve renk skalasında yer değiştirme dağılımını görmek amacıyla kullanılır.

 **Animate İmage:** Analiz işlemlerinde çözüm sonrası sistemde meydana gelen değişimin simülasyonu elde edilir.

3.3.I-DEAS CAD/CAM PROGRAMI

I-DEAS programı mühendislikte karşılaşılan problemlere çözüm getirebilmek amacıyla hazırlanmış bir CAD/CAM programıdır. I-DEAS programı, 2 boyutlu teknik çizimden 3 boyutlu katı ve yüzey modelleme ile montaj tasarımına kolaylıkla geçilmesini sağlayan bir CAD programıdır. Ayrıca bilgisayar destekli imalat, mekanizma tasarımı ve levha metal parça tasarımı yetenekleri ile opsiyoneldir.

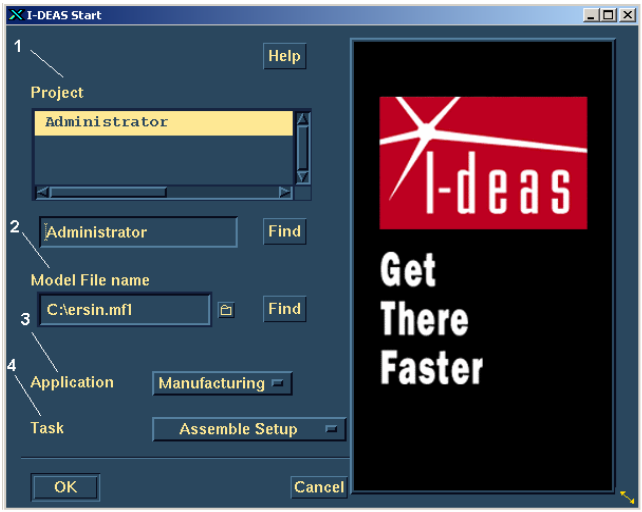
I-DEAS programı üretimde uzun yıllar kullanılmış ve daha çok otomotiv sanayinin problemlerine çözüm bulma amacıyla geliştirilmiş kapsamlı bir programdır. I-DEAS, CATIA ve SOLIDWORKS gibi diğer CAD/CAM programları ile birlikte çalışabilme yeteneğine sahiptir. Birçok parçadan oluşan bir sistemin üretiminde, grup çalışmasına olanak sağlayan parça kütüphanesi mevcuttur. I-DEAS programı üretim standartlarında teknik çizimlerin hızlı ve kolay yaratılmasında eşsiz yetenekler sunan 3 boyutlu gelişmiş tasarım kabiliyetine, oluşturulan modelin gelişmiş ve ayrıntılı analizlerine ve üretime hazırlanmasına, tanıtılmasına olanak sağlayan, modüllerinin birbirleri arasında geçişlerinin mümkün olduğu, kapsamlı model yapımını kolaylaştıran, ileri seviyede yüzey modelleme yeteneklerine sahip ve mekanik montajları kolaylıkla tasarlayabilen bir CAD/CAM programıdır. I –DEAS programı ticari anlamda rekabet koşullarında yeni bir ürünün piyasaya daha hızlı sunulması ve

gerektiğinde ürünün üzerinde değişikliklerin en kısa sürede yapabilmesi amacıyla kullanılmıştır. Gelişimi uzun yıllar devam eden programın gelişmiş bir alt yapısı ve mühendislik problemlerine ayrıntılı çözüm sunabilecek modülleri içerisinde mevcut çok sayıda ikonu ile pratik kullanıma sahiptir.

3.2.1. I-DEAS Başlangıç Menüsü

I-DEAS programı açıldığında Şekil 3.3.'te görülen başlangıç menüsü ekrana gelir.

I-DEAS başlangıç menüsü, aşağıdaki bölümleri içerir:



Şekil 3.3. I-DEAS Başlangıç Menüsü

Tasarım yapıcı (Project): Tasarım yapanların listesini görüntüler.

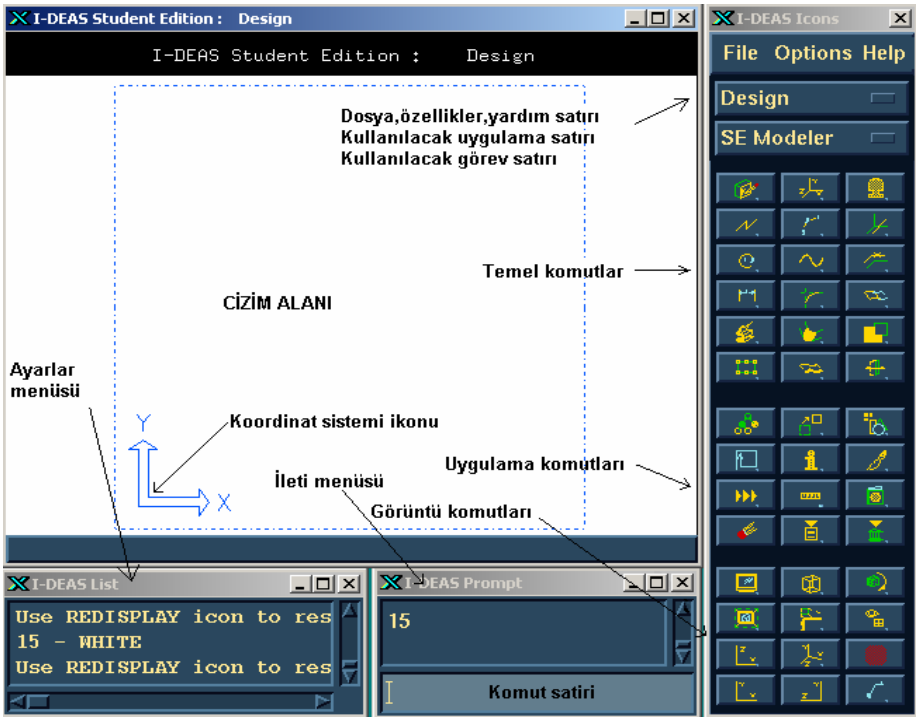
Örnek dosya adı (Model File Name): Önceden tasarlanmış çizimleri gösterir. Sağındaki klasörden istenilen çizim listesi seçilebilir.

Kullanılan uygulama (Application): Kullanılacak uygulama seçilir. Çizim yapmak için **design**, taslak hazırlamak için **drafting**, imalat yapmak icin **manufacturing** komutları seçilebilir.

Kullanılan görev (Task): Kullanılacak görev seçilir. Model yapma, tezgahta üretim yapma, montaj yapma, çizim ayarları yapma vs. gibi seçimler yapılabilir.

3.2.2. I-DEAS Çalışma Ekranı

I-DEAS programı açıldığında Şekil 3.4'.te görülen çalışma ekranı ekrana gelir. I-DEAS ikon paneli dört ana alandan oluşmaktadır. Bu alanlar; yeni dosya açabileceğimiz, kullanılacak uygulama ve görevi seçebileceğimiz menü çubuğu, temel komutlar menüsü, uygulama komutları menüsü ve görüntü komutları menüsüdür.



Şekil 3.4. I-DEAS Çalışma Penceresi

Kullanıcılar çizim penceresinde seçme, mevcut çizimler üzerinde değişiklik yapma ve genellikle yeni çizim çalışmaları yapabilirler. I-DEAS prompt menüsü ekranda görünen çizimlerin oluşumlarının tam olup olmadığını bildirir. Aynı zamanda kullanıcılar bilgi girişlerini prompt menüsündeki komut satırına da yapabilirler. I-DEAS list menüsü ise çizim sürecinde ekranda görülen önemli bilgiler hakkında iletiler gönderir.

3.2.3. Fonksiyon Tuşlarının Görevleri :

a) Pan (F1) : Çoğu zaman tasarımcı, çizim ekranına sığmayan resimleri kaydırmak istiyebilir. Pan komutu bu işlevi yerine getirir. Pan komutu, çalışma ekranında görülen çizimleri hareket ettirir. Çizimlerin koordinatlarında bir değişiklik yapmaz.

b) Zoom (F2) : Zoom komutu ekrandaki çizimin görüntüsünde büyültme-küçültme yapma imkânı sağlar. Bazı detaylı çizimler çizim ekranında karmaşık görünebilirler.

c) Rotate (F3) : Rotate komutu ekranda görünen cismin 3 boyutta döndürülmesini sağlar. Cisim rotate komutu ile döndürülerek bütün yüzeyleri görülebilir.

d) View reset (F5) : Ekranda görülen cismin görüntüsünde rotate, zoom, pan komutlarıyla değişiklik yapıldığında en baştaki görüntüye dönmek için kullanılır.

3.2.4. Temel Çizim Komutları

I-DEAS programında kullanılan pek çok temel çizim komutu mevcuttur. Aşağıda bu komutlar ve kısa açıklamaları verilmektedir.

Lines Komutu: Tek çizgi çizmeye yarar. Line komutunu I-DEAS ikon menüsünden ikonu  tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. Options menüsünde ilgili iletiler bulunur.

Polylines Komutu: Birbirine eklenmiş çizgilerden oluşan tek bir nesne çizmeye yarar . I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. Options menüsünde ilgili iletiler bulunur. Birinci çizgi için uygun değerler girilir, OK komutu tıklaniır. İkinci çizgi için uygun değerler girilir, OK komutu tıklanır. Farenin sağ tuşu tıklanarak Cancel komutu ile polyline komutundan çıkılır.

Circle Komutu: Circle komutu çember çizmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden ikonu tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. Options menüsünde ilgili iletiler bulunur.

Rectangle Komutu: Rectangle komutu dikdörtgen çizmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden ikonu tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. Options menüsünde dikdörtgenin başlangıç ve bitiş koordinatları iletileri bulunur.

Points Komutu: Points komutu nokta koymaya yarar. I-DEAS icon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Koordinatlar girildikten sonra OK komutu tıklanır.

Arc Komutu: Arc komutu çember yayı çizmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. Options menüsünden yayın X ve Y koordinatları girilebilir.

Ellipse Komutu: Ellipse komutu elips çizmeye yarar. I-DEAS icon menüsünden  iconu tıklanarak kullanılabilir. Farenin sağ tuşuna tıklayarak options komutuna tıklanır. İstenilirse çalışma ekranında 2 nokta işaretlenerek te elips çizilebilir.

Splines Komutu: Splines komutu arka arkaya eklenmiş yaylar çizmeye yarar.  iconu tıklanarak kullanılabilir. Options menüsünden yayın X ve Y koordinatları girilebilir.

Redisplay Komutu: Bir süre çizim yapıldıktan sonra, çizimde izler oluşur. Bazen de çizilen çizimlerin bazı yerlerinin kaybolduğunu görülür. Yapılan çizimin eksiksiz görülmesini istiyorsak Redisplay komutu kullanılmalıdır. Redisplay komutu I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Move Komutu: Move komutu seçilen nesne veya nesnelerin koordinatlarının değiştirilmesinde kullanılır. Move komutu I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.. Bu menüden **Move to** komutu seçildiğinde seçilen nesne veya

nesneler çizim üzerinde bir noktadan diğer bir noktaya taşınabilir. **Move Along** komutu seçildiğinde seçilen nesne veya nesneler çizim üzerinde bulunan yönlerde taşınabilir. **Slide On Screen** komutu seçildiğinde seçilen nesne veya nesneler ekran üzerinde herhangi iki nokta belirtilerek taşınabilir. .

Ofset Komutu: Offset komutu, mevcut nesneden belirlenen uzaklıkta yeni bir nesne oluşturur. Offset komutu I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Rotate Komutu: Rotate komutu, nesneleri seçilen bir eksen etrafında döndürmeye yarar. Rotate komutu I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Rotate komutu seçildiğinde rotate menüsü ekrana gelir.

Dimension Komutu: Dimension komutu çizilen nesneleri ölçülendirmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Fillet Komutu: Fillet komutu, seçilen iki nesneyi belirtilen bir yarıçaptaki yayla yuvarlaklaştırır. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Kavislendirilecek iki nesne seçildikten sonra ekrana gelen menüye **Radius** (yarıçap) değeri girilir.

Make Corner Komutu: Make corner komutu, bir nesneyi başka bir nesneye temas edinceye kadar uzatır ve fazlalıkları kırpar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Divide At Komutu: Divide At komutu, polyline biçimindeki nesneleri çizgi, eğri gibi parçalara ayırmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Merge Curves Komutu: Merge Curves komutu, parça parça olan nesneleri birleştirerek polyline yapmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Trim/Extend Komutu: Trim/Extend komutu seçilen nesnedeki istenmeyen fazlalıkların kırpmaya ve seçilen nesneyi bir noktaya kadar uzatmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Scale Komutu: Scale komutu çizilen çizimlerin ölçeklerini değiştirmeye yarar. . I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Blend Fillet Komutu: Blend fillet komutu seçilen iki nesneyi tatlı bir kavisle birbirine birleştirir. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Radius komutu seçildiğinde kavis yarıçapı girilir ve bu yarıçapa göre kavis çizilir. Best Fit komutu kavisi en uygun şekilde biçimlendirir.

Drag Komutu: Drag komutu seçilen nesneleri sürüklemeye yarar.  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Dynamic Orient Komutu: Dynamic orient komutu şekilleri döndürmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Bu menüde orient options komutu özellikleri ayarlamaya yarar. Translate komutu seçili nesneyi taşımaya yarar. Rotate komutu seçili nesneyi döndürmeye yarar.

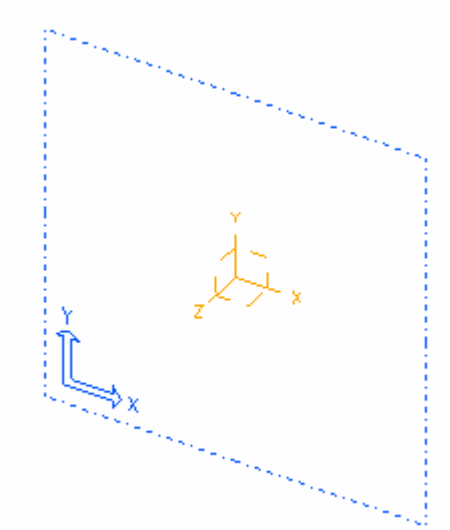
Modify Komutu: Modify komutu çizilen şekilleri ölçülerini değiştirmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Ölçüsü değiştirilecek şekil seçildiğinde Modify Dimension menüsü ekrana gelir. Bu menüde değiştirilecek ölçünün yeni değeri girilir ve OK komutuna basılır.

3.2.5. Çalışma Özelliklerinin Oluşturulması

Bu bölümde; I-DEAS programında çalışırken kullanmamız gereken işlemler açıklanmaya çalışılmıştır. Bu işlemler koordinat sistemi seçme, çalışma düzlemi seçme, referans düzlemleri, referans çizgileri, referans eğrileri ve referans noktaları seçme gibi işlemlerdir.

3.2.5.1. Koordinat Sistemleri

I-DEAS programının kullanıcıları çizimlerini yaparken bir koordinat sistemi kullanırlar. Bu koordinat sistemi çizim yaparken kullanıcılara çok kolaylık sağlar. Tasarıma başlamadan önce çalışma ekranına koordinat sistemi atamak gerekir. Çalışma ekranına koordinat sisteminin yerleştirilmiş şekli Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 Koordinat Sistemi

Çalışma ekranına koordinat sistemi yerleştirmek için I-DEAS ikon menüsünden  ikonu seçilmelidir.

a) Sketch in Place: Sketch in place komutu çalışmak istenilen yüzeyi seçmek için kullanılır. Bu yüzey koordinat sisteminde bir çalışma yüzeyi olabileceği gibi herhangi

bir katı şeklin bir yüzeyide olabilir. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak çalışmak istenilen yüzey seçilmelidir.

b) Sketch on Workplane

Sketch on workplane komutu ana çalışma düzlemine geçmemizi sağlar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu seçilmelidir.

Reference Plane Komutu: Reference plane komutu değişik konumlarda çalışma düzlemi seçilmesini sağlar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Komut seçildikten sonra farenin sağ tuşuna basılırsa aşağıdaki menü ekrana gelir. Bu menüde **Visible** komutu seçildiğinde çalışma düzlemi fare yardımı ile seçilebilir.

Reference Curve Komutu: Reference curve komutu kavisli konumlarda çalışma düzlemi seçilmesini sağlar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Reference Lines Komutu: Reference lines komutu bir silindirin boyunca merkez çizgisi olarak belirtilen çizgidir. Reference lines dönme veya döndürme olaylarında kullanılır. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Reference Points Komutu: Reference point de normal point komutu gibi benzer işleve sahiptir. Çalışma noktası olarak nitelendirilebilir. Nesne kopyalama veya katı kopyalama işlemlerinde reference point referans alınarak işlemler gerçekleştirilir. Reference point delikler delindikten sonra da kendini daire merkezine yerleştirir. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

3.2.6. I-DEAS Programında Katı Modelleme

Bu bölümde; I-DEAS programında kullanılan katı modelleme komutlarından bahsedilmiştir. Bu komutlar extrude, revolve, swep, loft, fillet, chamfer, shell, rectangle pattern ve circular pattern komutlarıdır. Bu komutların nasıl kullanıldıkları örneklerle bahsedilmiştir.

Extrude Komutu : Extrude komutu, kesiti çizilen nesnelere yükseklik vererek katı model oluşturmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Revolve Komutu: Revolve komutu, çizilen bir nesneyi bir eksen etrafında döndürerek katı model oluşturmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Loft Komutu: Loft komutu, çizilen iki nesneyi birbirine uydurarak katı model oluşturur. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Create Surface menüsünde **New Part** komutu, seçilen iki nesneyi birbirine uydurarak katı model oluşturur. **Intersect** komutu var olan katı model ile yeni oluşturulacak katı modelin kesişimini oluşturur.  komutu ile oluşturacak olan şeklin nasıl olduğu görülür.

Swepp Komutu: Swepp komutu, çizilen bir nesneyi bir eksende süpürerek katı model oluşturur. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. Create Surface menüsünde **New Part** komutu, seçilen bir nesneyi bir eksen boyunca süpürerek katı model oluşturur. **Intersect** komutu var olan katı model ile yeni oluşturulacak katı modelin kesişimini oluşturur.  komutu ile oluşturacak olan şeklin nasıl olduğu görülür.

Chamfer Komutu: Chamfer komutu katı nesnelerin kenarlarına pah kırmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Fillet Komutu: Fillet komutu katı nesnelerin kenarlarına radyüs kırmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Shell Komutu: Shell komutu katı nesnelerin içlerini boşaltmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Draft Komutu: Draft komutu katı modellerin kenarlarına açı vermeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Reflect Komutu: Reflect komutu katı modelleri aynalamaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Ofset Surface Komutu: Offset surface komutu yüzeyleri ofsetlemeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.  komutu ile ofsetleme yönü seçilir.  komutu ile de ofsetlenecek yüzey yeniden seçilebilir.

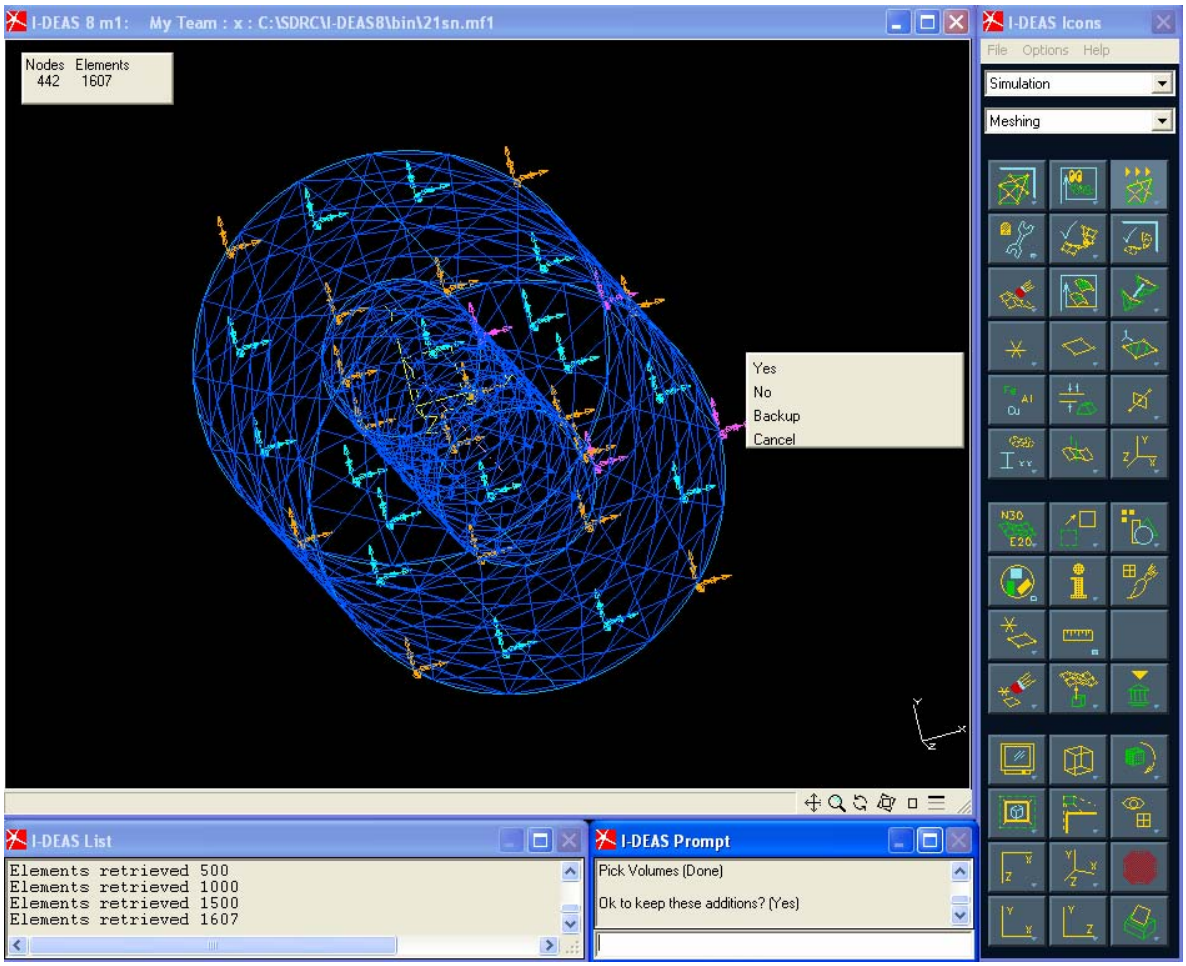
Part Komutu: Part komutu küp, koni, küre, tüp, yüzey ve silindir çizmeye yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

Rectangular Pattern Komutu: Rectangular pattern komutu katı nesneleri düzlemsel olarak çoğaltmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir. .

Circular Pattern Komutu: Circular pattern komutu katı nesneleri dairesel olarak çoğaltmaya yarar. I-DEAS ikon menüsünden  ikonu tıklanarak kullanılabilir.

3.2.7 I-DEAS Programında Analiz İşlemi

Modellenmesi veya montajı tamamlanan sistem hazırlanarak analiz işlemlerine başlanır.



Şekil 3.6 Analiz İşlemleri

Parça Master Modeler modülünde modellenir, modele malzeme özelliği ve sonlu elemanlar çözüm grubu atanır. Parçaya ilk önce sınır şartları girilir. Ardından uygulanacak kuvvet veya basınç değerleri tatbik edilir. Program parçanın büyüklüğüne bağlı olarak eleman boyutunu otomatik atar. Mesh boyutlarını istediğimiz değerler getirip çözüm işlemini gerçekleştiririz. Çözüm işleminden sonra sonuçları görüntüler, malzeme özelliklerine ve renk sklası ile parça üzerindeki renk dağılımının durumuna bağlı analiz sonucunu yorumlarız Sınır şartları ve yükler uygulanır ve gerçeğe en yakın

şekilde ifade edilmiş sistem elemanlarına ayrılır (Şekil 3.6) ve çözdürülür, çözüm sonucunda elde edilen değerler yorumlanır ve sunulur. Bu işlemler:

Simulation > Master Modeler > Boundary Conditions > Meshing >Model Solution > Post Processing aşamalarından oluşur.

Analiz işlemlerinde Sıkça Kullanılan İkonlar:



Displacement Restraint: Parça üzerinde yüzeysel ve çizgisel sınırlandırmalar gerçekleştirir.



Pressure: Yüzeyesel ve çizgisel bölgelere basınç yükü uygulanır.



Define Solid Mesh: Katı model üzerinde oluşturulacak sonlu elemanlar ağınına ait elemanların boyutu belirlenir.



Solid Mesh : Katı modelin elemanlarına ayrılması işlemini gerçekleştirir.



Solution Set : Çözüm seti olşturur.



Manage Solve: Sistemin uygulanan sınır şartları, eleman sayısı ve yükler altında çözümünü gerçekleştirir.



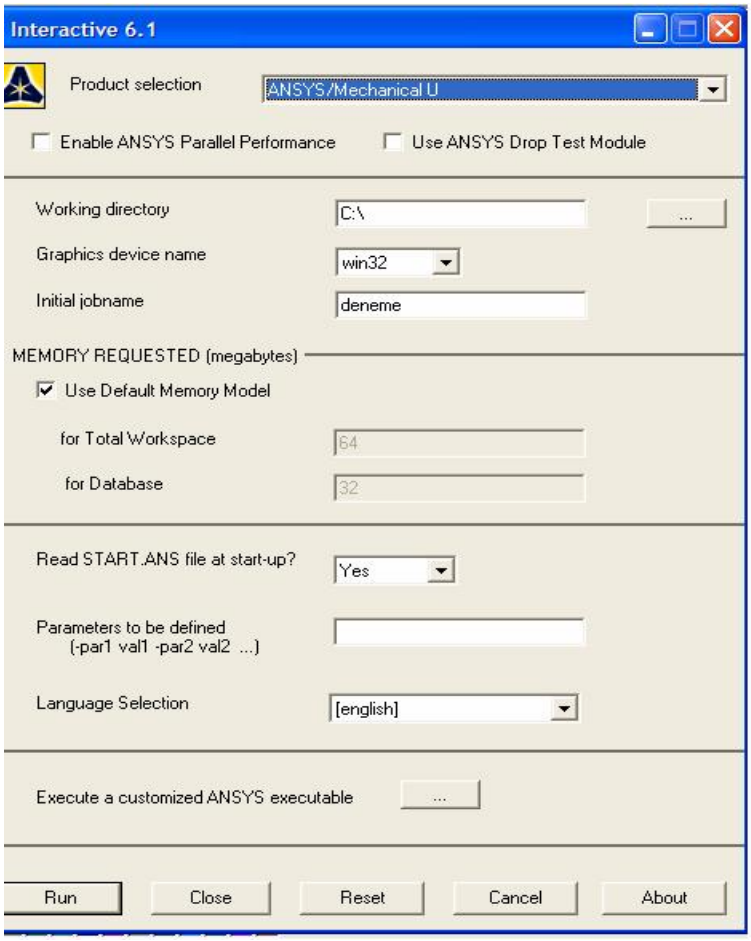
Results: Çözümü gerçekleştirlen sistemde gözlemlenmek istenen sonuçlar seçilir.



Diplay: Results ikonu ile tercih edilen değerler görüntülenir.

3.3. ANSYS CAD PROGRAMI

ANSYS analiz çalışmalarında çok kullanılan başarılı bir programdır. ANSYS programı 1970 yılında Swanson Analiz Sistemleri tarafından piyasaya sürülmüş, bu güne kadarda geliştirilmiştir. Mühendislik problemlerinin bilgisayar destekli çözümünde sonlu elemanlar yöntemi vazgeçilmez bir hale gelmiş ve bu yöntem temelinde hazırlanan çok kapsamlı paket programlar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Tahminlere göre ANSYS en çok kullanıcısı olan analiz programıdır. Dünyanın her tarafında mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Bu program ile mekanik, ısı, akış, titreşim problemlerinin analizi yapılmaktadır. ANSYS programının açılış penceresi aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.6. ANSYS Açılış Penceresi

3.3.1. ANSYS Genel Çalışma Düzenleme İşlemleri

Initial jobname: ANSYS de çalışılacak dosyanın adı

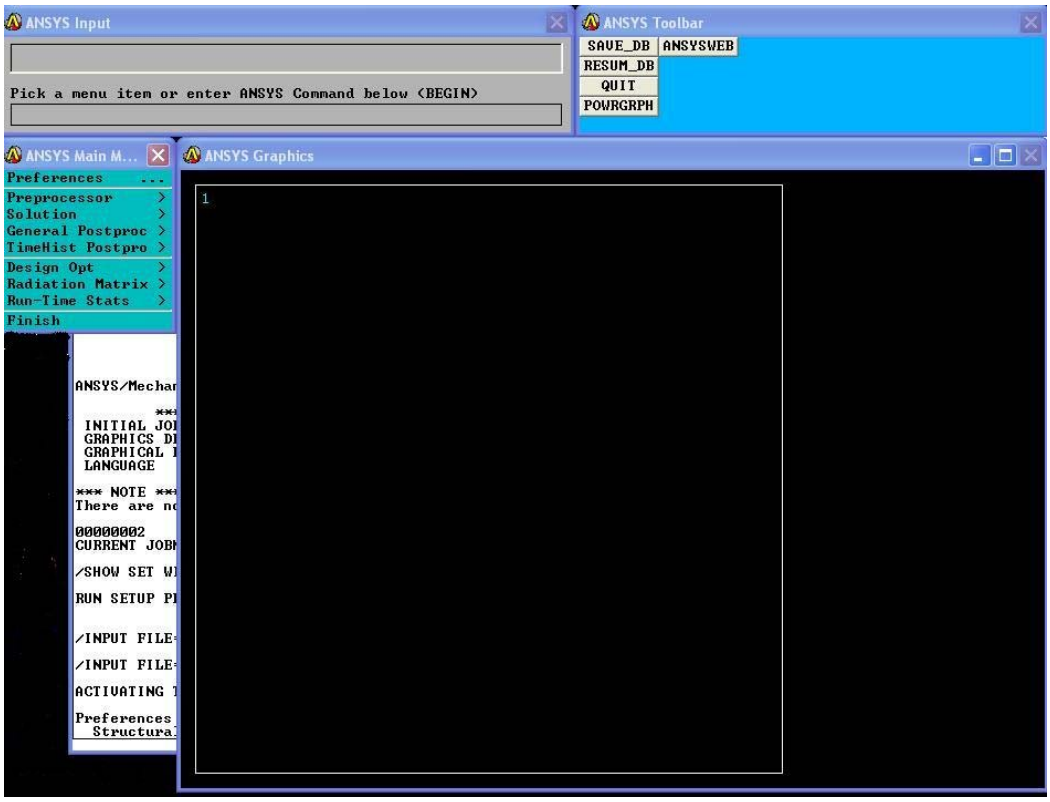
Working Directory: Harddiskte dosyanın açılacağı yer .

Total Workspace: ANSYS çalışmaları için bellekte ayrılan toplam yer (MBa)

For Database: Oluşan dosyaların saklanacağı toplam yer (MBa)

Use Def. Mem.Model: Otomatik olarak bellekteki gerekli alanı kullanır.

ANSYS programının çalışmasına yönelik genel düzenlemelerin ardından Şekil 3.6'te gösterilen Run ikonu ile program çalıştırılır ve Şekil 3.7'de gösterilen çalışma penceresine geçilir.



Şekil 3.7. ANSYS Programı Çalışma Ekranı

3.3.2. ANSYS Menüleri

a) ANSYS Utility Menü: Bu menü aşağıda açıklanacak şekilde alt menülerden oluşmuştur.

File: Bu kısımda yeni bir çalışmaya başlama, daha önceden kaydedilmiş dosyaları çağırma, yapılan yeni çalışmayı kaydetme, başka bir tasarım programında hazırlanmış karmaşık yapıdaki bir parçayı çağırma gibi işlevler gerçekleştirilir.

Select: Bir model üzerinde çalışırken bazen bir takım kısımların (alanlar, düğüm noktaları, çizgiler vb) genel görünümünden ayrı olarak incelenmesi gerekmektedir. Seçim yöntemlerinin çeşitliliği tasarım sırasında kolaylık sağlamaktadır.

List: Bu menü sayesinde hazırlanan model üzerinde nokta, çizgi, alan, hacim, eleman, kuvvet, basınç, malzeme özellikleri ve ana serbestlik derecelerin listesi alınabilir.

Plot: Modelin nokta, çizgi, alan, keypoint ve elemanlarının tek başlarına ya da toplu halde gösteriminin ayarlandığı menüdür.

Plot Controls: Bu menüden, modelin grafik ekrandaki görüntüsü çeşitli şekillerde değiştirilebilmektedir.

WorkPlane: Başlangıçta kullanılan kartezyen kordinat sistemi bu menü yardımıyla istenilen eksen takımlarına dönüştürülebilir. Koordinat sistemlerini ötelemek ve döndürmek de olanaklıdır.

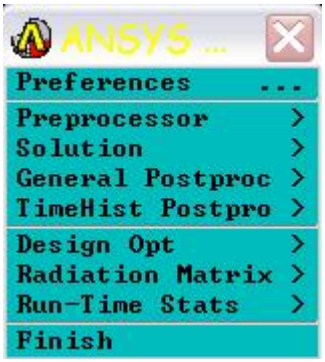
Macro: Diğer programlarda olduğu gibi ANSYS programında da kullanılmak üzere makrolar bu menü ile oluşturulup çağırılabilmektedir.

Menü Controls: Ekrandaki menülerin açılması işlemlerinin yapılmasına olanak sağlar.

Help: Program bölümleri, komutları ve genel koordinatları hakkında bilgi almaya

yarayan menüdür.

b) ANSYS Main Menü: Bu menü programın kullanılmasını sağlayan temel menüdür. Bu menü sayesinde Parça fiziksel özellikleri programa tanıtılır, model oluşturulur, elemanlara ayırma işlemi gerçekleştirilir, analiz çözümlenir ve sonuçlar incelenerek gerekli diyagramlar alınabilir.



Şekil 3.8 Ansys Temel Menü.

Preprocessor: Geometrik modelin kurulduğu, Elemanlara ayırma (meshing) gibi işlemlerin yapıldığı, malzeme özelliklerinin tanımlandığı çözümden önceki en önemli hazırlık aşamasıdır. (Yılmaz, İ. M., 2005)

Solution: Sınır şartlarının ve yüklerin girildiği, analiz tipinin belirlendiği ve çözümüm yaptırıldığı kısımdır.

General Postprocessor: Sonuçların liste halinde veya görsel olarak okunabildiği ve değerlendirildiği aşamadır.

c) ANSYS Graphics: Modelin oluşturulduğu ve üzerinde çalışılan ekrandır.

d) ANSYS Input: ANSYS programında model sadece ana menüdeki komutlar kullanılarak değil de komut satırı şeklinde yazılarak da oluşturulabilir.

e) ANSYS Output: Klavye ya da Mouse ile girilen tüm komutlar karşısında programın verdiği tepkiler ve yaptığı işlemler bu pencerede yer almaktadır.

f) ANSYS Toolbar: Bu pencerede yapılan işlemlerin kaydedilmesi, herhangi bi hata anında geriye dönülebilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.

3.3.3. Programın Kabiliyetleri

Structural: Yapısal analizleri yapar.

Thermal: Sıcaklık analizleri yapar.

Electro- Magnetic: Magnetik analizleri yapar.

Coupled Field: İki farklı analizi aynı anda yapar.

3.3.4. Koordinat Sistemleri

ANSYS programı her biri farklı amaçlara yönelik birkaç koordinat sistemi kullanır. Global ve lokal koordinat sistemleri uzayda geometrileri oluşturan düğüm noktaları, keypointler gibi parçaları yerleştirmek için kullanılır. Display koordinat sistemi geometrilerin hangi parçalarının listeneleceğini veya görüntüleneceğini belirler. Nodal koordinat sistemi her düğümdeki serbestlik derecelerinin ve eleman yönelimlerini tanımlar. (Ural, F., 2003)

3.3.5. Element Kütüphanesi

ANSYS' te yapılarımız tanıtabileceğimiz 133 adet element vardır. Element seçimi yapının geometrisine olduğu kadar analizin cinsine de bağlıdır.

3.3.6. Çözüm Metotları

ANSYS programında birkaç denklem çözücüsü vardır. En çok kullanılanlar denklem çözücüler aşağıda verilmiştir: (URAL, F., 2003)

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

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

İteratif Solver: Bu çözücüde denklemi iteratif olarak çözdüğü için fazla disk alanına ihtiyacı olmaz fakat çözüm zaman alır.

3.3.7. ANSYS' te Analiz

ANSYS programı, sonlu elemanlar yöntemi ile, basit lineer statik analizden lineer olmayan dinamik analizlere kadar bir çok analiz kapasitesine sahiptir. ANSYS' te analiz işlemini gerçekleştirmek için izlenen adımlar:

1) Analiz tipinin belirlenmesi
2) Eleman tipinin seçilmesi
3) Real Constant tanımlaması
4) Malzeme tanımlaması
5) Modelin oluşturulması
6) Sınır koşulları ve yüklerin verilmesi
7) Sonlu elemanlar ağının oluşturulması
8) Çözüm sonuçların incelenmesi.

aşamalarından oluşur ve bu işlemler ANSYS'te

Run > Preferences > Structural ↵ (1)
Preprocessor > Element Type > Add Element Types ↵ (2)
Preprocessor > Real Contanants ↵ (3)
Preprocessor > Material Props > Isotropic ↵ (4)
Preprocessor > Create > Volumes > Cylinder ↵ (5)
Preprocessor > Loads > Apply > Displacement / Pressure ↵ (6)
Preprocessor > Mesh ↵ (7)
Solution > Current Ls ↵ (8)
General Postproc > Plot Resaults > Nodal Solutions ↵ (8)

komutları ile gerçekleştirilir.

BÖLÜM 4

KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde gerek dişli benzeri parçaların ekstrüzyonu, gerek kalın cidarlı boru problemlerine yaklaşımlar ve gerekse CAD/CAM programları kullanarak kalıp tasarımı ve optimizasyon çalışmaları mevcuttur.

Solmaz (1990), içten basınca maruz bir diskin gerilme dağılımını incelemiştir. Disk eksenel simetrik olduğundan, diskin dörtte birini incelemek yeterli olmuştur. Çözüm metodu olarak sonlu elemanlar metodu uygulanmıştır. Sonlu eleman tipi olarak üçgen eleman seçilmiştir. Diskte delikler bulunduğundan, delikler etrafında daha küçük elemanlar kullanılmıştır. Öncelikle elastisite matrisinsin katsayıları belirlenmiş ve eleman geometrisi, eleman rijitlik matrisi oluşturulmuştur. Bunlara göre sistemin toplam rijitlik matrisi kurulmuştur. Sisteme yükler ve sabitlikler uygulanmıştır. Son olarak gerilme değerleri bulunmuştur. Problem ayrıca teorik olarak ta çözülmüştür. Elde edilen gerilmelerin, teorik olarak elde edilen çözüm değerlerinden farklı olmadığı gözlenmiştir. Karşılaştırma açısından dikin dolu olduğu düşünülerek ayrıca bir çözüm daha yapılmıştır.

Yıldız (2001) önceki çalışmalardan farklı olarak, otomobillerin ön süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun boyutlarını hesaplamayı amaçlamıştır. Değişik eleman boyutları için uygulama parçası olan salıncak kolunun **Ansys** ve **I-Deas** programlarında topoloji optimizasyonu yapılmış % 14.3 kütle azalmasına karşın statik şartlar altında emniyetli çalışacağı bulunmuştur. Sonraki aşamada optimum şekli bulunan salıncak kolunun değişik yükler altında I-Deas programında yorulma analizi yapılmış ve parçanın ömrünün sonsuz olduğu bulunmuştur.

Gürarda (2000) 'Bilgisayar Destekli Kalıp Tasarımı' konulu çalışmasında günümüzde kullanımı artmakta olan saç parçaların üretiminde kullanılan kalıpların tasarımı ve sac parçaların işlem planlamasına yönelik minumum maliyetle parça üretimi, parçadan istenilen toleransları elde edebilmek ve sac parçayla kalıplar arasında

çakışmayı önlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sac parçalar için işlem planlamanın, parçanın CAD modeline bakılarak otomatik olarak yapılamaması sebebiyle bükme sırasını belirlemeye yönelik matris yapısı kullanılarak çakışma olmayacak ve deneyimsel kuralların dikkate alındığı ve toleranslara bağlı sıralamanın yapıldığı iki yöntem geliştirilmiş. Üretilen sac parçanın modellenmesinde CAD (Solid Edge) programı kullanılmış. İşlem planlama tamamen otomatik hale getirilmiştir. Kalıp tasarımında bilgisayarın kullanımı ve kalıp tasarım adımları üzerinde durulmuş, optimizasyon teknikleri ve parametrik tasarım kullanılarak, kalıp tasarımının bilgisayar desteğinde daha doğru ve daha hızlı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir.

Atmaca (1996) endüstride önemli bir yer tutan ekstrüzyon işlemlerinin, genel özellikleri, malzemelerde meydana gelen deformasyonlar, alüminyum ve alaşımlarının ekstrüze kabiliyetleri, alüminyum ekstrüzyon kalıplarının konstrüktif yapıları ve ekstrüzyon presinin hidrolik devre ekipmanları ile bunların boyutlandırılmalarına yönelik bir çalışma yapmış. Çalışmanın büyük kısmını teşkil eden literatür araştırmaları yanında ampirik formüller ile pratikte kullanılan değerler göz önüne alınarak ekstrüzyon presi konstrüktif yapısı boyutlandırılmış ve hidrolik devresi oluşturulmuştur. Çalışmada alüminyum ve alaşımlarına yönelik ekstrüzyon işlemlerinde en iyi verimi alabilmek için göz önünde tutulması gerekli noktalar ortaya konmuştur. Alüminyum ve alaşımlarının metalürjik yapıları ve ekstrüze edilebilirliklerinin incelenmesi sonucunda sıcak ekstrüzyon ile karmaşık kesitli parçaların rahatlıkla üretilebileceği gösterilmiştir.

Erdem (1996) düz dişlilerde, diş profilindeki gerilmeleri klasik yöntemlerle incelenmiştir. Gerilme analizi problemlerinin çözümünde geniş kullanım alanı bulan sonlu elemanlar metodunun prensipleri verildikten sonra sonlu elemanlar metodunu kullanan **Ansys** programı ile bir dişlinin diş profilinin modellenmesi ve diş profilindeki gerilmelerin dağılımları üzerinde çalışmıştır. Ansys programı ile sistemin her noktasındaki gerilme dağılımının kısa sürede hesaplanabildiği sonucuna varılmış gerilme değeri ve emniyet bağlantılarına değinilmiş. Yapılan analizler sonucu diş dibi gerilmeleri Ansys programıyla tatmin edici biçimde belirlenmiştir. Analitik yöntemle analiz sonuçları arasındaki farkların mevcut bilgisayar imkanları dahilinde eleman ve nod sayılarının arttırılmasıyla kapanabileceği belirtilmiştir.

Gedikli (2000) alüminyum, bakır, bronz ve pirinç malzemelerin kombine açık kalıpla dövme-geriye ekstrüzyon prosesindeki davranışlarını incelemiştir. Üzerinde silindirik bir delik olan düz levha şeklinde bir üst kalıp ve ile düz bir alt kalıp arasında gerçekleştirilen deneylerde numune hem ekstrüze olmuş hem de serbest olarak yığılmıştır. Daha sonra proses sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek farklı malzemelerin, farklı yağlama şartlarının ve fıçılaşmanın sürtünme kalibrasyon eğrileri üzerine etkileri incelenmiştir.

Murtezaoğlu (1995) dikişsiz ince kesitli çelik boruların ekstrüzyon yöntemi ile imalini incelenmiştir. İnce kesitli bir çelik boru imali için gerekli ekstrüzyon kuvveti hesaplanmış ve gerekli düşey pres seçimi yapılmıştır. Yatay ekstrüzyon ile imali zor parçaların düşey ekstrüzyonu için yapılan bu çalışmada çeliğin ekstrüzyon sıcaklığının yüksek olması nedeniyle en etkili yağlamanın cam yağlama olacağı, bunun takımları koruyacağı ve ömrünü uzatacağı, ince cidarlı ve küçük çaplı çelik borularda cidar kalınlığı homojenliği, boyut hassasiyeti ve ovallik yönünden ekstrüzyonun en etkili ve ekonomik yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Erten (1993) ‘’ Dişli Çarklarda Yük Taşıma Kabiliyetinin ve Diş Dibi Gerilmelerinin İncelenmesi’’ başlıklı çalışmasında günümüzde en çok kullanılan mekanik güç ve hareket iletim elemanlarından olan dişli çarkların, yük taşıma kabiliyetinin belirlenmesine yönelik diş diplerinde meydana gelen zorlanmaları ve bunları etkileyen faktörleri incelenmiştir. Yük taşıma kabiliyetini etkileyen faktörler ve diş dibi kırılma mukavemetleri hem deneysel hem de modern gerilme ve şekil değişimi inceleme yöntemlerinden sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş ve literatürle karşılaştırılmıştır.

Perçin (2000) CAD programlarının matematiksel ve mantıksal arka planı ele almıştır. Optimizasyon konusunu ele alan Perçin hassaslık analizi, parametrik tasarım ve topolojik optimizasyon uygulamaları için I-Deas ve Ansys programları kombine olarak kullanmıştır. Yapılacak analizler için seçilen salıncak kolu parçasında, verilen yükleme ve sınır şartları altında mevcut gerilmeyi değiştirmeden malzemeden % 15 tasarruf sağlanmıştır.

Byon (2003) soğuk ve sıcak ekstrüzyonda uygun kalıp şekli tasarımı için yaptığı çalışmasında, şekillendirme prosesini karakterize eden iş parçasının ve ürünün şekli, işlem basamakları, kalıplarının ve iş parçalarının şekilleri, sürtünme, sıcaklık, şekillendirme hızı, iş parçasının ve kalıpların malzeme özellikleri gibi çeşitli parametrelerin kontrol değişkeni olarak almış ve bu yönde tasarım yapmıştır. Sıcak ve soğuk şekillendirmede uygun kalıp tasarımı prosesi için Euler sonlu elemanlar metodu tabanlı bir yaklaşım kullanan Byon işlem hızı yüksek bilgisayarlar kullanılarak tasarımcının deneyimine ve sezgisine bağlı kalmaksızın efektif bir tasarım prosesi üretilmeyi amaçlamıştır.

Alüminyum ekstrüzyonunda malzeme akışı ve kalıp deformasyonunu sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplamak amacıyla yapılan diğer bir çalışmada Mooi (1999) sonlu elemanlar yöntemini kullanarak karmaşık alüminyum ekstrüzyonlarını modellemiştir. İki boyutlu akış hesaplamalarının gerçek üç boyutlu gerilme bölgesi ve deformasyonlarına yaklaşık sonuçlar verdiği bu çalışmada gösterilmiştir.

Guiveia (1998) Lagrange ve Euler-Lagrange formülasyonları kullanılarak ileri soğuk ekstrüzyon prosesini sonlu elemanlar metoduyla modellenmeye çalışmıştır. Simülasyondan elde edilen nümerik sonuçlar, çelik numunelerle yapılan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve plastik şekil değiştirmiş bölgede akım çizgileriyle ve genleme dağılımlarıyla mükemmel bir uygunluk gösterdiği görülmüştür.

Shafry (1989) ekstrüzyon prosesi için üç boyutlu kalıpların bilgisayar destekli tasarım ve imalat sürecini araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Çalışmada prosesi simüle etmek için üst sınır analizi yöntemi kullanılmıştır. Karmaşık şekilli parçaların uygun ekstrüzyonu için üretilen kalıplarıda kalıp yüzeyinin, ürünün kalitesine olan etkisini inceleyen Sharfy, kinematik olarak kabul edilebilir hız alanını üç boyutlu bir akış için elde etmiştir. Ekstrüzyon kuvveti ve ekstrüzyon basıncı için teorik sonuçlar elde edilmiş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, aynı redüksiyon, aynı numune çapı ve aynı kalıp uzunluğu için ekstrüzyon basıncının şekil zorluk faktörünün artmasıyla birlikte arttığı görülmüştür. Çalışmada aynı şekil zorluk

faktörüne sahip farklı profildeki ekstrüzyon ürünlerinin benzer ekstrüzyon kuvvetleriyle üretildiği de gözlenmiştir.

Yang (1986) çeşitli profildeki rastgele seçilmiş üç boyutlu ürünlerin ekstrüzyonunda genelleştirilmiş bir yöntem önermeyi amaçlayan çalışmasında, ekstrüzyon prosesini etkileyen çeşitli parametreleri irdelenmiş, uygun bir kalıp yüzeyi oluşturmaya çalışmıştır. Kesit azalmasının etkisi, ürünün şekil zorluk derecesi, kalıp uzunluğu ve sürtünme şartlarının ekstrüzyon basıncıyla ve ekstrüzyon ürünündeki efektif genleme ve akım çizgileriyle olan ilişkisinin irdelendiği çalışmada, prosesin simülasyonu üst sınır analizi yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde ürünün çıkış kesiti dikdörtgen ve elips biçimindedir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde, AA2024 alüminyum alaşımlı sahip dairesel kesitli numuneler kullanılmıştır. Ekstrüzyon kuvveti için elde edilen teorik sonuçlar deneysel ölçümlerle iyi bir uygunluk göstermiştir.

Sofuoğlu (2004) üç boyutlu ekstrüzyon prosesinin fiziksel ve nümerik analizini araştırmak amacıyla gerçekleştirdiği çalışmasında elastik-plastik modelin tanımlanması için plastisin kullanmıştır. Bu yöntem sayesinde olayın fiziksel modeliyle, sonlu elemanlar tabanlı nümerik sonuçların bulunması amaçlanmıştır. Belirtilen yöntem yardımıyla oluşturulan teorik sonuçlar özellikle ekstrüzyon kuvveti için deneysel değerlerle büyük bir uyum göstermektedir.

Song (2004) dişli parçaların ileri ekstrüzyonu için ana tasarım parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır. Dişli parçalarının göbek boşluklu veya boşluksuz ileri soğuk ekstrüzyonunda, sonlu elemanlar yardımıyla ana tasarım parametreleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; malzemenin dişli profilindeki kalıp boşluğunu doldurabilmesinde karşımıza çıkan en önemli parametreler üretilmek istenen geometrik şekil ve boşluk oluşturmak amacıyla kullanılan mandrelin yarıçapıdır. Tasarımdaki bir diğer önemli parametre olan ekstrüzyon oranının 2.6'dan küçük olması durumunda malzemenin kalıp boşluğunu istenen oranda dolduramama riskinin ortaya çıkması olarak ortaya konmuştur.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin deneysel çalışmalarında kullanılan ekstrüzyon kalıpları literatürde verilen bilgiler ışığında tasarlanıp hazırlanmıştır. Kalıpların şematik resmi Şekil 5.1 de fotoğrafik görüntüsü ise Şekil 5.2 de verilmektedir. Ekstrüzyon kovanları, zımbaları ve kalıp 1.2344 malzeme numaralı sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 5.1. de verilmektedir.

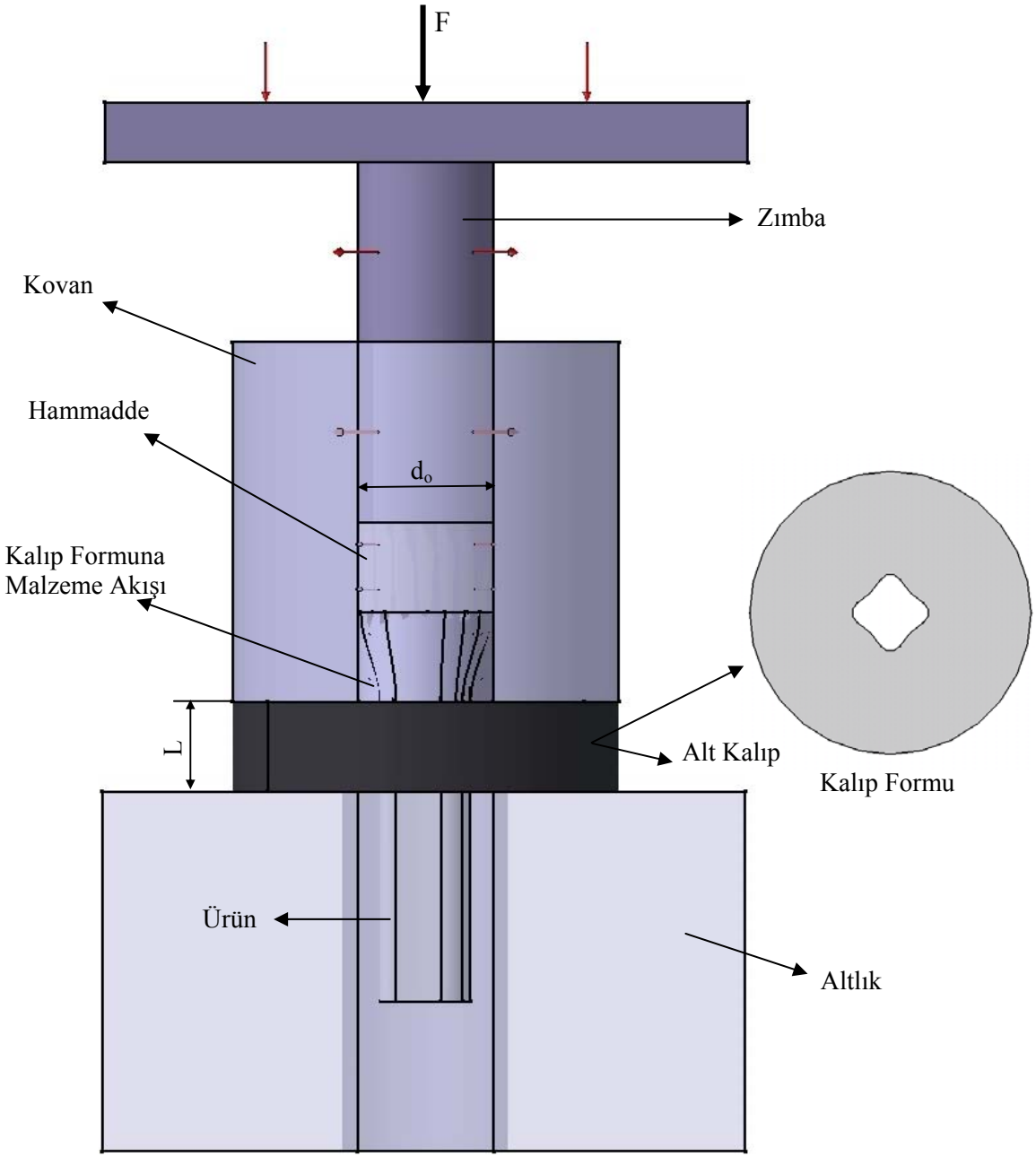
Tablo 5.1. 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
0.37-0.42	0.3-0.5	0.9-1.2	max.0.03	max.0.03	5.0-5.5	1.2-1.5	0.9-1.1

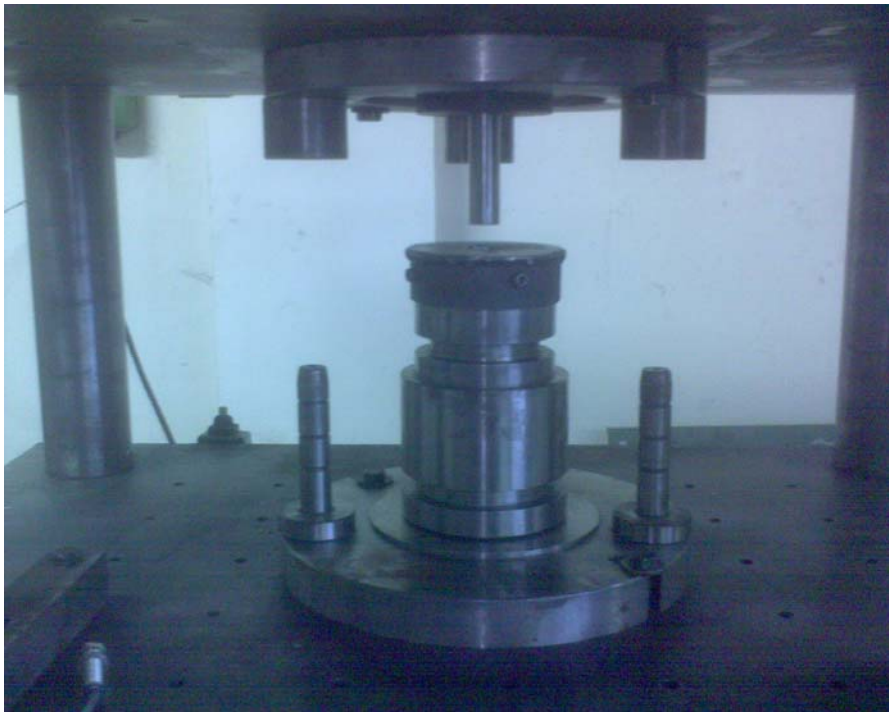
Dişli benzeri olması bakımından troidal dişlilerde ve kamalarda kullanılan yonca biçimli (clover section) bir kalıp geometrisi seçilmiştir. 15 mm yüksekliğe sahip yonca biçimli alt kalıp 1050^{o}C'de yağda su verilerek 550^{o}C'de tavlanmış ve ardından tel erozyon ile işlenmiştir. Kalıp sertliği 52 HR_c olarak ölçülmüştür. Ajiboje deneysel çalışmasında kalıp düz kısım uzunluğunun hammadde çapına oranının (Şekil 5.1, L/d_o) 0.6 dan büyük yada eşit olmasını önermiştir. Bu amaçla kovan iç çapları 21, 23 ve 25 mm. olacak şekilde belirlenmiş ve CNC tornada işlenerek istenilen boyutlara getirilerek ekstrüzyon kalıbına benzer şekilde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Böylece L/d_o oranı sırasıyla 0.71, 0.65 ve 0.6 olmuştur. Zımbalar da yine CNC ile işlenerek sertleştirilmiştir.

Oda sıcaklığında pekleşmediğinden ve düşük akma gerilmesine sahip olduğundan deney malzemesi olarak kurşun seçilmiştir. 40 mm. çaplı ekstrüzyon alıcısının içine dökülen ticari saflıktaki kurşun 20.9, 22.9 ve 24.9 mm.ye ileri ekstrüzyonla çubuk haline getirilmiş ve 55 mm boya işlenmiştir. Ürünün kalitesi açısından ve eğilmeye

mani olmak için ekstrüzyon kalıbı çıkışında eğim açısı verilmemiştir. Kurşun malzemenin akma gerilmesi basma deneyinden σ_0 = 24 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Deney Setinin Şematik Görünümü



Şekil 5.2. Deney Setinin Fotoğrafı

Deneyler Şekil 5.3 te gösterilen 150 metrik ton kapasiteli 5 mm/s koç hızlı bir hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Presin Mısırlı (Mısırlı, C., 2006) tarafından geliştirilen bir düzenekle otomatik kontrollü olması sağlanmıştır. Bu şekilde deney parametrelerinin her deney için ayrı ayrı dosyalara kaydedilmesi ve kuvvet-stok diyagramlarının otomatik olarak çizilebilmesi mümkün olmuştur. Bu amaçla kumanda panosuna iki adet 9 pinlik bilgisayar konektörü eklenerek presin bilgisayar ile bağlantısı sağlanmıştır. Bir numaralı konektör üzerinden ana motorun durdurulup çalıştırılması ile koçun aşağı ve yukarı hareketlerini kontrol eden devreler ile tasarlanan röle kontrol kartıyla iletişim sağlanmaktadır. İki numaralı konektör üzerinden ise basınç-akım transducerinden alınan basınç bilgisiyle rotasyon enkoderinden alınan konum bilgileri bilgisayarın I/Q kartına iletilmektedir. Baskı silindirin kesiti sabit olduğundan ve basit kuvvetle orantılı olacağından presin uyguladığı kuvvet miktarını ölçmek için hidrolik pompa çıkışındaki basıncının ölçülmesi yeterli olacaktır. Ölçülen bu basınç değerini değerlendirmek üzere bilgisayara Şekil 5.4.'te gösterilen 0-400 barı 4-20 mA' e dönüştüren basınç akım çeviricisi kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Deneylerde Kullanılan ve Bilgisayar Kontrollü Hale Getirilmiş Pres



Şekil 5.4. Basınç Akım Çeviricisi

Bu sensörde 0–400 bar arasındaki basınç 4–20 mA' e çevrilmektedir. Bu basınç dolayısıyla da kuvvet bilgisini bilgisayara iletebilmek için, PCI slotuna takılan AIO–3310 I/Q kartı kullanılmıştır. Basınç akım çeviricisinin ürettiği 4–20 mA' lik çıkış sinyali I/Q kartının analog girişine verilebilmesi için 0–10 volta dönüştürülmüştür.

Koçun hareket miktarı Şekil 5.5.'te gösterilen rotasyon enkoder yardımıyla okunabilmektedir. Bir makara düzeneği yardımıyla koçun her 1 milimetrelik hareketine

karşılık enkoderin çıkışında 2 pals elde edilebilecek şekilde kasnaklar boyutlandırılmıştır. Bu pals bilgileri bilgisayarın ISA slotuna takılan gösterilen enkoder okuma kartına iletilmektedir. Böylece bu kart yardımıyla konum bilgisi yazılıma iletilmektedir. Yazılımın ürettiği kontrol çıktıları presin elektrik devrelerini kumanda edebilmesi için röle kontrol kartı yapılmıştır.



Şekil 5.5. Konum Bilgisini Okuyan Enkoderin Görünümü

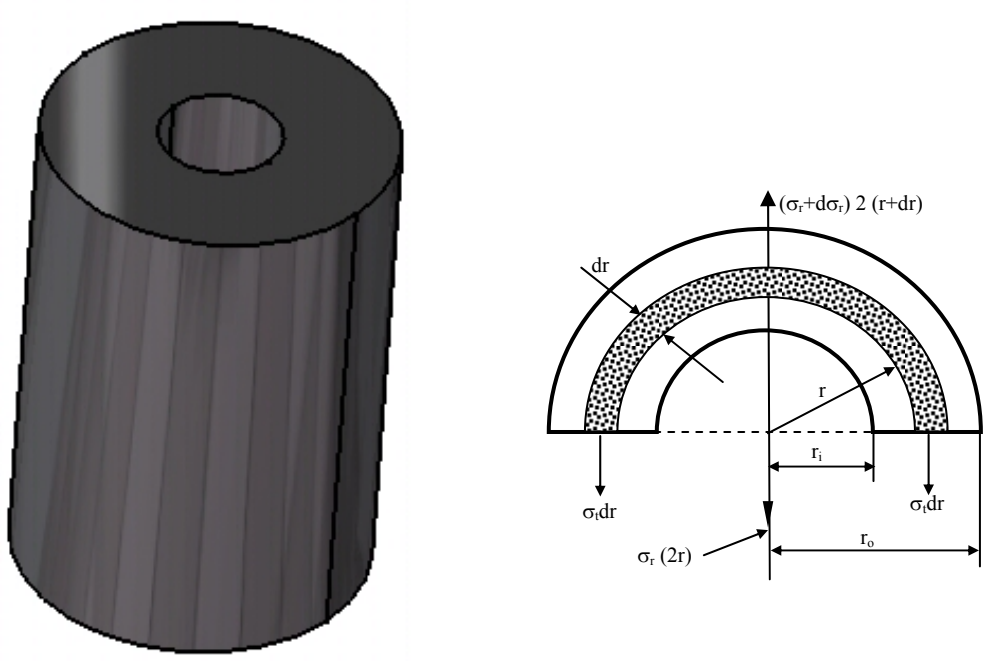
Böylece presin tüm fonksiyonlarının bilgisayar ile hassas bir şekilde kontrol edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, deney esnasındaki kuvvet ve strok değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Prese kazandırılan diğer bir özellik ise, deney esnasında tanımlanan maksimum kuvvet veya strok değerine ulaşıldığında presin otomatik olarak emniyetli bir şekilde durmasıdır (Kuşçu, H. ve diğ., 2006). Böylece presin aşağı hareketi bir swiç yardımıyla kontrol edilmiş ve zımbanın hammadde ile temasından sonra 48 mm.lik strokta deney otomatik olarak durdurulmuştur. Deneyin kuvvet-strok eğrisi her deney için bilgisayara kaydedilmiştir. Deneylerden önce numuneler asetonla silinerek eşit sürtünme koşullarının sağlanması amaçlanmıştır. Deneyler esnasında herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır.

BÖLÜM 6

KALIN CİDARLI BORU PROBLEMİ

6.1. GİRİŞ

İki ucu kapalı ve iç basınç etkisindeki kalın cidarlı bir boruda meydana gelen teğetsel ve radyal gerilmelerin şematik gösterimi (Şekil 5.2) ile düşey yöndeki kuvvet dengesinden türetilerek elde edilmiş ampirik formüller aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1. Kalın Cidarlı Boruda Birim Eleman ve Gerilmeler

Kalın cidarlı boru geometrisi uzunluk doğrultusunda değişmediğinden (Şekil 6.1.) problem iki boyutlu gerilme problemi olarak ele alınmıştır. Bu problemde, model geometri ve statik sınır şartı itibariyle x, y düzlemlerine göre simetriktir. Malzemenin homojen ve izotropik yapıya sahip olduğu kabul edilmektedir.

Kalın cidarlı boruda, P_i iç basıncına karşılık oluşan gerilmeler; radyal gerilme σ_r, teğetsel gerilme σ_t, eksenel gerilme σ_z dir. (Babalık, F.C., 1997)

Radyal gerilme (σ_r)

$$\sigma_r = -P_i \frac{\left(\frac{r_i}{r}\right)^2 - Q^2}{1 - Q^2} \tag{6.1}$$

elde edilir.

Teğetsel Gerilme (σ_t)

$$\sigma_t = P_i \frac{\left(\frac{r_i}{r}\right)^2 + Q^2}{1 - Q^2} \tag{6.2}$$

formülüyle hesaplanır.

Eksenel Gerilme

$$\sigma_z = P_i \frac{Q^2}{1 - Q^2} \tag{6.3}$$

Q: kovanın iç çapının dış çapına oranı olmak üzere:

$$Q = \frac{d_i}{d_d} \tag{6.4}$$

Borunun iç ve dış yüzeyindeki gerilmeler için $r = r_i$ veya $r = r_d$ konularak:

$$\sigma_{ri} = -p_i ; \tag{6.5}$$

$$\sigma_{rd} = 0 \tag{6.6}$$

değerleri elde edilir. Bu durumda

$$\sigma_{ti} = P_i \frac{1+Q^2}{1-Q^2} \tag{6.7}$$

ve

$$\sigma_{td} = \sigma_{ti} - P_i \tag{6.8}$$

elde edilir.

Basınç altında çapın yer değiştirme miktarı da bu durumda

$$\Delta d_i = \frac{P_i}{E} d_i \left(\frac{1+Q^2}{1-Q^2} + \nu \right) \tag{6.9}$$

olarak verilebilir.

İç basınç etkisi altındaki parçanın mukavemeti açısından mukayese gerilmesi, iç yüzeyin teğetsel ve radyal gerilme açısından en büyük zorlanmaya maruz kaldığı göz önünde bulundurularak Von Mises mukayese gerilmesi ile üzerinde oluşan maksimum mukayese gerilmesi bulunur.

$$\sigma_{muk} = \sqrt{\frac{(\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2}{2}} \tag{6.10}$$

n: Emniyet katsayısı olmak üzere

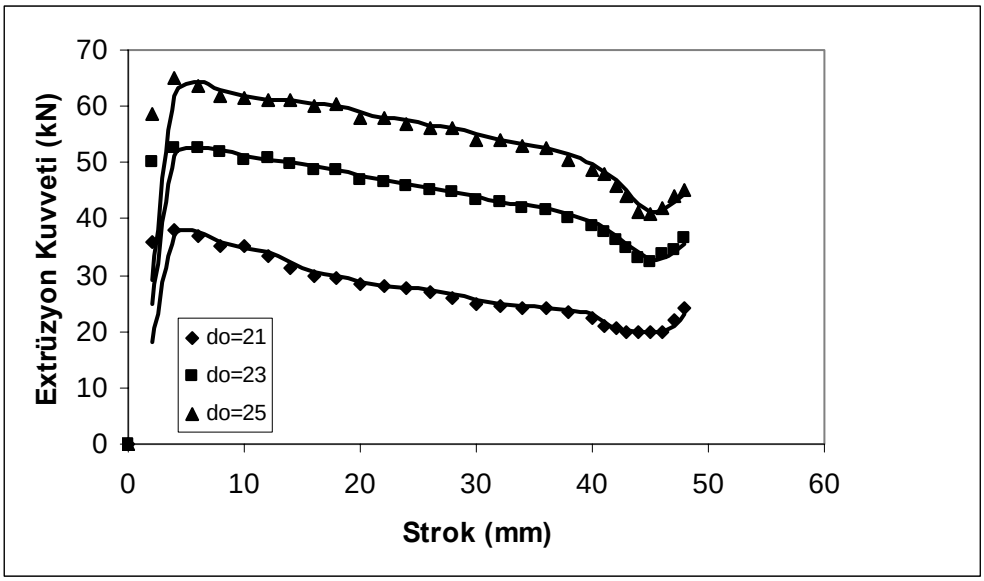
$$\sigma_{max} < \sigma_{ak} / n \tag{6.11}$$

σ_{max} : Boru üzerinde oluşan max Von mises gerilmesi

σ_{ak} : Malzemenin akma gerilmesi

6.2. Ekstrüzyon Kovanı için Analitik Çözüm

Ekstrüzyon prosesinin bir parçası olan kovan Şekil 6.3.'te geometrik ölçüleriyle verilmiş ve kalın cidarlı boru olarak kabul edilmiştir. Bölüm 5'te açıklanan deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan 3 farklı kovan için ölçülen maksimum ekstrüzyon kuvveti değerleri Şekil 6.2'de görülmektedir.

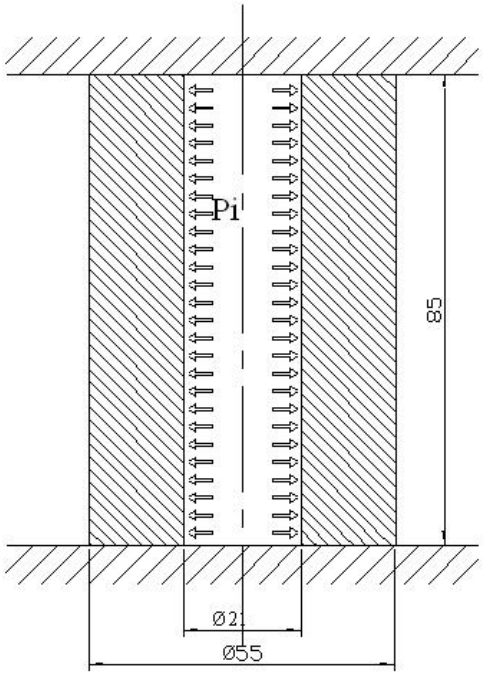


Şekil 6.2. 3 Farklı Zımba Çapı için Ekstrüzyon Kuvvetlerinin Strokla Değişimi

21mm iç çapa sahip kovan için F= 38000 N
23mm iç çapa sahip kovan için F=51500N
25mm iç çapa sahip kovan için F= 65000 N

Malzeme özellikleri olarak çeliğin elastisite modülü E=210 GPa ve poisson sabiti ν=0.3 olarak alınmıştır.

ri = 21 mm, 23mm, 25mm
rd = 27.5 mm
h = 85 mm



Şekil 6.3. Ekstrüzyon Kovanının Ölçüleri

21 mm iç çapa sahip kovan için:

$$Q=\frac{d_i}{d_d}=\frac{21}{55}=0{,}3819$$

$$\sigma_i=\sigma_{ti}=P_i\frac{1+Q^2}{1-Q^2}=109{,}77\frac{1+0{,}3819^2}{1-0{,}3819^2}$$

σ_t= 147 N/mm^2

elde edilir. Benzer işlemler yapılarak 23 ve 25 mm. iç çapına sahip kovanlar için aşağıdaki teğetsel gerilme değerleri hesaplanır:

d_0=23 mm için **σ_t= 176.6 N/mm^2**
d_0=25 mm için **σ_t= 201.5 N/mm^2**

Proses tam olarak içinden akışkan geçen bir boru şeklinde olmadığından normal şartlarda $\sigma_2=\sigma_z=0$ değildir. Ancak her üç durum için σ_z değeri yerine konduğunda mukayese gerilmesini yalnızca ~ ‰4 oranında değiştirdiğinden ve analiz programları da iç basınç değeri girilerek hesap yapıp σ_z değeri dikkate alınmadığından dolayı ihmal edilmiştir.

P_i iç basınç değeri için önce eksenel kuvvetten faydalanılarak eksenel gerilme(σ_z) bulunmuş ve sonra (5.3) formülü kullanılarak iç basınç değeri hesaplanmıştır.

d_0=21 mm. için
σ_r=-P_i= - 109.77 N/mm^2
ve benzer şekilde
d_0=23 mm için **σ_r=-P_i=- 124 N/mm^2**
d_0=25 mm için **σ_r=-P_i=- 132.5 N/mm^2**

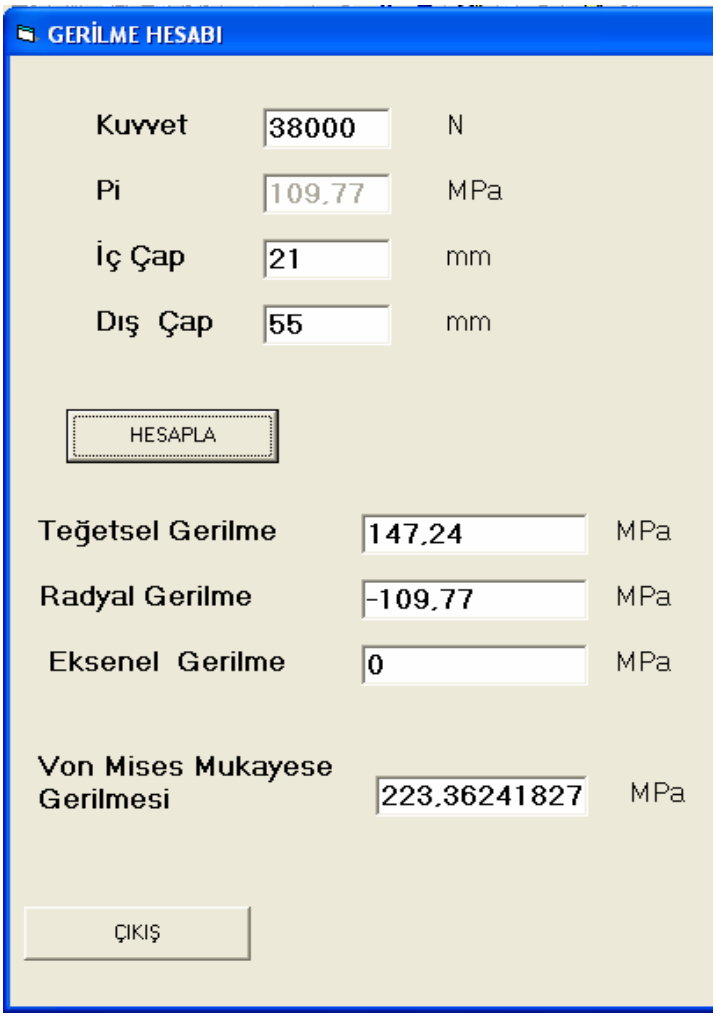
Böylece (5.11) denklemini kullanarak;

d_0= 21 mm için $\sigma_{muk} = 223.36$ N/mm^2

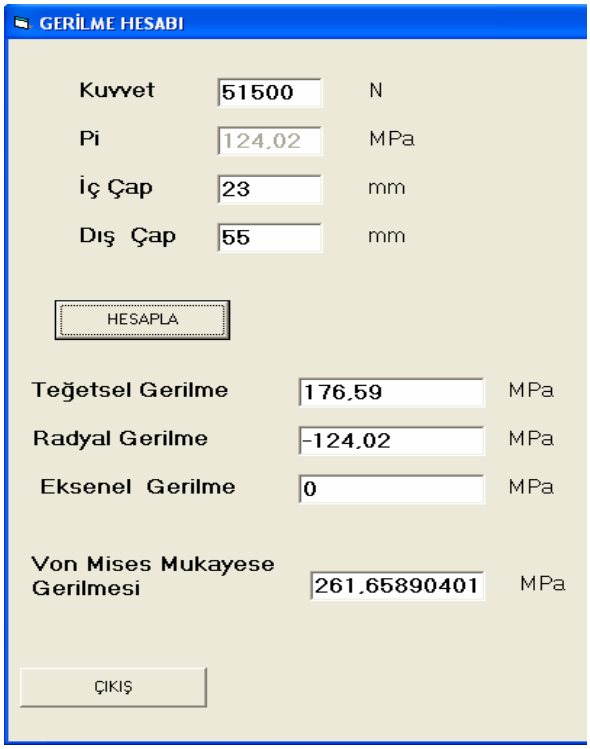
d_0= 23 mm için $\sigma_{muk} = 261.66$ N/mm^2

d_0= 25 mm için $\sigma_{muk} = 291.27$ N/mm^2

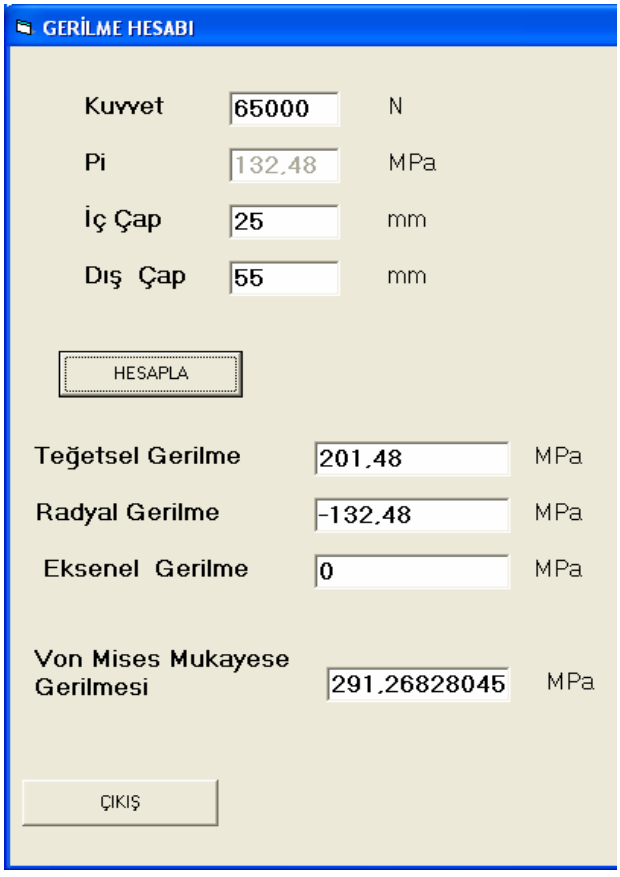
Bu işlemler bir Visual Basic uygulaması ile kodlanarak genelleştirilmiştir. Böylece ekrana girilecek iç çap değeri ve eksenel kuvvet için σ_{muk} değerini program hesaplamaktadır. Örnek olarak sunulan tezde kullanılan 21, 23 ve 25 mm.lik kovanlar için hesaplanan σ_{muk} değerleri Şekil 6.4-6.6 arasında program penceresi olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.4. d_0=21 mm için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı



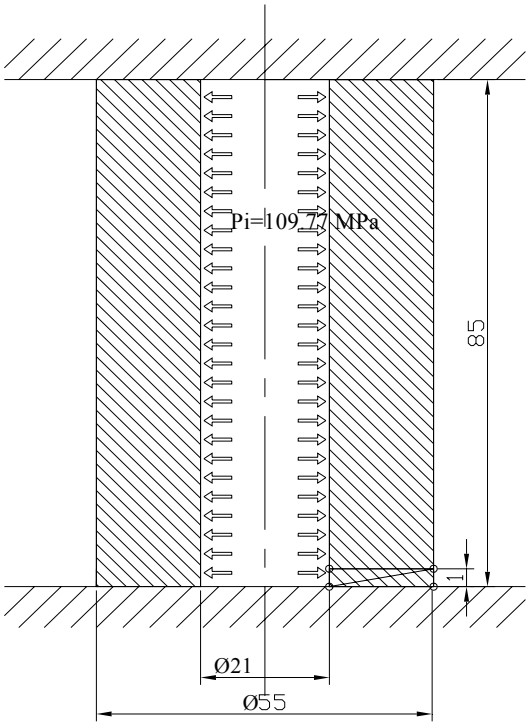
Şekil 6.5. d_0=23mm için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı



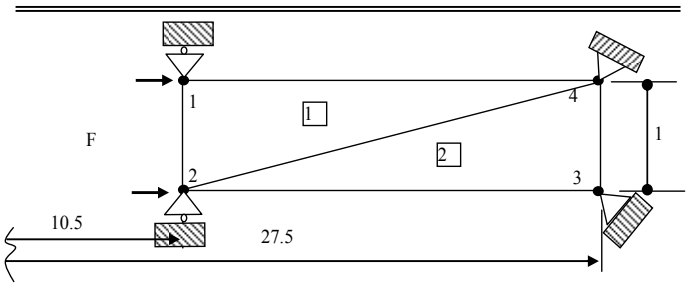
Şekil 6.6. d_0=25m için σ_r σ_t ve σ_{muk} Değerlerini Hesaplayan Visual Basic Ekranı

6.3. Kovandaki Yerdeğiştirmelerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analitik Çözümü

Bir sistemi üçgen sonlu elemanlara ayırarak uygulanan kuvvet veya basınç değerlerine ve uygun sınır şartlarına bağlı olarak yer değiştirmeleri hesaplamak ve buradan gerilme değerlerini elde etmek mümkündür. Proseste kullanılan kovanın üzerine gelen basınca bağlı olarak yer değiştirmeler hesaplanabilir. Bu amaçla Şekil 6.7. de görülen eksenel simetrik kovanın ölçülen kuvvet değerlerine bağlı basınç değerleri ile sonlu elemanlar modellemesi ve çözümü Bölüm 2'de verilen açıklamalar ve denklemler yardımıyla gerçekleştirilebilir. Şekil 6.7. de verilen dış çapı 55 mm ve iç çapı 21 mm olan uzun bir silindir olarak düşünebileceğimiz kovana P_i =109.77 MPa' lık bir iç basınç uygulandığında iç çaptaki büyüme değeri kovanı sonlu elemanlara ayırarak hesaplanır. (Topçu, M., Taşgetiren, S.,1998)

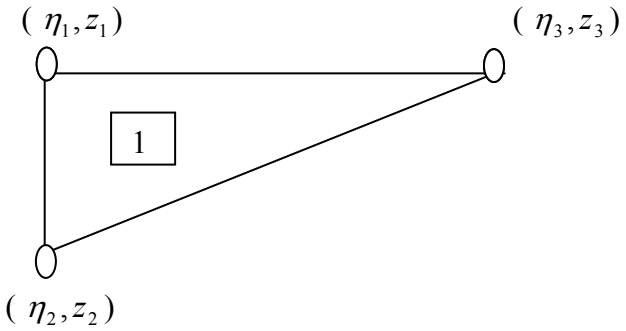


Şekil 6.7. Kovanın Sonlu Üçgen Elemanlarına Ayrılması.



Şekil 6.8. Üçgen Elemanında Düğüm Noktalarının Gösterimi

Şekil 6.7. ve 6.8.de görüldüğü gibi gerçek sonuçlara yaklaşmak amacıyla eleman boyutu küçültülerek yüksekliği 1mm olan üçgen elemanlara ayrılmıştır.



Şekil 6.9. Üçgen Elemanın Düğüm Noktaları

Tablo 6.1. η ve z Değerleri

	η	z
1	10.5	1
2	10.5	0
3	27.5	1

(2.15) denklemi kullanılarak ve Tablo 6.1deki η ve z değerleri yardımı ile

$$[\mathrm{J}] = \begin{bmatrix} -17 & 0 \\ -17 & -1 \end{bmatrix} \tag{6.12}$$

Buradan,

$\det J = \eta_{13}\, z_{23} - \eta_{23}\, z_{13}$

$\det J = [(-17).(-1)] - [(-17)(0)]$

$\det J = 17$

Dolayısıyla elemanların alanları $A_e = \frac{1}{2}|\det J|$ şeklinde olacağından

$A_e = \frac{1}{2} 17\ mm^2$

$A_e = 8.5 mm^2$ bulunur.

İçten basınç bir yüzey kuvveti olduğundan Şekil 6.8deki 1-2 kenarına gelen basıncın düğümlere karşılık gelen değerleri,

$$F_1 = F_2 = \frac{2\pi\eta_1 l_e p_i}{2} = \frac{2\pi(10.5)(1)(109.77)}{2} = 3.619.10^3 \text{ N}$$

elde edilir.

1-2 kenarı z eksenine paralel olduğundan ortalama yarıçap hesaplamaya gerek kalmamıştır.

Elastisite matrisi denklem 2.14 yardımı ile;

$$[D] = \begin{bmatrix} 2.69x10^5 & 1.15x10^5 & 0 & 1.15x10^5 \\ 1.15x10^5 & 2.69x10^5 & 0 & 1.15x10^5 \\ 0 & 0 & 0,77x10^5 & 0 \\ 1.15x10^5 & 1.15x10^5 & 0 & 2.69x10^5 \end{bmatrix} \quad (6.13)$$

olarak yazılabilir.

Düğüm deplasmanlarını eleman şekil değiştirmelerine bağlayan [B] matrislerinin hesabı için ortalama yarıçaplar;

1. eleman için $\eta_1 = \frac{1}{3}(10.5+10.5+27.5)=16.67$ mm ve,

2. eleman için $\eta_2 = \frac{1}{3}(10.5+27.5+27.5)=21.83$ mm olarak hesaplanır.

$$\frac{N_1}{\eta_1} = \frac{1/3}{16.67} = 0.021 \tag{6.14}$$

ve

$$\frac{N_2}{\eta_2} = \frac{1/3}{21.83} = 0.015 \tag{6.15}$$

$$[\overline{B}]_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{17} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{17} & 0 \\ 0 & \frac{17}{17} & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & 0 \\ \frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & 0 & 0 & \frac{1}{17} \\ 0.021 & 0 & 0.021 & 0 & 0.021 & 0 \end{bmatrix} \quad [\overline{B}]_2 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{17} & 0 & \frac{1}{17} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & \frac{17}{17} \\ 0 & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & \frac{17}{17} & 0 \\ 0.015 & 0 & 0.015 & 0 & 0.015 & 0 \end{bmatrix} \tag{6.16}$$

Elemanların elastisite matrisleri [D] ile gerilme-deplasman matrisleri [B]'nin çarpımından [D]. [B] matrisini elde ederiz. Sırasıyla bir ve iki nolu üçgen elemanlar için $[D].[B]_1$ ve $[D].[B]_2$ matrislerini elde edelim:

[D] x $[B]_1$ = [D]. $[B]_1$

$$\begin{pmatrix} 2.69\cdot10^5 & 1.15\cdot10^5 & 0 & 1.15\cdot10^5 \\ 1.15\cdot10^5 & 2.69\cdot10^5 & 0 & 1.15\cdot10^5 \\ 0 & 0 & 0.77\cdot10^5 & 0 \\ 1.15\cdot10^5 & 1.15\cdot10^5 & 0 & 2.69\cdot10^5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{-1}{17} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{17} & 0 \\ 0 & \frac{17}{17} & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & 0 \\ \frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & 0 & 0 & \frac{1}{17} \\ 0.021 & 0 & 0.021 & 0 & 0.021 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.341\times10^4 & 1.15\times10^5 & 2.415\times10^3 & -1.15\times10^5 & 1.824\times10^4 & 0 \\ -4.35\times10^3 & 2.69\times10^5 & 2.415\times10^3 & -2.69\times10^5 & 9.18\times10^3 & 0 \\ 7.7\times10^4 & -4.529\times10^3 & -7.7\times10^4 & 0 & 0 & 4.529\times10^3 \\ -1.116\times10^3 & 1.15\times10^5 & 5.649\times10^3 & -1.15\times10^5 & 1.241\times10^4 & 0 \end{pmatrix}.$$

(6.17)

[D] x $[B]_2$ = [D]. $[B]_2$

$$\begin{pmatrix} 2.69\cdot10^5 & 1.15\cdot10^5 & 0 & 1.15\cdot10^5 \\ 1.15\cdot10^5 & 2.69\cdot10^5 & 0 & 1.15\cdot10^5 \\ 0 & 0 & 0.77\cdot10^5 & 0 \\ 1.15\cdot10^5 & 1.15\cdot10^5 & 0 & 2.69\cdot10^5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{-1}{17} & 0 & \frac{1}{17} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & \frac{17}{17} \\ 0 & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & \frac{17}{17} & 0 \\ 0.015 & 0 & 0.015 & 0 & 0.015 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.41\times10^4 & 0 & 1.755\times10^4 & -1.15\times10^5 & 1.725\times10^3 & 1.15\times10^5 \\ -5.04\times10^3 & 0 & 8.49\times10^3 & -2.69\times10^5 & 1.725\times10^3 & 2.69\times10^5 \\ 0 & -4.529\times10^3 & -7.7\times10^4 & -4.529\times10^3 & 7.7\times10^4 & 0 \\ -2.73\times10^3 & 0 & 1.08\times10^4 & -1.15\times10^5 & 4.035\times10^3 & 1.15\times10^5 \end{pmatrix}.$$

(6.18)

Eleman rijitlik matrislerini $2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}\left[\mathrm{D}\right]\left[\overline{\mathrm{B}}\right]$ (3.18)' den hesaplamak amacıyla; $2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}$ ifadesi ile elde ettiğimiz [D]. [B] matrisleriyle çarparız.

$2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}{}_1$

$$2\cdot 3.14\cdot\frac{48.5}{3}\cdot 8.5\cdot\begin{pmatrix}\frac{-1}{17} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{17} & 0\\ 0 & \frac{17}{17} & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & 0\\ \frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & 0 & 0 & \frac{1}{17}\\ 0.021 & 0 & 0.021 & 0 & 0.021 & 0\end{pmatrix}^{\mathrm{T}}=\begin{pmatrix}-50.763 & 0 & 862.977 & 18.123\\ 0 & 862.977 & -50.763 & 0\\ 0 & 0 & -862.977 & 18.123\\ 0 & -862.977 & 0 & 0\\ 50.763 & 0 & 0 & 18.123\\ 0 & 0 & 50.763 & 0\end{pmatrix}, \tag{6.19}$$

$2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}{}_1.\ \left[\mathrm{D}\overline{\mathrm{B}}\right]_1$ $\left[K_1\right]$ matrisi elde edilir

$$\begin{pmatrix}-50.763 & 0 & 862.977 & 18.123\\ 0 & 862.977 & -50.763 & 0\\ 0 & 0 & -862.977 & 18.123\\ 0 & -862.977 & 0 & 0\\ 50.763 & 0 & 0 & 18.123\\ 0 & 0 & 50.763 & 0\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}-1.341\times 10^{4} & 1.15\times 10^{5} & 2.415\times 10^{3} & -1.15\times 10^{5} & 1.824\times 10^{4} & 0\\ -4.35\times 10^{3} & 2.69\times 10^{5} & 2.415\times 10^{3} & -2.69\times 10^{5} & 9.18\times 10^{3} & 0\\ 7.7\times 10^{4} & -4.529\times 10^{3} & -7.7\times 10^{4} & 0 & 0 & 4.529\times 10^{3}\\ -1.116\times 10^{3} & 1.15\times 10^{5} & 5.649\times 10^{3} & -1.15\times 10^{5} & 1.241\times 10^{4} & 0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}6.711\times 10^{7} & -7.662\times 10^{6} & -6.647\times 10^{7} & 3.754\times 10^{6} & -7.01\times 10^{5} & 3.908\times 10^{6}\\ -7.663\times 10^{6} & 2.324\times 10^{8} & 5.993\times 10^{6} & -2.321\times 10^{8} & 7.922\times 10^{6} & -2.299\times 10^{5}\\ -6.647\times 10^{7} & 5.993\times 10^{6} & 6.655\times 10^{7} & -2.084\times 10^{6} & 2.249\times 10^{5} & -3.908\times 10^{6}\\ 3.754\times 10^{6} & -2.321\times 10^{8} & -2.084\times 10^{6} & 2.321\times 10^{8} & -7.922\times 10^{6} & 0\\ -7.01\times 10^{5} & 7.922\times 10^{6} & 2.25\times 10^{5} & -7.922\times 10^{6} & 1.151\times 10^{6} & 0\\ 3.909\times 10^{6} & -2.299\times 10^{5} & -3.909\times 10^{6} & 0 & 0 & 2.299\times 10^{5}\end{pmatrix}, \tag{6.20}$$

$2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}{}_2$

$$2\cdot 3.14\cdot\frac{65.5}{3}\cdot 8.5\cdot\begin{pmatrix}\frac{-1}{17} & 0 & \frac{1}{17} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -\frac{17}{17} & 0 & \frac{17}{17}\\ 0 & -\frac{1}{17} & -\frac{17}{17} & -\frac{1}{17} & \frac{17}{17} & 0\\ 0.015 & 0 & 0.015 & 0 & 0.015 & 0\end{pmatrix}^{\mathrm{T}}=\begin{pmatrix}-68.557 & 0 & 0 & 17.482\\ 0 & 0 & -68.557 & 0\\ 68.557 & 0 & -1.165\times 10^{3} & 17.482\\ 0 & -1.165\times 10^{3} & -68.557 & 0\\ 0 & 0 & 1.165\times 10^{3} & 17.482\\ 0 & 1.165\times 10^{3} & 0 & 0\end{pmatrix}. \tag{6.21}$$

$2\pi\overline{\eta}A_e\left[\overline{\mathrm{B}}\right]^{\mathrm{T}}{}_2 .\ \left[\mathrm{D}\overline{\mathrm{B}}\right]_2$ $\left[K_2\right]$ matrisi elde edilir

$$\begin{pmatrix}-68.557 & 0 & 0 & 17.482\\ 0 & 0 & -68.557 & 0\\ 68.557 & 0 & -1.165\times 10^{3} & 17.482\\ 0 & -1.165\times 10^{3} & -68.557 & 0\\ 0 & 0 & 1.165\times 10^{3} & 17.482\\ 0 & 1.165\times 10^{3} & 0 & 0\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}-1.41\times 10^{4} & 0 & 1.755\times 10^{4} & -1.15\times 10^{5} & 1.725\times 10^{3} & 1.15\times 10^{5}\\ -5.04\times 10^{3} & 0 & 8.49\times 10^{3} & -2.69\times 10^{5} & 1.725\times 10^{3} & 2.69\times 10^{5}\\ 0 & -4.529\times 10^{3} & -7.7\times 10^{4} & -4.529\times 10^{3} & 7.7\times 10^{4} & 0\\ -2.73\times 10^{3} & 0 & 1.08\times 10^{4} & -1.15\times 10^{5} & 4.035\times 10^{3} & 1.15\times 10^{5}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}9.189\times 10^{5} & 0 & -1.014\times 10^{6} & 5.874\times 10^{6} & -4.772\times 10^{4} & -5.874\times 10^{6}\\ 0 & 3.105\times 10^{5} & 5.279\times 10^{6} & 3.105\times 10^{5} & -5.279\times 10^{6} & 0\\ -1.014\times 10^{6} & 5.276\times 10^{6} & 9.11\times 10^{7} & -4.618\times 10^{6} & -8.952\times 10^{7} & 9.894\times 10^{6}\\ 5.872\times 10^{6} & 3.105\times 10^{5} & -4.612\times 10^{6} & 3.137\times 10^{8} & -7.289\times 10^{6} & -3.134\times 10^{8}\\ -4.773\times 10^{4} & -5.276\times 10^{6} & -8.952\times 10^{7} & -7.287\times 10^{6} & 8.978\times 10^{7} & 2.01\times 10^{6}\\ -5.872\times 10^{6} & 0 & 9.891\times 10^{6} & -3.134\times 10^{8} & 2.01\times 10^{6} & 3.134\times 10^{8}\end{pmatrix}. \tag{6.22}$$

Genel serbestlik dereceleri de dikkate alınarak matrisler birleştirildikten sonra 2,4,5,6,7 ve 8 nolu SD' sabit olduğundan

1	2	3	4	7	8
6.711×10^{7}	-7.662×10^{6}	-6.647×10^{7}	3.754×10^{6}	-7.01×10^{5}	3.908×10^{6}
-7.663×10^{6}	2.324×10^{8}	5.993×10^{6}	-2.321×10^{8}	7.922×10^{6}	-2.299×10^{5}
-6.647×10^{7}	5.993×10^{6}	6.655×10^{7}	-2.084×10^{6}	2.249×10^{5}	-3.908×10^{6}
3.754×10^{6}	-2.321×10^{8}	-2.084×10^{6}	2.321×10^{8}	-7.922×10^{6}	0
-7.01×10^{5}	7.922×10^{6}	2.25×10^{5}	-7.922×10^{6}	1.151×10^{6}	0
3.909×10^{6}	-2.299×10^{5}	-3.909×10^{6}	0	0	2.299×10^{5}

3	4	5	6	7	8
9.189×10^{5}	0	-1.014×10^{6}	5.874×10^{5}	-4.772×10^{4}	-5.874×10^{5}
0	3.105×10^{5}	5.279×10^{5}	3.105×10^{5}	-5.279×10^{5}	0
-1.014×10^{6}	5.276×10^{6}	1.036×10^{7}	4.287×10^{6}	-8.782×10^{6}	9.894×10^{5}
5.872×10^{6}	3.105×10^{5}	-9.363×10^{6}	3.165×10^{7}	-2.538×10^{6}	-3.134×10^{7}
-4.773×10^{4}	-5.276×10^{6}	-8.782×10^{6}	-5.477×10^{6}	9.041×10^{6}	2.01×10^{5}
-5.872×10^{6}	0	9.891×10^{6}	-3.134×10^{7}	2.01×10^{6}	3.134×10^{7}

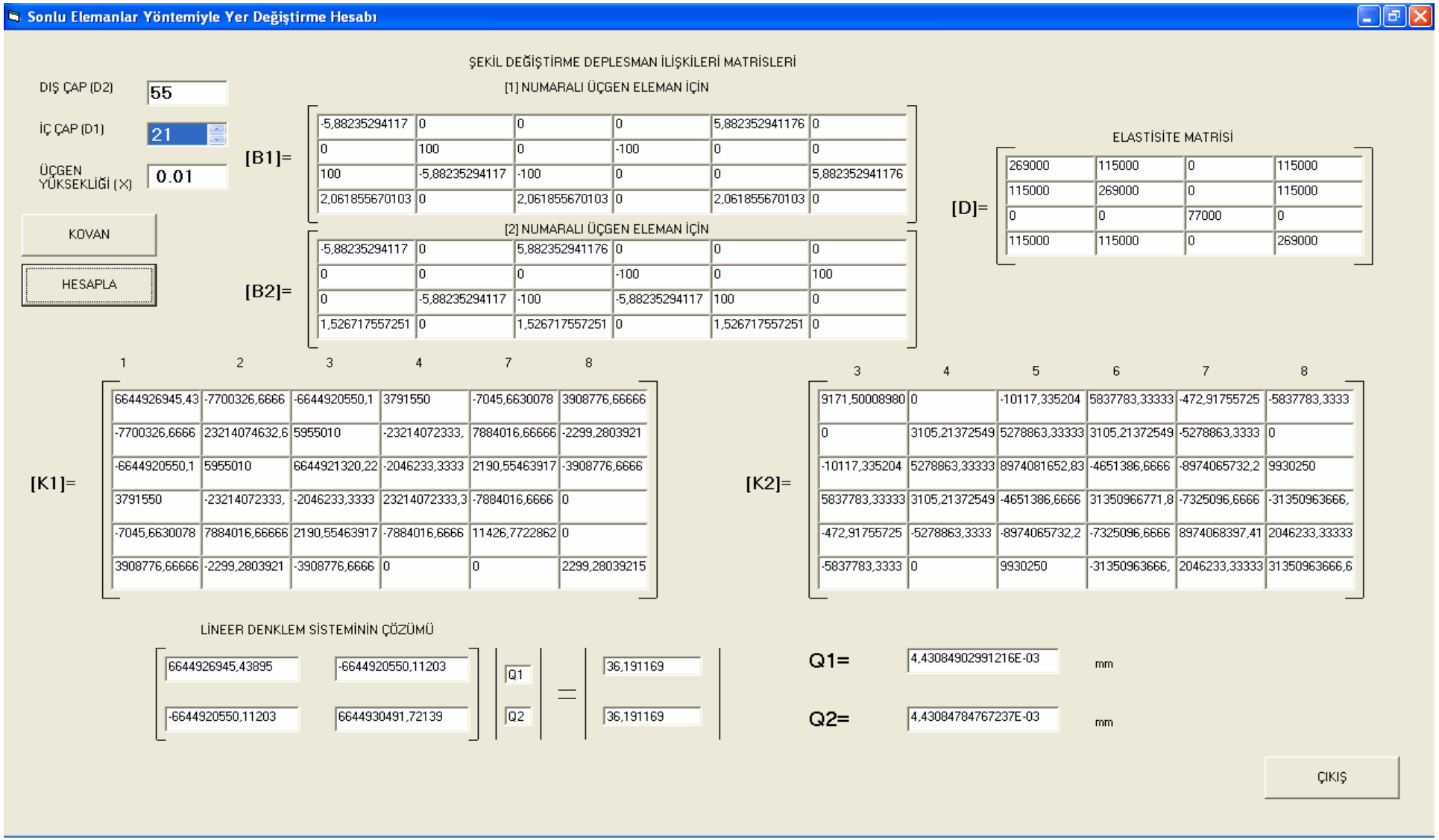
Genel matriste eliminasyon yaklaşımının uygulanmasıyla:

$$\begin{bmatrix} 6.711.10^{7} & -6.647.10^{7} \\ -6.647.10^{7} & 6.476.10^{7} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3.619.10^{3} \\ 3.619.10^{3} \end{Bmatrix}$$ ve elde edilen lineer denklem sisteminin çözümü ile

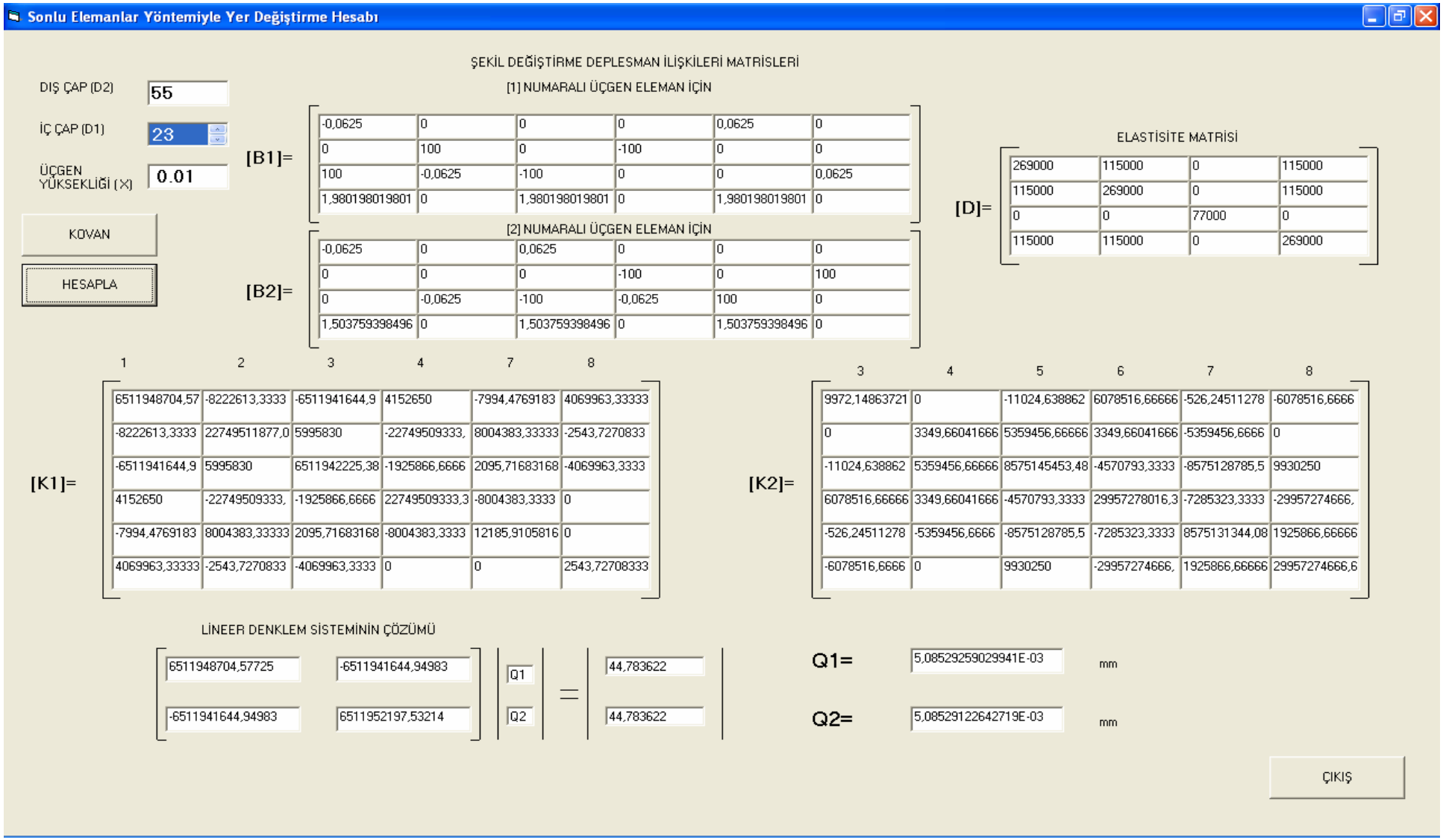
$Q_2 = 4.43.10^{-3}\, mm$

$Q_1 = 4.44.10^{-3}\, mm$ olarak yerdeğiştirme değerleri bulunur.

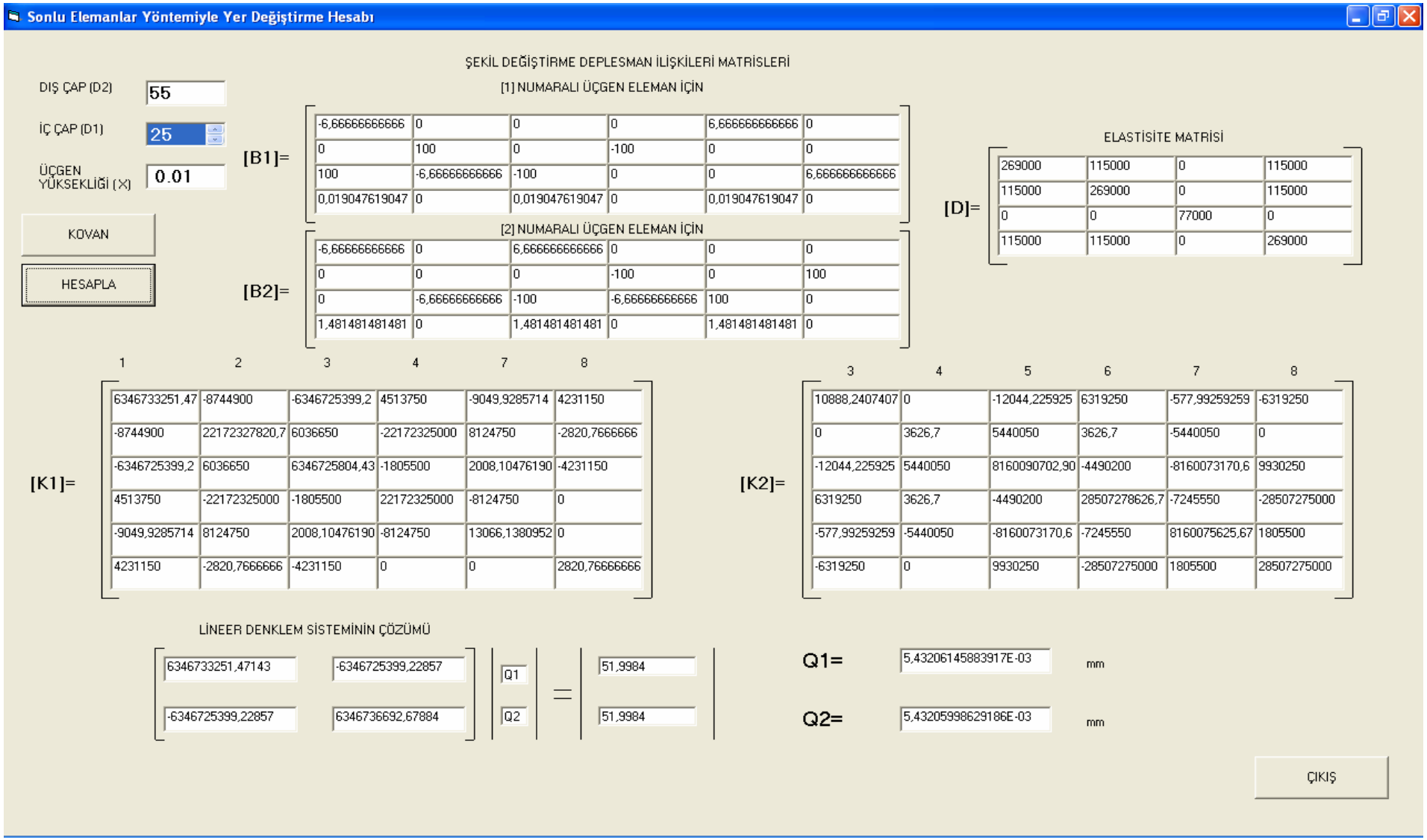
Aslında aynı çıkması gereken bu yerdeğiştirmelerin eleman matrislerinin, elemanın ağırlık merkezindeki yarıçapa göre hesaplanması ve az sayıda elemana ayrılması nedeniyle farklı çıktıkları görülmektedir. Bir yaklaşım metodu olan sonlu elemanlar metoduyla gerçek değerleri elde etmenin yolu imkanlar dahilinde sistemi çok sayıda elemana ayırmaktır. Bunun yolu da bu işlemleri el ile değil bilgisayar yardımıyla yapmaktan geçer. Bu amaçla yine bir Visual Basic uygulaması yapılarak eleman rijitlik matrisinin bilgisayar yardımıyla hesaplanması gerçekleştirilmiş ve yine genelleştirme yapılmıştır. Bu program yardımı ile herhangi bir kovanın iç çap, dış çap ve üçgen eleman yüksekliği değerleri girilerek max. yerdeğiştirme değerleri istenilen hassasiyette hesaplanabilir. Örneğin üçgen yüksekliği 0.01 girildiğinde basamak hassasiyetinin h^7-h^8 mertebelerinde olduğu görülür. Üç farklı kovan iç çapı için sözkonusu programın ekran görüntüsü Şekil 6.10-6.12 arasında gösterilmektedir.



Şekil 6.10 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY ile Hesaplayan Visual Basic Uygulaması(d_0=21 mm)



Şekil 6.11 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY il Hesaplayan Visual Basic Uygulaması (d_0=23 mm)



Şekil 6.12 Kovan İç Çapında Meydana Gelen Yerdeğiştirme Değerlerini SEY ile Hesaplayan Visual Basic Uygulaması (d_0=25 mm)

BÖLÜM 7

ANALİZLER ve SONUÇLAR

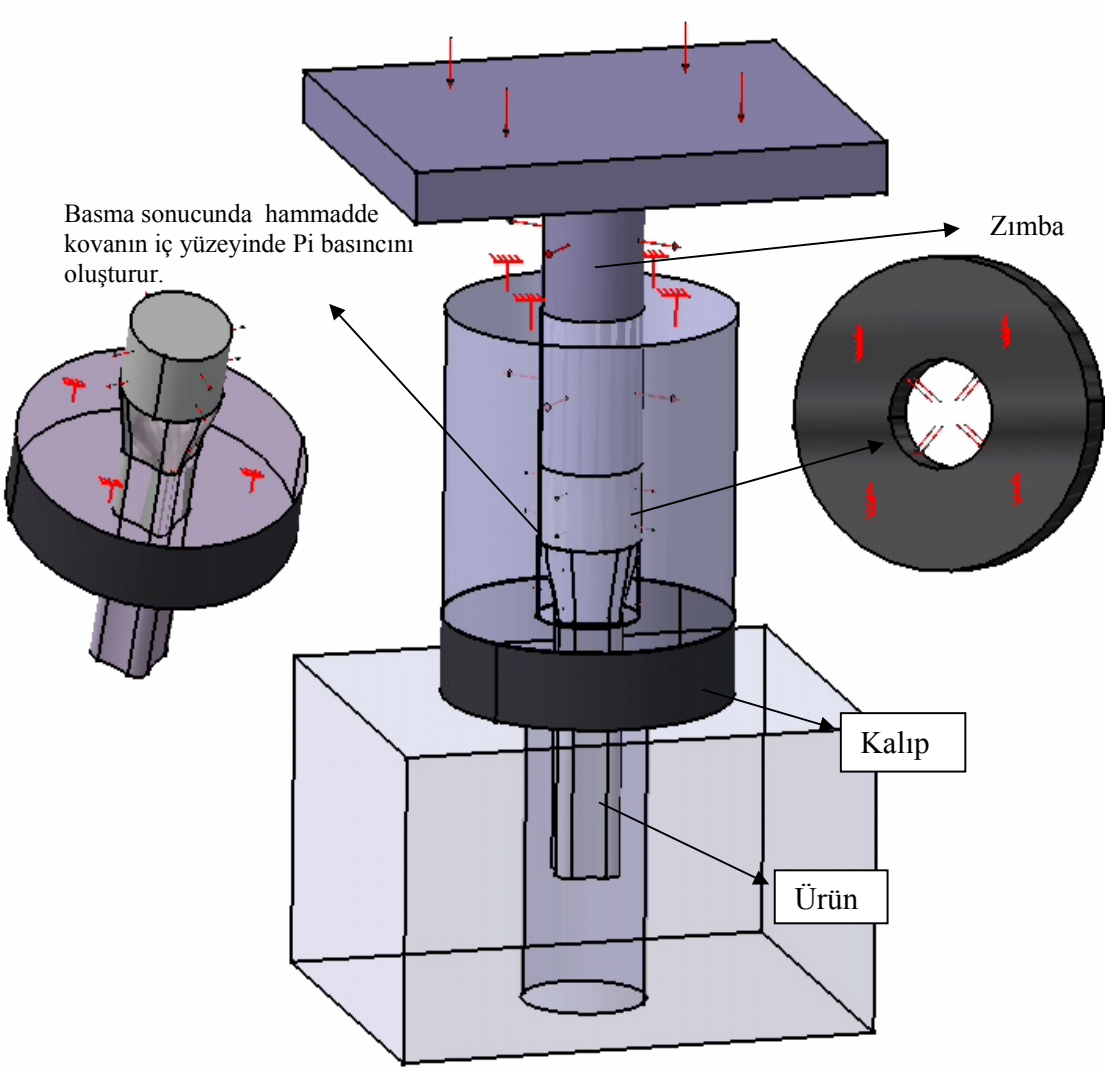
7.1. GİRİŞ

Bir plastik şekil verme yöntemi olan Ekstrüzyon, basma türü bir biçimlendirme işlemidir. Metal hammaddenin üzerine uygulanan basma kuvvetinin etkisinde akma gerilmesinin aşılması ile hammadde bloğu şekil değiştirmeye başlar ve bu durumda metal yüksek yoğunluktaki bir sıvı gibi davranarak uygulanan sınırlar ve kuvvetlerin yön vermesiyle kalıp formuna akış gösterir. Bu olayın gerçekleşmesini sağlayan eksensel kuvvet, metal bloğun hareketlerini sınırlandırarak yön veren kovan ve ürüne şekil veren kalıpta basınca bağlı gerilmeler oluşturur. Gerilme değerlerinin eldesi ekstrüzyon prosesi devre elemanları ve ürün kalitesi bakımından önem arz eder. Yeni bir ekstrüzyon prosesinin oluşturulmasında da bu değerlerden faydalanılır.

Gerilme dağılımına ulaşmak için deneysel yöntemlerle maksimum gerilme değerlerini elde edebiliriz. Bu işlem için incelediğimiz elemanda uyguladığımız kuvvete bağlı olarak oluşan hasarları gözlemleriz. Uzun süren ve maliyetli olan bu işlem ile optimum bir ekstrüzyon prosesi elde etmek imkansızlaşır, çünkü yeni profile ve farklı malzeme özelliklerine sahip yeni bir ürün için sistemimizin uygunluğu ve sınırları konusunda belirsizliğe düşeriz.

Üretim aşamalarında karşılaşılan problemlere, rekabet koşullarında en kısa süre ve en az maliyetle çözüm getirmek amacıyla, deneyler sonucu ulaşılan değerler, kabul edilen analitik ifadelerin desteğinde bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Bilgisayar programları sayısal metotların etkin kullanımını ve gerilme analizinde sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar metodunun uygulanmasına imkan sağlamıştır. Günümüzde konstrüksiyon ve imalata yönelik çok sayıda CAD programı geliştirilmiştir. CATIA, I-DEAS ve ANSYS bilgisayar destekli mühendislikte en çok kullanılan programlardandır.

Gerilme analizi işlemlerinde sonlu elemanlar metodunu kullanan CATIA, I-DEAS ve ANSYS' te ekstrüzyon prosesi elemanı olan kovanın (Şekil 7.1) deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kuvvet değerleri etkisinde gerilme analizi işlemi gerçekleştirilebilir. Çalışmada analizler 21 mm, 23 mm, 25 mm iç çapa sahip dış çapı 55mm ve yüksekliği 85mm olan üç kovan için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1. Ekstrüzyon Prosesinde Uygulanan Eksenel Kuvvetin Kovan Yüzeyinde Meydana Getirdiği Basınç.

7.2. CATIA Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi

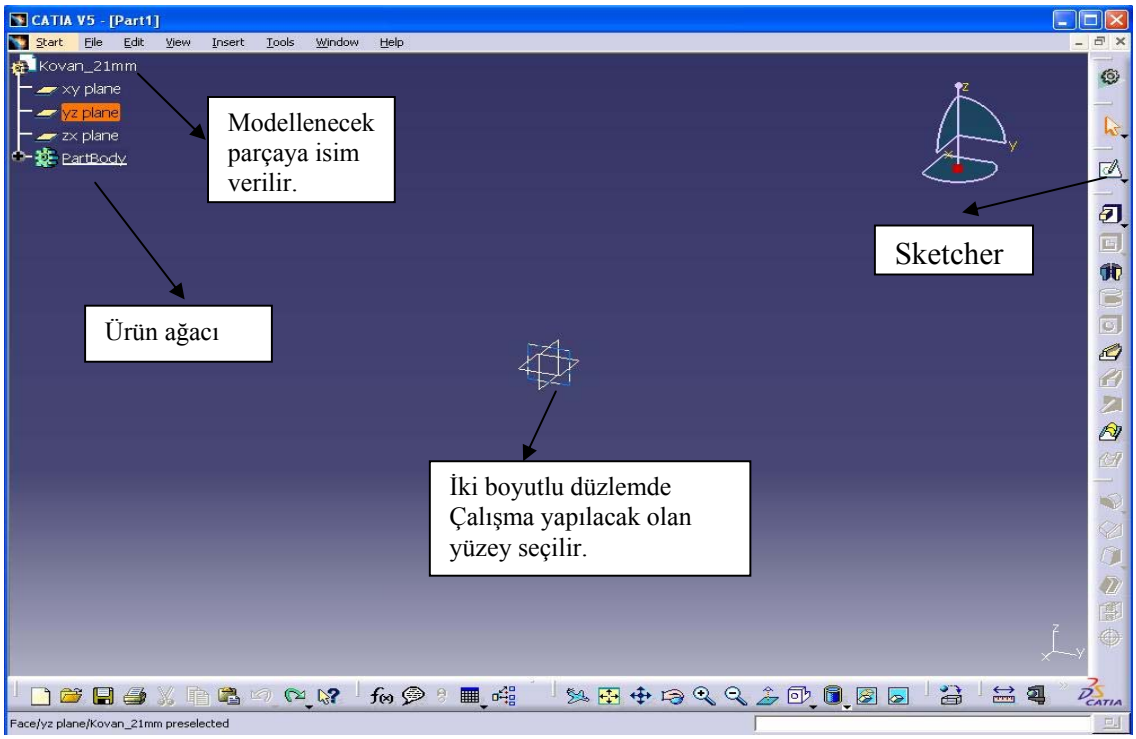
CATIA programında analizi gerçekleştirilecek olan kovan modellenmiştir. Analiz işlemlerine malzeme özellikleri atanmış katı model ile başlanır. Kovan yüzeyine etkiyen iç basınç ve sınır şartları girilerek çözüm yapılır. Çözüm sonuçlarına bağlı mesh boyutu incelenir ve sonuç görüntülenir.

7.2.1. Kovanın Modellenmesi

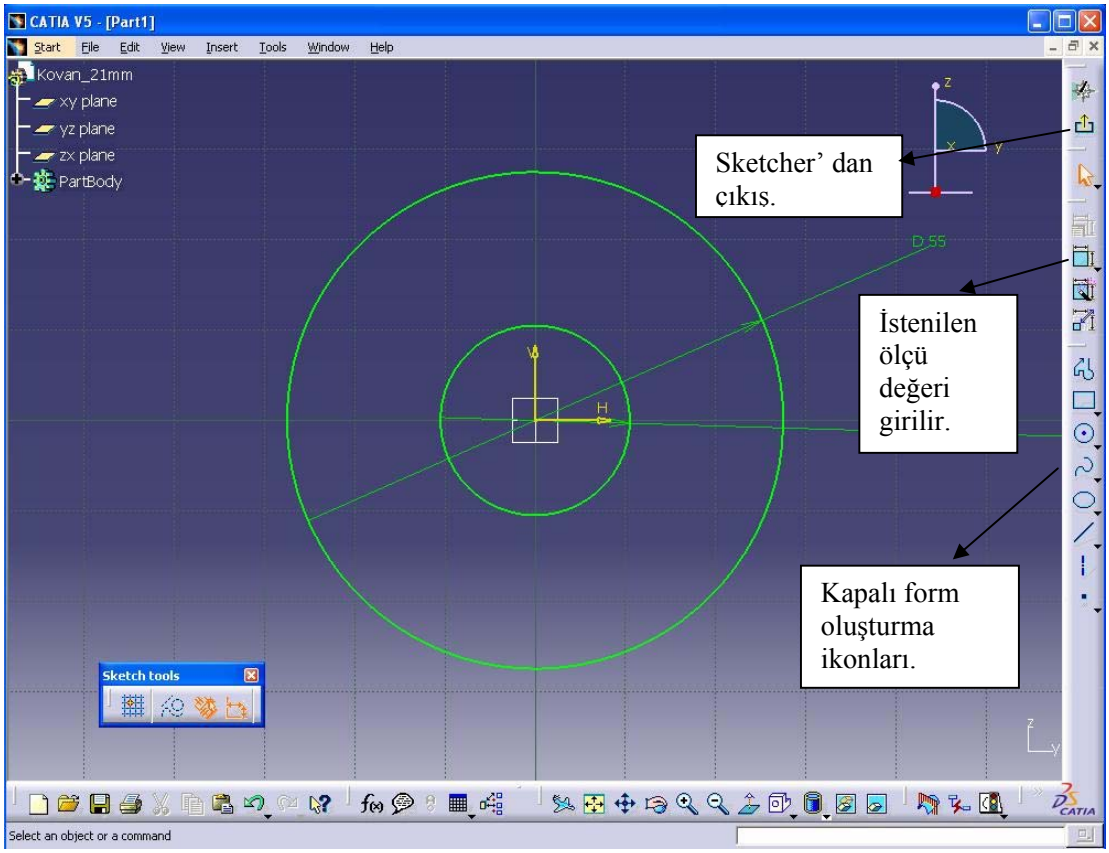
CATIA' da modelleme işlemi Part Design modülünde gerçekleştirilir.

Start > Mechanical Design > Part Design ↵

Part Design modülünde iki form vardır. İlki Şekil 7.2 de gösterilen üç boyutlu ara yüz ve ikincisi üç boyuta geçmek amacıyla kapalı formların yaratıldığı Sketcher modülüdür (Şekil 7.3).

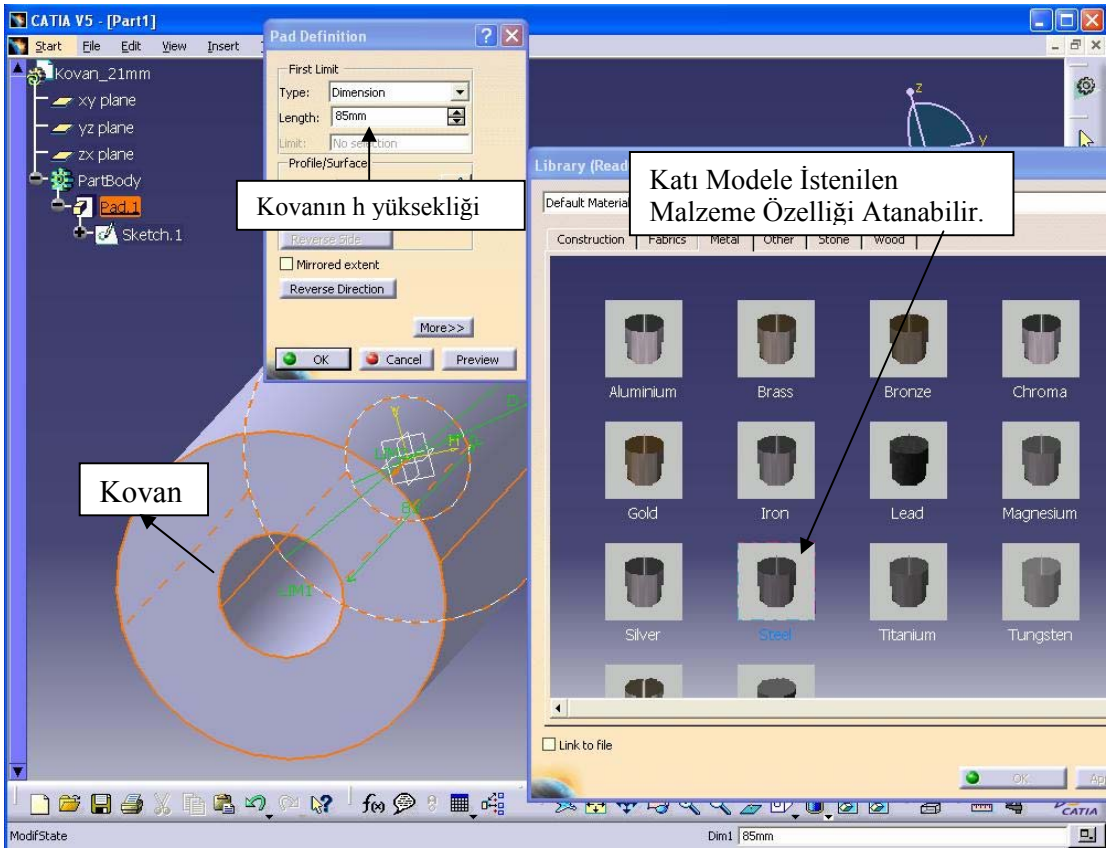


Şekil 7.2. CATIA Üç Boyutlu Arayüz



Şekil 7.3 Sketcher Modülü

CATIA' da üç boyutlu katı model oluşturmanın yolu, iki boyutta oluşturulan kapalı formların bir uzunluk ya da bir eğri boyunca ötelenmesi ya da bir eksen etrafında döndürülmesiyle mümkündür. Oluşturulan form düzleme dik eksen (z) boyunca yüksekliği ölçüsünde ötelenerek katı model haline getirilir. Oluşturulan katı modele malzeme özelliği atanır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Katı Modelin Oluşturulması ve Malzeme Atanması

7.2.2. Analizin Uygulanması



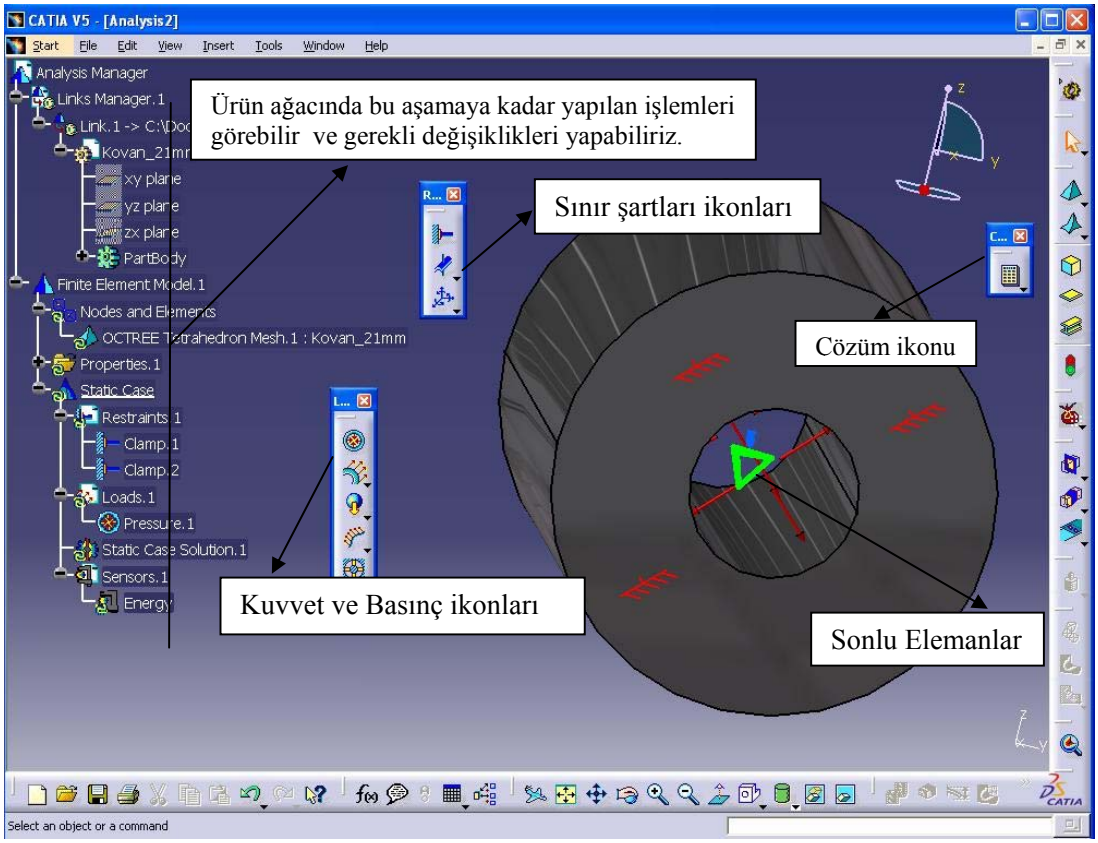
CATIA' da gerilme analizi Generative Structural Analysis (GSA) modülünde gerçekleştirilir.

Start > Analysis & Simulation > Generative Structural Analysis

>Static Analysis

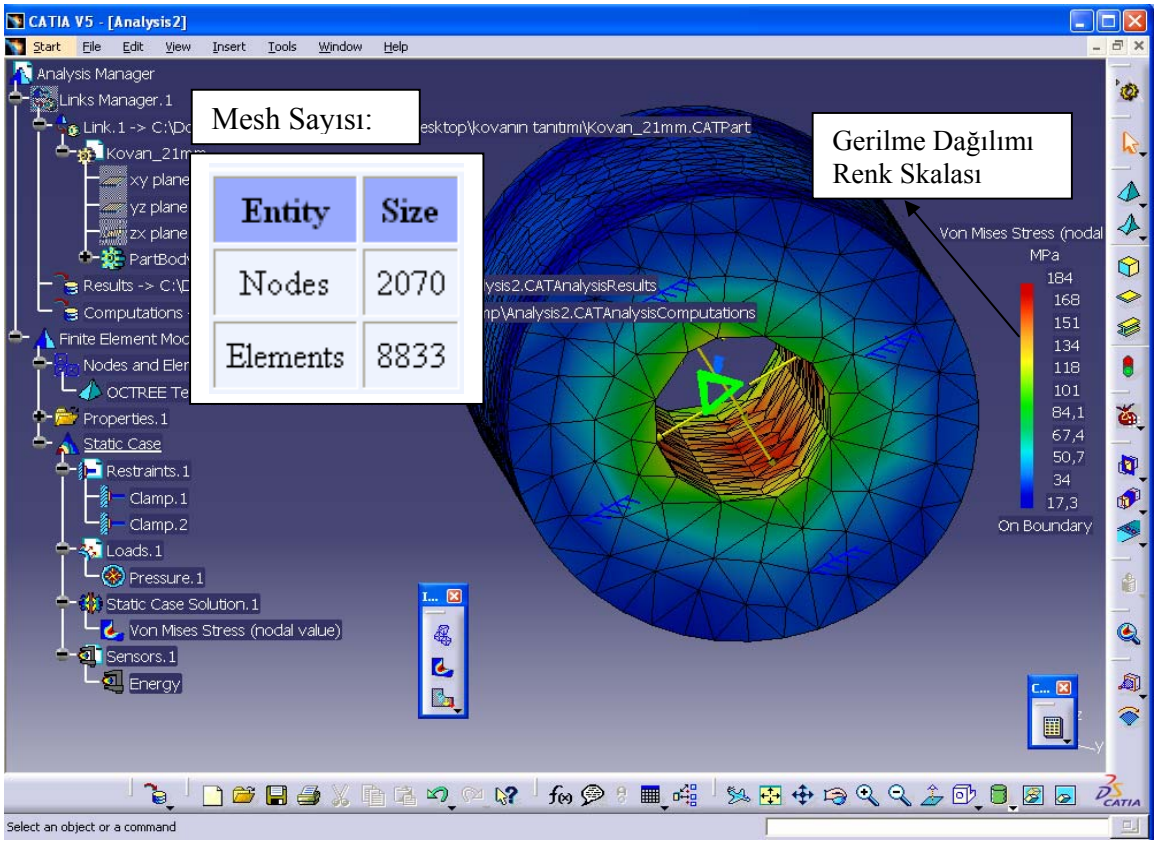


Analiz işlemlerinde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ve kovanın sistemdeki durumu göz önüne alınmıştır. Analiz işlemlerinde program parçanın boyutlarına bağlı olarak mesh boyutunu otomatik olarak atamaktadır (Şekil 7.5.)



Şekil 7.5 Yüklerin ve Sınır Şartlarının Uygulanması

Çözüm  ve sonuçların görüntülenmesi  ile analiz işlemi tamamlanır. Analiz işlemleri sonucunda ulaşılan değerin kullanılabilirliğinin incelenmesi ise analizin en önemli bölümüdür. Sonuçlara renk skalasından ayrıca analiz raporunda ulaşılabilir. Analiz sonucu malzemenin akma gerilmesiyle karşılaştırılarak cismin emniyeti hakkında bilgi sahibi olunur (Şekil 7.6)



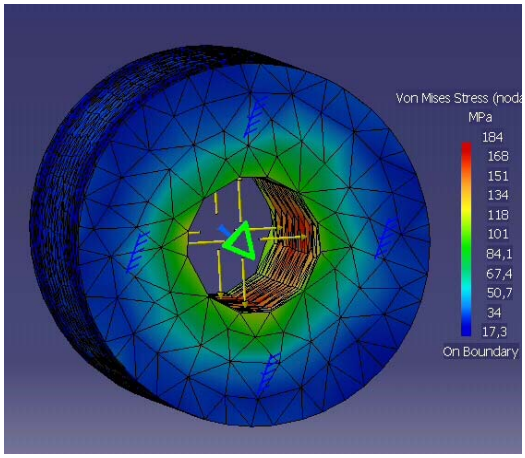
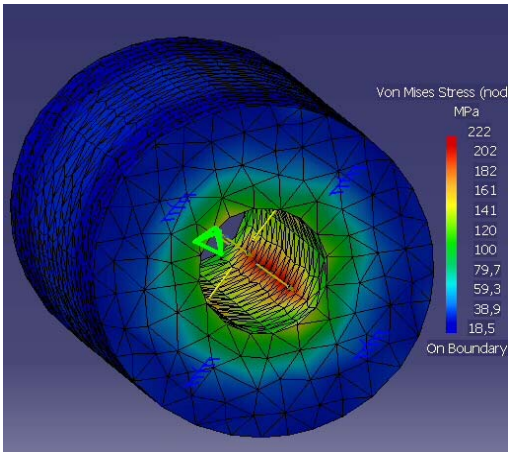
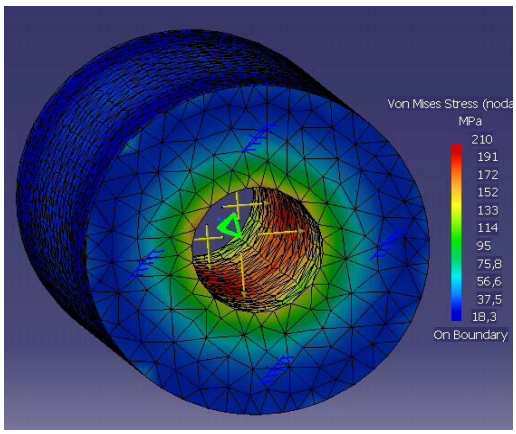
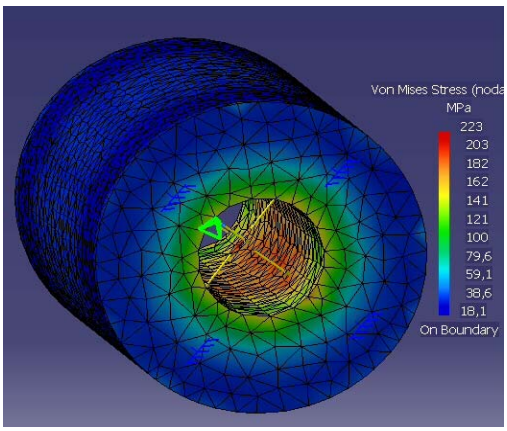
Şekil 7.6 Sonuçların Görüntülenmesi

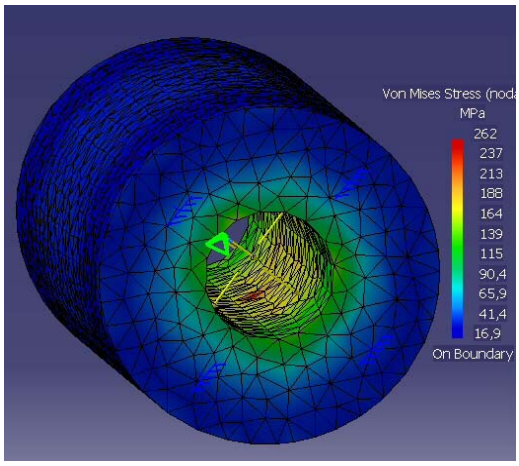
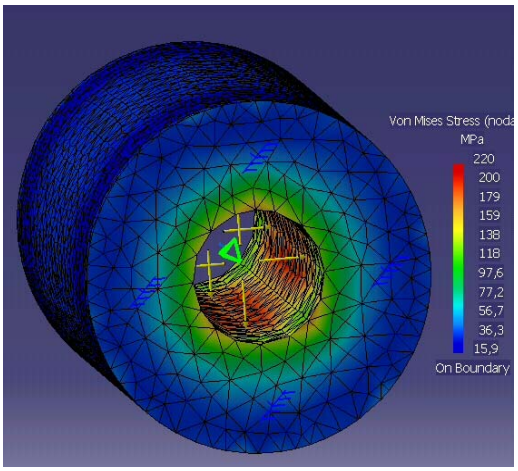
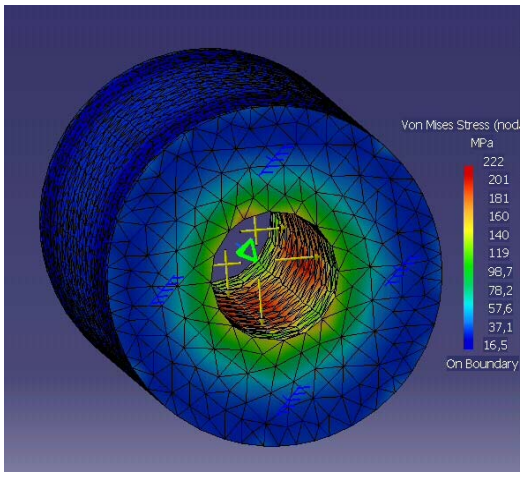
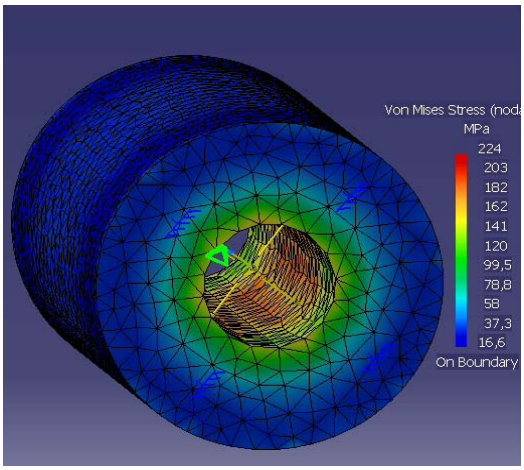
Analiz sonucunda programın kendi atadığı eleman boyutlarına bağlı olarak maksimum mukayese gerilmesi değeri 184 MPa olarak elde edilmiştir.

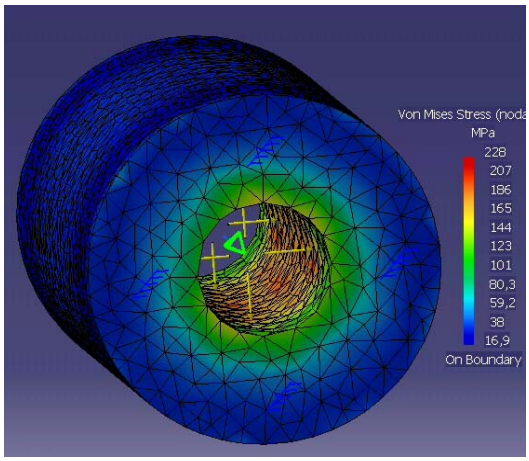
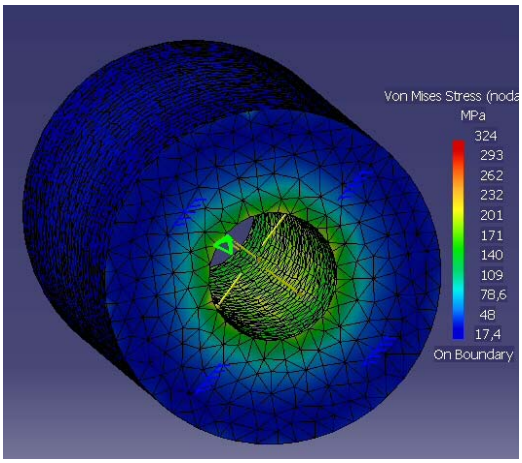
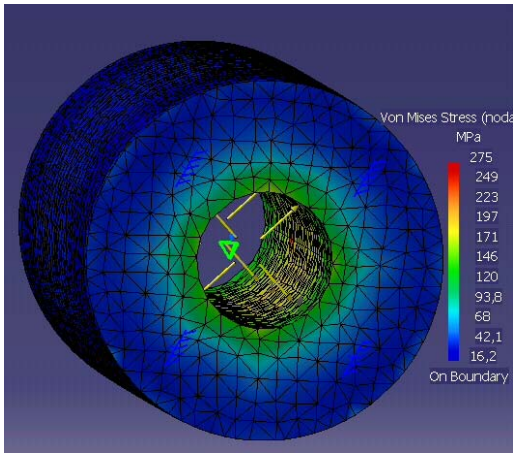
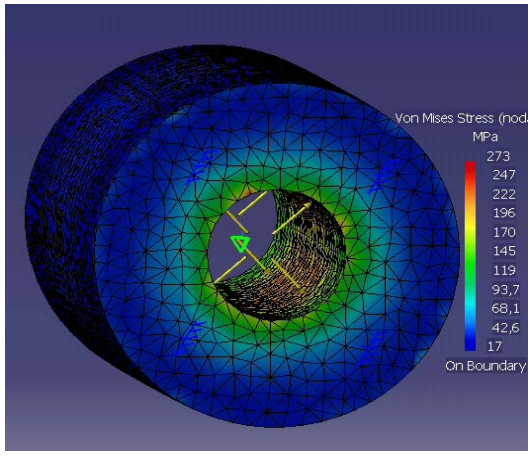
7.2.3. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi

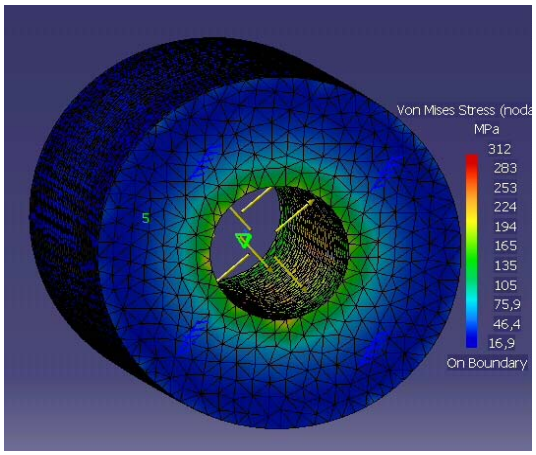
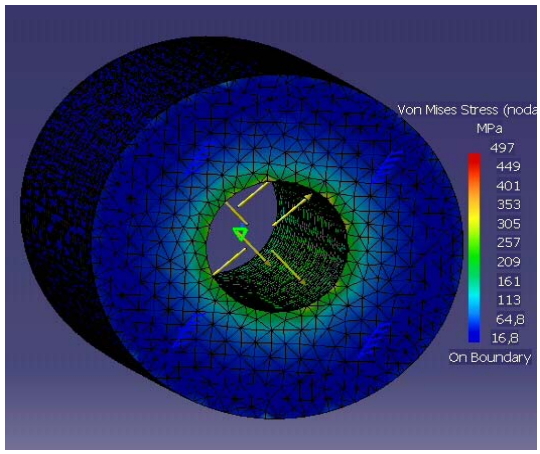
Gerilme analizi hesabında sonlu elemanlar yöntemini kullanan CATIA programı, bu çözüm metodunun sistemlere yaklaşımından dolayı eleman sayısına bağlı olarak gerçek sonuç değerlerine ulaşmaktadır. Bu nedenle eleman sayısının artışı ile gerçek sonuçlara ulaşabilir ve eleman sayısının artışı da doğal olarak bilgisayar özellikleri ile ilişkilidir.

7.2.3.1. 21 mm İç Çaplı Kovan Analizleri

Analiz 1. Size: 5 mm Sag: 0.852 mm Nodes: 2070 Elements: 8833  **7.7. a)**	**Analiz 2.** Size: 4,8 Sag: 0.4 Nodes: 2439 Elements: 11127  **7.7. b)**
Analiz 3. Size: 4 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4900 Elements: 22776  **7.7. c)**	**Analiz 4.** Size: 4 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 4890 Elements: 22702  **7.7. d)**

Analiz 5. Size: 3.8 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 3958 Elements: 18575  **7.7. e)**	**Analiz 6.** Size: 3.7 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6067 Elements: 28505  **7.7. f)**
Analiz 7. Size: 3.65 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6194 Elements: 29800  **7.7. g)**	**Analiz 8.** Size: 3.68 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6167 Elements: 29146  **7.7. h)**

Analiz 9. Size: 3.5 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6289 Elements: 30348  **7.7. i)**.	**Analiz 10.** Size: 3.2 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 6869 Elements: 32464  **7.7. j)**
Analiz 11. Size: 3 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6024 Elements: 26519  **7.7. k)**	**Analiz 12.** Size: 2.8 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 8280 Elements: 38336  **7.7. l)**

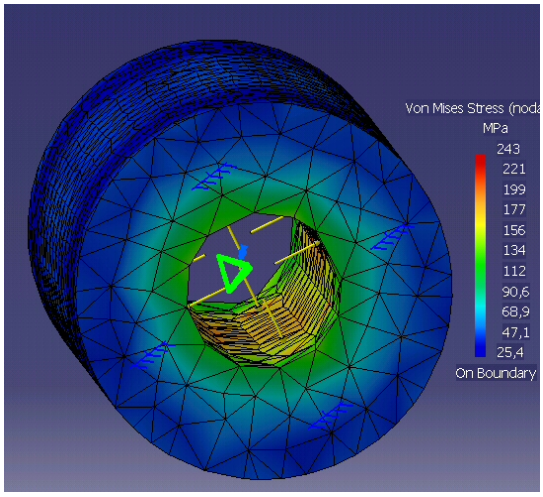
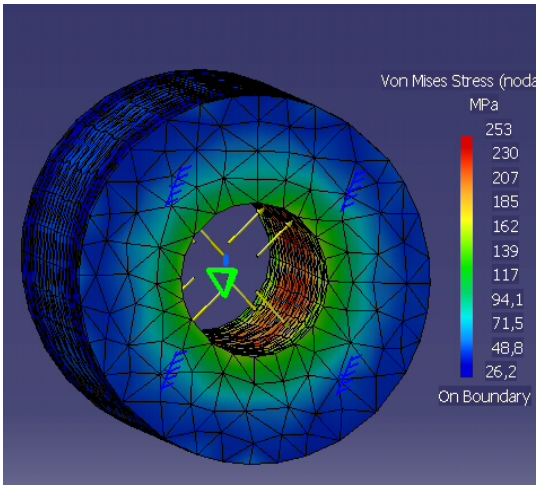
Analiz 13. Size: 2.5 mm Sag: 0.25 mm Nodes: 10239 Elements: 45874	**Analiz 14.** Size: 2.2 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 16009 Elements: 75263
	
7.7. m)	**7.7. n)**

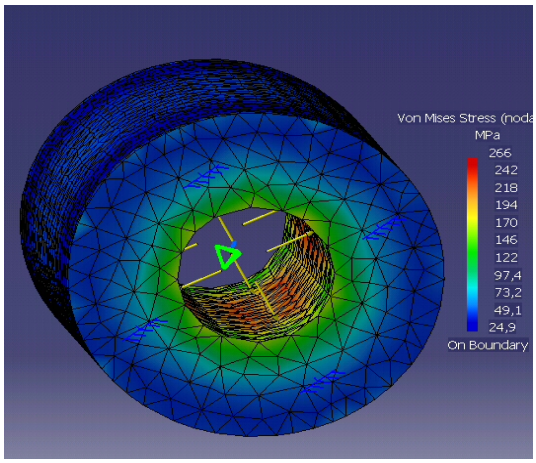
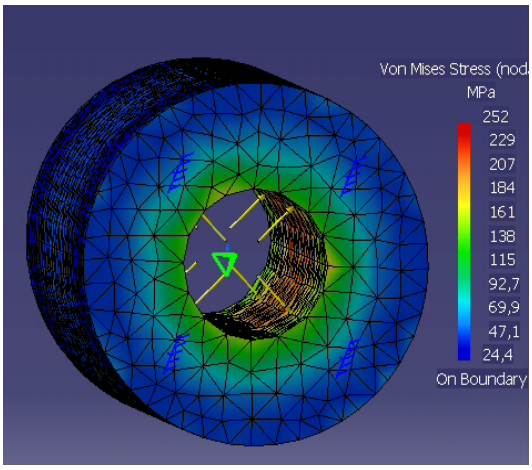
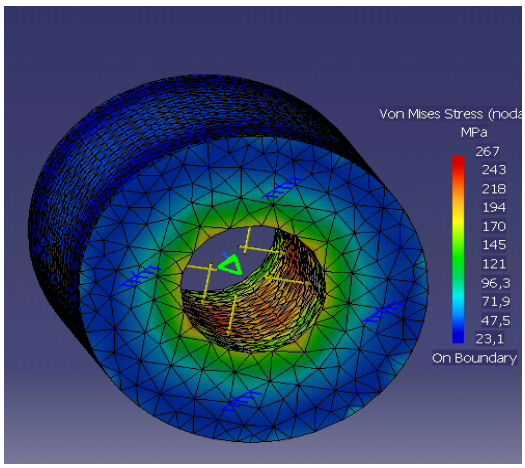
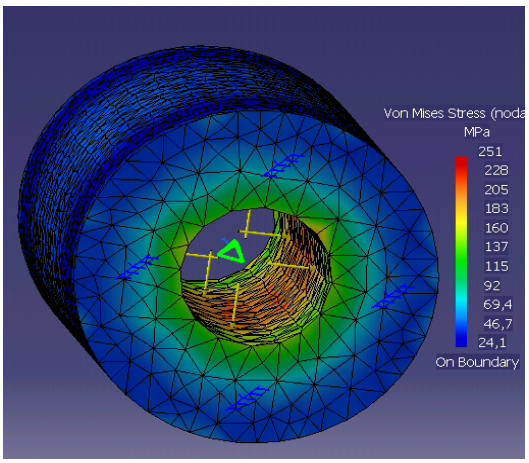
Şekil 7.7. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

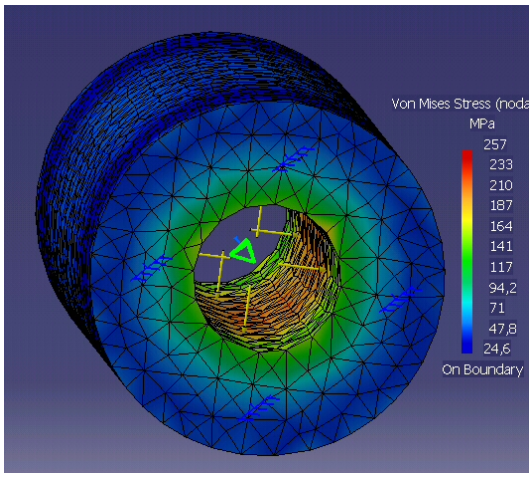
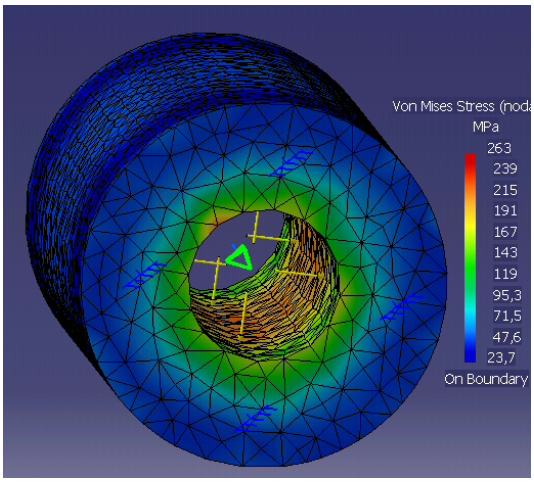
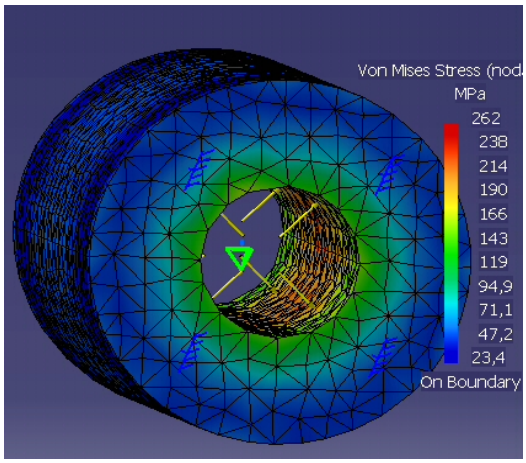
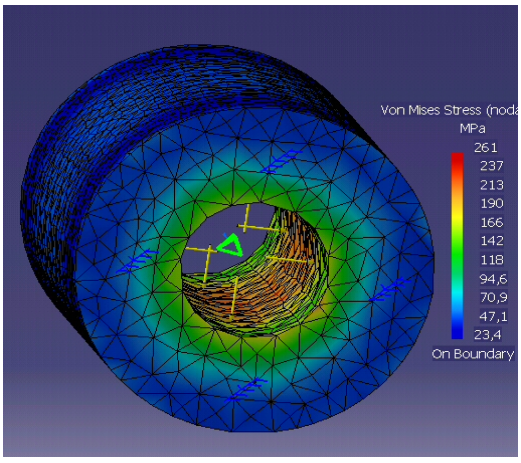
CATIA programı, kovanın boyutlarına bağlı olarak Şekil 7.6. ve 7.7.a)'da görüldüğü gibi eleman boyutunu otomatik olarak atamaktadır ve mesh çalışmalarına bu eleman boyutlarından başlanır. Eleman sayısının artması için eleman boyutu küçültülür. Eleman boyutu küçültülmeye devam edilirken gerilme değerlerinin bir sonuca yakınsadığı görülür. Bu analiz sonucunda max. gerilme değerinin olduğu bölgeler renk skalasında kırmızı renk ile gösterilir (Şekil 7.7. b, d, f, g, h ve i). Eleman boyutları küçültülmeye devam edilirse ulaşılan gerilme değerinin yakınsak değerden farklılaştığı ve arttığı görülür. Bu durum yükün tek bir mesh elemanı üzerine yığılması anlamına gelir ve skalada kırmızı renk olmasına karşılık analizi yapılan parça üzerinde kırmızı bölgeye rastlanmaz (Şekil 7.7. j, m ve n). Sklada maksimum olarak görülen gerilme değeri istisna düğümlere aittir ve modelin tümü için bu değeri kullanmak yanlış olur. Böyle durumlarda mesh ağını daha düzenli hale getirme ve parça kenarları gibi çizgisel yüklemenin oluşacağı bölgelerde daha

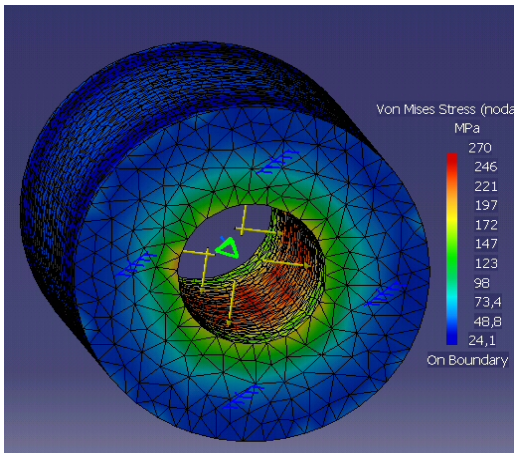
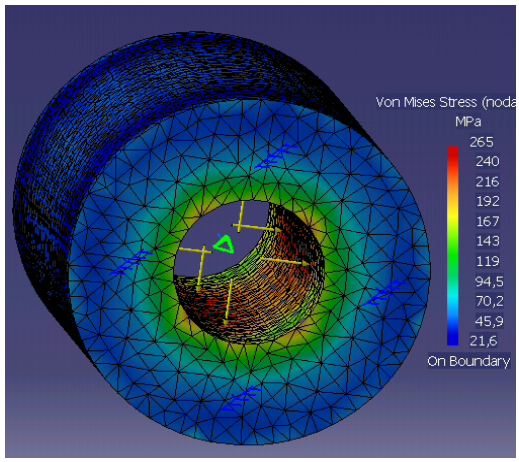
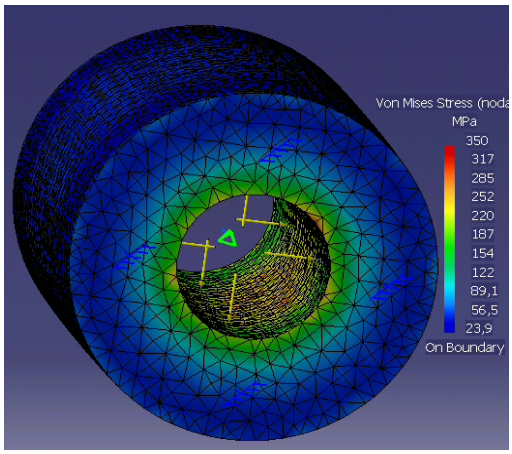
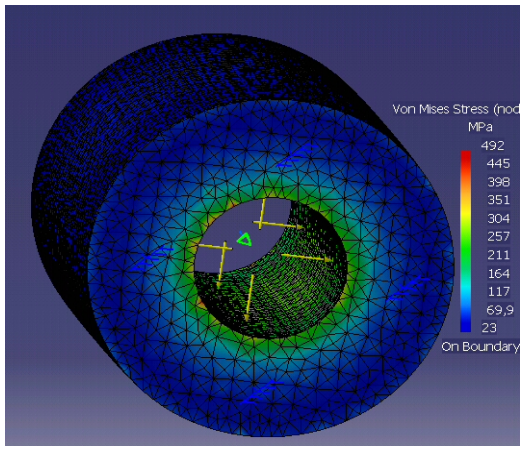
küçük eleman kullanılması ya da kenarlara yakın bölgelere basınç uygulanmaması gerekmektedir. Böylesi durumlarda parça üzerindeki renk skalasında iç yüzeye yakın yerdeki renk kodunun değer aralığını incelemek gerekecektir. Örneğin Şekil 7.7. n 'de iç bölgedeki yeşil renk kodunun gerilme değerinin skaladan 209- 257 MPa olduğu okunur. Böylece bu değerler analizimizin sınırlarını belirlemiştir. Şekil 7.7. b), d), f), g), h) ve i) 220-228 MPa arasında değerler vermiş olup Şekil 7.7. n)'deki sınır değerler arasındadır. Bu durumda kırmızı bölgenin tüm iç çap yüzeyini kaplamış olması bir diğer parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Böylece Şekil 7.7. b) elimine edilir ve analizin gerçek sonucunu Şekil 7.7. d), f), g), h) ve i)'deki değerler arasında olduğu kabul edilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 223.36$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.7. d) olduğu söylenebilir.

7.2.3.2. 23 mm İç Çaplı Kovan Analizleri

Analiz 1.	**Analiz 2.**
Size: 5.325 mm	Size: 4.8 mm
Sag: 0.852 mm	Sag: 0.7 mm
Nodes: 1783	Nodes: 2514
Elements: 7347	Elements: 11357
	
7.8. a)	**7.8. b)**

Analiz 3. Size: 4 mm Sag: 0.5 mm Nodes: 4420 Elements: 20285  **7.8. c)**	**Analiz 4.** Size: 3.9 mm Sag: 0.45 mm Nodes: 4322 Elements: 19970  **7.8. d)**
Analiz 5. Size: 3.7 mm Sag: 0.5 mm Nodes: 5846 Elements: 27153  **7.8. e)**	**Analiz 6.** Size: 3.9 mm Sag: 0.5 mm Nodes: 4323 Elements: 19985  **7.8. f)**

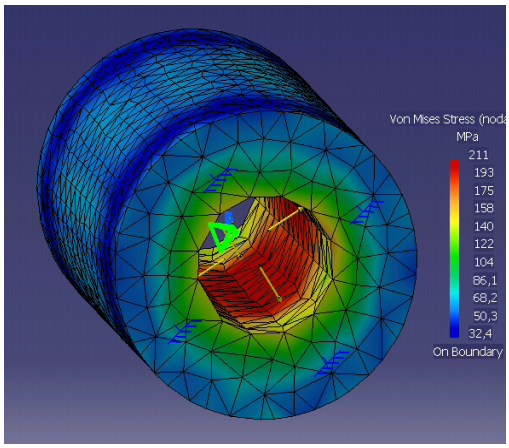
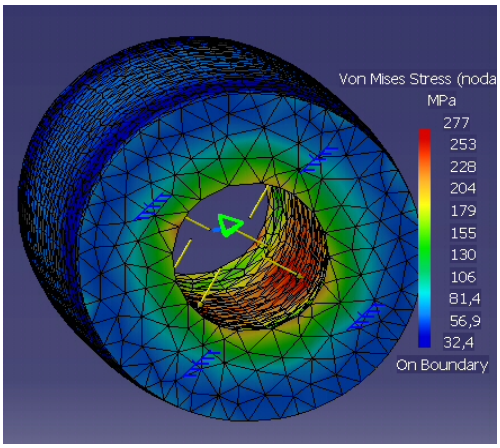
Analiz 7. Size: 3.88 mm Sag: 0.5 mm Nodes: 4072 Elements: 19073  **7.8. g)**	**Analiz 8.** Size: 3.85 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4283 Elements: 19735  **7.8. h)**
Analiz 9. Size: 3.87 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4082 Elements: 19086  **7.8. i)**	**Analiz 10.** Size: 3.86 mm Sag: 0.41 mm Nodes: 4288 Elements: 19719  **7.8. j)**

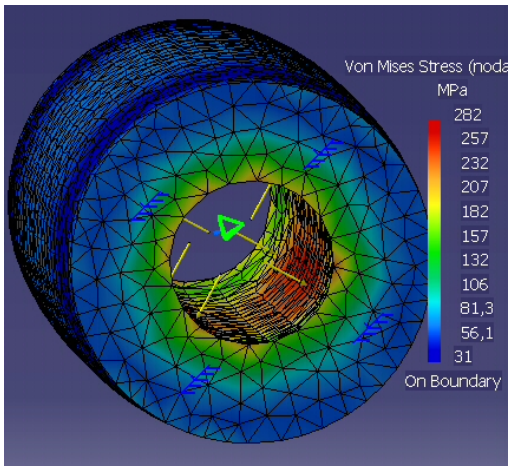
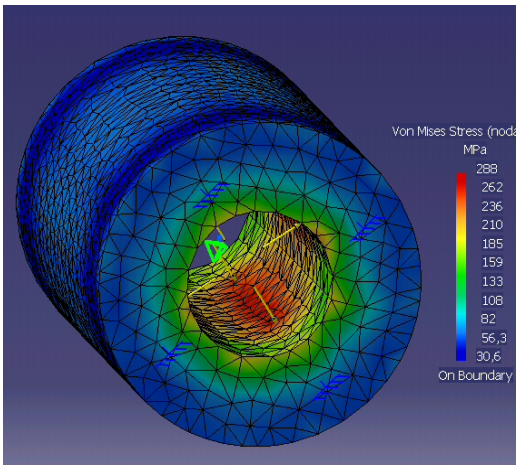
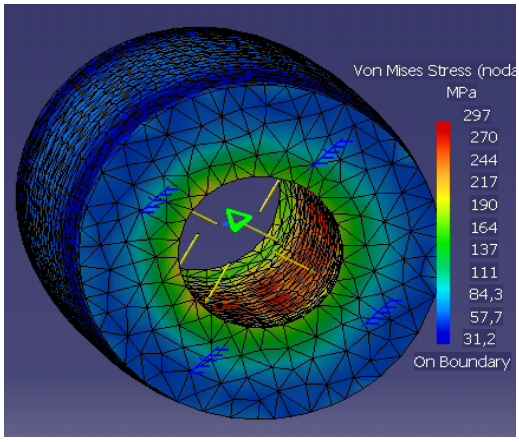
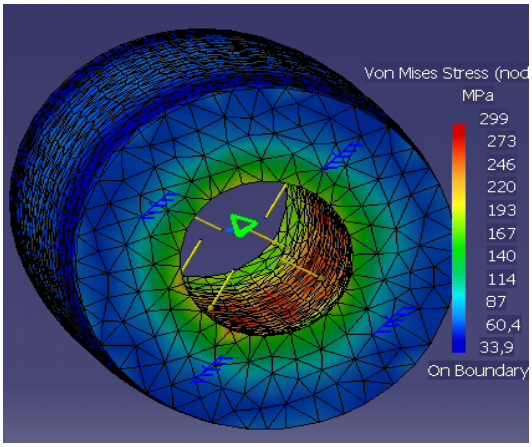
Analiz 11. Size: 3.5 mm Sag: 0.4mm Nodes: 6605 Elements: 31458  **7.8. k)**	**Analiz 12.** Size: 3mm Sag: 0.35 mm Nodes: 6024 Elements: 25890  **7.8. l)**
Analiz 13. Size: 2.7 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 9533 Elements: 43824  **7.8. m)**	**Analiz 14.** Size: 2.2 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 15369 Elements: 70796  **7.8. n)**

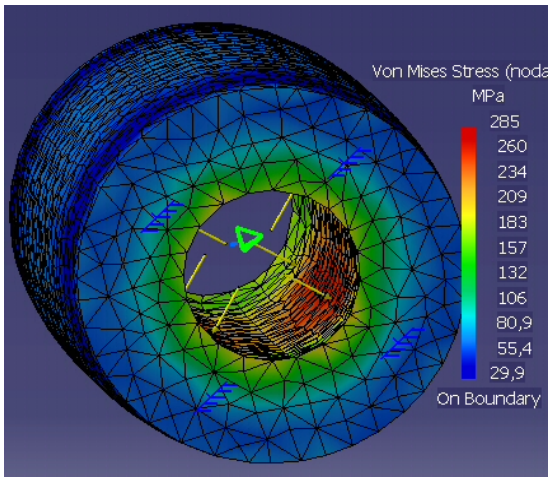
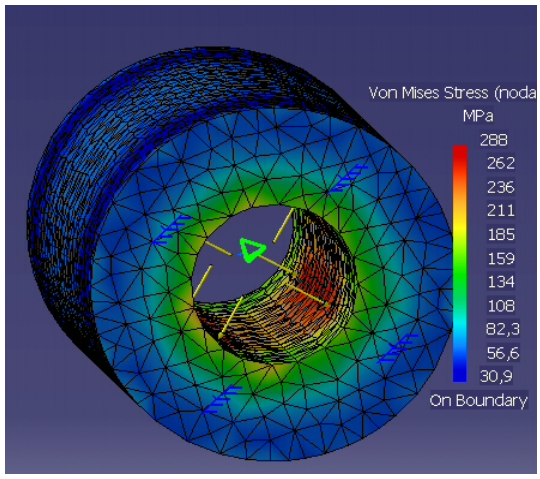
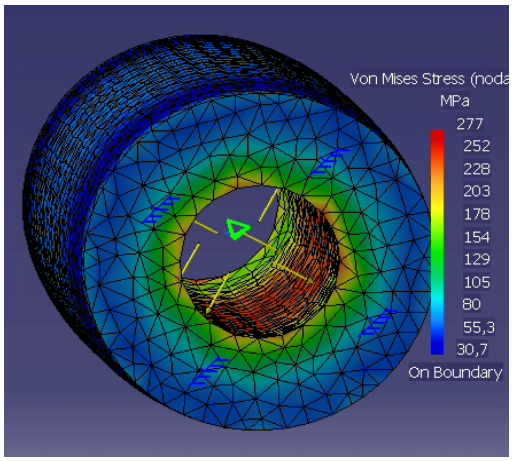
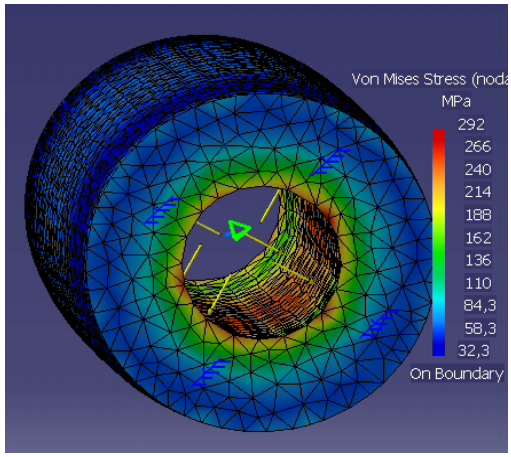
Şekil 7.8. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

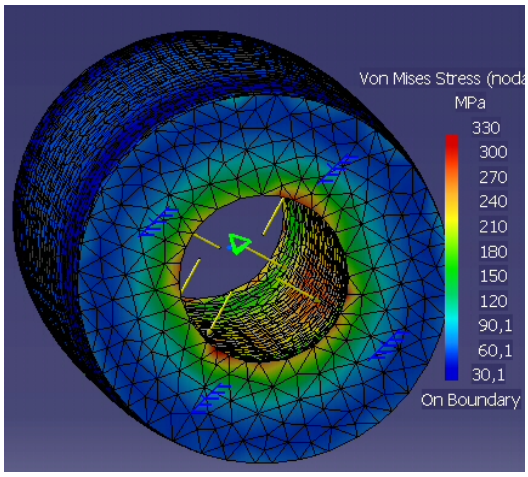
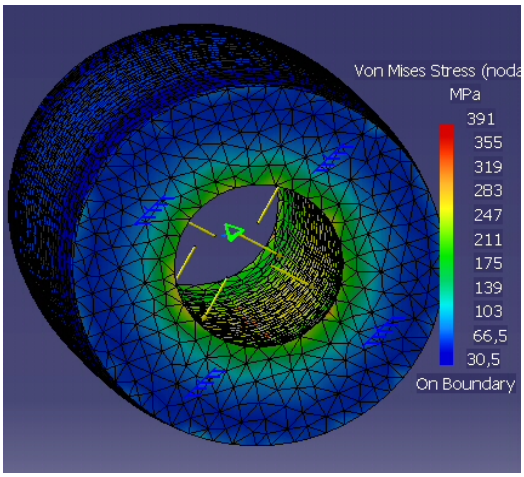
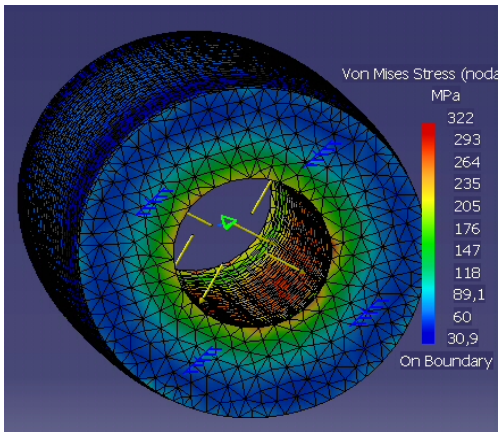
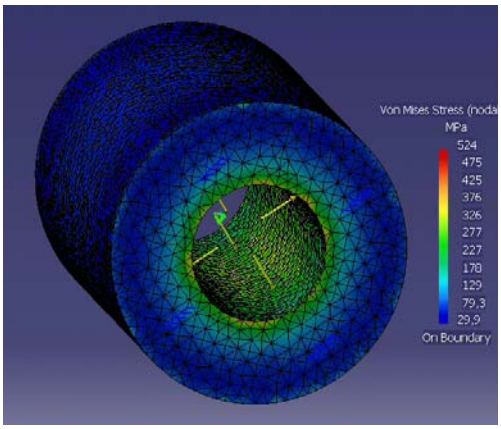
d_0=21 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=23 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Burada da gerilme sonuçlarının yakınsadığı değerler Şekil 7.8. c), e), h), i), j) ve l) şıklarındadır ve 257- 265 MPa arasındadır. Ancak h), i) ve j) değerleri birbirine çok yakın olduğundan gerçek sonucun bu üç değerden herhangi biri olduğu kabul edilebilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 261.66$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.8. i) olduğu söylenebilir.

7.2.3.3. 25 mm İç Çaplı Kovan Analizleri

Analiz 1.	**Analiz 2.**
Size: 5.325 mm	Size: 4 mm
Sag: 0.852 mm	Sag: 0.5 mm
Nodes: 1775	Nodes: 4275
Elements: 7334	Elements: 19407
	
7.9.a)	**7.9.b)**

Analiz 3. Size: 3.95 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4418 Elements: 20540  **7.9.c)**	**Analiz 4.** Size: 3.85 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4358 Elements: 20216  **7.9.d)**
Analiz 5. Size: 3.84 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4547 Elements: 20747  **7.9.e)**	**Analiz 6.** Size: 3.8 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 4701 Elements: 22162  **7.9.f)**

Analiz 7. Size: 3.87 mm Sag: 0.45 mm Nodes: 4178 Elements: 19644	**Analiz 8.** Size: 3.85 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 4365 Elements: 20241
	
7.9.g)	**7.9.h)**
Analiz 9. Size: 3.5 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 6145 Elements: 29457	**Analiz 10.** Size: 3.4 mm Sag: 0.4 mm Nodes: 6817 Elements: 32939
	
7.9.i)	**7.9.j)**

Analiz 11. Size: 3.2 mm Sag: 0.35mm Nodes: 6441 Elements: 29927  **7.9.k)**	**Analiz 12.** Size: 2.8mm Sag: 0.3 mm Nodes: 9608 Elements: 46640  **7.9.l)**
Analiz 13. Size: 2.5 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 10451 Elements: 48129  **7.9.m)**	**Analiz 14.** Size: 2.2 mm Sag: 0.3 mm Nodes: 15377 Elements: 71698  **7.9.n)**

Şekil 7.9. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

d_0=21 mm ve d_0=23 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=25 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Burada da gerilme sonuçlarının yakınsadığı değerler Şekil 7.9. c), d), e), f), g), h), i) ve j) ve 277- 299 MPa arasındadır. Ancak g), h) ve j) değerleri birbirine çok yakın olduğundan gerçek sonucun bu üç değerden herhangi biri olduğu kabul edilebilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 291.27$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.9. j) olduğu söylenebilir.

7.3. I-DEAS Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi

I-DEAS programında da CATIA'ya benzer olarak analizi gerçekleştirilecek olan kovan modellenir. Analiz işlemlerine sonlu elemanlar grubunun ve malzeme özelliklerinin seçilmesi ile başlanır. Kovan yüzeyine etkiyen iç basınç ve sınır şartları girilerek çözüm yapılır. Çözüm sonuçlarına bağlı mesh boyutu incelenir ve sonuç görüntülenir.

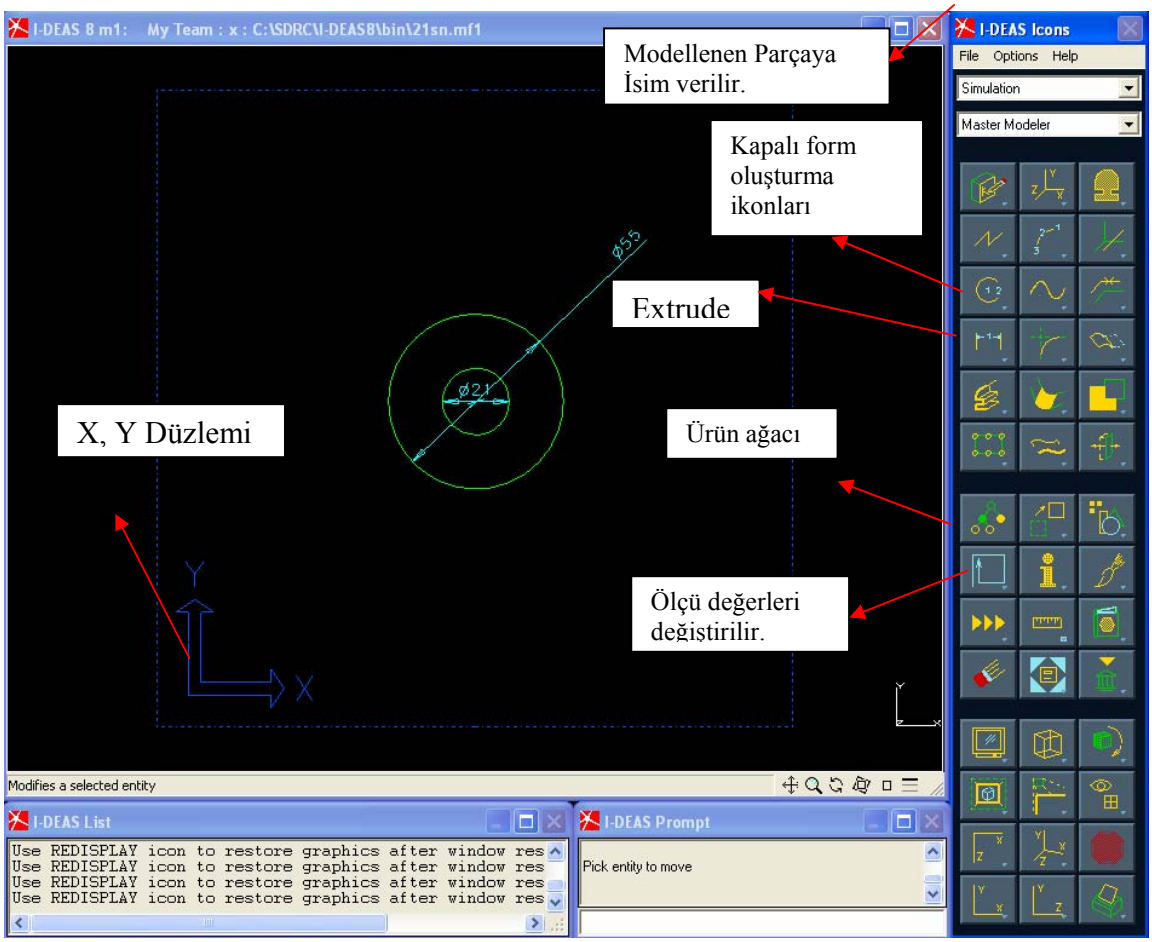
7.3.1. Kovanın Modellenmesi

I-DEAS' da modelleme işlemi Master Modeler modülünde gerçekleştirilir.

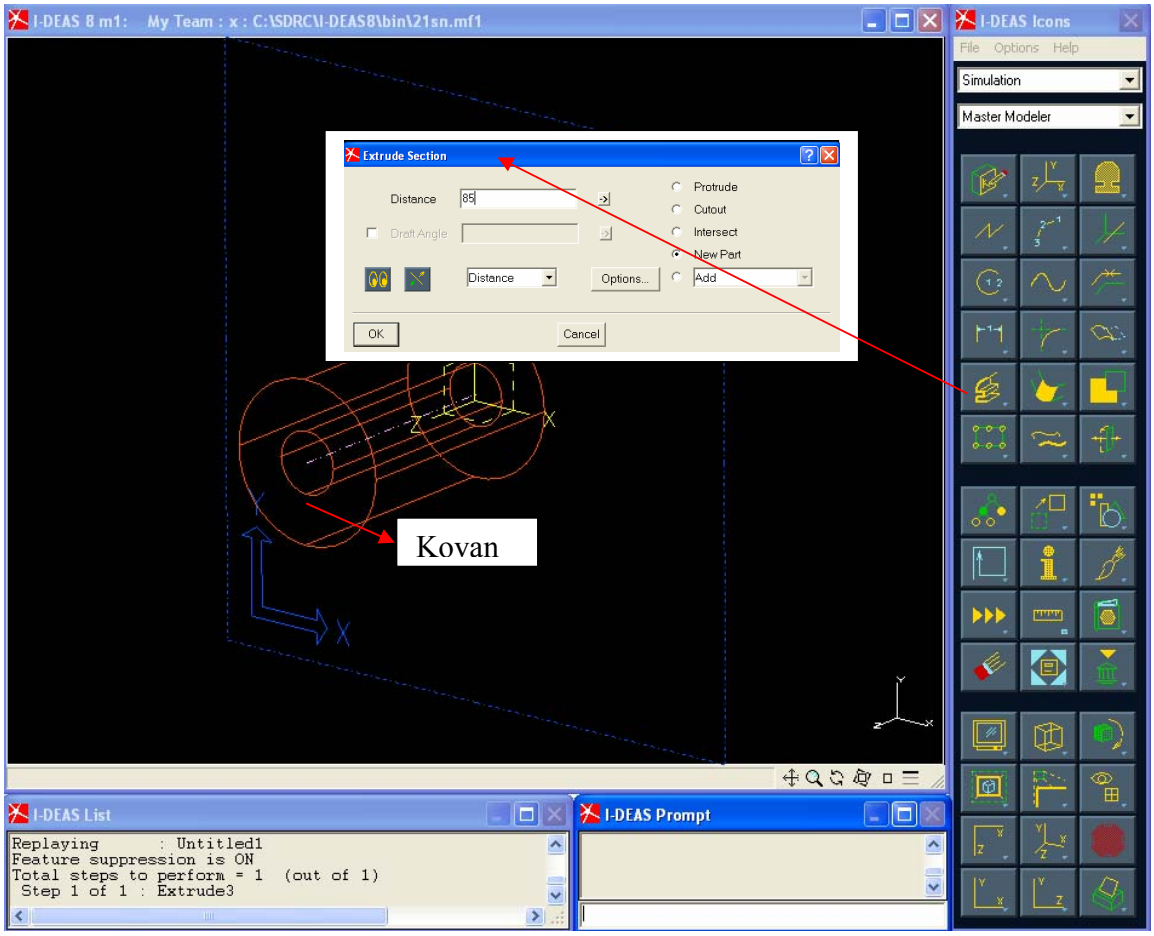
Start > Simulation > Master Modeler ↵

Master Modeler modülünde kapalı form oluşturulur.(Şekil 7.10). Daha sonra bu kapalı form aynı pencerede bir uzunluk yada bir eğri boyunca ötelenerek yada bir eksen etrafında döndürülerek katı model oluşturulur. Oluşturulan form düzleme dik eksen (z) boyunca yüksekliği ölçüsünde ötelenerek katı model haline getirilir. Daha sonra modele basınç ve sınır şartları uygulanır. (Yıldız, A.R., 2001) (Şekil 7.11).

Sketch in Place  İki boyutlu ortamda kapalı formun oluşturulacağı yüzey seçilir.



Şekil 7.10. I-DEAS Master Modeler Modülü

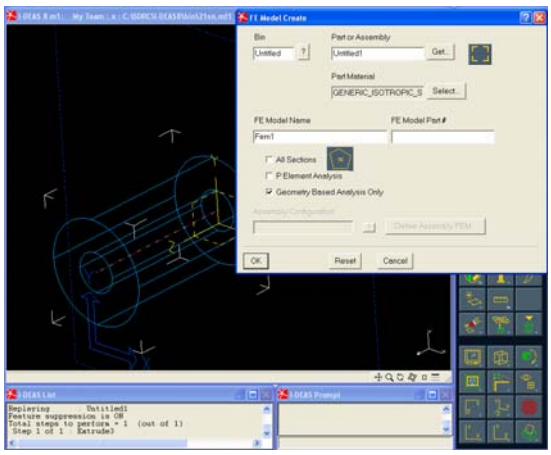


Şekil 7.11. Kovanın Katı Modelinin Oluşturulması

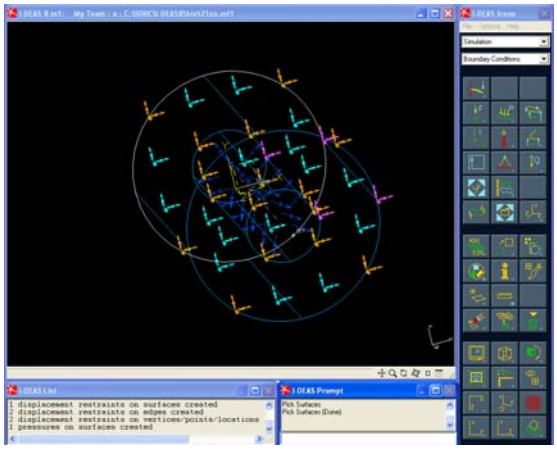
7.3.2. Analizin Uygulanması

I-DEAS programında gerilme analizi;

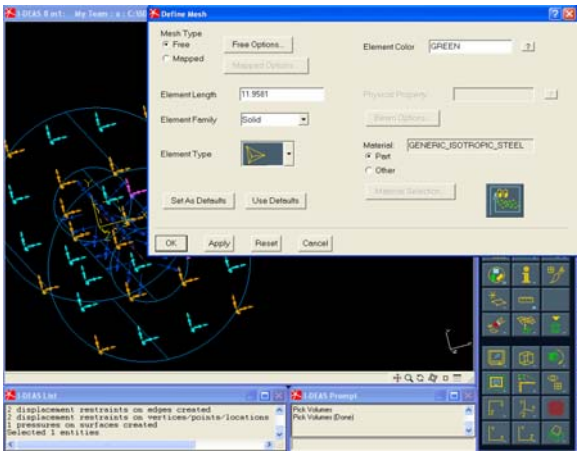
Start > Simulation > Master Modeler > Boundary Conditions (Şekil 7.12-7.13) > Meshing (7.14-7.15) >Model Solution > Post Processing (Şekil 7.16) aşamalarından oluşur.



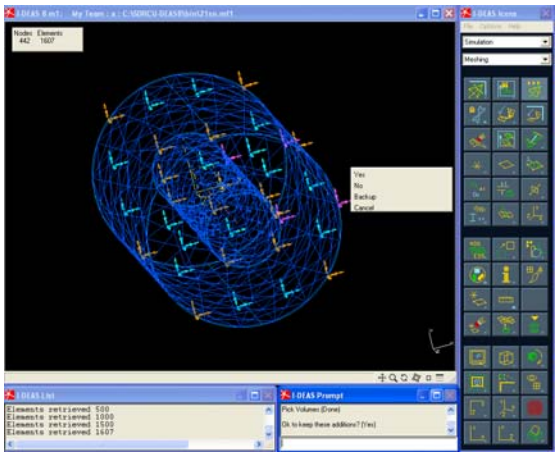
Şekil 7.12. Fem Grubunun Seçimi.



Şekil 7.13. Sınır Şartları ve Kuvvet Değerlerinin Uygulanması .

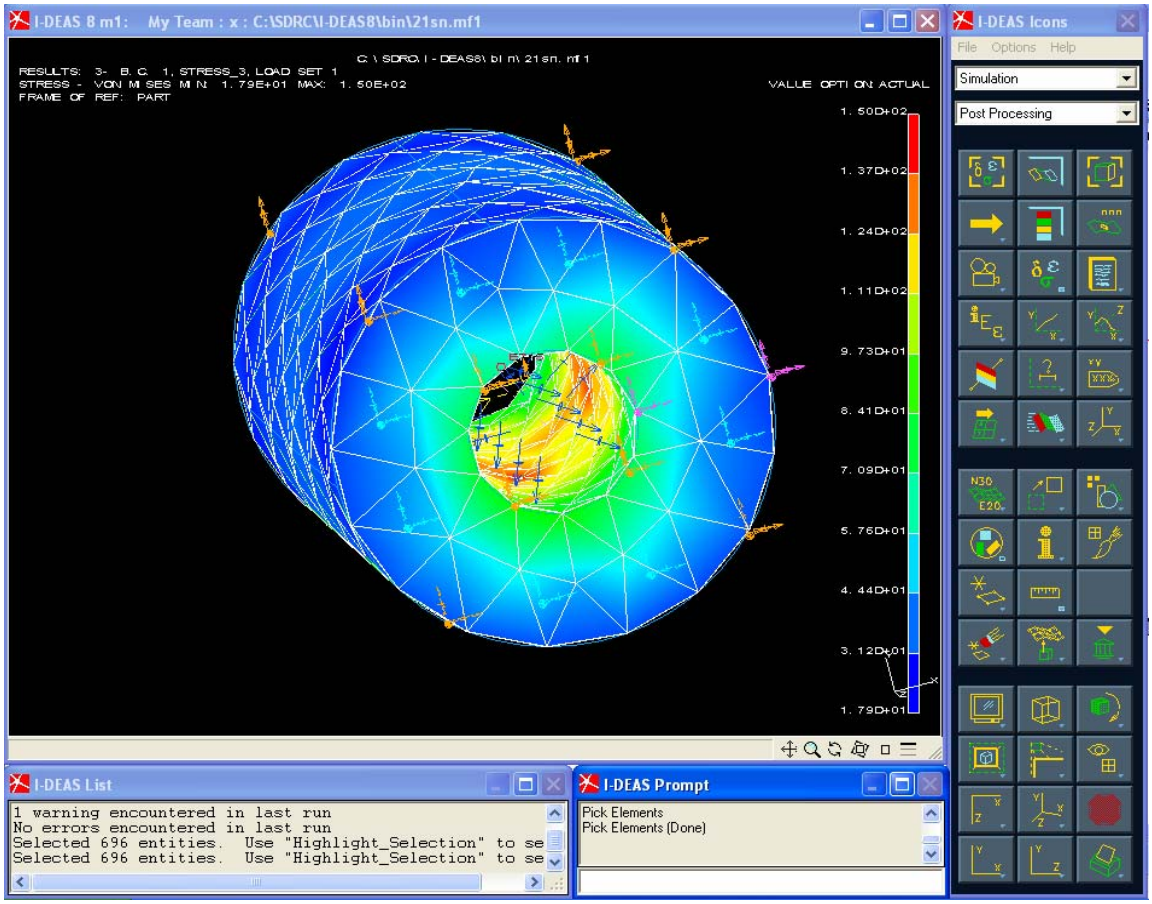


Şekil 7.14. Eleman Seçimi.



Şekil 7.15. Sonlu Elemanlara Ayırma.

Eleman boyutu I-DEAS programı tarafından otomatik olarak atanır ve mesh çalışmalarına bu değerden başlanır.



Şekil 7.16. Sonuçların Görüntülenmesi

Çözüm ve sonuçların görüntülenmesi ile analiz işlemi tamamlanır. Analiz sonucunu malzemenin akma gerilmesiyle karşılaştırılarak cismin emniyeti hakkında bilgi sahibi oluruz.

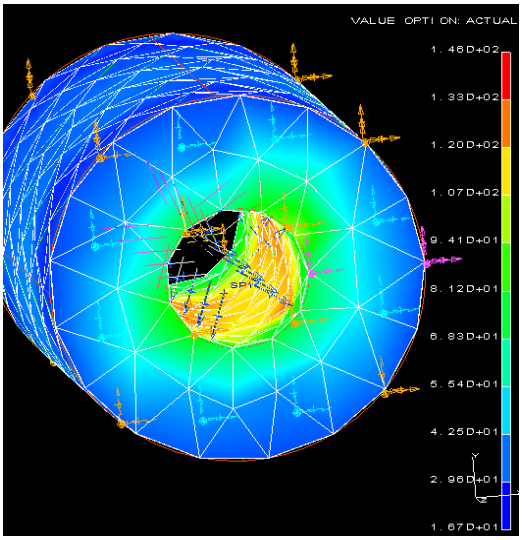
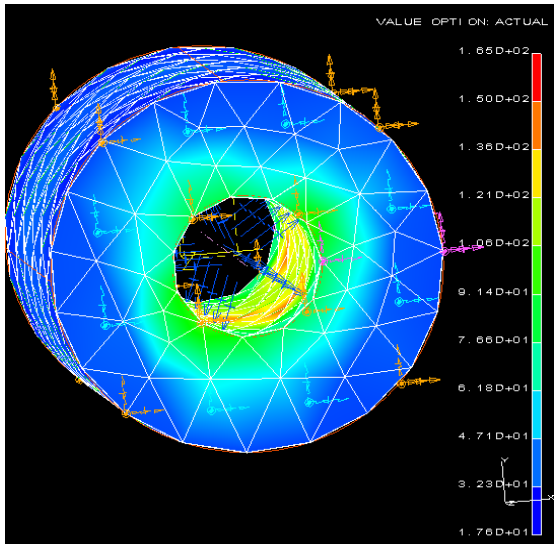
Analiz sonucunda programın kendi atadığı eleman boyutlarına bağlı olarak maksimum mukayese gerilmesi değeri 150 MPa olarak elde edilmiştir.

7.3.3. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi

Gerilme analizi hesabında sonlu elemanlar yöntemini kullanan I_DEAS programı, bu çözüm metodunun sistemlere yaklaşımından dolayı eleman sayısına bağlı olarak gerçek sonuç değerlerine ulaşmaktadır. Bu nedenle eleman sayısının artışı ile gerçek sonuçlara

ulaşabilir ve eleman sayısının artışı da doğal olarak bilgisayar özellikleri ile ilişkilidir.

7.3.3.1. 21mm İç Çaplı Kovan Analizleri

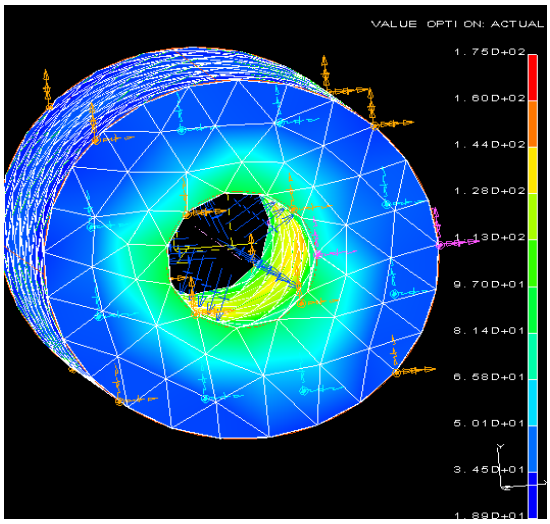
Analiz 1.	**Analiz 2.**
Element Length:11.9581mm	Elemet Length:9 mm
Nodes: 445	Nodes: 511
Elements: 1624	Elements: 1835
	
7.17. a)	**7.17. b)**

Analiz 3.

Element Length:7 mm

Nodes: 774

Elements: 2960



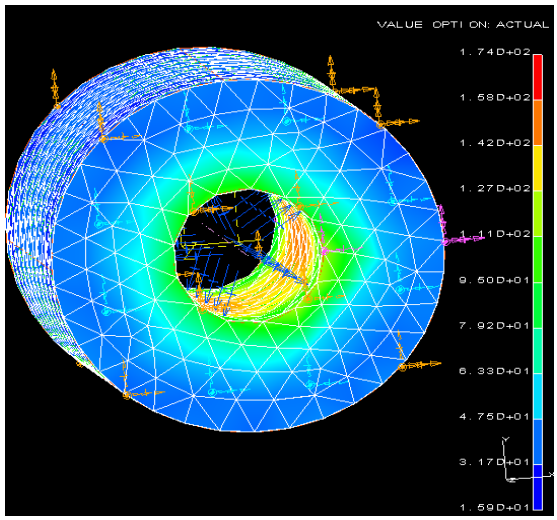
7.17. c)

Analiz 4.

Elemet Length:5 mm

Nodes: 1752

Elements: 7233



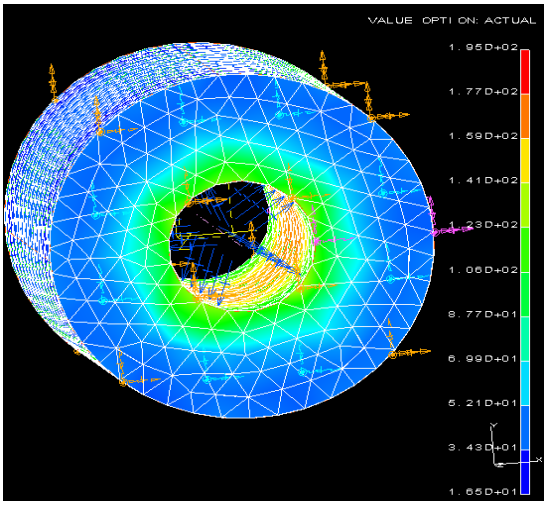
7.17. d)

Analiz 5.

Element Length: 4 mm

Nodes: 3130

Elements: 13630



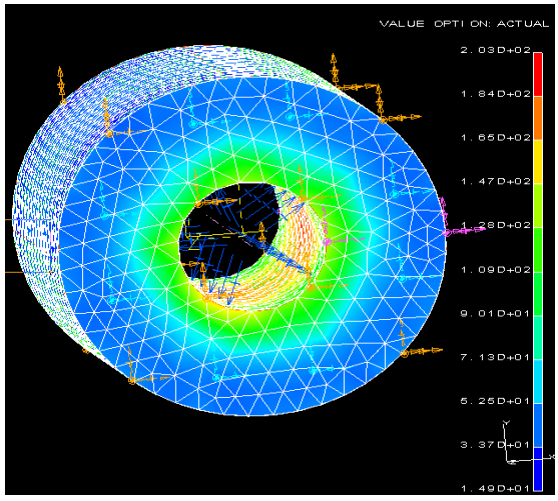
7.17. e)

Analiz 6.

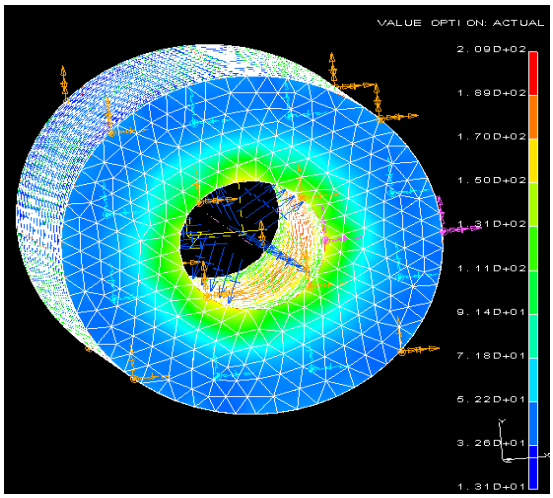
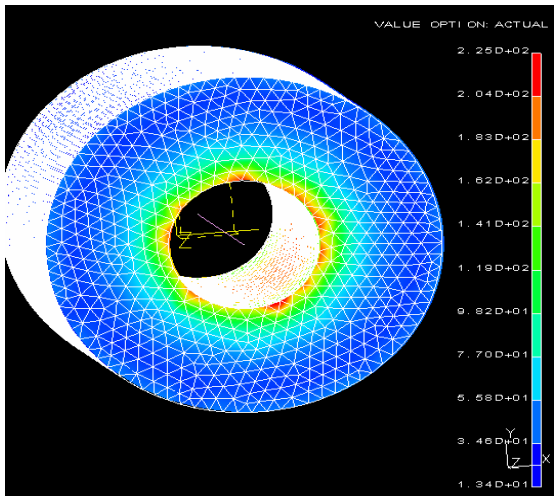
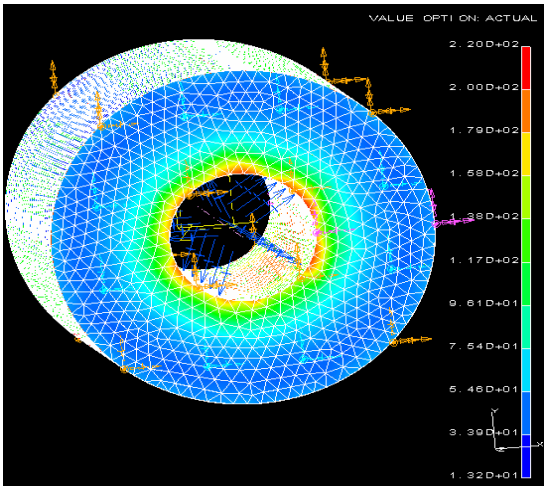
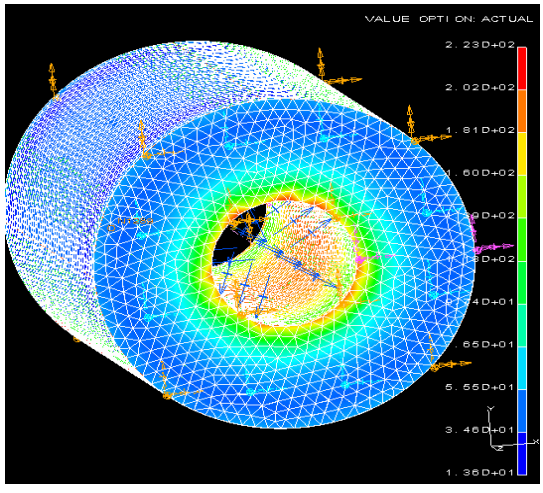
Elemet Length: 3.5 mm

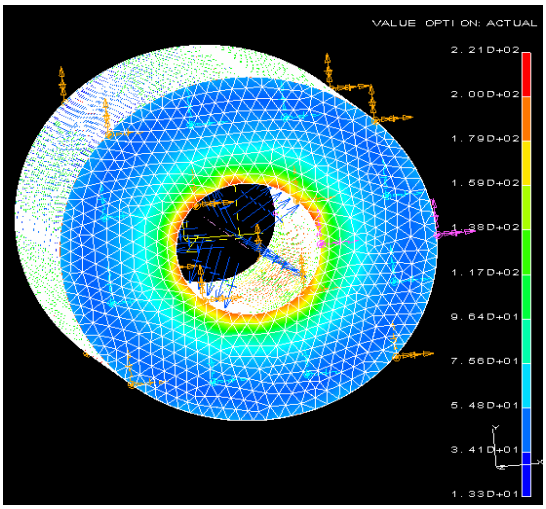
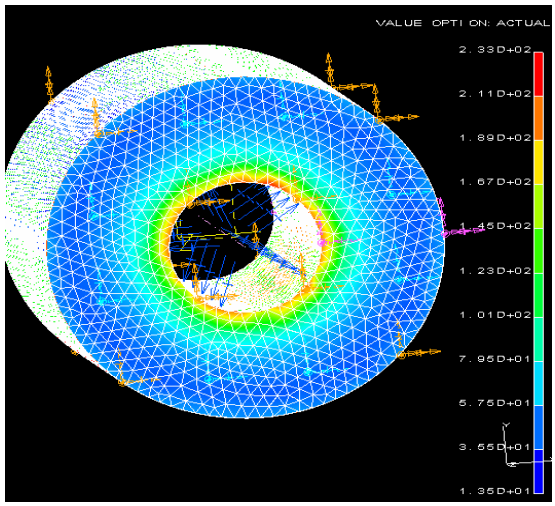
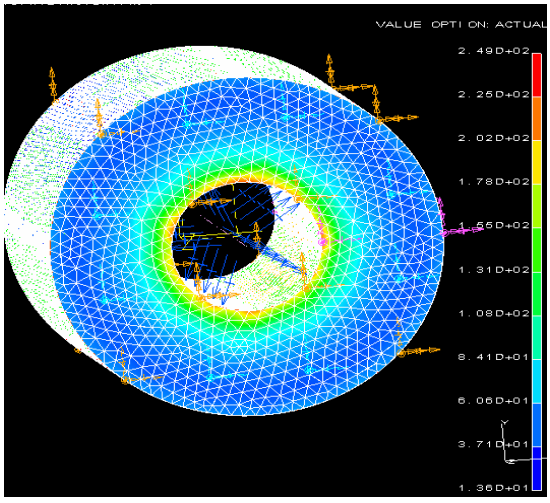
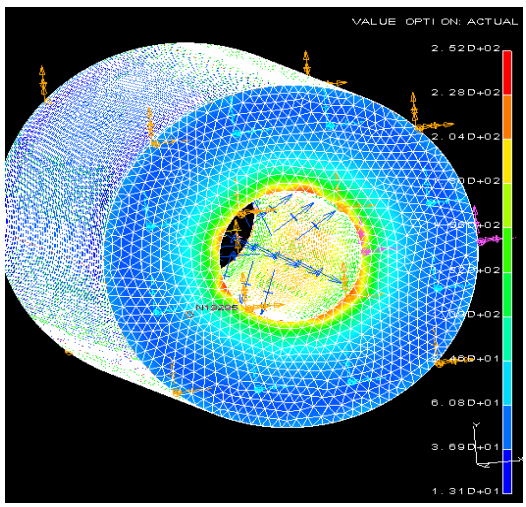
Nodes: 4305

Elements: 19184



7.17. f)

Analiz 7. Element Length: 3 mm Nodes: 6146 Elements: 27861  **7.17. g)**	**Analiz 8.** Elemet Length: 2mm Nodes: 16525 Elements: 78316  **7.17. h)**
Analiz 9. Element Length:1.95 mm Nodes: 17329 Elements: 82155  **7.17. i)**	**Analiz 10.** Elemet Length:1.9 mm Nodes: 18477 Elements: 87813  **7.17. j)**

Analiz 11. Element Length:1.85 mm Nodes: 19732 Elements: 93952	**Analiz 12.** Elemet Length:1.80 mm Nodes: 20961 Elements: 100050
	
7.17. k)	**7.17. l)**
Analiz 13. Element Length:1.7 mm Nodes: 23960 Elements: 114680	**Analiz 14.** Elemet Length: 1.5 mm Nodes: 32091 Elements: 155198
	
7.17. m)	**7.17. n)**

Şekil 7.17. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

I-Deas programı, kovanın boyutlarına bağlı olarak Şekil 7.17.a)'da görüldüğü gibi eleman boyutunu otomatik olarak atamaktadır ve mesh çalışmalarına bu eleman boyutlarından başlanır. Eleman sayısının artması için eleman boyutu küçültülür. Eleman boyutu küçültülmeye devam edilirken gerilme değerlerinin bir sonuca yakınsadığı görülür. Bu analiz sonucunda max. gerilme değerinin olduğu bölgeler renk skalasında kırmızı renk ile gösterilir (Şekil 7.17. e, f, g, h, i ve j). Eleman boyutları küçültülmeye devam edilirse ulaşılan gerilme değerinin yakınsak değerden farklılaştığı ve arttığı görülür. Bu durum yükün tek bir mesh elemanı üzerine yığılması anlamına gelir ve skalada kırmızı renk olmasına karşılık analizi yapılan parça üzerinde kırmızı bölgeye rastlanmaz (Şekil 7.17. m ve n). Sklada maksimum olarak görülen gerilme değeri istisna düğümlere aittir ve modelin tümü için bu değeri kullanmak yanlış olur. Böyle durumlarda mesh ağını daha düzenli hale getirme ve parça kenarları gibi çizgisel yüklemenin oluşacağı bölgelerde daha küçük eleman kullanılması ya da kenarlara yakın bölgelere basınç uygulanmaması gerekmektedir. Böylesi durumlarda parça üzerindeki renk skalasında iç yüzeye yakın yerdeki renk kodunun değer aralığını incelemek gerekecektir. Örneğin Şekil 7.17. n 'de iç bölgedeki turuncu renk kodunun gerilme değerinin skaladan 204- 228 MPa olduğu okunur. Böylece bu değerler analizimizin sınırlarını belirlemiştir. Şekil 7.17. g), h), i), j)ve k) 209-225 MPa arasında değerler vermiş olup Şekil 7.17. n)'deki sınır değerler arasındadır. Bu durumda kırmızı bölgenin tüm iç çap yüzeyini kaplamış olması bir diğer parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Analizin gerçek sonucunun Şekil 7.17. i), k), c) ve h)'deki değerler arasında olduğu kabul edilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 223.36$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.17. j) olduğu söylenebilir.

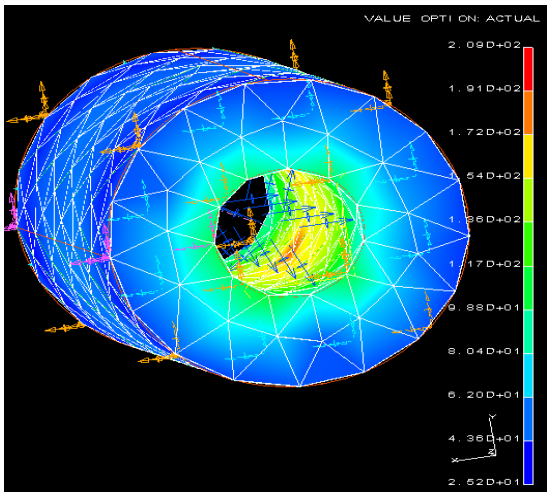
7.3.3.2. 23mm Gerilme Analizleri

Analiz 1.

Element Length:11.9581mm

Nodes: 491

Elements: 1848



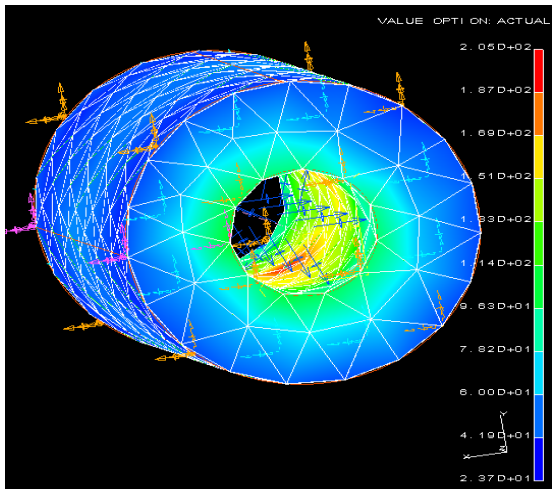
7.18. a)

Analiz 2.

Elemet Length:9 mm

Nodes: 511

Elements: 1848



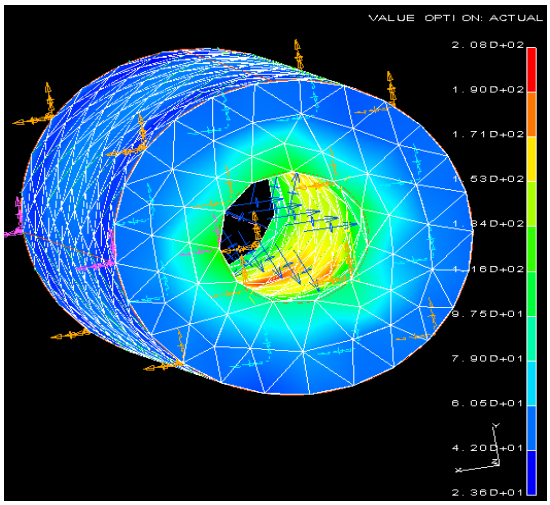
7.18. b)

Analiz 3.

Element Length: 7 mm

Nodes: 784

Elements: 2956



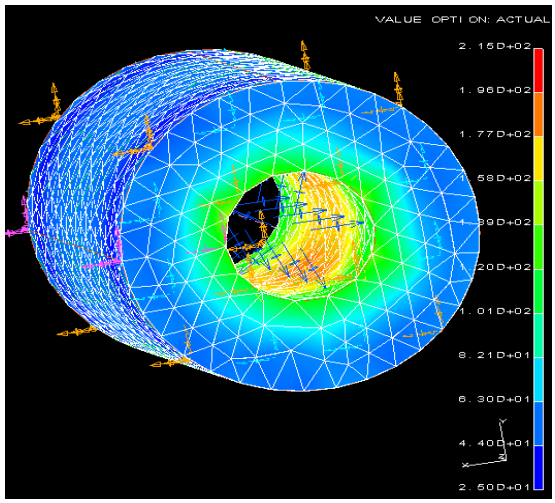
7.18. c)

Analiz 4.

Elemet Length: 5 mm

Nodes: 1740

Elements: 7103



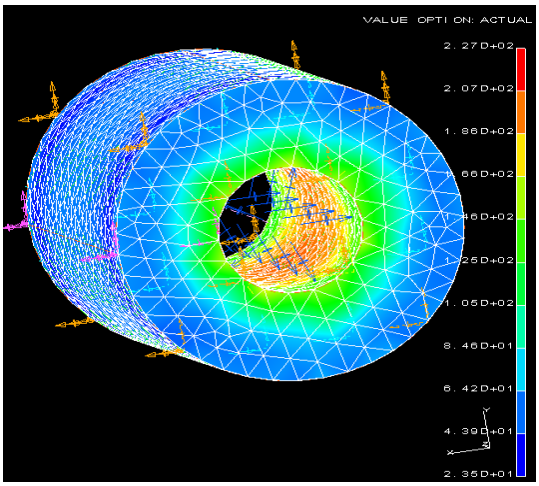
7.18. d)

Analiz 5.

Element Length:4 mm

Nodes: 3039

Elements: 13180



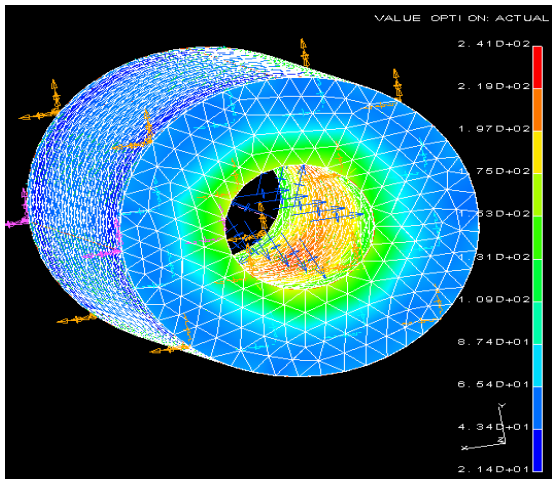
7.18. e)

Analiz 6.

Elemet Length: 3.5 mm

Nodes: 4248

Elements: 18670



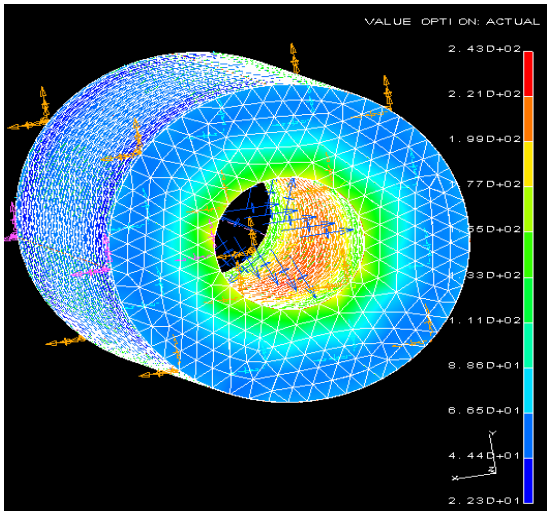
7.18. f)

Analiz 7.

Element Length: 3 mm

Nodes: 6177

Elements: 27835



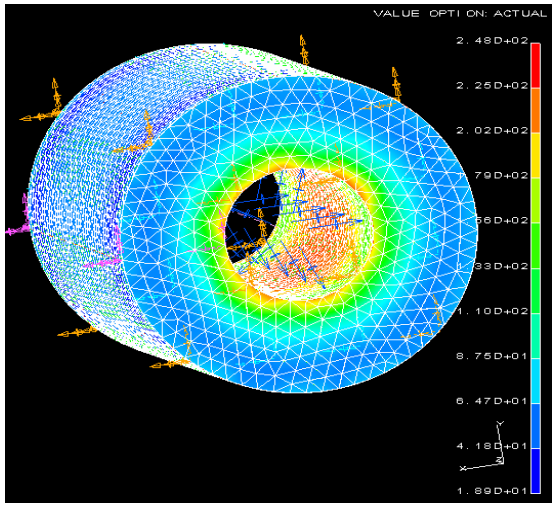
7.18. g)

Analiz 8.

Elemet Length: 2.5 mm

Nodes: 9657

Elements: 44537



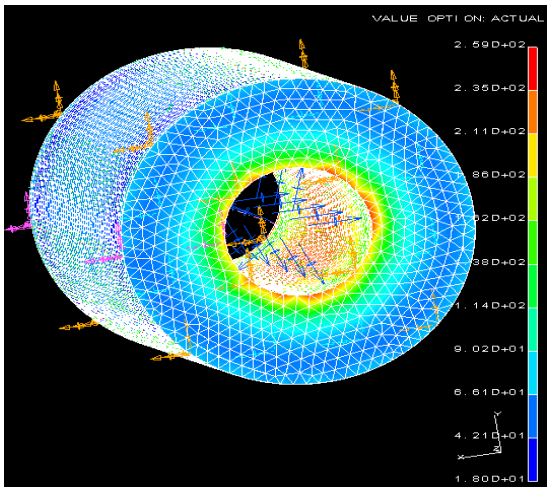
7.18. h)

Analiz 9.

Element Length: 2 mm

Nodes: 16554

Elements: 78076



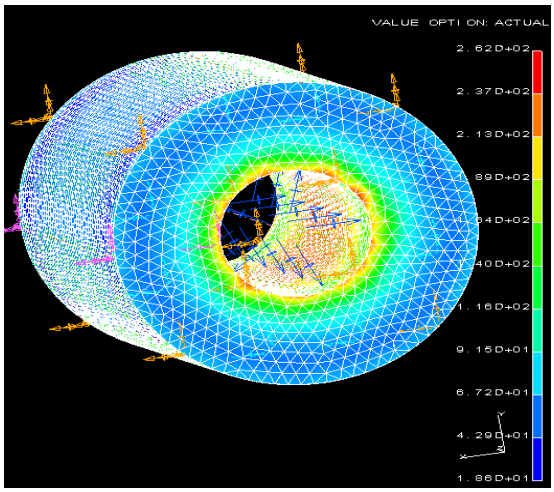
7.18. i)

Analiz 10.

Elemet Length: 1.98

Nodes: 17254

Elements: 81492



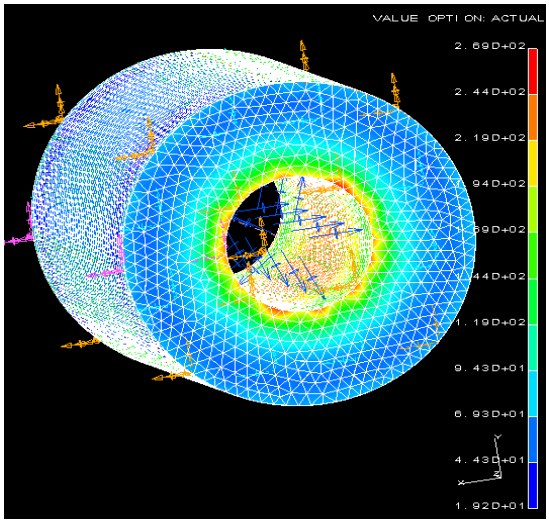
7.**18. j)**

Analiz 11.

Element Length: 1.95 mm

Nodes: 17423

Elements: 82276



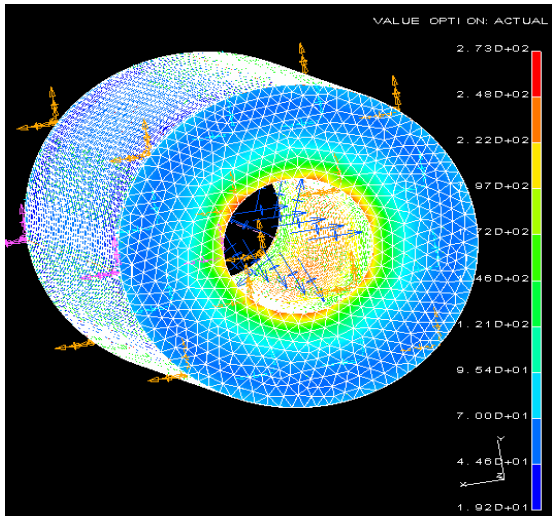
7.18. k)

Analiz 12.

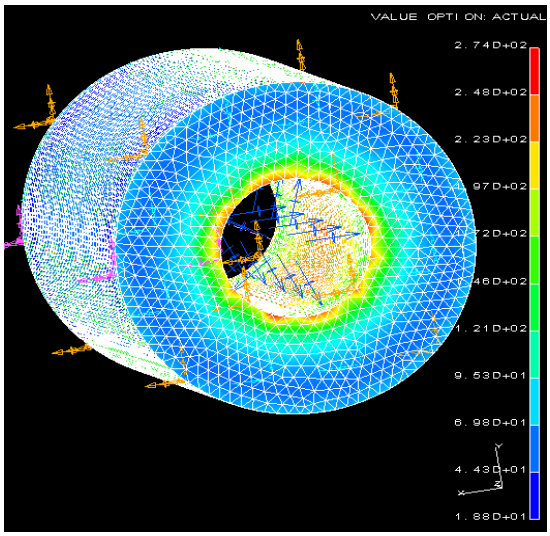
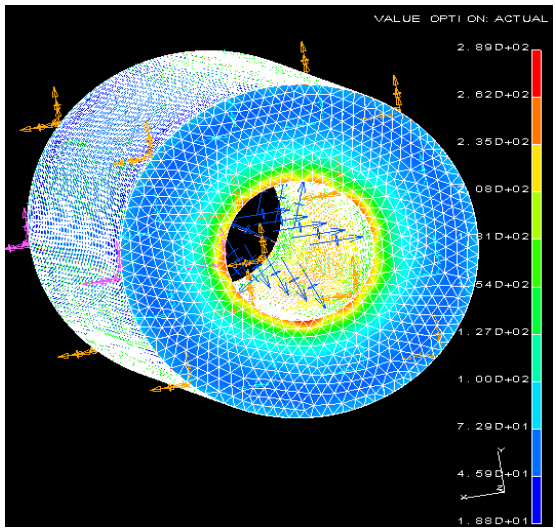
Elemet Length: 1.9 mm

Nodes: 18678

Elements: 88521



7.18. l)

Analiz 13.	**Analiz 14.**
Element Length: 1.8 mm	Elemet Length:1.7 mm
Nodes: 21113	Nodes: 24059
Elements: 100434	Elements: 114922
	
7.18. m)	**7.18. n)**

Şekil 7.18. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

d_0=21 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=23 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Burada da gerilme sonuçlarının yakınsadığı değerler Şekil 7.18. h), i), j), k) ve l) şıklarındadır ve 248- 273 MPa arasındadır. Ancak i) ve j) değerleri birbirine çok yakın olduğundan gerçek sonucun bu iki değerden herhangi biri olduğu kabul edilebilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 261.66$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.18. j) olduğu söylenebilir.

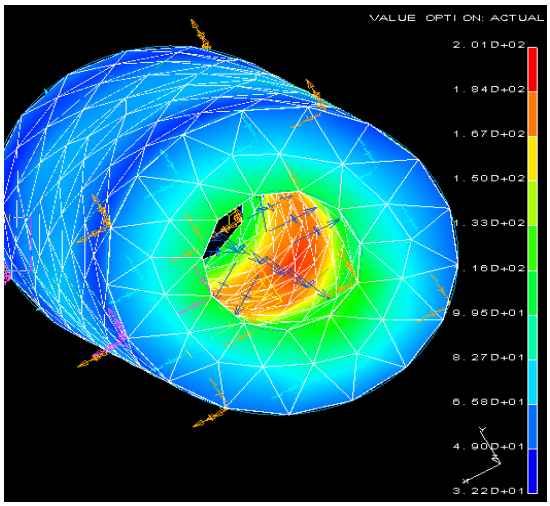
7.2.3.3. 25 mm kovan gerilme analizleri

Analiz 1.

Element Length: 11.9581 mm

Nodes: 485

Elements: 1828



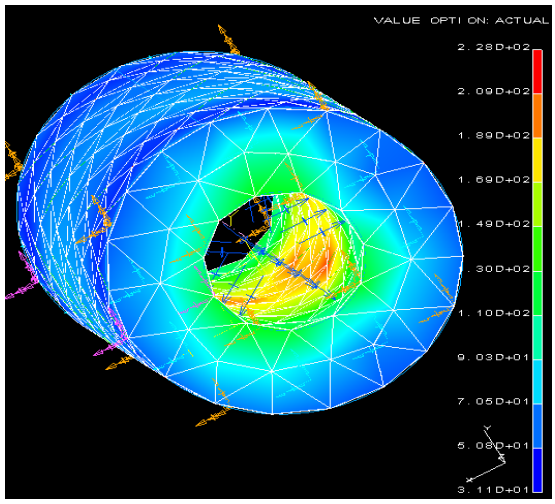
7.19. a)

Analiz 2.

Elemet Length: 9 mm

Nodes: 514

Elements: 1878



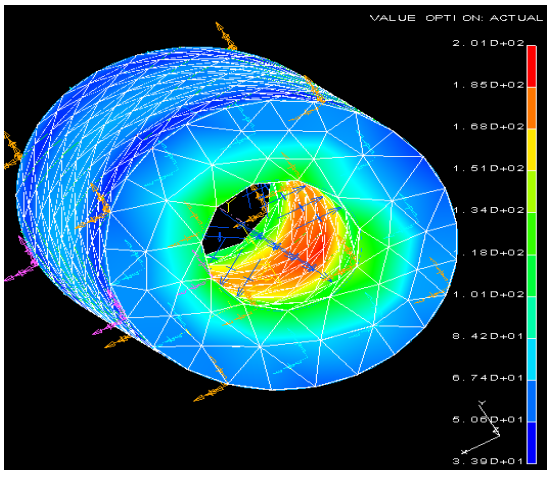
7.19. b)

Analiz 3.

Element Length: 7 mm

Nodes: 716

Elements: 2608



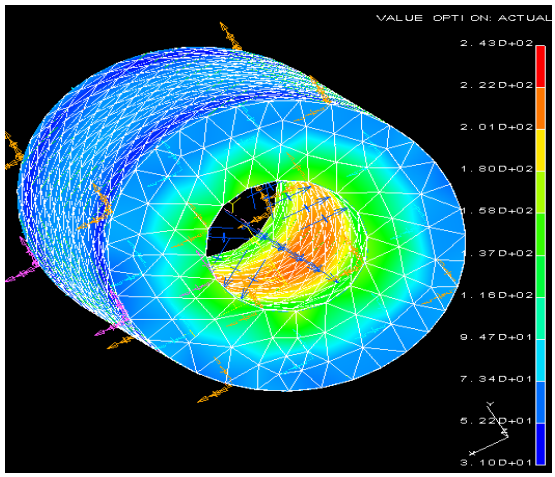
7.19. c)

Analiz 4.

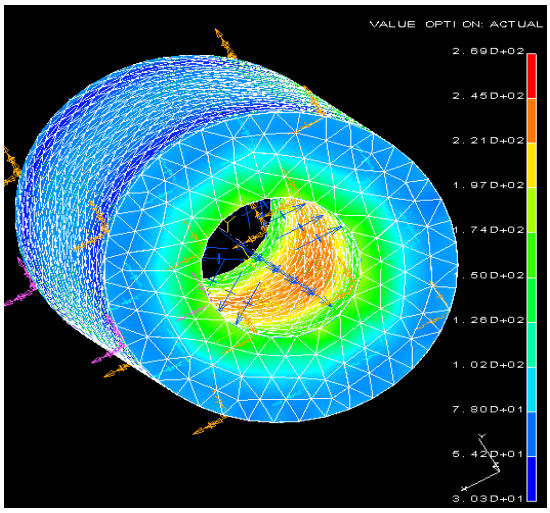
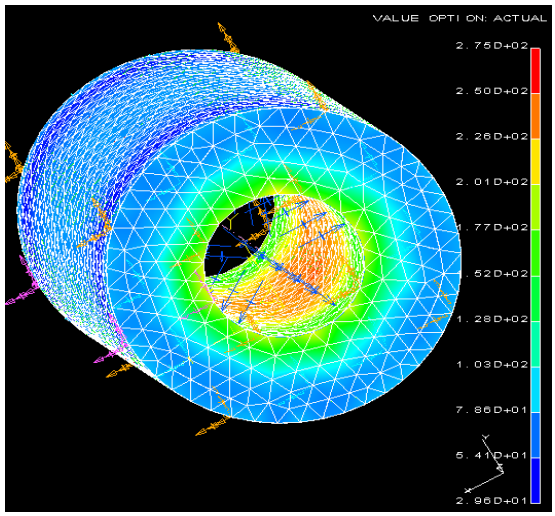
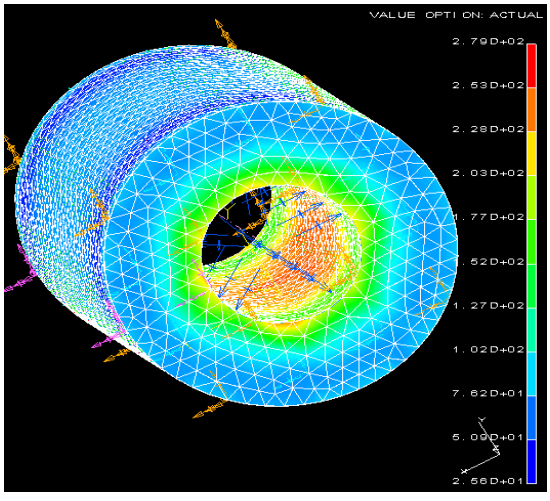
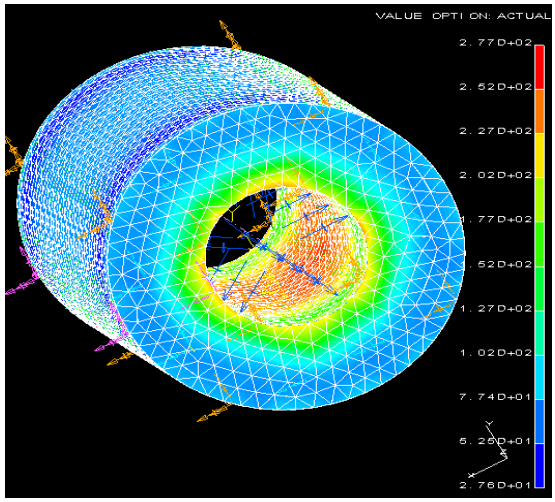
Elemet Length: 5 mm

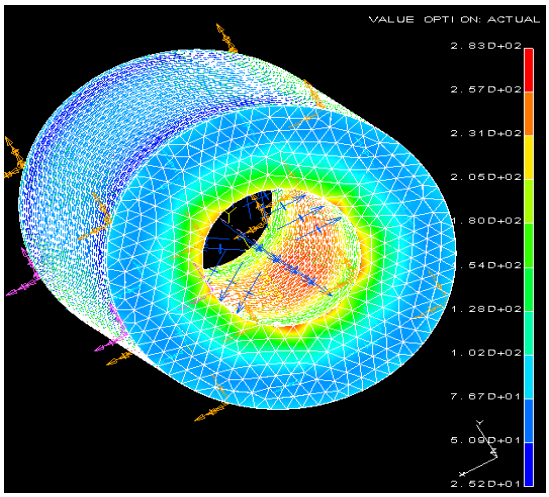
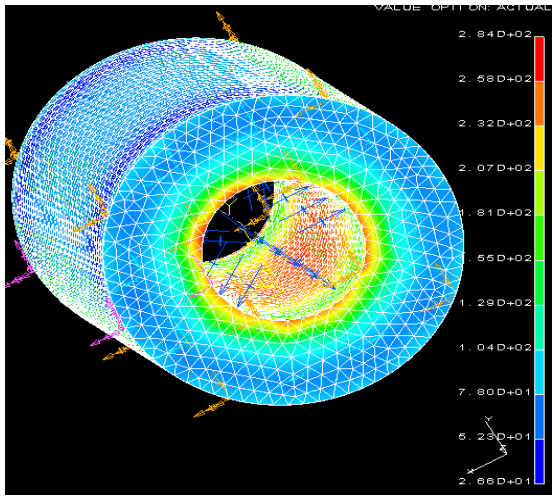
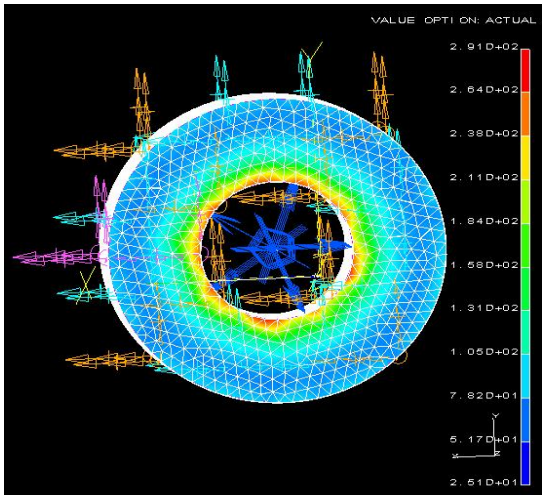
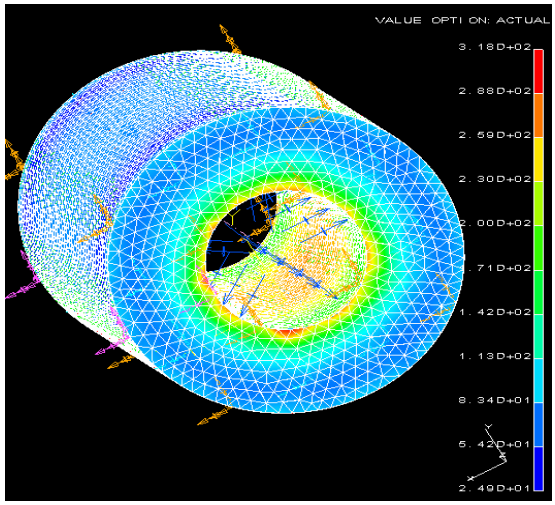
Nodes: 1671

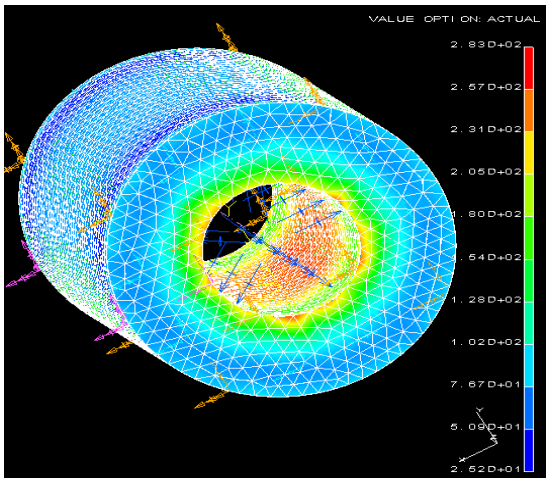
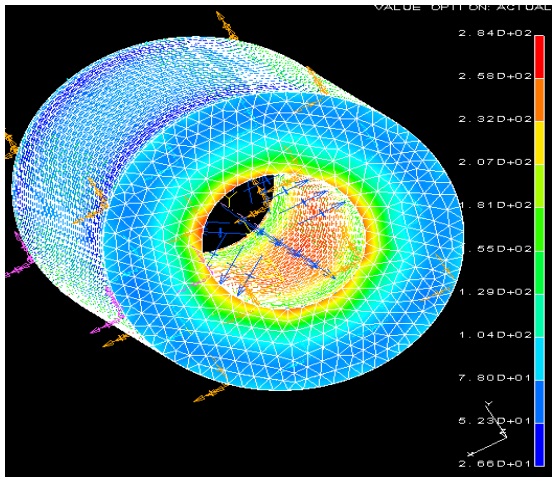
Elements: 6748



7.19. d)

Analiz 5. Element Length: 4 mm Nodes: 2960 Elements: 12650	**Analiz 6.** Elemet Length: 3.5 mm Nodes: 4259 Elements: 18620
	
7.19. e)	**7.19. f)**
Analiz 7. Element Length: 3 mm Nodes: 6159 Elements: 27600	**Analiz 8.** Elemet Length: 2.8 mm Nodes: 7327 Elements: 33155
	
7.19. g)	**7.19. h)**

Analiz 9. Element Length: 2.5 mm Nodes: 9703 Elements: 44543	**Analiz 10.** Elemet Length: 2.3 mm Nodes: 11892 Elements: 55061
	
7.19.i)	**7.19. j)**
Analiz 11. Element Length: 2.1 mm Nodes: 14765 Elements: 69033	**Analiz 12.** Elemet Length: 2 mm Nodes: 16540 Elements: 77695
	
7.19. k)	**7.19. l)**

Analiz 13.	**Analiz 14.**
Element Length: 1.9 mm	Elemet Length: 1.7 mm
Nodes: 18612	Nodes: 24151
Elements: 87808	Elements: 115098
	
7.19. m)	**7.19. n)**

Şekil 7.19. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

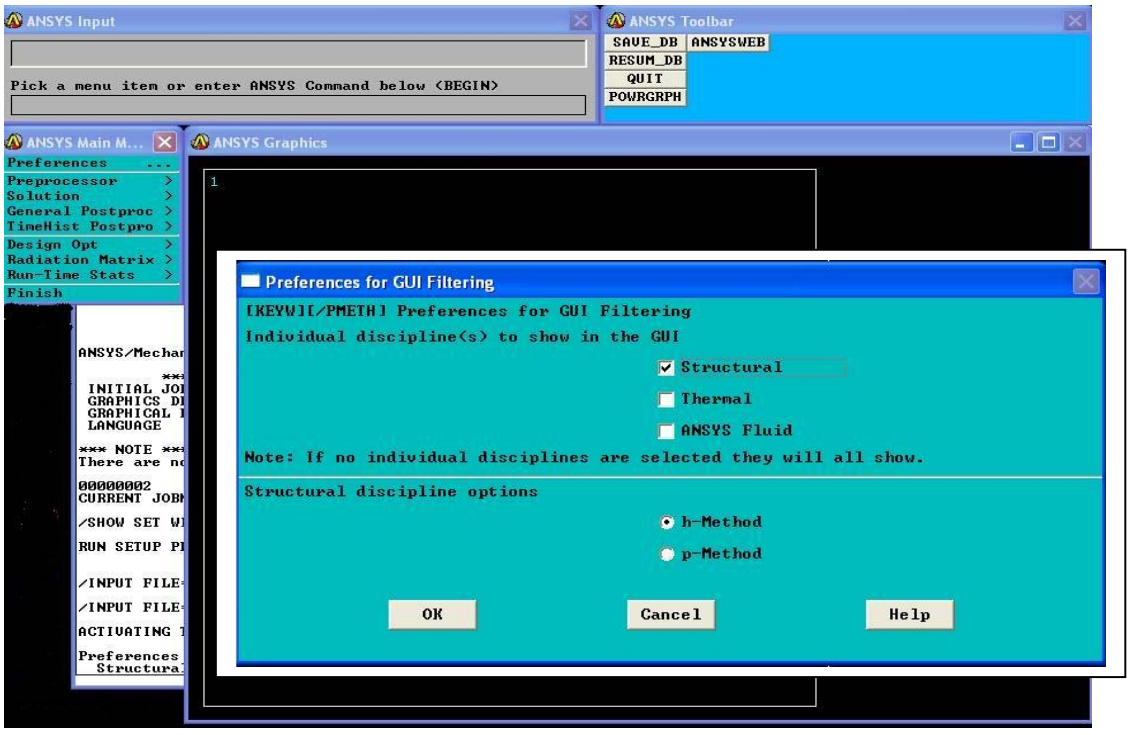
d_0=21 mm ve d_0=23 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=25 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Burada da gerilme sonuçlarının yakınsadığı değerler Şekil 7.19. g), h), i), j), k) ve l) ve 279- 306 MPa arasındadır. Ancak i), j), k) ve l) değerleri birbirine çok yakın olduğundan gerçek sonucun bu dört değerden herhangi biri olduğu kabul edilebilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 291.27$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.19. k) olduğu söylenebilir

7.4 ANSYS Programında Ekstrüzyon Kovanının Gerilme Analizi

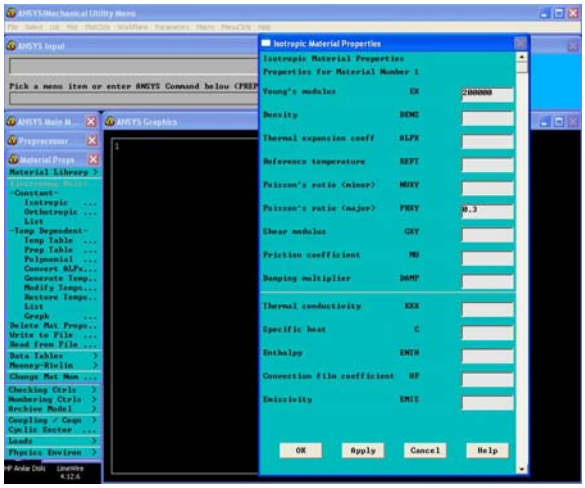
ANSYS programında analiz işlemlerine eleman tipinin seçimi ile başlanır. Kovanın geometrik yapısı tanıtılır, malzeme özelliği atanır, yüzeye etkiyen iç basınç ve sınır şartları girilir. Kovan elemanlarına ayrılır ve çözüm yapılır. Çözüm sonuçlarına bağlı mesh boyutu incelenir ve sonuç görüntülenir.

7.4.1. Kovanın Modellenmesi ve Analizin Uygulanması

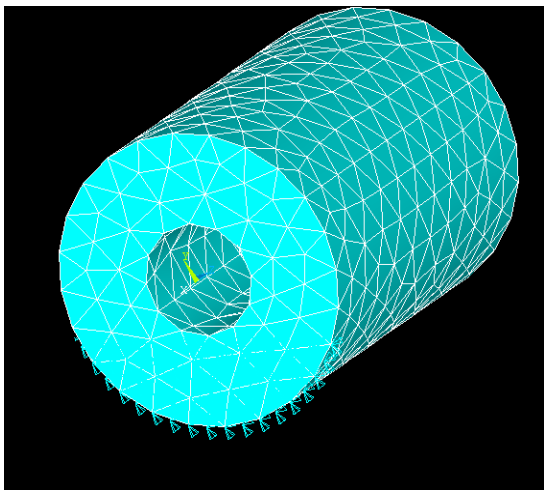
ANSYS'te CATIA ve I-DEAS programlarından farklı olarak, analizi gerçekleştirilecek olan kovan analiz aşamalarında model olarak oluşturulur. Ardından Şekil 7.20-7.23 te gösterilen sıra izlenerek analiz işlemi tamamlanır.



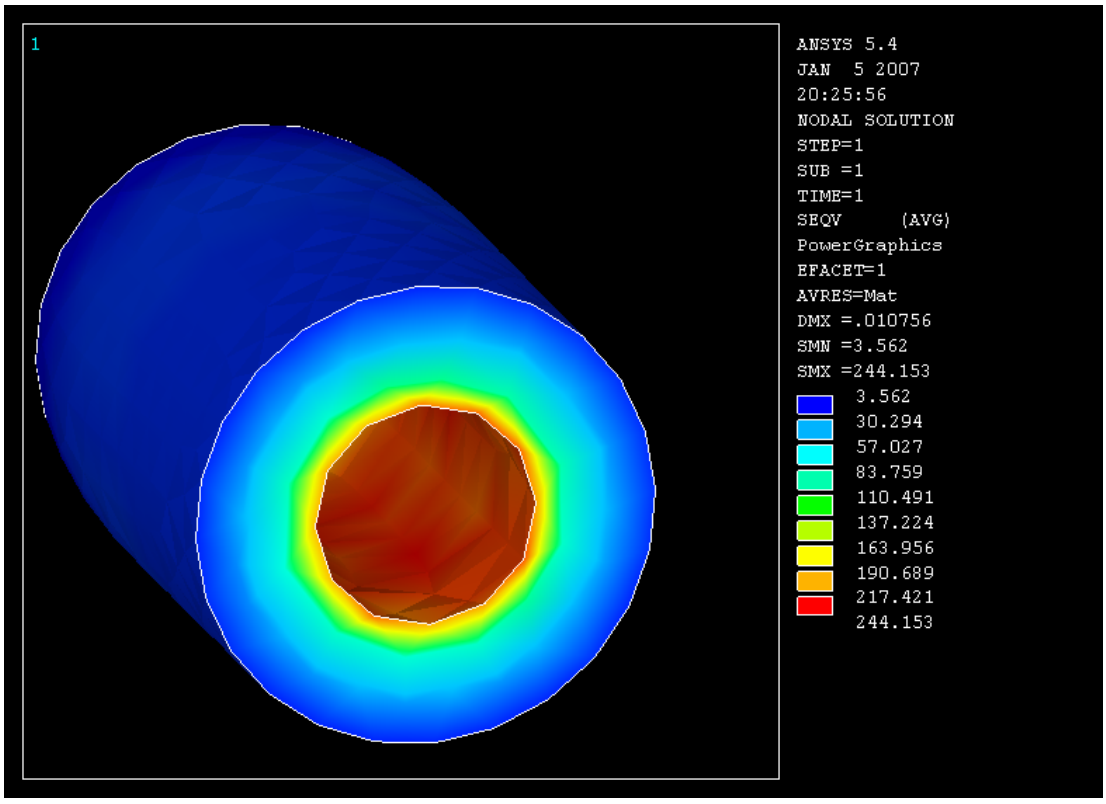
Şekil 7.20 ANSYS Çalışma Penceresi



Şekil 7.21 Malzeme Atanması



Şekil 7.22 Kovan Geometrisi, Yük ve Sınır Şartlarının Uygulanması



Şekil 7.23 Sonuçların Görüntülenmesi

Analiz sonucunda eleman boyutlarına bağlı olarak maksimum mukayese gerilmesi değeri 244.153 MPa olarak elde edilmiştir.

7.4.2. Mesh Sayısına Bağlı Gerilme Sonuçlarının Değişimi ve Analizi

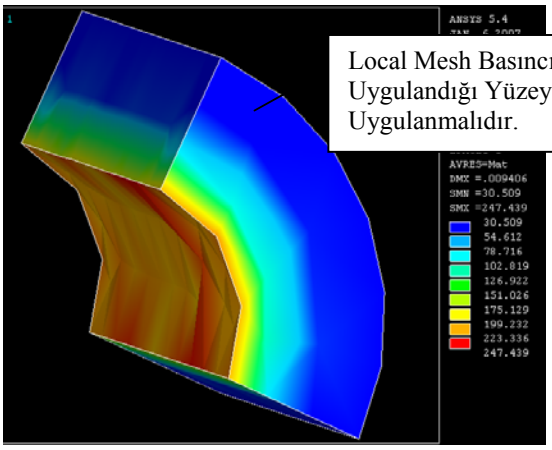
Gerilme analizi hesabında sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSY programı, bu çözüm metodunun sistemlere yaklaşımından dolayı eleman sayısına bağlı olarak gerçek sonuç değerlerine ulaşmaktadır. Bu nedenle eleman sayısının artışı (Şekil7.22) ile gerçek sonuçlara ulaşabilir ve eleman sayısının artışı da doğal olarak bilgisayar özellikleri ile ilişkilidir.

7.4.2.1. 21 mm kovan gerilme analizleri

Analiz 1.

Eleman Boyutu: 8 mm

Eleman sayısı: 3900

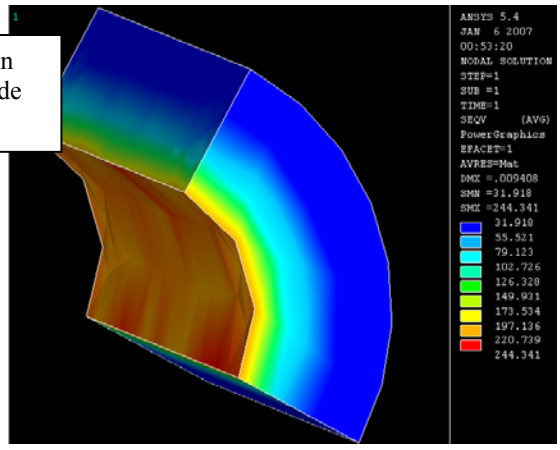


7.24. a)

Analiz 2.

Eleman Boyutu: 7 mm

Eleman sayısı: 5668

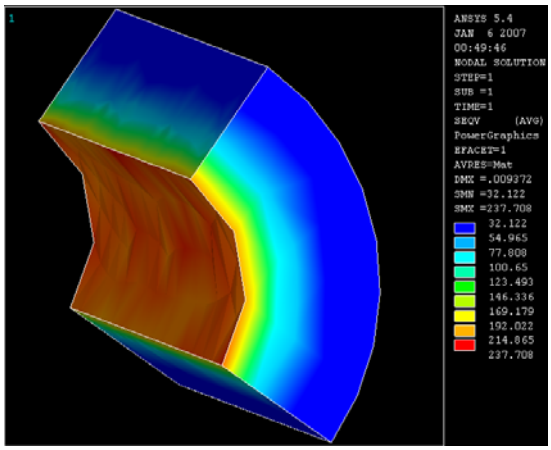


7.24. b)

Analiz 3.

Eleman Boyutu: 6 mm

Eleman sayısı: 9500

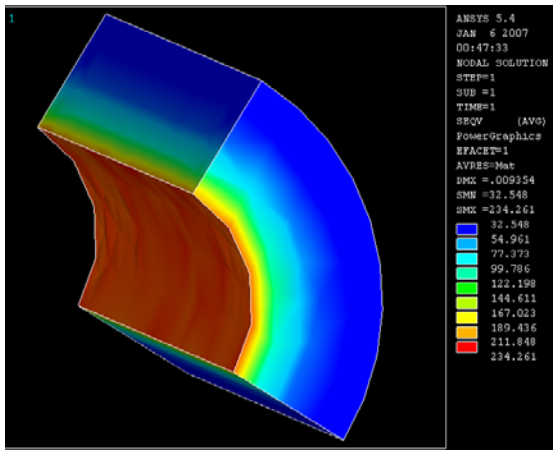


7.24. c)

Analiz 4.

Eleman Boyutu: 5 mm

Eleman sayısı: 13984

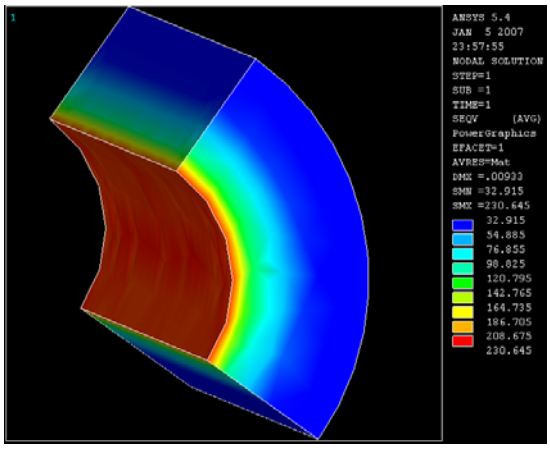


7.24. d)

Analiz 5.

Eleman Boyutu: 4 mm

Eleman sayısı: 26628

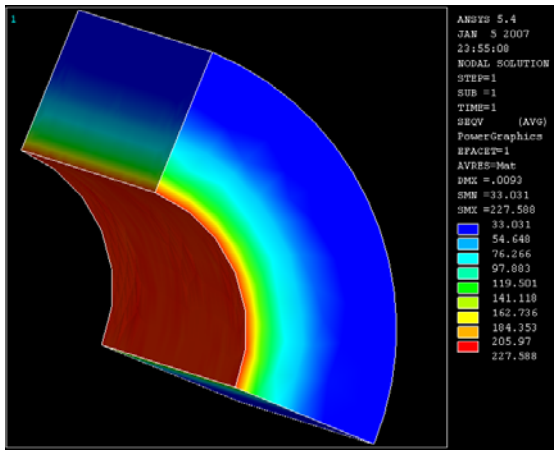


7.24. e)

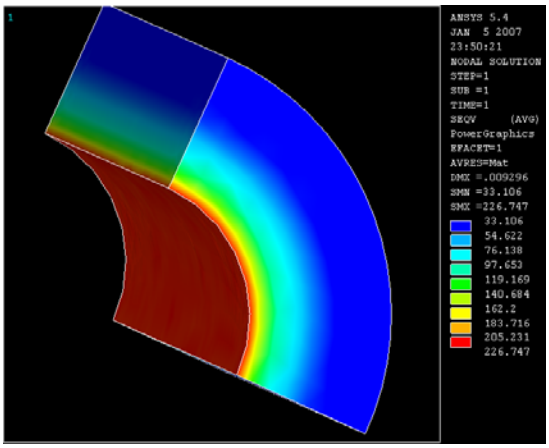
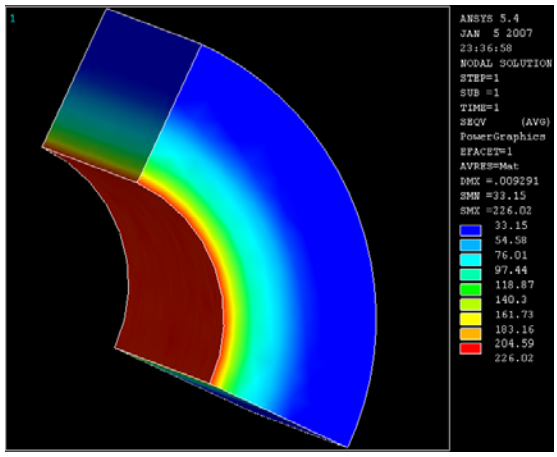
Analiz 6.

Eleman Boyutu: 3 mm

Eleman sayısı: 57560



7.24. f)

Analiz 7.	**Analiz 8.**
Eleman Boyutu: 2,5 Eleman sayısı: 95188	Eleman Boyutu: 2,2 Eleman sayısı: 146056
	
7.24. g)	**7.24.h)**

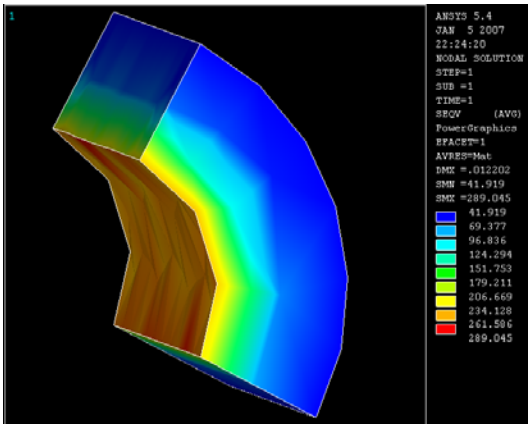
Şekil 7.24. 21 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

ANSYS programı analiz işlemlerini, tasarım ve üretime yönelik programlar olan CATIA ve I-DEAS' a benzer şekilde gerçekleştirir ancak; eleman boyutunun seçiminde ANSYS' te bilgisayar özellikleri daha çok önem kazanır. Örneğin 21mm iç çaplı kovan analizlerinde 1.44 Gb Ram kullanılmıştır. Bu nedenle simetrik olan kovanın ¼ lük kısmı elemanlarına ayrılmıştır. Ancak Şekil 7.24teki eleman sayıları kovanın tam geometrisine aittir. Eleman sayısının artması için eleman boyutu küçültülür. Eleman boyutu küçültülmeye devam edilirken gerilme değerlerinin sonuca yakınsadığı görülür. Analizler sonucunda max. gerilme değerinin olduğu bölgeler renk skalasında kırmızı renk ile gösterilir Şekil 7.24 a), b), c) ve d)' de kırmızı bölgeye rastlanmamaktadır, eleman boyutunun küçültülmesi çalışmalarına devam edilir ve Şekil 7.24 e), f), g), h) elde edilir. Ayrıca kırmızı bölgenin tüm iç çap yüzeyini kaplamış olması bir diğer parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Şekil 7.24 h) bilgisayar özelliklerine bağlı gerçekleştirilebilen son analizdir. CATIA ve I-DEAS'tan farklı olarak ANSYS'te artan mesh sayısı ile birlikte analiz değeri düşerek gerçek sonuca yakınsar. Artan eleman sayısına bağlı olarak gerilme

sonuçlarının Şekil 7.24 f), g) ve h)' ta yakınsadığı görülmektedir ve gerçek sonucunun bu değerler olduğu kabul edilebilir. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 223.36$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.24. h) olduğu söylenebilir.

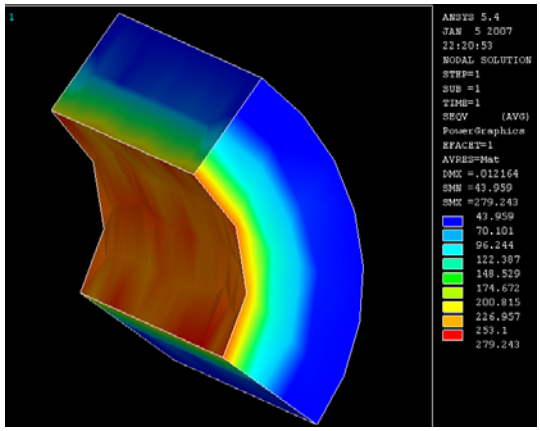
7.4.2.2. 23 mm kovan gerilme analizleri

Analiz 1. Eleman Boyutu: 8 mm
Eleman sayısı: 3648



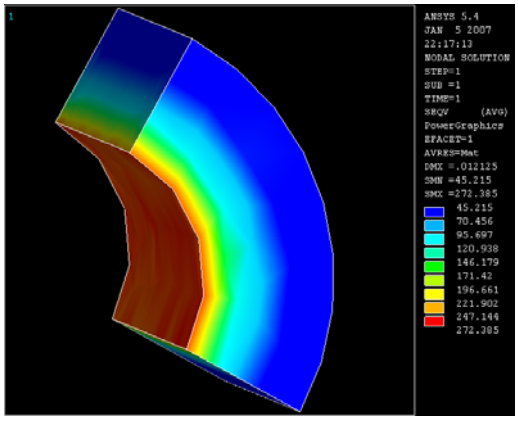
7.25. a)

Analiz 2. Eleman Boyutu: 7 mm
Eleman sayısı: 5436



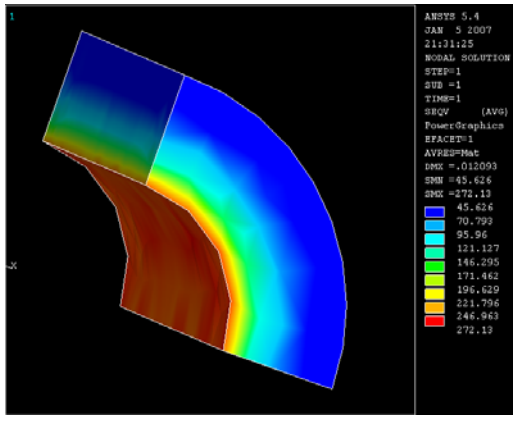
7.25. b)

Analiz 3.
Eleman Boyutu: 6 mm
Eleman sayısı: 9360

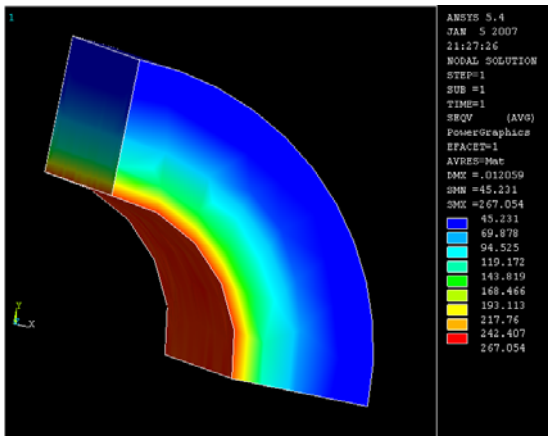
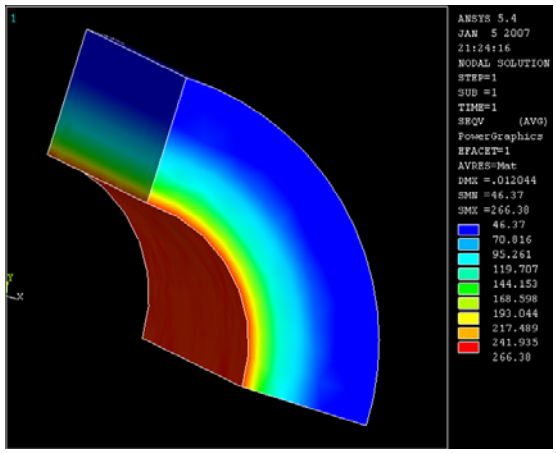
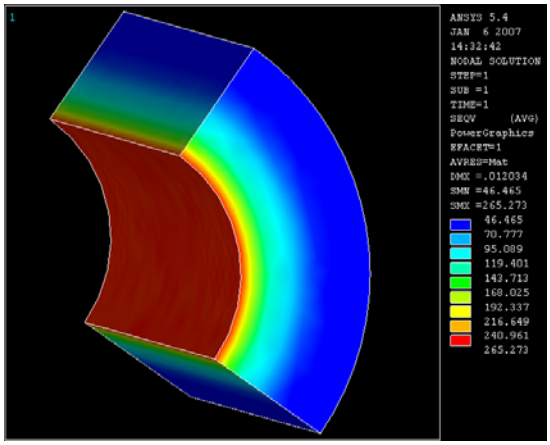
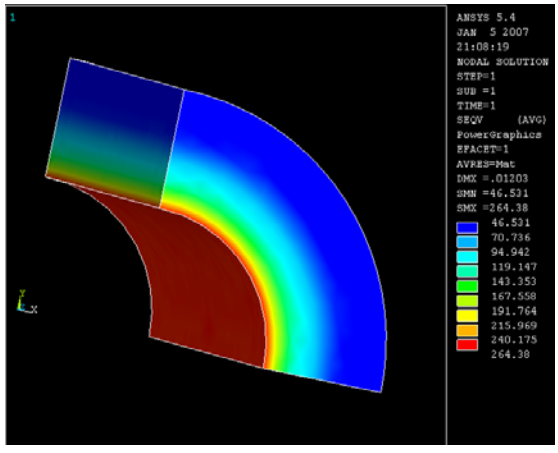


7.25. c)

Analiz 4.
Eleman Boyutu: 5 mm
Eleman sayısı: 12080



7.25. d)

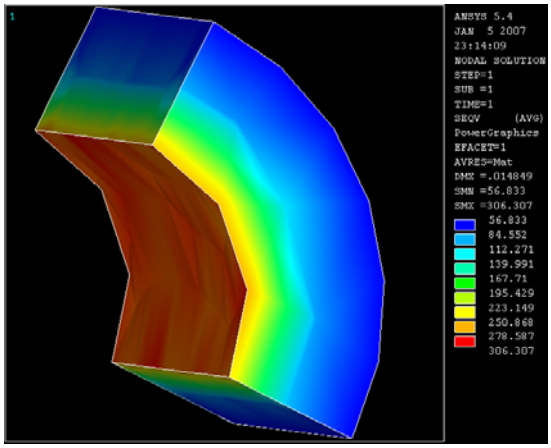
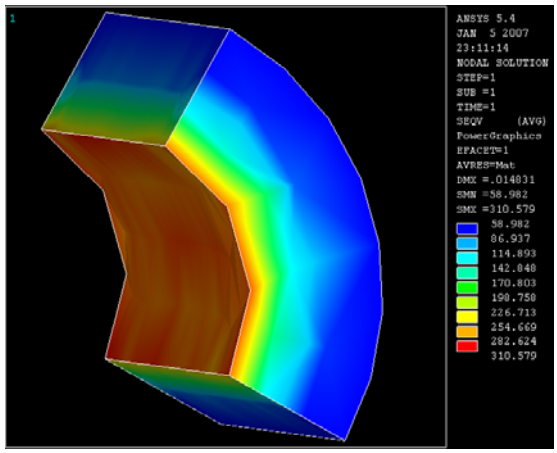
Analiz 5. Eleman Boyutu: 4 mm Eleman sayısı: 25206  **7.25. e)**	**Analiz 6.** Eleman Boyutu: 3 mm Eleman sayısı: 58432  **7.25. f)**
Analiz 7. Eleman Boyutu: 2.5 mm Eleman sayısı: 83624  **7.25.g)**	**Analiz 8.** Eleman Boyutu: 2.2 mm Eleman sayısı: 137548  **7.25. h)**

Şekil 7.25. 23 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

d_0=21 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=23 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Burada da gerilme sonuçlarının yakınsadığı

değerler Şekil 7.25. e), f), g), ve h) şıklarındadır ve Şekil 7.25. a), b), c), ve d) de ise kırmızı bölgeye rastlanmaktadır. Sonlu elemanlar metodu, eleman sayısının artışıyla gerçek sonuçlara yaklaşmaktadır. Analitik çözüm yapma imkanı olduğundan ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 261.66$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.25. h) olduğu söylenebilir.

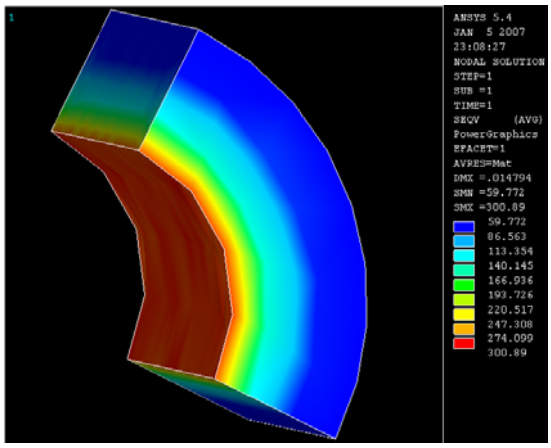
7.4.2.3. 25 mm kovan gerilme analizleri

Analiz 1. Eleman Boyutu: 8 mm Eleman sayısı: 3448	**Analiz 2.** Eleman Boyutu: 7 mm Eleman sayısı: 5324
	
7.26. a)	**7.26. b)**

Analiz 3.

Eleman Boyutu: 6 mm

Eleman sayısı: 7896

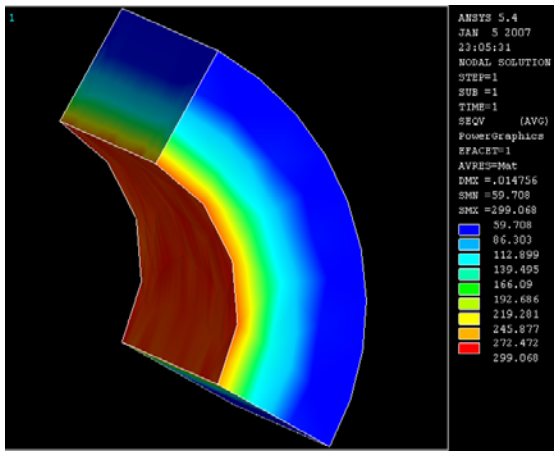


7.26. c)

Analiz 4.

Eleman Boyutu: 5 mm

Eleman sayısı: 11960

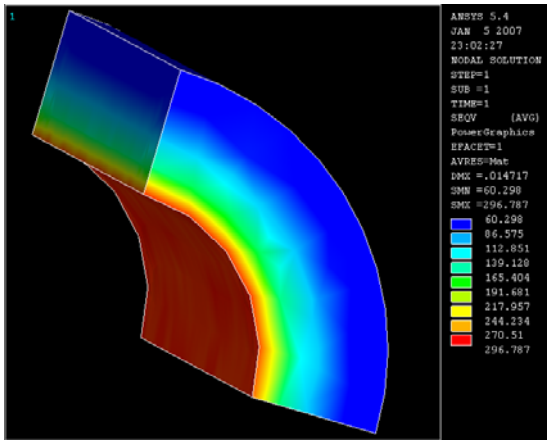


7.26. d)

Analiz 5.

Eleman Boyutu: 4 mm

Eleman sayısı: 22424

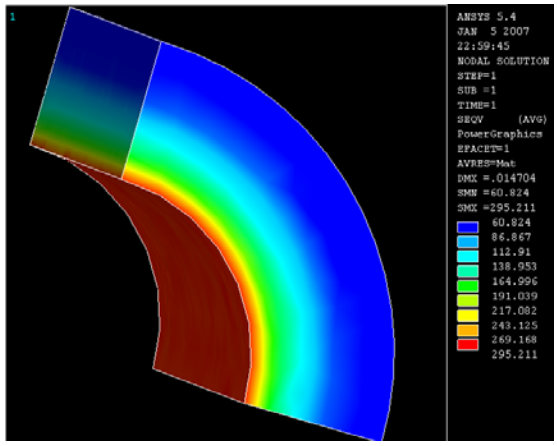


7.26. e)

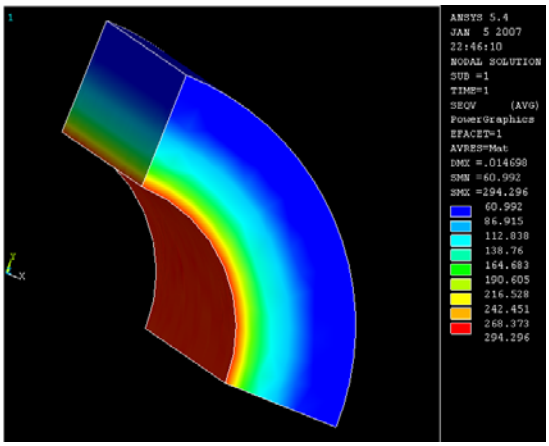
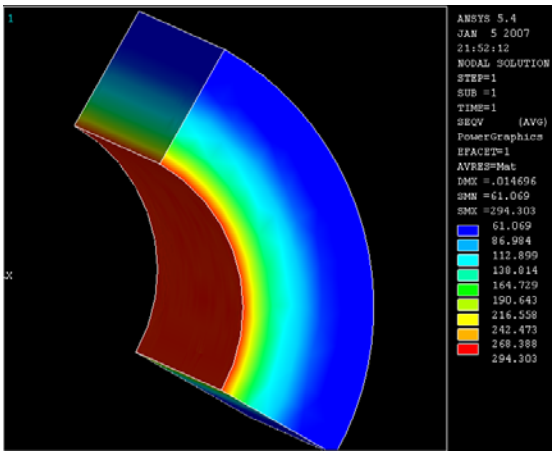
Analiz 6.

Eleman Boyutu: 3 mm

Eleman sayısı: 54012



7.26. f)

Analiz 7.	**Analiz 8.**
Eleman Boyutu: 2.5 mm	Eleman Boyutu: 2.2 mm
Eleman sayısı: 90128	Eleman sayısı: 124508
	
7.26. g)	**7.26. h)**

Şekil 7.26. 25 mm İç Çaplı Kovanın Değişken Mesh Değerleri için Analizleri

d_0=21 mm ve d_0=23 mm iç çaplı kovan analizi için yukarıda açıklanan işlem basamakları d_0=25 mm iç çaplı kovan için de aynen uygulanır. Gerilme sonuçlarının yakınsadığı değerler Şekil 7.26. e)-h) arasındadır ve gerçek sonuç Bölüm 6.2.de $\sigma_{muk} = 291.27$ N/mm^2 olarak hesaplandığından gerçeğe en yakın değerin Şekil 7.26 h) olduğu söylenebilir.

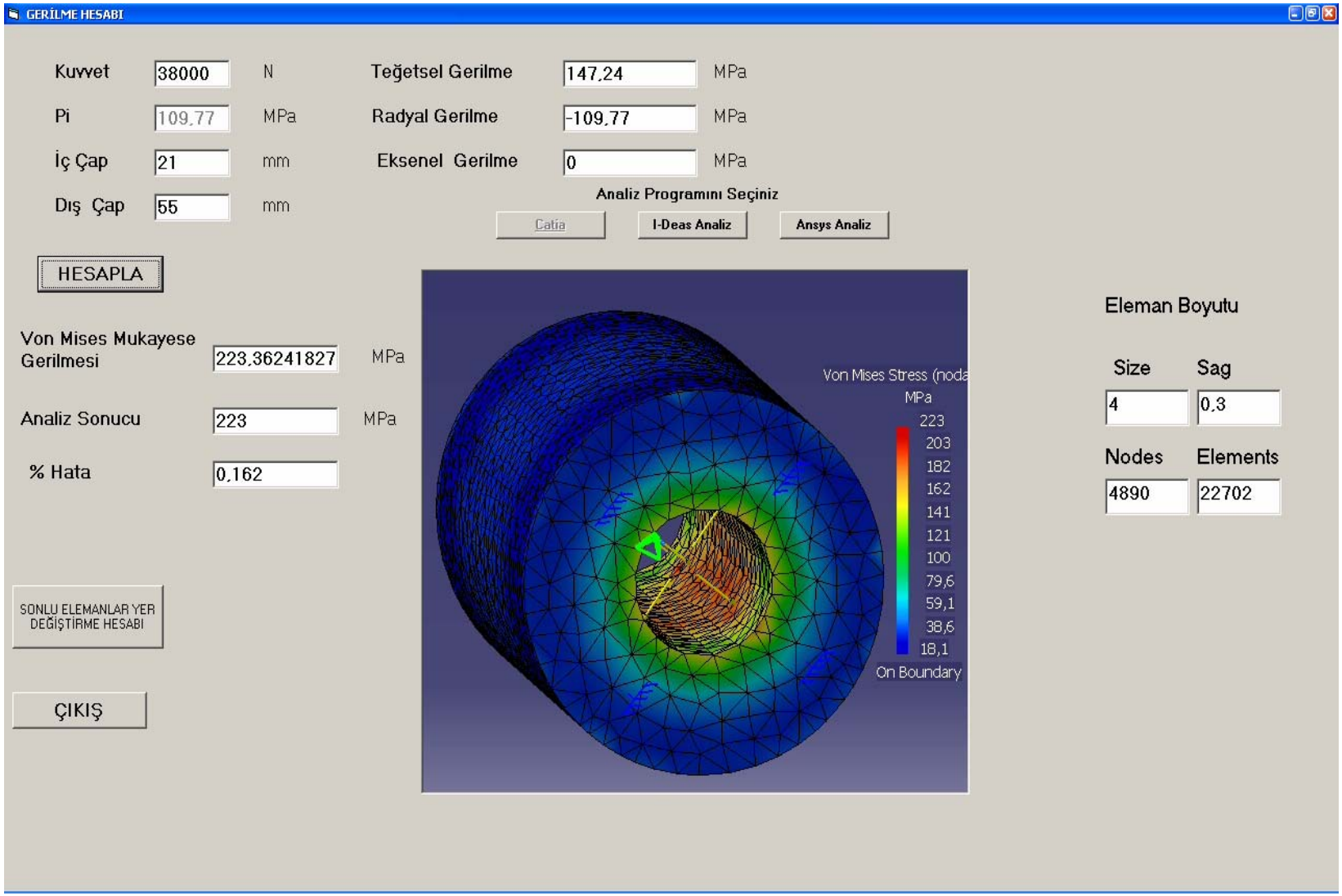
7.5 Analiz Sonuçlarının Visual Basic Uygulaması

CATIA, I-DEAS ve ANSYS programlarında gerçekleştirilen analizlerin karşılaştırmalı incelenmesi ve sunumu için Visual Basic programında bir uygulama hazırlanmıştır. Program ‘’Gerilme Hesabı’’ ve ‘’Sonlu Elemanlar Metoduyla Yer Değiştirme Hesabı’’ isimli iki formdan oluşmaktadır

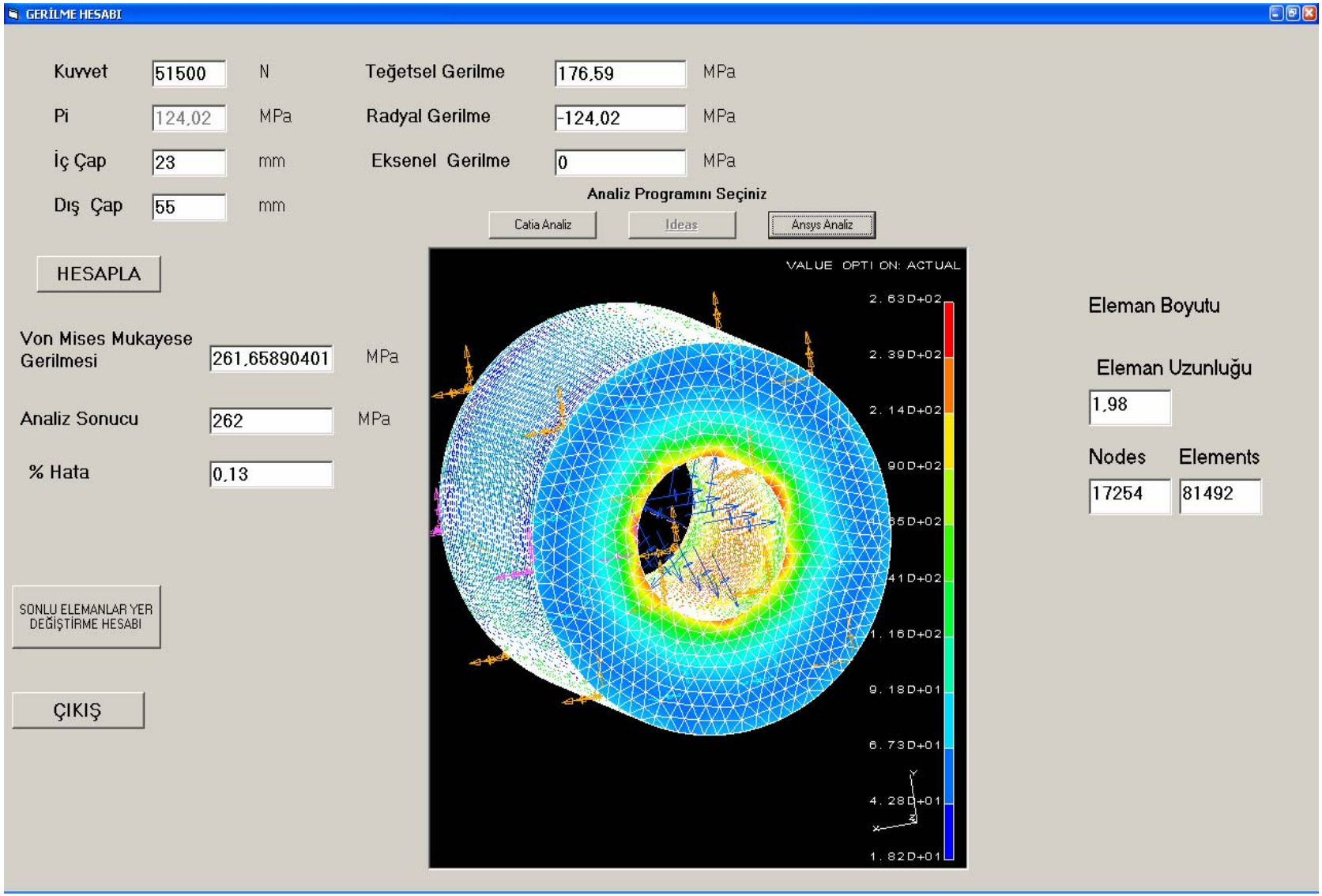
Gerilme Hesabı formunda sunulan tezde kullanılan kalıp boyutları (iç ve dış çap) ve kuvvet girildiğinde Bölüm 7.2, 7.3 ve 7.4 te verilen analiz sonuçlarını bu programda görmek mümkün olacaktır. Programın kullanışlı tarafı kovan iç çapı, dış çapı ve yük girildikten sonra tezde anlatılmış olan üç farklı analiz programından birini seçip sonucu görebilme kolaylığıdır. İç çap, dış çap ve kuvvet değerleri girildiğinde teğetsel ve radyal gerilmeler ile Von-Mises Mukayese Gerilmesi program tarafından hesaplanmaktadır. Bu ekranda kalıp geometrisi ve kuvvet girildiğinde ilk yapılacak işlem analiz programını seçmektir. Böylece ekrana seçilen programa ait tezde belirlenmiş en iyi sonucu veren analiz resmi çağrılmaktadır. Bu çözüme ait mesh sayısı değerleri de (nod ve elements) ekranın sağ tarafına otomatik olarak gelmektedir. Bu Visual Basic Uygulaması, kuvvet ya da kalıp geometrisi değiştiğinde gerilmeleri yine hesaplayabilmekte ancak analiz resmi ekrana gelmemektedir. Program, analiz sonuçlarını mukayese gerilmesi ile karşılaştırarak % farkları da ortaya koymaktadır. Şekil 7.27 de iç çapı 21 mm olan kovana ait değerler ekrana girilmiş analiz programını seçiniz sekmesinden CATIA tıklanmış ve program Şekil 7.7.d) deki resmi ekrana getirmiştir. Benzer işlem Şekil 7.28’de 23 mm iç çaplı kovan için yapılmış ve I-DEAS sekmesi tıklanarak d_o=23mm iç çaplı kovan için bu analiz programına ait en iyi sonuç olan Şekil 7.18 j) ekrana taşınmıştır. 25 mm iç çaplı kovan için ekranda ANSYS sekmesi seçilmiş ve bu çaptaki kovan için ANSYS’ten elde edilen en iyi sonucun görüntüsü (Şekil 7.26 g)) ekrana gelmiştir.

Kodlaması yapılan programın ikinci kısmı Sonlu Elemanlar Metoduyla Yer Değiştirme Hesabı yapabilmesidir. Bunun için öncelikle programın ilk ekranındaki Sonlu Elemanlar Yerdeğiştirme Hesabı ikonunun tıklanması gerekir. Karşımıza gelen ekranda iç

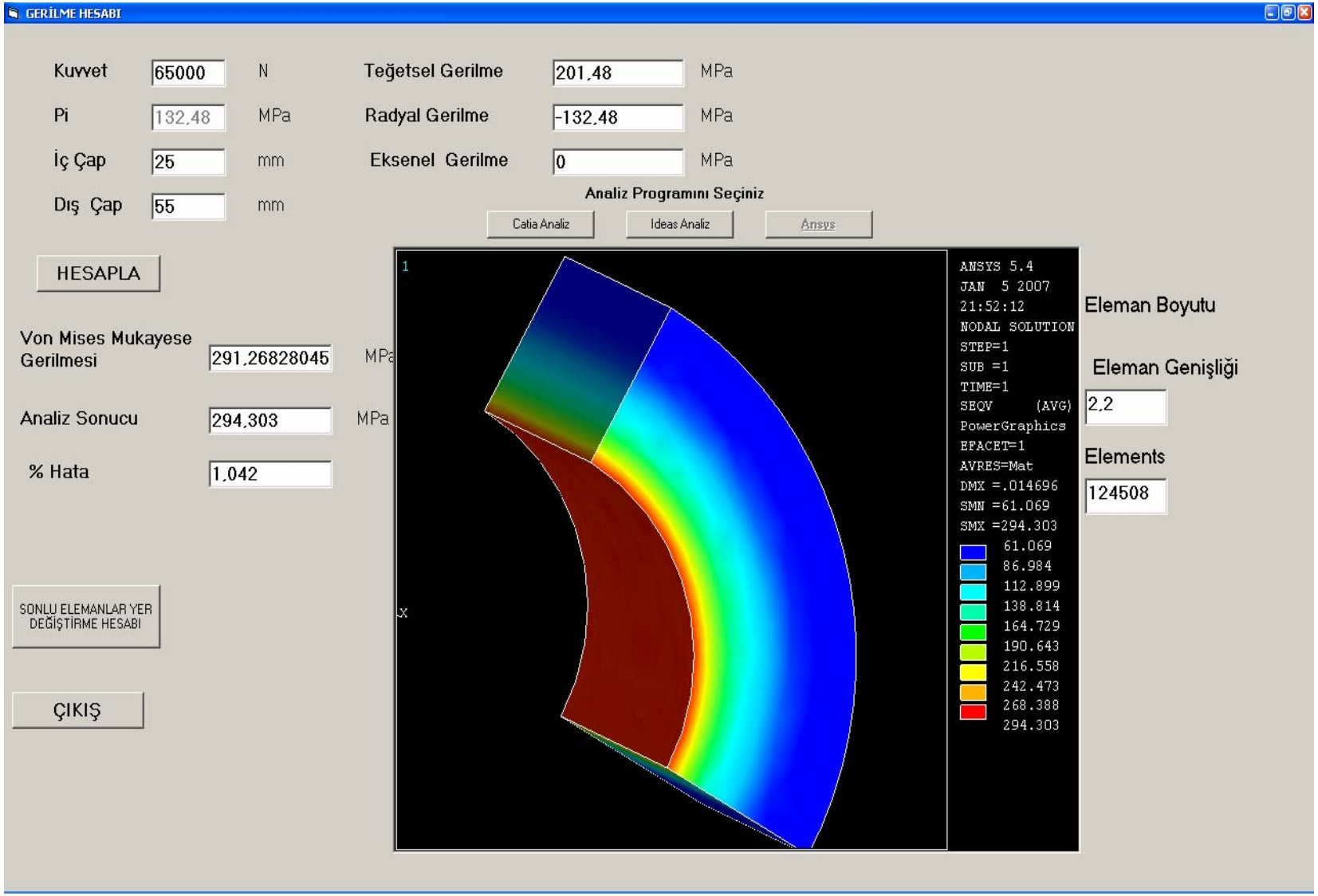
çap ve sonlu elemanlar için gerekli mesh üçgeni yüksekliği girilerek “Hesapla” ikonuna tıklanır. Program aralarında seçilen üçgen yüksekliği kadar mesafe bulunan iki noktaya ait yer değiştirme miktarlarını matris denklemi çözerek hesaplar. Üçgen boyutu yeterince küçük seçildiğinde bu iki noktaya ait yer değiştirme miktarları da birbirlerine yakınsamaktadır. Ancak bu programdan hesaplanan sonuçlarla analiz programlarının hesapladığı yer değiştirme miktarları arasında farklar vardır. Bunun nedeni Visual Basic Uygulamasında eleman rijitlik matrislerinin, elemanın ağırlık merkezindeki yarıçapa göre hesaplanmasından ve eleman boyutunun küçültülmesine rağmen iki üçgen elemana ayrılmasındandır.



Şekil 7.27 Sonlu Elemanlar Analizinin CATIA Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı



Şekil 7.28 Sonlu Elemanlar Analizinin I-DEAS Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı



Şekil 7.29 Sonlu Elemanlar Analizinin ANSYS Programı ile Visual Basic Uygulaması Ekranı

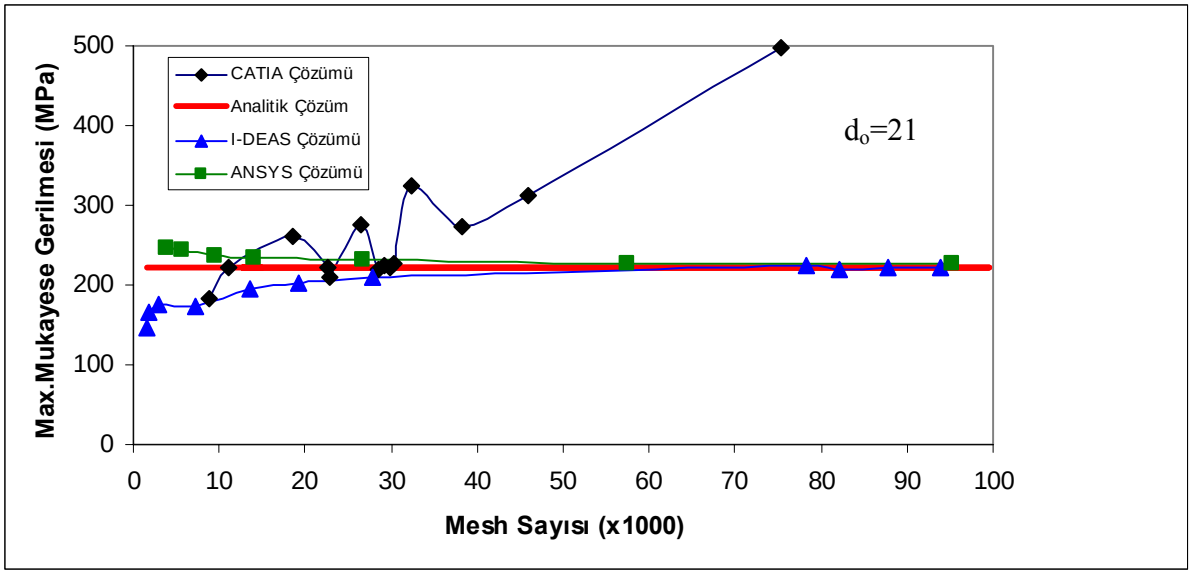
7.6 Programların Karşılaştırmalı Analizi

Sunulan tezde kullanılan I-DEAS, CATIA ve ANSYS'te değişen mesh sayılarına bağlı olarak hesaplanan max. mukayese gerilmesi değerleri ve analitik çözüm değeri Şekil 7.30-7.32 arasında sunulmaktadır.

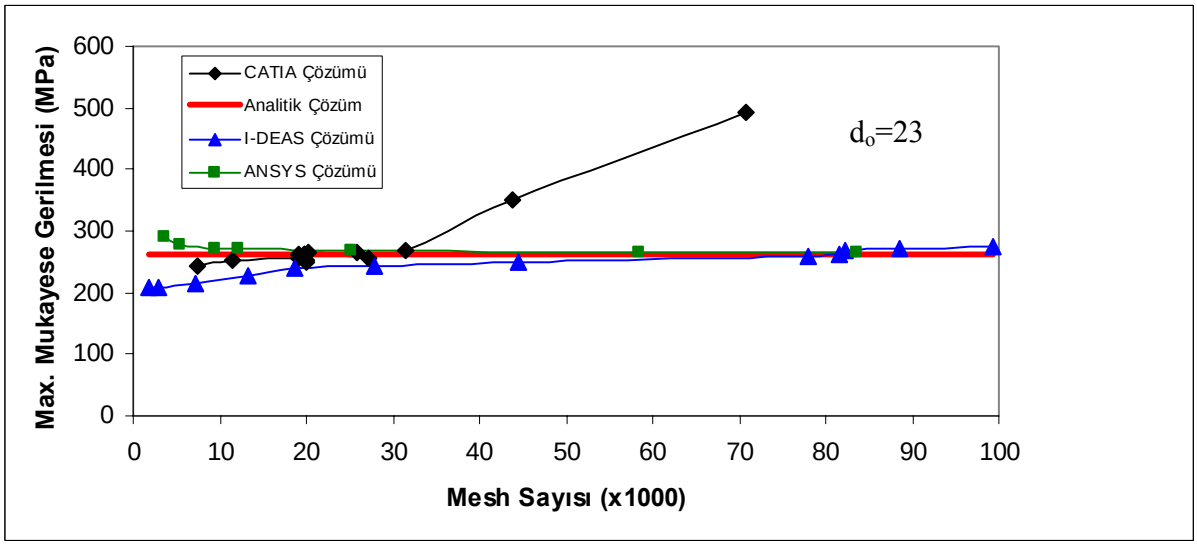
Şekil 7.30'da d_o=21 mm iç çaplı kovanda gerçekleştirilen ekstrüzyon sonucu meydana gelen gerilmenin analitik hesabı ile analiz programlarının mesh sayılarına bağlı olarak hesapladıkları değerler sunulmaktadır. Analitik sonuç 223.36 MPa'dır ve kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Siyah çizgi ile gösterilen CATIA çözümüdür ve 28.000-32.000 mesh sayıları arasında analitik değere yakınsamıştır. I-DEAS ise bu değer 78.000 mesh sayısında yakınsayabilmiştir. Ancak görüldüğü gibi CATIA optimum mesh değerlerinden sonra daha yüksek sayıda meshleme yapıldığında gerçek sonuçtan uzaklaşırken I-DEAS'ta böyle bir durum yoktur. Ancak I-DEAS aynı sonuca CATIA'nın yaklaşık 3 katı mesh sayısına ulaşsa da analiz işlemini aynı sürede gerçekleştirmiştir. ANSYS'te ise diğer ikisinin aksine artan mesh sayısı ile birlikte analiz değeri düşerek gerçek sonuca yakınsamaktadır. ANSYS bu problem için yaklaşık 60.000 mesh sayısında analitik sonuca yakınsamış olup yine de içlerinde en yüksek hata payını veren programdır. ANSYS'te 223 MPa değerine ulaşılamamış olup en yakın değer 226 MPa olarak kaydedilmiştir. Ayrıca aynı problemin çözümü ile ilgili ANSYS 1.44 GB RAM'e ihtiyaç duyarken CATIA ve I-DEAS yaklaşık bunun yarısı kadar bir RAM'e ihtiyaç duymuştur. Bu sebeple Ansys programında analiz işlemlerinde yeterli eleman sayısı artışının sağlanamaması sebebiyle ve geometri simetrik olduğundan model 1/4 oranında incelenmiştir.

Şekil 7.31'de benzer sonuçlar d_o=23 mm. iç çaplı kovan için verilmektedir. Analitik sonuç 261.66 MPa'dır ve kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Siyah çizgi ile gösterilen CATIA çözümüdür ve 18.000-20.000 mesh sayıları arasında analitik değere yakınsamıştır. I-DEAS ise bu değer yine 80.000 mesh sayısı civarındadır. Yine CATIA optimum mesh değerlerinden sonra keskin bir yükselişle gerçek sonuçtan uzaklaşırken I-DEAS'ta böyle bir durum gözlenmemiştir. Bu problem için de I-DEAS optimum sonuca CATIA ile aynı sürede ulaşmıştır. ANSYS bu problem için yaklaşık 58.000 mesh sayısında analitik sonuca

yakınsamış olup en yüksek hata payını vermiştir. ANSYS'te 261 MPa değerine ulaşılamamış olup en yakın değer 264 MPa olarak kaydedilmiştir

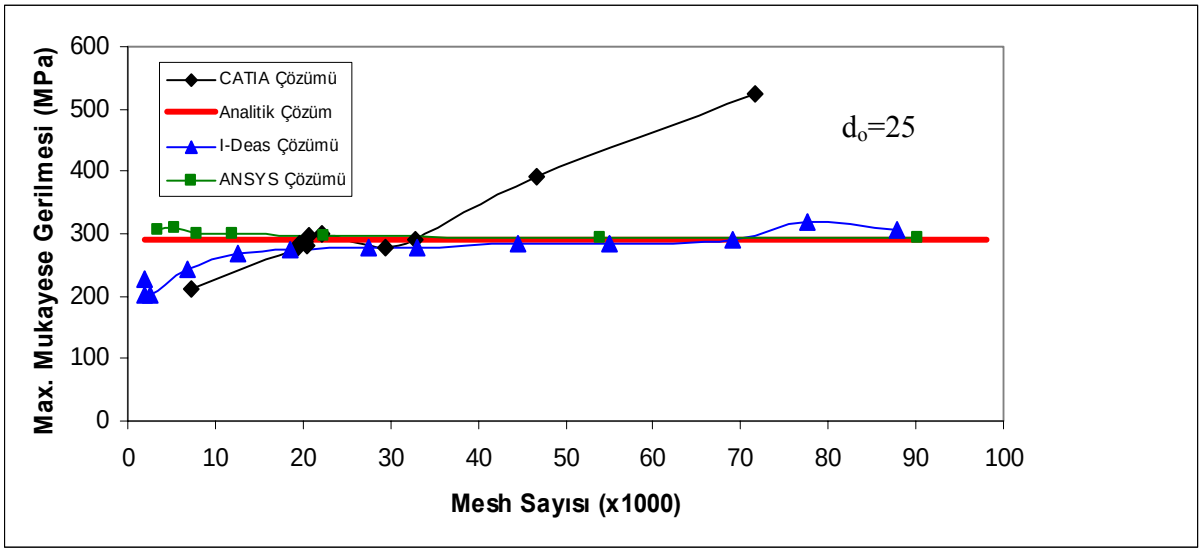


Şekil 7.30 d_o=21 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri



Şekil 7.31 d_o=23 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri

Şekil 7.32'deki sonuçlar d_o=25 mm. iç çaplı kovana aittir. Analitik sonuç 291.27 MPa'dır ve kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Siyah çizgi ile gösterilen CATIA çözümüdür ve ~20.000 mesh sayısı civarında analitik değere yakınsamıştır. Mavi çizgi ile gösterilen I-DEAS ise bu değer 70.000 mesh sayısı civarındadır. Bu problemde de CATIA optimum mesh değerlerinden sonra keskin bir yükselişe geçmiştir. I-DEAS'ın gerçek sonuca yakınsadığı 70.000 mesh sayısında CATIA gerçek değerin %80 fazlasını vermektedir. Bu problem için de I-DEAS optimum sonuca CATIA ile aynı sürede ulaşmıştır. Yeşil çizgilerle gösterilen ANSYS gerçeğe en yakın değere 55.000 mesh sayısı civarında yakınsamıştır. Yine en yüksek hata payını ANSYS vermiştir.



Şekil 7.32 d_o=25 mm için Analiz Sonuçlarının Mesh Sayısına Bağlı Değişimleri

Her üç durum için ANSYS, diğer iki programa göre sonuçları prosesin ¼'ini çözüyo olmasına rağmen yaklaşık 2-3 kat daha fazla sürede çözmektedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sunulan tezde gerçek bir plastik şekil verme prosesinde kalıp kovanında ortaya çıkan gerilmeler hem analitik hem de ticari CAD/CAM programlarının öğrenci versiyonları kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kalıp kovanı kalın cidarlı boru olarak ele alınmış ve CATIA, I-DEAS ve ANSYS programları kullanılarak gerilme analizi yapılmıştır. Mesh sayısı optimizasyonu yapılarak değişen mesh sayılarıyla elde edilen analizlerin nasıl yorumlanıp gerçek sonuca nasıl ulaşılacağı da çalışmada ilk defa ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Buna göre; öncelikle analiz sonuçlarının eleman boyutundan önemli ölçüde etkilendiği söylenebilir. Gerçek sonuca ulaşmanın yolu eleman sayısını arttırmaktır. Eleman sayısı ise bilgisayar özelliklerine bağlı olarak arttırılabilir. Bilgisayar özelliklerinin yetersiz kaldığı durumlarda ise incelenecek model tüm sistemi temsil edecek küçük parçalara ayırmak gerekmektedir.

Analiz işlemlerini gerçekleştirme süresi bakımından CATIA ve I-DEAS yaklaşık aynı süreyi harcarken ANSYS 2–3 kat daha fazla süre harcamaktadır. Bununla birlikte I-DEAS ve ANSYS analiz amaçlı gerçek solver bulunduran programlardır, CATIA ise analiz anlamında daha yüzeysel kalmakta olup iyi bir tasarım programıdır. Ayrıca ANSYS ve I-DEAS'ta yapılan bir işlemin geri alınması imkânsız olup CATIA'da bu sorun geri alma ikonuyla rahatlıkla çözülebilmektedir.

CATIA analiz işlemlerinde çok gelişmiş olmamakla birlikte çok ergonomik ve seri işlemlere imkân tanımaktadır. I-DEAS ise günler süren analiz işlemlerini gerçekleştirebilir ve mesh kabiliyeti daha iyidir.

ANSYS artan mesh sayısı ile gerçek sonuca yüksek değerlerden başlayarak yakınsarken CATIA ve I-DEAS ters olarak düşük değerlerden yükselerek yakınsamaktadır. CATIA diğer iki programa göre analiz sonucuna yakınsadığı andan itibaren artan mesh

sayısı ile birlikte sonuçtan bir hayli uzaklaşmaktadır. Ancak bunun sebebi programın yanlış sonuç bulması değil gerilme analizini bir bölge yerine artık sonsuz küçük bir noktada yapıyor olmasındandır. Ancak I-DEAS ve ANSYS optimum değerden sonraki mesh sayılarında da bölgesel analiz yapmaya devam etmektedir.

Yapılan tez çalışmasında kullanılan analiz programlarının üçünün de, gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesi ve göz ardı edilebilecek hata paylarını içermesi sebebiyle üçünün de analiz işlemlerinde kullanılmaya uygun olduğu gösterilmiştir. Ancak yapılacak analiz ve parça geometrisi ve işin hassasiyetine bağlı olarak hangisinin seçileceği tasarım mühendislerine bırakılmalıdır.

Takip eden çalışmalarda farklı parça geometrileri kullanılarak ve daha fazla sayıda CAD/CAM analiz programları da incelenerek tasarımcıların ve sanayi mühendislerinin faydalanmasına sunulmalıdır.

KAYNAKLAR

AKYOL, O. A., 2004, Yürüyen Merdiven Taşıyıcı Sisteminin Sonlu Elemanlar Metodu İle Mukavemet Analizinin Yapılması ve Tahrik Sisteminin Hesabı.

ATMACA, B.,1996, Alüminyum Ekstrüzyon Prosesi Ve Devre Ekipmanlarının Boyutlandırılması.Yüksek Lisans Tezi.Erciyes Üniversitesi

AYER, Ö., 2006, Dişli Benzeri Parçaların İleri Ekstrüzyonunda Teorik Kuvvet Analizi. Trakya Üniversitesi.

BABALIK, F.C., 1997, Makine Elemanları Ve Konstrüksiyon Örnekleri-Cilt 1. Uludağ Üniversitesi,Bursa,362 s.

ÇELİKLİAY, G., 2000, CAD/CAM Sistemlerinin Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi

ERDEM, S. S., 1996, Dişli Çarklarda Diş Üzerinde Ansys Sonlu Elemanlar Paket Programlarıyla Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi

ERTEN, M., 1993, Dişli Çarklarda Yük Taşıma Kabiliyetinin Ve Diş Dibi Gerilmelerinin İncelenmesi. Doktora Tezi.İstanbul Teknik Üniversitesi

GEDİKLİ. H., 2000, Metal Şekillendirme İşlemlerinde Sürtünme Katsayısının Deneysel Ve Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi

GOUVEİA B.P.P.A., RODRİGUES J.M.C., MARTİNS P.A.F., (1998); Finite Elamany Modelling Of Cold Forward Extrusion Using Updated Lagrangian Combined Eulerian-Lagrangian Formulations, Journal Of Materials Processing Technology 80-81 pp. 647-652

GÜRARDA, A., 2000, Bilgisayar Destekli Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi

KAYA, N., 2004, Bilgisayar Destekli Üretim Ders Notları.Uludağ Üniversitesi.

Mısırlı C., 2002, Ekstrüzyon Tipi Dövme Proseslerinin Analizi', Yüksek Lisans Tezi, T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

MURTEZAOĞLU, A.A., 1995, Çeliğin Düşey Ekstrüzyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

PERÇİN, A.T., 2000, Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Şekil Optimizasyonu.Yüksek Lisans Tezi,Uludağ Üniversitesi

SHAFRY D., TIROSH J., BER A., (1989) American society of mechanical engineers

SONG, J.H., IM, Y.T., (2004) Determination of a major design parameter for forward extrusion of spur gears, Journal of manufacturing science and engineering vol.126 pp 255-263

SOFUOĞLU, H., GEDİKLİ H., (2004) Physical And Numerical Analysisi Of Three Dimensional Extrusion Process, Computaional Materials Science vol.31 pp 113-124

SOLMAZ, E., 1990, Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Kuvvetlerin Makine Elemanları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi

TOPÇU, M., TAŞGETİREN, S., Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu 1998. Ders Kitabı, Denizli.

URAL, F., 2003, Düz Dişli Çarklarda Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Diş Dibi Gerilmelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi.

ÜNAL, R., 2002, Malzeme Bilgisi Ders Notları, Dumlupınar Üniversitesi.

YANG, D.Y., HAN, C.H., KİM, M.U., (1986) A generalized method for analysis of thre-dimensional extrusion of arbitrarily-shaped sections, Int. J. Mach. Sci.. Vol.28 No.8 pp 517-534

YILMAZ, İ. M., 2005, Kompozit Basınçlı Tüpde Gerilme Analizi. Araştırma Projesi. Dokuz Eylül Üniversitesi.

YILDIZ, A.R., 2001, Şekil Parametrelerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi

ZOR, M., 2006, Örneklerle Ansys' e Giriş Ders Notları.

ÖZGEÇMİŞ

Gürkan İRSEL 12.07.1983 tarihinde Edirne'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Edirne'de tamamladı. 2000 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2001-2002 Eğitim-Öğretim yılında birinci olarak Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 2004 yılında buradan mezun oldu. Şubat 2005'te Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Aynı yıl Aralık ayında Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevine devam etmektedir.

Bekar olan Gürkan İRSEL pek çok ticari CAD/CAM Programı ve İngilizce bilmektedir.