

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURULMAYA MARUZ MİLLERDE KOROZYON
OYUKLARININ GERİLME DAĞILIMININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fatih Mustafa DİKİCİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Muhammet CERİT

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMAYA MARUZ MİLLERDE KOROZYON
OYUKLARININ GERİLME DAĞILIMININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Fatih Mustafa DİKİCİ

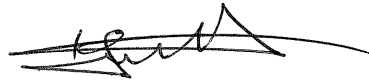
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM İMALAT

Bu tez 02 / 05 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Yrd. Doç. Dr.
Muhammet CERİT
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Kenan GENEL
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.
Mesut DURAT
Üye**

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın ortaya çıkarılması ve yürütölmesi esnasında beni yönlendiren, ve yardımlarını esirgemeyen başta hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhammet CERİT'e, ve Sayın Doç. Dr. Kenan GENEL'e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca bu çalıőmayı yaparken bilgisayar desteğiyle yardımlarını benden esirgemeyen baldızım Seçil TEMEL'e çok teşekkür ederim. Hayatım boyunca bana maddi manevi her türlü desteği gösteren, her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan annem Fatma DİKİCİ'ye, babam Memet Dikici'ye sonsuz sevgilerimi ve teőekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek Lisans eğitimine başvuramada beni teővik eden, eğitim süresince ve tez çalıőmalarımnda desteğini esirgemeyen ve mühendislik alanındaki mesleki gelişimimi destekleyen eşim Bankacı Işıl DİKİCİ'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KOROZYON VE OYUK KOROZYONU.....	5
2.1. Korozyonun Genel Özellikleri.....	5
2.2. Korozyon Çeşitleri.....	6
2.2.1. Üniform korozyon (genel korozyon).....	6
2.2.2. Oyuk korozyonu.....	6
2.2.3. Galvanik korozyon.....	6
2.2.4. Çatlak korozyonu.....	6
2.2.5. Kabuk altı korozyonu.....	7
2.2.6. Filiform korozyonu.....	7
2.2.7. Seçimli korozyon.....	7
2.2.8. Taneler arası korozyon.....	7
2.2.9. Erozyonlu korozyon.....	7
2.2.10. Aşınmalı korozyon.....	8
2.2.11. Stres korozyonu.....	8

2.2.12. Yorulmalı korozyon.....	8
2.2.13. Kaçak akım korozyonu.....	8
2.2.14. Mikrobiyolojik korozyon.....	9
2.3. Oyuk Korozyonu.....	9
2.4. Oyuk Korozyonun Önlenmesi.....	12
2.4.1. Pasifleştirici inhibitörler.....	13
2.4.2. Adsorpsiyon inhibitörleri.....	14
BÖLÜM 3.	
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE ANSYS.....	16
BÖLÜM 4.	
TASARIM VE GERİLME ANALİZİ.....	18
4.1. Problemin Tanımlanması.....	18
4.2. Kuvvetin tespit edilmesi.....	21
4.3. Modelin oluşturulması.....	22
4.3.1. Analiz Tipinin Belirlenmesi.....	22
4.3.2. Eleman Tipinin Belirlenmesi.....	23
4.3.3. Malzeme Atama.....	24
4.3.4. Geometrik Modelin Oluşturulması.....	25
4.4. Küçük Elemanlara Ayırma.....	28
4.5. Sınır Şartları ve Yüklerin Uygulanması.....	31
4.6. Çözümün Başlatılması.....	33
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	35
5.1. Küresel Oyuk Analizleri.....	36
5.2. İkincil Oyuk Analizleri.....	42
5.3. Eliptik Oyuk Analizleri.....	45
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

K_t	: Gerilme yığılması katsayısı
τ	: Kayma gerilmesi
ν	: Poisson oranı
E	: Elastisite Modülü
T	: Tork
F	: Kuvvet
J	: J integrali
a	: Oyuk derinliği
$2c$: Oyuk ağız çapı
D	: Mil çapı
r	: Mil yarıçapı
L	: Mil uzunluğu
b	: Eliptik oyuk genişliği
θ	: Oyuk yönlenme açısı
$a/2c$: Oyuk boyut oranı
GYK	: Gerilme Yığılma Katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Alüminyum yüzeyinde oyuk oluşumunun elektrokimyasal mekanizması.....	11
Şekil 2.2.	Oyuk korozyon şekilleri.....	12
Şekil 4.1.	Modelin üç boyutlu şekli.....	19
Şekil 4.2.	Modelin üç boyutlu hali, torkun uygulanması ve sınır şartları.....	19
Şekil 4.3.	Burulmaya maruz mil.....	21
Şekil 4.4.	Analiz tipinin belirlenmesi.....	23
Şekil 4.5.	Eleman atama.....	24
Şekil 4.6.	Malzeme davranışını belirleme.....	24
Şekil 4.7.	Oyuk alanının ölçülerinin girilmesi.....	24
Şekil 4.8.	Yarı küresel oyuk alanının çalışma düzleminde görünümü.....	25
Şekil 4.9.	Oyuk alanının kendi eksenini etrafında döndürülmesi.....	26
Şekil 4.10.	Yarı küresel oyuk hacminin çalışma düzleminde görünümü.....	26
Şekil 4.11.	Mil yarıçapının ve mil ekseninin koordinatının girilmesi ve dairenin çalışma düzlemindeki görünümü.....	27
Şekil 4.12.	Dairenin mile extrude edilmesi.....	27
Şekil 4.13.	Mil yüzeyine açılmış yarıküresel oyuğun çalışma düzlemindeki görünümü.....	28
Şekil 4.14.	Mesh Tool menü görünümü.....	29
Şekil 4.15.	Keypoint seçim menüsü görünümü.....	29
Şekil 4.16.	Oyuk bölgesindeki alanların mesh büyüklüğü değerinin girilmesi.....	29
Şekil 4.17.	Mesh edilecek hacimlerin seçilmesi ve Mesh volumes menüsünün çalışma düzleminde görünümü.....	30
Şekil 4.18.	Mesh edilmiş model.....	30
Şekil 4.19.	Oyuk bölgesinin yoğunlaştırılmış mesh görüntüsü.....	31

Şekil 4.20.	Yer değiştirmenin sıfır olduğu alanın seçilmesi.....	31
Şekil 4.21.	Yer değiştirme değerinin sıfır olarak girilmesi.....	32
Şekil 4.22.	Kuvvetin uygulanacağı keypointin seçilmesi, yönünün ve değerinin girilmesi.....	32
Şekil 4.23.	Sınır şartı ve kuvvetin uygulanmasıyla modelin çalışma düzlemindeki görünümü.....	33
Şekil 4.24.	Çözümün başlatılması.....	33
Şekil 4.25.	Gerilme değerinin okunması.....	34
Şekil 5.1.	Element sayısı belirleme grafiği.....	35
Şekil 5.2.	Küresel oyuk $a/2c=0,1$ 'in gerilme analizinin önden görünümü.....	37
Şekil 5.3.	Küresel oyuk $a/2c=0.1$ 'in üstten görünümü, maksimum gerilmenin gerçekteştiği düzlem.....	37
Şekil 5.4.	Küresel oyuk $a/2c$ 'nin perspektif gerilme analizinin görünümü....	38
Şekil 5.5.	Küresel oyuk $a/2c=0.5$ 'in önden görünümü gerilim dağılımı.....	38
Şekil 5.6.	Küresel oyuk $a/2c=0.5$ 'in üstten gerilme dağılımının görünümü..	39
Şekil 5.7.	Küresel oyuk $a/2c=0.5$ 'in perspektif gerilme dağılımının görünümü.....	39
Şekil 5.8.	Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in önden gerilme dağılımının görünümü....	40
Şekil 5.9.	Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in üstten gerilme dağılımının görünümü....	40
Şekil 5.10.	Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in perspektif gerilme dağılımının görünümü.....	41
Şekil 5.11.	Küresel Oyukta, Oyuk Boyut Oranı İle K_t nin Değişimi.....	41
Şekil 5.12.	İkincil oyuk $a=0.025 - 2c=0.5$ (mm) gerilim dağılımı görünümü.	43
Şekil 5.13.	İkinci oyuk $a=0.1 - 2c=0,2$ gerilim dağılımı görünümü.....	43
Şekil 5.14.	İkinci oyuk $a=0.2 - 2c=0,4$ gerilim dağılımı görünümü.....	44
Şekil 5.15.	Yarı küresel oyukta meydana gelen ikincil oyukların gerilme yığılma katsayısına etkisi.....	44
Şekil 5.16.	Elips oyuk $a/2c=0.1, \theta=0^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü....	46
Şekil 5.17.	Elips oyuk $a/2c=0.1, \theta=0^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü....	47
Şekil 5.18.	Elips oyuk $a/2c=0.1, \theta=0^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.....	47

Şekil 5.19.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü...	48
Şekil 5.20.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü.....	48
Şekil 5.21.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.....	49
Şekil 5.22.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü...	49
Şekil 5.23.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü...	50
Şekil 5.24.	Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.....	50
Şekil 5.25.	. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=0^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü....	51
Şekil 5.26.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü.....	51
Şekil 5.27.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü.....	52
Şekil 5.28.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.....	52
Şekil 5.29.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü....	53
Şekil 5.30.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü....	53
Şekil 5.31.	Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.....	54
Şekil 5.32.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü.....	54
Şekil 5.33.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü.....	55
Şekil 5.34.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü..	55
Şekil 5.35.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü.....	56
Şekil 5.36.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü.....	56
Şekil 5.37.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.	57
Şekil 5.38.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü.....	57
Şekil 5.39.	Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ üstten gerilme dağılımı görünümü.....	58
Şekil 5.40.	Elip soyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ perspektif gerilme dağılımı görünümü.	58
Şekil 5.41.	Farklı Eliptik Modeller İçin Kt 'nin Oyuk Yönlenme Açısı İle Değişimi.....	59
Şekil 5.42.	Farklı Eliptik Modeller İçin Kt 'nin Oyuk Boyut Oranı ile Değişimi.....	59

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Küresel oyuk geometrisi değişimi.....	20
Tablo 4.2.	İkincil oyuk geometrisi değişimi.....	20
Tablo 4.3.	Eliptik oyuk modelin, derinlik ve yönlenme değişimi.....	21
Tablo 5.1.	Küresel oyuk analiz sonuçları.....	36
Tablo 5.2.	İkincil oyuk analiz sonuçları.....	42
Tablo 5.3.	Eliptik oyuk model analiz sonuçları.....	46

ÖZET

Anahtar kelimeler: Korozyon oyuğu, Burulma, Gerilme yığılması katsayısı, Mil

Korozyon oyuğu, korozif ortamın etkisi altındaki başta çelik, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımları ve metallerde gözlenmekte ve çatlak oluşumunun başlangıç potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Birçok sanayi kolunda malzemelerin güvenli ve emniyetli kullanımını sınırlamaktadır. Yük taşıyan, hareket ileten yapı elemanları çalıştıkları ortamlardan dolayı yüzeylerinde oluşan korozyon oyukları neticesinde görev yapamaz duruma gelirler. Belirli bir tork kuvveti altında güç iletim elemanı olarak görev alan dairesel kesitli yapı elemanı miller bu duruma maruz kalabilirler. Bu çalışmada korozyon oyuğu oluşmuş millerin burulma gerilmesi altındaki davranışları incelenmiş sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizleri yapılmıştır. Korozyon oyukları için küresel oyuk, eliptik oyuk ve ikincil oyuk geometrileri Ansys paket programında modelize edilmiştir. Küresel oyuk modelleri sığ oyuk modelinden derin oyuk modeline doğru değişik derinliklerde, eliptik oyuk modelleri ise değişik derinliklerde sığ modelden, derin modele doğru değiştirilmiş, ayrıca mil eksenine göre sistematik bir açı değişimiyle eliptik oyuklar konumlandırılmıştır. Bununla beraber yarı küresel oyuk tabanında ikincil bir küresel oyuğun varlığı düşünülmüş, bu ikincil küresel oyuk geometrisi değişik çap ve derinliklerde büyütülerek modelize edilmiştir. Bu modellemelerden sonra, yüzeyinde korozyon oyuğu bulunmayan burulma gerilmesi etkisi altındaki milin dış yüzeyinde 1 MPa kayma gerilmesi meydana getirecek bir tork kuvveti tespit edilmiştir. Aynı tork değeri yukarıda bahsi geçen farklı boyut ve geometrilere sahip korozyon oyuklu millere Ansys paket programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Ve çok daha yüksek kayma gerilmeleri ortaya çıkmıştır. Bu durum gerilme yığılması etkisiyle açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar tek tek τ ort a bölünerek boyutsuz olarak ölçülmüş, bu sayede gerilme yığılması katsayısı K_t doğrudan elde edilmiştir.

THE DETERMINATION OF CORROSION PITS' TENSION DISTRIBUTION OF TORSION EXPOSED PINS

SUMMARY

Key Words : Corrosion pit, Torsion, Tension agglomeration factor, Pin

Corrosion pit is observed particularly at steel, high strength aluminum alloys and metals under the influence of corrosive medium and is defined as the beginning of potential crack formation. Safe and secure usage of materials are limited in many industry branches. The structural elements that carry loads and transmit motion become unable to match the task because of corrosion pits that form on the environment they work. The circular cross section that serves as structural element under the force of certain torque force and may be exposed to this situation. In this study the behaviours under torsional stress where corrosion pits formed in pins are examined and stress analysis are made with finite element method. For corrosion pits spherical pit, elliptical pit, and secondary pit geometries have been modeled in Ansys package program. Spherical pit models are changed from shallow pit model to deep pit model in different depths, elliptical pit models in different depths are changed from shallow pit model to deep pit model, also a change in shaft angle to the axis of the elliptical pits are positioned systematically. At the same time, a secondary spherical pit presence is thought at the base of semi-spherical pit, this secondary spherical pit geometry is modeled by magnifying in different diameters and depths. After these modeling under torsional stress effect where there is no corrosion pit on the surface, a torque force is determined on the outer surface of the pins that may cause 1 MPa shear stress. The same torque of the above-mentioned hollow shafts of corrosion in different sizes and geometries using finite element method was applied using the program package Ansys. And much higher shear stresses emerged. This situation can be explained by the effect of stress concentration. The obtained results are measured as dimensionless by dividing them to τ_{ort} one by one, so the stress concentration factor K_t is obtained directly.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Korozyon, malzemenin bulunduğu ortam tarafından kimyasal saldırıya uğrayarak bozulmasıdır. Korozyon kimyasal tepkime sonucu olduğundan, korozyonun meydana gelme hızı bir dereceye kadar sıcaklığa ve tepkimeye giren ürünlerin derişimine bağılı olacaktır. Bu arada mekanik gerilme ve aşınma (erozyon)'da korozyona etki yapabilmektedir. [1,2]

Metallerin içindeki serbest elektronlar metalin içinde elektrokimyasal hücreler oluşturduklarından, kimyasal saldırılar içinde en yaygın olanı elektrokimyasal saldırıdır. Metallerin çoğı, bir dereceye kadar, su ve atmosferin de yiyici etkisi altındadır. Metaller aynı zamanda, doğrudan kimyasal çözeltilerden, hatta sıvı metallerden etkilenebilmektedir.[1]

Metallerin çoğı doğada bileşikler halinde, örneğın oksitler sülfürler, karbonatlar veya silikatlar halinde bulunur. Metallerin enerjileri bu türlü bileşikler halinde daha düşüktür. Bu nedenle, metal durumunda enerjileri daha yüksek olan metallerin kendiliğinden kimyasal bileşikler oluşturma eğilimi vardır. Doğada yaygın olarak bulunan demir oksitler, ancak ısı enerjisi verilerek daha yüksek enerji durumundaki demire dönüştürülür. Yine bu nedendir ki metalik demir kendiliğinden korozyona uğrayarak (paslanarak) daha düşük enerjili durumdaki demir okside dönüşür.[1,3]

Dolayısıyla, korozyon, mühendislik açısından bozucu bir süreçtir ve büyük ekonomik kayıpların nedenidir. Bu nedenle korozyonun denetimi ve önlenmesi sanayide çalışan mühendisi yakından ilgilendirmektedir.[1]

Klorür iyonu (Cl⁻) içeren ortamlarda korozif ataklara maruz kalındığında yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlar ve çeliklerde korozyon oyuğı oluşumu gerçekleşir. Bu sanayide güvenli ve emniyetli kullanımı sınırlamaktadır.[4]

Makine elemanları, yapılar, tahrikli miller, türbin ve pompa elemanları, vb. korozyon saldırısına maruz kalır ve olumsuz etkilenirler. Gerçekte oluşmuş oyuk korozyon tahribatıyla, aynı şekilde önceden oyuk açılmış test numunelerinde yapılan çalışmalarda oyuklar kırılma yüzeyinin merkezinde bulunmuştur.[5,6]

Malzemenin yüzeyinde oluşmuş oyuk, bölgesel gerilim alanının artmasına sebep olur. Malzemenin yük taşıma kapasitesini düşürür. Bölgesel gerilim alanındaki gerilimin artması, gerilim yığılması faktörü olarak adlandırılır. K_t ile ifade edilir. Mühendislik tasarım ve analizinde bilinmesi gereken bir husustur. Hasarın oyuklanma orijini olması nedeniyle literatürde oyuklanma korozyonu ve bunun malzemenin yorulma dayanımına olan etkisi özellikle incelenmiştir. Oyuk korozyonuna hassas çeliklerin ve alüminyum alaşımların yorulma performansları hakkında çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır.[7,8]

Yorulma hasarı, tasarım mühendisliğinin en büyük problemi olarak güncelliğini korumaktadır. Bu problem özellikle dalgalı ve değişen tekrarlı yüklerin uygulandığı durumlarda ve konstrüksiyon malzemesinin çok fazla yüzey pürüzlülüğü ihtiva ettiği hallerde etkili olmaktadır. Uygulamada, makinelere ve dolayısı ile makine parçalarına genellikle büyüklüğü ve yönü, düzenli veya düzensiz olarak zamanla değişen kuvvetler, gerilmeler ile eğme ve burma momentleri etki ederler. Bu tür zorlama altındaki bir makine elemanı kendi akma sınırının altındaki bir gerilmede beklenmedik bir tarzda kırılabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir. Zorlama sırasında yük istendiği kadar tekrarlanabilir veya zorlamanın yapılmadığı zaman aralıkları mevcut olabilir. [9]

Sürekli artan zorlamalarda Şekil değiştirmenin tek yönlü olmasına karşın, yorulma zorlamasında kuvvet veya moment, dolayısıyla şekil değiştirme sürekli yön değiştirerek artma-azalma gösterir. Söz konusu şekil değiştirmeler malzemenin kristal kafesi tarafından taşınabilirler. Kalıcı şekil değiştirmeler kristal kafesin çarpılması ile değil, kafesin değişik bölümlerinin yeni bir denge durumu sağlanıncaya kadar ötelenmesi yoluyla oluşurlar. Kafes kısımlarının birbirlerine göre ötelenmelerine kayma adı verilir ve olay kayma düzlemleri olarak adlandırılan

tercihli bazı düzlemlerde olur. Kayma düzlemlerinin kristal kafesindeki konumu kristal yapısı ile ilgilidir. [9]

Yorulma zorlaması sırasında tekrarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yeteri kadar birikimi sonucu, malzemenin dayanımının asıldığı noktalarda mikroskobik boyuttan da küçük çatlaklar oluşur. Zorlama sırasında dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak bunlar mikro ve makro çatlaklar olarak birleşir ve sonunda bu çatlaklardan herhangi biri yorulma kırılmasına neden olur. Hasar çok küçük ve sınırlı bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerlediğinden dışarıdan herhangi bir kalıcı şekil değiştirme görülmez ve bu nedenle yorulma kırılmaları şekil değiştirmesiz olarak nitelenir. Hasarın ilk oluştuğu nokta çoğunlukla yüzeyde veya yüzeyin hemen altındadır, ancak heterojenliklerin veya malzeme hatalarının durumuna göre malzemenin iç kısmında da bulunabilir. [9]

Çatlak maksimum gerilme değerine sahip oyukta oluşmaktadır. Oyukların meydana getirdiği riskler, derinlik, büyüklük ve geometrik büyüklükleriyle değişmektedir. Malzeme yüzeyindeki yarı küresel oyukların etkilerine dair çeşitli analiz ve nümerik çalışmalar yapılmış olmasına rağmen değişik oyuk geometrileri için gerilme yığılmasına tahminine yönelik çalışma yapılmamıştır. [10,11]

Yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarda ve çeliklerde korozyona maruz ortamlarda oyuklanma gözlenir. Bu husus malzemelerde çatlak oluşumuna neden olan potansiyel bir unsur olarak tanımlanmaktadır. Bu literatürde yapılan çalışmada sistematik olarak üç boyutlu yarı küresel modeller oluşturulup, gerilim yayılma etkileri aksenal yük altında üç boyutlu gerilim analizleri yapılarak ölçülmüştür. Ayrıca gerilim analizi sonuçlarından yola çıkarak geometrik parametrelere bağlı olarak gerilim yığılması faktörünün tahmin edilmesi için denklemler oluşturulmuştur. Son olarak yarı küresel oyuğun dibinde değişik oyuk derinlikleri için gerilme yığılması katsayısı oluşumuna ikincil oyukların katkısı da araştırılmıştır. [9]

Bu tez çalışmasında yarı küresel, eliptik ve yarı küresel oyuğun tabanında teşkil etmiş ikincil oyukların üç boyutlu değişik modelleri yapılmıştır. Yarı küresel ve eliptik modellerin derinlik boyutları arttırılmıştır. Ayrıca mil yüzeyinde oluşturulmuş

üç boyutlu eliptik modellerin derinlik boyutlarının arttırılmasının yanı sıra, mil eksenine göre konumları da değiştirilmiştir. İkincil oyuk geometrisinin de çap ve derinlik boyutları artırılmıştır. Bu farklı modellemeler sayesinde burulma momenti etkisi altında yarı küresel, eliptik ve ikincil oyuk geometrisinin, gerilme yığılması etkileri sistematik bir biçimde incelenmektedir. Milin dış yüzeyinde 1MPa kayma gerilmesi meydana getirecek tork kuvveti uygulanmıştır. Bu sayede maksimum gerilmenin nominal gerilmeye oranı olan kritik kesitteki gerilme yığılması katsayısı (Kt) doğrudan elde edilebilmektedir.

2. KOROZYON VE OYUK KOROZYONU

2.1. Korozyonun Genel Özellikleri

Korozyon metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozunmalarıdır. Oluşumunu sağlayan reaksiyonun türüne göre kimyasal ve elektrokimyasal korozyon olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kimyasal korozyon metal ve alaşımlarının gaz ortamlar içindeki oksitlenmesidir. Elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içinde sunmalarıdır. Sözü edilen sulu ortamlar metal yüzeyinde yoğunlaşmış ince filmlerden sulu çözeltilere kadar su içeren bütün ortamları kapsamaktadır. Örneğin: Atmosfer, doğal sular, topraklar, vücut sıvıları, kimyasal çözeltiler, besin ürünleri. vb. [12,13]

Korozyon olgusunun temelini elektrokimyasal olarak yürüyen reaksiyonlar oluşturur. Bu reaksiyonlar metal yüzeyinde veya metal-çözelti ara yüzeyinde yürürler. Korozyon bir yüzey olayıdır ve yüzeyden başlayarak metalin içine doğru ilerler. Korozyon reaksiyonlarının elektrokimyasal yoldan yürüyebilmesi için aşağıdaki üç koşulun bir araya gelmesi gerekir. Bir potansiyel farkı bulunmalıdır. Elektronik ve elektrolitik iletkenler arasında yük transferi reaksiyonu olmalıdır. Sürekli bir akım iletim yolu bulunmalıdır. Korozyon reaksiyonları Au, Pt ve Pd gibi soy metaller dışındaki metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu veya dış akımların etkisiyle gerçekleşir. Metaller, cevherlerinden doğadaki temel reaksiyonları tersine çevrilerek: indirgenme yoluyla elde edilirler. Dolayısıyla bu metaller birçok ortamda kararlı değildirler ve yeniden kararlı bileşikler oluşturabilme eğilimi gösterirler. Bu eğilim de korozyona neden olur. Korozyon olayının mekanizmasını belirleyebilmek için anot ve katot reaksiyonlarının ayrı ayrı incelenmesi ve enerji ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylece reaksiyonun hızı, kendiliğinden yürüme yönünde istekli olup olmadığı ve nasıl denetlenebileceği konusunda fikir edinilebilir.

2.2. Korozyon Çeşitleri

Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirinden oldukça farklılık arz etmektedir. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda verilmiştir [14,15]

2.2.1. Üniform korozyon (genel korozyon)

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir. Üniform korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir.

2.2.2. Oyuk korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir.[16]

2.2.3. Galvanik korozyon

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona çok rastlanır. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar.

2.2.4. Çatlak korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeyinde

bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir.

2.2.5. Kabuk altı korozyonu

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon kabuk altının rutubetli olmasından ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Çünkü kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Bu durum çatlak korozyonuna benzer bir ortam yaratır. Kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur. Örneğin, boru yüzeylerini izole etmek amacı ile sarılan cam pamuğu yağış nedeniyle ıslanırsa, bu bölgelerde şiddetli bir kabuk altı korozyonu başlar.

2.2.6. Filiform korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir.

2.2.7. Seçimli korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır.

2.2.8. Taneler arası korozyon

Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür.

2.2.9. Erozyonlu korozyon

Korozif çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur.

Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, (borular, dirsekler, valfler, pompalar, santrifüjler, pervaneler, karıştırıcılar, ısı değiştirciler vb.) söz konusu olabilir.

2.2.10. Aşınmalı korozyon

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte yürüyen korozyon olaylarına aşınmalı korozyon denir Aşınmalı korozyon daha çok metallerin yığın halinde uzun mesafelere taşınmaları sırasında ve yumuşak bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür. Aşınmalı korozyonun oluşması için ortamda suyun bulunmasına gerek yoktur.

2.2.11. Stres korozyonu

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur.

2.2.12. Yorulmalı korozyon

Periyodik olarak yükleme - boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur. [16]

2.2.13. Kaçak akım korozyonu

Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar. Örneğin bir

yeraltı tren hattına paralel giden boru hattında kaçak akım korozyonu meydana gelebilir.

2.2.14. Mikrobiyolojik korozyon

MIC (mikrobiyolojik etkiden kaynaklanan korozyon veya mikrobiyolojik korozyon, microbiological influenced corrosion), mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkarılan MIC'in, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır.

MIC, metal ve yapı malzemelerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Dünya genelinde MIC'in direkt olarak sebep olduğu zararın yıllık 30 – 50 Milyar \$ mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. ABD sanayi, boru hatlarında meydana gelen korozyonun % 15-30'unu oluşturan MIC ile mücadele etmek amacıyla, sadece doğal gaz endüstrisinde yılda 1,2 Milyar \$ harcama yapmaktadır.

MIC, özellikle enerji ve petrol sanayinde, mikrobiyolojik korozyondan kaynaklanan yangın problemleri gibi zaman zaman ciddi hasarlarla sonuçlanan birçok soruna yol açmaktadır.

Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar.

2.3. Oyuk Korozyonu

Oyuk korozyon metal yüzeyinin özel bölgelerinde küçük oyuklar oluşurken metalin geriye kalan yüzeyinin çoğu kez etkilenmeden kaldığı yerel korozyonun sınır hali olarak tanımlanır. Sulu elektrolit çözeltileri içinde metali yıkıcı en yaygın ve tehlikeli

korozyon türüdür. Demir, nikel, alüminyum, magnezyum, zirkonyum, bakır, kalay, çinko ve bunların çeşitli alaşımlarında gözlenir. Oyuk korozyonda görülen oyukların oluşması için genellikle uzun bir balsama süresi geçer. Bu süre metale ve korozif ortama bağlıdır. Oyuklar genellikle yerçekimi doğrultusunda büyüyerek metal yüzeyini derinliğine oyma eğilimi gösterirler. Oyukların biçimi iç yüzeyi parlatılmış yan küresel, düzgün olmayan yanları kristal yüzeylerden oluşan kristalografik veya tane yönlenmesi gösteren kristalografik şekillerde olabilir [16]. Oyuk oluşması ve büyümesi ya da başka bir deyişle metalin oyuk korozyona uğraması için su koşullar sağlanmalıdır.[17]

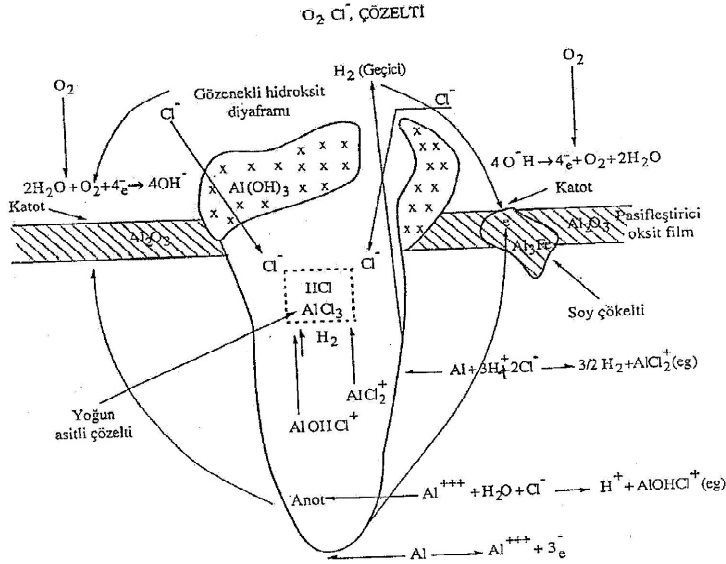
- a. Metal pasif durumda olmalıdır.
- b. Elektrot potansiyeli oyuk oluşma potansiyelinden. E_{00} . Daha pozitif olmalıdır.
- c. Ortamdaki elektrolit çözeltisi yüksek derişimde aşındırıcı anyon (Cl^-) içermelidir.

Oyuk korozyonda korozyonun oyuk içinde başlaması ve sürmesi için gerekli koşulların kendiliğinden olması olayın otokatalik olarak yürüdüğünü gösterir.

Şekil 3.1 'de oksijenli ortamda sodyum klorür çözeltisi içerisinde alüminyum oksit yüzeyinde oyuk oluşması ve büyümesinin elektrokimyasal mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.

Oyuk içinde metal anodik olarak çözünürken metal yüzeyinde oksijen indirgenir. Oyuk içinde metalin hızla çözünmesiyle çok miktarda artı yüklü iyonlar olduğundan elektriksel nötrlük koşulunu korumak için klorür iyonları oyuk içine difüzlenir. Oyuk içinde $AlCl_3$ derişimi artınca hidroliz sonucu hidrojen iyon derişimi artar ve ortam asidik olur. Bu durumda pasifleşme potansiyeli yükselir ve metalin çözünmesi artar. Hidrojen ve klorür iyonlarının her ikisi de birçok metalin ve alaşımlarının çözünmelerini arttırıcı etki gösterirler. Oyuğun içi küçük anot. Metal yüzeyi büyük katot olarak etkiyerek oyuk otokatalik olarak çözünmelerini sürdürür.[18]

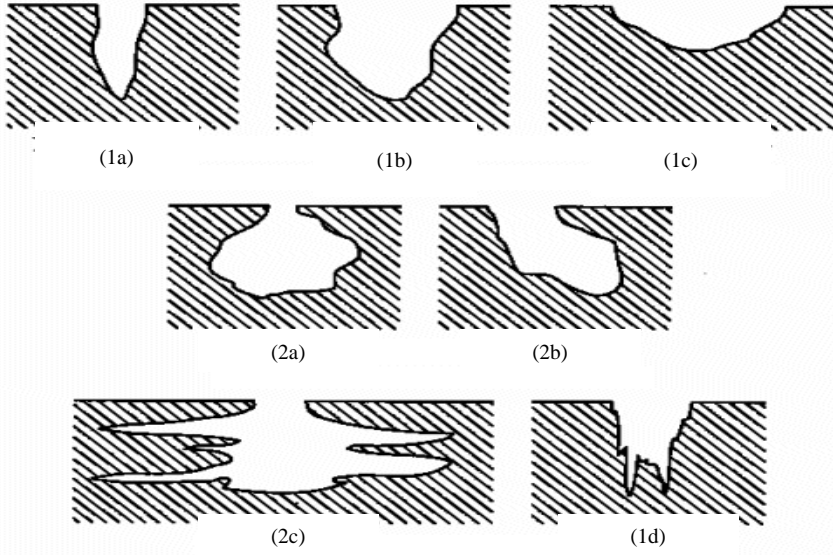
Oyuk korozyon genellikle Cl^- , Br^- , F^- , I^- gibi halojenür iyonları içeren ortamlarda olur. Bunların yanında yükseltgeyici metal iyonları da korozyonu arttırmalar. Bakır II, demir-III, cıva-II halojenürleri oyuk korozyonu bakımından çok etkindirler.



Şekil 2.1. Alüminyum yüzeyinde oyuk oluşumunun elektrokimyasal mekanizması

Adsorpsiyon oyuk korozyonun oluşmasında önemlidir. Cl^- ve diğer aşındırıcı iyonların metal yüzeyine Adsorpsiyon korozyonun ilk aşamasıdır. Klorür iyonlarının pasif metal yüzeyine Adsorpsiyon Temkin Adsorpsiyon izotermine uymaktadır.

Şekil 2.2 'de Oyuk korozyonu şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Oyuk korozyon şekilleri. 1. Oluk Oyuklar; (a) Dar derin, (b) Sığ geniş, (c) Eliptik, (d) Dik damarlı aşınma, 2. Yana doğru ilerleyen oyuklar (a) Yüzey altı, (b) Alt kesim, (c) Mikro yapıdan kaynaklı yönelme.[19,20]

2.4. Oyuk Korozyonun Önlenmesi

Bölüm 2.3.'de de belirtildiği gibi oyuk korozyonu, oyuğun oluşması ve oyuğun büyümesi (gelişme ve yayılma) olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Bu iki aşamanın gerçekleşmesi için su koşullar bulunmalıdır.

a. Metal pasif durumda olmalıdır.

b. Elektrot potansiyeli, oyuk oluşma potansiyelinden E_{00} , daha pozitif olmalıdır.

c. Ortamdaki elektrolit çözeltisi yüksek derişimde aşındırıcı anyon içermelidir.

İnhibitörler bu faktörlerin hepsi üzerinde etki gösterebilirler. Etkili bir inhibitör pasif filmin koruyucu özelliğini kuvvetlendirir, oyuk oluşma potansiyelini artırır ve metalin oldukça yüksek derişimde aşındırıcı iyon içeren çözeltide korozyona uğramadan kalmasını sağlar.

Aşındırıcı iyonun pasif filmi yerel olarak tahrip etmesi ve çıplak metal yüzeyine etki ederek metali aktif olarak çözmesiyle ilgili tam bir mekanizma belirlenememiştir. Metalin aktif çözünmesiyle ilgili iki hipotez bulunmaktadır. Birinci hipoteze göre oyuk oluşumu oksit-metal ara yüzeyinde olmaktadır. Bu hipoteze göre;

- a. Pasif filmde bulunan çatlaklar ve gözeneklerden klorür iyonlarının çıplak metal yüzeyine difüzyonla,
- b. Metal-oksit ara yüzeyindeki katyon boşlukları nedeniyle pasif filmin yıkılmasıyla,
- c. Gerilmeler nedeniyle oksit filmin mekanik olarak kırılmasıyla,
- d. Cl iyonları çıplak metal yüzeyine ulaşarak oyuk oluşumuna neden olur.

İkinci hipoteze göre oyuk oluşumu oksit-çözelti ara yüzeyinde olmaktadır. Bu hipoteze göre ise;

- Oksit filmdeki oksijen iyonları ile klorür iyonları yer değiştirirler.
- Metal katyonları ile klorür iyonları klorür kompleksleri oluşturur.
- Metal katyonları ile klorür iyonları arasındaki reaksiyon sonucu tuz oluşur.

Bu nedenlerle pasif film incilir ve klorür iyonları çıplak metal yüzeyine ulaşarak oyuk oluşumuna neden olur. Aşındırıcı iyonların metal yüzeyine saldırı sekline bağlı olarak oyuk oluşumunu önleyen inhibitörler iki sınıfa ayrılır. [21]

1. Pasifleştirici inhibitörler
2. Adsorpsiyon inhibitörleri

2.4.1. Pasifleştirici inhibitörler

Pasifleştirici inhibitörler filmdeki yapısal eksiklikleri gidererek filmi iyileştirme ve korozyon potansiyelini anodik değerlere kaydırma özelliğine sahiptirler. Pasifleştirici inhibitörler metali oyuk korozyondan üç şekilde koruyabilirler:

1. Metal yüzeyinde az çözünür tuzlar oluştururlar.
2. Oksit film üzerindeki zayıf noktaları (gözenekler, boşluklar vb), gözenekleri, boşlukları tıkayarak ya da filmin kimyasal bileşimini ve yapısını değiştirerek filmi iyileştirirler.
3. Metal yüzeyinde mono atomik veya poliatomik oksit film oluşturarak metali korurlar.

Pasifleştirici inhibitörler metali oyuk korozyon yanında genel korozyondan korumada da etkilidirler. Pasifleştirici inhibitör olarak kullanılan bazı anyonların oksijensiz ortamda, pasifleştirme yetenekleri su sıralamaya göre artış gösterir. Nitrik > OH> kromat > borat > fosfat > karbonat > benzoat > bikarbonat > nitrat Nitrik ve kromat gibi tipik pasifleştirici inhibitörler uygun derişimlerde kullanıldığında sürekli bir pasifleşme veya yeniden pasifleşme (oksit filmin onarılması) sağlayarak metali oyuk korozyondan korur. [22]

2.4.2. Adsorpsiyon inhibitörleri

Adsorpsiyon oyuk oluşumu ve oyuk önlenmesinde önemli bir süreçtir. Daha önce de bahsedildiği gibi oyuk oluşumu Cl^- iyonlarının oksit yüzeyine adsorplanarak oksit örgüsünde alüminyum katyonu ile çözünür kompleks oluşturmasıyla baslar. Daha sonra çözünür kompleksin yüzeyden difüzlenmesiyle oksit film incelik ve incelen bölgelerde metalin doğrudan elektrolitteki aşındırıcı iyonlarla reaksiyona girmesiyle oyuk büyür, inhibitör olarak belirlenen bileşiğin Adsorpsiyonun aşağıdaki sonuçları vermelidir:

1. Adsorpsiyon da aşındırıcı iyonla yarışmalı ve aşındırıcı iyondan daha hızlı adsorbe olmalı.
2. Adsorpsiyonla aşındırıcı iyonun metal katyonu ile çözünür kompleks vermesi önlenmeli.
3. Adsorbe olan inhibitör, metal ile çözünür karmaşık oluşturmamalıdır. [23]

Pasif film üzerine anyonların adsorpsiyon yüzey yüküne bağlıdır. Pasifleştirilmiş metal suya daldırıldığında oksit film üzerinde suyun adsorpsiyonuyla hidratlanmış bir yüzey tabakası oluşur. Yüzey yükünün sıfır olduğu noktada (pH_{ZC1}) ortamdaki OH^- derişimi ile H^+ derişimi birbirine eşittir. pH_{7LN} 'dan dan daha büyük PH değerlerinde oksit film negatif yüklüdür ve bu durumda anyonların adsorpsiyonu gerçekleşmez. Ancak pH_{c1} , 'dan dan daha düşük pl 1 değerlerinde yüzey pozitif yüklü olduğundan Cl^- iyonlarının da.,inhibitörün de yüzeye adsorpsiyonu mümkündür. Alüminyum oksit için pH_{Zc} , değeri 9,1 'dir. Yani bu pl I değerinin altında yüzey pozitif yüklüdür ve anyonlar adsorplanabilir. Metal veya oksit filmleri

üzerinde ne tür maddelerin kuvvetle adsorplanabileceği konusunda yapılan çalışmalarda iki kuralın teorik olarak yol gösterici olabileceği üzerinde durulmaktadır:

- 1) Kuvvetli ve zayıf asit ve baz kuralı(HSAB)
- 2) Lineer serbest enerji ilişkisi(LFER)

HSAB kuralına göre hidroksit, sülfat gibi inhibitör olarak davranan kuvvetli bazların metal katyonu içeren oksit film üzerine adsorpsiyonu kolayca gerçekleşir. Bu kurala göre bazlığı $I^- < Br^- < Cl^-$ sıralamasına göre artan aşındırıcı anyonlarda oksit film üzerine kuvvetle adsorplanırlar. Bu nedenle inhibitörün aşındırıcı anyonlarla yüzeyde adsorpsiyonda yarışabilmesi için aşındırıcı anyonlardan daha nükleolilik olması gerekir. Ayrıca elektron verici (nükleofilik karakter) ile oksit arasındaki etkileşimin ürünü çözünür bir bileşik olmamalıdır. LFER kuralı ise farklı sabitler kullanarak, çeşitli şekillerde bu konuda kullanılabilir (Örneğin; süstitüenlin indüktif etkileri).

İnhibitör etkinliği inhibitör molekülünün içerdiği fonksiyonel gruplara bağlıdır, molekül çok uzun bir alifatik zincir içermediği durumda fonksiyonel grubun elektronik yapısı oyuk oluşumunu önlemede etkin rol oynar. Molekülün alifatik zincirle birlikte karboksil grubu da içerdiği durumda inhibitörün etkinliği metal yüzeyine hidrofobik özellikleri kazandıran alifatik zincirle artar. Karboksil grupları da molekülü metal yüzeyine bağlaması ve oyuğun olduğu noktalarda H tamponu görevi yapması nedeniyle oyuk oluşumunu önlemede büyük rol oynar. [22-24]

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE ANSYS

ANSYS paket programı ile statik, dinamik, lineer, non-lineer, termal ve magnetik gibi çok geniş spektrumlu modelleme ve analiz yapılabilmektedir. Program genel olarak ön işlemci, çözüm ve son işlemci olmak üzere üç kısımdan oluşur. Modelin oluşturulması ve sınır şartları ön işlemci kısmında oluşturulur. Çözüm kısmında; problemin çözümü gerçekleştirilir. Son işlemci kısmında ise elde edilen sonuçlar değerlendirilir.

ANSYS gibi ticari amaç için hazırlanmış yazılımların en önemli özelliği; probleme yönelik özel eleman içeriyor olmasıdır. Böylece bu tür elemanlar kullanılarak yapılan modellemeler gerçek şartlara daha yakın olmakta ve daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

ANSYS sonlu elemanlar programında analizi yapılacak parça aşağıdaki işlem basamakları uygulanarak analizi yapılır;

- Bütün (düğüm noktaları ile) parçalara bölünür,
- Her elemanın fiziksel özelliklerine göre davranışları tanımlanır,
- Bütün, denklemlerin yaklaşım sistemlerine göre, elemanlar düğüm noktalarından birbiriyle bağlanır,

Oluşturulan denklem, bilinen değerlere bağlı olarak bilinmeyen değerler için çözülür, istenen özelliklerin simülasyonu yapılır. Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya

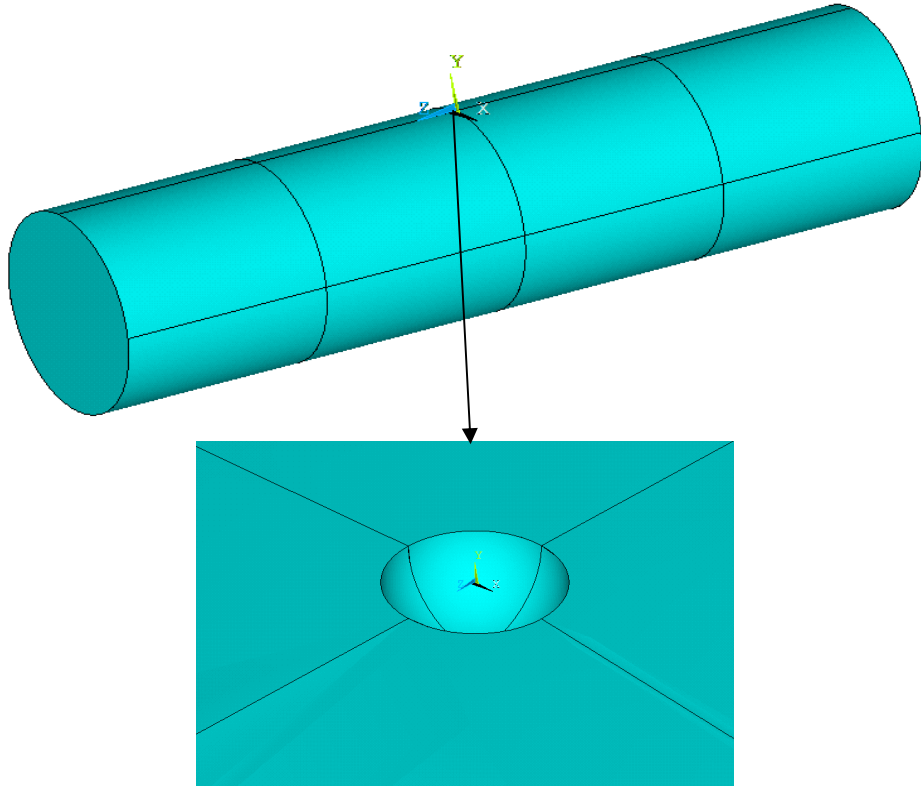
gerilme alanı, ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı, akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük, alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir önem içerir. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar nod adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebri bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır. [25]

BÖLÜM 4. TASARIM VE GERİLME ANALİZİ

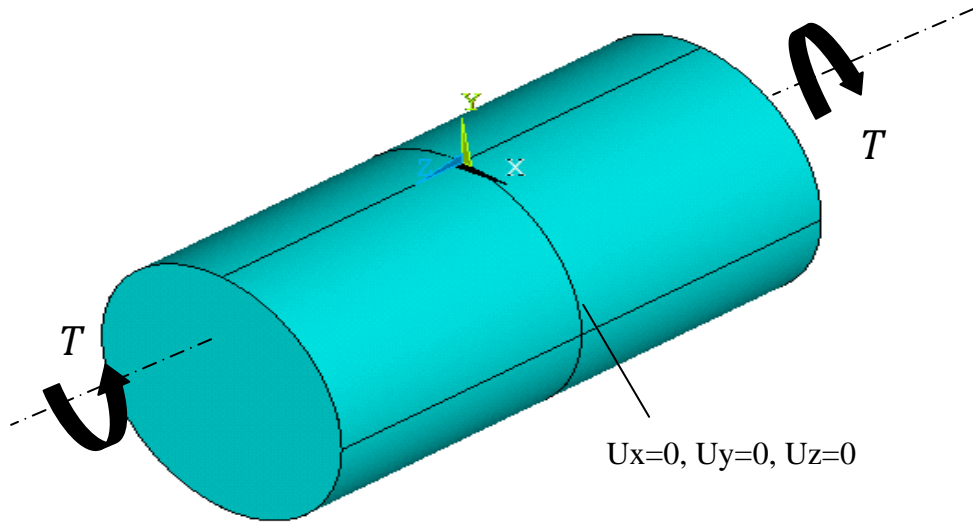
4.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada ilk olarak gerilme analizi yapacağımız mil modelinin yüzeyinde $\tau=1\text{MPa}$ kayma gerilmeleri meydana getirecek tork kuvveti F tespit edildi. Mil malzemesi olarak çelik seçilerek elastiklik modülü $E=200\text{Gpa}$, $\nu=0.3$ olarak kullanılmıştır. Problemimizde 100mm çapında ve 400mm boyunda bir mil tasarlanmıştır. Bu mil yüzeyinde korozyondan tahrip olmuş değişik geometrilerde oyuklar açılarak birçok farklı mil modellemeleri yapılmıştır. Önceden tespit edilen F kuvveti bu farklı mil modellerine uygulanarak bu sayede burulmaya maruz bırakılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizleri yapılmıştır. Oyuk bölgesindeki gerilim dağılımı belirlenerek, her bir model için gerilme yığılması katsayısı tespit edilmiştir.

Modellerde yaptığımız değişiklikler Tablo 4,1. Tablo 4,2. Tablo 4,3. de verilmiştir. Buna göre üç farklı oyuk modeli tasarlanmıştır. Küresel oyuk modeli, ikincil oyuk modeli ve eliptik oyuk modelidir. Küresel oyuk modeli, Tablo 4,1 de verilmiş oyuk boyut oranı ($a/2c$) dediğimiz oran değişimiyle sığ oyuk modelinden derin oyuk modeline doğru değiştirilerek farklı modellemeler oluşturulmuştur. İkincil oyuk modelinde yarı küresel yani $a/2c=0,5$ olan oyuk tabanında, ikincil bir oyukun varlığı düşünülmüş, oyuk geometrisi değişik çap ve derinliklerde Tablo 4,2. de verildiği gibi değiştirilmiştir. İkincil oyuk büyütülerek modelize edilmiştir. Eliptik oyuk modelleri ise değişik derinliklerde sığ modelden, derin modele doğru değiştirilmiş, ayrıca mil eksenine göre sistematik bir açı değişimiyle konumlandırılmıştır. Bununla ilgili değişimler de tablo 4,3 'de verilmiştir. Modelin üç boyutlu şekli ve oyuk bölgesinin yakından görünümü şekil 4,1'de, modele uygulanacak torkun ve problemin sınır şartlarının gösterimi ise şekil 4,2'de verilmiştir.

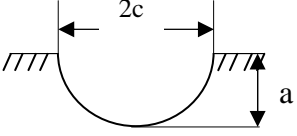

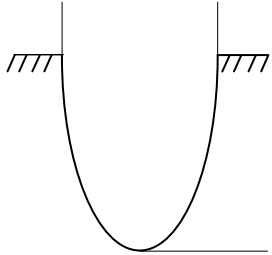


Şekil 4.1. Modelin 3 boyutlu şekli

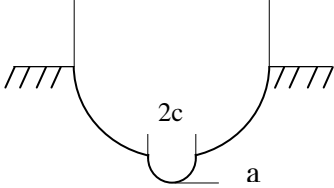
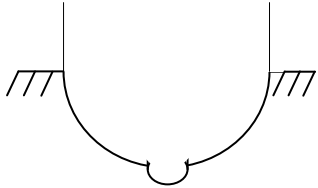
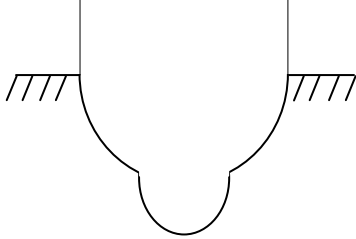


Şekil 4.2. Modelin 3 boyutlu hali, torkun uygulanması ve sınır şartları

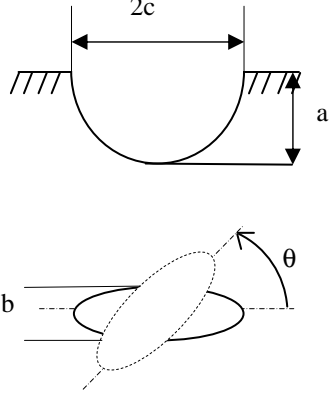
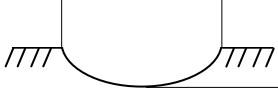
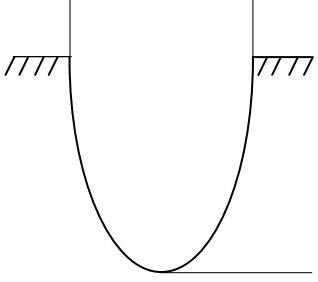
Tablo 4.1. Küresel oyuk geometrisi değişimi.

Oyuk şekli	Oyuk ölçüleri ve şekilleri	
 <p>Yarı küresel oyuk</p>	 <p>Sığ oyuk</p>	 <p>Derin oyuk</p>
	$(a/2c) : 0.10, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7$	

Tablo 4.2. İkincil oyuk geometrisi değişimi.

Oyuk çeşidi	Oyuk ölçüleri ve geometrisi	
 <p>İkincil Oyuk</p>	 <p>Küçük ikincil oyuk</p>	 <p>Büyük ikincil oyuk</p>
	$\frac{a}{2c} = \frac{0.025}{0.05}, \frac{0.05}{0.1}, \frac{0.075}{0.15}, \frac{0.1}{0.2}, \frac{0.125}{0.25}, \frac{0.15}{0.3}, \frac{0.175}{0.35}, \frac{0.2}{0.4}$ $(a/2c) : 0.5$	

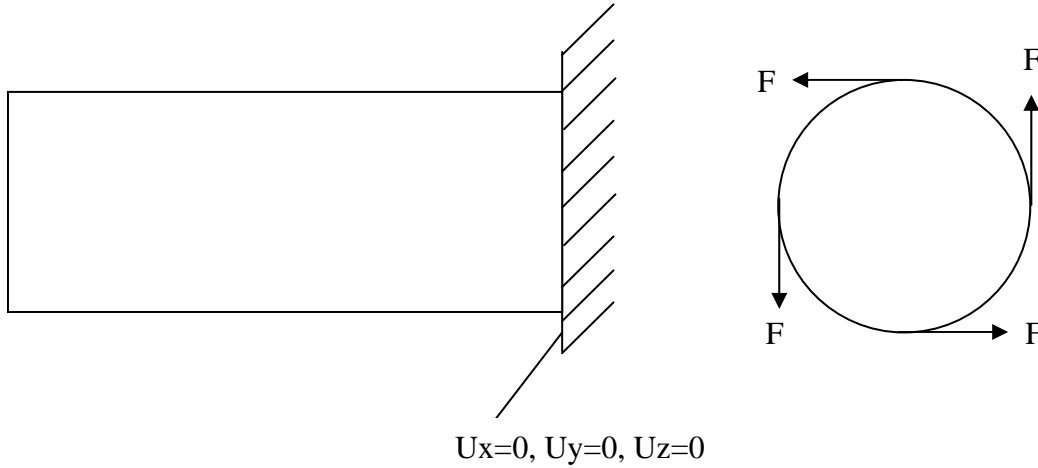
Tablo 4.3. Eliptik oyuk modelin, derinlik ve yönlenme değişimi.

Oyuk şekli	Oyuk ölçüleri ve geometrisi	
 <p>Eliptik oyuk</p>	 <p>Sığ eliptik oyuk</p>	 <p>Derin eliptik oyuk</p>
$\theta=0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ,$ $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$	$b=0.5$ olmak üzere $(a/2c) : 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0$	

4.2. Kuvvetin tespit edilmesi

şekil 4.1. gösterildiği gibi modeli ve ölçüleri belli mil yüzeyinde 1MPa burulma gerilmesini meydana getirecek kuvvet çiftini bulacağız.

$D=100\text{mm}$, $L=400\text{mm}$, $\tau=1\text{MPa}$,



şekil 4.3. Burulmaya maruz mil

$$\tau = \frac{T r}{j} \quad T = \text{Tork (Nmm)}$$

$$\tau = \frac{T D/2}{j} \quad j = J \text{ integrali}$$

$$\tau = \frac{T D/2}{\frac{\pi d^4}{32}} = (T 100/2) / ((\pi [100]^4)/32)$$

$$1 = (T 100/2) / ((\pi [100]^4)/32)$$

$$T = 196349,5408 \text{ Nmm}$$

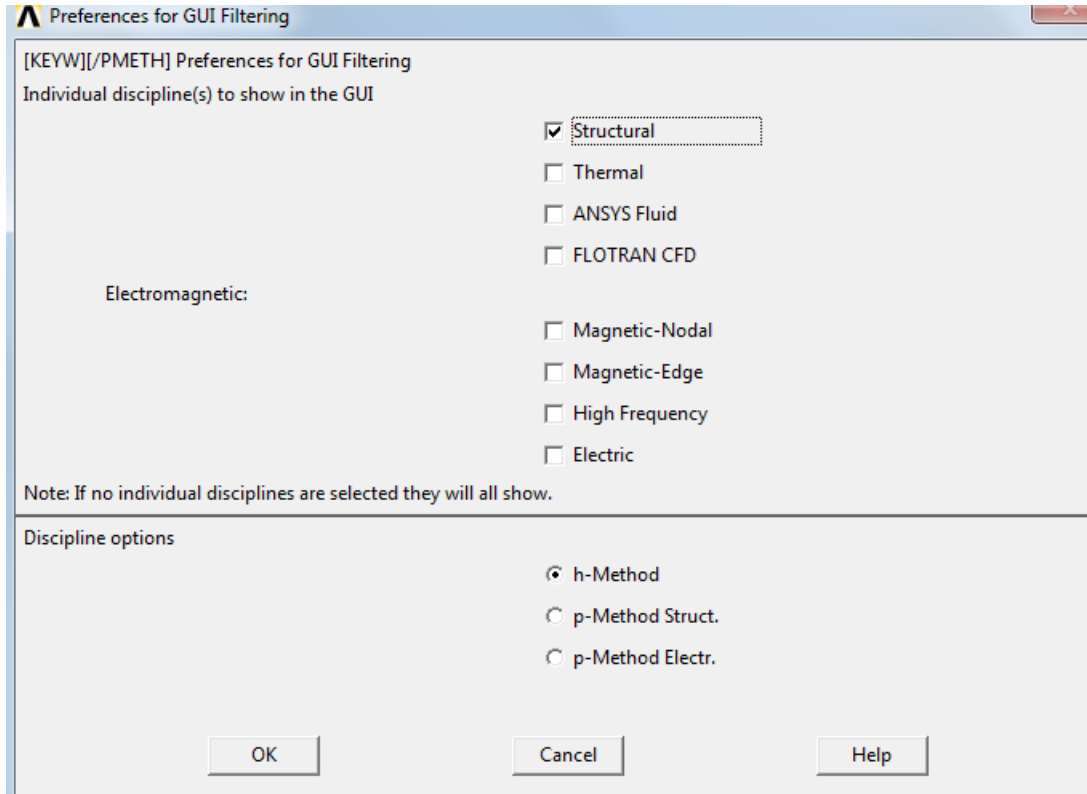
$$T = Fd + Fd + Fd + Fd = F50 + F50 + F50 + F50$$

$$196349,5408 = 200F \quad F = 981,7477 \text{ N}$$

4.3. Modelin oluşturulması

4.3.1. Analiz Tipinin Belirlenmesi

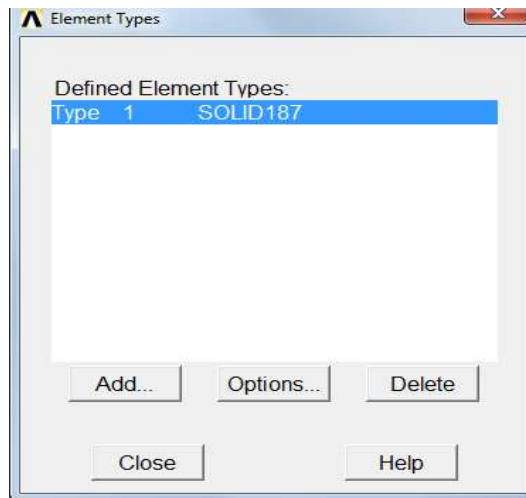
MainMenu > Prefences > Structural > Ok tıklanarak pencere kapatılır. Sadece gerilmelerle ilgili komutlar aktif hale getirilir.



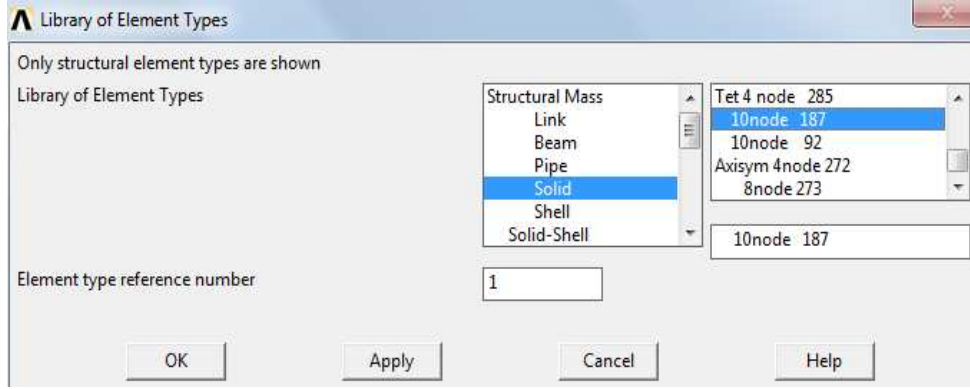
Şekil 4.4. Analiz tipinin belirlenmesi

4.3.2. Eleman Tipinin Belirlenmesi

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add > Solid 10 node 187> Ok.
Solid10node 187 (Plane 187) element kullanıldı. Bu elementte her bir nod üç serbestlik derecesine sahiptir.(Ux, Uy, Uz).



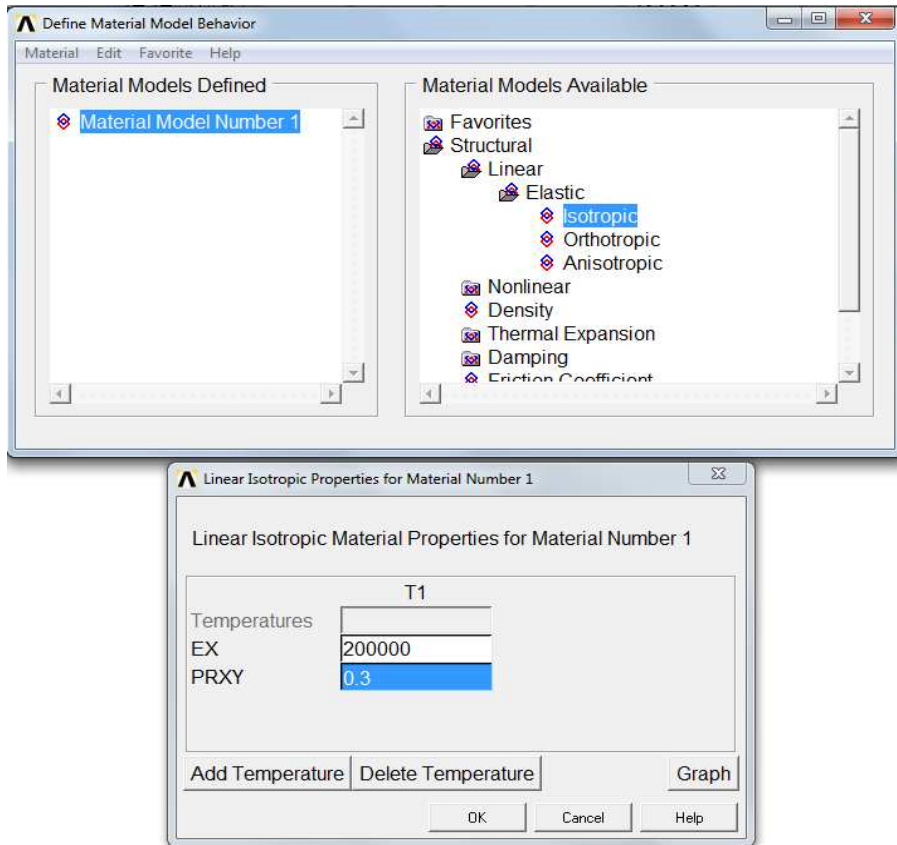
Şekil 4.5. Eleman atama



Şekil 4.5. Devam

4.3.3. Malzeme Atama

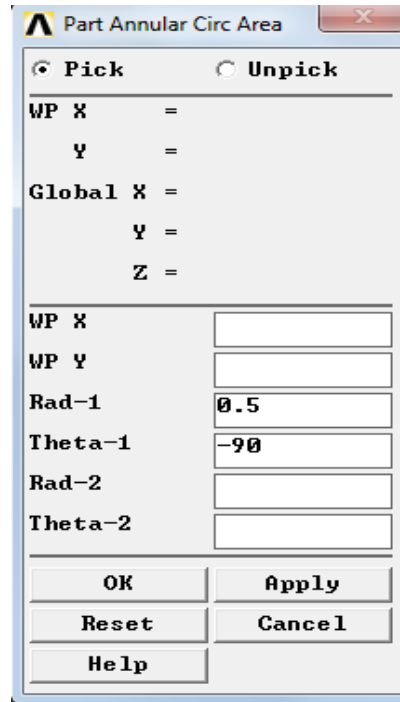
Malzememizin lineer elastik izotropik özellik gösterdiğini belirtelim. Main Menu > Preprocessor > Material Props > Structural > Linear > Elastic > Isotropic. Malzememizin tanıtımından sonra bizden malzemenin analizi için gerekli verileri isteyen küçük bir pencere açacaktır. Malzememizin elastisite modülünü ve poisson oranını girerek Ok'yi tıklıyoruz.



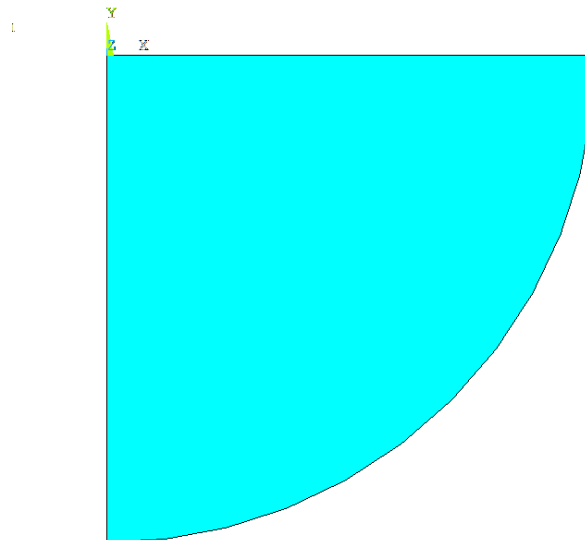
Şekil 4.6. Malzeme davranışını belirleme

4.3.4. Geometrik Modelin Oluşturulması

İlk önce oyuk geometrisi oluşturularak geometrik modelleme çalışmasına başlanır. Main Menu> Preprocessor > Modeling > Create > Circle > Partial Annulus. Açılan menüde oyğun yarıçap ölçüsü ve çeyrek daire çizeceğimizden dolayıda açı değeri girilir. Apply butonuna basılır ve ok denir.

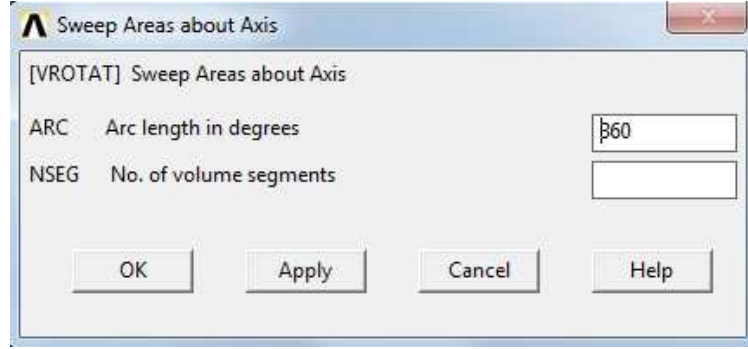


Şekil 4.7. Oyuk alanının ölçülerinin girilmesi.

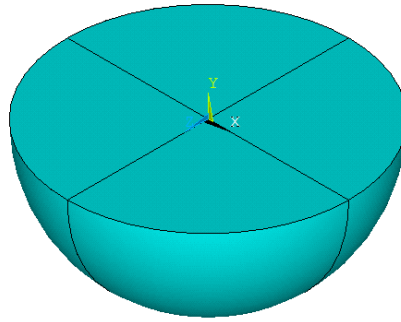


Şekil 4.8. Yarı küresel oyuk alanının çalışma düzleminde görünümü.

Oyuk alanının kendi eksenini etrafında döndürülerek hacme dönüştürülmesi işlemi yapılacaktır. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Areas > About Axis. Alan seçilir apply 'a basılır. Eksen seçilerek ok. Denir. Derece yerine 360° değeri girilir ve ok basılır.

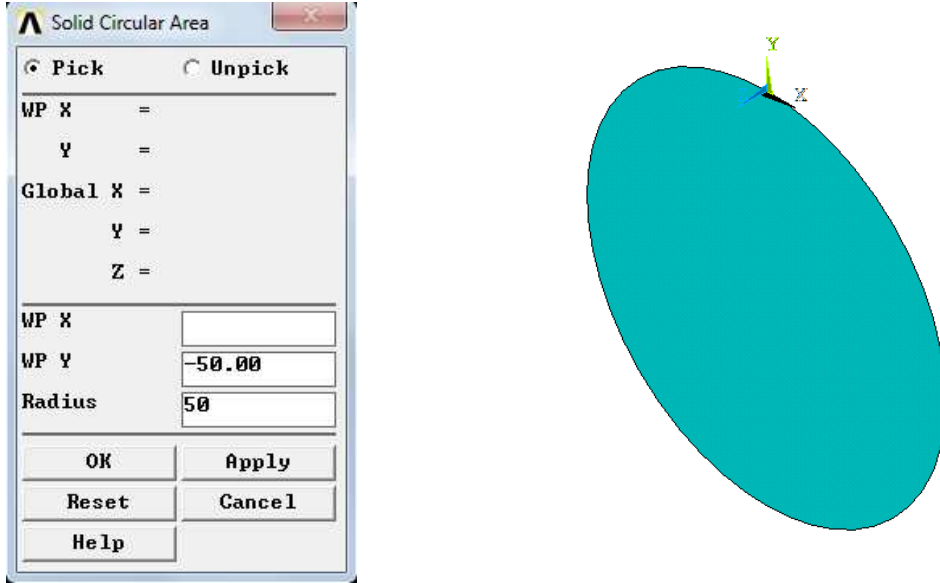


Şekil 4.9. Oyuk alanının kendi eksenini etrafında döndürülmesi.



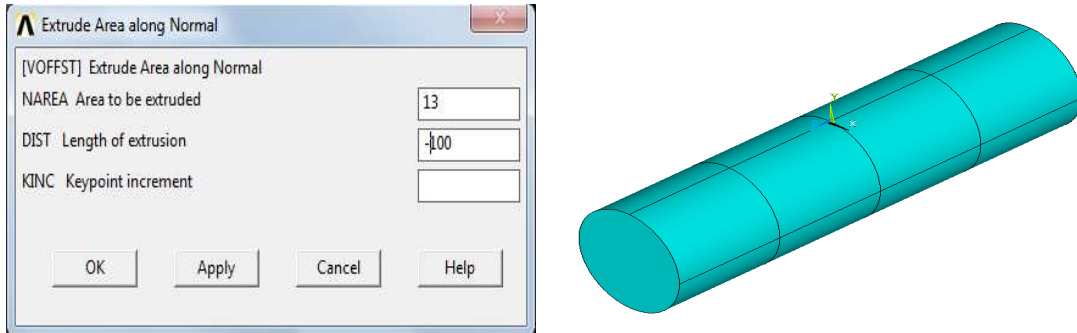
Şekil 4.10. Yarı küresel oyuk hacminin çalışma düzleminde görünümü.

Elde edilen oyuk geometrisinden sonra, mil modeli oluşturacağız. Oyuk, milin yüzeyinde olacağı için mil eksenini oyuk orijini kadar yarıçapı kadar aşağıda olacak. Dolayısıyla koordinatları eksi değer vererek gireceğiz. Şöyle ki; Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circle > Solid Circle tıkladıktan sonra açılan menüde y eksenini koordinatı ve mil yarıçapı değerleri girilir. Ok denir.



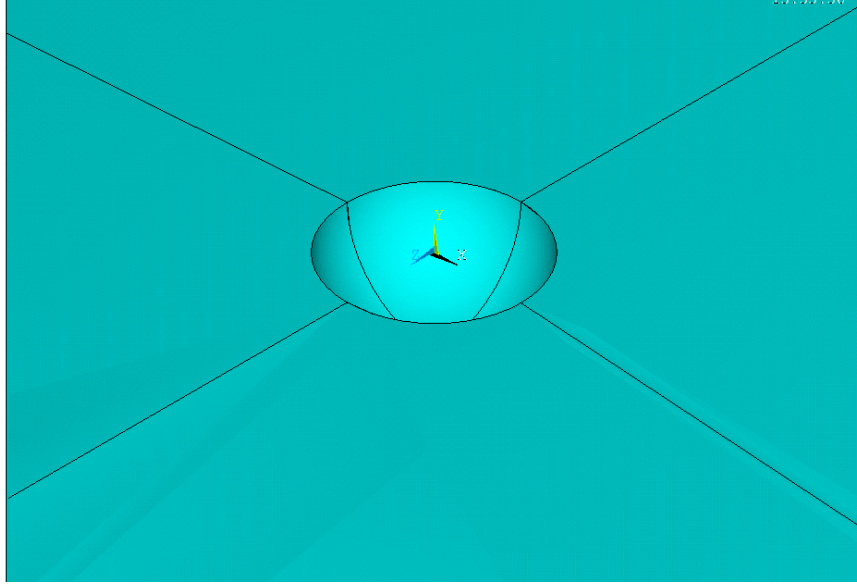
Şekil 4.11. Mil yarıçapının ve mil ekseninin koordinatının girilmesi ve dairenin çalışma düzlemindeki görünümü.

Milin oluşturulabilmesi için dairenin extrude edilmesi gerekmektedir. Mil uzunluk değeri girilir ve daire üç boyutlu bir modele dönüşür. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Extrude > Along Normal, açılan menüde daire seçilir. Mil uzunluk değeri girilir. DIST Length of extrusion, toplamda 400 mm olacaktır.



Şekil 4.12. Dairenin mile extrude edilmesi.

Mil yüzeyinde oyuk açılabilmesi için oluşturulan oyuk modelini mil modelinden subtract komutuyla hacmini boşaltmamız gerekiyor. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Subtract > Volumes tıklanır, ilk önce boşaltılacak hacim olan oyuğun ilişkili olduğu hacimler seçilir, ok denir daha sonra oyuk geometrisi seçilir ve ok denir. Böylelikle oyuk mil yüzeyinde açılmış olur.

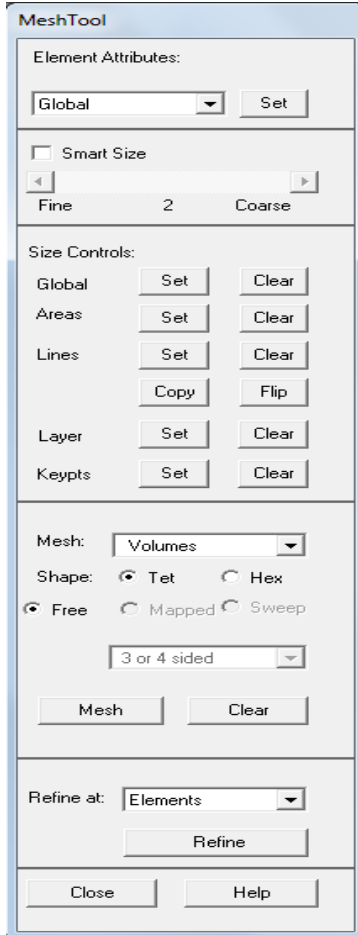


Şekil 4.13. Mil yüzeyine açılmış yarıküresel oyukun çalışma düzlemindeki görünümü.

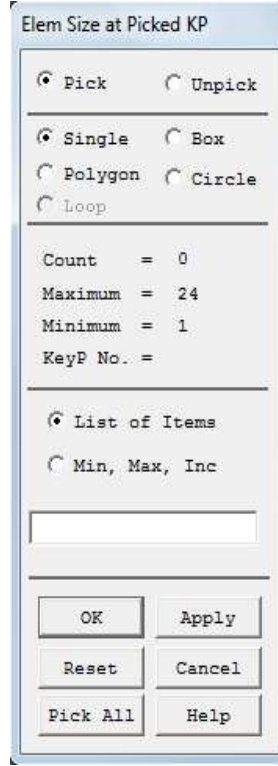
Hemen akabinde birbirlerinden ayrı olan hacimler Glue komutuyla birbirlerine yapıştırılır. Bundan sonra model tek parça gibi hareket edecektir. Main Menu> Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Glue > Volumes tiklenir ve hacimler seçilir.

4.4. Küçük Elemanlara Ayırma

Çözüm için ansysde öncelikle küçük elemanlara ayırmak gerekmektedir. Bu şekilde oluşan her bir noktadaki gerilmeler ve deformasyonlar elde edilebilmektedir. Bu işleme meshleme yani elemanlara ayırma denir. Problemimizin kritik noktasının oyuk bölgesi olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla meshing işlemi yaparken oyuk bölgesi daha küçük elemanlara bölünecektir. Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool > tiklenir. Açılan menüden keypoints seçilir. Sonra açılan keypoints seçim menüsünden ok denerek İlk önce milin her iki ucundaki keypoint'ler seçilir. Mil yüzeyi farklı elemanlara ayrılacağı için meshleme işlemi uç kısmından, oyuk bölgesinin olduğu mil ortasına hassaslaştırılarak yapılır. SIZE Element egde length:20 değeri sırasıyla ve 4 değerleri girilir.

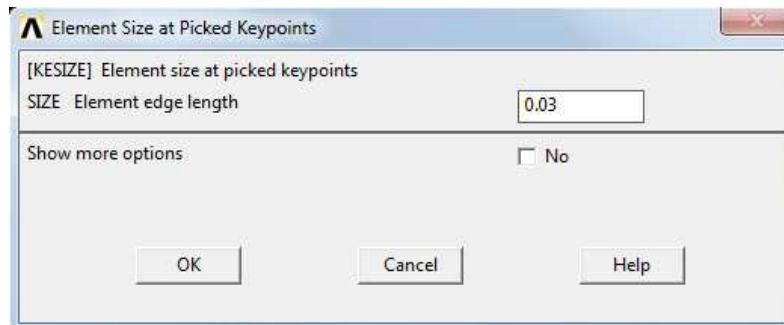


Şekil 4.14. Mesh Tool menü görünümü.



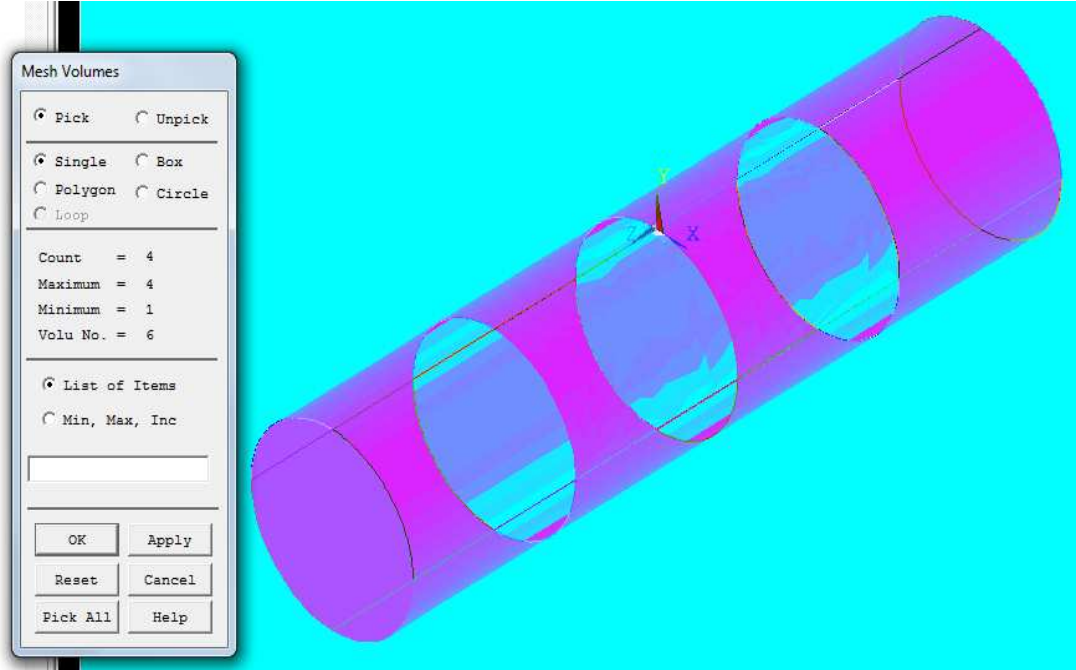
Şekil 4.15. Keypoint seçim menüsü görünümü.

Elemanlara bölme işleminde enson oyuk bölgesi yapılır. Yine Mesh Tool menüsü açılır. Keypoints seçilir. Açılan Elem Size at Picked Kp menüsünde de circle işaretlenir. Oyuk bölgesi circle komutuyla seçilir. Ok denir çıkan menüden SIZE Element edge length kısmına 0.03 değeri hassas olarak girilir. Ok tıklanır.

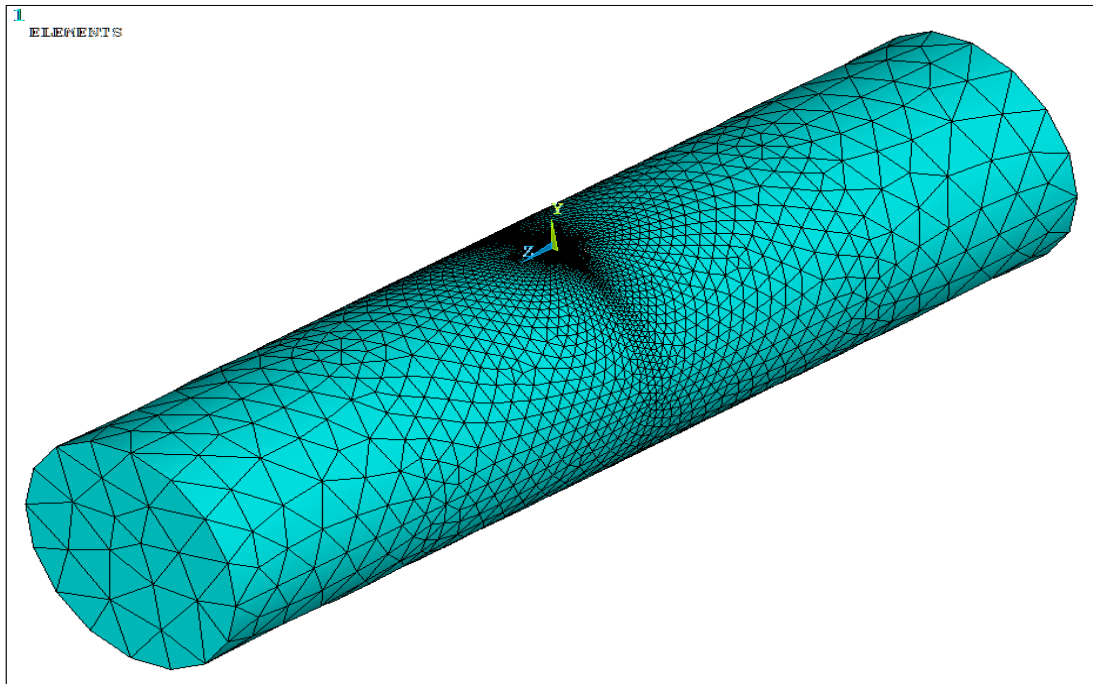


Şekil 4.16. Oyuk bölgesindeki alanların mesh büyüklüğü değerinin girilmesi.

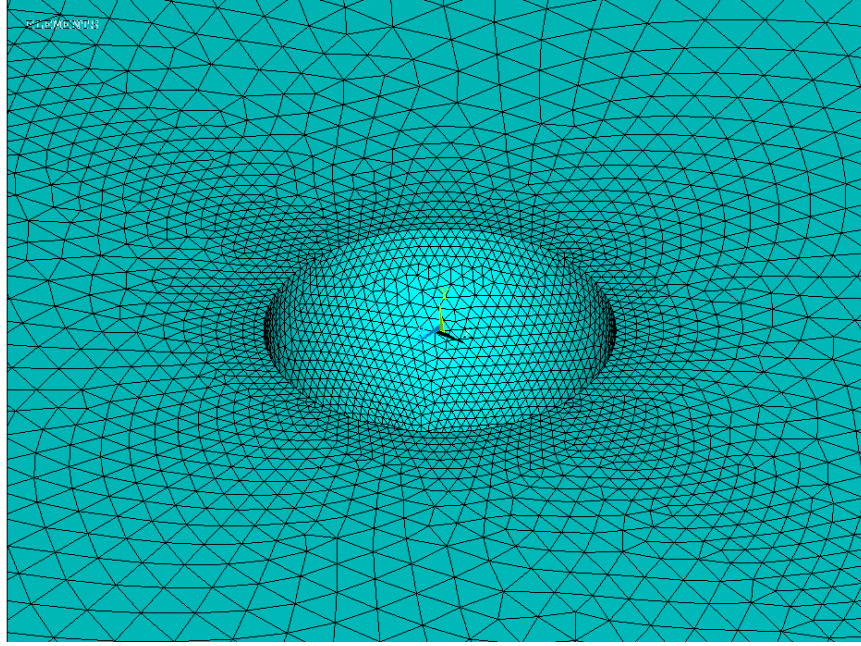
Eleman boyutunu belirledikten sonra mesh işlemine geçilir. Main Menu> Preprocessor > Meshing> MeshTool > Mesh denir hacimler seçilir. Mesh Volumes menüsüne ok tıklanır.



Şekil 4.17. Mesh edilecek hacimlerin seçilmesi ve Mesh volumes menüsünün çalışma düzleminde görüntüsü.



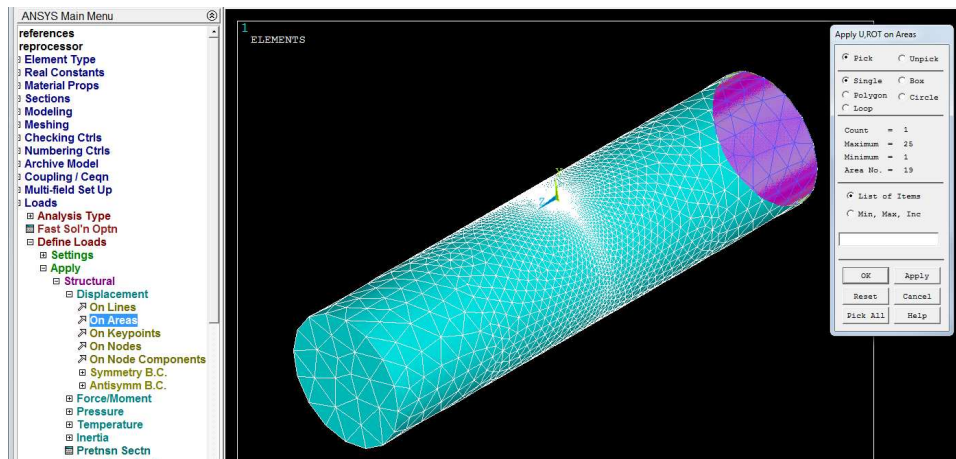
Şekil 4.18. Mesh edilmiş model



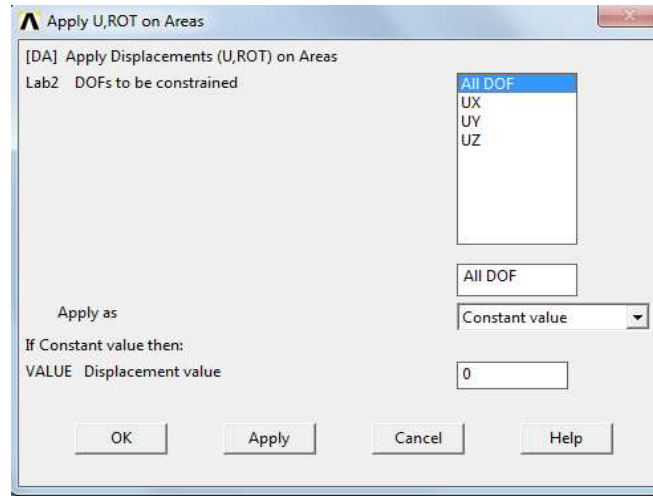
Şekil 4.19. Oyuk bölgesinin yoğunlaştırılmış mesh görüntüsü.

4.5. Sınır Şartları ve Yüklerin Uygulanması

Model bir ucundan ankastre yapılarak sabitlenir ve buradaki yer değiştirmenin sıfır olduğu değer girilir ($U_x=0$, $U_y=0$, $U_z=0$). Bu durum şekil 4.17 'de ve şekil 4.18 'de gösterilmiştir. Main Menu > Preprocessor > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Areas tıklandıktan sonra yer değiştirmenin sıfır olacağı alan yani ankastre yapılacak bölge seçilir, ok denir. Daha sonra çıkan menüden VALUE Displacement value değerine sıfır yazılır ve ok denir.

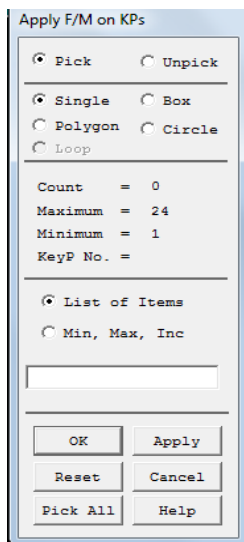


Şekil 4.20. Yer değiştirmenin sıfır olduğu alanın seçilmesi.

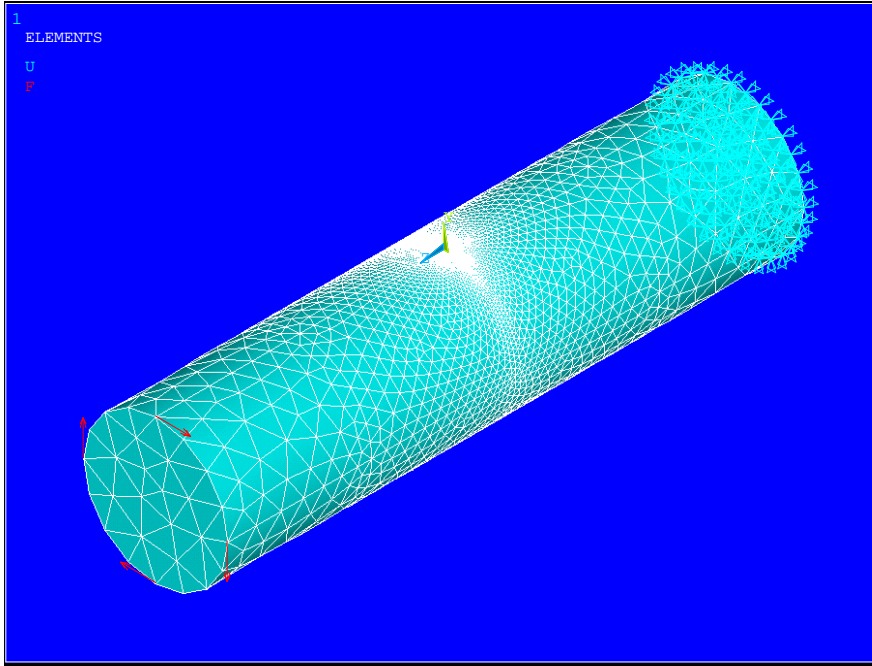


Şekil 4.21. Yer değiştirmenin sıfır değerinin girilmesi.

Daha önce, modellediğimiz ve meshing işlemi yaptığımız milin yüzeyinde 1MPa Kayma gerilmeleri meydana getirecek kuvvet değerini tespit etmiştik. Bu tespit ettiğimiz gerilme değeri, sınır şartı belirlendikten sonra modelin uç kısmındaki keypointlere burulma momenti yaratacak şekilde yerleştirilmektedir. Main Menu > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints komutunu tıkladıktan sonra keypointler seçilir. Ok denir. Çıkan menüden kuvvetin yönü ve değeri girilir. Bu değer, VALUE Force/moment value : 981.7477 N.dur.



Şekil 4.22. Kuvvetin uygulanacağı keypointin seçilmesi, yönünün ve değerinin girilmesi.

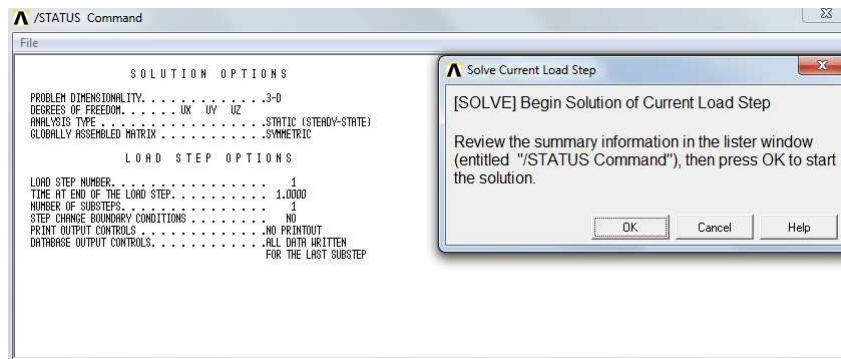


Şekil 4.23. Sınır şartı ve kuvvetin uygulanmasıyla modelin çalışma düzlemindeki görünümü.

4.6. Çözümün Başlatılması

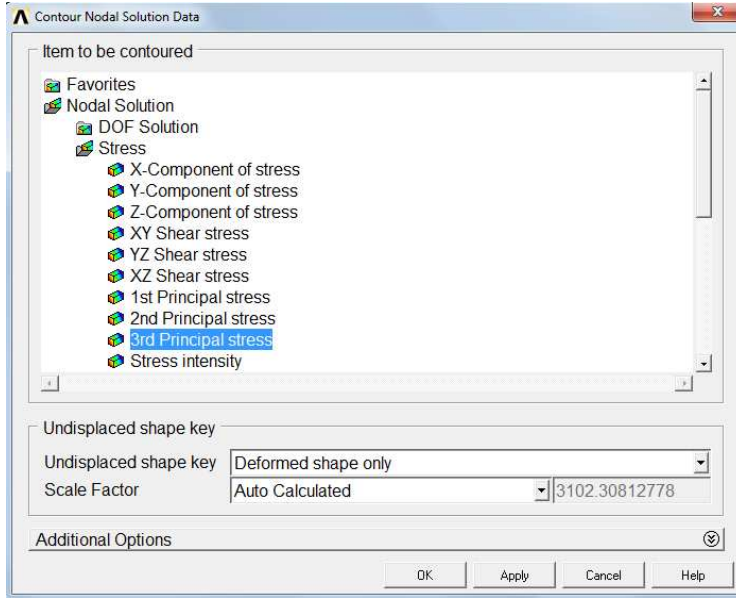
Analize ait tüm veriler girildikten sonra son işlem olarak çözümleme işlemi yapılır. Bu, aşağıdaki komut kullanılarak gerçekleştirilir.

Main Menu > Solution > Solve > Current Ls seçeneği ile çözüm başlatılır.



Şekil 4.24. Çözümün Başlatılması.

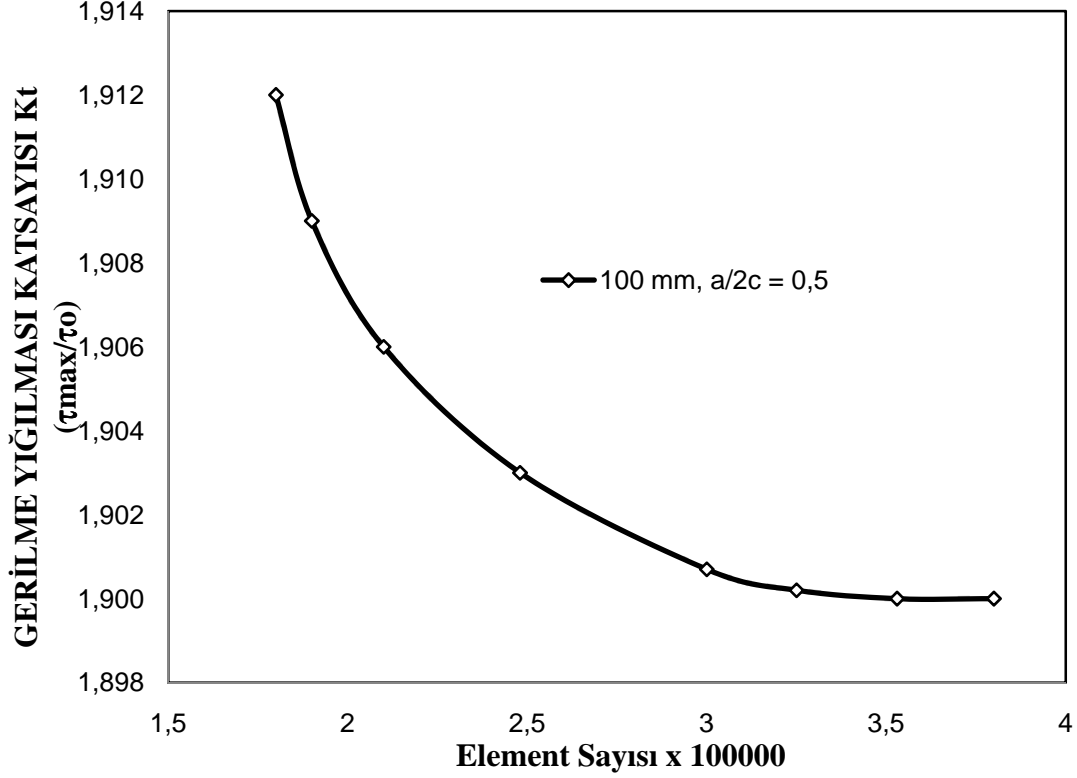
Çözümü yapılan problemin gerilme analizlerini görebilmek için, General PostProc >Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu komutuyla açılan pencereden istenilen gerilme kuramına göre modelde oluşan gerilmeler görülür. Biz burada asal gerilmelere bakacağız. Bu yüzden komutu tıkladıktan sonra çıkan menüden Stress > 3rd Principal stress seçilir.



Şekil 4.25. Gerilme değerinin okunması.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz gibi ilk önce sonlu elemanlar yöntemiyle, 1 Mpa kayma gerilmesi altında milde oluşan maksimum gerilme bulunmuştur. Daha sonra maksimum gerilmeyi ortalama gerilmeye bölerek gerilme yığılma katsayısı K_t hesaplanmıştır. Bu bölümde gerilme yığılması katsayısının oyuk geometrisinde yapılan değişikliklere bağlı değişimleri grafiklerle verilmiş, oyuk bölgesindeki analiz sonuçları ve gerilim dağılımları şekiller verilerek gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu varılan sonuçlar ve yorumları grafiklerden sonra verilmiştir. Oyuk boyut oranı ($a/2c$) 0,5 olan oyuk model için yakınsama testi sonucu Şekil 5.1.' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Element Sayısı Belirleme Grafiği.

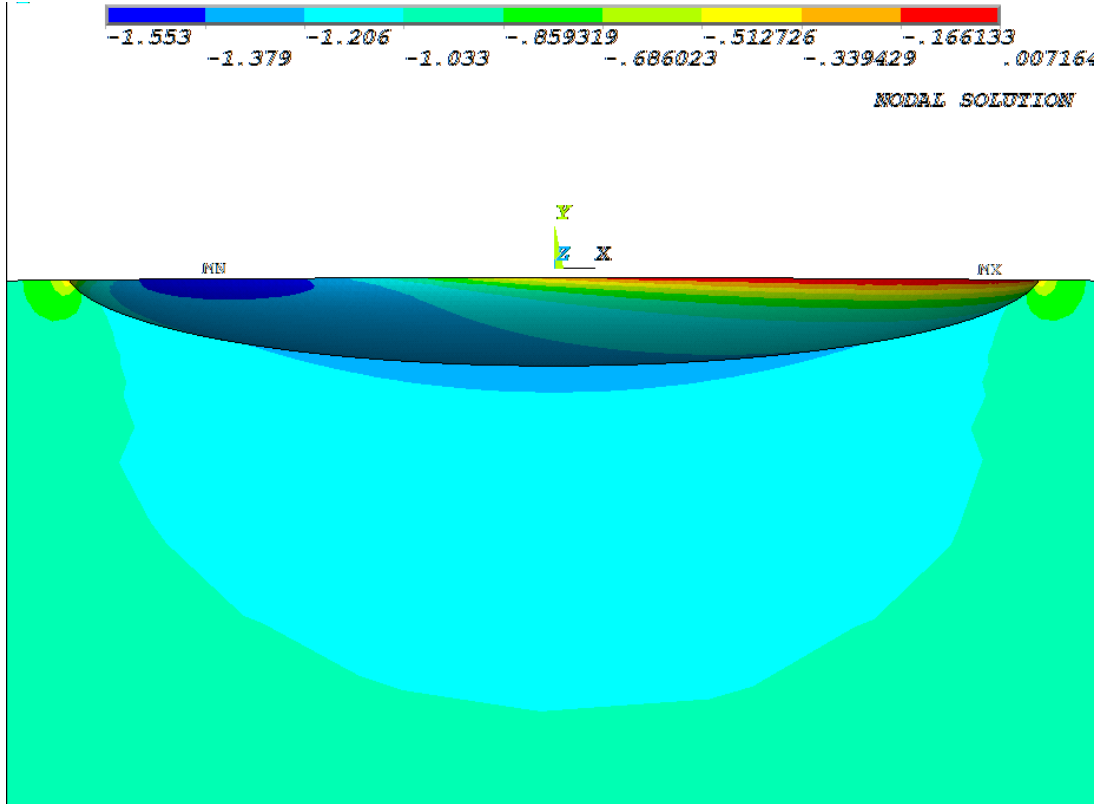
Şekil 5.1’de görüldüğü gibi oyuk çevresindeki eleman sayısı artırıldıkça Kt değeri azalmaktadır. Kt değişimi 300000 elemente kadar 0,12 iken element sayısı 300000 ve üzerine çıkarılınca çözüm yakınsamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada 300000 civarında element kullanılmıştır.

5.1. Küresel Oyuk Analizleri

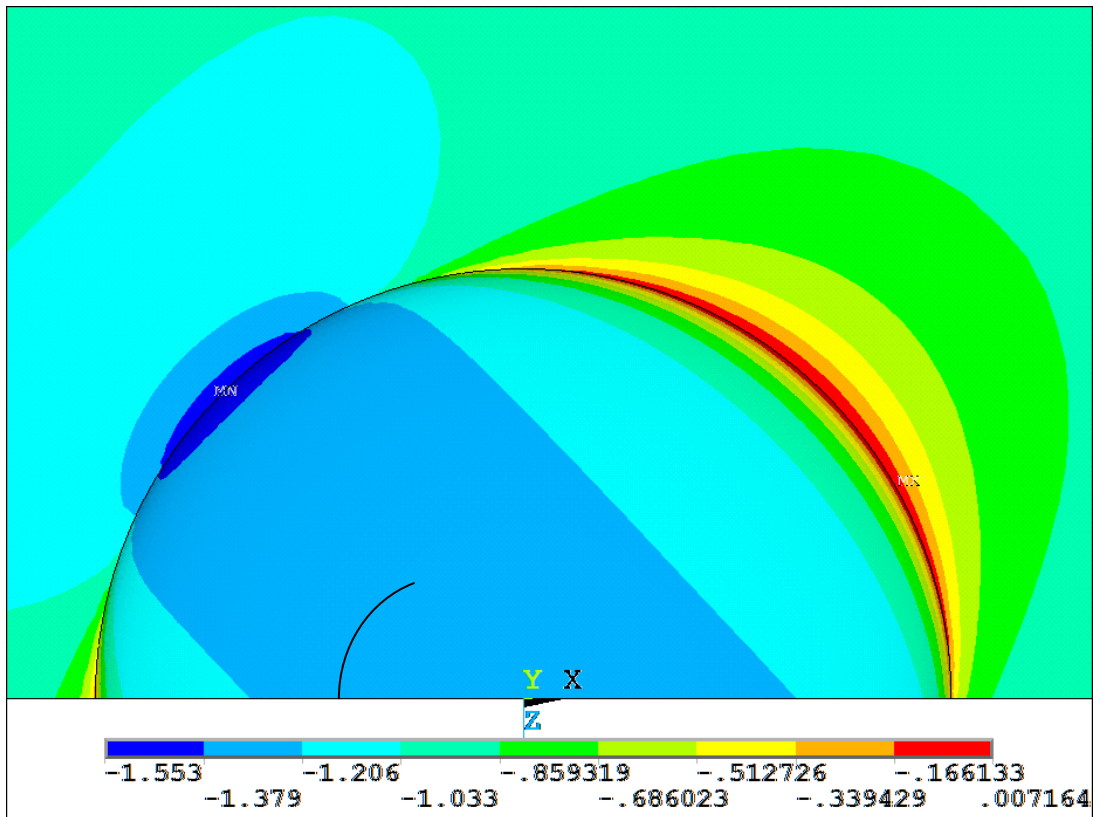
Küresel oyuk modeli olarak 16 değişik oyuk boyut oranına sahip modelleme yapılmıştır. Bunlarla ilgili elde edilen gerilme yığılması katsayısı değerleri Tablo 5.1.’de verilmiştir. Ayrıca oyuk boyut oranı ($a/2c$) 0,1, 0,5, 1,0 olan modellerin gerilme analizi ve gerilme dağılımları şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Küresel oyuk analiz sonuçları.

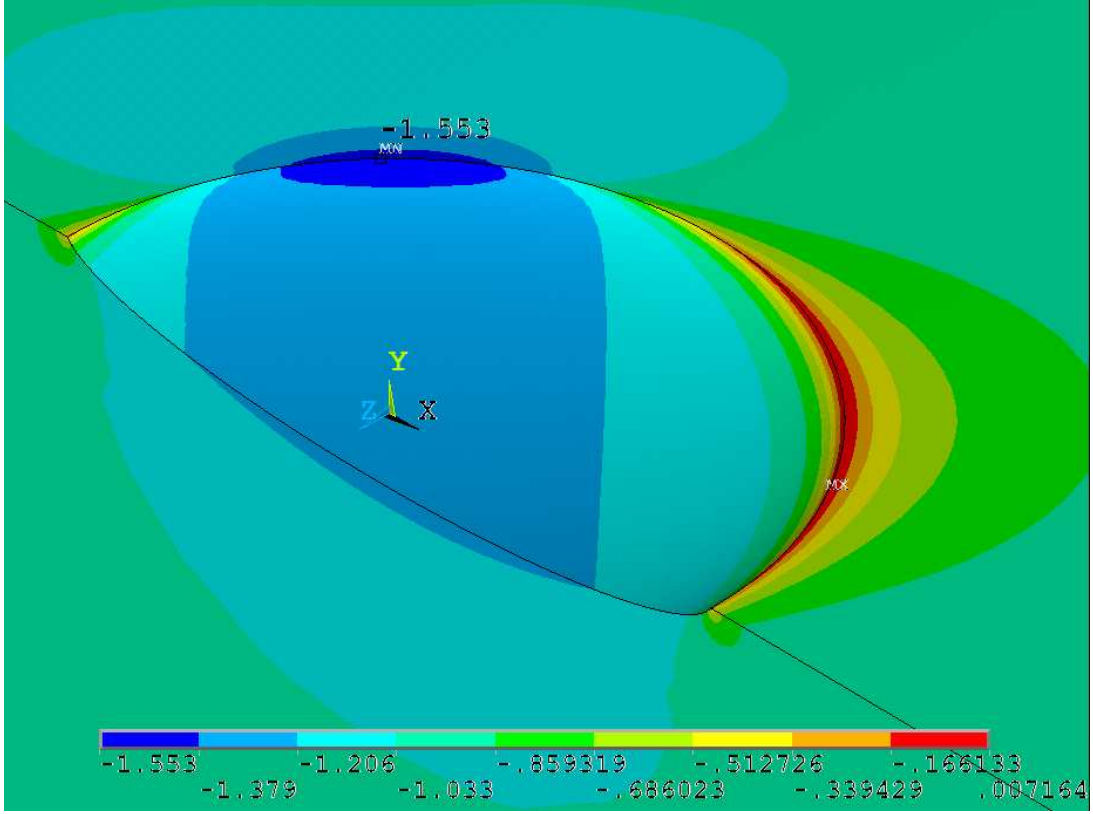
a/2c	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
Kt	1,5530	2,0200	2,5670	2,9740	3,2440	3,4560	3,6110	3,7010
a/2c	2,00	2,25	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Kt	3,7760	3,8190	3,8390	3,8910	4,0450	4,0820	4,1440	4,1220



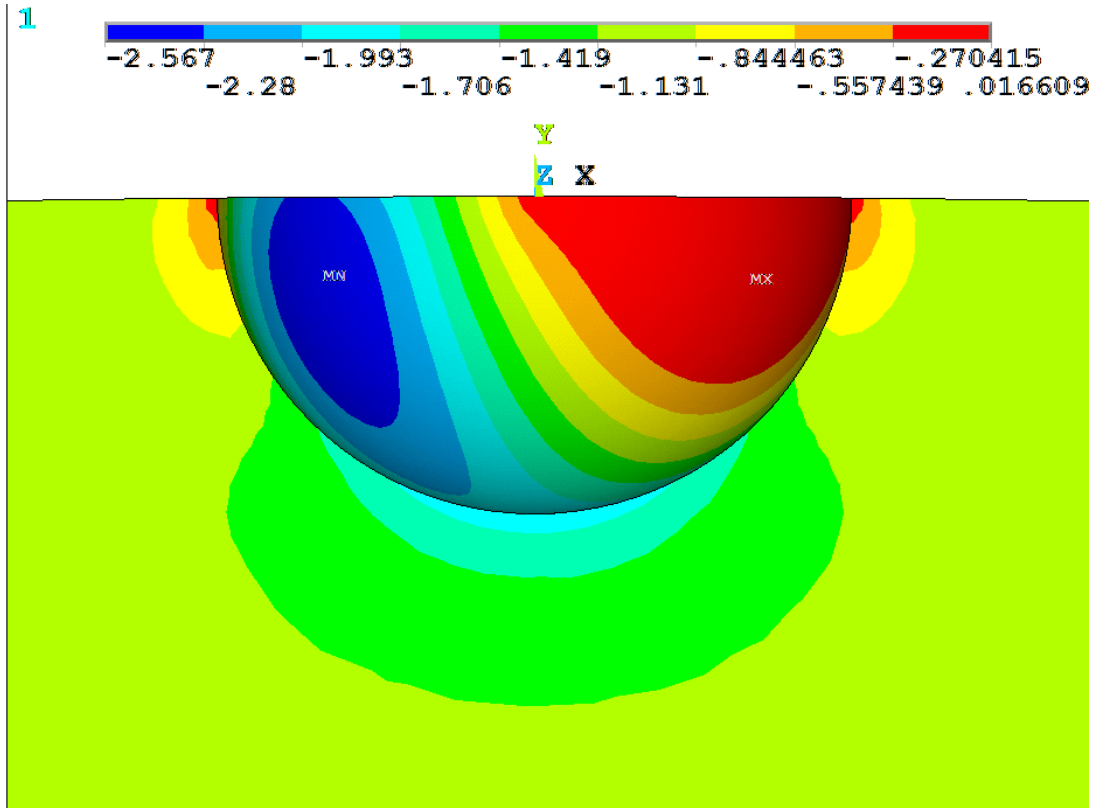
Şekil 5.2. Küresel oyuk $a/2c=0,1$ ' in gerilme analizinin önden görünümü.



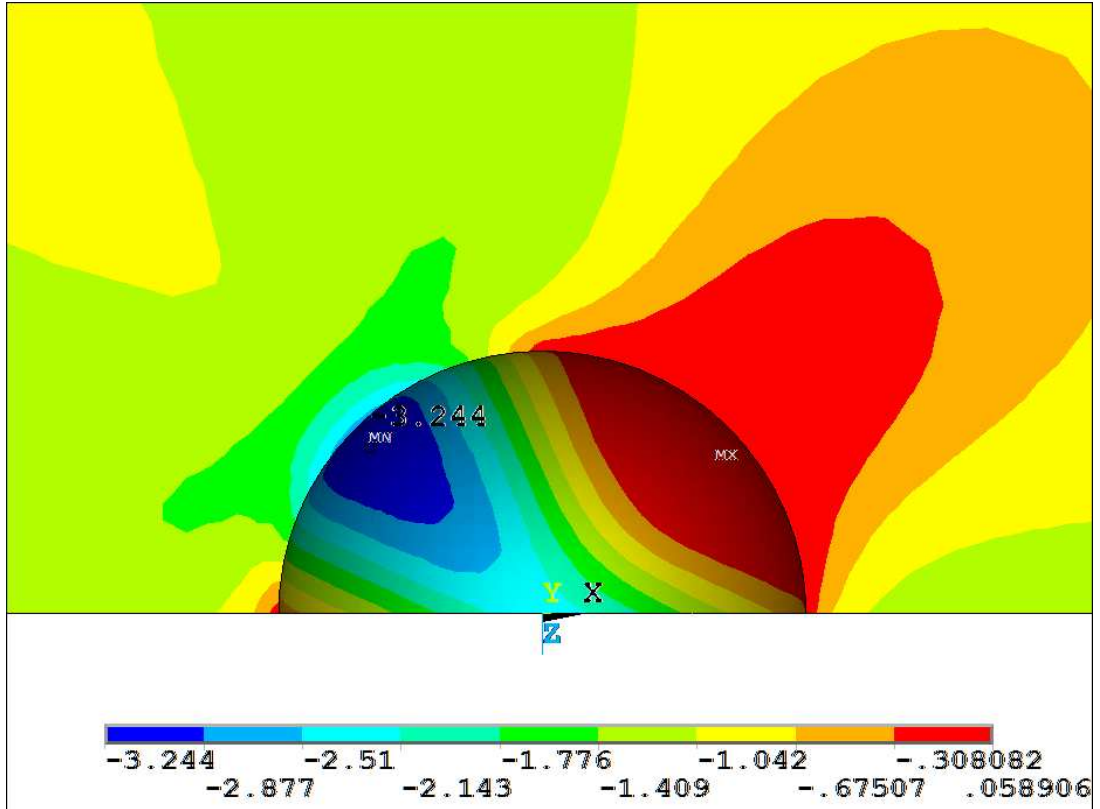
Şekil 5.3. Küresel oyuk $a/2c=0.1$ in üstten görünümü, maksimum gerilmenin gerçekleştiği düzlem



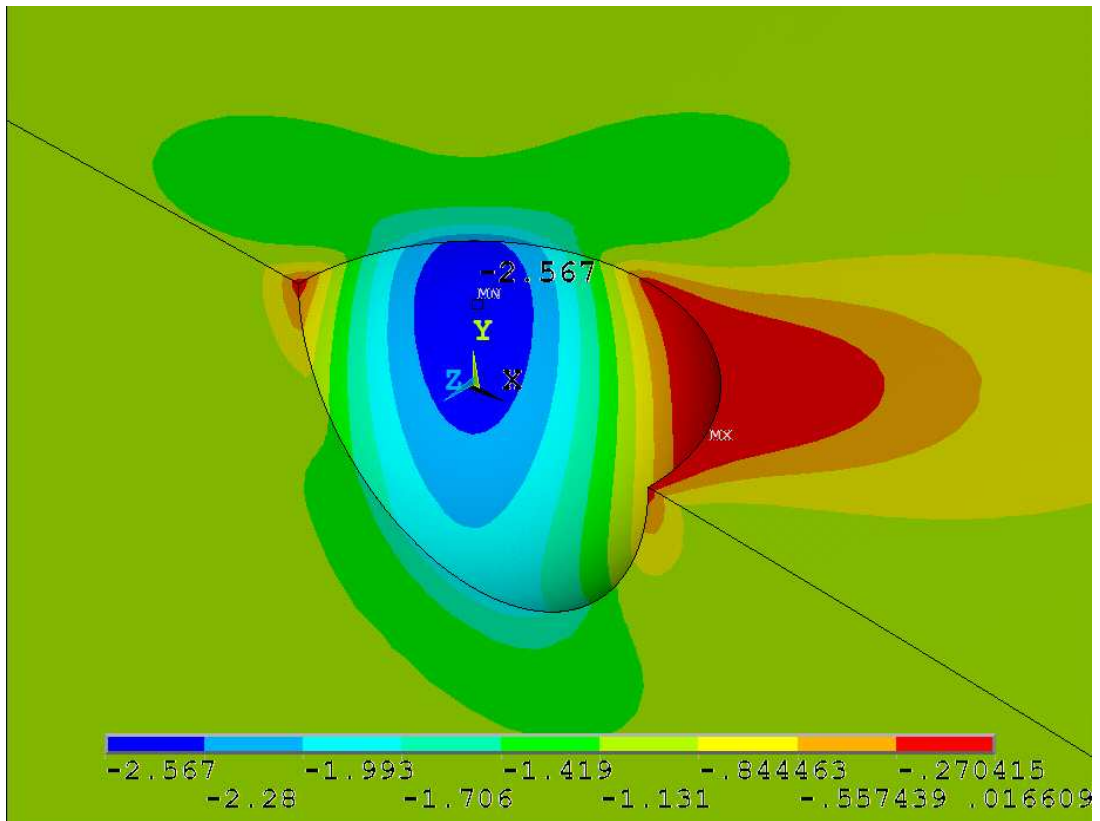
Şekil 5.4. Küresel oyuk $a/2c$ 'nin perspektif gerilme analizinin görünümü.



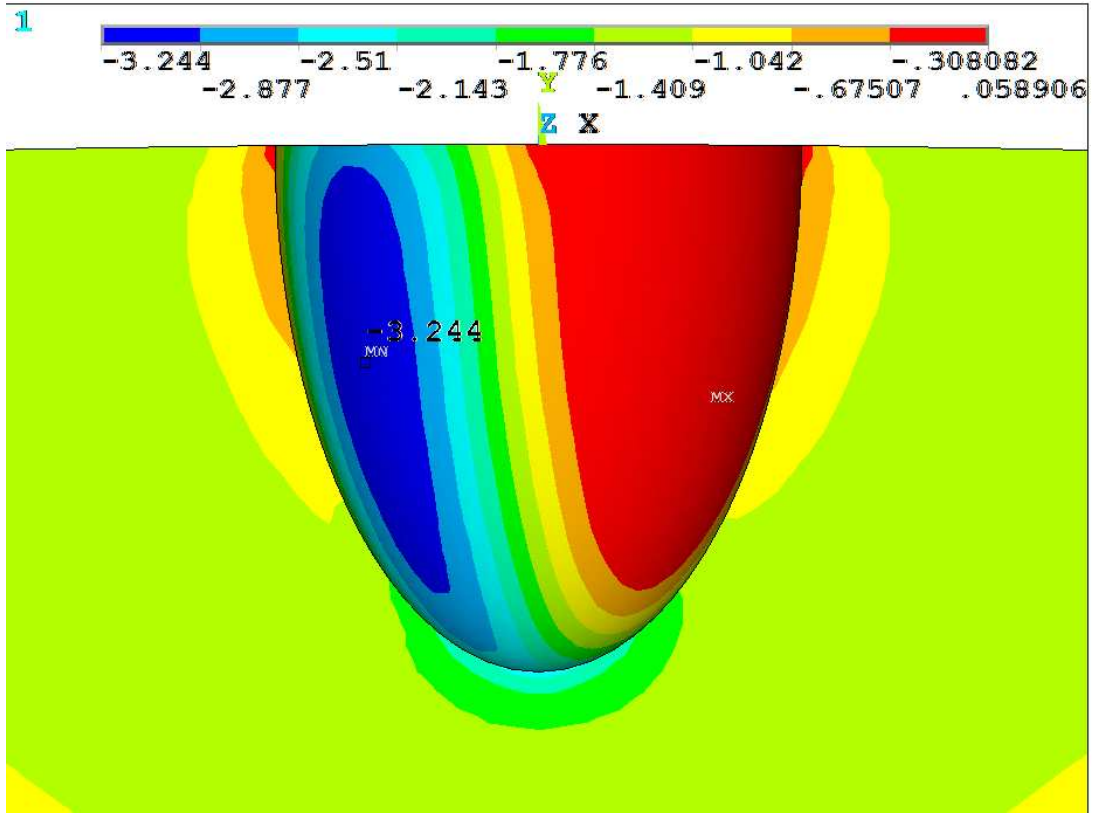
Şekil 5.5. Küresel oyuk $a/2c=0,5$ 'nin önden görünümü gerilim dağılımı.



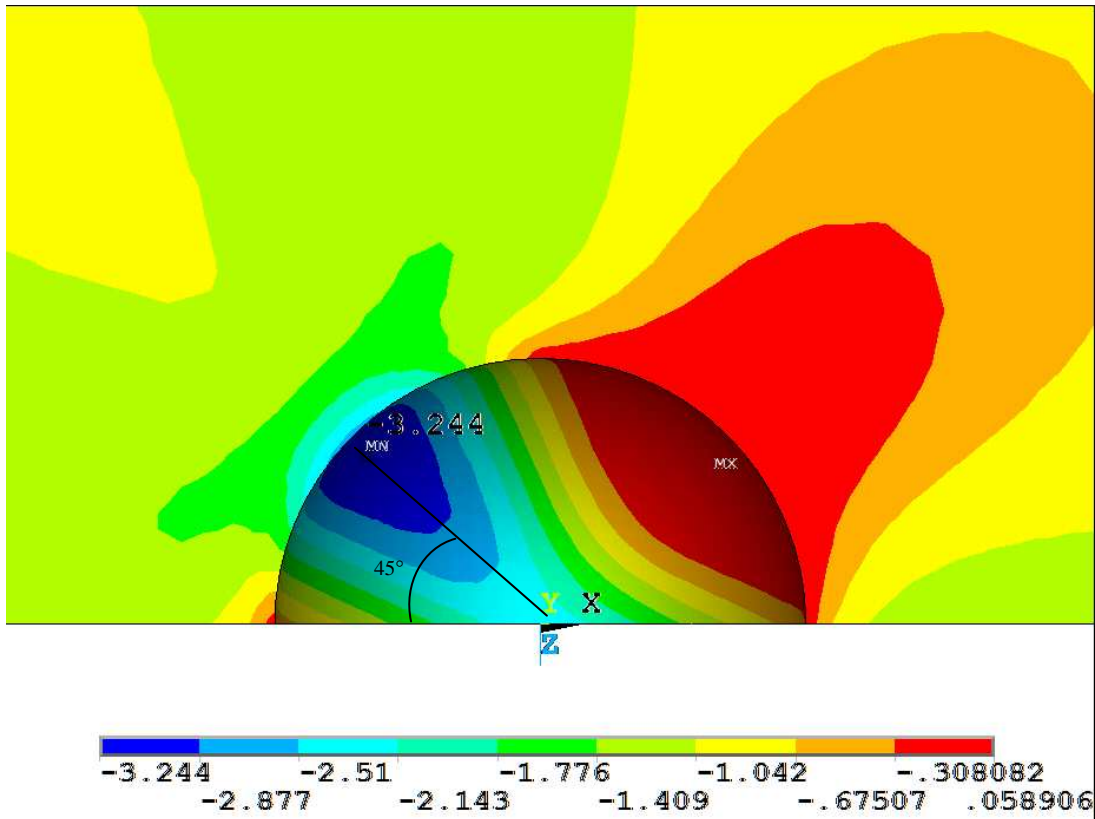
Şekil 5.6. Küresel oyuk $a/2c=0,5$ 'in üstten gerilme dağılımının görünümü.



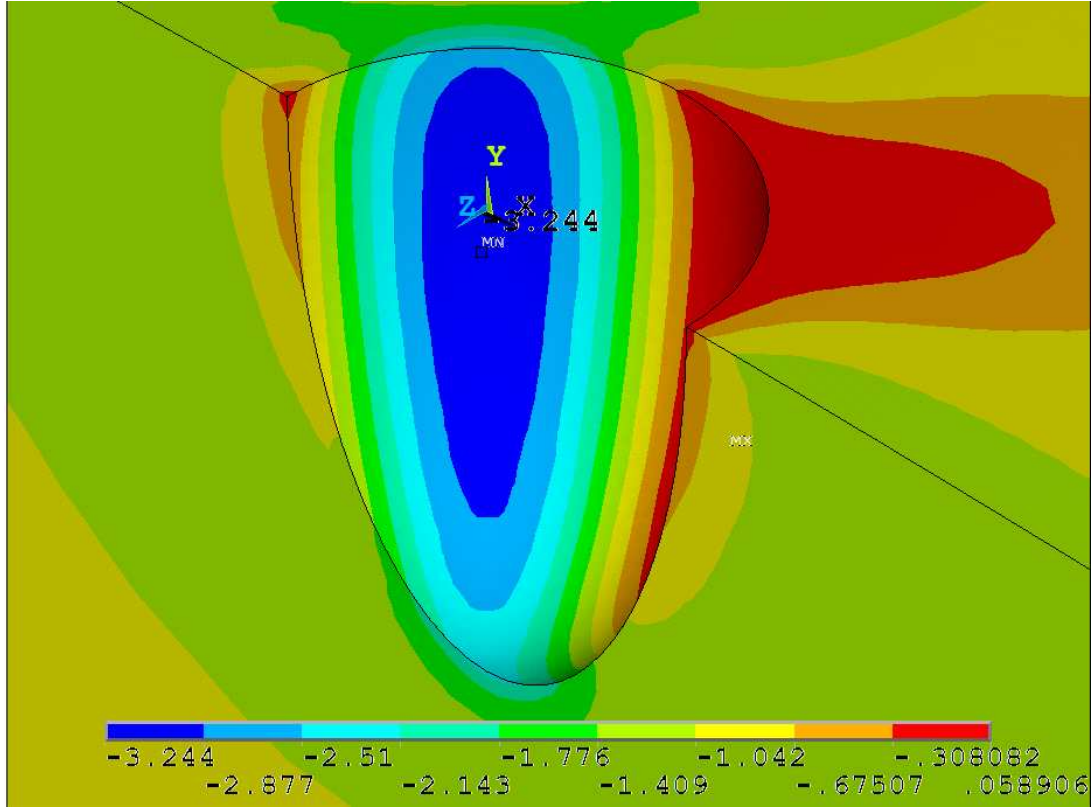
Şekil 5.7. Küresel oyuk $a/2c=0,5$ 'in perspektif gerilme dağılımının görünümü.



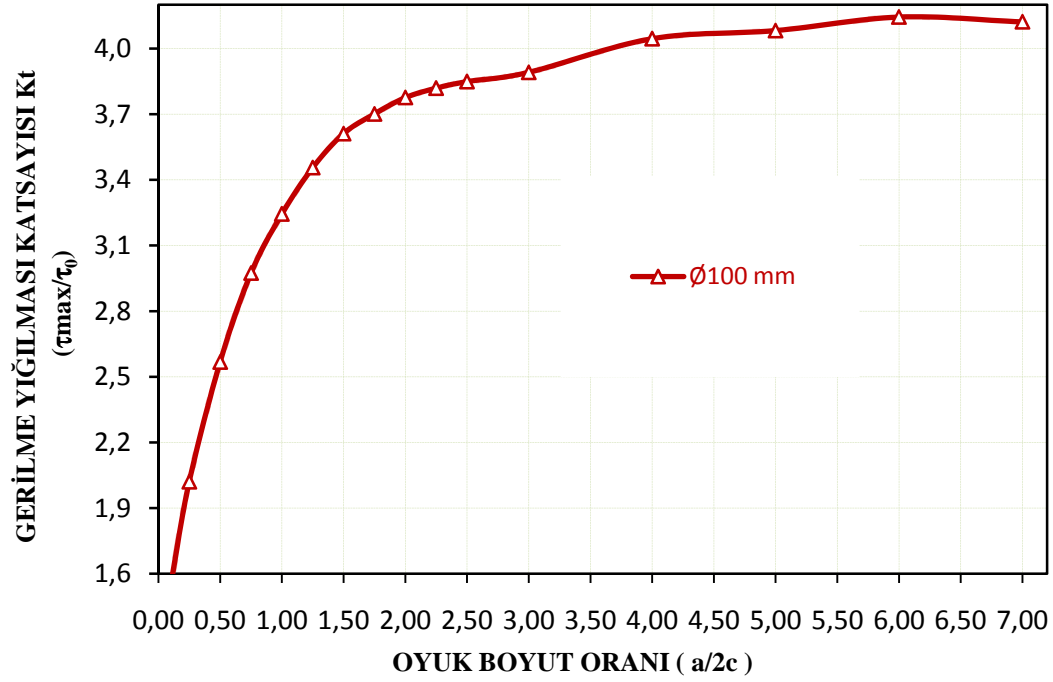
Şekil 5.8. Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in önden gerilme dağılımının görünümü.



Şekil 5.9. Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in üstten gerilme dağılımının görünümü.



Şekil 5.10. Küresel oyuk $a/2c=1$ 'in perspektif gerilme dağılımının görünümü.



Şekil 5.11. Küresel Oyukta, Oyuk Boyut Oranı İle K_t nin Değişimi.

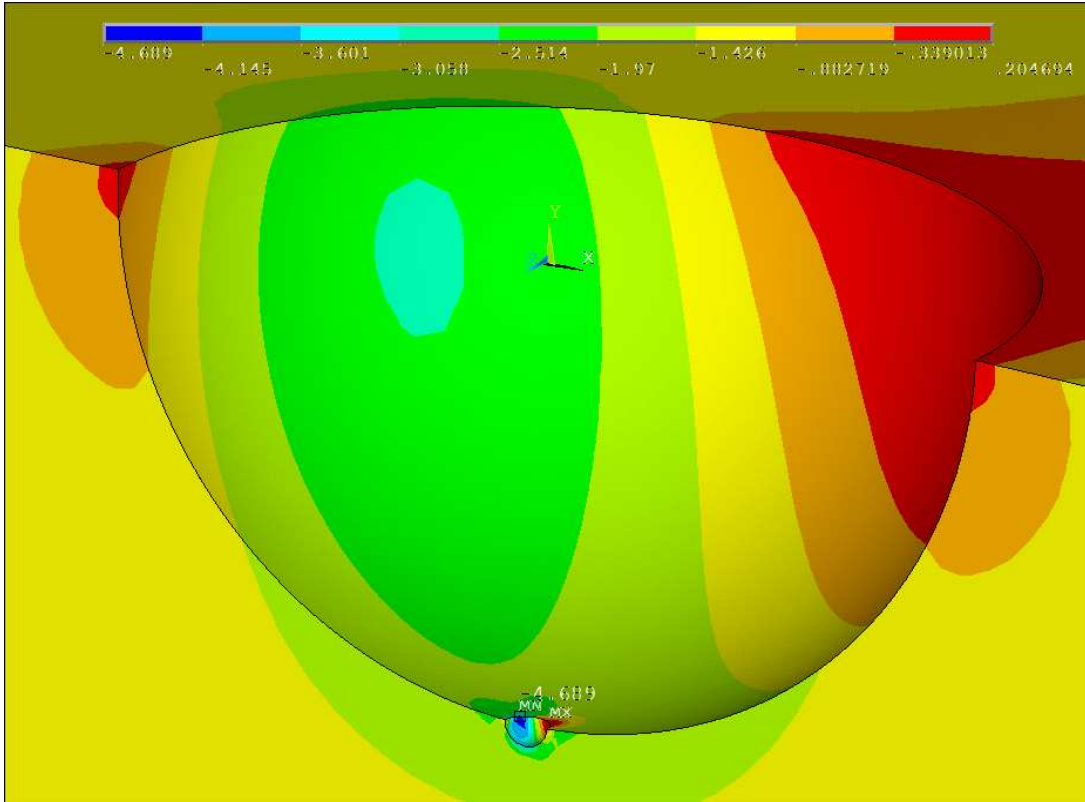
Burulmaya maruz bırakılan 100 mm çapındaki malzemenin yüzeyindeki değişen $a/2c$ oranlarında küresel oyukların, gerilme yığılma katsayısı ile değişimi Şekil 5,11. de grafikte gösterilmiştir. Gerilme yığılması katsayısı (Kt) oyuk derinliği arttıkça artış göstermiştir. Gerilme yığılması katsayısı (Kt) yarı küresel model ($a/2c=0,5$) bir oyukta gerilme değerinin 2,567'si iken en boy oranı 3 kat olan derin bir oyuğun yaratmış olduğu gerilme yığılması katsayısı 3,9 katı olarak gerçekleşmiştir. Grafik incelendiğinde, grafiğin eğimi gittikçe azalmaktadır. Grafik en boy oranı 4 katına yaklaştıkça yakınsama eğilimi göstermektedir. Bu da bize oyuk derinliği etkisinin giderek azaldığını anlatmaktadır. Oyuk boyut oranı ($a/2c$) 7'ye ulaştığında gerilme yığılması katsayısı herhangi bir değişim göstermemekte olup 4,12 katı değerinde doyuma ulaşmıştır. Oyuk boyut oranının artmasıyla kritik bölgedeki gerilme dağılımı şekillerde görüldüğü üzere gittikçe daralmaktadır. Oyuk derinliği arttıkça maksimum gerilme oyuk ağzından dibe uzaklaşmaktadır. Örneğin $a/2c=0,1$ olan küresel oyukta maksimum gerilme oyuk ağzında iken (Şekil 5,2.) $a/2c=1$ olan küresel oyuktaki maksimum gerilme oyuk ağzı ile oyuk tabanı arasındadır. (Şekil 5,8.) Kritik alan oyuğun tabanı ile ağzı arasında oyuk ağzına daha yakın yerde 45° lik düzlem üzerindedir. Şekil 5,11.'de verilen grafikte görüldüğü gibi oyuk derinliğinin etkisi belli bir değerden sonra ortadan kalkmaktadır..

5.2. İkincil Oyuk Analizleri

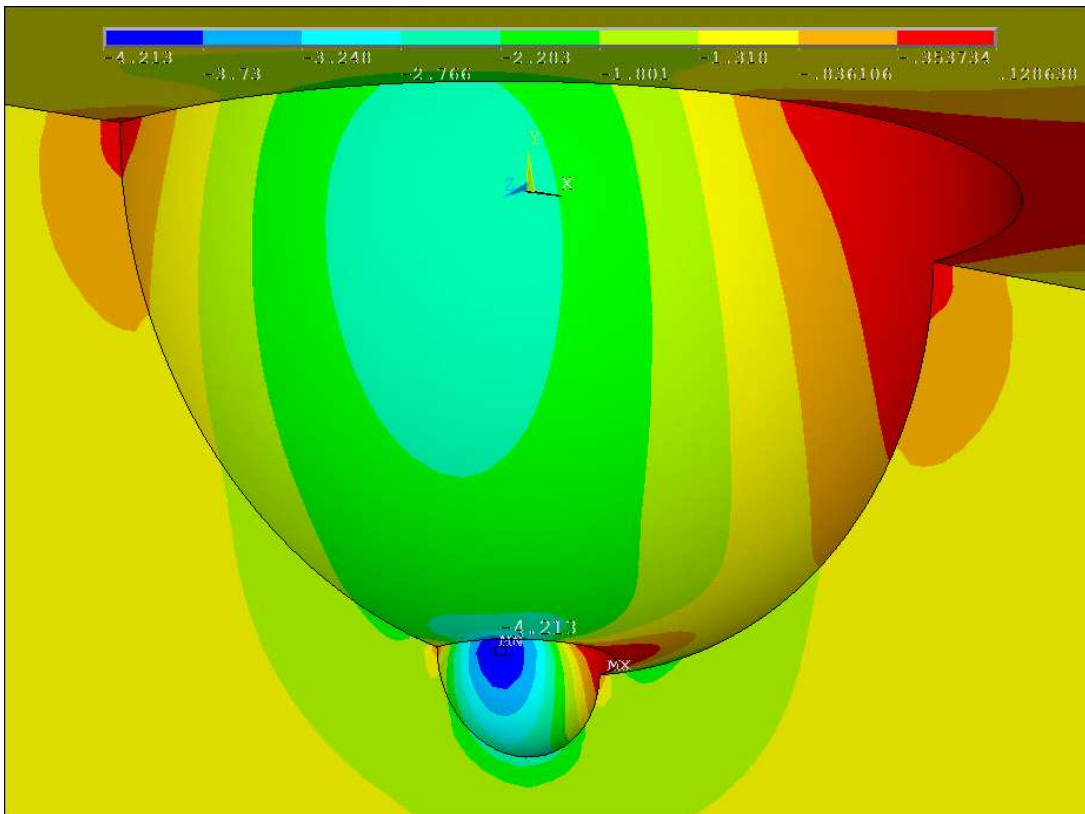
Tablo 5.2. İkincil oyuk analiz sonuçları.

$a/2c$	$\frac{0,025}{0,5}$	$\frac{0,05}{0,1}$	$\frac{0,075}{0,15}$	$\frac{0,1}{0,2}$	$\frac{0,125}{0,25}$	$\frac{0,15}{0,3}$	$\frac{0,175}{0,35}$	$\frac{0,2}{0,4}$
Kt	4,6890	4,4930	4,3950	4,2130	4,1070	3,9850	3,9020	3,8180

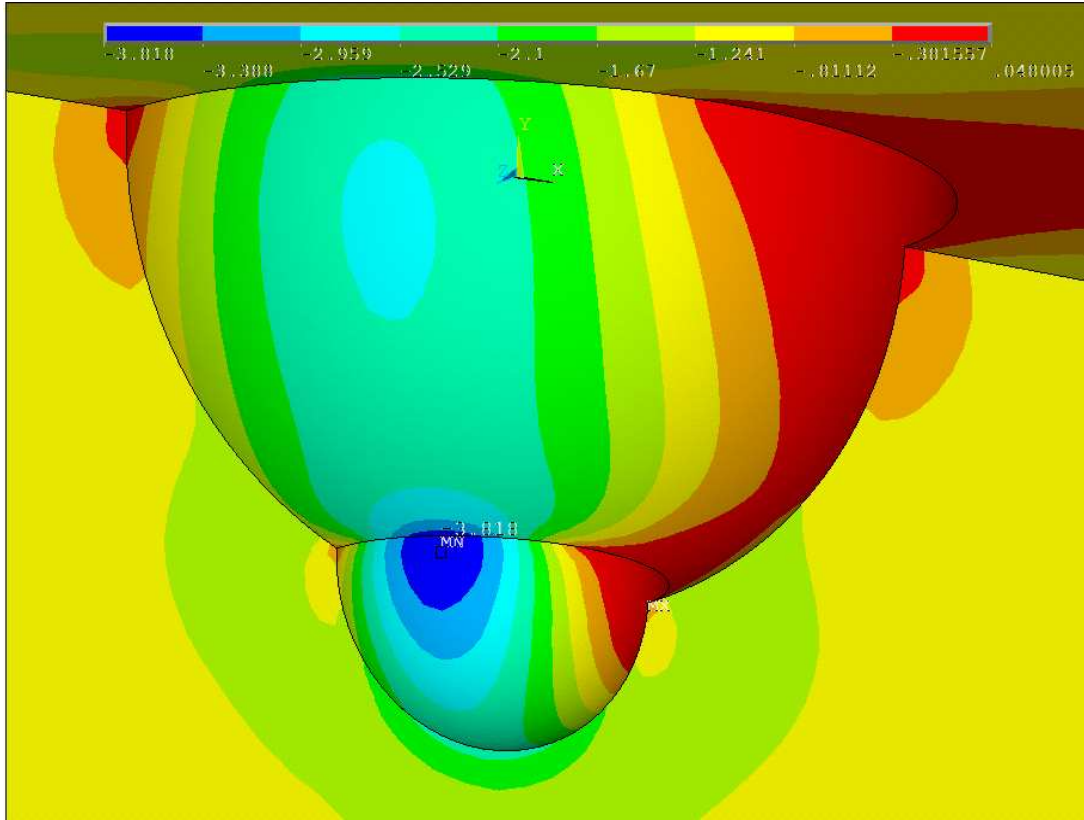
İkincil oyuk modeli olarak 8 farklı ikincil oyuk, oyuk boyut oranı ($a/2c$) 0,5 olan yarı küresel birincil oyuğun dibinde oluşturulmuştur. İkincil oyuğun değişimi ile beraber elde edilen gerilme yığılması katsayısı değerleri Tablo 5,2.'de verilmiştir. Ayrıca ikincil oyuk geometrisi 0.025/0.5, 0.1/0.2, 0.2/0.4 olan modellerin gerilme analizi ve gerilme dağılımları şekillerde gösterilmiştir.



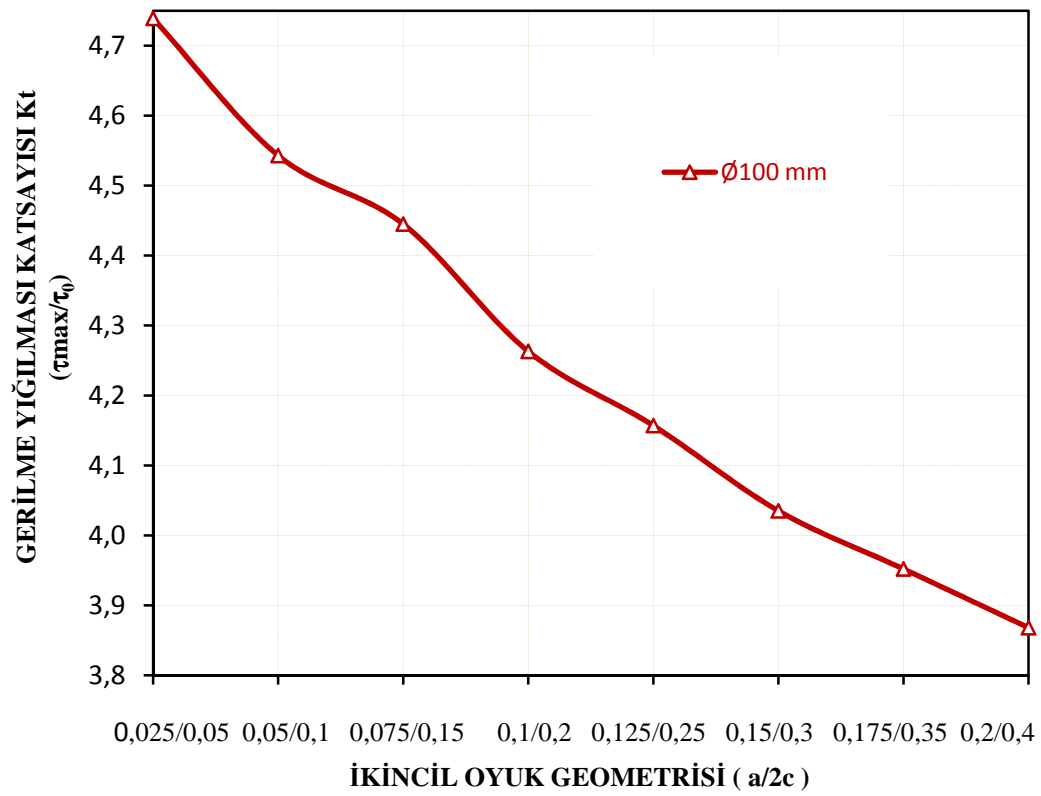
Şekil 5.12. İkincil oyuk $a=0,025 - 2c=0,5$ (mm) gerilim dağılımı görünümü.



Şekil 5.13. İkinci oyuk $a=0,1 - 2c=0,2$ gerilim dağılımı görünümü.



Şekil 5.14. İkinci oyuk $a=0,2 - 2c=0,4$ gerilim dağılımı görünümü.



Şekil 5.15. Yarı küresel oyukta meydana gelen ikincil oyukların gerilme yığılma katsayısına etkisi.

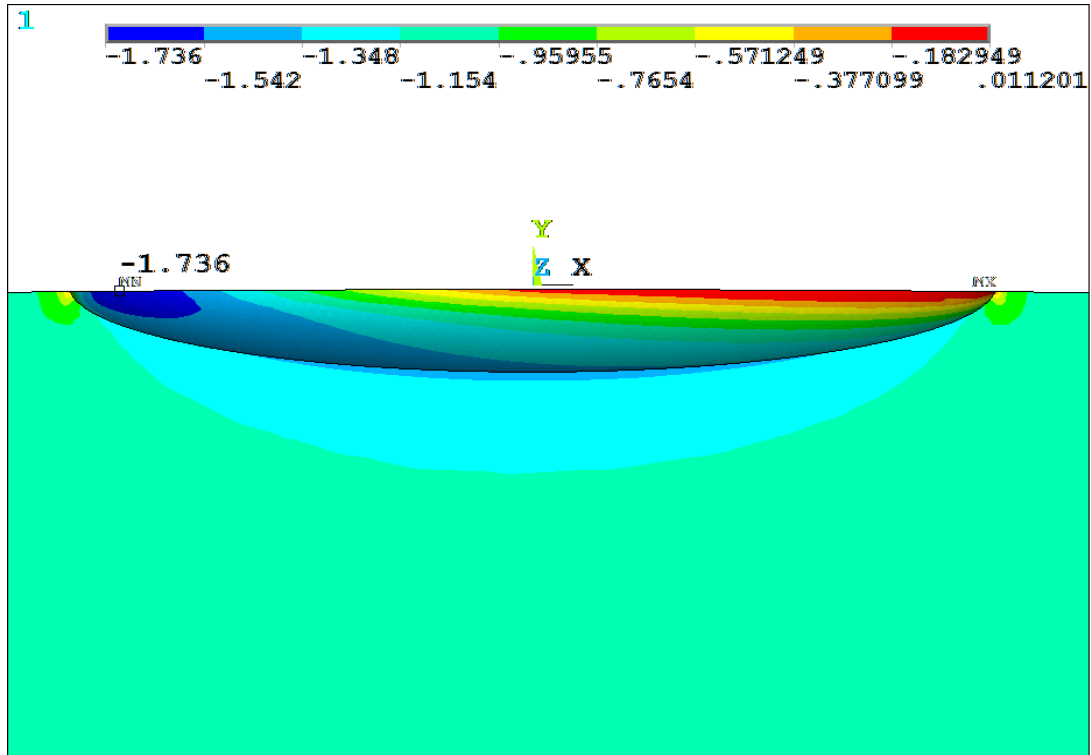
Sonlu elemanlar analizleri için yüzeyin düzgün ve pürüzsüz olduğu varsayılır. Ne var ki metal yüzeyine gerçekleşecek korozif ataklar birincil oyuk civarında ikincil oyuklara sebep olacaktır. Bu öngörü ile yarı küresel oyuğun dibinde değişik oyuk geometrileri için gerilme yığılma katsayısına ikincil oyukların etkisi araştırılmıştır. Buradaki gerilim dağılımı ikincil oyuk çevresinde yoğunlaşır. İkincil oyukların çentik etkileri, ikincil oyuksuz tek oyuklara göre çok daha yüksektir. Yarı küresel oyuğun gerilme yığılması katsayısı (Kt) 2,567 iken bu oyuğun tabanında oluşmuş ikincil oyuğun yarattığı etki 4,7 kata kadar ulaşmıştır. Şekil 5,15.'te verilen grafik hemen hemen sabit bir eğim ile azalma göstermektedir. İkincil oyuk geometrisi büyüdükçe, GYK (Kt) gittikçe azalmaktadır. Bu da bize ikincil oyukların büyüdükçe tek oyuklu bir küresel model gibi davranış sergileyeceğini anlatmaktadır. İkincil oyuk için maksimum gerilim oyuk ağzının hemen altında gerçekleşir. Kritik alan 45° lik düzlem üzerindedir.

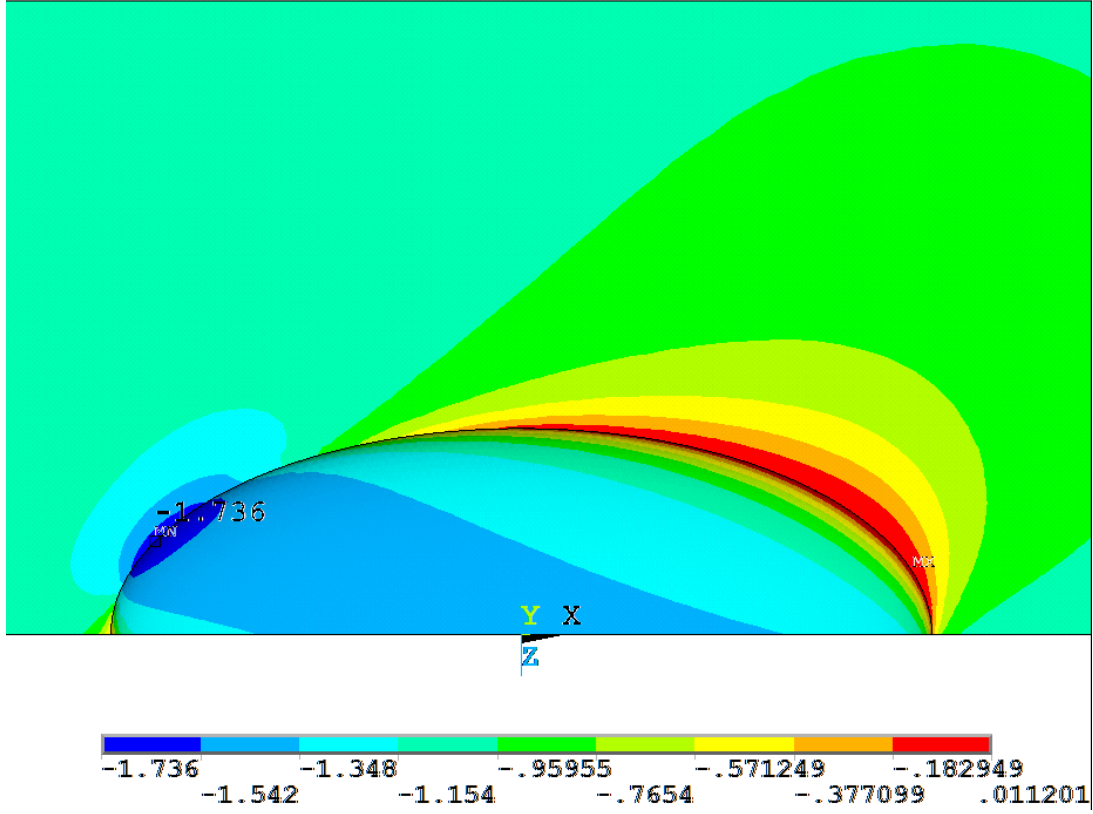
5.3. Eliptik Oyuk Analizleri

Eliptik oyuk modeli olarak öncelikle oyuk boyut oranı ($a/2c$) 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0, olacak şekilde 5 ayrı model oluşturulmuştur. Oyuk yönlenme açısının gerilme yığılması katsayısına etkisini araştırmak için 0° , 10° , 15° , 20° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 75° , 90° lik oyuk yönlenme açılı 11 farklı tasarım daha oluşturularak toplamda 55 farklı model oluşturulmuştur. Eliptik model oyuğun bu anlatılan değişimi ile beraber elde edilen gerilme yığılması katsayısı değerleri Tablo 5,3.'de verilmiştir. Ayrıca oyuk boyut oranı 0,1, 0,5, 1,0 olan eliptik modellerden oyuk yönlenme açısı (θ) 0° , 45° , 90° de konumlanan elips oyuklar için gerilme analizi ve gerilme dağılımları şekillerde gösterilmiştir.

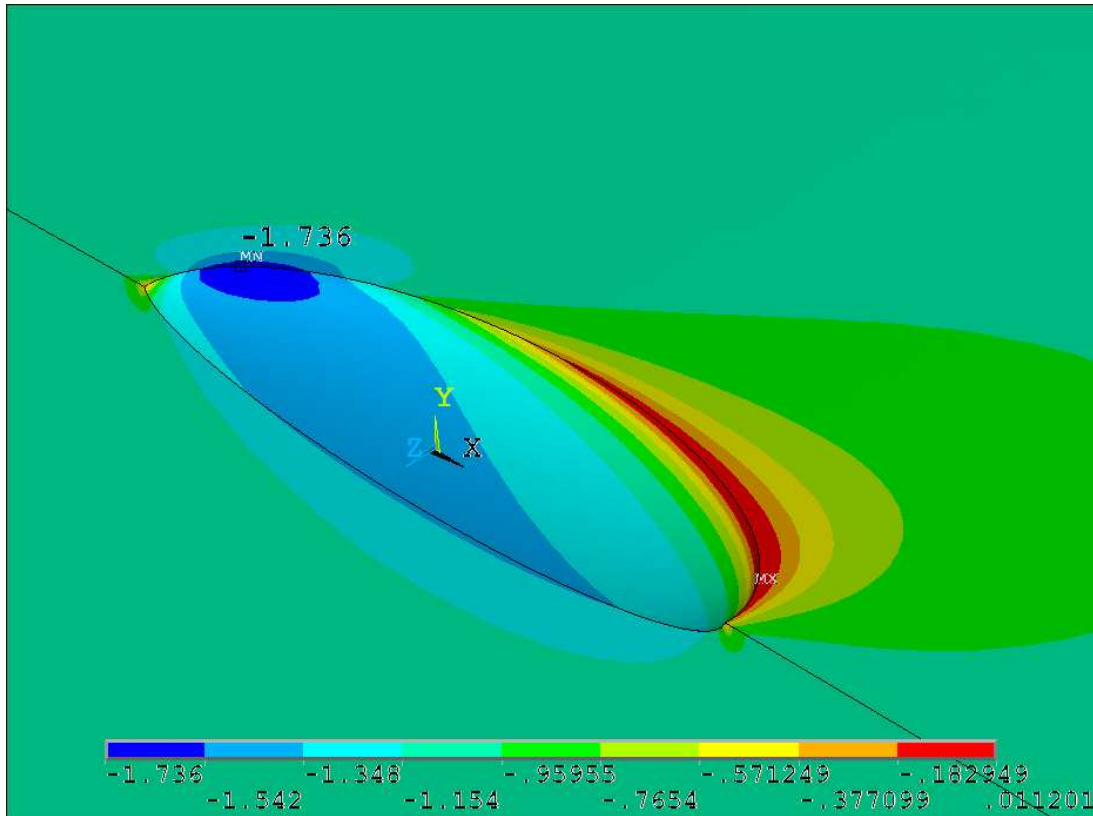
Tablo 5.3. Eliptik oyuk model analiz sonuçları.

Kt		Oyuk Boyut Oranı (a/2c) b=0,5 için				
		0,1	0,25	0,5	0,75	0,1
Oyuk Yönlenme Açısı θ (derece)	0°	1,736	2,3870	3,2400	3,6430	3,9040
	10°	1,678	2,2090	2,8850	3,2450	3,5070
	15°	1,639	2,1280	2,7070	3,0650	3,2990
	20°	1,608	2,0520	2,5730	2,9030	3,1150
	30°	1,572	1,9250	2,3660	2,6460	2,8240
	40°	1,562	1,8560	2,2500	2,5110	2,6770
	45°	1,552	1,8450	2,2340	2,4940	2,6540
	50°	1,56	1,8560	2,2500	2,5020	2,6779
	60°	1,571	1,9220	2,3620	2,6430	2,8248
	75°	1,636	2,1290	2,7040	3,0500	3,3000
	90°	1,786	2,3900	3,1720	3,6170	3,9042

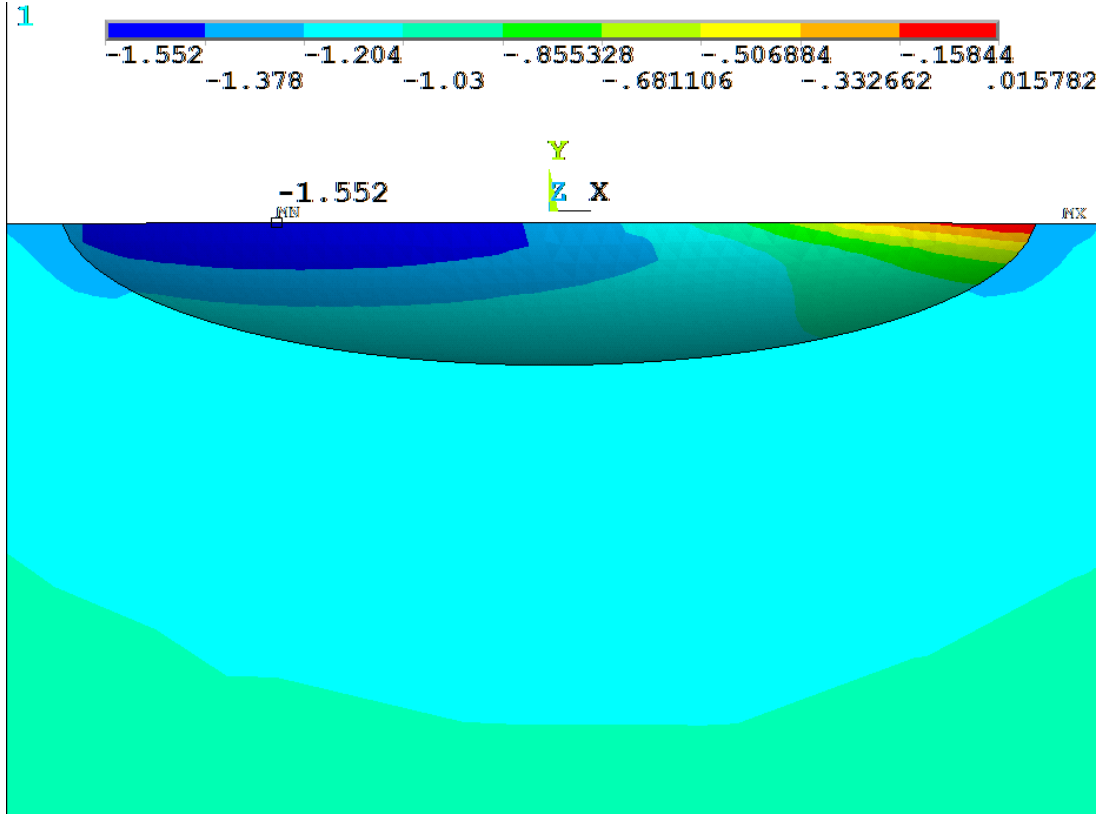
Şekil 5.16. Elips oyuk a/2c=0.1, $\theta=0^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



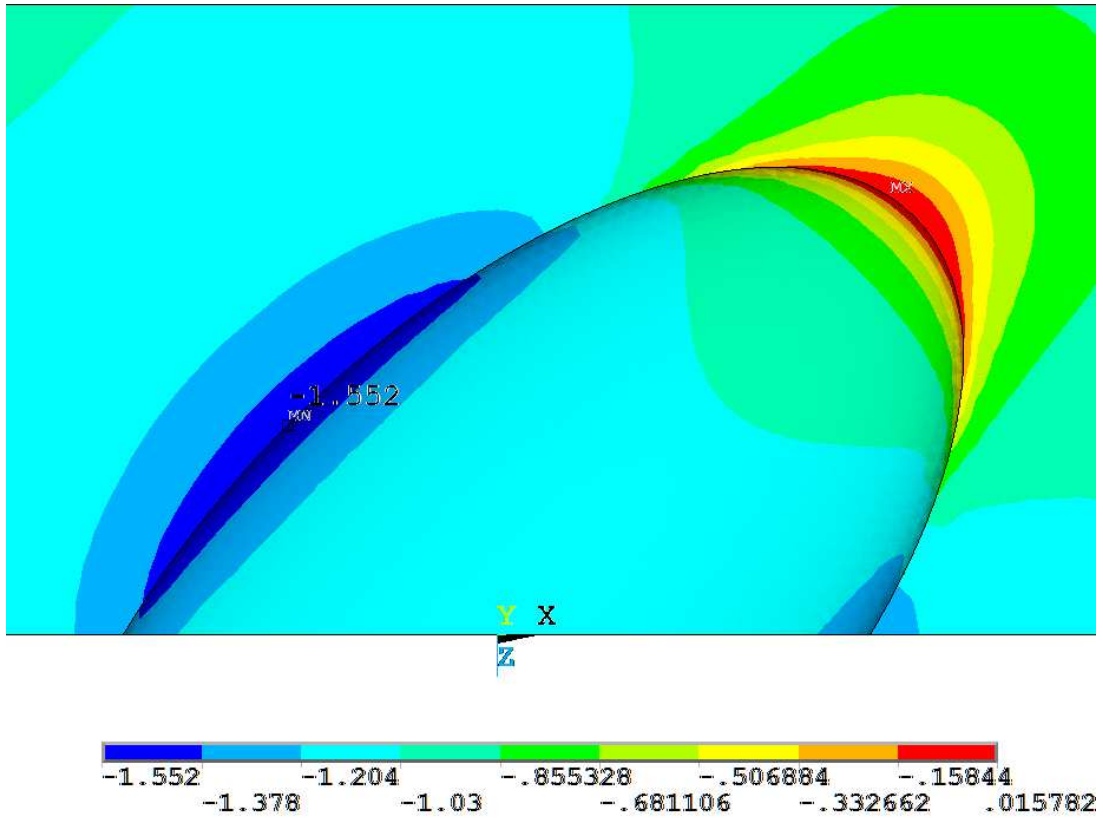
Şekil 5.17. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=0^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



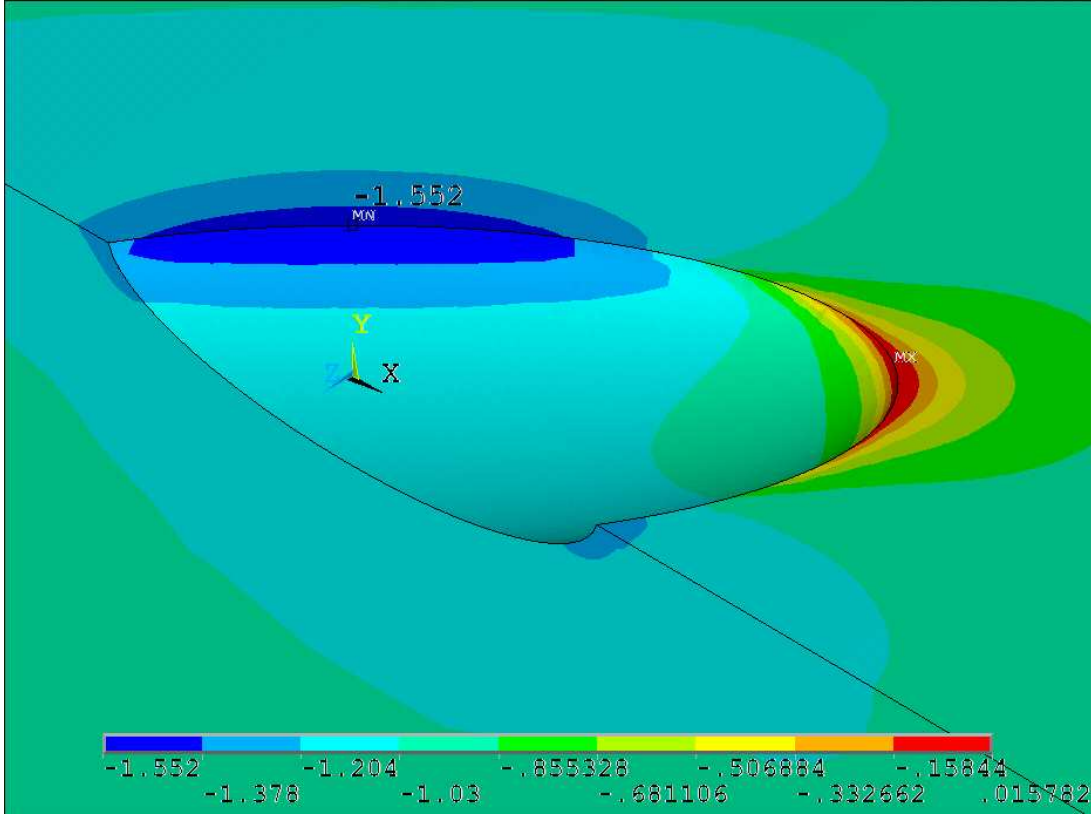
Şekil 5.18. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=0^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



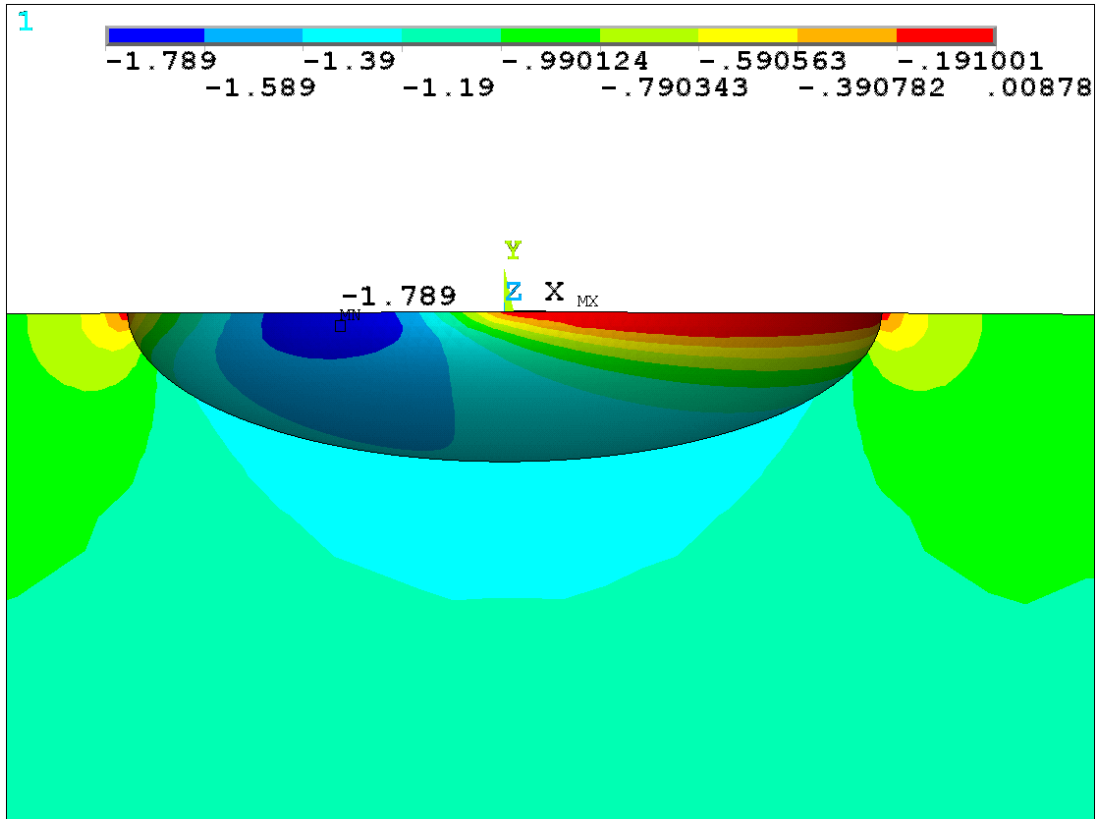
Şekil 5.19. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



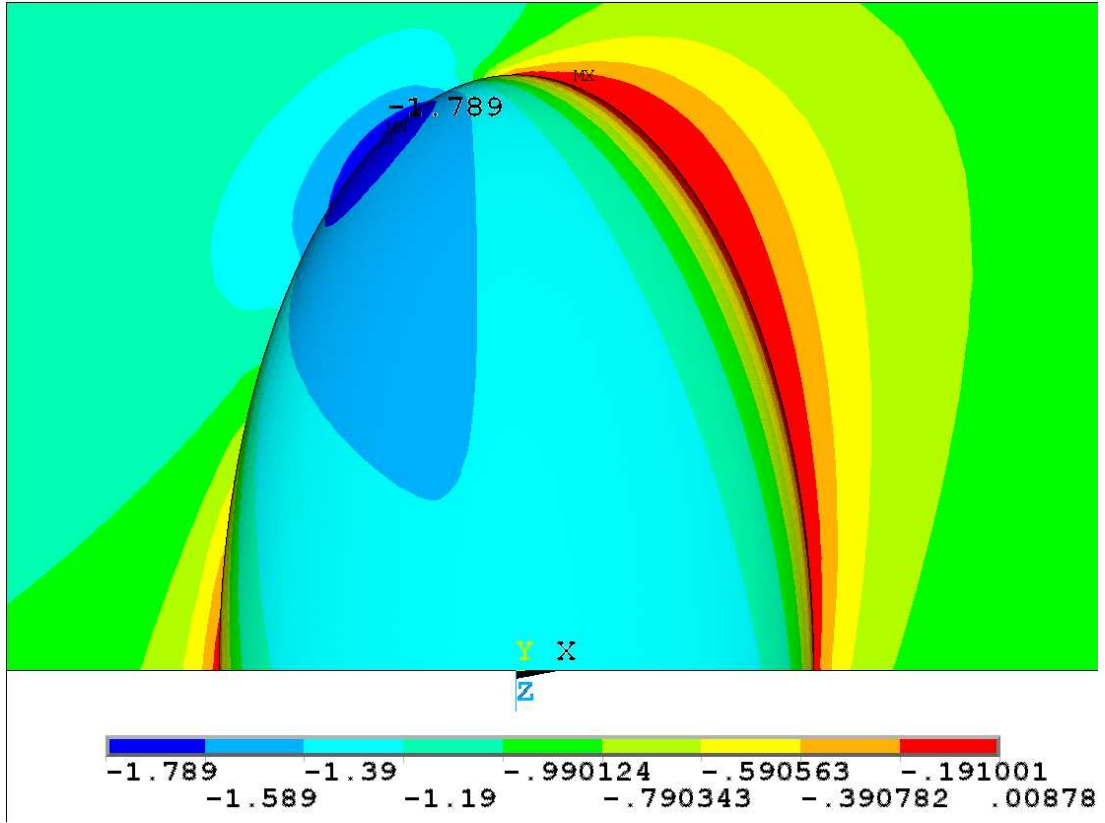
Şekil 5.20. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



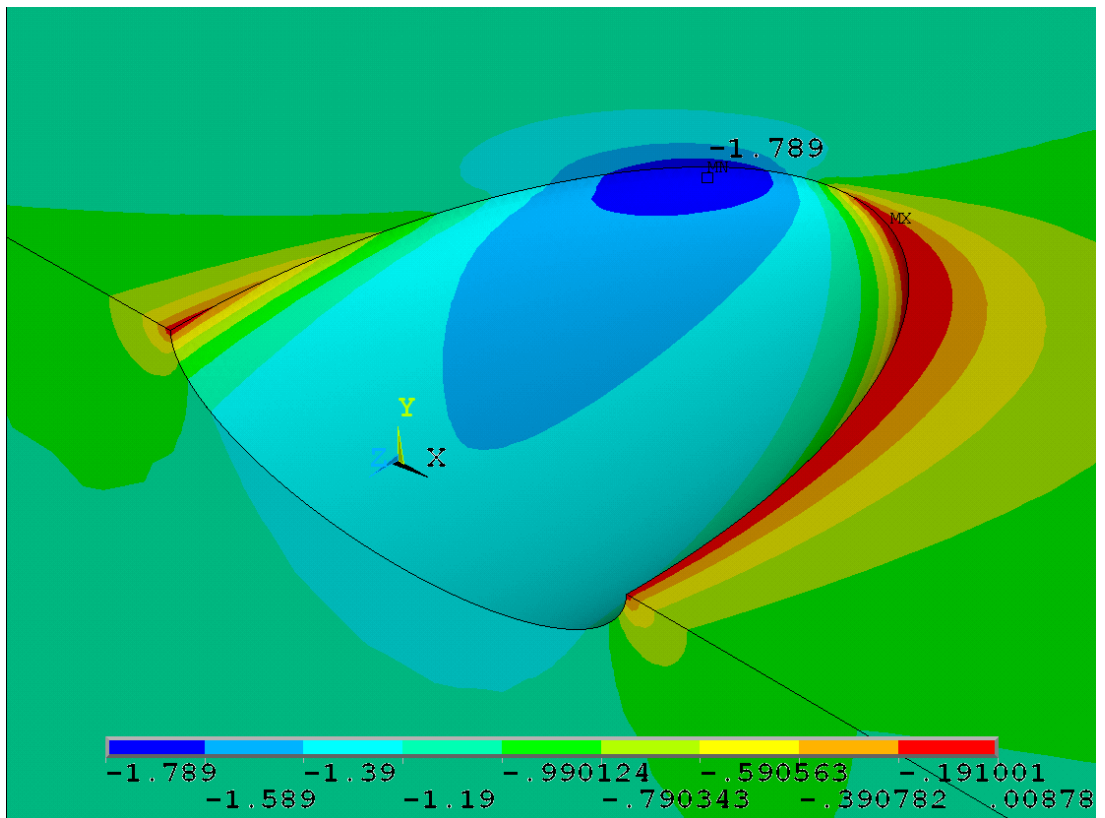
Şekil 5.21. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=45^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



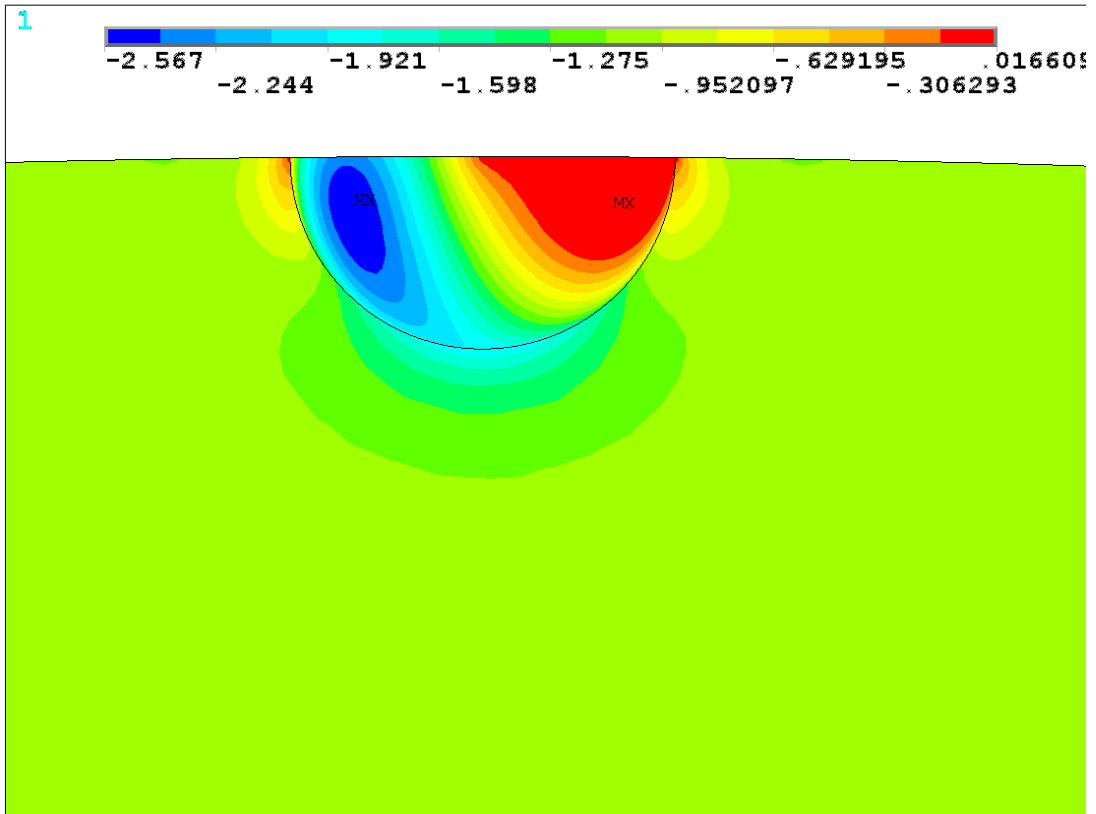
Şekil 5.22. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



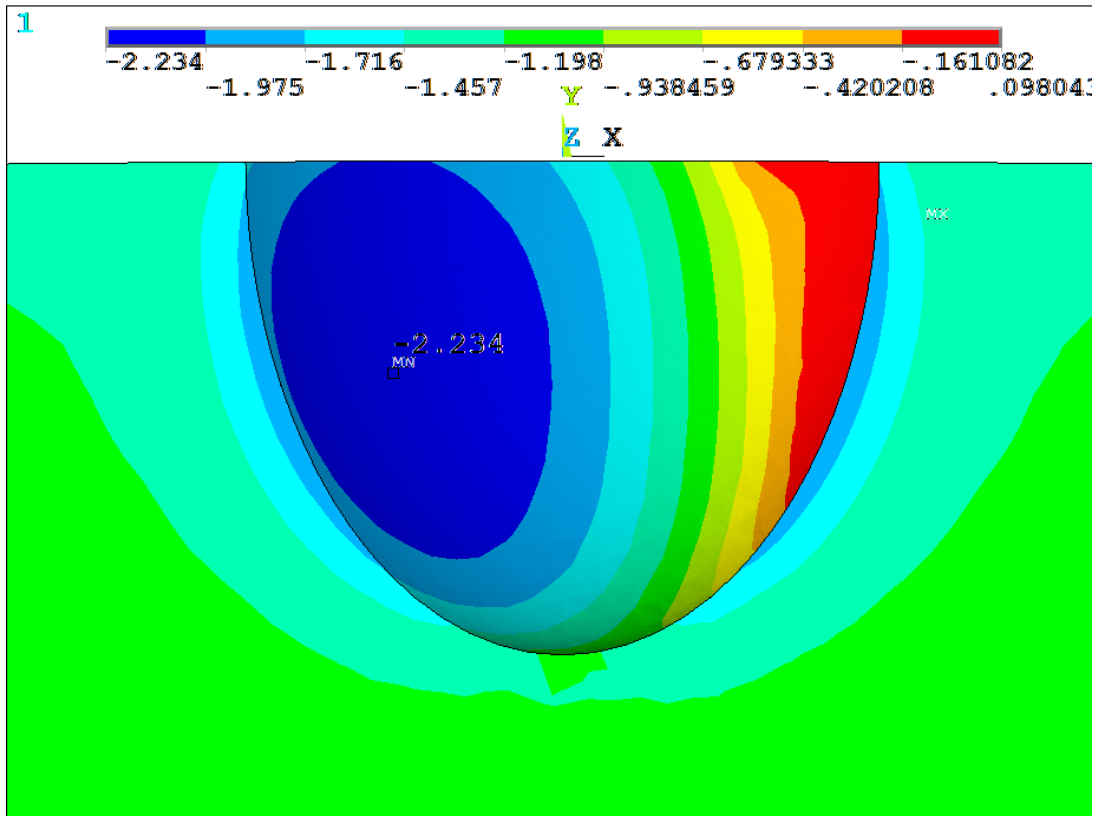
Şekil 5.23. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



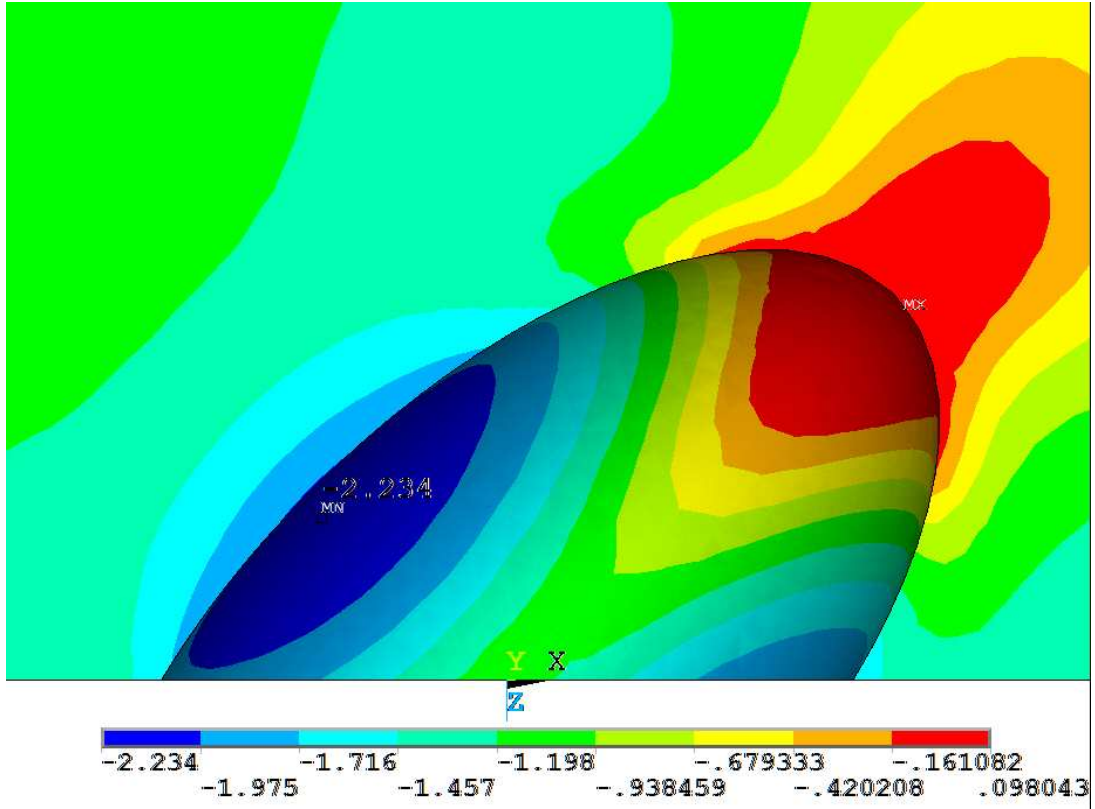
Şekil 5.24. Elips oyuk $a/2c=0.1$, $\theta=90^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



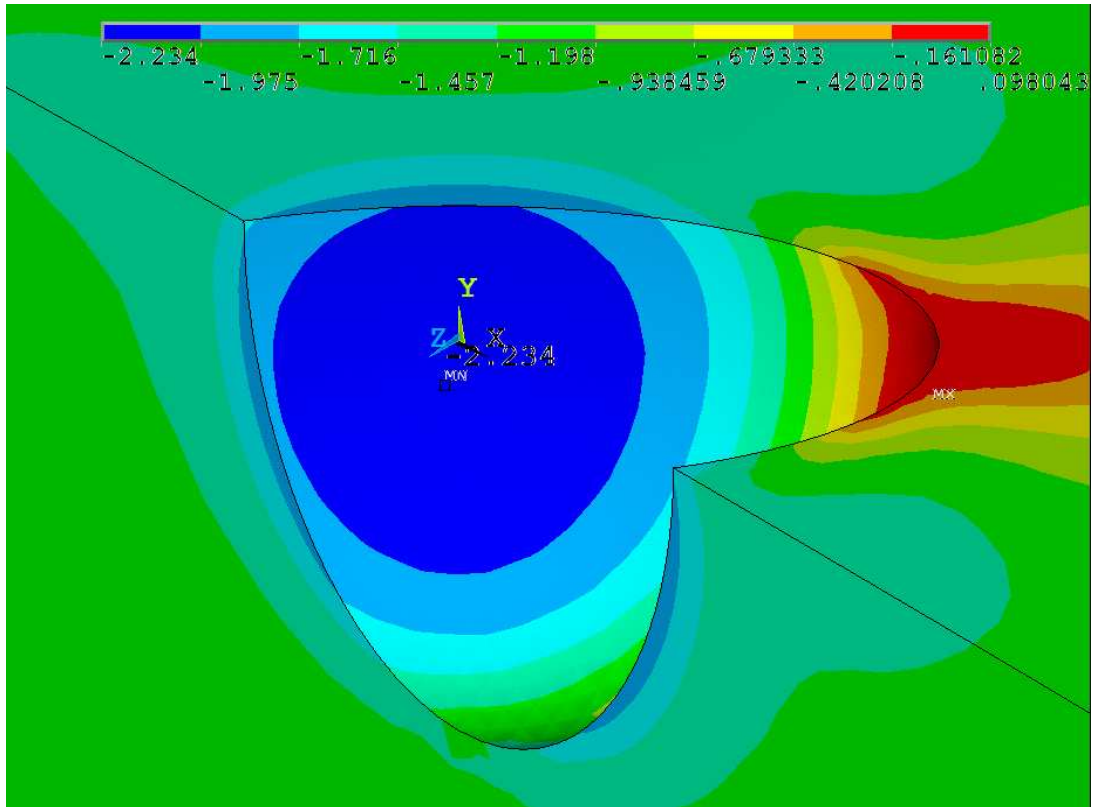
Şekil 5.25. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=0^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



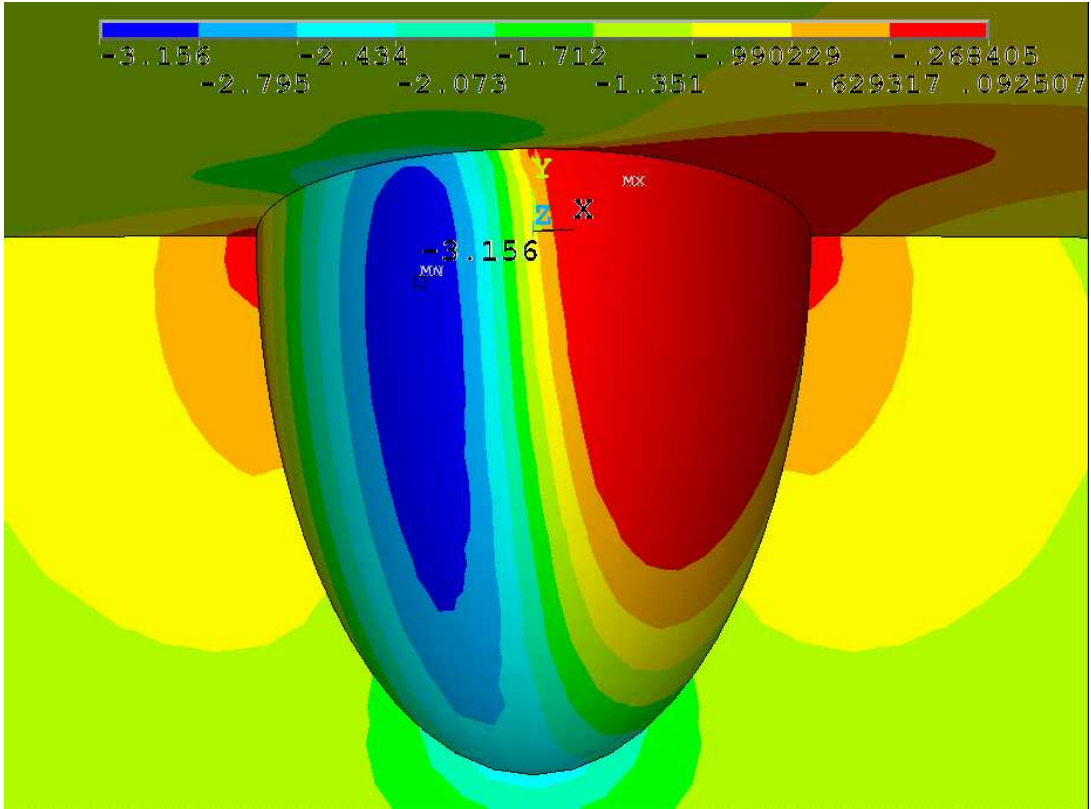
Şekil 5.26. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ önden gerilme dağılımı görünümü.



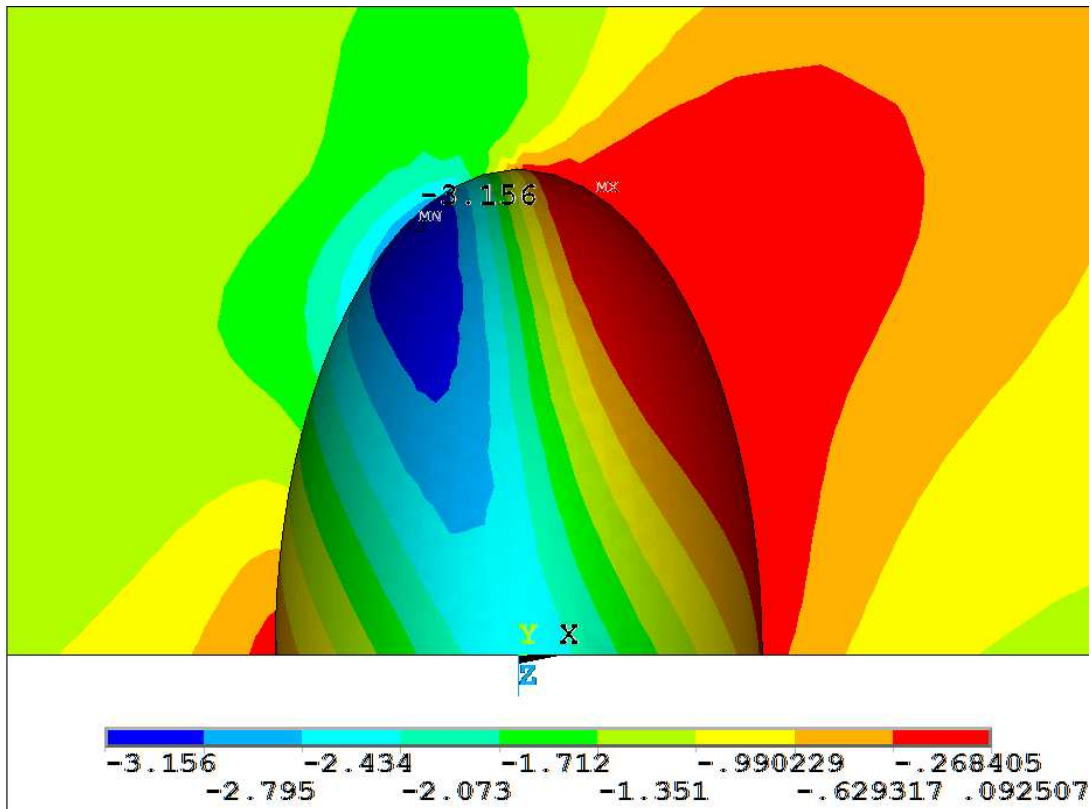
Şekil 5.27. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



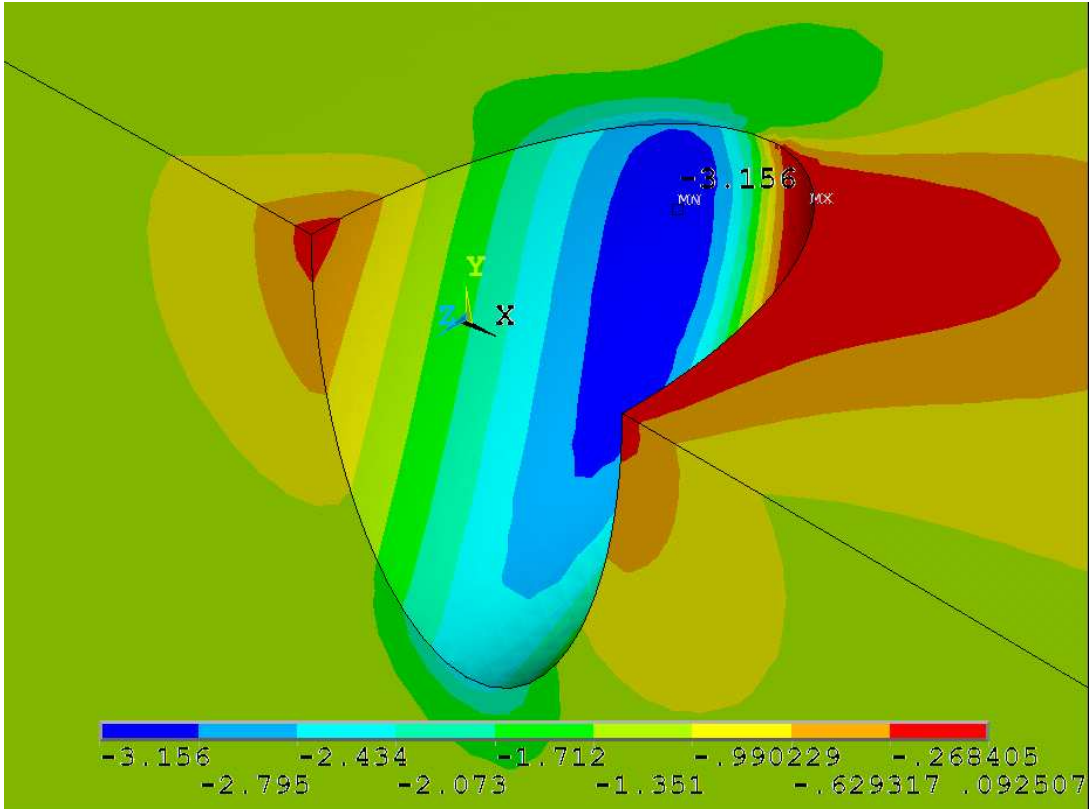
Şekil 5.28. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=45^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



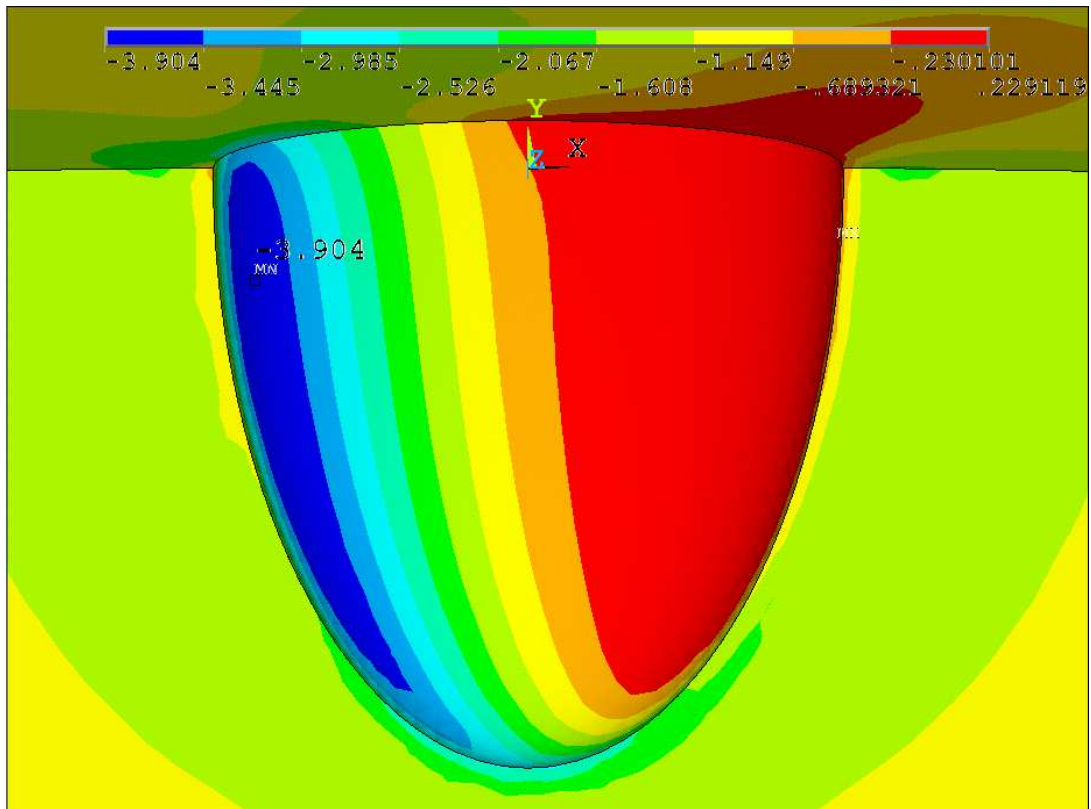
Şekil 5.29. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ in önden gerilme dağılımı görüntüsü.



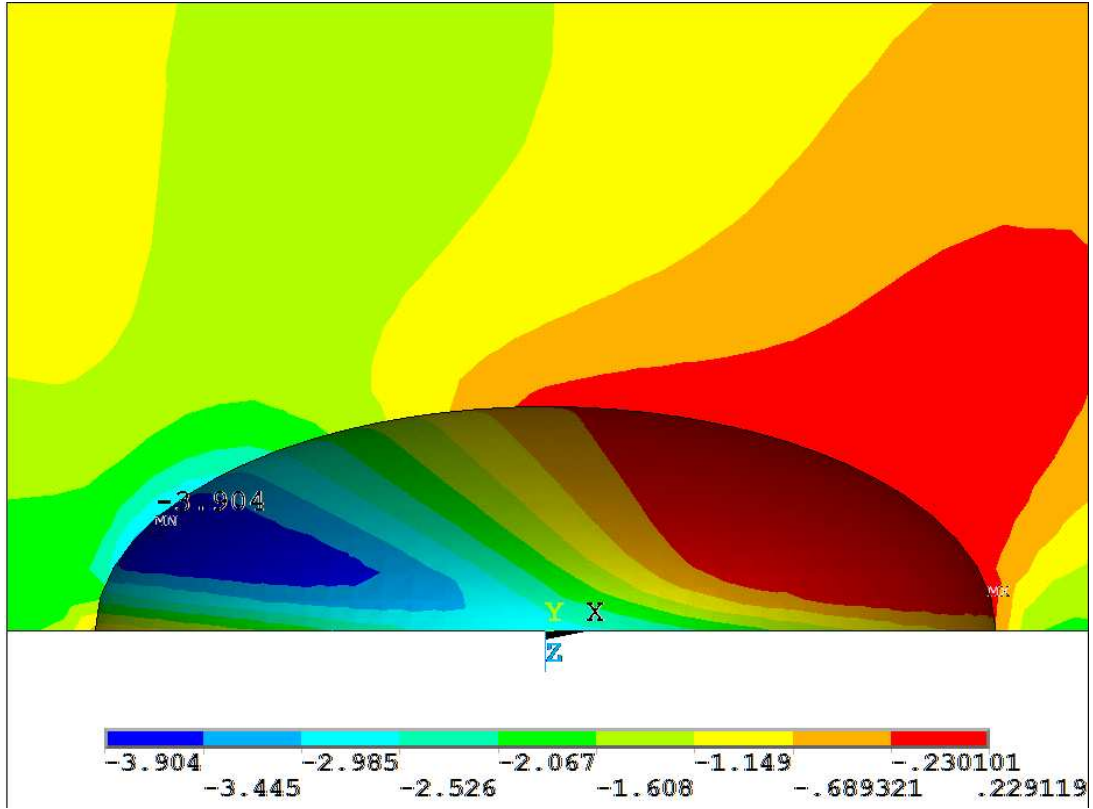
Şekil 5.30. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görüntüsü.



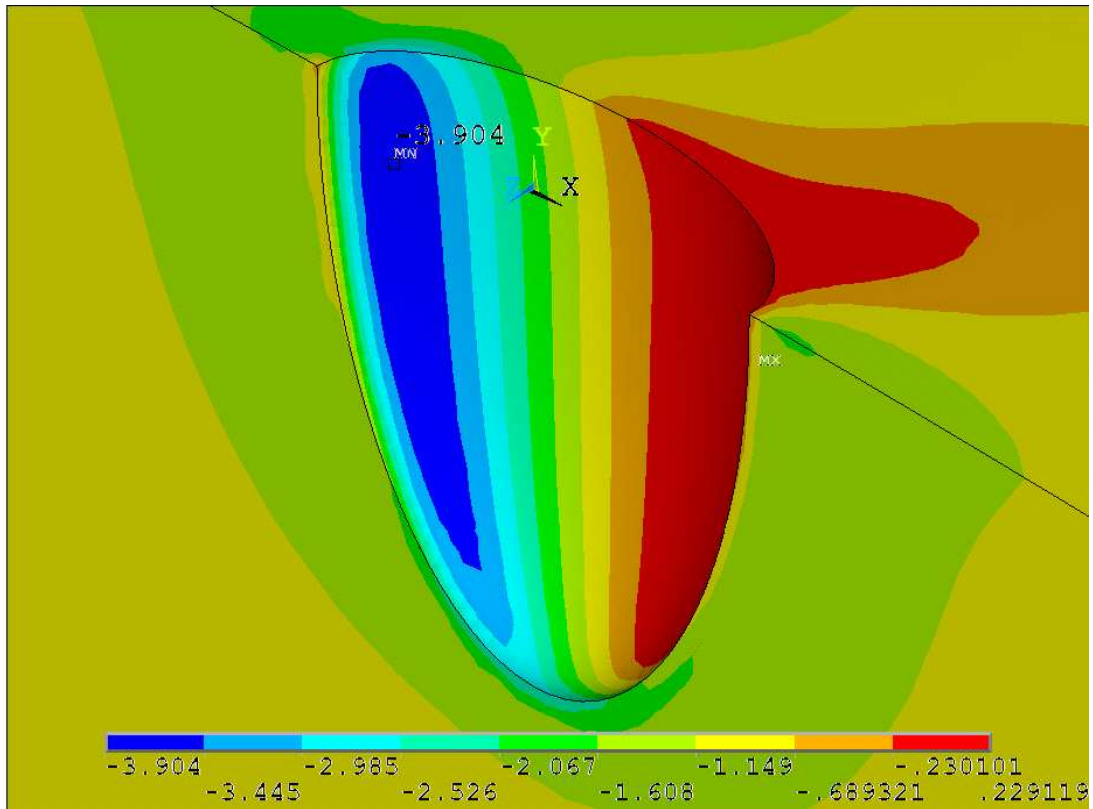
Şekil 5.31. Elips oyuk $a/2c=0.5$, $\theta=90^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



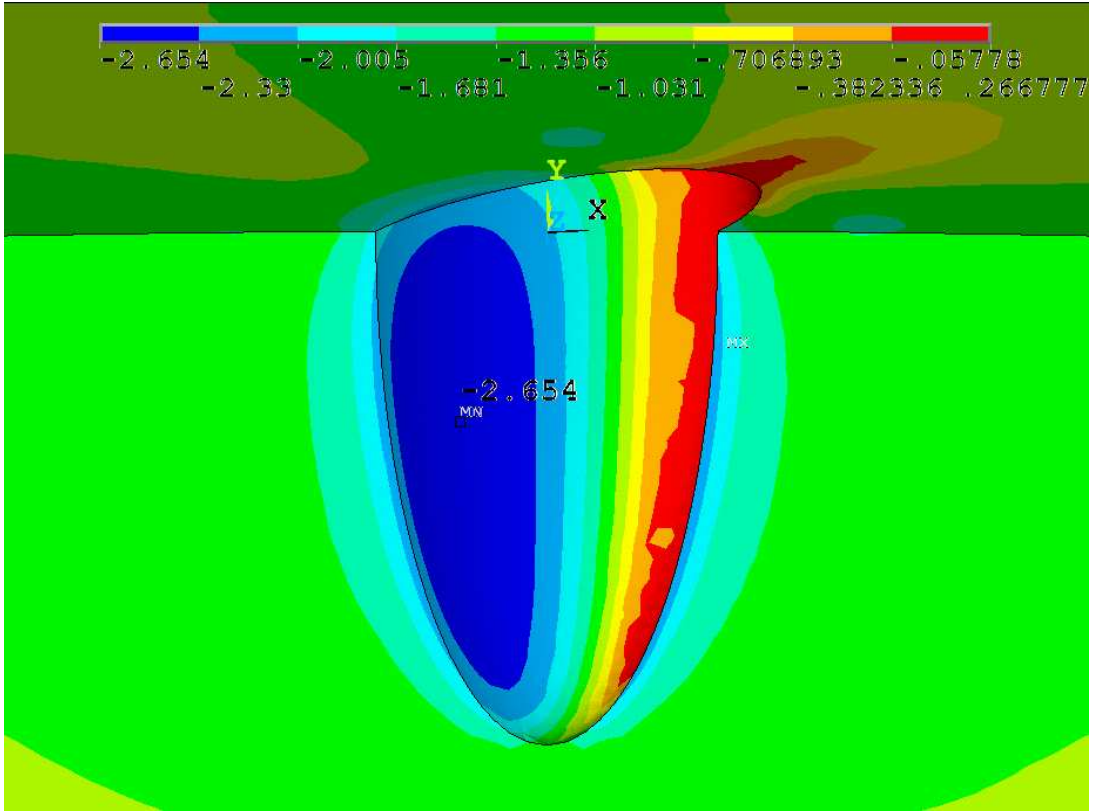
Şekil 5.32. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



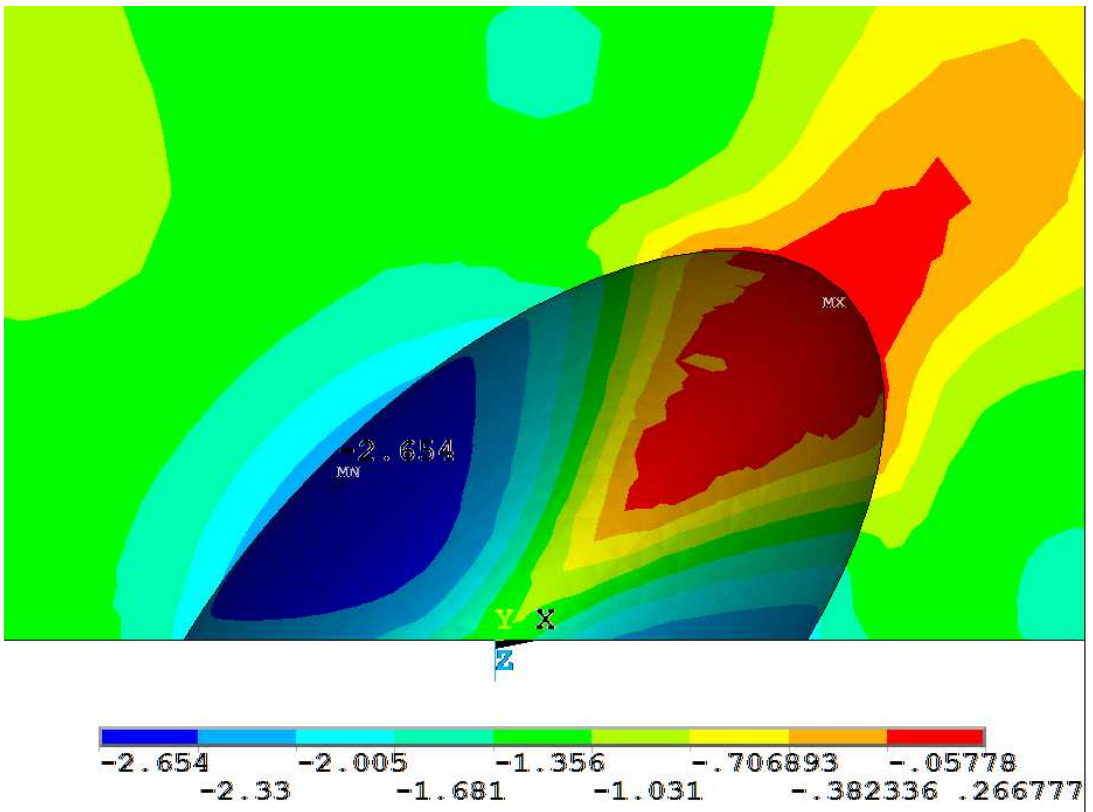
Şekil 5.33. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



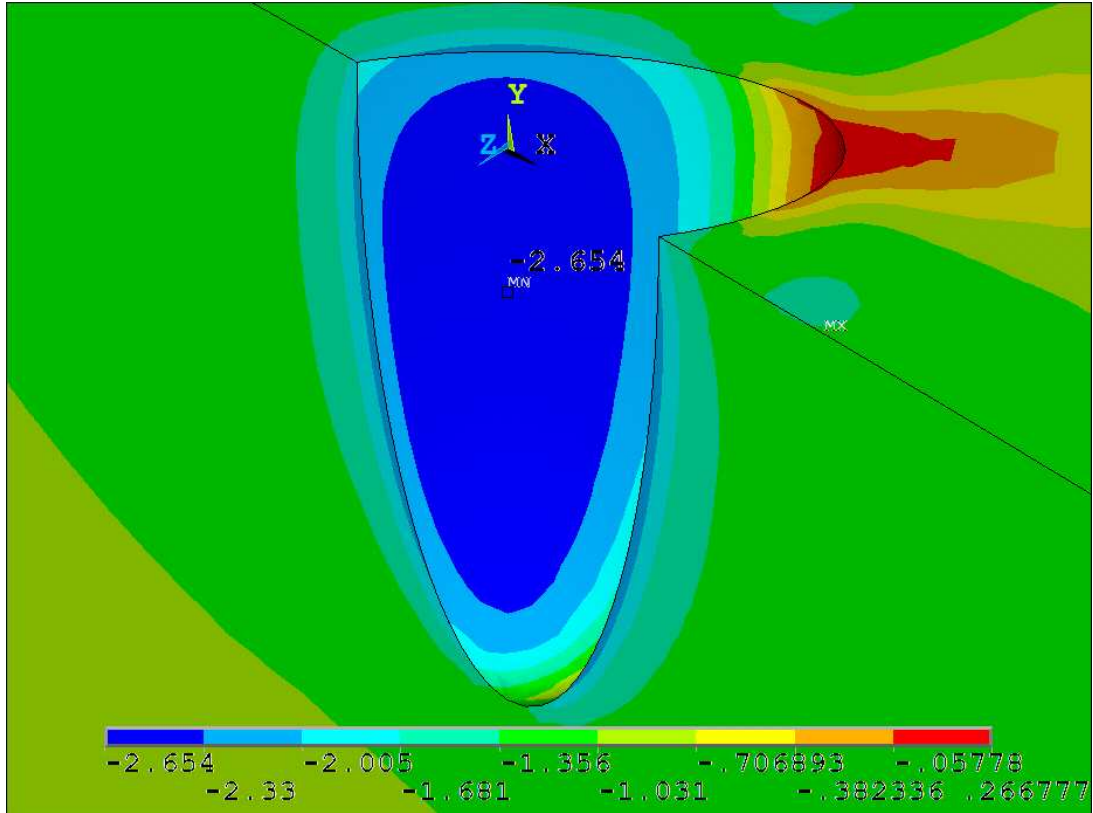
Şekil 5.34. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=0^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



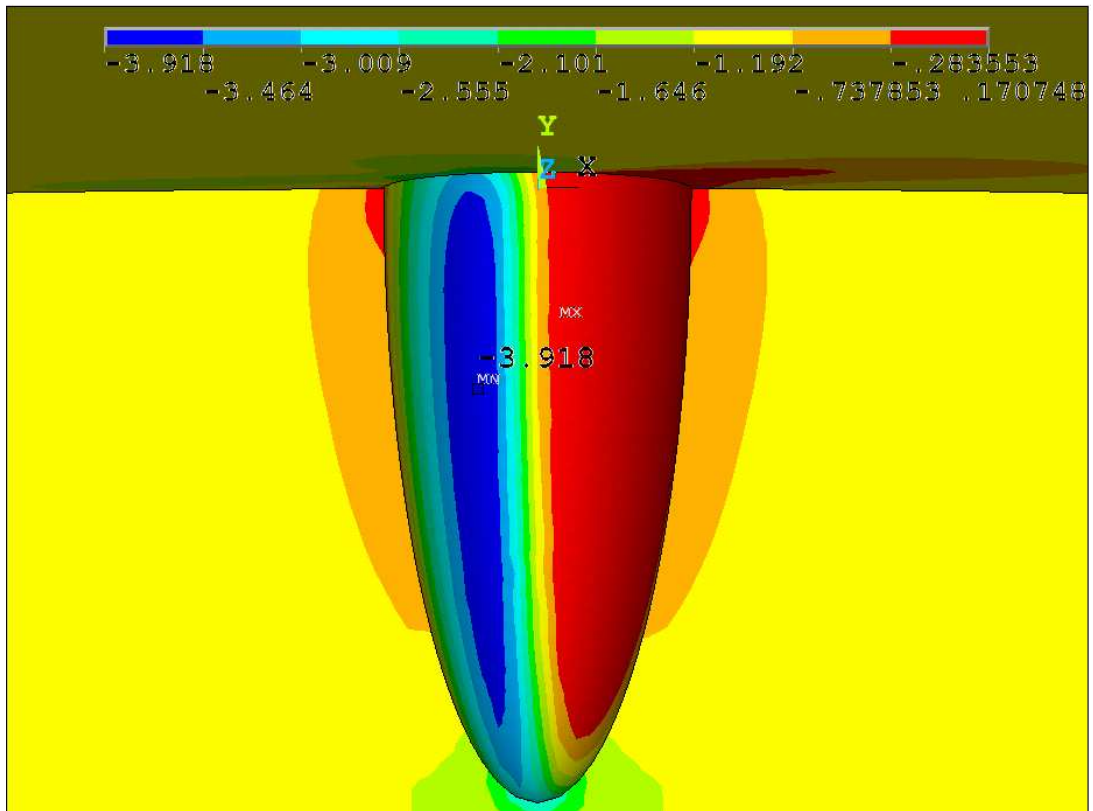
Şekil 5.35. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



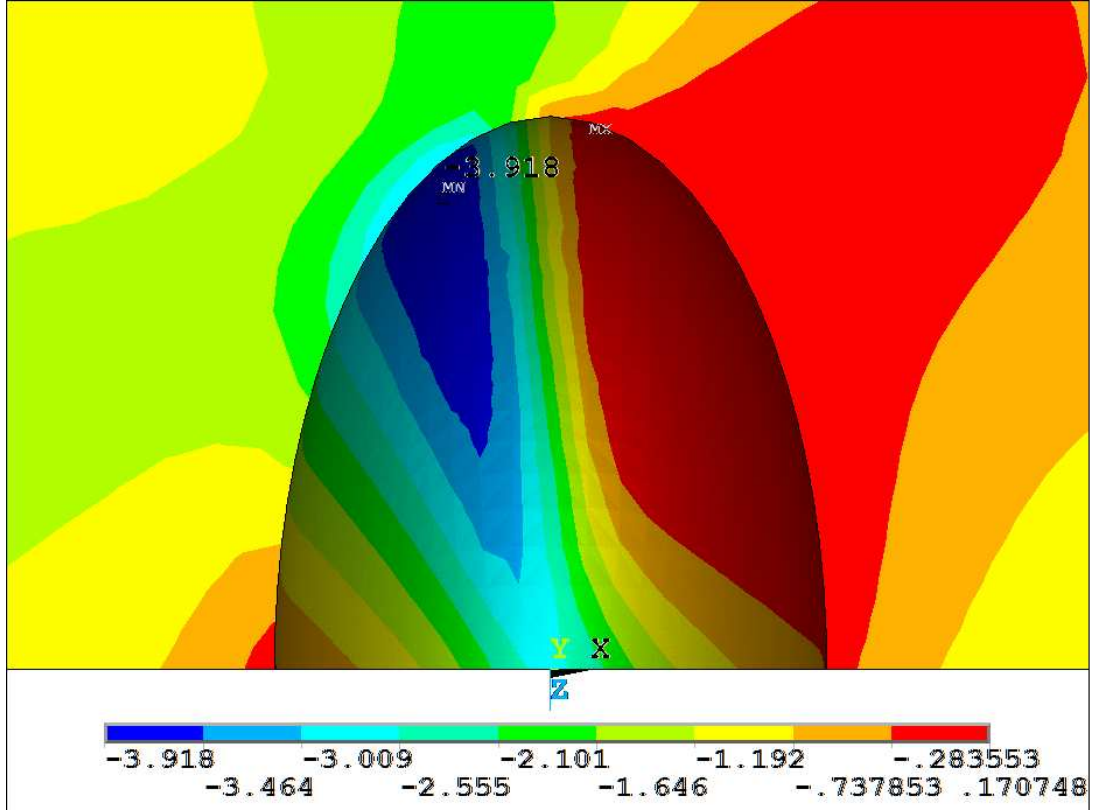
Şekil 5.36. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



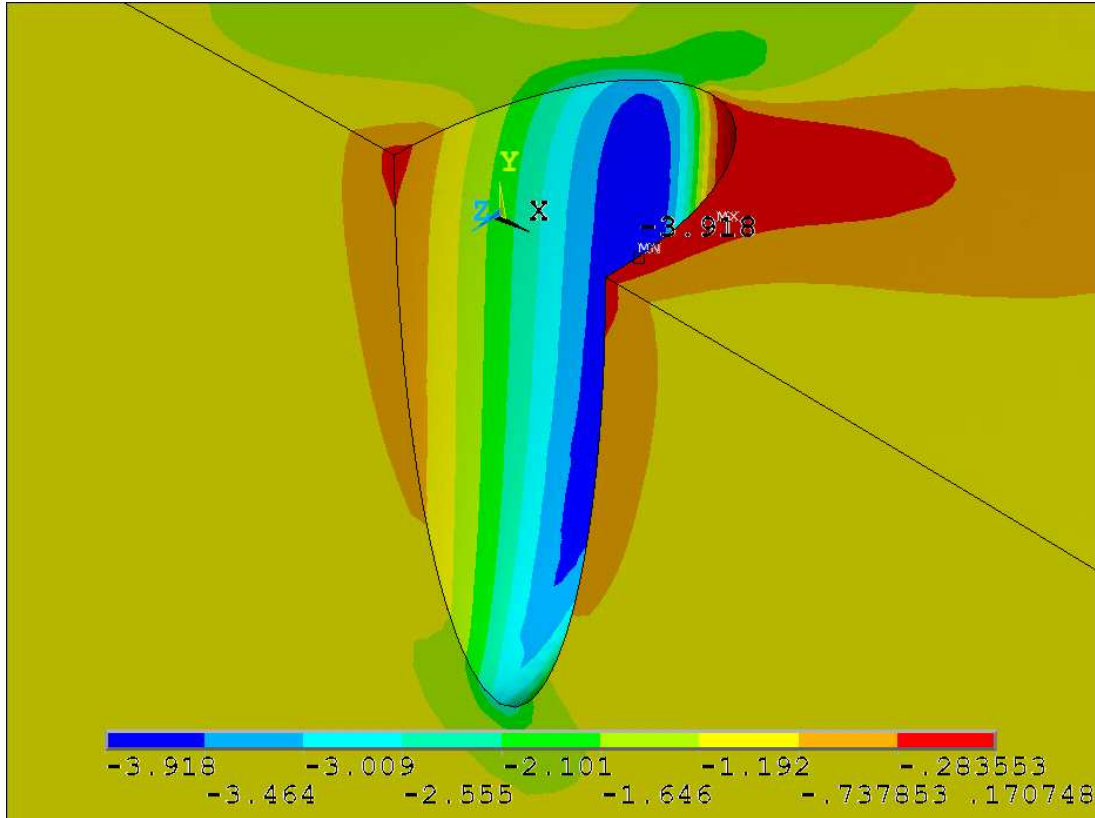
Şekil 5.37. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=45^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



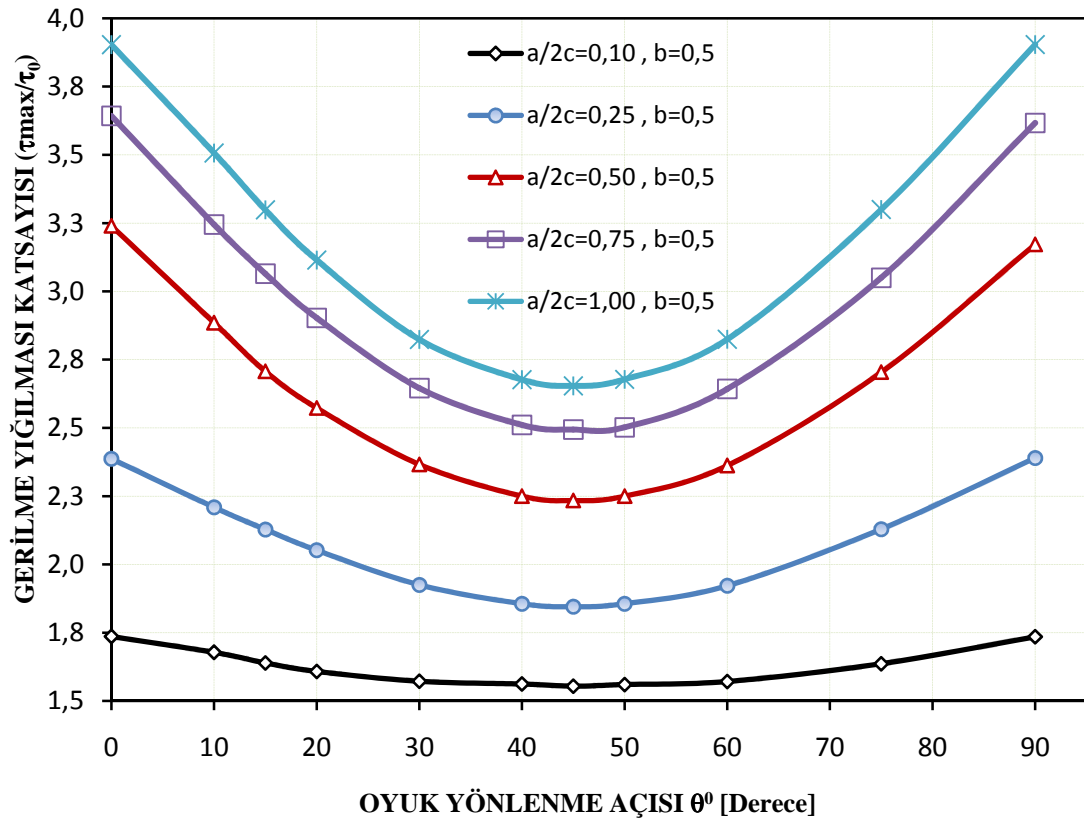
Şekil 5.38. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ in önden gerilme dağılımı görünümü.



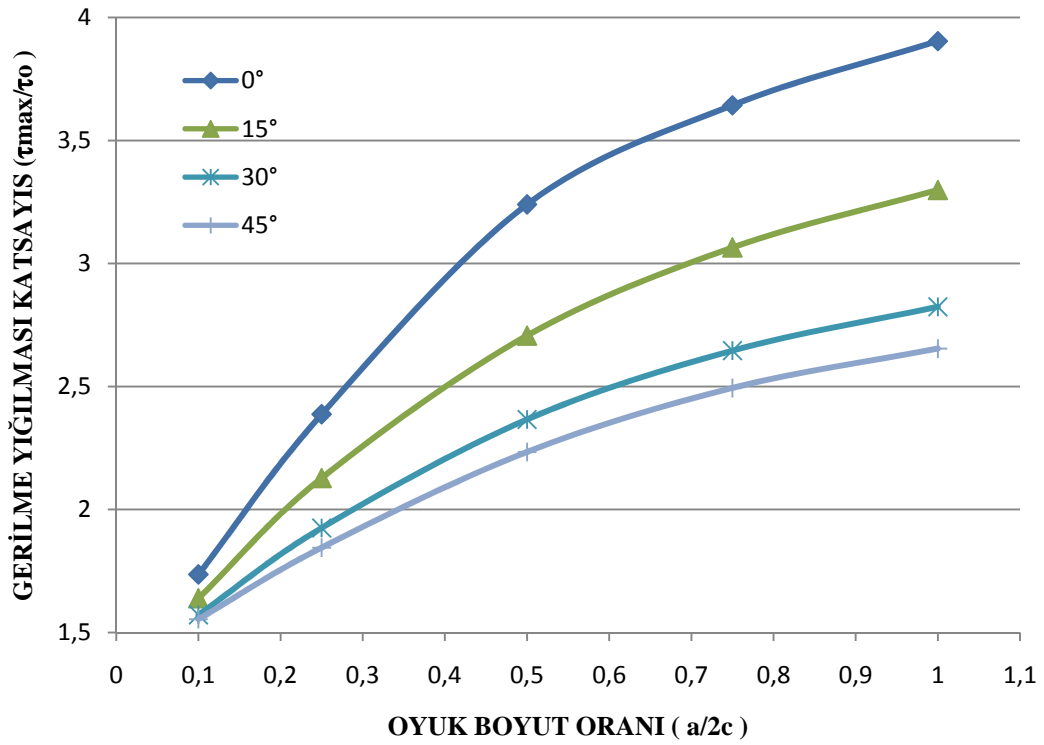
Şekil 5.39. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ in üstten gerilme dağılımı görünümü.



Şekil 5.40. Elips oyuk $a/2c=1$, $\theta=90^\circ$ in perspektif gerilme dağılımı görünümü.



Şekil 5.41. Farklı Eliptik Modeller İçin K_t 'nin Oyuk Yönlenme Açısı İle Değişimi.



Şekil 5.42. Farklı Eliptik Modeller İçin K_t 'nin Oyuk Boyut Oranı ile Değişimi..

Farklı eliptik modeller için GYK (Kt)'nin oyuk yönlenme açısı ve oyuk boyut oranı ile değişimi sırasıyla Şekil 5.41. Ve Şekil 5.42.'de verilmiştir. GYK (Kt)'nin oyuk derinliği ile beraber artışı grafiklerde görüldüğü üzere elips model oyuklar için de geçerlidir. Sığ eliptik oyukta GYK (Kt) değeri 1.736 katı kadar gerçekleşmiş olup, aynı derinliğe sahip yarı küresel oyukta bu değer 1.55 olarak bulunmuştur. Oyuk boyut oranı ($a/2c$) 1 olan küresel oyukta Kt 3.24 olup eliptik oyukta minimum 2.65 olarak gerçekleşmiştir. Grafikte oyuk derinliğinin artmasıyla beraber eğim artmaktadır. Yönlenme açısı (θ) ile GYK (Kt) değişimi Oyuk boyut oranı ($a/2c$) 0.1 olan oyukta 1.7 ile 1.55 değerleri arasında 0.2'lik bir değişim sergilerken oyuk boyut oranı ($a/2c$) 1 olan oyukta 2.5 ile 3.9 değerleri arasında 1.3'lük bir değişim gerçekleşmiştir. Oyuk yönlenme açısı (θ) 45°'lik konumdan sonra grafik bütün derinliklerde simetrik bir durum sergilemiştir. Yani GYK (Kt) 45°'lik yönlenme konumundan sonra aynı Kt değerleri bulunmuştur. Oyuk derinliğinin minimuma gidildikçe yani oyuksuz bir duruma yaklaştıkça eğrinin tamamen düz bir doğru olacağı bu grafikte açıkça beklenir bir durumdur. Küresel ve ikincil oyuk modellerinde olduğu gibi oyuk bölgesindeki maksimum gerilme sığ eliptik oyukta oyuk ağzında gerçekleşmiş iken oyuk derinliği arttıkça oyuk ağzından uzaklaşmıştır. Oyuk ağzı ile oyuk tabanı arasında gerçekleşmiştir.(Şekil 5.38.)

Burulmaya maruz bırakılan 100 mm çapındaki milin yüzeyinde farklı geometrilerdeki küresel, ikincil ve eliptik oyukların gerilme yığılması katsayısına etkileri araştırılmıştır. Grafiklerle, GYK (Kt)'nin derinlik ve yönlenme etkileri gösterilmiş yorumlanmıştır. Bu tespitler doğrultusunda, oyuk boyut oranı ($a/2c$) gerilme yığılması katsayısı değerine eki eden ana parametre olduğu anlaşılmaktadır. Malzeme yüzeyinde beklediğimiz 1MPa gerilme değeri korozif ortamlar neticesinde oluşacak oyuklar nedeniyle 4 katı hatta ikincil oyukların varlığı ile beraber 5 katı nispetinde artış gösterecektir. Eliptik model oyuklarda ise yönlenme açısı oyuk derinliği ne olursa olsun belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. . Mekanik bir yükleme durumunda yapı elemanlarında oluşan oyuk formasyonu çatlak durumuna yol açabilir. Oyuk korozyonundaki gelişim iyi bilinebilirse malzemenin yük taşıma kapasitesindeki azalma gerilme yığılması katsayısı Kt yardımıyla bulunabilir.

KAYNAKLAR

- [1] SMITH, F.S., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, İstanbul, 2001
- [2] [www.obitet.gazi.edu.tr/dersnotu/oto_sektor/korozyon anlatimi](http://www.obitet.gazi.edu.tr/dersnotu/oto_sektor/korozyon_anlatimi), Ekim 2008.
- [3] www.enerjiplatformu.org, Kasım 2008.
- [4] JONES D.A., Principles and prevention of corrosion. 2nd ed. Upper River: Prentice Hall; 1996.
- [5] Kondo Y. Prediction of fatigue crack initiation life based on pit growth. Corrosion 1989;45:7–11.
- [6] Metals handbook. Failure analysis and prevention. Fatigue failure, vol. 11. Ohio: ASM Int Metals Park; 1995.
- [7] PAO P.S., GILL S.J., FENG C.R., On fatigue crack initiation from corrosion pits in 7075-T7351 aluminum alloy. Scripta Mater 2000;43:391–6.
- [8] GENEL K. The effect of pitting on the bending fatigue performance of high-strength aluminum alloy. Scripta Mater 2007;57:297–300.
- [9] CERIT, M., GENEL K., EKSI S., numerical investigation on stress concentration of corrosion pit efa 1233engineering failure analysis 2009.
- [10] Pidaparti RM, Patel RR. Correlation between corrosion pits and stresses in Al alloys. Mater Lett 2008;62:4497–9.
- [11] TURNBULL A., Horner DA, Connolly BJ. Challenges in modelling the evolution of stress corrosion cracks from pits. Eng Fract Mech 2009;76:633–40.
- [12] DORUK, M., Korozyonun Temel Etkileri Üzerine, V.Korozyon Sempozyumu, Adana, 1996; 1-31
- [13] ÜNERİ, S., Korozyon Mühendisliği, Segem, Ankara, 1981.
- [14] ERBİL, M., Korozyon-I , Segem, Ankara, 1984

- [15] 4. VIII. Uluslararası Korozyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Proceeding of the VIII th International Corrosion Symposium) Editörlüğü, Osmangazi Üniversitesi Basımevi Eskişehir, 2002
- [16] ÜNERİ, S., Metallerin Çukurcuk Korozyonu, I. Korozyon Sempozyumu, Ankara, 1988; 1-29
- [17] SMIALOWSKA, Z.S., Inhibition of Localized Corrosion, Proceedings of the 7 th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Italy, 1990; 979-997
- [18] FONTANA, M.G., GREENE, N.D., Pitting Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1984.
- [19] www.corrosion-doctors.org/Forms-pitting/Pitting, Kasım, 2008
- [20] www.corrosion-doctors.org/Forms-pitting/shapes, Kasım, 2008
- [21] LYBERATOS, G., KOBOTIATIS, L., Inhibition of Aluminum 7075 Alloy Corrosion by Concerted Action of Nitrate and Oxalate Salts. Corrosion, 47(11), 1991; 820-824
- [22] SMIALOWSKA, Z.S., Inhibition of Localized Corrosion, Proceedings of the 7 th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Italy, 1990; 979-997
- [23] SAMUELS, B.W., SOTOUDEH, K., FOLEY, R.T., Inhibition and Acceleration of Aluminum Corrosion, Corrosion, 37(2), 1981; 92-97
- [24] NACE, Corrosion Basics An Introduction. An Official NACE Production, Houston, 1984
- [25] PELTEK, B., Köşe Kaynak Bağlantılarında Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Mustafa DİKİCİ, 26.06.1978 de Konya' da doğdu. İlk, orta eğitimini Zeynep Kamil İlköğretim Okulunda okuduktan sonra, 1996 yılında Ümraniye lisesinden mezun oldu. 1996 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2001 yılında bitirdi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü M.T.İ. bilim dalına 2008 yılında girdi ve 2011 yılında mezun oldu. 2002-2003 yılları arasında Maser Holding Sertler Tic A.Ş. de imalat mühendisi olarak çalıştı. Daha sonra 2003-2004 yılları arasında Mepsan A.Ş de saha mühendisi olarak akaryakıt ve lpg ikmal istasyonları projelendirme ve kurulum alanında görev yaptı. 2004 yılında KKK'lığı bünyesinde açılan devlet memurluğunu sınavını kazanarak 1 inci Ana Bakım Merkezi Komutanlığında makine mühendisi olarak görev yapmaya başladı. Halen burada imalat bölümünde kısım amiri olarak görev yapmaktadır.