

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

**BASINÇLI KÜRESEL KAPLARDA ÜÇ BOYUTLU
KARIŞIK MODLU ÇATLAKLARIN
PARAMETRİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre KURT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Osman AYHAN

Haziran 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, bu alana katkılarından yararlanmaya durumunda bilimsel normlara uygun olarak başka herhangi bir tez için kullanılmayacağını beyan ederim.

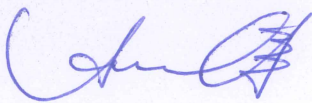
**BASINÇLI KÜRESEL KAPLARDA ÜÇ BOYUTLU
KARIŞIK MODLU ÇATLAKLARIN
PARAMETRİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

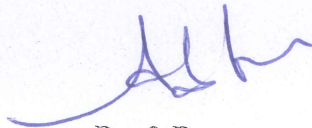
Emre KURT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 08.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Ali Osman AYHAN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Abdullah MİMAROĞLU
Üye



Prof. Dr.
Mehmet Ali GÜLER
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emre KURT

08.06.2017

TEŞEKKÜR

Hazırlanmış olan bu tez süresi zarfında kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile çalışma konusunun belirlenmesinden, çalışmanın tamamlanmasına kadar beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen sayın danışman hocam Prof.Dr.Ali Osman AYHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışma süresince verdiği fikir desteği ve yardımları için sayın Yrd.Doç.Dr.Sedat İriç'e, 113M407 nolu araştırma projesi kapsamında hazırlamış olduğum bu çalışmayı finansal olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK), Eğitim hayatım boyunca bana sağladıkları destek için Ailem fertlerime, Proje çalışma arkadaşlarım, Mehmet Faruk YAREN, Murat BOZKURT, Hakan DÜNDAR ve Oğuzhan DEMİR'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	xxvii
ÖZET.....	xxviii
SUMMARY	xxix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Kırılma Mekaniği	1
1.2. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği	2
BÖLÜM 2.	
BASINÇLI KÜRESEL KAPLAR	4
2.1. Çatlak İçeren Basınçlı Küresel Kaplar ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar	6
BÖLÜM 3	
BASINÇLI KÜRESEL KAPLARDA KARIŞIK MODLU ÇATLAKLARIN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ	8
3.1. Küresel Basınçlı Kapların Analizi İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi...	12
3.1.1. ANSYS kullanılarak çatlaksız basınçlı küresel kap geometrilerine çatlak yerleştirme ve sınır şartlarının uygulanması	13
3.1.2. Basınçlı küresel kaplarda yüzey çatlak gerilme-Şiddet faktörlerinin doğrulanması	22

3.2. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.1$ Durumu).....	24
3.3. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.25$ Durumu).....	45
3.4. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.50$ Durumu).....	66
3.5. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=2.00$ Durumu).....	87
3.6. İç Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.10$ Durumu)	108
3.7. İç Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.25$ Durumu)	128
3.8. İç Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.50$ Durumu)	148
3.9. İç Yüzey Çatlağı($R_o/R_i=2.00$ Durumu)	172

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	199
KAYNAKLAR	201
ÖZGEÇMİŞ	203

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Çatlağın derinlik yönündeki uzunluğu
c	: Çatlağın yüzeyindeki uzunluğu
FCPAS	: Fracture and Crack Propagation Analysis System (Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi)
GŞF	: Gerilme-Şiddet faktörü
P	: Küresel kaba etkiyen iç basınç
Ri	: Küresel yapının iç çapı
Ro	: Küresel yapının dış çapı
K0	: Normalizasyon için kullanılan GŞF sembolü
K	: Gerilme-Şiddet faktörü sembolü
KI	: Mod I yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
KII	: Mod II yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
KIII	: Mod III yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
Q	: Eliptik çatlak için şekil faktörü
t	: Et kalınlığı
$\sigma_{\theta\theta}$	: Ortalama çevresel gerilme
Ψ	: Çatlak önü konumsal açısı
θ	: Çatlağın yatay eksen ile arasındaki açı
σ_{rr}	: Normal gerilme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Çatlak deformasyon modları, a (açılma modu), b (kayma modu), c (yırılma modu)	2
Şekil 2.1.	Küresel basınçlı tank üzerinde kuvvetler	5
Şekil 3.1.	Basınçlı küresel kaplarda iç veya dış yüzeylerde çatlak bulunması durumları için katı model görüşleri	9
Şekil 3.2.	Basınçlı küresel kaplarda dış yüzeyde çatlak bulunması durumu için küresel yapı (a) ve çatlak geometrisi (b)	10
Şekil 3.3.	Basınçlı küresel kaplarda iç yüzeyde çatlak bulunması durumu için küresel yapı (a) ve çatlak geometrisi(b)	10
Şekil 3.4.	İç Basınca Sahip Basınçlı Küresel Kap Modeli	14
Şekil 3.5.	Küresel basınçlı kap için çatlak elipsi profili	15
Şekil 3.6.	İç yüzeyde bulunan çatlağın çatlak ucu hacimleri	15
Şekil 3.7.	Küresel basınçlı kapta iç yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü...	16
Şekil 3.8.	20 Düğüm noktalı Solid-95 elemanı	17
Şekil 3.9.	FCPAS v2.0'nin ana penceresi	18
Şekil 3.10.	FCPAS ana penceresinden “Fracture Analysis using ANSYS Model” butonuna tıkladıktan sonra açılan pencere	18
Şekil 3.11.	FCPAS ile çatlak analizi için çalışma şeması	19
Şekil 3.12.	Küresel basınçlı kapta dış yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü..	21
Şekil 3.13.	Küresel basınçlı kapta dış yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli sınır şartları ve analiz sonucu sonrası gerilme dağılımları	21
Şekil 3.14.	İç basınca sahip $R_o/R_i=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan birinci analiz	23

Şekil 3.15.	İç basınca sahip $R_o/R_i=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan ikinci analiz	23
Şekil 3.16.	İç basınca sahip $R_o/R_i=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan üçüncü analiz	24
Şekil 3.17.	Basıncılı küresel kapta iç yüzeyde çatlak olması durumu ve R_o/R_i oranının 1.1 olduğu durum için elde edilen sonuçlar ile Hakimi'nin sonuçlarının karşılaştırılması	24
Şekil 3.18.	Küresel basıncılı kapta iç yüzeyde çatlak olması durumu ve R_o/R_i oranının 1.5 olduğu durum için elde edilen sonuçlar ile Hakimi'nin sonuçlarının karşılaştırılması	24
Şekil 3.19.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$ ve $a/c=0.25$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap, kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	25
Şekil 3.20.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	27
Şekil 3.21.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	28
Şekil 3.22.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	28
Şekil 3.23.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	29
Şekil 3.24.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	29
Şekil 3.25.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	30
Şekil 3.26.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	30
Şekil 3.27.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	31
Şekil 3.28.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	31
Şekil 3.29.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	32

Şekil 3.30.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	32
Şekil 3.31.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	33
Şekil 3.32.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	33
Şekil 3.33.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	34
Şekil 3.34.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	34
Şekil 3.35.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	35
Şekil 3.36.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	35
Şekil 3.37.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	36
Şekil 3.38.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	36
Şekil 3.39.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	37
Şekil 3.40.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	37
Şekil 3.41.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	38
Şekil 3.42.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	38
Şekil 3.43.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	39
Şekil 3.44.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	39
Şekil 3.45.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	40

Şekil 3.46.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	40
Şekil 3.47.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	41
Şekil 3.48.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	41
Şekil 3.49.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	42
Şekil 3.50.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	42
Şekil 3.51.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	43
Şekil 3.52.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	43
Şekil 3.53.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	44
Şekil 3.54.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	44
Şekil 3.55.	$R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	45
Şekil 3.56.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 30 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli	46
Şekil 3.57.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	48
Şekil 3.58.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	48
Şekil 3.59.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	49
Şekil 3.60.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	49
Şekil 3.61.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	50

Şekil 3.62.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	50
Şekil 3.63.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	51
Şekil 3.64.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	51
Şekil 3.65.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	52
Şekil 3.66.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	52
Şekil 3.67.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	53
Şekil 3.68.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	53
Şekil 3.69.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	54
Şekil 3.70.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	54
Şekil 3.71.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	55
Şekil 3.72.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	55
Şekil 3.73.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	56
Şekil 3.74.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	56
Şekil 3.75.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	57
Şekil 3.76.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	57
Şekil 3.77.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	58

Şekil 3.78.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	58
Şekil 3.79.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	59
Şekil 3.80.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	59
Şekil 3.81.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	60
Şekil 3.82.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	60
Şekil 3.83.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	61
Şekil 3.84.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	61
Şekil 3.85.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	62
Şekil 3.86.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	62
Şekil 3.87.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	63
Şekil 3.88.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	63
Şekil 3.89.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	64
Şekil 3.90.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	64
Şekil 3.91.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	65
Şekil 3.92.	$R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	65
Şekil 3.93.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ ve 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	66

Şekil 3.94.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	68
Şekil 3.95.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	69
Şekil 3.96.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	69
Şekil 3.97.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	70
Şekil 3.98.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	70
Şekil 3.99.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	71
Şekil 3.100.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	71
Şekil 3.101.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	72
Şekil 3.102.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	72
Şekil 3.103.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	73
Şekil 3.104.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	73
Şekil 3.105.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	74
Şekil 3.106.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	74
Şekil 3.107.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	75
Şekil 3.108.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	75
Şekil 3.109.	$R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	76

Şekil 3.110. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	76
Şekil 3.111. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	77
Şekil 3.112. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	77
Şekil 3.113. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	78
Şekil 3.114. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	78
Şekil 3.115. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	79
Şekil 3.116. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	79
Şekil 3.117. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	80
Şekil 3.118. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	80
Şekil 3.119. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	81
Şekil 3.120. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	81
Şekil 3.121. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	82
Şekil 3.122. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	82
Şekil 3.123. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	83
Şekil 3.124. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	83
Şekil 3.125. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	84

Şekil 3.126. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	84
Şekil 3.127. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	85
Şekil 3.128. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	85
Şekil 3.129. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	86
Şekil 3.130. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.00$ ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	87
Şekil 3.131. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	89
Şekil 3.132. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlağın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları	89
Şekil 3.133. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	90
Şekil 3.134. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	90
Şekil 3.135. $R_o/R_i=2.0$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet Faktörleri	91
Şekil 3.136. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	91
Şekil 3.137. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	92
Şekil 3.138. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	92
Şekil 3.139. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	93
Şekil 3.140. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	93

Şekil 3.141. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	94
Şekil 3.142. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	94
Şekil 3.143. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	95
Şekil 3.144. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	95
Şekil 3.145. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.	96
Şekil 3.146. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	96
Şekil 3.147. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	97
Şekil 3.148. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	97
Şekil 3.149. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	98
Şekil 3.150. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.5$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	98
Şekil 3.151. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	99
Şekil 3.152. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	99
Şekil 3.153. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	100
Şekil 3.154. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	100
Şekil 3.155. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	101
Şekil 3.156. $R_o/R_i=2.0$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	101

Şekil 3.157. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	102
Şekil 3.158. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	102
Şekil 3.159. $R_o/R_i=2.0$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	103
Şekil 3.160. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	103
Şekil 3.161. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	104
Şekil 3.162. $R_o/R_i=2.0$, $a/t=0.75$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	104
Şekil 3.163. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	105
Şekil 3.164. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	105
Şekil 3.165. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	106
Şekil 3.166. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	106
Şekil 3.167. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	107
Şekil 3.168. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	107
Şekil 3.169. $R_o/R_i=1.1$ için küresel kap geometrisi ve kayma gerilmesi ile mod-II gerilme-şiddet faktörü eğilimlerinin karşılaştırıldığı yüzeyler.....	108
Şekil 3.170. $R_o/R_i=2.0$ için küresel kap geometrisi ve kayma gerilmesi ile mod-II gerilme-şiddet faktörü eğilimlerinin karşılaştırıldığı yüzeyler.....	108
Şekil 3.171. $R_o/R_i=1.1$ için küresel yapının dış yüzeyinden iç yüzeyine kayma gerilmesi değerleri	109

Şekil 3.172. $R_o/R_i=2.0$ için küresel yapının dış yüzeyinden iç yüzeyine kayma gerilmesi gerilme	109
Şekil 3.173. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	110
Şekil 3.174. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	112
Şekil 3.175. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 60 derece çatlak açısı için küresel kap, kaptaki çatlağın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları	112
Şekil 3.176. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	113
Şekil 3.177. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	113
Şekil 3.178. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	114
Şekil 3.179. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	114
Şekil 3.180. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	115
Şekil 3.181. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	115
Şekil 3.182. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	116
Şekil 3.183. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.25, a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	116
Şekil 3.184. $R_o/R_i=1.1, a/t=0.25, a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	117
Şekil 3.185. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.50, a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	117
Şekil 3.186. $R_o/R_i=1.10, a/t=0.50, a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	118

Şekil 3.187. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	118
Şekil 3.188. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	119
Şekil 3.189. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	119
Şekil 3.190. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.5$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	120
Şekil 3.191. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	120
Şekil 3.192. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	121
Şekil 3.193. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	121
Şekil 3.194. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	122
Şekil 3.195. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	122
Şekil 3.196. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.5$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	123
Şekil 3.197. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	123
Şekil 3.198. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	124
Şekil 3.199. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	124
Şekil 3.200. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	125
Şekil 3.201. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	125
Şekil 3.202. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	126

Şekil 3.203. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	126
Şekil 3.204. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.0$ için mod-II Normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	127
Şekil 3.205. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	127
Şekil 3.206. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	128
Şekil 3.207. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	128
Şekil 3.208. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	129
Şekil 3.209. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.00$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap,kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli	130
Şekil 3.210. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli	132
Şekil 3.211. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları	132
Şekil 3.212. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	133
Şekil 3.213. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	133
Şekil 3.214. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	134
Şekil 3.215. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	134
Şekil 3.216. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	135
Şekil 3.217. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	135

Şekil 3.218. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	136
Şekil 3.219. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	136
Şekil 3.220. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	137
Şekil 3.221. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	137
Şekil 3.222. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	138
Şekil 3.223. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	138
Şekil 3.224. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	139
Şekil 3.225. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	139
Şekil 3.226. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	140
Şekil 3.227. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	140
Şekil 3.228. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	141
Şekil 3.229. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	141
Şekil 3.230. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	142
Şekil 3.231. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	142
Şekil 3.232. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	143
Şekil 3.233. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	143

Şekil 3.234. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	144
Şekil 3.235. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.5$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	144
Şekil 3.236. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	145
Şekil 3.237. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	145
Şekil 3.238. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	146
Şekil 3.239. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	146
Şekil 3.240. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	147
Şekil 3.241. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	147
Şekil 3.242. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	148
Şekil 3.243. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	148
Şekil 3.244. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.5$ için Mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	149
Şekil 3.245. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.00$ 15 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	150
Şekil 3.246. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 15 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey(solda) ve dış yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar modeli	151
Şekil 3.247. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 15 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey(solda) ve dış yüzeydeki (sağda) analiz sonucuna göre gerilme dağılımları.....	151
Şekil 3.248. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	153

Şekil 3.249. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları	153
Şekil 3.250. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 75 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey(solda) ve dış yüzeydeki (sağda) analiz sonucuna göre gerilme dağılımları.....	154
Şekil 3.251. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	154
Şekil 3.252. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	155
Şekil 3.253. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	155
Şekil 3.254. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	156
Şekil 3.255. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	156
Şekil.3.256. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	157
Şekil.3.257. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	157
Şekil 3.258. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	158
Şekil 3.259. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	158
Şekil 3.260. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	159
Şekil 3.261. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	159
Şekil 3.262. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	160
Şekil 3.263. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	160

Şekil 3.264. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	161
Şekil 3.265. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	161
Şekil 3.266. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	162
Şekil 3.267. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	162
Şekil 3.268. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	163
Şekil 3.269. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	163
Şekil 3.270. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	164
Şekil 3.271. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	164
Şekil 3.272. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	165
Şekil 3.273. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	165
Şekil 3.274. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	166
Şekil 3.275. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	166
Şekil 3.276. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	167
Şekil 3.277. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	167
Şekil 3.278. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	168
Şekil 3.279. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	168

Şekil 3.280. $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	169
Şekil 3.281. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	169
Şekil 3.282. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	170
Şekil 3.283. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	170
Şekil 3.284. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	171
Şekil 3.285. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	171
Şekil 3.286. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	172
Şekil 3.287. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	172
Şekil 3.288. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	173
Şekil 3.289. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	173
Şekil 3.290. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a_c=0.50$ 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	174
Şekil 3.291. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a_c=0.25$ 0 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey (solda) ve dış yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar modeli.....	175
Şekil 3.292. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a_c=0.25$ 0 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey (solda) ve iç yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar analiz sonuçları.....	175
Şekil 3.293. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a_c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli	177
Şekil 3.294. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a_c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar analiz sonuçları.....	177

Şekil 3.295. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 75 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey (solda) ve iç yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar analiz sonuçları.....	178
Şekil 3.296. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	178
Şekil 3.297. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	179
Şekil 3.298. $R_o/R_i=2.0$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	179
Şekil 3.299. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	180
Şekil 3.300. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	180
Şekil 3.301. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	181
Şekil 3.302. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	181
Şekil 3.303. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	182
Şekil 3.304. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	182
Şekil 3.305. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	183
Şekil 3.306. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	183
Şekil 3.307. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	184
Şekil 3.308. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	184
Şekil 3.309. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	185

Şekil 3.310. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	185
Şekil 3.311. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	186
Şekil 3.312. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	186
Şekil 3.313. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.5$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	187
Şekil 3.314. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	187
Şekil 3.315. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	188
Şekil 3.316. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	188
Şekil 3.317. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	189
Şekil 3.318. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	189
Şekil 3.319. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.0$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	190
Şekil 3.320. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	190
Şekil 3.321. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	191
Şekil 3.322. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.5$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	191
Şekil 3.323. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	192
Şekil 3.324. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	192
Şekil 3.325. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	193

Şekil 3.326. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	193
Şekil 3.327. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	194
Şekil 3.328. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	194
Şekil 3.329. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	195
Şekil 3.330. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	195
Şekil 3.331. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	196
Şekil 3.332. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	196
Şekil 3.333. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	197
Şekil 3.334. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	197
Şekil 3.335. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	198
Şekil 3.336. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	198
Şekil 3.337. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri	199

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Küresel basınçlı kapta iç ve dış yüzeylerde çatlak olması durumları için yapılan analiz sayıları.	9
Tablo 3.2. Küresel basınçlı kapta dış çapın 10 birim seçilmesi durumu için çatlak parametrelerin değerleri.	11



ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kırılma Mekanikği, Gerilme-Şiddet Faktörü, Mod-I, Mod-II, Mod-III, Küresel Kaplar

Küresel basınçlı kaplar, basınç altında yüksek hacimlerde ürün depo edebilme kabiliyetinden dolayı endüstrinin vazgeçilmez unsurları arasındadır. Günümüzde özellikle petrokimya, gübre üretimi ve likit gaz gibi alanlarda kullanılabilmektedir. İmalat yöntemlerindeki zorluklar nedeniyle küresel basınçlı kaplar çatlak oluşumuna oldukça elverişli yapılar olduğundan basınçlı kapların tasarımında kırılma mekanikği hesaplamaları önemli bir yer kaplamaktadır.

Bu tez çalışmasında, iç basınca sahip küresel kaplar için iç veya dış yüzeylerinden herhangi birinde çatlak bulunduran, çatlak boyutlarına göre değişik büyüklük ve et kalınlıklarında olan, iç veya dış yüzey normaline göre değişik açılar yapan iç ve dış yüzey çatlakları, FCPAS programı kullanılarak analiz edilmiş ve karışık mod gerilme-şiddet faktörleri hesaplanmıştır. Karşılaşılabilecek ve kap yüzeylerine dik olmayan iç ve dış yüzey çatlakları için bir karışık mod gerilme-şiddet faktörü kütüphanesi oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılmış olan analizlerde, küresel kap geometrisini oluşturan dış çap/iç çap, (R_o/R_i) , çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) , çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranlarının, çatlağın yatay eksenle yaptığı açı gibi parametrelerin değişimin gerilme-şiddet faktörü dağılımına etkisi incelenecektir.

PARAMETRIC INVESTIGATION OF 3-D MIXED MOD CRACKS IN SPHERICAL PRESSURE VESSELS

SUMMARY

Keywords: Fracture Mechanics, Stress Intensity Factor, Mode-I, Mode-II, Mode-III, Spherical Vessels.

Spherical pressure vessels, capable of storing high volume products under high pressure, are among indispensable elements for plants. Nowadays, spherical pressure vessels can be used especially in areas such as petrochemistry, fertilizer industry and liquid gas. Since spherical pressure vessels are prone to crack formation because of the difficulties in the manufacturing processes, fracture mechanics calculations are very important for design of spherical pressure vessels.

In this study, for internally pressured spherical vessels having cracks on any of internal or external surface, having different sizes and wall thickness according to its internal or external surface normality, internal or external surface cracks are analyzed by utilizing FCPAS program and mixed mode stress intensity factors are calculated. It is aimed to form a mixed mode stress intensity factor library for internal or external surface cracks which may be met and are not perpendicular to vessel surfaces. The parameters chosen in the analyses are as follows: ratios of outers/inner diameter (R_o/R_i), crack depth/wall thickness, (a/t), crack depth/crack length (a/c), the deflection angles between crack and horizontal axis. Effect of changing of all these parameters surface on stress intensity factor are examined systematically.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1. Kırılma Mekaniği

Makine parçaları ve yapısal elemanlar yanlış dizaynlar, malzeme kusurları, beklenmeyen yükler, imalat kusurları ve diğer anlaşılamayan nedenlerden dolayı kırılabilir. Hasarın sebebinin anlaşılabilmesi hatanın tekrar etmesini önleyebilmek açısından oldukça önem taşımaktadır. Mühendislikte kullanılan malzemelerin çoğu mikroskobik boyutlarda olsa bile çatlak içermektedir. Çalışma şartlarında bu çatlaklar ilerler ve birleşirler. Makine elemanlarında, elemanların yapısal bütünlüğünün korunabilmesi için çatlak veya çatlakların hangi koşullar altında ve ne zaman daha da büyüyeceğinin, ilerleyebileceğinin bilinmesi gerekir. Bu soruları cevaplamaya çalışan teknoloji kırılma mekaniğidir [1].

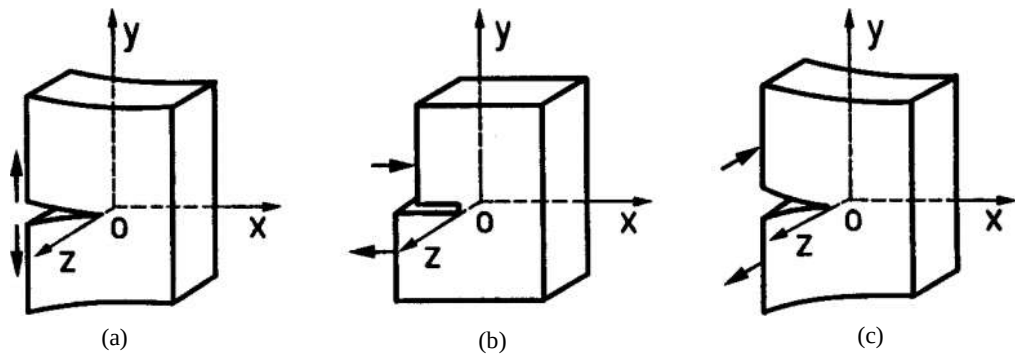
Griffith, camlardaki gevrek çatlakların ilerleyişini izleyerek kırılma mekaniği ile alakalı bir problemin analizini 1920 yılında gerçekleştirmiştir. Bu analiz ilk başarılı analiz olması sebebiyle önemlidir. Griffith, önceden var olan bir çatlağın, sistemin toplam enerjisindeki azalmasıyla büyümeye başlayacağını formüllemiştir. Griffith bu durumu basit bir enerji dengesi ile açıklamıştır. Buna göre, farklı çatlak yüzeylerinin oluşabilmesi için bir miktar enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji, kuvvet etkisi altında olan bir sistemde, çatlak büyüdükçe elastik birim şekil değişim enerjisinde bir miktar azalma olması ile elde edilir. Bu teori hata boyutu ve kırılma mekaniği arasındaki ilişkiyi açıklar. Zener ve Hollomon bu yaklaşımı, metalik malzemelerin gevrek kırılması problemi için de gerçekleştirmiştir. Daha sonra Irwin, Griffith'in sunmuş olduğu bu enerji dengesinin, plastik deformasyon anında yapılan iş artı yüzey enerjisi ile depo edilen şekil değiştirme enerjisi arasında olması gerektiğini irdelemiştir. Irwin G adı verilen bir malzeme özelliği tanımlamıştır. G, birim kalınlık

için çatlak uzunluğunda oluşan birim artış durumunda depolanan enerjidir. G enerji yayılma hızı yada çatlak ilerletici güç olarak da adlandırılır [2].

1950’li yıllarda Irwin, “Enerji yaklaşımı, gerilme yoğunluğu yaklaşımıyla eşdeğerdir” önermesi ile kırılma mekaniğinde yeni bir çıkış açmıştır. Buna göre, kırılmanın oluşabilmesi için çatlak ucunda kritik bir gerilme dağılımı sağlanması gerekir. Böylece kritik gerilme yoğunluğu K_c yada enerji terimi ile G_c kritik değeri, bir malzeme özelliğidir [2].

1.2. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği

Irwin ve arkadaşları analizlerinde çatlak ucu civarındaki gerilme durumunu esas alarak farklı bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çatlak ucu civarındaki gerilmeleri hesaplamışlar ve bir gerilme şiddet faktörü (K) parametresi ortaya koymuşlardır. Gerilme şiddet faktörü (K), sistemi etkileyen gerilmenin, çatlağın boyutunun, şeklinin ve geometrik bir faktörün fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Gerilme şiddet faktörü (K), sadece gerilme durumuna bağlıdır ve çatlağın geometrisiyle alakalıdır. Malzemenin özellikleri ile ilişkili değildir. Gerilme şiddet faktörünün üç farklı modu vardır. Verilen bir problem için bu modlar ayrı ayrı etki edebildiği gibi, karışık modlu çatlaklarda olduğu gibi değişik kombinasyonlarda aynı anda da aktif olabilirler [3].



Şekil 1.1. Çatlak deformasyon modları, a (açılma modu), b (kayma modu), c (yırtılma modu)

Alt ve üst çatlak yüzeyinin birbirlerine göre hareket edebileceği üç farklı yön vardır. Bu üç yön Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Bu üç temel modun birleştirilmesi yardımıyla çatlak yüzeyindeki deformasyon belirlenebilir.

Açılma Modu, I; çatlak yüzeylerinin xz ve xy düzlemlerine göre simetrik olarak birbirinden ayrılması durumudur. Kayma Modu, II; çatlak yüzeylerinin birbirine göre kayma xy düzlemine simetrik olacak şekilde kayması durumudur. Yırtılma Modu, III; çatlak yüzeylerinin birbirine göre xy ve xz düzleminde asimetric olacak şekilde kayması durumudur [4].

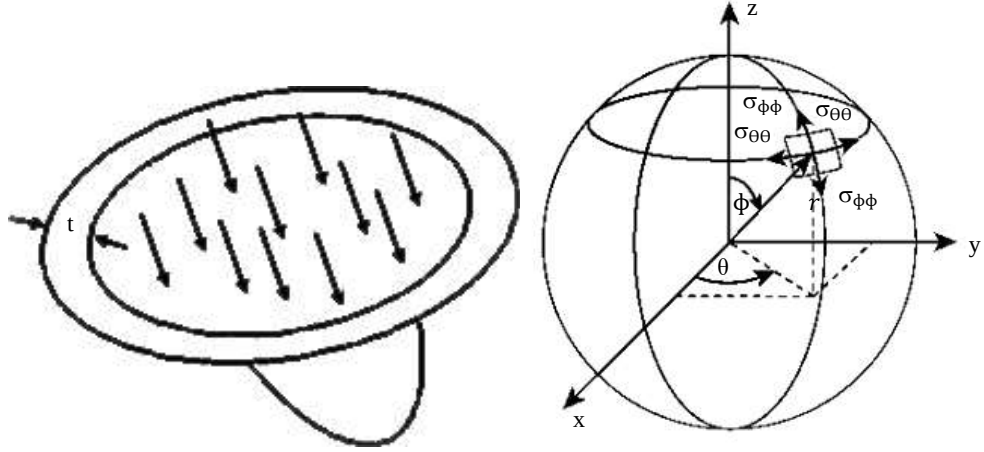


BÖLÜM 2. BASINÇLI KÜRESEL KAPLAR

Büyük hacimlerde, basınç etkisi altında ürün depolanması problemi, homojen gerilme dağılımı sağlamasından dolayı küresel yapıdaki tankları gündeme getirmektedir. Özellikle büyük hacimler söz konusu olduğunda küresel tanklar, diğer çeşitli formlardaki tanklardan daha ucuza mal olurlar. Günümüzde özellikle petrokimya, gübre üretimi ve likit gaz üretimi gibi alanlarda küresel tanklar tesislerin vazgeçilmez unsurlarıdır [5].

Bir basınçlı tank tasarımı yapılırken, tasarım yöntemi, işletme basıncı, teorik basınç, teorik sıcaklık ve işletme sıcaklığı gibi durumların bilinmesi şarttır. Bunlara ek olarak, malzeme üretim zorluğu, malzeme temin aşamaları, malzemenin işlenebilirliği, malzemenin kaynak kabiliyeti de değerlendirilir. Malzeme seçimi için; malzemenin özellikleri, korozyon faktörü, işletme basıncı ve sıcaklığı, çekme gerilmesi, akma mukavemeti, aşınma katsayısı, emniyet katsayısı, kırılma mekanizması analizi, ticari inceleme faktörlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir [6].

Basınçlı tanklar düzlem gerilme analizi için önemli bir uygulama alanına sahiptir. İç çapı R_i , et kalınlığı t ve içinde depo edilen ürünün basıncı P olan basınçlı bir kapta, analizi basitleştirmek için kabı ikiye bölerek statik dengede olan basınçlı tankın, (Newton'un birinci kanunu) simetri sebebi ile cidar elemanının tüm yüzeyine tesir eden gerilmelerin eşit olduğu görülür. Diğer bir deyişle, kabın cidarındaki gerilmelerin toplamını temsil eden iç kuvvetleri, kesit alana etkileyen iç basınç ile bağlantılı kuvvetlerin bileşkesi ile denge halindedir. Bu durum ; $\sigma \cdot t \cdot 2\pi \cdot R_i = \pi \cdot R_i^2 \cdot p$ ise $\sigma = \frac{p \cdot R_i}{2t}$ formülü ile izah edilebilir [6].



Şekil 2.1. Küresel basınçlı tank üzerinde kuvvetler.

Küresel basınçlı kabın birim yüzeyini etkileyen basınç kuvvetlerinin denge durumu incelendiğinde hesaplamalar aşağıdaki gibi gerçekleşir:

1. Tüm bileşke kuvvet sıfırdır.
2. İç yüzeydeki p basınç değerinin negatifi ile dışardaki serbest yüzey üzerindeki normal gerilme σ_{rr} eşit değildir.
3. Normal gerilmeler $\sigma_{\theta\theta}$ ve $\sigma_{\phi\phi}$, tüm kap için sabit ve eşittir. Bu eşitliği sade hale getirmek için kısaltabiliriz. $\sigma = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\phi\phi}$

Çıkan gerilme matrisini sadeleştirmek amacı ile aksenal sadeleştirme kullanırsak, bu basitleştirilmiş eşitlikte bütün cıdardaki gerilim aşağıdaki Denklem 2.1.'de gösterildiği gibi belirlenir [6].

$$\begin{bmatrix} \sigma_{\theta\theta} & \tau_{\theta\phi} & \tau_{\theta r} \\ \tau_{\phi\theta} & \sigma_{\phi\phi} & \tau_{\phi r} \\ \tau_{r\theta} & \tau_{r\phi} & \sigma_{rr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.1. Çatlak İçeren Basınçlı Küresel Kaplar ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

M.Perl ve V.Bernshtein, iç basınca sahip küresel basınçlı kaplarda, iç yüzeyde çatlak bulunması durumunda, çatlağın derinlik ve uzunluk oranlarının değişimi, çatlağın

uzunluk ve küresel yapının kalınlık oranlarının değişimi ve küre yüzeyindeki çatlak sayısı gibi parametreleri göz önünde bulundurarak üç boyutlu çatlaklar için analizler yapmıştır. Bu analizlerde sonlu elemanlar metodu kullanarak elde ettiği gerilme-şiddet faktörü grafiklerini literatürdekilerle kıyaslamıştır. Hesapladığı gerilme-şiddet faktörü değerlerinin doğruluğunu kanıtlamış ve çatlak derinliğinin arttırılıp eliptikliğinin azaltılması durumunda maksimum gerilme-şiddet faktörünün (K_{max}) arttığını görmüştür [7].

Abdelhadi El Hakimi, ve ark. ise küresel yapının kalınlığı ve iç yarı çapı, çatlak derinliği ve kürenin kalınlığı gibi parametreleri kullanmış olup, silindirik ve küresel basınçlı kaplarda eksenel simetrik ve yarı eliptik olmak üzere iki ayrı çatlak tipi için analizler yapmışlardır. Sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı bu analizlerde elastoplastik durumda J integrali yardımıyla incelemişler ve sonuçları tablo halinde vermişlerdir [8].

Erdoğan ve Ratwani, iç basınca sahip silindirik ve küresel yapıdaki basınçlı kapları incelemişler ve gerilme-şiddet faktörü oranlarını birimsiz kabuk parametresinin fonksiyonuna bağlı olarak elde etmişlerdir. Bu değerlerin hesaplanmasında plastik şerit modeli kullanmışlardır. Elde ettikleri değerleri deneysel olarak kanıtlamışlardır [9].

Ning Jie klasik olmayan küresel kabul teorisine dayanarak elastoplastik durum için çalışmalar yapmıştır. Yöntem olarak doğrusal olmayan çizgi-yay modeli kullanmıştır. İç basınç, çatlak türü, küresel yapının yarıçapı ve mekanik özelliklerin yüzey çatlağına etkisini incelemiş ve modelleme sonuçlarının deneysel sonuçlar ile örtüştüğünü göstermiştir [10].

M.Pperl ve M.S-teiner, İç sürtünme tekniği kullanılarak üretilen basınçlı kaplarda, dairesel, eş düzlemlili ve halka üç boyutlu çatlak türleri için birden fazla çatlak olması durumlarını baz alarak analizler yapmıştır. Sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı bu analizler, ince cidarlı küresel kaplar için gerçekleştirilmiştir. Çatlak sayısının artması

durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin genel olarak arttığı bilinse de dairesel çatlak türünde bunun tersine azaldığı görülmüştür [11].

Tüm bu çalışmalar küresel bir yapıda oluşan dış veya iç yüzeyi etkileyen çatlağın yatay eksenle yaptığı açının (θ) 0 derece olduğu durumları incelemiştir. Ancak θ açısının 0 derece dışındaki değerleri için literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısı ile daha önce yapılan çalışmalar kayma ve yırtılma modlarını göz önüne almamıştır.

Bu çalışmada, çatlak boyutlarına göre değişik büyüklük ve et kalınlıklarında olan ve iç veya dış yüzey normaline göre değişik açılar yapan iç ve dış yüzey çatlaklarının FCPAS kullanılarak analiz edilmiş ve karışık mod gerilme-şiddet faktörlerinin çatlak ucu boyunca dağılımlarını boyutsuz olarak belirlemiştir. Böylece pratikte kaplarda karşılaşılabilecek ve kap yüzeylerine dik olmayan iç ve dış yüzey çatlakları için bir karışık mod gerilme-şiddet faktörü kütüphanesi oluşturulması hedeflenmiştir.

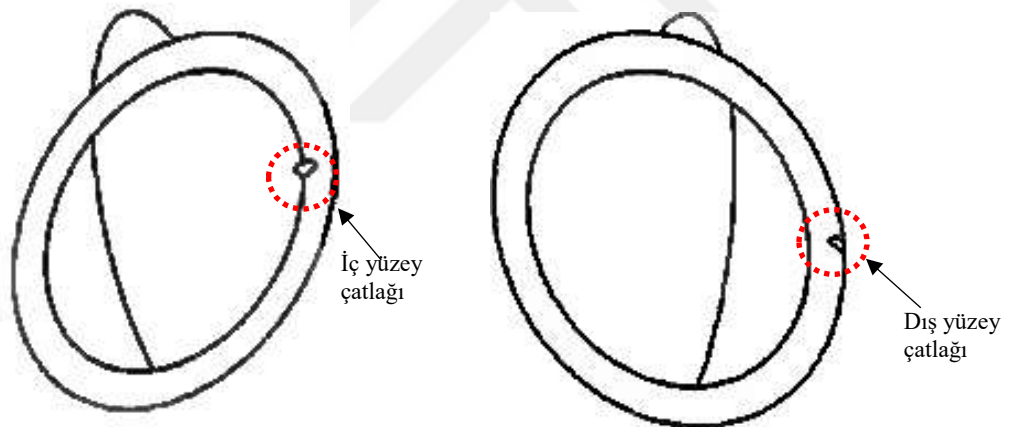
BÖLÜM 3. BASINÇLI KÜRESEL KAPLARDA KARIŞIK MODLU ÇATLAKLARIN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ

İç yüzeyde basınca sahip olan basınçlı küresel kaplarda iç ve dış yüzeylerde çatlak olması durumu için seçilen parametrelerde analizler yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Bu doğrultuda seçilen parametreler Tablo 3.2’de verilmektedir. Parametreler oluşturulurken dış çap 10 birim olarak belirlenmiştir. Küresel kap için dış çap/iç çap oranları (R_o/R_i) 1.10, 1.25, 1.50, 2,00 olarak alınmıştır. Çatlak için ise çatlak derinliği ve küre et kalınlığı oranları (a/t) 0.25, 0.50, 0.75, çatlağı temsil eden elipsin eksen oranları (a/c) 0.25, 0.50, 1.50, olarak seçilmiştir. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0° olması durumunda, kayma ve yırtılma modlarında gerilme-Şiddet faktörleri sıfır olmaktadır. Diğer bir değişle, çatlak yatay eksen üzerinde ise iç basınçlı küresel kap için problem saf Mod-I problemi haline dönüşmektedir. Ancak açısı değeri 0° den farklı olursa mod-II ve mod-III bileşenleri yönünde gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Hem mod-I, hem de değişik seviyelerdeki karışık mod analizlerini gerçekleştirmek için, çatlak yüzeylerinin yatay eksen ile yaptığı açılar 0° , 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° olma durumları ele alınmıştır. Basınçlı küresel kabın iç basıncı 1 birim olarak alınmıştır. Basınçlı küresel kaplarda iç veya dış yüzeyde çatlak olması durumları için çatlak ve basınçlı küresel kap geometrileri Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.’de verilmiştir. Şekil 3.2.(a) ve Şekil 3.3.(a) küresel kap geometrileri ve kap geometrisi üzerinde çatlağın yerini göstermekte olup, Şekil 3.2.(b) ve Şekil 3.3.(b) çatlakların derinlik (a), uzunluk (c) ve açısını göstermektedir. Şekil 3.2. dış yüzeyde çatlak bulunması durumunu, Şekil 3.3. ise iç yüzeyde çatlak bulunması durumu göstermektedir. Ψ çatlak ucu parametrik açısı olarak isimlendirilmektedir. Kavisli küresel yapıdan dolayı Ψ açısı 180 dereceden farklı değerler almaktadır. Şekil 3.2. (b) ve şekil 3.3. (b) de görüldüğü gibi dış yüzeyde çatlak olması durumu için Ψ 180 dereceden düşük, iç yüzeyde çatlak olması durumu için ise Ψ 180 dereceden yüksektir. Dış yüzeyde çatlak olması durumu için çatlak uzunluğu (a) arttıkça Ψ azalmaktadır. İç yüzeyde ise çatlak uzunluğu (a) arttığında Ψ açısı artmaktadır. Çatlağın yatay eksenle

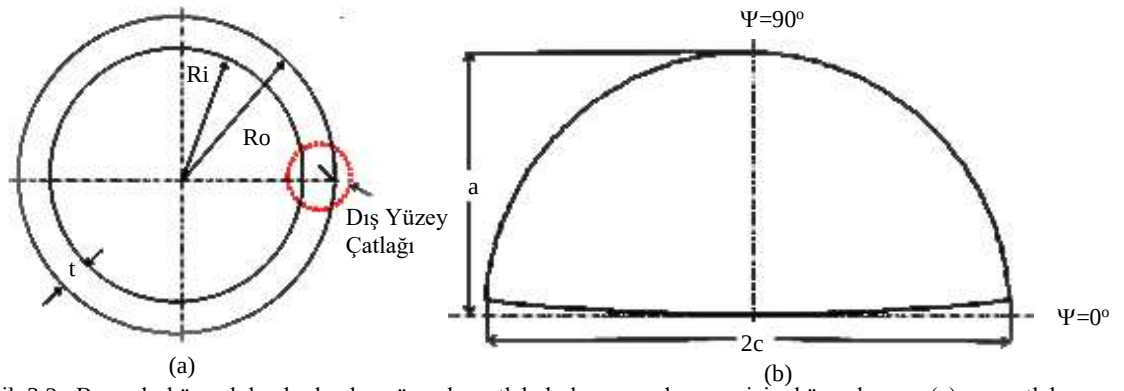
yaptığı açının artması durumunda dış yüzey için Ψ açısı azalmakta , iç yüzey için ise artmaktadır. Belirlenen bu parametrelere ait yapılan analiz sayıları ise Tablo 3.1.'de verilmiştir. Toplam 555 adet model hazırlanmış, tüm bu modeller için FCPAS kullanılarak GŞF'ler hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Küresel basınçlı kapta iç ve dış yüzeylerde çatlak olması durumları için yapılan analiz sayıları.

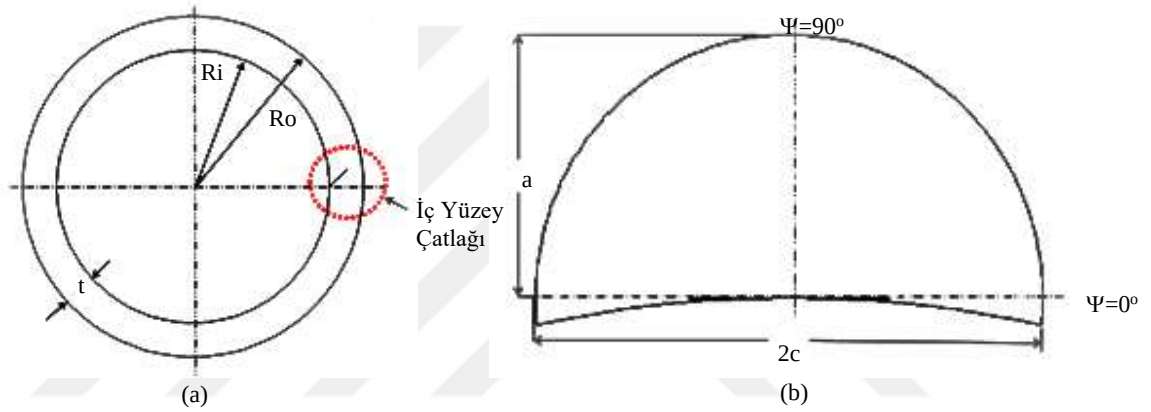
	Ro/Ri=1.1	Ro/Ri=1.25	Ro/Ri=1.50	Ro/Ri=2.0	Toplam
a/t=0.25 (iç)	17	24	24	24	89
a/t=0.50 (iç)	24	24	24	20	92
a/t=0.75 (iç)	24	18	20	24	86
a/t=0.25 (dış)	24	24	24	24	96
a/t=0.50 (dış)	24	24	24	24	96
a/t=0.75 (dış)	24	24	24	22	94
Toplam	137	138	140	138	555



Şekil 3.1. Basınçlı küresel kaplarda iç veya dış yüzeylerde çatlak bulunması durumları için katı model görüşleri



Şekil 3.2. Basıncılı küresel kaplarda dış yüzeyde çatlak bulunması durumu için küresel yapı (a) ve çatlak geometrisi (b).



Şekil 3.3. Basıncılı küresel kaplarda iç yüzeyde çatlak bulunması durumu için küresel yapı (a) ve çatlak geometrisi (b).

Tablo 3.2. Küresel basınçlı kapta dış çapın 10 birim seçilmesi durumu için hesaplanan çatlak parametrelerinin değerleri.

Ro/Ri	1.1000	1.2500	1.5000	2.0000
t	0.9091	2.0000	3.3300	5.0000
a/t=0.25				
a	0.2272	0.5000	0.8333	1.2500
c (a/c=0.25)	0.9091	2.0000	3.3333	5.0000
c (a/c=0.50)	0.4545	1.0000	1.6667	2.5000
c (a/c=1.00)	0.2272	0.5000	0.8333	1.2500
c (a/c=1.50)	0.1514	0.3333	0.5555	0.8333
a/t=0.50				
a	0.4545	1.0000	1.6667	2.5000
c (a/c=0.25)	1.8182	4.0000	6.6667	10.0000
c (a/c=0.50)	0.9091	2.0000	3.3333	5.0000
c (a/c=1.00)	0.4545	1.0000	1.6667	2.5000
c (a/c=1.50)	0.3030	0.6667	1.1111	1.6667
a/t=0.75				
a	0.6818	1.5000	2.5000	3.7500
c (a/c=0.25)	2.7273	6.0000	10.0000	15.0000
c (a/c=0.50)	1.3636	3.0000	5.0000	7.5000
c (a/c=1.00)	0.6818	1.5000	2.5000	3.7500
c (a/c=1.50)	0.4545	1.0000	1.6667	2.5000

3.1. Küresel Basınçlı Kapların Analizi İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi birçok mühendislik problemi için çözüm elde etme amacıyla kullanılan bir sayısal yöntemdir. Gerilme, ısı transferi ve akışkan gibi pek çok problem için bu yöntem kullanılarak sonuç elde edilebilir. Günümüzde kullanılan sonlu elemanlar yönteminin başlangıcı, 1900'li yılların başına kadar uzanmaktadır. Ancak, Courant (1943) sonlu elemanlar yöntemini ilk geliştiren kişi olarak kabul edilmektedir. Courant, 1940'ların başında yayınladığı bir makalede burulma problemlerini

araştırmak için üçgen şeklindeki alt bölümlerde parçalı polinom interpolasyonu kullanmıştır [12].

Sonlu elemanlar yöntemi için bir sonraki önemli adım ise 1950'li yıllarda Boeng'in uçak kanatlarının modellemesinde kullanması ile atılmıştır. Daha sonra sonlu elemanlar terimi Clough tarafından 1960 yılında tanınır hale getirilmiştir. 1960'lı yıllar boyunca araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemini ısı transferi ve sızıntı akışları gibi mühendisliğin diğer alanlarına uygulamaya başlamışlardır. Zienkiewicz ve Cheung, tamamen sonlu elemanlar yöntemini anlatan ilk kitabı 1967 yılında yazmışlardır. ANSYS programı ise ilk defa 1971 yılında sürülmüştür [12].

ANSYS, 100,000 satırdan fazla kod içeren ve genel amaçlı kullanımı olan kapsamlı bir sonlu elemanlar programıdır. ANSYS ile statik, dinamik, ısı transferi, akışkanlar ve elektromanyetizma problemleri için analizler gerçekleştirilebilir. ANSYS son dönemlerde en önde gelen sonlu eleman yazılımlarından biri haline gelmiştir. ANSYS'in mevcut sürümü çoğul pencereler içeren bir grafiksel kullanıcı ara yüzü (graphical user interface-GUI), diyalog kutuları ve araç çubuğu ile tamamıyla yeni bir görünüme sahiptir. Günümüzde, ANSYS'in uzay ve havacılık, otomotiv, elektronik ve nükleer dâhil olmak üzere, birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır. ANSYS veya herhangi başka bir 'kapalı' Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) bilgisayar programını akıllıca kullanabilmek için, sonlu elemanlar yönteminin altyapısındaki temel kavramlar ve sınırlamaların detaylı bir şekilde anlaşılması gerekmektedir [12].

Herhangi bir sonlu elemanlar analizinde bulunan temel adımlar aşağıda verilmektedir.

Ön İşlem Aşaması:

1. Çözüm elde edilecek bölgenin modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile bölüntülenmesi: problemin düğüm noktaları ve elemanlar olarak alt bölümlere ayrılması.
2. Bir elemanın şekil fonksiyonunun seçilmesi: bir elemanın yaklaşık davranışını (çözümü) temsil edecek olan sürekli bir fonksiyonun ön kabul yapılması.
3. Bir eleman için denklemlerin oluşturulması.

4. Tüm problemi temsili için elemanların birleştirilmesi. Global rijitlik matrisinin oluşturulması.
5. Sınır şartları, başlangıç şartları ve yüklerin uygulanması.

Çözüm Aşaması:

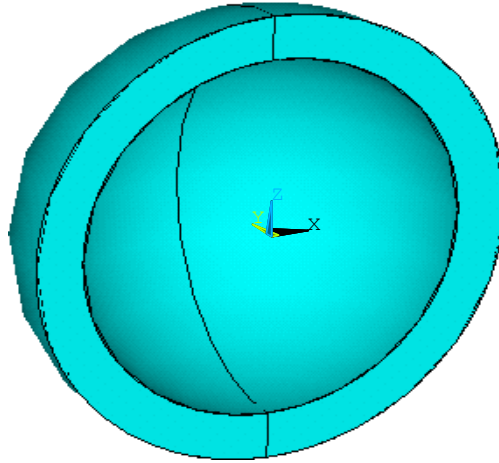
6. Düğüm noktalarındaki yer değişimleri (deplasmanlar) veya bir ısı transferi probleminde sıcaklık cinsinden çözüm değerlerini elde etmek için lineer veya doğrusal olmayan bir denklem takımının eş zamanlı olarak çözülmesi.

Son İşlem Aşaması:

7. Çözümünden sonra diğer önemli bilgilerin elde edilmesi. Bu aşamada, asal gerilmelerin, ısı akılarının veya benzer büyüklüklerin değerleri ile ilgilenebilirsiniz [12].

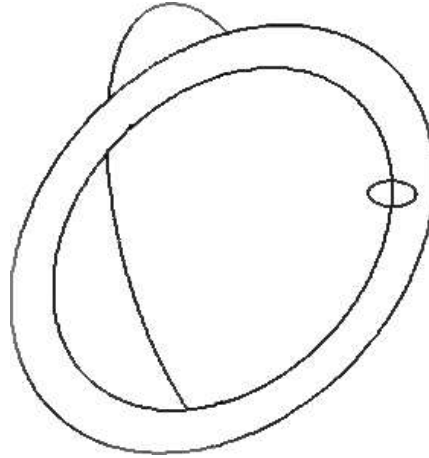
3.1.1. ANSYS kullanılarak çatlaksız basınçlı küresel kap geometrilerine çatlak yerleştirme ve sınır şartlarının uygulanması

FCPAS programında geometrik modelleyici veya bölüntüleme programı bulunmamaktadır. Bu sebeple modelleme aşaması için ANSYS [13] programı kullanılmaktadır. ANSYS'te çatlaksız küresel basınçlı kap geometrisi oluşturulduktan sonra modele çatlak yerleştirme işlemleri uygulanır. Bölüntüleme ve sınır şartları uygulandıktan sonra FCPAS için gerekli bilgiler modelden alınır. Bu kısımda basınçlı küresel kaplar için yapılan bir analiz detaylı olarak anlatılacaktır.



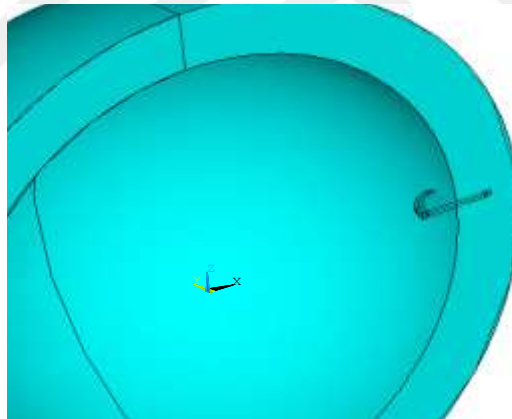
Şekil 3.4. İç basınca sahip basınçlı küresel kap modeli.

Bilgisayarda işlem süresini kısaltmak ve modeli basitleştirmek amacı ile yapılan analizlerde, simetri şartlarından dolayı iç basınca sahip küresel yapının yarısı modellenmiştir. Hazırlanan çatlaksız model, Şekil 3.4.'te gösterilmektedir. Çatlaksız oluşturulan modele çatlak yerleştirmek amacıyla çatlakların iç veya dış yüzeyde olma durumuna göre workplane oluşturulmuştur. Bu kısımda, analiz süreçlerinin açıklanması amacıyla tez kapsamında yapılan iç yüzey çatlak analizlerinden birisi detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Şekil 3.4.'te gösterilen çatlaksız modele çatlak yerleştirmenin ilk adımı iç yüzeye üzerinde bir noktaya workplane taşımaktır. Bir sonraki adımda workplane merkezinde “a” çapında bir daire çizilmektedir (Şekil 3.5.). Burada çatlakların eliptik veya dairesel olma durumunu değerlendirmek söz konusudur. Eğer çatlak eliptik ise daireyi “c” doğrultusunda “c/a” ile genişletmek ya da daraltmak gerekir. Dairesel bir çatlak için analiz yapılması durumunda herhangi bir genişletme ya da daraltmaya ihtiyaç olmayacaktır. Bu işlem sonucunda çatlak için gerekli elips-daire oluşturulmuş olur. Çatlak modellerken bu elips-dairenin sadece geometrinin iç kısmında kalan çizgileri kullanılacaktır. Bir başka deyişle çatlak önü eğrisi, bu daire veya elipsin geometri hacmi ile kesişen kısımdan alınacaktır. Bu sebepten dolayı dış taraflarda kalan çizgiler silinip ve geriye kalan çizgiler birleştirilerek tek çizgi haline getirilmektedir (Şekil 3.5.).



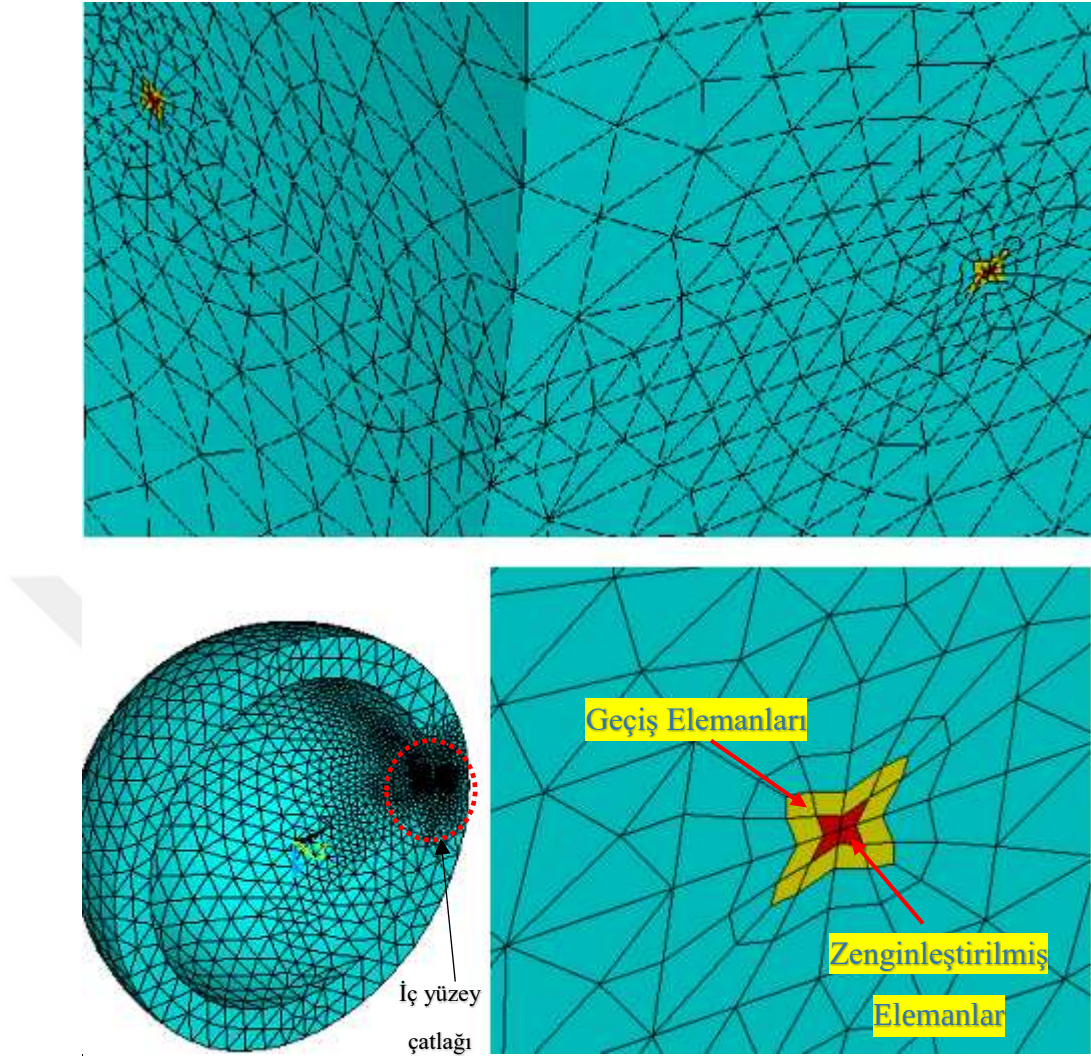
Şekil 3.5. Küresel basınçlı kap için çatlak elipsi profili.

Çatlak ucu hacimlerini oluşturmak için, fazlalıkları atılan elipsin yüzeyde kalan ucuna workplane taşınarak burada hacimlerin kesit alanı büyüklüğünde kareler çizilmektedir. Çizilen bu kare yüzeyler çatlak ucu çizgisi boyunca süpürülerek çatlak ucu hacimleri elde edilmektedir (Şekil 3.6.).



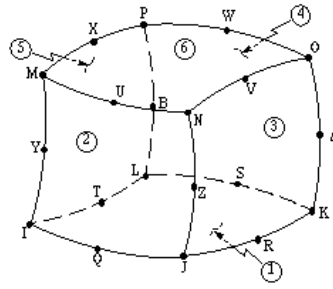
Şekil 3.6. İç yüzeyde bulunan çatlakın çatlak ucu hacimleri.

Bir sonraki aşama ise küresel yapının iç alanı boyunca çatlak hacmini kesmektir. Çatlak yüzeyindeki keypointler dışındaki keypointlerin birleştirilmesinin ardından bölüntüleme işlemine geçilir. Çatlak yüzeyi boyunca zenginleştirilmiş elemanlar kullanılmıştır. Bölüntülenmiş model Şekil 3.7.'de verilmiştir.



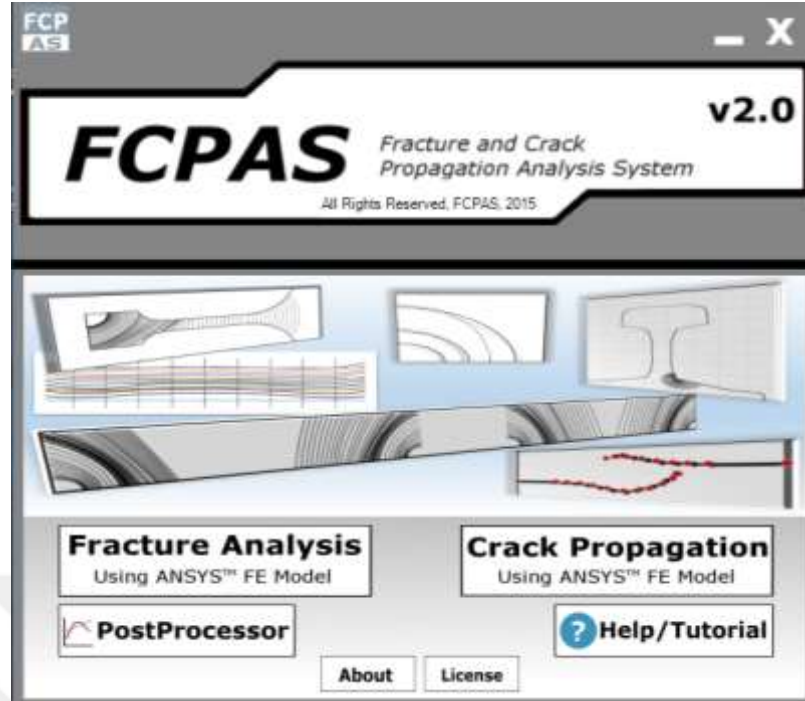
Şekil 3.7. Küresel basınçlı kaptaki iç yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

Yüzeyler bölüntüleme işlemi yapılmadan önce çatlak ucundaki anahtar noktasına, çatlak uzunluğunun 1/100'ü oranında, eleman boyutu sınırlaması yapılmaktadır ve yüzey bölüntüleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Çatlak ucu hacimleri, bu yüzey bölüntüsünün süpürülmesi ile düzgün dağılımlı olarak bölüntülenmektedir. Çatlak ucu hacimlerinin dışında kalan hacimlere, hacim bölüntülemesi gerçekleştirilmektedir. Modelin bölüntülenmesinde 20 serbest düğüm noktalı Solid-95 eleman tipi kullanılmıştır. Eleman tipinin resmi Şekil 3.8.'de gösterilmektedir. Bölüntüleme işlemlerinden sonra sınır şartları uygulanmakta ve uygulanan sınır şartlarının listeleri alınarak FCPAS programına aktarılmaktadır.

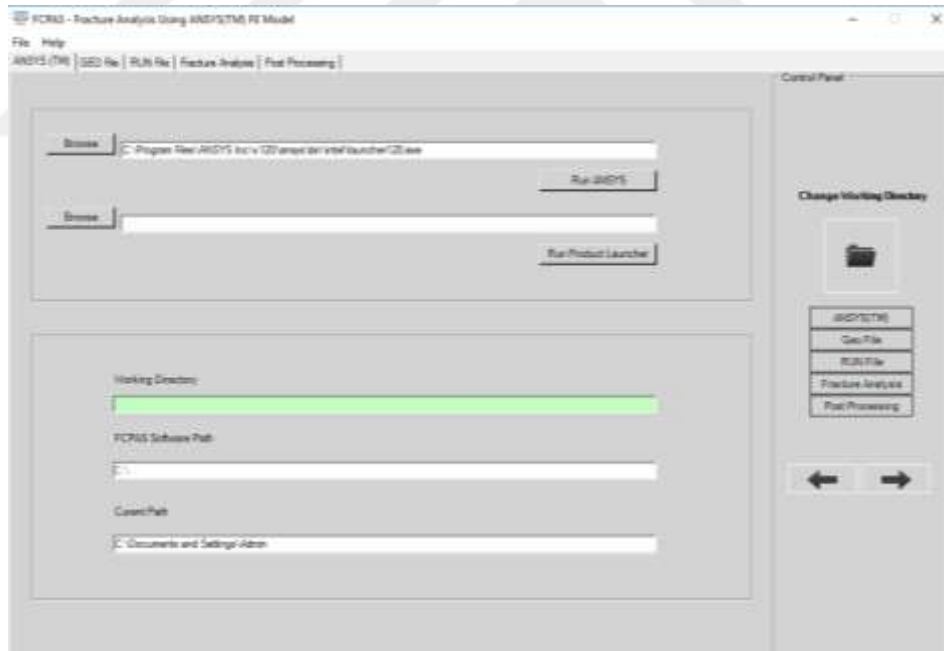


Şekil 3.8. 20 düğüm noktalı solid-95 elemanı [13].

FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System – Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi), üç boyutlu geometrilerde kırılma analizi ve çatlak ilerleme analizi gerçekleştirebilen bir sonlu elemanlar yazılımıdır. FCPAS v2.0 açıldığında çıkan ara yüz Şekil 3.9.’da verilmiştir. FCPAS ile yapılacak analizlerde ANSYS sonlu elemanlar modeli kullanılmaktadır ve gerekli verilerin (eleman, düğüm noktası/node, yük, sınır şartı listeleri) çıktıları alınmaktadır. “Fracture Analysis Using ANSYS™ FE Model” sekmesi tıklandığında açılan arayüz Şekil 3.10’da verilmiştir. Bu kısımda sırasıyla “ANSYS™” ve “GEO File” sekmeleri kullanılarak model hazırlama ve FCPAS formatına dönüştürme işlemi yapılabilmektedir. Sonra “RUN File” sekmesi kullanılarak malzeme bilgileri ve analiz bilgileri belirlenmektedir. Sonlu elemanlar modeli “FRAC3D” çözücü program ile çözülmekte ve gerilme şiddet faktörleri (GŞF) sonuç olarak alınmaktadır. Bu çözüm işlemi “Fracture Analysis” sekmesinden yapılabilmektedir. “Post Processing” sekmesinden de çözülen modelin analiz sonuçları grafikler olarak görülebilmektedir.



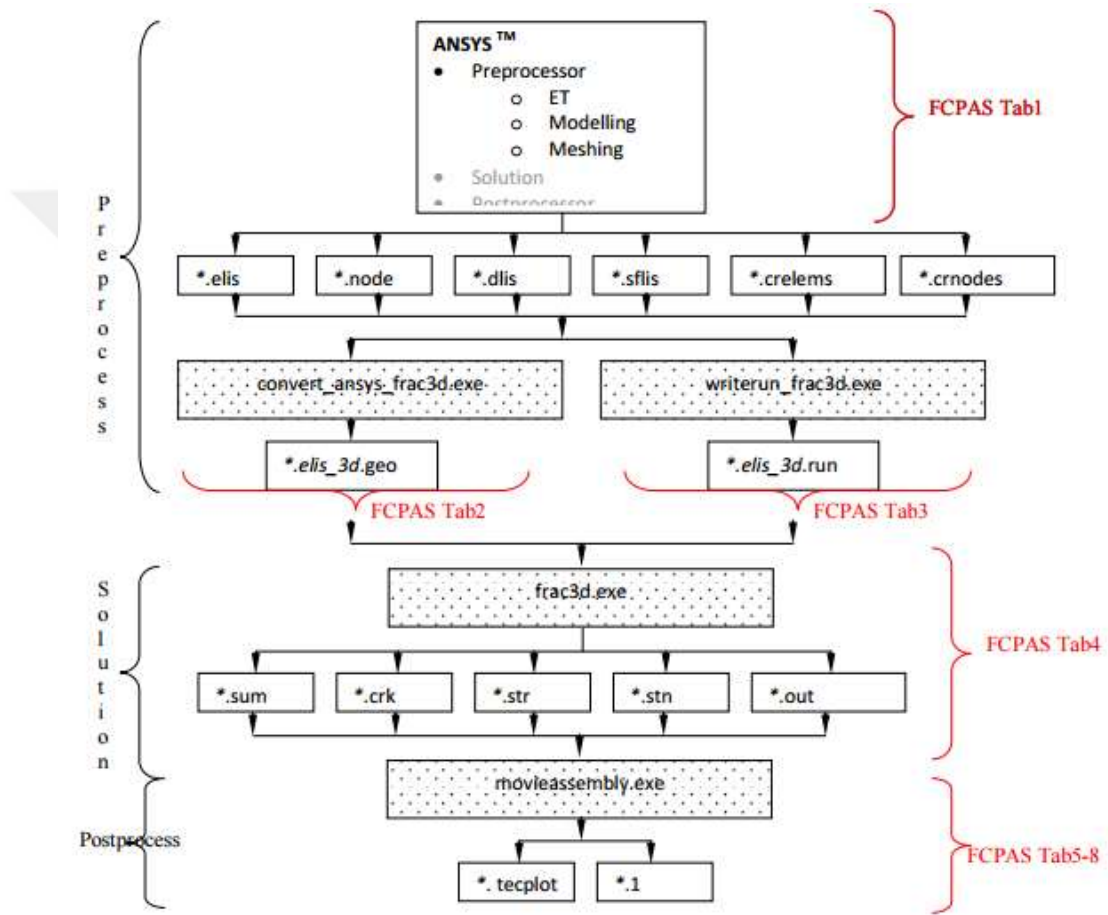
Şekil 3.9. FCPAS v2.0'nin ana penceresi [14].



Şekil 3.10. FCPAS ana penceresinden “Fracture Analysis using ANSYS FE Model” butonuna tıkladıktan sonra açılan pencere [14].

Çatlak analizlerinde sonlu elemanlar modeli ANSYS ile oluşturulmakta frac3d ile çözülmektedir. Sonlu elemanlar modelindeki çatlığa ait eleman ve node listeleri, tüm modele ait eleman, node listeleri, sınır şartları ve yükleme koşulları çıktıları

alınmaktadır. Ardından FCPAS uygulamalarından olan “convert_ansys_frac3d.exe” ile “.geo” dosyası oluşturulur. Bu dosya tüm modele ve çatlığa ait bilgileri içermektedir. Daha sonra “writerun_frac3d.exe” malzeme bilgileri ve analiz şartları belirlenerek “.run” dosyası oluşturulur. Bu iki dosya kullanılarak FCPAS ile kırılma analizi gerçekleştirilir. Sonuç olarak ise çatlığa ait gerilme-şiddet faktörleri alınmaktadır.



Şekil 3.11. FCPAS ile çatlak analizi için çalışma şeması [14].

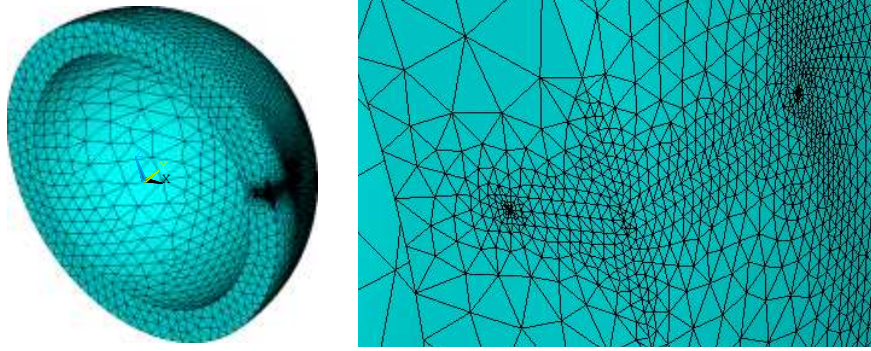
FCPAS çözücü programı olan FRAC3D, kırılma problemlerinin çözüm işlemi sırasında gerilme şiddet faktörlerini hesaplayabilmek için “Zenginleştirilmiş Elemanlar (Enriched Elements)” yöntemini kullanmaktadır [15]. Zenginleştirilmiş elemanlar yönteminde, sonlu elemanlar çözümündeki deplasman formülasyonuna, çatlak ucundaki elemanlar için gerilme şiddet faktörü formülasyonu entegre edilmiştir ve tüm modelin analizi ile birlikte gerilme şiddet faktörleri de direk olarak

hesaplanabilmektedir. Zenginleştirilmiş elemanlar fonksiyonu Denklem 3.1’de verilmektedir.

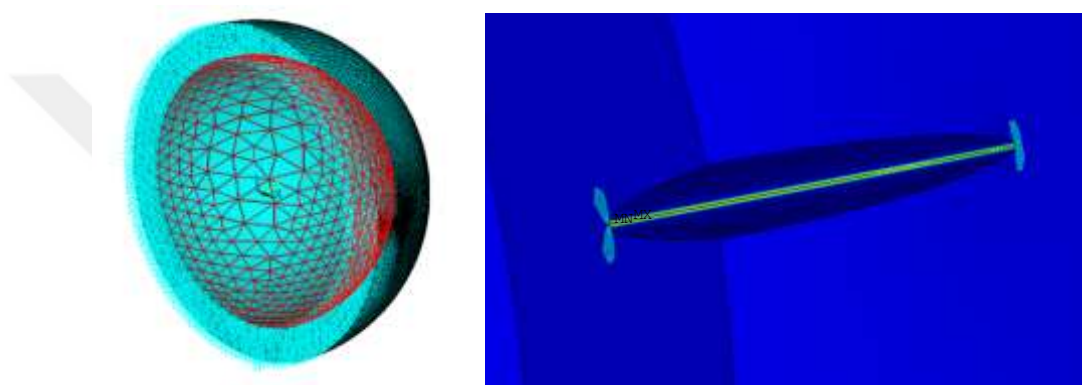
$$\begin{aligned}
 u^k(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) u_j^k \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) (f^k(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_j^k) (\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) (g^k(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_j^k) (\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) (h^k(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_j^k) (\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Denklem 3.1’de, düğüm noktalarındaki yer değiştirmelere (u_j^k) K_I^i , K_{II}^i ve K_{III}^i gerilme şiddet faktörü formülasyonları da eklenmiştir. Z_0 sıfırlama fonksiyonu olup zenginleştirilmiş elemanlarda ve geçiş elemanlarında 1 veya 0 değerlerini alıp zenginleştirilmiş eleman fonksiyonunun uygulanacağı mertebeyi temsil etmektedir. Zenginleştirilmiş elemanlarda 1, geçiş elemanlarının zenginleştirilmiş elemanlara komşu düğüm noktalarında 1 ve geçiş elemanlarının normal elemanlara komşu düğüm noktalarında ise 0 değerlerini almaktadır. N_j normal elemanların şekil fonksiyonları, u_j^k terimleri ise düğüm noktalarındaki deplasmanlarını temsil etmektedir. f_j^k , g_j^k ve h_j^k terimleri, lokal koordinat sisteminden global koordinat sistemine transform edilen mod I, mod II ve mod III deplasman bileşenleri olup asimptotik çatlak ucu deplasman ifadelerinden elde edilebilir. m , eleman tipine göre 10 veya 20 olabilir ve $ntip$ quadratik elemanlar (kenarında bir adet midside (kenar ortası) düğüm noktası barındıran elemanlar) için 3’tür. Γ ise izoparametrik koordinat olup -1 ile 1 arasında değişmektedir [15].

Basıncılı küresel kapta iç veya dış yüzeyde çatlak olması durumu ile alakalı Tablo 3.2.’de gösterilen tüm parametrelere ait olan analizlerin sonlu elemanlar modeli ANSYS kullanılarak hazırlanmıştır. Bu modellerden dış yüzeyde çatlak bulunması durumuna ait bir örnek Şekil 3.12.’de verilmiştir. Daha sonra FCPAS ile oluşturulan tüm modeller için gerilme-şiddet faktörleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Küresel basınçlı kapta dış yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.



Şekil 3.13. Küresel basınçlı kapta dış yüzeyde çatlak olması durumu için sonlu elemanlar modeli sınır şartları ve analiz çözümü sonrası gerilmelerin dağılımı.

FCPAS programı kullanılarak karışık modda gerilme-şiddet faktörleri hesaplandıktan sonra elde edilen değerler K_0 değeri ile normalize edilmiştir. K_0 normalizasyon için kullanılan bir değerdir. K_0 formülünde yer alan $\sigma_{\theta\theta}$ ortalama çevresel gerilmedir, Q ise eliptik çatlak için şekil faktörüdür. [16] K_0 , $\sigma_{\theta\theta}$ ve Q değerlerinin formülleri Denklem 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.

$$K_0 = \sigma_{\theta\theta} \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = P \frac{R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \quad (3.3)$$

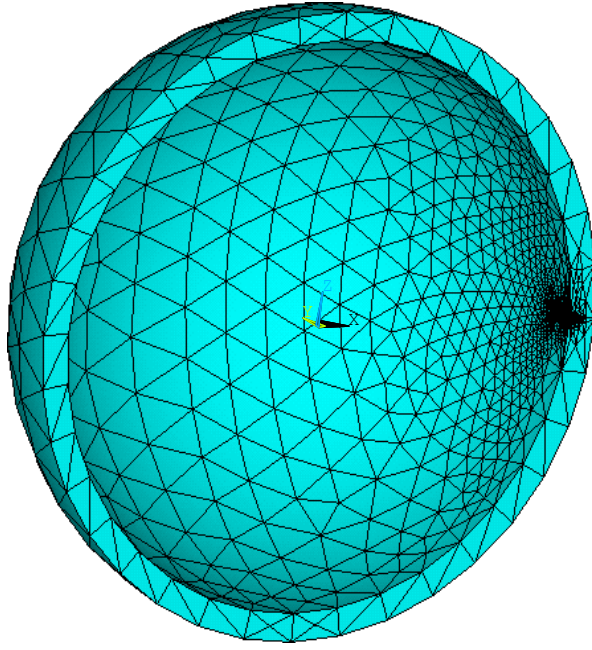
$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}; \quad \frac{a}{c} < 1 \quad (3.4)$$

$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{c}{a}\right)^{1.65}; \quad \frac{a}{c} > 1 \quad (3.5)$$

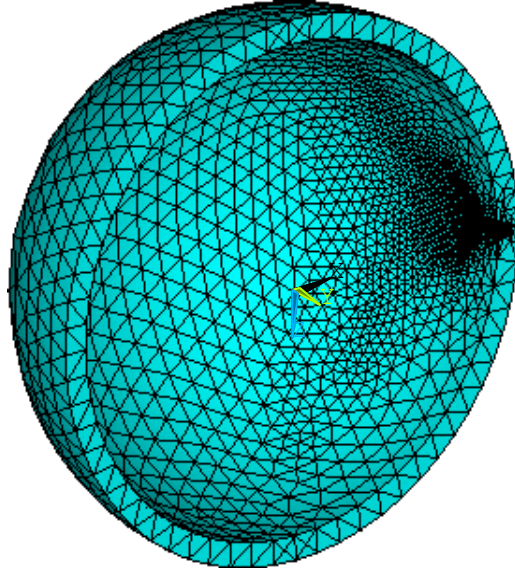
3.1.2. Basınçlı küresel kaplarda yüzey çatlak gerilme-şiddet faktörlerinin doğrulanması

Karışık modlu gerilme-şiddet faktörlerini sunmadan önce, bu kısımda küresel kaplarda bulunan Mod-I yüzey çatlak için gerilme-şiddet faktörlerinin literatürde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılması sunulmaktadır. İç yüzeyde çatlakla sahip basınçlı küresel kapta $R_o/R_i=1.1$ için Hakimi'nin değerleri ve elde edilen analiz sonuçları Şekil 3.17.'de $R_o/R_i=1.5$ için ise Şekil 3.18.'de gösterilmiştir. Hakimi'nin değerleri ile karşılaştırılan değerler normalize edilmemiş değerlerdir. $R_o/R_i=1.1$ durumu karşılaştırılan değerlerde maksimum fark %3 $R_o/R_i=1.5$ için ise maksimum fark değeri %9 civarındadır. Farklar kabul edilebilir seviyelerde gözükmemektedir. Grafiklerde dış çap/iç çap oranları sabittir. Dolayısı ile et kalınlığı her bir grafik için sabittir. Bu nedenle çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artması, çatlak derinliğinin artması olarak değerlendirmek mümkündür. Çatlak derinliği/et kalınlığı oranının artması durumunda her iki grafikte de gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı görülmektedir.

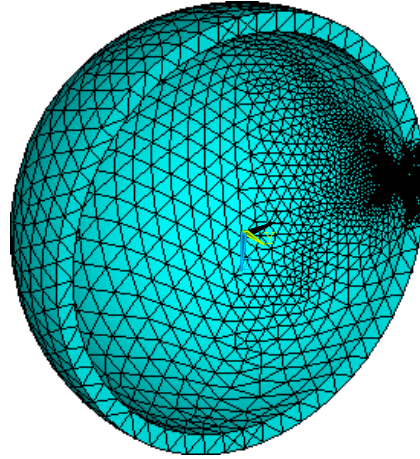
Tüm analiz aşamalarında kullanılacak bölüntüleme biçimi belirlenmesi adına $R_o/R_i=1.1$ $a/c=0.5$ ve $\Psi=90^\circ$ için üç adet analiz yapılmıştır. Şekil 3.14.'de yapılan birinci analize ait bölüntüleme, Şekil 3.15.'de yapılan ikinci analize ait bölüntüleme ve Şekil 3.16.'de yapılan üçüncü analize ait bölüntüleme verilmektedir. Şekil 3.14.'de gözüken bölüntülemelerde 31414 eleman kullanılmış olup $\Psi=90^\circ$ gerilme-şiddet faktörü değeri $0.49230 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ olarak hesaplanmış ve Hakimi'nin değeri ile arasında ki fark %18 civarındadır. Şekil 3.15.'de gözüken bölüntülemelerde 45622 eleman kullanılmış olup $\Psi=90^\circ$ gerilme-şiddet faktörü değeri $0.52780 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ olarak hesaplanmış ve Hakimi'nin değeri ile arasında ki fark %10 civarındadır. Şekil 3.16.'de gözüken bölüntülemelerde 65459 eleman kullanılmış olup $\Psi=90^\circ$ gerilme-şiddet faktörü değeri $0.57895 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ olarak hesaplanmış ve Hakimi'nin değeri ile arasında ki fark %3 civarındadır. %3 fark kabul edilebilir olarak görülmüştür ve diğer tüm analizlerde bu bölüntüleme şekli kullanılmıştır.



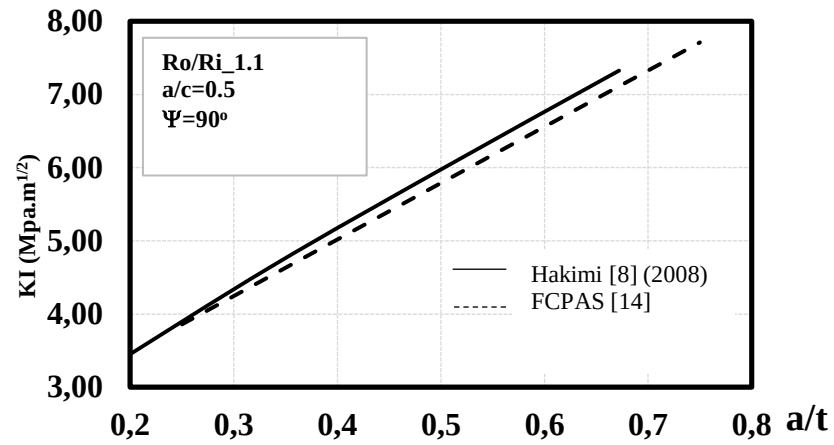
Şekil 3.14. İç basınca sahip $Ro/Ri=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan birinci analiz.



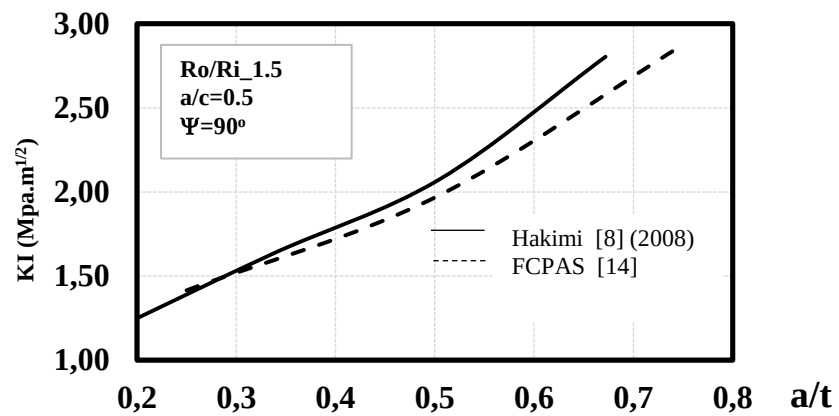
Şekil 3.15. İç basınca sahip $Ro/Ri=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan ikinci analiz.



Şekil 3.16. İç basınca sahip $R_o/R_i=1.1$, $a/c=0.5$ olan küresel kapta bölüntüleme duyarlılığı için yapılan üçüncü analiz.



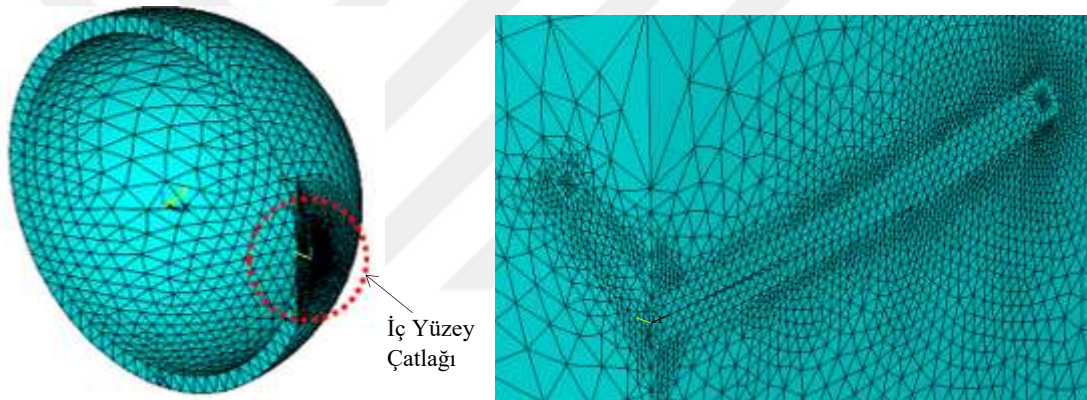
Şekil 3.17. Basıncılı küresel kapta iç yüzeyde çatlak olması durumu ve R_o/R_i oranının 1.1 olduğu durum için elde edilen sonuçlar ile Hakimi'nin sonuçlarının karşılaştırılması [8].



Şekil 3.18. Küresel basıncılı kapta iç yüzeyde çatlak olması durumu ve R_o/R_i oranının 1.5 olduğu durum için elde edilen sonuçlar ile Hakimi'nin sonuçlarının karşılaştırılması [8].

3.2. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.1$ Durumu)

Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı (a/t) 0.25, 0.50, 0.75 olduğu ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 15, 30, 45, 60, 75 derece olduğu durumlar için analizler yapılmıştır. ANSYS sonlu elemanlar yazılım programının modelleme özelliği kullanılarak basınçlı küresel kap geometrisi ve çatlak geometrileri oluşturulmuş ve bölüntülenmiştir. Analiz süresini kısaltmak ve modeli sadeleştirmek amacı ile simetrik olarak oluşturulan bu modellere ilgili sınır şartları eklenmiştir. Bir sonraki adımda FCPAS programı ile karışık modlu üç boyutlu çatlaklar için gerilme-şiddet faktörleri hesaplanmıştır. Çatlağın dış yüzeyde olması halinde çatlak önü konumsal açı aralığı 180 derecenin altındadır ve çatlak derinliği arttıkça bu açı azalmaktadır.

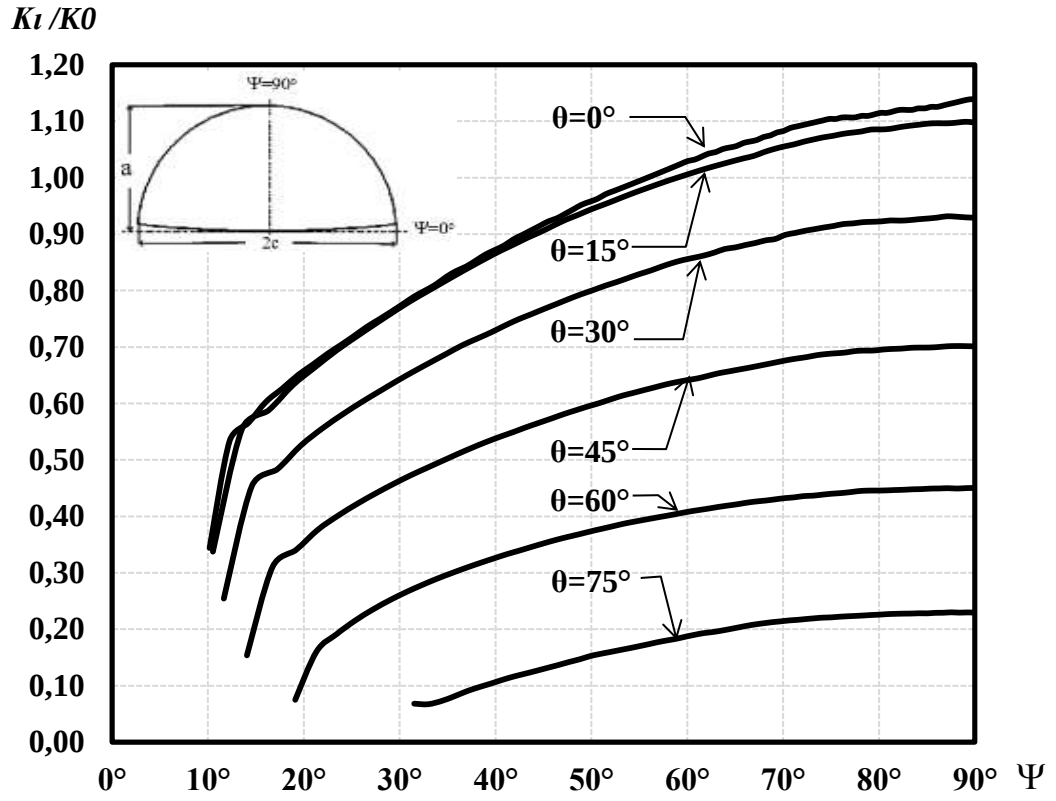


Şekil 3.19. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$ ve $a/c=0.25$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

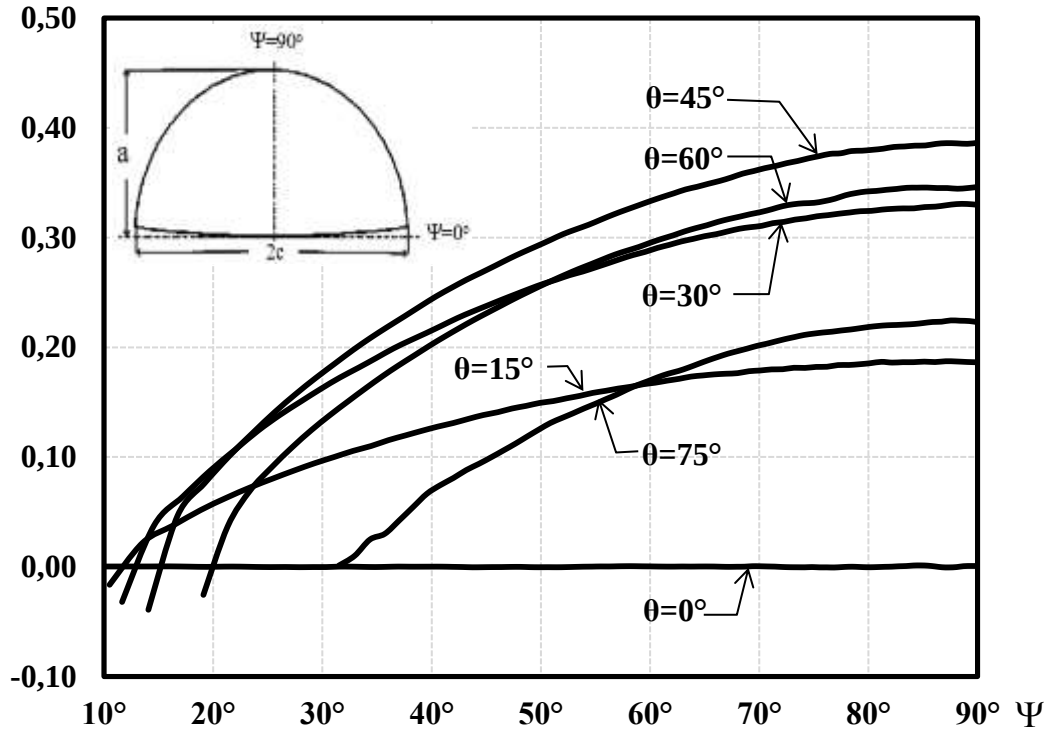
Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranı için, et kalınlığını sabit olarak düşünüldüğünde a/t aslında çatlak derinliğini temsil eden bir parametre haline dönüşmektedir. Diğer bir deyişle a/t arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Çatlak derinliğinin artması mod-I için gerilme-şiddet faktörünün de artmasına sebep olacaktır. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de beklendiği üzere artmıştır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması saf mod-I problemidir. Bu durum için çatlak sadece açılma modu yüklemesine maruzdur. 0 dereceden farklı olması durumunda ise karışık modlu, açılma (mod-I), kayma modu (mod-II) ve yırtılma modu (mod-III) içeren gerilme-şiddet faktörleri oluşacaktır. Elde edilen grafikler yorumlandığında, açılma modu için

çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri de artmıştır. Açılma modu için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin en yüksek olduğu açı 0 derecedir. Diğer bir deyişle çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş mod-I gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) açılma moduna etkisine bakacak olursak, çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlağın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) oranının arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve Yırtılma (mod-III) modları için de değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu, diğer bir deyiş ile bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle yaptığı diğer açılar için mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Elde edilen grafikler de kayma modunda (mod-II) en yüksek değer 45 derece de olduğu görülmüştür. Yırtılma modu (mod-III) kısmında ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecede aldığı görülmüştür. Şekil 3.20. incelenecek olursa $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri şekil 3.21. de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin 45 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve 15, 30, 45, 60 dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü davranışları görülecektir. Şekil 3.22. ise yine aynı parametreler için mod-III değerlerini göstermektedir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.20.-3.55.)'de verilmektedir. Grafikte başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır.

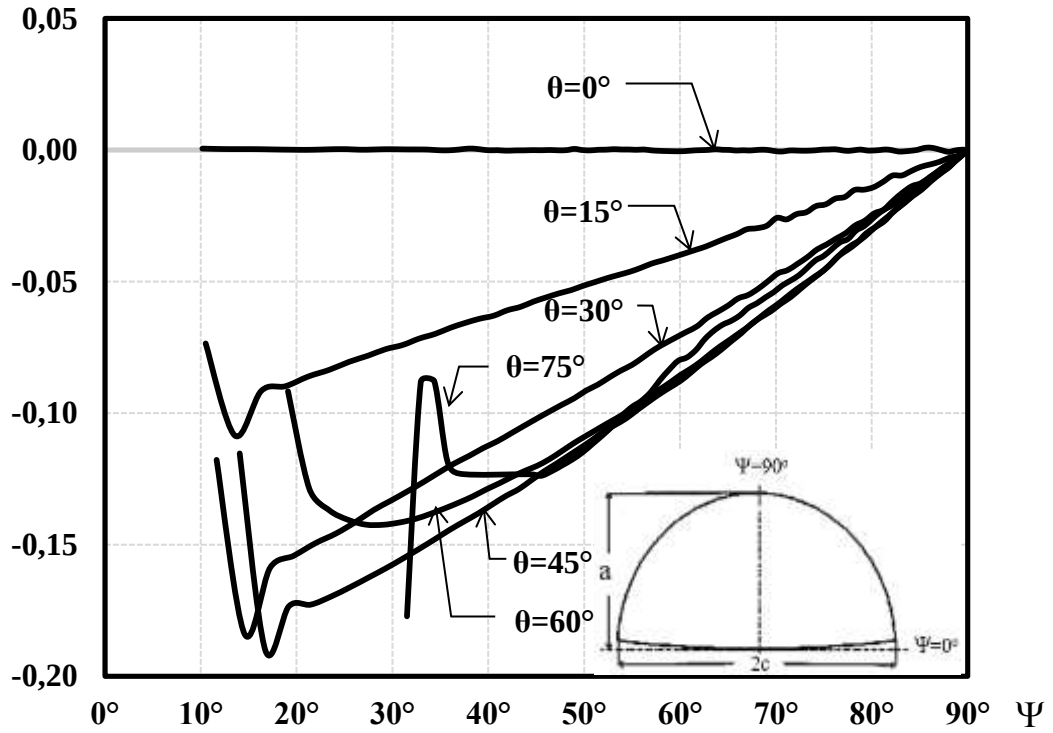
Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



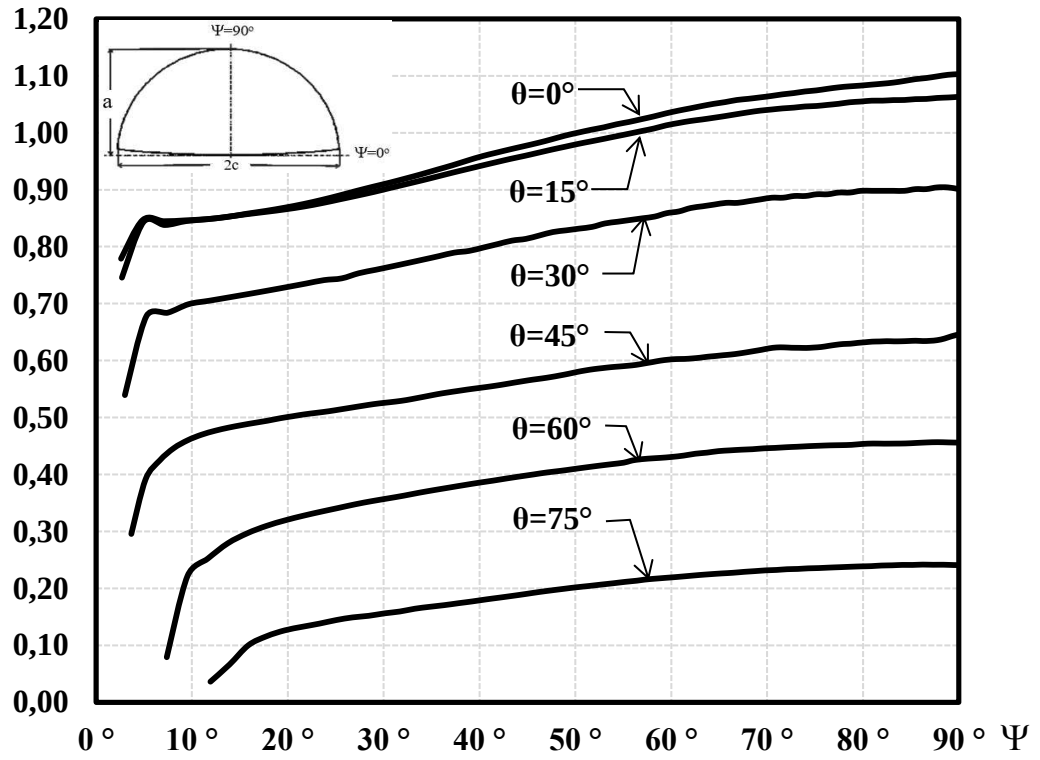
Şekil 3.20. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


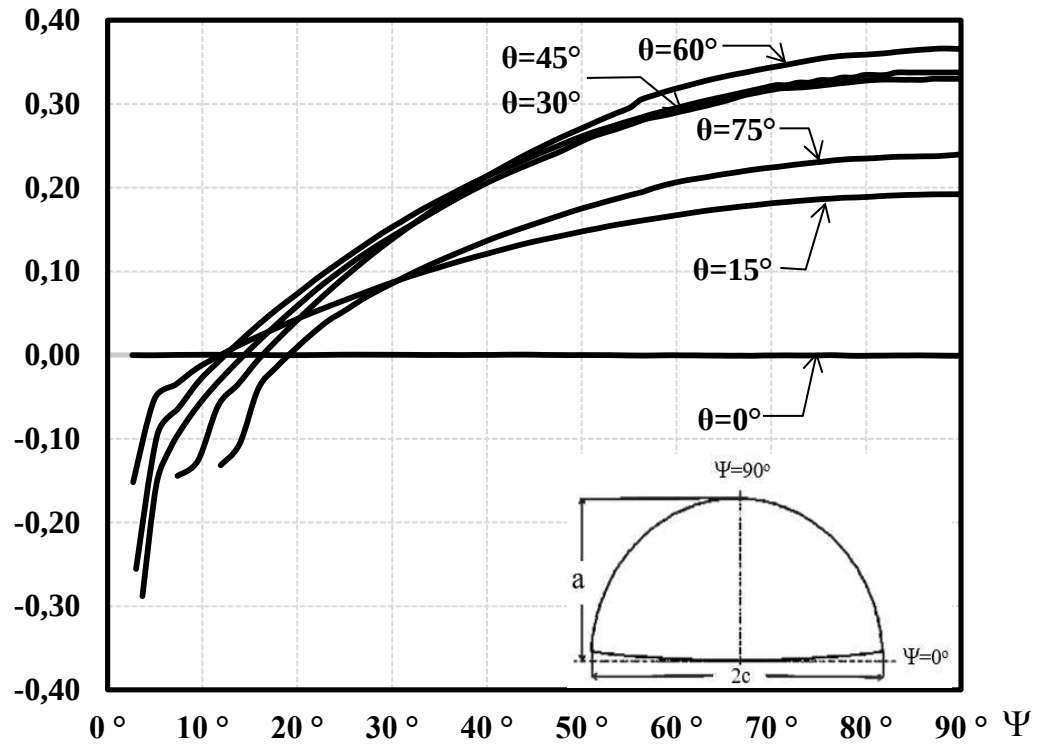
Şekil 3.21. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


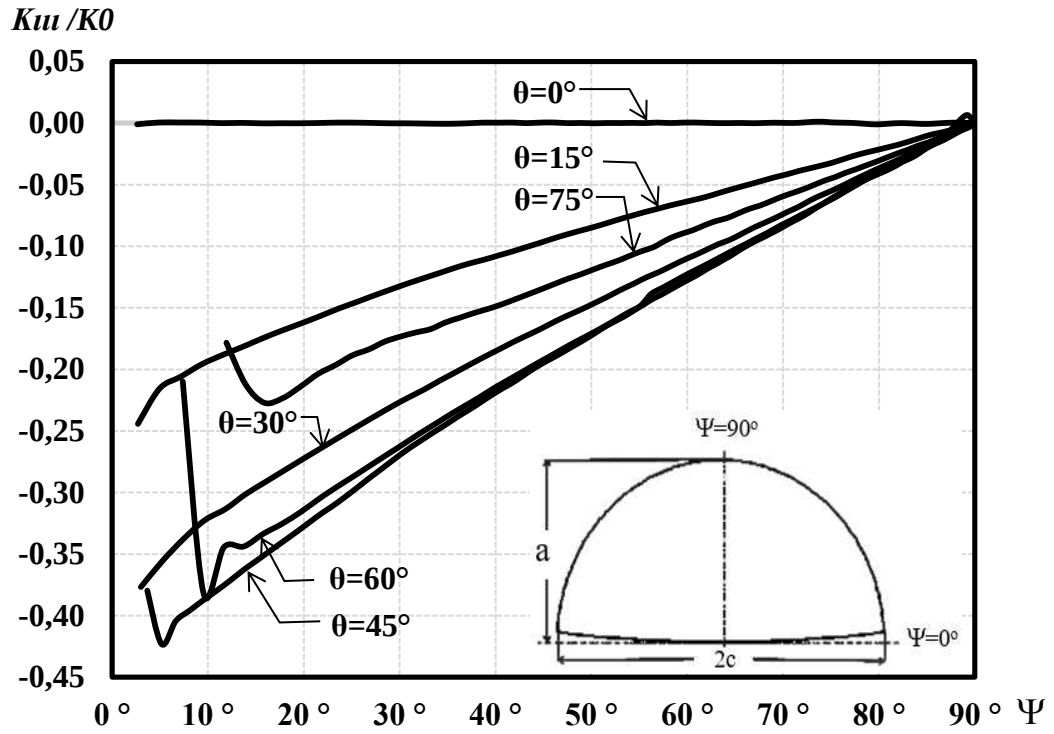
Şekil 3.22. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


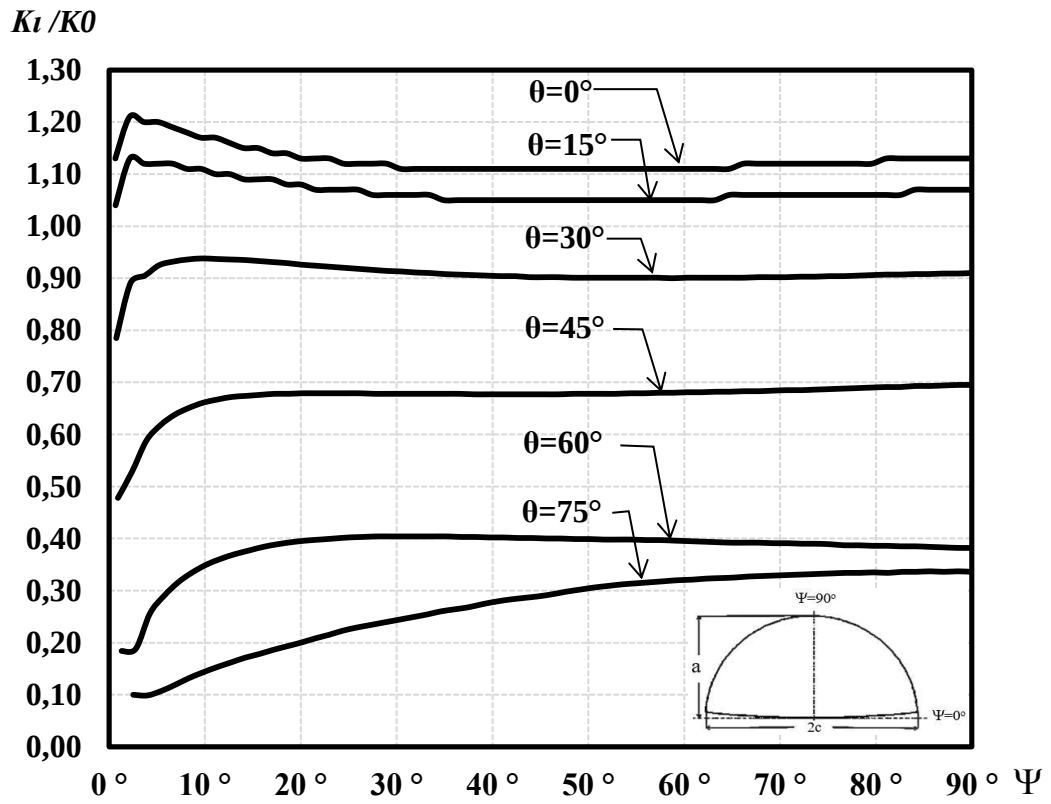
Şekil 3.23. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


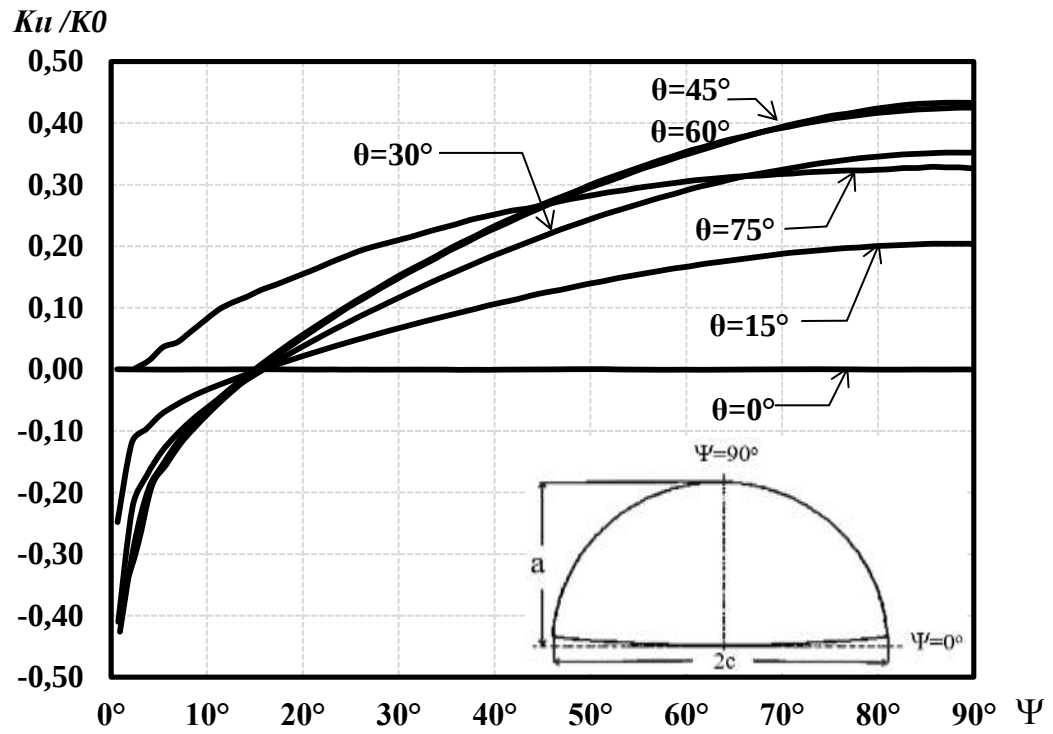
Şekil 3.24. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



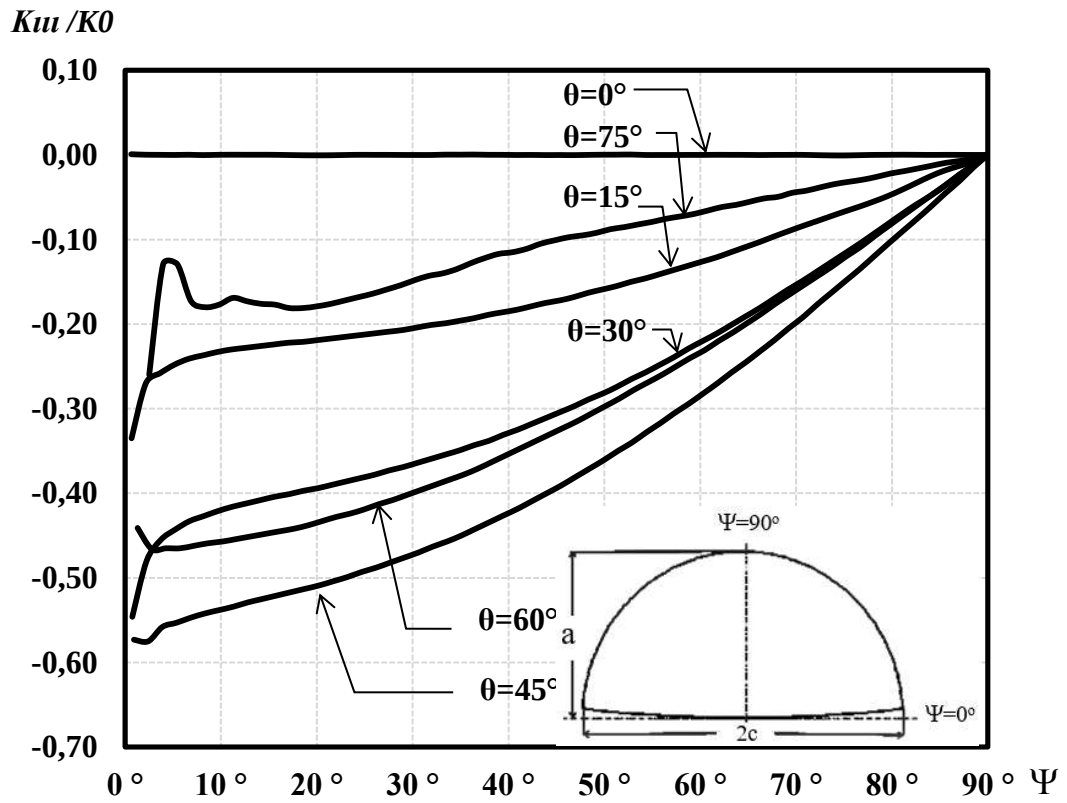
Şekil 3.25. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



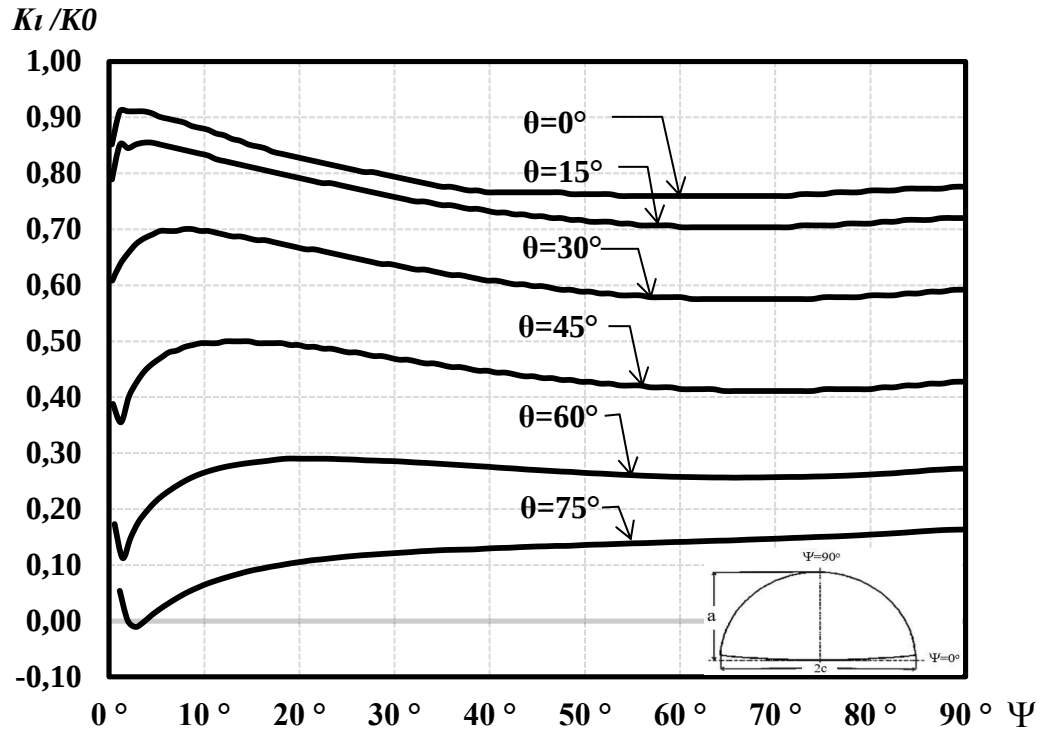
Şekil 3.26. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



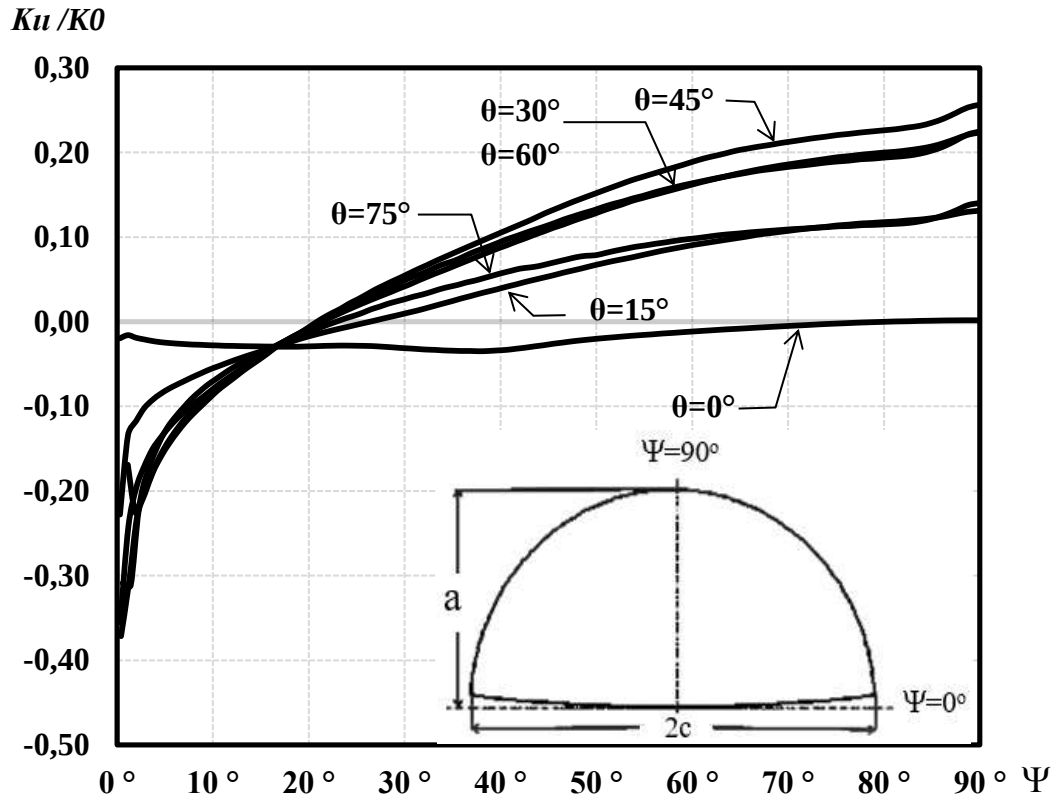
Şekil 3.27. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



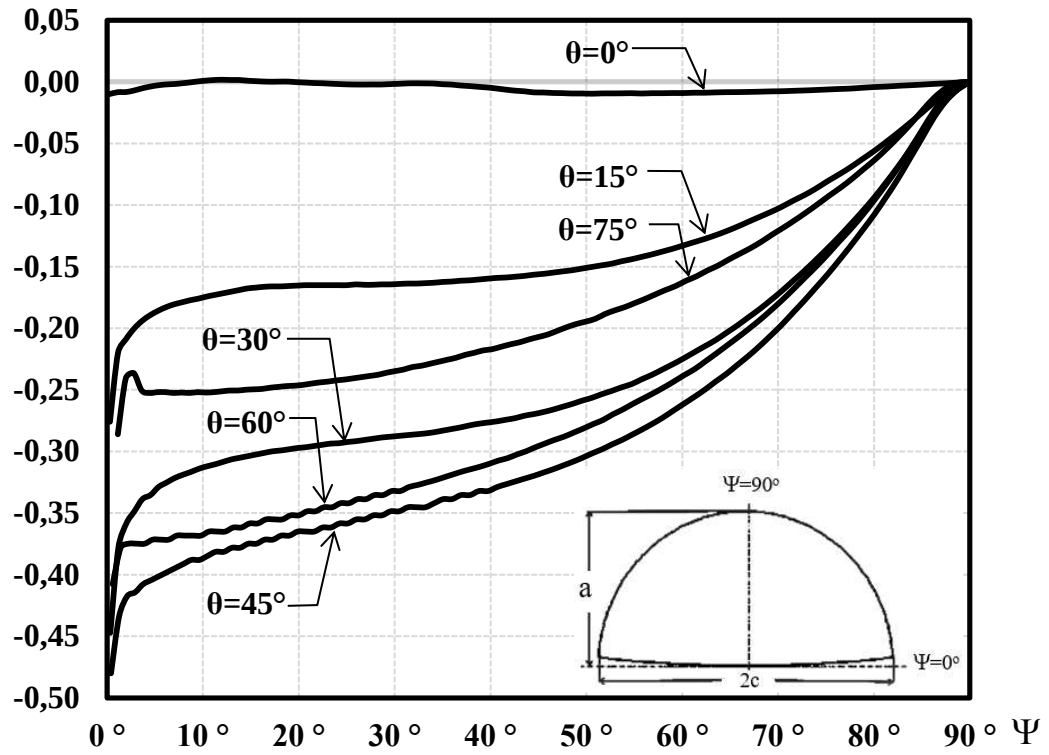
Şekil 3.28. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



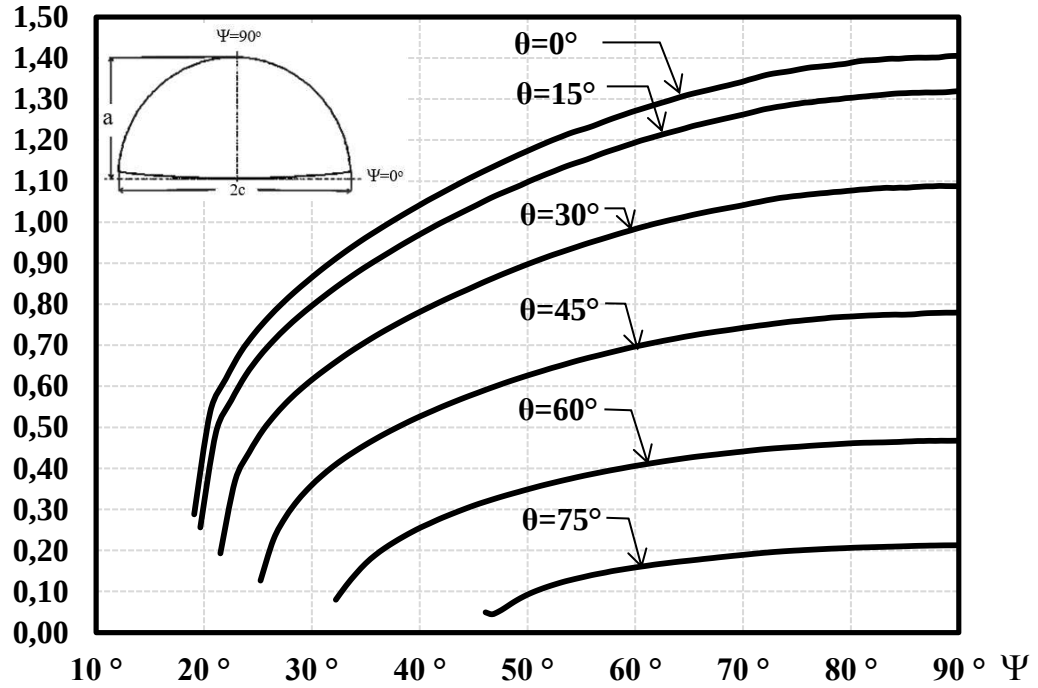
Şekil 3.29. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.30. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri

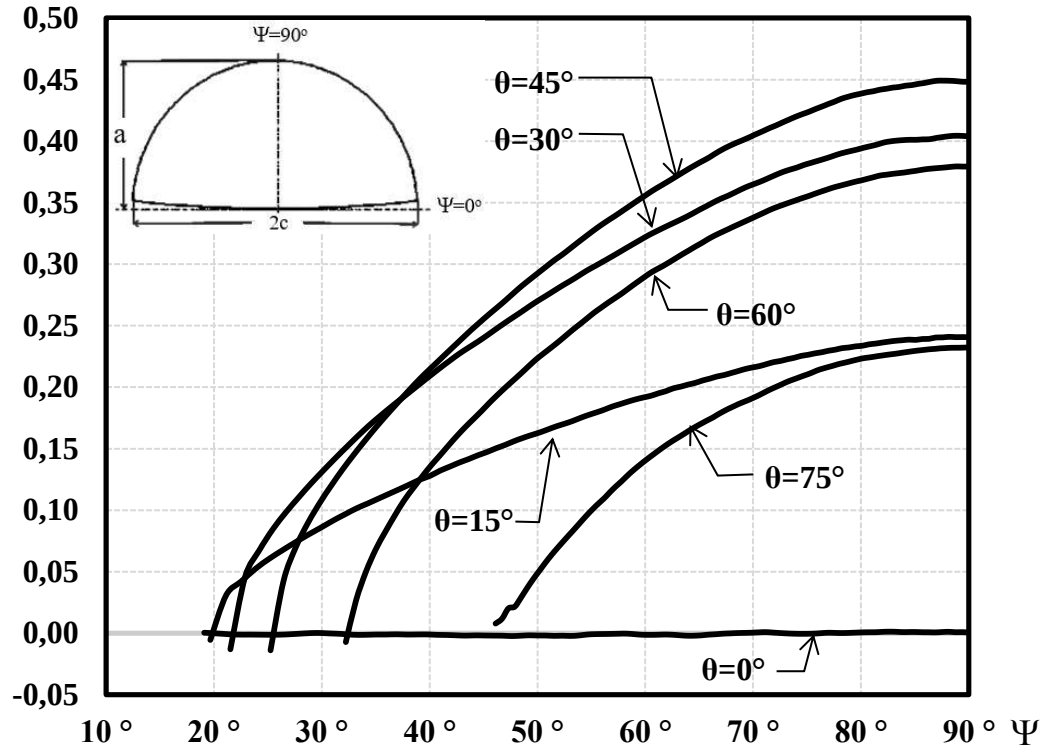
K_{III} / K_0


Şekil 3.31. $R_o/R_i=1,1$, $a/t=0,25$, $a/c=1,50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


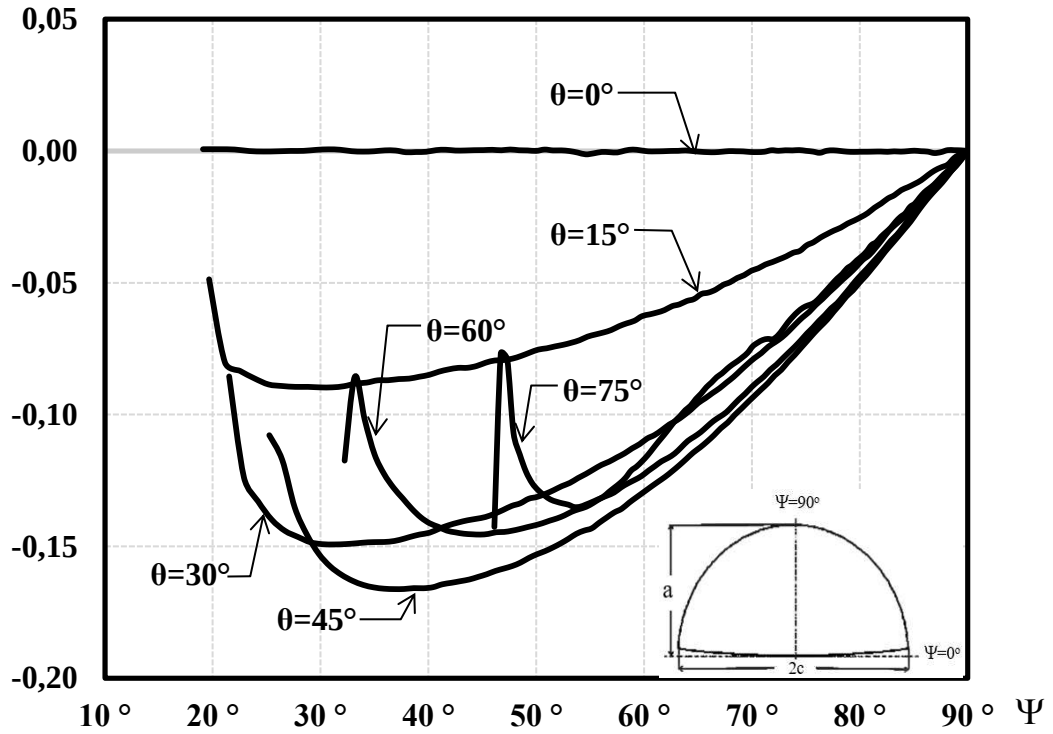
Şekil 3.32. $R_o/R_i=1,1$, $a/t=0,50$, $a/c=0,25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$

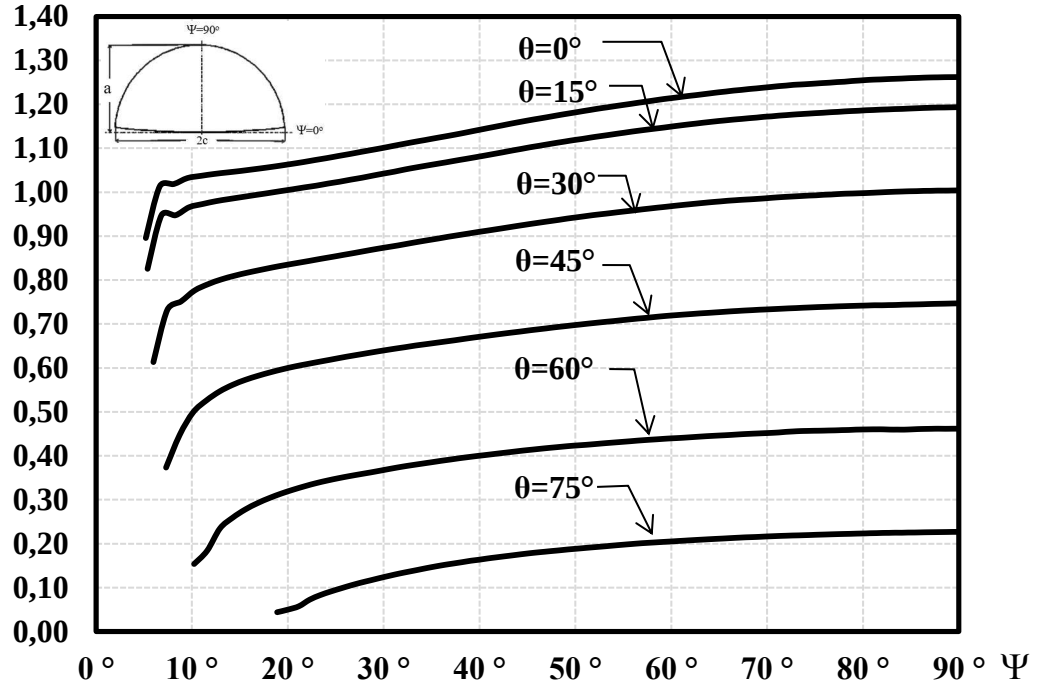


Şekil 3.33. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

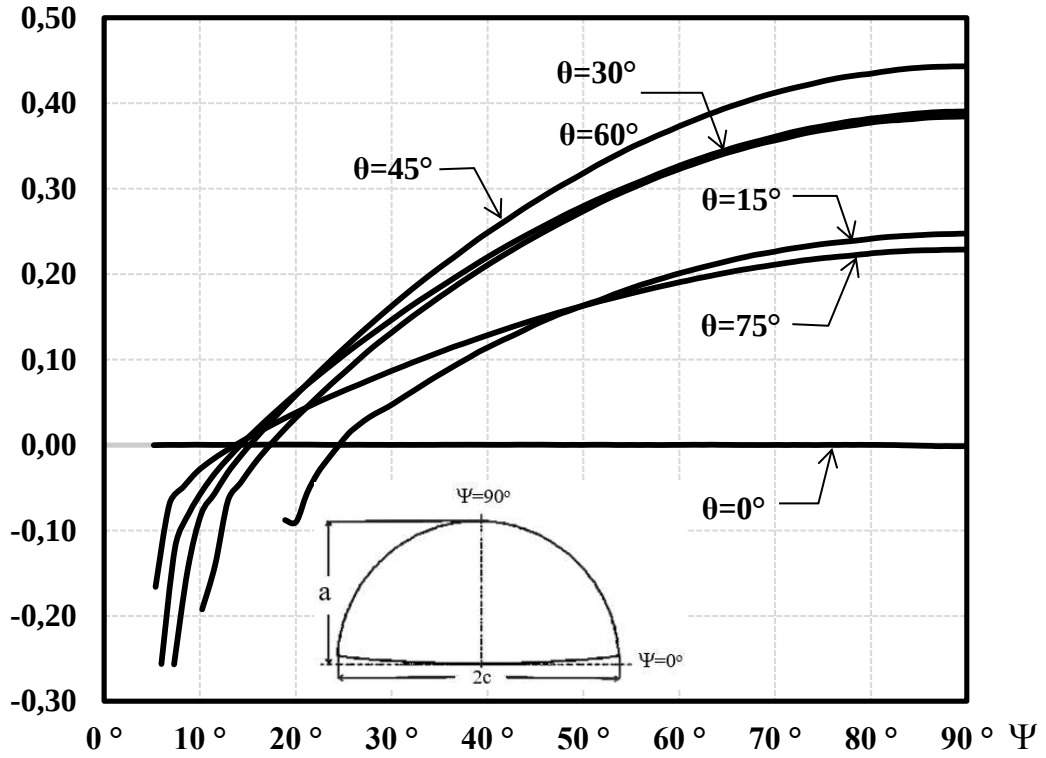
$K_{III}/K0$



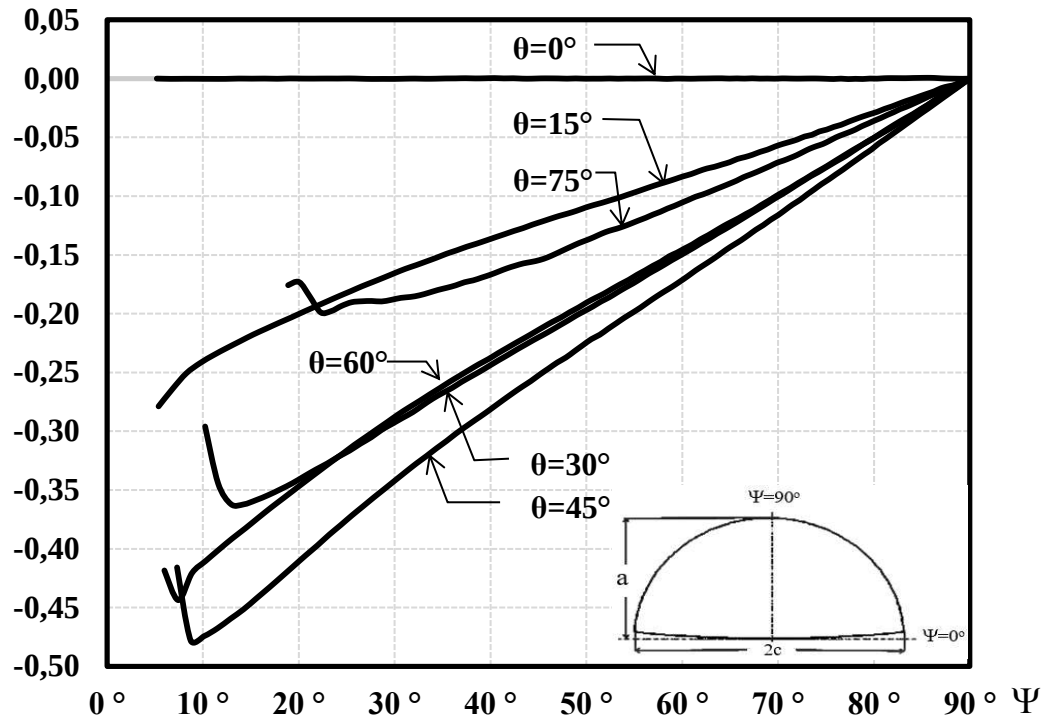
Şekil 3.34. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


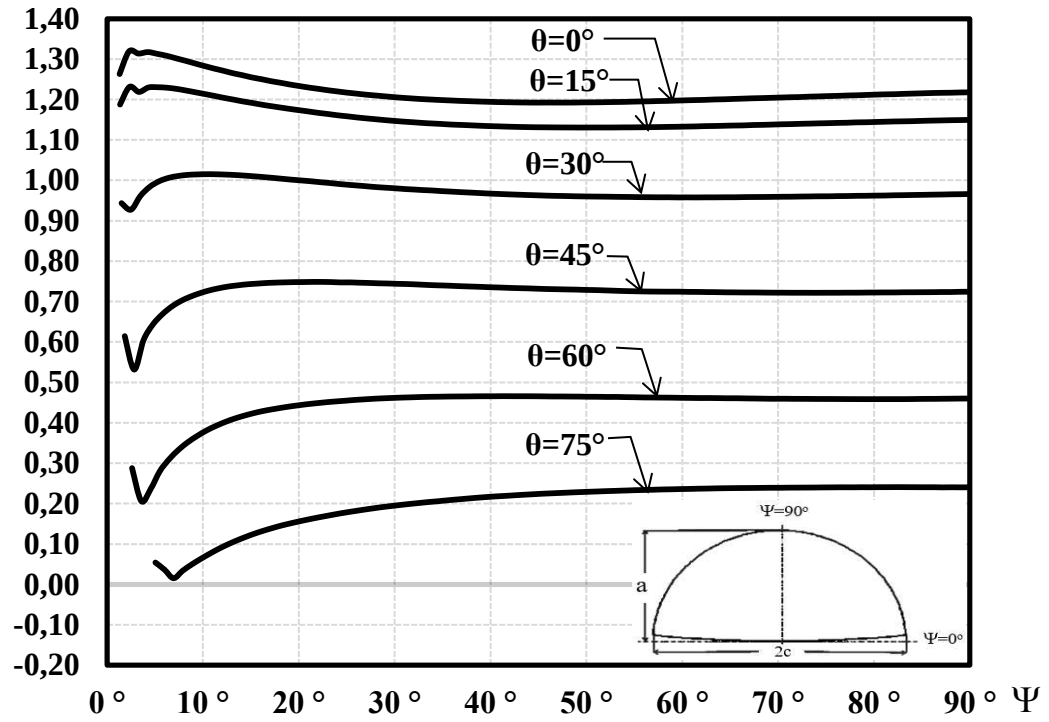
Şekil 3.35. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


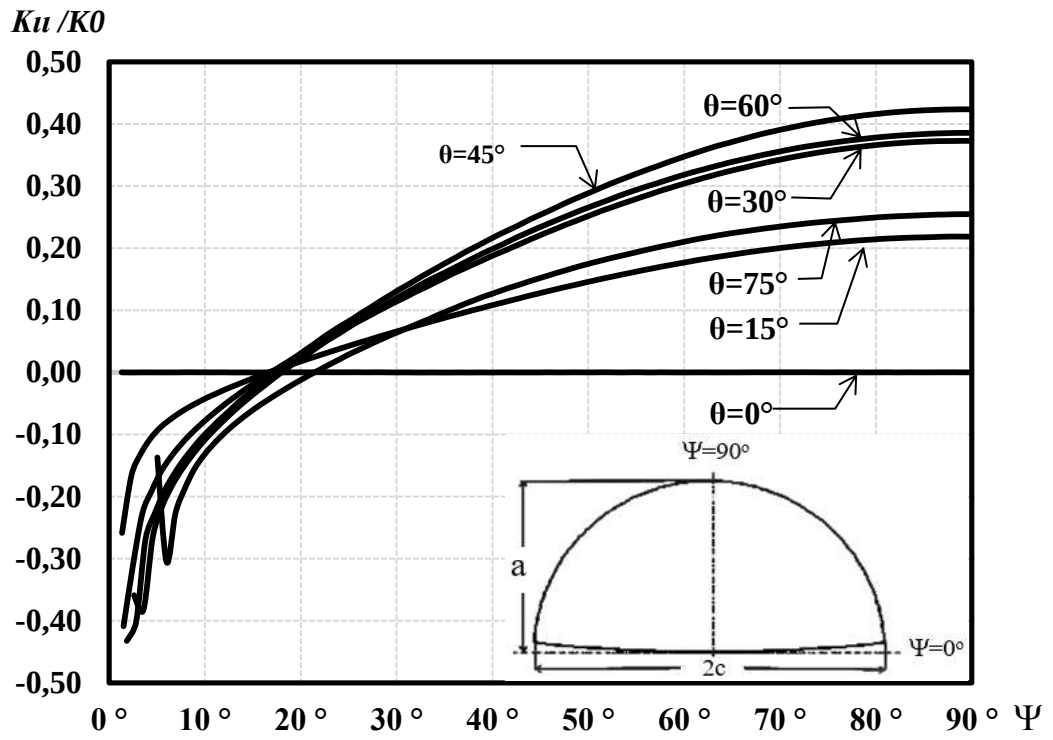
Şekil 3.36. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


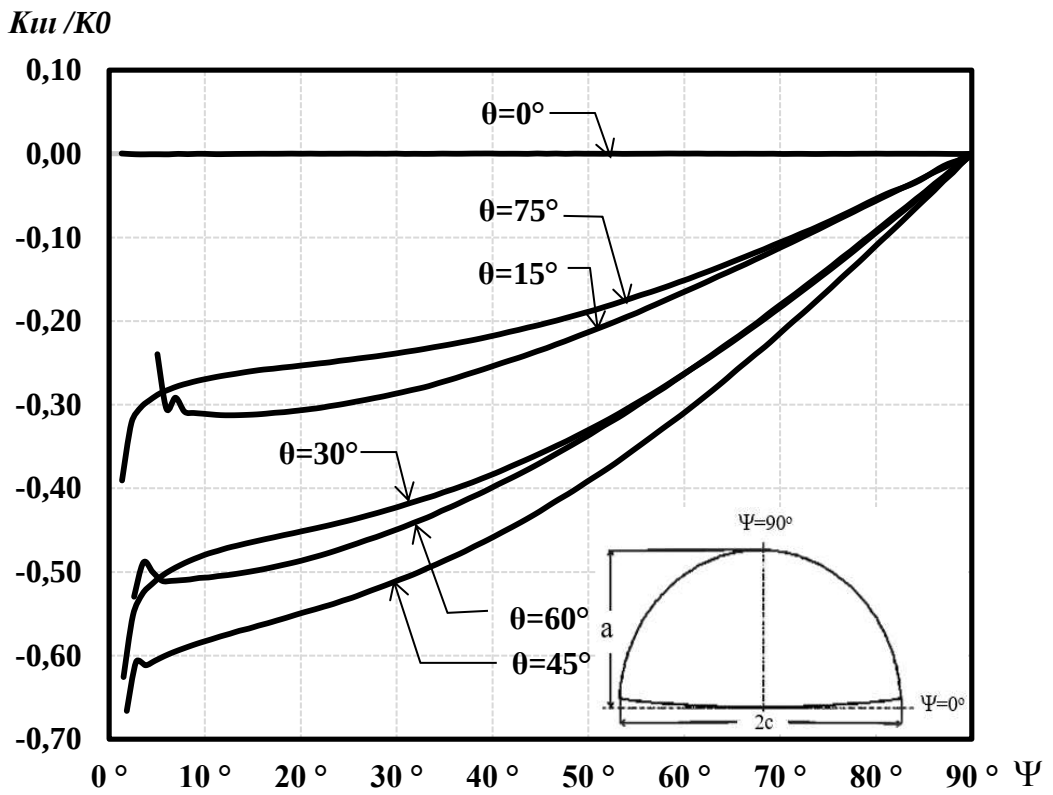
Şekil 3.37. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


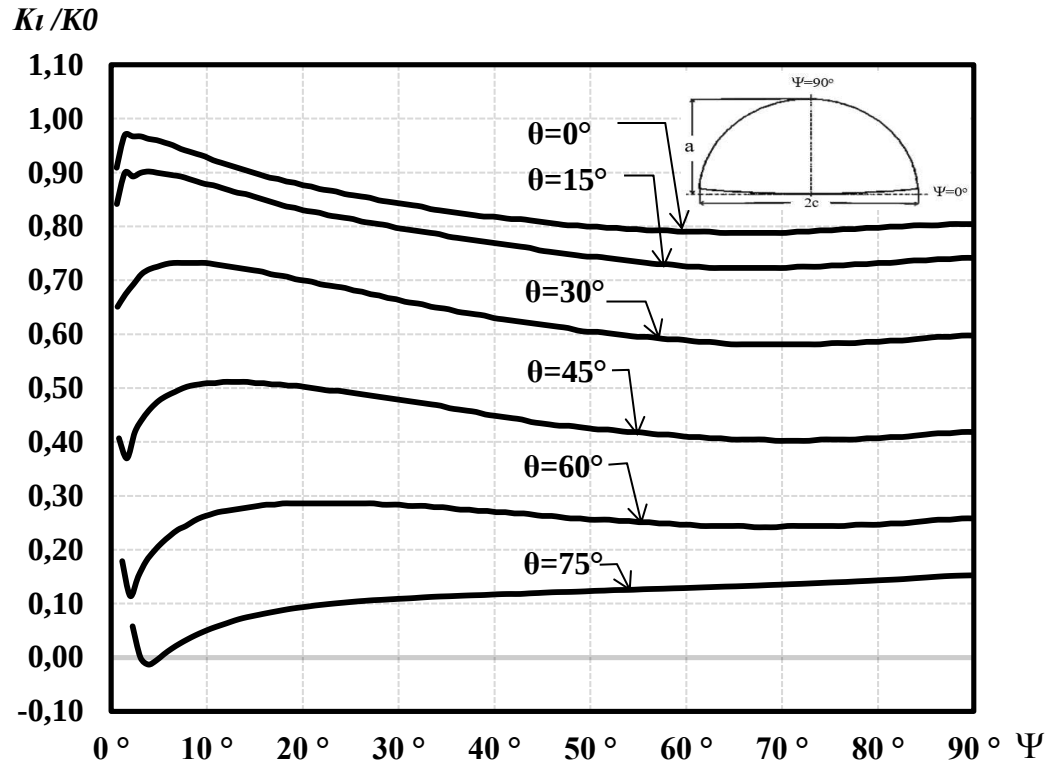
Şekil 3.38. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



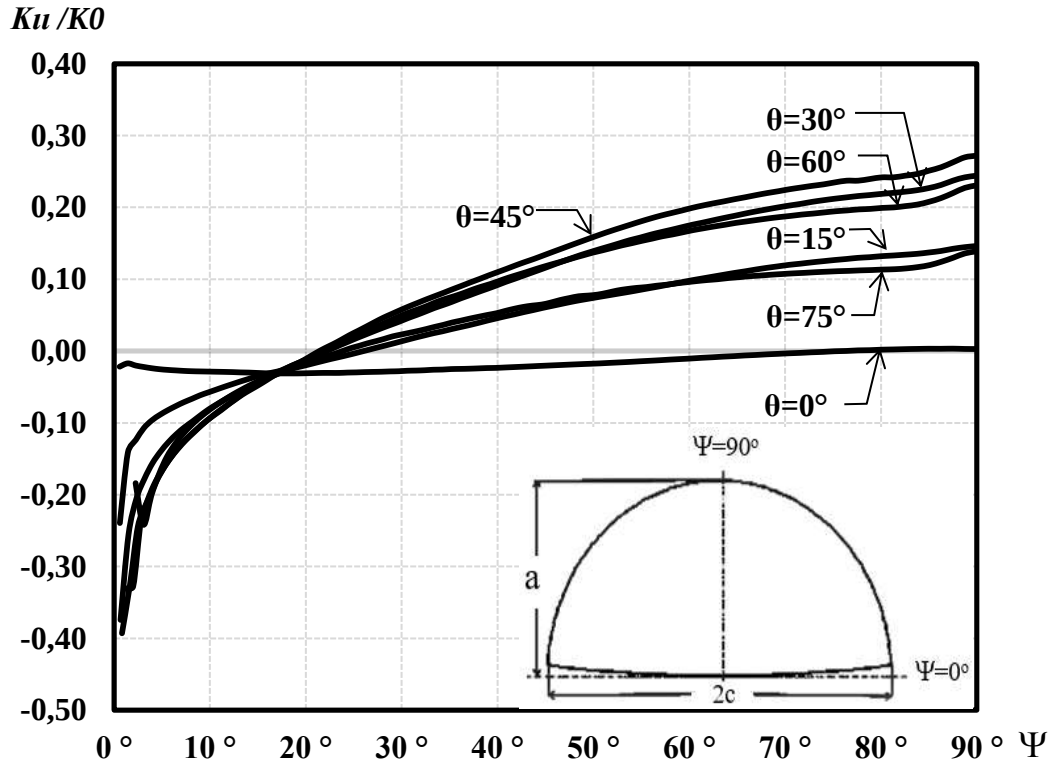
Şekil 3.39. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



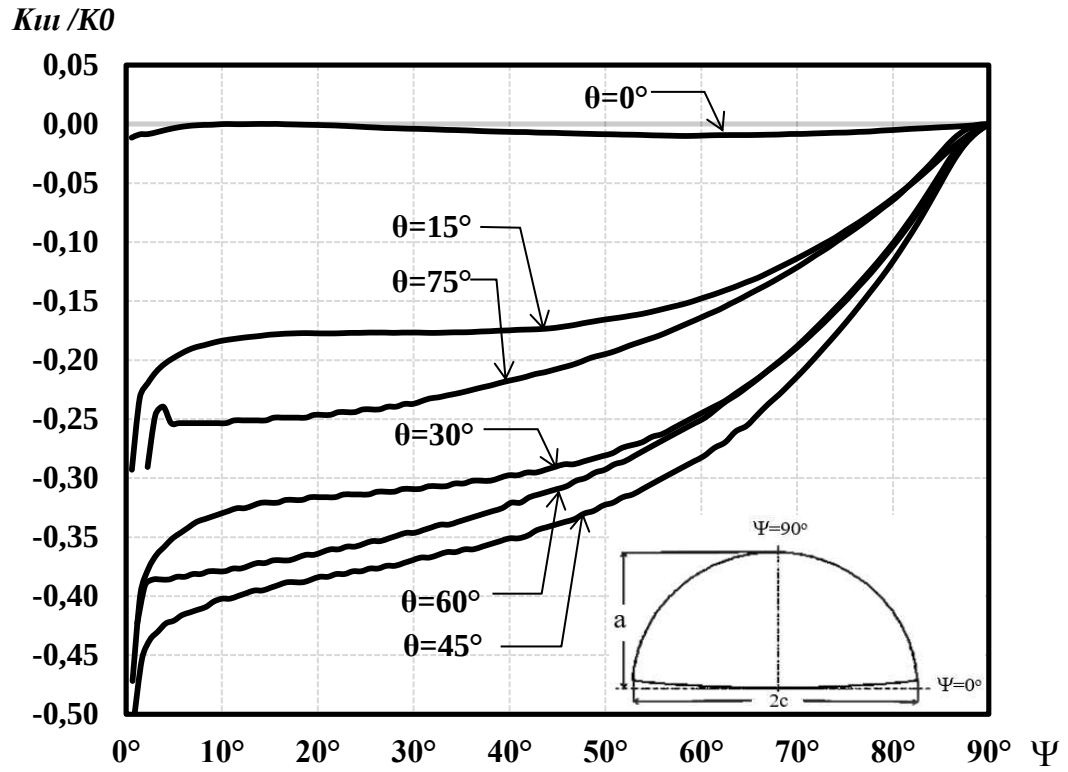
Şekil 3.40. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



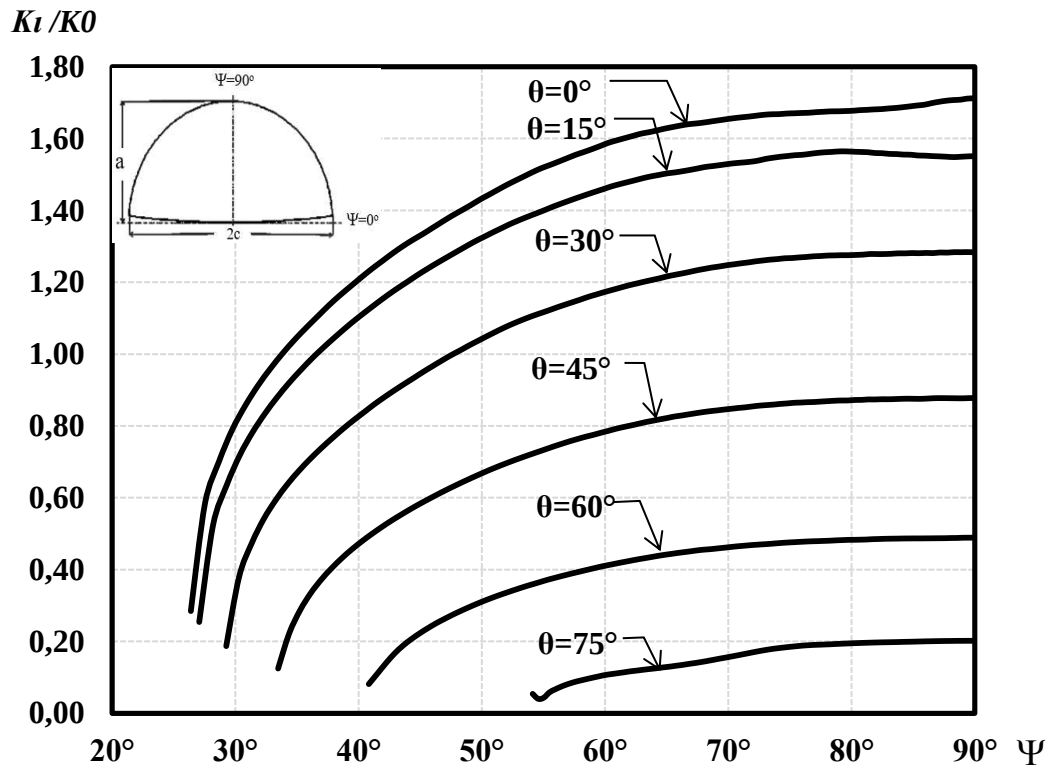
Şekil 3.41. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



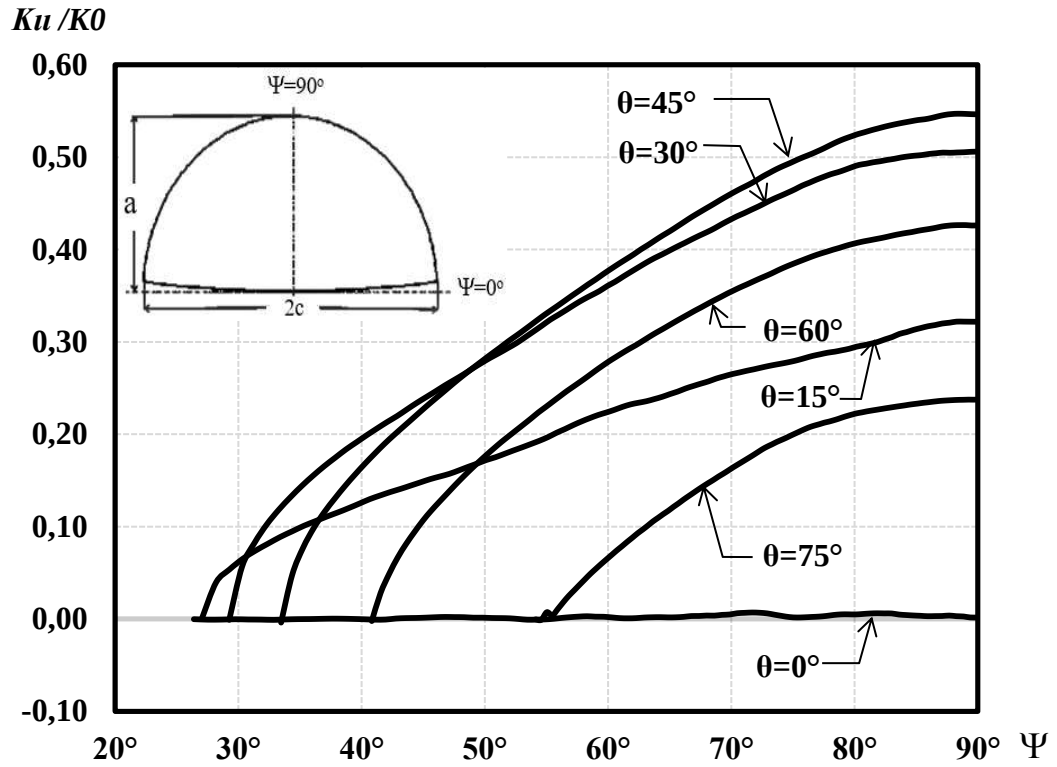
Şekil 3.42. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



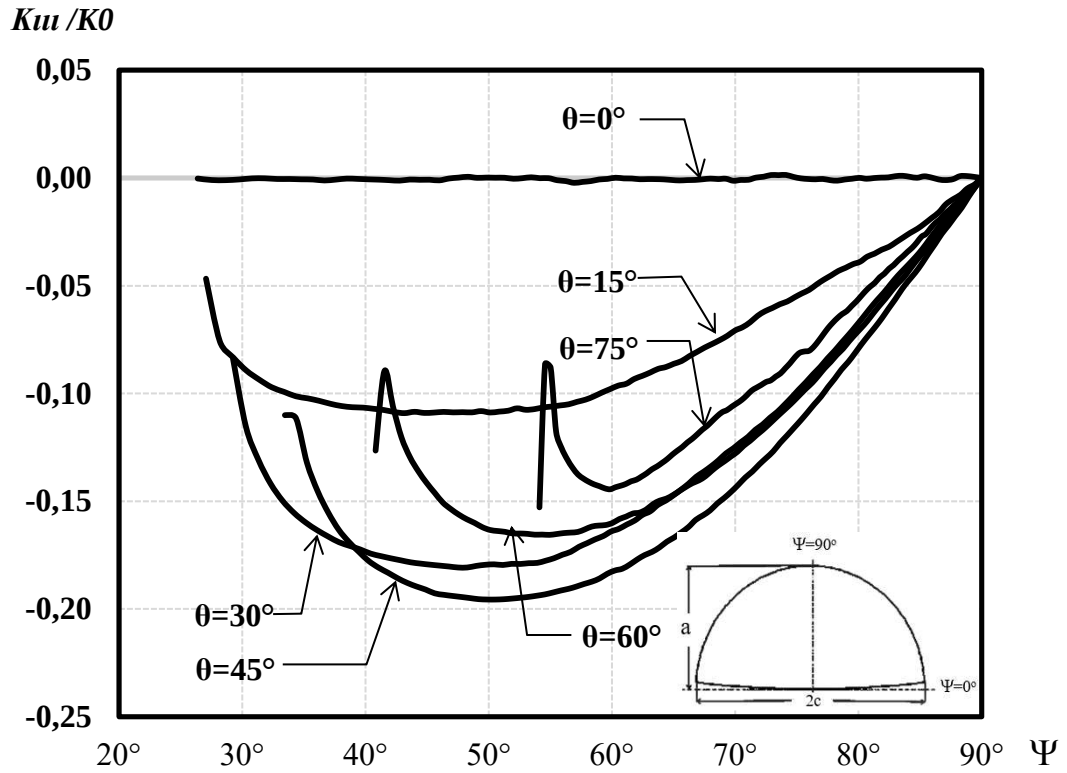
Şekil 3.43. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



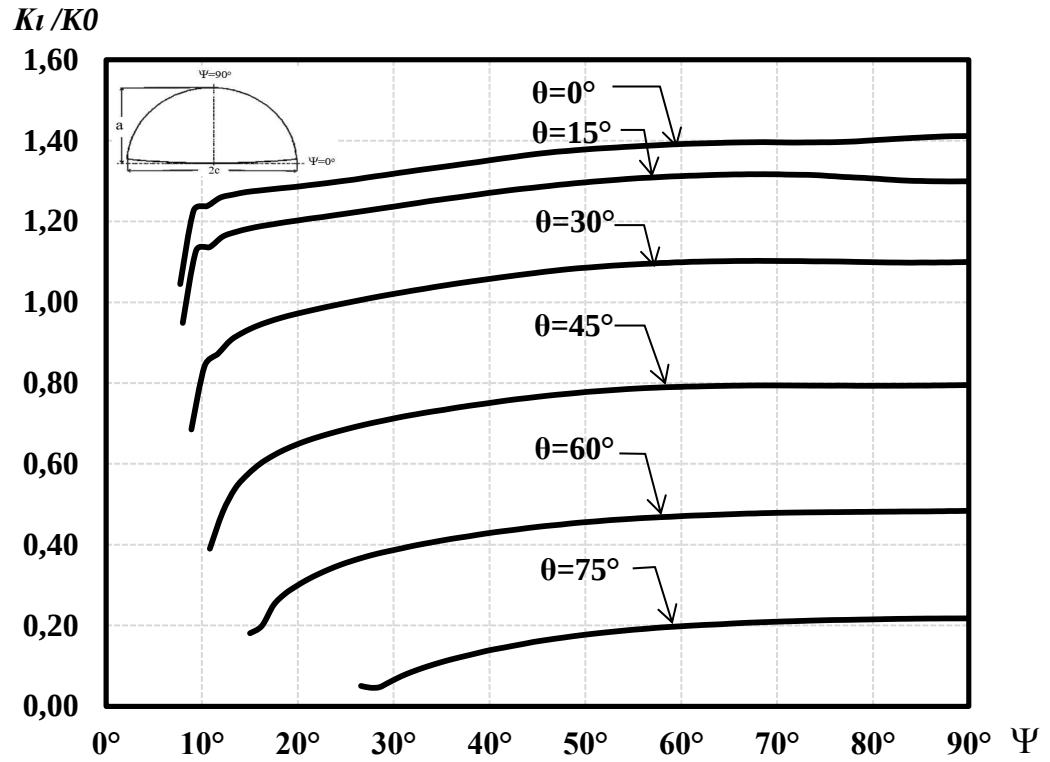
Şekil 3.44. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



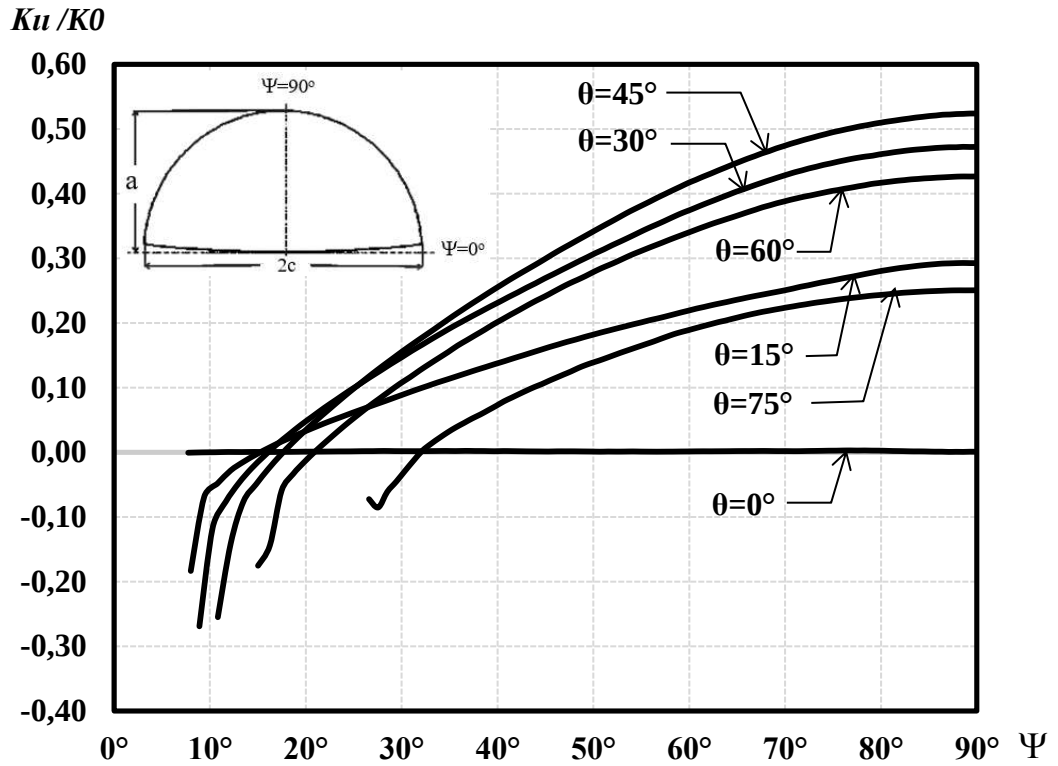
Şekil 3.45. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



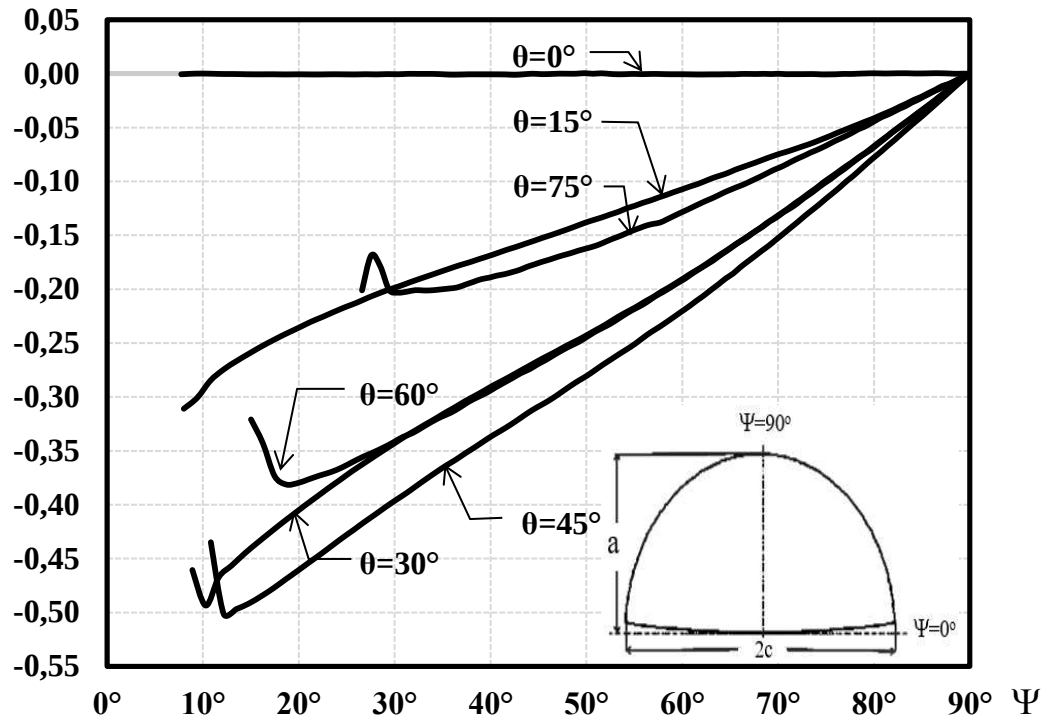
Şekil 3.46. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



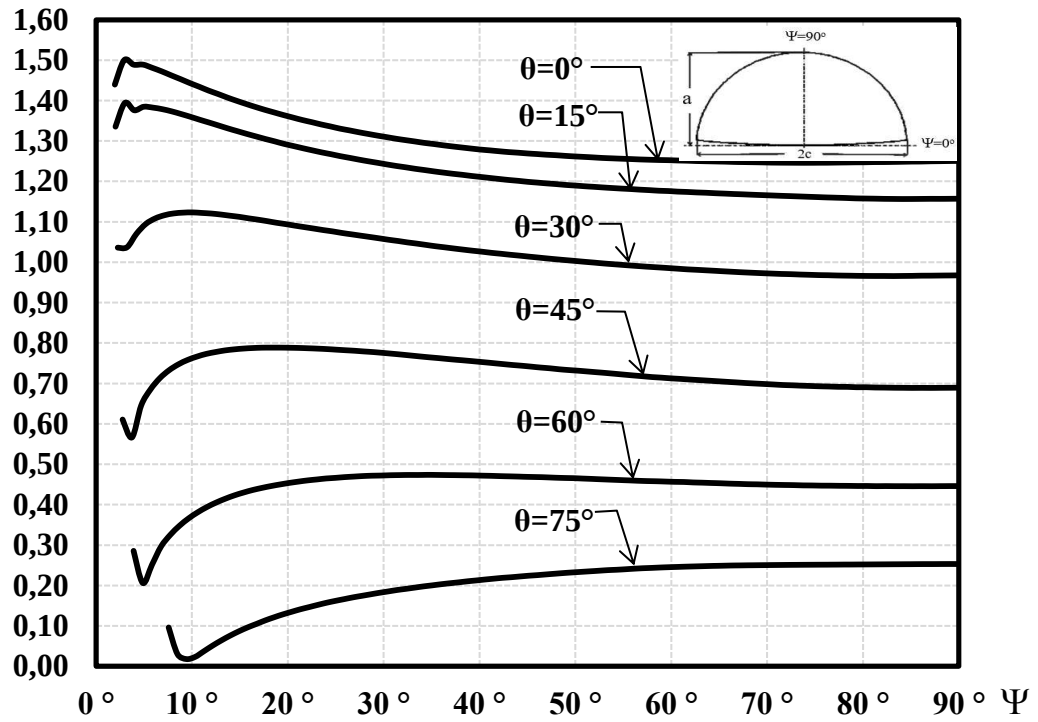
Şekil 3.47. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



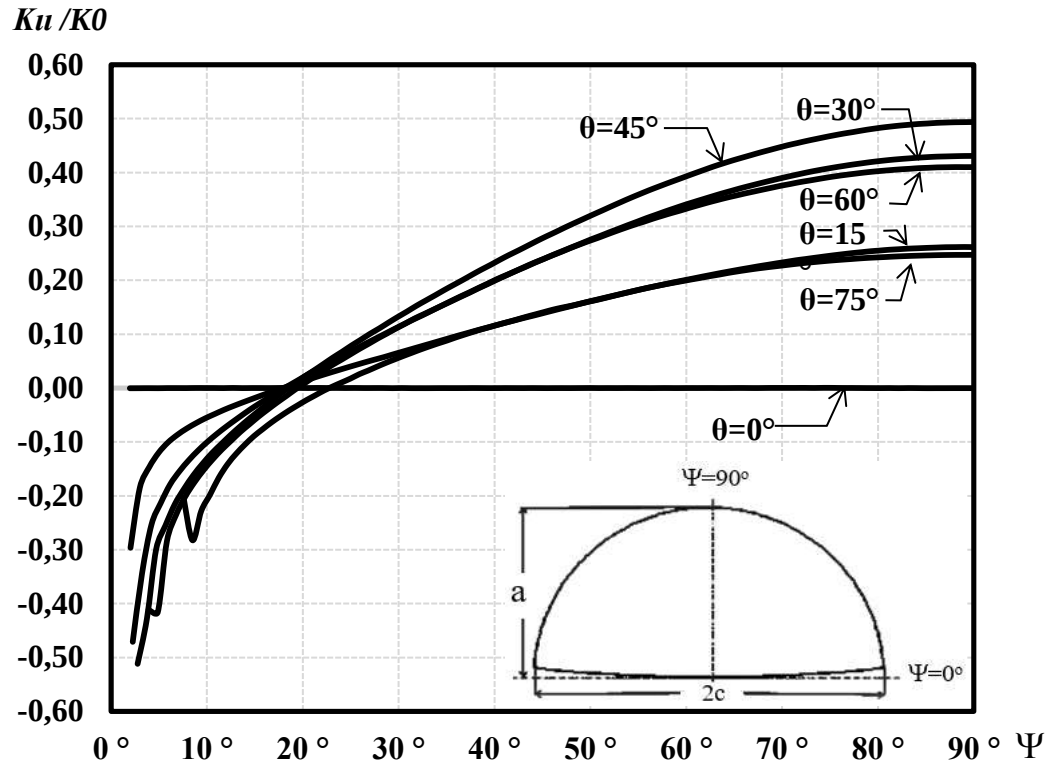
Şekil 3.48. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


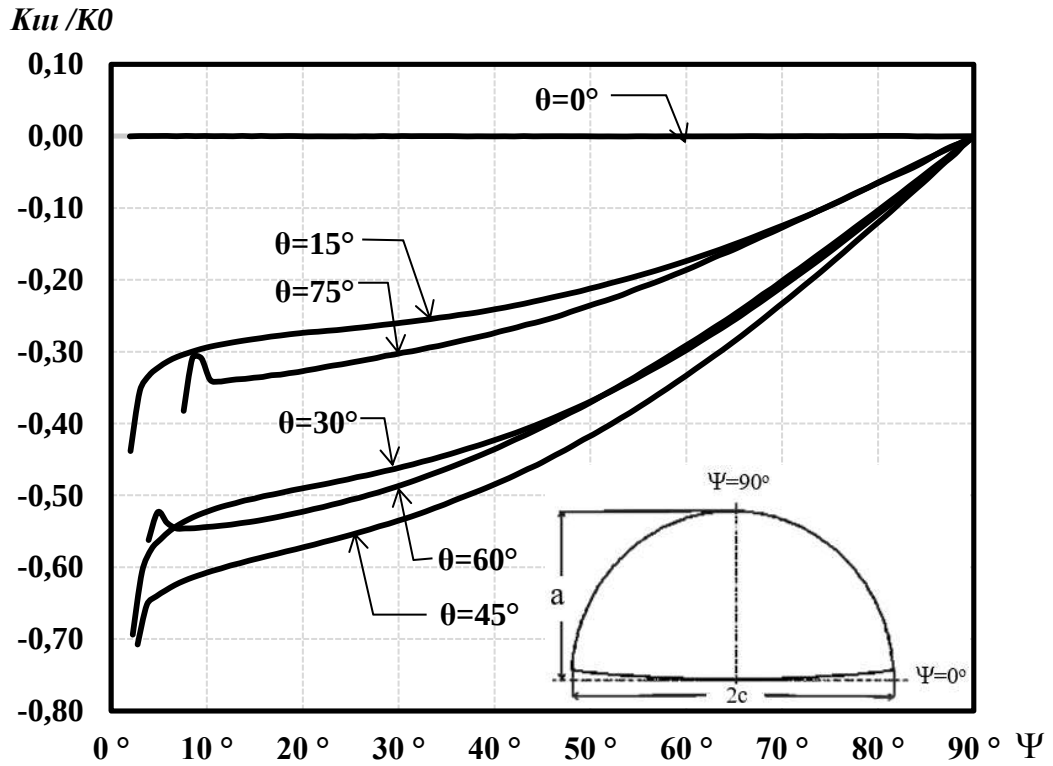
Şekil 3.49. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


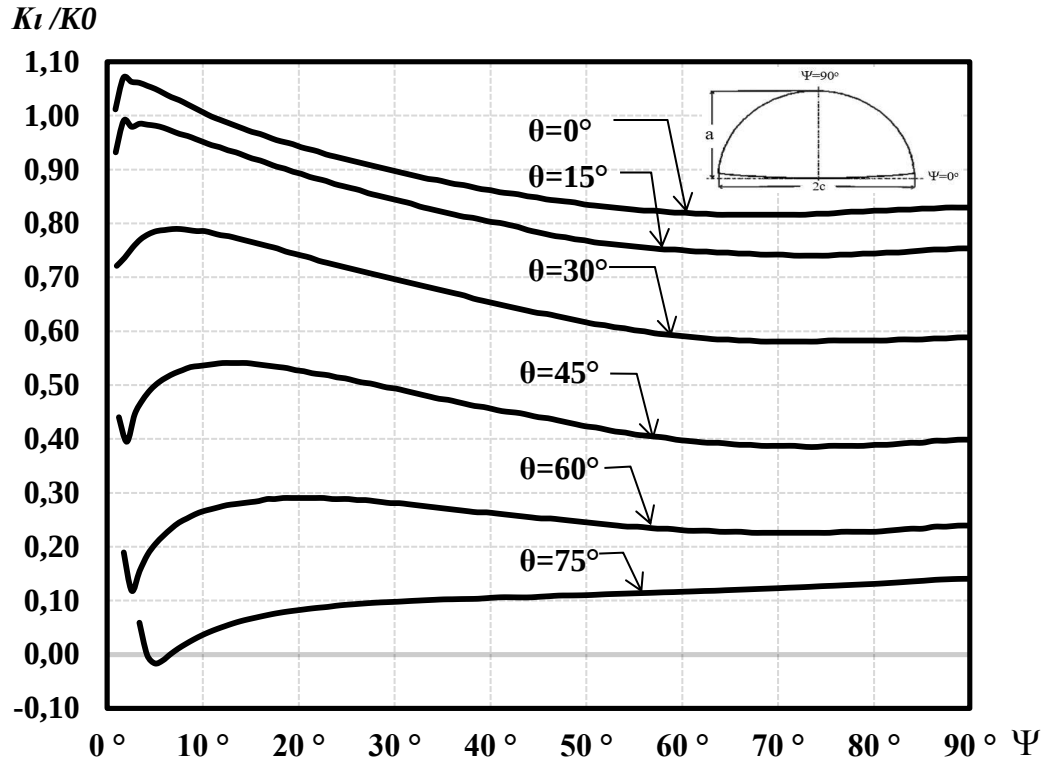
Şekil 3.50. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



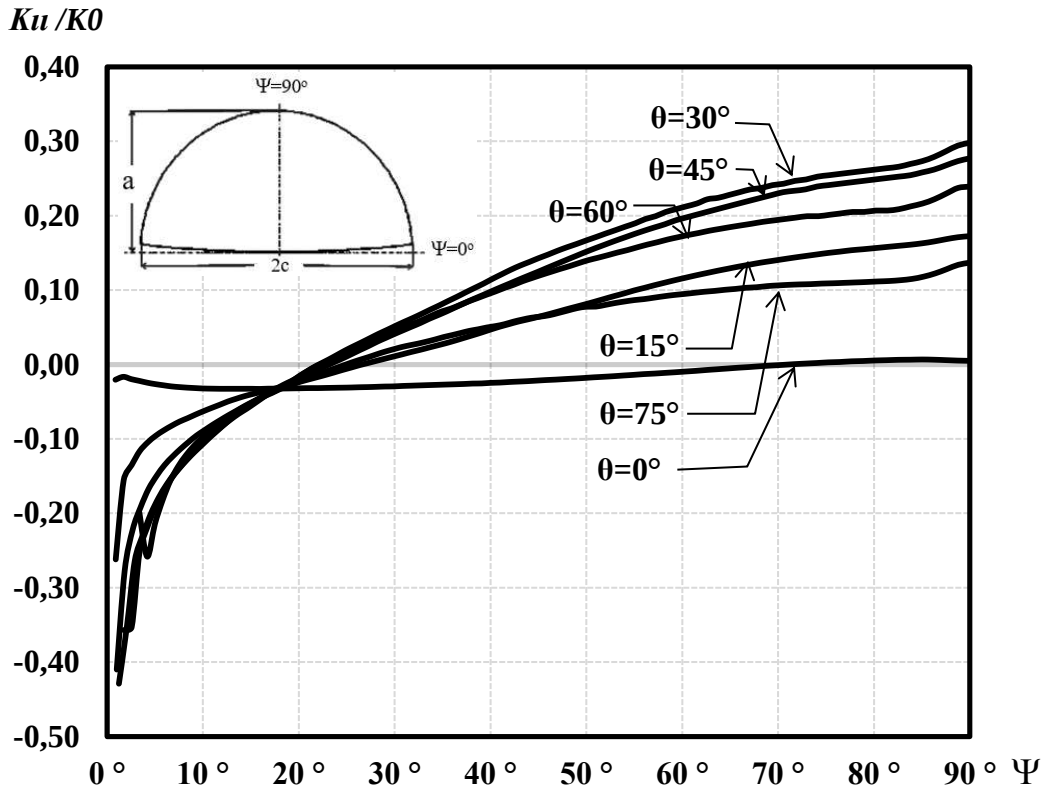
Şekil 3.51. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



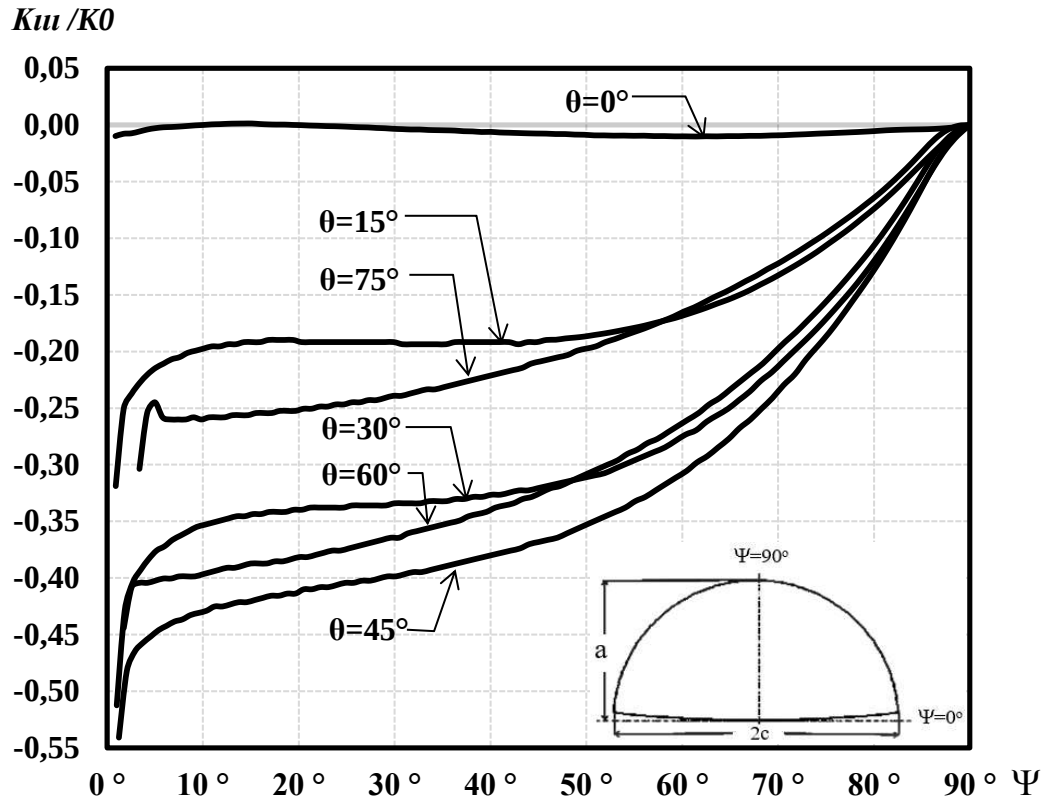
Şekil 3.52. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.53. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



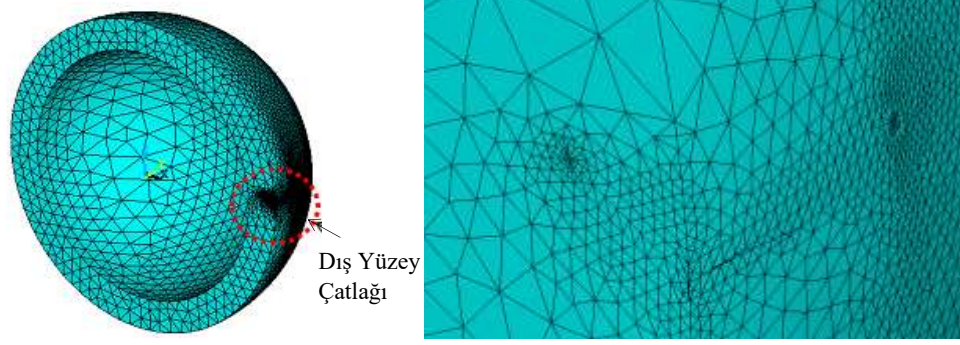
Şekil 3.54. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.55. $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.3. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.25$ Durumu)

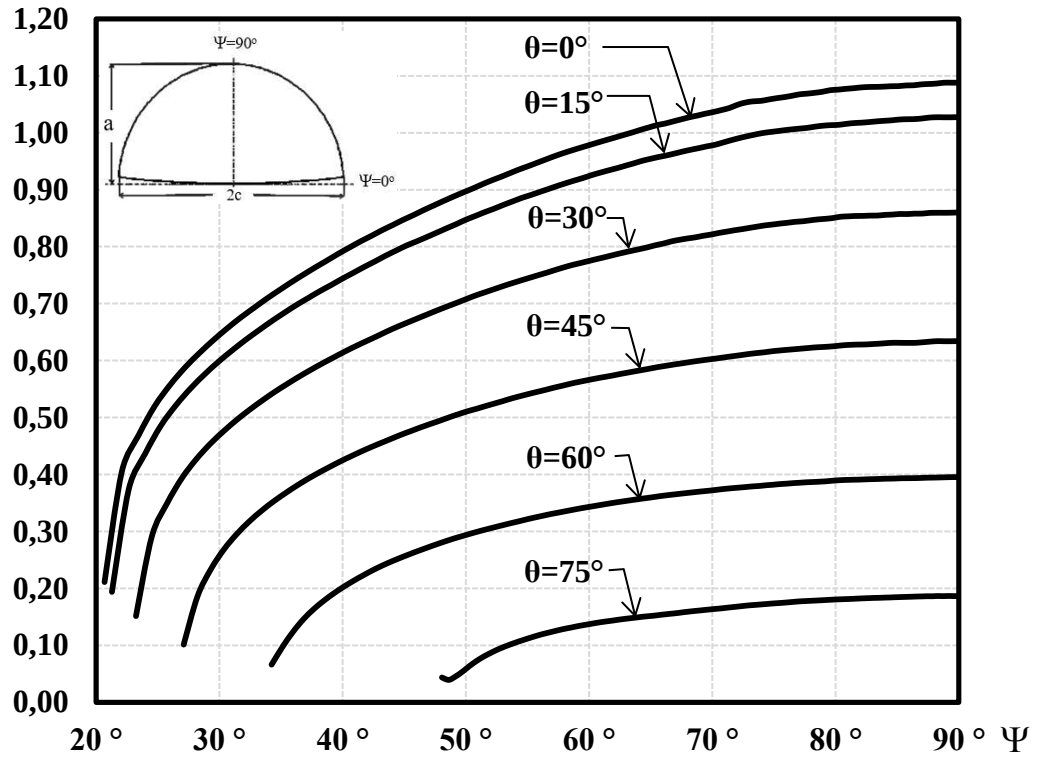
$R_o/R_i=1.1$ de olduğu gibi bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. R_o/R_i oranının artması aslında et kalınlığının artması demektir. Kalınlığın artması sonlu elemanlar modelin oluşturmak için kullanılan eleman sayısını da etkilemiştir ve bu kısımda bölüntüleme işlemi için daha fazla eleman ihtiyacı doğmuştur. Her bir analiz için yaklaşık olarak 90000 eleman 180000 node kullanılmıştır.



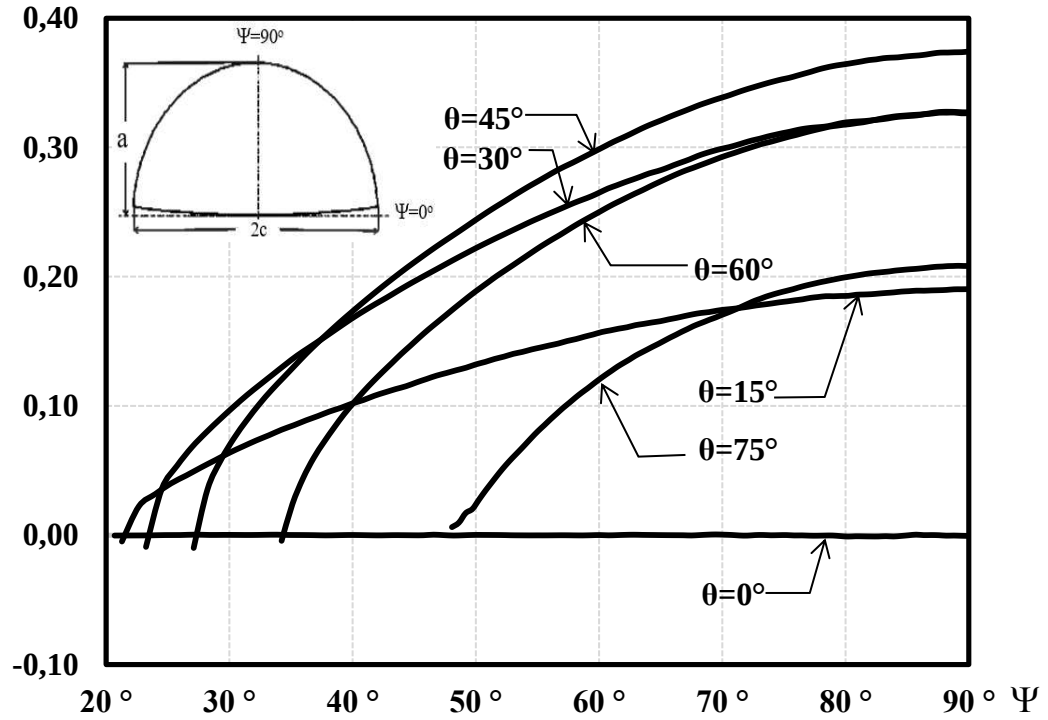
Şekil 3.56. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 30 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.

Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı (a/t) yani et kalınlığının sabit olduğu durumda a/t aslında çatlak derinliği ile alakalı bir parametre haline dönüşmektedir. Diğer bir deyiş ile, a/t arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörünün de artmasına sebep olacaktır. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de beklendiği üzere artmıştır. Çatlakın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması saf mod-I problemidir. Bu durum için çatlak sadece açılma modu yüklemesine çalışır. 0 dereceden farklı olması durumunda ise karışık modlu, açılma (mod-I), kayma modu (mod-II) ve yırtılma modu (mod-III) bileşenleri yönünde gerilme-şiddet faktörleri oluşacaktır. Elde edilen grafikler yorumlandığında, açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlakın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri $R_o/R_i=1.1$ durumunda da olduğu gibi artmıştır. Diğer parametreler sabit tutulduğunda çatlakın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlakın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı (a/c) arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve Yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmış ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlakın yatay eksenle yaptığı açının 0° olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir deyiş ile bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı görülmüştür. Çatlakın yatay eksenle yaptığı diğer açılar için mod-II ve mod-III yönlerinde gerilme-

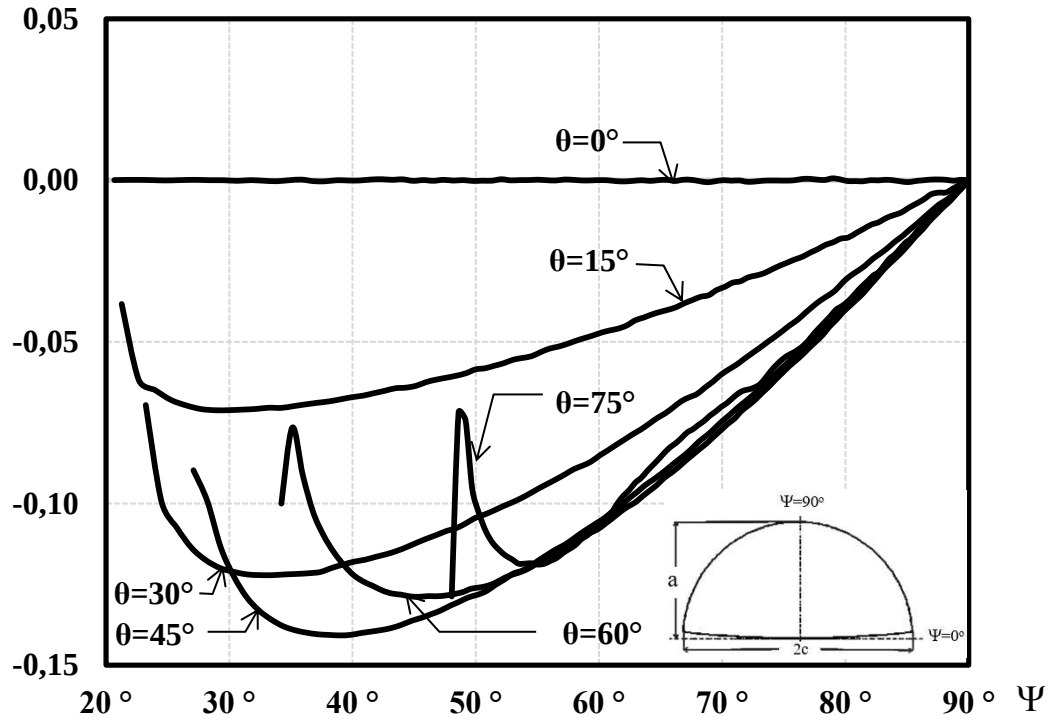
şiddet faktörleri oluşmaktadır. Elde edilen grafiklerde kayma modunda (mod-II) en yüksek değerin 45 derecede olduğu görülmektedir. Mod-III kısmında ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede en yüksek değeri 45 derece de aldığı görülmüştür. Küresel yapının cidar kalınlığının değişimine diğer bir ifade ile, R_o/R_i oranını 1.1 ile 1.25 olması durumunu karşılaştırılması durumunda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) artması sonucunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri açılma modu (mod-I) için bir miktar azaldığı görülmüştür. Dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) kayma moduna etkiye bakılırsa çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri bir miktar azaldığı görülmüştür. Yırtılma modu (Mod-III) için ise çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede bir miktar artmıştır. Şekil 3.72. incelenecek olursa $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.73.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin 45 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve 15, 30, 45, 60 dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü davranışları görülecektir. Şekil 3.74. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleri olarak görülmektedir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.57.-3.92.)'de verilmektedir. Grafiklerde başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.

K_I / K_0


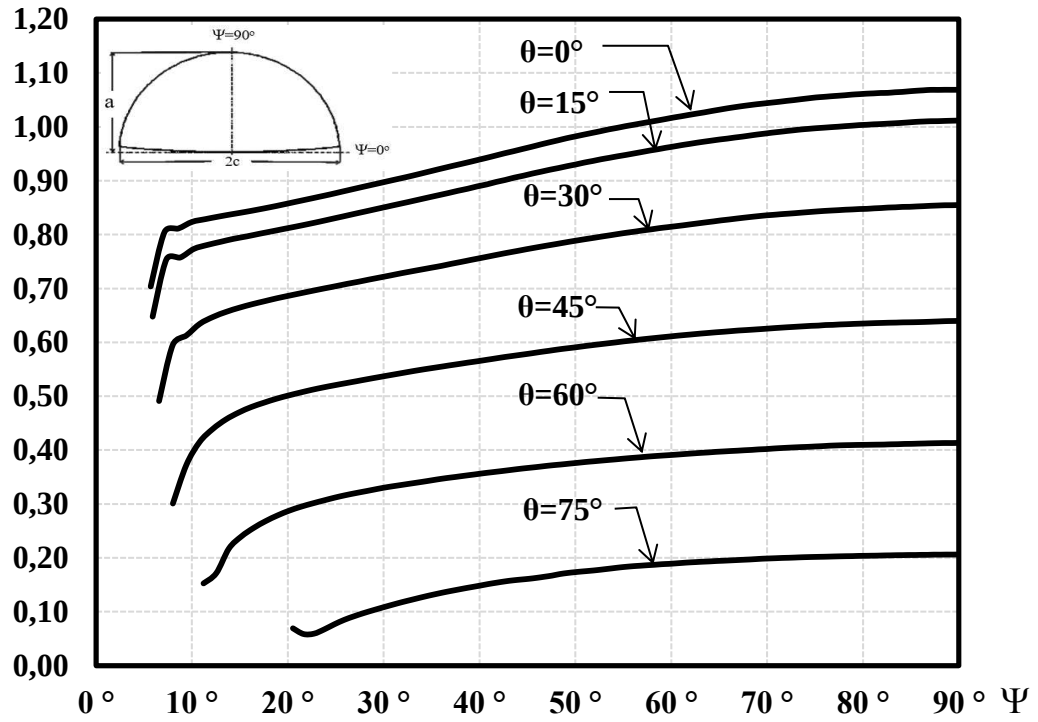
Şekil 3.57. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


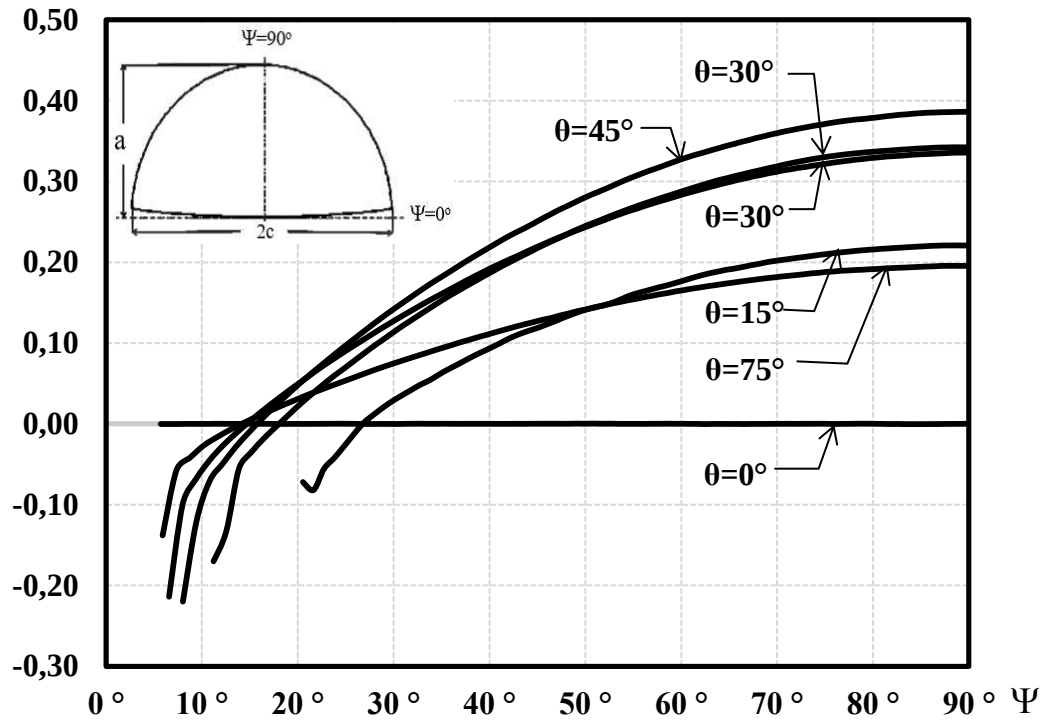
Şekil 3.58. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


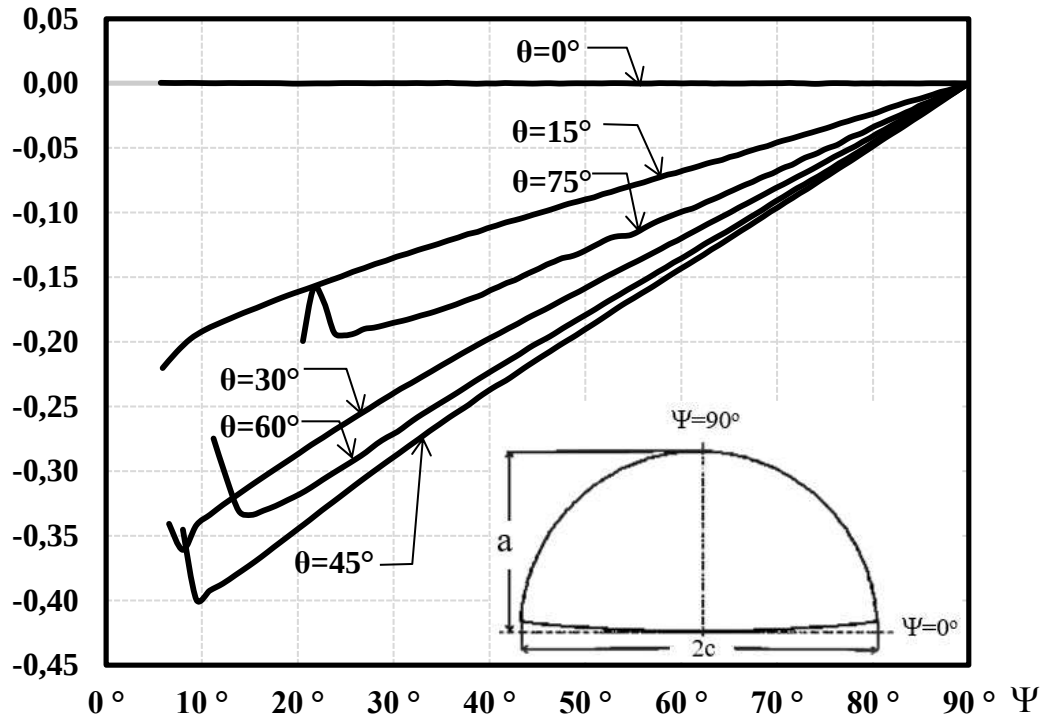
Şekil 3.59. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


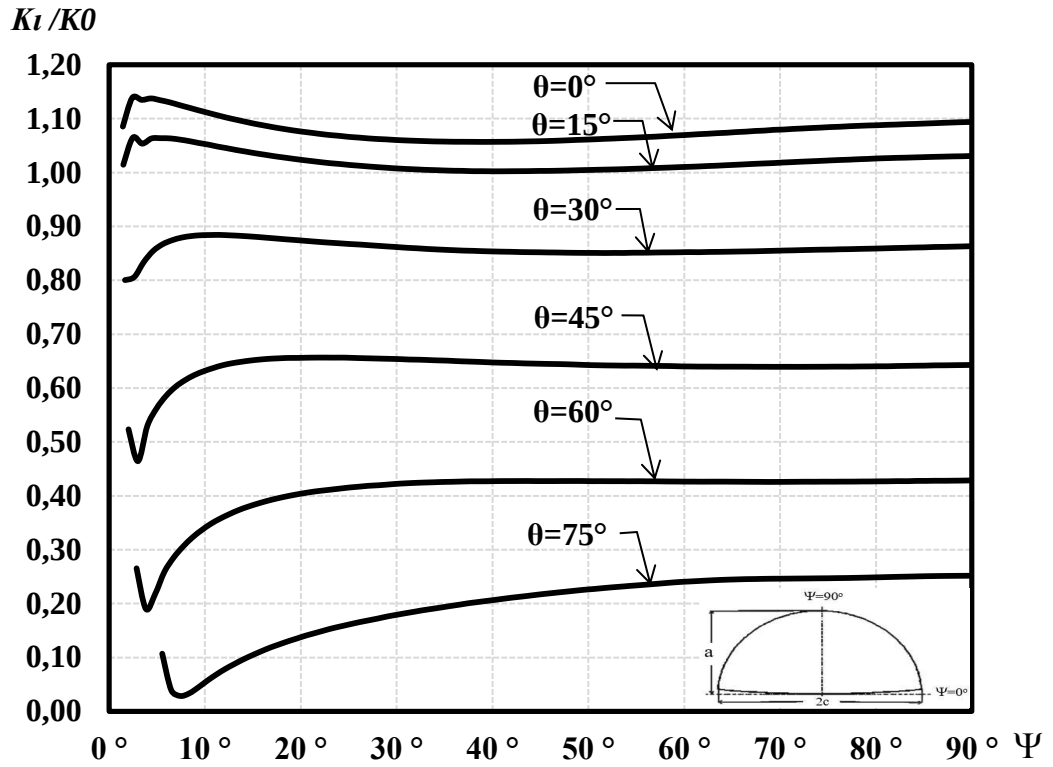
Şekil 3.60. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


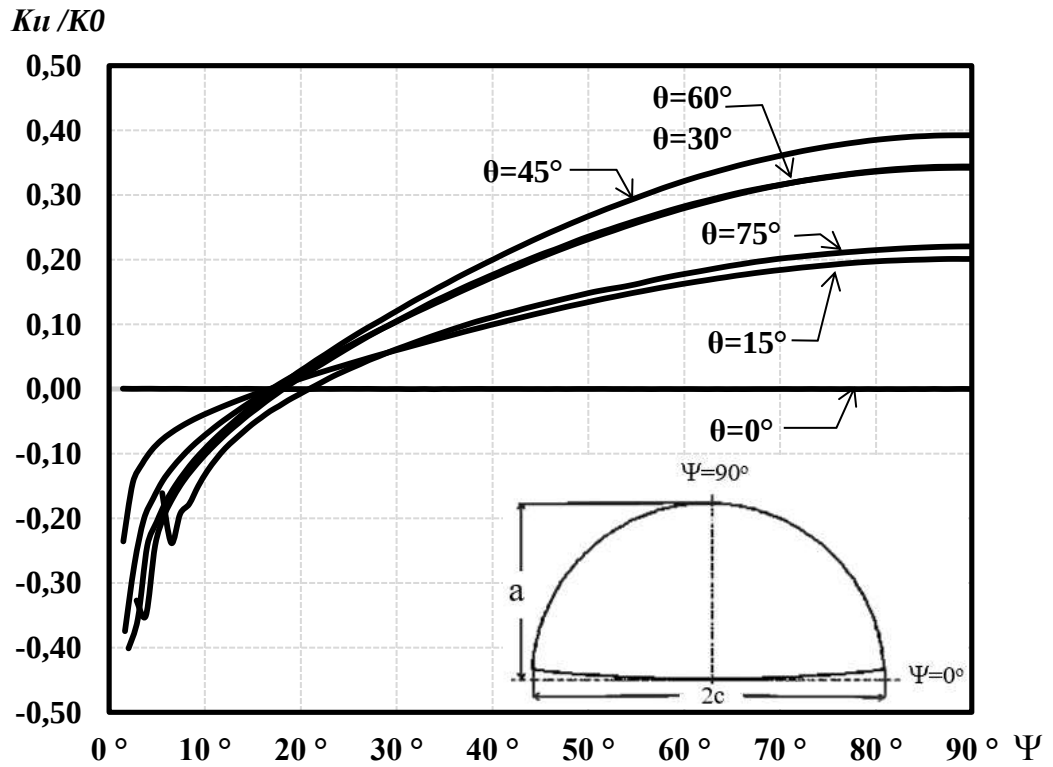
Şekil 3.61. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III} / K_0


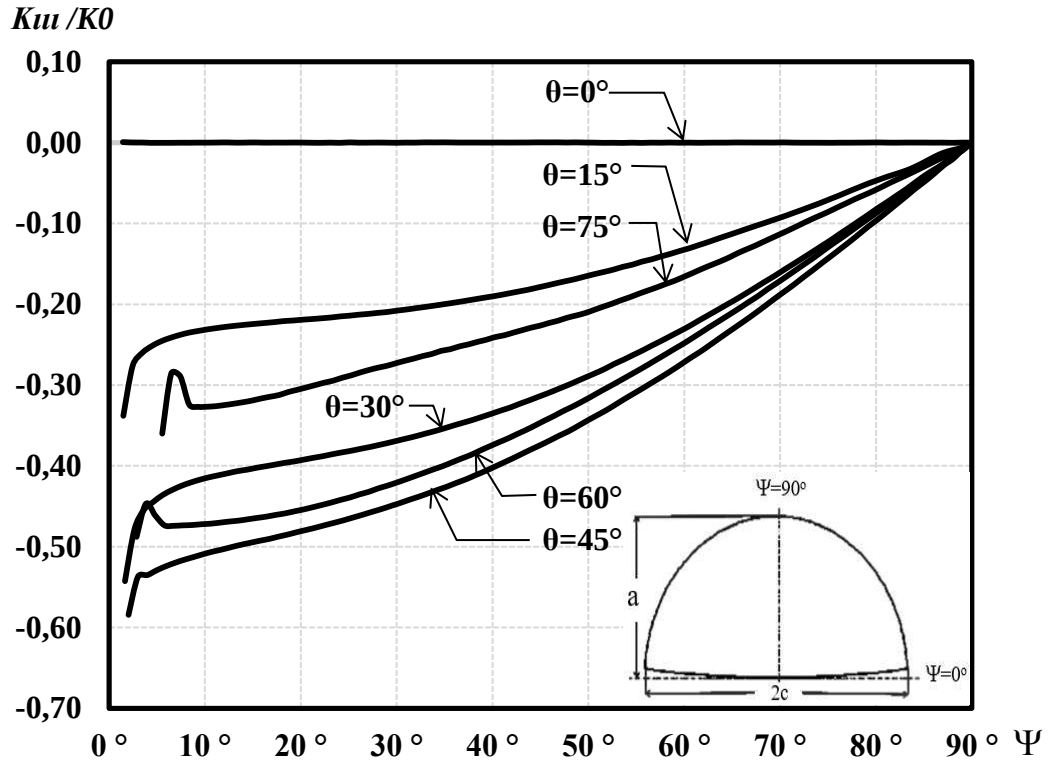
Şekil 3.62. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



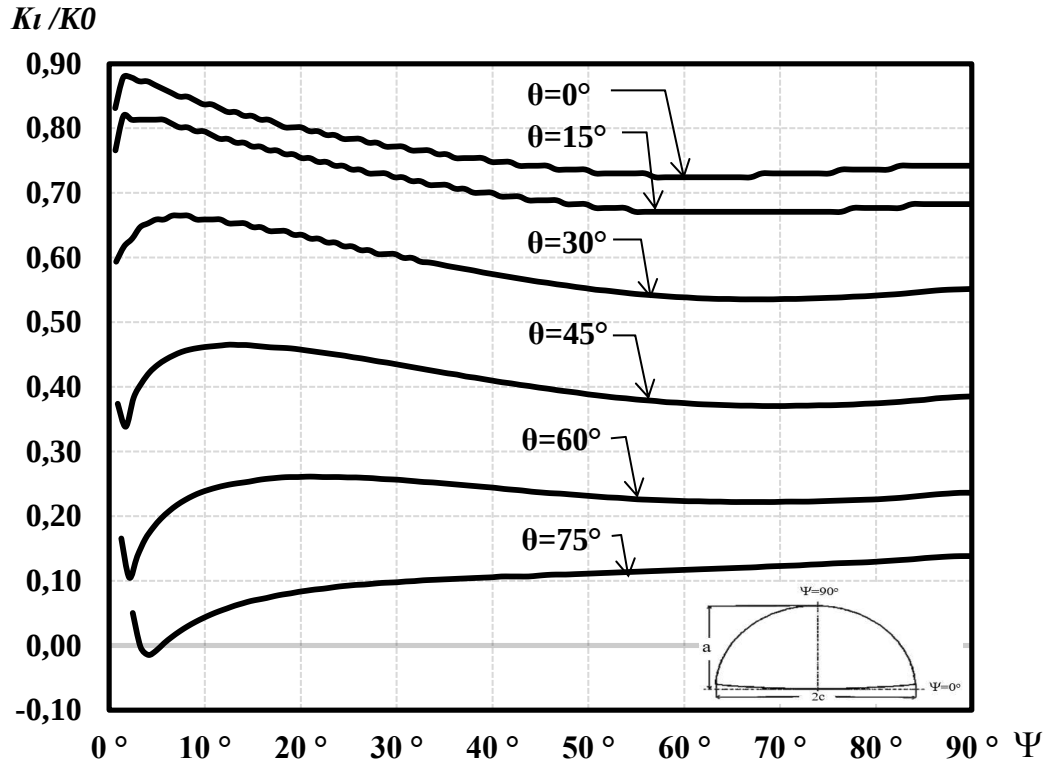
Şekil 3.63. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



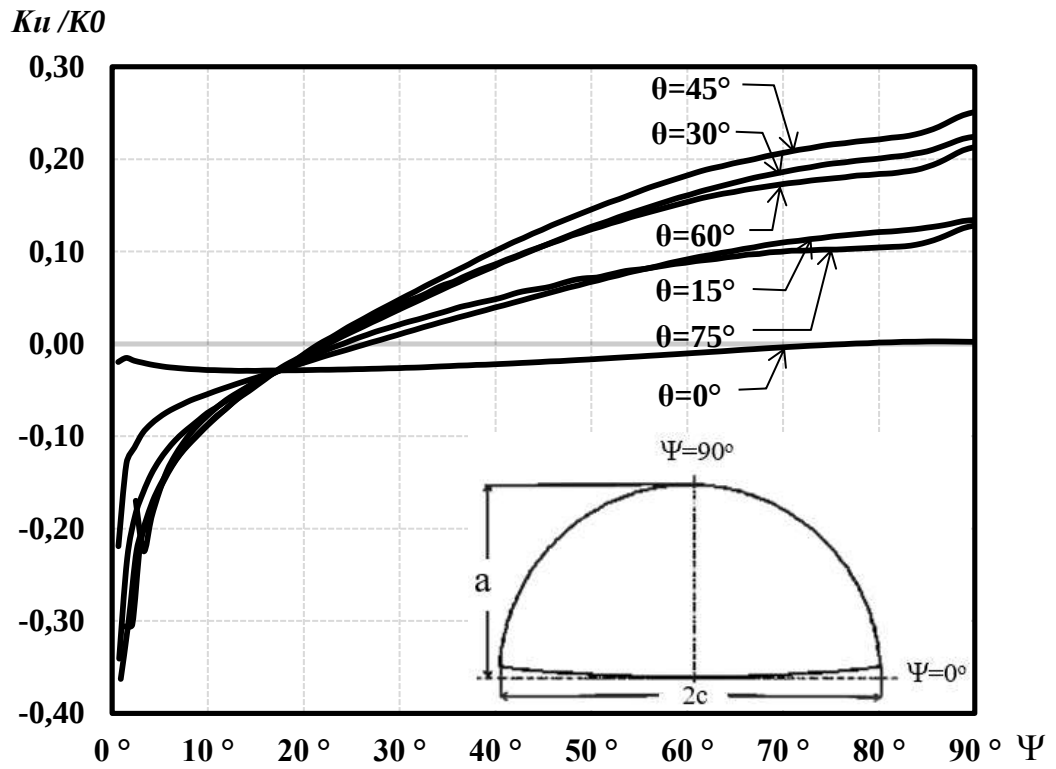
Şekil 3.64. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



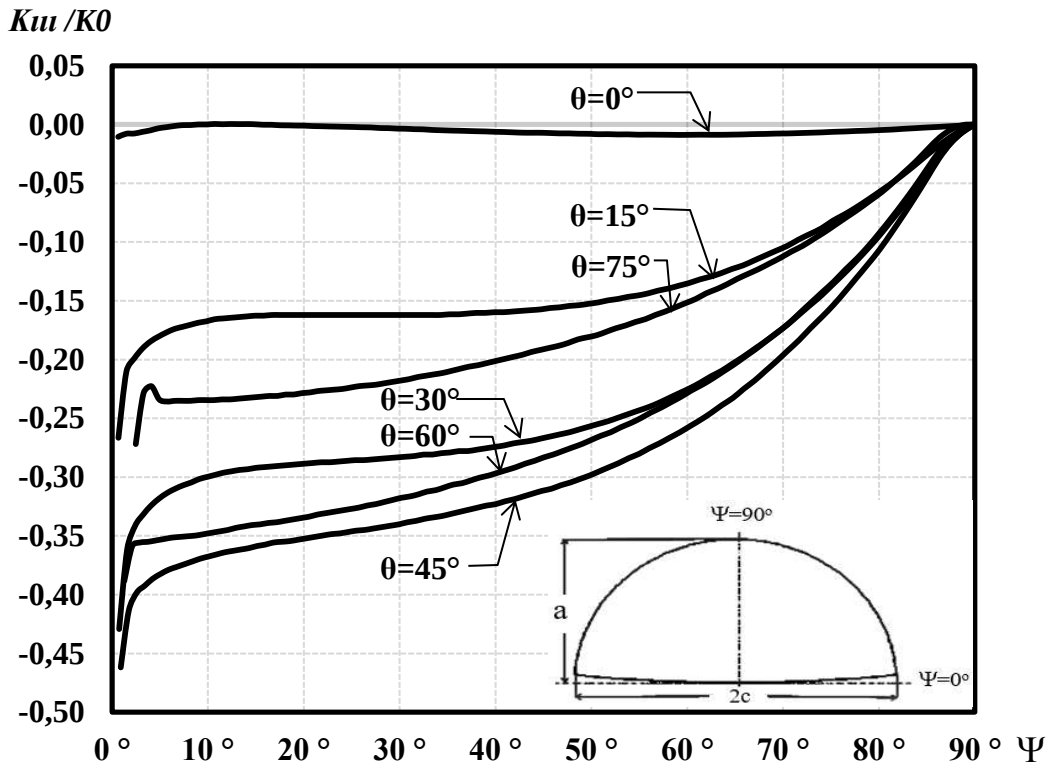
Şekil 3.65. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



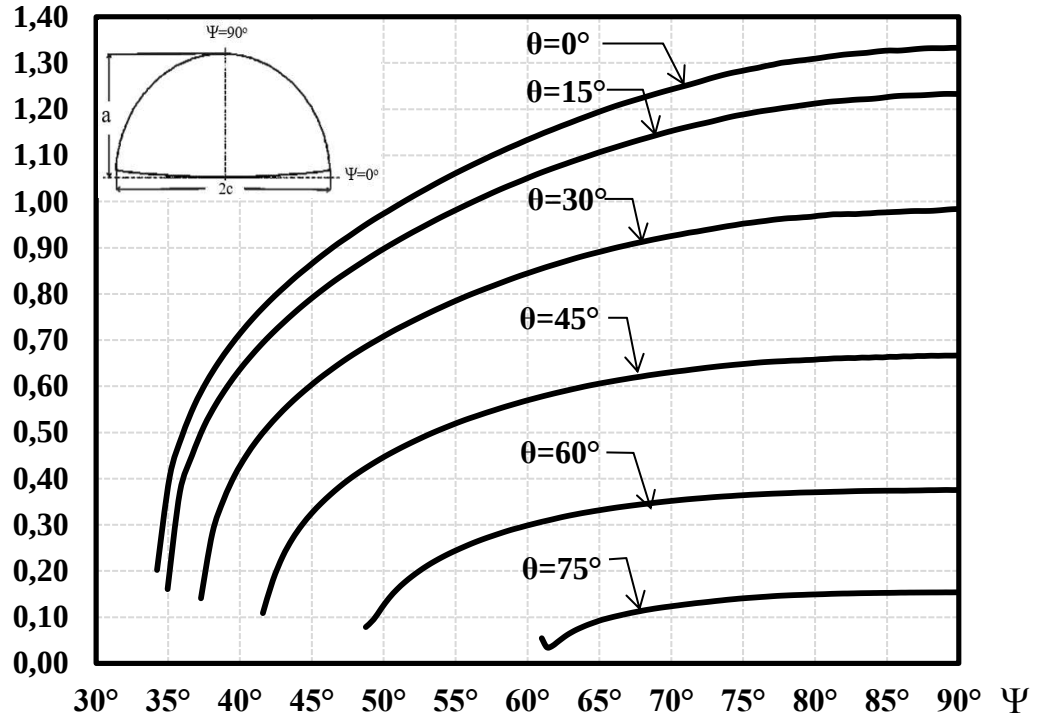
Şekil 3.66. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



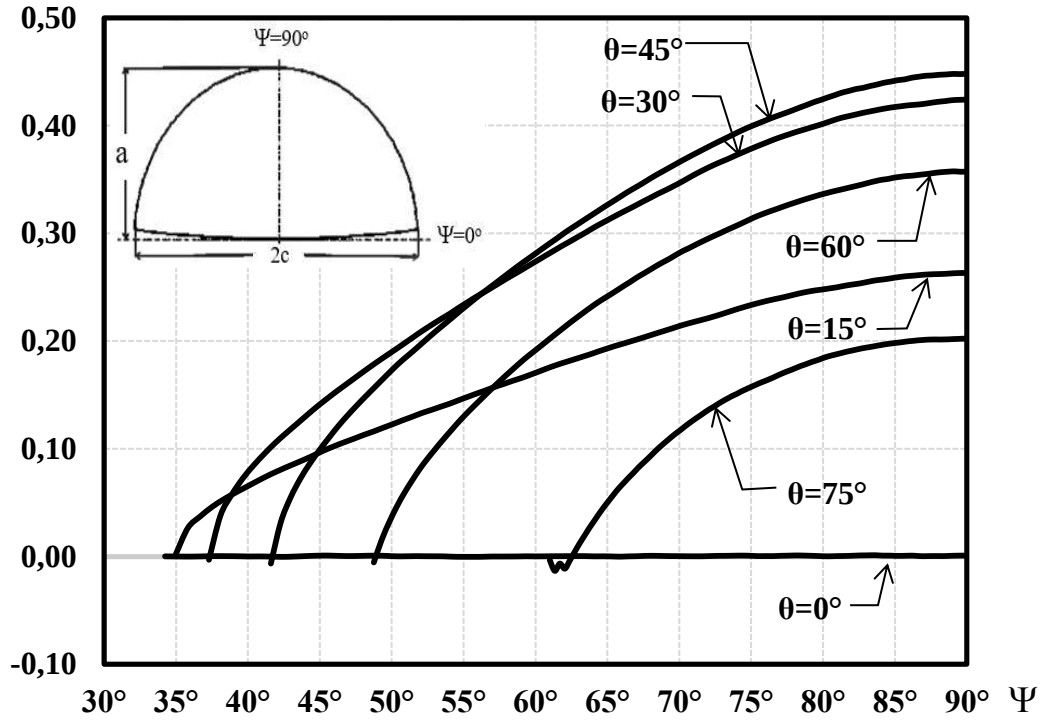
Şekil 3.67. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



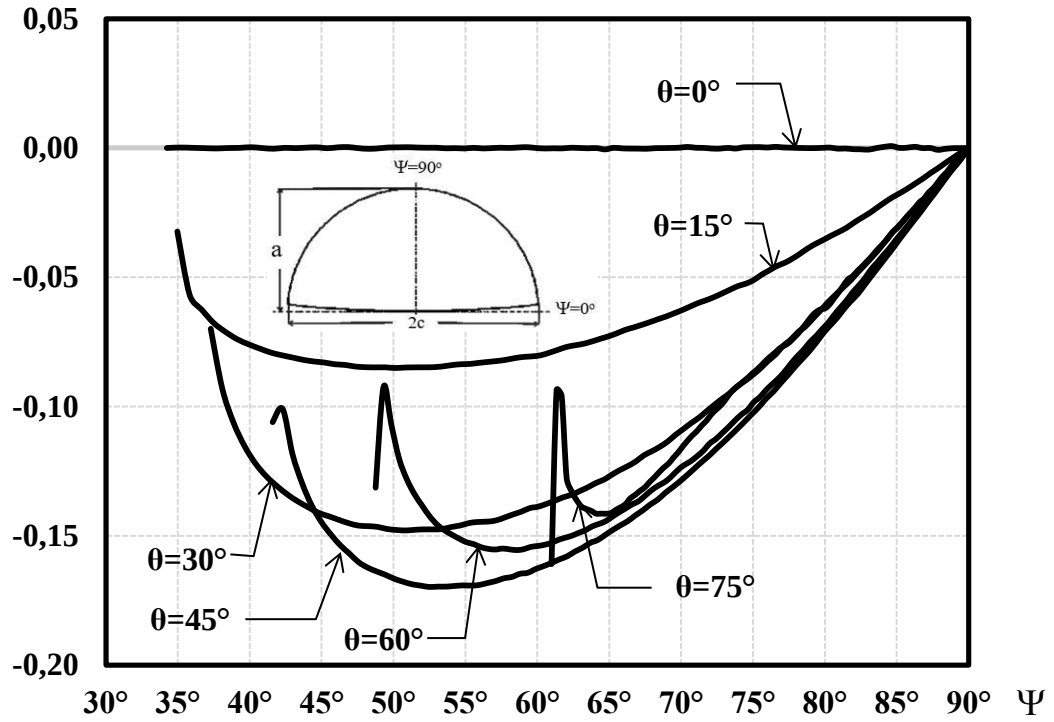
Şekil 3.68. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


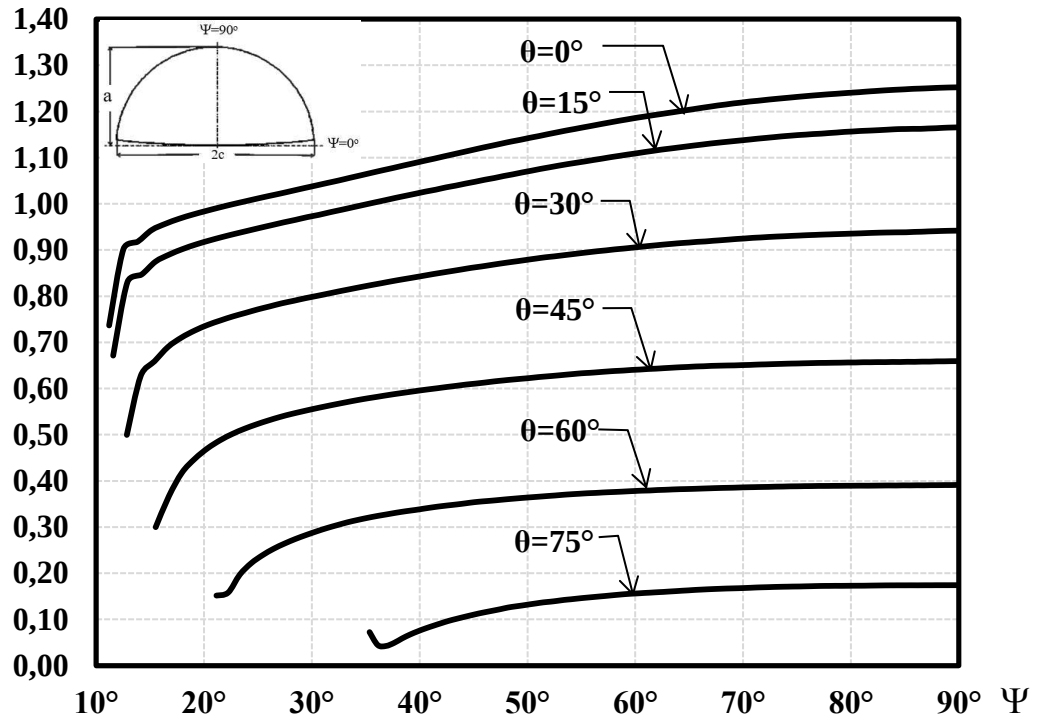
Şekil 3.69. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


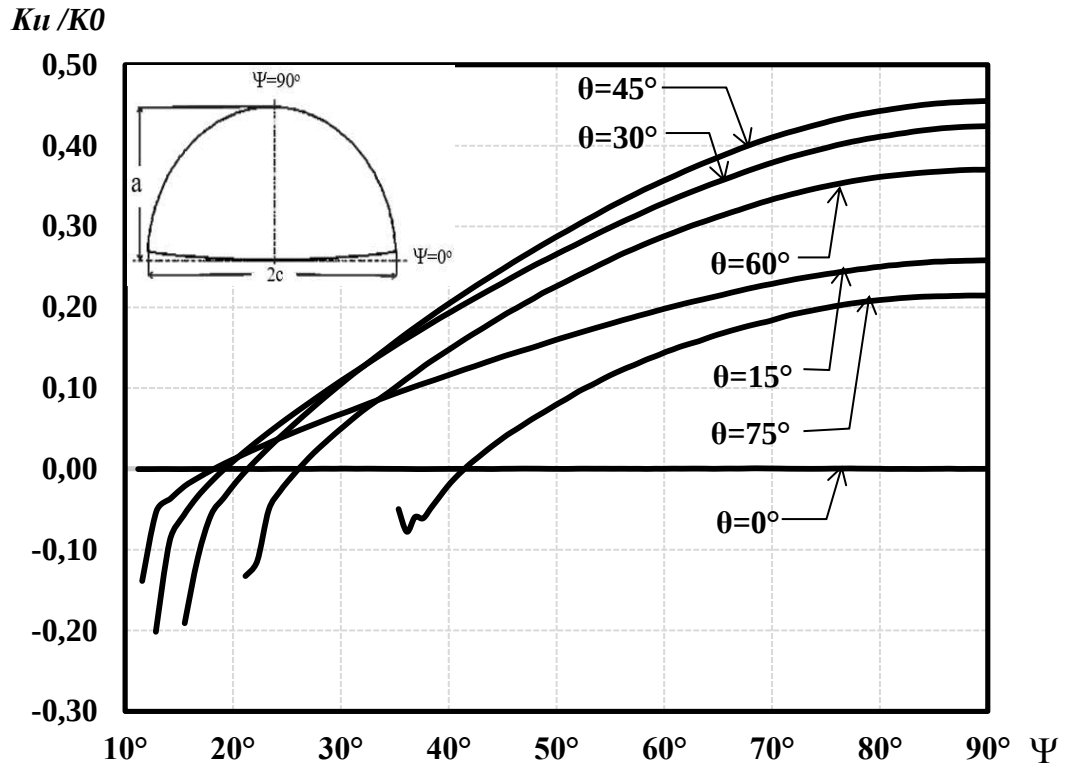
Şekil 3.70. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


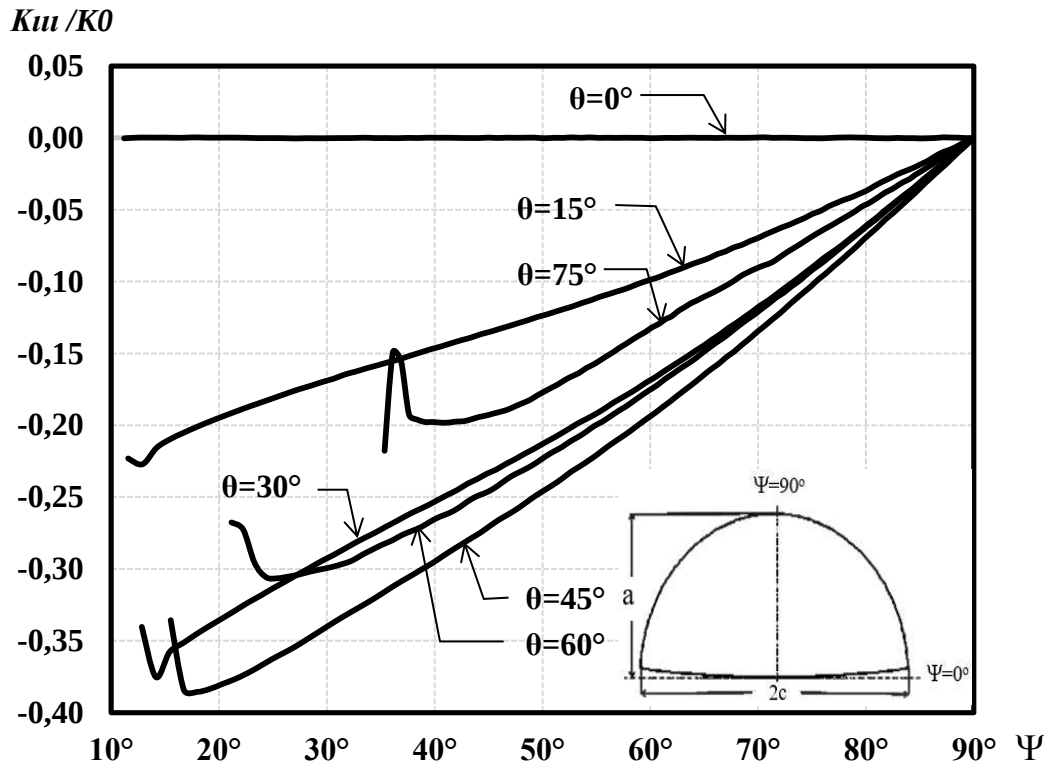
Şekil 3.71. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


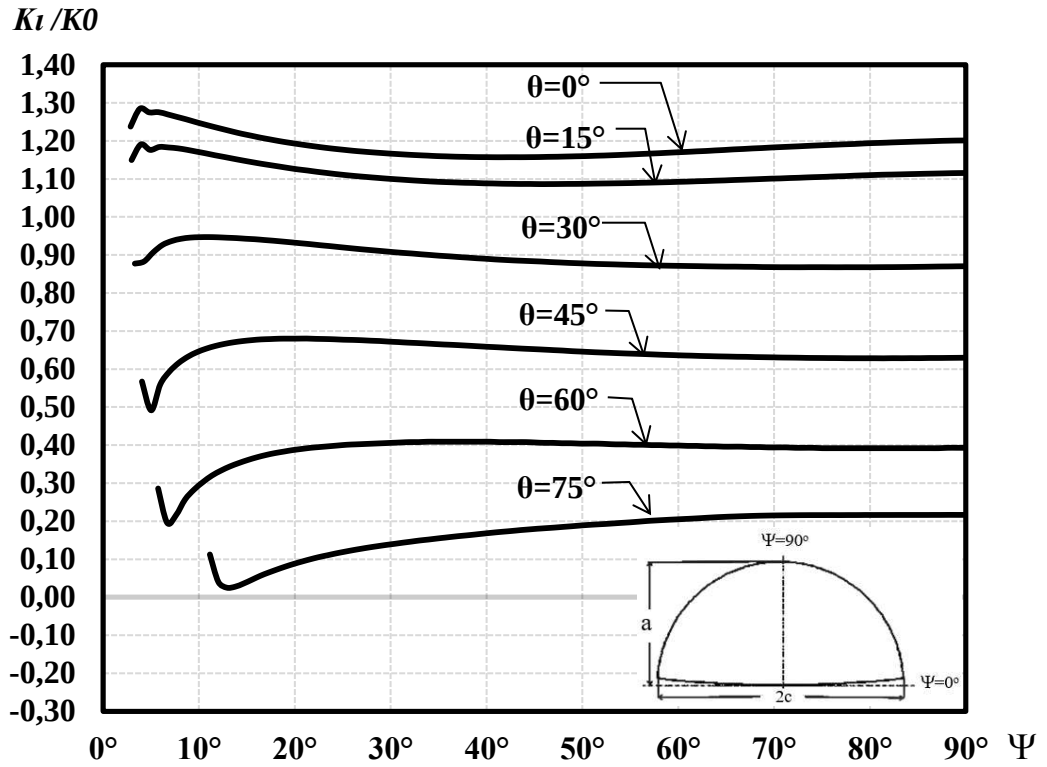
Şekil 3.72. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



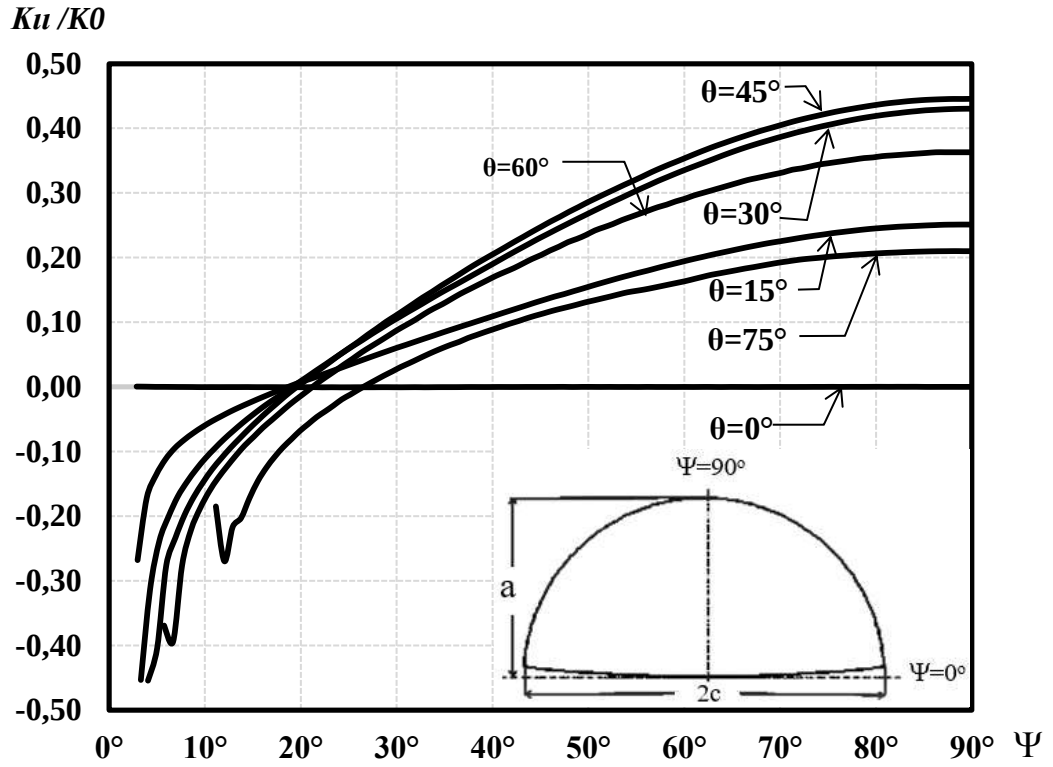
Şekil 3.73. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



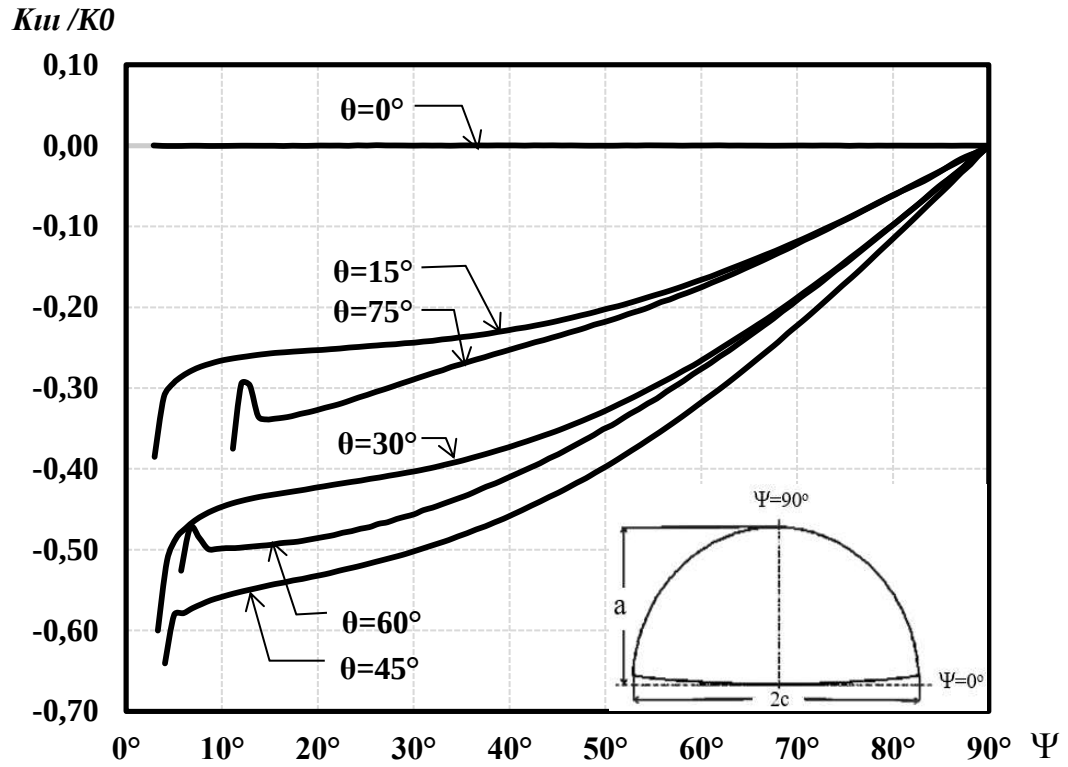
Şekil 3.74. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



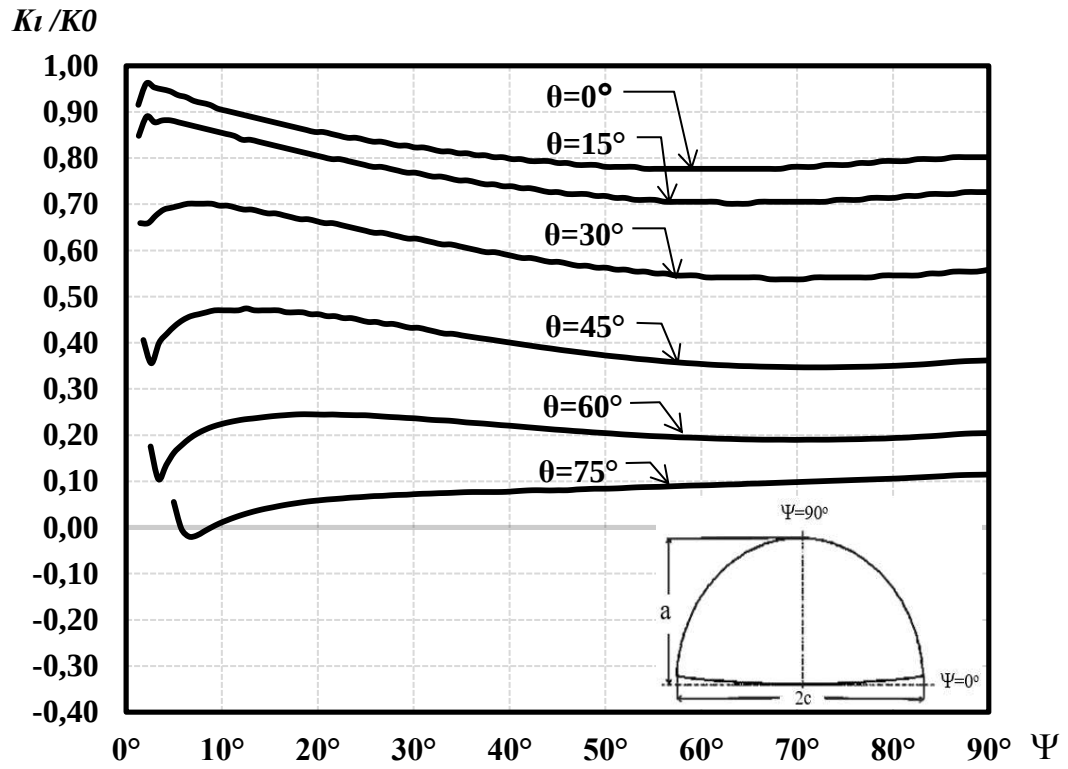
Şekil 3.75. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



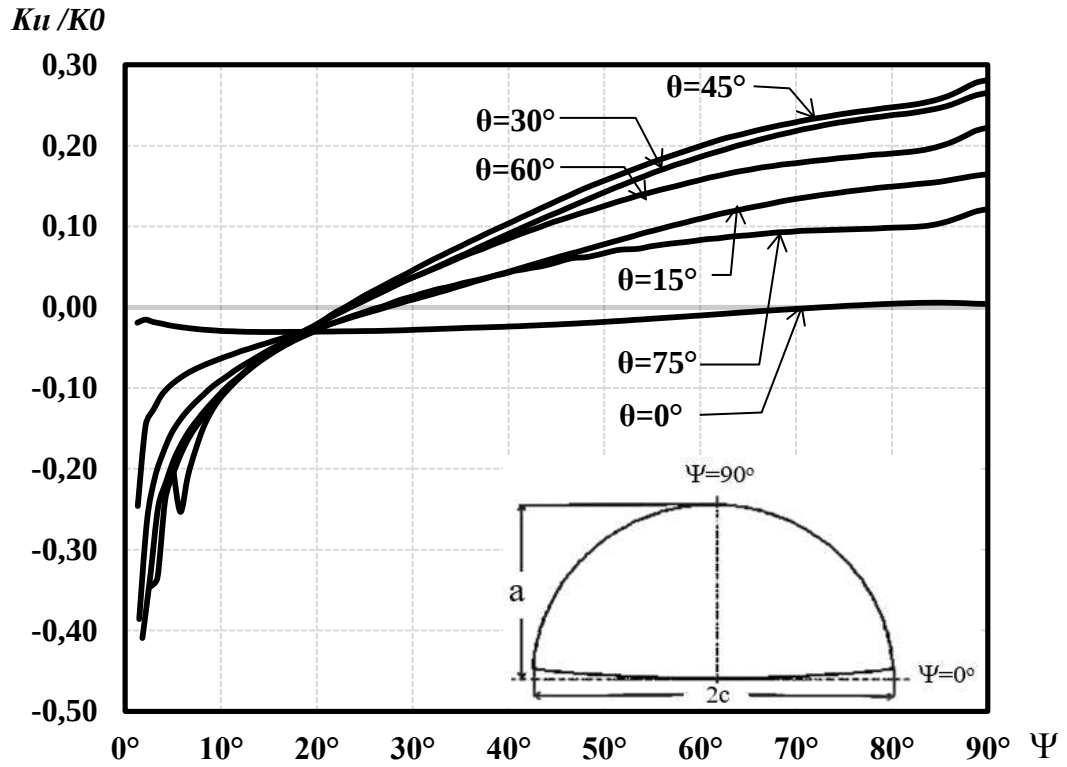
Şekil 3.76. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



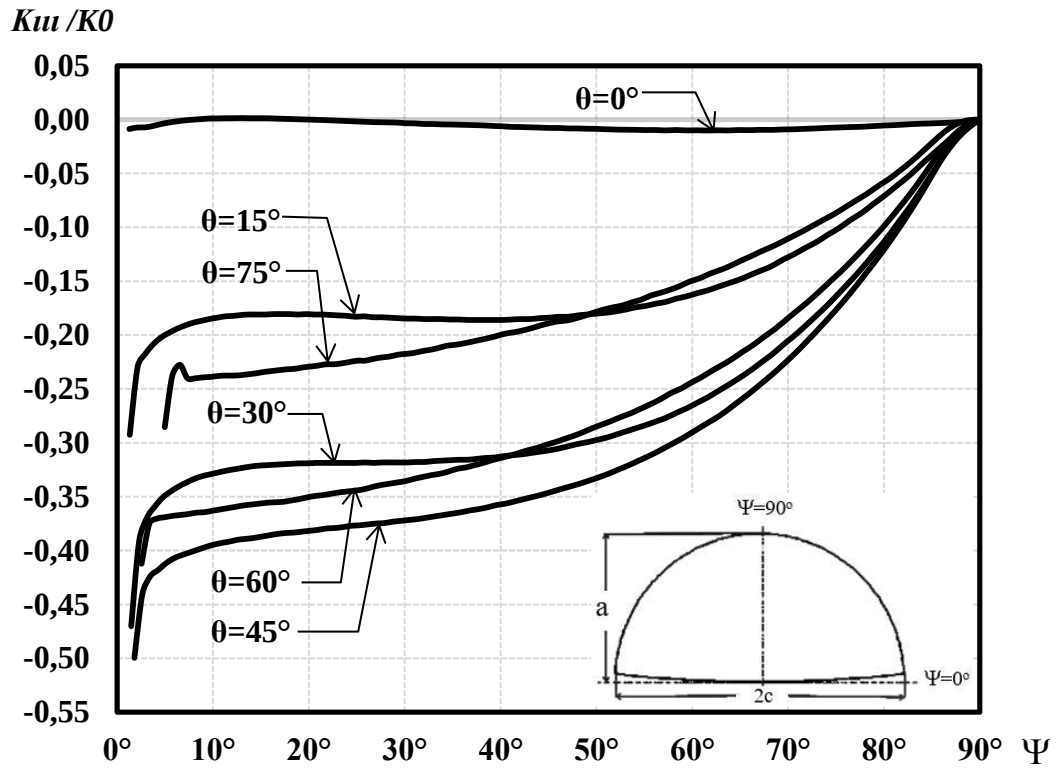
Şekil 3.77. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



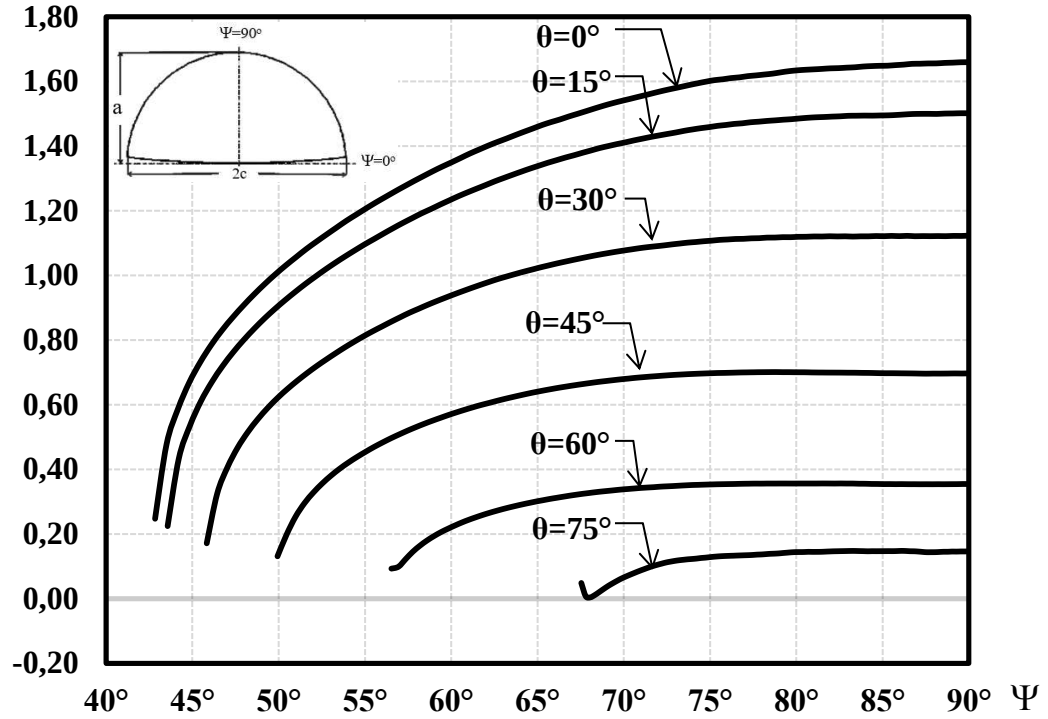
Şekil 3.78. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



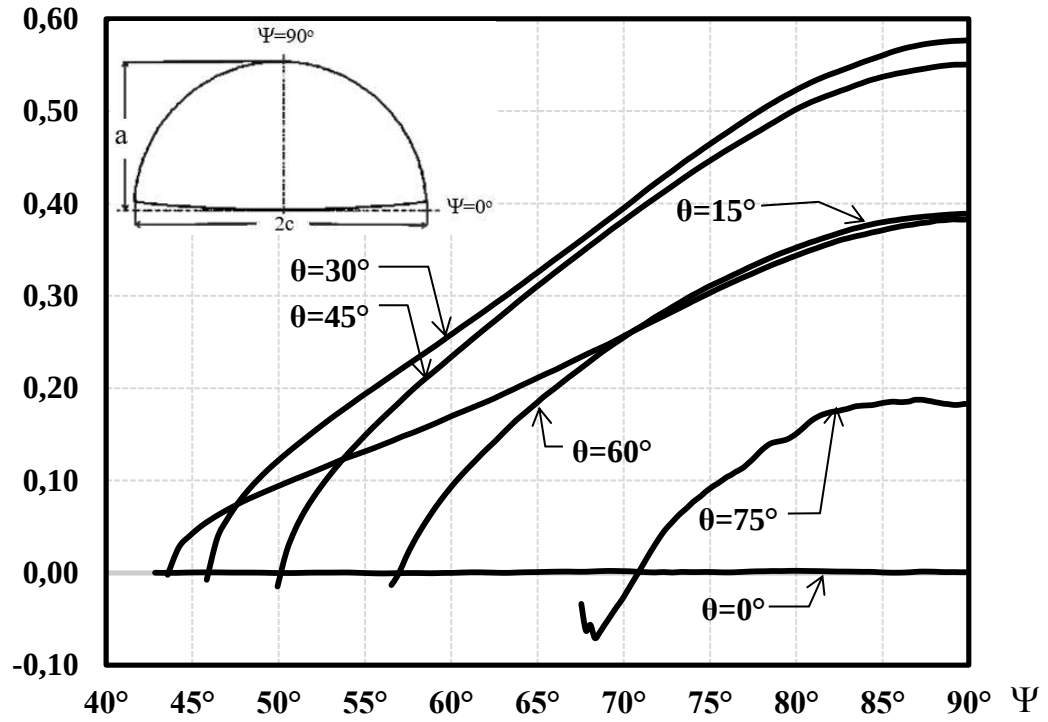
Şekil 3.79. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



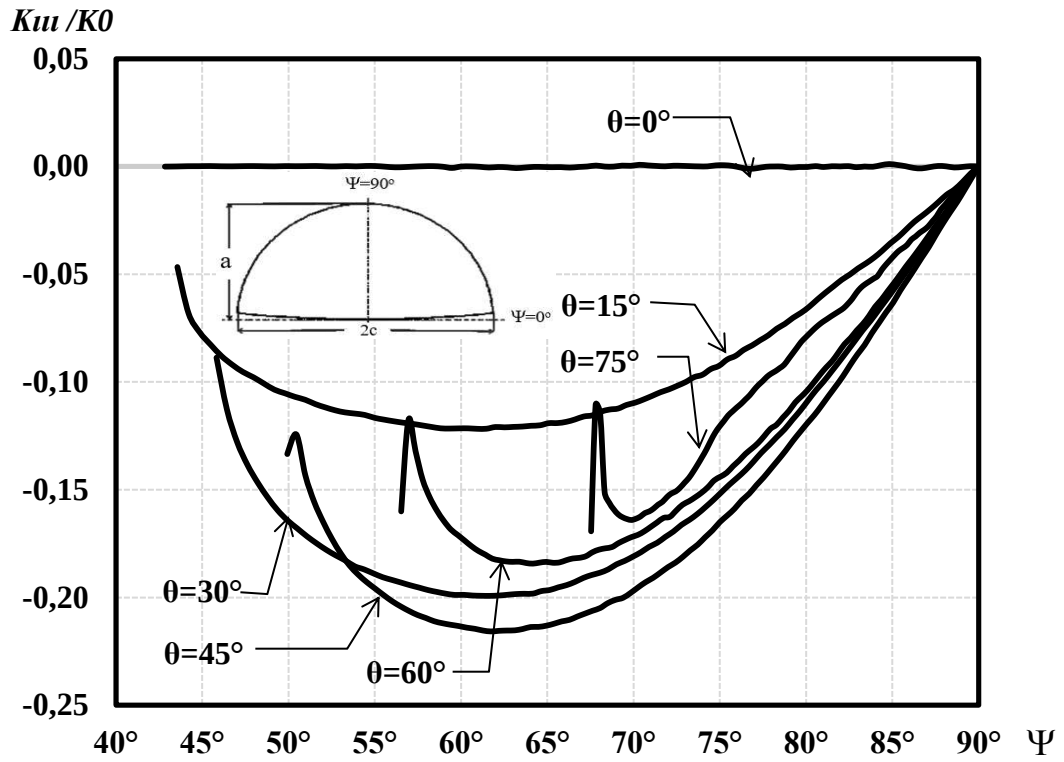
Şekil 3.80. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


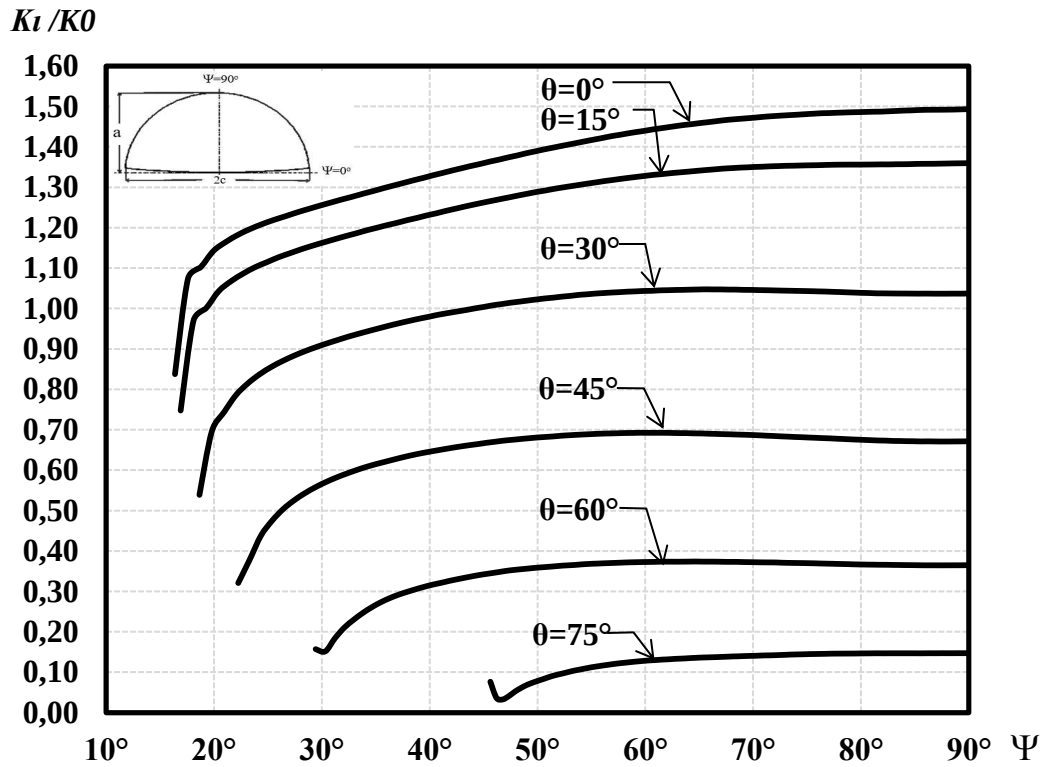
Şekil 3.81. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


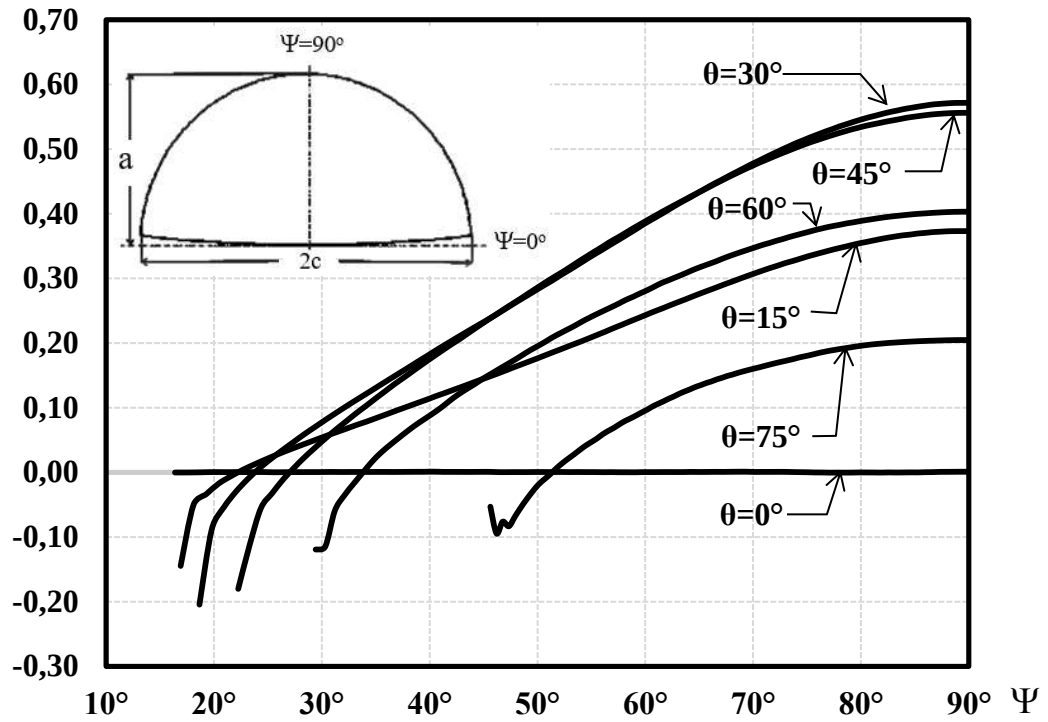
Şekil 3.82. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



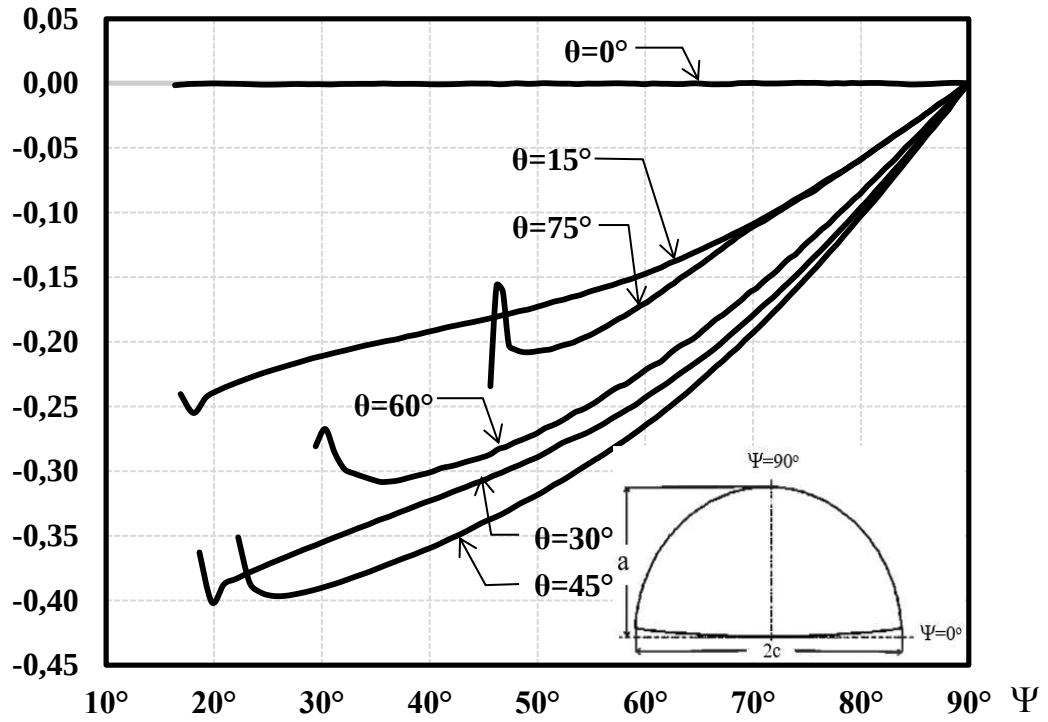
Şekil 3.83. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



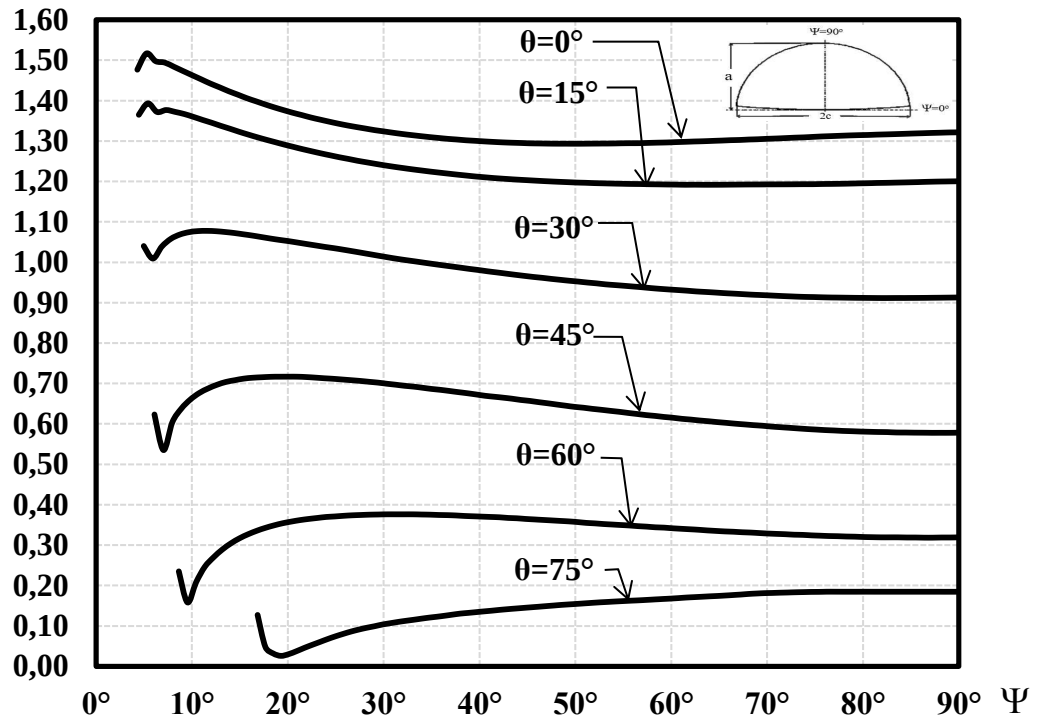
Şekil 3.84. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


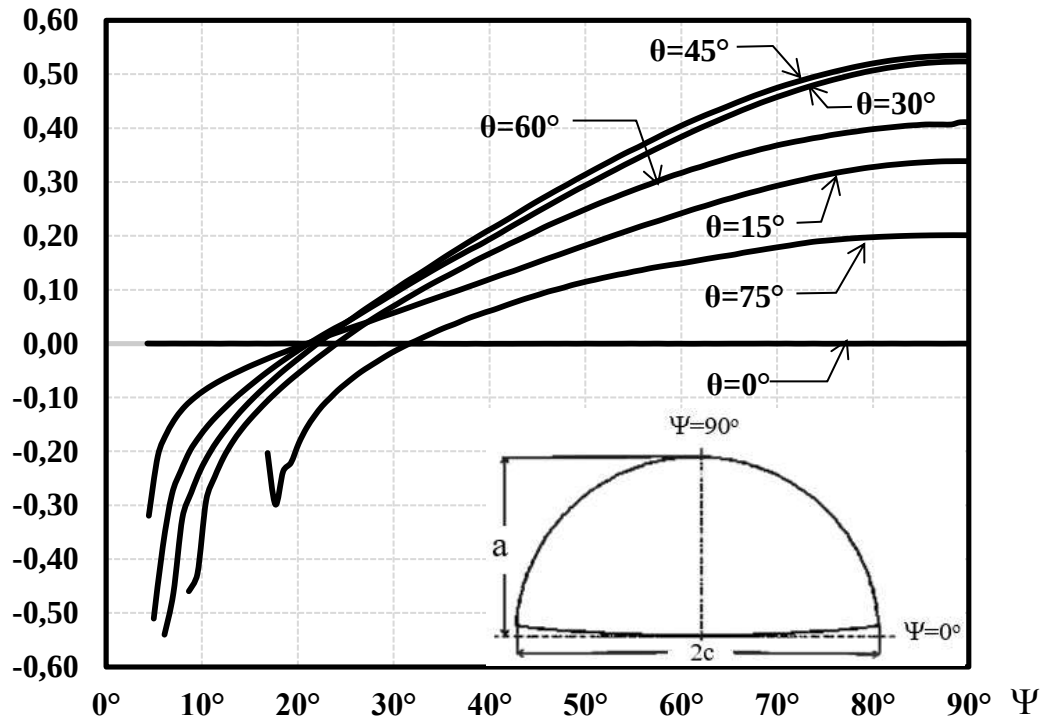
Şekil.3.85. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$


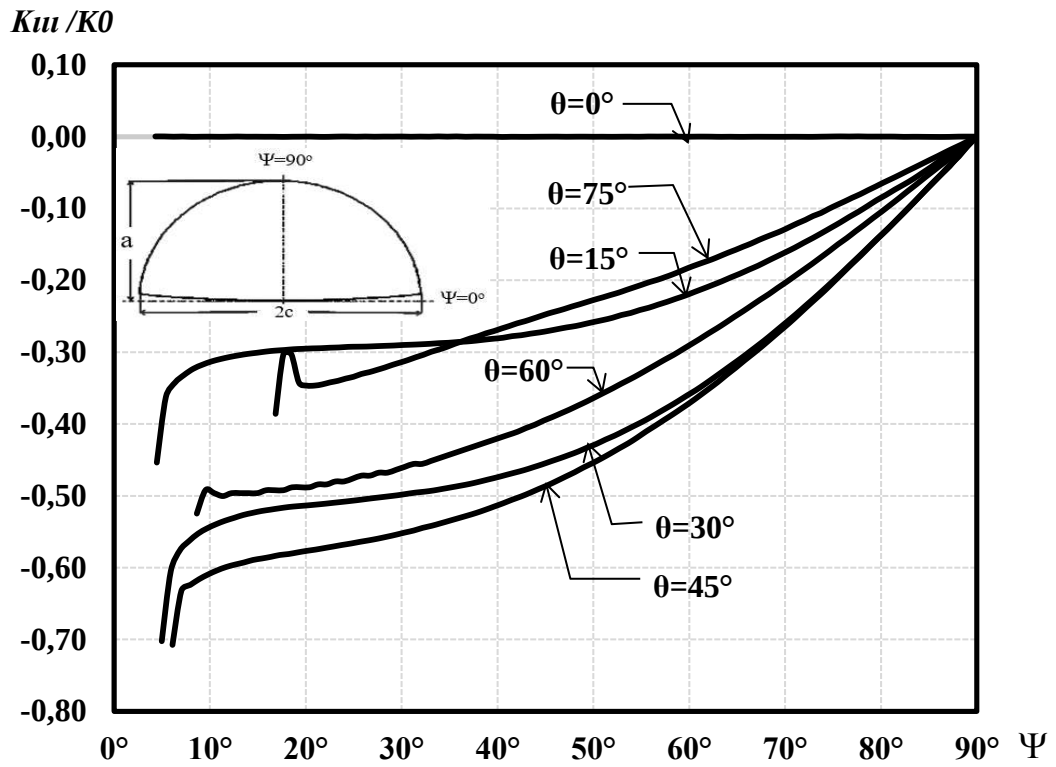
Şekil 3.86. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


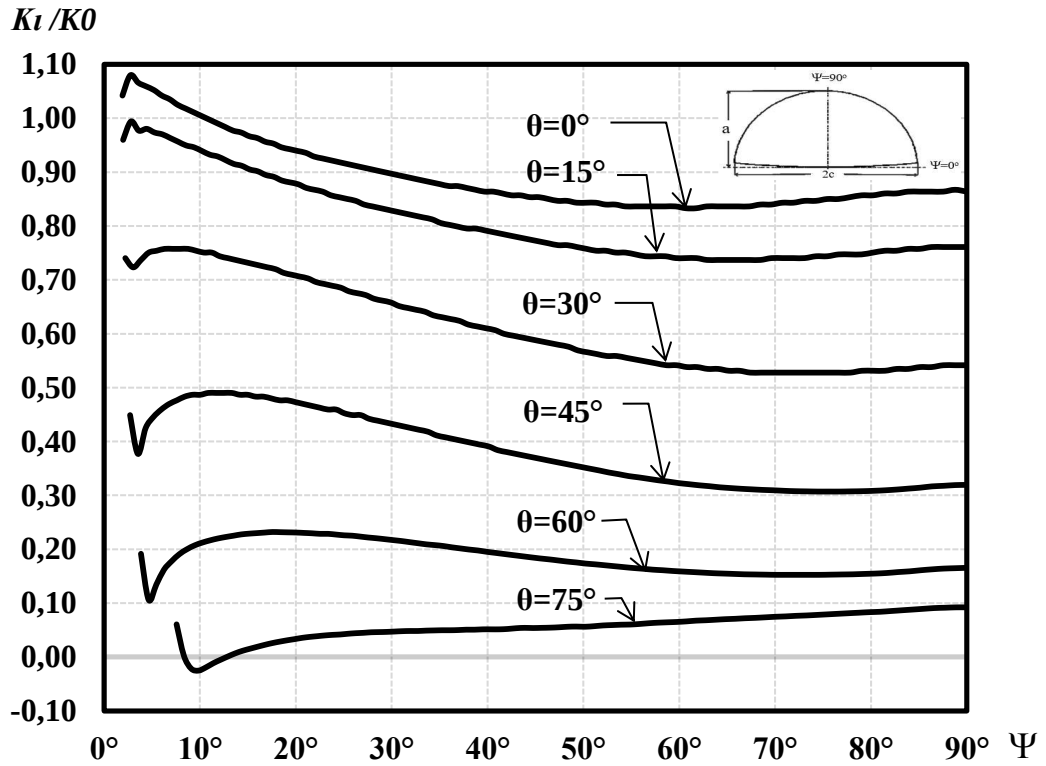
Şekil 3.87. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


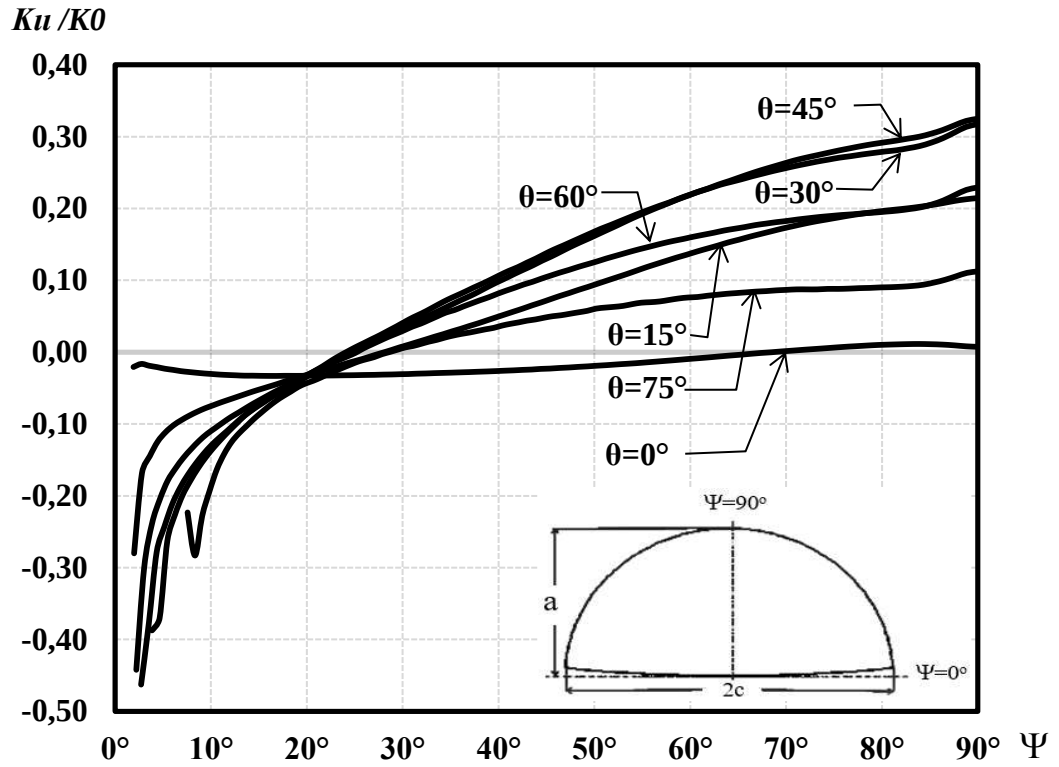
Şekil 3.88. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



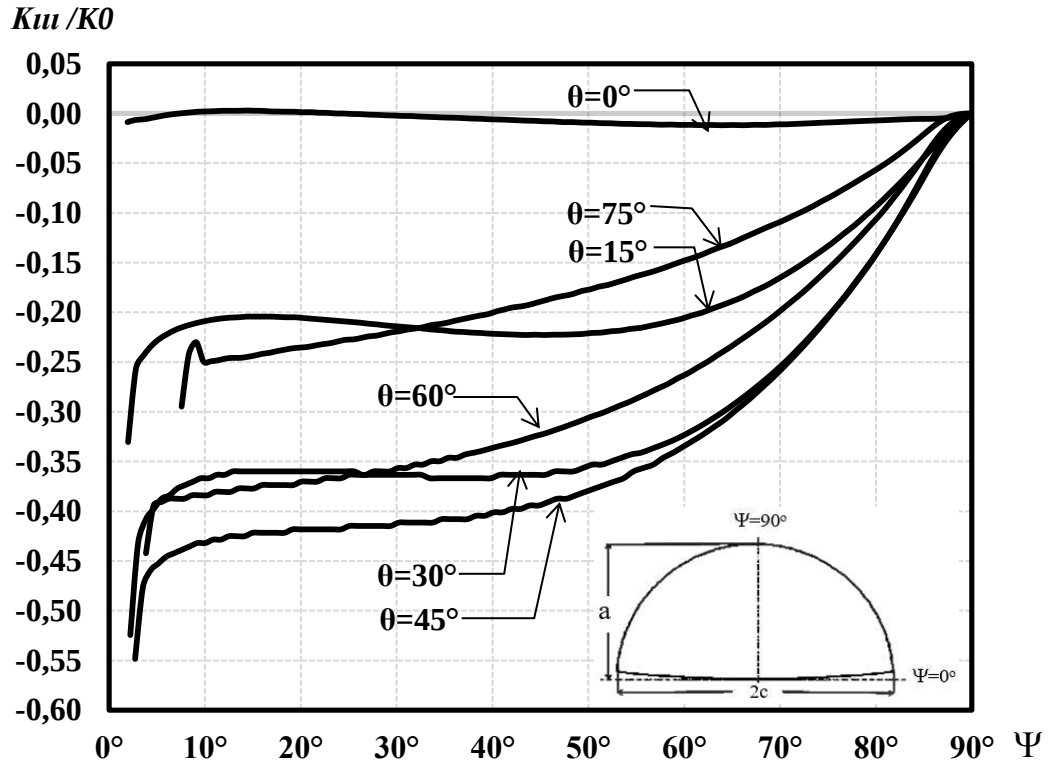
Şekil 3.89. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.90. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



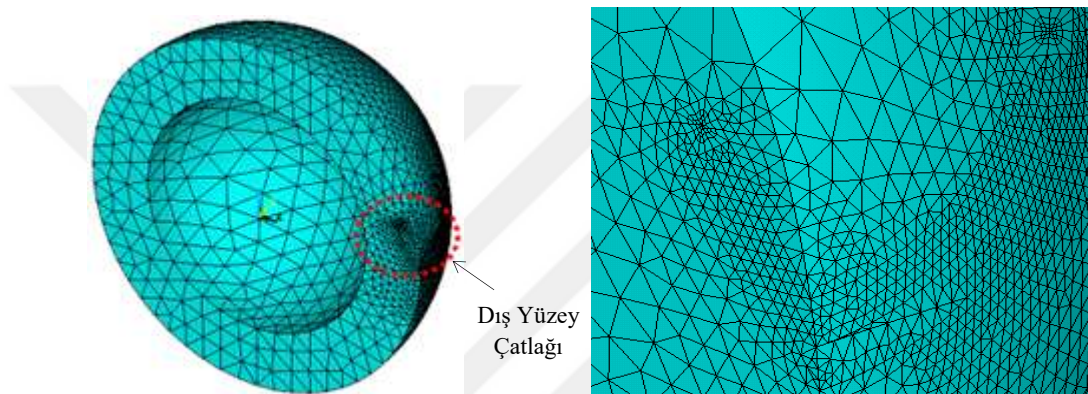
Şekil 3.91. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.92. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.4. Dış Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.50$ Durumu)

Küresel yapının dış çap/iç çap (R_o/R_i) oranının 1.10 ve 1.25 de olduğu gibi bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. R_o/R_i oranının bir miktar daha artması, et kalınlığının bir miktar daha artmasına sebebiyet vermiştir. Her bir analiz için kullanılan eleman sayısı yaklaşık 110000 ve node sayısı ise yaklaşık 170000 dir.

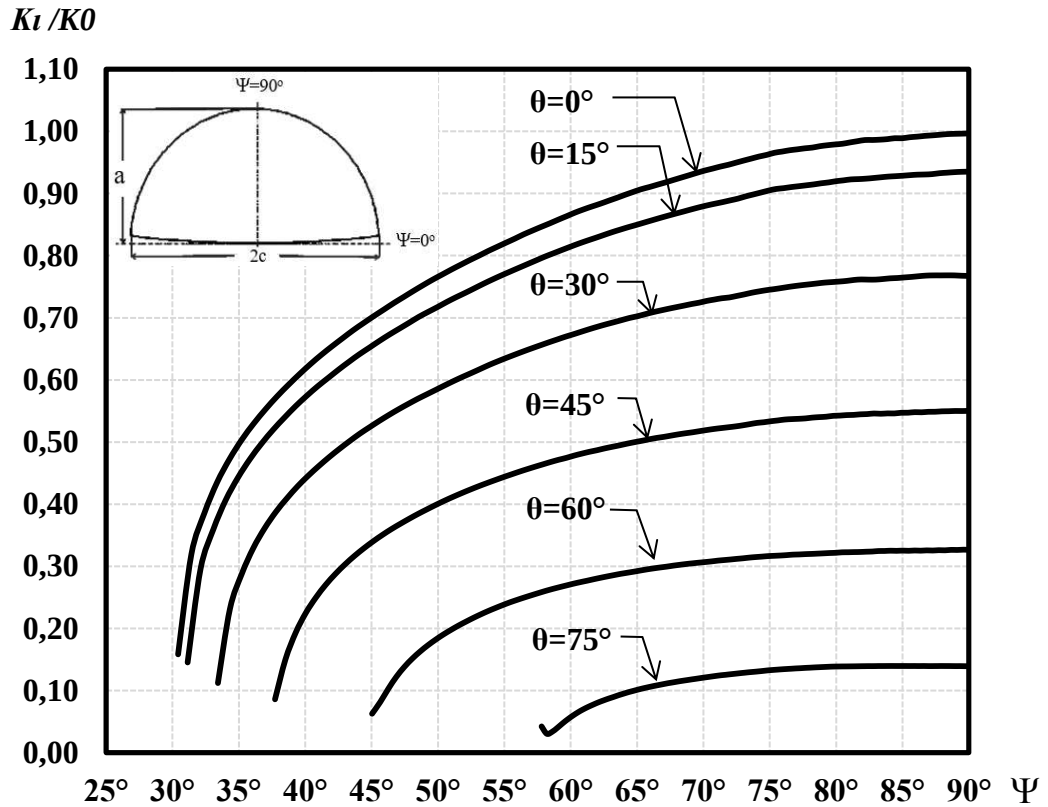


Şekil 3.93. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ ve 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

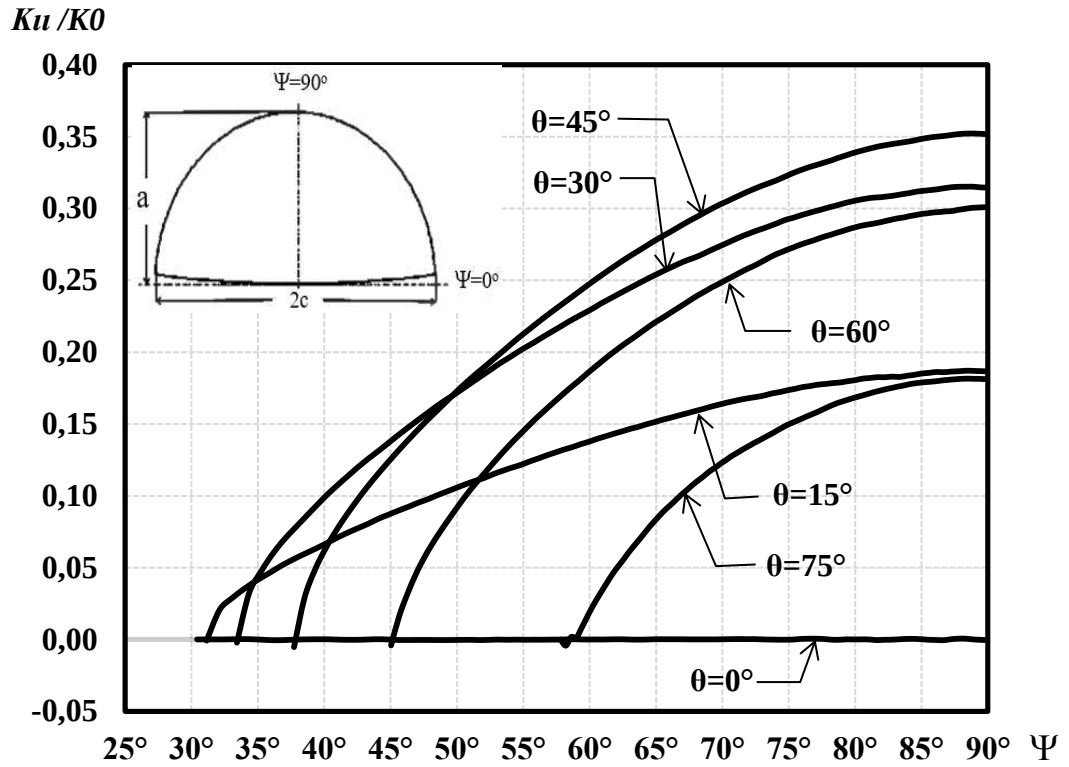
Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı için et kalınlığını sabit olarak düşünüldüğünde a/t aslında çatlak derinliğini temsil eden bir parametre haline dönüşmektedir. Diğer bir ifade ile a/t arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktöründe artmasını gerektirecektir. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de beklendiği üzere artmıştır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması saf mod-I problemidir. Bu durum için çatlak sadece açılma modu yüklemesine maruzdur. 0 dereceden farklı olması durumunda ise karışık modlu, açılma (mod-I), kayma modu (mod-II) ve yırtılma modu (mod-III) içeren gerilme-şiddet faktörleri oluşacaktır. Elde edilen grafikler yorumlandığında, açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri küresel yapının

dış çap/iç çap oranının 1.10 ve 1.25 olduğu durumlarda olduğu gibi artmıştır. Diğer parametreler sabit tutulduğunda çatlak yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlak yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) oranının arttığında normalizde edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlak yatay eksenle yaptığı açının 0° olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir deyiş ile bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda da görülmüştür. Çatlak yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Elde edilen grafiklerinde kayma modunda (mod-II) en yüksek değerin 45 derecede olduğu görülmüştür. Mod-III kısmında ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecede aldığı görülmüştür. Küresel yapının cidar kalınlığının değişimine diğer bir deyiş ile dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) oranının 1.50 olması durumunu 1.1 den 1.25 olması durumları ile karşılaştırarak olursak çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlak yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) artması sonucunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri açılma modu (mod-I) için bir miktar azalmıştır. Dış çap/iç oranının (R_o/R_i) artışının kayma moduna etkine bakacak olursak çatlak derinliği, et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği, çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlak yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri bir miktar azalmıştır. Yırtılma modu (Mod-III) için ise çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlak yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede bir miktar artmıştır. Şekil 3.112. incelendiğinde $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I değerlerinde çatlak yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.113.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin 45 derece de olduğu, 0 derecede

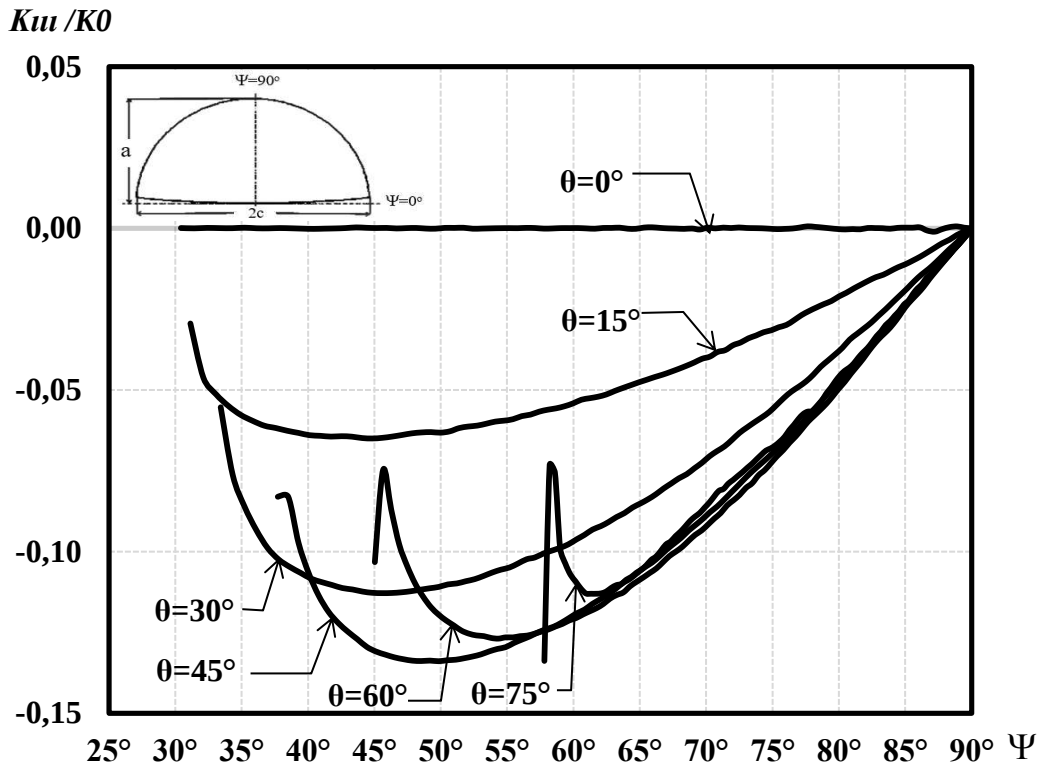
normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve 15, 30, 45, 60 dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü davranışları görülecektir. Şekil 3.114. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.94.-3.129.)'de verilmektedir. Grafikte başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



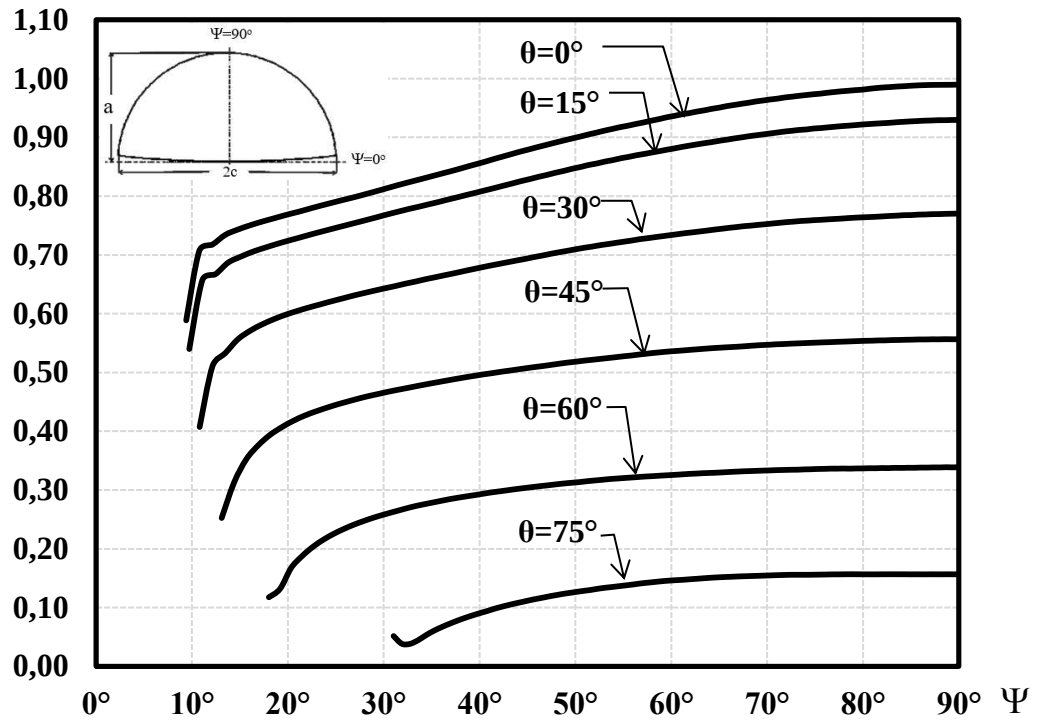
Şekil 3.94. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



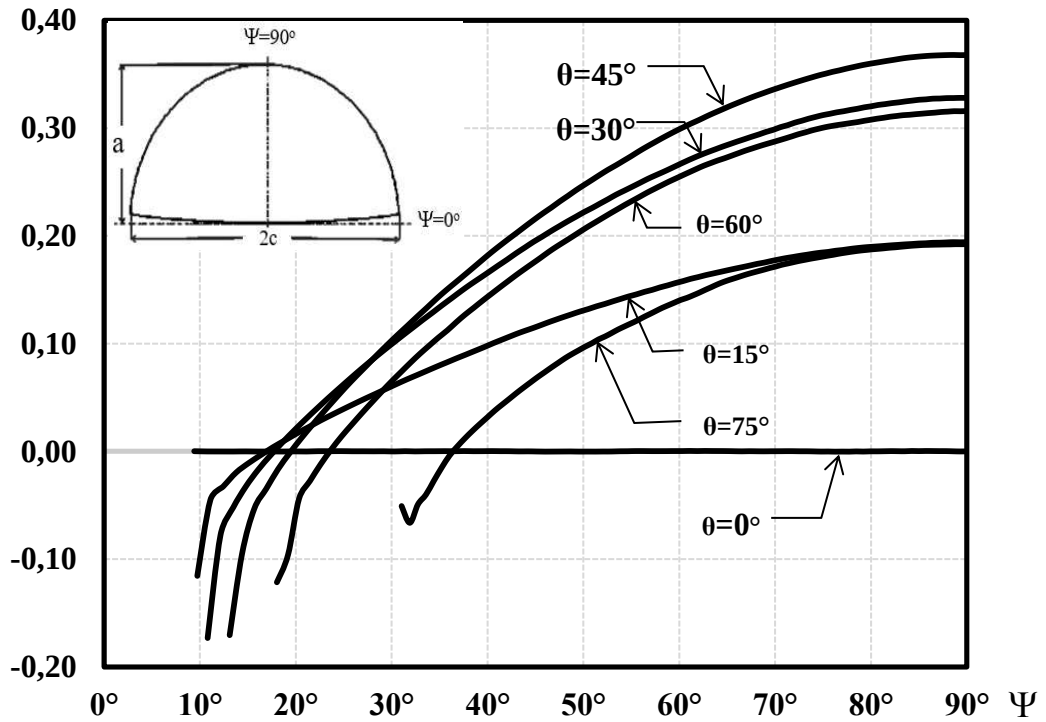
Şekil 3.95. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



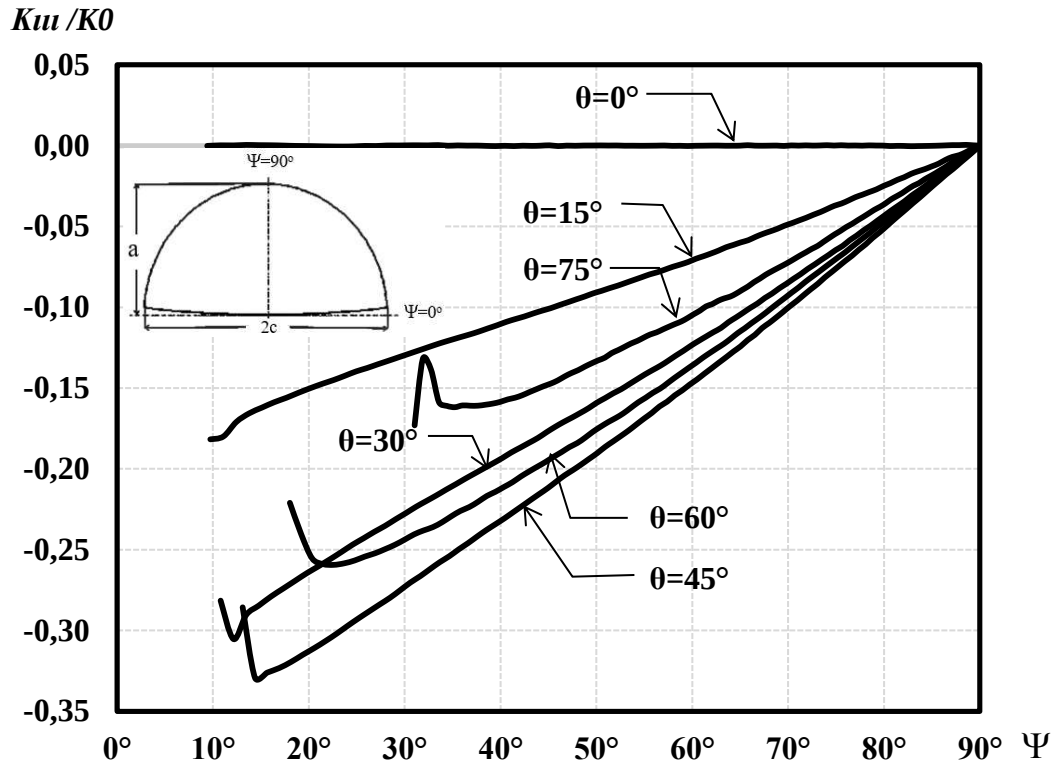
Şekil 3.96. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


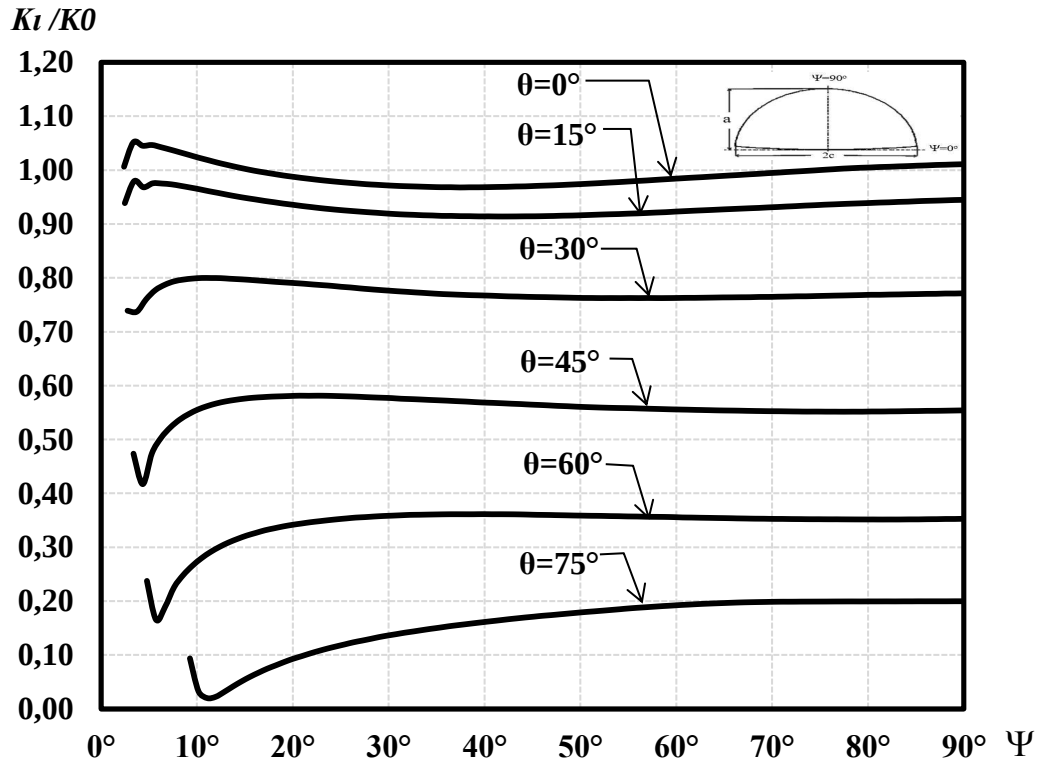
Şekil 3.97. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


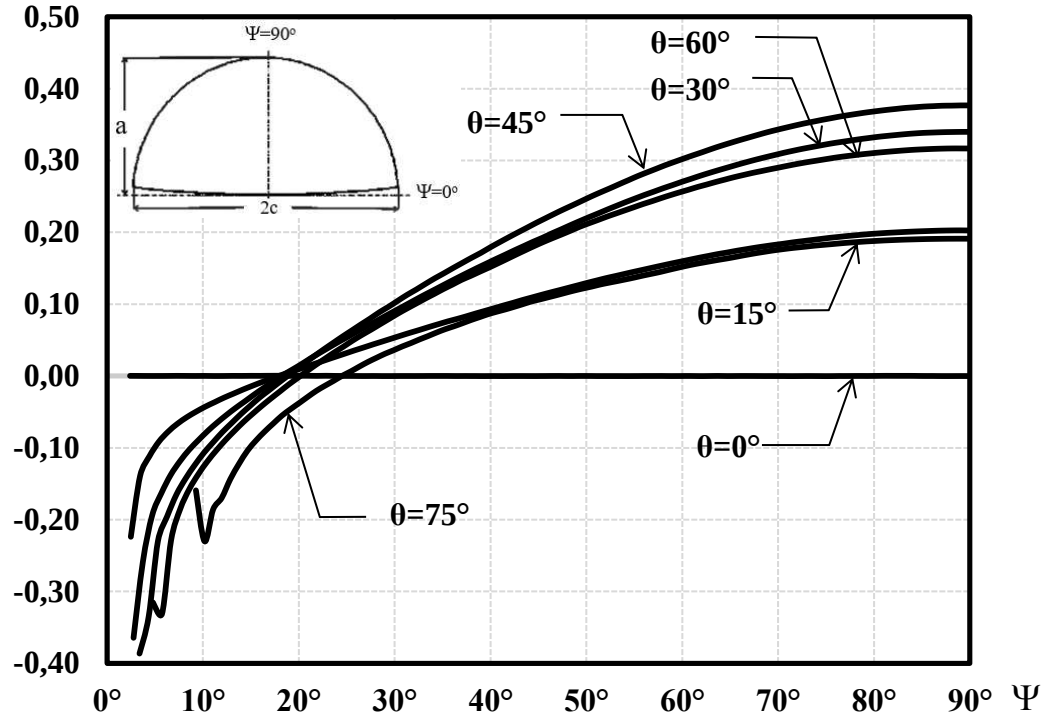
Şekil 3.98. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



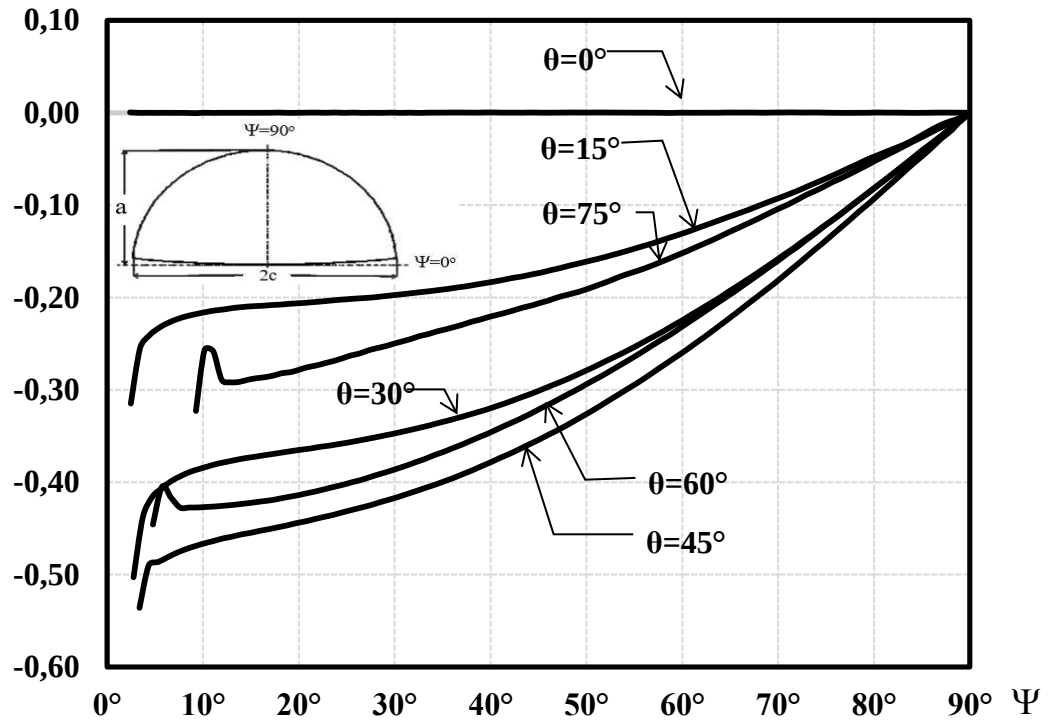
Şekil 3.99. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



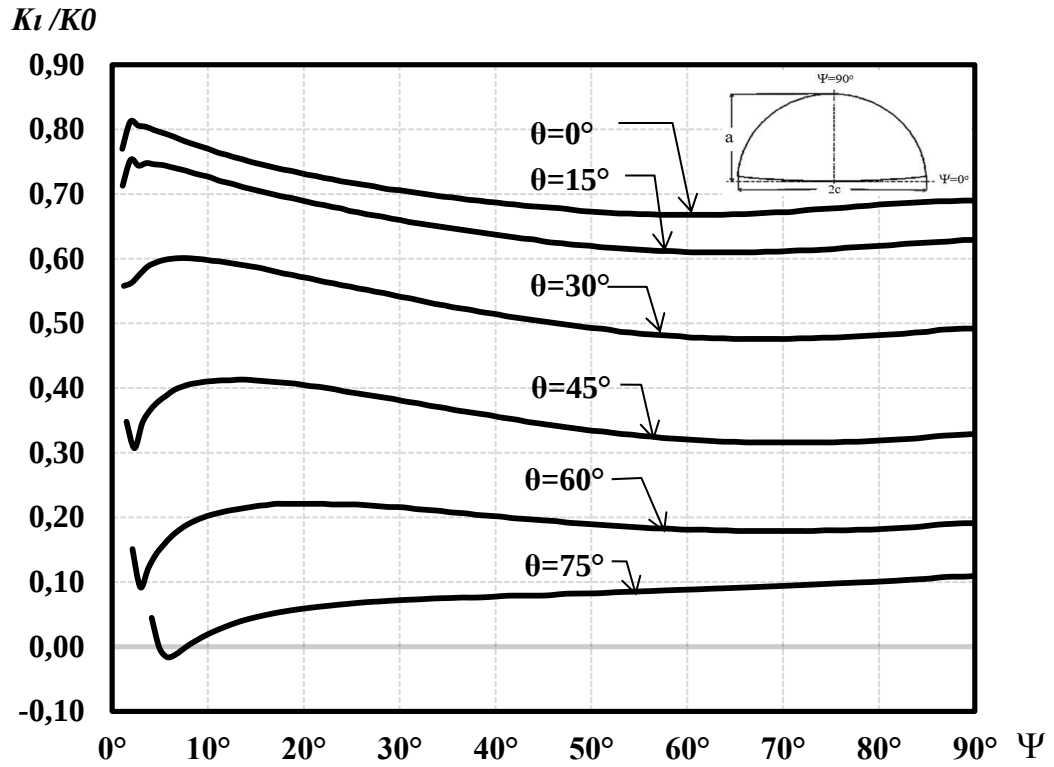
Şekil 3.100. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


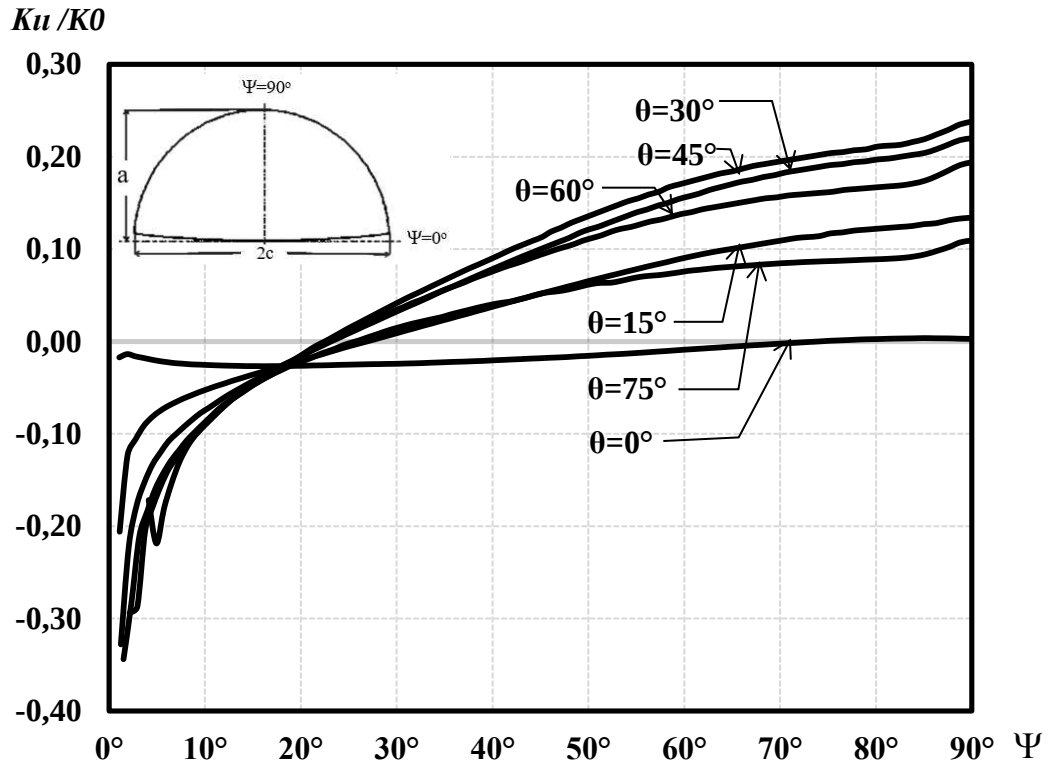
Şekil 3.101. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


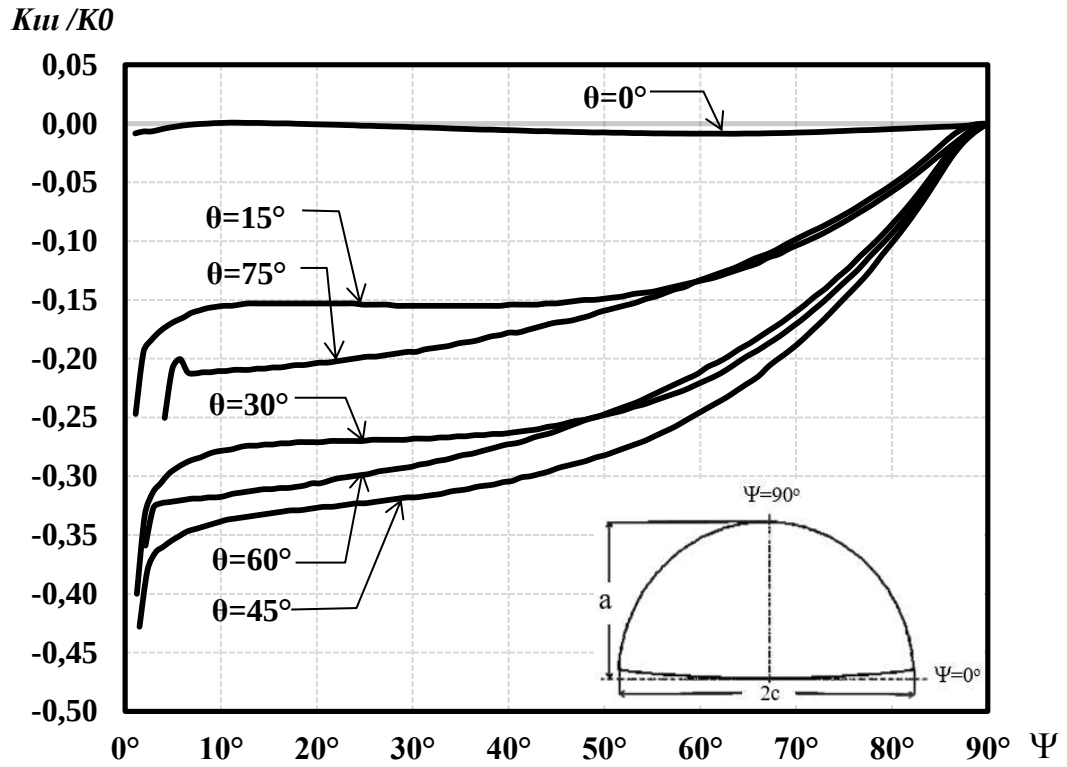
Şekil 3.102. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



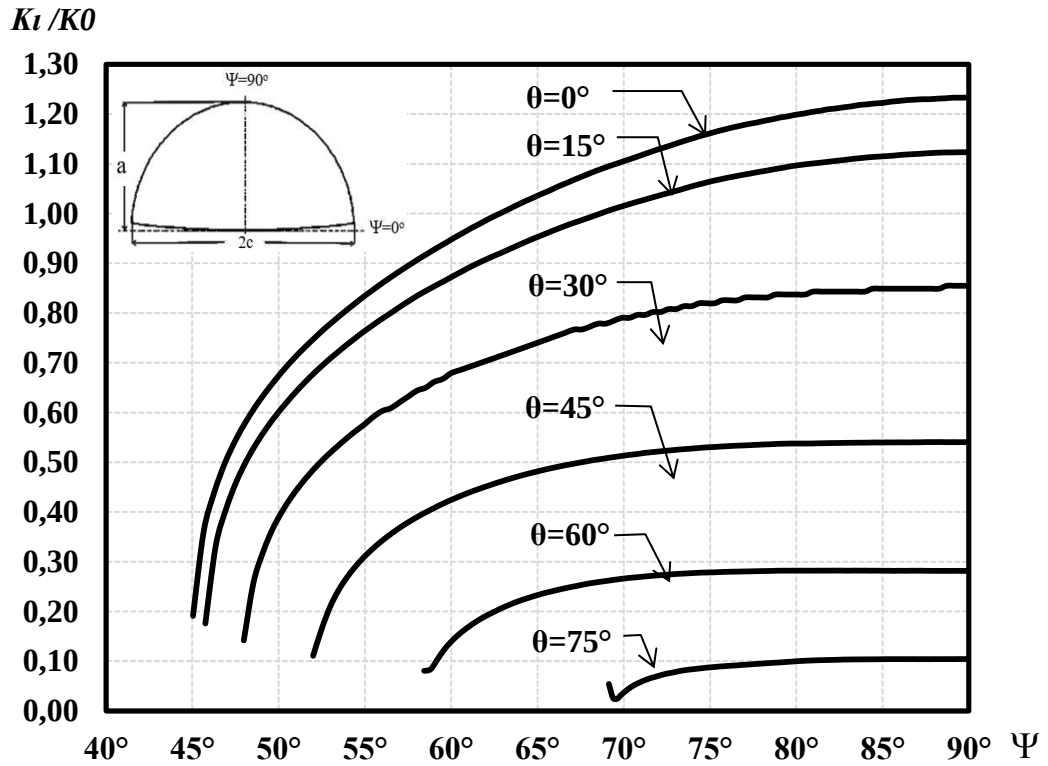
Şekil 3.103. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



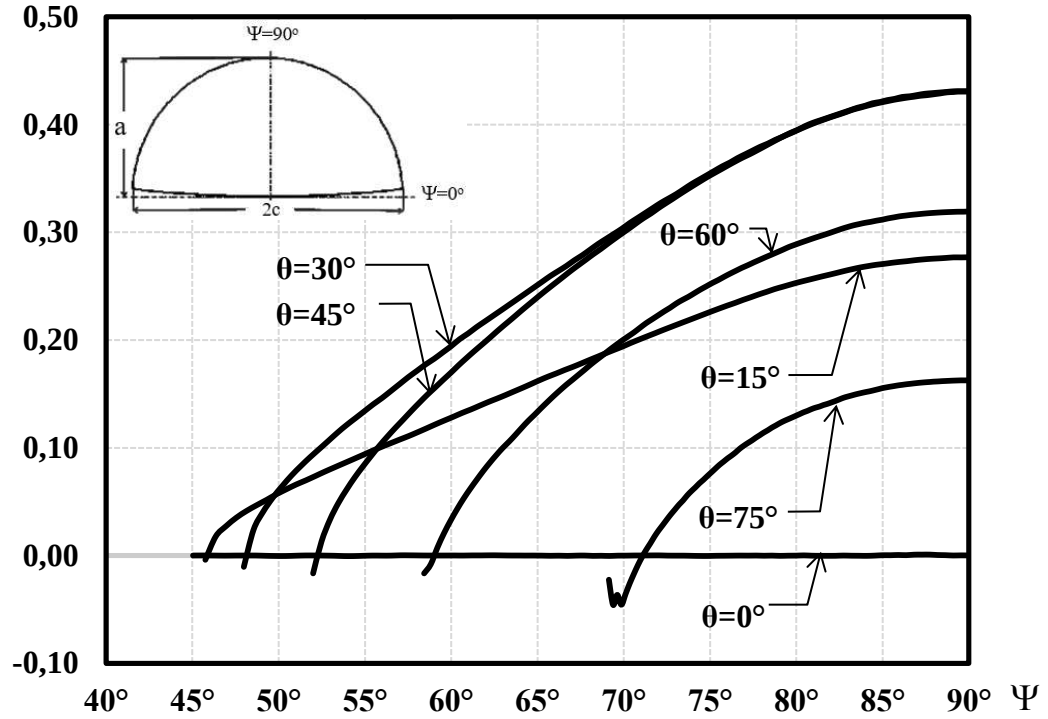
Şekil 3.104. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



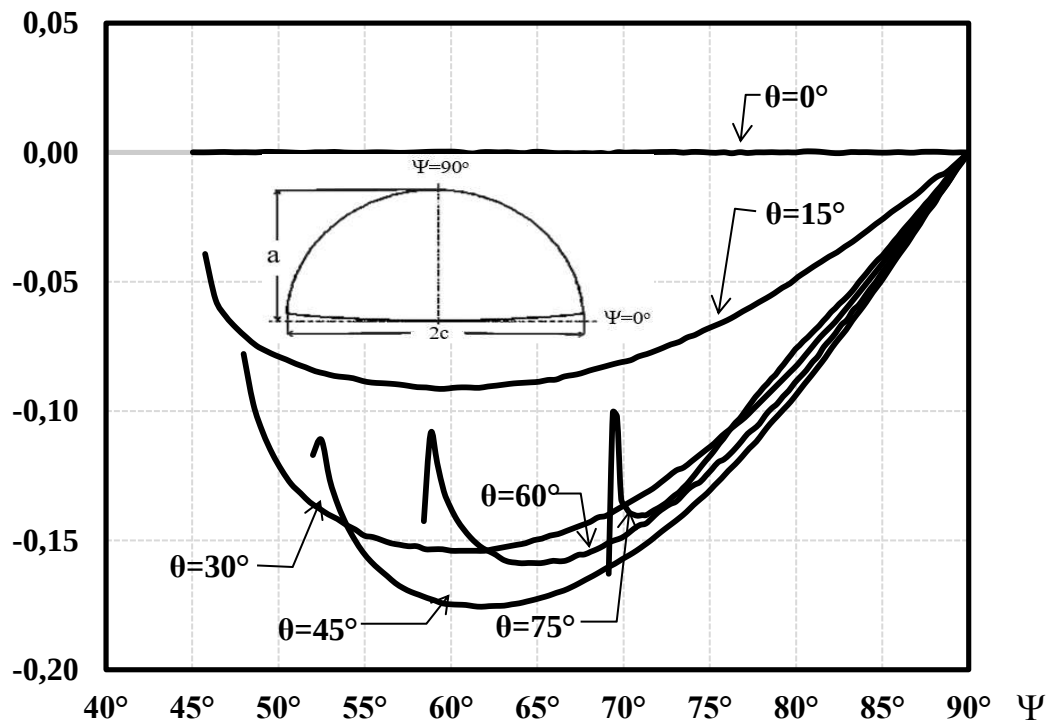
Şekil 3.105. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



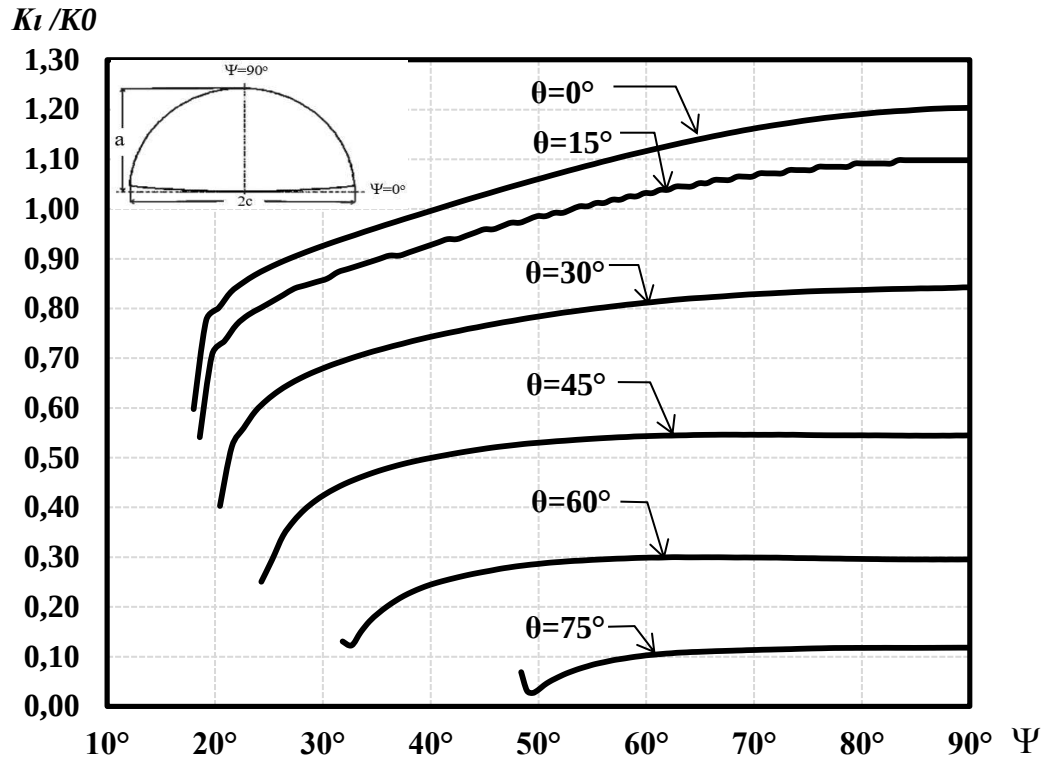
Şekil 3.106. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


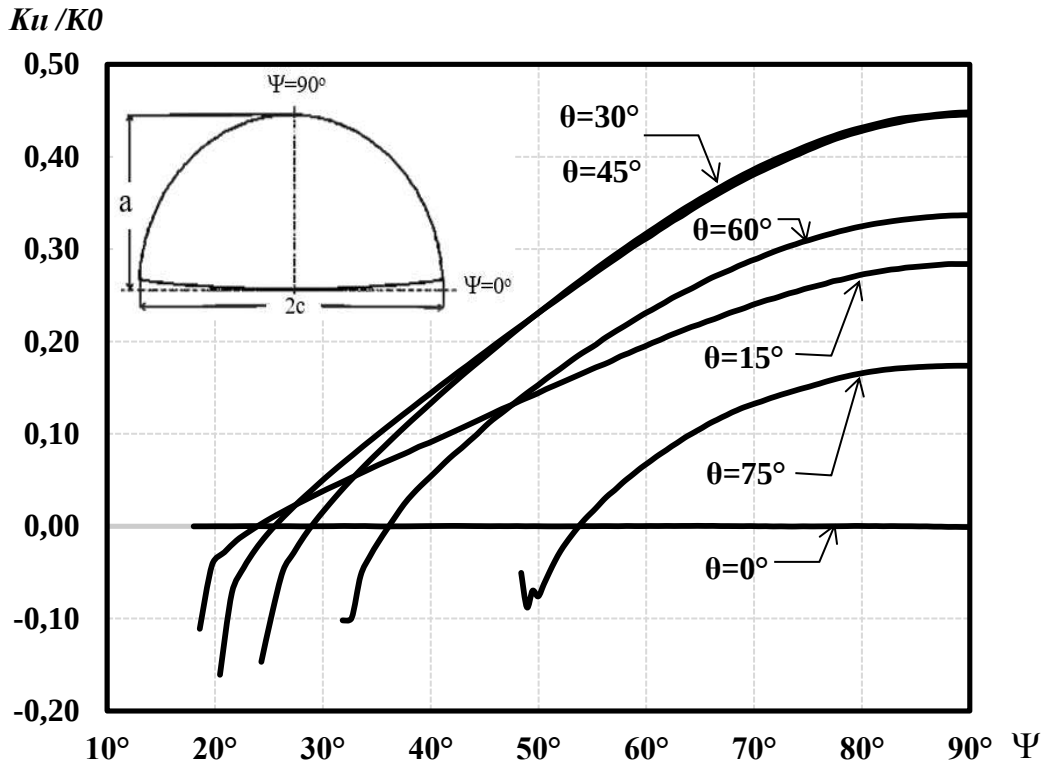
Şekil 3.107. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


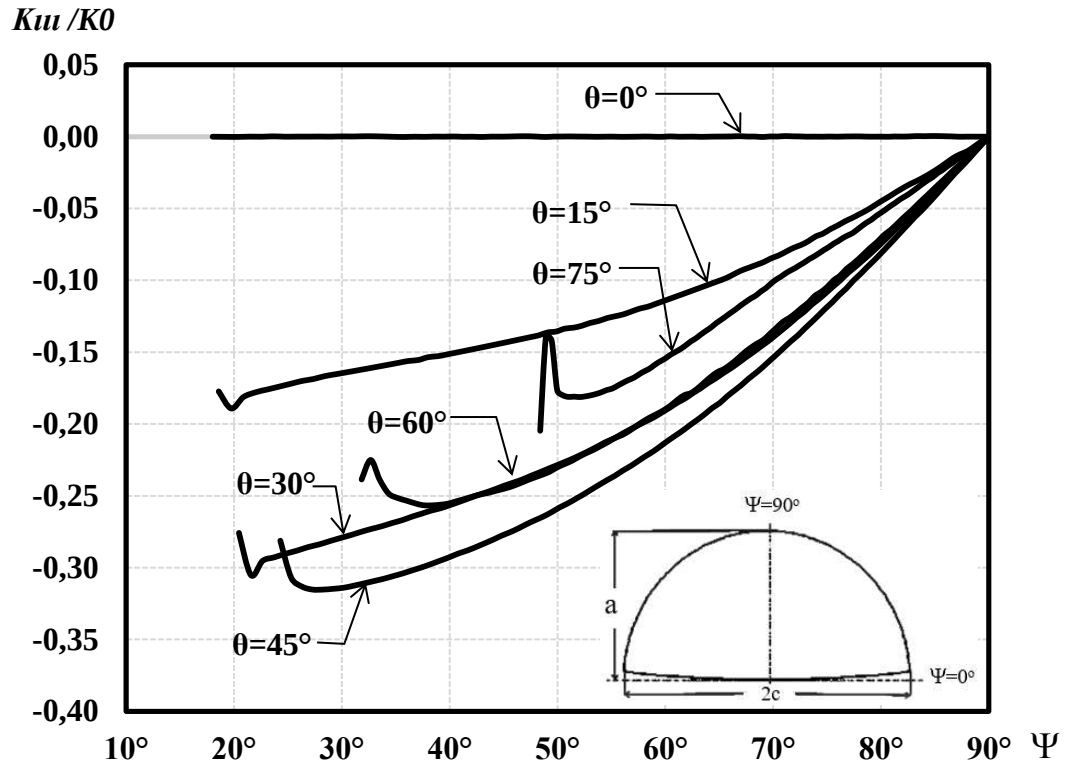
Şekil 3.108. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



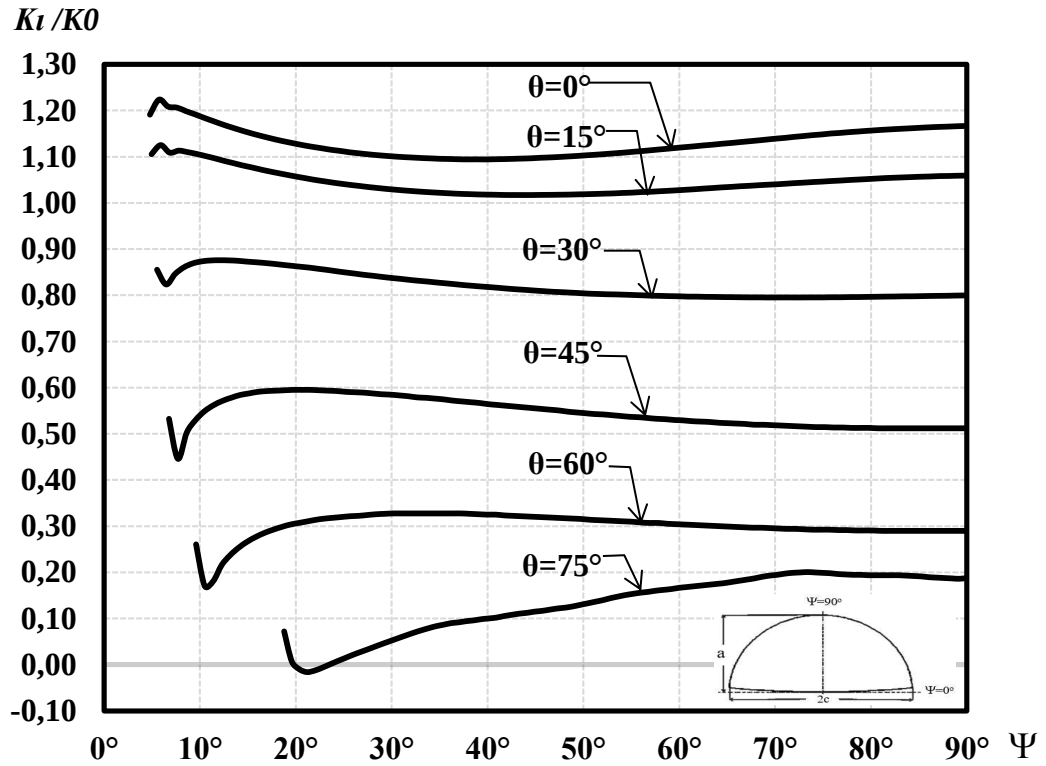
Şekil 3.109. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



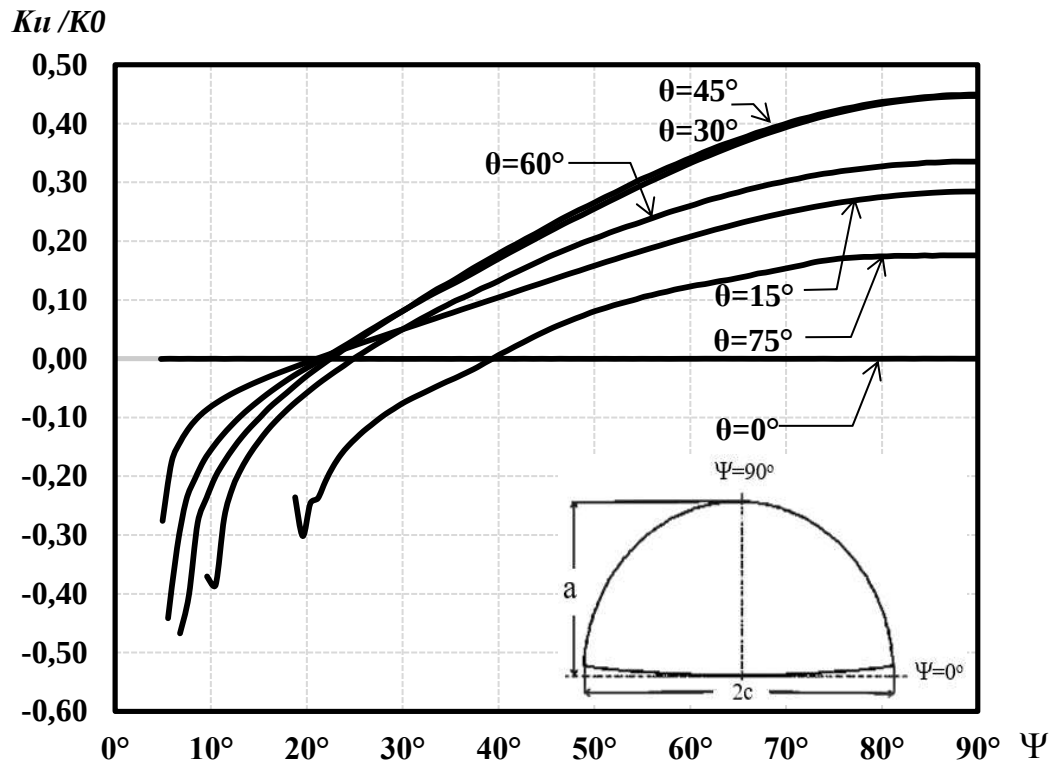
Şekil 3.110. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



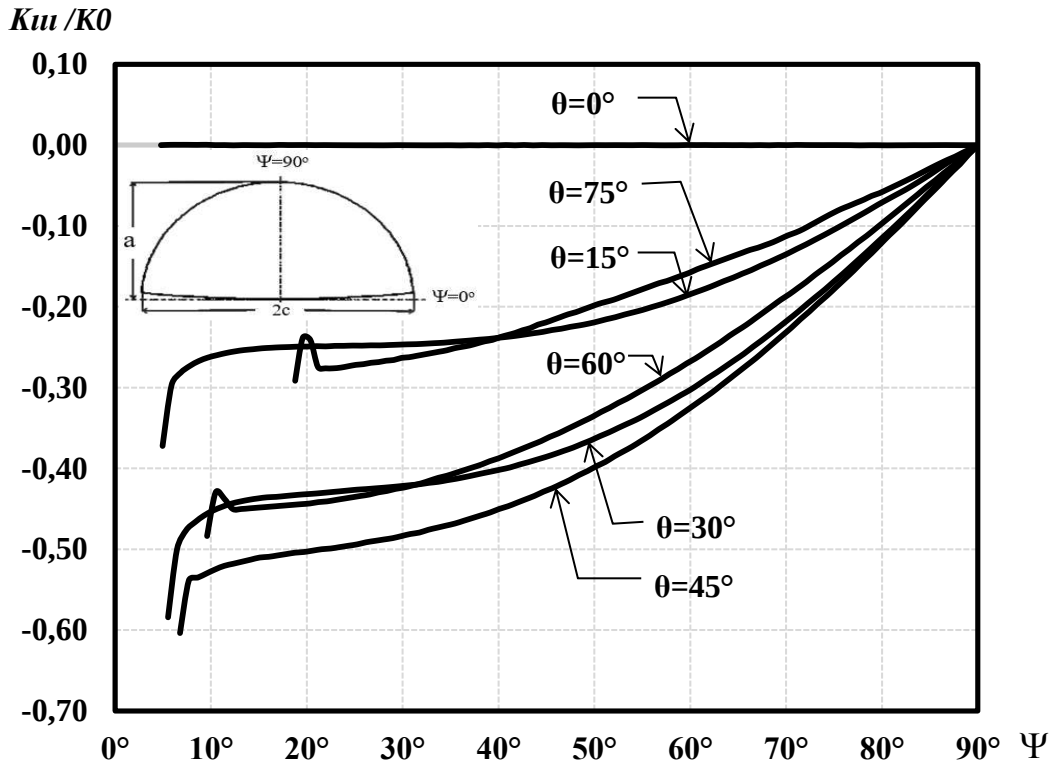
Şekil 3.111. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



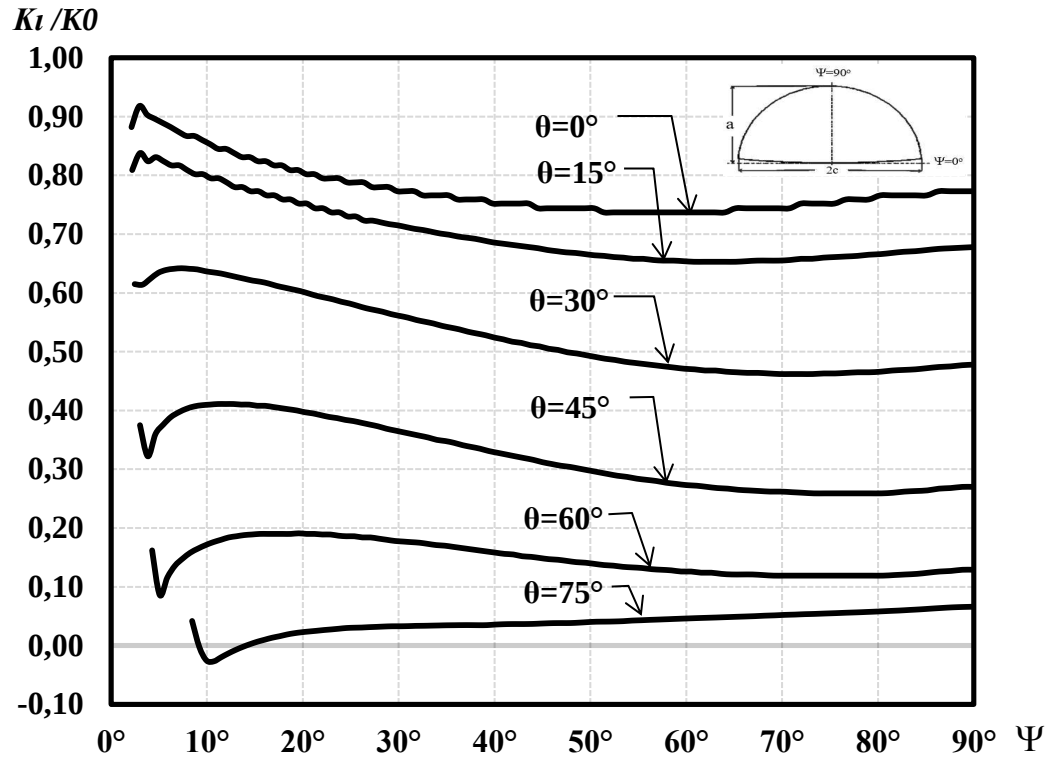
Şekil 3.112. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



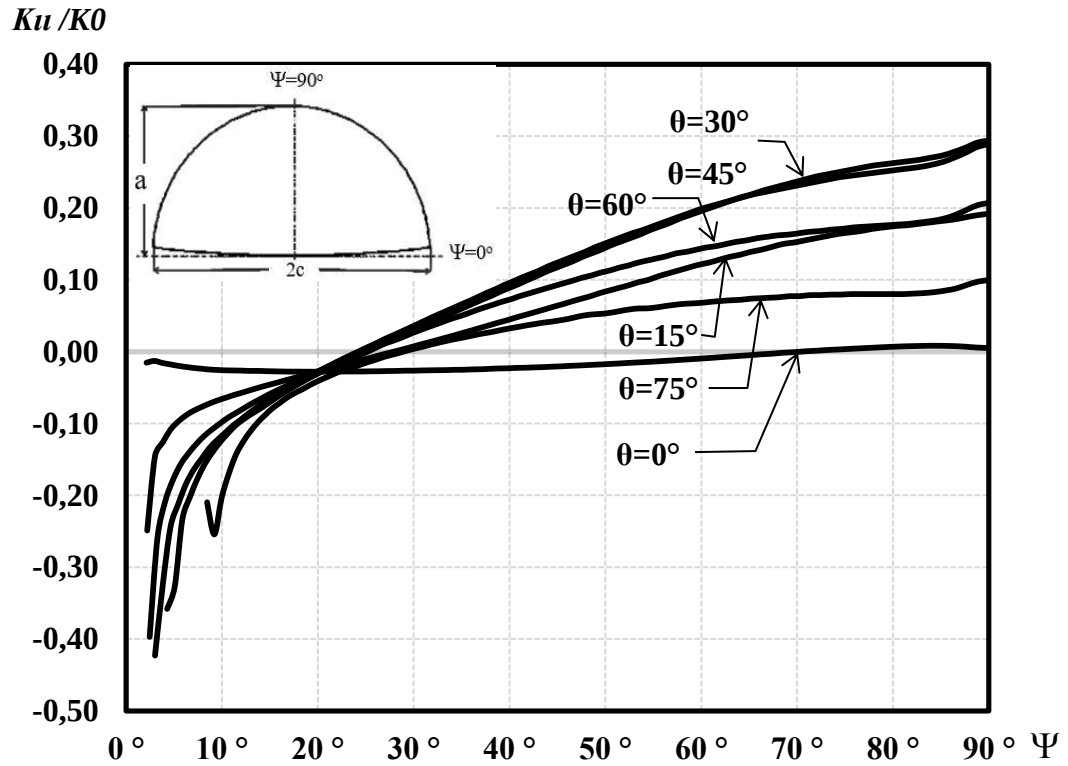
Şekil 3.113. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



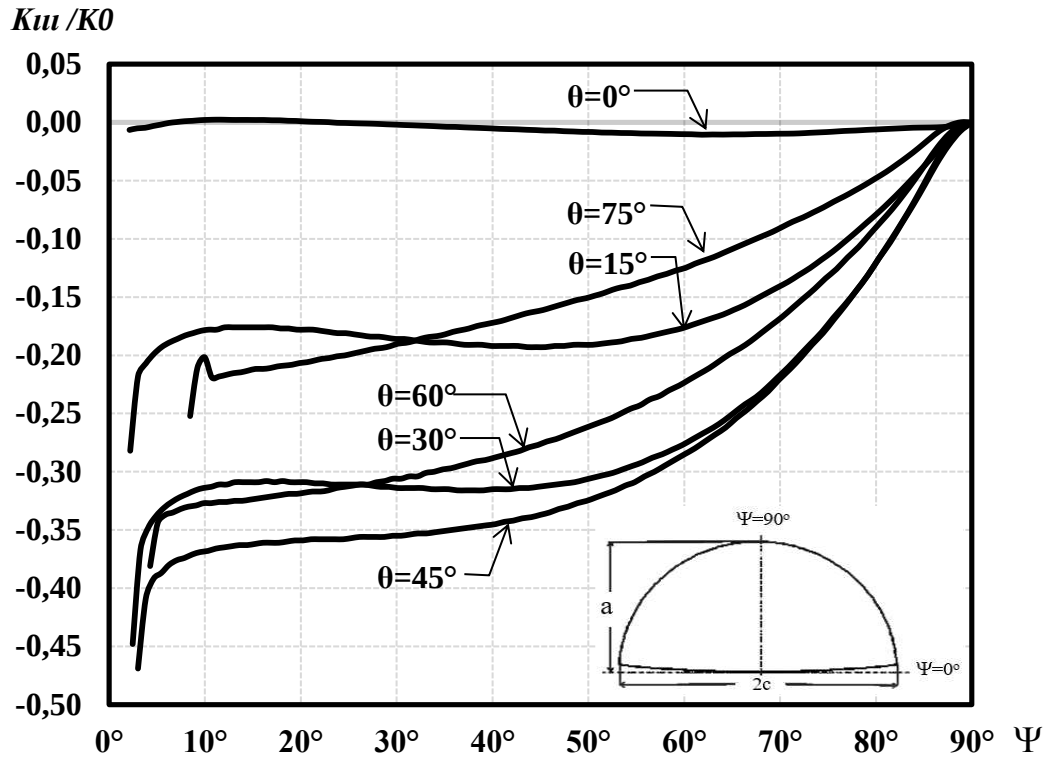
Şekil 3.114. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



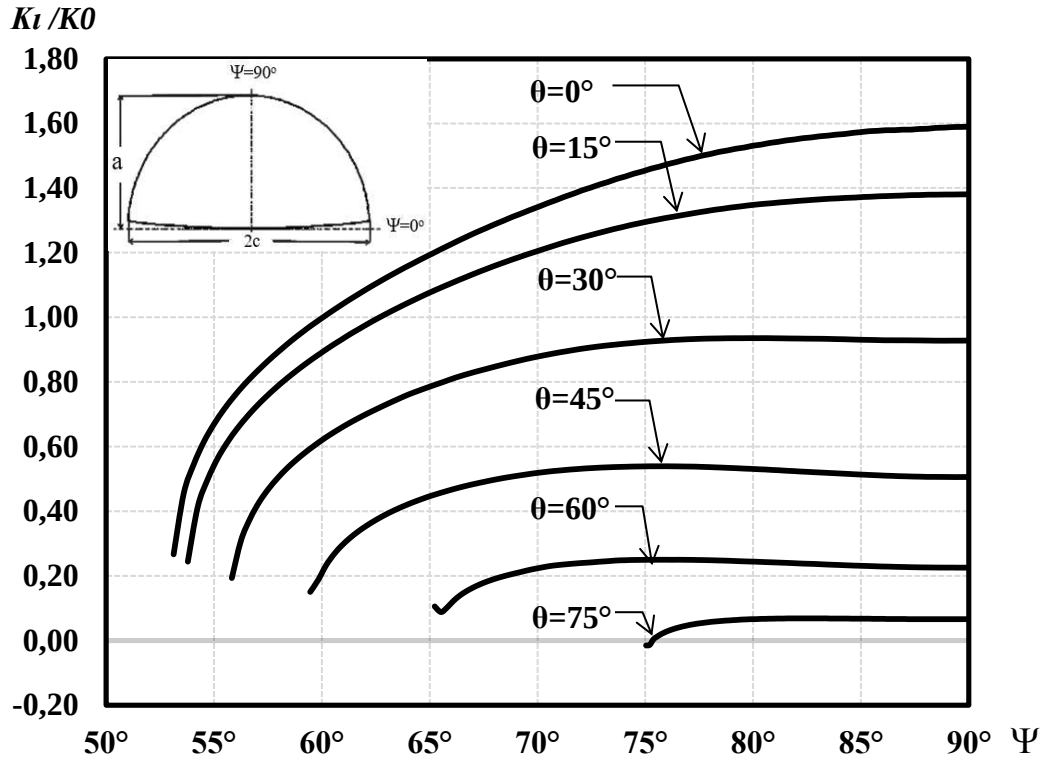
Şekil 3.115. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



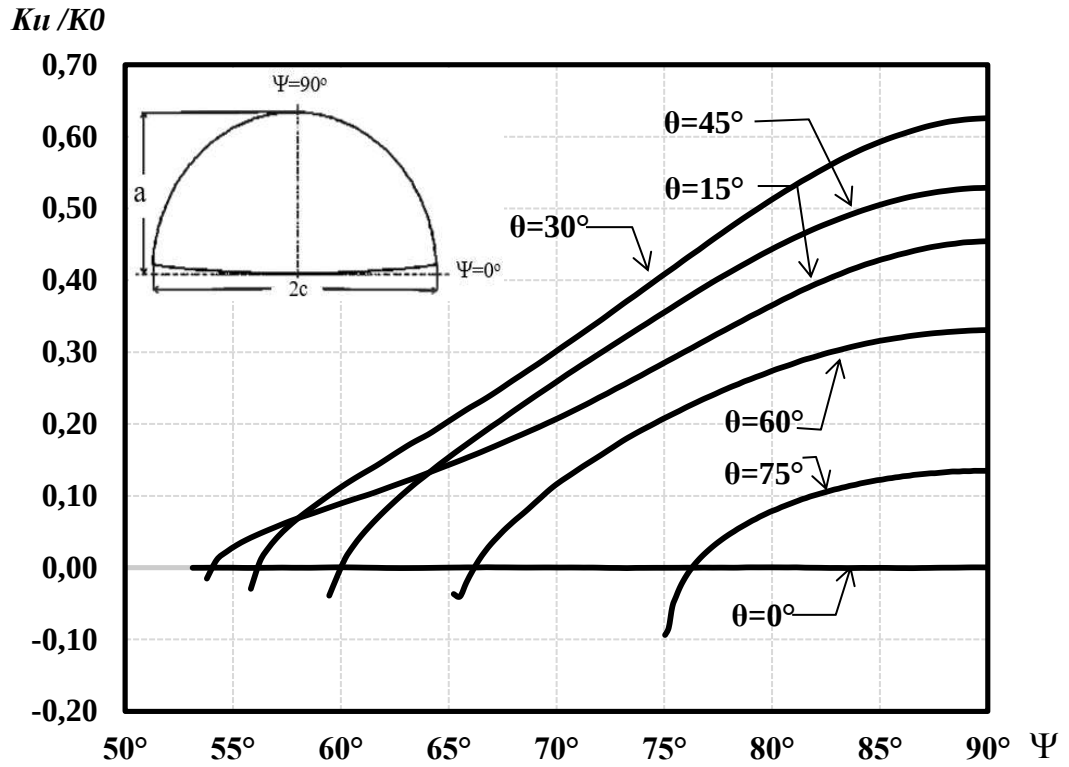
Şekil 3.116. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



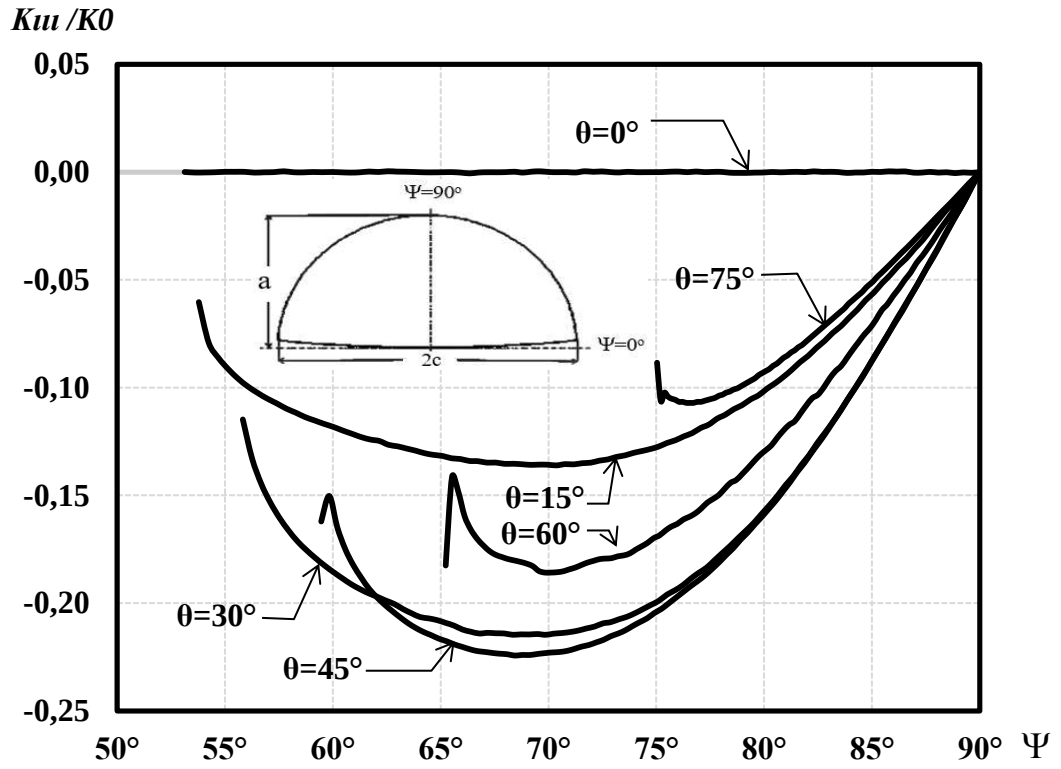
Şekil 3.117. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



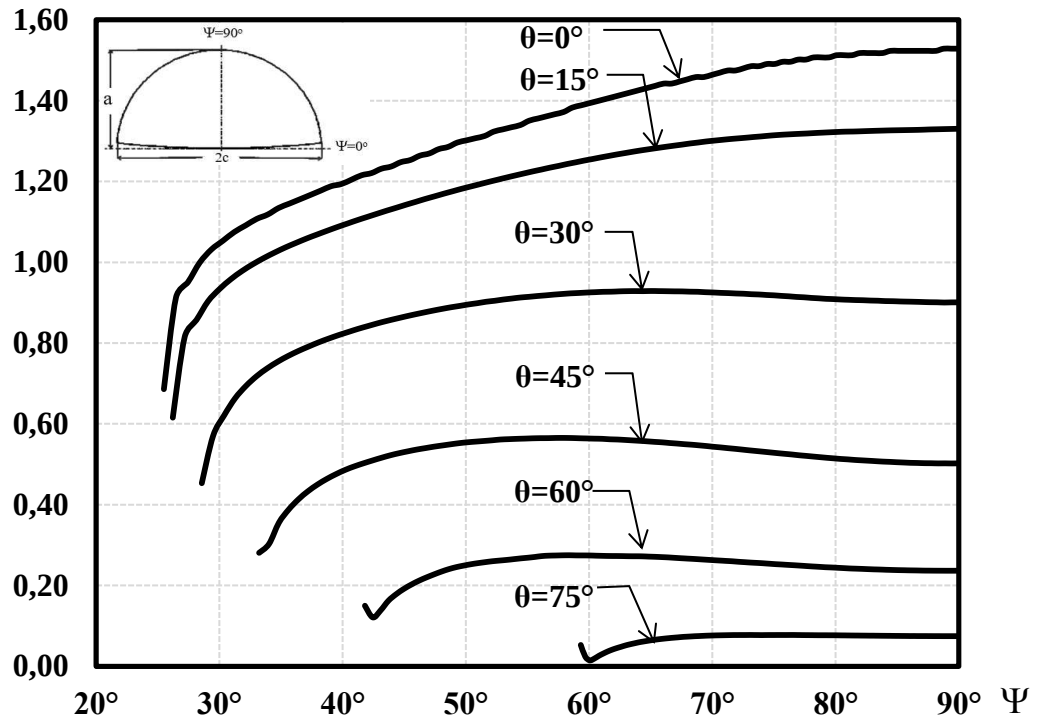
Şekil 3.118. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



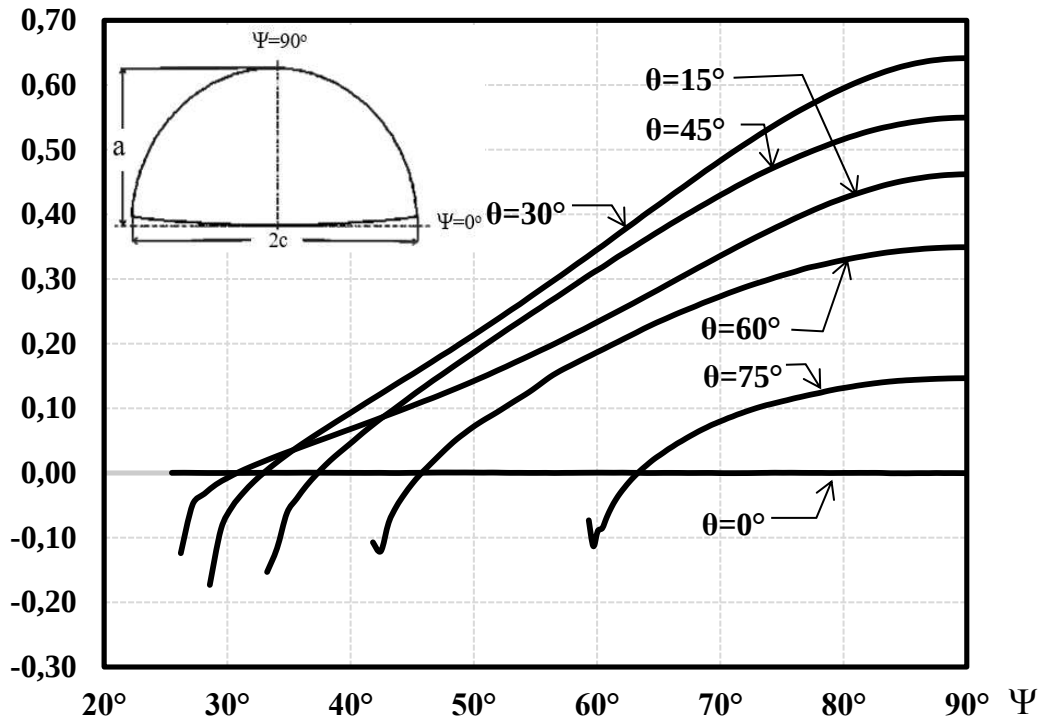
Şekil 3.119. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



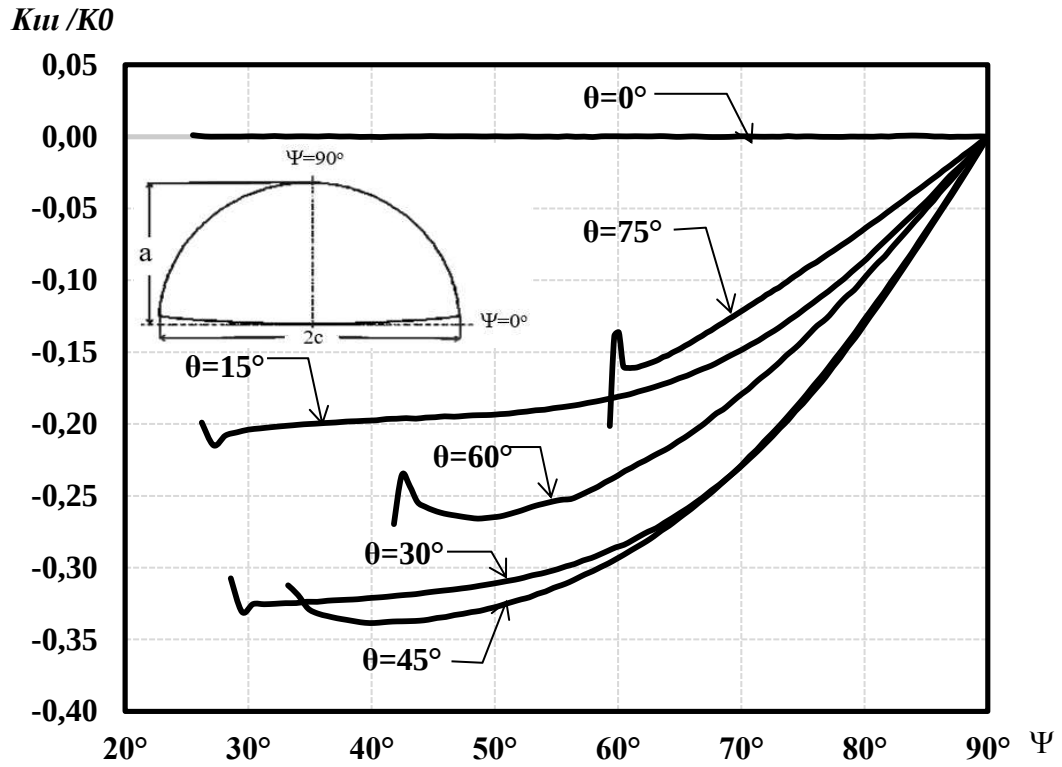
Şekil 3.120. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


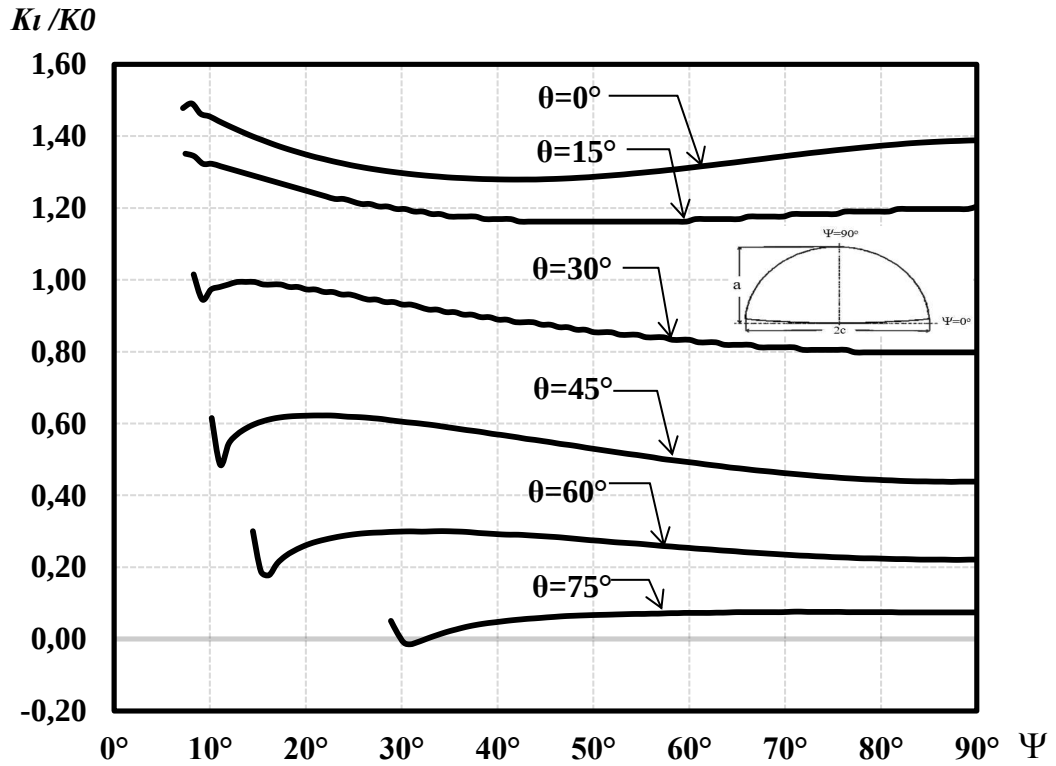
Şekil 3.121. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


Şekil 3.122. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

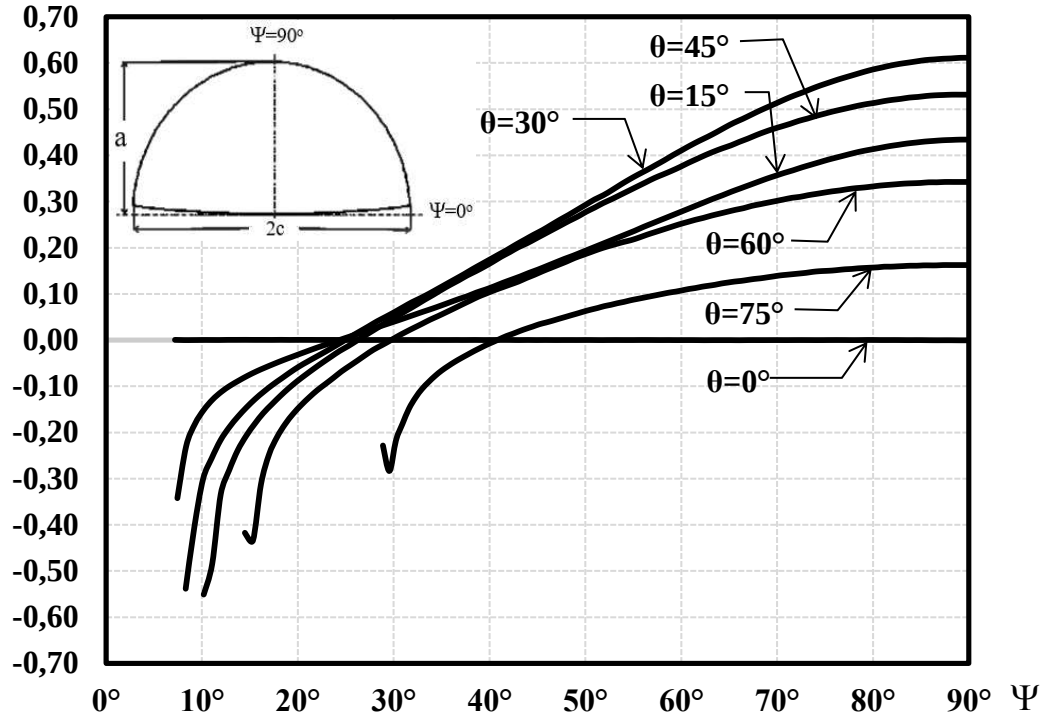


Şekil 3.123. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



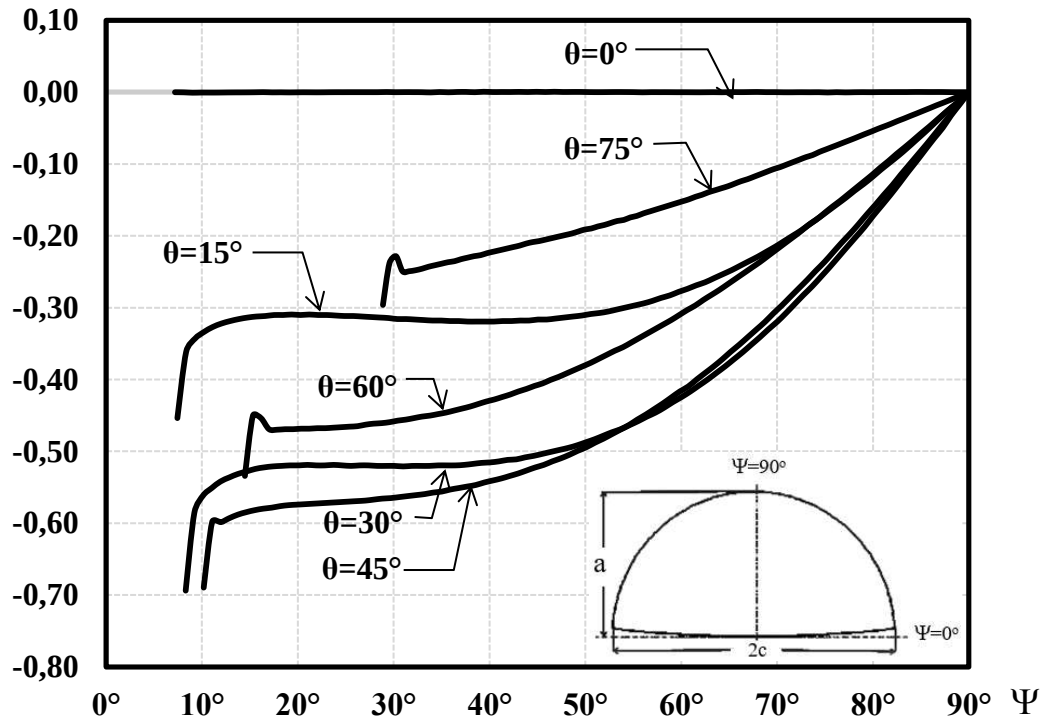
Şekil 3.124. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$

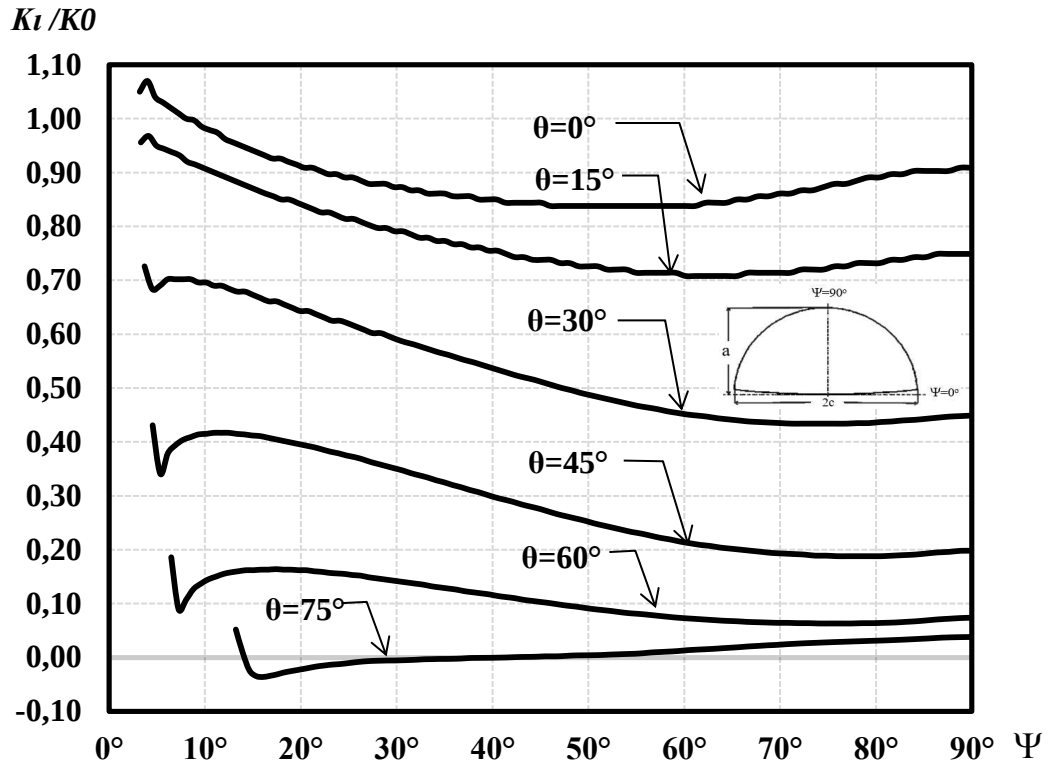


Şekil 3.125. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

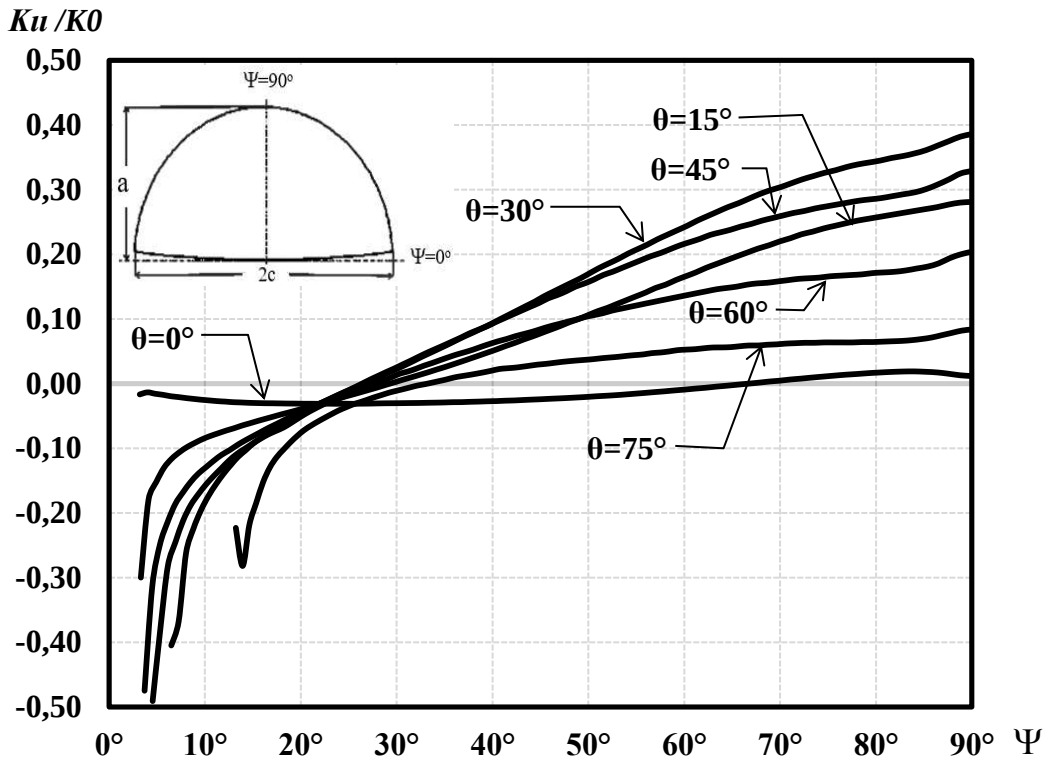
$Ku/K0$



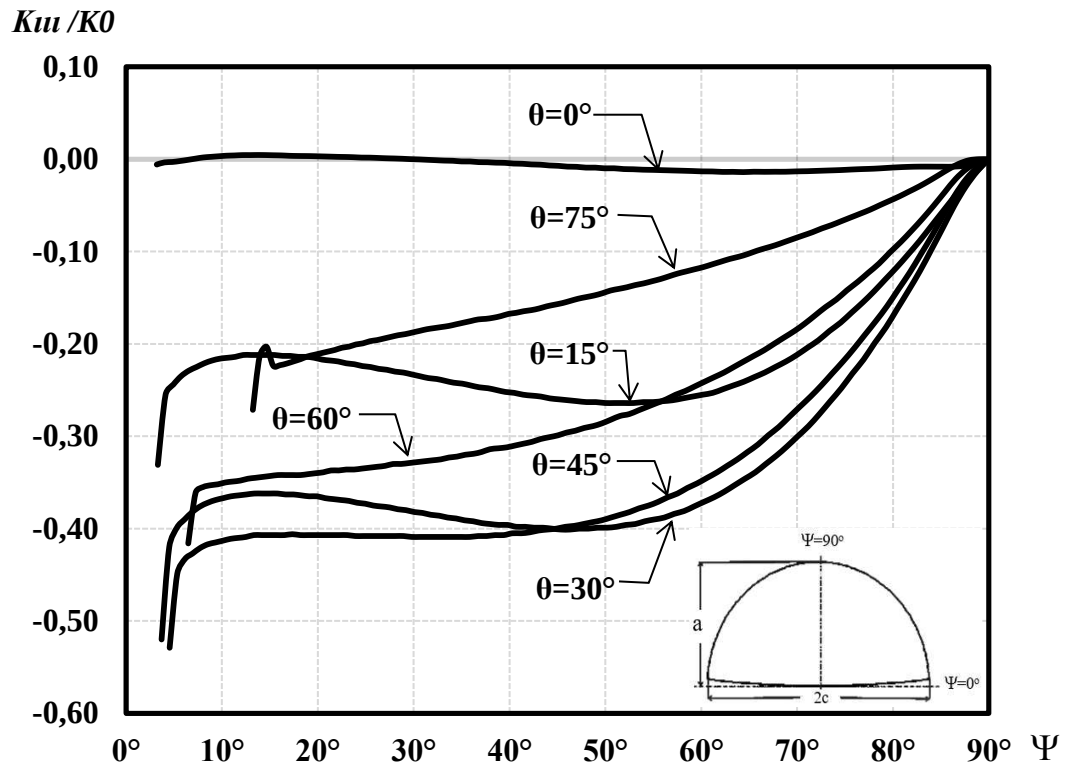
Şekil 3.126. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil.3.127. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



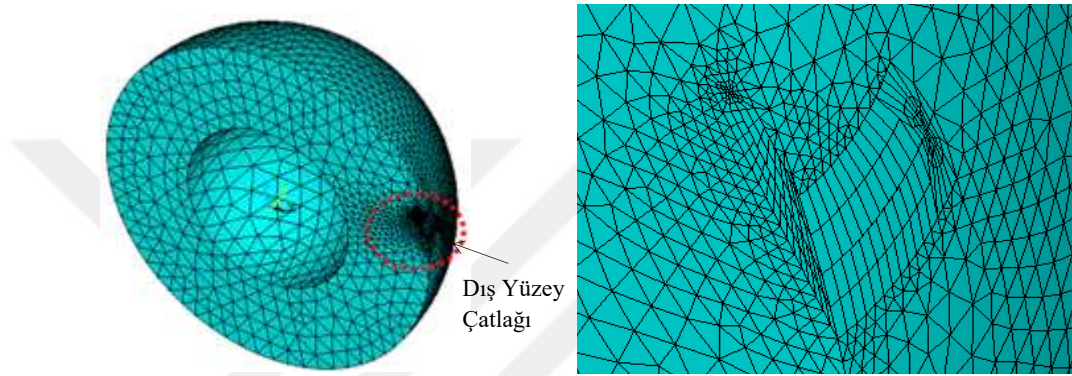
Şekil 3.128. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.129. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.5. Dış Yüzey Çatlağı (Ro/Ri=2.00 Durumu)

Ro/Ri=1.1, Ro/Ri=1.25 ve Ro/Ri=1.50 de olduğu gibi bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. Ro/Ri oranının yani et kalınlığı bir miktar daha artmış dolayısı ile daha fazla eleman kullanma ihtiyacı doğmuştur. Bu kısımdaki analizler için 120000 eleman ve 190000 node kullanılmıştır.

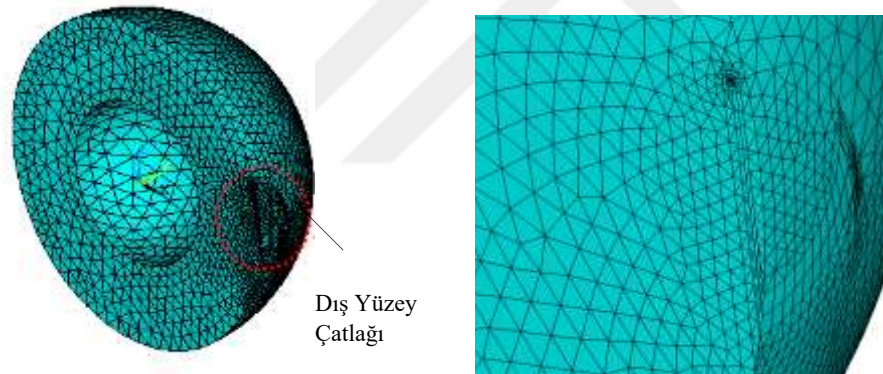


Şekil 3.130. Ro/Ri=2.00, at=0.75 ve ac=1.00 ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

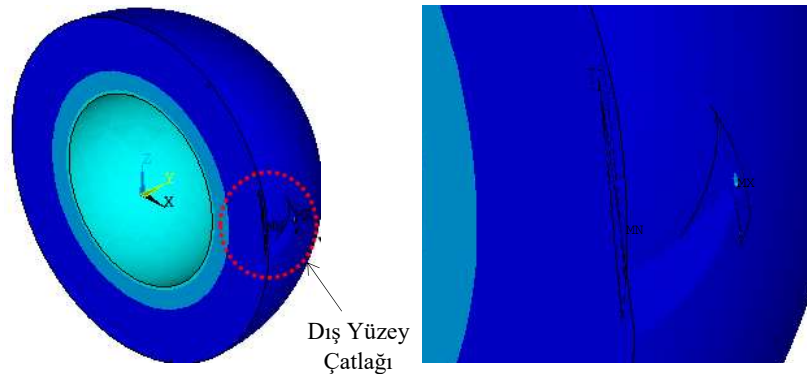
Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı yani et kalınlığını sabit olduğu durumda a/t arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktöründe artmasını gerektirecektir. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de beklendiği üzere artmıştır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması saf mod-I problemidir. Bu durum için çatlak sadece açılma modu yüklemesine maruzdur. 0 dereceden farklı olması durumunda ise karışık modlu, açılma (mod-I), kayma modu (mod-II) ve yırtılma modu (mod-III) içeren gerilme-şiddet faktörleri oluşacaktır. Elde edilen grafikler yorumlandığında açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri küresel yapının dış çap/iç çap oranının 1.10, 1.25, 1.50 olduğu durumlarda olduğu gibi artmıştır. Diğer parametreleri sabit tuttuğumuzda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlağın

yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranı arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0° olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir deyiş ile, 0 derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda da görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Elde edilen grafiklerde kayma modunda (mod-II) en yüksek değerin 30 derecede olduğu görülmüştür. Mod-III kısmında ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede en yüksek değeri 30 derecede aldığı görülmüştür. Küresel yapının cidar kalınlığının değişimine diğer bir deyiş ile dış çap/iç çap (R_o/R_i) oranının 2.00 olması durumunu 1.10, 1.25 ve 1.50 olması durumları ile karşılaştırarak olursak çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılarının sabit olduğu durumlar için dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) artması sonucunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri açılma modu (mod-I) için bir miktar azalmıştır. Dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) kayma moduna etkine bakacak olursak çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri bir miktar azalmıştır. Yırtılma modu (Mod-III) için ise çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açığı açılarının sabit olduğu durumlar için ise normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede bir miktar artmıştır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının 0.75, çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranının 1.50 olduğu, çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 75° olduğu durumda açılma modunda (Mod-I) normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede görülmektedir (Şekil 3.166.). Bu duruma ait normalize edilmiş gerilme-şideet faktörleri kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Fiziksel bir sonuç olarak kabul edemeyeceğimiz bu durum çatlağın mevcut yükleme koşullarında açılmadığı anlamına gelir. Bu duruma ait sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları Şekil 3.132.'de verilmiştir. Şekil 3.133. incelenecek olursa $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının

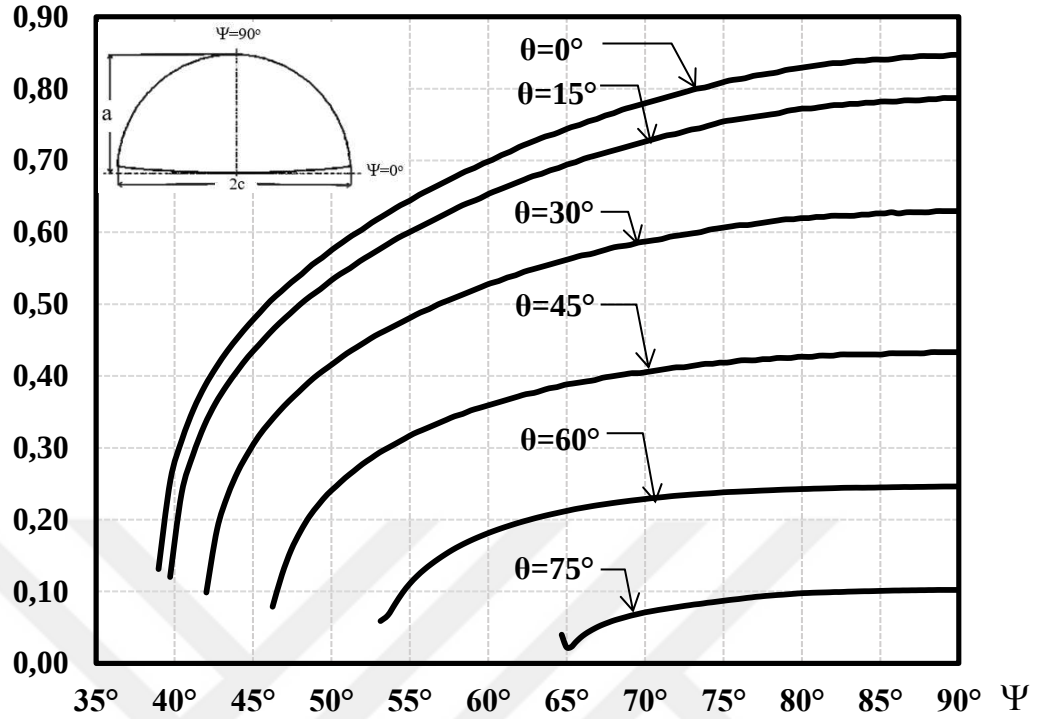
artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.134.'da verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin 45 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve 15, 30, 45, 60 dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü davranışları görülecektir. Şekil 3.135. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.133.-3.168.)'de verilmektedir. Grafikle başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



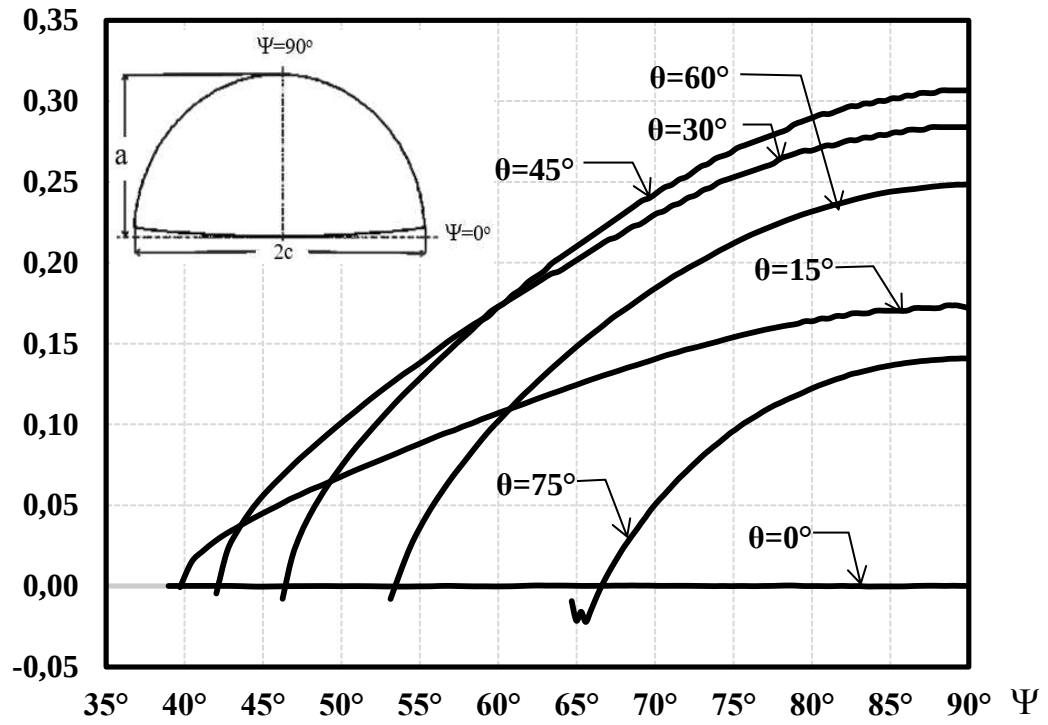
Şekil 3.131. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.



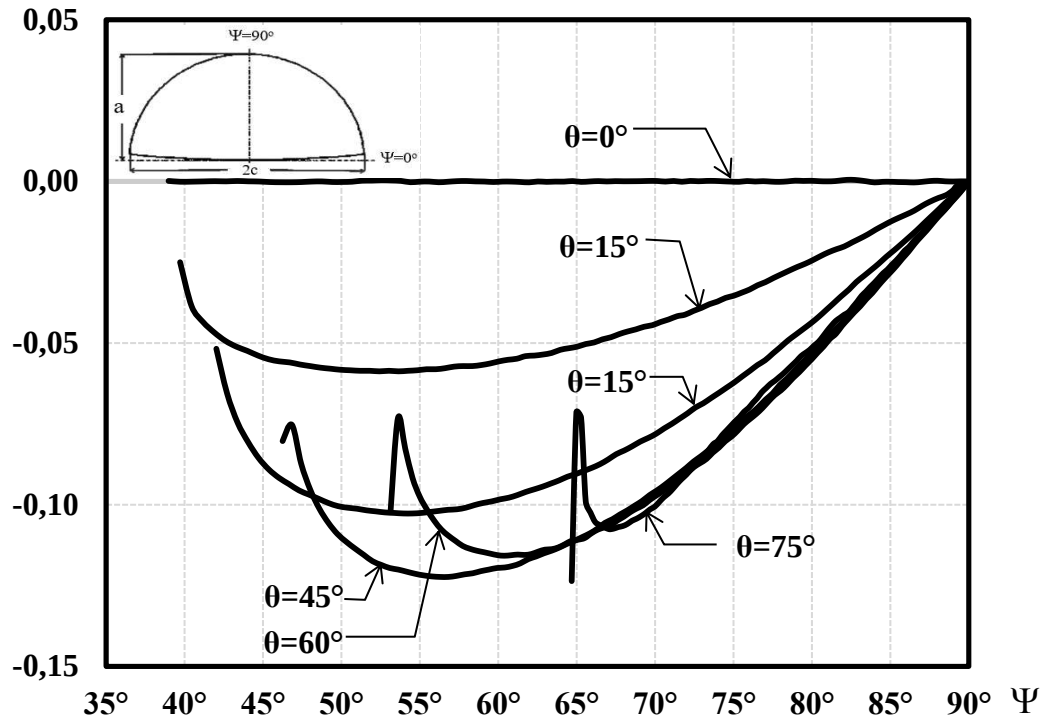
Şekil 3.132. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ ve 75 derece çatlak açısı derece için küresel kap ve kaptaki çatlakın analiz sonucu gerilme dağılımları.

K_I / K_0


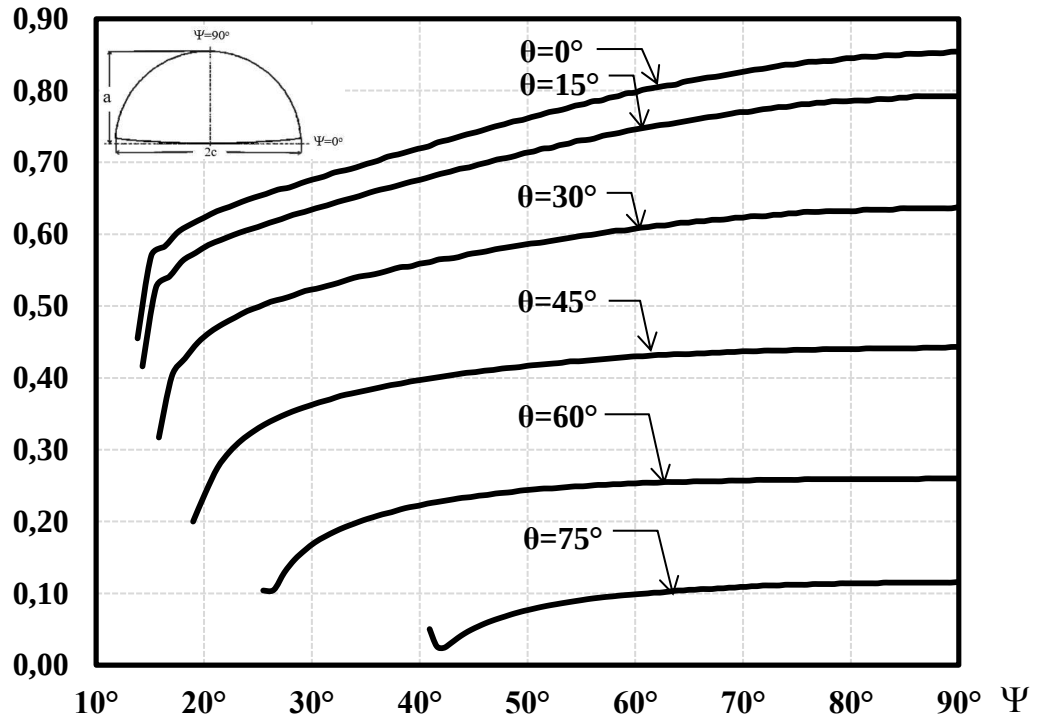
Şekil 3.133. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


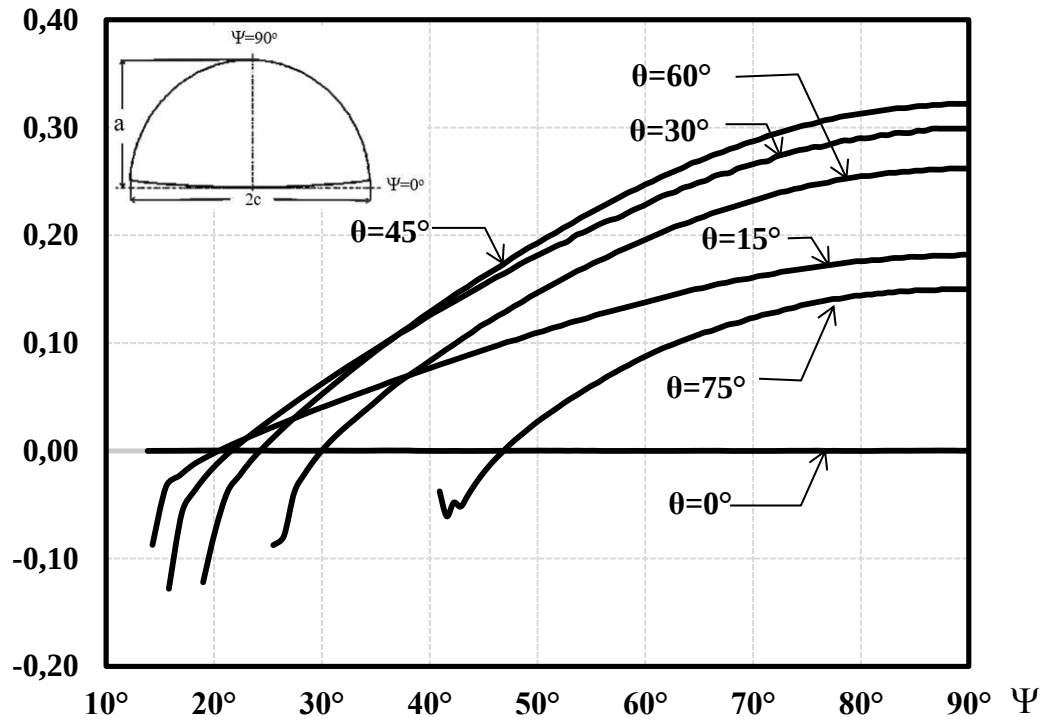
Şekil 3.134. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


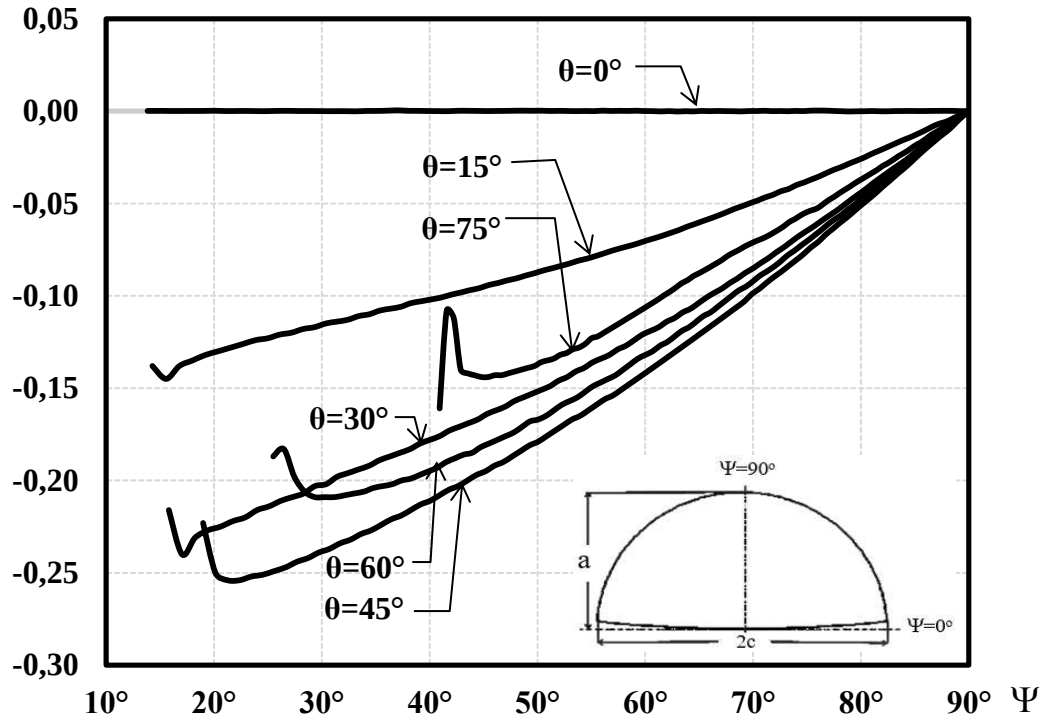
Şekil 3.135. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


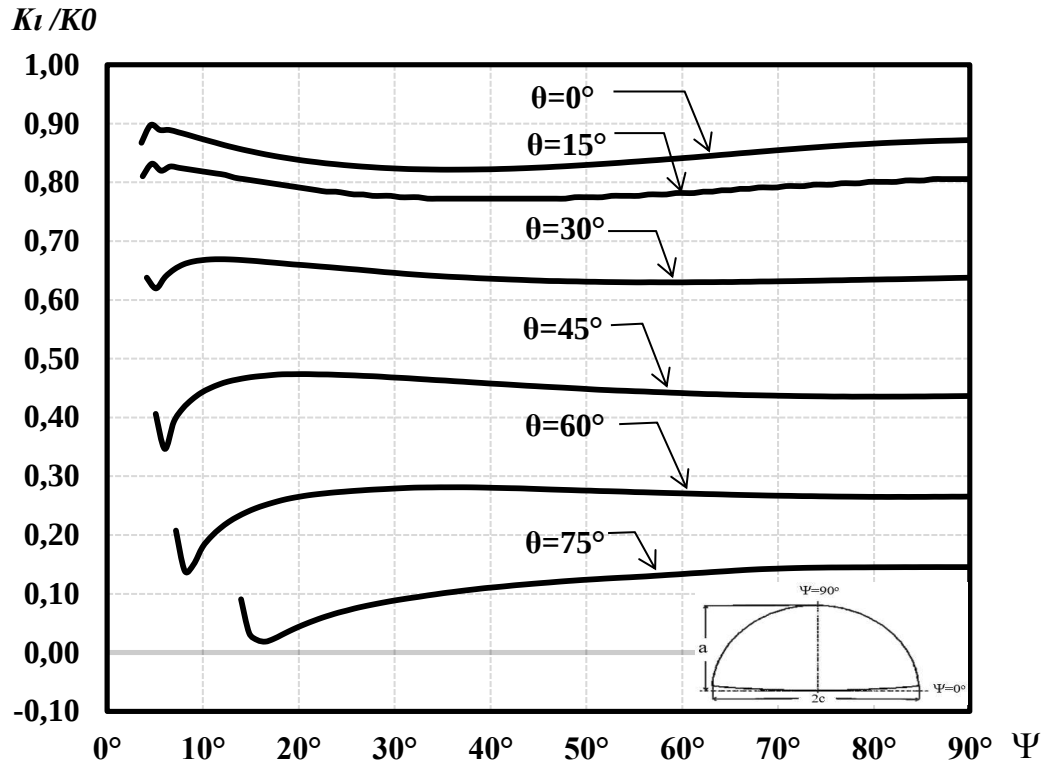
Şekil 3.136. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


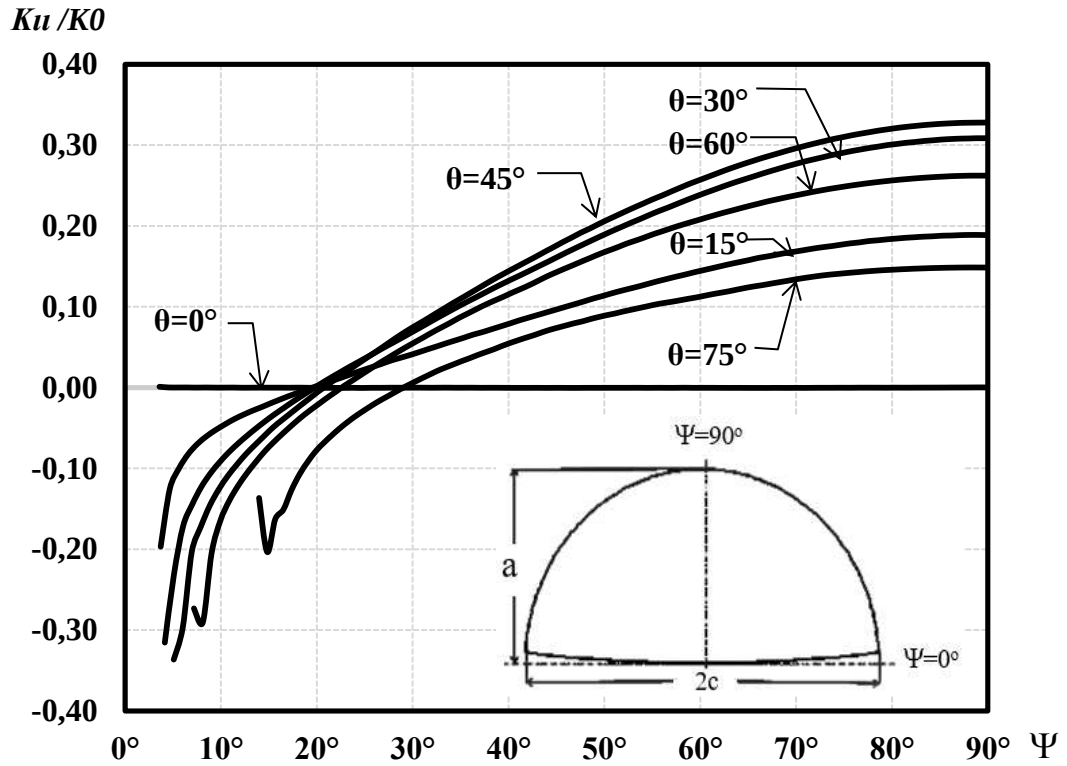
Şekil 3.137. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $Ku/K0$


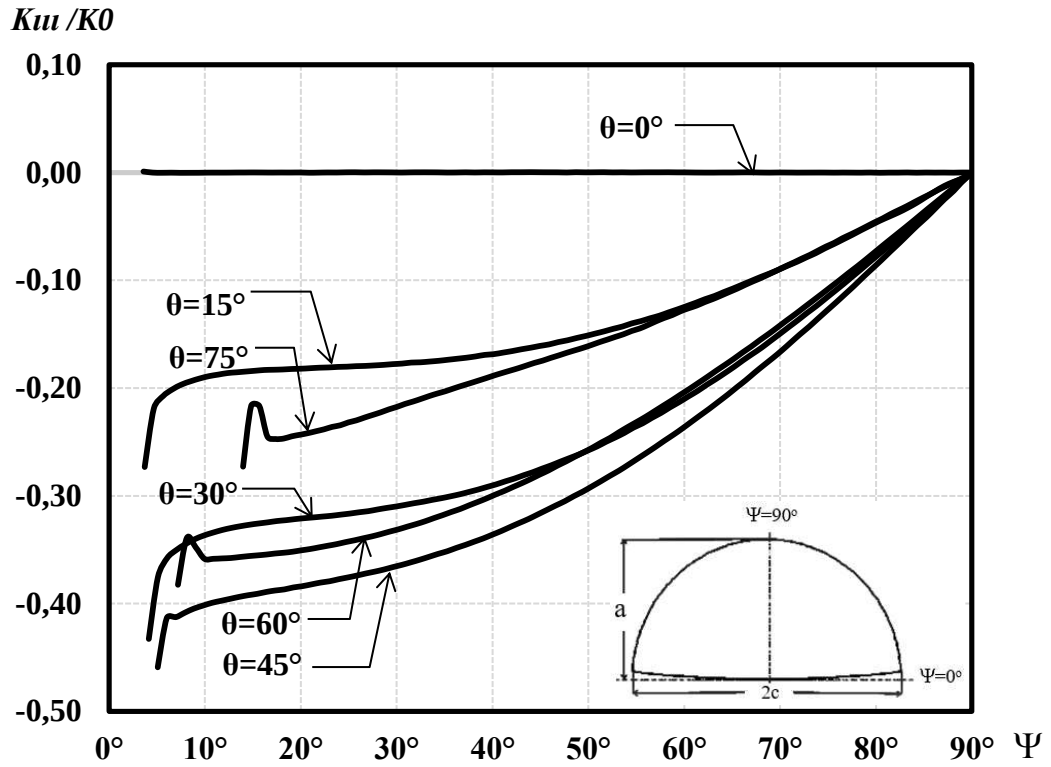
Şekil 3.138. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



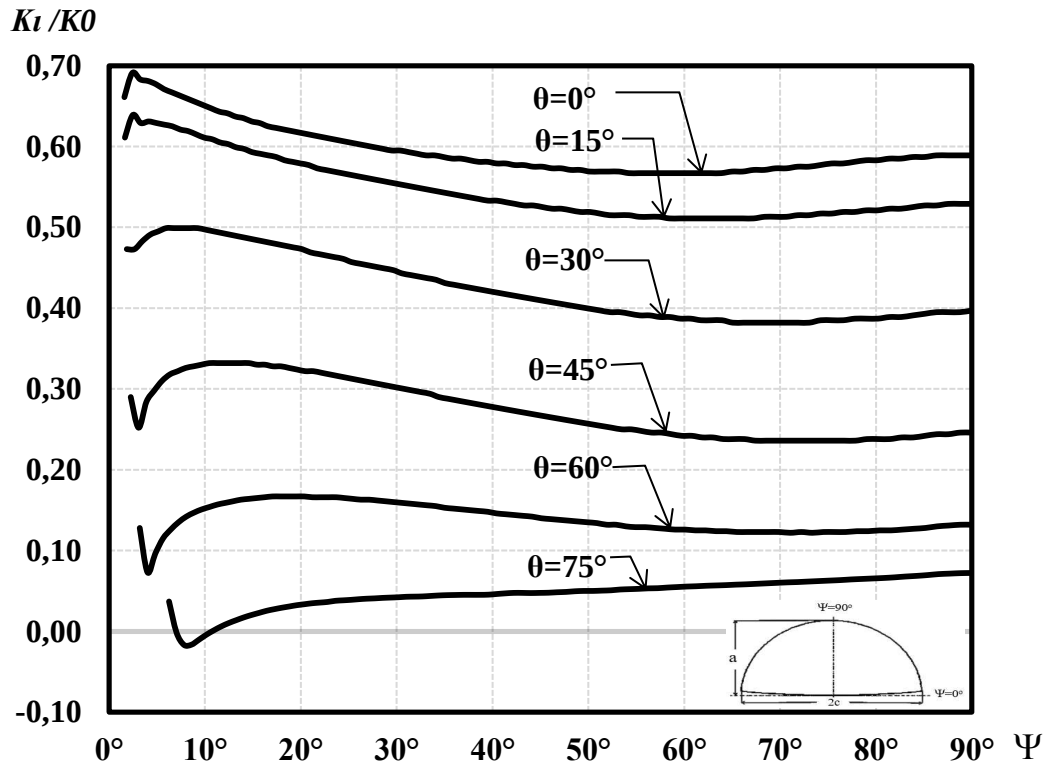
Şekil 3.139. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



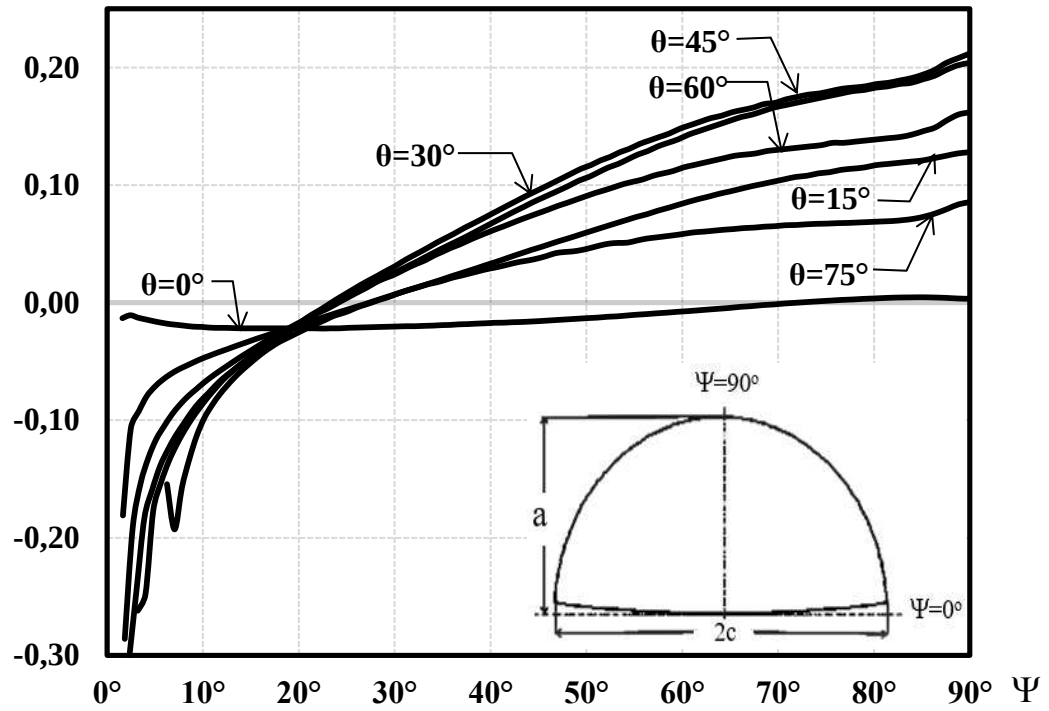
Şekil 3.140. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



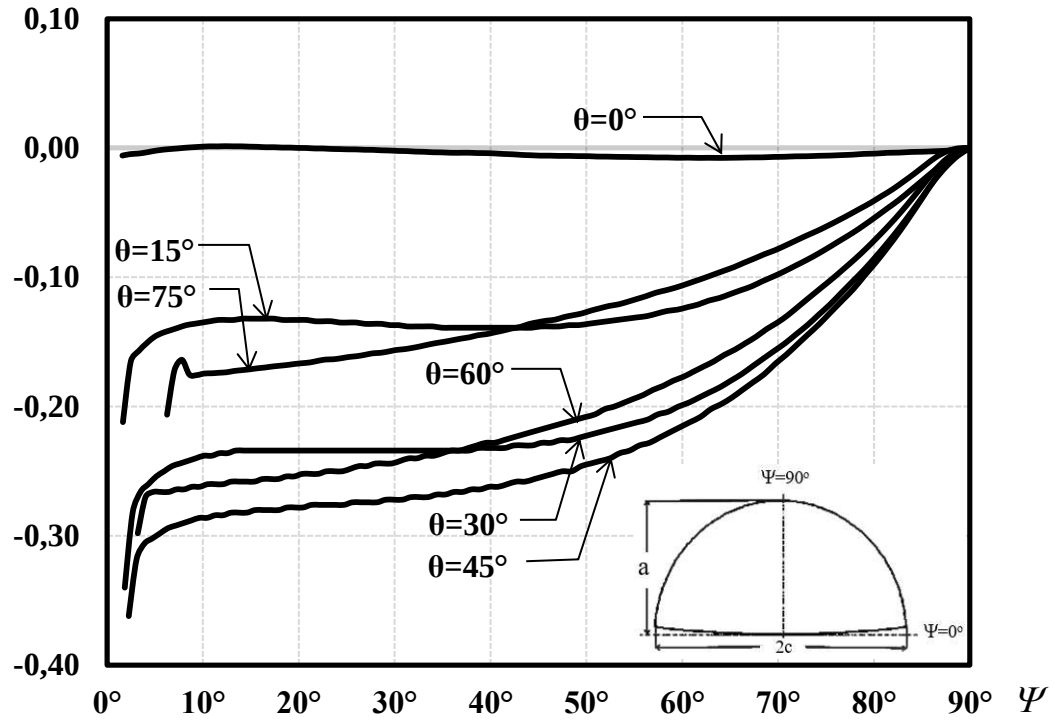
Şekil 3.141. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



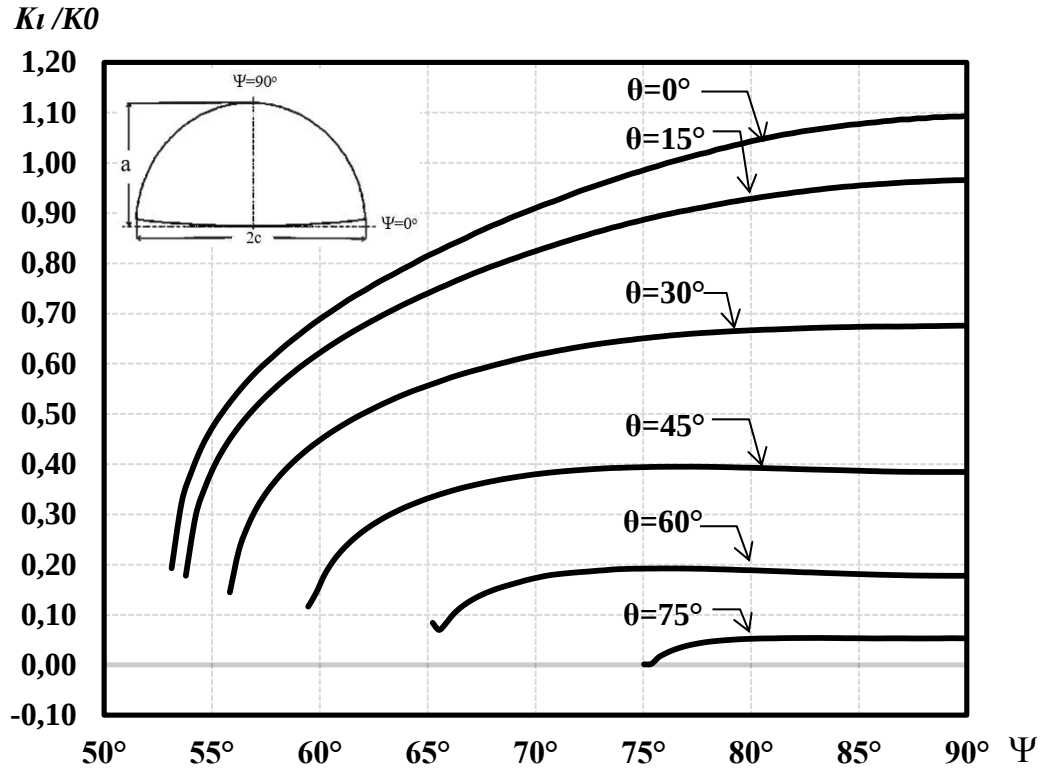
Şekil 3.142. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


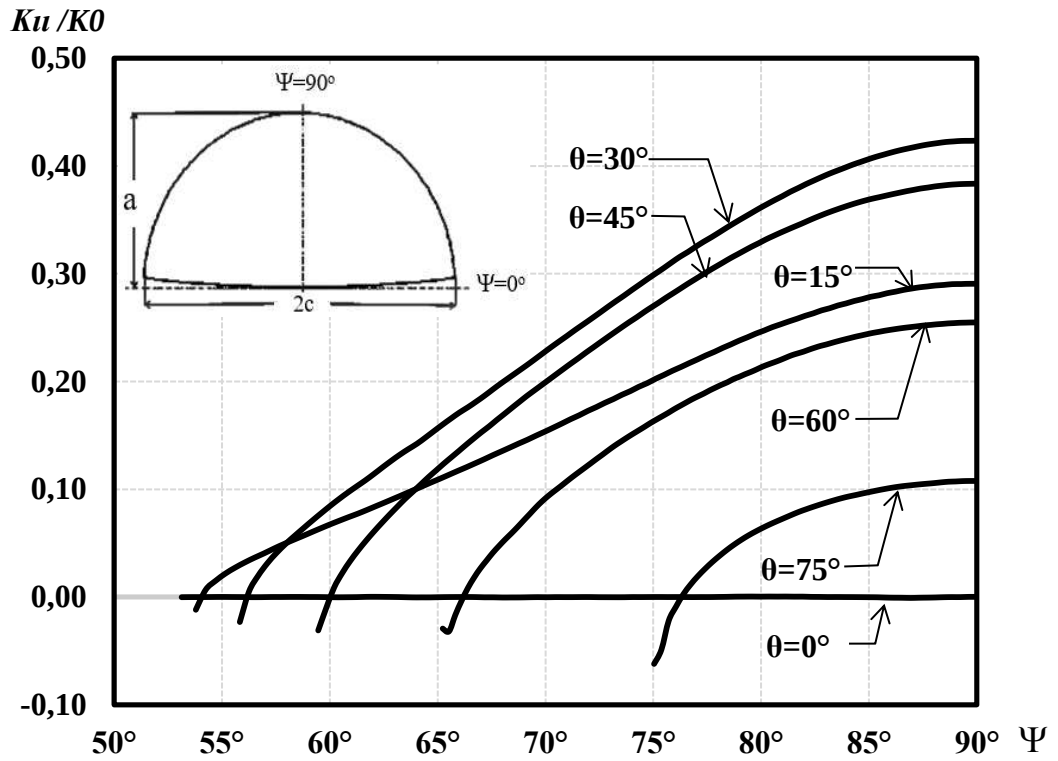
Şekil 3.143. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III} / K_0


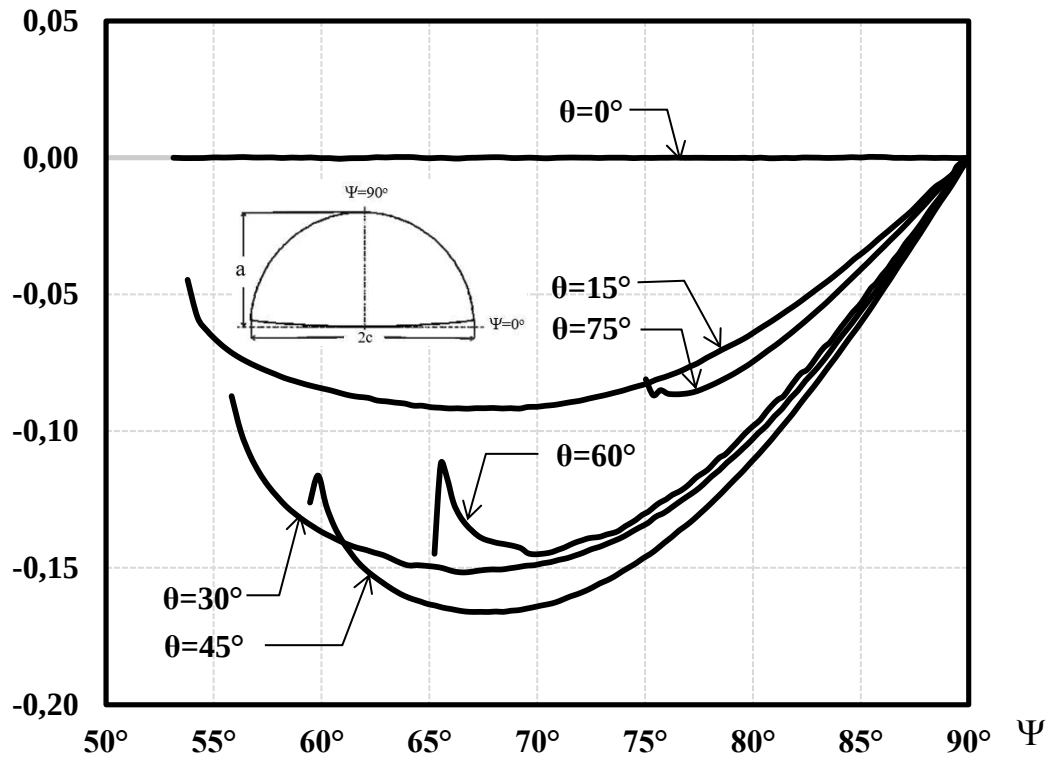
Şekil 3.144. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



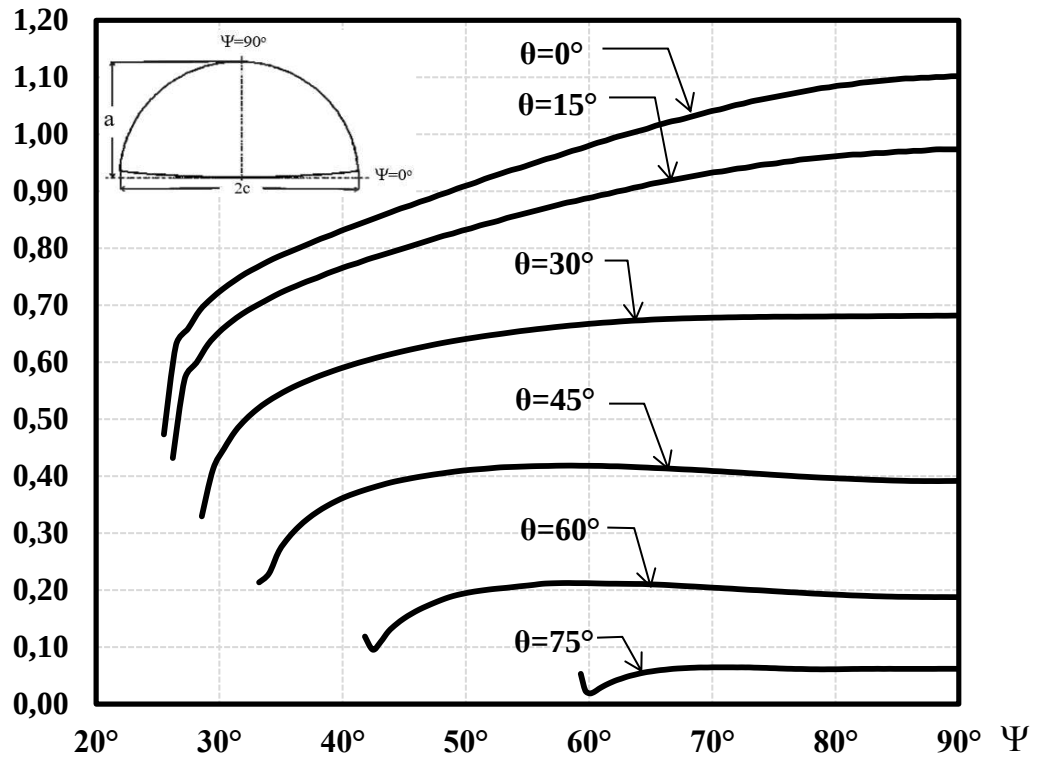
Şekil 3.145. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



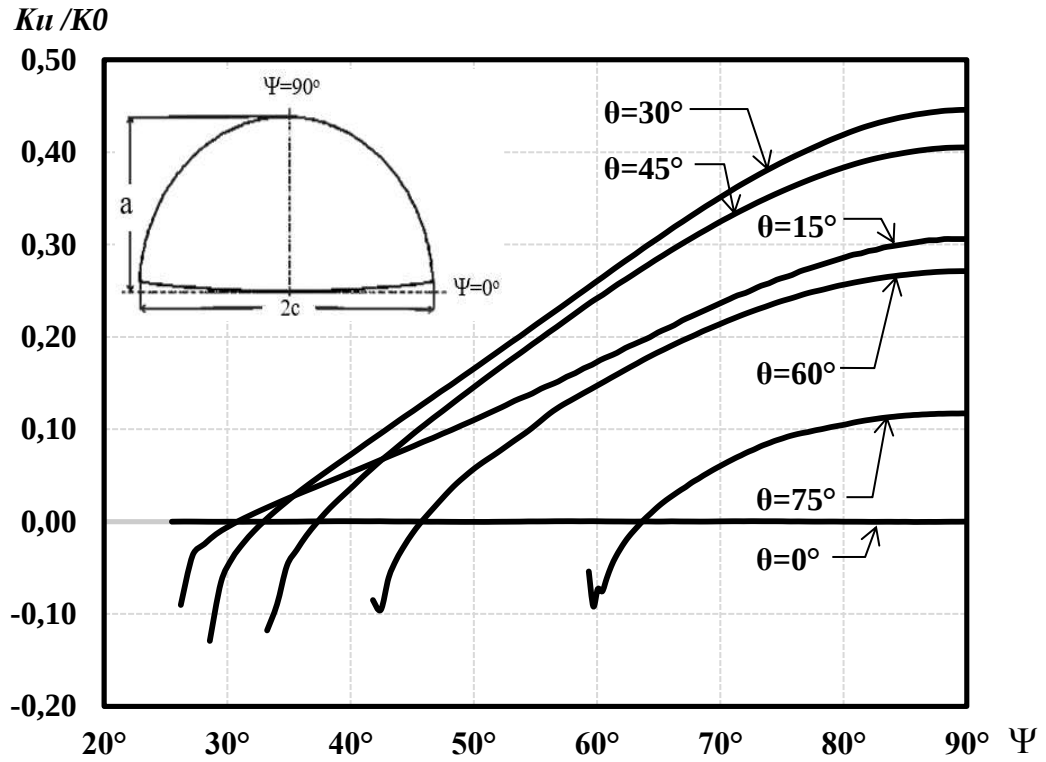
Şekil 3.146. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III}/K_0


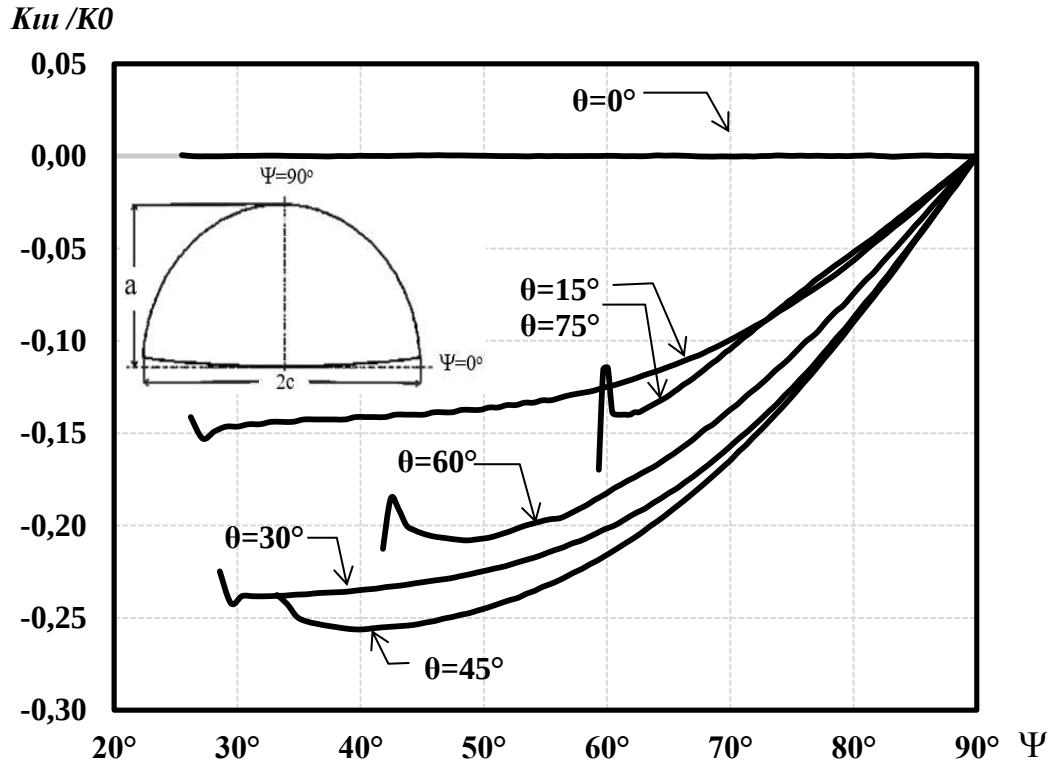
Şekil 3.147. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,50$, $a/c=0,25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I/K_0


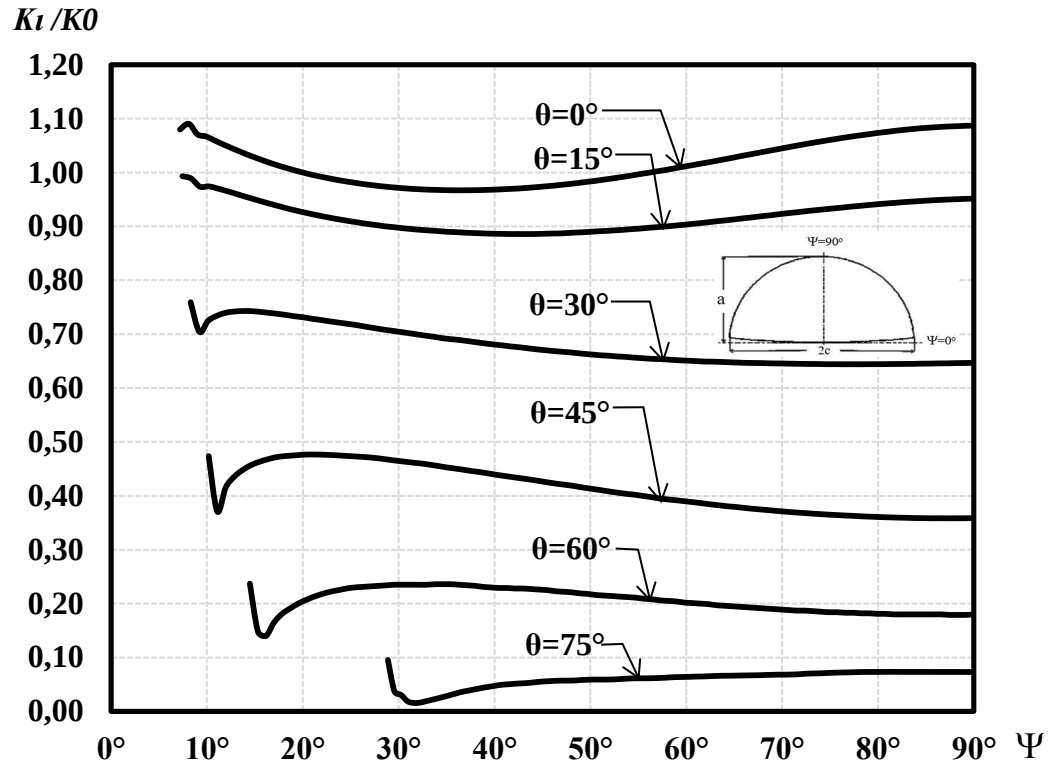
Şekil 3.148. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,50$, $a/c=0,50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



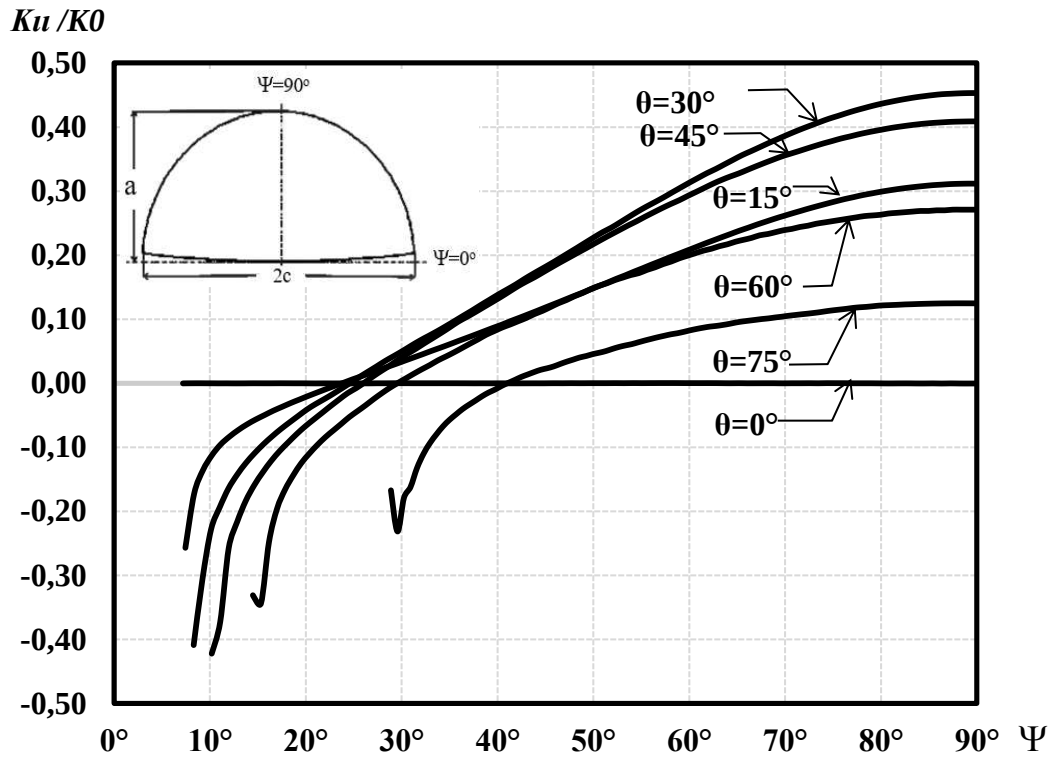
Şekil 3.149. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



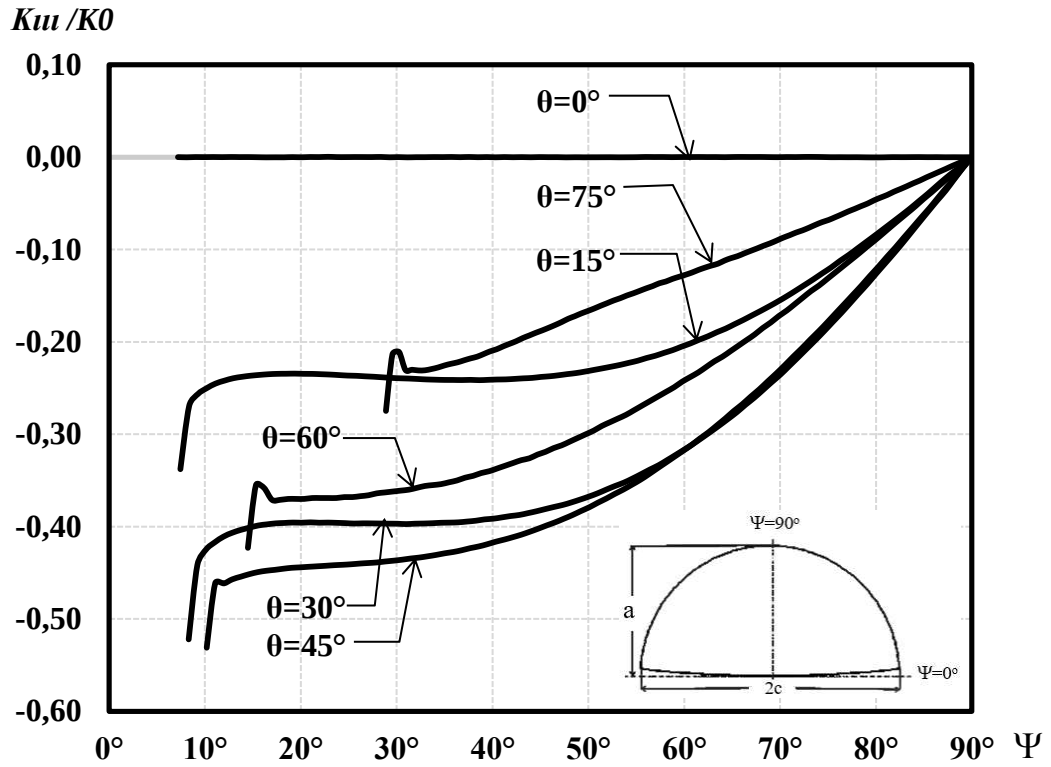
Şekil 3.150. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



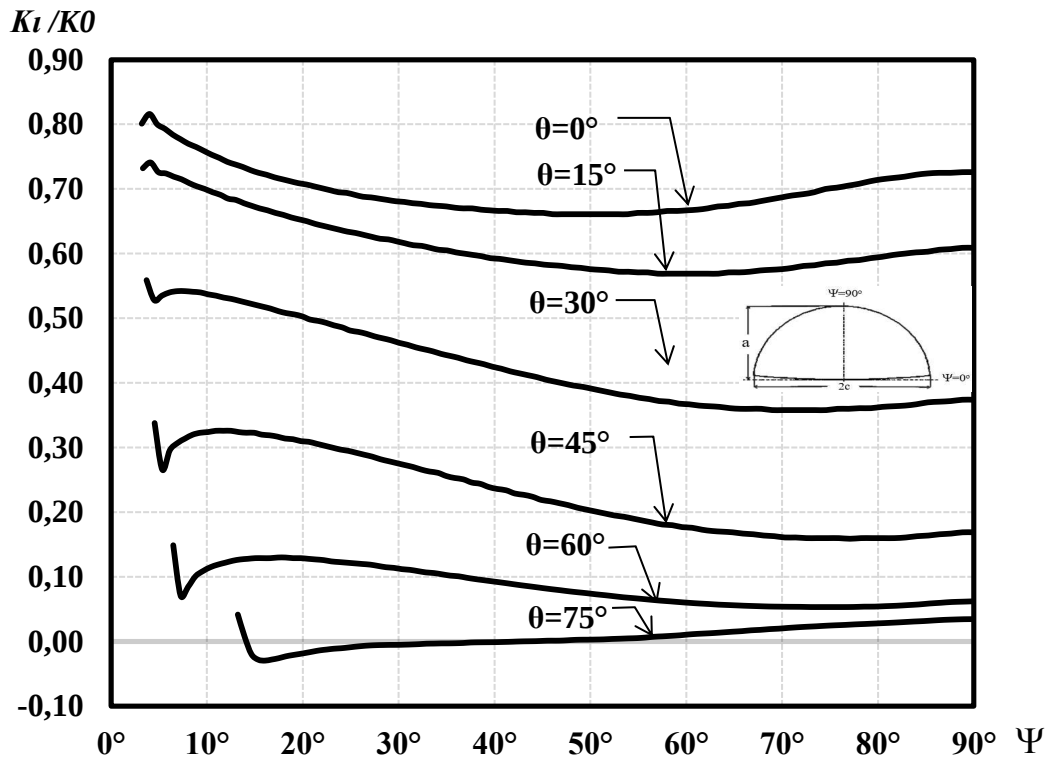
Şekil 3.151. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



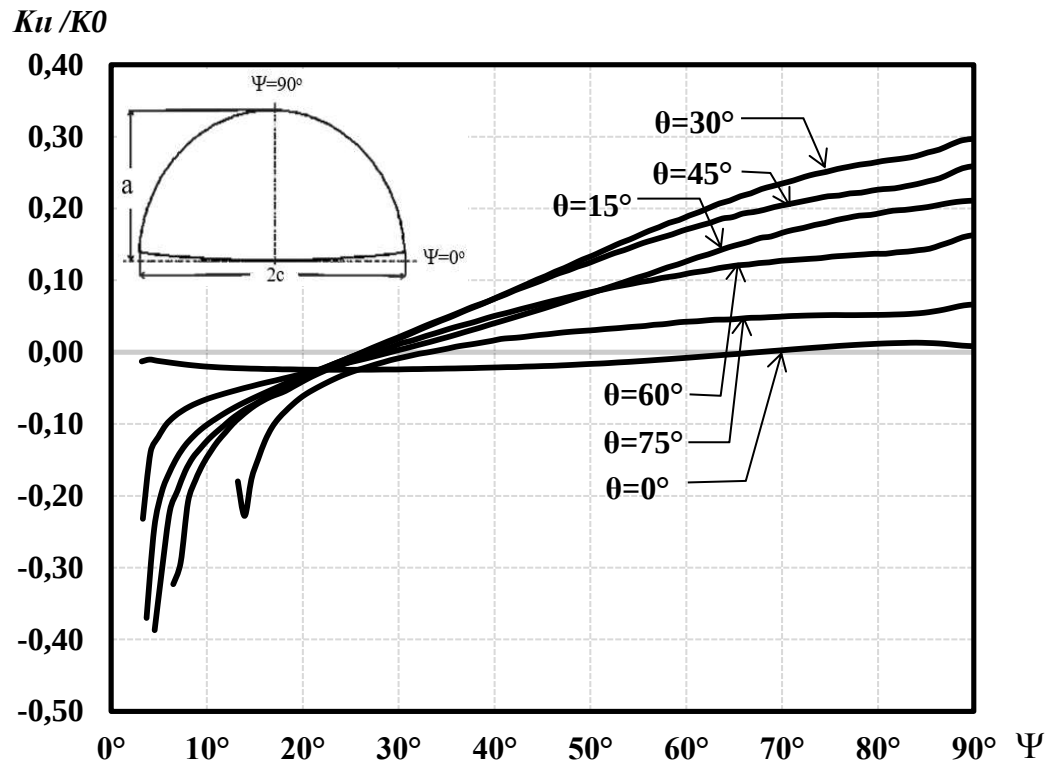
Şekil 3.152. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



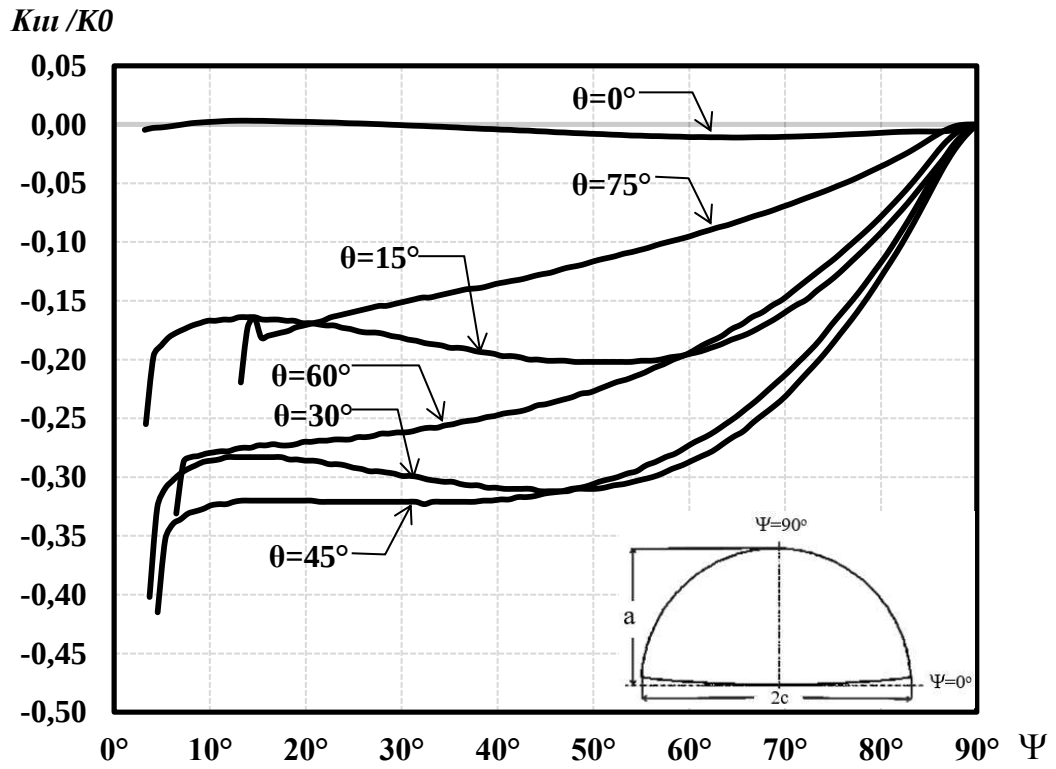
Şekil 3.153. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



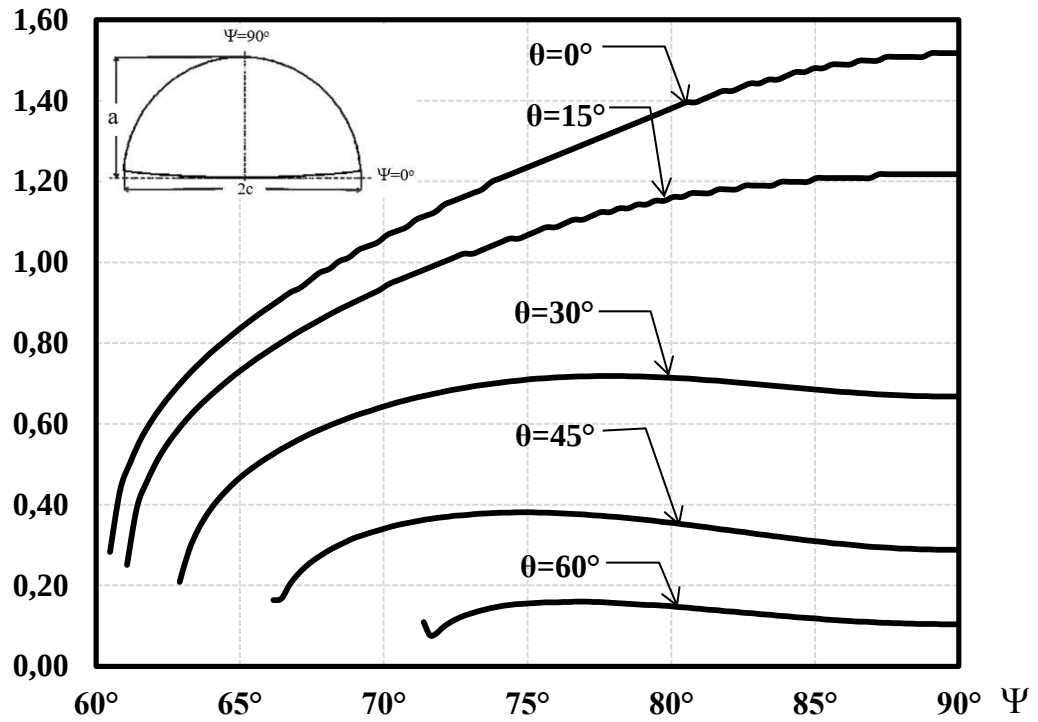
Şekil 3.154. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



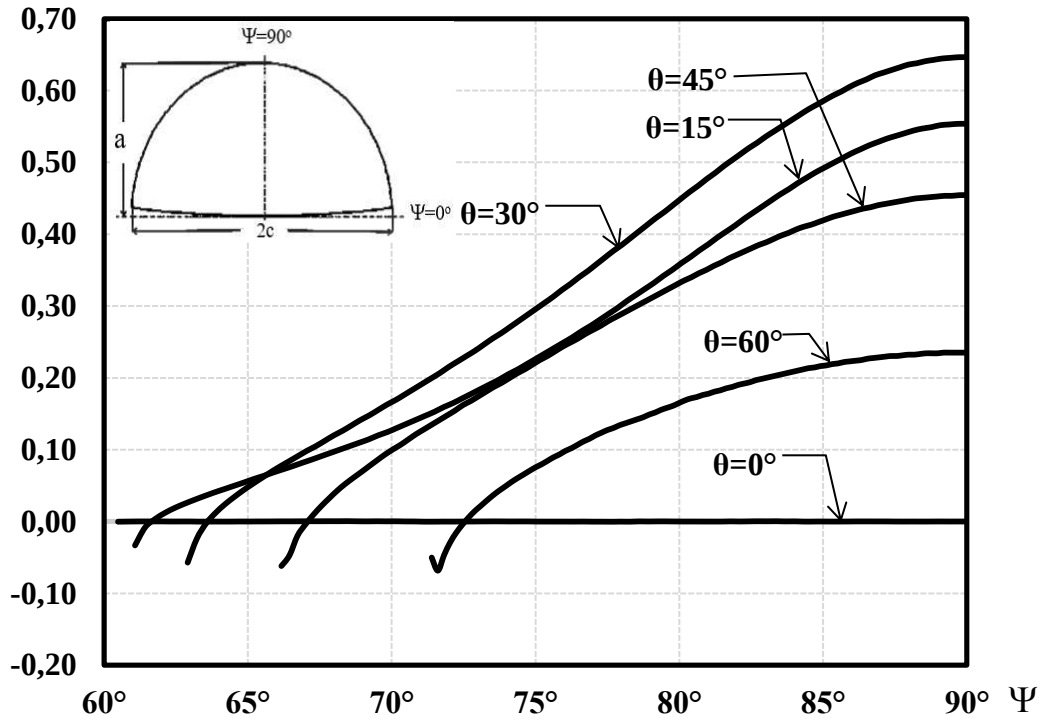
Şekil 3.155. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



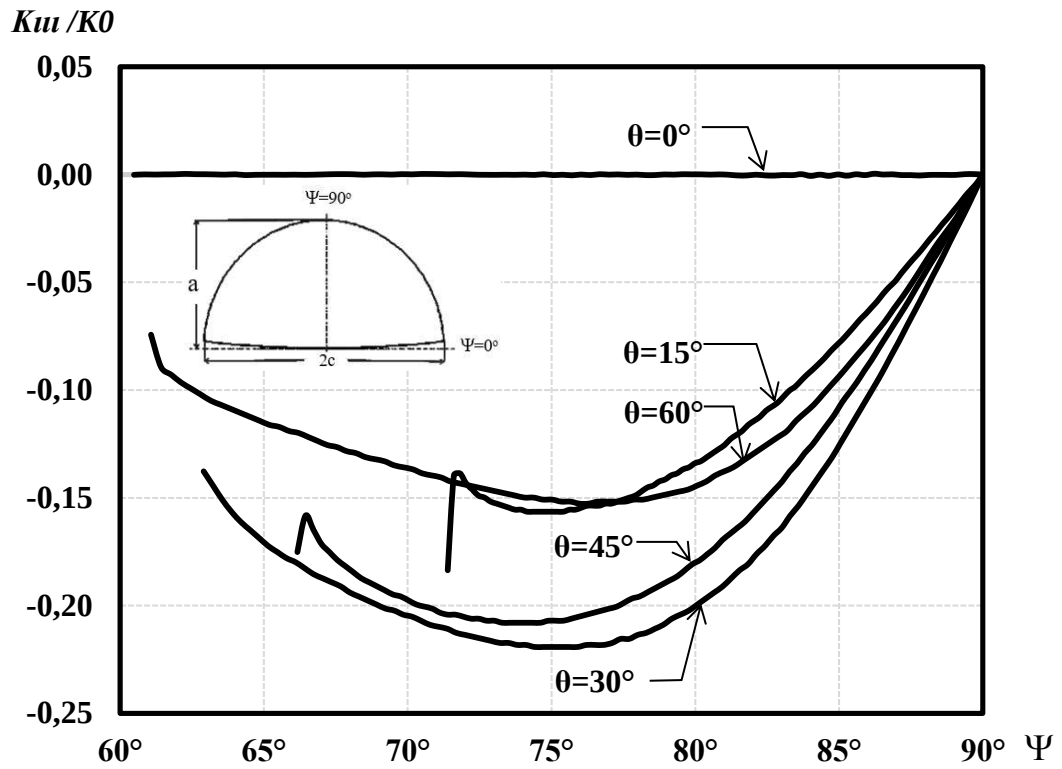
Şekil 3.156. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


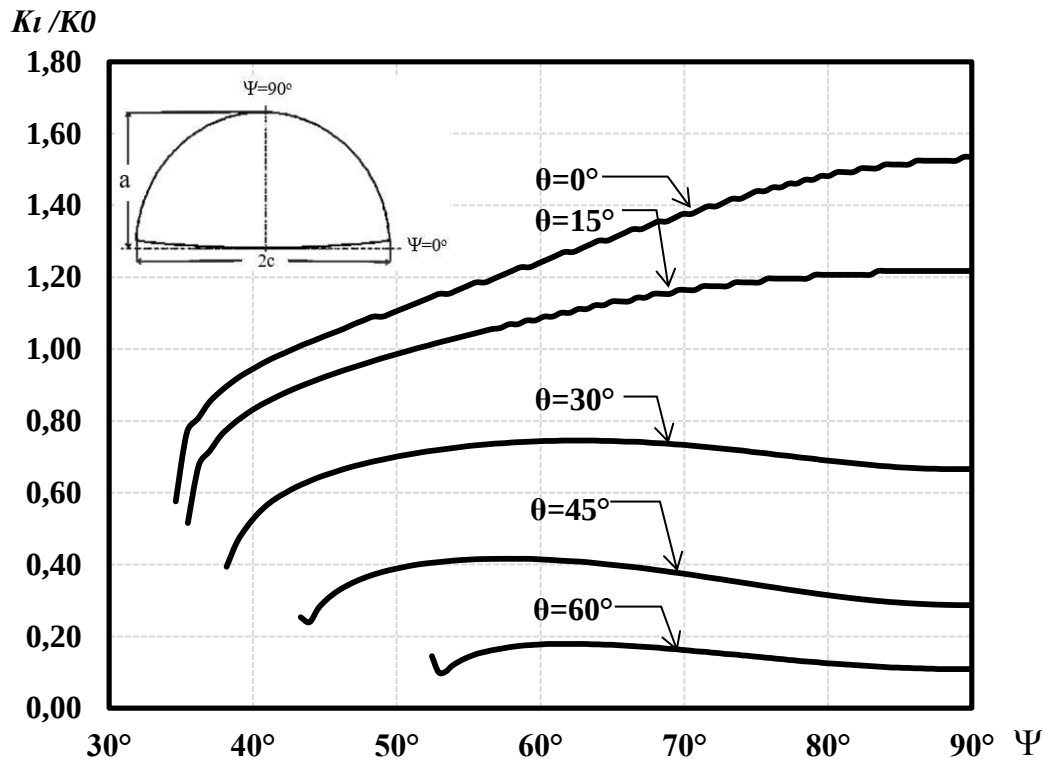
Şekil 3.157. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


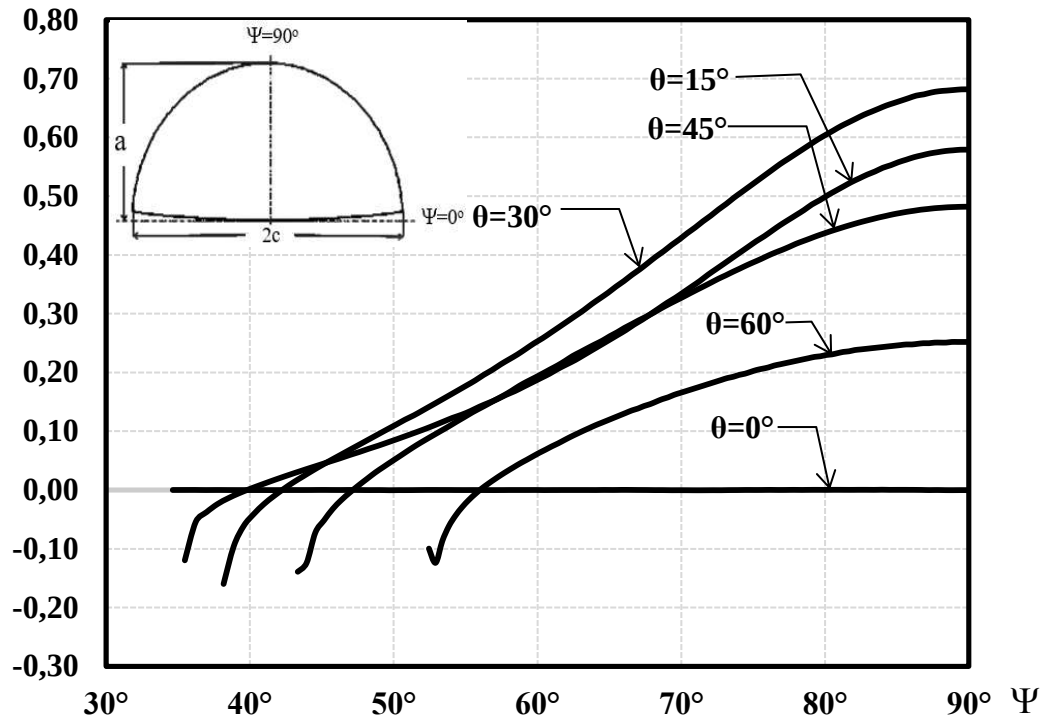
Şekil 3.158. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



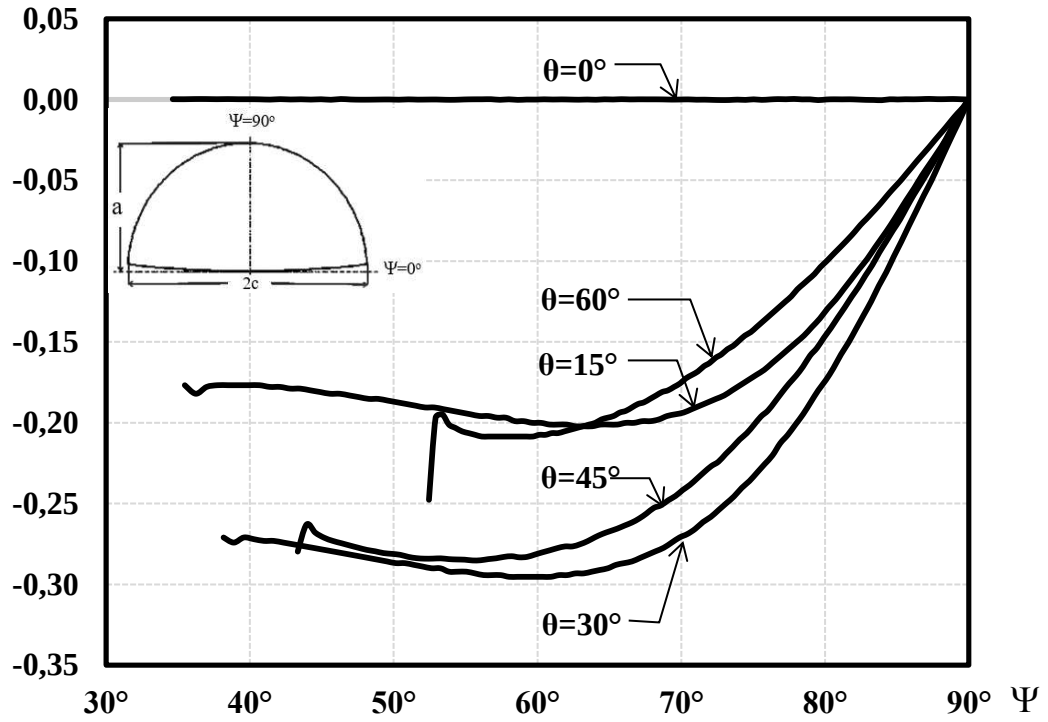
Şekil 3.159. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



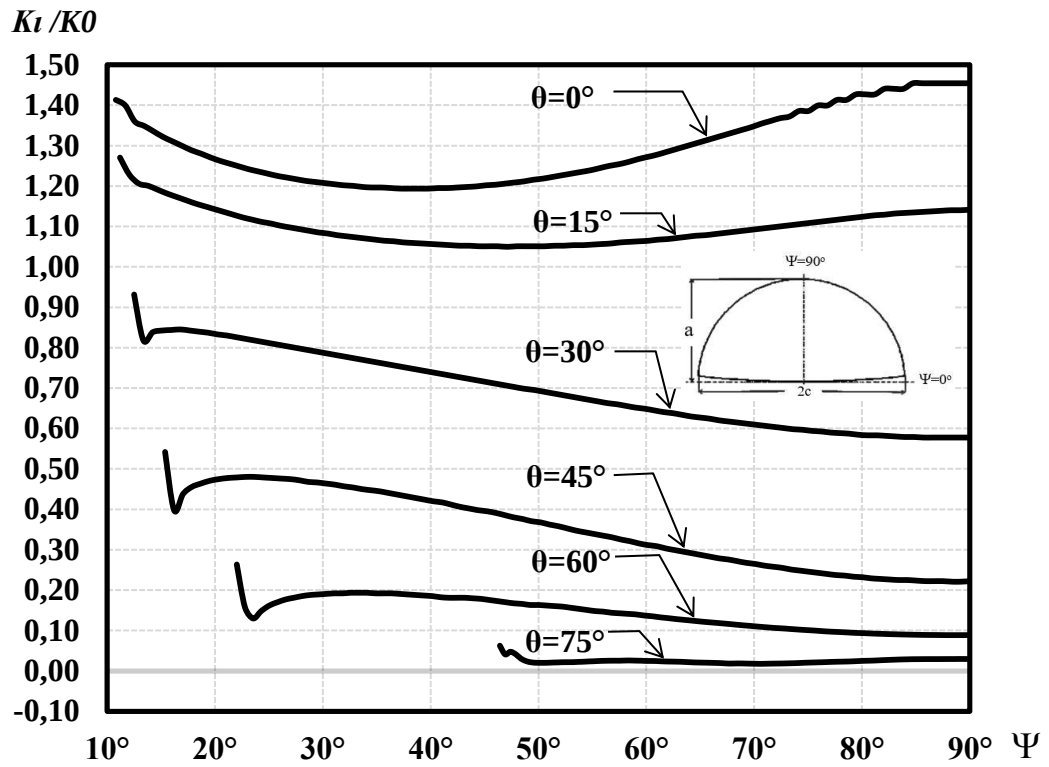
Şekil 3.160. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


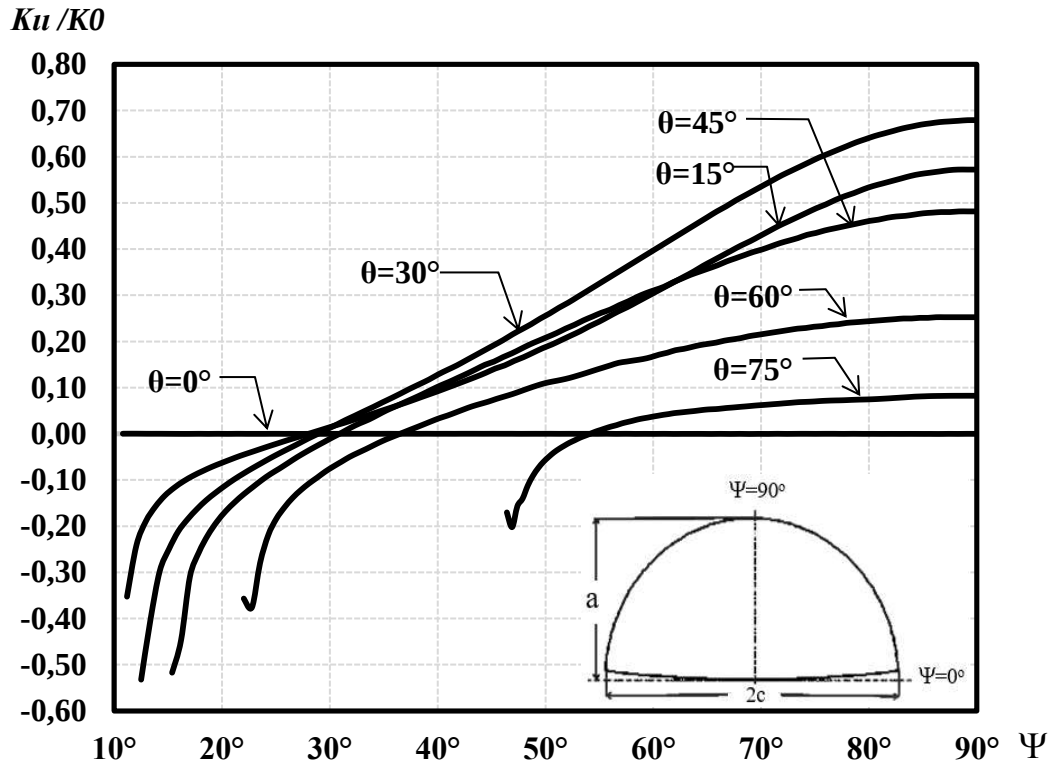
Şekil 3.161. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


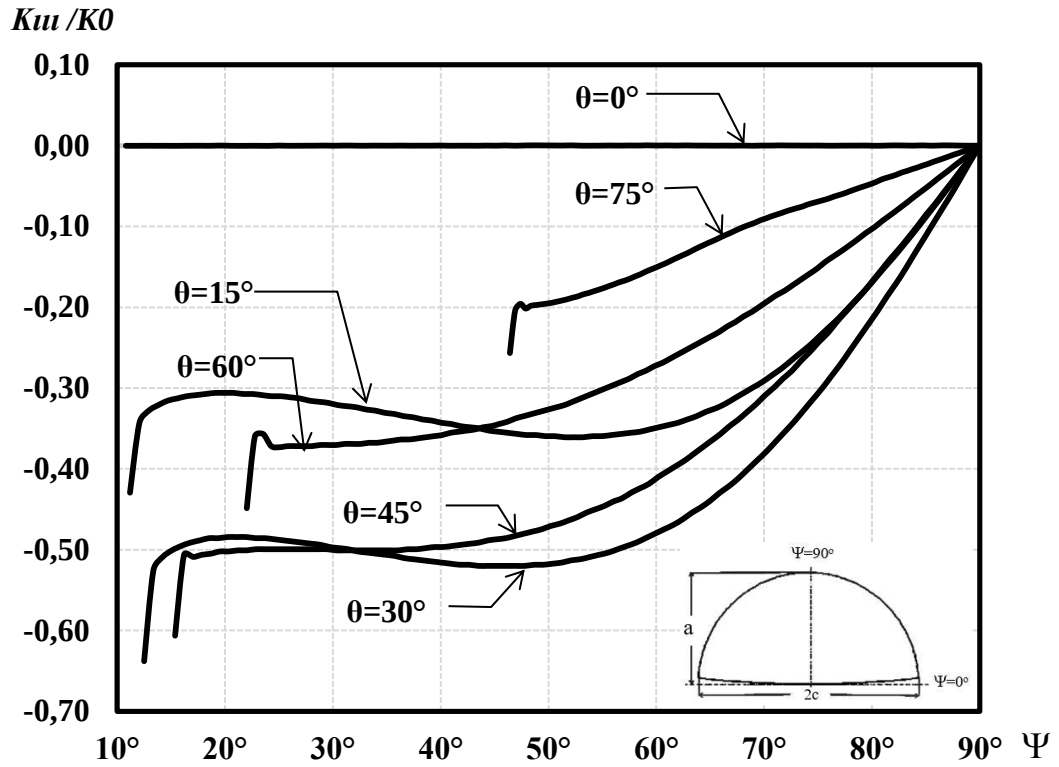
Şekil 3.162. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



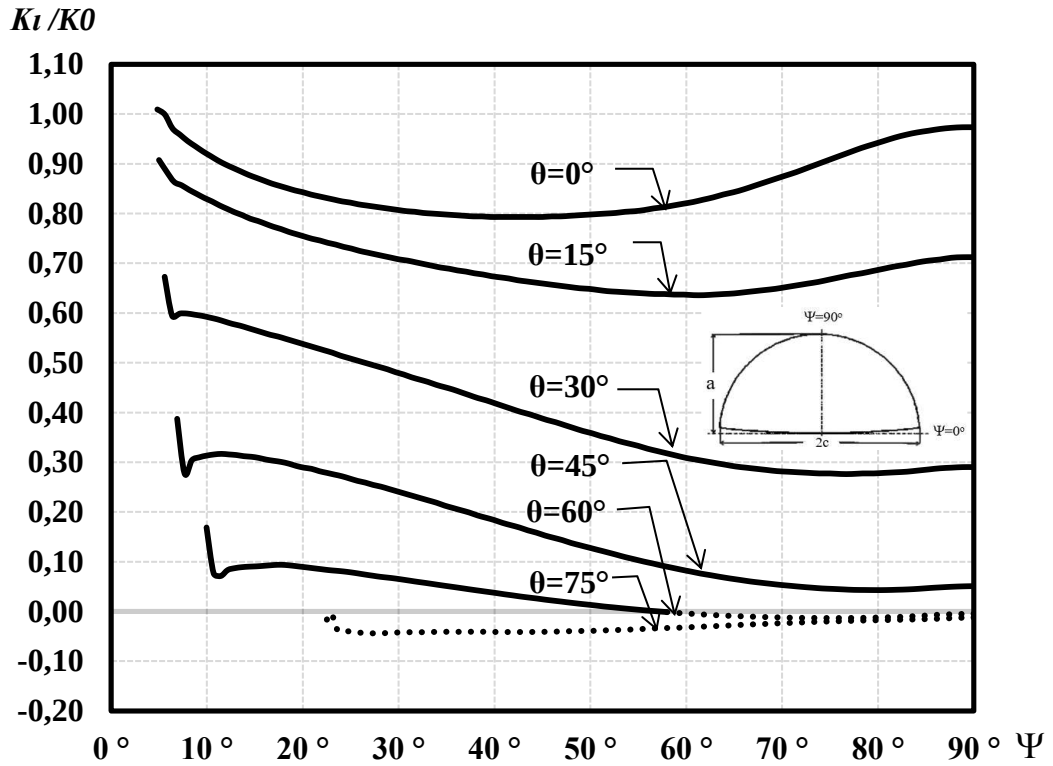
Şekil 3.163. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



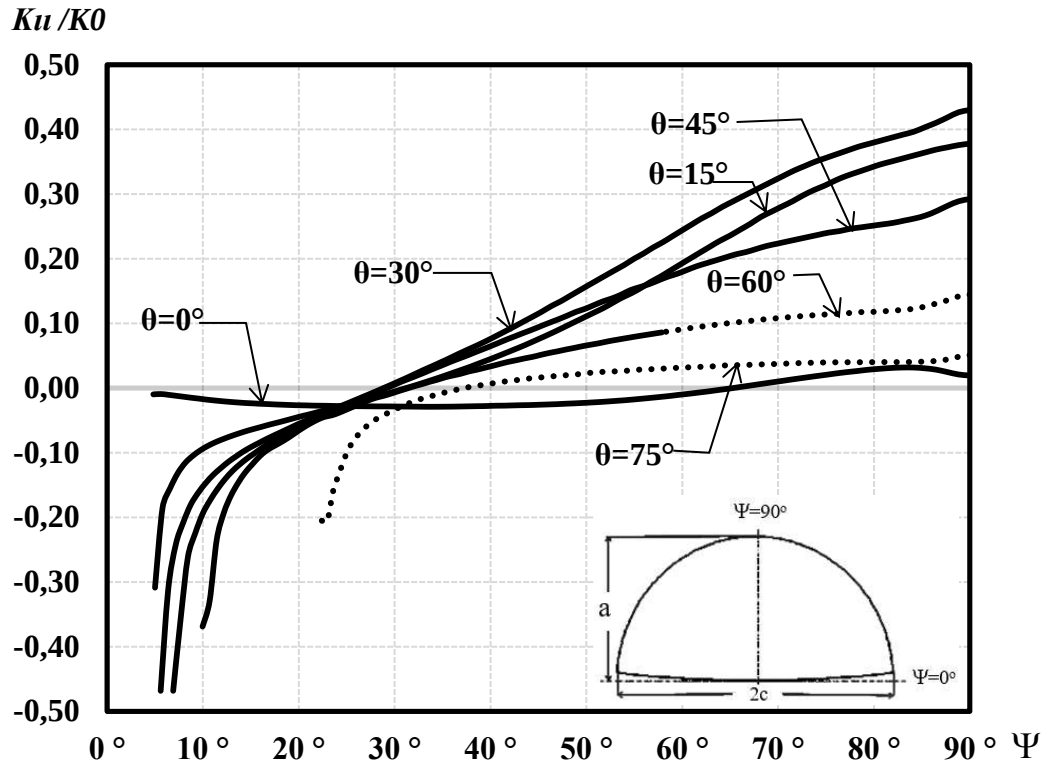
Şekil 3.164. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



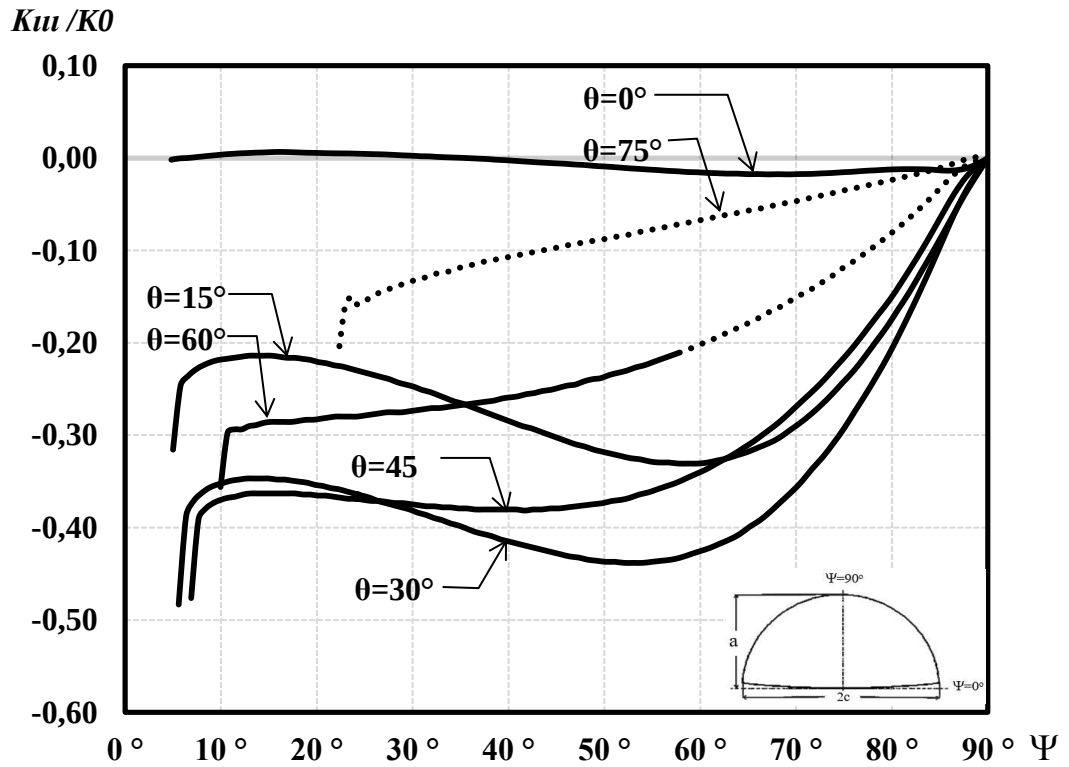
Şekil 3.165. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.166. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

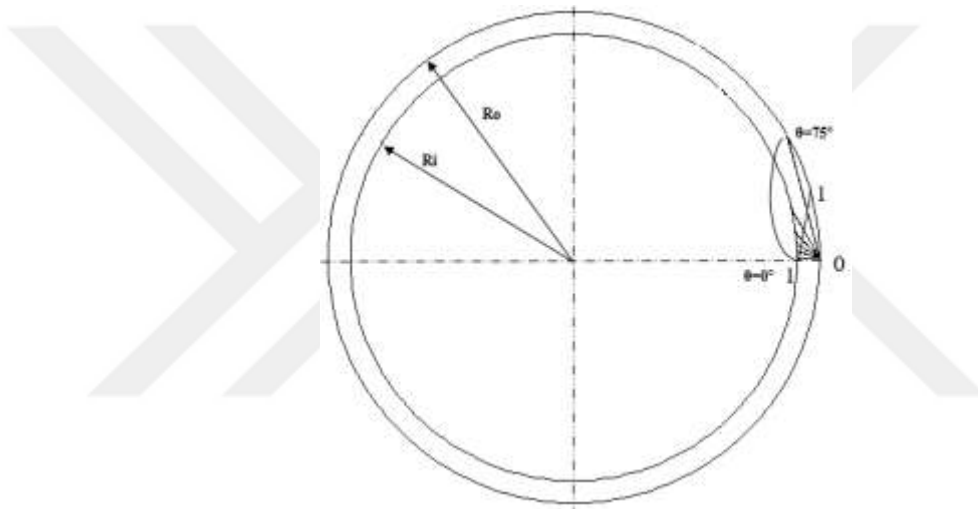


Şekil 3.167. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

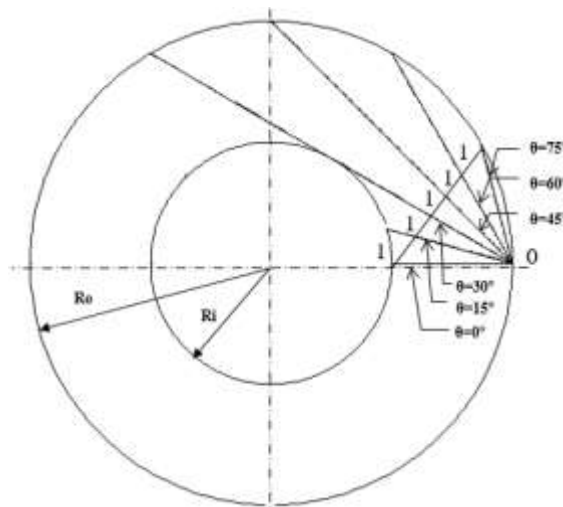


Şekil 3.168. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

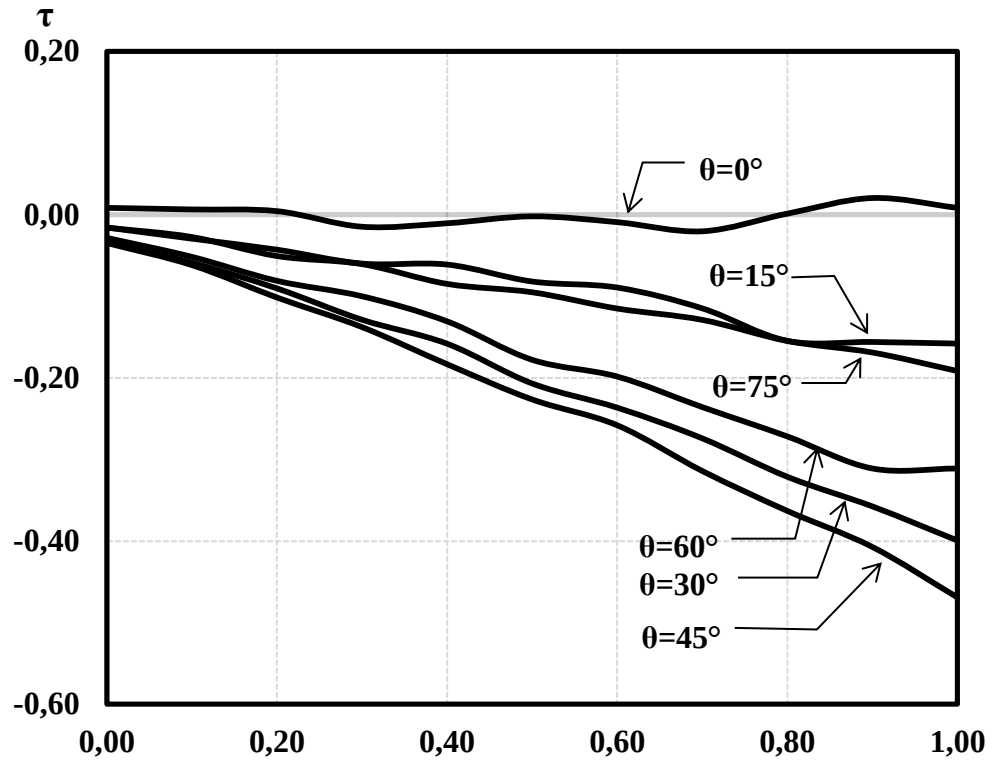
Dış yüzeyde çatlak olması durumunda Kayma Modundaki Gerilme-şiddet faktörlerinin dış çap/iç çap oranını 1.1 olduğu durumda en yüksek değeri aldığı açı 45 derece 'de görülmektedir. Bu oran 2.0 olduğunda ise en yüksek değer 30 derece olarak verilmiştir. Bu durumlar için kayma gerilmesi değerleri ise elde edilen sonuçları desteklemekte ve eğilimlerin hesaplanan mod-II gerilme-şiddet faktörü ile aynı olduğu görülmektedir. Şekil 3.169.'da $R_o/R_i=1.1$ için, Şekil 3.170.'de $R_o/R_i=2.00$ ye ait küresel kap geometrileri ve gerilme-şiddet faktörü ile kayma gerilmesi eğilimlerinin karşılaştırıldığı yüzeyler, Şekil 3.171.'de $R_o/R_i=1.1$ için, Şekil 3.172.'de $R_o/R_i=2.00$ elde edilen kayma gerilmesi sonuçları verilmektedir.



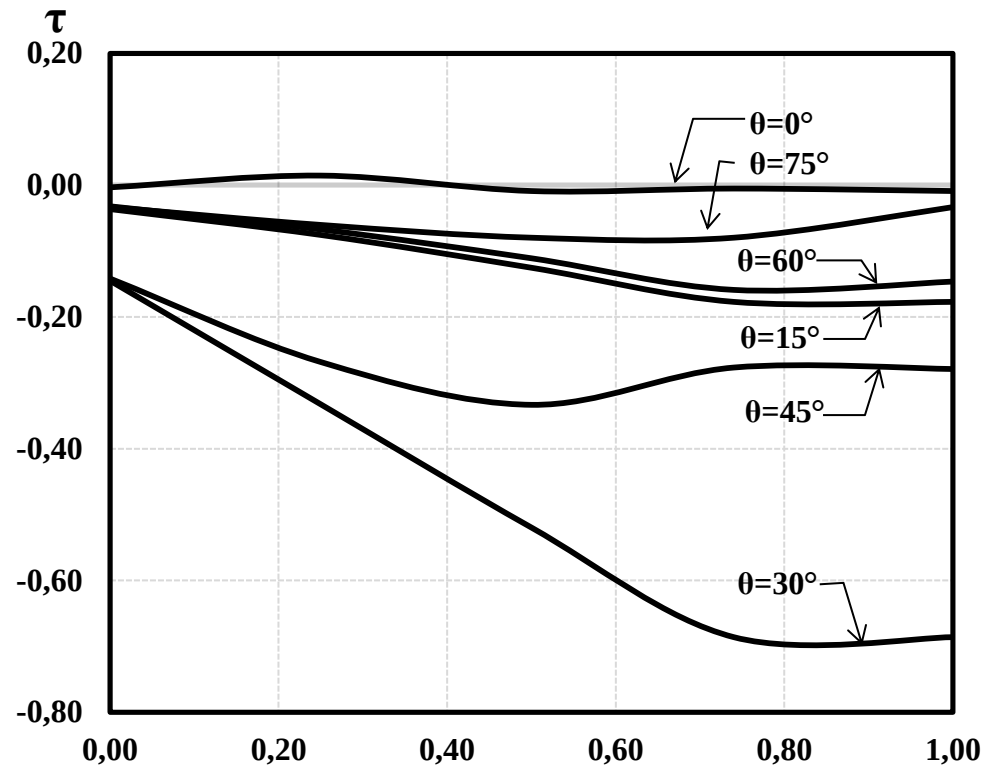
Şekil 3.169. $R_o/R_i=1.1$ için küresel kap geometrisi ve kayma gerilmesi ile mod-II gerilme-şiddet faktörü eğilimlerinin karşılaştırıldığı yüzeyler.



Şekil 3.170. $R_o/R_i=2.0$ için küresel kap geometrisi ve kayma gerilmesi ile mod-II gerilme-şiddet faktörü eğilimlerinin karşılaştırıldığı yüzeyler.



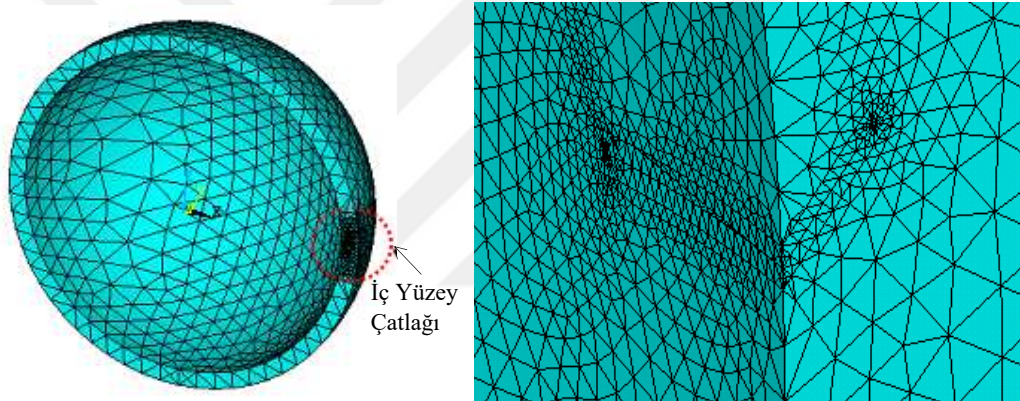
Şekil 3.171. $R_o/R_i=1.1$ için küresel yapının dış yüzeyinden iç yüzeyine kayma gerilmesi değerleri.



Şekil 3.172. $R_o/R_i=2.0$ için küresel yapının dış yüzeyinden iç yüzeyine kayma gerilmesi değerleri.

3.6. İç Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.10$ Durumu)

Dış yüzeyde çatlak olduğu tüm durumlarda da olduğu gibi bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlakın yatay eksenle yaptığı açılar 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° olarak alınmıştır. İç yüzeyde çatlak olması durumu çatlak önü konumsal açı aralığının 180 derecenin üstüne çıkması demektir. Bu kısımda çatlak modeli çatlak ucunda iki ayrı çizgi tanımlama ve bu çizgileri eşit aralıklarla bölüntüleme gibi bir gereksinimle karşılaşmamıza sebep olmuştur. Bu nedenle iç yüzeyde çatlak olması durumu için bölüntüleme işleminde daha fazla eleman kullanımına ihtiyaç vardır. Her bir analiz için yaklaşık olarak 65000 eleman ve 105000 node kullanılmıştır.

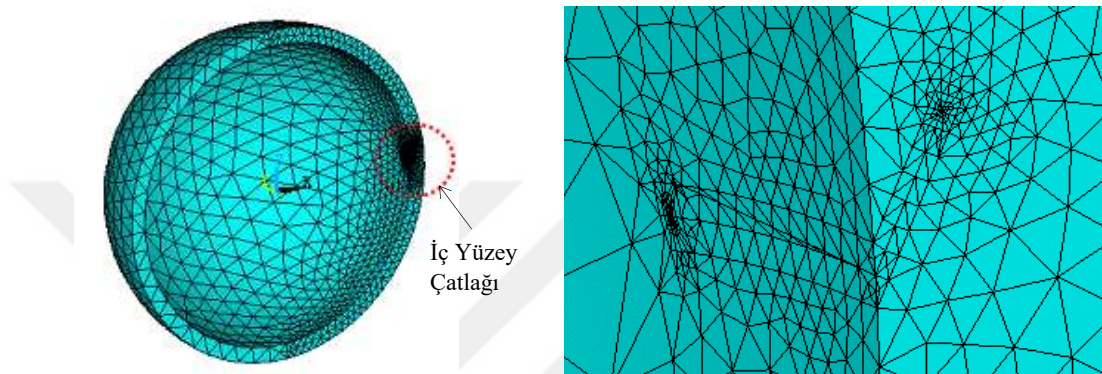


Şekil 3.173. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.

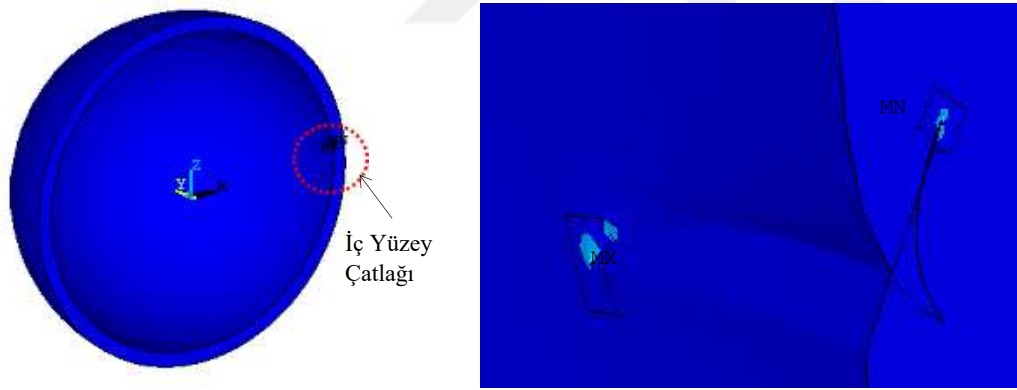
Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı yani et kalınlığını sabit olduğu durumda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranı arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörünün de artmasını gerektirecektir. Elde edilen grafikler yorumlandığında açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlakın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı görülmüştür. Diğer parametreleri sabit tuttuğumuzda çatlakın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlakın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu

oranının (a/c) oranının arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0° olması durumunda normalize edilmiş mod-II ve mod-III gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir ifade ile, bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda da görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III yönlerinde gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Kayma modu (mod-II) için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin en yüksek değeri negatif bölgede 75 aldığı görülmüştür. Kayma modu (Mod-II) için çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) sabit olduğu durumlarda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede artmaktadır. Yırtılma modu (mod-III) için ise çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) sabit olduğu durumlarda normalize edilmiş gerilme şiddet faktörünün en yüksek değeri 75 aldığı görülmüştür. İç yüzeyde çatlak olması durumu dış yüzeyde çatlak olması durumuna göre daha güvenli bir durumdur. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açı 60 derece ve üstü duruma geldiğinde bu kısım için açılma modunda (Mod-I) normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede görülmektedir. Bu duruma ait normalize edilmiş gerilme-şideet faktörleri kesikli çizgi ile gösterilmiştir (Şekil 3.179.). Fiziksel bir sonuç olarak kabul edemeyeceğimiz bu durum çatlağın mevcut yükleme koşullarında açılmadığı anlamına gelir. Bu duruma ait bir durumun sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları şekil 3.175’de verilmiştir. Normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri dış yüzeyle kıyaslandığında iç yüzeyde bir miktar artma olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.191. incelenecek olursa $R_o/R_i=1.1$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.192’de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değer negatif bölgede 75 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve açı arttıkça normalize edilmiş mod-II gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede arttığı görülecektir. Şekil 3.193. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize

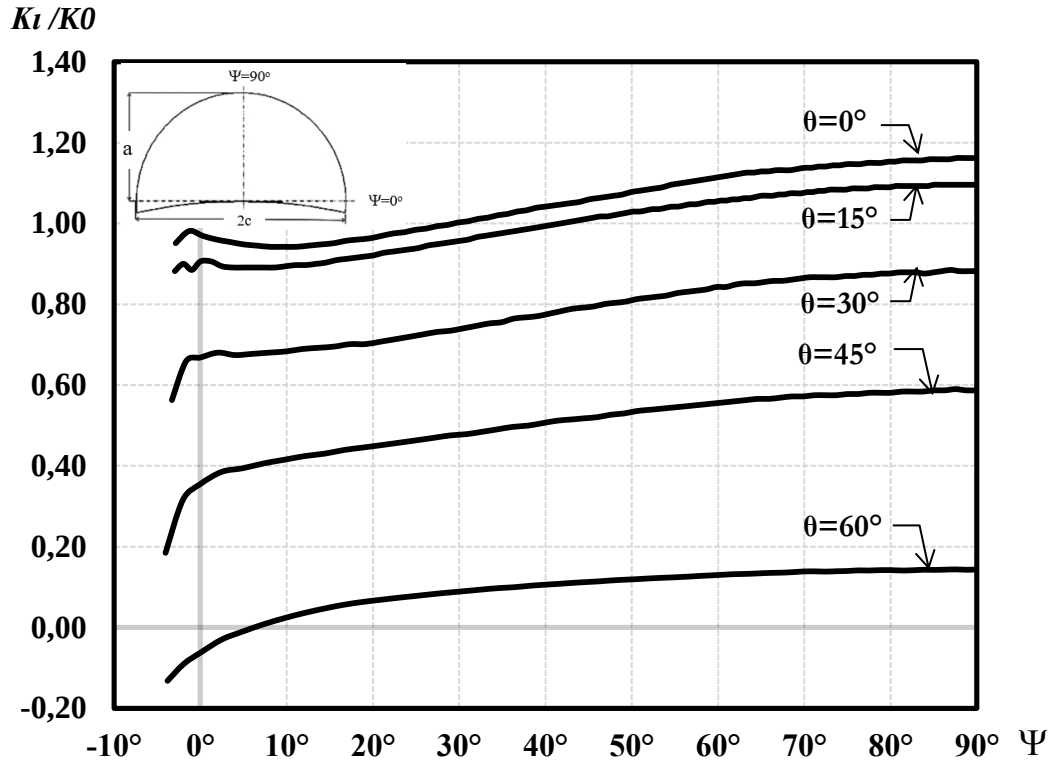
edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.176.-3.208.)’de verilmektedir. Grafikte başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



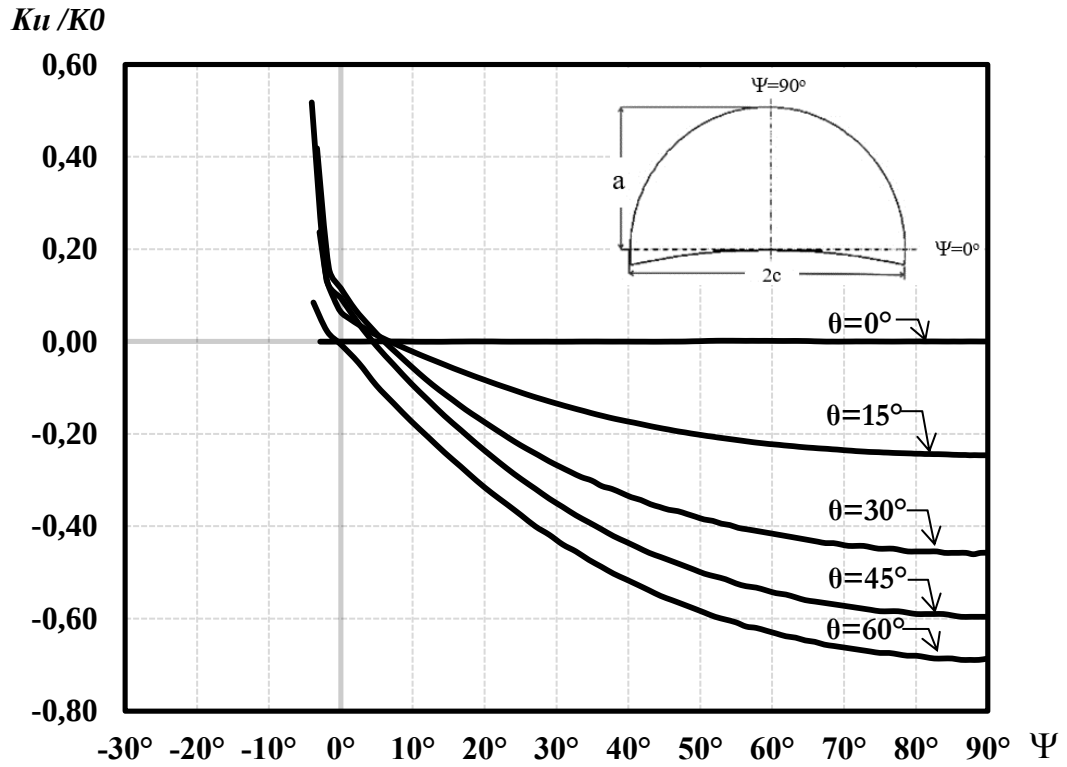
Şekil 3.174. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.



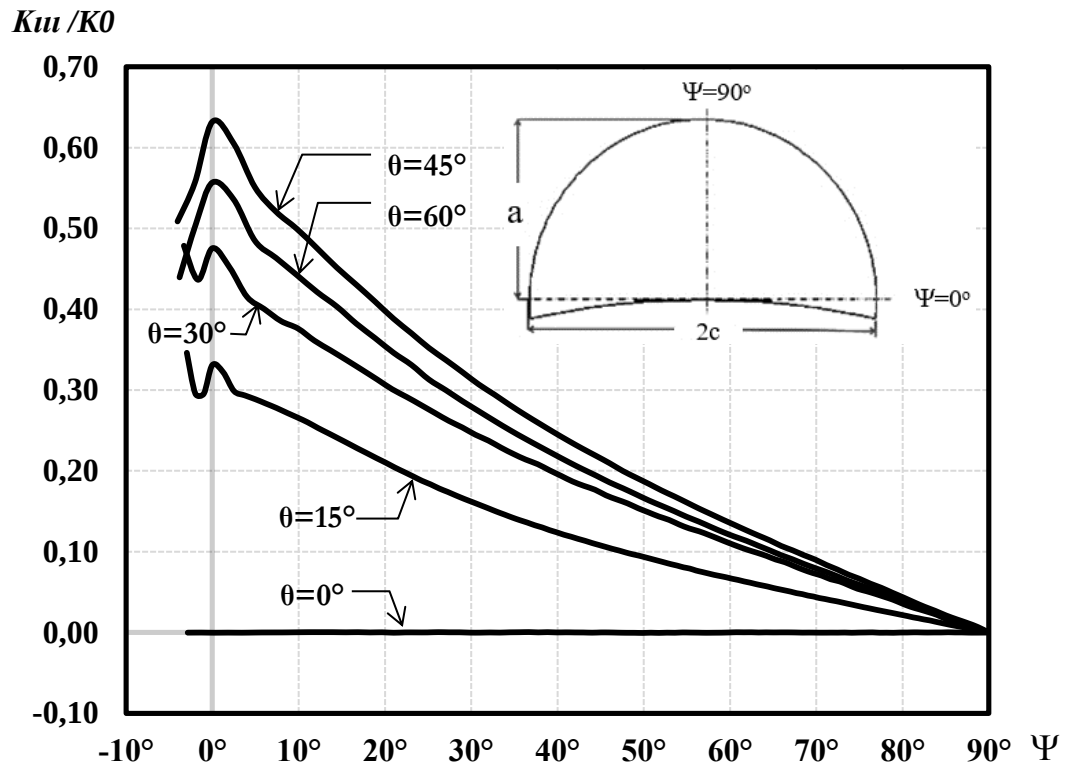
Şekil 3.175. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları.



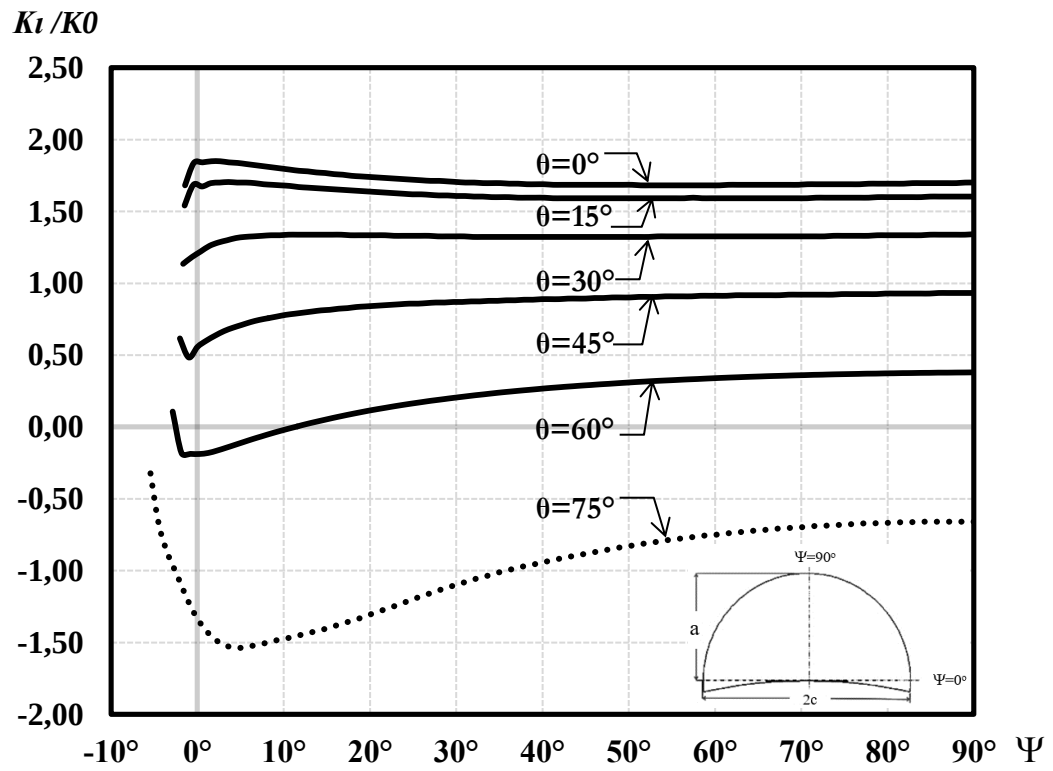
Şekil 3.176. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



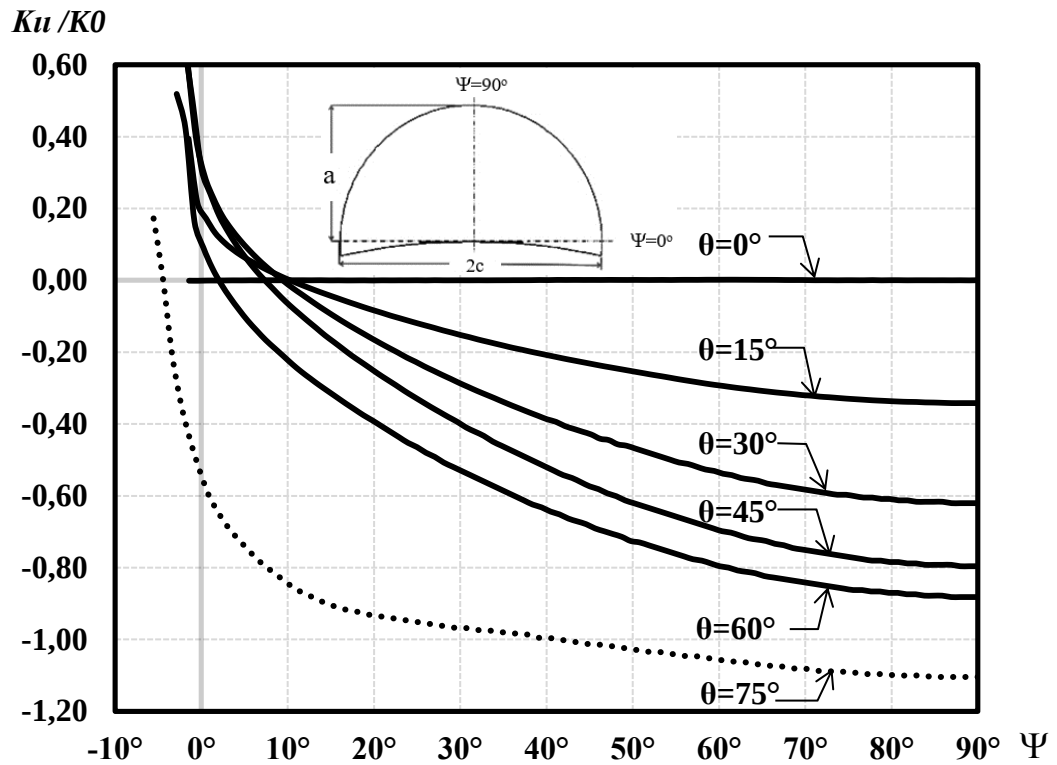
Şekil 3.177. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



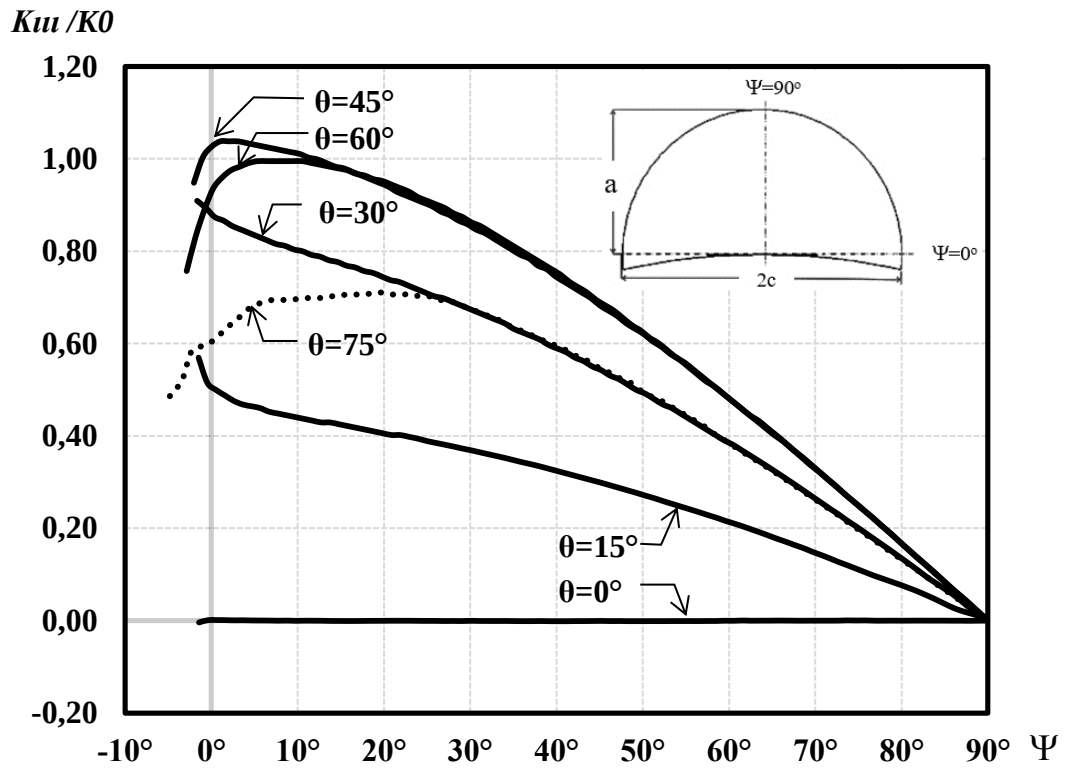
Şekil 3.178. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



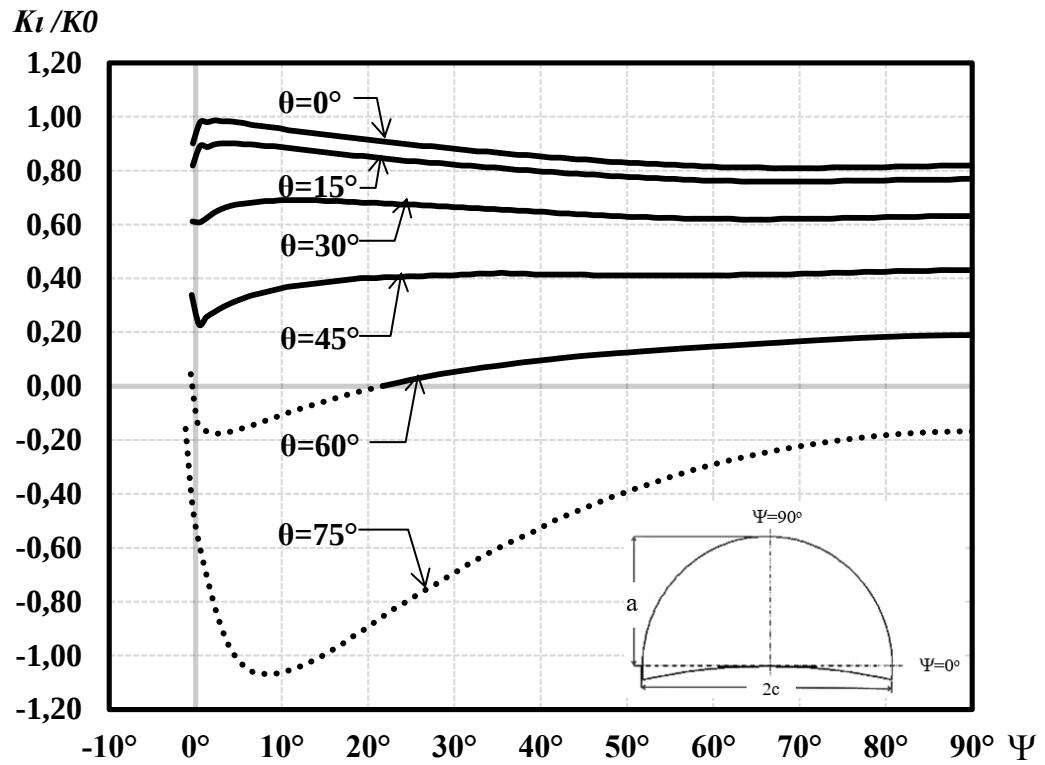
Şekil 3.179. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



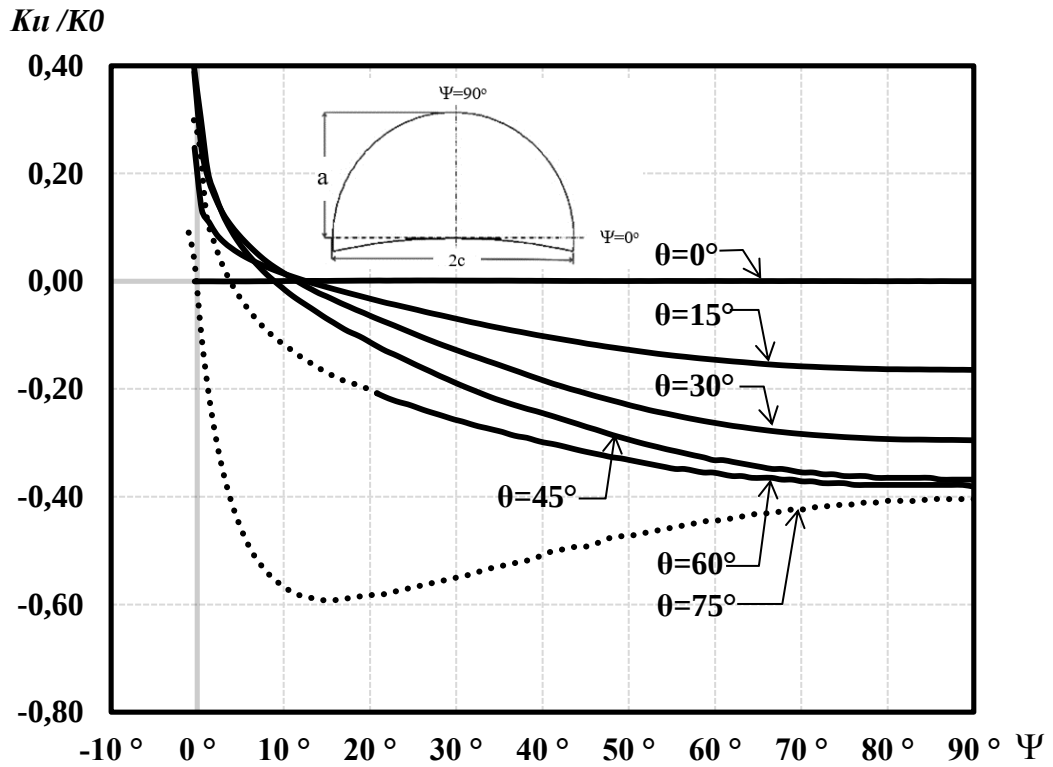
Şekil 3.180. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



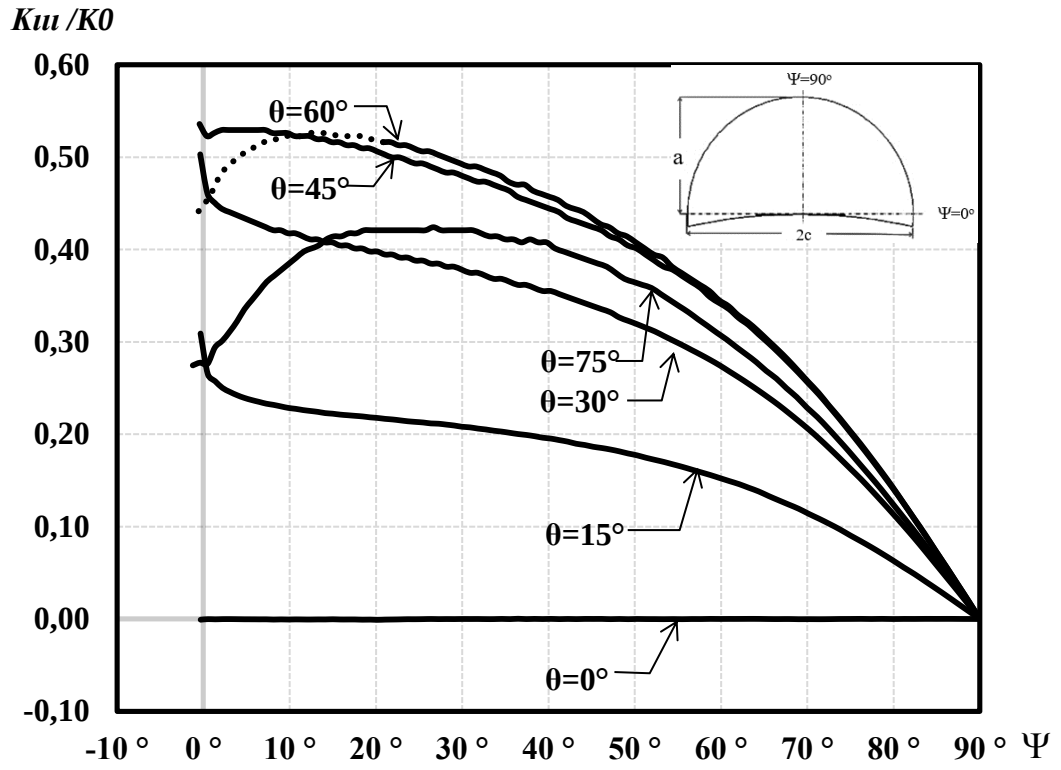
Şekil 3.181. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



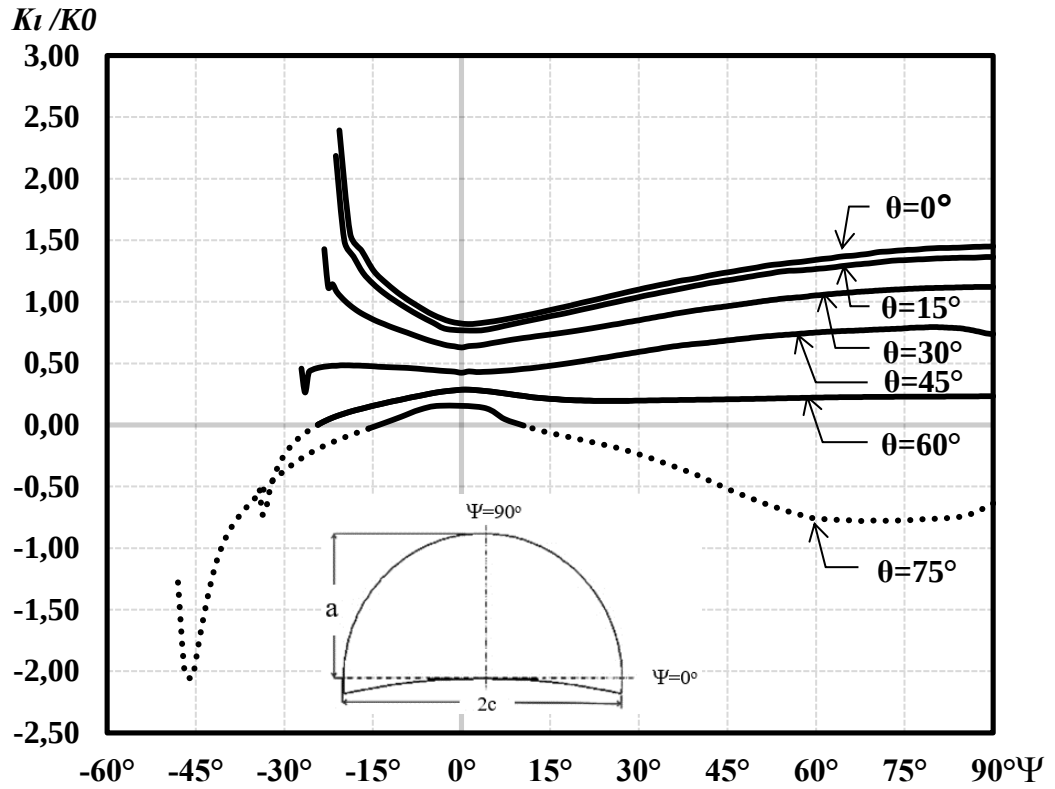
Şekil 3.182. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



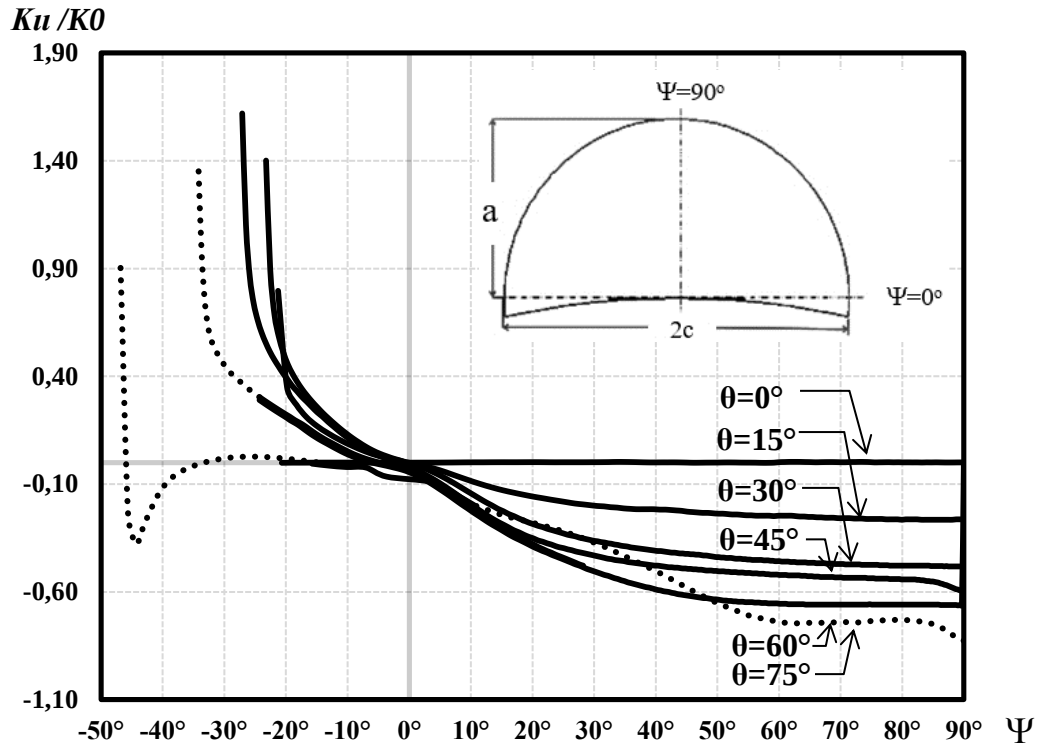
Şekil 3.183. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



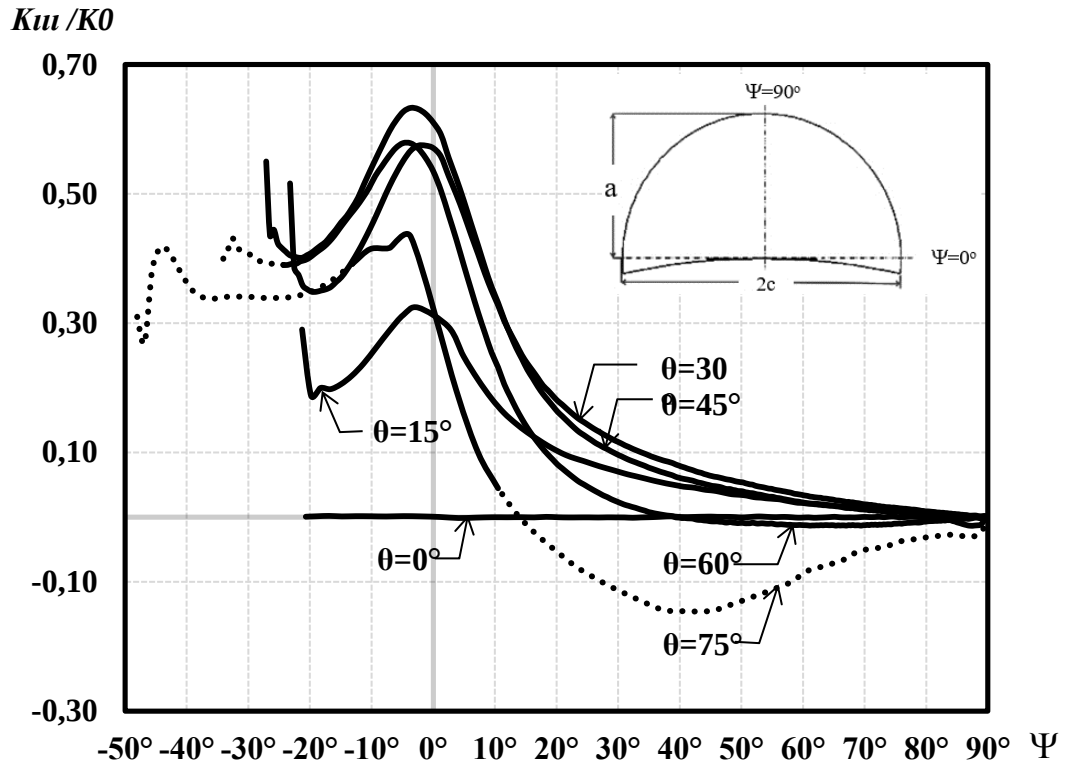
Şekil 3.184. $R_o/R_i=1,10$, $a/t=0,25$, $a/c=1,50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



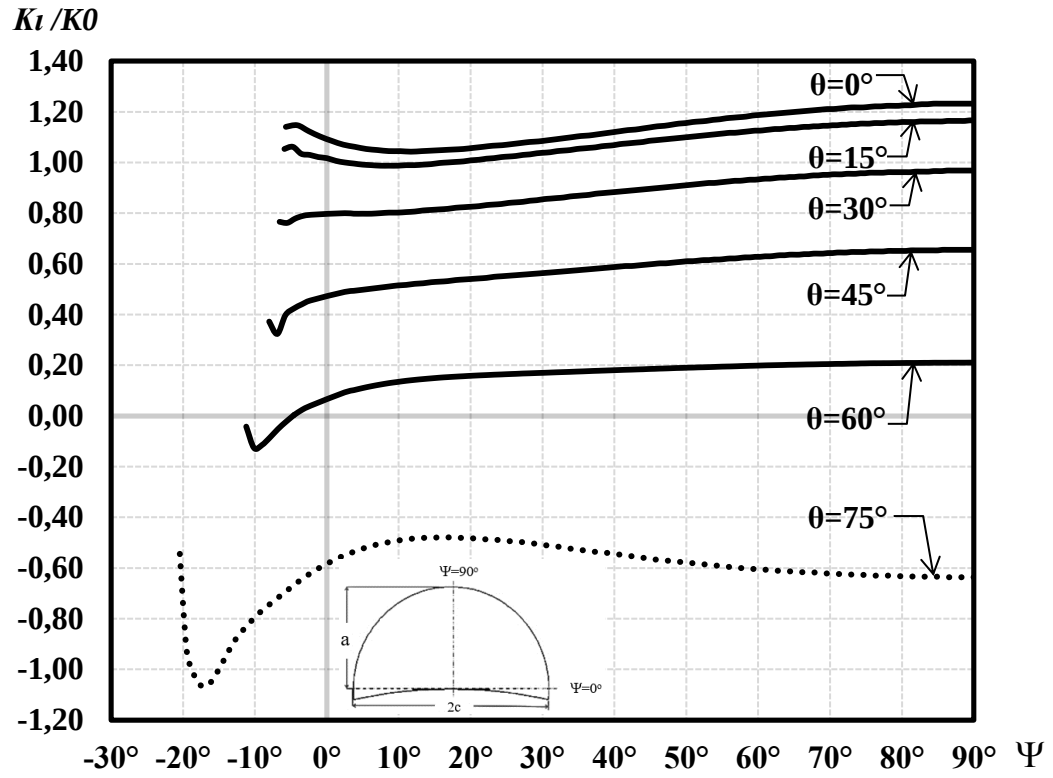
Şekil 3.185. $R_o/R_i=1,10$, $a/t=0,50$, $a/c=0,25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



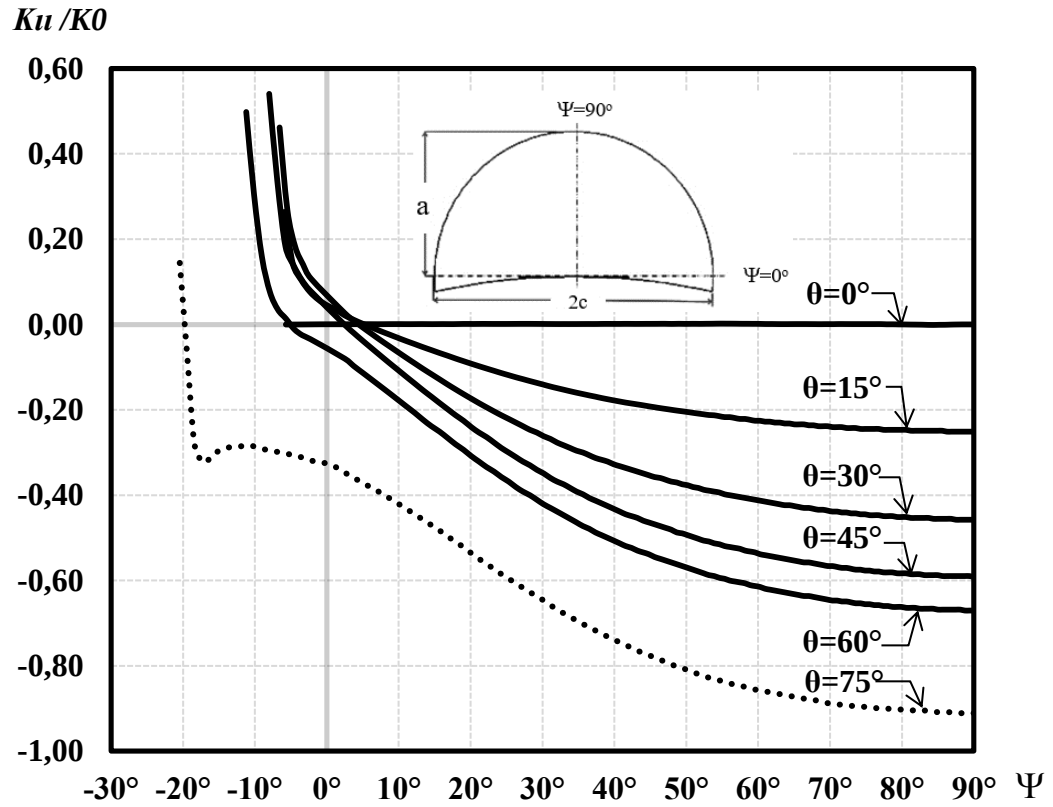
Şekil 3.186. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



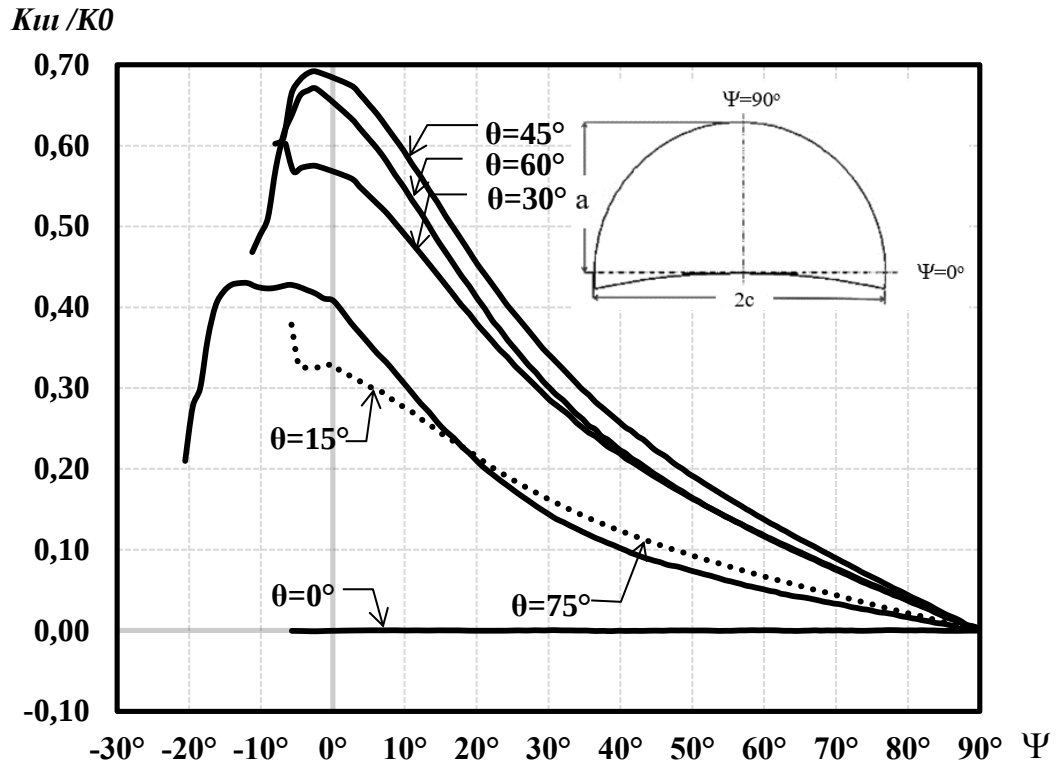
Şekil 3.187. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



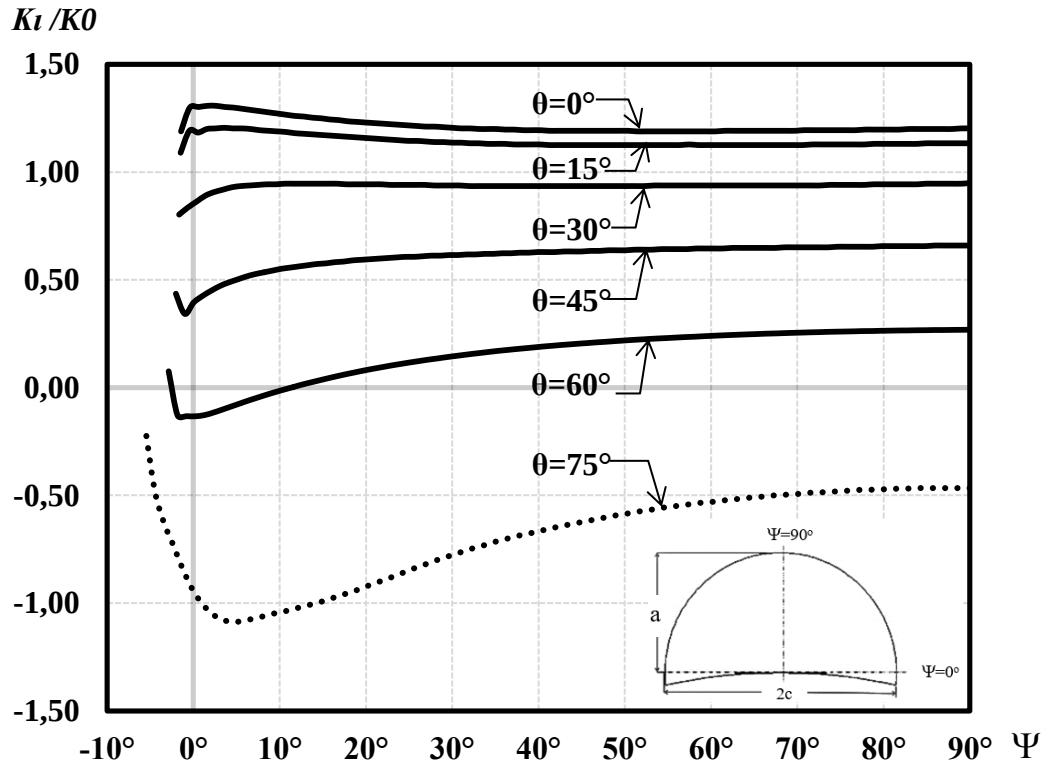
Şekil 3.188. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



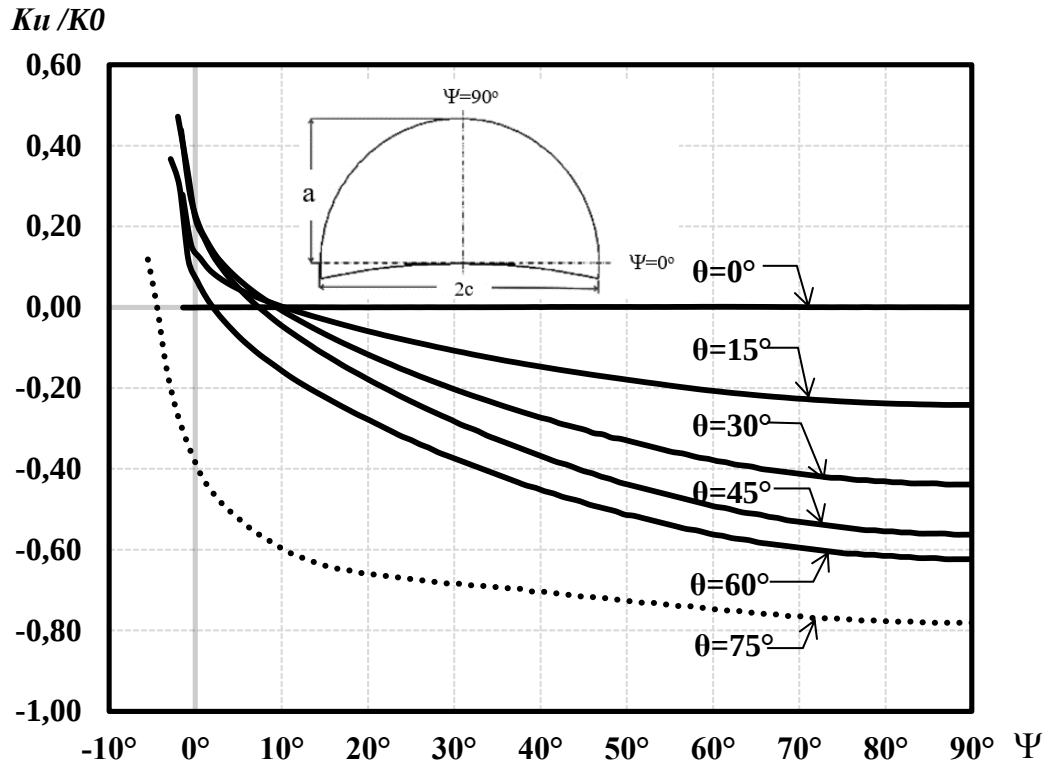
Şekil 3.189. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



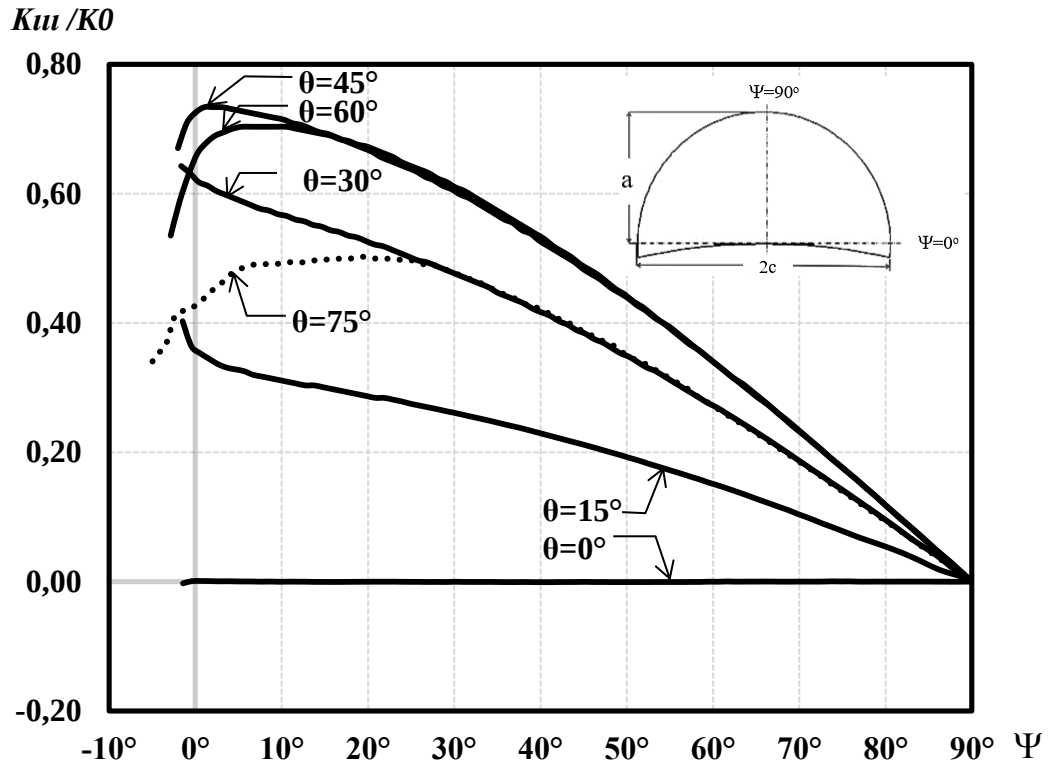
Şekil 3.190. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



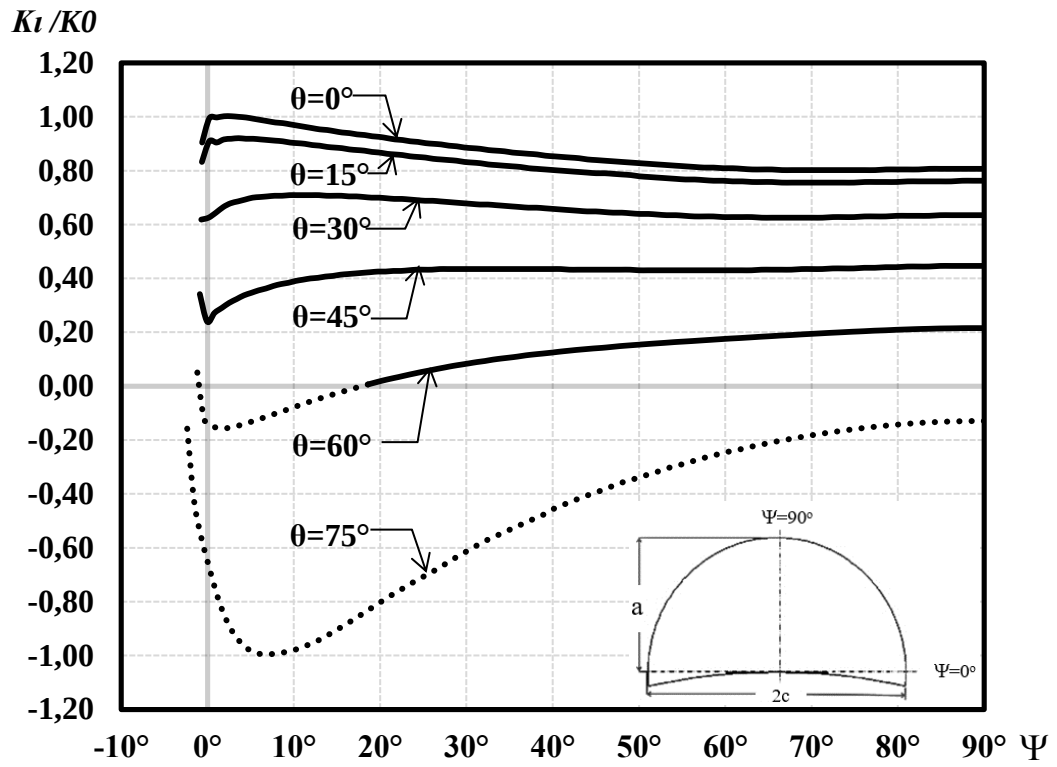
Şekil 3.191. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



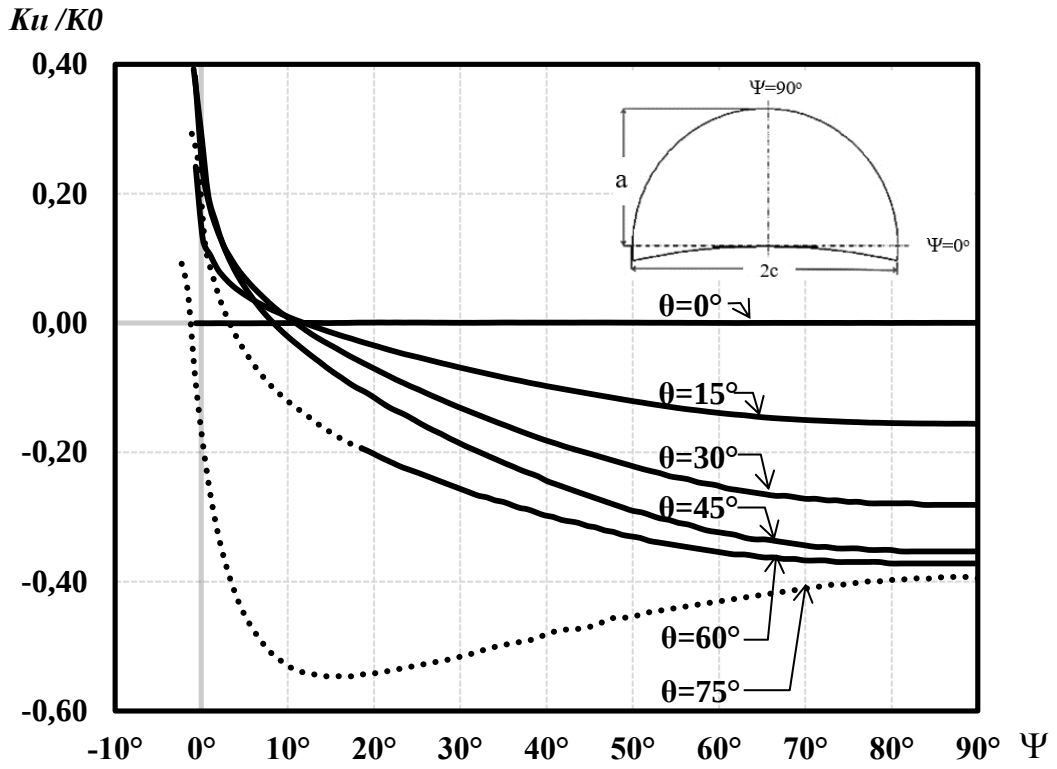
Şekil 3.192. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



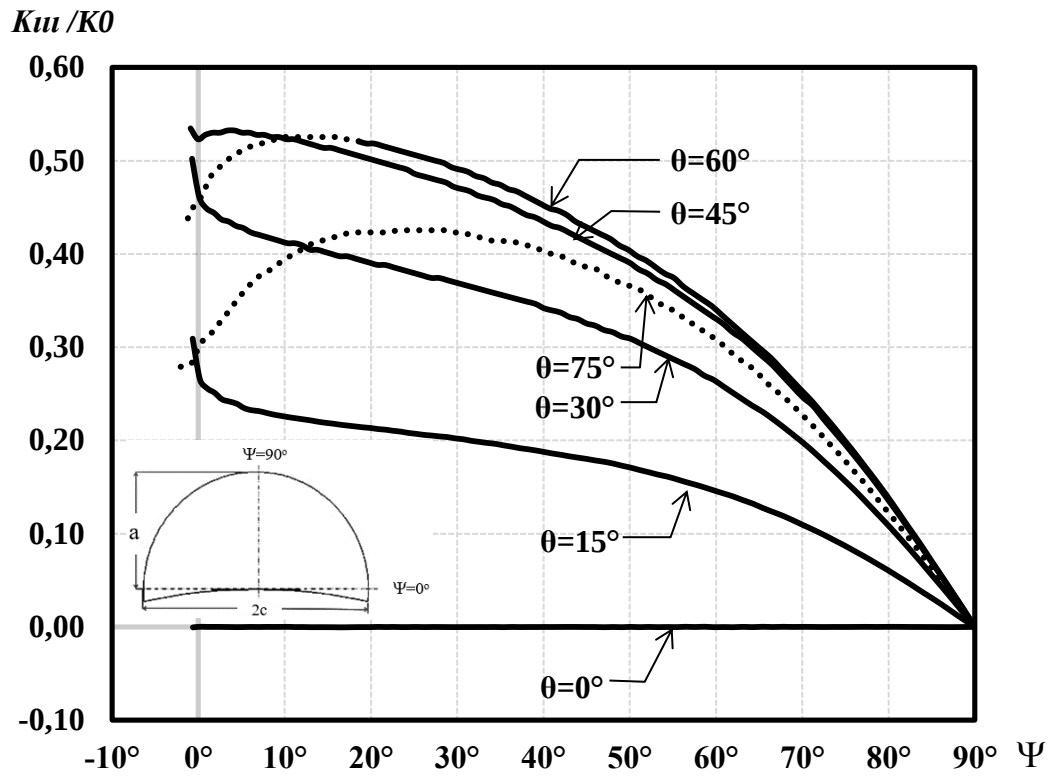
Şekil 3.193. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



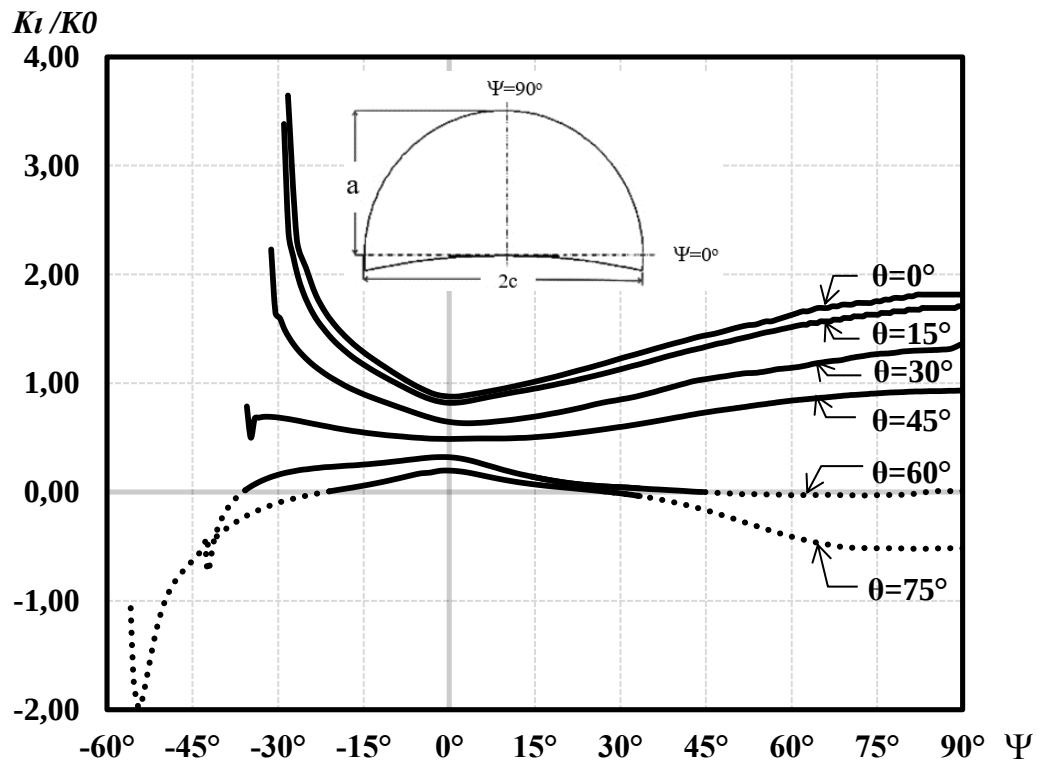
Şekil 3.194. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



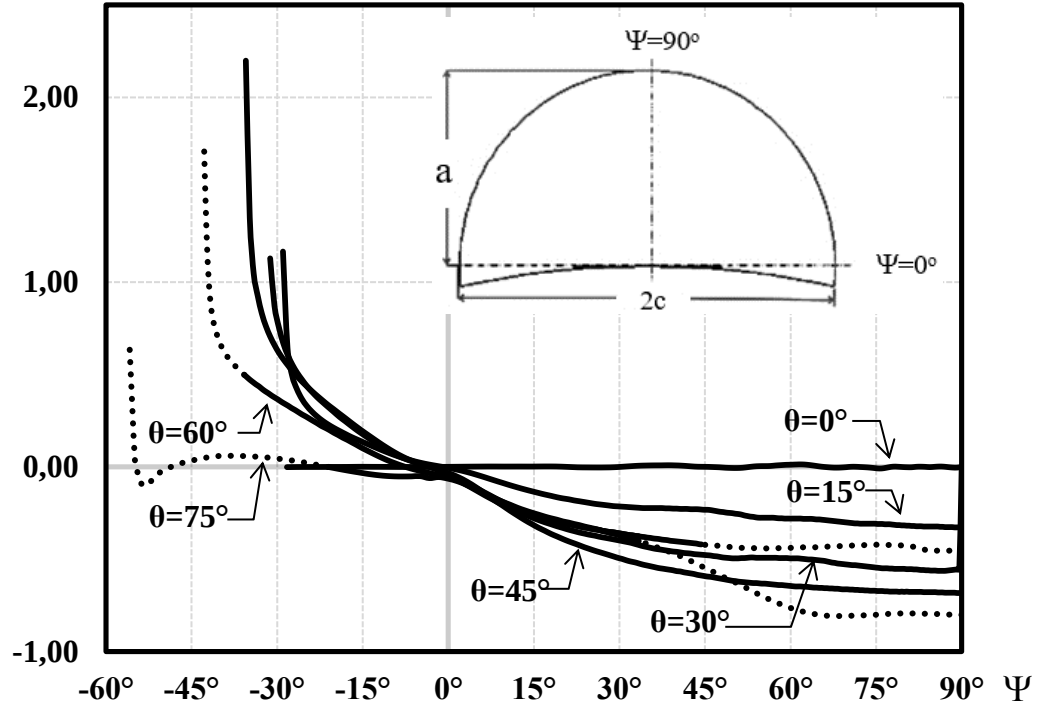
Şekil 3.195. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



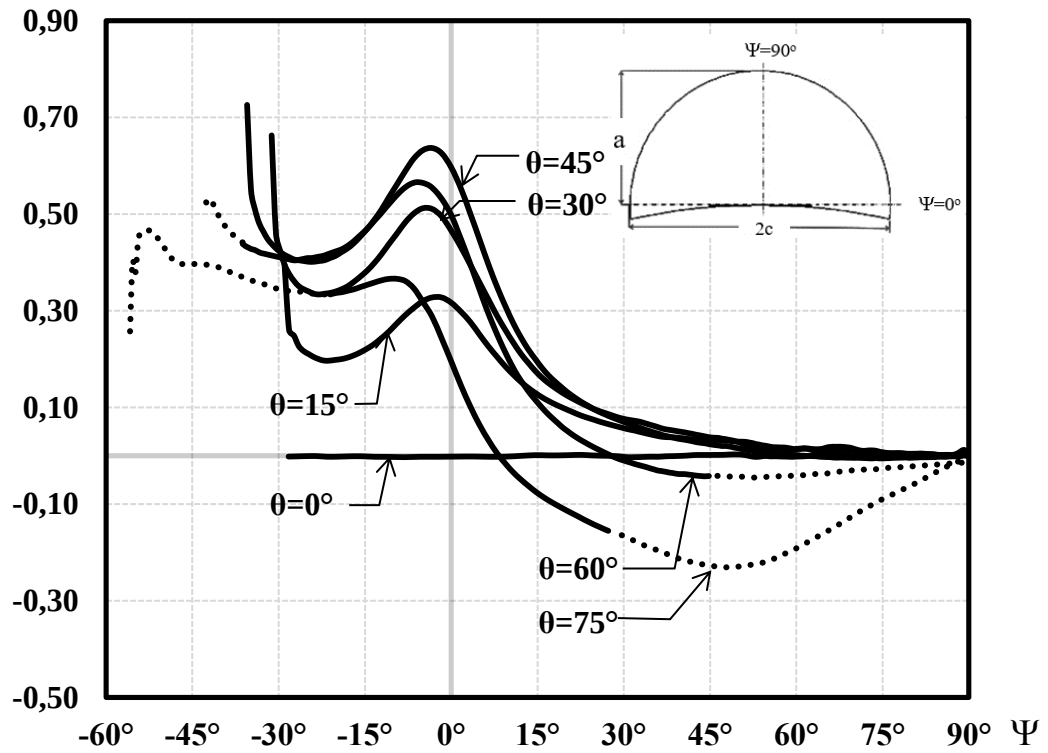
Şekil 3.196. $R_o/R_i=1,10$, $a/t=0,50$, $a/c=1,50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



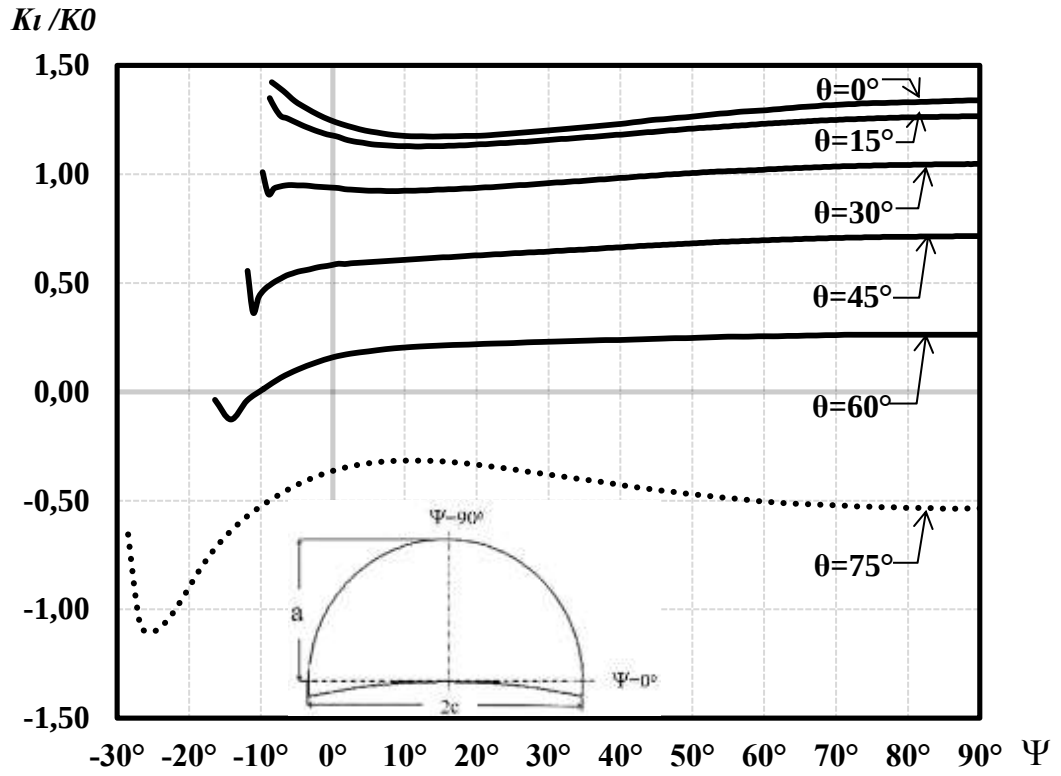
Şekil 3.197. $R_o/R_i=1,10$, $a/t=0,75$, $a/c=0,25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


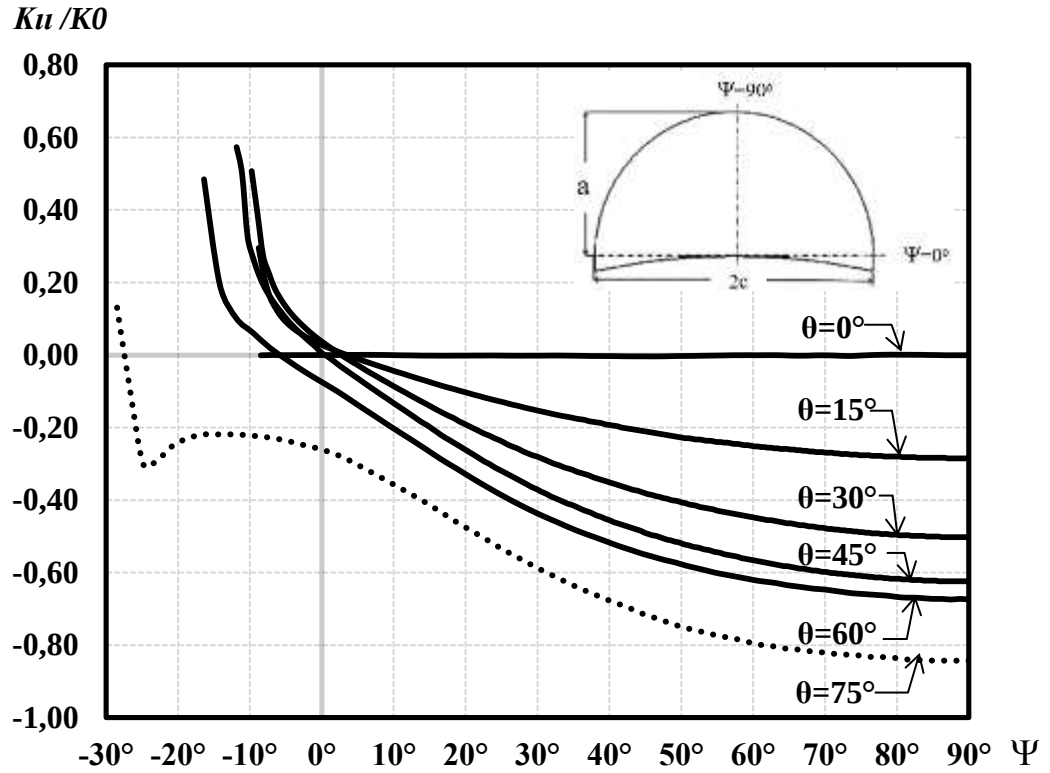
Şekil 3.198. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$


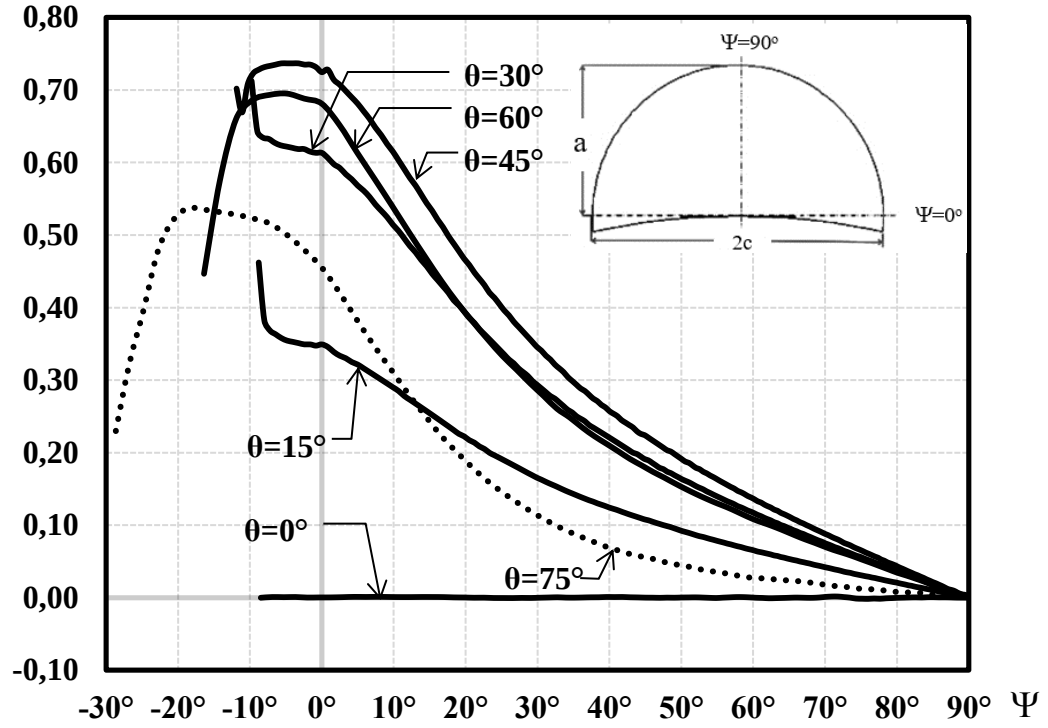
Şekil 3.199. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



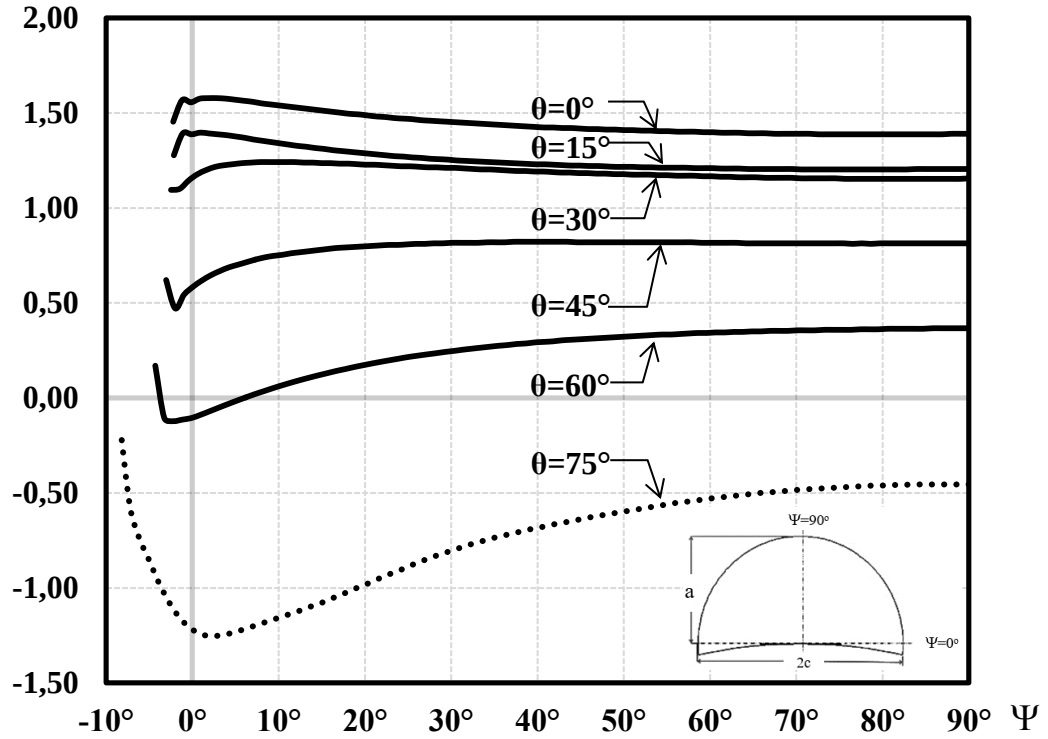
Şekil 3.200. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



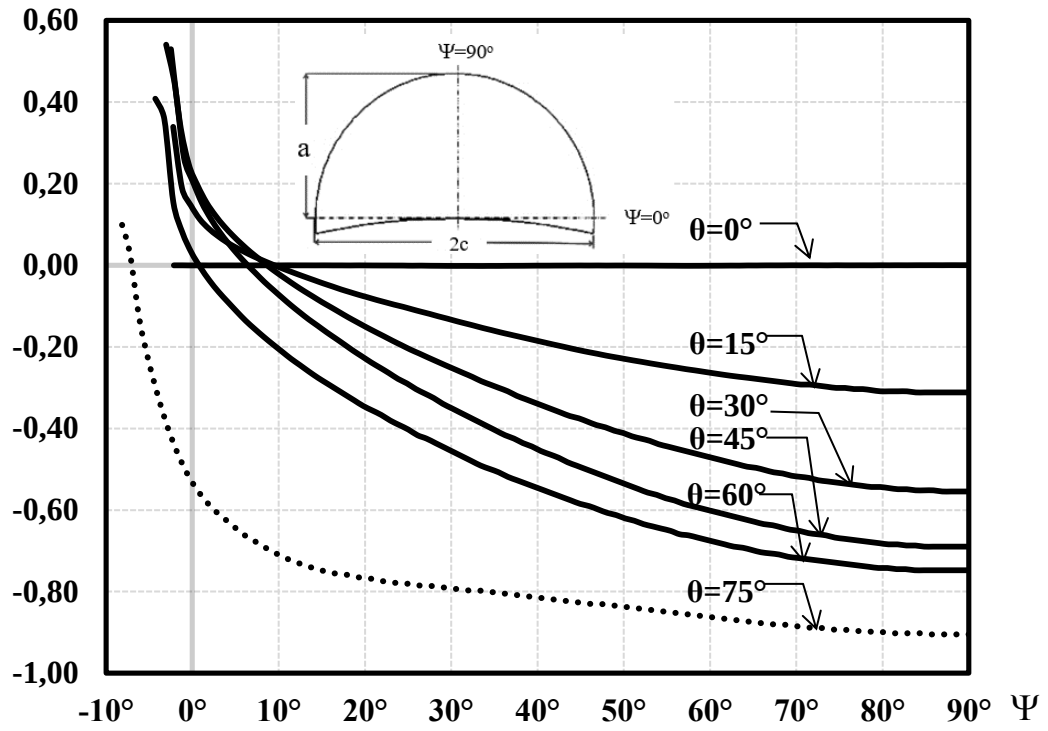
Şekil 3.201. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


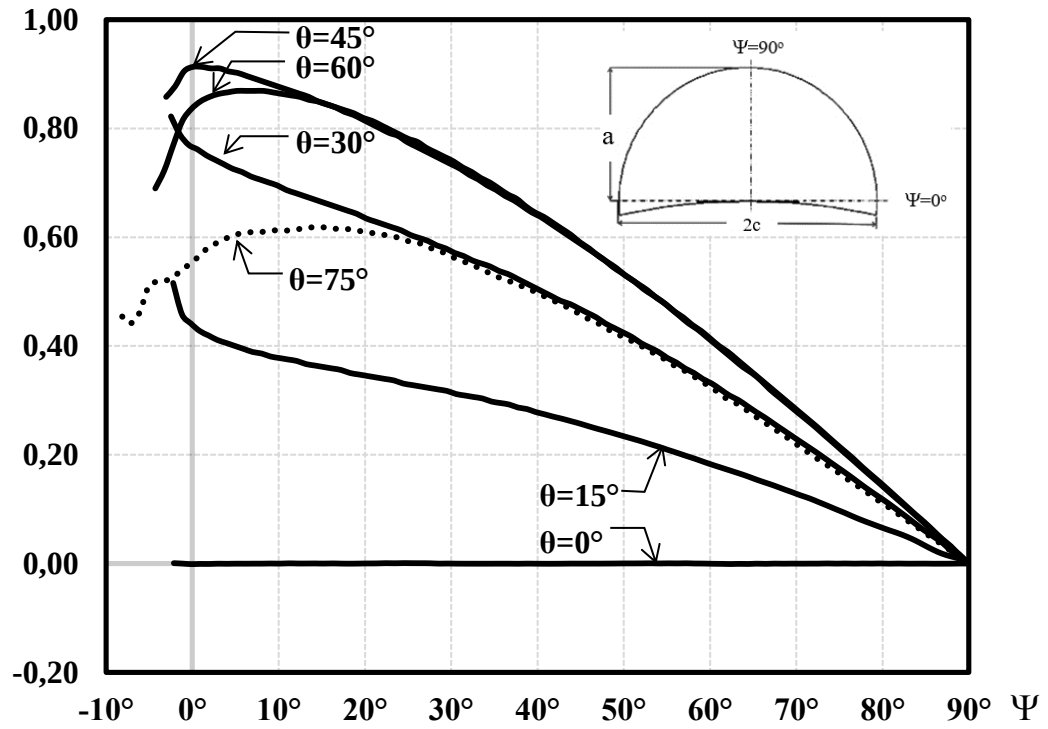
Şekil 3.202. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


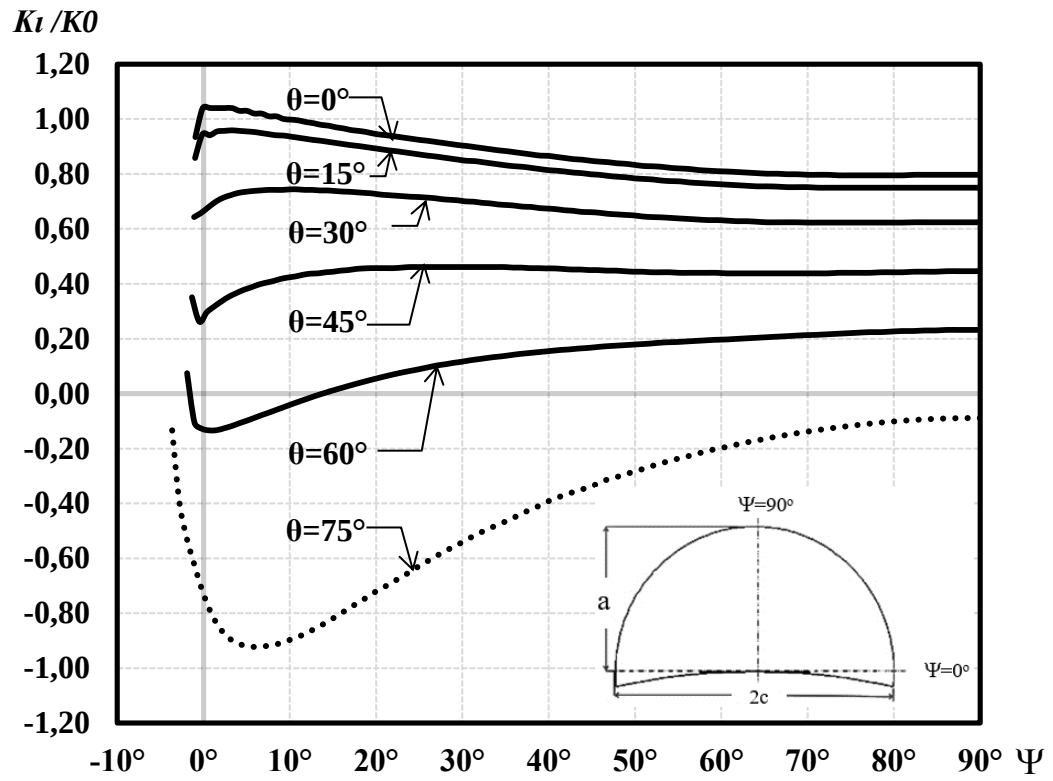
Şekil 3.203. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


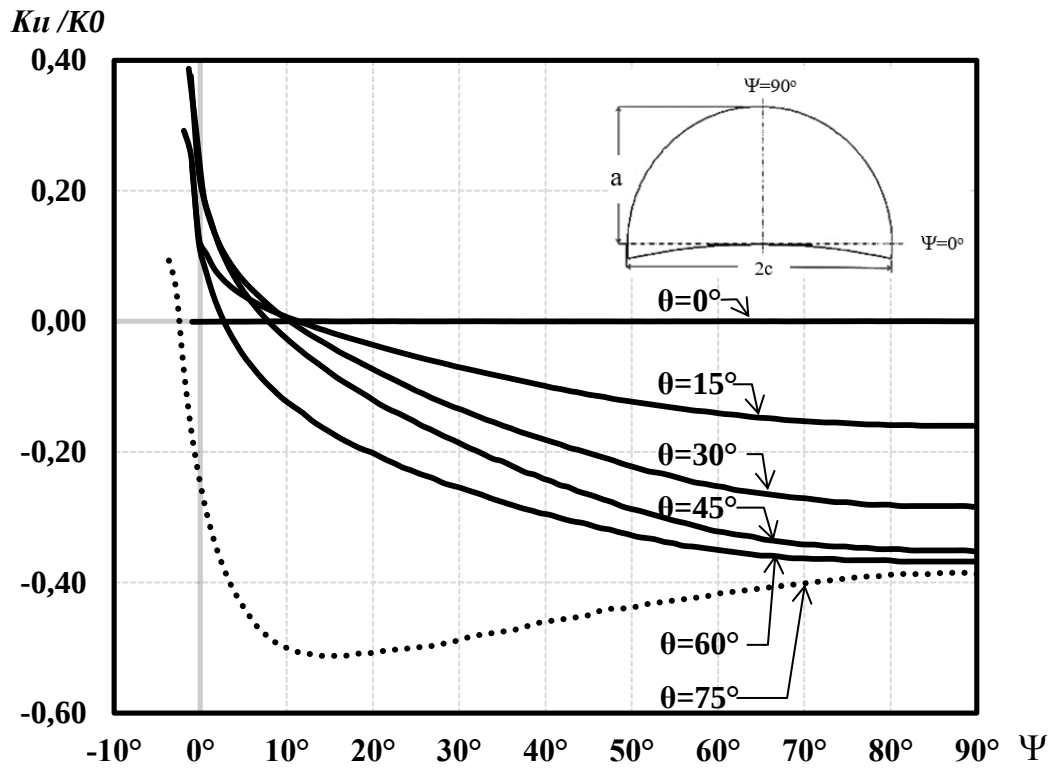
Şekil 3.204. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III} / K_0


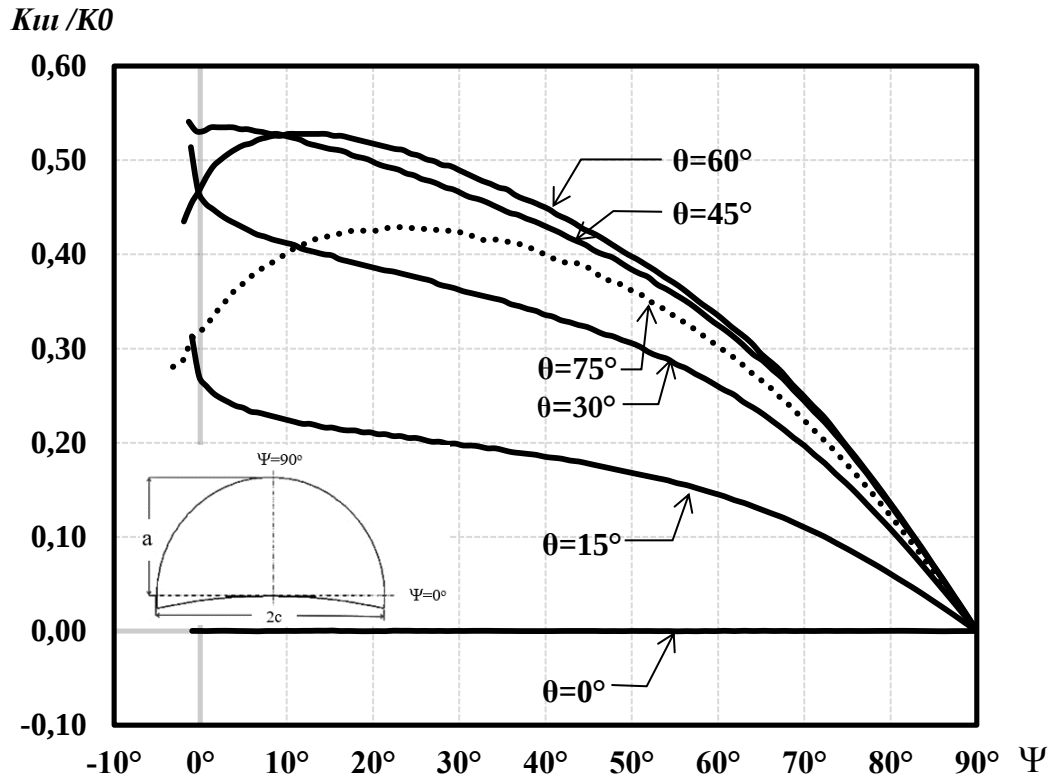
Şekil 3.205. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.206. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



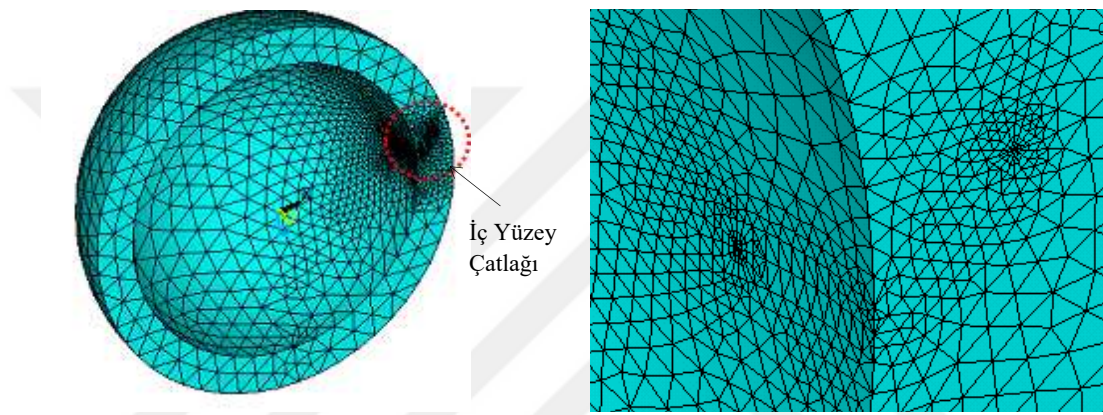
Şekil 3.207. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.208. $R_o/R_i=1.10$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.7. İç Yüzey Çatlağı ($R_o/R_i=1.25$ Durumu)

Diğer tüm kısımda ki analizlere benzer şekilde bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. R_o/R_i oranının artması küresel hacmin ve çatlak boyutlarının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle $R_o/R_i=1.1$ 'e kıyasla bu kısımda kullanılan eleman sayısı daha fazladır. Her bir analiz için yaklaşık olarak 85000 eleman ve 120000 node kullanılmıştır.

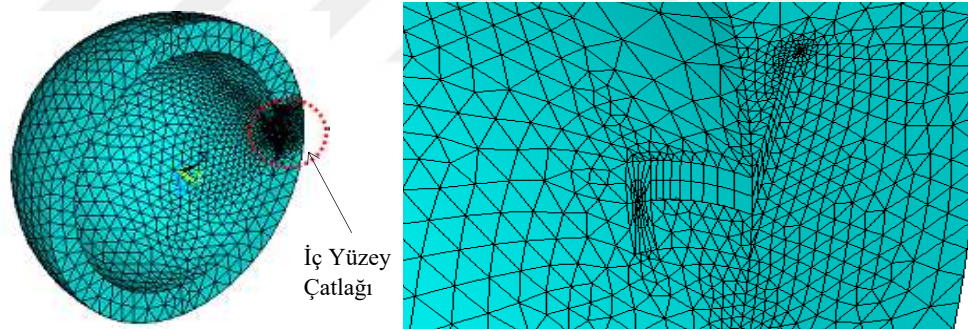


Şekil 3.209. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.00$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

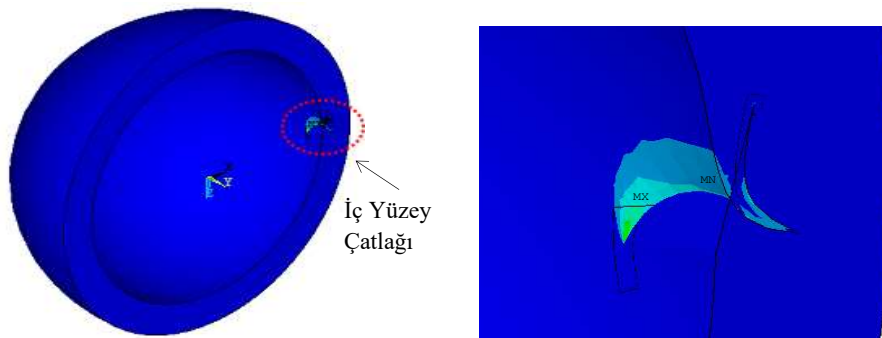
Dış çap/iç çap (R_o/R_i) oranının 1.25 olması durumunda çatlak derinliği, et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumları için diğer bir deyiş ile, sadece çatlağın iç veya dış yüzeylerde olması durumları karşılaştırıldığında çatlağın iç yüzeyde olması durumunda mod-I'de normalize edilmiş gerilme-Şiddet faktörlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı yani et kalınlığını sabit olduğu durumda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranı arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Diğer parametreleri sabit tutup küresel yapıya ait dış çap/iç çap oranının (R_o/R_i) değişiminin etkisine bakacak olursak dış çap/iç çap oranının 1.25 olması durumunda, dış çap/iç çap oranının 1.1 olması duruma göre çatlak derinliği, et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.

Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktöründe artmasını gerektirecektir. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktöründe beklendiği üzere artmıştır. Elde edilen grafikler yorumlandığında açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı görülmüştür. Diğer parametreleri sabit tuttuğumuzda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlağın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) oranının arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 olması durumunda normalize edilmiş mod-I ve mod-II gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir deyiş ile, bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda da görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Kayma moduna (Mod-II) bakacak olursak normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin en yüksek değeri negatif bölgede 75 derecede aldığı görülmüştür. Kayma modu (mod-II) için çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) sabit olduğu durumlarda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalizde edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede artmaktadır. İç yüzeyde çatlak olması durumu dış yüzeyde çatlak olması durumuna göre daha güvenli bir durumdur. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açı 60 derece ve üstü duruma geldiğinde bu kısım için açılma modunda (Mod-I) normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede görülmektedir. Bu duruma ait normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Fiziksel bir sonuç olarak kabul edemeyeceğimiz bu durum çatlağın mevcut yükleme koşullarında açılmadığı anlamına gelir. Bu duruma ait bir durumun sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları Şekil 3.211.'de verilmiştir. Normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri dış yüzeyle kıyaslandığında iç yüzeyde bir miktar artma olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.215. incelenecek olursa $R_o/R_i=1.25$,

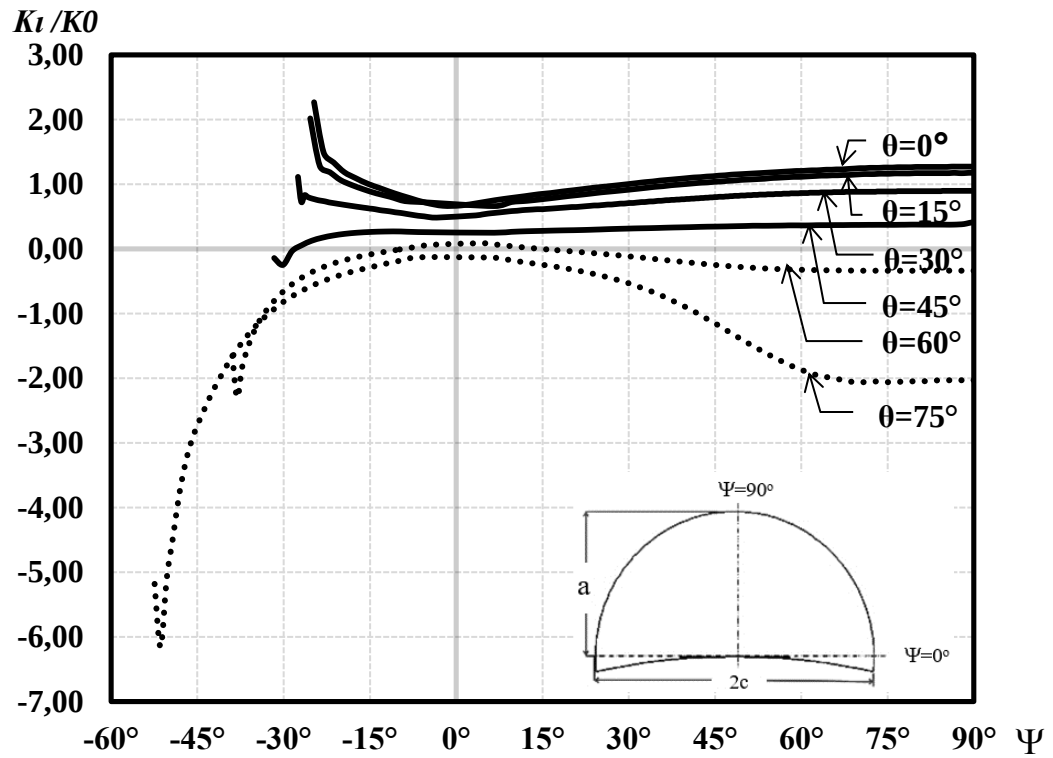
$a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I değerlerinde çatlakın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.216.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin negatif bölgede 75 derecede olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve çatlakın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede arttığı görülecektir. Şekil 3.217. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 45 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.212.-3.254.)'de verilmektedir. Grafiklerle başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



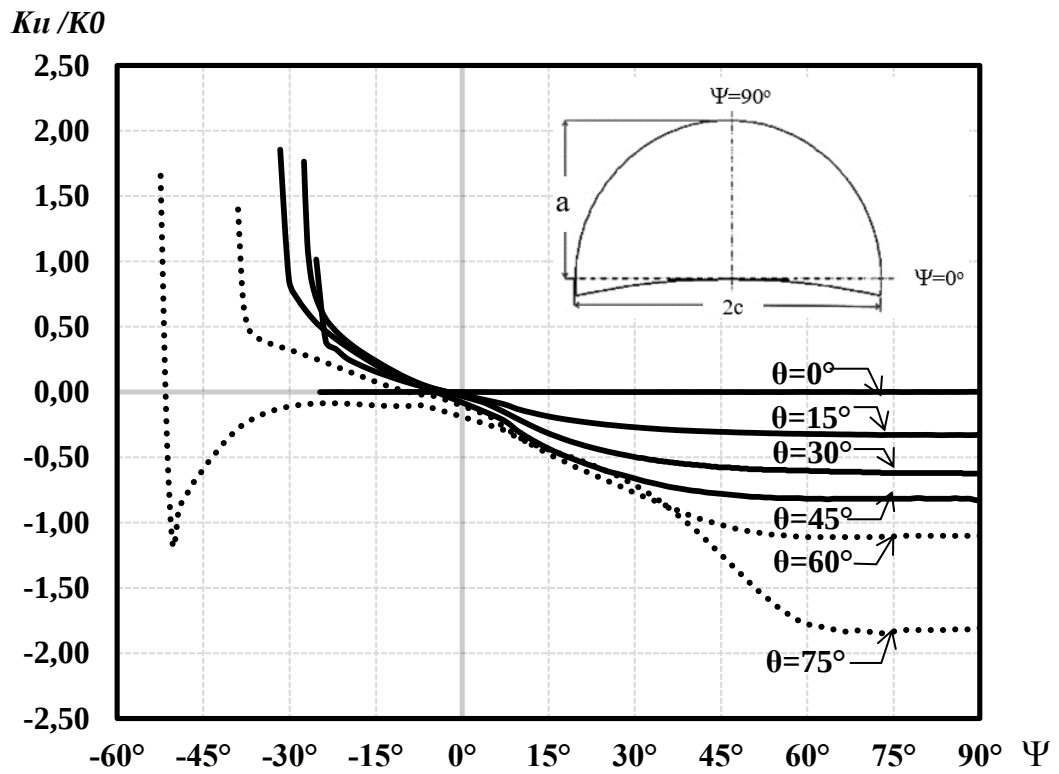
Şekil 3.210. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.



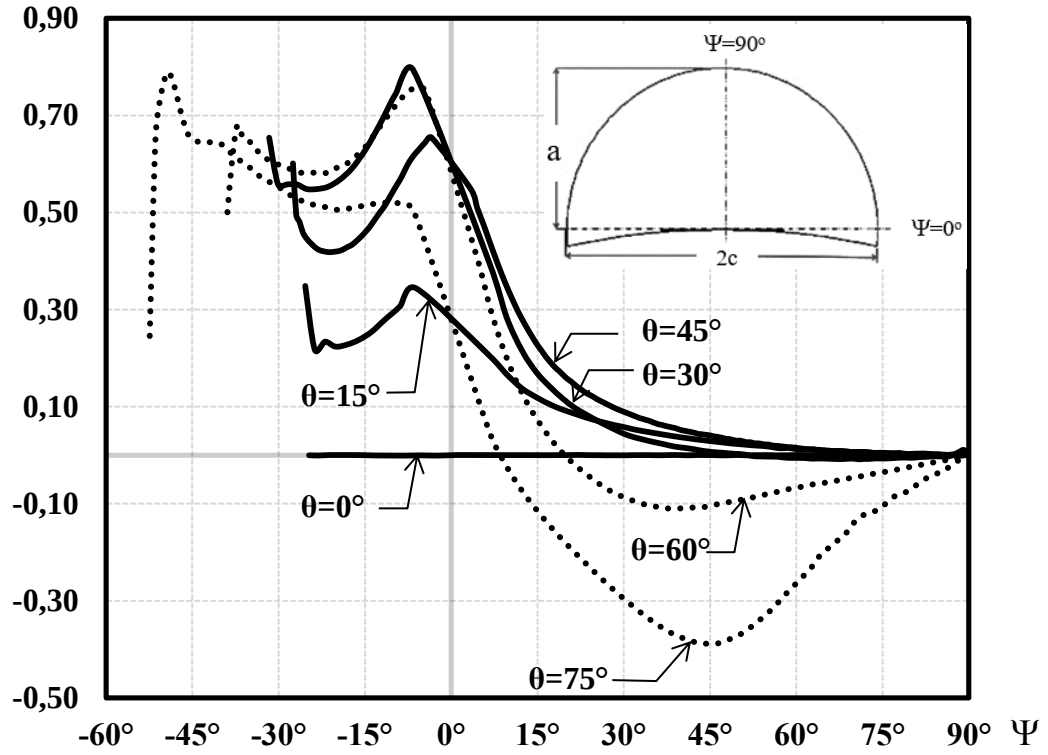
Şekil 3.211. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın analiz sonucuna göre gerilme dağılımları.



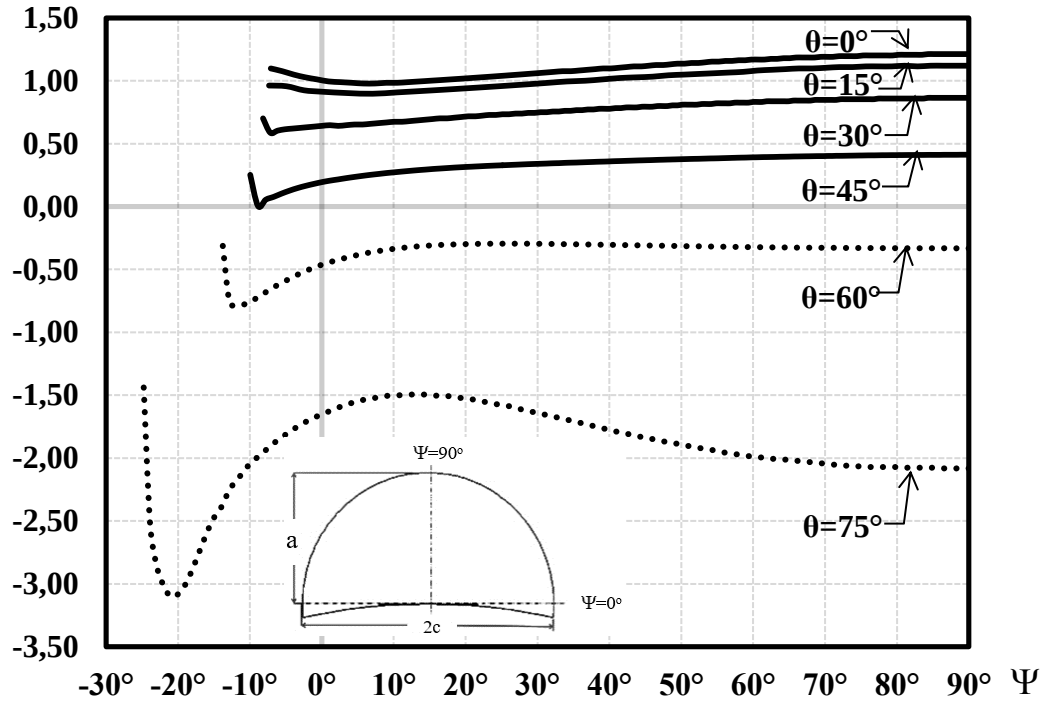
Şekil 3.212. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



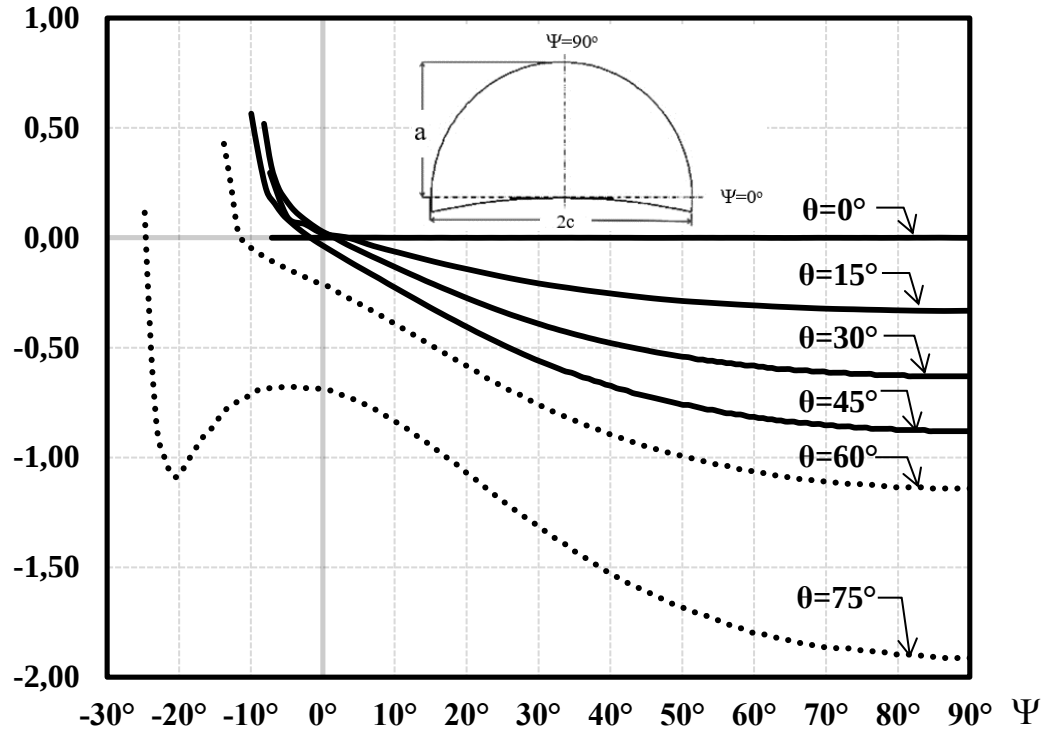
Şekil 3.213. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


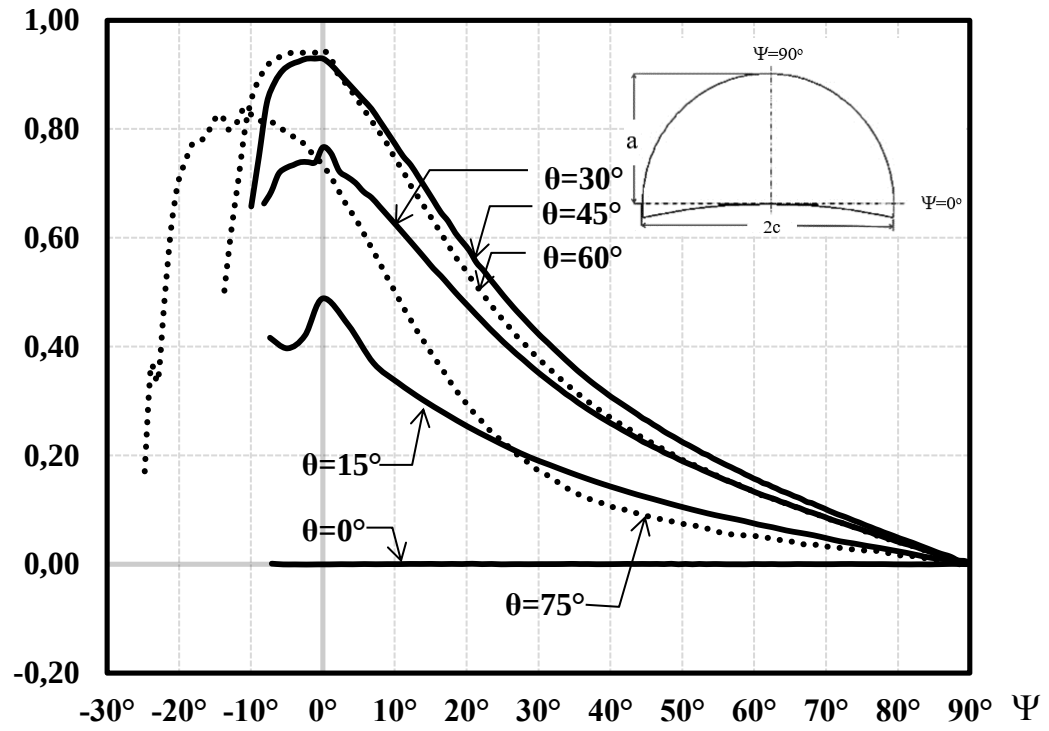
Şekil 3.214. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


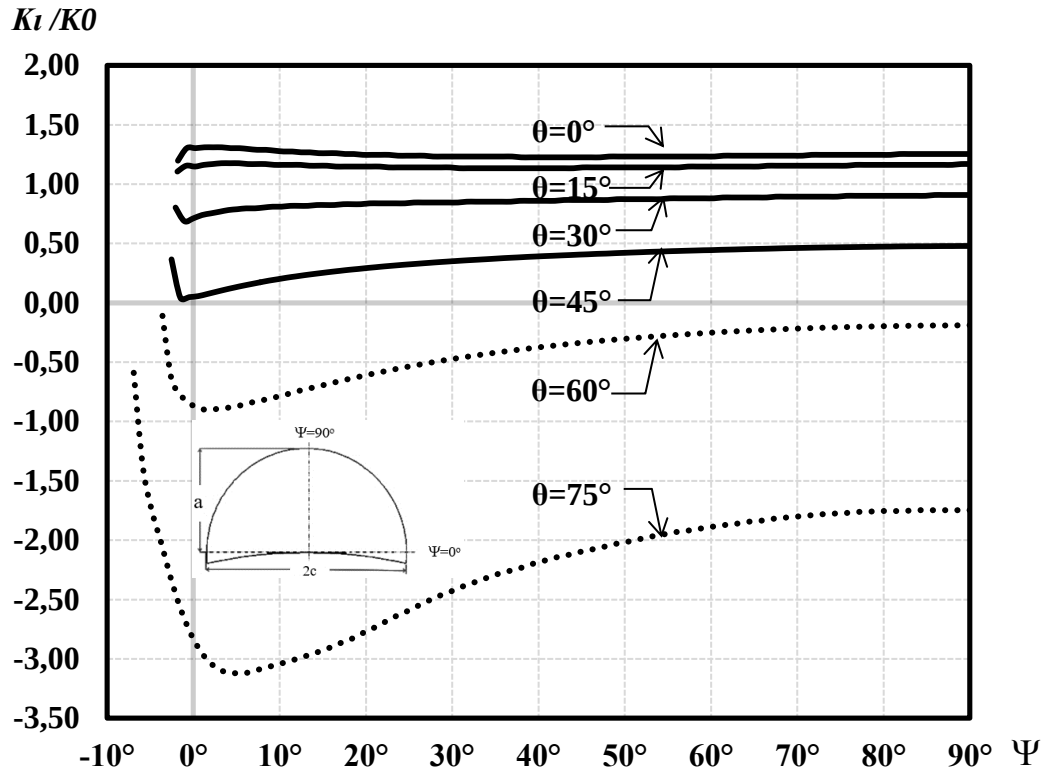
Şekil 3.215. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


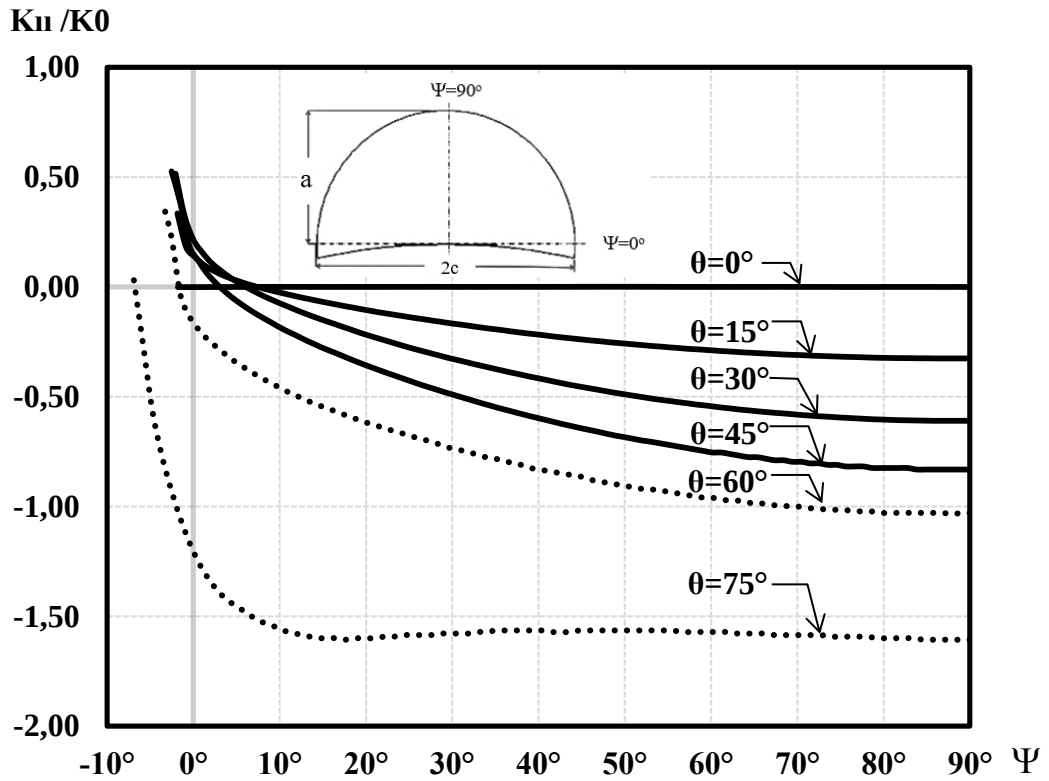
Şekil 3.216. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$


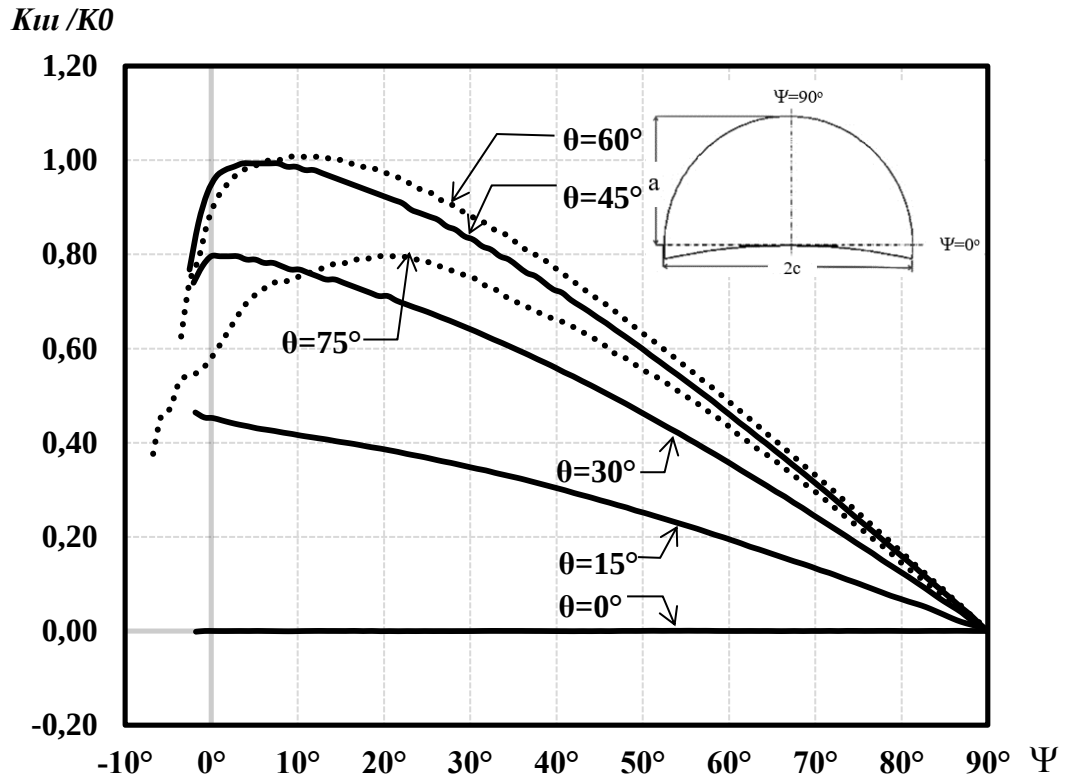
Şekil 3.217. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



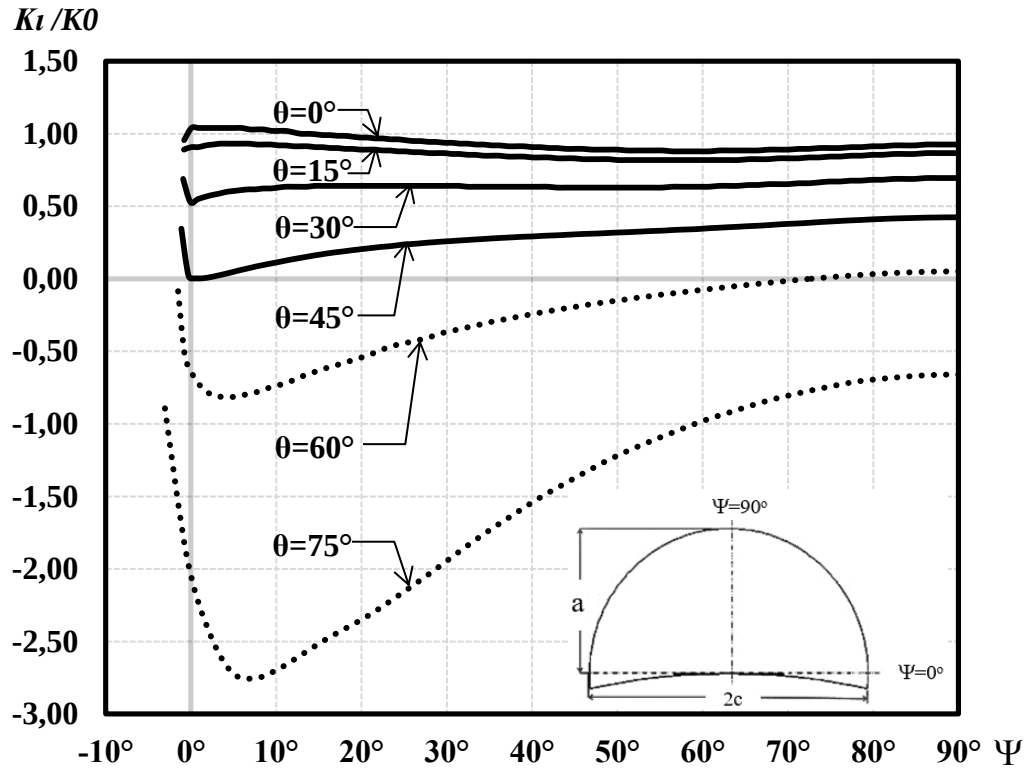
Şekil 3.218. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



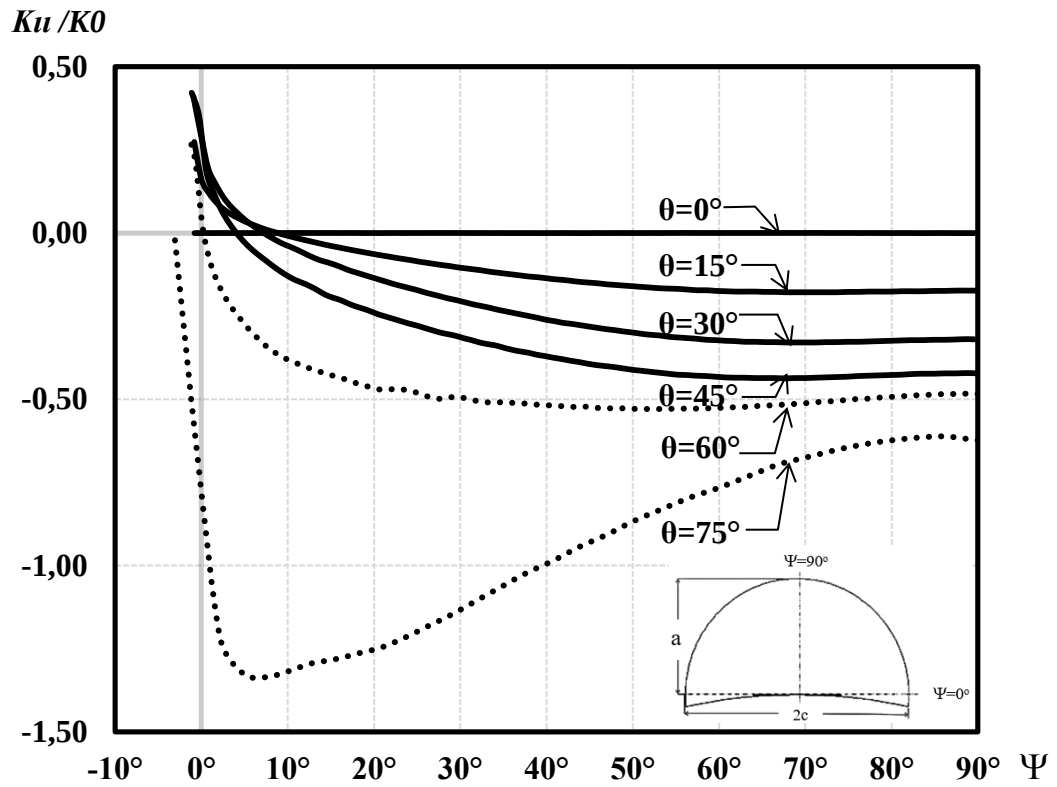
Şekil 3.219. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



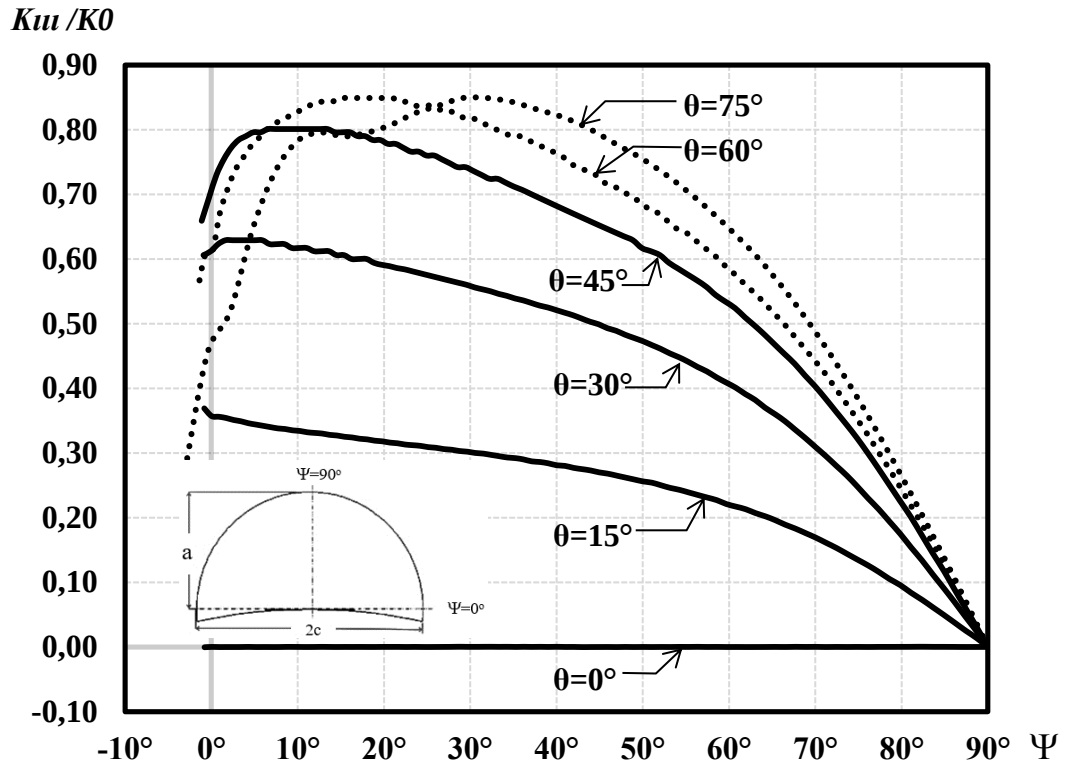
Şekil 3.220. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



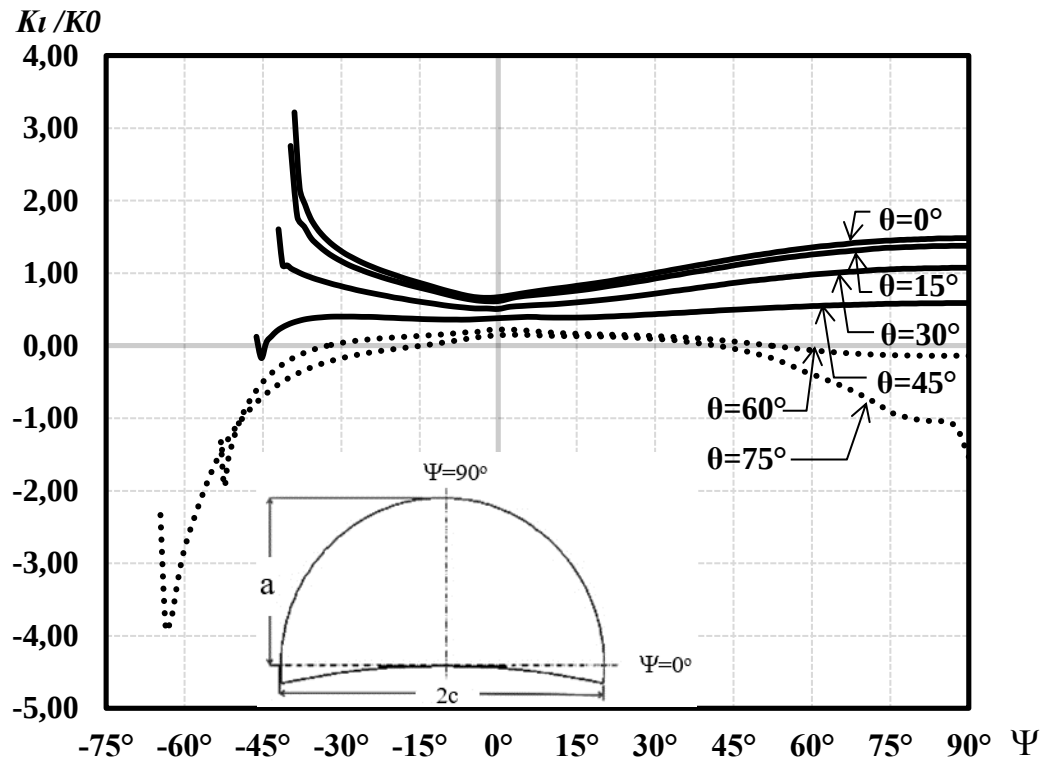
Şekil 3.221. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



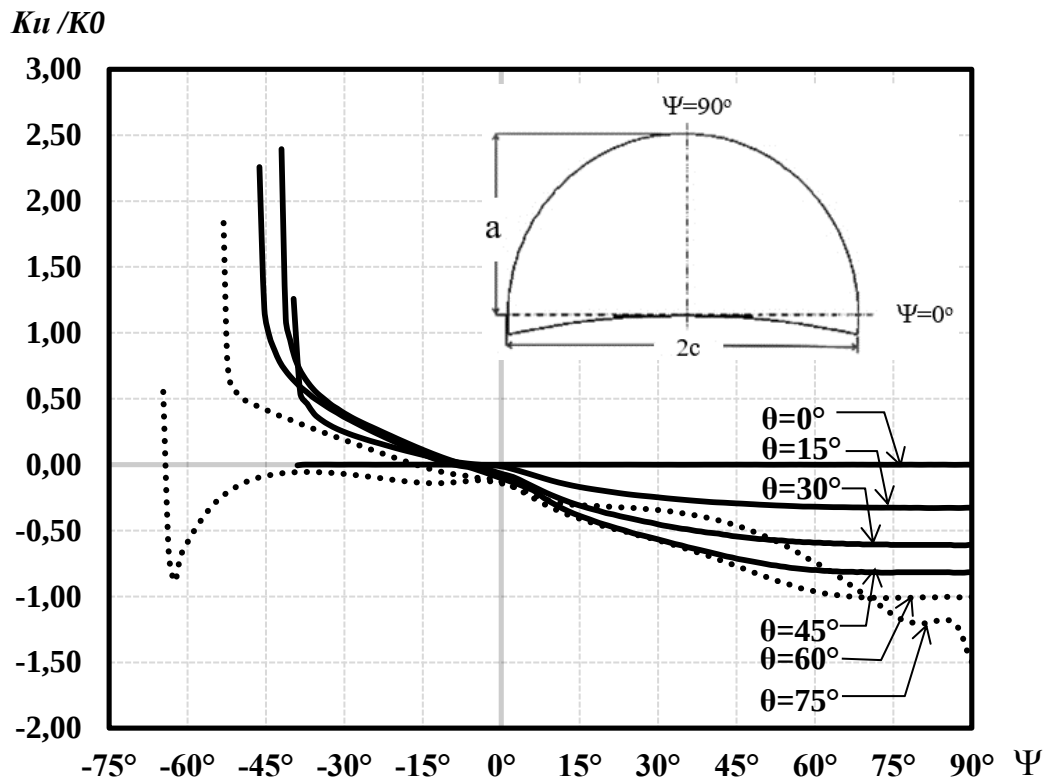
Şekil 3.222. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



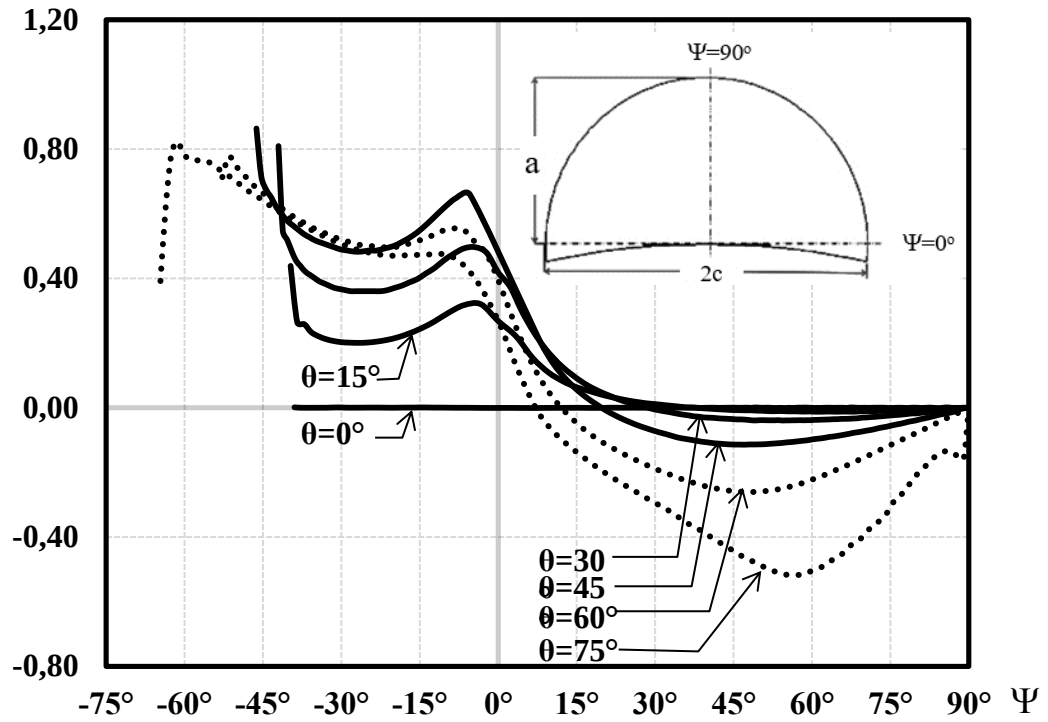
Şekil 3.223. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



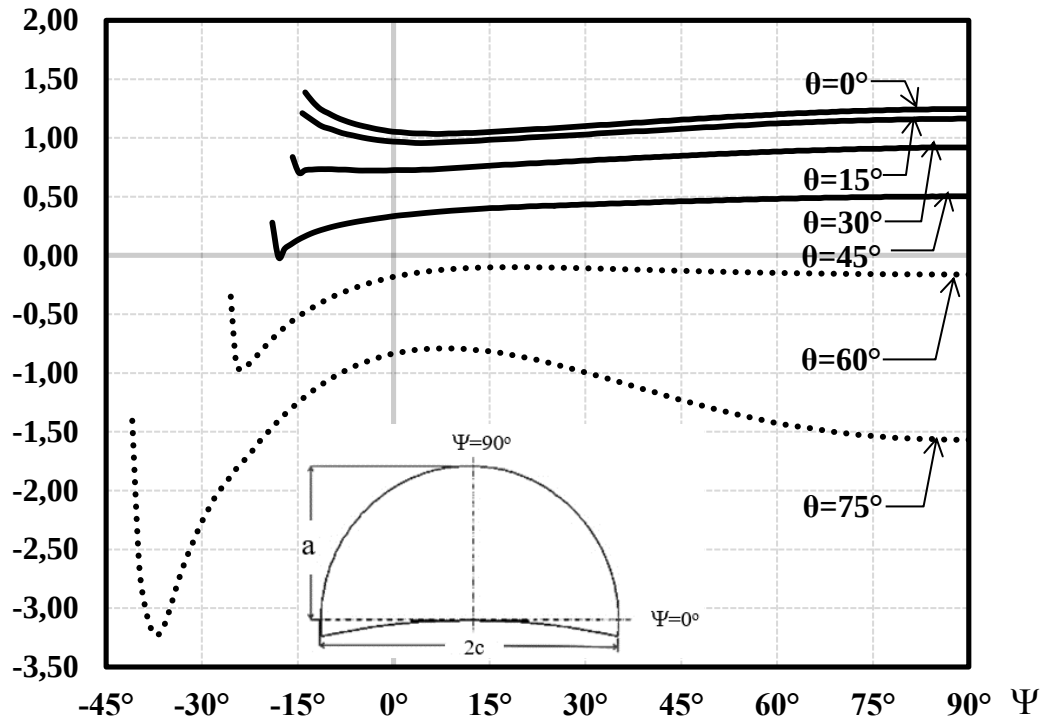
Şekil 3.224. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



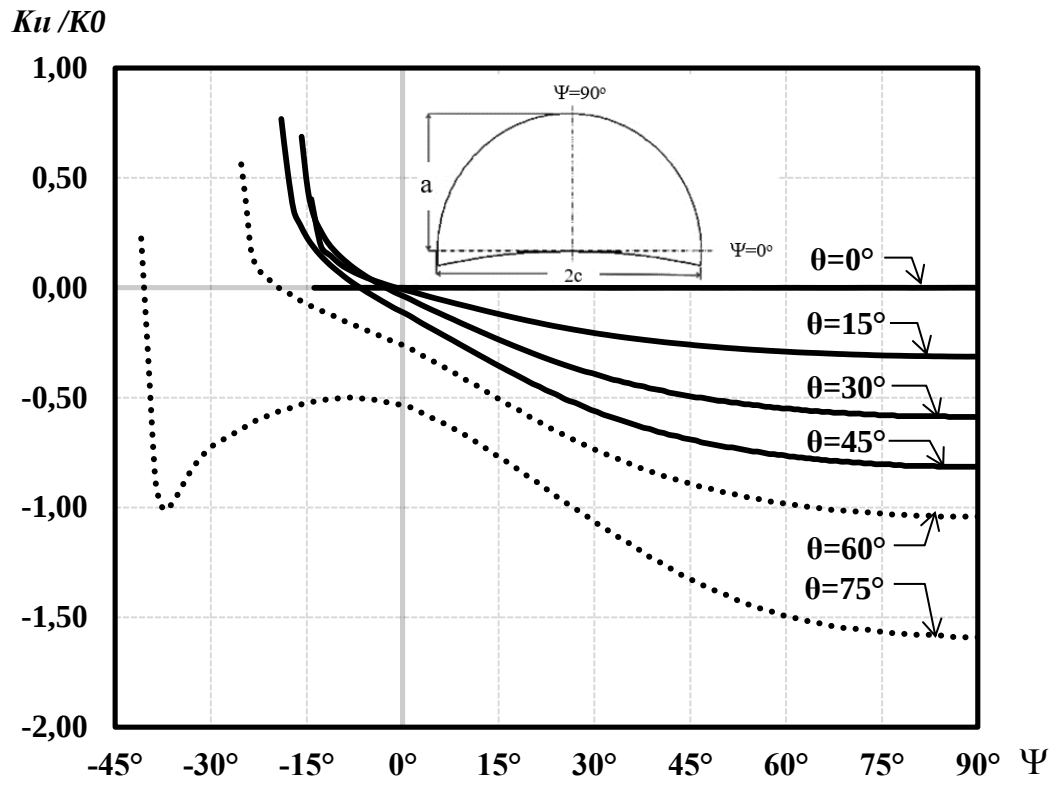
Şekil 3.225. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


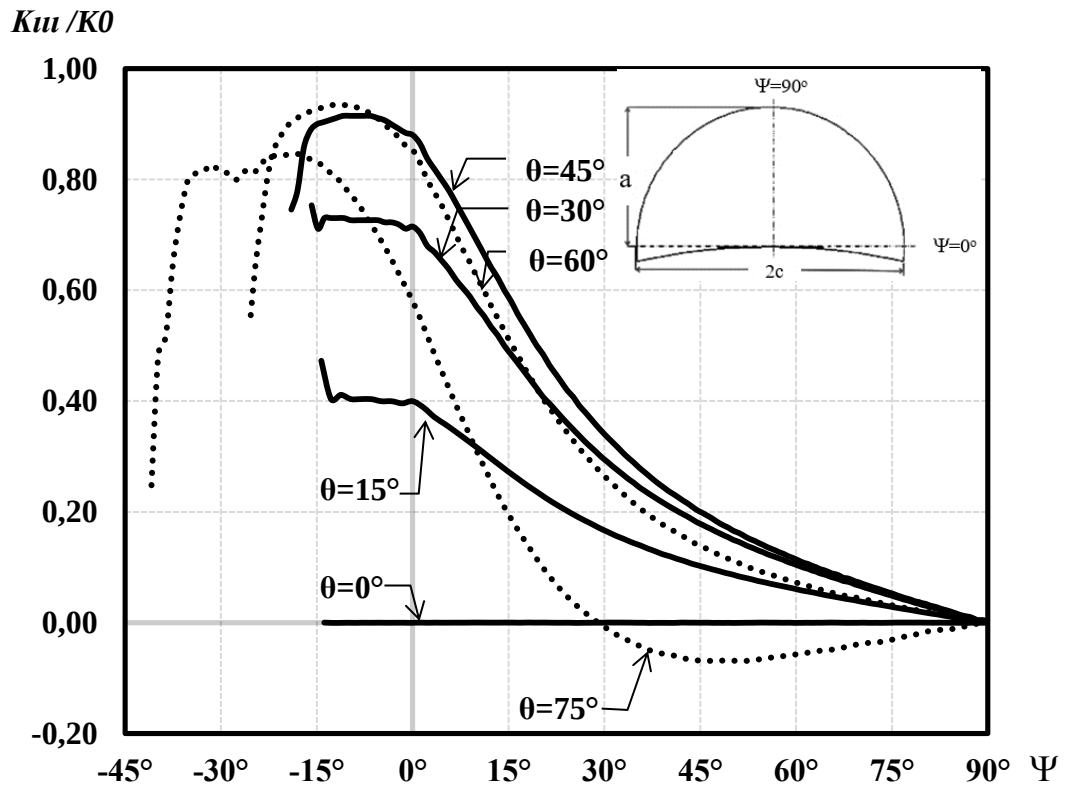
Şekil 3.226. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


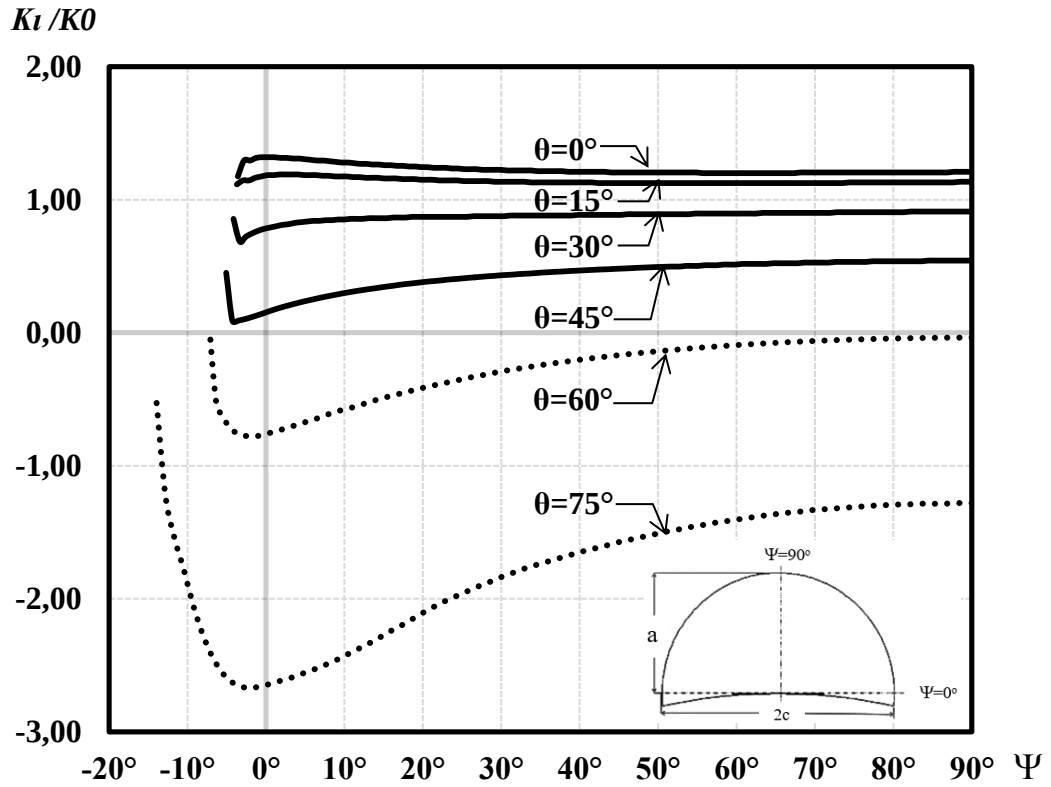
Şekil 3.227. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



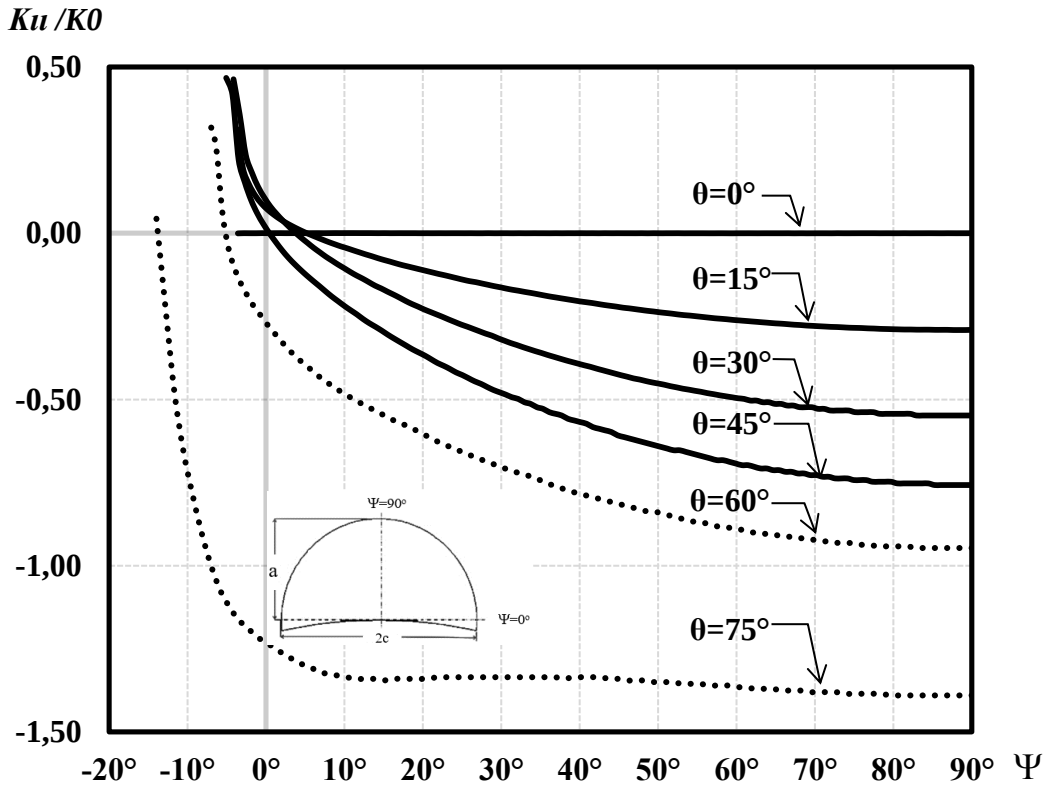
Şekil 3.228. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



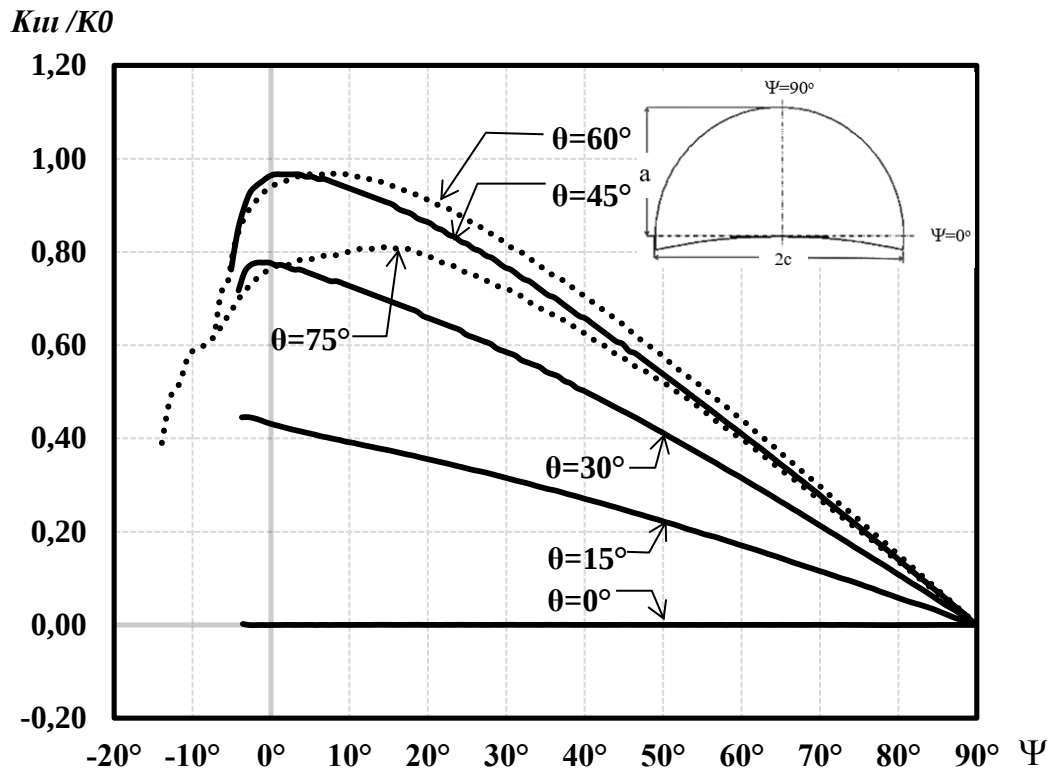
Şekil 3.229. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



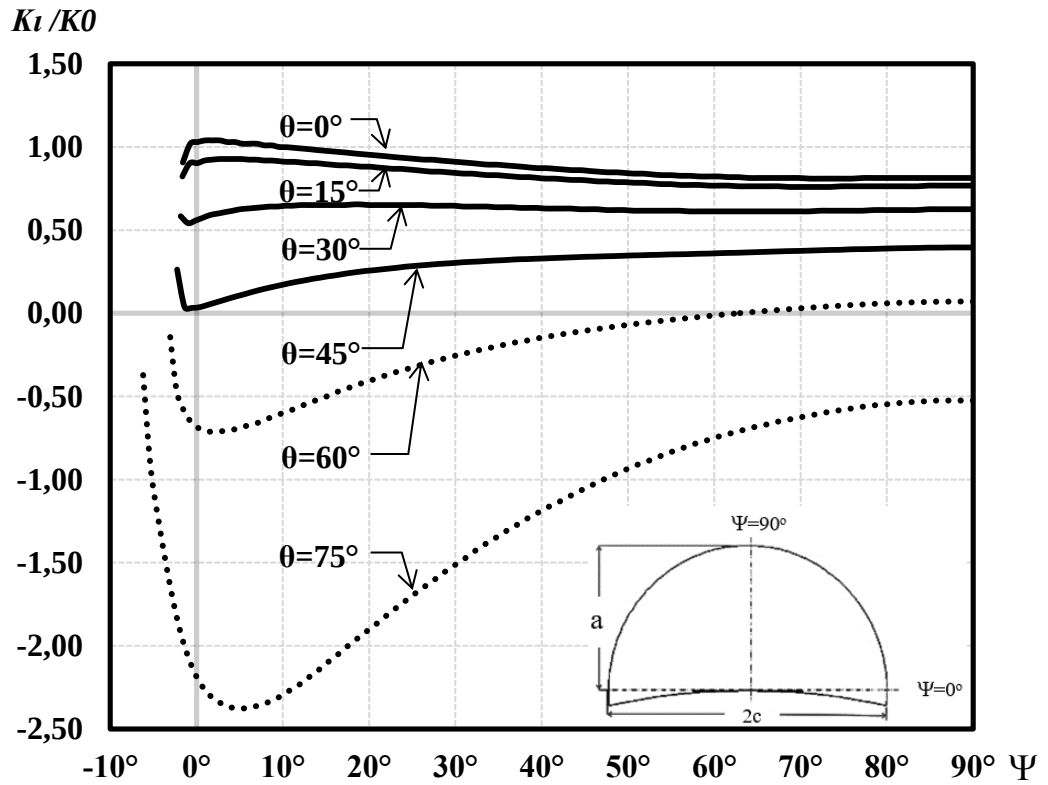
Şekil 3.230. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



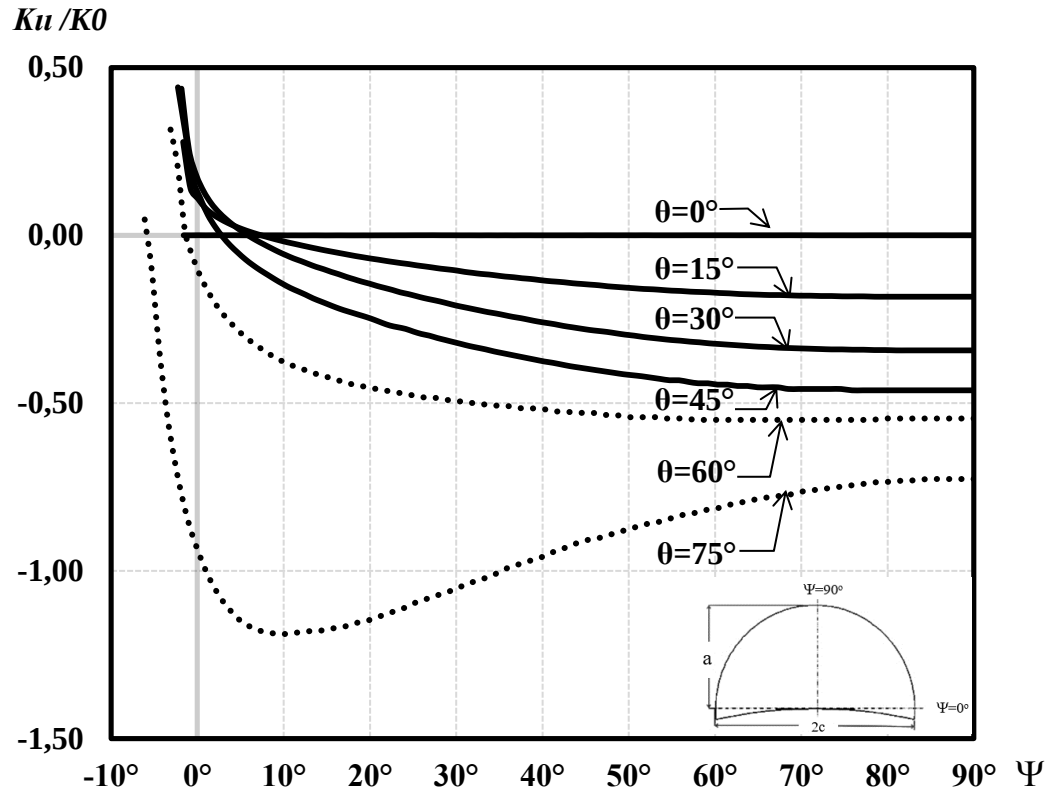
Şekil 3.231. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



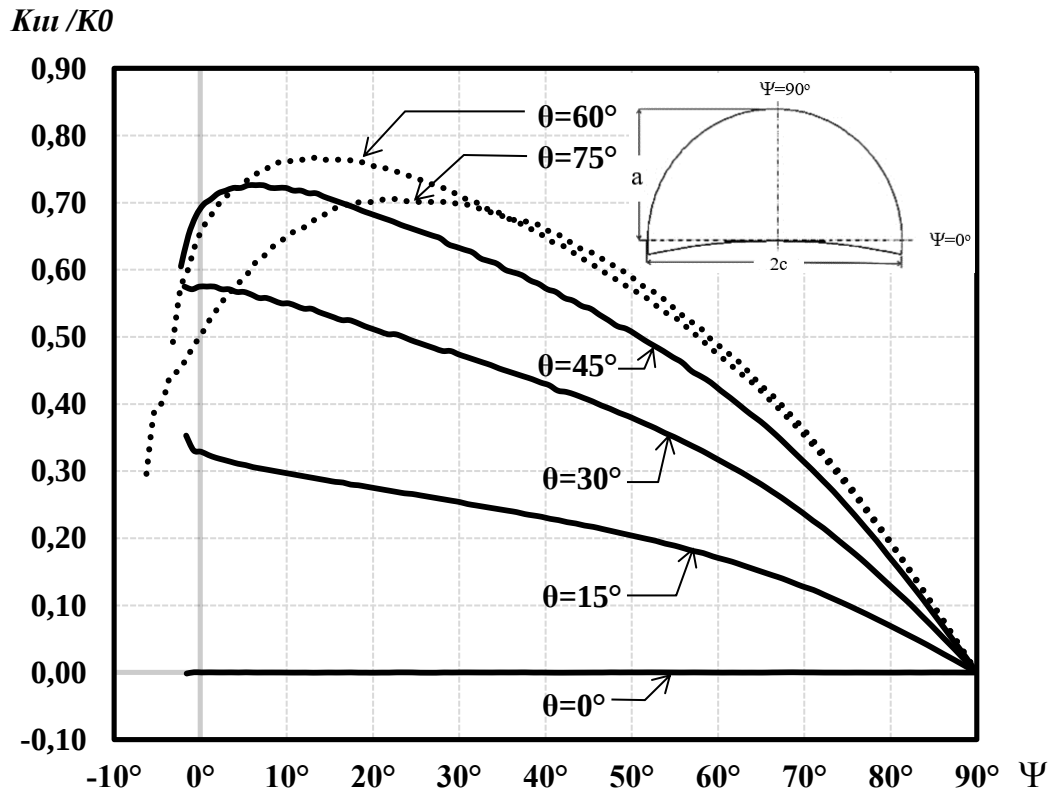
Şekil 3.232. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



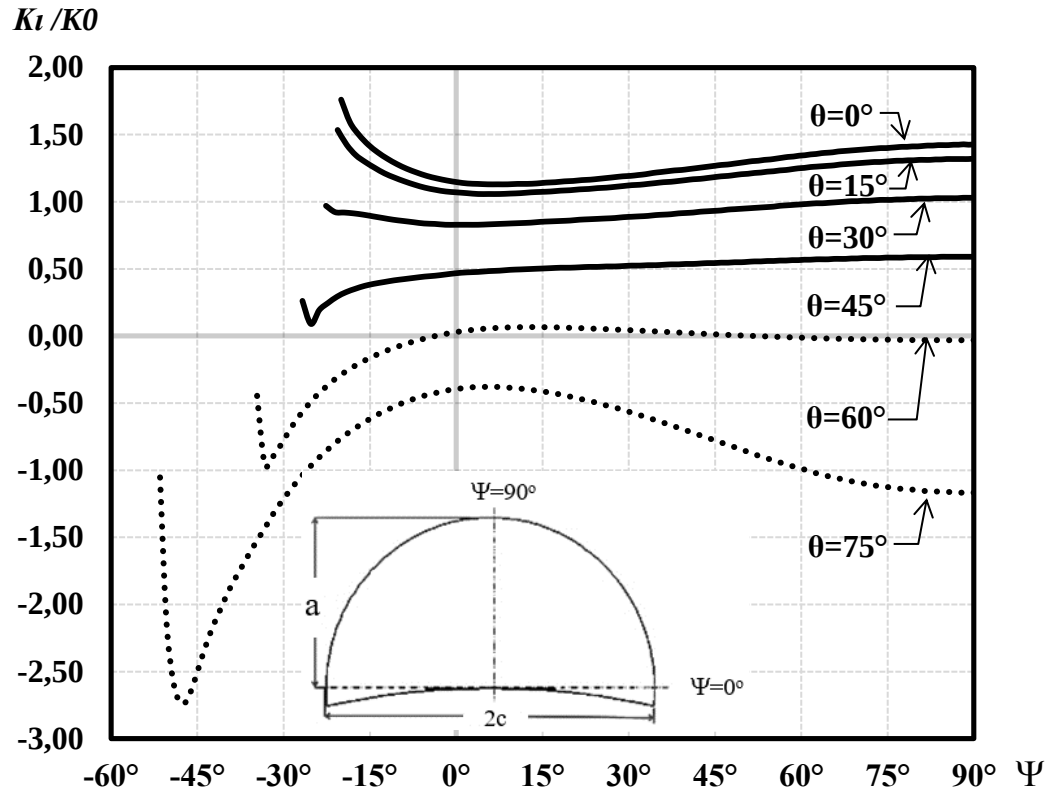
Şekil 3.233. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



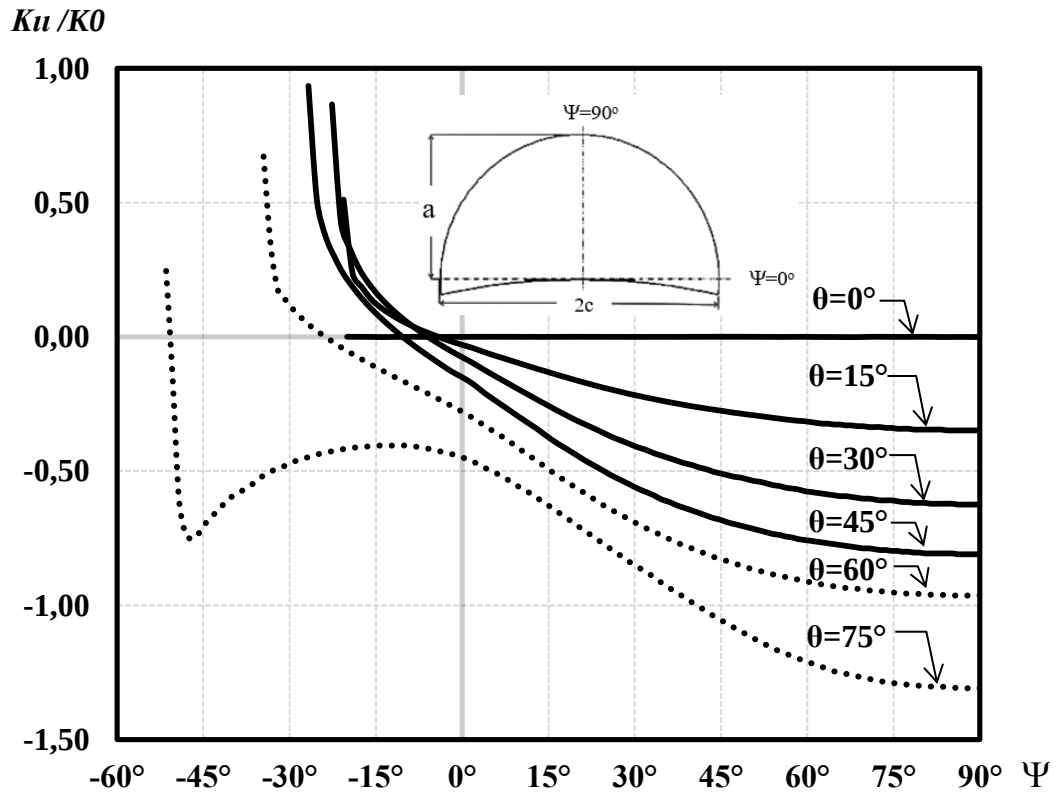
Şekil 3.234. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



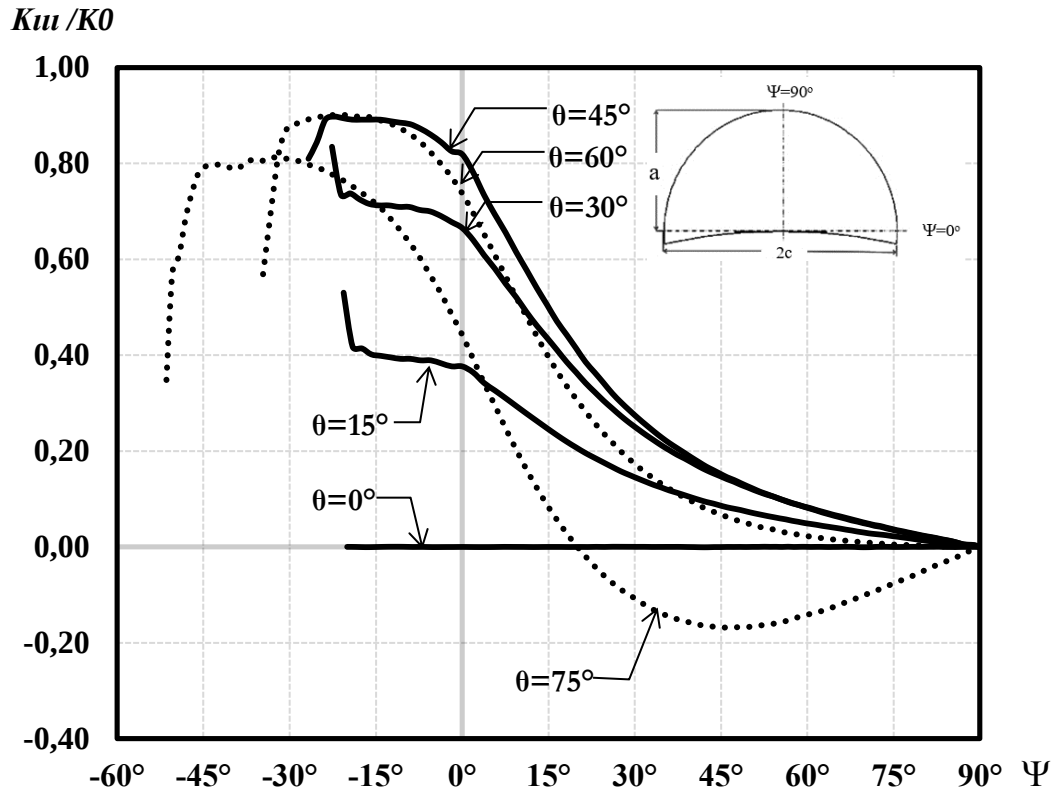
Şekil 3.235. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



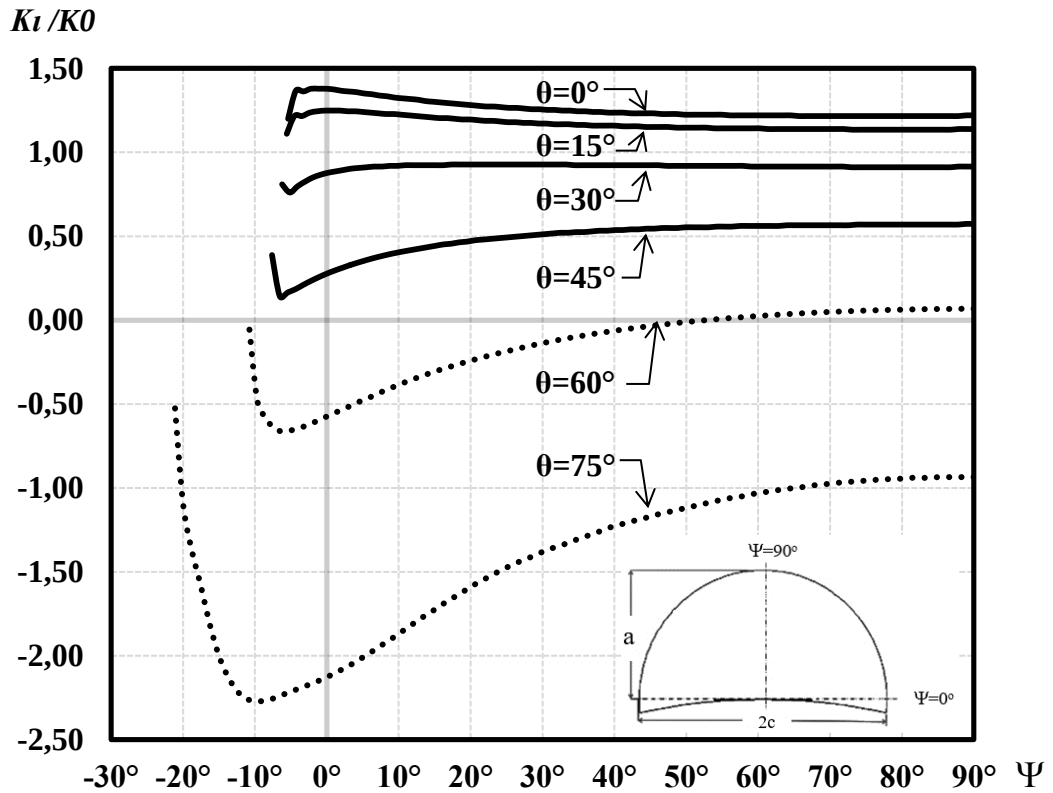
Şekil 3.236. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



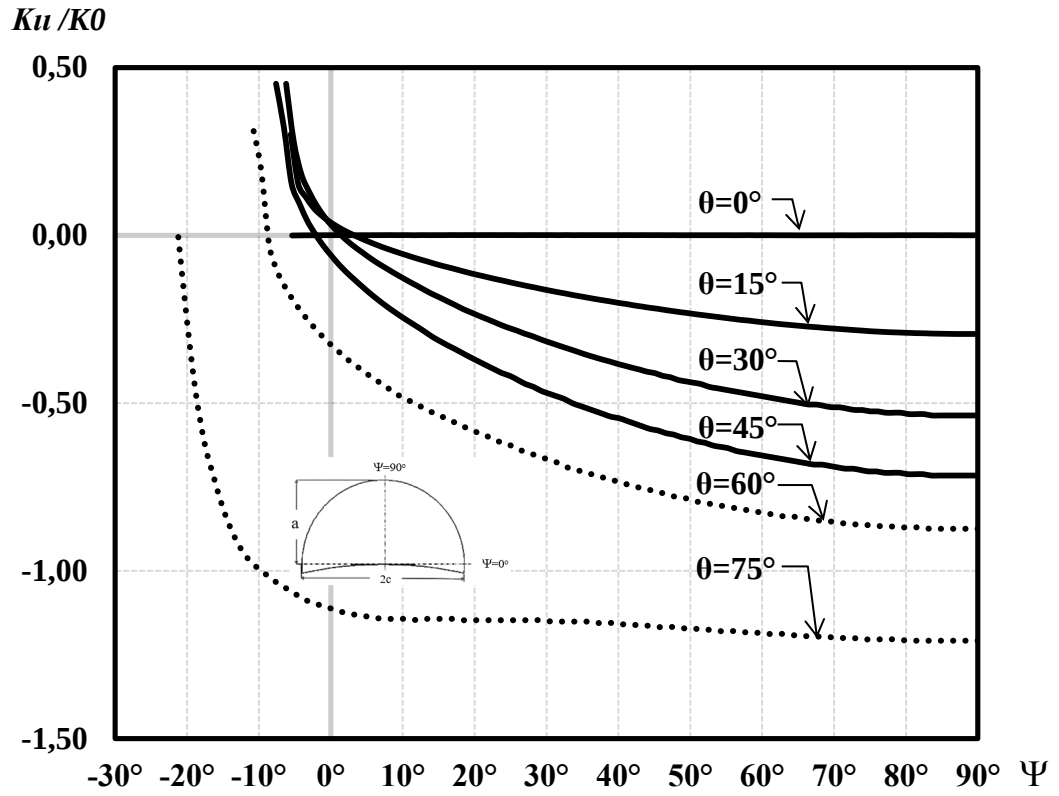
Şekil 3.237. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



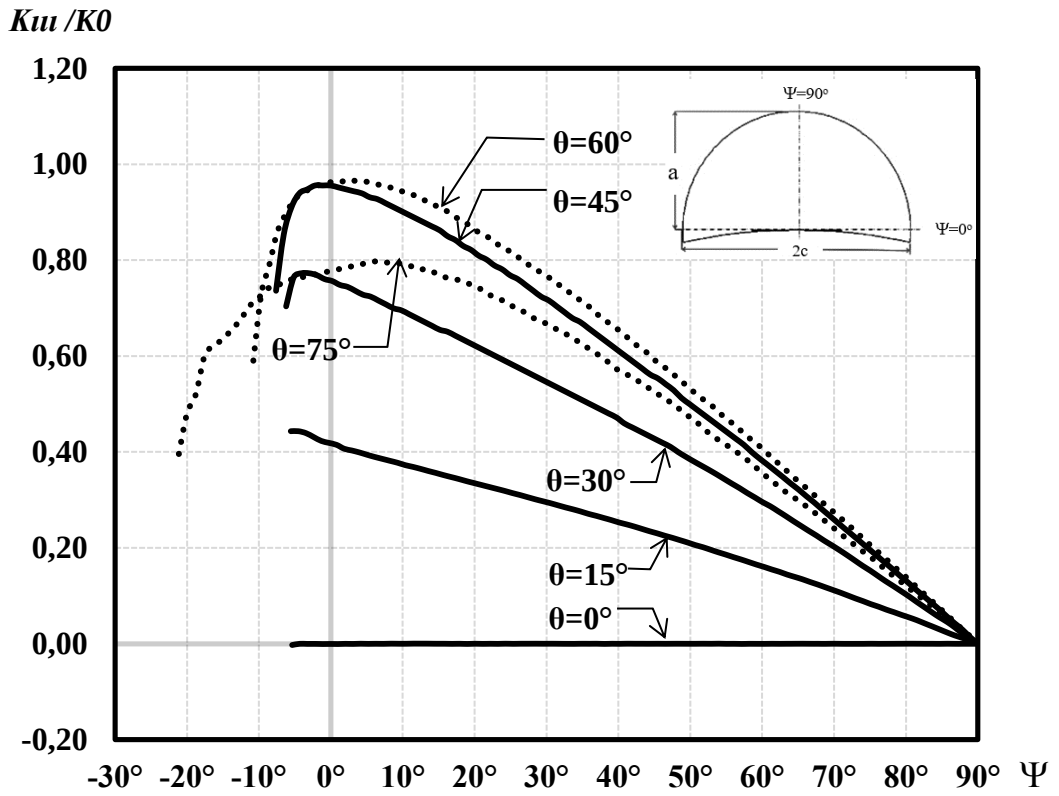
Şekil 3.238. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



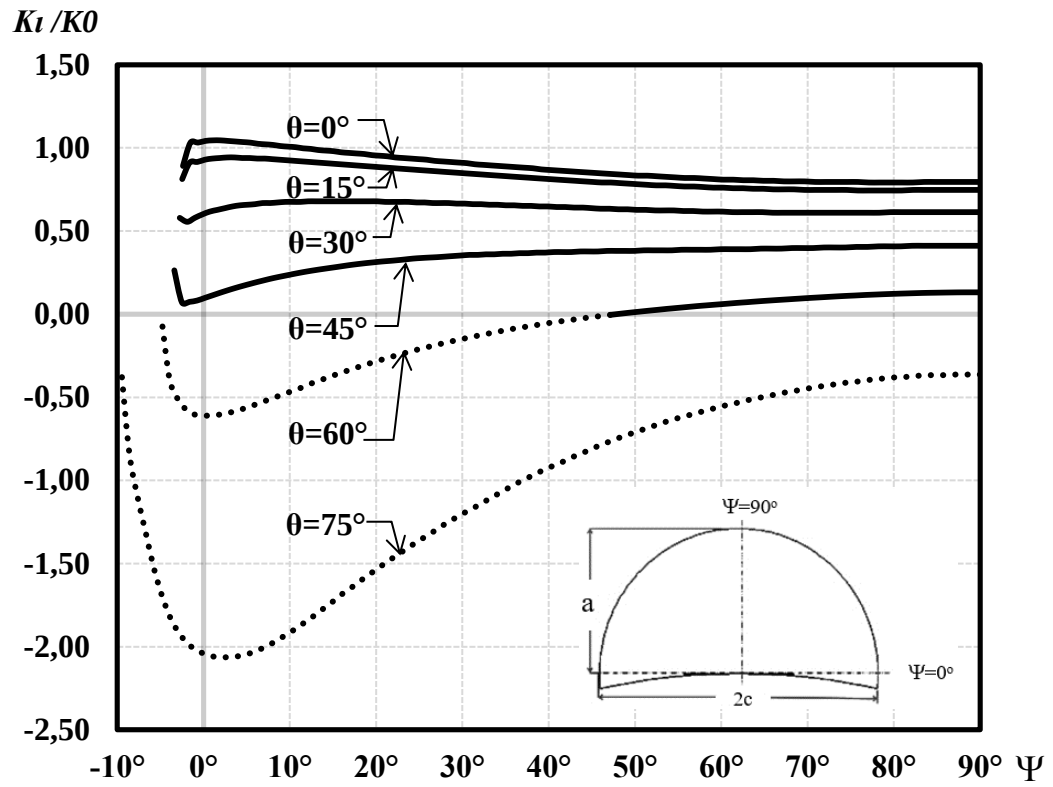
Şekil 3.239. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



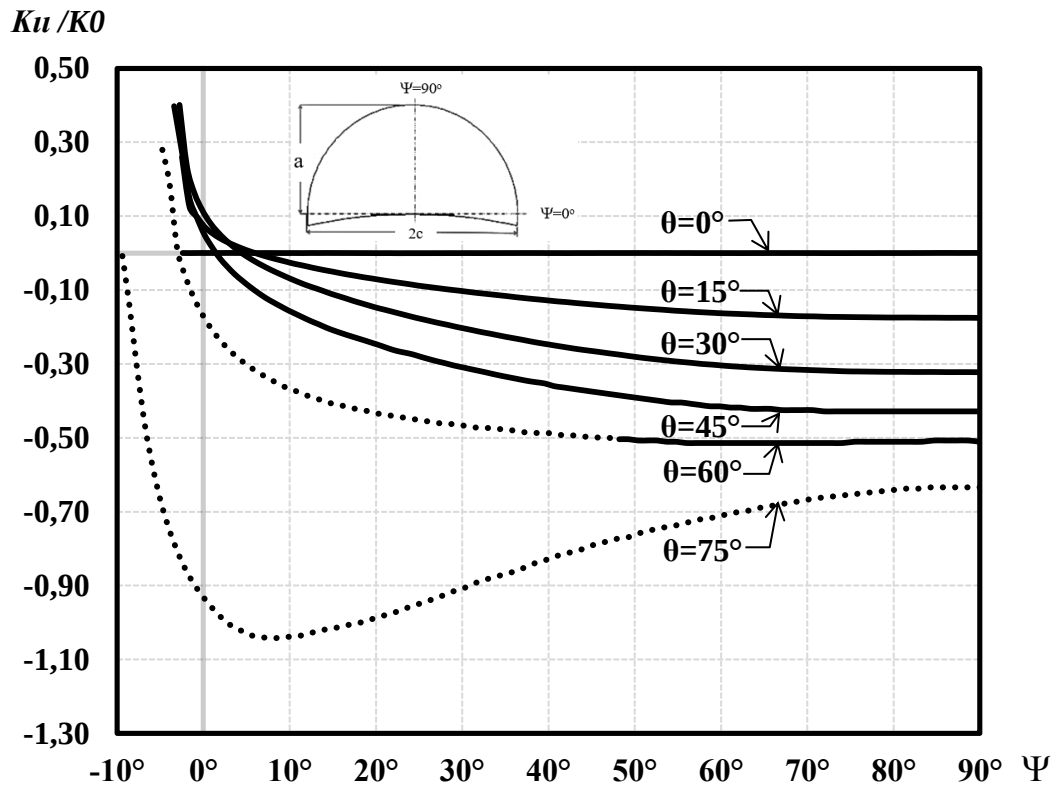
Şekil 3.240. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



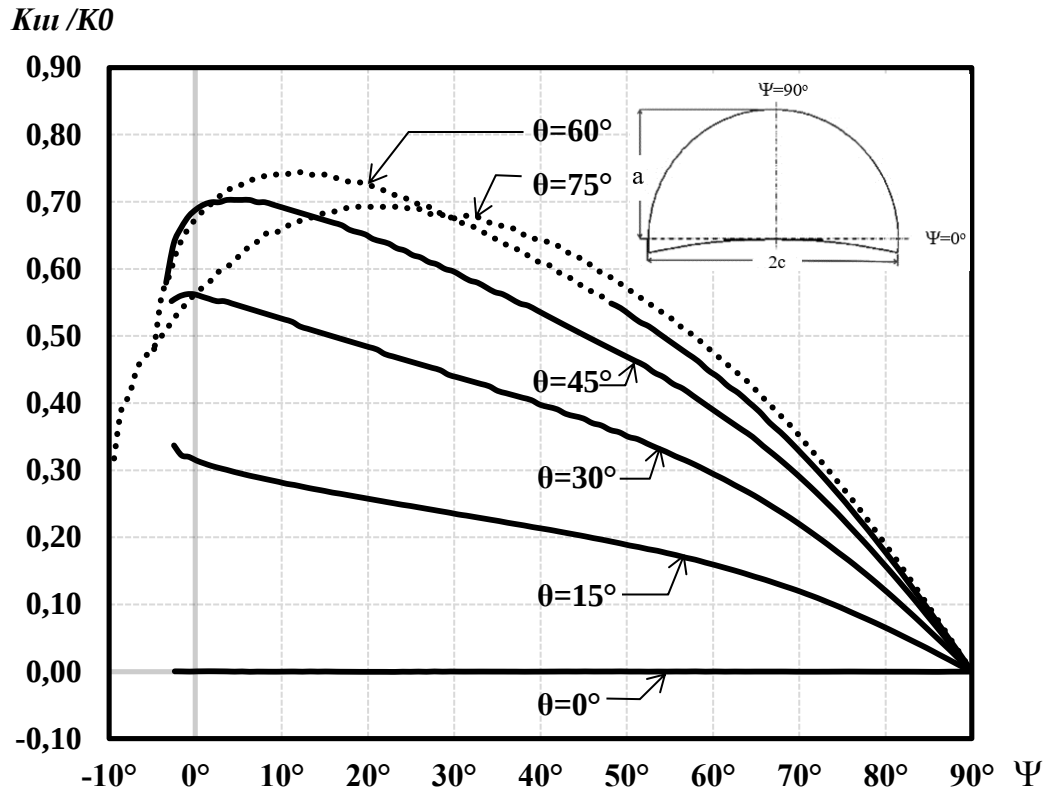
Şekil 3.241. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.242. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



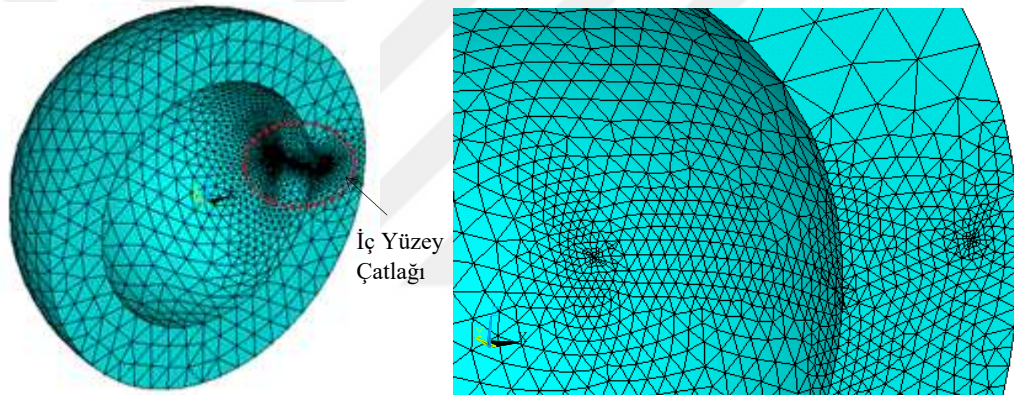
Şekil 3.243. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.244. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.8. İç Yüzey Çatlağı (Ro/Ri=1.50 Durumu)

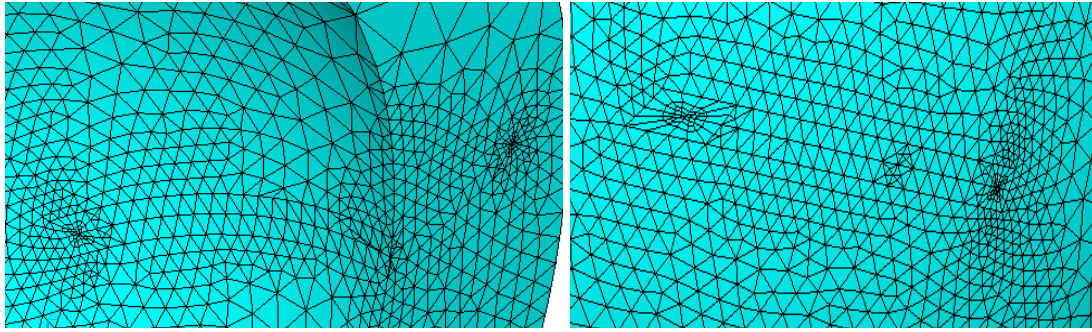
Diğer tüm kısımlardaki analizlere benzer şekilde bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 1.00 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. Ro/Ri oranının artması küresel hacmin ve çatlak boyutlarının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle dış çap/iç çap oranlarının (Ro/Ri) 1.1 ve 1.25 olduğu durumlara kıyasla bu kısımda kullanılan eleman sayısı daha fazladır. Bu kısımda yapılan analizlerin bazılarında çatlağın derinlik (c) boyu, kürenin iç çapından daha yüksektir. Bu durumu iç yüzeyde iki çatlak olması şeklinde yorumlayabiliriz. Bu duruma ait sonlu elemanlar modeli Şekil 3.246.'de ve analiz sonucu gerilme dağılımları Şekil 3.247.'de verilmiştir.



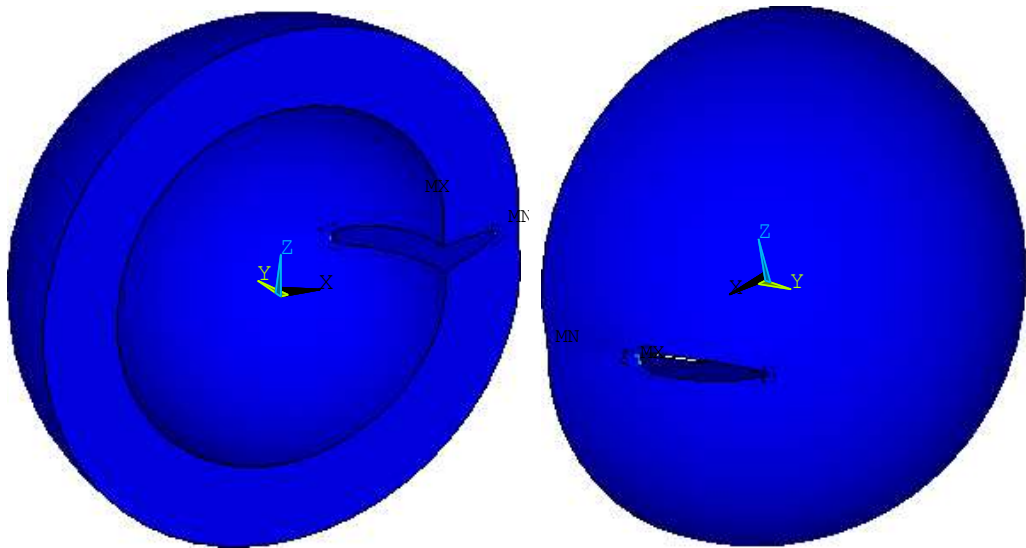
Şekil 3.245. $Ro/Ri=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.00$ 15 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

Dış çap/iç çap oranının (Ro/Ri) 1.50 olması durumunda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumları için diğer bir deyiş ile, sadece çatlağın iç veya dış yüzeylerde olması durumları karşılaştırıldığında çatlağın iç yüzeyde olması durumunda mod-I'de normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı yani et kalınlığının sabit olduğu durumda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranı arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Diğer parametreleri sabit tutup küresel yapıya ait dış çap/iç çap oranının (Ro/Ri) değişiminin etkisine bakacak olursak dış çap/iç çap oranının 1.50 olması durumunda, dış çap/iç çap oranının (Ro/Ri) 1.1 ve 1.25 olması duruma göre çatlak

derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.246. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 15 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey (solda) ve dış yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar modeli.



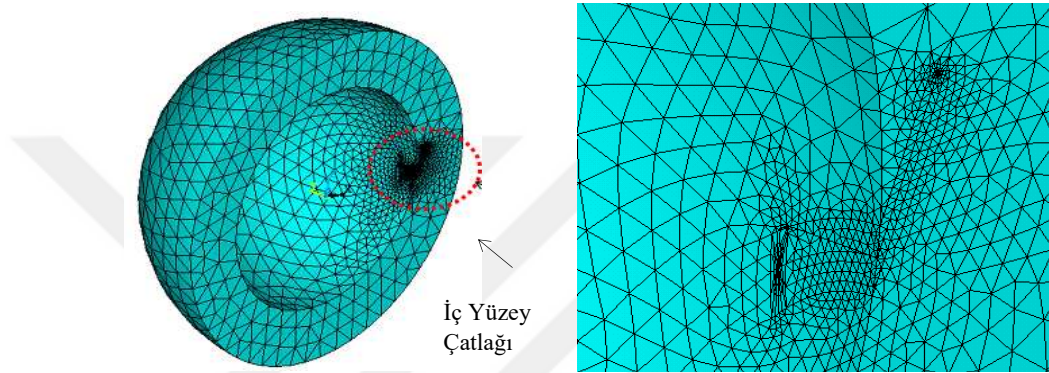
Şekil 3.247. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 15 derece çatlak açısı çatlağın iç yüzey (solda) ve dış yüzeydeki (sağda) analiz sonucuna göre gerilme dağılımları.

Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktöründe artmasını gerektirecektir. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de diğer kısımlarda da olduğu gibi artmıştır. Elde edilen grafikler yorumlandığında açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı görülmüştür. Diğer parametreleri

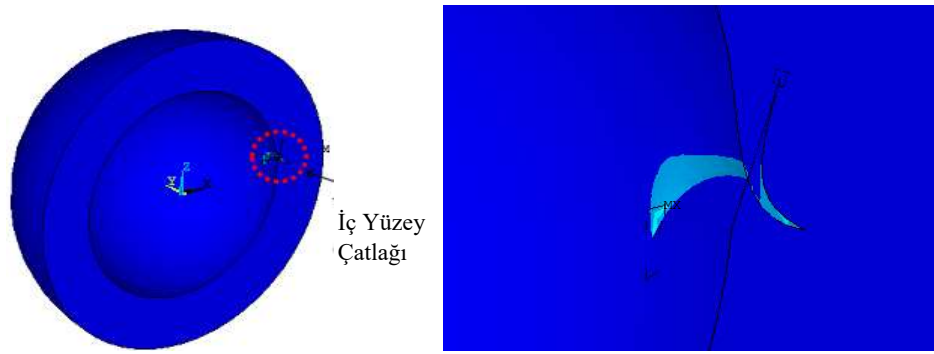
sabit tuttuğumuzda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlağın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) oranının arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması durumunda normalize edilmiş mod-II ve mod-III gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir değiş ile, bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda da görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Kayma moduna (mod-II) bakacak olursak normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin en yüksek değeri negatif bölgede 75 derecede aldığı görülmüştür. Kayma modu (mod-II) için çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) sabit olduğu durumlarda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalizde edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede artmaktadır. İç yüzeyde çatlak olması durumu dış yüzeyde çatlak olması durumuna göre daha güvenli bir durumdur. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açı 45 derece ve üstü duruma geldiğinde bu kısım için açılma modunda (mod-I) normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede görülmektedir. Bu duruma ait normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Fiziksel bir sonuç olarak kabul edemeyeceğimiz bu durum çatlağın mevcut yükleme koşullarında açılmadığı anlamına gelir. Bu duruma ait bir analizin sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımı Şekil 3.249.'de verilmiştir. Normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri dış yüzeyle kıyaslandığında iç yüzeyde bir miktar artma olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.272. incelenecek olursa $R_o/R_i=1.5$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.273.

'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değerin negatif bölgede 75 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede arttığı görülmüştür. Şekil 3.274. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte negatif

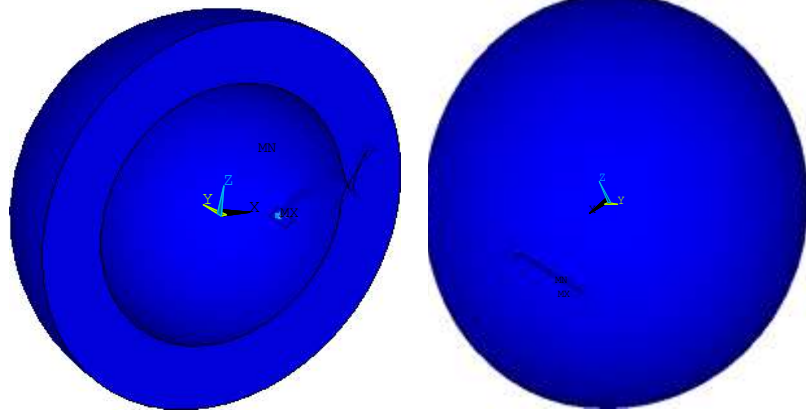
bölgede en yüksek değeri 75 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil (3.251.-3.289.)’de verilmektedir. Grafikle başlangıç açılarında görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



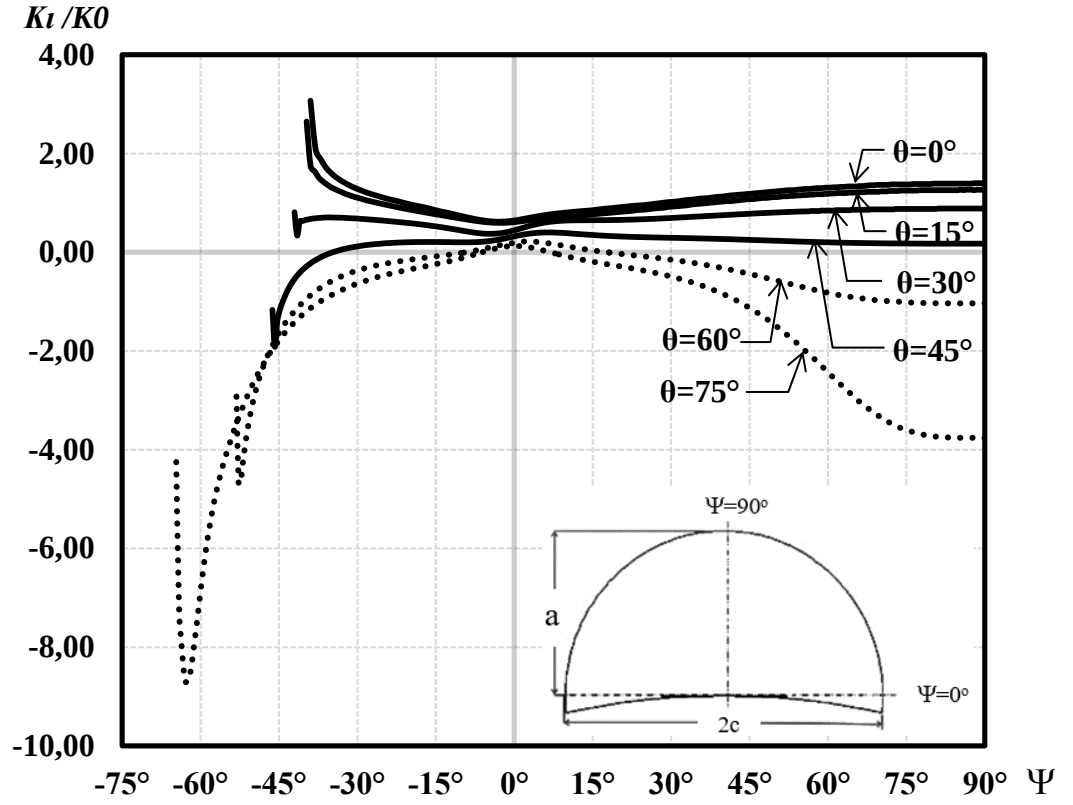
Şekil 3.248. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.



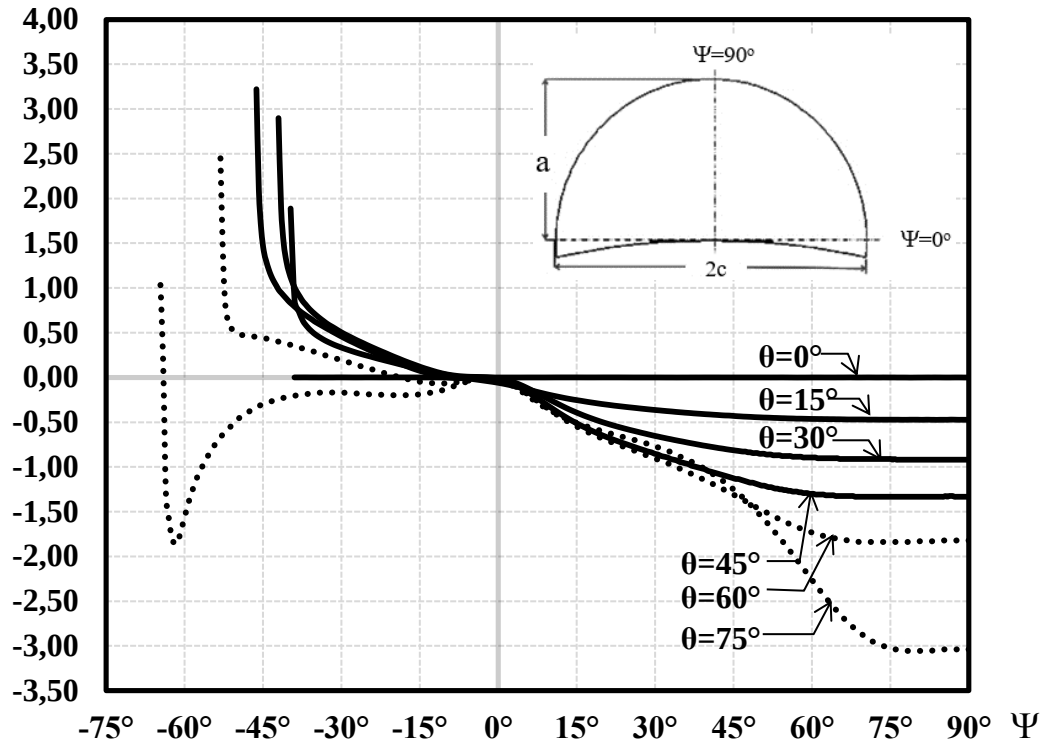
Şekil 3.249. $R_o/R_i=1.25$, $a/t=0.75$ ve $a/c=1.50$ 75 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları.



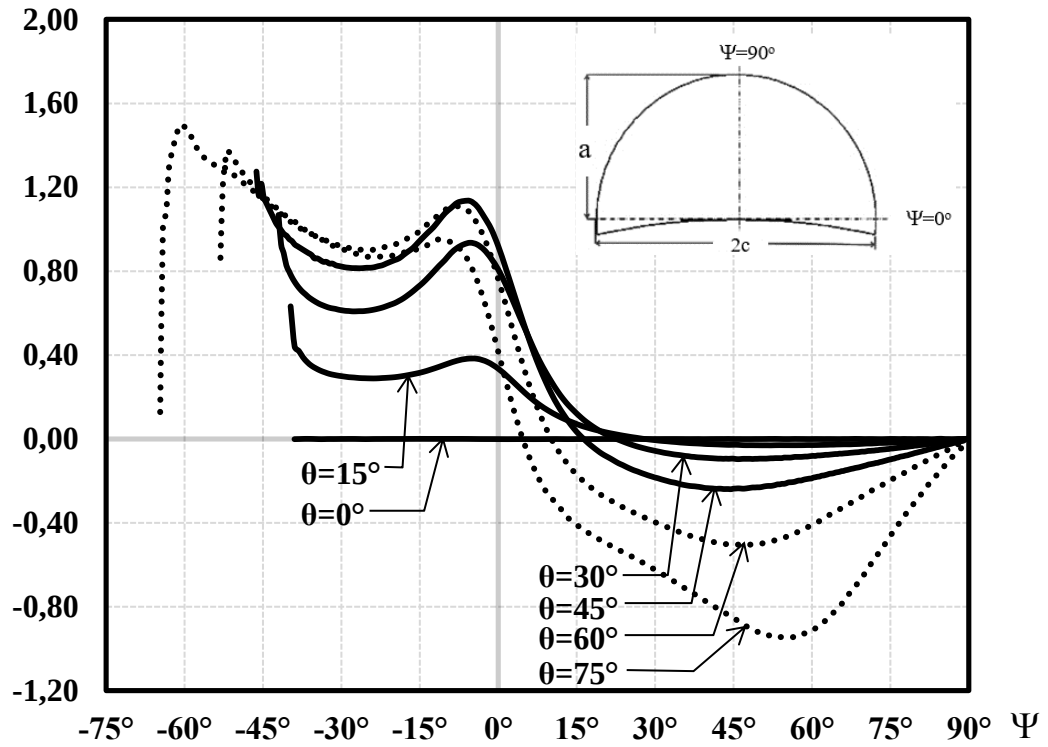
Şekil 3.250. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 75 derece çatlak açısı çatlakların iç yüzey (solda) ve iç yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları.



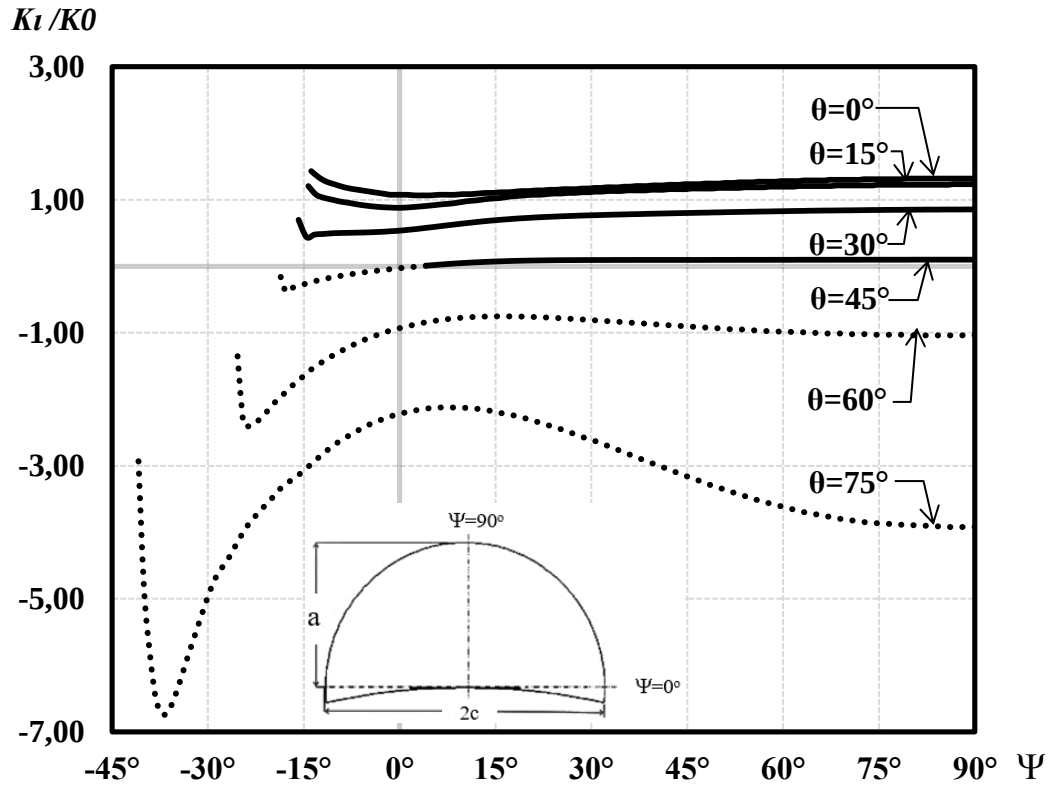
Şekil 3.251. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


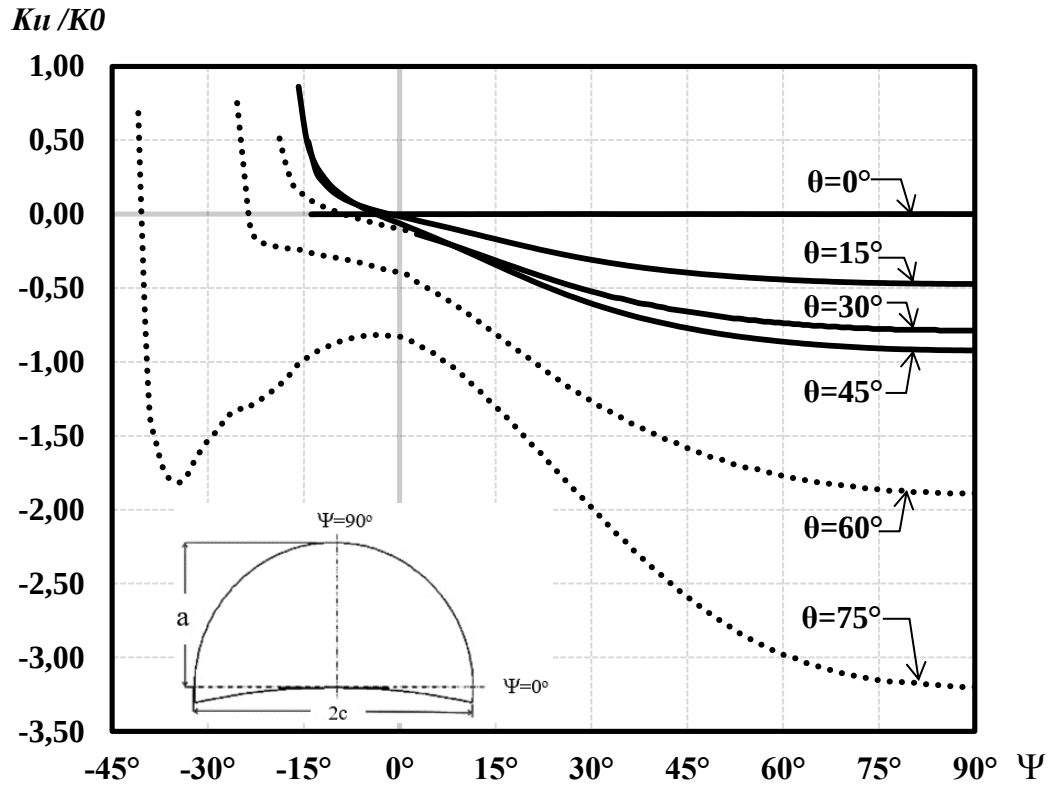
Şekil 3.252. $Ro/Ri=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$


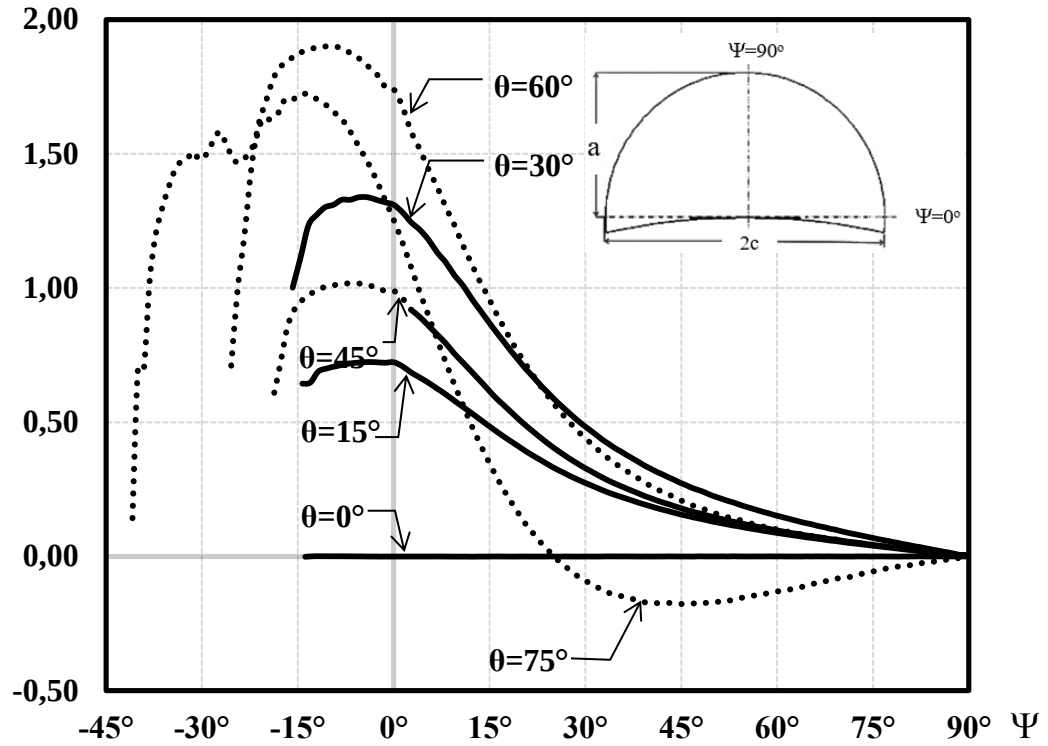
Şekil 3.253. $Ro/Ri=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



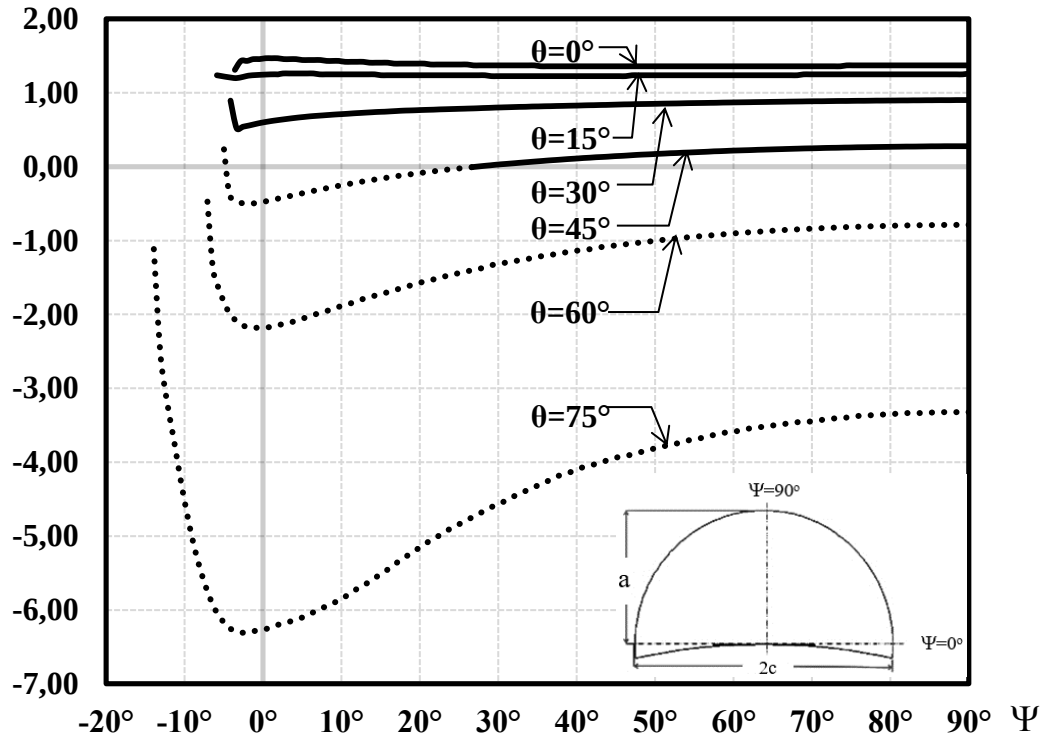
Şekil 3.254. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



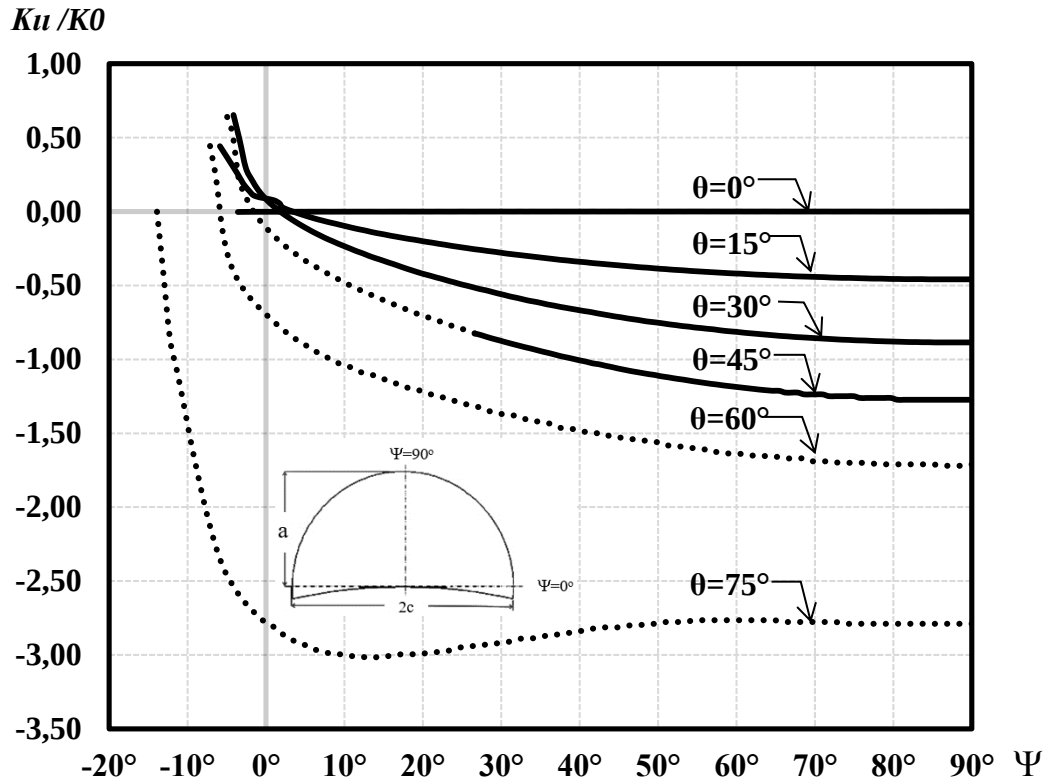
Şekil 3.255. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


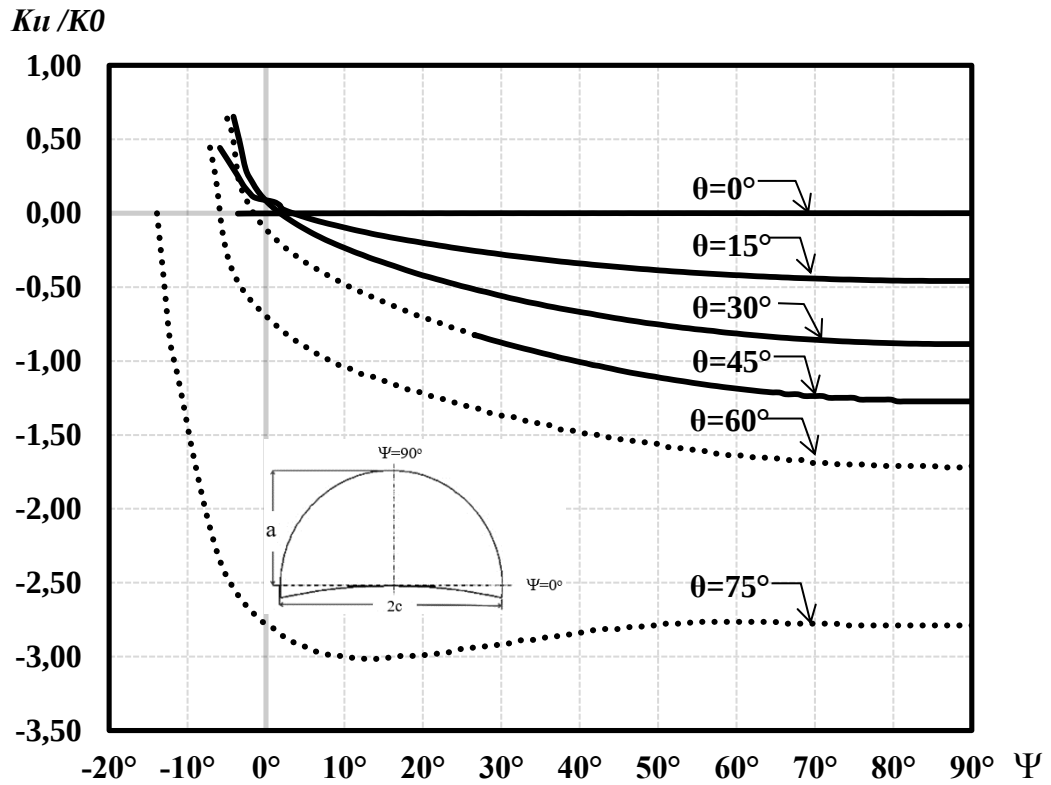
Şekil 3.256. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


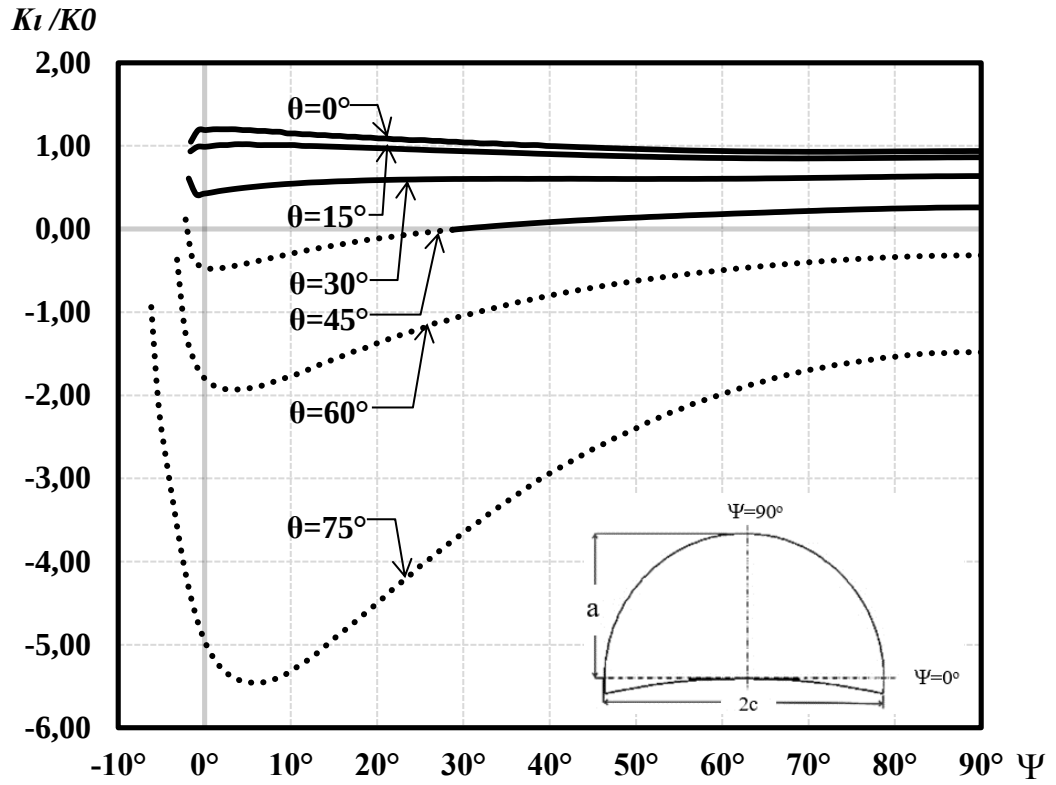
Şekil 3.257. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



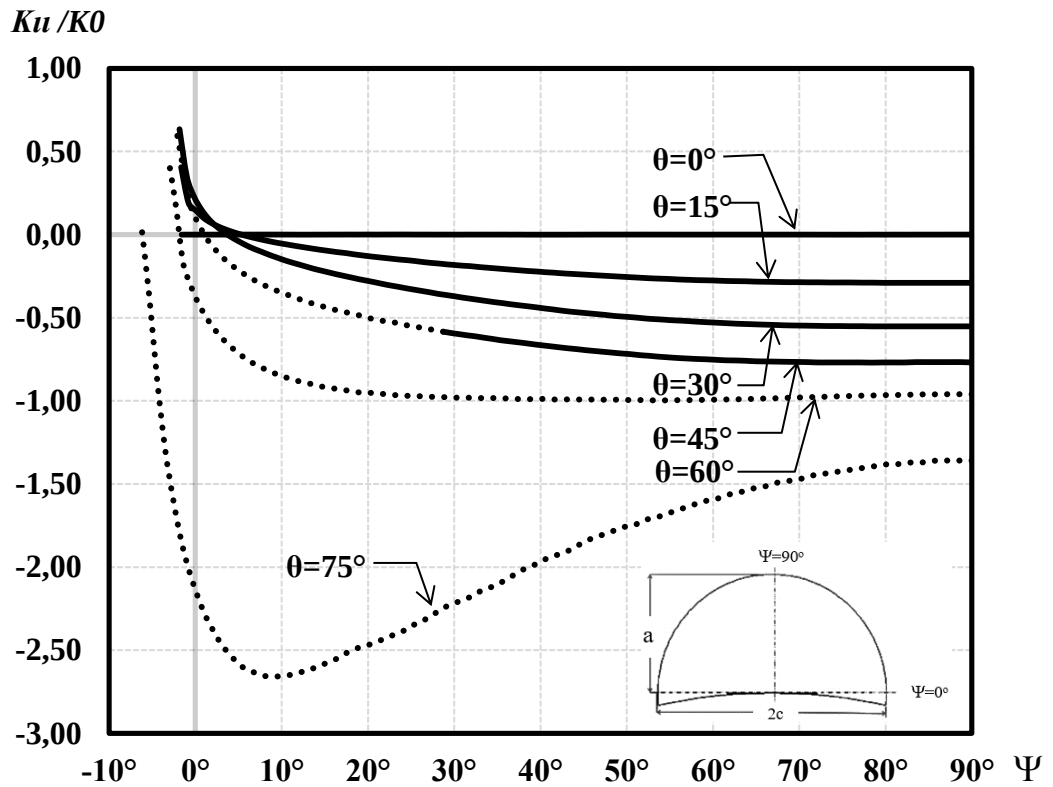
Şekil 3.258. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



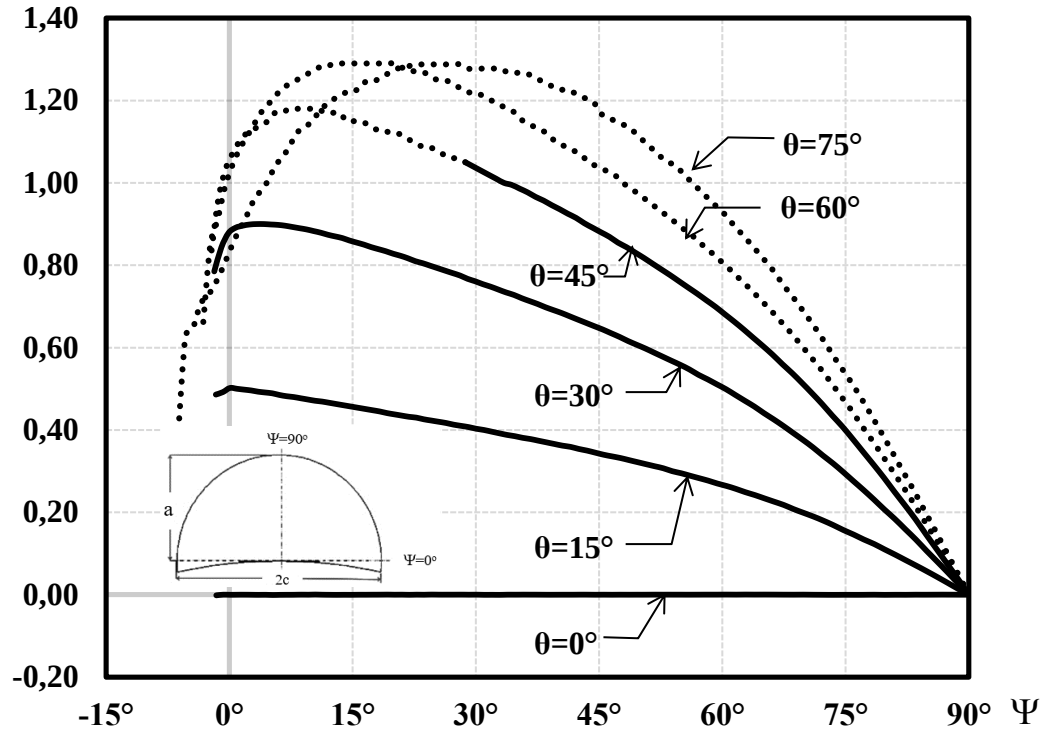
Şekil 3.259. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



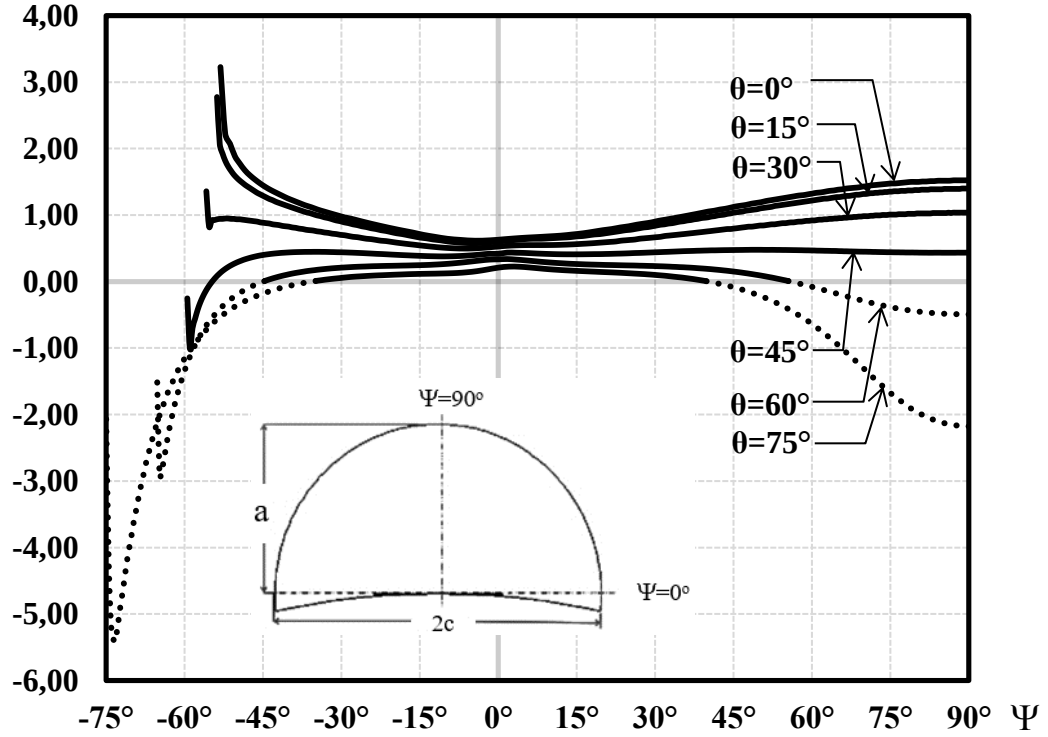
Şekil 3.260. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



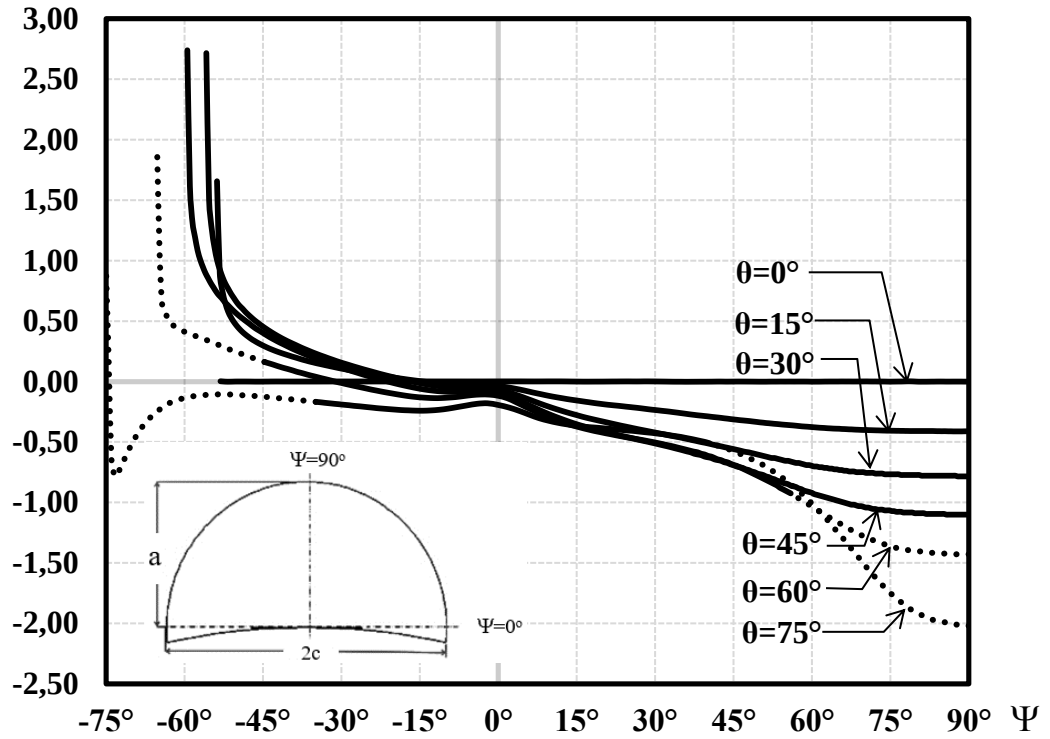
Şekil 3.261. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III}/K_0


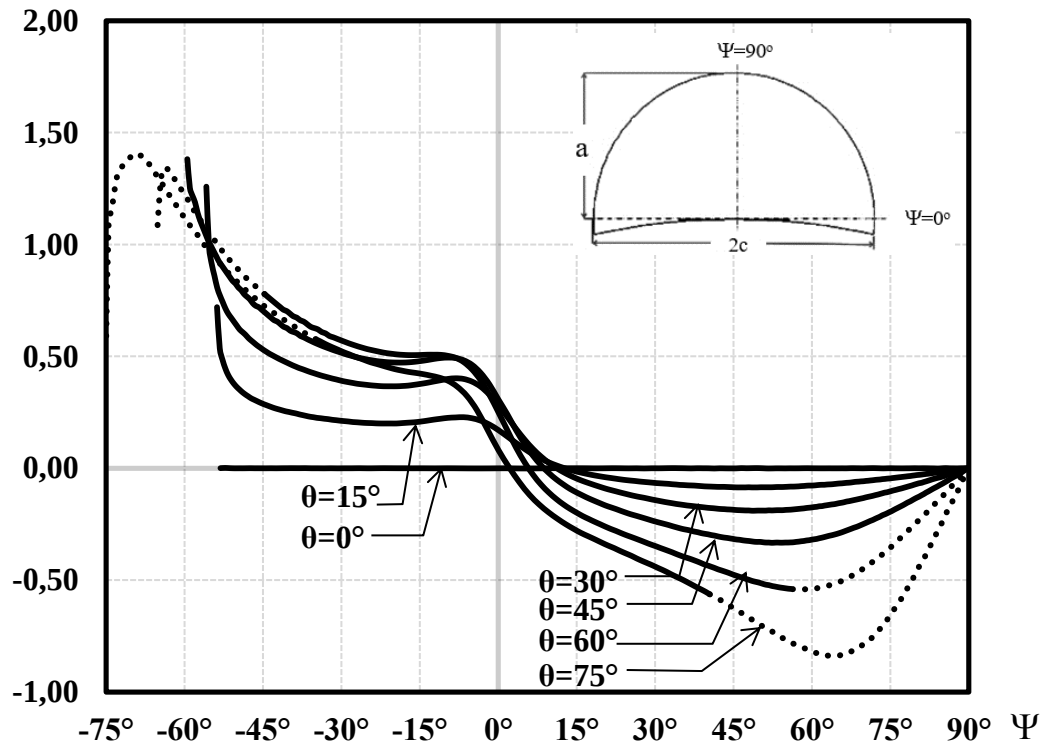
Şekil 3.262. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I/K_0


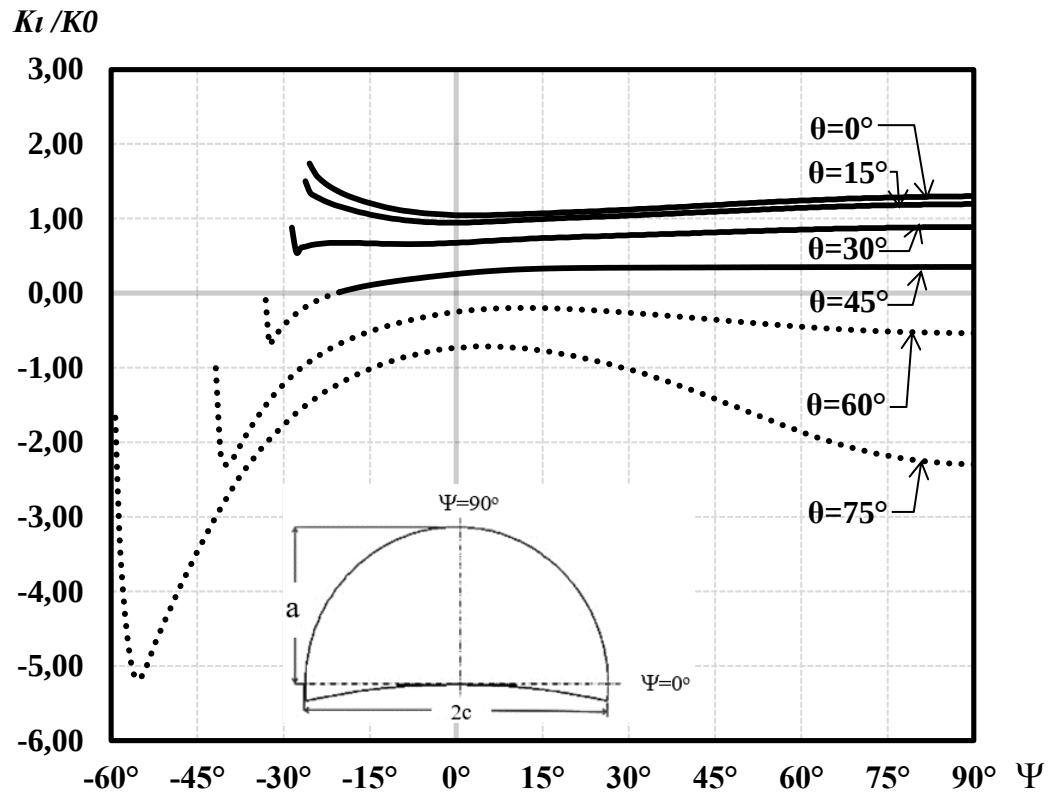
Şekil 3.263. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


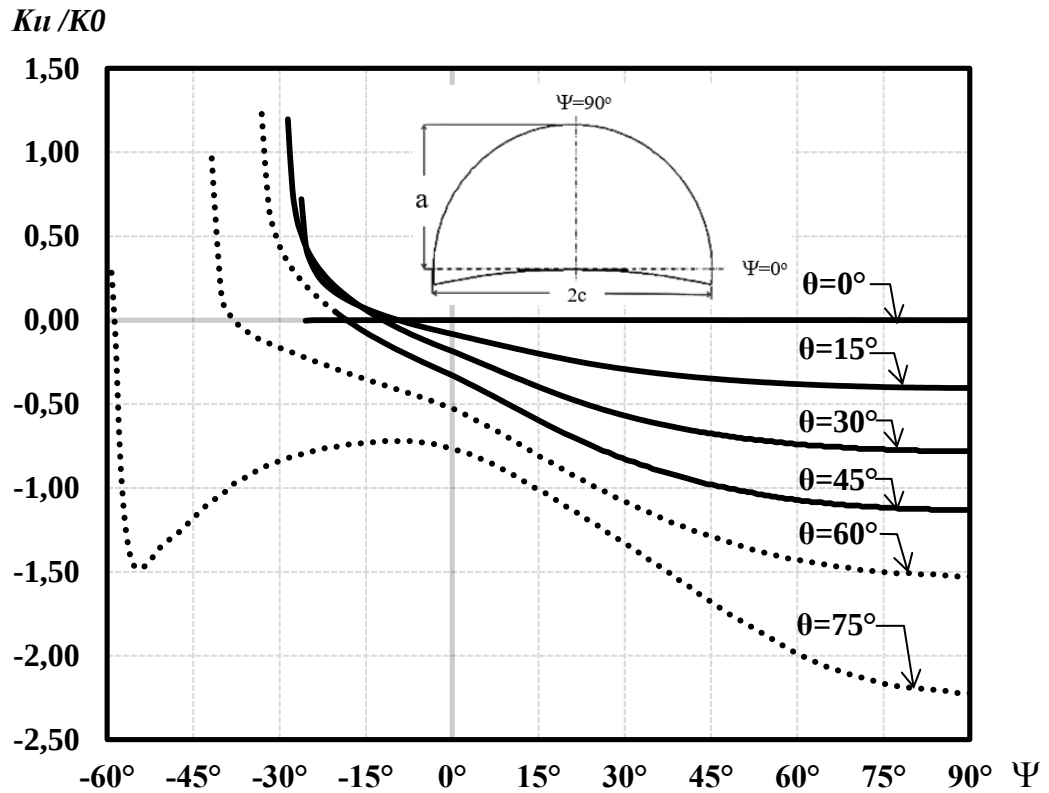
Şekil 3.264. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


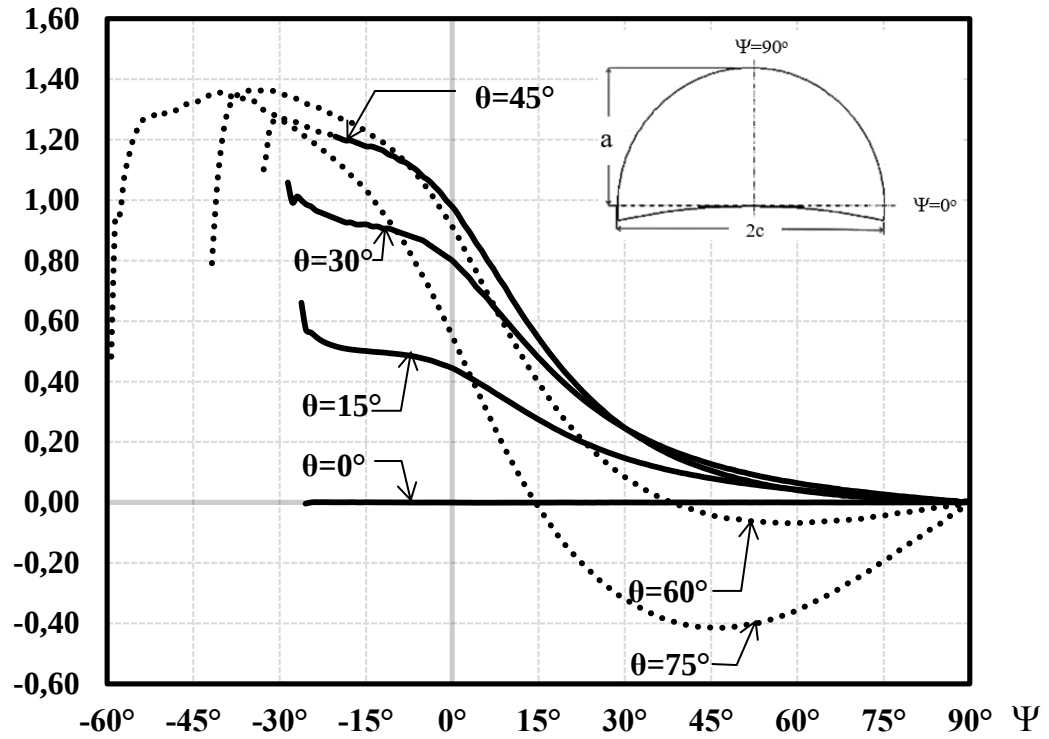
Şekil 3.265. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



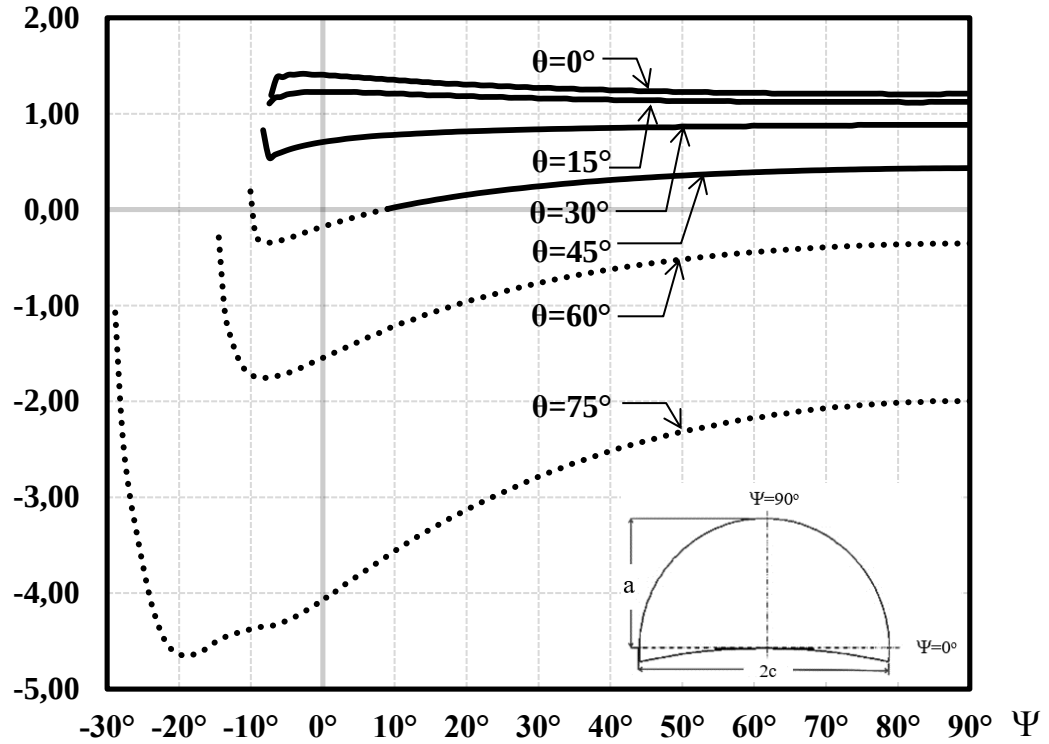
Şekil 3.266. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



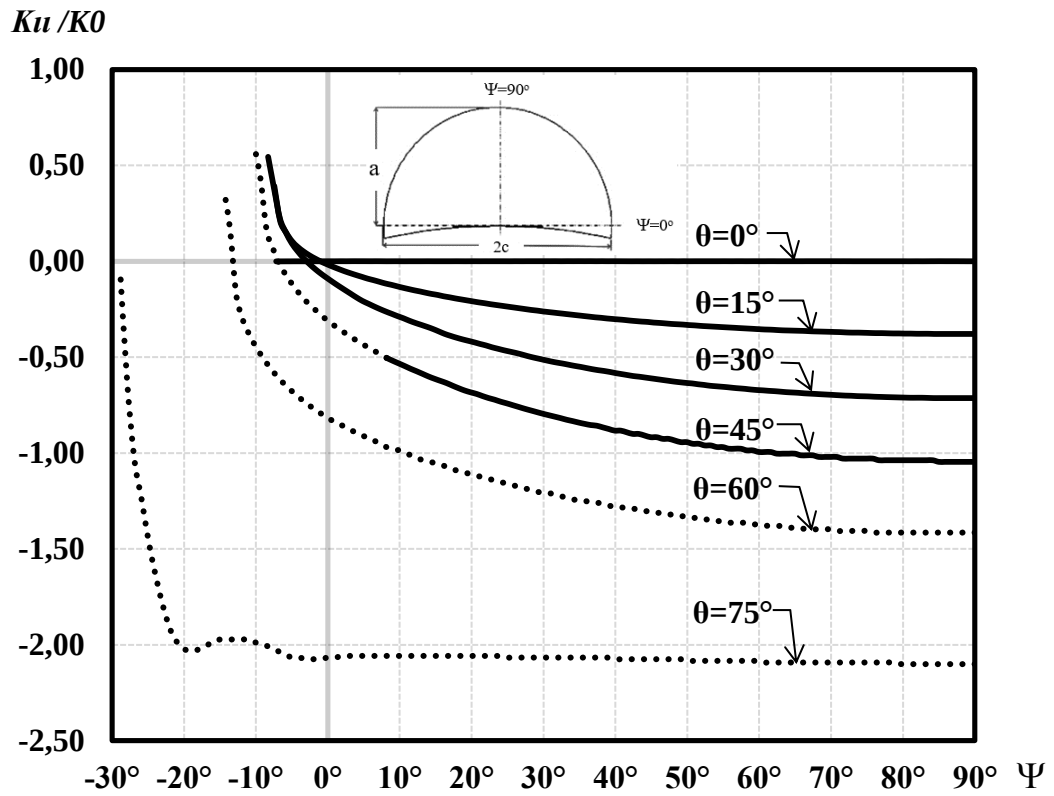
Şekil 3.267. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II} / K_0


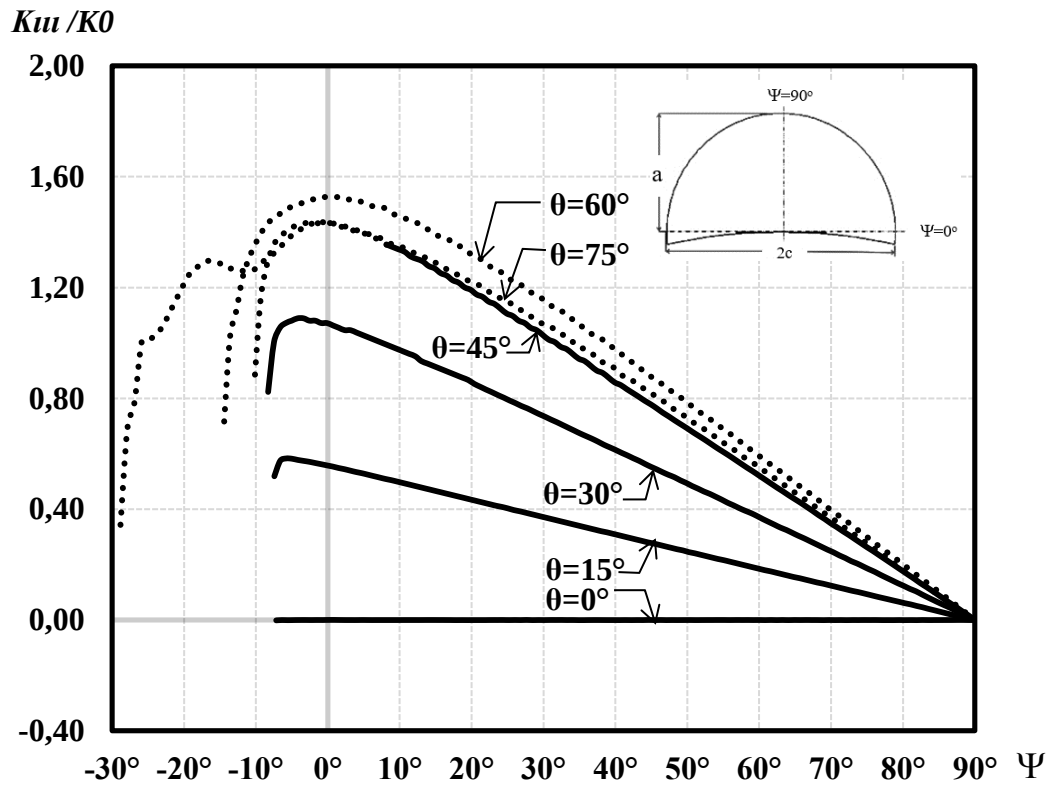
Şekil 3.268. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


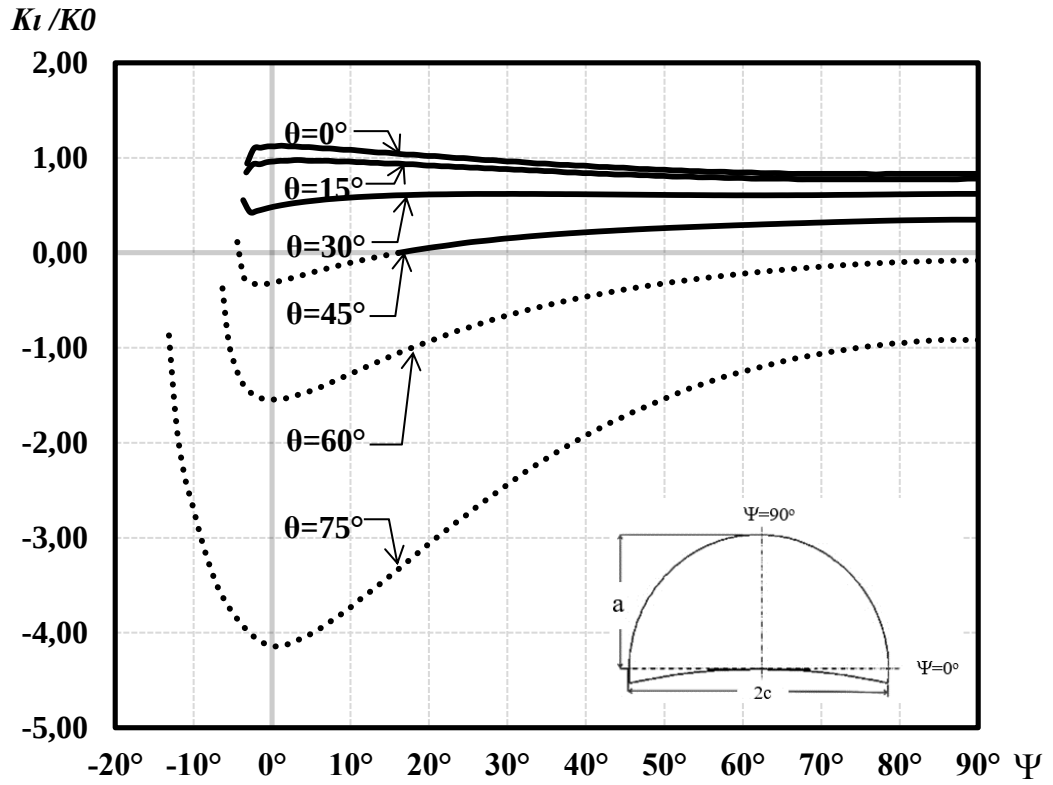
Şekil 3.269. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



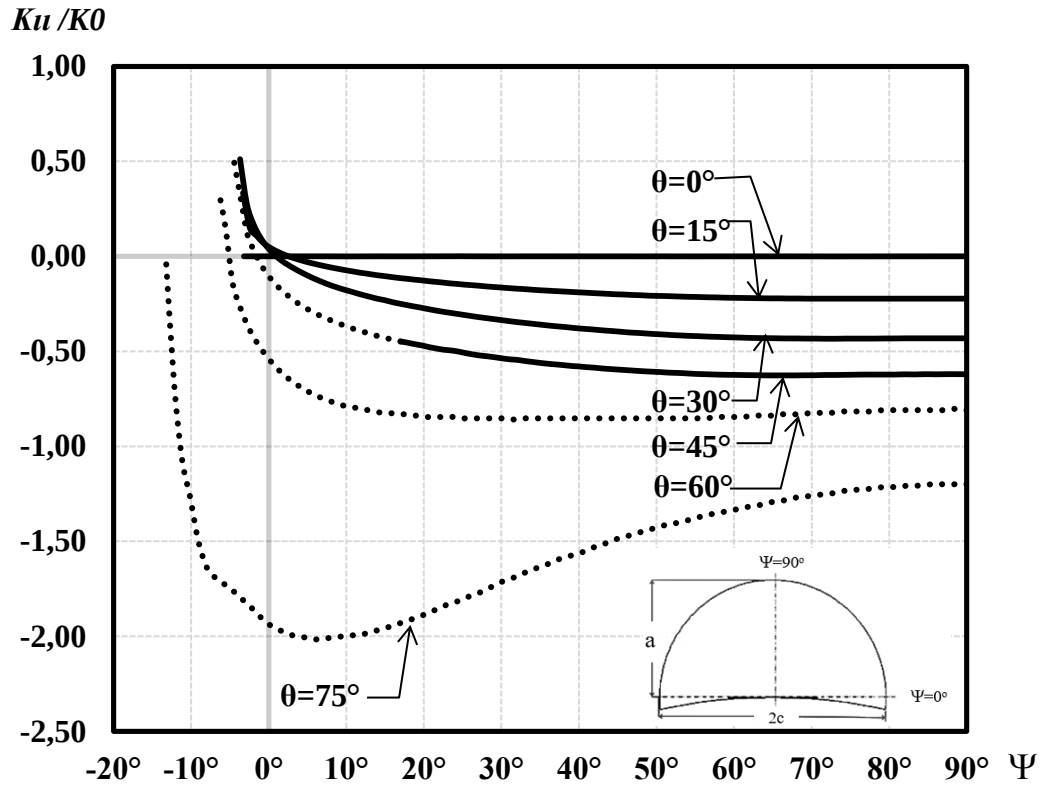
Şekil 3.270. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



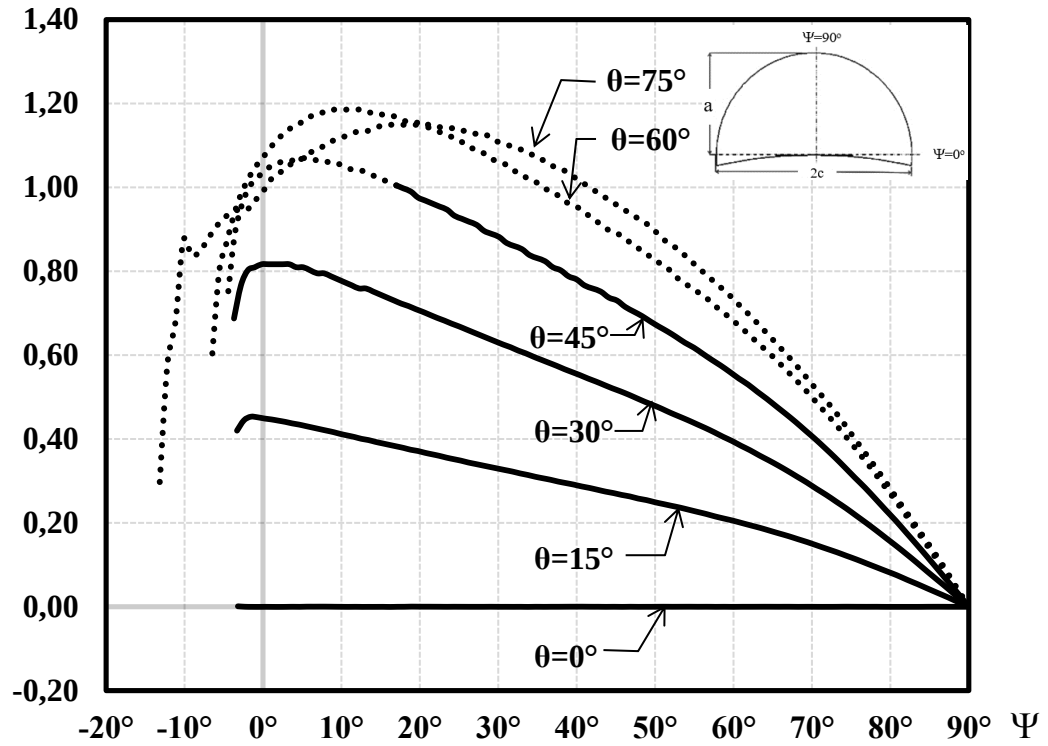
Şekil 3.271. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



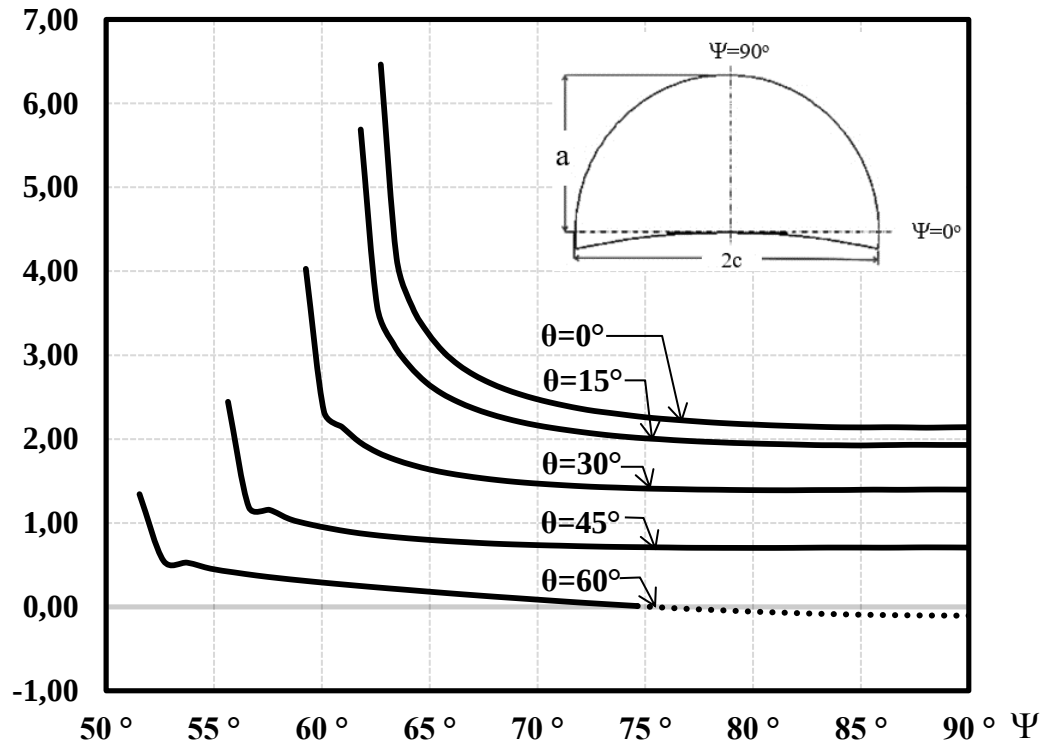
Şekil 3.272. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



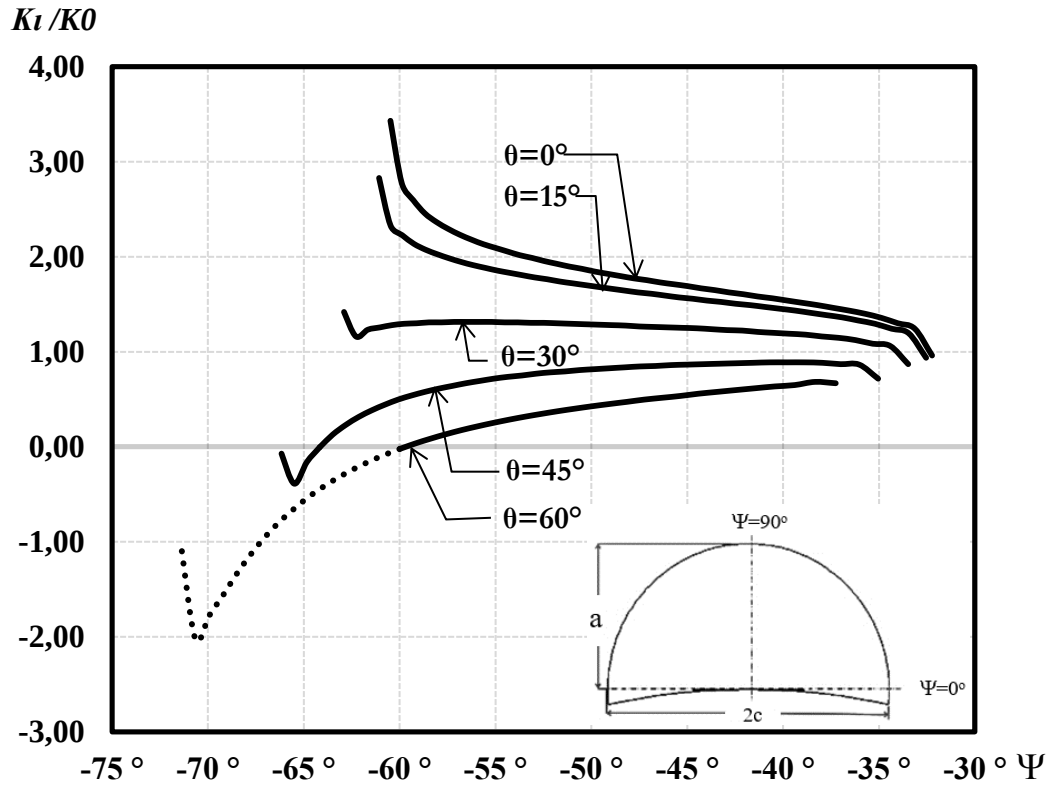
Şekil 3.273. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III}/K_0 

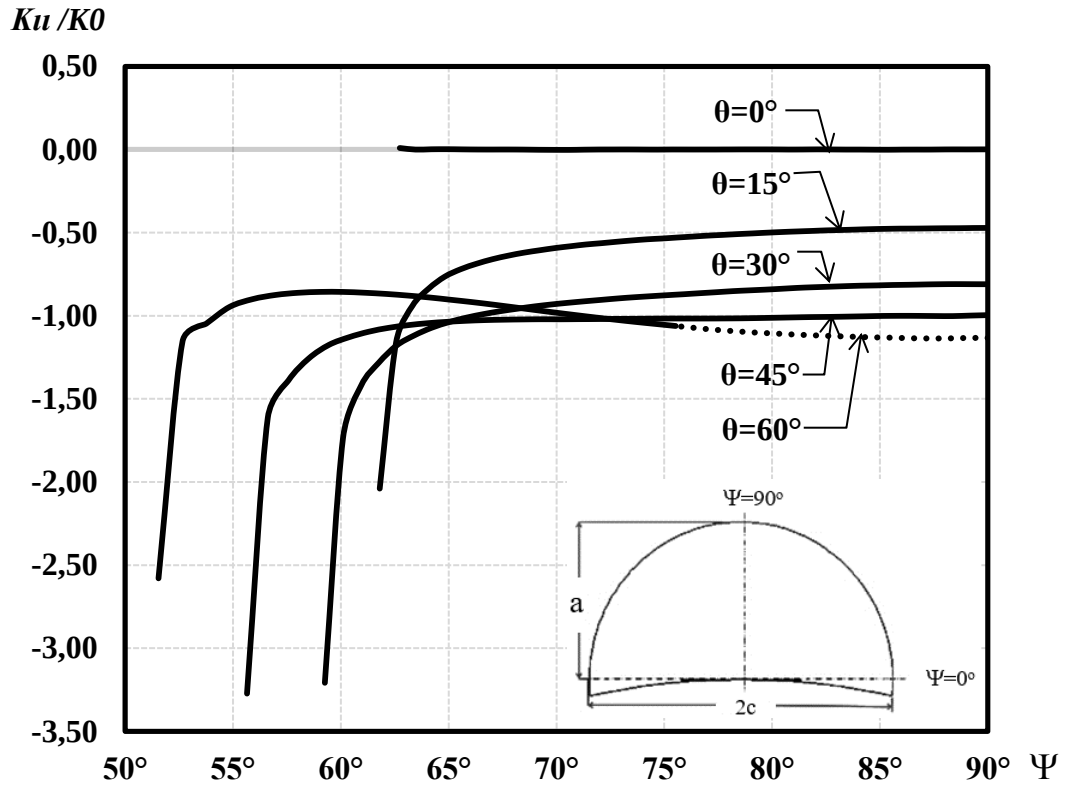
Şekil 3.274. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I/K_0 

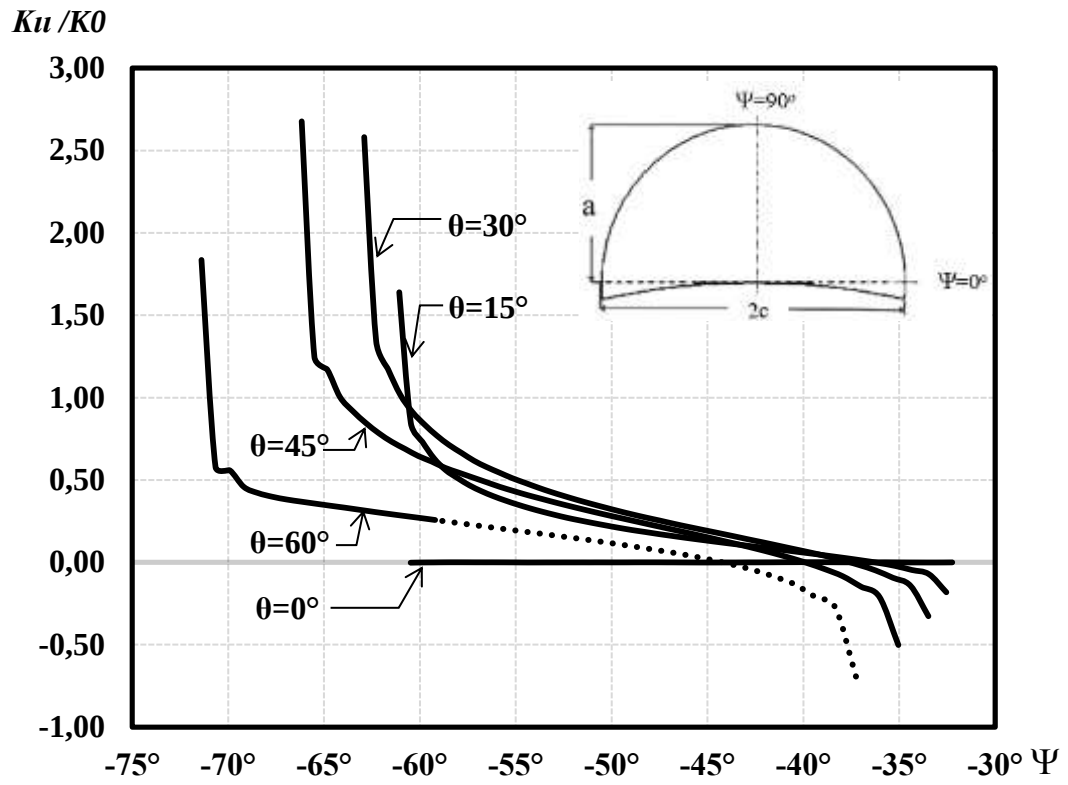
Şekil 3.275. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



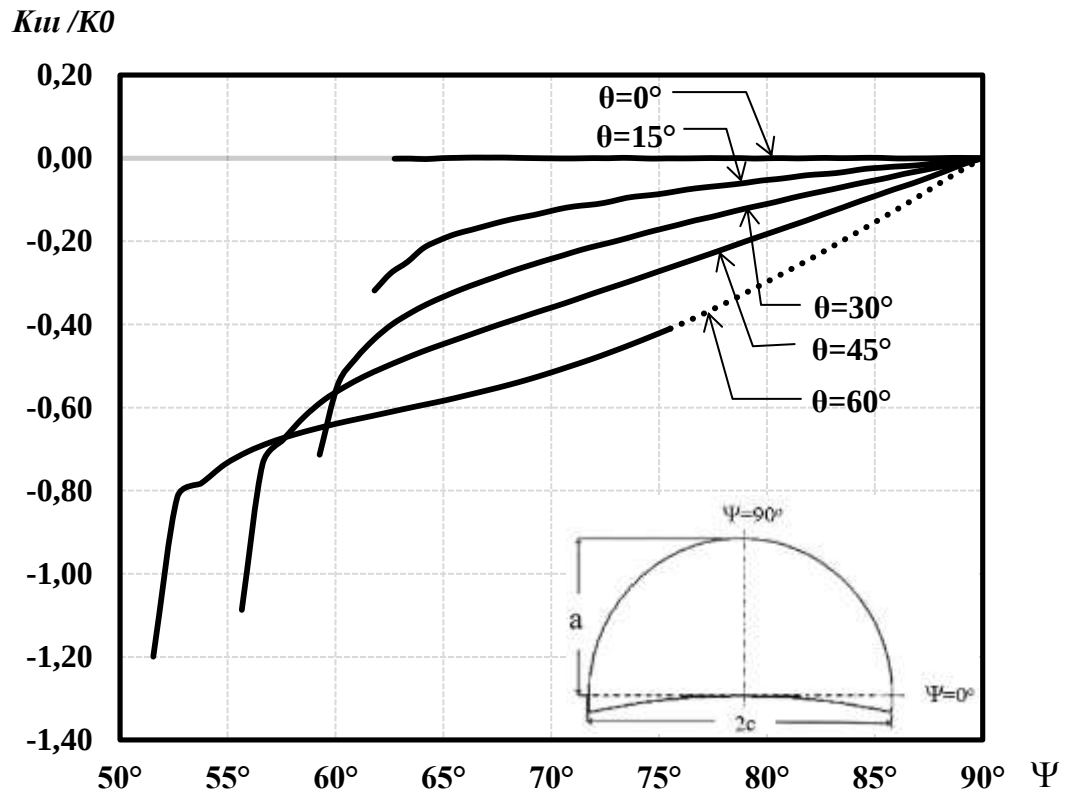
Şekil 3.276. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



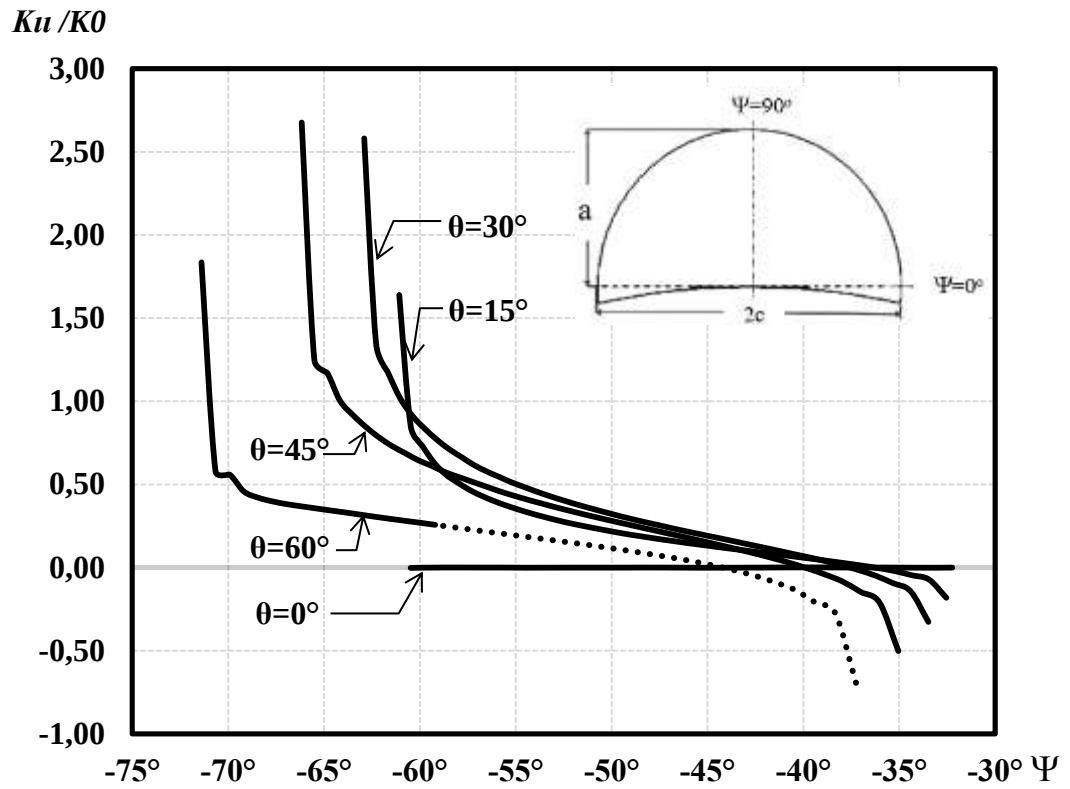
Şekil 3.277. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



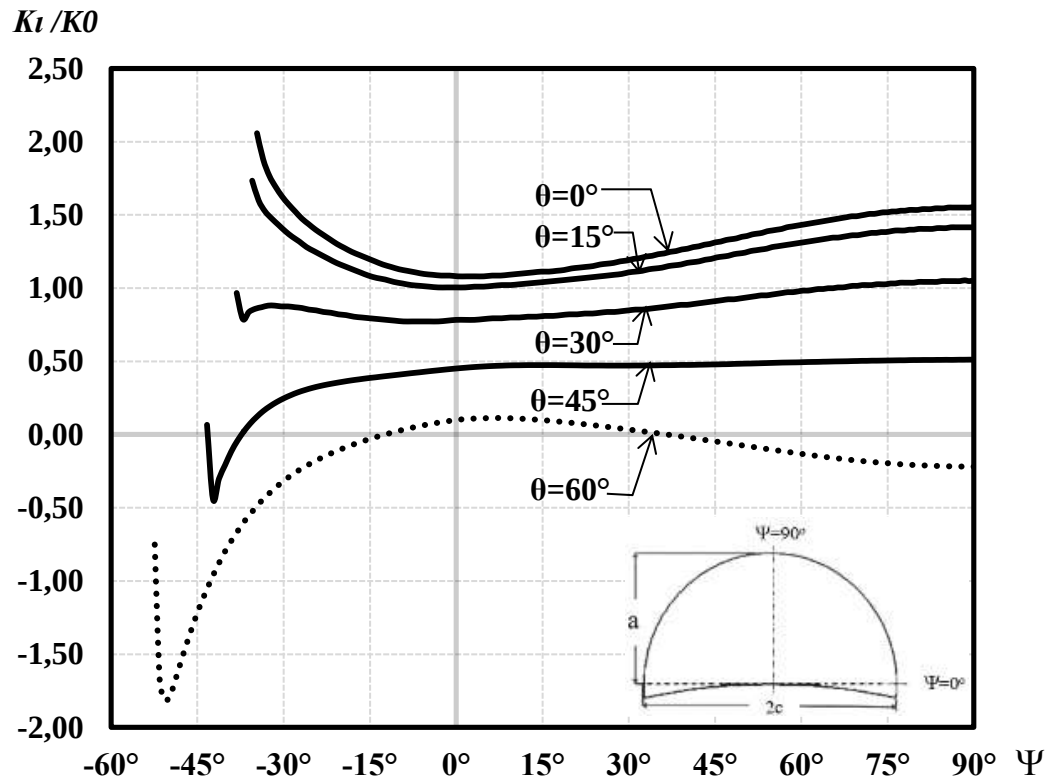
Şekil 3.278. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



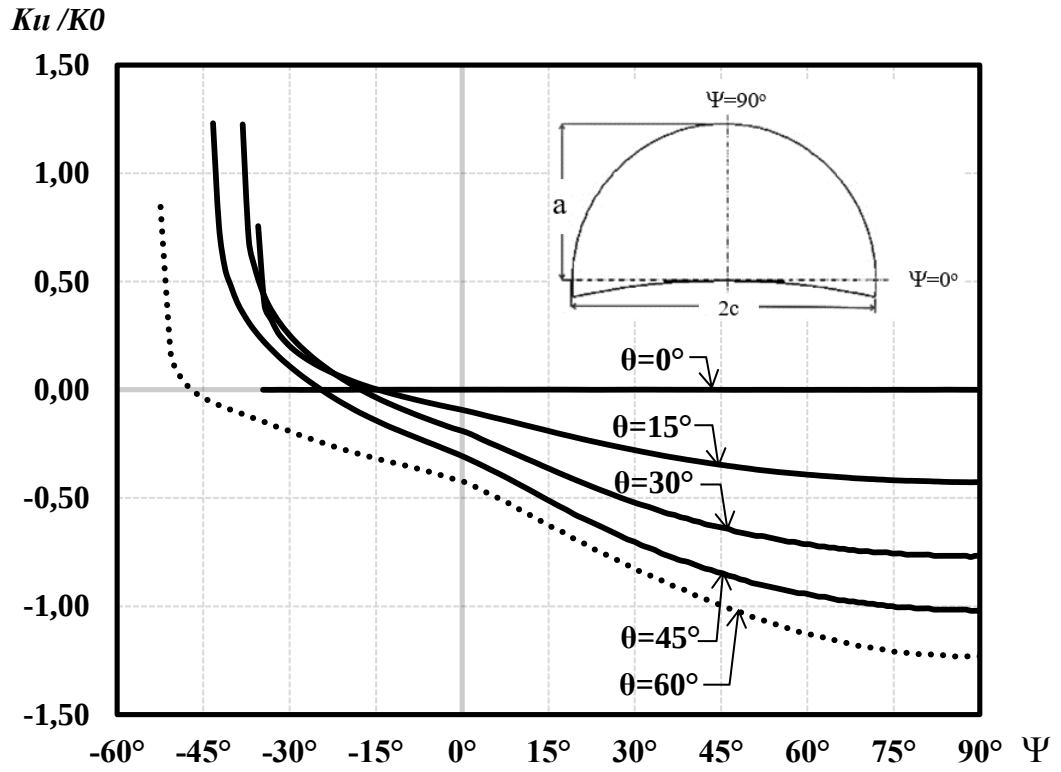
Şekil 3.279. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



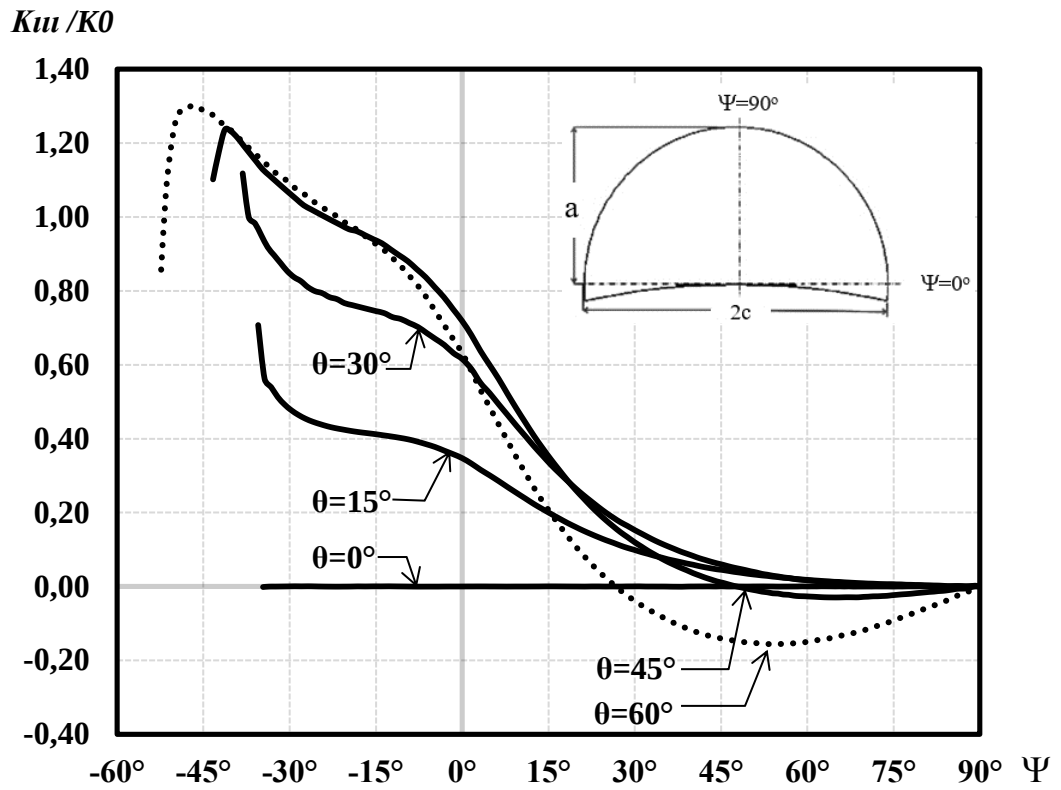
Şekil 3.280. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



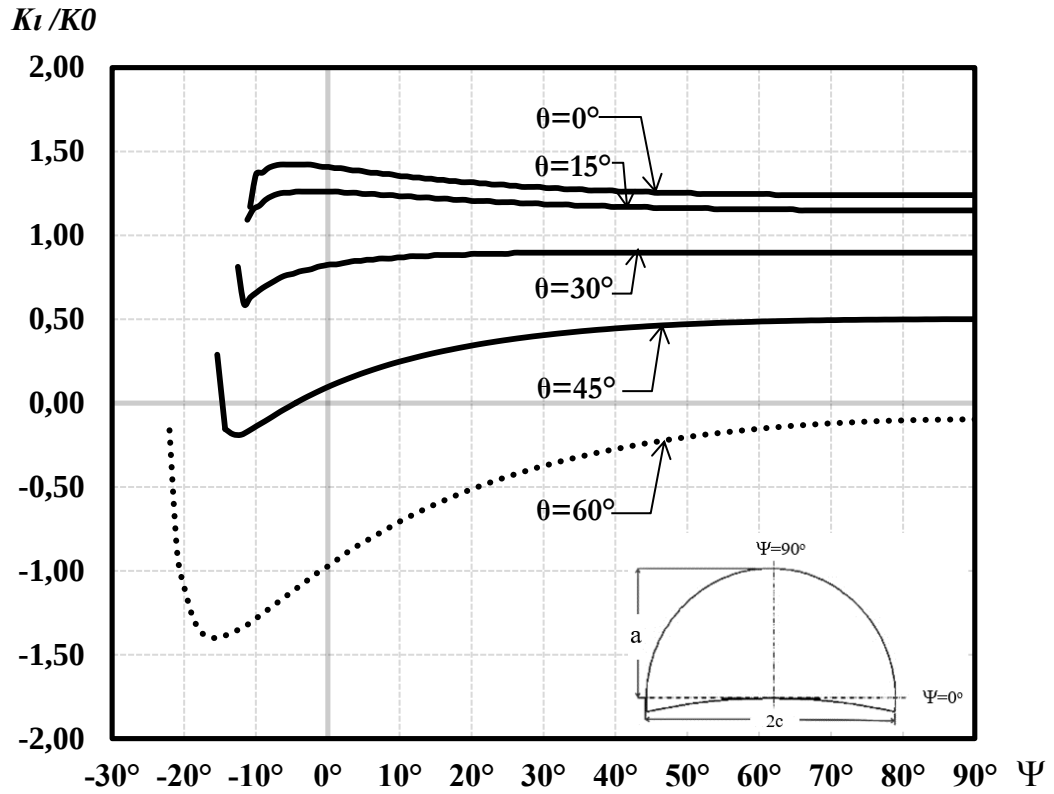
Şekil 3.281. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



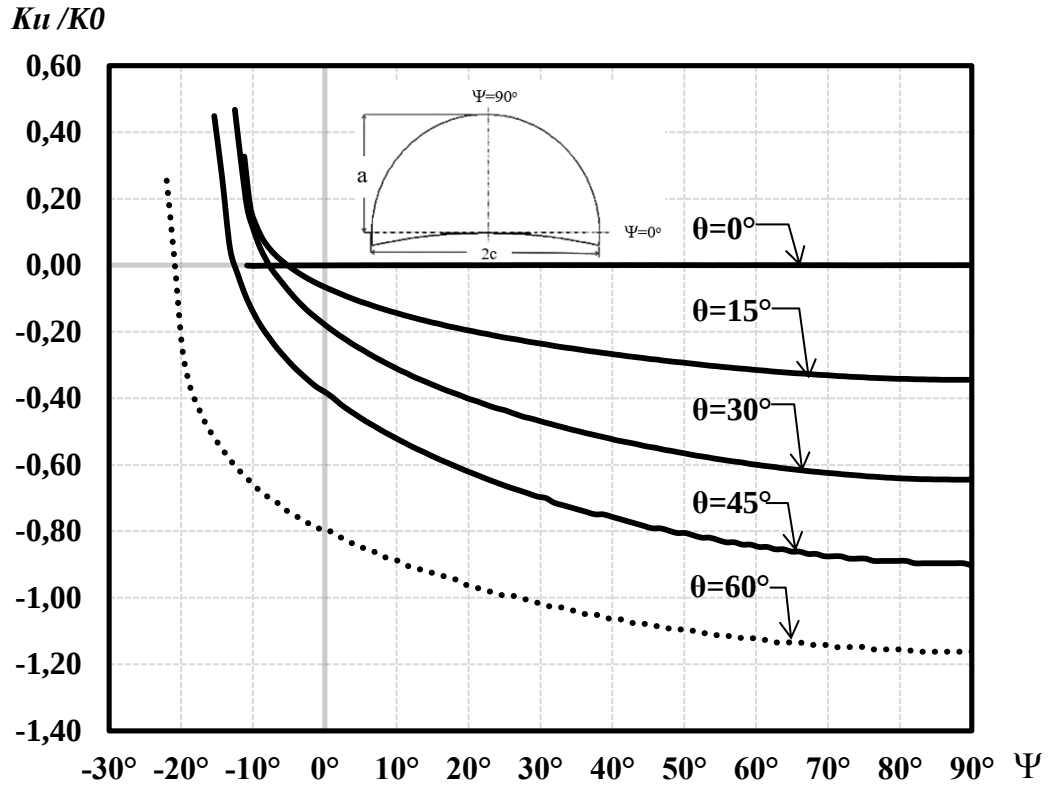
Şekil 3.282. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



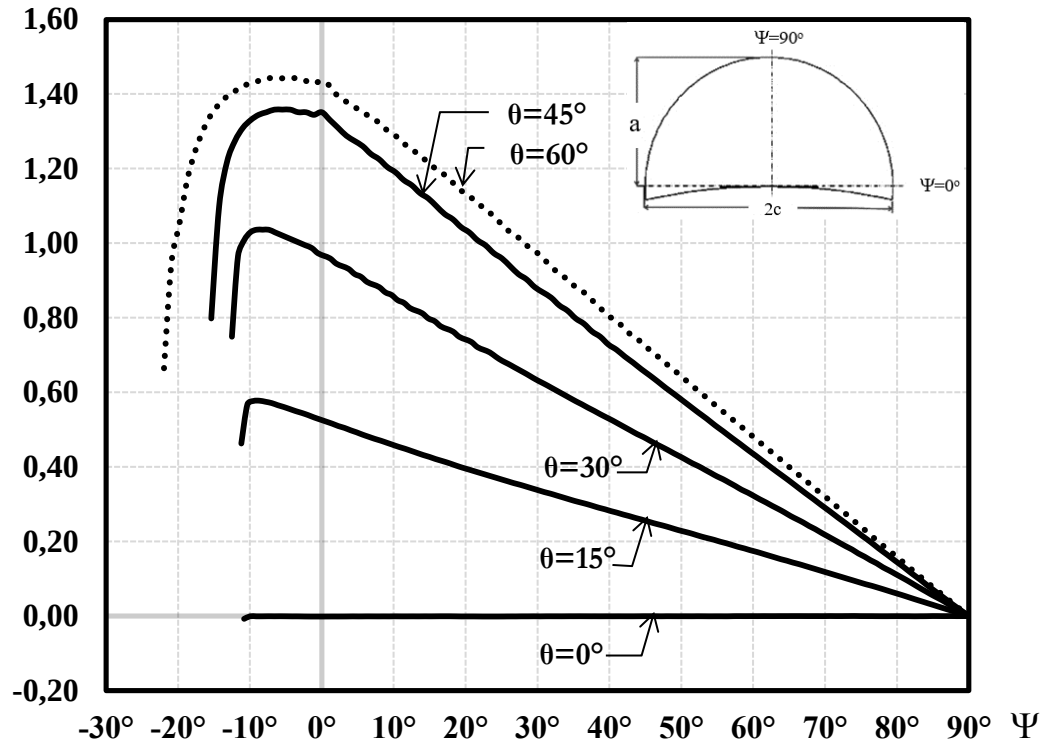
Şekil 3.283. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



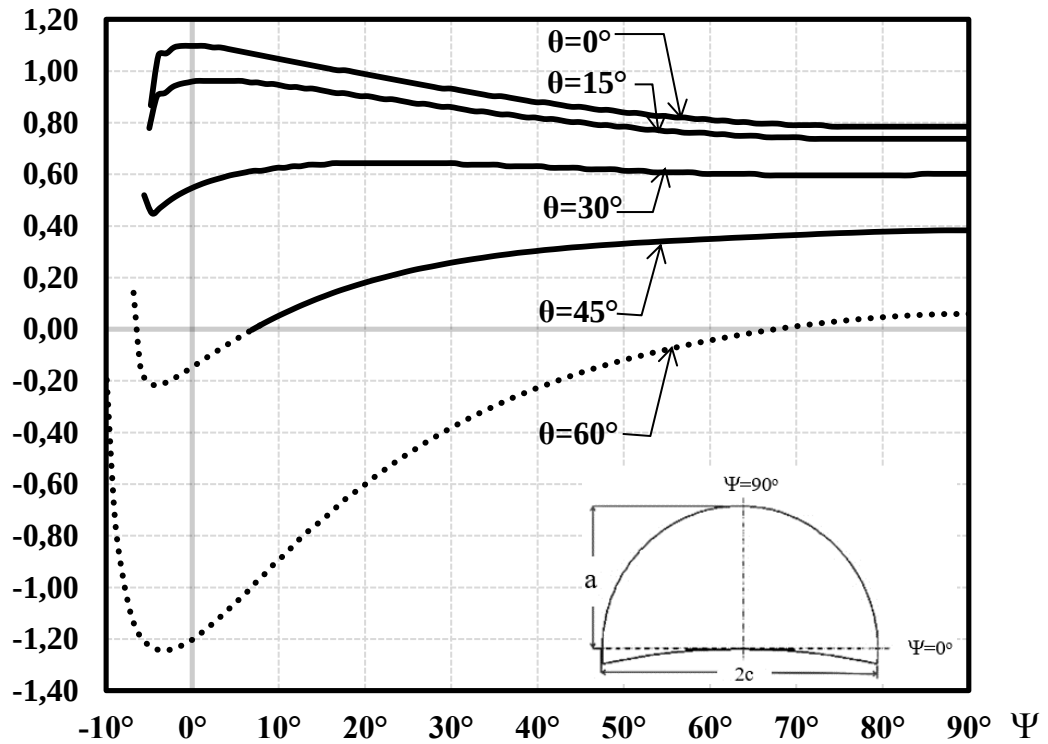
Şekil 3.284. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



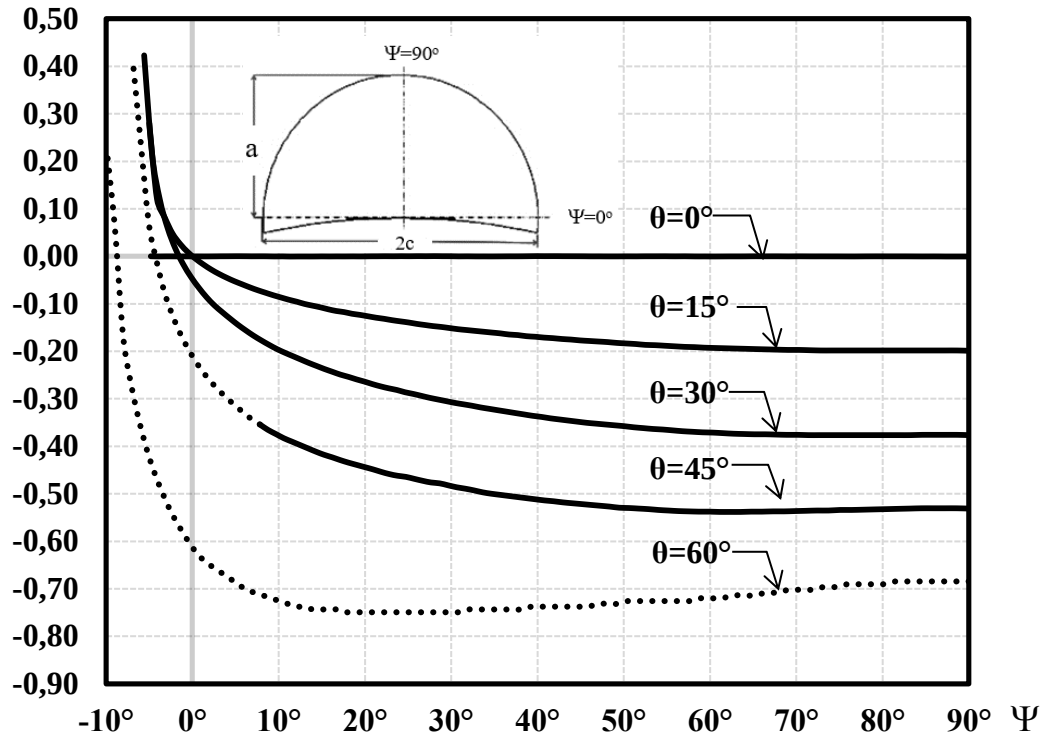
Şekil 3.285. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


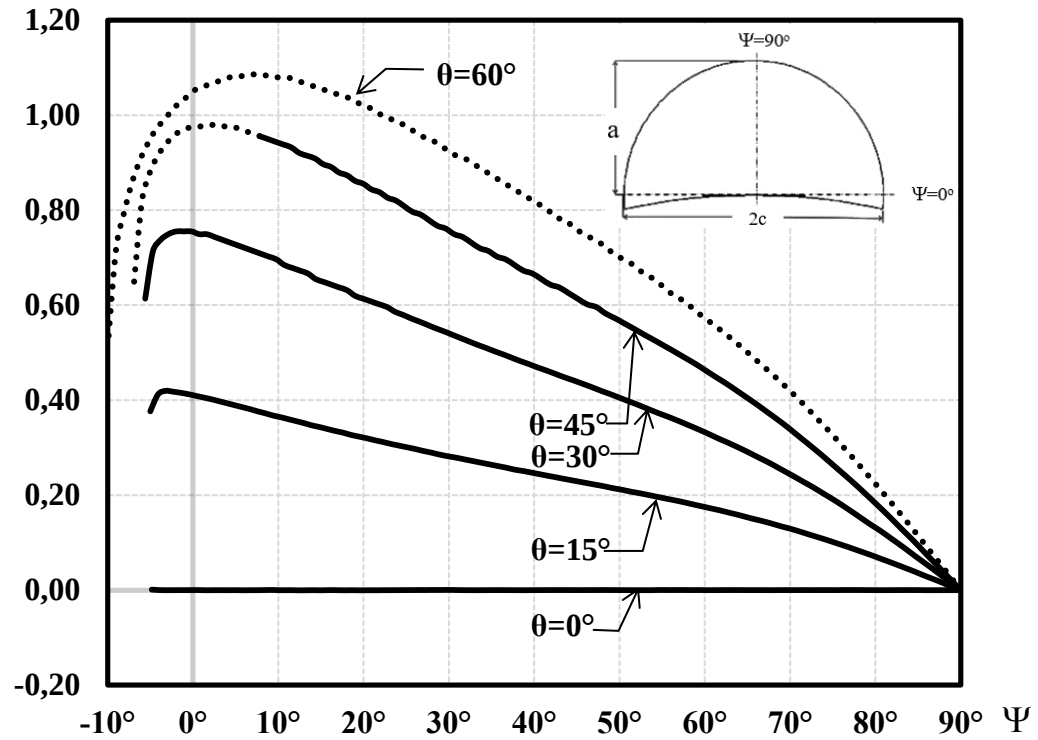
Şekil 3.286. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


Şekil 3.287. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0 

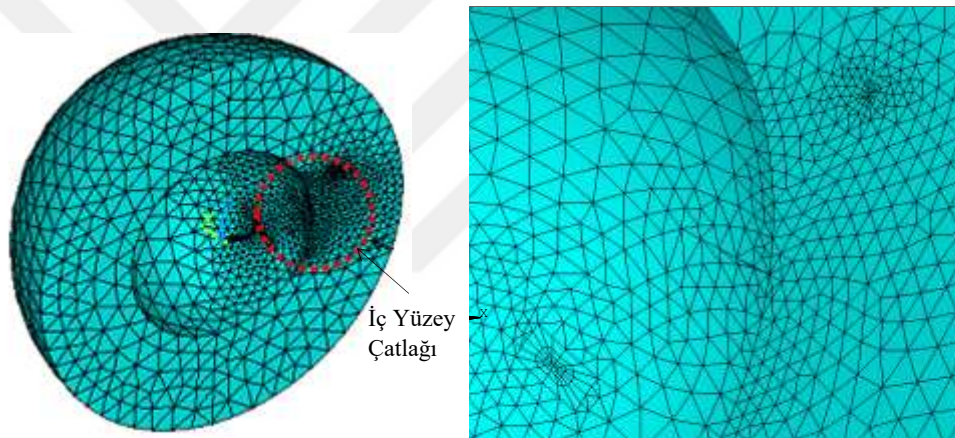
Şekil 3.288. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0 

Şekil 3.289. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

3.9. İç Yüzey Çatlağı (Ro/Ri=2.00 Durumu)

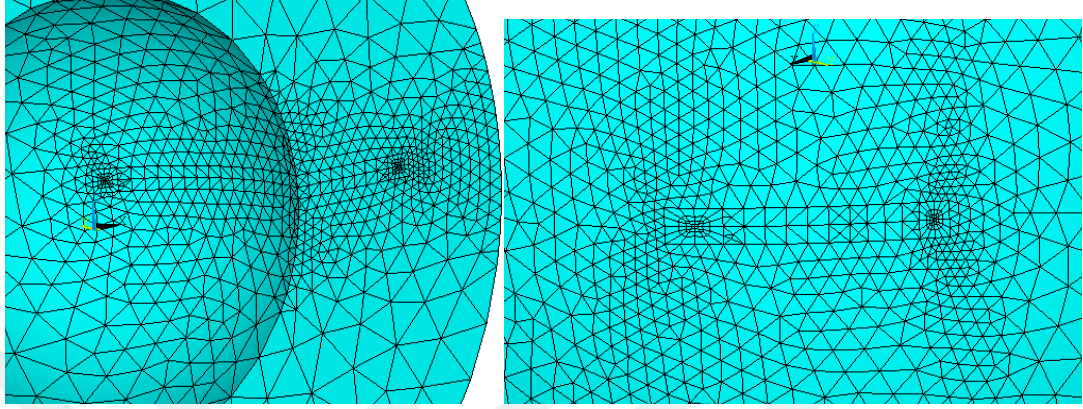
Diğer tüm kısımlardaki analizlere benzer şekilde bu kısımda da a/t oranları 0.25, 0.50, 0.75 a/c oranları 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak alınmıştır. Ro/Ri oranının artması küresel hacimin ve çatlak boyutlarının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle dış çap/iç çap oranlarının (Ro/Ri) 1.10, 1.25 ve 1.50 olduğu durumlara kıyasla bu kısımda kullanılan eleman sayısı daha fazladır. Bu kısımda yapılan analilerin bazılarında çatlağın derinlik (c) boyu, kürenin iç çapından daha yüksektir. Bu durumu iç yüzeyde iki çatlak olması şeklinde yorumlayabiliriz. Bu duruma ait sonlu elemanlar modeli Şekil 3.291.'de ve analiz sonucu gerilme dağılımları şekil 3.292.'de verilmiştir.



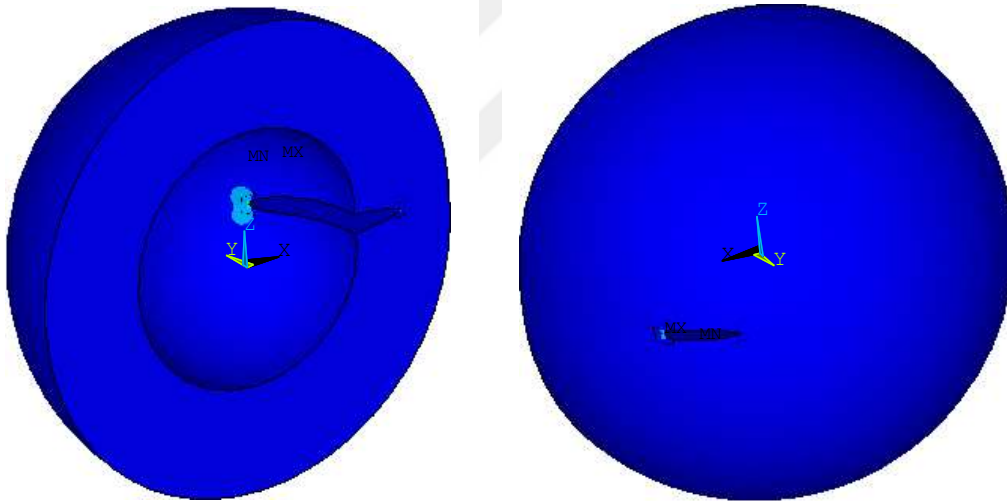
Şekil 3.290. Ro/Ri=2.00 ,at=0.75 ve ac=0.50 60 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlağın sonlu elemanlar modeli.

Dış çap/iç çap oranının (Ro/Ri) 2.00 olması durumunda çatlak derinliği, et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumları için diğer bir deyiş ile, sadece çatlağın iç veya dış yüzeylerde olması durumları karşılaştırıldığında çatlağın iç yüzeyde olması durumunda mod-I'de normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çatlak derinliği/et kalınlığı oranı yani et kalınlığının sabit olduğu durumda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranı arttığında çatlak derinliği (a) artmaktadır. Diğer parametreleri sabit tutup küresel yapıya ait iç çap/dış çap oranının (Ro/Ri) değişiminin etkisine bakacak olursak iç çap/dış çap oranının 2.00 olması durumunda, dış çap/iç çap oranının (Ro/Ri) 1.1, 1.25 ve 1.50 olması duruma göre

çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği, çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlak yatay eksenle yaptığı açının aynı olması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.291. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.25$ 0 derece çatlak açısı çatlak iç yüzeyi (solda) ve dış yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar modeli.

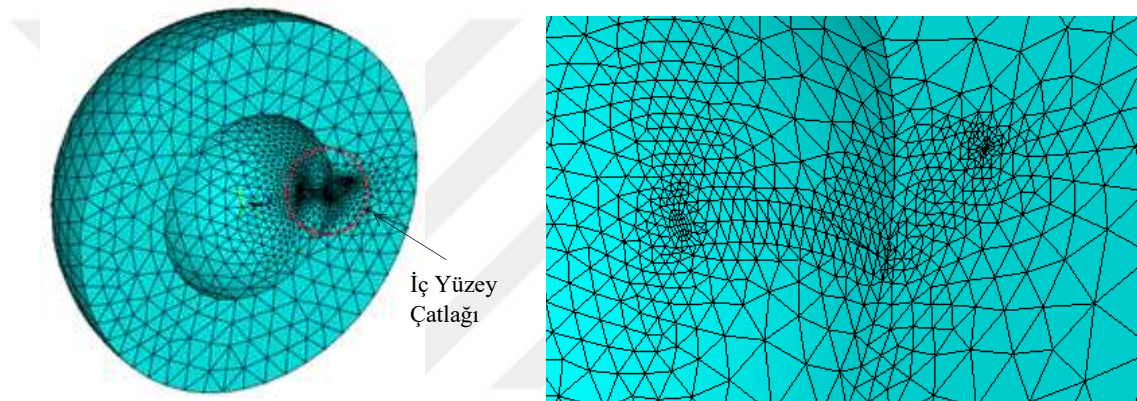


Şekil 3.292. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.25$ 0 derece çatlak açısı çatlak iç yüzeyi (solda) ve iç yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar analiz sonuçları.

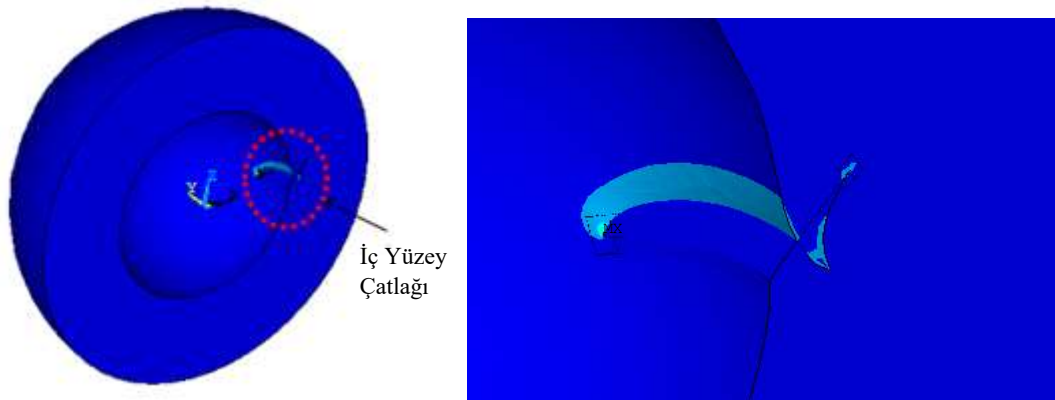
Çatlak derinliğinin artması mod-I için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörünün de artmasını gerektirecektir. Grafikler incelendiğinde çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının aynı olduğu grafikler için a/t arttığında gerilme-şiddet faktörü de diğer kısımlar da olduğu gibi artmıştır. Elde edilen grafikler yorumlandığında açılma modu için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) ve çatlak yatay eksenle yaptığı açının eşit olduğu durumlarda çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının artışı normalize

edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin arttığı görülmüştür. Diğer parametreleri sabit tuttuğumuzda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri azalmaktadır. Çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t) oranının ve çatlağın yatay eksenle arasındaki açının eşit olduğu durum için çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) oranının arttığında normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azalmaktadır. Kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modları için değerler tüm parametreler için hesaplanmıştır ve grafikler halinde verilmiştir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması durumunda normalize edilmiş mod-I ve mod-II gerilme-şiddet faktörlerinin 0 olduğu diğer bir deyiş ile bu derecede kayma (mod-II) ve yırtılma (mod-III) modlarının olmadığı bu kısımda görülmüştür. Çatlağın yatay eksenle arasındaki açının 0 dereceden farklı olması durumunda mod-II ve mod-III bileşenleri ile gerilme-şiddet faktörleri oluşmaktadır. Kayma moduna (mod-II) bakılacak olursa normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin en yüksek değeri negatif bölgede 75 derecede aldığı görülmüştür. Kayma modu (mod-II) için çatlak derinliği, et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranının (a/c) sabit olduğu durumlarda çatlağın yatay eksenle yaptığı açı arttıkça normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri negatif bölgede artmaktadır. İç yüzeyde çatlak olması durumu dış yüzeyde çatlak olması durumuna göre daha güvenli bir durumdur. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açı 45 derece ve üstü duruma geldiğinde bu kısım için açılma modunda (mod-I) normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin negatif bölgede görülmektedir. Bu duruma ait normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Fiziksel bir sonuç olarak kabul edemeyeceğimiz bu durum çatlağın mevcut yükleme koşullarında açılmadığı anlamına gelir. Bu duruma ait bir analizin sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları Şekil 3.287.'de verilmiştir. Normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri dış yüzeyle kıyaslandığında iç yüzeyde bir miktar artma olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.335. incelenecek olursa $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I değerlerinde çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması ile normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörlerinin azaldığı görülecektir. Yine aynı parametreler için mod-II değerleri Şekil 3.336.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde mod-II için en yüksek değer negatif bölgede 75 derece de olduğu, 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açının artması durumunda normalize edilmiş gerilme-şiddet

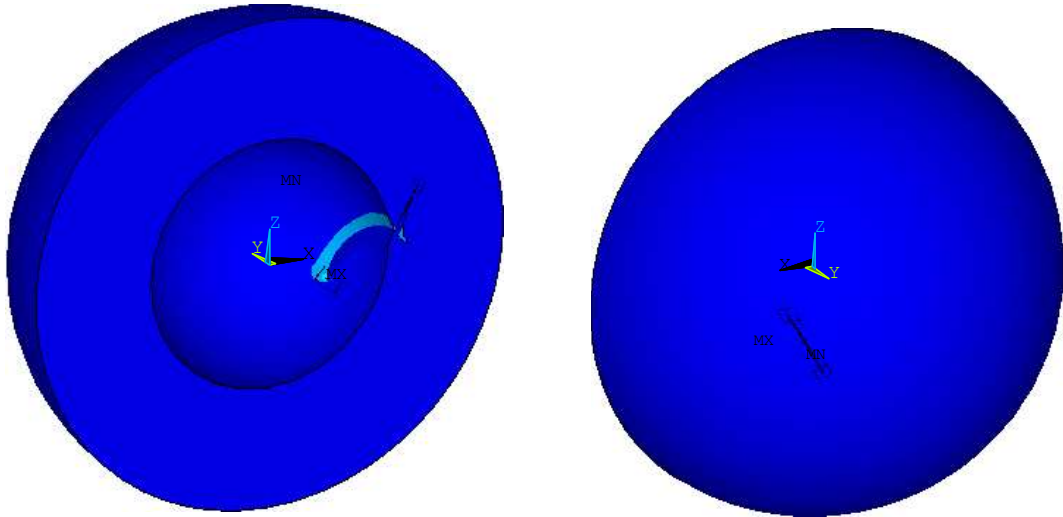
faktörlerinin negatif bölgede azaldığı görülmüştür. Şekil 3.337. ise yine aynı parametreler için mod-III değerleridir. Grafikte negatif bölgede en yüksek değeri 75 derecenin aldığı 0 derecede normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerlerinin 0 olduğu ve diğer dereceler için normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörü değerleri görülmektedir. Yukarıda tarif edilen ve değişik parametre durumlarındaki gerilme-şiddet faktörlerinin davranışları aşağıdaki Şekil.(3.296.-3.337.)’de verilmektedir. Grafikte başlangıç açılarındaki görülen ani değer değişimleri serbest yüzey etkisinden dolayıdır. Bölüntüleme sıklaştırması ile bu bölgedeki gerilme-şiddet faktörü davranışları daha hassas bir şekilde elde edilebilir.



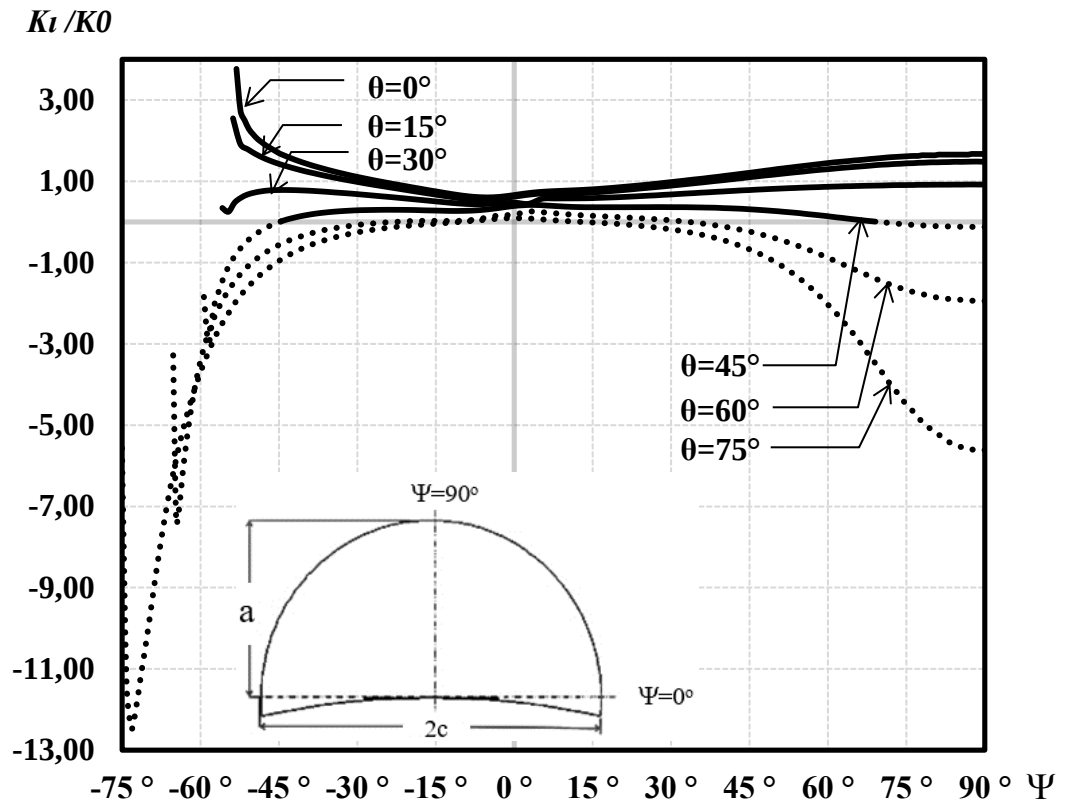
Şekil 3.293. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar modeli.



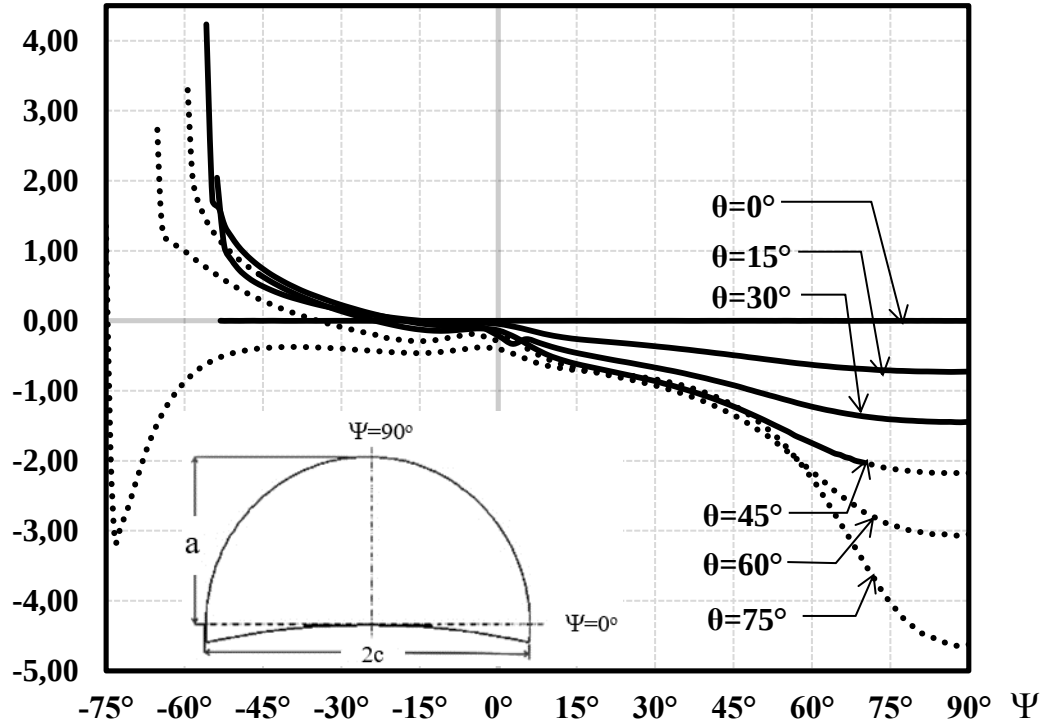
Şekil 3.294. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$ ve $a/c=0.50$ 45 derece çatlak açısı için küresel kap ve kaptaki çatlakın sonlu elemanlar analiz sonuçları.



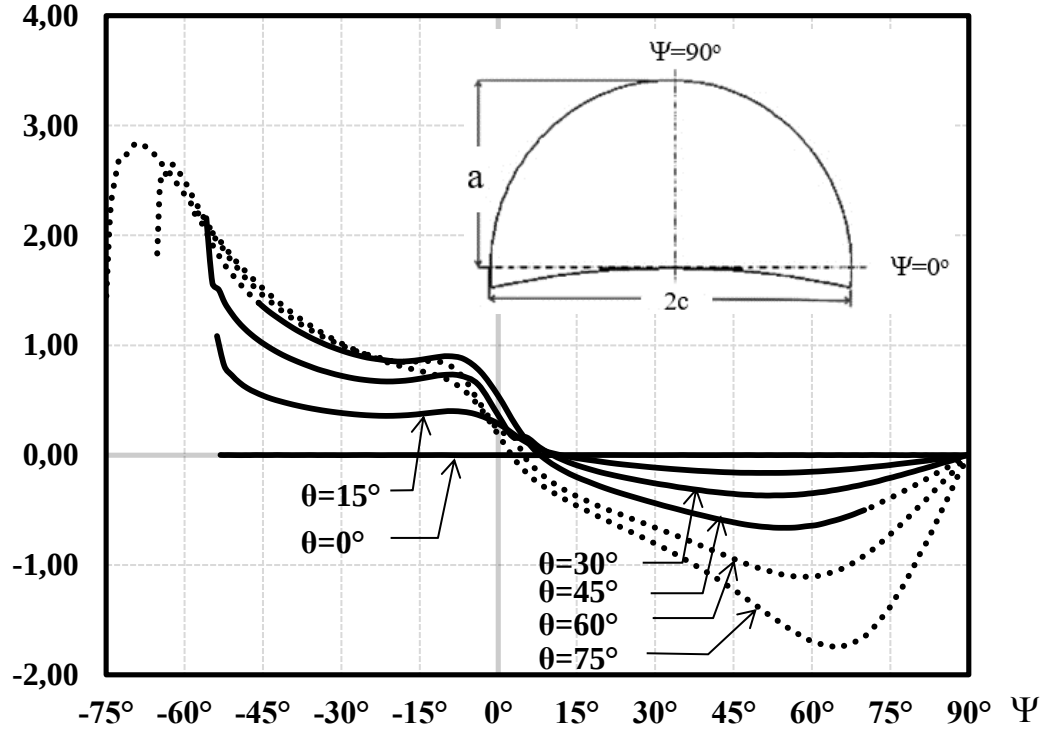
Şekil 3.295. $R_o/R_i=1.50$, $a/t=0.75$ ve $a/c=0.25$ 75 derece çatlak açısı çatlakın iç yüzey (solda) ve iç yüzeydeki (sağda) sonlu elemanlar analiz sonucu gerilme dağılımları.



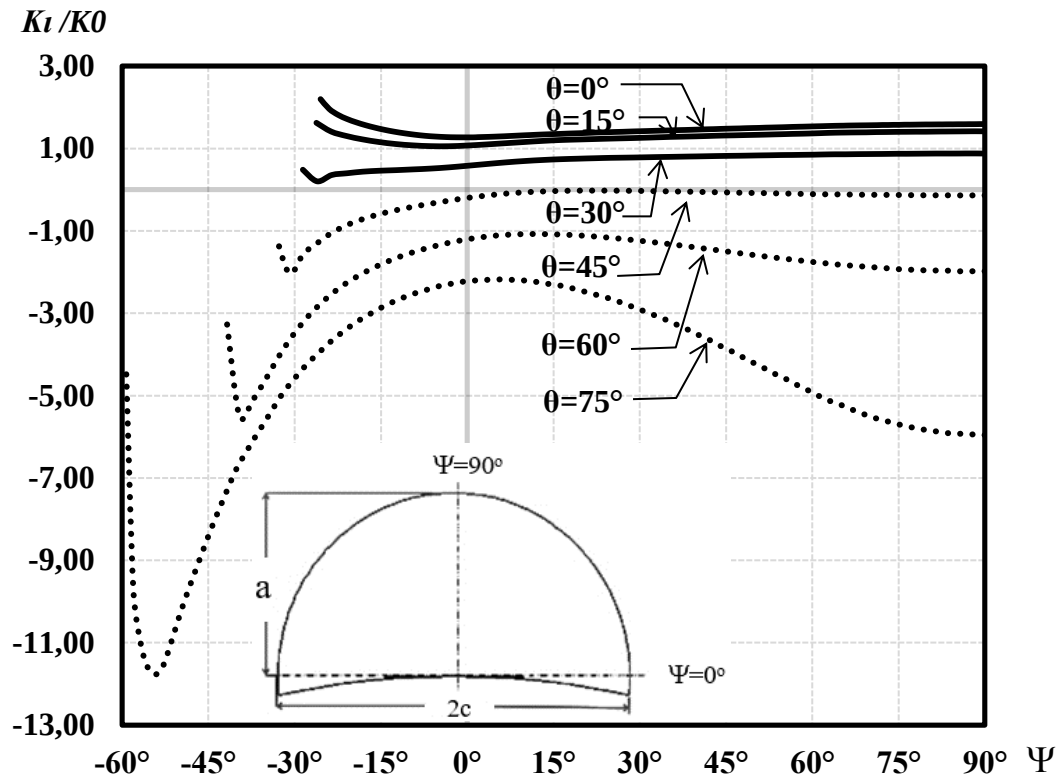
Şekil 3.296. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$


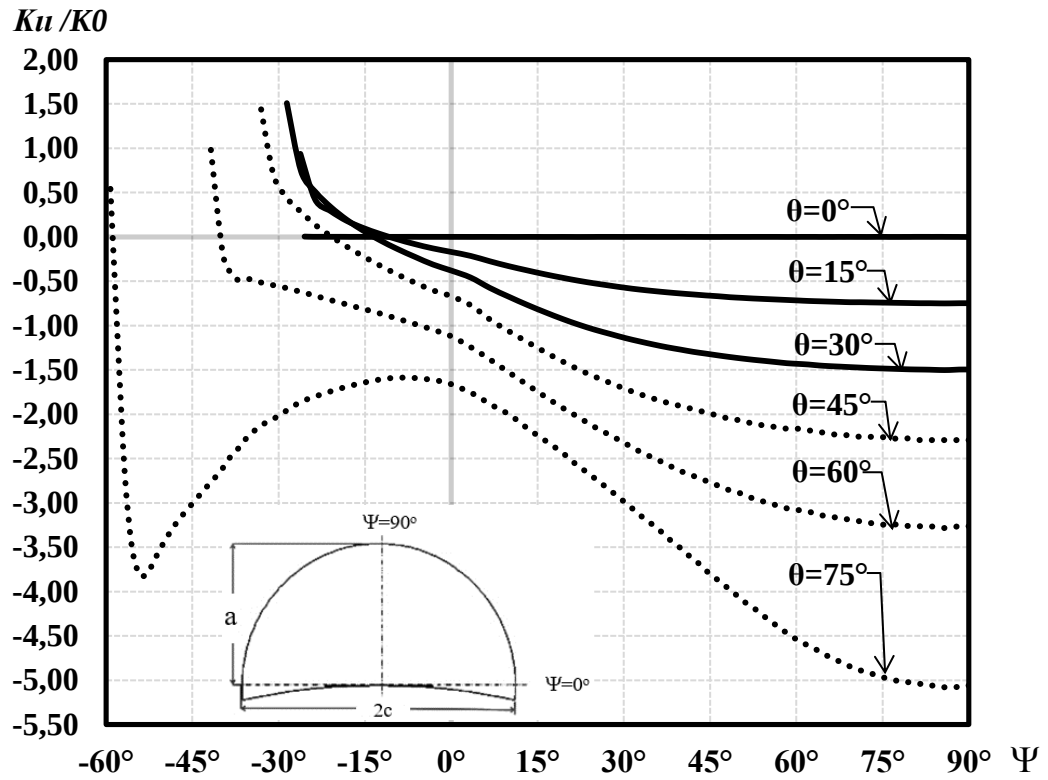
Şekil 3.297. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$


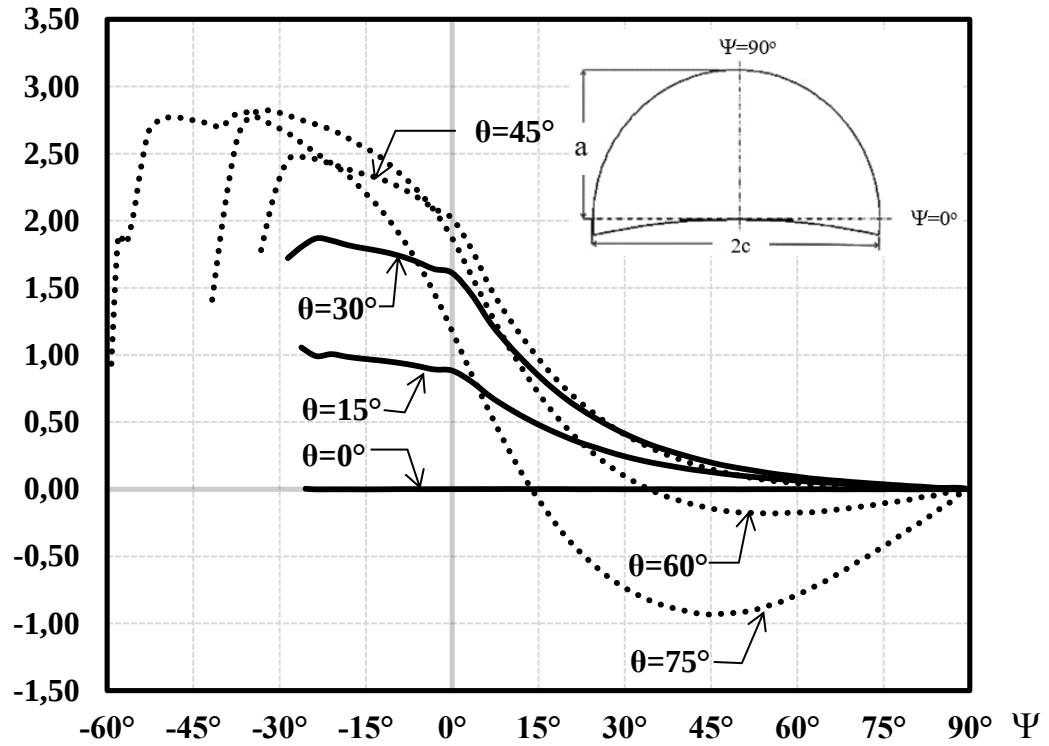
Şekil 3.298. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



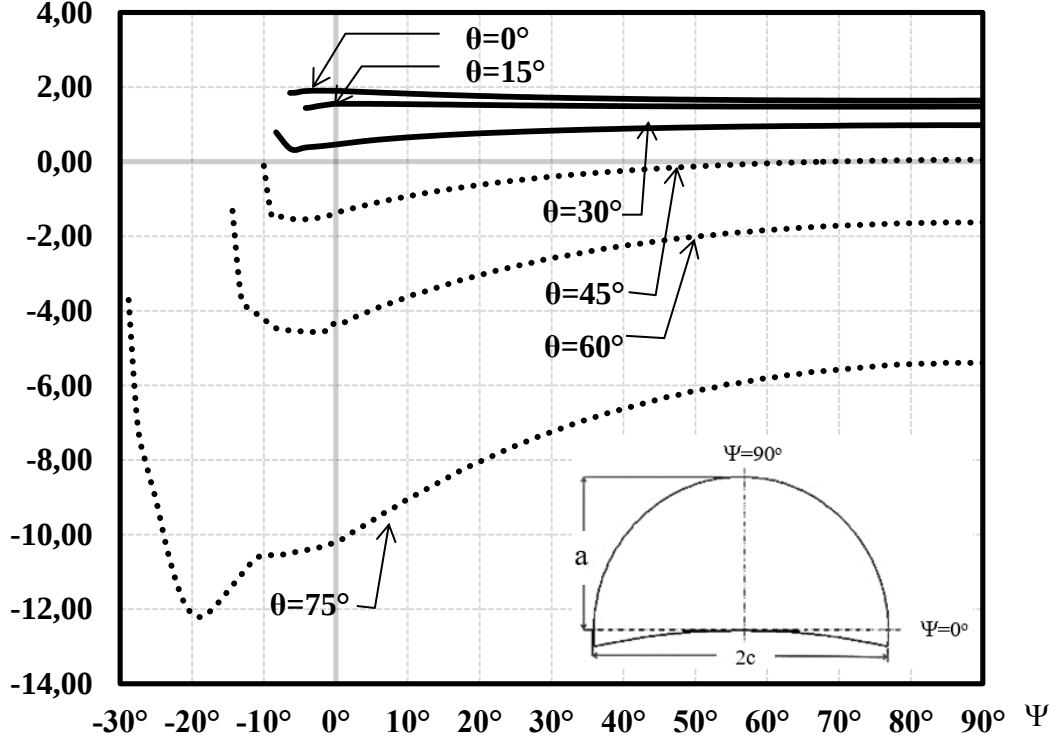
Şekil 3.299. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



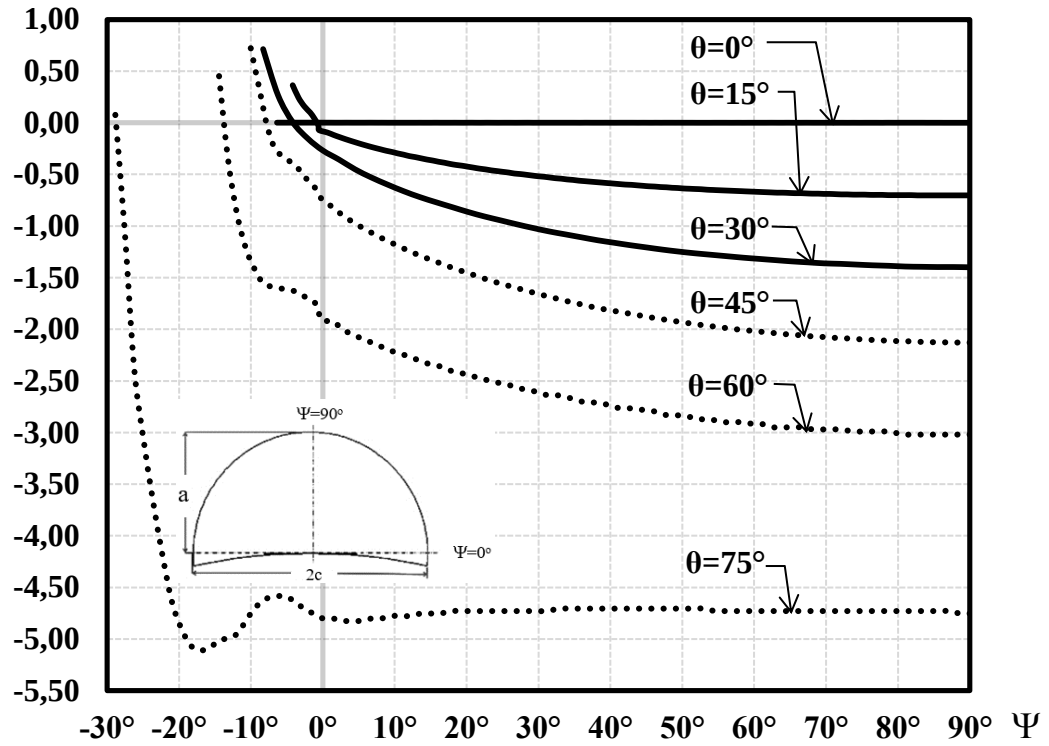
Şekil 3.300. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III} / K_0


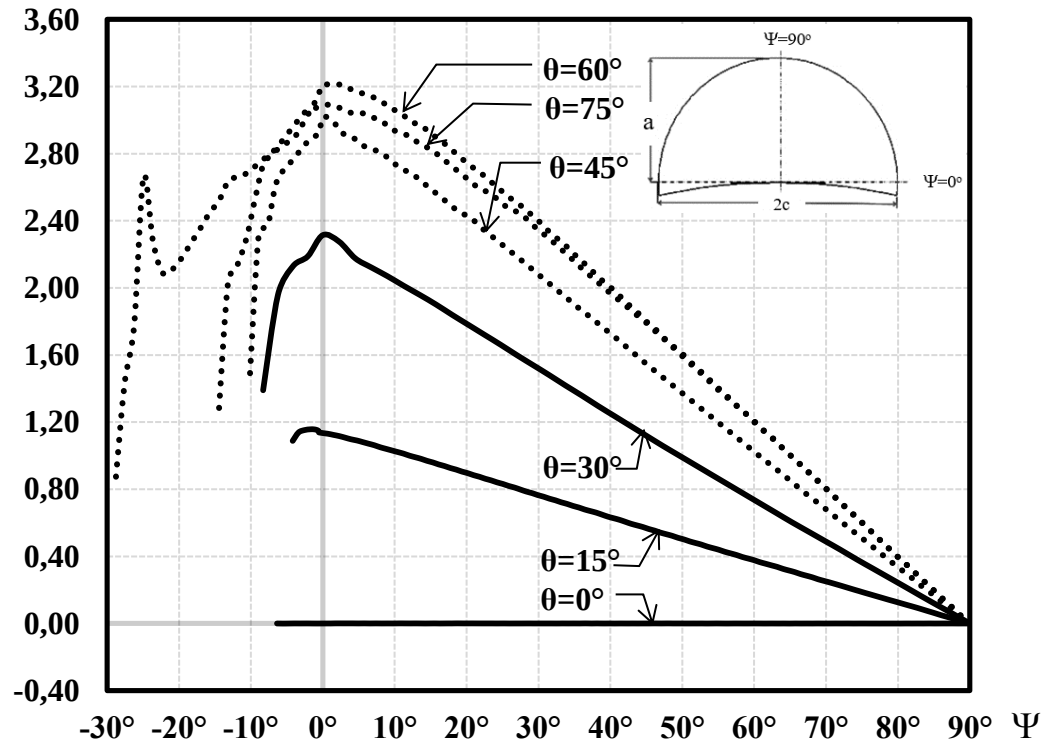
Şekil 3.301. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


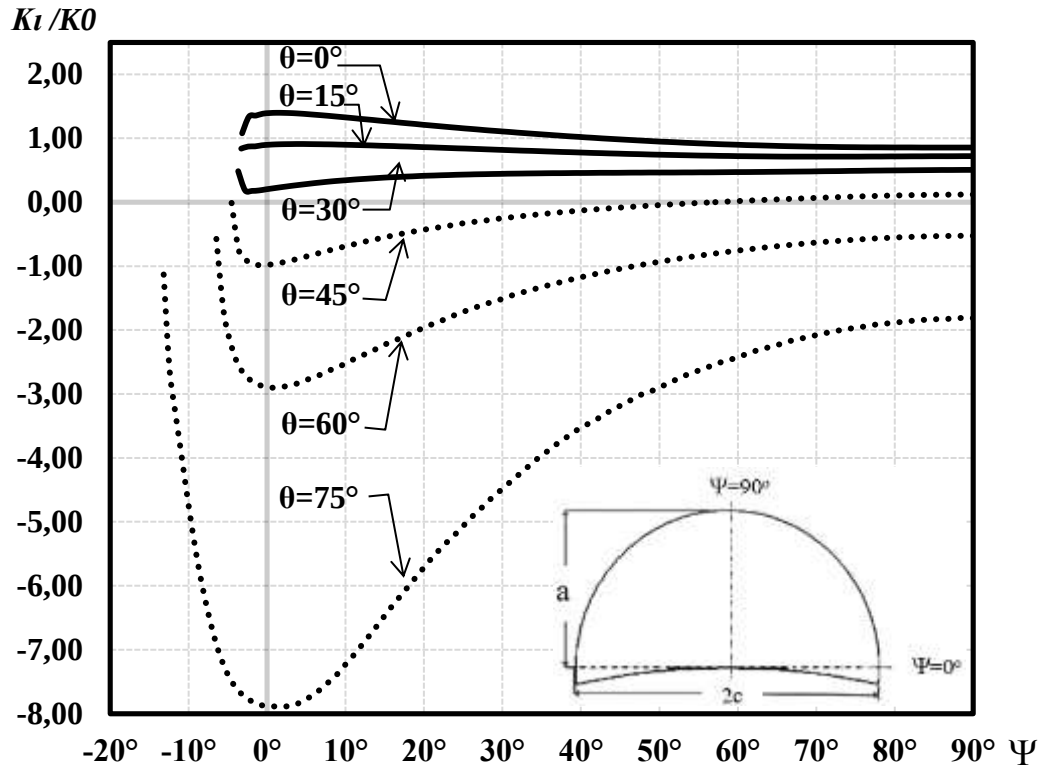
Şekil 3.302. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

$Ku/K0$ 

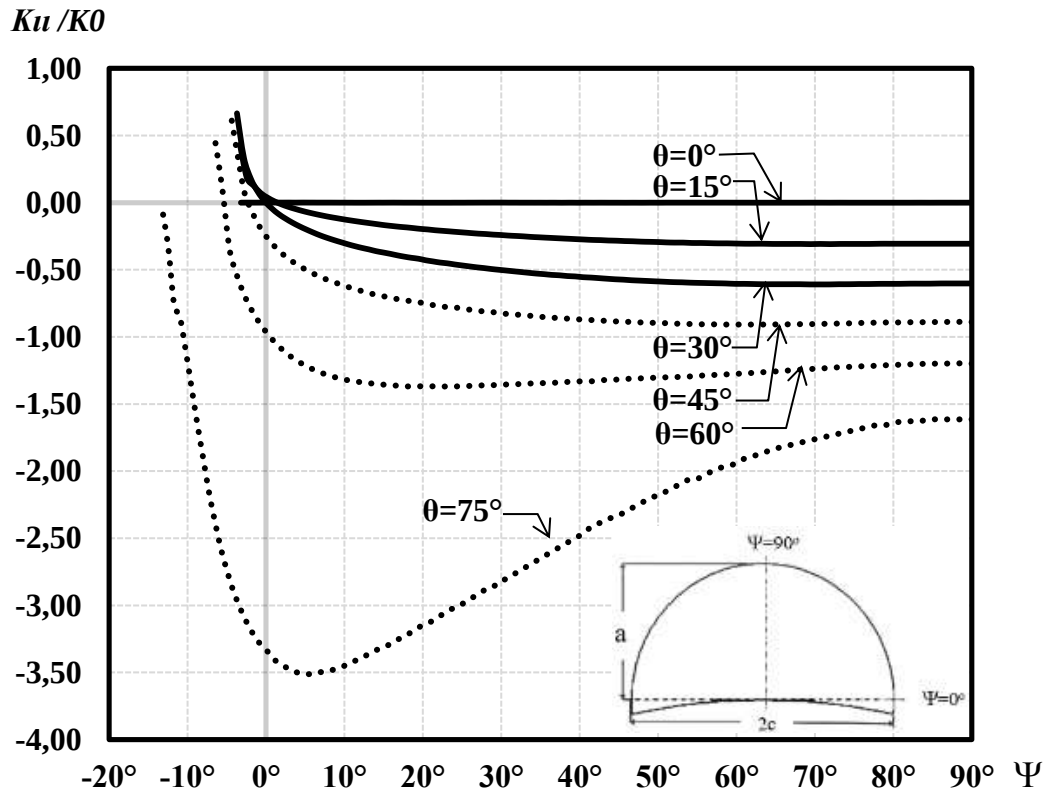
Şekil 3.303. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 $K_{III}/K0$ 

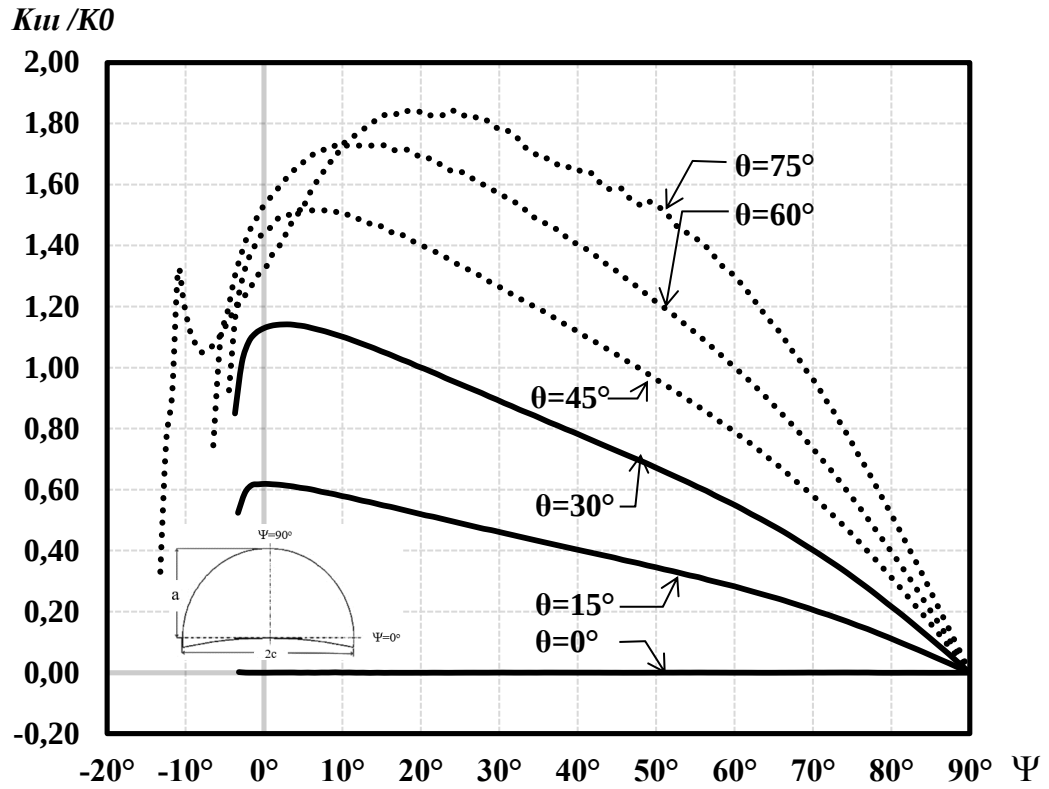
Şekil 3.304. $Ro/Ri=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



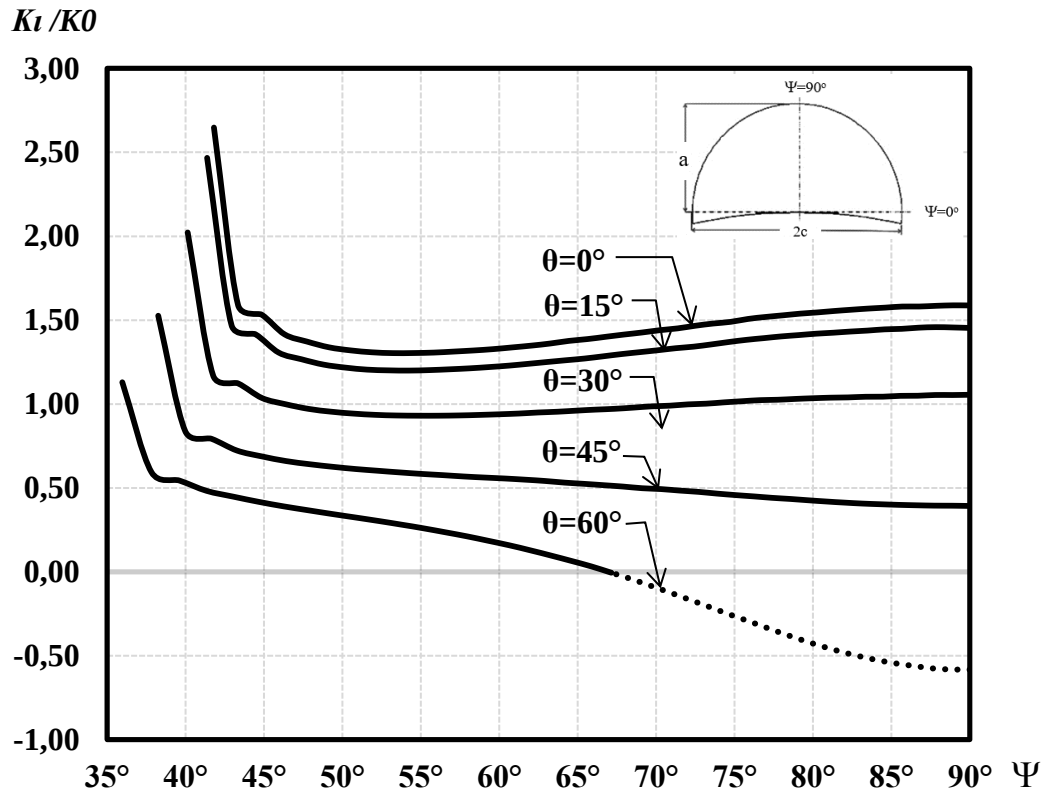
Şekil 3.305. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



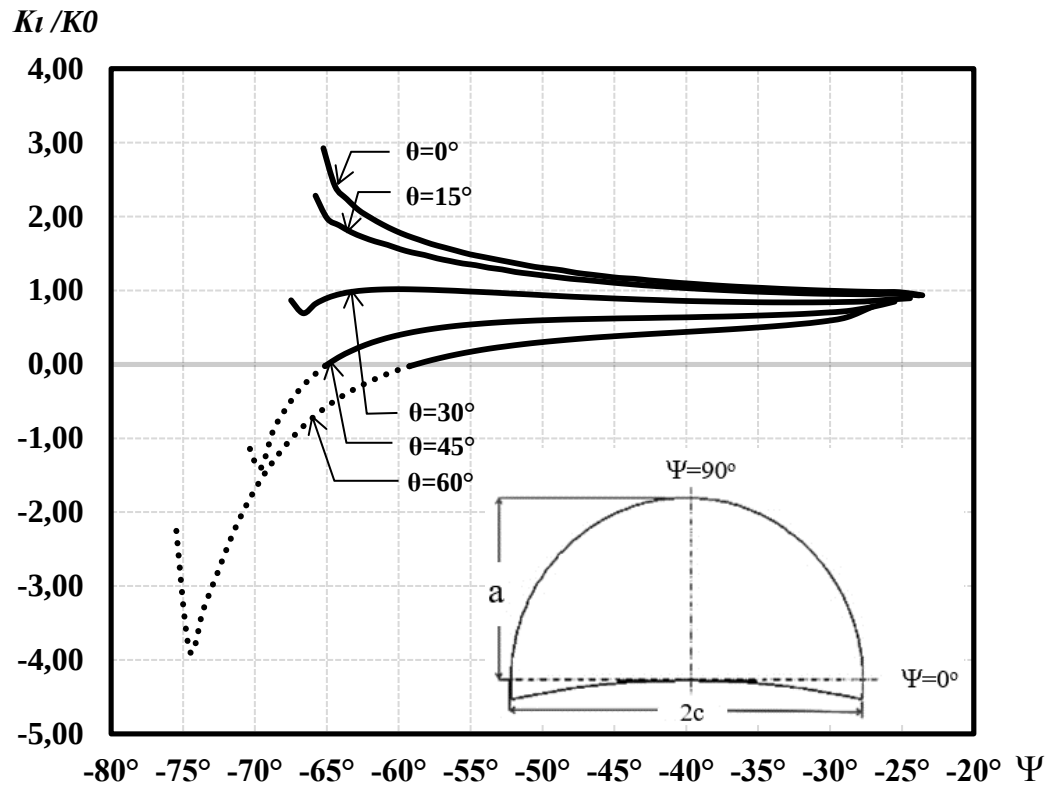
Şekil 3.306. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



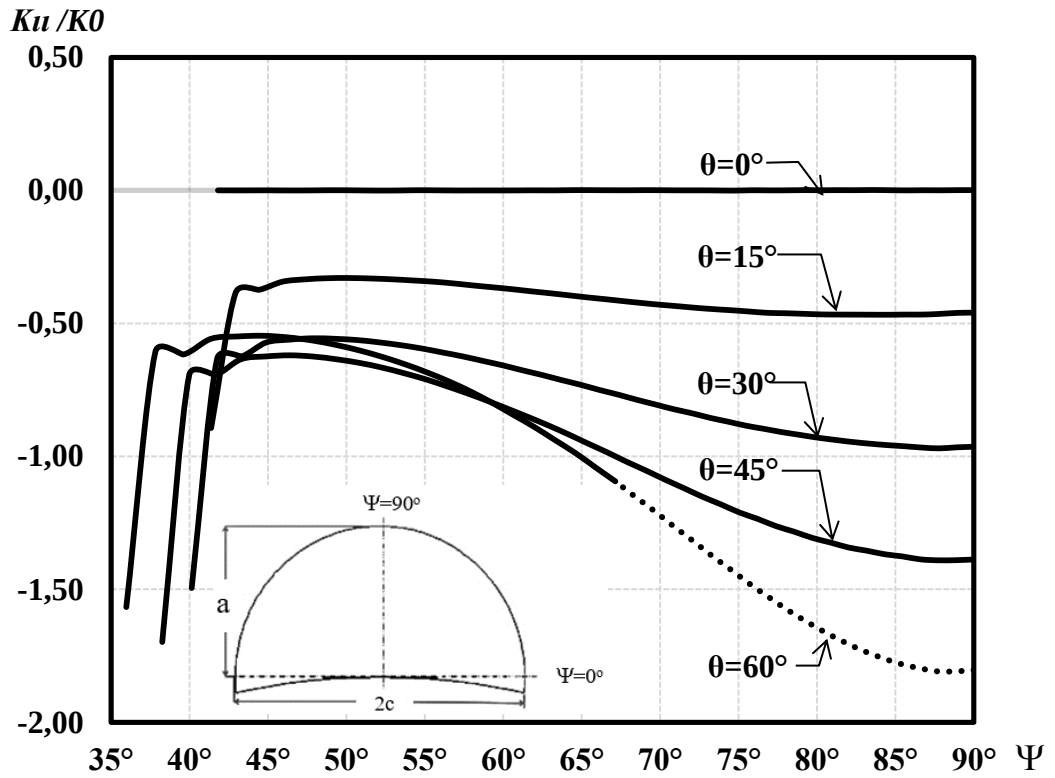
Şekil 3.307. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.25$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



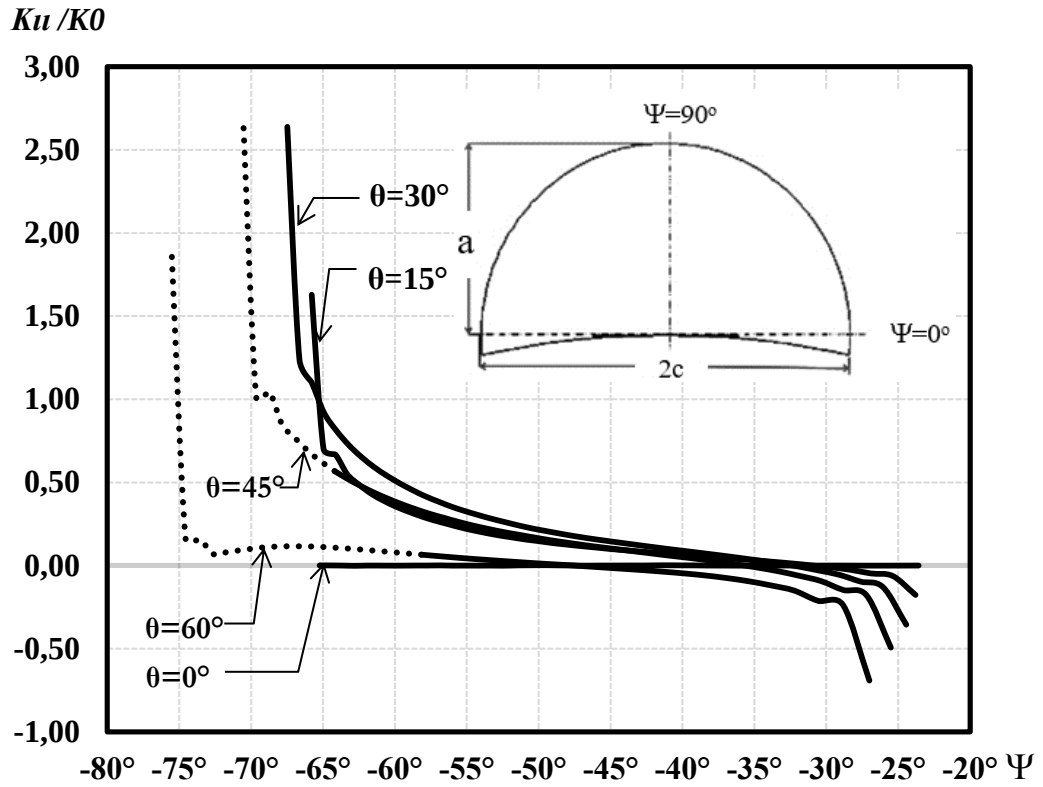
Şekil 3.308. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



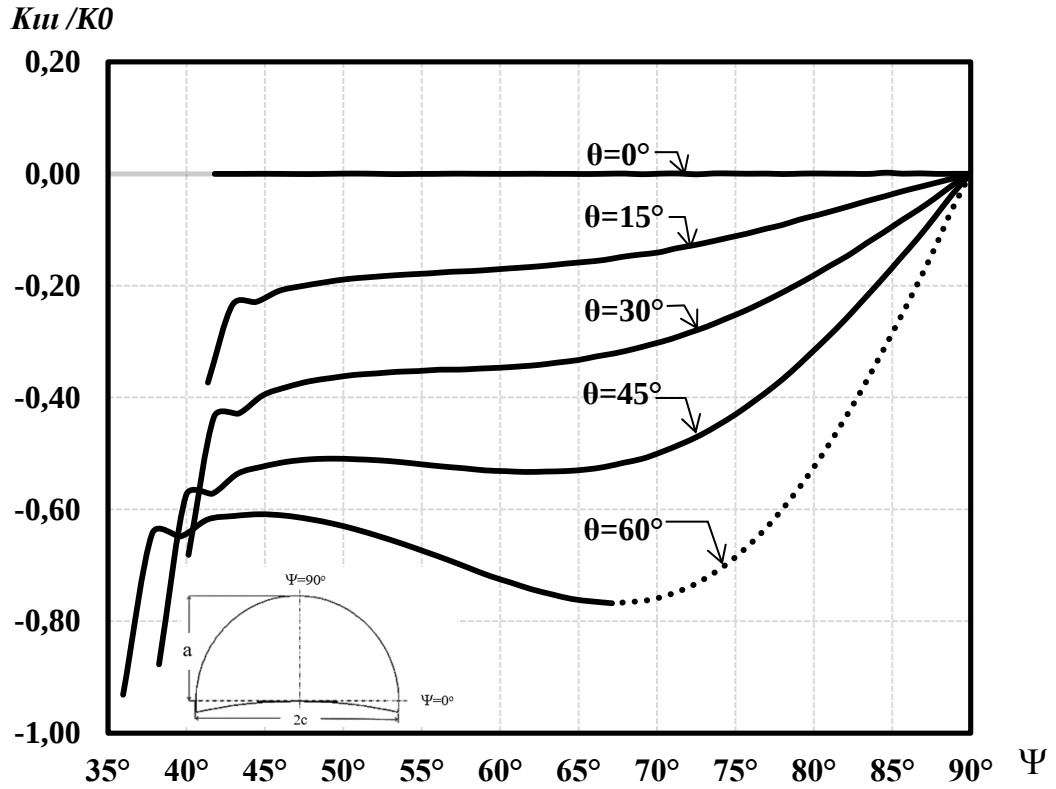
Şekil 3.309. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



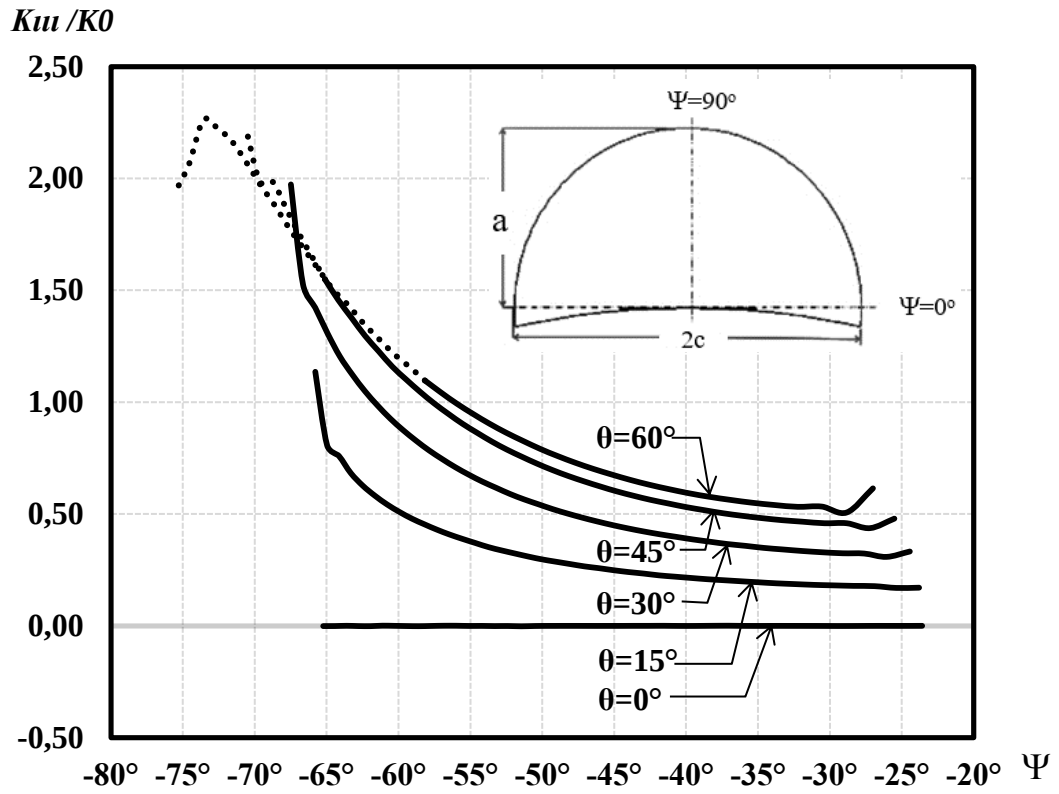
Şekil 3.310. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



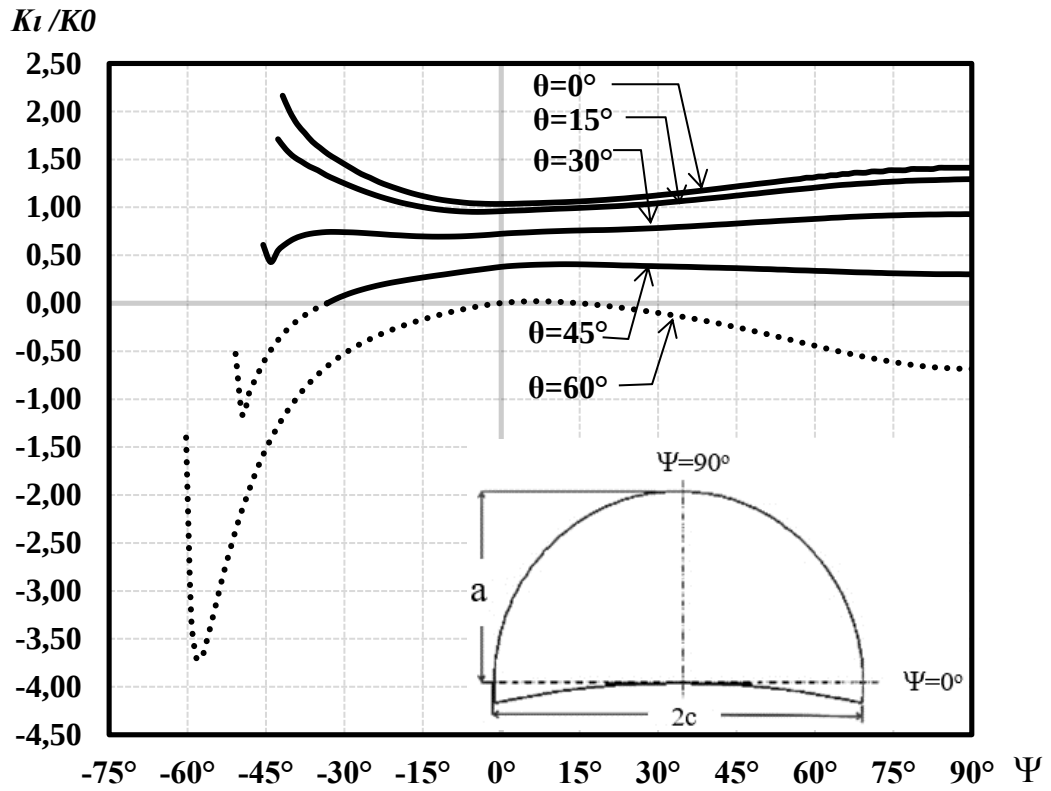
Şekil 3.311. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,50$, $a/c=0,25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



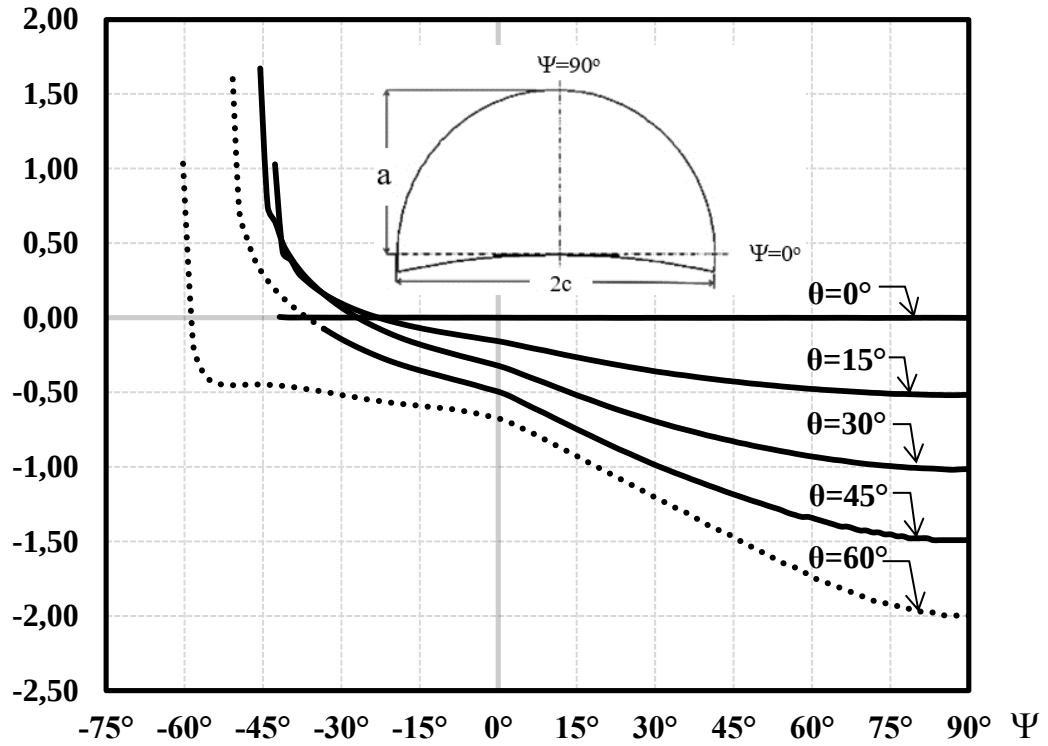
Şekil 3.312. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,50$, $a/c=0,25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



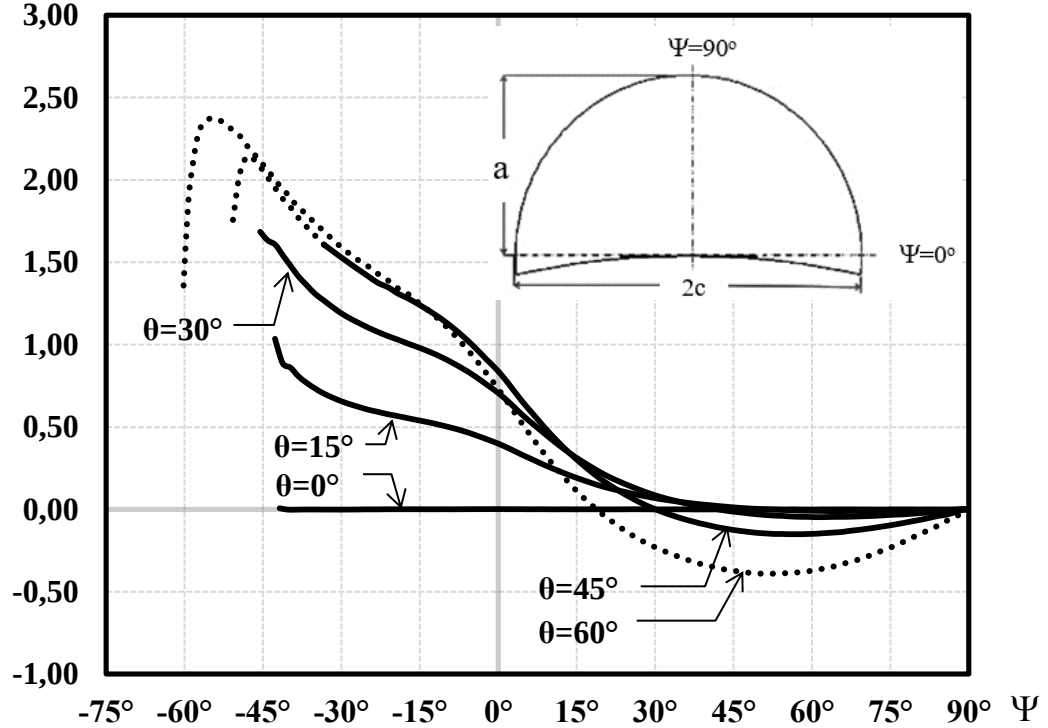
Şekil 3.313. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



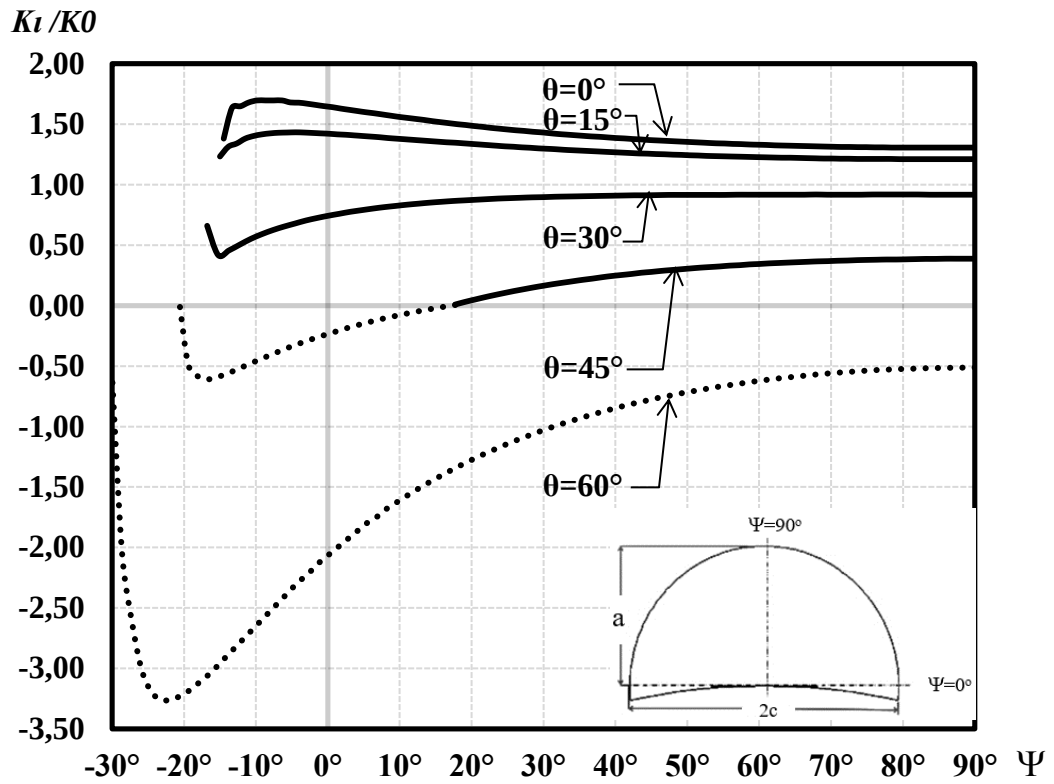
Şekil 3.314. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{II}/K_0


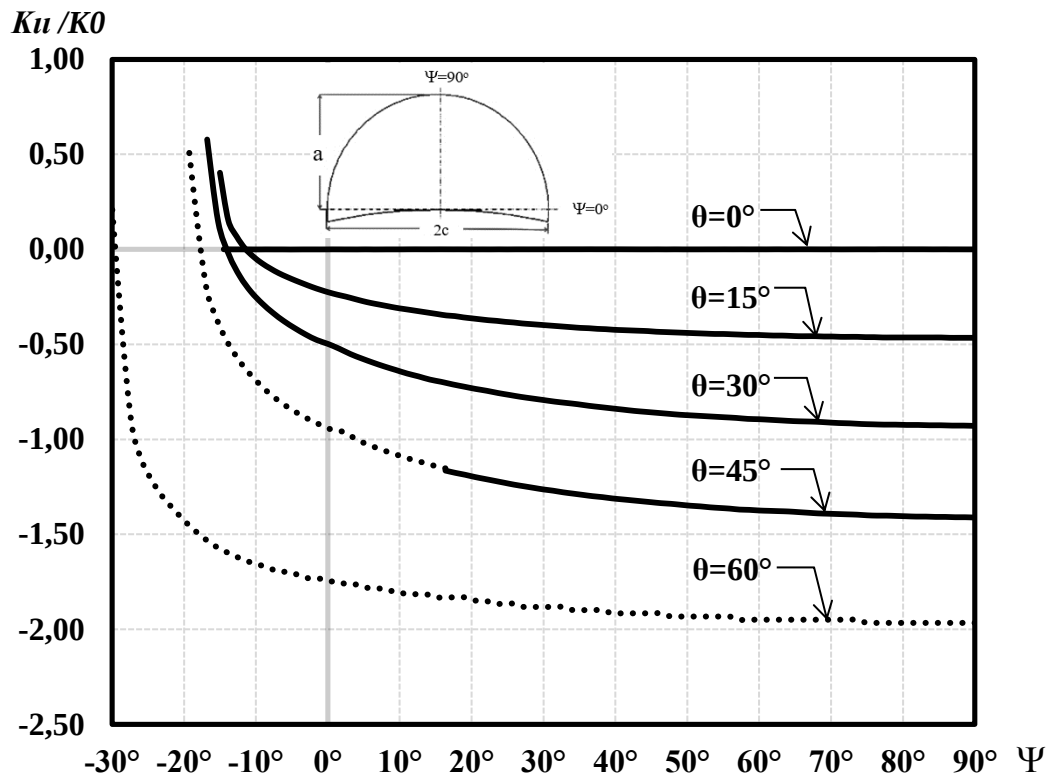
Şekil 3.315. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{III}/K_0


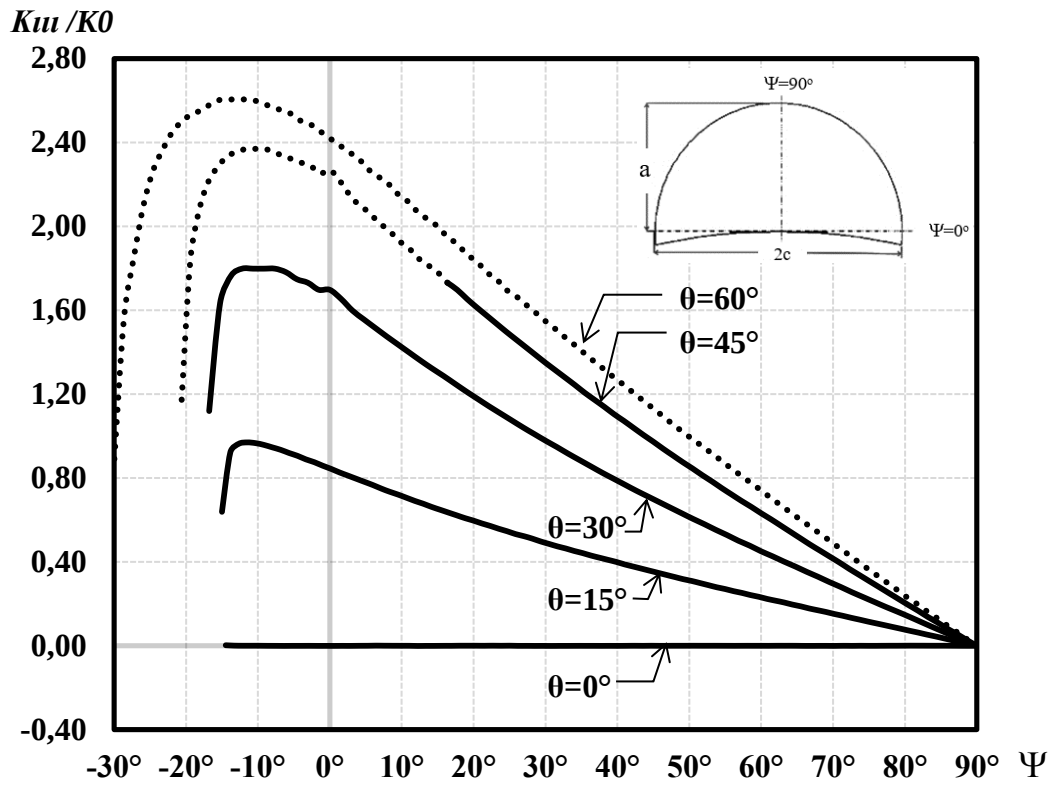
Şekil 3.316. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



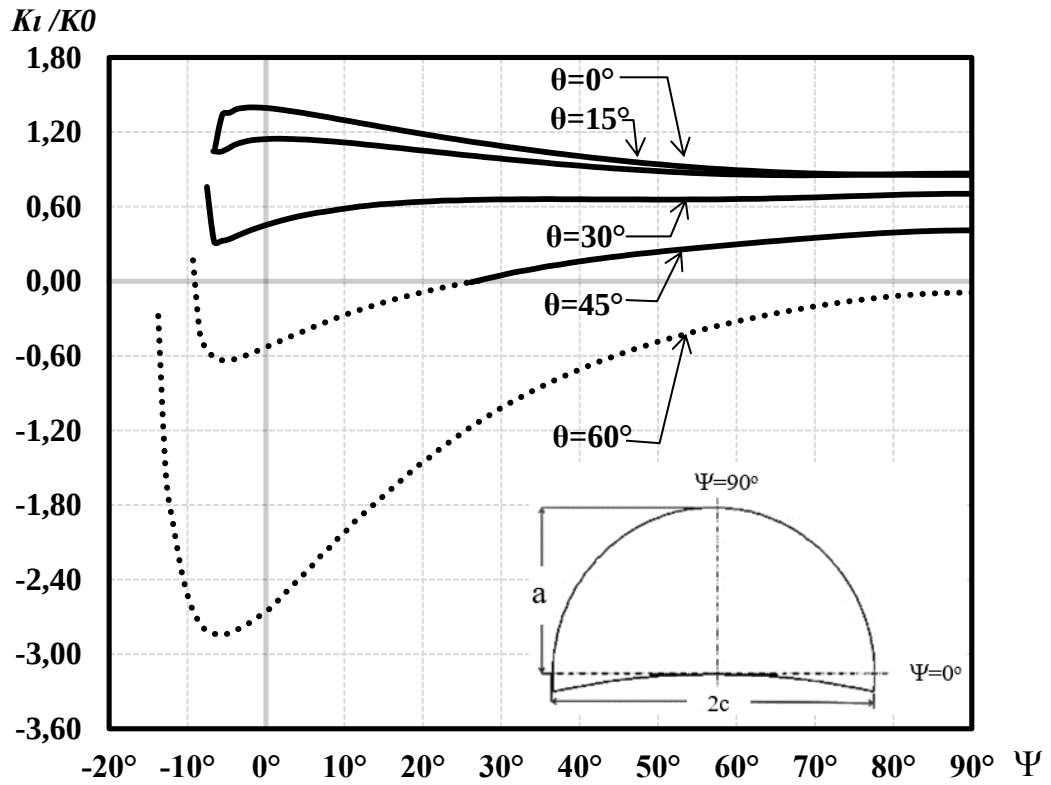
Şekil 3.317. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



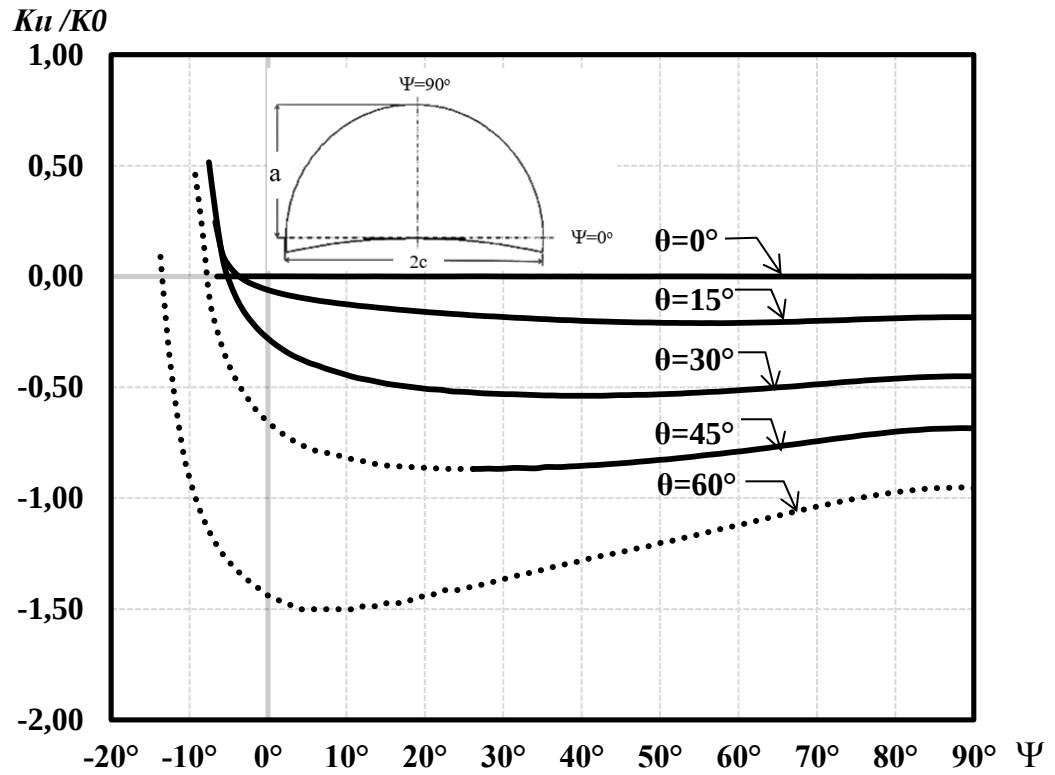
Şekil 3.318. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



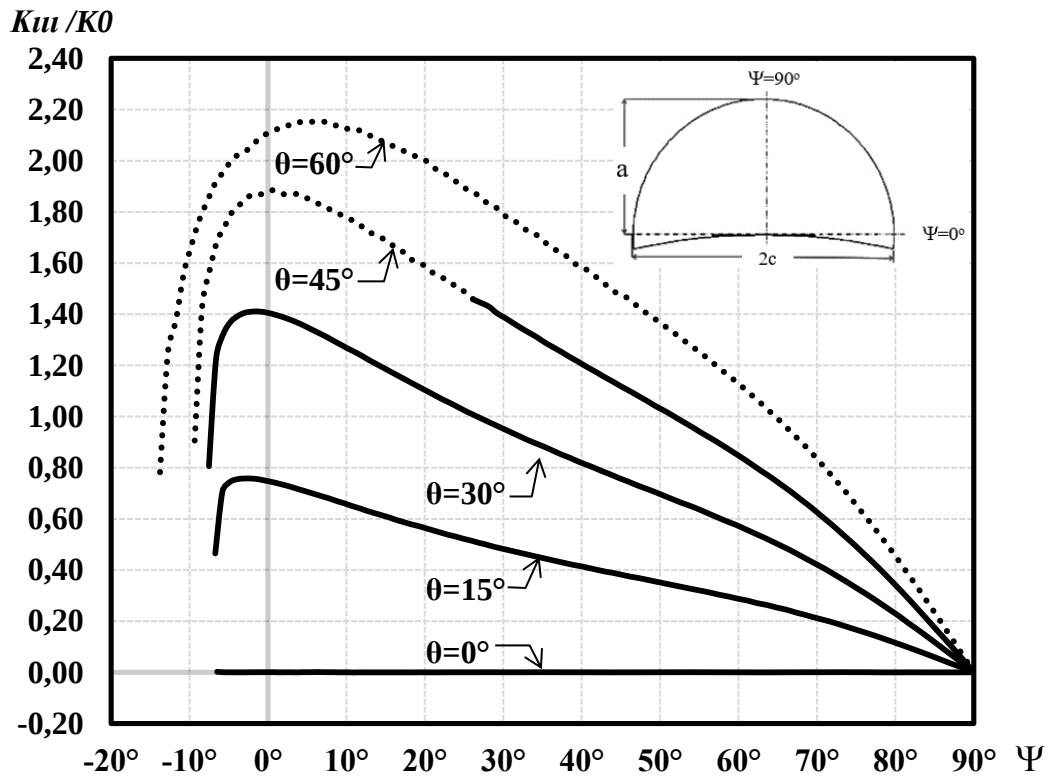
Şekil 3.319. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



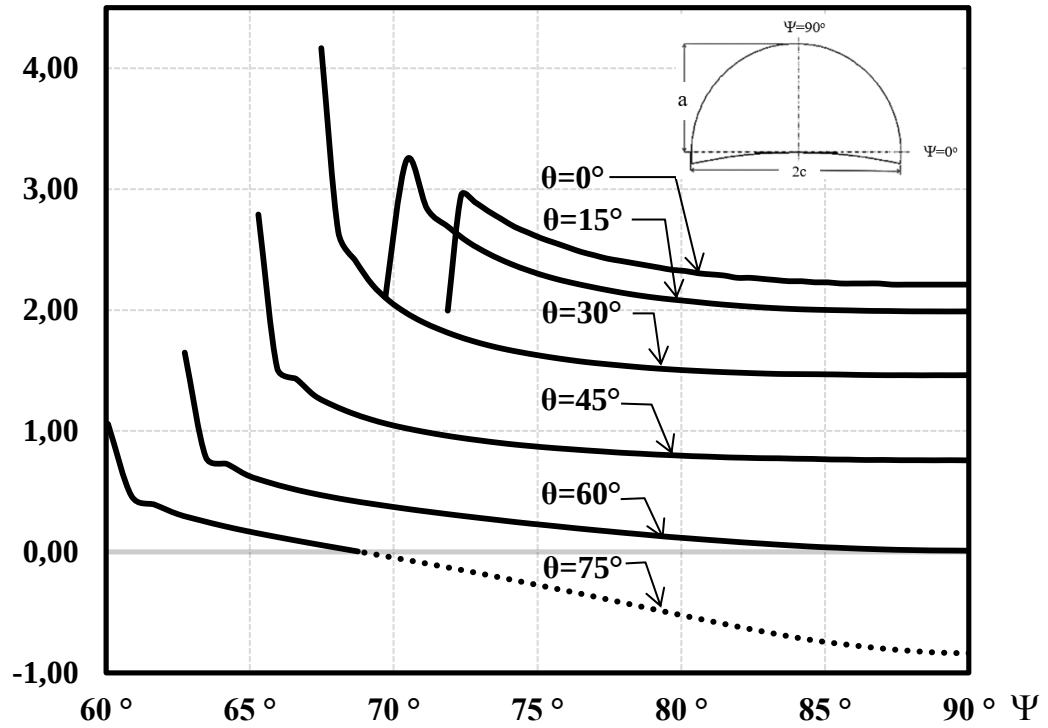
Şekil 3.320. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



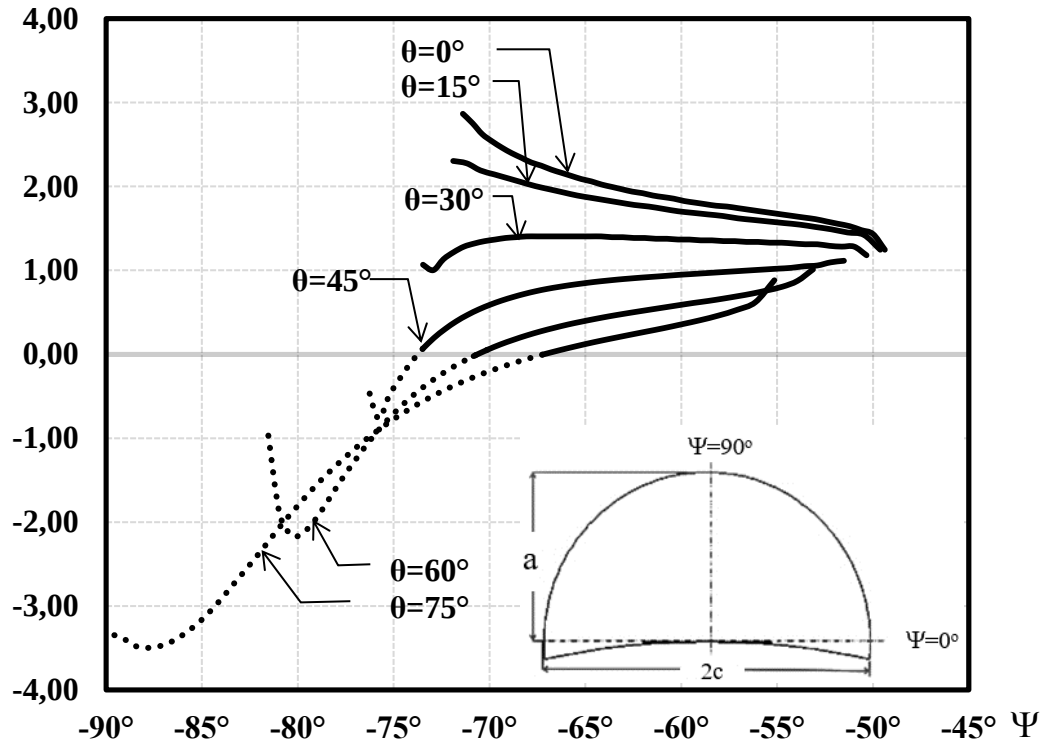
Şekil 3.321. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



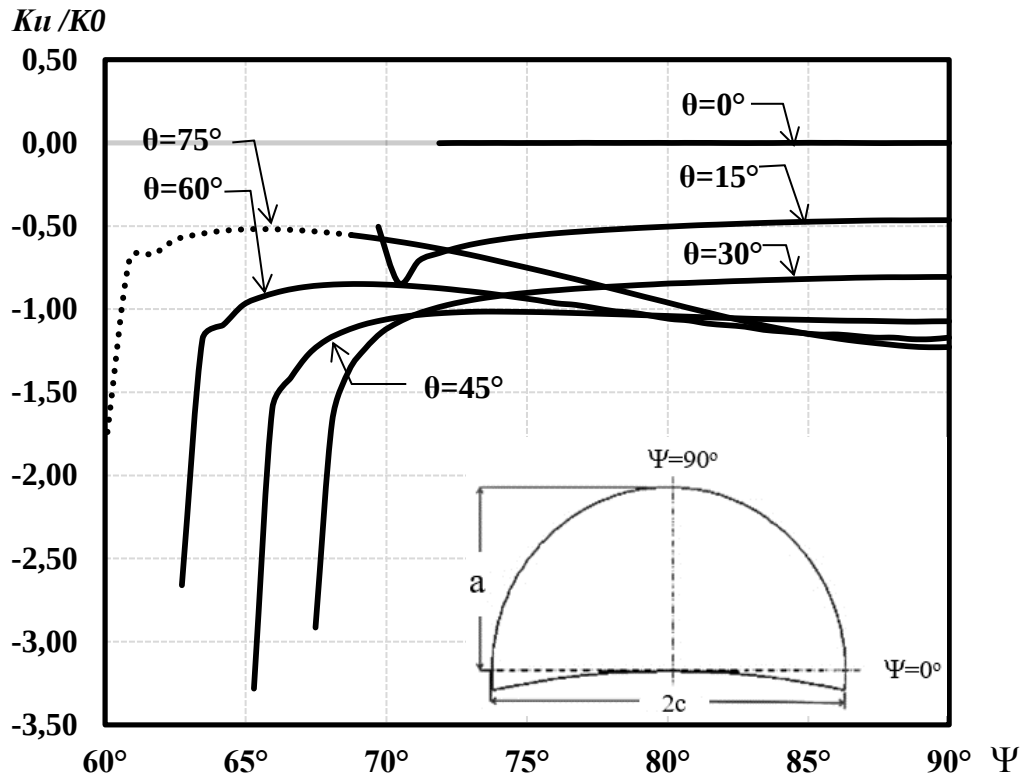
Şekil 3.322. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.50$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


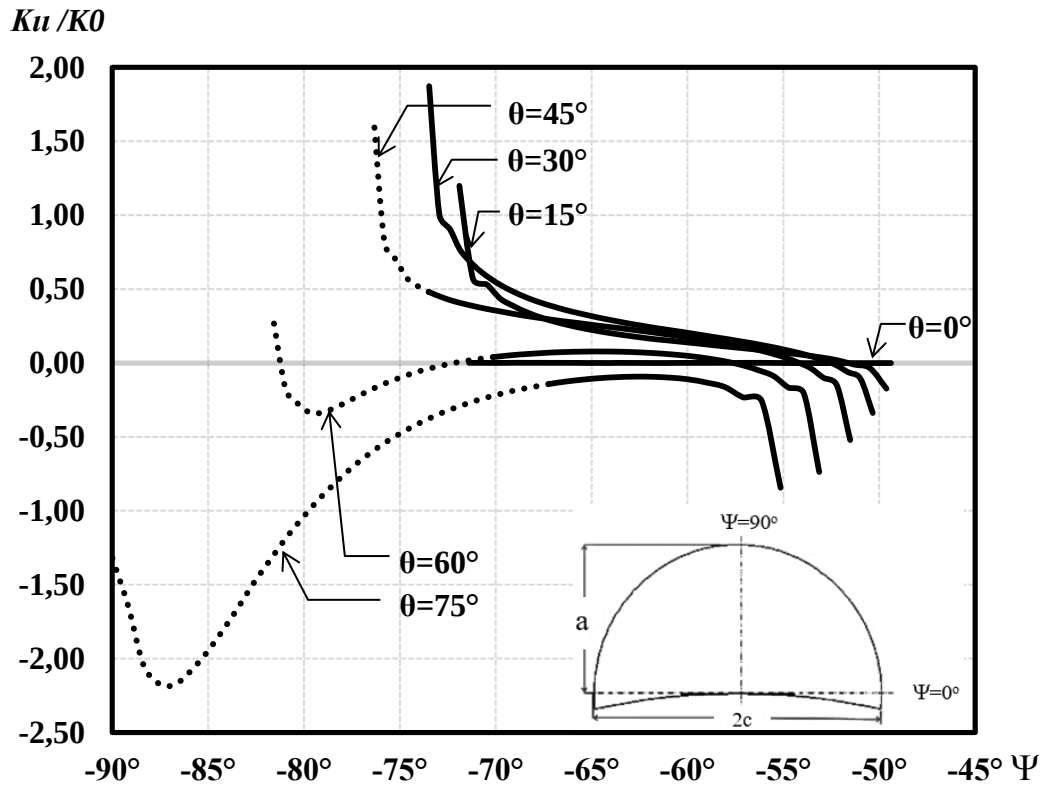
Şekil 3.323. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,75$, $a/c=0,25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_I / K_0


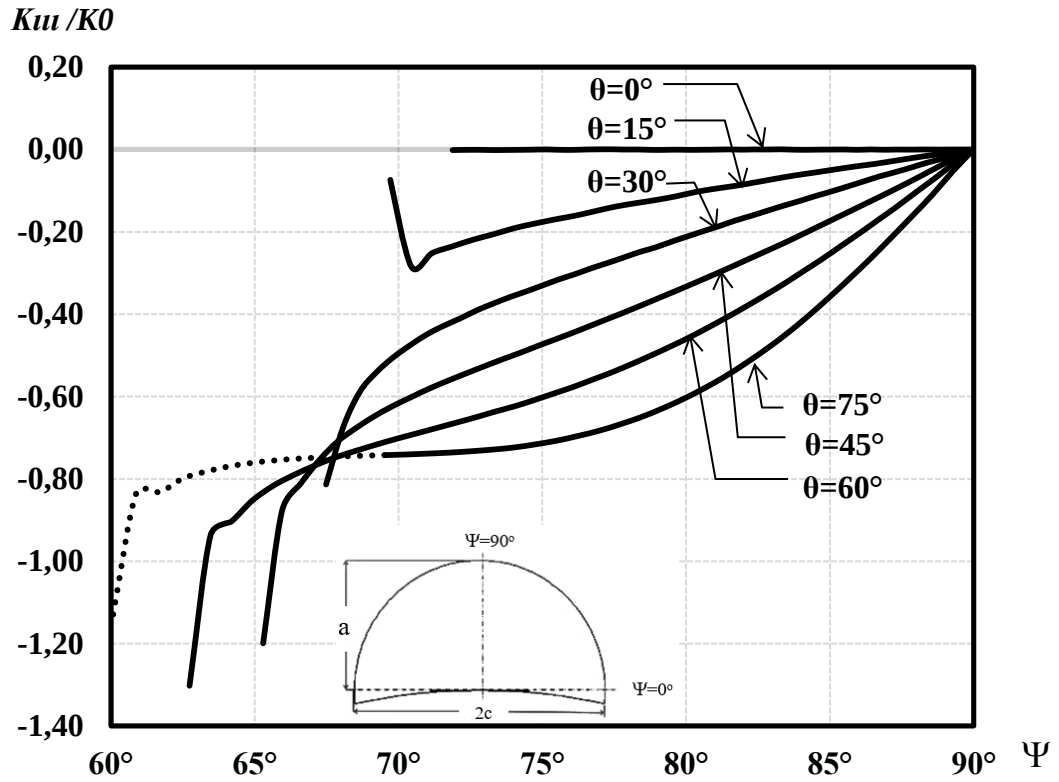
Şekil 3.324. $R_o/R_i=2,00$, $a/t=0,75$, $a/c=0,25$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



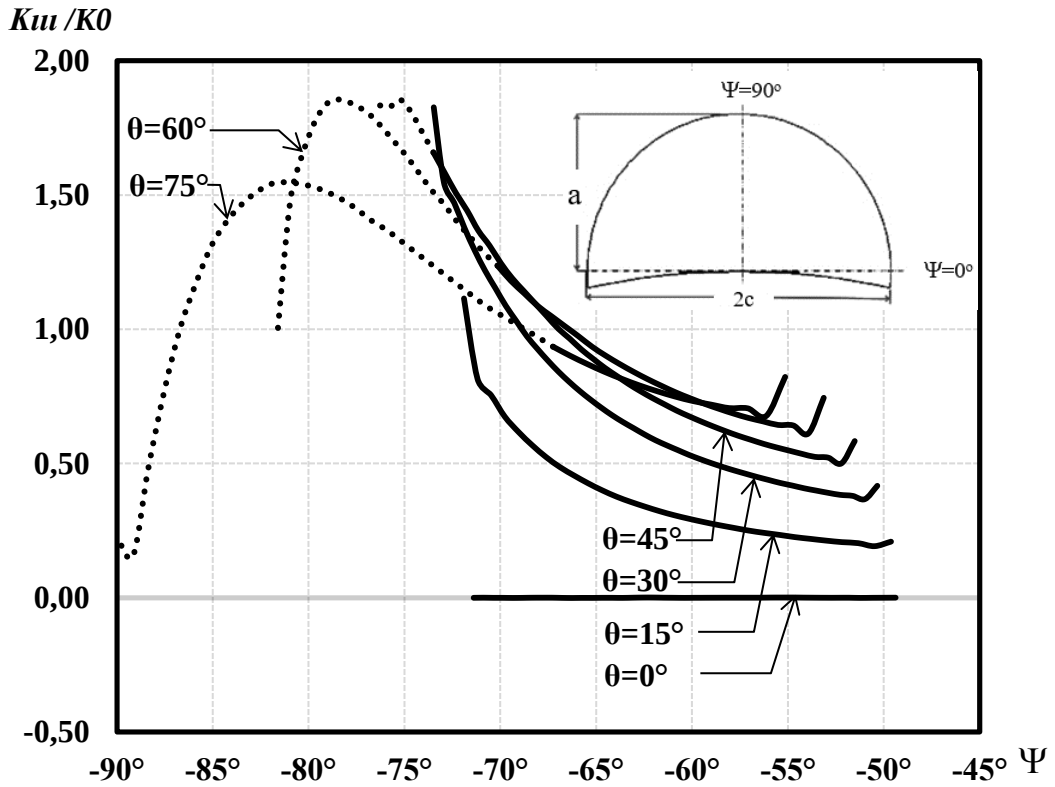
Şekil 3.325. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



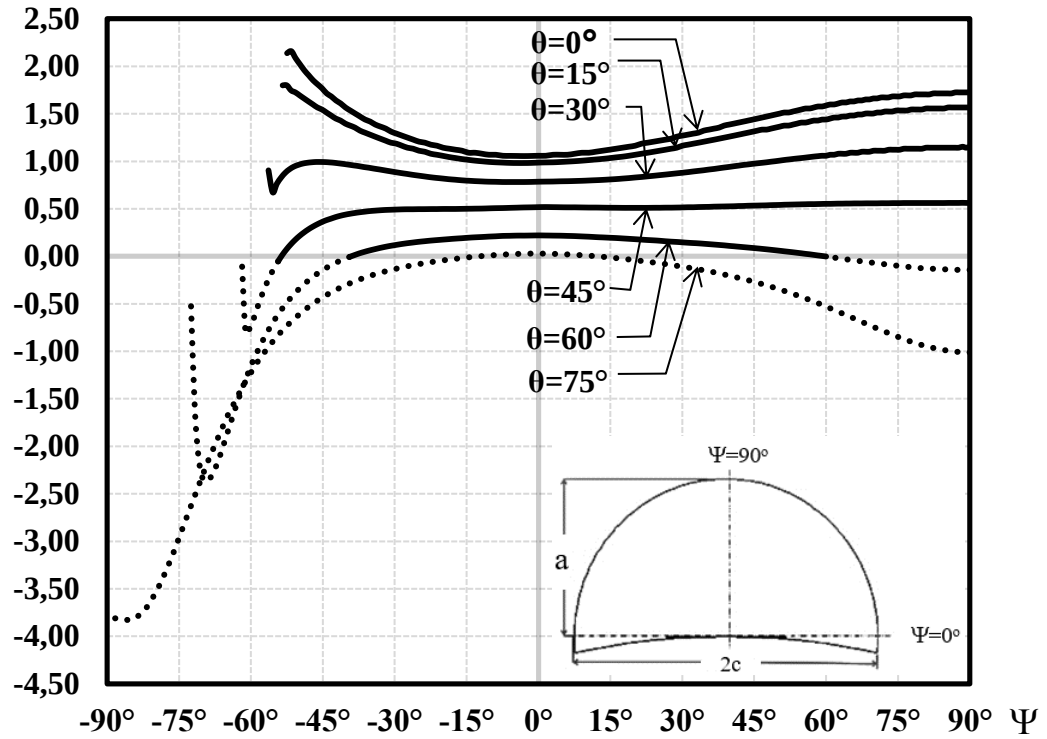
Şekil 3.326. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



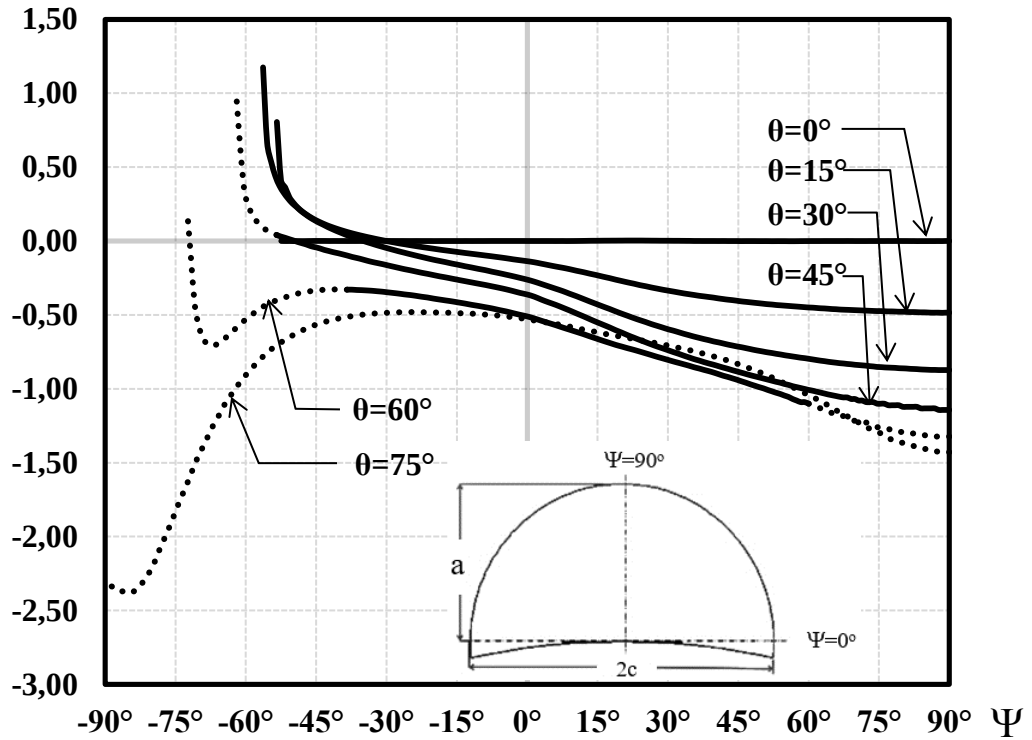
Şekil 3.327. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



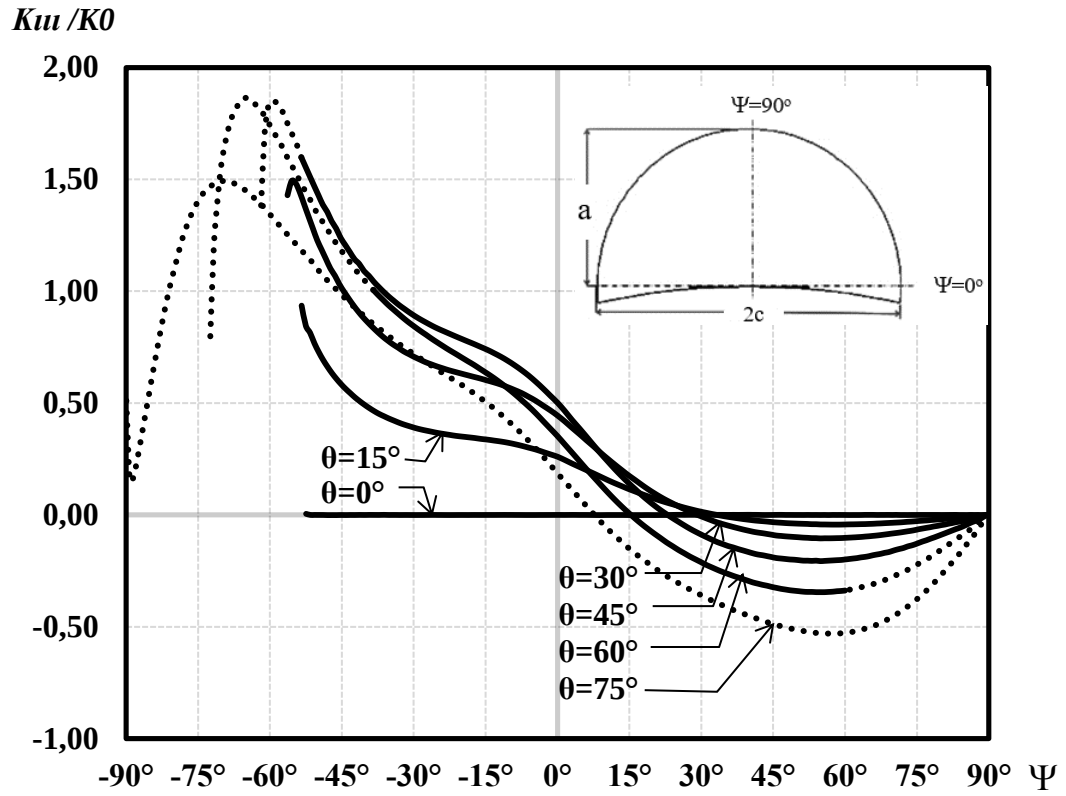
Şekil 3.328. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.25$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_I / K_0


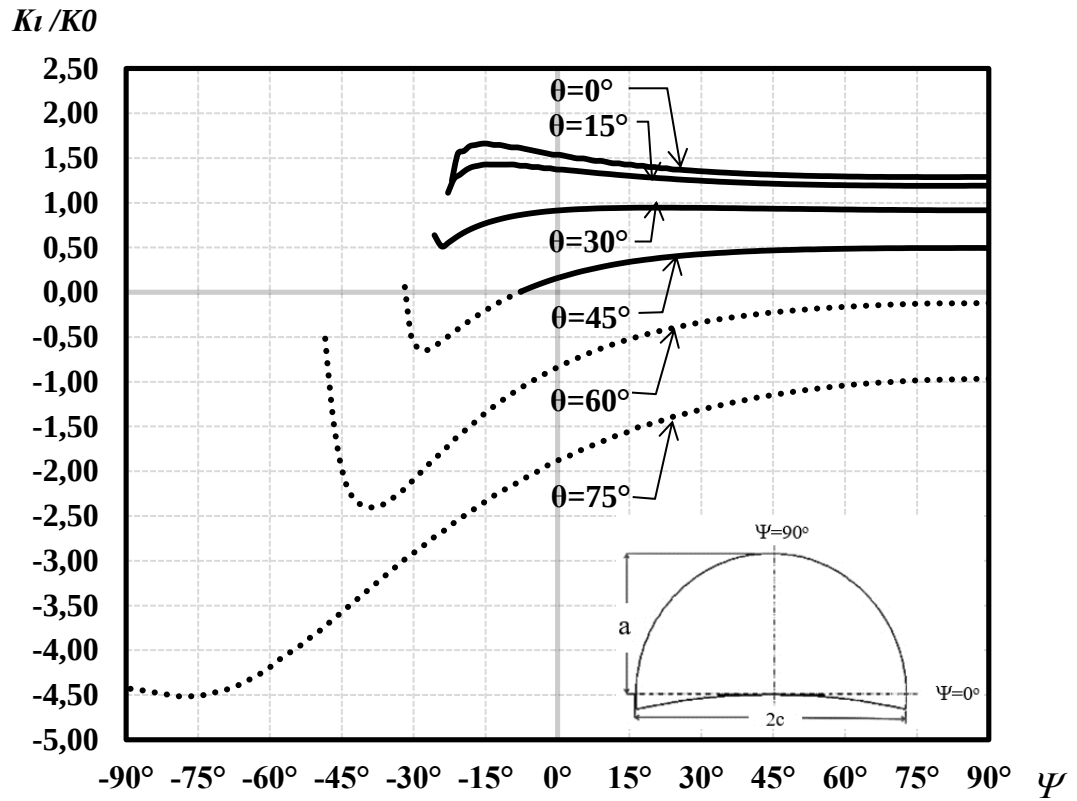
Şekil 3.329. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


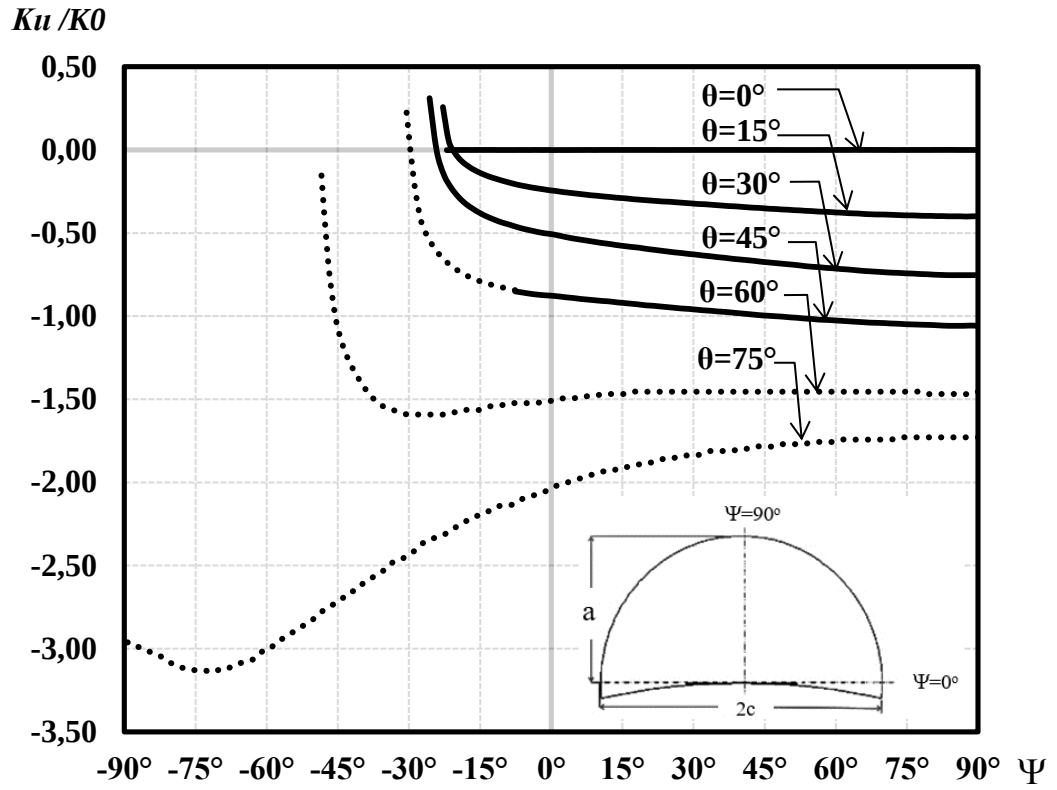
Şekil 3.330. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



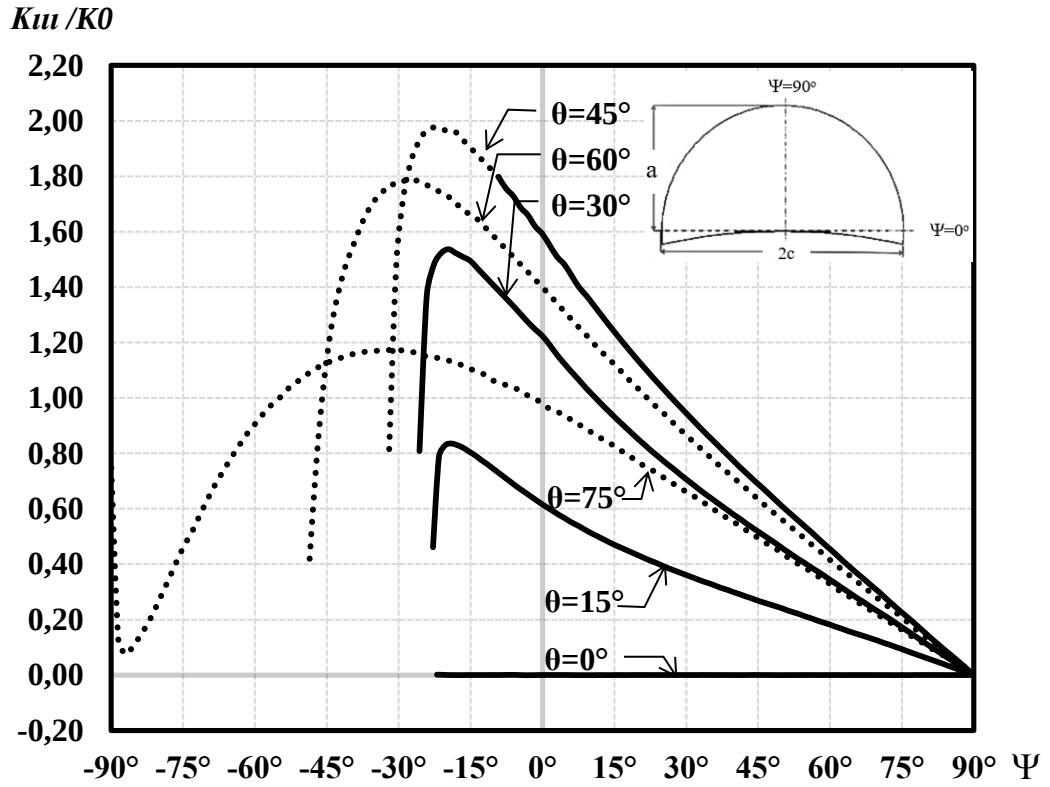
Şekil 3.331. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=0.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



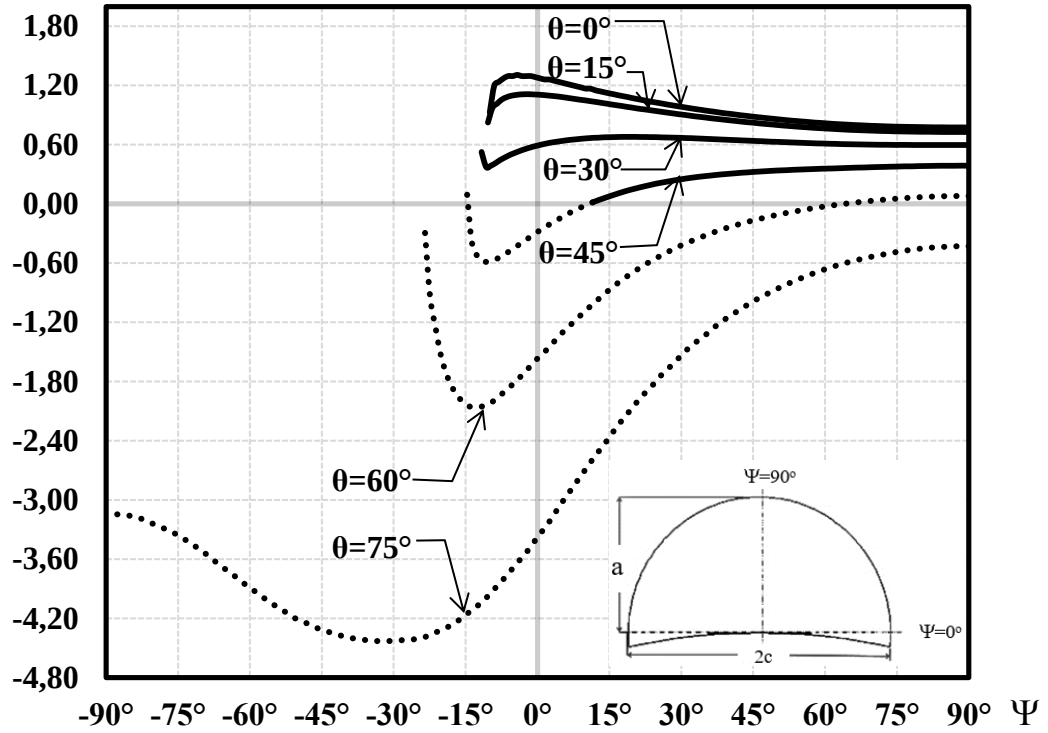
Şekil 3.332. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



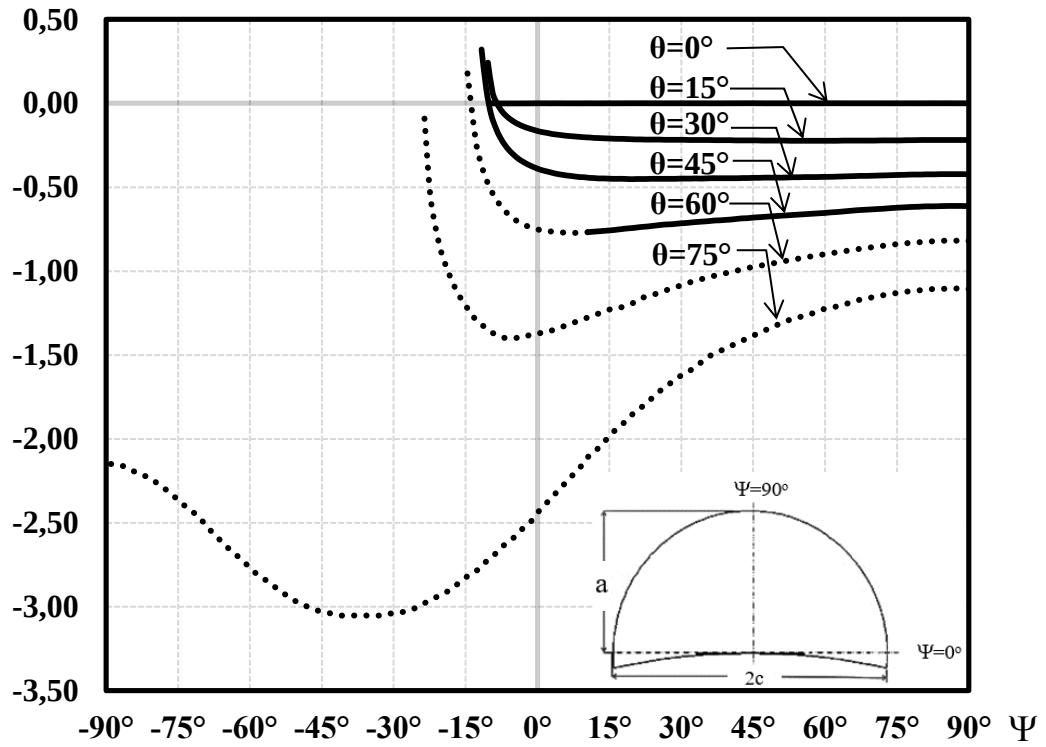
Şekil 3.333. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.



Şekil 3.334. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.00$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

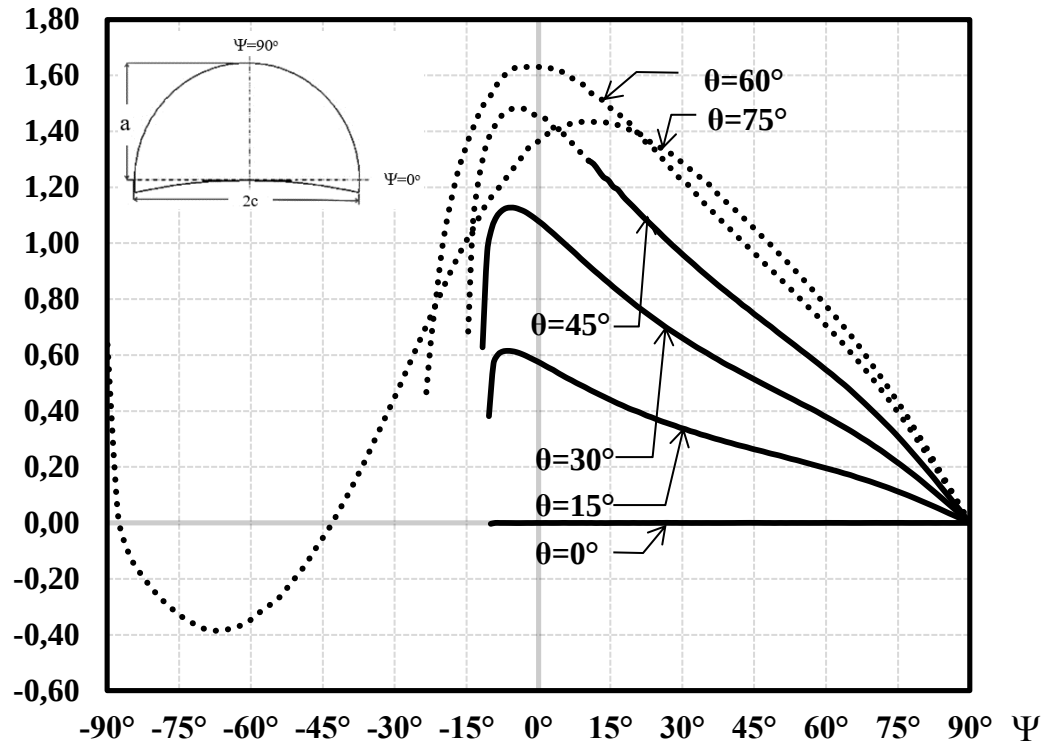
K_I / K_0


Şekil 3.335. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-I normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

 K_{II} / K_0


Şekil 3.336. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-II normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

K_{III}/K_0



Şekil 3.337. $R_o/R_i=2.00$, $a/t=0.75$, $a/c=1.50$ için mod-III normalize edilmiş gerilme-şiddet faktörleri.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Küresel basınçlı kaplar, yüksek hacimde ürün depolayabilme özelliğiyle endüstride petrokimya, gübre üretimi ve likit gaz gibi ürünlerin depolanmasında kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System) programı kullanılarak küresel basınçlı kap ile ilgili pratikte görülmesi muhtemel olan çatlak tipleri belirlenmiş, bu çatlaklara ait karışık modlu gerilme-şiddet faktörleri hesaplanmıştır.

Basınçlı küresel kaplar çatlak oluşumuna elverişli yapılardır. Bu nedenle basınçlı küresel kap tasarımında kırılma mekaniği önemli rol oynamaktadır. Bu tez kapsamında, küresel yapının et kalınlığı, çatlağın iç veya dış yüzeyde olması, çatlak derinliği/et kalınlığı (a/t), çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) ve çatlağın yatay eksenle yaptığı açı gibi parametrelerin değişimin gerilme-şiddet faktörüne etkisi incelenmiştir.

Basınçlı küresel kaplar için literatürde karışık modlu bir analize rastlanmamıştır. Ancak pratikte karşılaşılan çatlaklar karışık modlu olabilir. Bu nedenle bu tez kapsamında yapılan analizde mod-I (açılma modu), mod-II (kayma modu) ve mod-III (yırılma Modu) olmak üzere karışık modlu olarak gerilme-şiddet faktörleri hesaplanmış ve pratikte görülmesi muhtemel çatlaklar için bir kütüphane oluşturulmuştur. Toplam 555 analiz yapılmış ve 1665 durum için sonuçlar verilmiştir.

Literatürde rastlanan mod-I (açılma modu) ait sonuçlar elde edilen mod-I analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların yakın olduğu görülmüştür. Ancak sonuçların deneysel olarak da karşılaştırılması yararlı olacaktır.

mod-I (açılma modu), mod-II (kayma modu) ve mod-III (yırılma modu) için hesaplanan değerler grafikler halinde verilmiştir. Tüm bu sonuçlar için analiz aşamalarında kullanılan parametrelere bağlı bir empirik formülasyon geliştirilmesi sonuçların değerlendirilmesini kolaylaştıracağından faydalı bir adım olarak görülebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Yayla, P., Kırılma Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2007.
- [2] Aran, A., Kırılma Mekaniğine Giriş Seminer Notları.
- [3] Uzun, M., Yorulma, Çatlak İlerlemesi ve Çatlak Davranışının Nümerik Analizi, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [4] Gdoutos. E.E., Fracture Mechanics, Springer, 2005.
- [5] Türkel, V., Oğur, A., Anık, S., Küresel Tankların Dizayn ve İmalatının Bilgisayar Yardımıyla İncelenmesi, Mühendis ve Makina • Cilt : 49 Sayı: 579, 2008.
- [6] Gökçe, H., Yüksek Basıncılı Küresel Tank Sistemlerinde Geometri Tabanlı Uygun Basınç Dağılımlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK – SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, 2015.
- [7] Perl, M., Bernstein, V., Three-dimensional Stress Intensity Factors for Ring Cracks and Arrays of Coplanar Cracks Emanating from the Inner Surface of a Spherical Pressure Vessel, Engineering Fracture Mechanics 94:71, 2012.
- [8] Hakimi AE, Le Grogne P, Hariri S. Numerical and analytical study of severity of cracks in cylindrical and spherical shells. Engineering Fracture Mechanics 75:1027–44, 2008.
- [9] Erdoğan, F., Ratwani, R., Fatigue and Cylindrical and Spherical Shells Containing a Crack, Nuclear Engineering and Design. Vol. 20, Issue 1, Pages 265-286, 1972.
- [10] Jie N., The Elastic-Plastic Fracture Mechanics Analysis for Surface Cracked Spherical Pressure Vessel. Computational Mechanics. pp 1197-1202, 1986.
- [11] Perl M, and Steiner M., 3-D Stress Intensity Factors due to Full Autofrettage for Inner Radial or Coplanar Crack Arrays and Ring Cracks in a Spherical Pressure Vessel. Engineering Fracture Mechanics 138:233, 2014.

- [12] Moaveni, S.A., Ayhan, A.O., Sonlu Elemanlar Analizi Teori ve ANSYS ile uygulamalar, Dördüncü baskıdan Türkçe Çeviri Palme Yayıncılık, 2015
- [13] ANSYS, Version 12.0. Ansys Inc., Canonsburg, PA, USA, 2009.
- [14] Ayhan, A.O., 113M407 nolu TÜBİTAK projesi sonuç raporu, 2016
- [15] Ayhan, A.O., Nied H.F., “Stress intensity factors for three-dimensional surface cracks using enriched elements,” International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol.54, pp.899–921, 2002.
- [16] Raju IS, Newman Jr, Stress intensity factors for internal surface cracks in cylindrical pressure vessel. ASME J Press Vessel Technol 102:342–6, 1980.



ÖZGEÇMİŞ

Emre KURT, 30.05.1992 de Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Gölcük’te tamamladı. 2010 yılında Gölcük Barboros Hayrettin Lisesinden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi, Makina Tasarım ve İmalat Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2015-2016 yılları arasında Prof. Dr. Ali Osman AYHAN tarafından yürütülen Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi (FCPAS) – Aşama 2 adlı ve 113M407 kod numaralı TÜBİTAK destekli araştırma projesinde bursiyer proje asistanı olarak çalıştı. Bu süre içerisinde çeşitli kırılma analizleri gerçekleştirdi.