

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

**YAYILI YÜK ALTINDA BULUNAN LEVHALARDAKİ  
ELİPTİK KARIŞIK MOD YÜZEY ÇATLAKLARININ  
FCPAS İLE KIRILMA ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan ŞAHİN**

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

**Şubat 2020**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAYILI YÜK ALTINDA BULUNAN LEVHALARDAKİ  
ELİPTİK KARIŞIK MOD YÜZEY ÇATLAKLARININ  
FCPAS İLE KIRILMA ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ŞAHİN

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 04.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
Ali Osman AYHAN  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Mehmet Ali ARSLAN  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Mehmet İskender ÖZSOY  
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.

Hakan ŞAHİN

04.02.2020

## 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 teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca alıőma süresince verdiği fikir desteği ve yardımları için sayın Dr.Öğr.Üyesi Sedat İRİ ve Dr.Öğr.Üyesi Oğuzhan DEMİR'e, 217M690 nolu araştırma projesi kapsamında hazırlamıő olduğum bu çalıőmayı finansal olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK), eğitim hayatım boyunca bana sağladıkları destek için ailemin fertlerine, proje çalışma arkadaşlarım Emre KURT ve Mehmet Faruk YAREN'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER TABLOSU

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER TABLOSU .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ .....	xxx
ÖZET.....	xxxiii
SUMMARY .....	xxxiv

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Kırılma Mekaniği ve Tarihçesi.....	1
1.2. Kırılma Mekaniği .....	2
1.2.1. Kırılma modları .....	3
1.2.2. Karışık mod yük altında gerilme şiddet faktörleri .....	3

### BÖLÜM 2.

LEVHALARDA KARIŞIK MOD YÜZEY ÇATLAKLARI.....	6
2.1. Problem Tanımı .....	6
2.2. Levhada Eliptik Çatlaklarla İlgili Literatürde Bulunan Çalışmalar .....	8

### BÖLÜM 3.

LEVHALARDA ÜÇ BOYUTLU YÜZEY ÇATLAKLARININ KARIŞIK MOD ANALİZLERİ .....	12
3.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve FCPAS ile Kırılma Analizleri.....	14

3.1.1. Üç boyutlu bir levhada eliptik çatlağın karışık moddaki gerilme şiddet faktörlerinin doğrulanması .....	23
3.1.2. Sonlu eleman ağ duyarlılık analizi .....	25
3.2. Eksenel Gerilmeye Maruz Levhada Bulunan Eğik Çatlak Analizleri ..	27
3.3. Eksenel Gerilmeye Maruz Levhada Bulunan Dönmüş Çatlak Analizleri .....	59
3.4. Eğilme Gerilmesine Maruz Levhada Bulunan Eğik Çatlak Analizleri ..	92
3.5. Eğilme Gerilmesine Maruz Levhada Bulunan Dönmüş Çatlak Analizleri .....	125
3.6. Çatlak Şekil Oranı (a/c) Parametresinin Etkileri .....	157
3.6.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak .....	158
3.6.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak .....	166
3.6.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak .....	175
3.6.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak .....	183
3.7. Çatlak Derinlik Oranı (a/t) Parametresinin Etkileri .....	191
3.7.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak .....	192
3.7.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak .....	198
3.7.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak .....	205
3.7.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak .....	212

#### BÖLÜM 4.

#### KARIŞIK MOD GERİLME ŞİDDET FAKTÖRLERİ İÇİN EMİRİK

DENKLEM GELİŞTİRİLMESİ .....	219
4.1. Çatlak Ucu Serbest Yüzey Noktaları ( $\theta=0^\circ$ ) .....	222
4.1.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak .....	223
4.1.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak .....	230
4.1.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak .....	230
4.1.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak .....	230
4.2. Çatlak Ucu Derinlik Noktaları ( $\theta=90^\circ$ ) .....	249
4.2.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak .....	249
4.2.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak .....	254
4.2.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak .....	254

4.2.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak .....	254
4.3. Empirik Denklem Doğrulama Çalışması.....	268
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME .....	270
KAYNAKLAR.....	272
ÖZGEÇMİŞ .....	274

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$a$	: Çatlak derinlik uzunluğu
$\alpha$	: Dönmüş çatlağın yatay eksenle yaptığı açı
$b$	: Levha genişliği
$\beta$	: Eğik çatlağın yatay eksenle yaptığı açı
$c$	: Çatlak genişlik uzunluğu
FCPAS	: Fracture and Crack Propagation Analysis System (Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi)
GŞF	: Gerilme Şiddet Faktörü
$H$	: Levha yüksekliği(mm)
$K_r$	: Normalizasyon için kullanılan GŞF sembolü
$K$	: Gerilme Şiddet Faktörü sembolü
$K_1$	: Mod-I yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
$K_2$	: Mod-II yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
$K_3$	: Mod-III yüklemesi etkisiyle oluşan gerilme şiddet faktörü
LEKM	: Lineer Elastik Kırılma Mekaniği
$R$	: Silindir yarıçapı
$Q$	: Eliptik çatlak için şekil faktörü
$t$	: Levha et kalınlığı
$\theta$	: Çatlak önü konumsal açısı
$\sigma$	: Eksenel gerilme
$\tau$	: Kayma gerilmesi



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çatlak deformasyon modları, (a) açılma, (b) düzlem içi kayma ve (c) yırtılma modu. ....	3
Şekil 1.2. Çatlak uzunluğu $2a$ olan sonsuz bir levhaya eksenel (a) ve kayma (b) gerilmelerinin uygulanması. ....	4
Şekil 1.3. Çatlak uzunluğu $2a$ olan sonsuz bir levhaya düzlem dışı kayma gerilme uygulanması. ....	5
Şekil 2.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik (sol) ve dönmüş (sağ) yüzey çatlağı içeren levha. ....	7
Şekil 2.2. Eğilme gerilmesine maruz eğik (sol) ve dönmüş (sağ) yüzey çatlağı içeren levha. ....	8
Şekil 3.1. Levhaya yerleştirilen eliptik (solda) eğik yüzey çatlağı ve (sağda) eliptik dönmüş yüzey çatlağı ve problemi tanımlayıcı parametreler. ....	14
Şekil 3.2. Çatlaksız bir levha modeli (a), merkeze yerleştirilen yarı dairesel çizginin (b) gösterimi. ....	16
Şekil 3.3. Çizilen karelerin çatlak ucu boyunca süpürülmesi ile oluşturulan çatlak ucu hacimleri. ....	17
Şekil 3.4. Eğik yüzey çatlağına sahip bir levhanın bölüntülenmiş modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	18
Şekil 3.5. 20 düğüm noktalı ANSYS Solid-95 elemanı. ....	18
Şekil 3.6. FCPAS V2.1 ana açılış ekranı. ....	19
Şekil 3.7. Fracture Analysis Using <i>ANSYS</i> ™ FE Model ana ekranı. ....	19
Şekil 3.8. FCPAS ile kırılma analiz adımları. ....	20
Şekil 3.9. Dönmüş yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	22
Şekil 3.10. Gömülü eğik eliptik çatlak içeren bir silindir. ....	23

Şekil 3.11. Gömülü eğik eliptik çatlak içeren bir silindirin sonlu elemanlar modeli ve çatlak ucu yakın görüntüsü. ....	24
Şekil 3.12. Eğik eliptik çatlağa sahip bir silindirdeki normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü karşılaştırılması. ....	24
Şekil 3.13. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ , $\beta=75^\circ$ boyutlarına sahip eğik eliptik yüzey çatlağı için çatlak ucundaki eleman boyutunun farklı değerleri için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörünün çatlak önü boyunca dağılımları. ....	26
Şekil 3.14. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ , $\beta=75^\circ$ olan eğik yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	28
Şekil 3.15. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	29
Şekil 3.16. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	30
Şekil 3.17. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	30
Şekil 3.18. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	31
Şekil 3.19. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	31
Şekil 3.20. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	32
Şekil 3.21. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	32
Şekil 3.22. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	33
Şekil 3.23. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	33
Şekil 3.24. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	34

Şekil 3.25. $a/c=0.25$ , $a/t=0,8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	34
Şekil 3.26. $a/c=0.25$ , $a/t=0,8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	35
Şekil 3.27. $a/c=0,5$ , $a/t=0,2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	35
Şekil 3.28. $a/c=0,5$ , $a/t=0,2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	36
Şekil 3.29. $a/c=0,5$ , $a/t=0,2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	36
Şekil 3.30. $a/c=0,5$ , $a/t=0,4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	37
Şekil 3.31. $a/c=0,5$ , $a/t=0,4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	37
Şekil 3.32. $a/c=0,5$ , $a/t=0,4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	38
Şekil 3.33. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	38
Şekil 3.34. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	39
Şekil 3.35. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	39
Şekil 3.36. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	40
Şekil 3.37. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	40
Şekil 3.38. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	41
Şekil 3.39. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	41
Şekil 3.40. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	42

Şekil 3.41. $a/c=1, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	42
Şekil 3.42. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	43
Şekil 3.43. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	43
Şekil 3.44. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	44
Şekil 3.45. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	44
Şekil 3.46. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	45
Şekil 3.47. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	45
Şekil 3.48. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	46
Şekil 3.49. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	46
Şekil 3.50. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	47
Şekil 3.51. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	47
Şekil 3.52. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	48
Şekil 3.53. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	48
Şekil 3.54. $a/c=2, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	49
Şekil 3.55. $a/c=2, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	49
Şekil 3.56. $a/c=2, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	50
Şekil 3.57. $a/c=2, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	50
Şekil 3.58. $a/c=2, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	51
Şekil 3.59. $a/c=2, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	51
Şekil 3.60. $a/c=2, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	52
Şekil 3.61. $a/c=2, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	52

Şekil 3.62. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	53
Şekil 3.63. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	53
Şekil 3.64. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	54
Şekil 3.65. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	54
Şekil 3.66. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	55
Şekil 3.67. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	55
Şekil 3.68. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	56
Şekil 3.69. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	56
Şekil 3.70. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	57
Şekil 3.71. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	57
Şekil 3.72. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.	58
Şekil 3.73. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.	58
Şekil 3.74. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	59
Şekil 3.75. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ , $\alpha=15^\circ$ olan dönmüş yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	60
Şekil 3.76. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	62
Şekil 3.77. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	62
Şekil 3.78. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	63
Şekil 3.79. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	63
Şekil 3.80. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	64

Şekil 3.81. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	64
Şekil 3.82. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	65
Şekil 3.83. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	65
Şekil 3.84. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	66
Şekil 3.85. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	66
Şekil 3.86. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	67
Şekil 3.87. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	67
Şekil 3.88. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	68
Şekil 3.89. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	68
Şekil 3.90. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	69
Şekil 3.91. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	69
Şekil 3.92. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	70
Şekil 3.93. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	70
Şekil 3.94. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	71
Şekil 3.95. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	71
Şekil 3.96. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	72

Şekil 3.97. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	72
Şekil 3.98. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	73
Şekil 3.99. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	73
Şekil 3.100. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	74
Şekil 3.101. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	74
Şekil 3.102. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	75
Şekil 3.103. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	75
Şekil 3.104. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	76
Şekil 3.105. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	76
Şekil 3.106. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	77
Şekil 3.107. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	77
Şekil 3.108. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	78
Şekil 3.109. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	78
Şekil 3.110. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	79
Şekil 3.111. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	79
Şekil 3.112. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	80

Şekil 3.113. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	80
Şekil 3.114. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	81
Şekil 3.115. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	81
Şekil 3.116. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	82
Şekil 3.117. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	82
Şekil 3.118. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	83
Şekil 3.119. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	83
Şekil 3.120. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	84
Şekil 3.121. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	84
Şekil 3.122. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	85
Şekil 3.123. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	85
Şekil 3.124. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	86
Şekil 3.125. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	86
Şekil 3.126. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	87
Şekil 3.127. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	87
Şekil 3.128. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	88



Şekil 3.129. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	88
Şekil 3.130. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	89
Şekil 3.131. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	89
Şekil 3.132. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	90
Şekil 3.133. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	90
Şekil 3.134. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	91
Şekil 3.135. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	91
Şekil 3.136. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ , $\alpha=15^\circ$ olan eğik yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	93
Şekil 3.137. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	95
Şekil 3.138. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	95
Şekil 3.139. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	96
Şekil 3.140. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	96
Şekil 3.141. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	97
Şekil 3.142. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	97
Şekil 3.143. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	98

Şekil 3.144. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	98
Şekil 3.145. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	99
Şekil 3.146. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	99
Şekil 3.147. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	100
Şekil 3.148. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	100
Şekil 3.149. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	101
Şekil 3.150. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	101
Şekil 3.151. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	102
Şekil 3.152. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	102
Şekil 3.153. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	103
Şekil 3.154. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	103
Şekil 3.155. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	104
Şekil 3.156. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	104
Şekil 3.157. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	105
Şekil 3.158. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	105
Şekil 3.159. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	106

Şekil 3.160. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	106
Şekil 3.161. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	107
Şekil 3.162. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	107
Şekil 3.163. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	108
Şekil 3.164. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	108
Şekil 3.165. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	109
Şekil 3.166. $a/c=1$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	109
Şekil 3.167. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	110
Şekil 3.168. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	110
Şekil 3.169. $a/c=1$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	111
Şekil 3.170. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	111
Şekil 3.171. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	112
Şekil 3.172. $a/c=1$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	112
Şekil 3.173. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.....	113
Şekil 3.174. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.....	113
Şekil 3.175. $a/c=2$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.....	114

Şekil 3.176. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	114
Şekil 3.177. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	115
Şekil 3.178. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	115
Şekil 3.179. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	116
Şekil 3.180. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	116
Şekil 3.181. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	117
Şekil 3.182. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	117
Şekil 3.183. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	118
Şekil 3.184. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	118
Şekil 3.185. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	119
Şekil 3.186. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	119
Şekil 3.187. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	120
Şekil 3.188. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	120
Şekil 3.189. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	121
Şekil 3.190. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	121
Şekil 3.191. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	122

Şekil 3.192. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	122
Şekil 3.193. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	123
Şekil 3.194. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	123
Şekil 3.195. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	124
Şekil 3.196. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	124
Şekil 3.197. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ , $\alpha=15^\circ$ olan dönmüş yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü. ....	126
Şekil 3.198. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	127
Şekil 3.199. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	128
Şekil 3.200. $a/c=0.25$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	128
Şekil 3.201. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	129
Şekil 3.202. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	129
Şekil 3.203. $a/c=0.25$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	130
Şekil 3.204. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	130
Şekil 3.205. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	131
Şekil 3.206. $a/c=0.25$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	131

Şekil 3.207. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	132
Şekil 3.208. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	132
Şekil 3.209. $a/c=0.25$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	133
Şekil 3.210. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	133
Şekil 3.211. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	134
Şekil 3.212. $a/c=0.5$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	134
Şekil 3.213. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	135
Şekil 3.214. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	135
Şekil 3.215. $a/c=0.5$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	136
Şekil 3.216. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	136
Şekil 3.217. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	137
Şekil 3.218. $a/c=0.5$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	137
Şekil 3.219. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	138
Şekil 3.220. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	138
Şekil 3.221. $a/c=0.5$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	139
Şekil 3.222. $a/c=1$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	139

Şekil 3.223. $a/c=1, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	140
Şekil 3.224. $a/c=1, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	140
Şekil 3.225. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	141
Şekil 3.226. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	141
Şekil 3.227. $a/c=1, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	142
Şekil 3.228. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	142
Şekil 3.229. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	143
Şekil 3.230. $a/c=1, a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	143
Şekil 3.231. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	144
Şekil 3.232. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	144
Şekil 3.233. $a/c=1, a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	145
Şekil 3.234. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	145
Şekil 3.235. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	146
Şekil 3.236. $a/c=2, a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	146
Şekil 3.237. $a/c=2, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	147
Şekil 3.238. $a/c=2, a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	147

Şekil 3.239. $a/c=2$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	148
Şekil 3.240. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	148
Şekil 3.241. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	149
Şekil 3.242. $a/c=2$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	149
Şekil 3.243. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	150
Şekil 3.244. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	150
Şekil 3.245. $a/c=2$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	151
Şekil 3.246. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	151
Şekil 3.247. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	152
Şekil 3.248. $a/c=4$ , $a/t=0.2$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	152
Şekil 3.249. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	153
Şekil 3.250. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	153
Şekil 3.251. $a/c=4$ , $a/t=0.4$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	154
Şekil 3.252. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	154
Şekil 3.253. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	155
Şekil 3.254. $a/c=4$ , $a/t=0.6$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	155



Şekil 3.255. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri. ....	156
Şekil 3.256. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri. ....	156
Şekil 3.257. $a/c=4$ , $a/t=0.8$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri. ....	157
Şekil 3.258. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ). ....	159
Şekil 3.259. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ). ....	159
Şekil 3.260. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ). ....	160
Şekil 3.261. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ). ....	160
Şekil 3.262. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ). ....	161
Şekil 3.263. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ). ....	161
Şekil 3.264. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ). ....	162
Şekil 3.265. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ). ....	162
Şekil 3.266. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ). ....	163
Şekil 3.267. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ). ....	163
Şekil 3.268. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ). ....	164
Şekil 3.269. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ). ....	164
Şekil 3.270. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ). ....	165

Şekil 3.271. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	165
Şekil 3.272. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	166
Şekil 3.273. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	167
Şekil 3.274. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	168
Şekil 3.275. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	168
Şekil 3.276. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	169
Şekil 3.277. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	169
Şekil 3.278. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	170
Şekil 3.279. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	170
Şekil 3.280. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	171
Şekil 3.281. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	171
Şekil 3.282. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	172
Şekil 3.283. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	172
Şekil 3.284. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	173
Şekil 3.285. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	173
Şekil 3.286. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha =45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	174

Şekil 3.287. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	174
Şekil 3.288. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	176
Şekil 3.289. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	176
Şekil 3.290. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	177
Şekil 3.291. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	177
Şekil 3.292. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	178
Şekil 3.293. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	178
Şekil 3.294. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	179
Şekil 3.295. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	179
Şekil 3.296. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	180
Şekil 3.297. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	180
Şekil 3.298. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	181
Şekil 3.299. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	181
Şekil 3.300. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	182
Şekil 3.301. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	182
Şekil 3.302. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	183

Şekil 3.303. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	184
Şekil 3.304. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	184
Şekil 3.305. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	185
Şekil 3.306. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	185
Şekil 3.307. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	186
Şekil 3.308. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	186
Şekil 3.309. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	187
Şekil 3.310. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	187
Şekil 3.311. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	188
Şekil 3.312. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	188
Şekil 3.313. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.25$ ).....	189
Şekil 3.314. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=0.5$ ).....	189
Şekil 3.315. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=1$ ).....	190
Şekil 3.316. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=2$ ).....	190
Şekil 3.317. Sabit $a/c$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ , $a/c=4$ ).....	191
Şekil 3.318. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). ....	192

Şekil 3.319. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	193
Şekil 3.320. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	193
Şekil 3.321. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	194
Şekil 3.322. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	194
Şekil 3.323. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	195
Şekil 3.324. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	195
Şekil 3.325. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	196
Şekil 3.326. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	196
Şekil 3.327. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	197
Şekil 3.328. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	197
Şekil 3.329. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	198
Şekil 3.330. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	199
Şekil 3.331. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	199
Şekil 3.332. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	200
Şekil 3.333. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	200
Şekil 3.334. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	201

Şekil 3.335. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	201
Şekil 3.336. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	202
Şekil 3.337. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	202
Şekil 3.338. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	203
Şekil 3.339. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	203
Şekil 3.340. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	204
Şekil 3.341. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	204
Şekil 3.342. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	206
Şekil 3.343. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	206
Şekil 3.344. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	207
Şekil 3.345. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	207
Şekil 3.346. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	208
Şekil 3.347. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	208
Şekil 3.348. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	209
Şekil 3.349. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	209
Şekil 3.350. Sabit $a/t$ için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	210

Şekil 3.351. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	210
Şekil 3.352. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	211
Şekil 3.353. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	211
Şekil 3.354. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	213
Şekil 3.355. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	213
Şekil 3.356. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	214
Şekil 3.357. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	214
Şekil 3.358. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	215
Şekil 3.359. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	215
Şekil 3.360. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	216
Şekil 3.361. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	216
Şekil 3.362. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.2$ ). .....	217
Şekil 3.363. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.4$ ). .....	217
Şekil 3.364. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.6$ ). .....	218
Şekil 3.365. Sabit a/t için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ , $a/t=0.8$ ). .....	218
Şekil 4.1. Denklem parametrelerinin belirlenmesinde analiz sonuçlarındaki verilerin seçimi. ....	220

Şekil 4.2. Minitab programında regresyon analizi kısmının açılması .....	220
Şekil 4.3. Minitab programında regresyon denklemi oluşturma işlemleri .....	221
Şekil 4.4. Çatlak ucu serbest yüzey bölgesinin ağ bölüntülenme modelinde gösterilmesi.....	223
Şekil 4.5. Çatlak ucu derinlik noktasını sonlu elemanlar ağ modeli üzerinde gösterimi .....	249
Şekil 4. 6. $a/c=1.5$ , $a/t=0.5$ , $\beta$ ve $\alpha=54^\circ$ için mod-I gerilme şiddet faktörleri ve empirik denklemlerle elde edilen çatlak ucu derinlik noktası $\theta=90^\circ$ ve serbest yüzey noktası $\theta=0^\circ$ gösterimi. ....	268
Şekil 4. 7. $a/c=1.5$ , $a/t=0.5$ , $\beta$ ve $\alpha=54^\circ$ için mod-II gerilme şiddet faktörleri ve empirik denklemlerle elde edilen çatlak ucu derinlik noktası $\theta=90^\circ$ ve serbest yüzey noktası $\theta=0^\circ$ gösterimi. ....	269
Şekil 4. 8. $a/c=1.5$ , $a/t=0.5$ , $\beta$ ve $\alpha=54^\circ$ için mod-III gerilme şiddet faktörleri ve empirik denklemlerle elde edilen çatlak ucu derinlik noktası $\theta=90^\circ$ ve serbest yüzey noktası $\theta=0^\circ$ gösterimi. ....	269



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Problemi tanımlayan parametreler. ....	13
Tablo 3.2. Analizlerde kullanılan yüzey çatlak ve levha boyutları (tüm analizlerde $a = 1$ birim alınmıştır).....	13
Tablo 3.3. Analiz sayısı ve analiz yol haritası .....	14
Tablo 4.1. Geliştirilen empirik denklemlerde 0-45 derece ve 45-75 derecedeki karışık mod yüzey çatlaklarının indirgenmiş katsayı adetleri. ....	222
Tablo 4.2. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	224
Tablo 4.3. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	225
Tablo 4.4. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.....	226
Tablo 4.5. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.....	227
Tablo 4.6. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	228
Tablo 4.7. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve $\beta = 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	229
Tablo 4.8. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha = 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	231
Tablo 4.9. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha = 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	232
Tablo 4.10. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha = 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	233
Tablo 4.11. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha = 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	234

Tablo 4.12. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	235
Tablo 4.13. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	236
Tablo 4.14 Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	237
Tablo 4.15. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	238
Tablo 4.16. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	239
Tablo 4.17. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	240
Tablo 4.18. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	241
Tablo 4.19. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve $\beta=45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	242
Tablo 4.20. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	243
Tablo 4.21. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi. ....	244
Tablo 4.22. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	245
Tablo 4.23. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi. ....	246
Tablo 4.24. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 0-45^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	247
Tablo 4.25. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve $\alpha= 45-75^\circ$ için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi. ....	248
Tablo 4.26. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta= 0-45$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	250
Tablo 4.27. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta= 45-75$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	251

Tablo 4.28. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-III empirik denklemi. ....	252
Tablo 4.29. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-III empirik denklemi. ....	253
Tablo 4.30. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	256
Tablo 4.31. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	257
Tablo 4.32. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-II empirik denklemi. ....	258
Tablo 4.33. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-II empirik denklemi. ....	259
Tablo 4.34. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	260
Tablo 4.35. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	261
Tablo 4.36. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-III empirik denklemi. ....	262
Tablo 4.37. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-III empirik denklemi. ....	263
Tablo 4.38. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	264
Tablo 4.39. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-I empirik denklemi. ....	265
Tablo 4.40. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 0-45$ dereceleri için mod-II empirik denklemi. ....	266
Tablo 4.41. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ucu derinlik noktasında $\theta = 45-75$ dereceleri için mod-II empirik denklemi. ....	267

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kırılma Mekanikği, Gerilme Şiddet Faktörü, Mod-I, Mod-II, Mod-III, Levhalar, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik tasarımlarında karşılaşılan mekanik sorunlardan biri de malzemelerin ya da parçaların kırılmasıdır. Bu yapıların emniyet ve ömür analizleri için, kırılma mekanikği teknik ve yöntemlerini kullanarak elastik yapılar için gerilme şiddet faktörlerinin hesaplanması gerekmektedir. Pratikte değişik yükler altında bulunan ve çatlak içeren levha türü yapılar ile sıklıkla karşılaşılmakta veya bir çok problem lokal olarak levha problemine indirgenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, aksenal gerilme veya eğilme momentine maruz levhalardaki eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarına ait üç boyutlu karışık modlu gerilme şiddet faktörleri hesaplamaları FCPAS sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve geniş bir gerilme şiddet faktörü kütüphanesi oluşturulmuştur. Çatlak derinliği/levha et kalınlığı ( $a/t$ ), çatlak derinliği/çatlak genişliği ( $a/c$ ), eğik ve dönmüş eliptik çatlağın yatay akselle yaptığı açı gibi parametrelerin değişiminin gerilme şiddet faktörlerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen çözümleri pratikte daha yaygın kullanılabilmesi amacıyla, yapılan detaylı analizler sonucu elde edilen gerilme şiddet faktörleri için, probleme etki eden parametrelere bağlı olarak empirik denklemler de geliştirilmiş ve doğrulama analizleri yapılmıştır.

# **FRACTURE ANALYSIS OF MIXED MODE ELLIPTIC SURFACE CRACKS IN A PLATES UNDER DISTRIBUTED LOAD WITH FCPAS**

## **SUMMARY**

Keywords: Fracture Mechanics, Stress Intensity Factor, Mode-I, Mode-II, Mode-III, Plate, Finite Element Method.

One of the mechanical problems encountered in engineering designs is the breakage of structures or parts. It is necessary to calculate stress intensity factors using fracture mechanic approach on elastic structures for safe designs and to predict crack growth life. In practice, cracks can be observed on plate-like structures or they can be modelled locally as a crack in a plate.

In this thesis, three dimensional mixed mode stress intensity factors of inclined and deflected surface cracks in plates subjected to axial stress or bending moment are calculated for a wide range of parameter values defining the problem. Stress intensity factors are calculated by using FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analyses System) and a large stress intensity factor library is generated. The effect on stress intensity factors by changes on parameters such as crack depth /plate thickness ( $a / t$ ), crack aspect ratio ( $a / c$ ), angle of inclination and deflection of the elliptic crack with horizontal axis are investigated. In addition, for the generated solutions to be used more widely in practice, empirical equations have been developed for the stress intensity factors obtained from the detailed analyses as functions of the parameters affecting the problem and they have been further validated by independent case studies.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Kırılma Mekanığı ve Tarihçesi**

Geçmişten günümüze kadar insanlar, farklı malzemeler tasarlayarak hayatlarını sürdürmeye devam etmişlerdir. Malzemelerin bozulması ya da kırılmasıyla hep karşılaşmıştır. Hala bozulmadan kendini koruyan yapılar ise hiç şüphesiz mükemmel tasarım ve planlayıcıların ürünleridir. Mısırlılar ve Romalıların yaptıkları pek çok eser günümüze ulaşmıştır. Romalılar yaptıkları köprüleri test etmek için onu tasarlayanları altında bırakarak, köprü üzerinden top arabaları geçirirlerdi [1].

Kırılma, basit haliyle gerilmeye maruz bir malzemenin yüzeylerinin ayrılmasıdır. Genellikle sünek ve gevrek olmak üzere ikiye ayrılır. Sünek kırılmada çatlağın oluşması ve büyümesi zaman alarak kalıcı şekil değişimi görülür. Gevrek kırılmada ise çatlak hızlı bir şekilde ilerler ve kalıcı şekil değişimi önemsizdir. Çatlaklar ise malzeme içerisindeki boşlukların ve/veya hataların birleşmesiyle oluşmaktadır [2]. Boşluk, hata veya çatlak içeren yapılar, beklenmeyen yüklere maruz kalma, yanlış tasarımlar, üretim aşamasındaki hatalar ya da anlaşılmayan sebeplerden dolayı kırılabilir. Çatlakların nasıl oluştuğu, nasıl büyüyüp ilerleyeceği ile ilgili soruları yanıtlayan uygulama bilimi kırılma mekaniğidir [1].

1920 yılında Griffith'in ideal gevrek cisimler için ortaya koyduğu kriterler kırılma mekaniğinin temellerini oluşturmuştur. Enerji yaklaşımında, çatlak büyürken sahip olduğu enerjinin bir kısmını malzeme içerisindeki diğer boşluklara verir. Böylece o boşlukların enerjisi artar ve büyürler. Yani Griffith, "Bir çatlağın büyümesi için serbest kalan elastik enerjinin yeni yüzey oluşturmak için yüzey enerjisine eşit ya da daha fazla olması gerekmektedir" kriterini savunmuş ve ortaya koymuştur [2]. 1921 yılı daha bitmeden Griffith 1913'teki Inglis'in geliştirdiği bir sonsuz plakadaki eliptik

çatlağın gerilme alanı hesabını yaparak yeni bir teorem geliştirmiştir. Yapmış olduğu teorik tahminleri küresel ampullerde ve dairesel cam tüplerde denemiştir. Elde ettiği veriler sistematik ve başarılı olduğundan yapılan bu çalışmalar literatüre katkı sağlamıştır. Her ne kadar başarılı olursa da metaller gibi kalıcı şekil değişimi yapan malzemeler için uygulanamazlar. Griffith çalışmasıyla ilgili daha ayrıntılı bilgi literatürden bulunabilir [3].

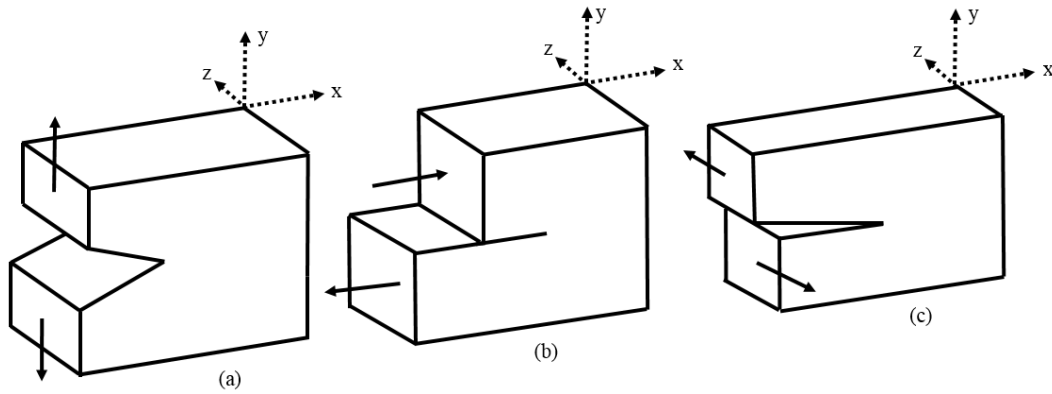
1950’lerde Irwin, Griffith ve Westergaard’ın yapmış olduğu çalışmaları kullanarak metal gibi kalıcı şekil değiştiren malzemeler için kriter geliştirmiştir. Böylece Irwin “Lineer Elastik Kırılma Mekaniği”ni (LEKM) geliştirmeye başlamıştır. “Gerilme Şiddet Faktörü”nü tanımlayarak enerji salınım oranını türetmiştir. Lineer olmayan kırılma mekaniği çalışmaları ise 1968 yılında J.R. Rice tarafından çalışılmıştır. Enerji salınım hızı kavramını plastik deformasyon kavramıyla tarif edilen, doğrusal olmayan elastik malzemelere veya elastik-plastik malzemelere uygulanabileceğini göstermiştir. Bu sayede enerji salınım hızını, J-integrali adı verilen bir çizgi integrali ile göstererek ifade etmiştir [4]. 1970’lerde Amerika’daki nükleer enerji santralleri ve İngiltere’nin Kuzey Deniz’indeki petrol kaynaklarına sahip olmaları kırılma mekaniğinin gelişimine ayrı bir ivme kazandırmıştır [1]. 2000’lerden sonra LEKM bilim alanı çoğunlukla homojen olmayan ve anizotropik elyaf takviyeli kompozitler, nanoteknoloji malzemeleri gibi birçok yeni alanda uygulamaları kendi bünyesine katmıştır [4].

## 1.2. Kırılma Mekaniği

Kırılma mekaniğinin alt dallarından biri Lineer Elastik Kırılma Mekaniği’dir. Çatlak ya da boşluk içeren bir parçada, en yüksek gerilmelerin olduğu kısım çatlak ucu ve çevresindedir. Çatlak ucu bölgesinde oluşan gerilmelerin, “matematiksel” olarak çatlak ucunda ne kadar hızlı bir şekilde sonsuza gittiğini tanımlayan katsayı “Gerilme Şiddet Faktörü”dür (GŞF).  $K$  ile sembolize edilir.  $K$  değeri kritik bir  $K_c$  değerini aştığında ise çatlak büyümeye başlar.  $K_c$  kırılma tokluğudur. LEKM’nde en temel problemlerden olan  $\sigma$  aksenal gerilmeye maruz sonsuz genişlikteki bir levhada bulunan ve uzunluğu “ $2a$ ” olan bir çatlak için, GŞF ifadesi  $K = \sigma\sqrt{\pi a}$  olarak verilmektedir.

### 1.2.1. Kırılma modları

Çatlağın deformasyonu ile ilgili olarak üç çeşit mod vardır. Şekil 1.1.'de gösterildiği üzere, mod-I (açılma modu) x-z düzlemine göre simetrik ve dik yönde bir açılma deformasyonu içerir. Mod-II, düzlem içi kayma modu olup, çatlak yüzeylerinin karşılıklı olarak x yönünde ters yönlere deformasyonu ile oluşur. Mod-III ise, düzlem dışı kayma ve yırtılma modu olarak adlandırılır ve düzlem dışı yönde (z yönü) çatlak yüzeylerinin ters yönlere karşılıklı olarak yer değiştirmesi ile oluşur [5].



Şekil 1.1. Çatlak deformasyon modları, (a) açılma, (b) düzlem içi kayma ve (c) yırtılma modu [5].

### 1.2.2. Karışık mod yük altında gerilme şiddet faktörleri

Gerilme şiddet faktörü çatlak ucu bölgesindeki gerilme durumunu ifade etmekte olup, etki eden yüklere ve geometriye bağlı bir faktördür. Malzeme özelliği ile alakalı bir bilgi içermemektedir. Sonsuz bir levha içerisinde bulunan  $2a$  uzunluğundaki çatlak Şekil 1.2.'de gösterilmektedir. Sonsuz levha aksenal ve kayma gerilmelerine maruz bırakılarak çatlak ucundaki gerilmeler hesaplanabilir [3]. Aşağıda verilen karışık mod denklemlerinde ifade edilen  $K_I$ ,  $K_{II}$  ve  $K_{III}$  gerilme şiddet faktörleri,  $\sigma$  aksenal gerilme,  $\tau$  kayma gerilmesi,  $r$  çatlak ucundan ölçülen radyal mesafe ve  $\theta$  ise yatay eksenle yapılan açıdır. Denklem 1.1-1.3, açılma modu için gerilme dağılımlarını içermektedir.

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (1.1)$$



$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \quad (1.2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (1.3)$$

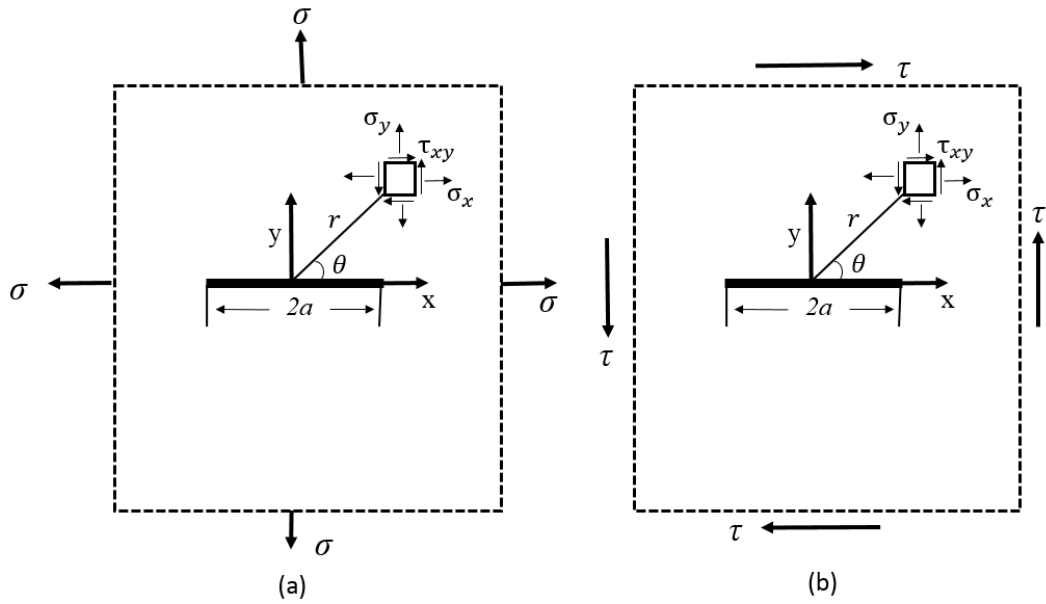
Düzlem içi kayma gerilmesi ( $\tau$ ) durumu, Şekil 1.2b. için gerilme dağılımları Denklem 1.4-1.6'da verilmektedir.

$$\sigma_x = -\frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}\right) \quad (1.4)$$

$$\sigma_x = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (1.5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) \quad (1.6)$$

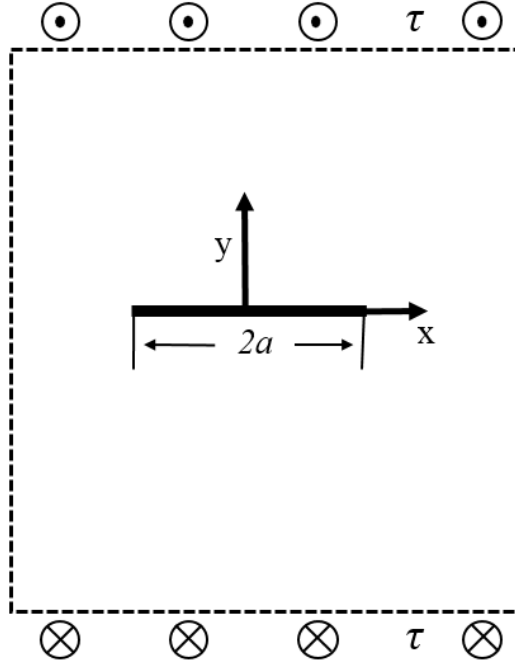
Son olarak, uygulanan kayma gerilmesinin ( $\tau$ ) düzlem dışı yönde etki etmesiyle oluşan yırtılma modu durumu için, (Şekil 1.3.) çatlak ucu bölgesindeki gerilme dağılımları Denklem 1.7 ve 1.8 ile verilmektedir.



Şekil 1.2. Çatlak uzunluğu  $2a$  olan sonsuz bir levhaya aksenal (a) ve kayma (b) gerilmelerinin uygulanması [3].

$$\tau_{xz} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \quad (1.7)$$

$$\tau_{yz} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \quad (1.8)$$



Şekil 1.3. Çatlak uzunluğu  $2a$  olan sonsuz bir levhaya düzlem dışı kayma gerilme uygulanması [3].

## BÖLÜM 2. LEVHALARDA KARIŞIK MOD YÜZEY ÇATLAKLARI

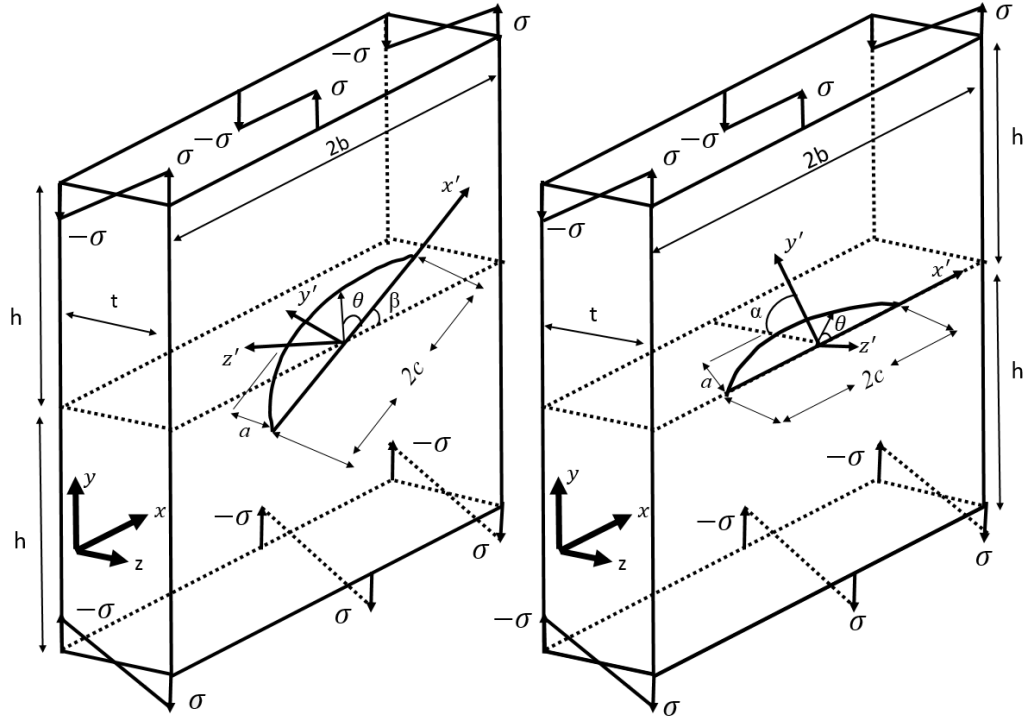
### 2.1. Problem Tanımı

Mühendislik yapılarında karşılaşılan sorunlardan bir tanesi de malzemelerin imalat sırasında veya üretildikten sonra hasara uğraması veya kırılmasıdır. Malzemede kırılma ile sonuçlanan durumun sebepleri zamanla çözülerek, çatlağın başlaması ve ilerlemesine engel olunmalıdır. Pratikte sıkça karşılaşılan çatlak ve kırılma problemlerinin önemli bir kısmı bir levha problemi gibi düşünülerek çözülebilir. Dolayısıyla, değişik boyutlar ve yükler altında olan levhalarda bulunabilecek değişik geometrik boyut ve yönlenme açılarındaki çatlakların analiz edilerek gerilme şiddet faktörlerinin hesaplanması istenen bir durumdur.

Eksenel ya da eğilme gerilmesine maruz bir levhada, çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması bir mod-I problemidir. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 dereceden farklı olması durumunda, kayma ve yırtılma modları aktif hale gelir ve karışık mod kırılma analizi yapılması gerekir. Karışık mod yüzey çatlağı içeren levhalar için; levha yüksekliği  $2h$ , levha genişliği  $2b$  ve levha et kalınlığı  $t$  olmak üzere belirlenmiştir (Şekil 2.1.). Yüzey çatlağı parametreleri olarak da çatlak yüzey uzunluğu  $2c$  ve çatlak derinliği  $a$ , eğik çatlağın yatay eksenle yaptığı açı  $\beta$  ve dönmüş çatlağın yatay eksenle yaptığı açı  $\alpha$  olarak tayin edilmiştir [6]. Çatlak ucu bölgesindeki gerilme şiddet faktörlerine etki eden parametreler sırasıyla; çatlak derinliği/çatlak uzunluğu  $a/c$ , çatlak derinliği/levha et kalınlığı  $a/t$ , çatlağın yatay eksenle yaptığı açılar; eğik çatlak için  $\beta$  ve dönmüş çatlak içinde  $\alpha$ 'dır.

Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde ilk olarak eksenel gerilmeye maruz levhadaki eğik çatlak ve dönmüş çatlak incelenmiştir. Ardından eğilme gerilmesine maruz levhada eğik ve dönmüş çatlak incelenmiştir. Sonlu eleman modelleri





Şekil 2.2. Eğilme gerilmesine maruz eğik (sol) ve dönmüş (sağ) yüzey çatlaklı içeren levha.

## 2.2. Levhalarda Eliptik Çatlaklarla İlgili Literatürde Bulunan Çalışmalar

Kırılma Mekaniği alanındaki bilimsel literatüre bakıldığında, üç boyutlu karışık mod eliptik yüzey çatlakları için gerilme şiddet faktörü hesaplamaları oldukça az bulunmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemiyle [6, 12-18] çözülen analizlerde, genellikle mod-I [8, 9, 12, 13, 17, 18] gerilmesi ele alınmıştır. Alternatif metotlar kullanılarak [7-11] gerilme şiddet faktörü hesapları da yapılmıştır. R. C. Shah ve A. S. Kobayashi [7] farklı nümerik teknikler yardımıyla gerilme şiddet faktörü hesabı yapmışlardır. Bunlardan ilki normal gerilmeye maruz yarı sonsuz levhada eliptik çatlak için gerilme şiddet faktörünün polinom yardımıyla hesaplanmasıdır. İkinci olarak yarı modelde yüzeye tanımlanan normal ve kayma gerilmelerinden dolayı oluşan gerilme şiddet faktörü incelemesi yapılmıştır.

C. Y. Liao ve S. N. Atluri [8] et kalınlığı sabit olan bir levhada farklı  $a/t$  değerlerindeki yarı dairesel yüzey çatlağı için nested alternating yöntemi yardımıyla mod-I gerilme şiddet faktörü hesabı yapmışlardır. Hem ön- arka yüzeydeki hem de bu yöntemle sadece sınır çatlağını dikkate alan Thresher ve Smith'in yaptığı çalışmanın tersini açıklamışlardır. Deneysel ve sayısal verilerle yaptıkları çalışmaları desteklemişlerdir.

C. Guozhong, Z. Kangda ve W. Dongdi [9] üniform aksnel gerilmeye maruz bir levhada eliptik çatlak için mod-I gerilme şiddet faktörü hesabı yapmışlardır. Yöntem olarak da yazar tarafından geliştirilen hibrit sınır element metodu (HBEM) yardımıyla gerilme şiddet faktörünü çözmüşlerdir. Literatürdeki diğer verilerle karşılaştırıldığında ise maksimum farklılığın %2 olduğu görülmüştür.

A. Frangi, G. Novati, R. Springhetti, M. Rovizzi [10] sınır eleman metodu ve Galerkin yaklaşımıyla üç boyutlu levhalarda kırılma analizini yapmışlardır. Yöntemin doğruluğunu test etmek için, ikinci dereceden izoparametrik dörtgen ve üçgen elemanlar ile bazı örnek çatlak problemleri çözülmüştür. Açılma ve Kayma modunda gerilme şiddet faktörü değerleri hesaplanarak literatürdeki verilerle karşılaştırma yapılmıştır.

P. Liveri ve F. Segala [11] silindirik ve küresel kaplarda gömülü eliptik çatlaklar için gerilme şiddet faktörlerini hesaplamışlardır. Çalışmalarında ikinci dereceden bir yaklaşıma dayanan ağırlık fonksiyonu kullanmışlardır.

1979 yılında I. S. Raju ve J. C. Newman, Jr. [12] normal gerilmeye maruz bir levhadaki eliptik yüzey çatlağı için mod-I gerilme şiddet faktörünü hesaplamışlardır. Yöntem olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı için 0.2 ile 2 arasında beş farklı değer kullanılmıştır. Çatlak derinliği/levha et kalınlığı ise 0.2 ile 0.8 arasında dört farklı değer kullanılarak geniş bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma literatürdeki verilerle karşılaştırılarak doğruluğu ispatlanmıştır.

X. Wang ve S. B. Lambert [13] 1995'te üniform olmayan gerilmeye maruz ve yüzey çatlaklarına sahip bir levhada mod-I gerilme şiddet faktörlerini hesaplamışlardır. Düşük en-boy oranına sahip ( $a/c < 1$ ) yüzey çatlaklarında ve çatlak derinliği/levha et kalınlığı oranı 0.2 ile 0.8 arasında seçilerek geometrik parametreler belirlenmiştir. Çatlak yüzeyine doğrusal, parabolik ve kübik biçimde gerilme dağılımı uygulanmıştır. Türeterek oluşturulan ağırlık fonksiyonu ile zenginleştirilmiş elemanlarla oluşturulan sonlu elemanlar analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve gerilme şiddet faktörlerinin %5 den daha az bir farklılık içerisinde olduğu görülmüştür

A. O. Ayhan ve H. F. Nied [14]'in 2002 yılı makalesinde, zenginleştirilmiş eleman yardımıyla sonlu elemanlar metodunu kullanarak yüzey çatlaklarında gerilme şiddet faktörü hesaplamaları yapılmıştır. A. O. Ayhan [6,15] daha sonra 2003 ve 2007 yıllarında aksenel normal gerilmeye maruz üç boyutlu bir levhada eğik ve dönmüş yüzey çatlakları, köşe çatlakları için geniş bir gerilme şiddet faktörü çalışması yapmıştır. M. Uslu, O. Demir, A. O. Ayhan 2014 [16] yılında mekanik ve yer değiştirme yüklerine maruz levhada yüzey çatlakları için gerilme şiddet faktörlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmalarda zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır.

Son beş yılda yapılan çalışmalara bakıldığında H. Okada, H. Koya, H. Kawai, Y. Li, K. Osakabe [17] tetrahedral elemanlar yardımıyla ve sonlu elemanlar metoduyla oluşturulan parametrik levha analizlerinde ve kalın cidarlı silindirlerde mod-I gerilme şiddet faktörü dağılımlarını hesapladıkları görülmektedir. Yüksek en-boy oranına ( $a/c > 1$ ) sahip yüzey çatlaklarında  $a/c$  değeri 1 ile 8 arasında geniş bir yelpaze de değişim göstermiştir. Yazarlar yükleme koşulları ve çatlak şekilleriyle ilgili parametrik çalışma yapmak için otomatik bir analiz prosedürü geliştirmişlerdir. Bu prosedür otomatik ağ oluşturma işlemi, sınır şartlarını tanımlama ve VCCM (sanal çatlak kapatma-integral yöntemi) ile gerilme şiddet faktörü hesaplama olarak özetlenebilir. Ayrıca bu analiz prosedürü ile kalın cidarlı silindirde ve levhadaki çatlak için gerilme şiddet faktörünün tahmin edilebildiği görülmüştür.

H. E. Coules [18] farklı boyutlarda en-boy oranına sahip birbirine benzemeyen yüzey çatlak çiftinin gerilme şiddet faktörü etkileşimlerini hesaplamıştır. Etkileşim faktörü etkileşimdeki çatlağın mod-I gerilme şiddet faktörünün herhangi bir kusurdan uzak aynı yükleme koşullarına sahip geometrideki gerilme şiddet faktörüne oranı olarak tanımlanmıştır. Mod-I gerilmesine maruz levhada sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır ve literatürdeki diğer verilerle sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yukarıdaki literatür özetinden anlaşılacağı üzere, yapılan çalışmaların çoğu mod-I gerilme şiddet faktörü üzerinde yoğunlaşmıştır. Karışık mod altında yapılan birkaç çalışmada da geniş bir aralık dikkate alınarak gerilme şiddet faktörü hesapları yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, çatlak boyutlarına göre farklı büyüklük ve et kalınlığında olan eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarının çatlak ucundaki gerilme şiddet faktörü değerleri FRAC3D yardımıyla hesaplanmış ve geniş bir kütüphane oluşturulması hedeflenmiştir.



### **BÖLÜM 3. LEVHALARDA ÜÇ BOYUTLU YÜZEY ÇATLAKLARININ KARIŞIK MOD ANALİZLERİ**

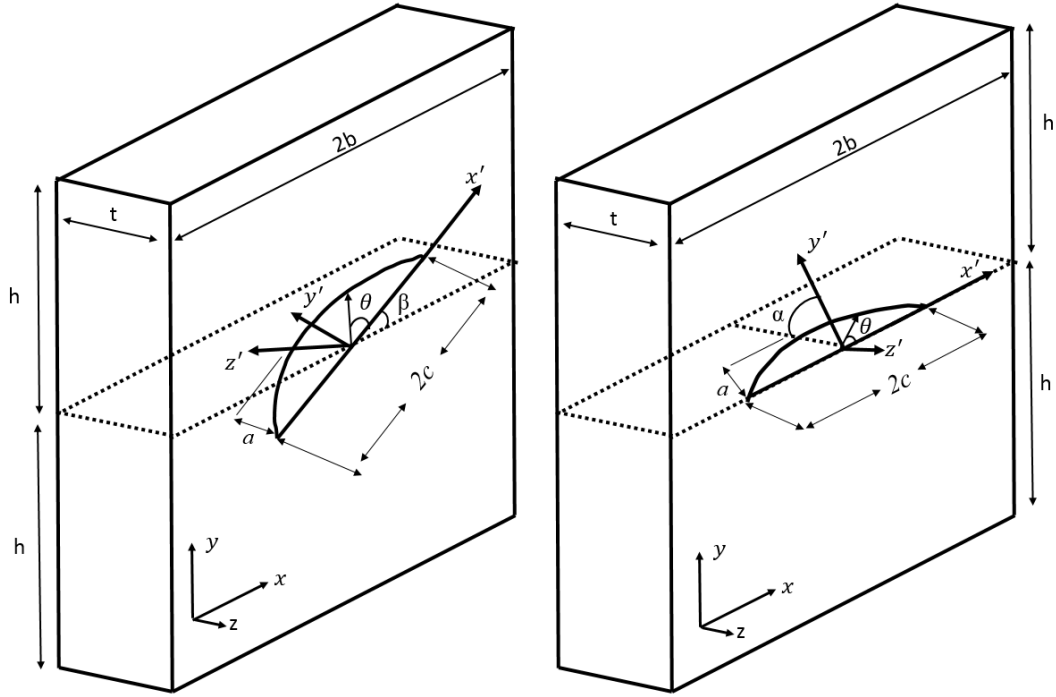
Bu çalışmada, aksenal ve eğilme gerilmesine maruz bir levhada eğik ve dönmüş yüzey çatlakları için, probleme etki eden tüm geometrik parametreler göz önünü alınarak gerilme şiddet faktörü (GŞF) hesabı yapılmaktadır. Levhadaki temel parametreleri belirlerken değişim aralığı geniş bir aralık seçilmiştir. Uygun parametre değerleri kullanılarak geniş bir kütüphane oluşturulmuştur. Seçilen bu parametreler ve değerleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Yapılan tüm analizlerde çatlak derinliği  $a$  1 birim olarak alınmıştır. Analizi yapılacak olan eliptik çatlağın çatlak uzunluk veya derinliğinden büyük olanı seçilmiş ve seçilen büyüklüğün on katı yükseklik ve genişliğe sahip levha analiz edilmiştir. Bu sınırlama yapıldıktan sonra belirlenen analiz şartları için istenen oranlara göre çatlak yüzey uzunluğu ve diğer boyutlar belirlenmektedir. Belirlenen çatlak ve levha boyutları Tablo 3.2.'de verilmiştir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) oranı sırasıyla 0.25, 0.5, 1, 2, 4; çatlak derinliği/levha et kalınlığı ( $a/t$ ) oranları sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 seçilmiştir. Burada hem en-boy oranı düşük hem de yüksek olan yüzey çatlakları, ince ve kalın et kalınlığına sahip levha için de parametrik değerleri kapsamıştır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması durumunda GŞF'nün kayma ve yırtılma bileşenleri sıfır olup, sadece açılma modu olan mod-I GŞF oluşmaktadır. Ancak çatlak açısının sıfırdan farklı olduğu durumlarda ilgili düzlemlerde ve yönlerde farklı kayma gerilme bileşenleri aktif olduğundan GŞF'nün kayma modu (mod-II) ve yırtılma modu (mod-III) da çatlak önü boyunca oluşmaktadır. Bu amaçla çatlağın yatay eksenle yaptığı açı olan  $\alpha$  ve  $\beta$ , 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak ele alınmıştır.  $\theta$  açısı ise çatlak önü (crack front) konumsal açısıdır. Şekil 3.1.'den görüleceği üzere, konumsal açı 0'dan 180 dereceye kadar değişmektedir. Levhanın merkezine yerleştirilen tüm eliptik eğik ve dönmüş yüzey çatlakları için toplam 480 adet analiz çözülmüştür. İlk olarak aksenal gerilmeye maruz bir levhada eğik konumda bulunan eliptik yüzey çatlağı için analizler yapılmıştır. Analiz sayısı ve sırası Tablo 3.3.'te verilmiştir [19].

Tablo 3.1. Problemi tanımlayan parametreler.

$a/c$	0,25	0,5	1,00	2,00	4,00	
$a/t$	0,20	0,4	0,6	0,8		
$\beta$	0	15	30	45	60	75
$\alpha$	0	15	30	45	60	75

Tablo 3.2. Analizlerde kullanılan yüzey çatlakları ve levha boyutları (tüm analizlerde  $a = 1$  birim alınmıştır).

$a/c$	$a/t$	$a$	$c$	$t$	$b$	$h$
0,25	0,2	1	4	5	20	20
0,25	0,4	1	4	2,5	20	20
0,25	0,6	1	4	1,666667	20	20
0,25	0,8	1	4	1,25	20	20
$a/c$	$a/t$	$a$	$c$	$t$	$b$	$h$
0,5	0,2	1	2	5	10	10
0,5	0,4	1	2	2,5	10	10
0,5	0,6	1	2	1,666667	10	10
0,5	0,8	1	2	1,25	10	10
$a/c$	$a/t$	$a$	$c$	$t$	$b$	$h$
1	0,2	1	1	5	5	5
1	0,4	1	1	2,5	5	5
1	0,6	1	1	1,666667	5	5
1	0,8	1	1	1,25	5	5
$a/c$	$a/t$	$a$	$c$	$t$	$b$	$h$
2	0,2	1	0,5	5	5	5
2	0,4	1	0,5	2,5	5	5
2	0,6	1	0,5	1,666667	5	5
2	0,8	1	0,5	1,25	5	5
$a/c$	$a/t$	$a$	$c$	$t$	$b$	$h$
4	0,2	1	0,25	5	5	5
4	0,4	1	0,25	2,5	5	5
4	0,6	1	0,25	1,666667	5	5
4	0,8	1	0,25	1,25	5	5



Şekil 3.1. Levhaya yerleştirilen eliptik (solda) eğik yüzey çatlakları , (sağda) eliptik dönmüş yüzey çatlakları ve problemi tanımlayıcı parametreler [6].

Tablo 3.3. Analiz sayısı ve analiz yol haritası

Çekme Yüğü	$\beta$ için $5 \times 4 \times 6 = 120$ adet
Çekme Yüğü	$\alpha$ için $5 \times 4 \times 6 = 120$ adet
Eğilme Yüğü	$\beta$ için $5 \times 4 \times 6 = 120$ adet
Eğilme Yüğü	$\alpha$ için $5 \times 4 \times 6 = 120$ adet
<b>Toplam</b>	<b>480 adet</b>

### 3.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve FCPAS ile Kırılma Analizleri

Sonlu elemanlar yöntemi statik, dinamik, ısı transferi, akışkanlar, elektromanyetizma gibi mühendislik problemlerini çözebilen sayısal bir yöntemdir. Sayısal yöntemler, analitik olarak çözüm elde edilemeyen birçok mühendislik probleminin çözümlenmesine yardımcı olmaktadır. Oluşturulan sistem ya da model ne kadar karmaşık sınır şartı ya da başlangıç şartına sahipse çözüm o kadar zorlaşır. Bu sebeplerden ötürü, çoğu mühendislik uygulamalarında analitik yöntemlerden çok sayısal yöntemlere yönelinmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde temel mantık, modeli küçük parçalara bölerek bölgesel alanlardaki durumları çözmektir. Doğanın kanunlarını ve temel prensiplerini gerçeğe yakın bir şekilde modelleyerek çözüme ulaşılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin tarihine bakıldığında, Zienkiewicz ve Cheung sonlu elemanlar yöntemini anlatan ilk kitabını 1967 yılında yazmışlardır. 1971 yılında ise ANSYS programı piyasaya sürülmüştür. 100,000 satırdan fazla kod içeren ve genel amaçlı kullanımı olan kapsamlı bir programdır. Günümüzde ANSYS'in uzay ve havacılık, otomotiv, elektronik ve nükleer dâhil olmak üzere pek çok mühendislik uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir. Sonlu elemanlar analizi yaparken aşağıdaki temel adımlar takip edilmelidir.

Ön işlem aşaması:

- a. Analizi yapılacak modelin ya da bölgenin oluşturulup sonlu elemanlar ağ bölüntülenmesiyle yapılması. Burada problem eleman ve düğüm noktaları olarak düşünülebilir,
- b. Fiziksel özelliklerini taşıyacak bir elemanın şekil fonksiyonun belirlenmesi,
- c. Bir eleman için denklemlerin geliştirilmesi,
- d. Problemi tanımlamak için tüm elemanların birleştirilip global rijitlik matrisi oluşturulması,
- e. Sınır şartları, başlangıç şartları ve yüklerin modele uygulanması.

Çözüm aşaması:

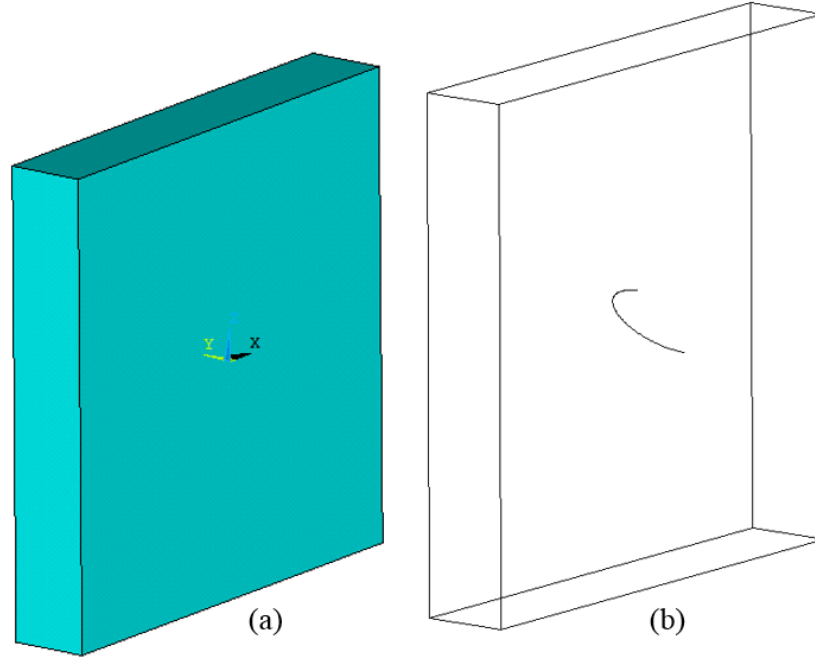
- f. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeleri ya da herhangi bir büyüklüğün çözüm değerlerini ifade eden lineer veya lineer olmayan denklem takımlarıyla eş zamanlı olarak çözülmesi.

Son işlem aşaması:

- g. Çözümünden sonra önemli verilerin elde edilmesi ve asal gerilme, ısı akısı veya benzer büyüklüklerin değerleri hesaplanabilir [20].

FCPAS [6] ara yüzü, üç boyutlu çatlaklı modellerde kırılma ve çatlak ilerleme analizleri ile çatlaksız modellerde de çatlak yerleştirerek kırılma analizlerini yapan bir programdır. FCPAS ara yüzünde model oluşturma ve ağ bölüntülenme kısımları bulunmamaktadır. Gerilme analizi yaparken model ve ağ bölüntülenmesi ANSYS [21] programı yardımıyla oluşturulmaktadır. Daha sonra sınır şartları tanımlanıp,

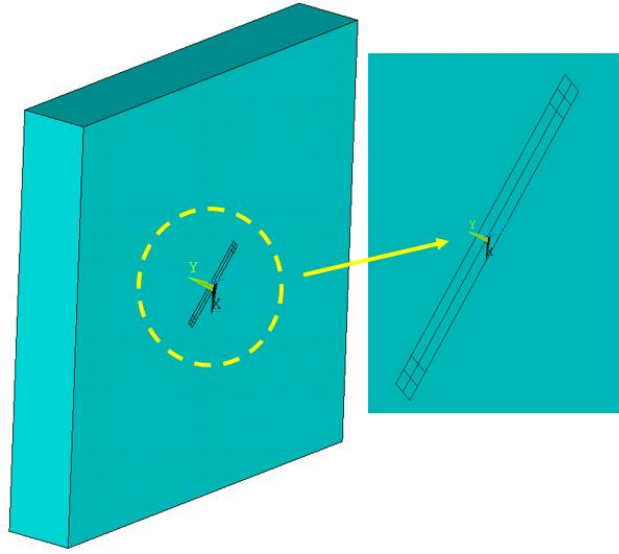
modeldeki ilgili veri dosyaları alınarak FCPAS programına aktarılmaktadır. FCPAS yardımı ile GŞF analizi yapılmaktadır. Aşağıda üç-boyutlu bir levha için GŞF analizi tez kapsamında detayları ile anlatılmaktadır.



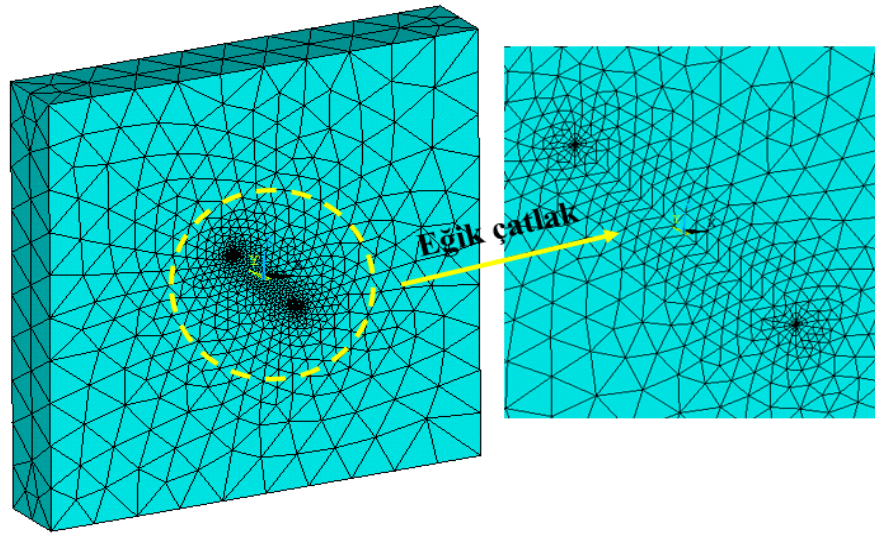
Şekil 3.2. Çatlaksız bir levha modeli (a), merkeze yerleştirilen yarı dairesel çizginin (b) gösterimi.

Gerilme analizi yapılmak istenen boyutlardaki levha modeli ANSYS yardımıyla oluşturulmaktadır. Şekil 3.2a.'da çatlak yerleştirilmeyen bir levha modeli gösterilmektedir. Levha merkezine çizim yapılması için buraya lokal koordinat tanımlanır. Lokal koordinat sayesinde çalışma alanında istenen çizim yapılabilir. Tanımlanan koordinatın eğikliği ya da yatay eksenle arasında yaptığı açı, eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarının karışık mod gerilme analizi yapımına olanak verir. Merkeze çapı  $a$  kadar olan bir daire çizilir. Buradaki çizimde  $a$  ve  $c$  parametreleri eşittir. Bundan dolayı oluşan şekil dairedir. Oluşturulacak çatlak boyutları için,  $c$  doğrultusunda  $c/a$  oranını büyülterek ya da küçülterek eliptik çatlak elde edilebilir. Dairesel çatlakta böyle bir küçültme ya da büyültmeye ihtiyaç yoktur. Böylece çatlağın çatlak uzunluğu ve derinlik boyutları çizilmiştir. Sonraki işlemde dairesel çizginin parçaları birleştirilmiştir. Çatlak modellerken geometri içinde kalan elips ya da daire kullanılmaktadır. Çünkü daire ya da elipsin levha modeliyle arasında kesişen kısımları alınacaktır. Levhanın yüzeyi ile çizginin dışarıda kalan kısmını keserek fazlalıklar

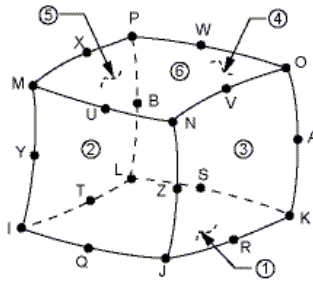
silinmiştir. Şekil 3.2b.'de yatay eksenle yaptığı açı ( $\beta$ )  $45^\circ$  olan ve yarı dairesel eğik çatlak gösterilmektedir. Çatlak ucu bölgesine hacim çizmek için çizginin uç noktalarından birine lokal koordinat tanımlanır. Burada hacimlerin kesit alanı boyutunda kareler çizilmektedir. Şekil 3.3.'te çizilen bu kareler çatlak ucu boyunca süpürülerek çatlak ucu hacimleri elde edilmektedir. Bir sonraki adım da, levhannın hacmini çatlak bölgesinin hacmiyle kesmektir. Çatlak yüzeyindeki noktalar dışındaki noktaları birleştirip ağ bölüntülenme işlemine geçilir. Çatlak ucundaki eleman boyutu 1/400 olarak belirlenmiş olup ayrıntısı Bölüm 3.1.2.'de anlatılmaktadır. Çatlak ucu boyunca “düzenli” bölüntülenme yapıldıktan sonra, kalan hacimler için düzensiz hacim bölüntülenmesi yapılmaktadır. Ağ bölüntülenmesiyle oluşturulan model Şekil 3.4.'te gösterilmektedir. Modelin bölüntülenmesinde 20 düğüm noktalı Solid-95 eleman tipi kullanılmaktadır. Eleman tipine ait resim Şekil 3.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Çizilen karelerin çatlak ucu boyunca süpürülmesi ile oluşturulan çatlak ucu hacimleri.

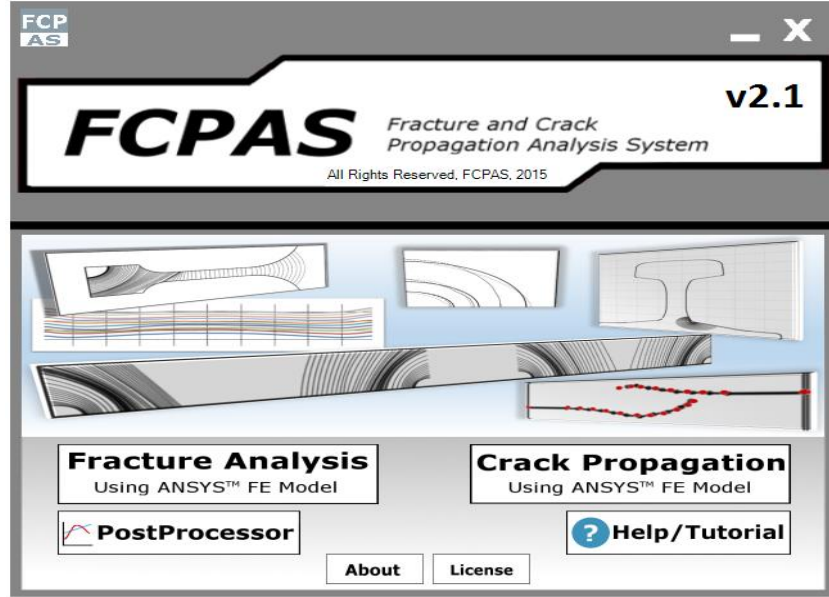


Şekil 3.4. Eğik yüzey çatlama sahip bir levhanın bölüntülenmiş modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

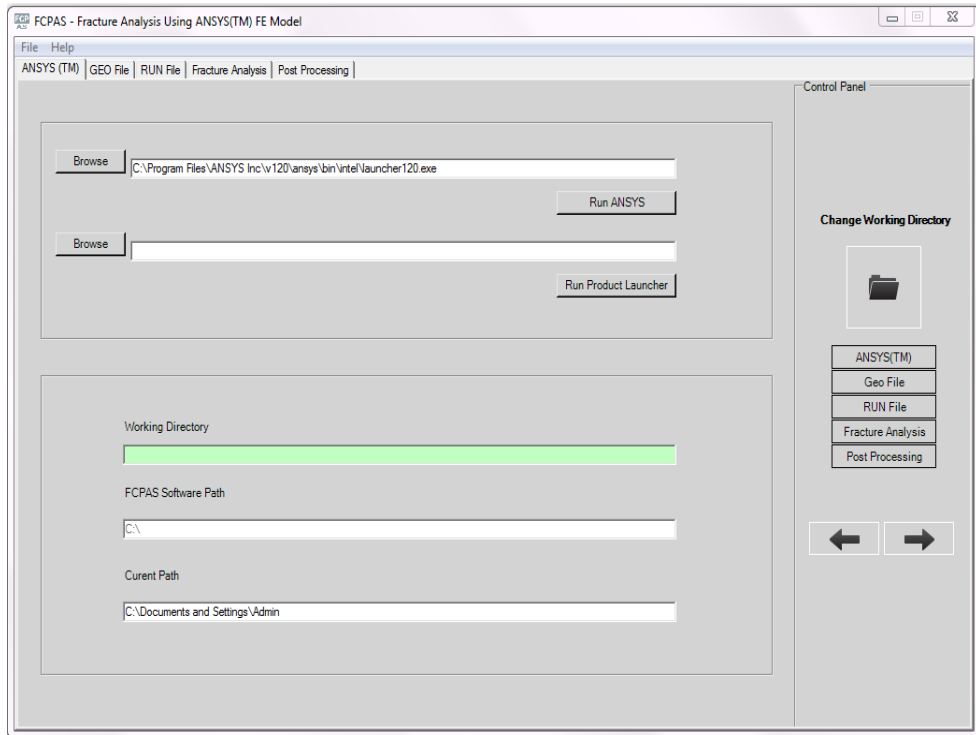


Şekil 3.5. 20 düğüm noktalı ANSYS Solid-95 elemanı [21].

Bölüntülenme işleminden sonra sınır şartları uygulanır ve uygulanan sınır şartlarıyla ilgili gerekli veriler FCPAS programına aktarılır. FCPAS (Fracture and Crack Propagation Analysis System – Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi) yazılımı, üç boyutlu modeller ile kırılma analizi ve çatlak ilerletme analizleri yapabilen bir sonlu elemanlar programıdır. FCPAS v2.1 açıldıktan sonra karşılaşılan ekran Şekil 3.6.'da gösterilmektedir. FCPAS ile çatlak analiz adımları aşağıda verilmektedir.



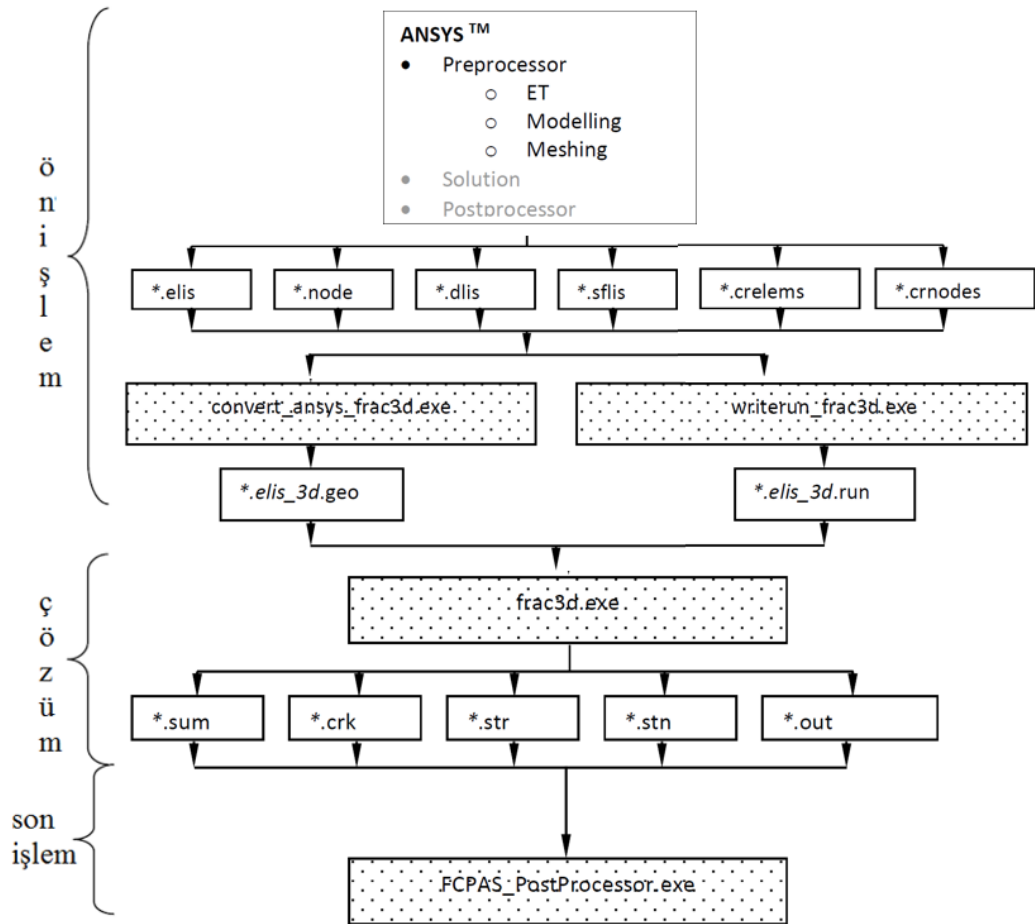
Şekil 3.6. FCPAS V2.1 ana açılış ekranı[6].



Şekil 3.7. Fracture Analysis Using ANSYS™ FE Model ana ekranı [6].



FCPAS içerisinde model tasarlama kısmı olmadığından gerekli modeller ANSYS programında hazırlanıp FCPAS analizine girdi olarak verilmektedir. Gerekli veriler sonlu eleman modelindeki eleman, düğüm noktası, yük ve sınır şartları gibi bilgilerdir. Açılan ana sayfa ekranından Fracture Analysis Using *ANSYS<sup>TM</sup>* FE Model kısmına tıklanır. Açılan pencere Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar modelinde oluşturulan çatlığa ait eleman ve düğüm listeleri, modelin tümünün eleman ve düğüm listeleri, sınır şartları ve yükleme bilgileri bu kısma girdi olarak girilmektedir. Geo File sekmesinin en altından Generate Geo File kısmına tıklanır ve \*.geo uzantılı bir model dosyası oluşturulur. Bu dosya modele ait tüm bilgileri içermektedir. Daha sonra Run File kısmına tıklayarak malzeme bilgileri ve analiz parametre değerleri belirlenir. Bu kısımda da \*.run dosyası oluşturulur. Böylece bu iki dosya ile kırılma analizi gerçekleştirilir. Sonuç olarak Post Processing kısmına tıklayarak GŞF verileri alınmaktadır. Analiz süreç haritası Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



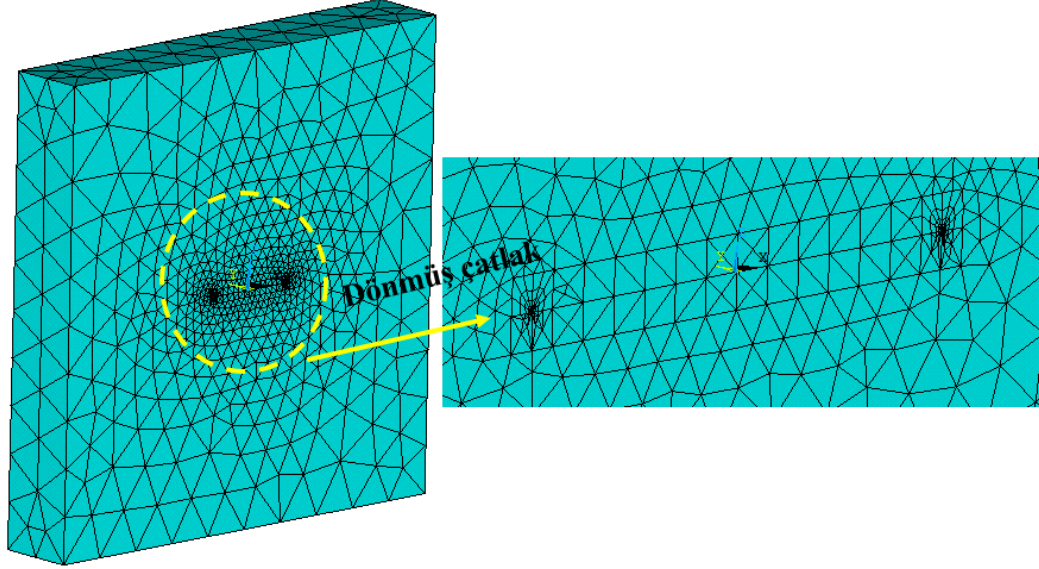
Şekil 3.8. FCPAS ile kırılma analiz adımları [6].

FCPAS'ın çatlak problemlerini çözdüğü kısım FRAC3D çözücü programıdır. Sonlu elemanlar metodu yardımıyla çözüm yapan FRAC3D zenginleştirilmiş elemanlar kullanılmaktadır [14]. Zenginleştirilmiş elemanlar yönteminde, sonlu elemanlar çözümündeki deplasman fonksiyonuna çatlak ucundaki elemanlar için GŞF fonksiyonu eklenmiştir. Tüm model analiziyle beraber GŞF, direkt olarak hesaplanmaktadır. Zenginleştirilmiş elemanlar yer değiştirme fonksiyonu Denklem 3.1' de verilmektedir.

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

Düğüm noktasındaki yer değiştirmelere ( $u_j^k$ )  $K_I^i$ ,  $K_{II}^i$  ve  $K_{III}^i$  GŞF formülasyonları da eklenmiştir.  $Z_0$  Sıfırlama fonksiyonu olup zenginleştirilmiş elemanlarda ve geçiş elemanlarında 0 veya 1 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  $ntip$  karelik elemanlar (kenarında bir adet kenar ortası düğüm noktası barındıran elemanlar) için 3'tür.  $\Gamma$  ise izoparametrik koordinat olup -1 ile 1 arasında değişmektedir [14].

Bu tez çalışmasında, eğik ve dönmüş karışık mod yüzey çatlakları içeren tüm levha modelleri ANSYS programında oluşturulmuş ve GŞF değerleri FRAC3D’de yapılan kırılma analizleri ile hesaplanmıştır. Dönmüş yüzey çatlaklarının ağ bölüntülenme modeli Şekil 3.9.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Dönmüş yüzey çatlaklarına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

FRAC3D kullanılarak karışık mod GŞF’leri hesaplandıktan sonra uygulanan gerilme yükü ve çatlak uzunluğu/derinlik oranına bağlı olan bir referans  $K_r$  değeri ile normalize edilmiştir.  $Q$  eliptik çatlak için şekil faktörüdür.  $K_r$  ve  $Q$  formülasyonları Denklem 3.2-3.4’te verilmektedir [19].

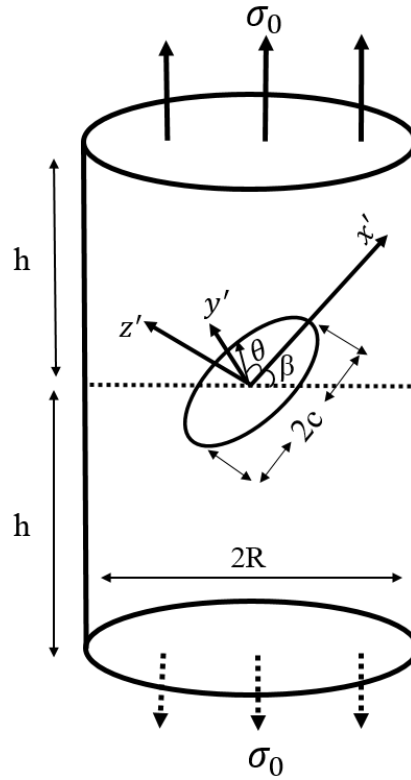
$$K_r = \sigma_0 \sqrt{\left(\frac{\pi a}{Q}\right)} \quad (3.2)$$

$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}; \quad \frac{a}{c} < 1 \quad (3.3)$$

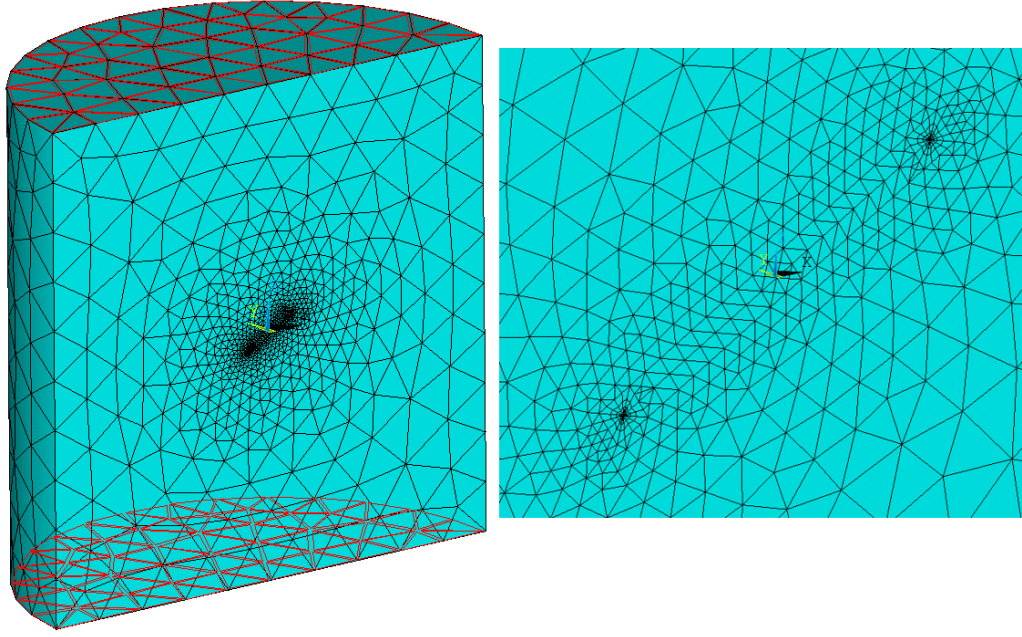
$$Q = 1 + 1.464 \left(\frac{c}{a}\right)^{1.65}; \quad \frac{a}{c} > 1 \quad (3.4)$$

### 3.1.1. Karışık mod gerilme şiddet faktörlerinin doğrulanması

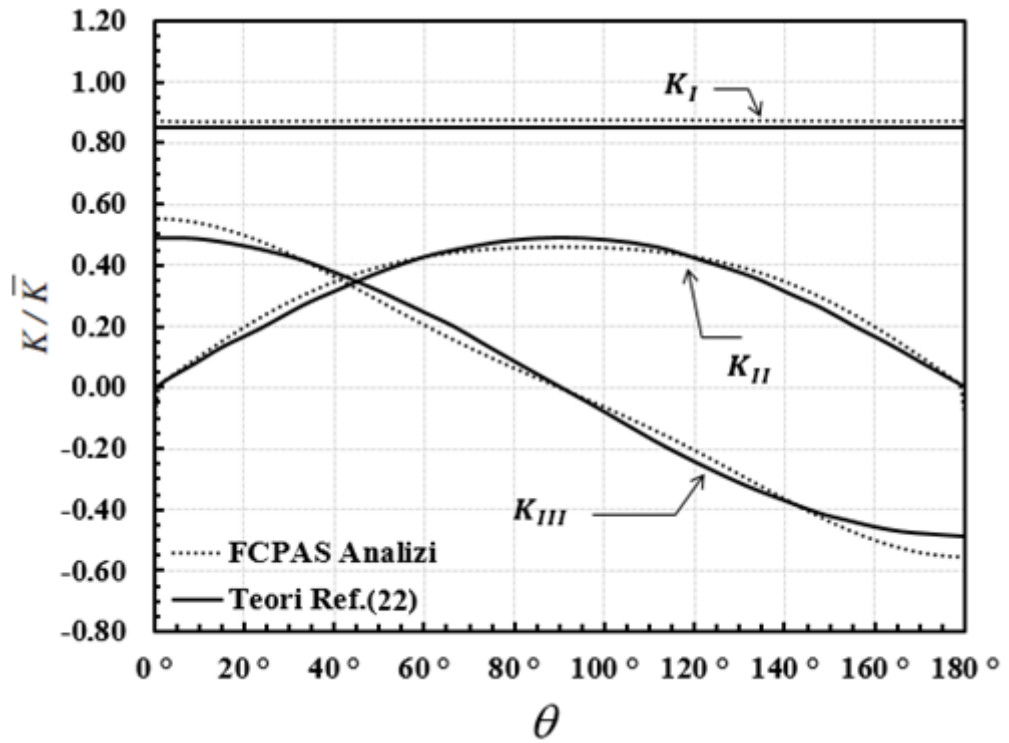
Tüm problemler için karışık mod GŞF analiz değerlerini vermeden önce, literatürde mevcut olan diğer analizlerle doğrulama çalışması verilmiştir. Zenginleştirilmiş elemanlar yardımıyla oluşturulan bir silindirdeki gömülü eğik eliptik çatlak ile analitik [22] çözüm karşılaştırılmıştır. Bu analitik çözümle karışık mod GŞF karşılaştırmasını, zenginleştirilmiş eleman yardımıyla Ayhan [6] ve eşdeğer alan integral metoduyla Nikishkov ve Atluri'de [23] yapmıştır. Şekil 3.10.'da bir silindirdeki eğik eliptik çatlak ( $a/R = 0.1$ ,  $a/h = 0.1$  ve  $a/c = 1$ ) gösterilmiştir [6]. Silindir sabit tutularak rijit cisim hareketi kısıtlanıp alt ve üst alandan aksenal gerilme yükü verilmiştir. Tüm silindir modelini çizmek yerine simetri şartı verilerek yarı silindir modellenmiştir. Ağ bölüntülenmesiyle oluşturulan model Şekil 3.11.'de verilmiştir. GŞF değerlerini normalize etmek için  $\bar{K} = \sigma_0 \sqrt{\pi}$  denklemi kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Gömülü eğik eliptik çatlak içeren bir silindir [6].



Şekil 3.11. Gömülü eğik eliptik çatlak içeren bir silindirin sonlu elemanlar modeli ve çatlak ucu yakın görüntüsü.

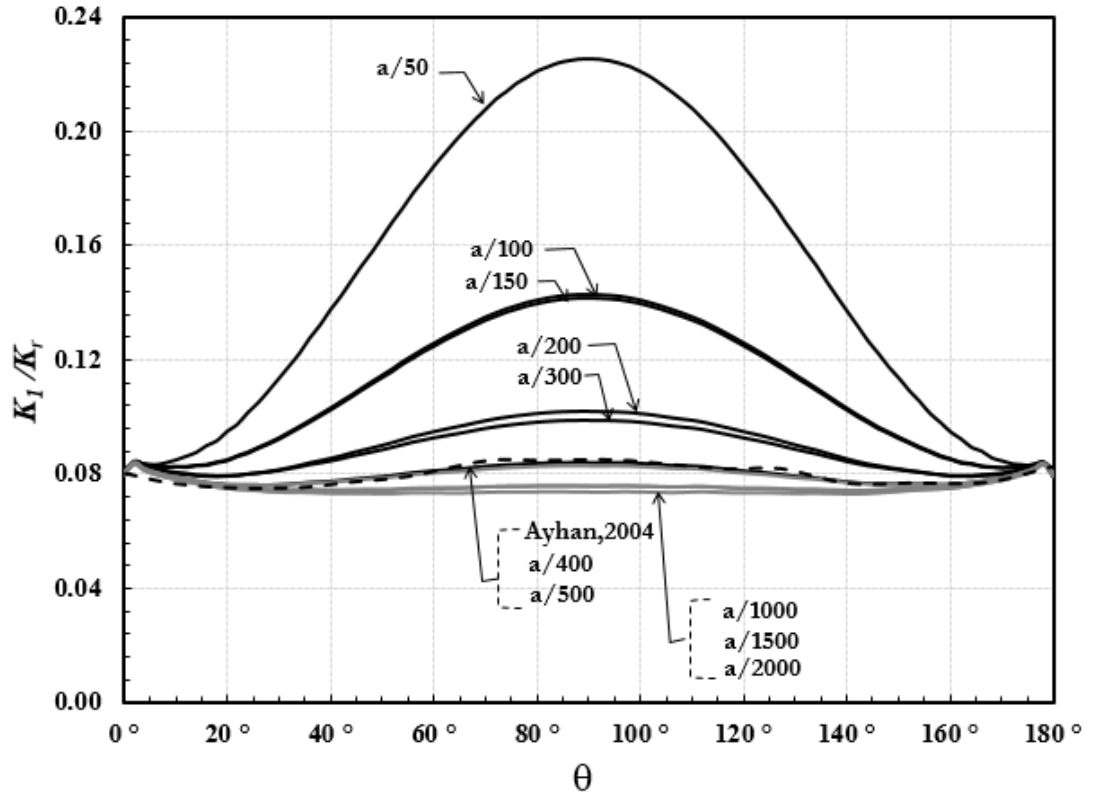


Şekil 3.12. Eğik eliptik çatlığa sahip bir silindirdeki normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü karşılaştırılması.

Normal gerilmeye maruz bırakılan bir silindirdeki eğik eliptik çatlak için normalize edilmiş GŞF değerleri teorik çözüm [22] ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.12.). Görüldüğü üzere yapılan analizle analitik yöntem sonuçları yakın bir şekilde örtüşmektedir.

### 3.1.2. Sonlu eleman ağ duyarlılık analizi

Bu kısımda, önce aksenal gerilmeye maruz bir eğik yüzey çatlağı için ağ hassasiyet çalışması yapılmıştır. Aksenal gerilmeye maruz bir eğik çatlak için Ayhan'ın [6] sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Geometrik boyutları  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$ ,  $\beta=75^\circ$  olan bir levha için, çatlak ucu bölgesinde farklı eleman boyutları kullanılmış olup literatürdeki verilerle karşılaştırılması Şekil 3.13.'te gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, karşılaştırma işleminde çatlak ucundaki elemanların çatlak ucuna dik yöndeki düzlemlerde kenar uzunluğu boyut değerleri için farklı değerler kullanarak bölüntülenme hassasiyet çalışması yapılmıştır. Bu bölüntülenme hassasiyet çalışmasına göre, çatlak derinliğine ( $a$ ) bağlı olarak belirli oranlarda çatlak ucu elemanlarının boyutlarının çözüme etkisi araştırılmış olup, eleman boyutu açısından  $a/400$  değerinin en yakın sonucu verdiği görülmüştür. Daha küçük eleman boyutlarının da yakın sonuçlar verdiği gözlemlendiğinden dolayı, yapılan tüm analizlerde çatlak ucundaki eleman boyut değeri  $a/400$  olarak alınmıştır. Ayrıca, bölüntülenme çalışmasında çatlağın bulunduğu çatlak ucu çizgisi boyunca farklı sayılarda elemanlar kullanılarak (bazı analizde 90 eleman kullanılmıştır) analizler de yapılmış olup, sonucun çok değişmediği gözlemlenmiştir [19].



Şekil 3.13.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$ ,  $\beta=75^\circ$  boyutlarına sahip eğik eliptik yüzey çatlak için çatlak ucundaki eleman boyutunun farklı değerleri için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörünün çatlak önü boyunca dağılımları.

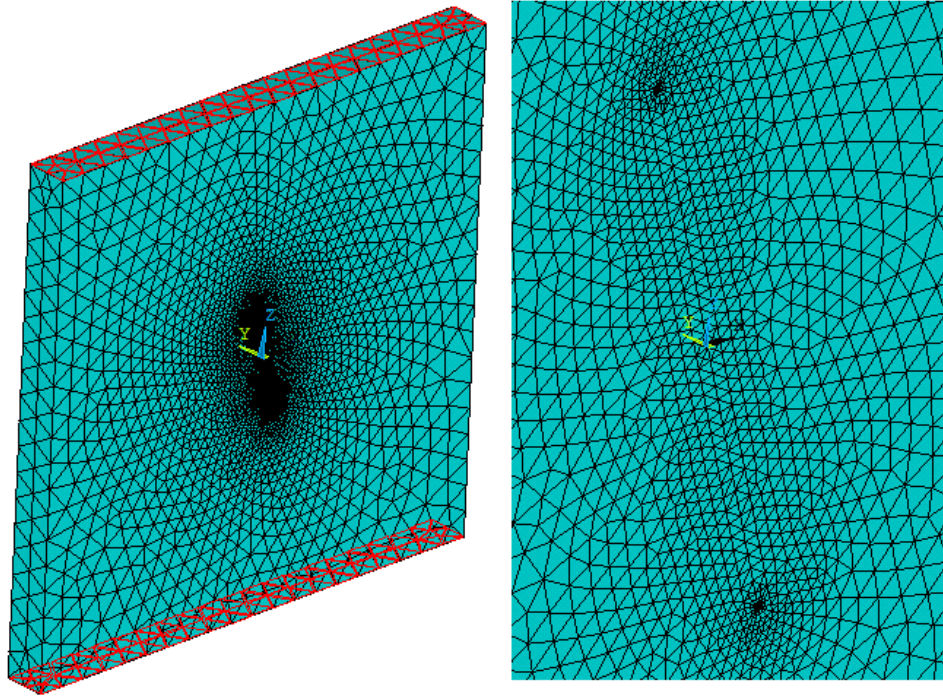
Buraya kadar sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve FCPAS ile kırılma analizlerinin nasıl yapıldığını, literatürdeki verilerle karşılaştırılması ve ağ duyarlılık analizi çalışmaları anlatılmıştır. Bundan sonraki kısımda ise toplam 480 adet analiz içeren sırasıyla, aksel gerilmeye maruz bir levhada eğik ve dönmüş, eğilme gerilmesine maruz bir levhada eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarının analiz sonuçları verilecektir.

### 3.2. Eksenel Gerilmeye Maruz Levhada Bulunan Eğik Çatlak Analizleri

Bu kısımda analiz grubu olan eksenel gerilmeye maruz bir levhadaki eğik çatlak için GŞF değerleri verilmektedir. Analizlerde kullanılan  $a/c$  (çatlak derinliği/çatlak uzunluğu) değerleri 0.25, 0.5, 1, 2, 4;  $a/t$  çatlak derinliği/et kalınlığı oranları sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8; çatlağın yatay eksenle yaptığı açı olan  $\beta$ , 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak ele alınmıştır.  $\theta$  açısı ise çatlak önü (crack front) konumsal açıdır. Konumsal açı da 0'dan 180 dereceye kadar değişmektedir. Yapılacak analizlerde çatlak derinliği ( $a$ ) 1 birim olarak alınmaktadır. Levhanın genişliği ve yüksekliği eliptik çatlağın çatlak uzunluğu veya derinliğinden hangisi daha büyük ise bu boyutun on katı olarak belirlenmiştir. Böylece modeller ANSYS ortamında oluşturulmakta ve ağ bölüntülenmesi yapılmaktadır. Sonra sınır şartları tanımlanarak levhanın üst ve alt kısmına eksenel gerilme tanımlanmaktadır. Levhanın rijit cisim hareketini engellemek için levha farklı noktalardan sabitlenir. Alt tabanın köşesinde bir noktadan üç eksenle, diğer bir noktadan iki eksenle ve başka bir noktadan tek eksenle sabitlenmiştir. Daha sonra, modelden FCPAS verileri alınarak, FCPAS ile kırılma analizi yapılmaktadır. FRAC3D kullanılarak karışık mod GŞF'leri hesaplandıktan sonra uygulanan gerilme ve  $a/c$  oranına bağlı olan bir referans  $Kr$  değeri ile Denklem 3.2-3.4'teki denklemler kullanılarak normalize edilmektedir. Şekil 3.14.'te eksenel gerilmeye maruz ve eğik çatlak içeren levhanın sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.

Şekil 3.15.-3.74. arasındaki grafikleri daha iyi anlamak için, normalize edilmiş mod-II ve mod-III GŞF'leri,  $\beta= 60$  ve  $75$  derece durumları için kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Çatlak derinliği ( $a$ ) sabit kaldığında levhanın et kalınlığı azaldıkça normalize edilmiş  $K_1$  değerleri artmaktadır. Bir başka deyişle, eğik eliptik yüzey çatlak sabit  $a/c$  değerinde iken  $a/t$  değerinin artması GŞF'lerin artmasına sebep olmaktadır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının 0 derece olması sadece mod-I problemidir ve diğer açılar olan 15, 30, 45, 60, 75 derece durumları ile çatlak ucu bölgesinde karışık mod gerilme durumu ortaya çıkmaktadır.



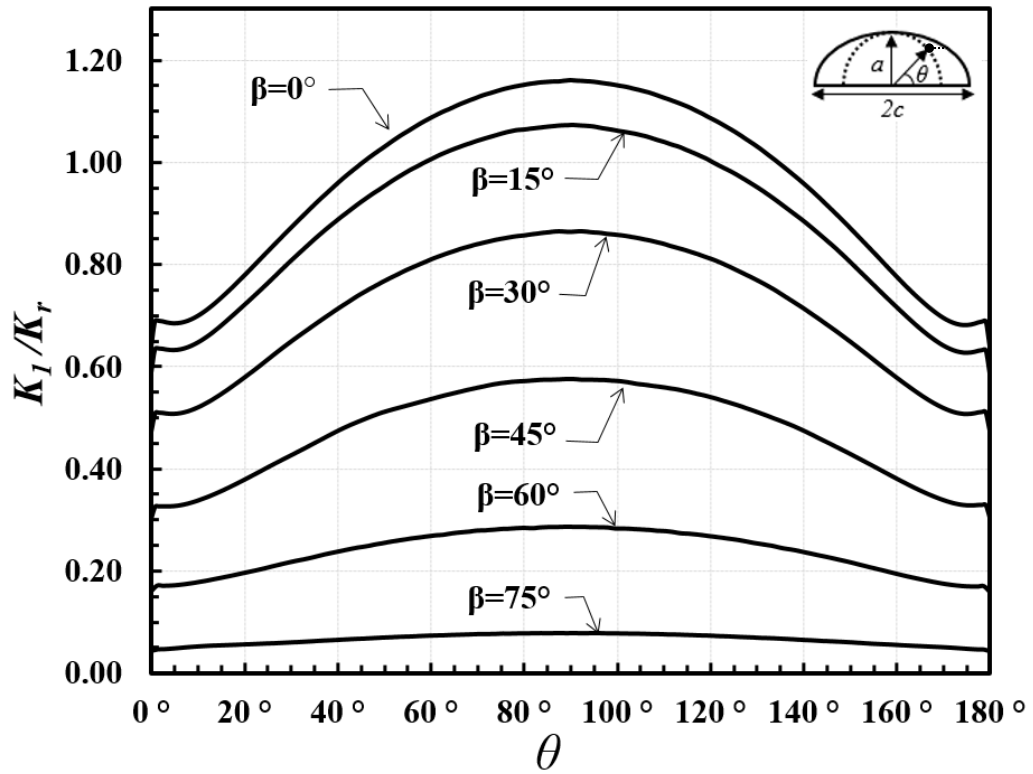


Şekil 3.14.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$ ,  $\beta=75^\circ$  olan eğik yüzey çatlama sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

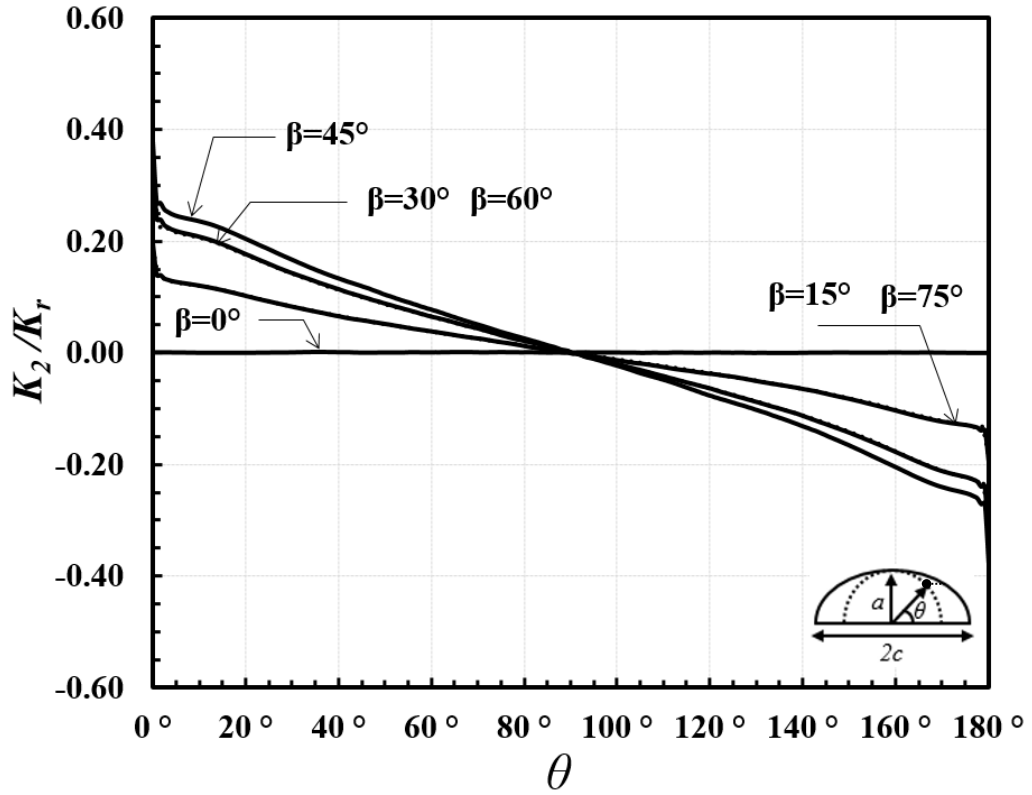
Mod-I (açılma modu) sonuçlarında, sabit  $a/c$  değerlerinde levhanın et kalınlığı azaldıkça, oluşan GŞF değerleri arttığı ilgili grafiklerde gözükmemektedir. 0 derece saf açılma modu olduğundan GŞF değeri en yüksektir. 0 derecede kayma ve yırtılma modlarının olmadığı, ilgili grafiklerde gözükmemektedir. Eğiklik açısı  $\beta$  arttıkça, çatlak önü boyunca mod-I GŞF değerlerinin azaldığı Şekil 3.15.'te gözükmemektedir. Normalize edilmiş  $K_1$  değerlerinde,  $\theta=0^\circ-90^\circ$  ile  $90^\circ-180^\circ$  arasında simetrik bir dağılım olduğu görülmektedir.

Kayma modu için en yüksek GŞF değerlerinin çatlakın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede (maksimum kayma gerilmesinin olduğu düzlem) elde edildiği görülmektedir. Sıfır derecede ise normalize edilmiş  $K_2$  değeri 0'dır. Eksenel gerilmeye maruz bir levhada, aynı kayma gerilmesi değerlerine sahip olduklarından dolayı, birbirlerini 90 dereceye tamamlayan 15 ve 75 ile 30 ve 60 derece eğik açılı düzlemlerdeki yüzey çatlakları, beklendiği üzere aynı mod-II GŞF değerlerini oluşturmaktadır (Şekil 3.16.). Normalize edilmiş  $K_2$  değerlerinde, aynı  $a/t$  değerleri için  $\theta=0^\circ-90^\circ$  ile  $90^\circ-180^\circ$  arasında anti-simetrik bir dağılım olduğu görülmektedir.

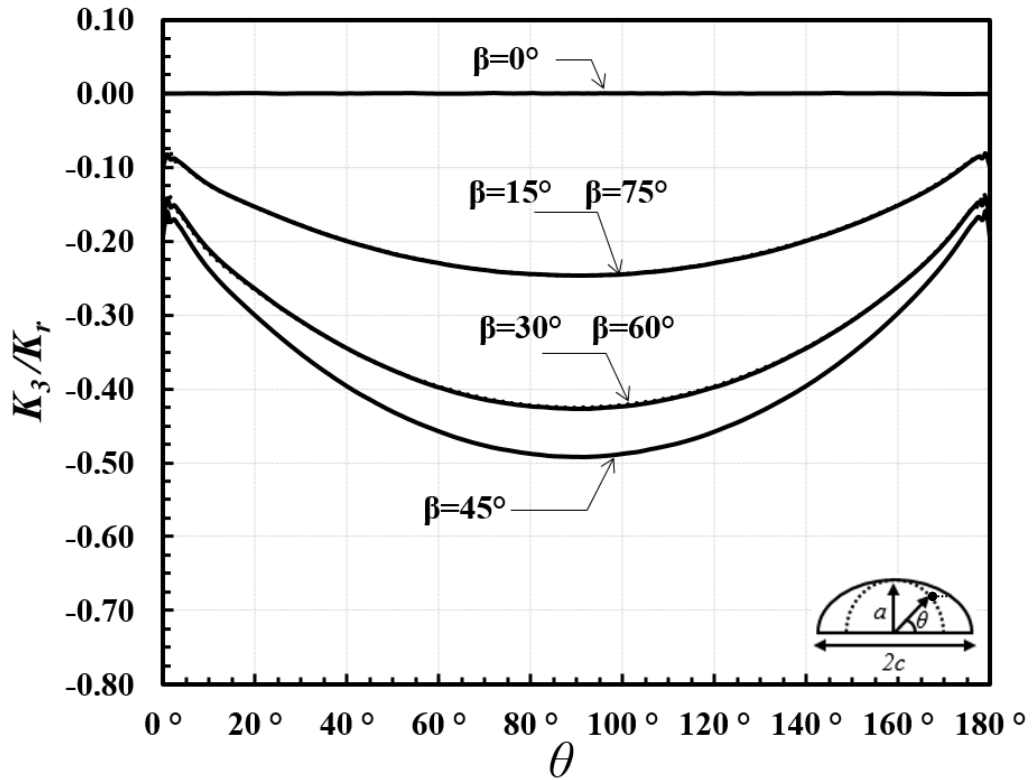
Yırtılma modunda (mod-III), kayma modunda olduğu gibi, en yüksek GŞF değerinin negatif bölgede çatlakın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede elde edildiği görülmektedir. Birbirlerini 90 dereceye tamamlayan 15 ve 75 ile 30 ve 60 derece eğik açılı düzlemlerdeki yüzey çatlakları için aynı mod-III GŞF değerlerinin oluştuğu görülmektedir. Normalize edilmiş  $K_3$  değerlerinin simetrik bir dağılım gösterdiği Şekil 3.17.'de gözükmemektedir. Elde edilen tüm kombinasyonlara göre,  $a/c$  0.25, 0.5, 1, 2, 4 için;  $a/t$  oranı sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 durumları için karışık mod GŞF'lerinin dağılımları Şekil 3.15.-3.74.'te verilmektedir. Adı geçen grafiklerde, açılma, kayma ve yırtılma için yukarıda yapılan yorumlar teyit edilebilir. Çatlak ucu yüzey kısmında ve yüzeye yakın kısımlarında GŞF değerleri dalgalı şekilde sonuçlarda gözükmemektedir. Bu ani değişimler serbest yüzey etkisinden dolayı olup, bu çalışmada dar serbest yüzey bölgesi için özel bir analiz yapılmamıştır.



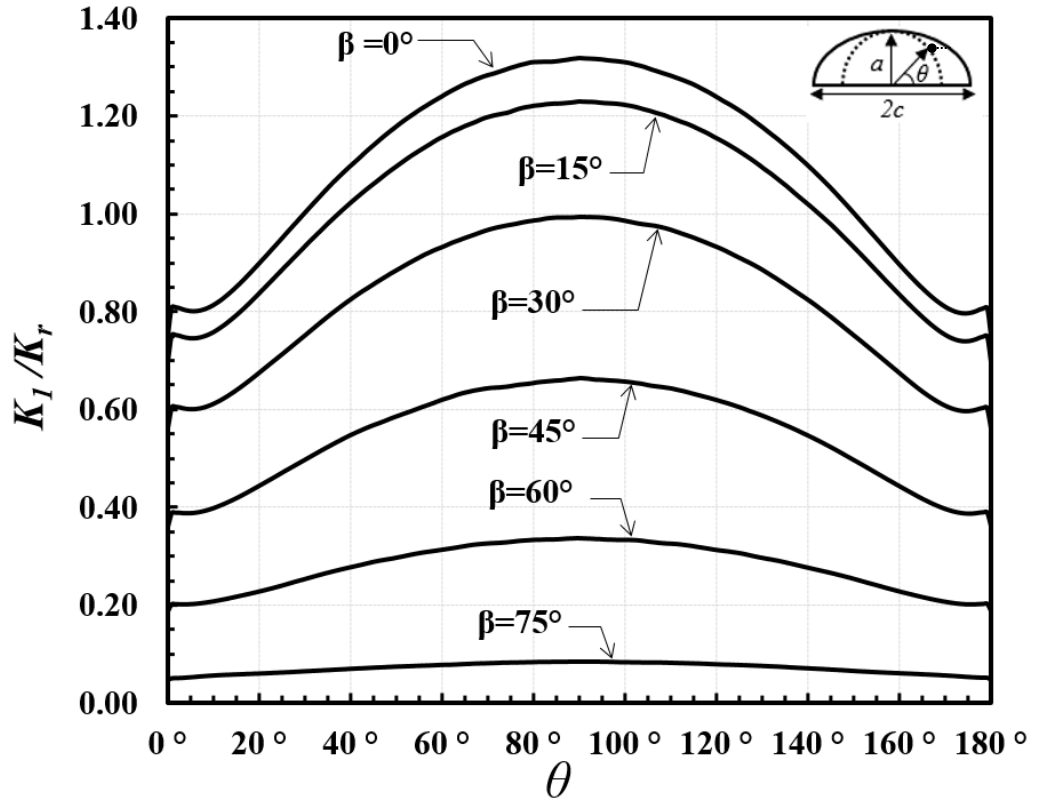
Şekil 3.15.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



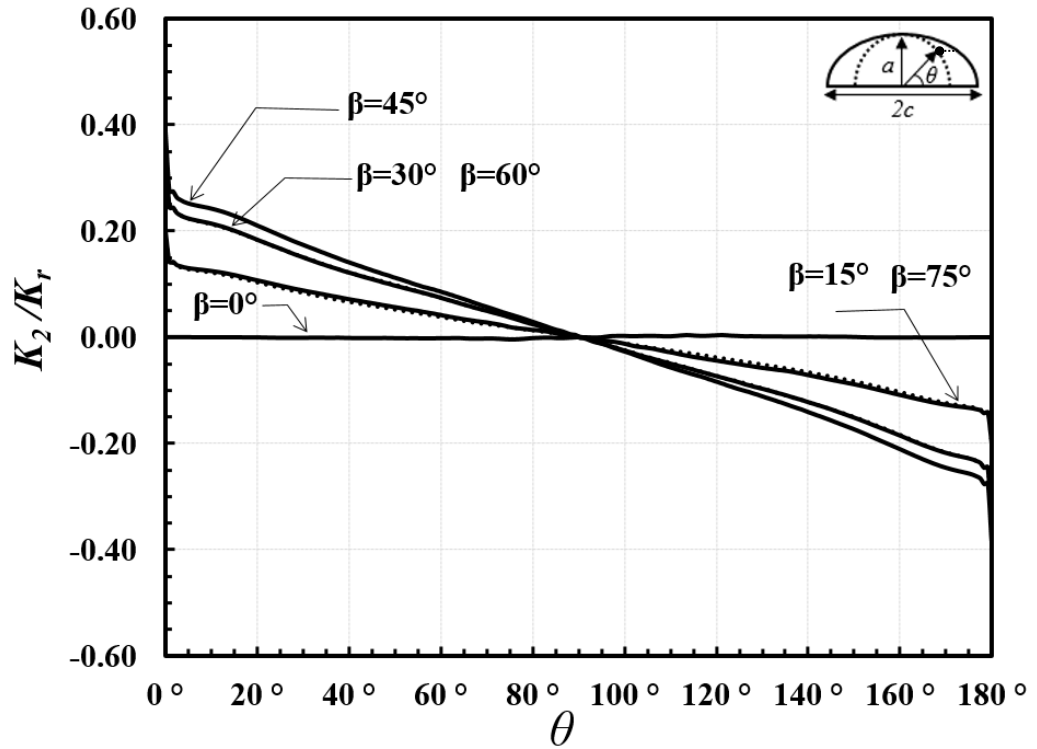
Şekil 3.16.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



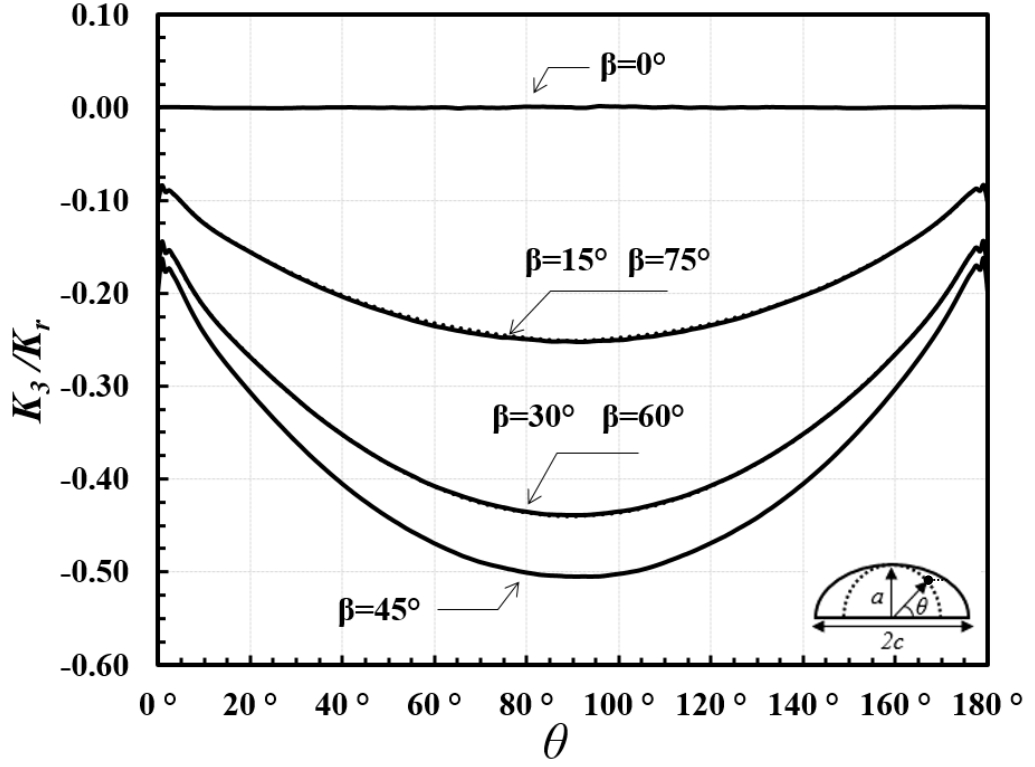
Şekil 3.17.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



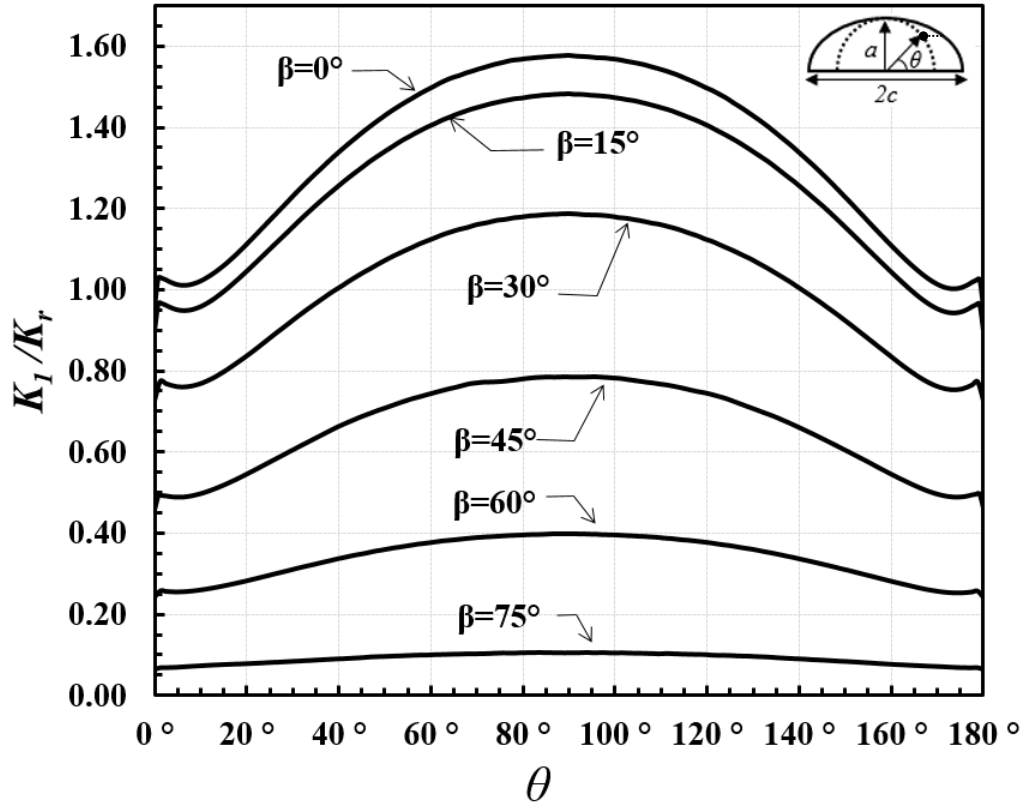
Şekil 3.18.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



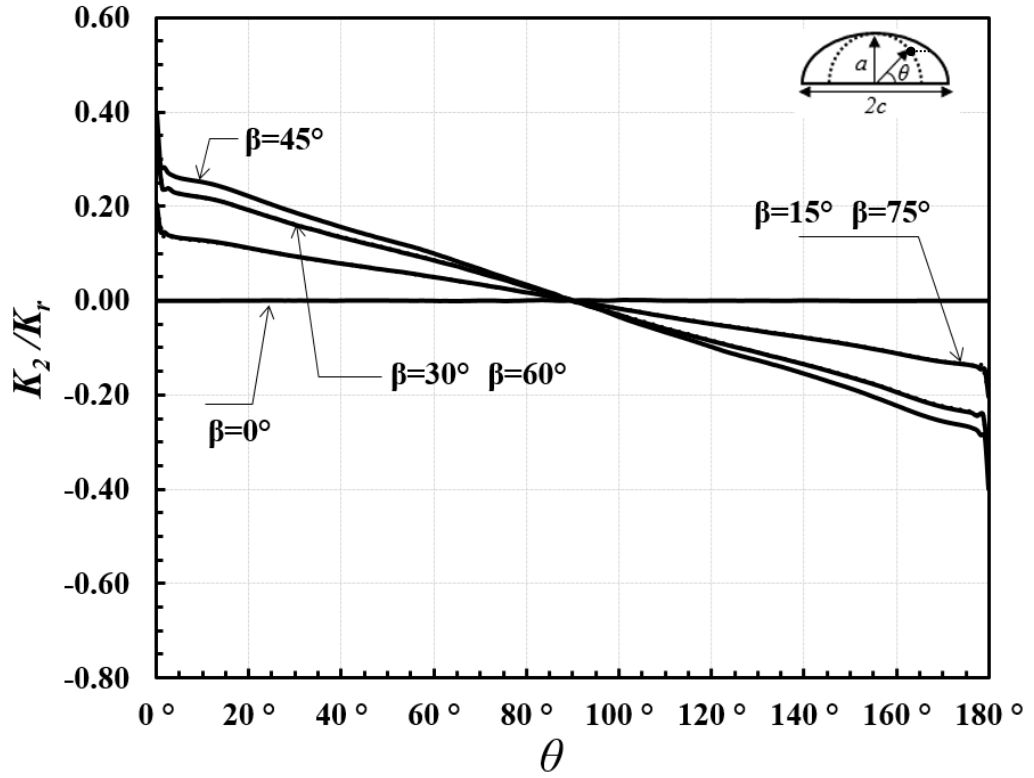
Şekil 3.19.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



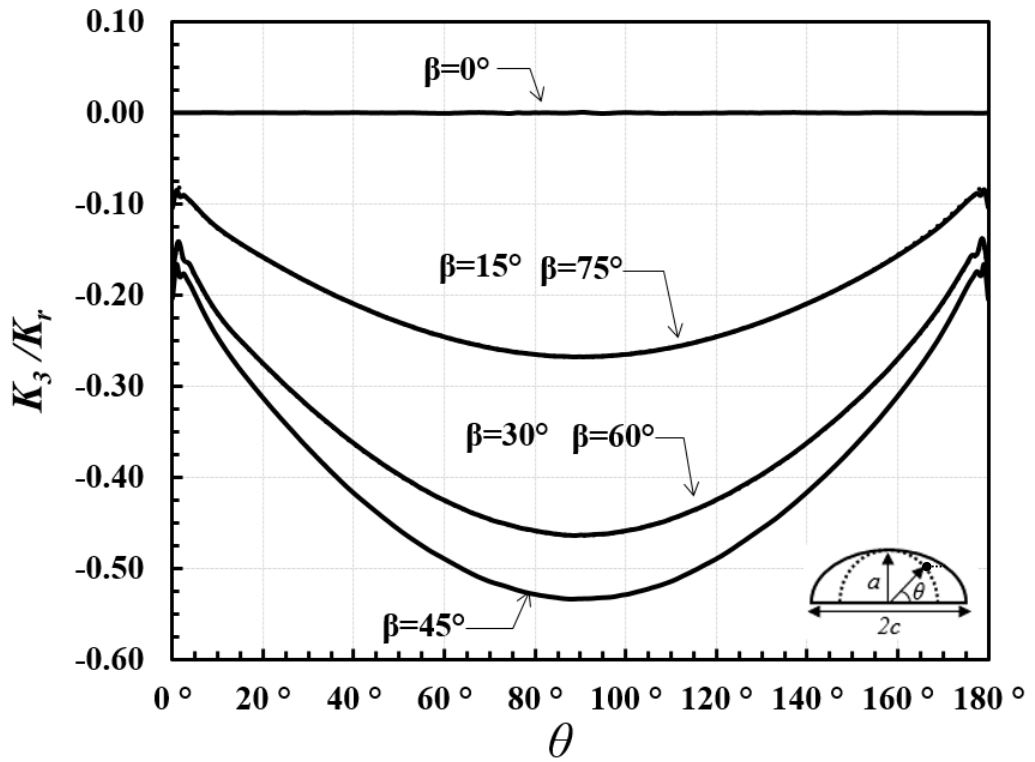
Şekil 3.20.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



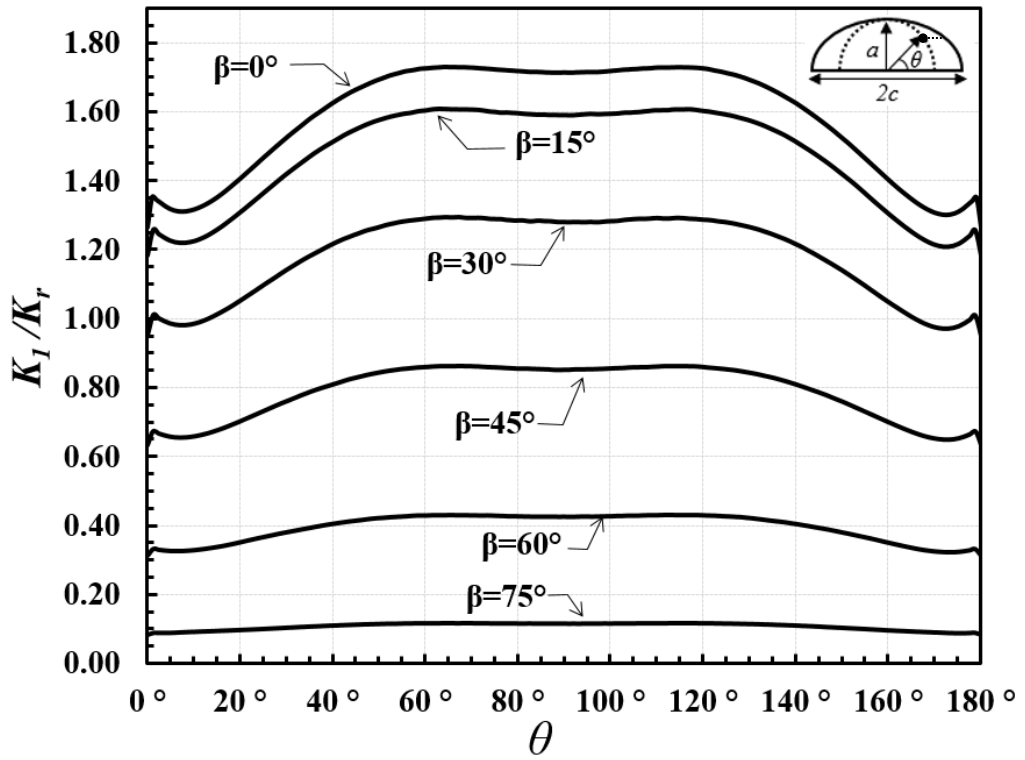
Şekil 3.21.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



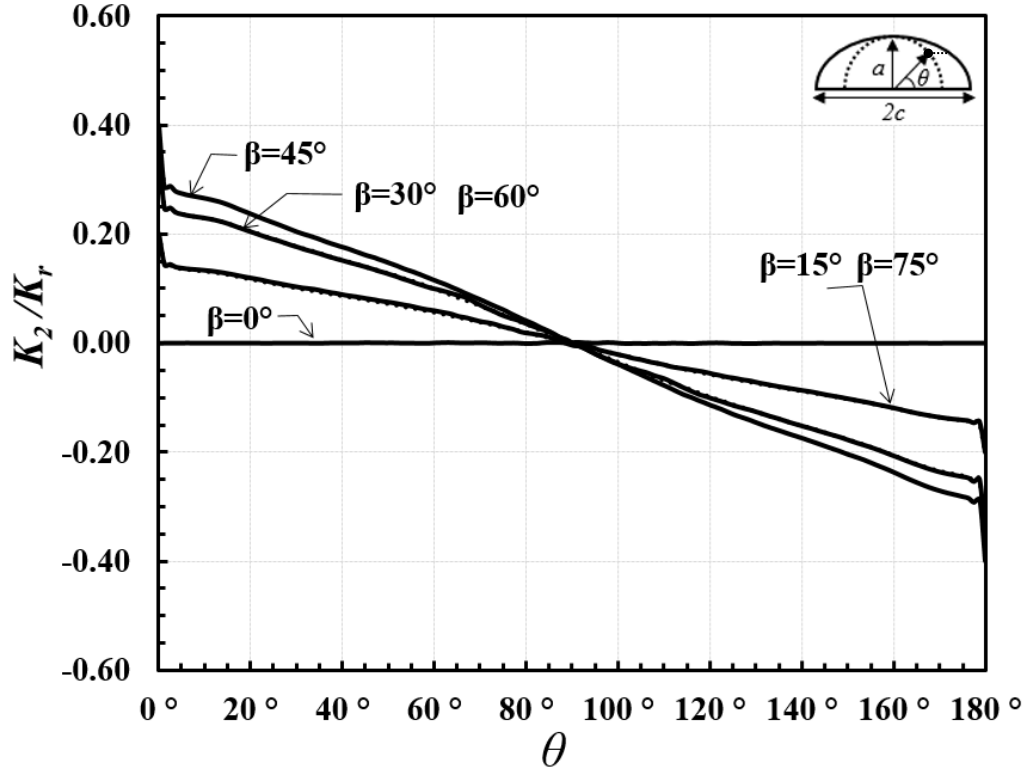
Şekil 3.22.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



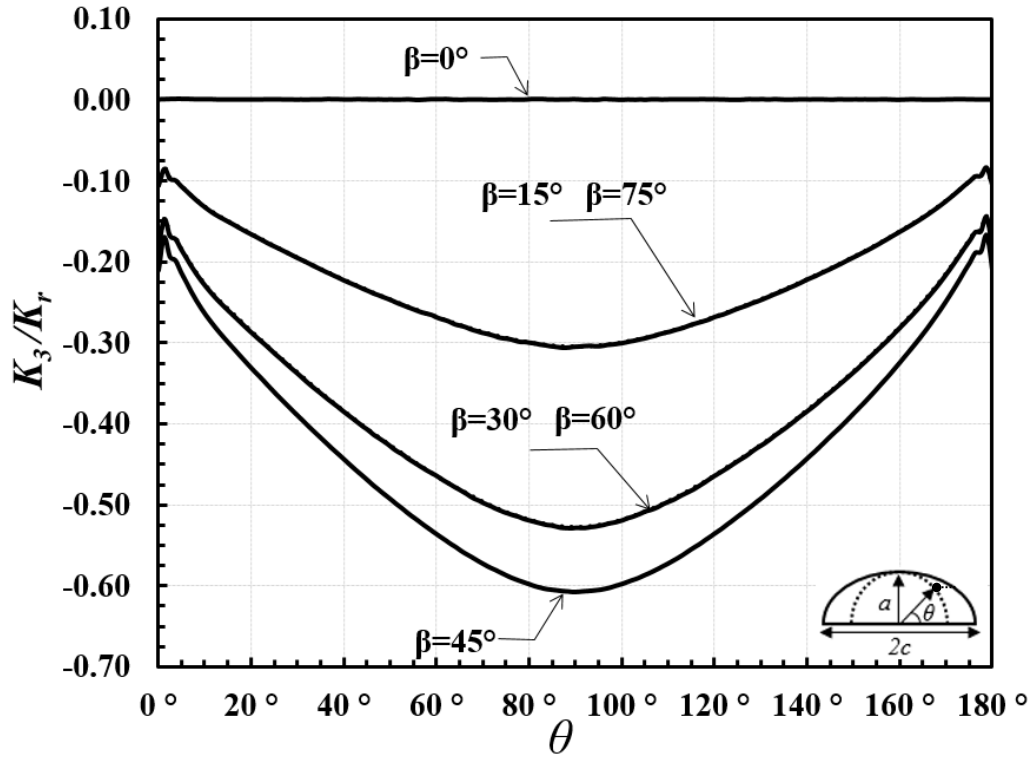
Şekil 3.23.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



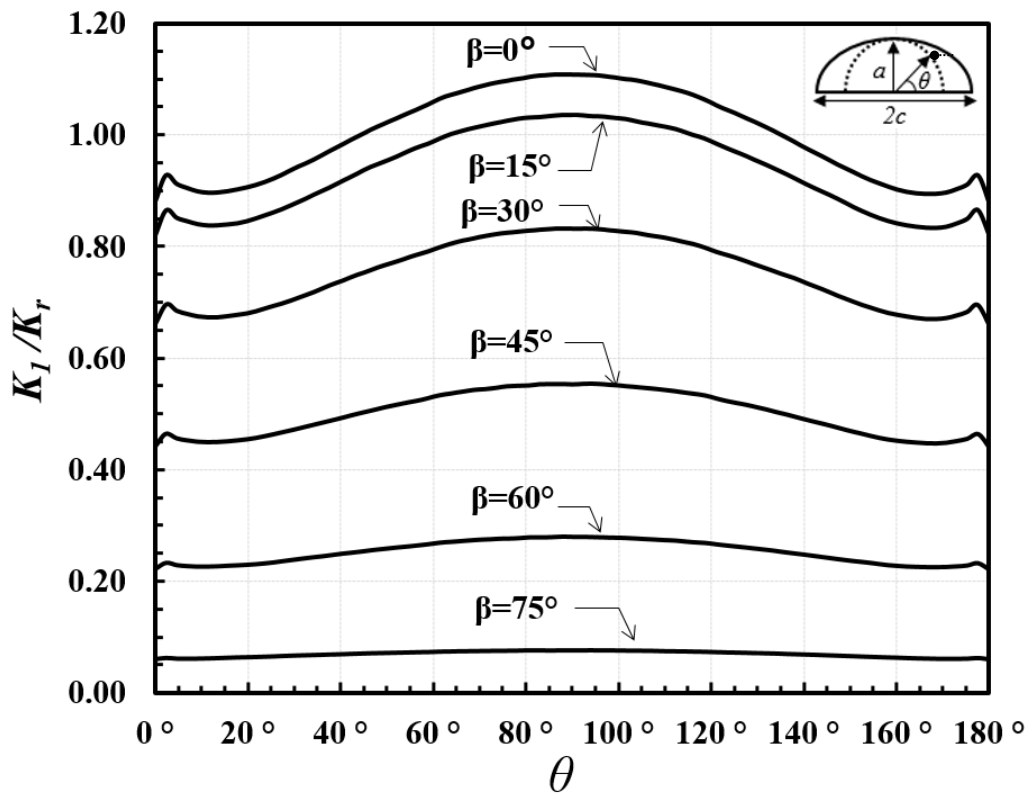
Şekil 3.24.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.25.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0,8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

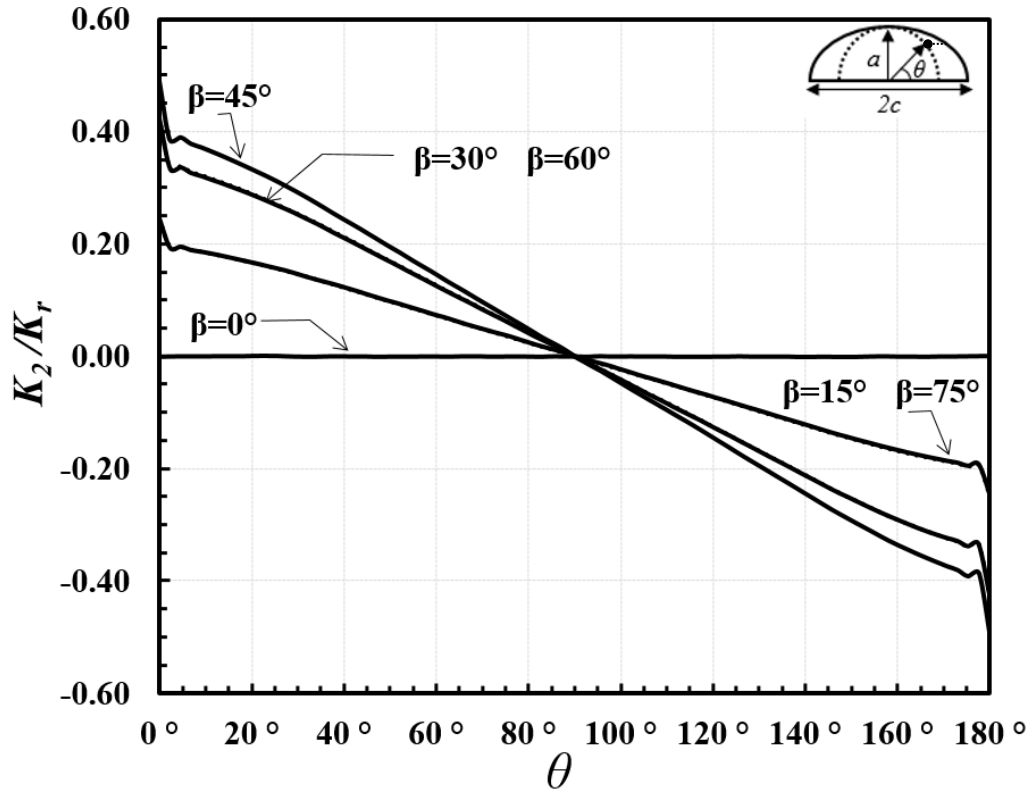


Şekil 3.26.  $a/c=0,25$ ,  $a/t=0,8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

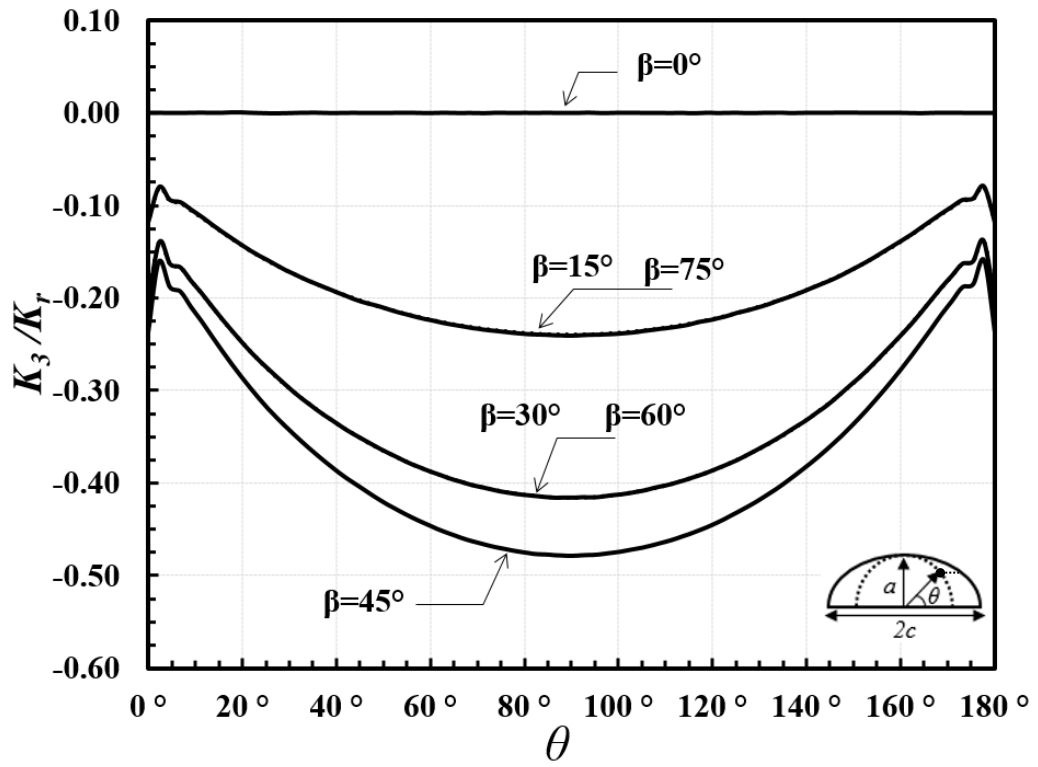


Şekil 3.27.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

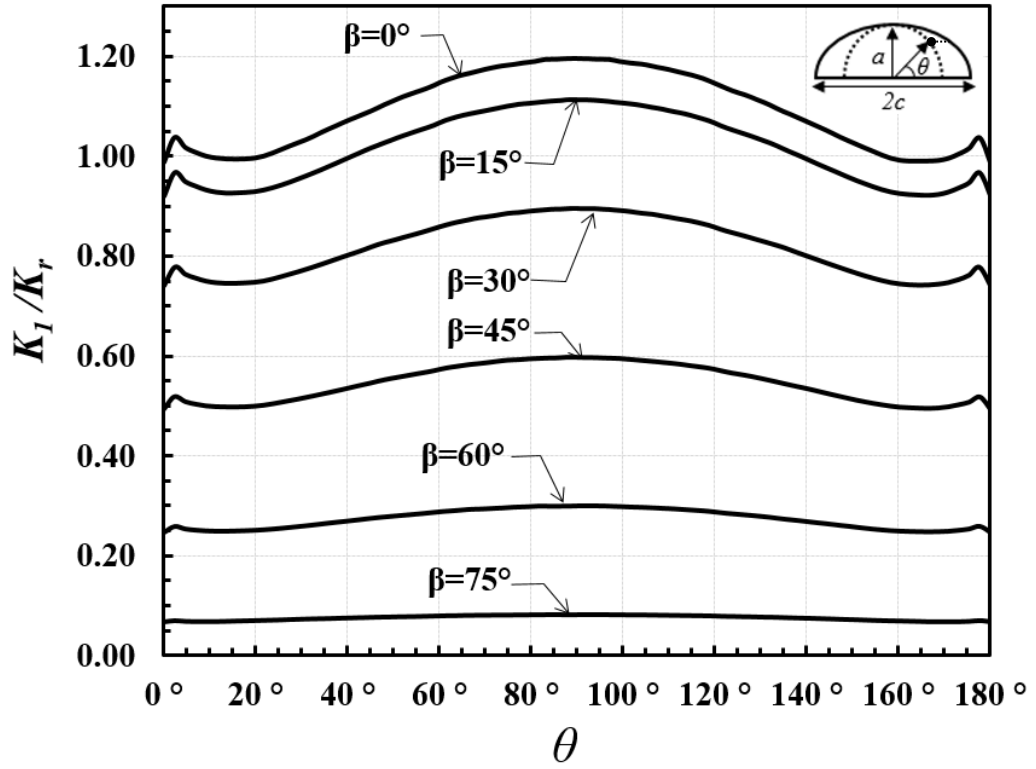




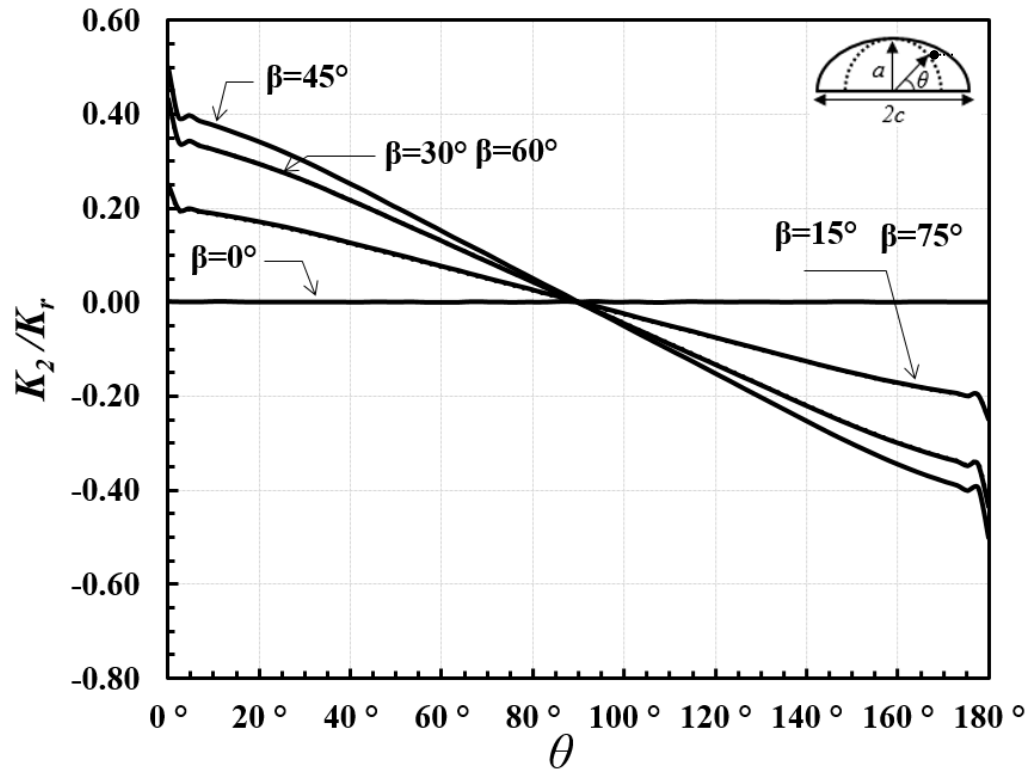
Şekil 3.28.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



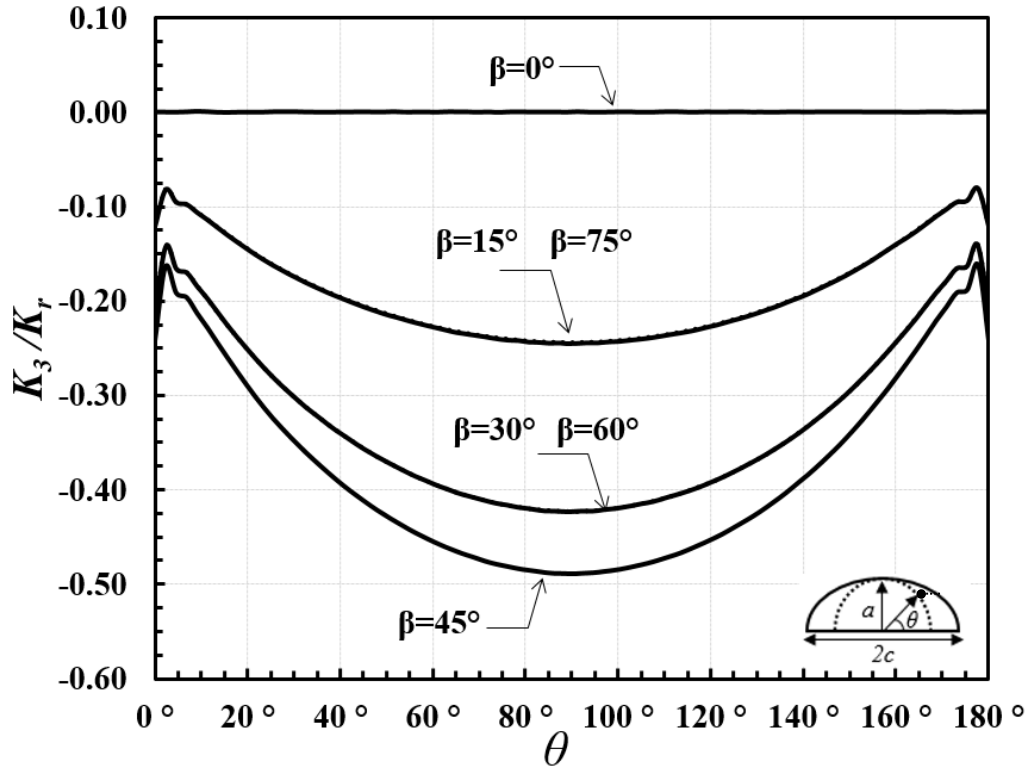
Şekil 3.29.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



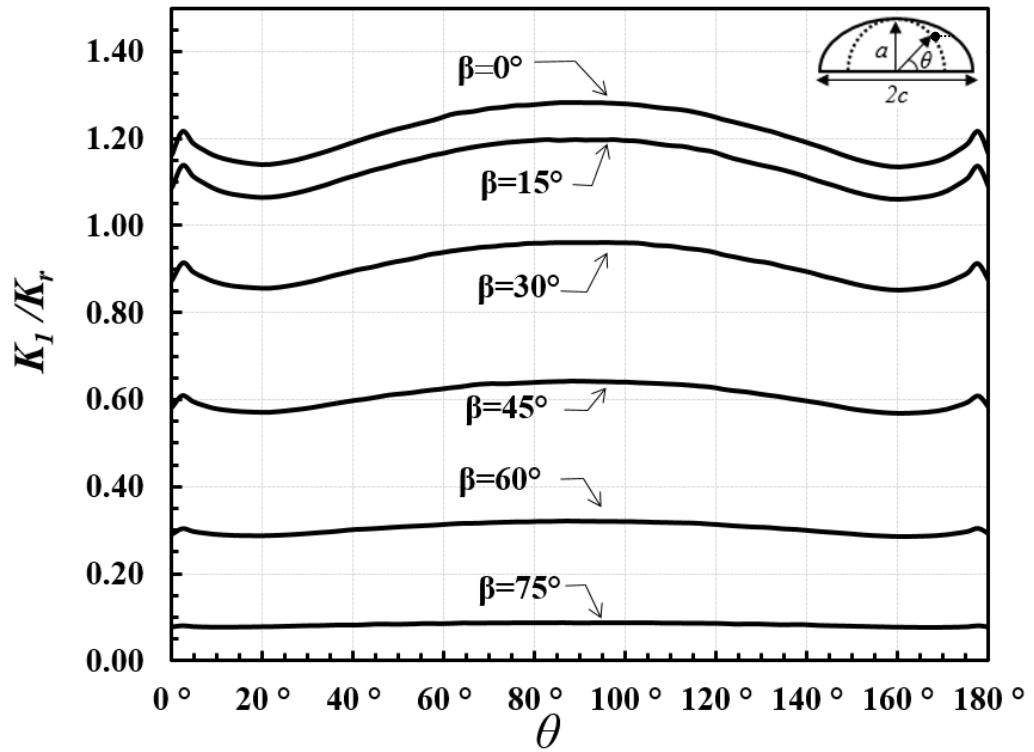
Şekil 3.30.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



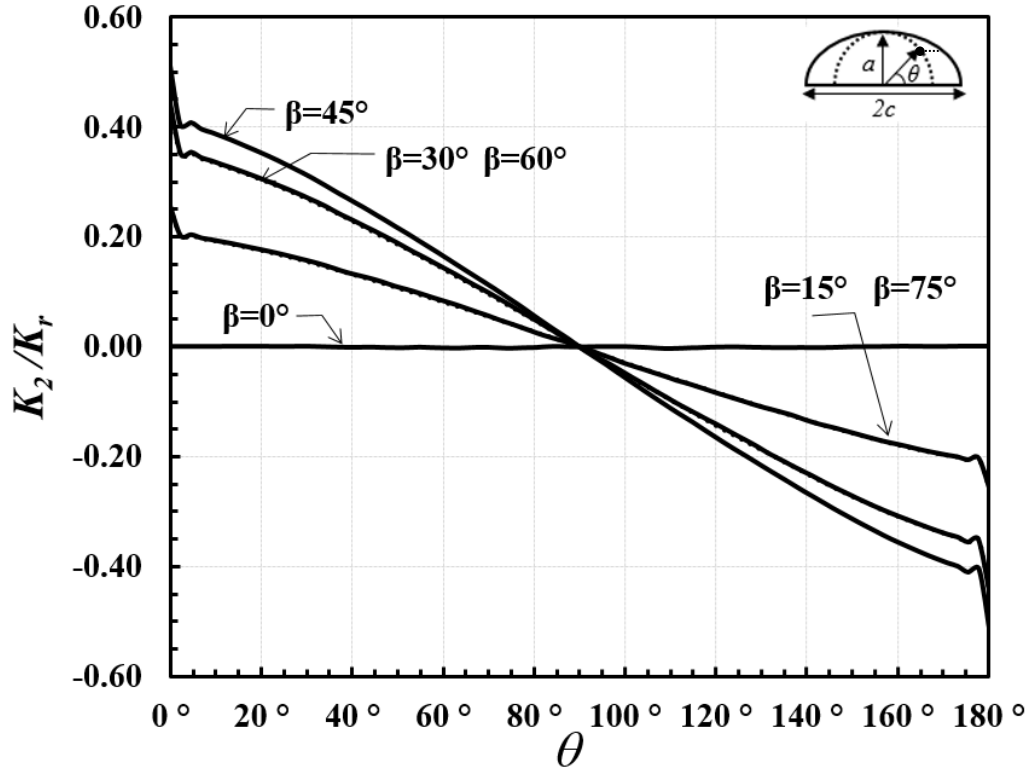
Şekil 3.31.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



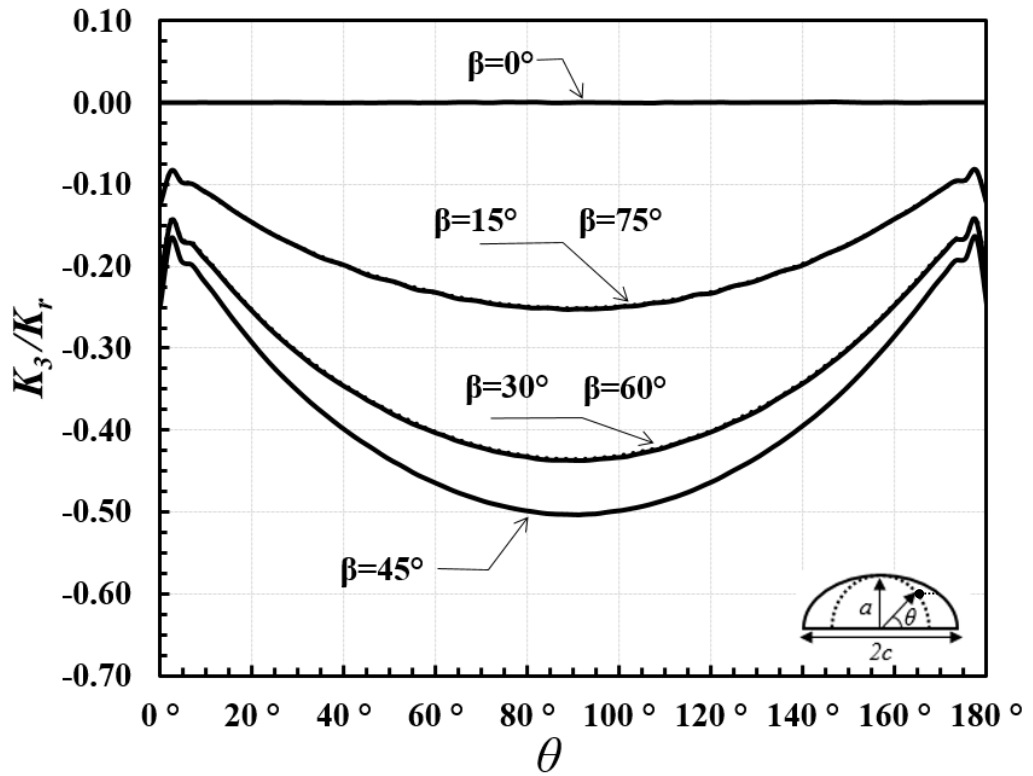
Şekil 3.32.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



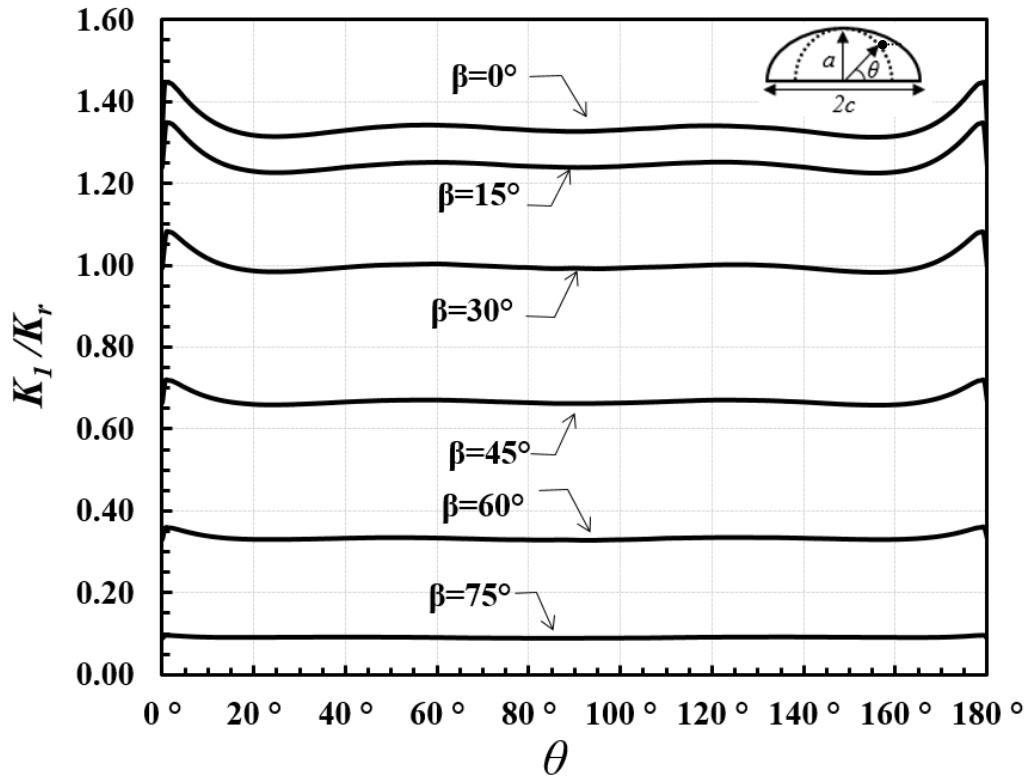
Şekil 3.33.  $a/c=0,5$ ,  $a/t=0,6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



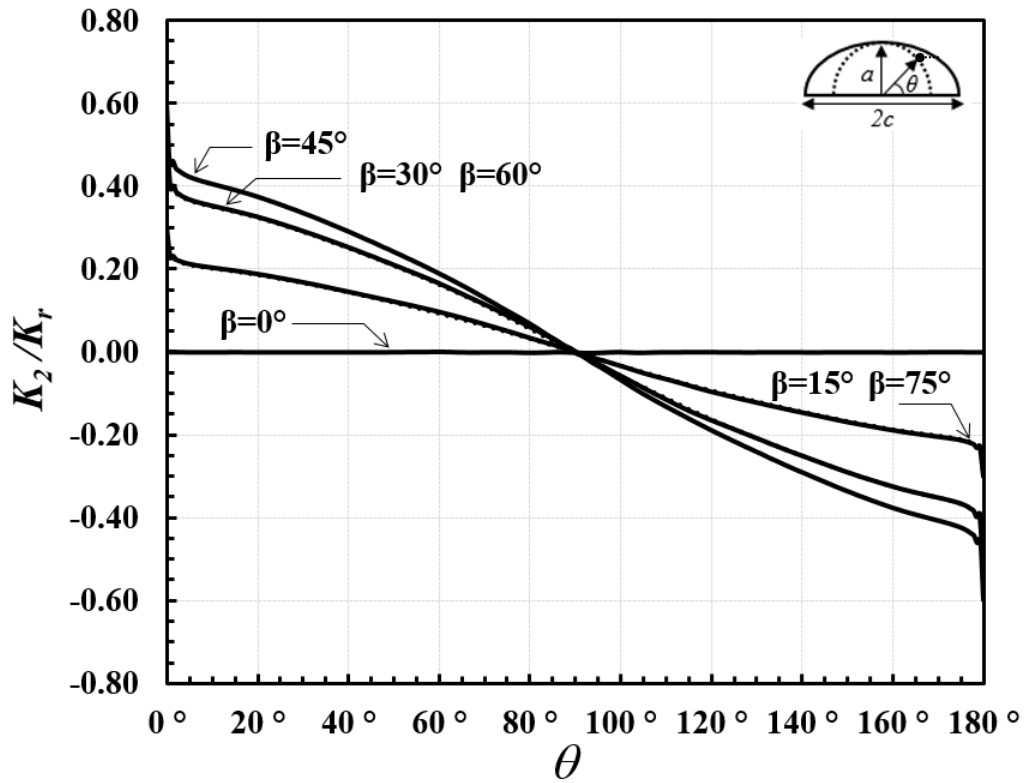
Şekil 3.34.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



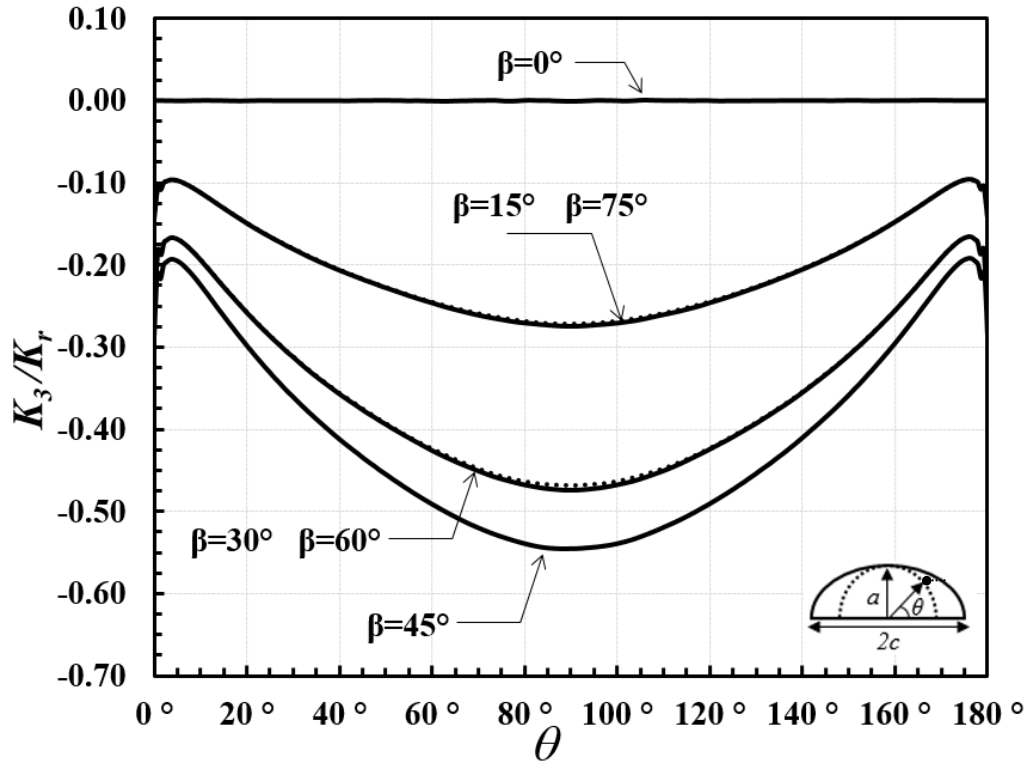
Şekil 3.35.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



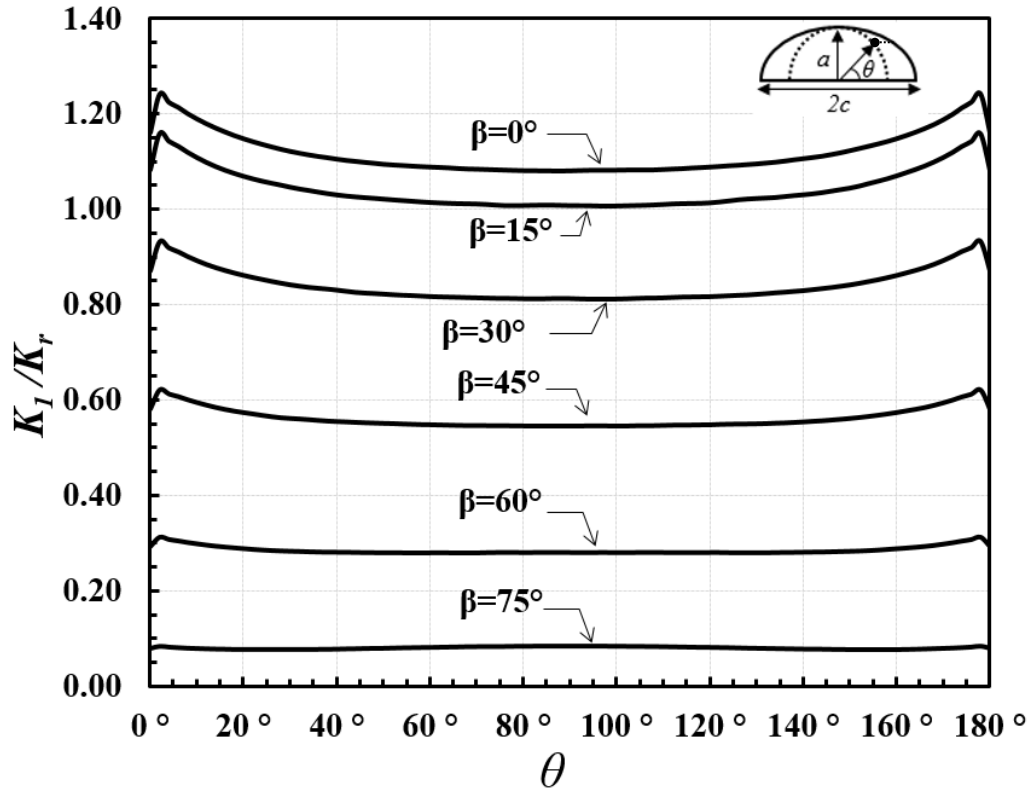
Şekil 3.36.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



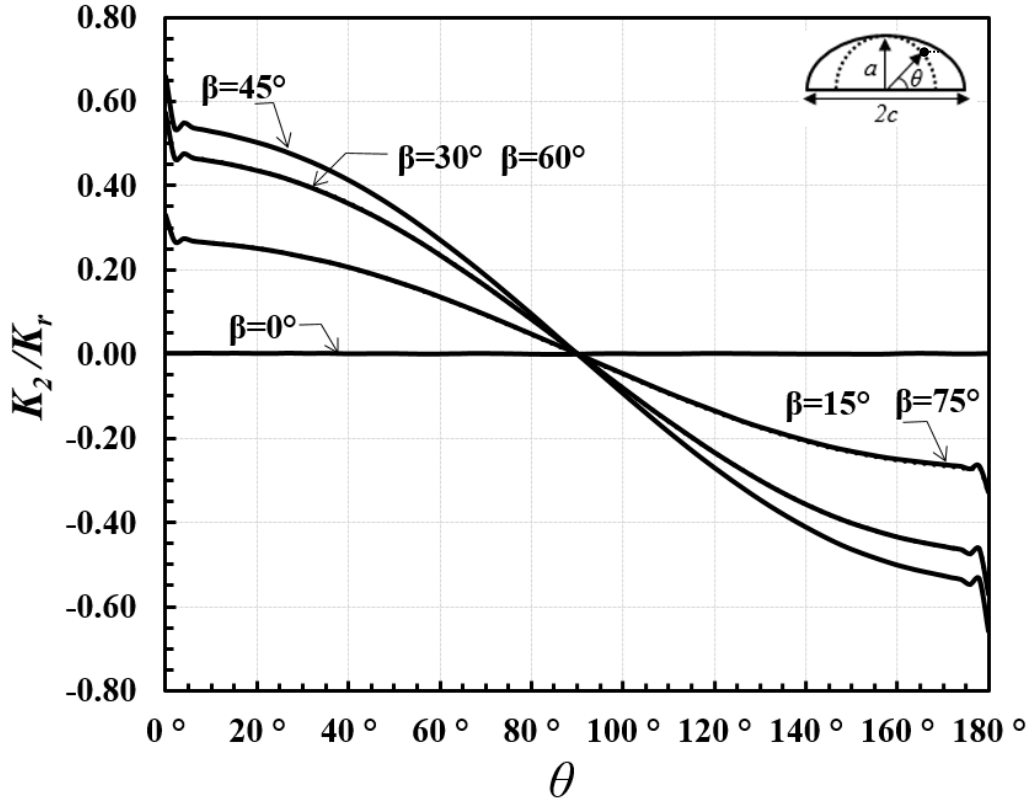
Şekil 3.37.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



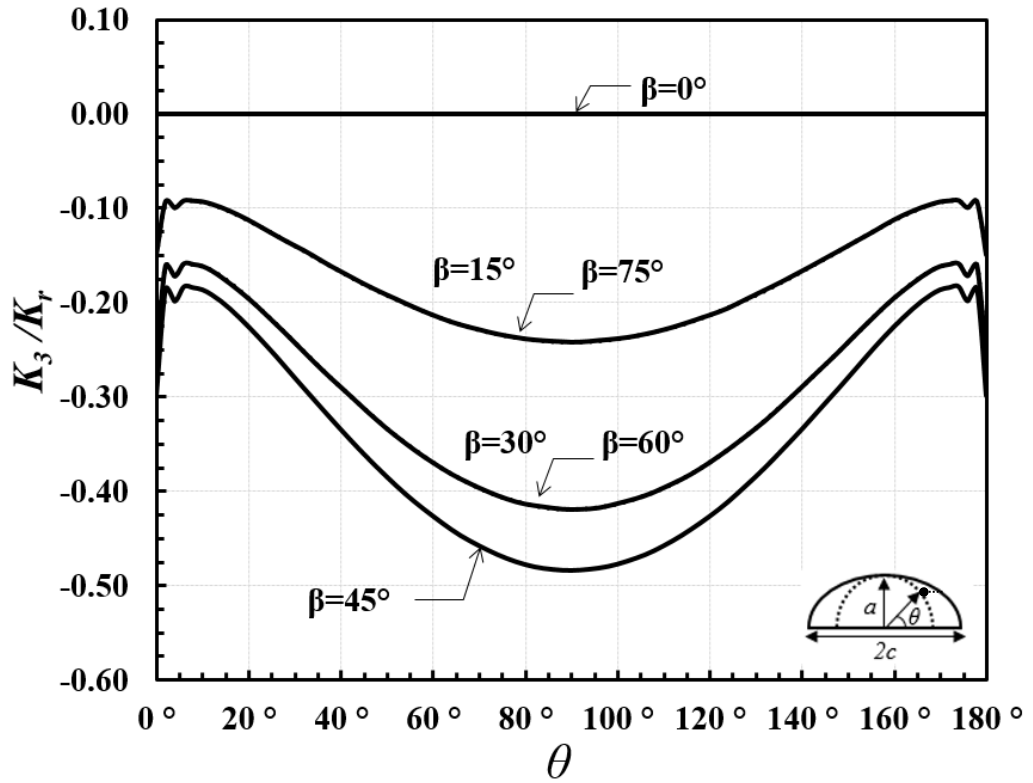
Şekil 3.38.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



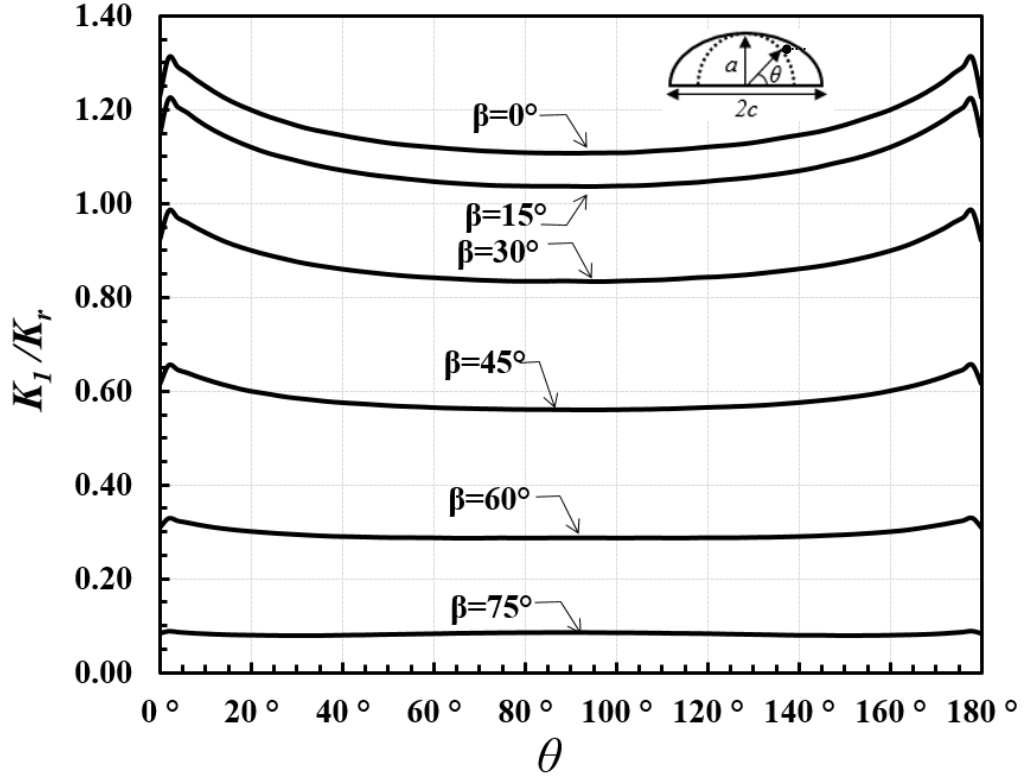
Şekil 3.39.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



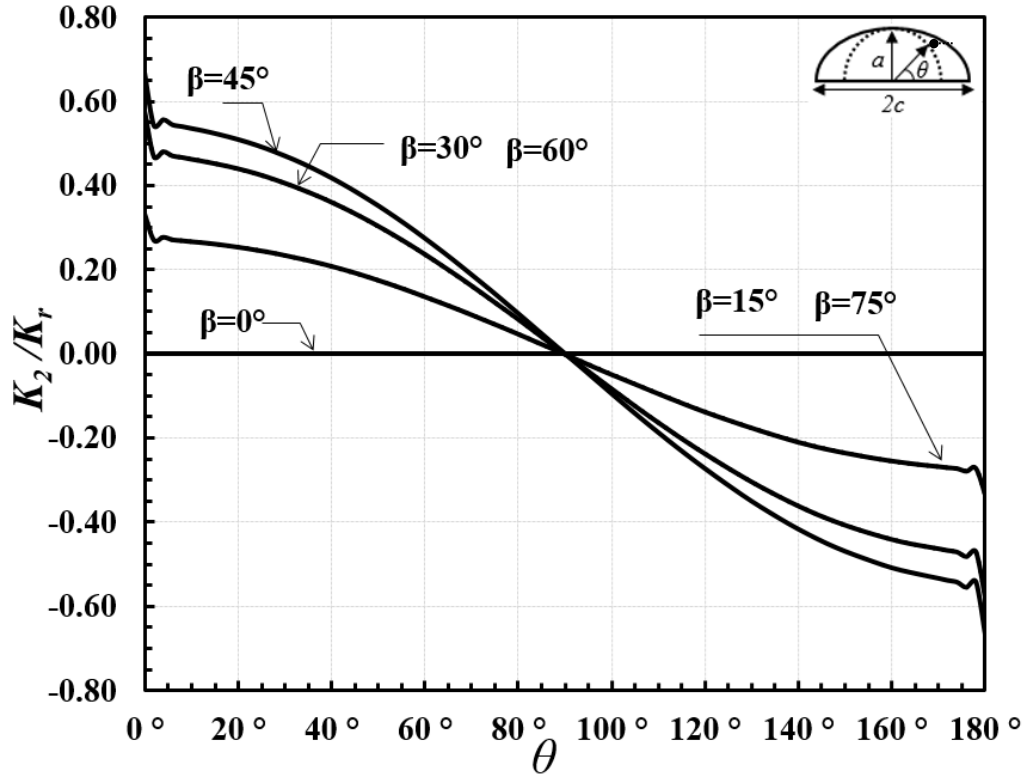
Şekil 3.40.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.41.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

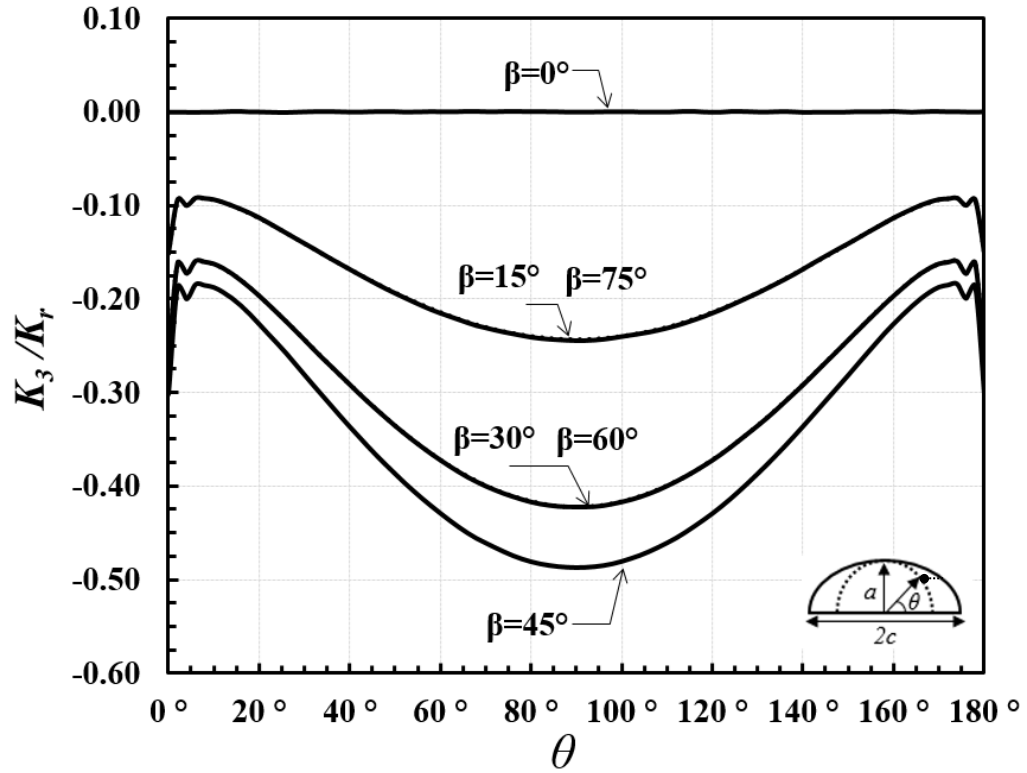


Şekil 3.42.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

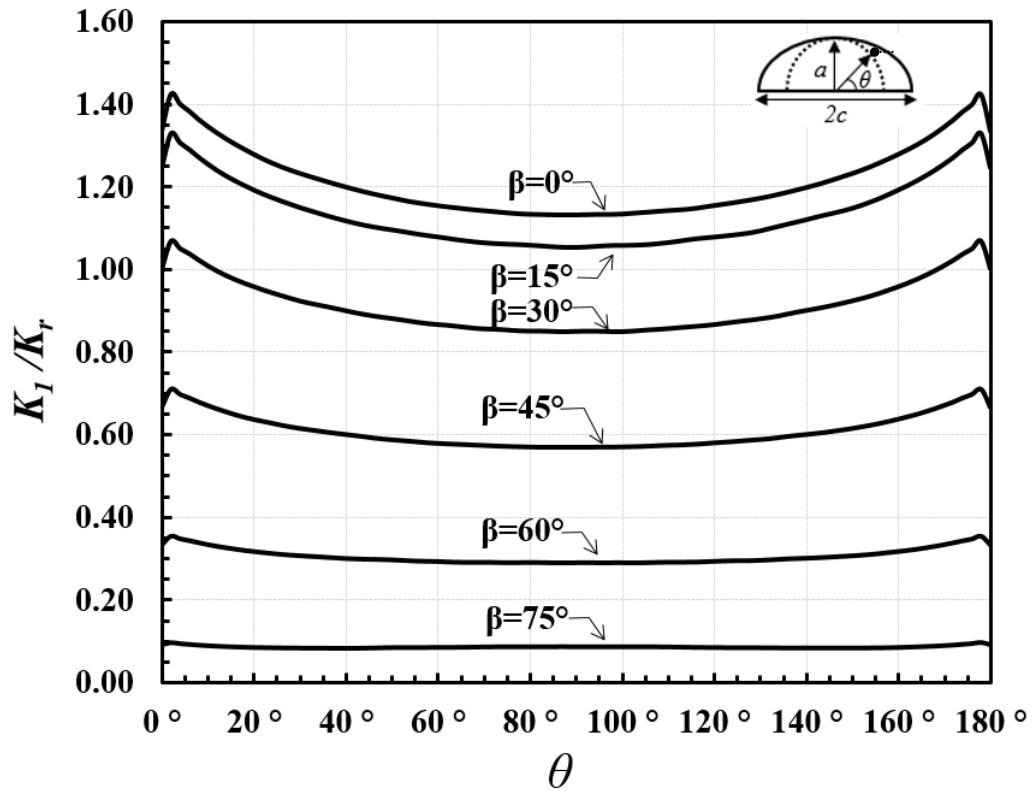


Şekil 3.43.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

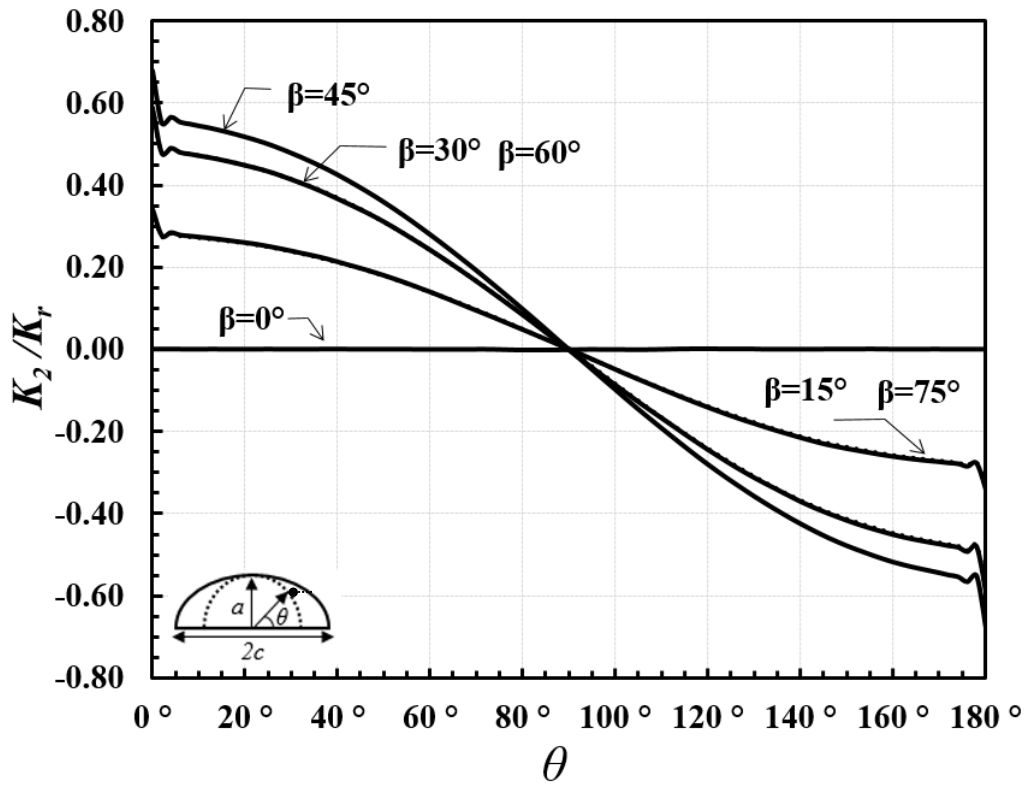




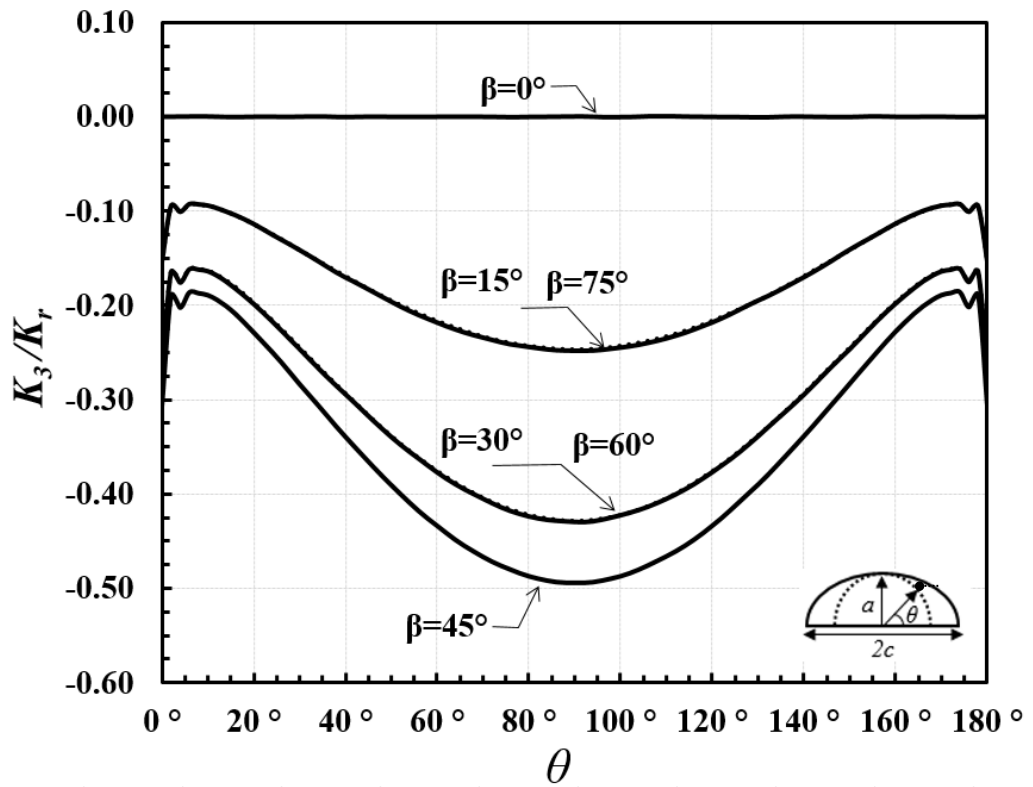
Şekil 3.44.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



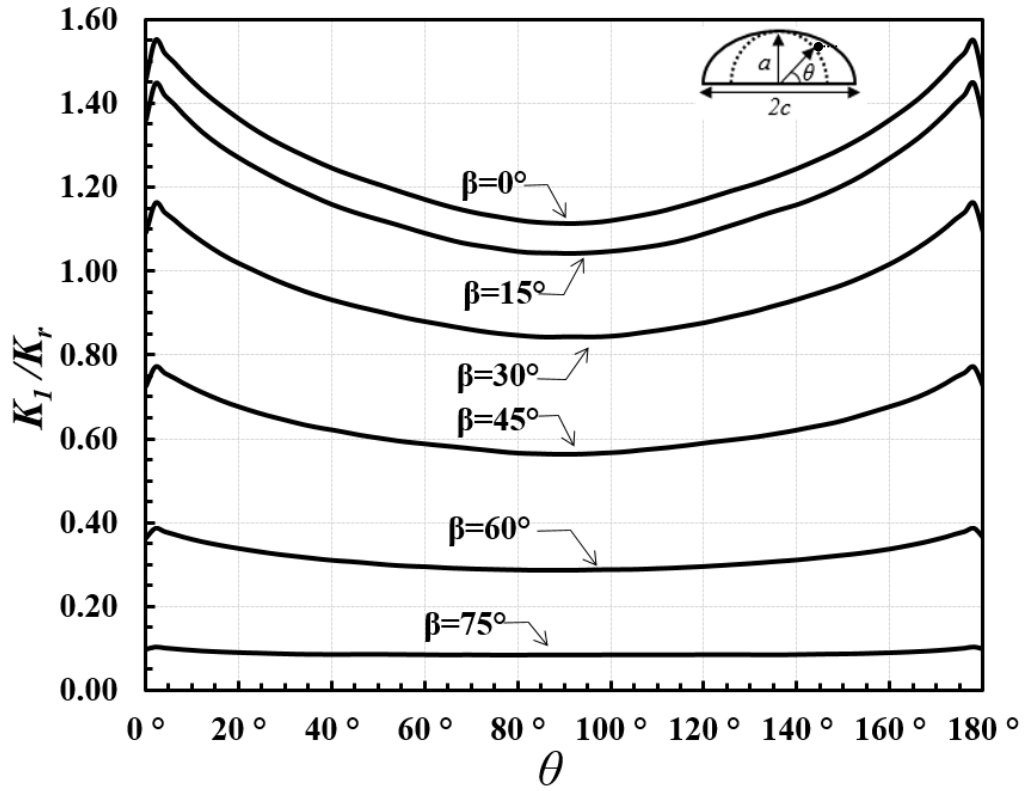
Şekil 3.45.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



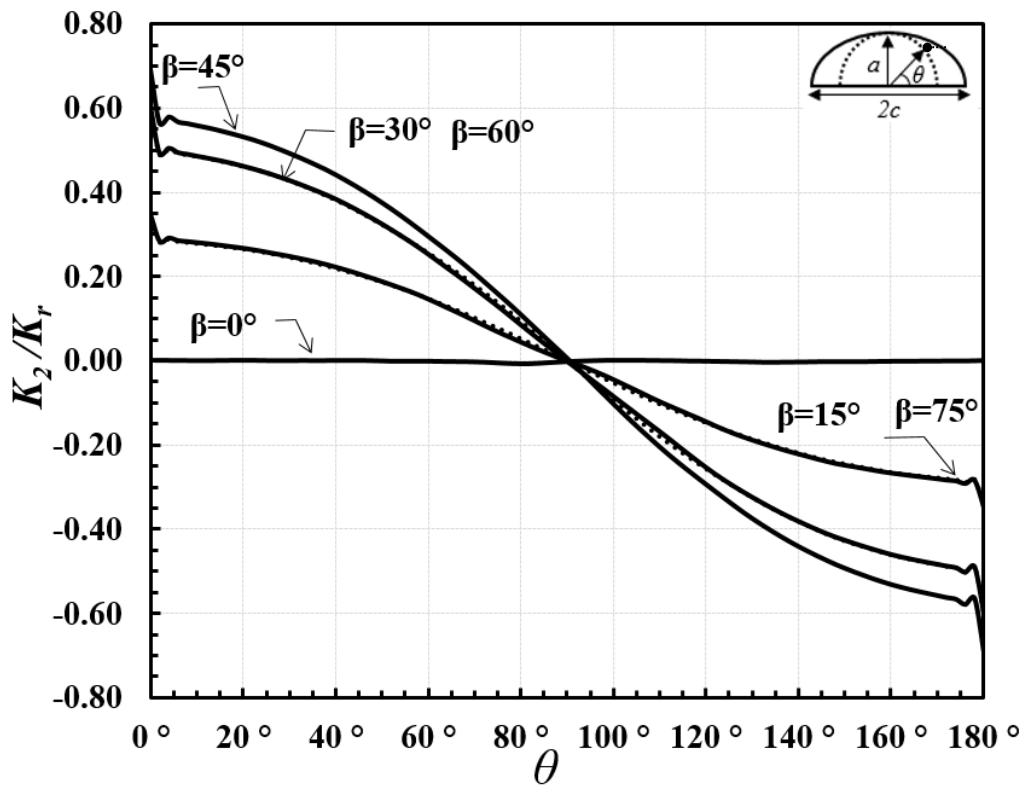
Şekil 3.46.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



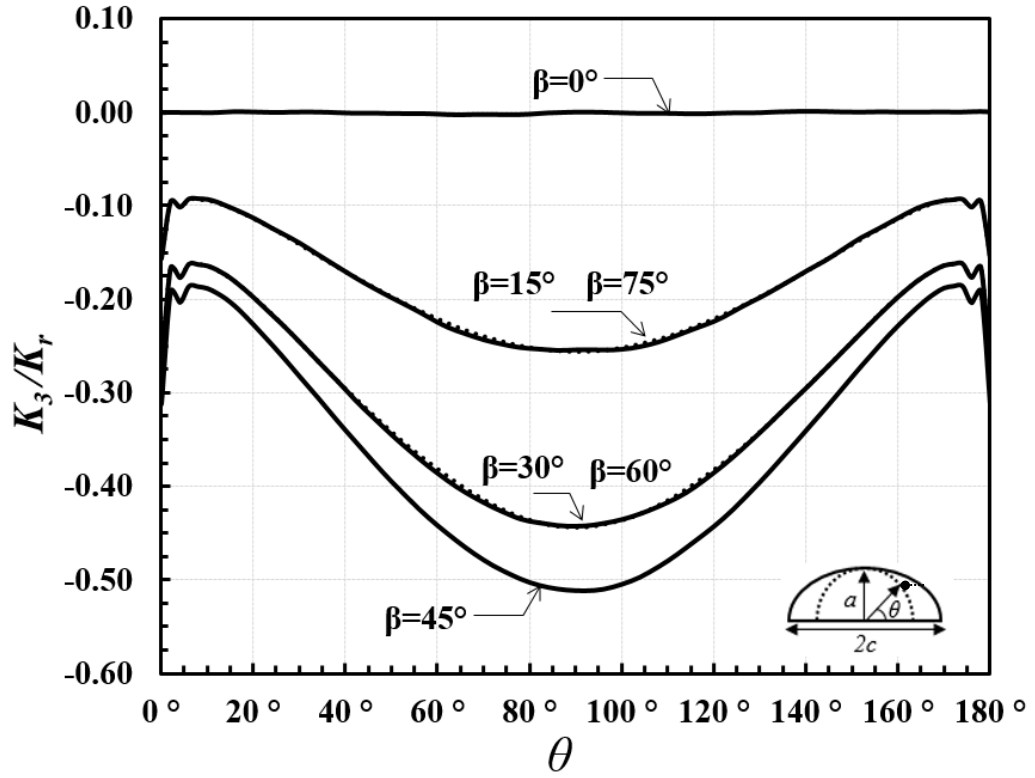
Şekil 3.47.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



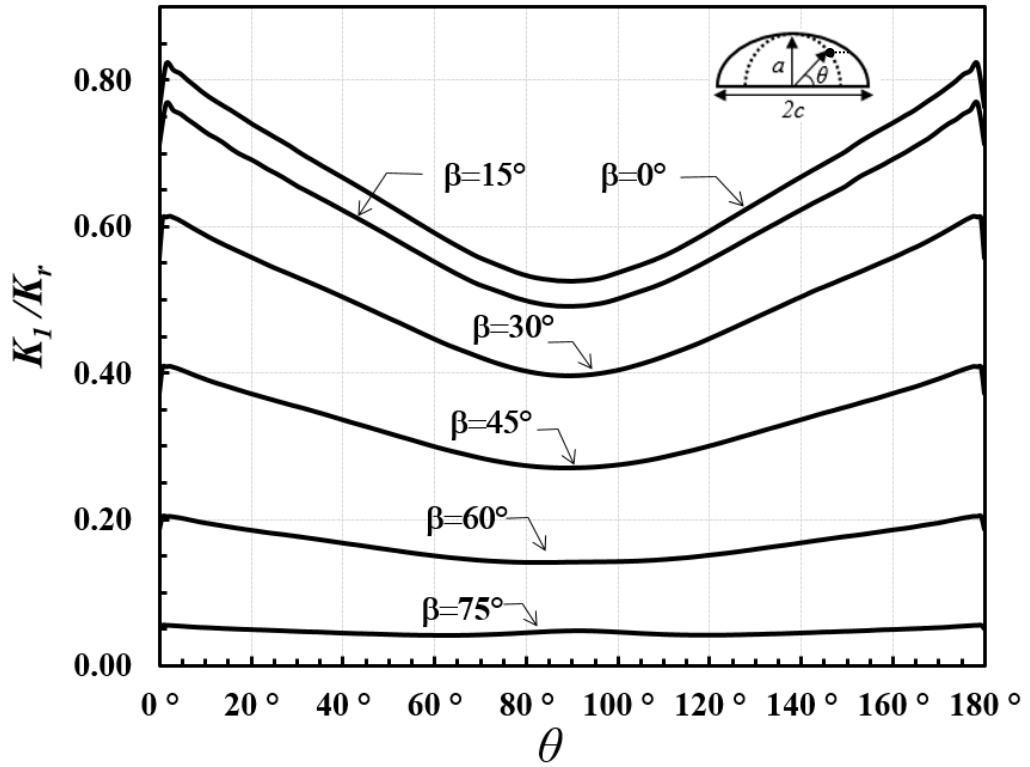
Şekil 3.48.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



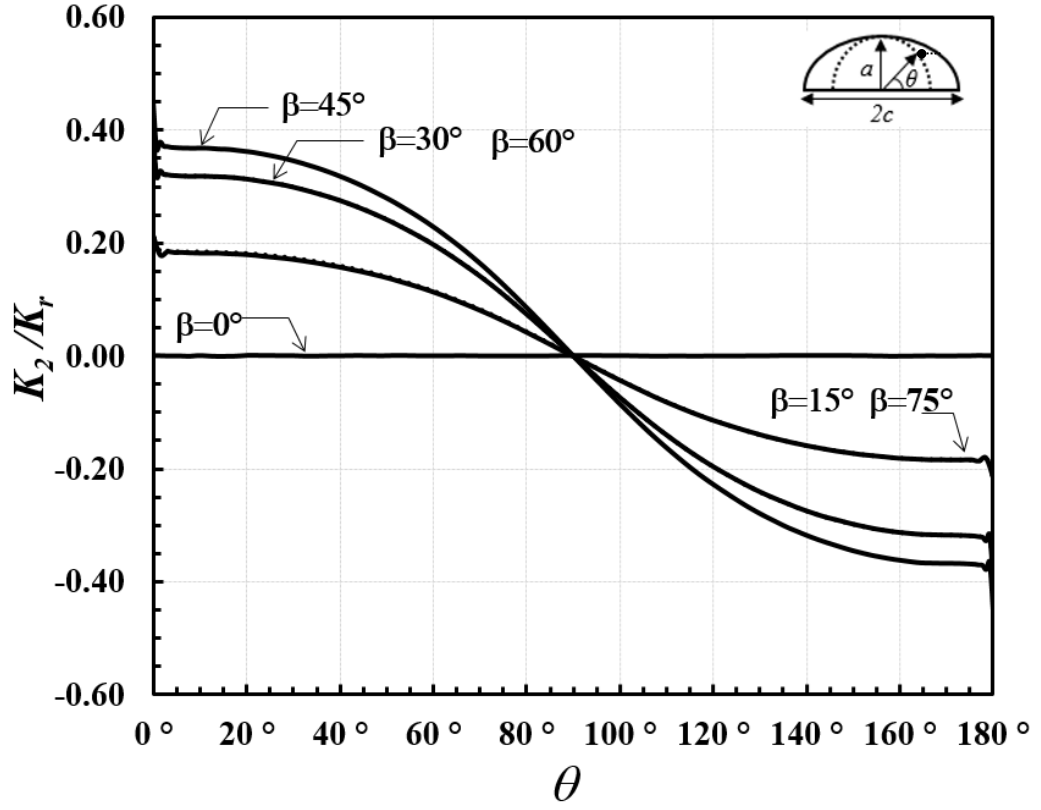
Şekil 3.49.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



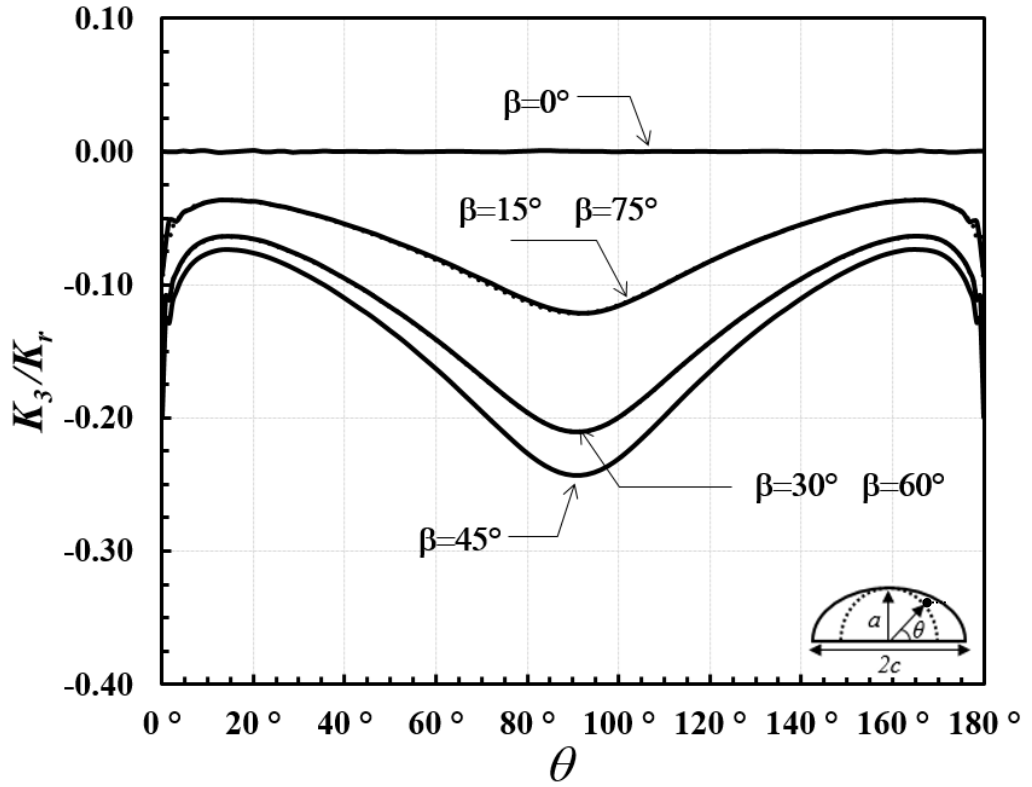
Şekil 3.50.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



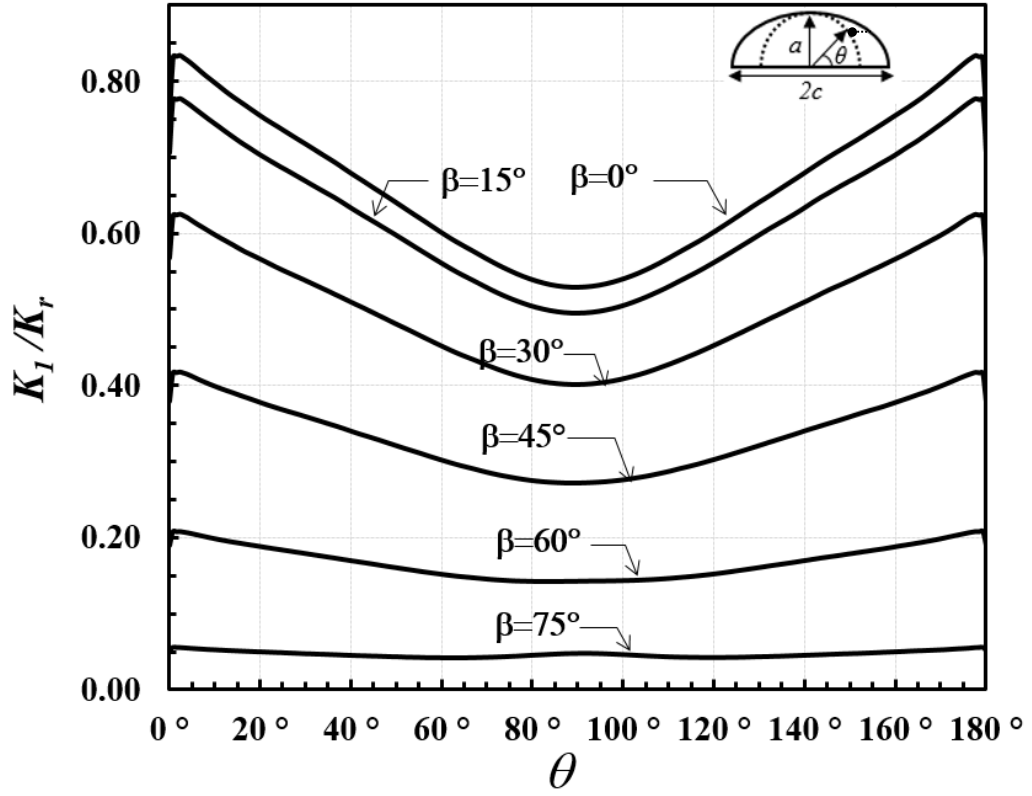
Şekil 3.51.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



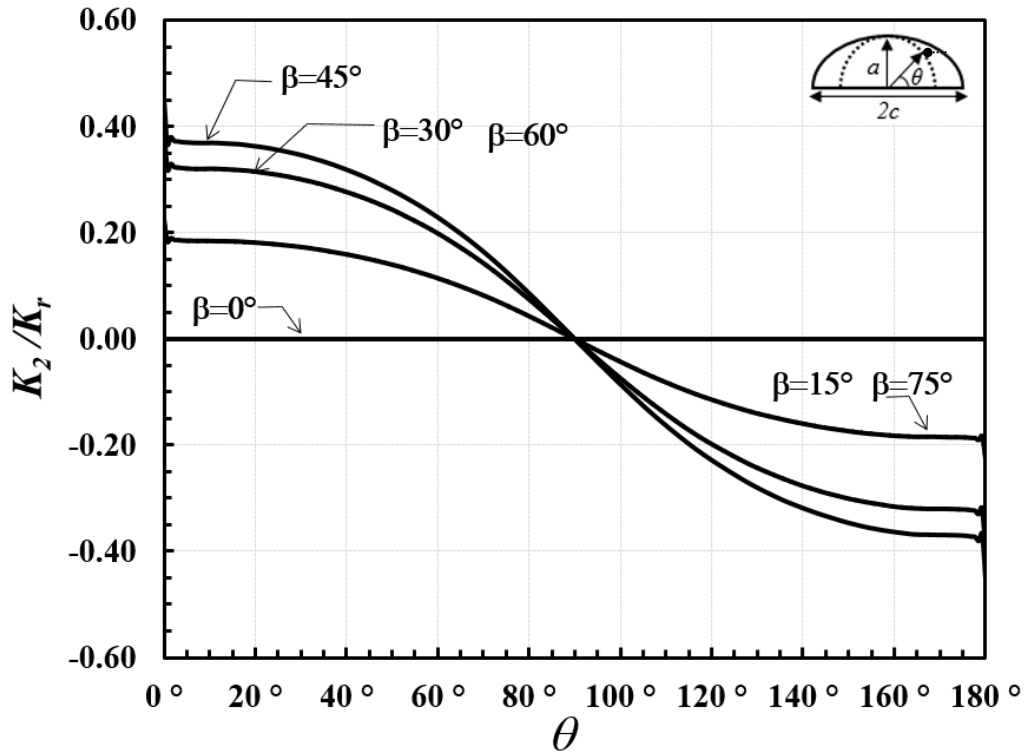
Şekil 3.52.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



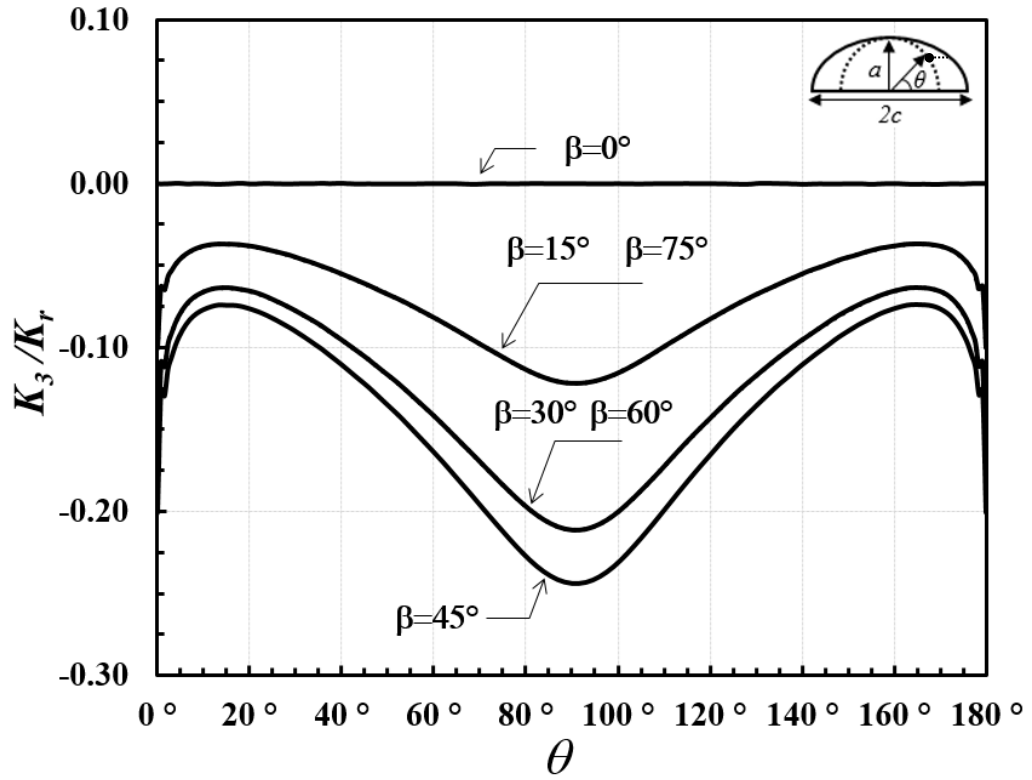
Şekil 3.53.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



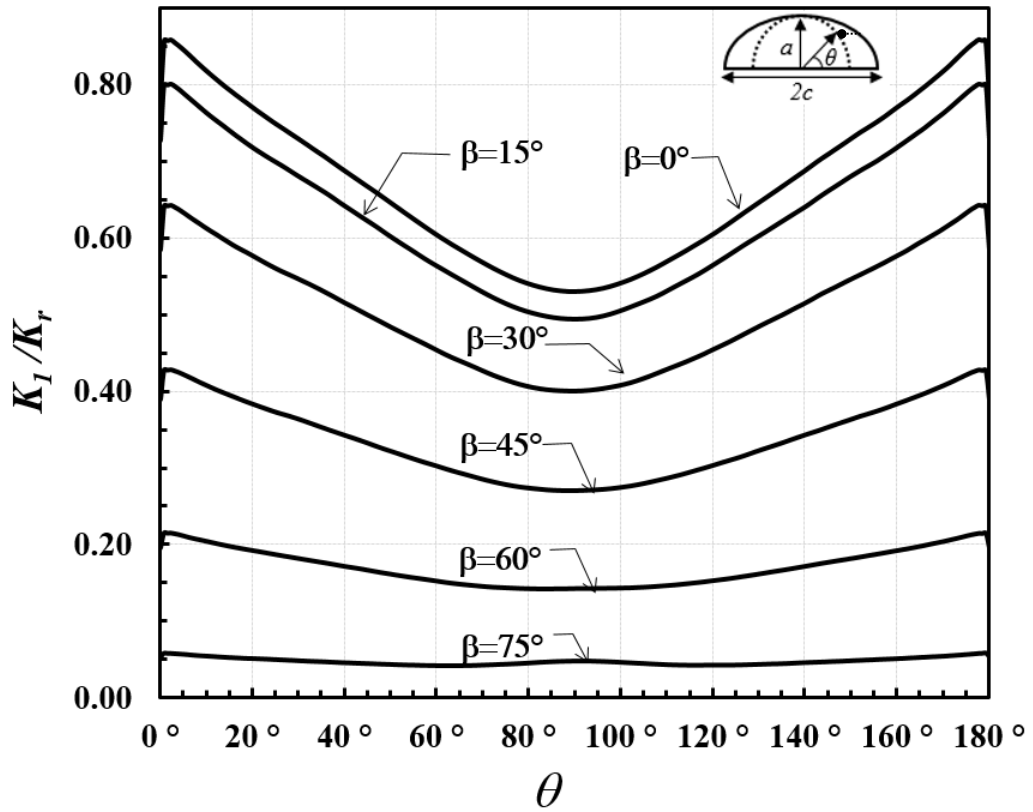
Şekil 3.54.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



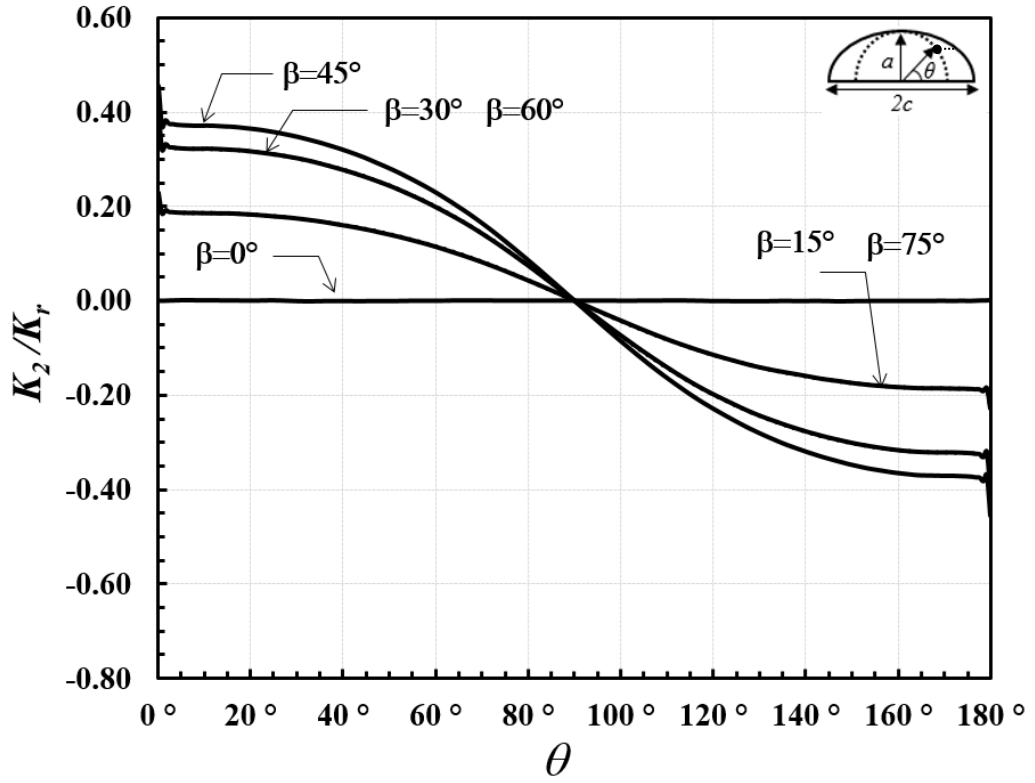
Şekil 3.55.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



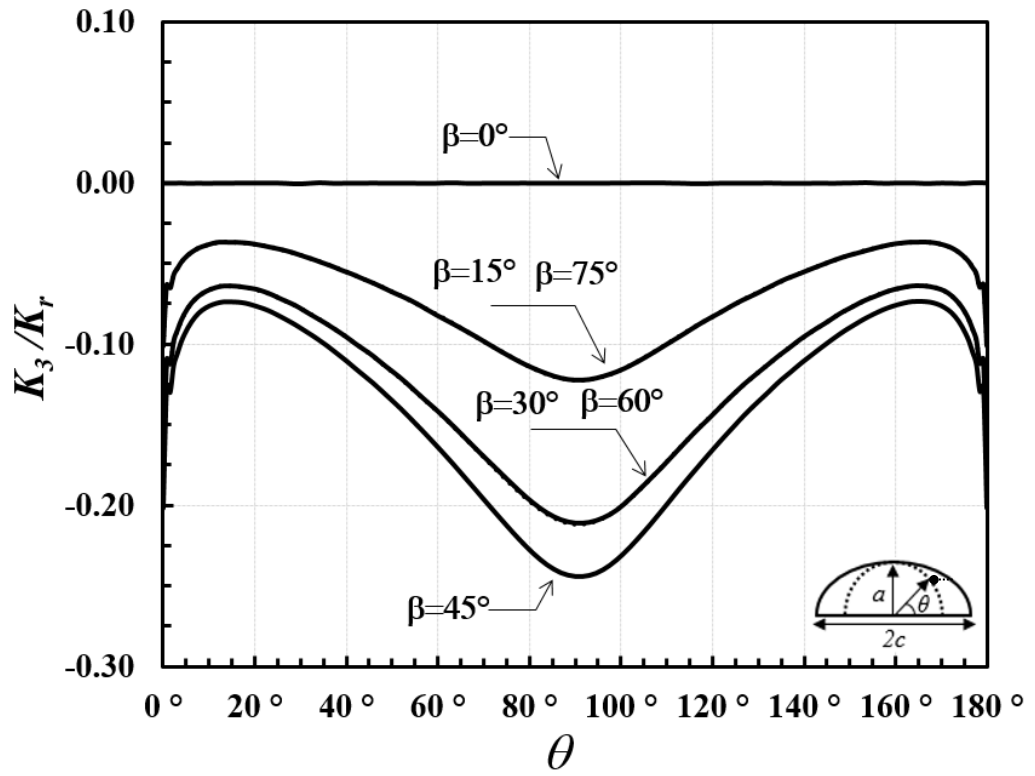
Şekil 3.56.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.57.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

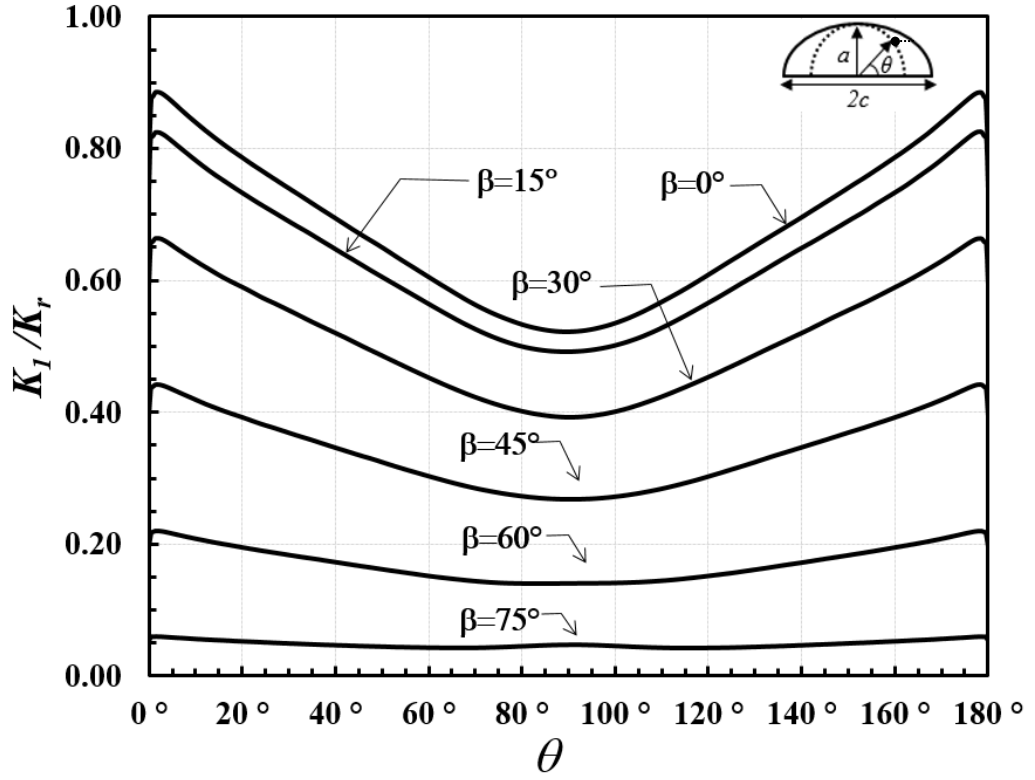


Şekil 3.58.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

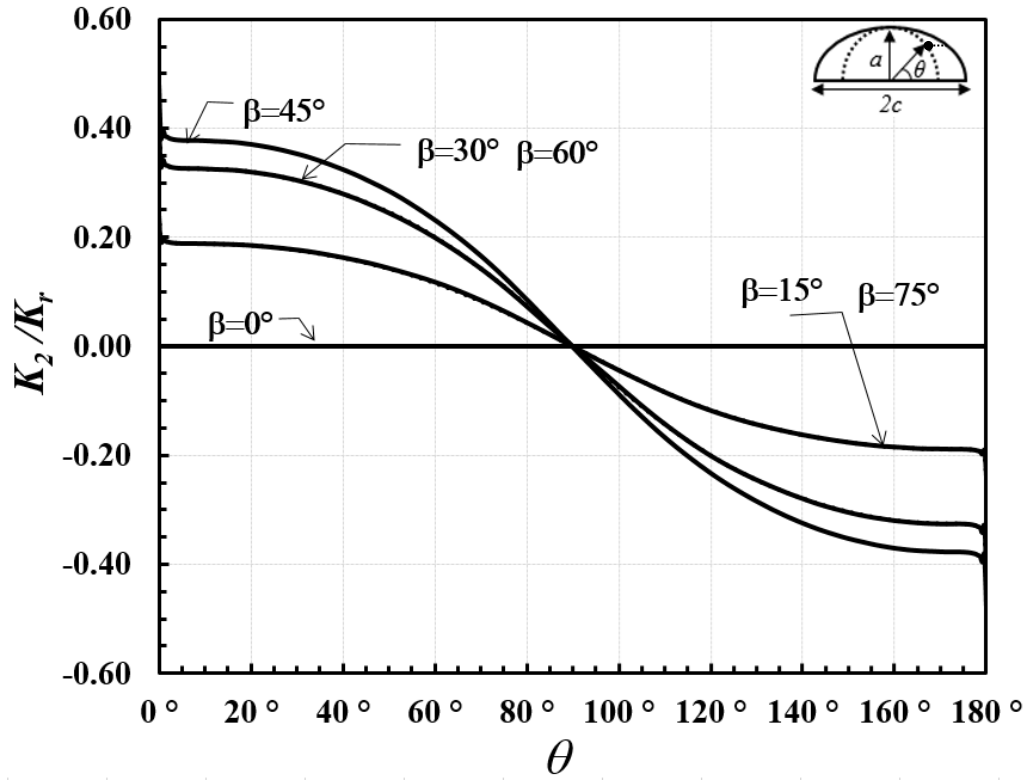


Şekil 3.59.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

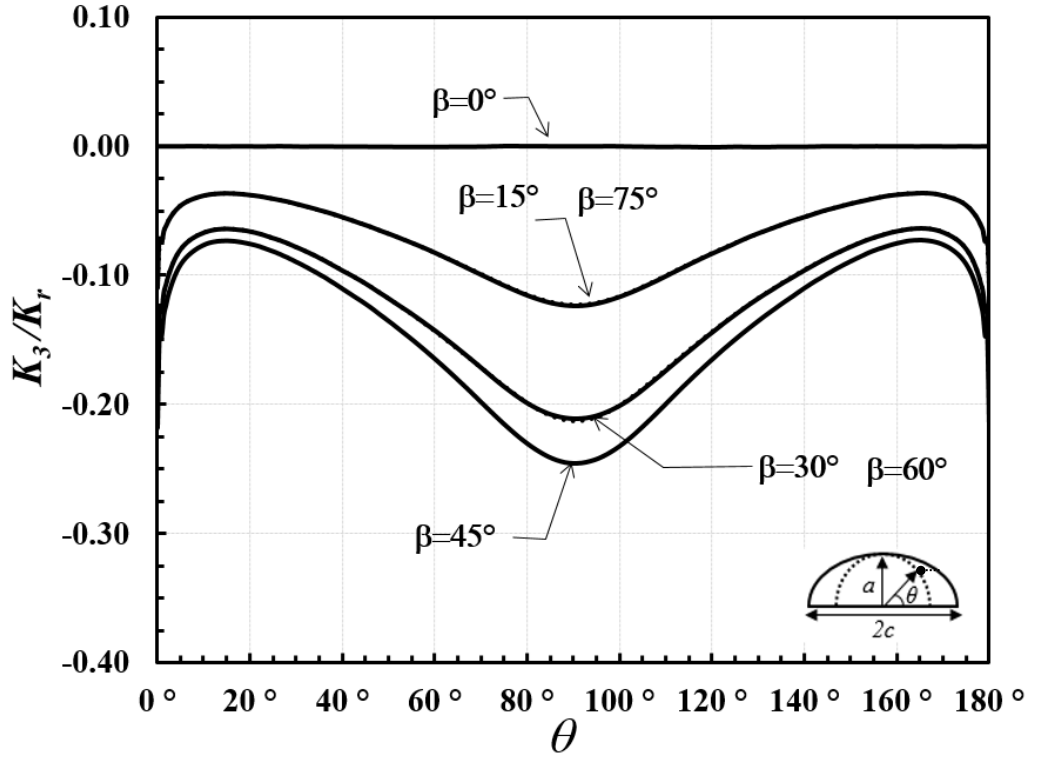




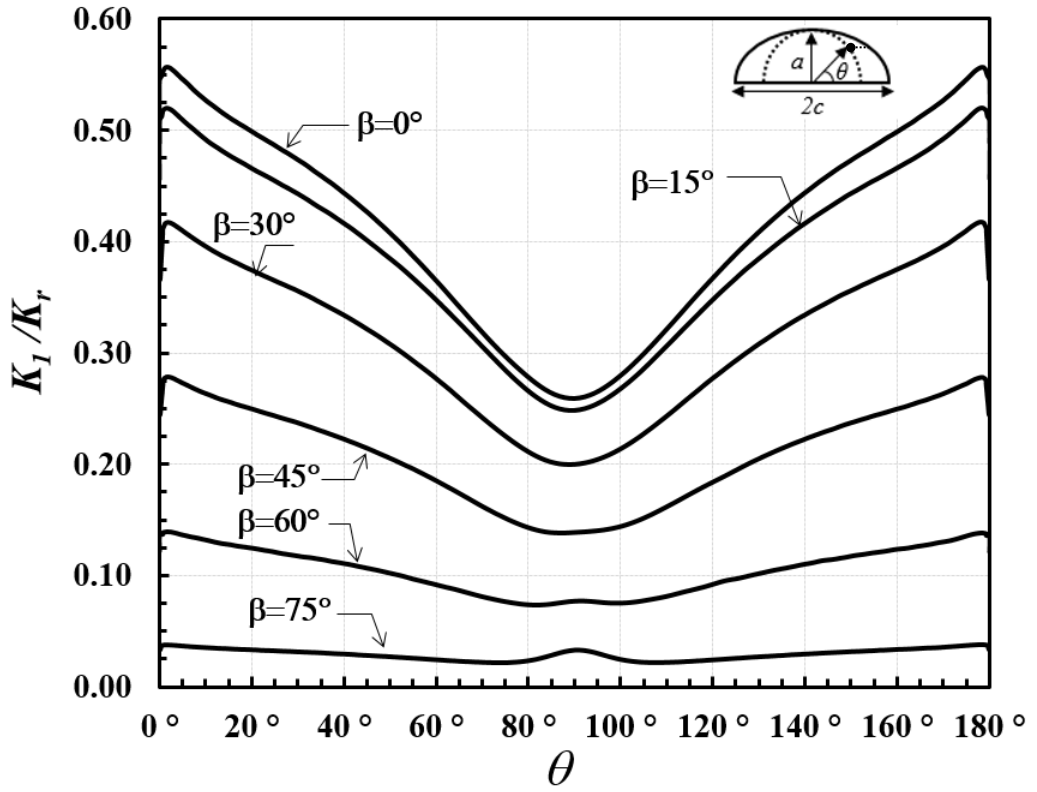
Şekil 3.60.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



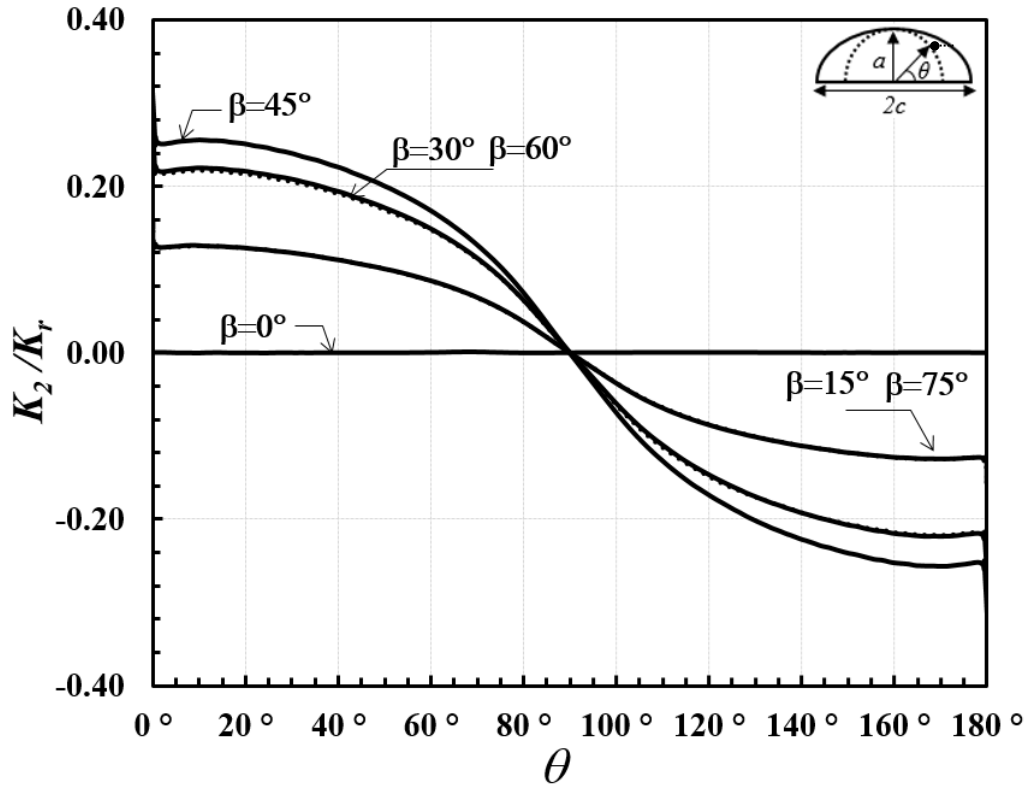
Şekil 3.61.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



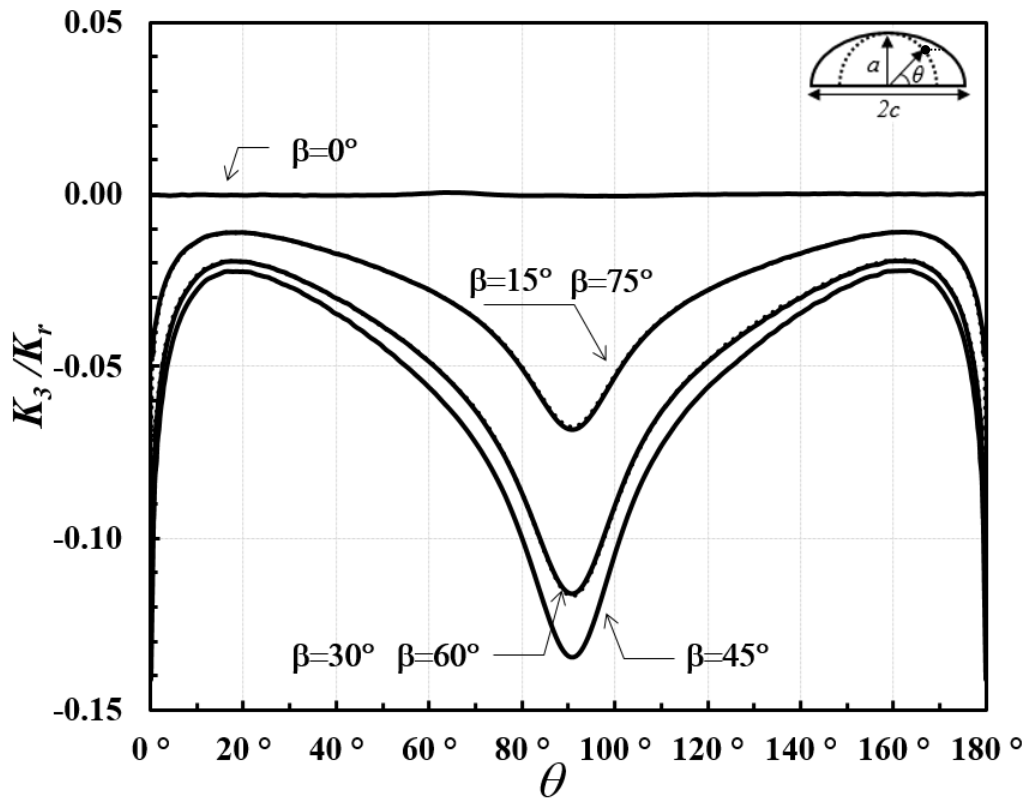
Şekil 3.62.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



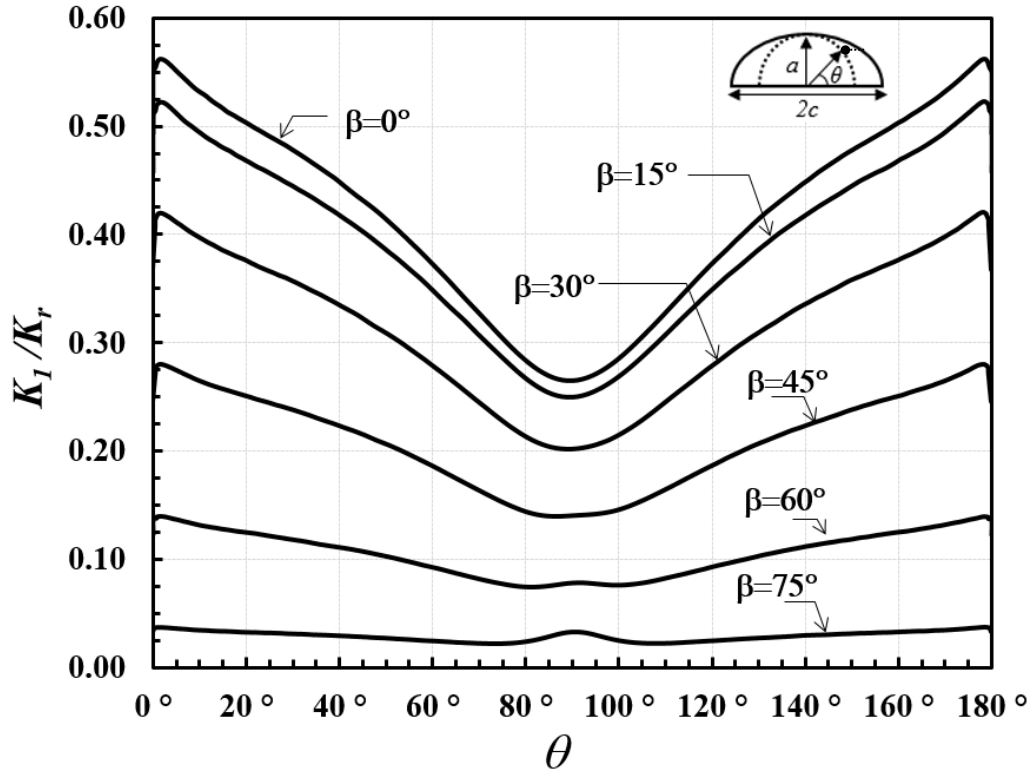
Şekil 3.63.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



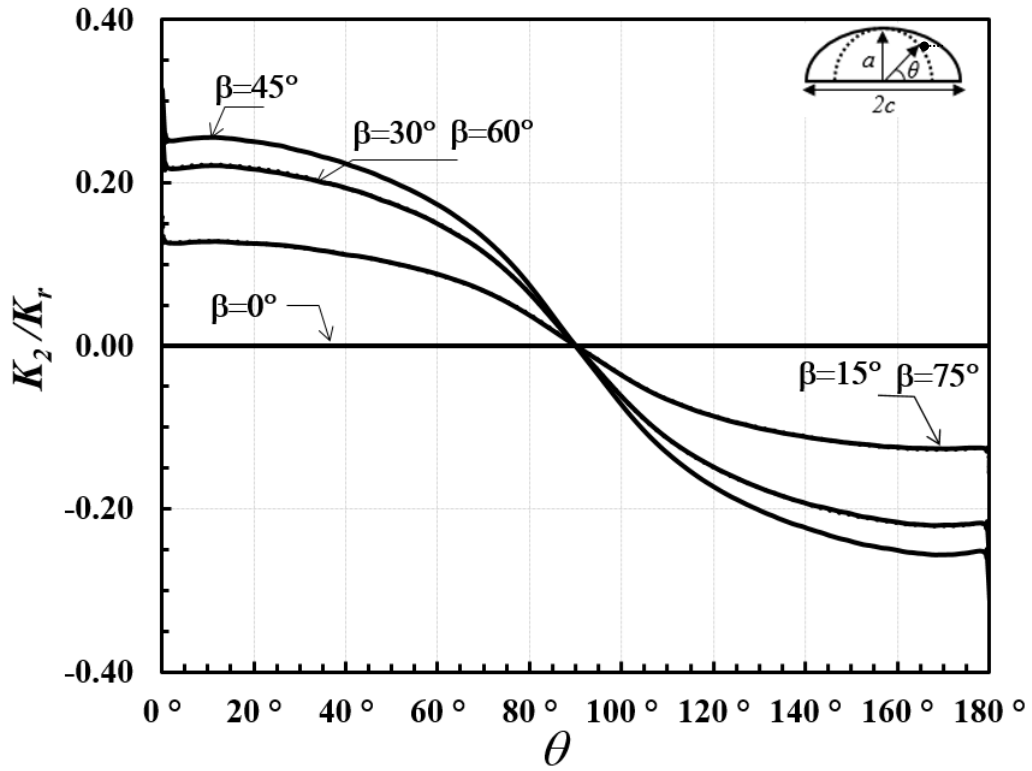
Şekil 3.64.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



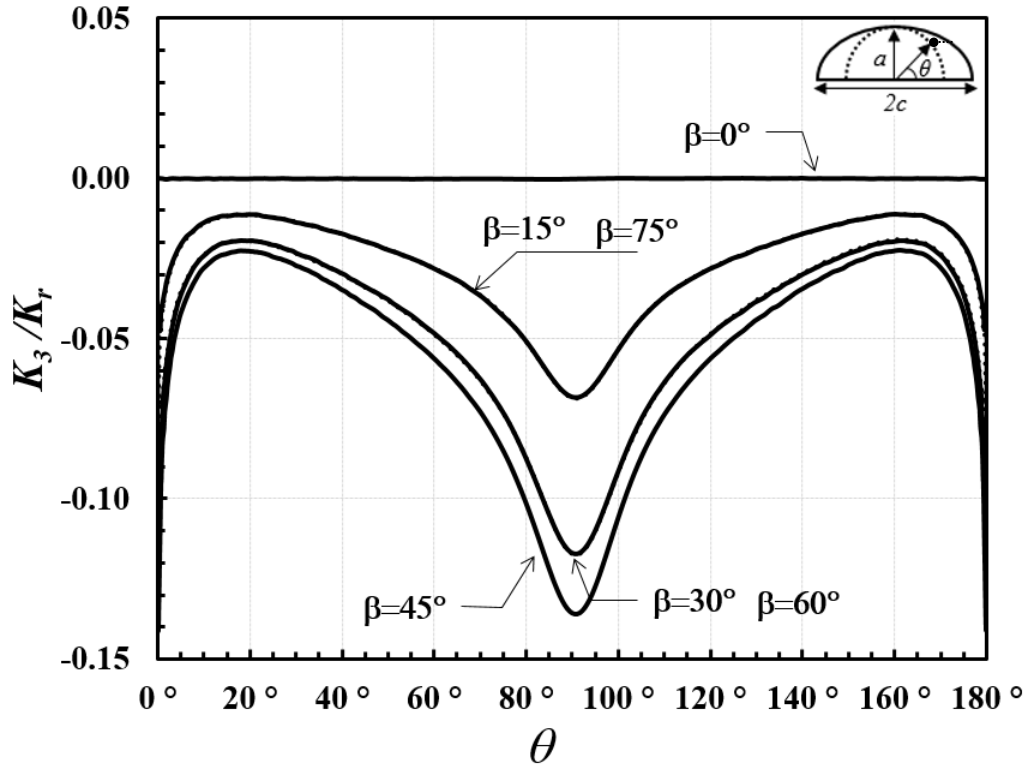
Şekil 3.65.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



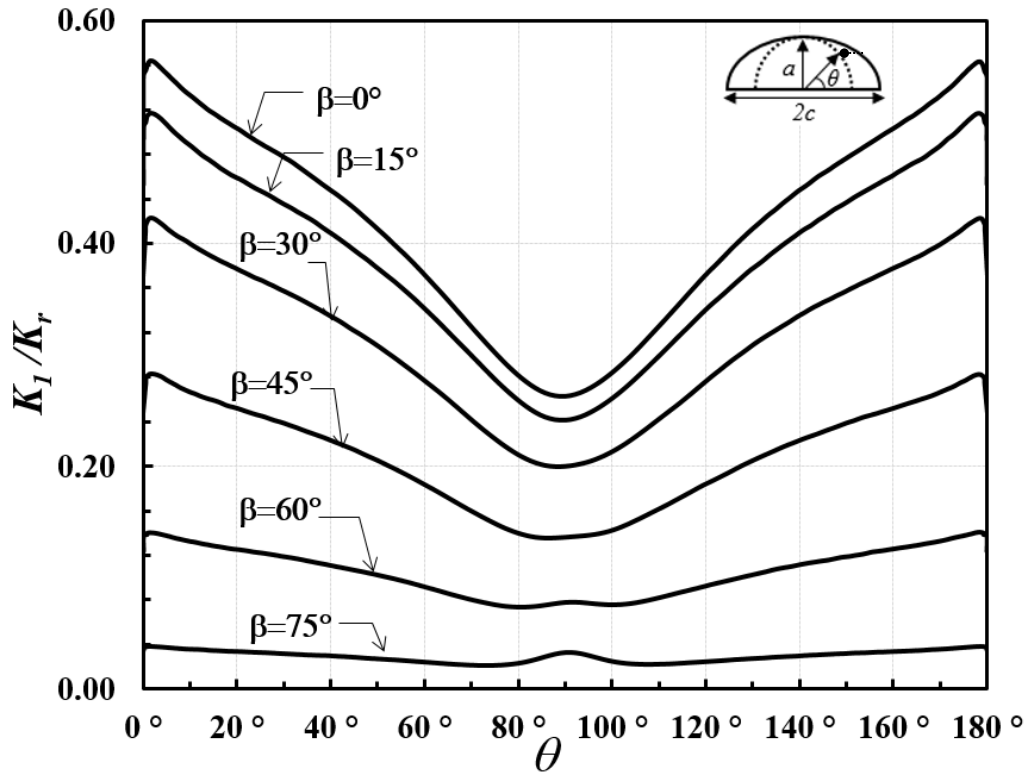
Şekil 3.66.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



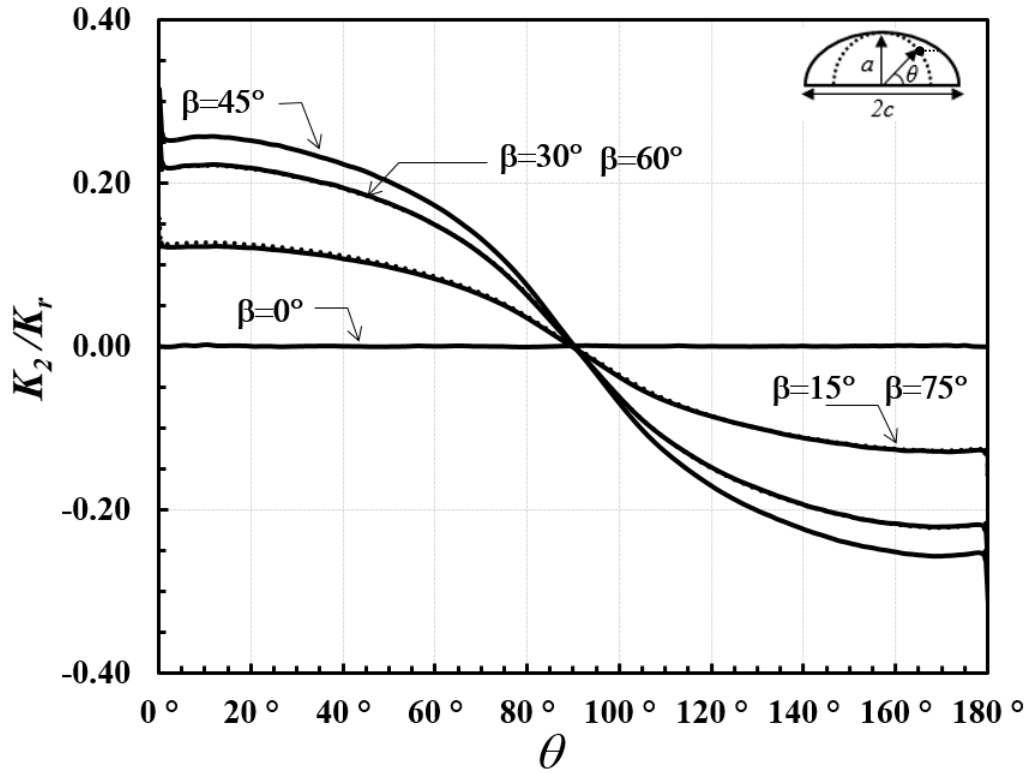
Şekil 3.67.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



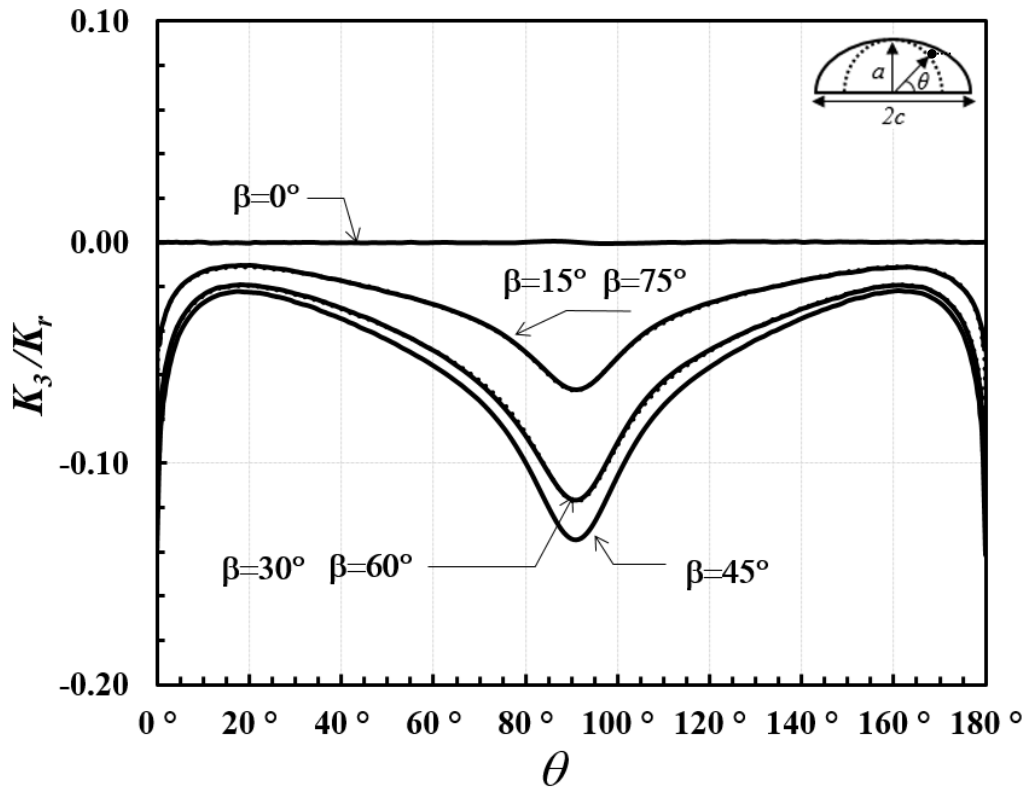
Şekil 3.68.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



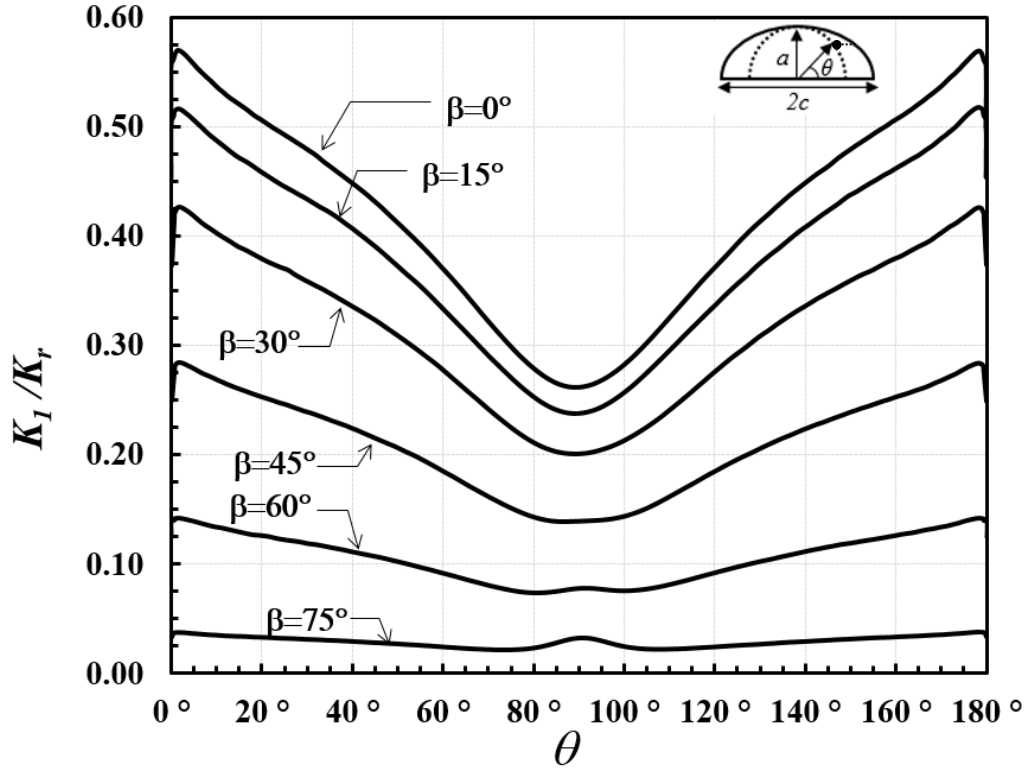
Şekil 3.69.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



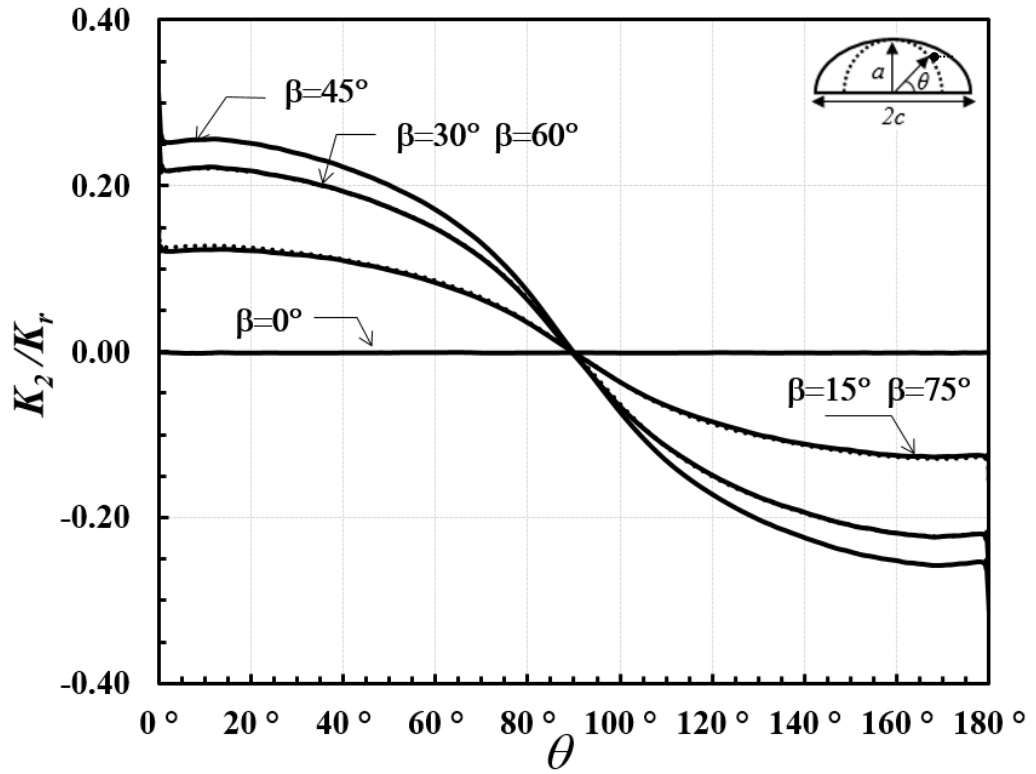
Şekil 3.70.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



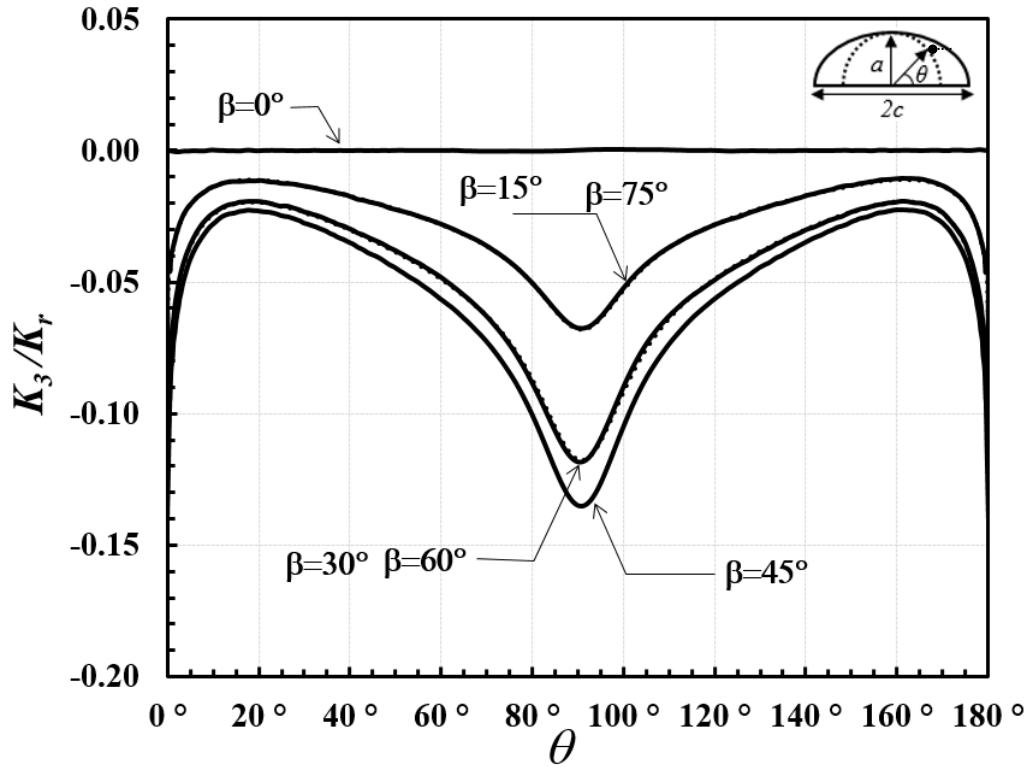
Şekil 3.71.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.72.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.73.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



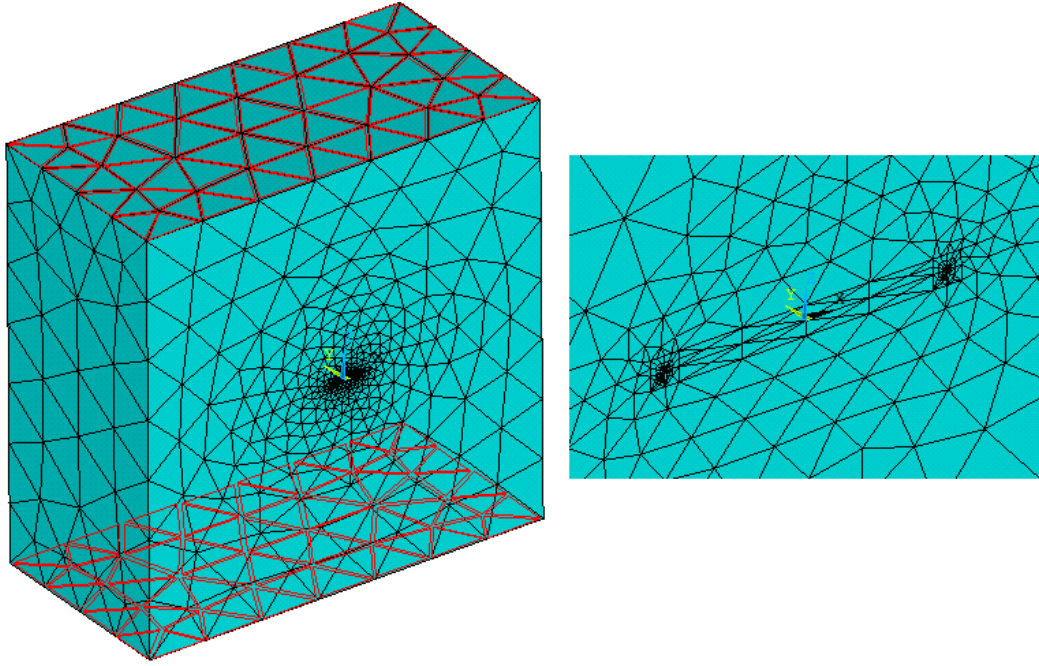
Şekil 3.74.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

### 3.3. Eksenel Gerilmeye Maruz Levhada Bulunan Dönmüş Çatlak Analizleri

Bu kısımda analiz grubu olan eksenel gerilmeye maruz bir levhadaki dönmüş çatlak için GŞF değerleri verilmektedir. Analizlerde kullanılan  $a/c$  (çatlak derinliği/çatlak uzunluğu) değerleri 0.25, 0.5, 1, 2, 4;  $a/t$  (çatlak derinliği/et kalınlığı) oranları sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8; çatlağın yatay eksenle yaptığı açı olan  $\alpha$ , 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak ele alınmıştır.  $\theta$  açısı ise çatlak önü (crack front) konumsal açısıdır. Konumsal açı da 0'dan 180 dereceye kadar değişmektedir. Yapılacak analizlerde çatlak derinliği ( $a$ ) 1 birim olarak alınmaktadır. Levhanın genişliği ve yüksekliği eliptik çatlağın çatlak uzunluğu veya derinliğinden hangisi daha büyük ise bu boyutun on katı olarak belirlenmiştir. Böylece modeller ANSYS ortamında oluşturulmakta ve ağ bölüntülenmesi yapılmaktadır. Sonra sınır şartları tanımlanarak levhanın üst ve alt kısmına eksenel gerilme tanımlanmaktadır. Levhanın rijit cisim hareketini engellemek içinde levha farklı noktalardan sabitlenir. Alt tabanın köşesinde bir noktadan üç eksenle, diğer bir noktadan iki eksenle ve başka bir noktadan tek eksenle sabitlenmiştir. Daha sonra, modelden FCPAS verileri alınarak, FCPAS ile kırılma



analizi yapılır. FRAC3D kullanılarak karışık mod GŞF'leri hesaplandıktan sonra uygulanan gerilme ve  $a/c$  oranına bağlı olan bir referans  $Kr$  değeri ile Denklem 3.2-3.4'teki denklemler kullanılarak normalize edilmektedir. Şekil 3.75.'te aksenal gerilmeye maruz ve dönmüş çatlak içeren levhanın sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir. Şekil 3.76.-3.135. arasındaki grafikleri daya iyi anlamak için, normalize edilmiş mod-II ve mod-III GŞF değerleri,  $\alpha=60$  ve  $75$  derece durumları için kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.



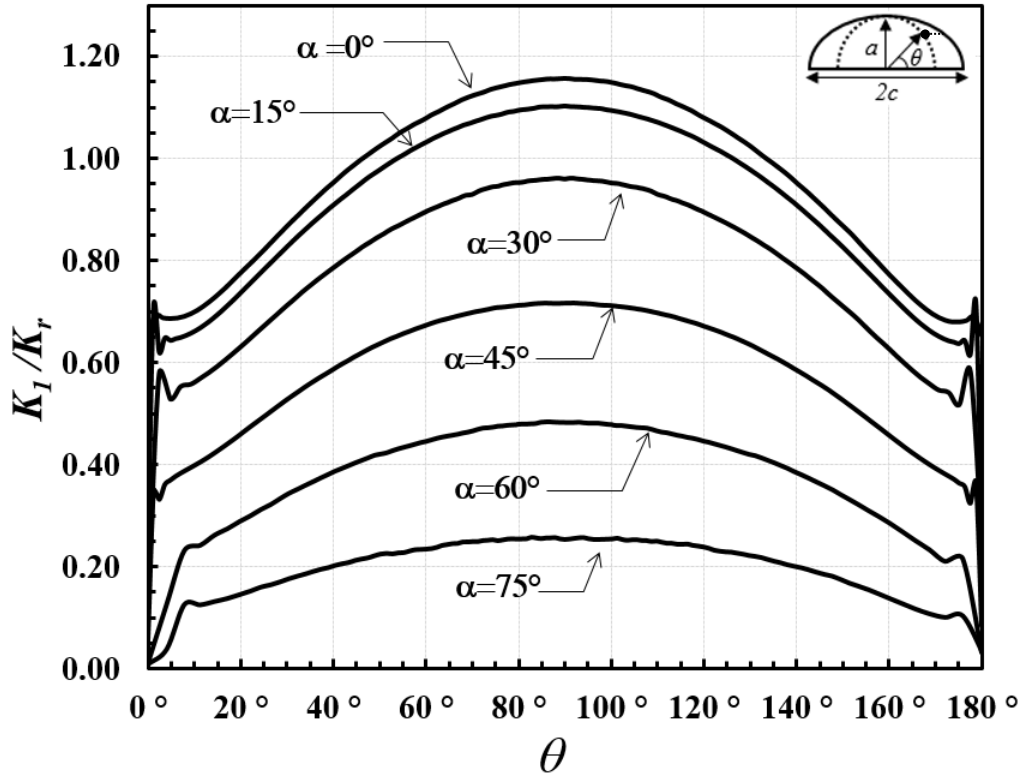
Şekil 3.75.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$ ,  $\alpha=15^\circ$  olan dönmüş yüzey çatlakına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

Çatlak derinliği ( $a$ ) sabit kaldığında levhanın et kalınlığı azaldıkça normalize edilmiş  $K_1$  değerleri artmaktadır. Bir başka deyişle, dönmüş eliptik yüzey çatlakı, sabit  $a/c$  değerinde iken  $a/t$  değerinin artması GŞF'lerin artmasına sebep olmaktadır. Çatlakın yatay eksenle yaptığı açının  $0$  derece olması sadece mod-I problemidir ve diğer açılar olan  $\alpha$   $0$ ,  $15$ ,  $30$ ,  $45$ ,  $60$ ,  $75$  derece durumları ile çatlak ucu bölgesinde karışık mod gerilme durumu ortaya çıkmaktadır. Böylece kayma modu ve yırtılma modu aktif edilmiştir.

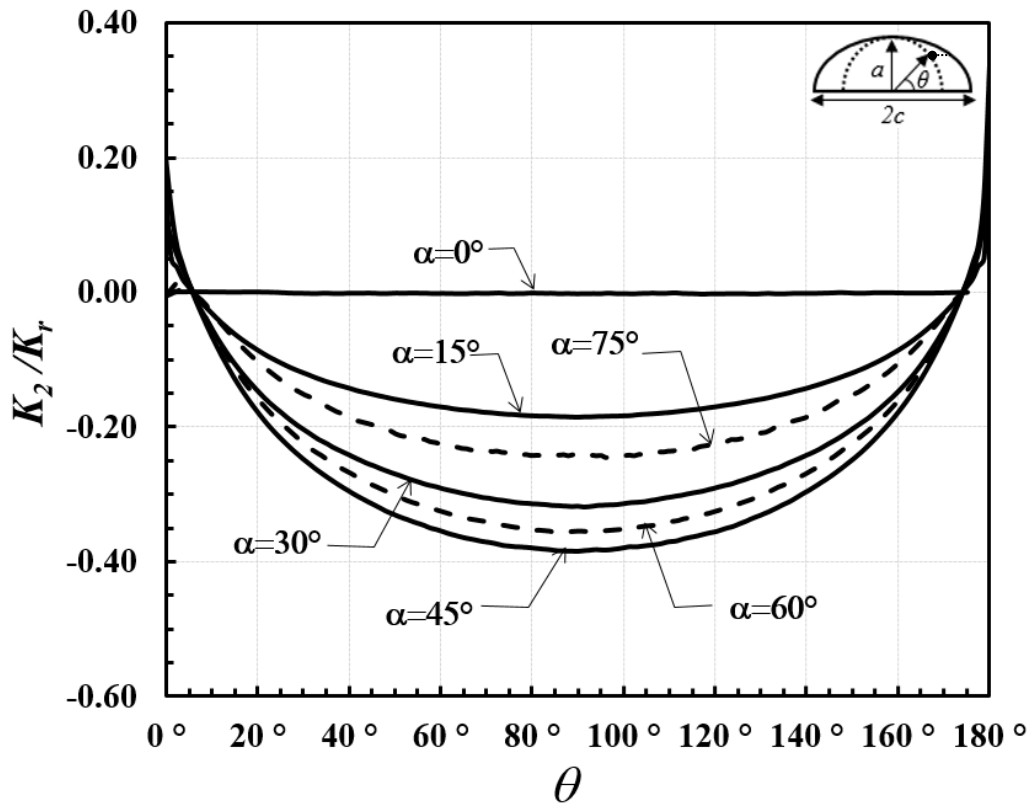
Mod-I (açılma modu) sonuçlarında sabit  $a/c$  değerlerinde, levhanın et kalınlığı azaldıkça oluşan GŞF değerleri arttığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. 0 derece saf açılma modu olduğundan GŞF değeri en yüksektir. 0 derecede kayma ve yırtılma modlarının olmadığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. Dönme açısı  $\alpha$  arttıkça, çatlak önü boyunca mod-I GŞF değerlerinin azaldığı Şekil 3.76.'de gözükmektedir. Normalize edilmiş  $K_1$  değerlerinde,  $\theta=0^\circ-90^\circ$  ile  $90^\circ-180^\circ$  arasında simetrik bir dağılım olduğu ( $a/c = 0.25$  hariç) görülmektedir.

Kayma modu için en yüksek GŞF değerlerinin çatlağın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede (maksimum kayma gerilmesinin olduğu düzlem) negatif bölgede elde edildiği görülmektedir. Sıfır derecede normalize edilmiş  $K_2$  değeri ise 0'dır (Şekil 3.77.). Normalize edilmiş  $K_2$  değerlerinde,  $\theta=0^\circ-90^\circ$  ile  $90^\circ-180^\circ$  arasında simetrik bir dağılım olduğu ( $a/c = 4$  hariç) görülmektedir.

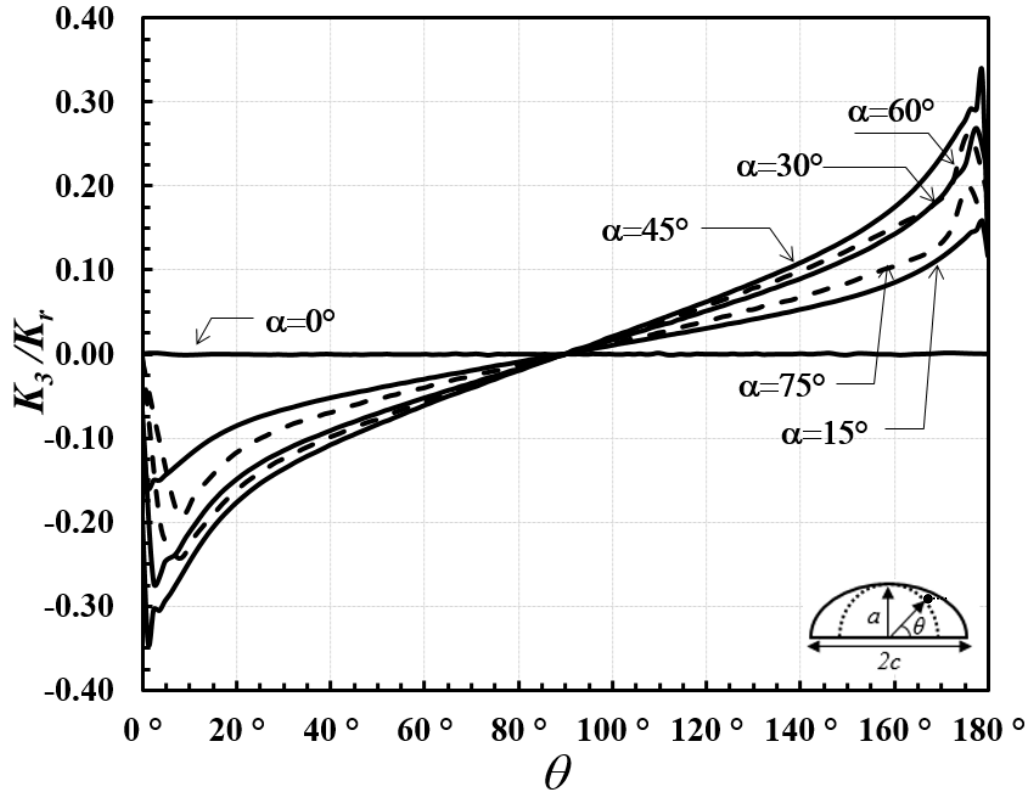
Yırtılma modunda (mod-III), kayma modunda olduğu gibi en yüksek GŞF değerlerinin çatlağın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede elde edildiği görülmektedir. 0 derecede normalize edilmiş  $K_3$  değerlerinin 0 olduğu Şekil 3.78.'de gözükmektedir. Elde edilen tüm kombinasyonlara göre,  $a/c$  oranı 0.25, 0.5, 1, 2, 4 için;  $a/t$  oranı da sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 durumları için karışık mod GŞF'lerinin dağılımları Şekil 3.76.-3.135.'te verilmektedir. Adı geçen grafiklerde açılma, kayma ve yırtılma için yukarıda yapılan yorumlar teyit edilebilir. Çatlağın yüzey kısmında ve yüzeye yakın kısımlarında GŞF değerleri dalgalı şekilde sonuçlar gözükmektedir. Bu ani değişimler serbest yüzey etkisinden dolayı olup, bu çalışmada dar serbest yüzey bölgesi için özel bir analiz yapılmamıştır.



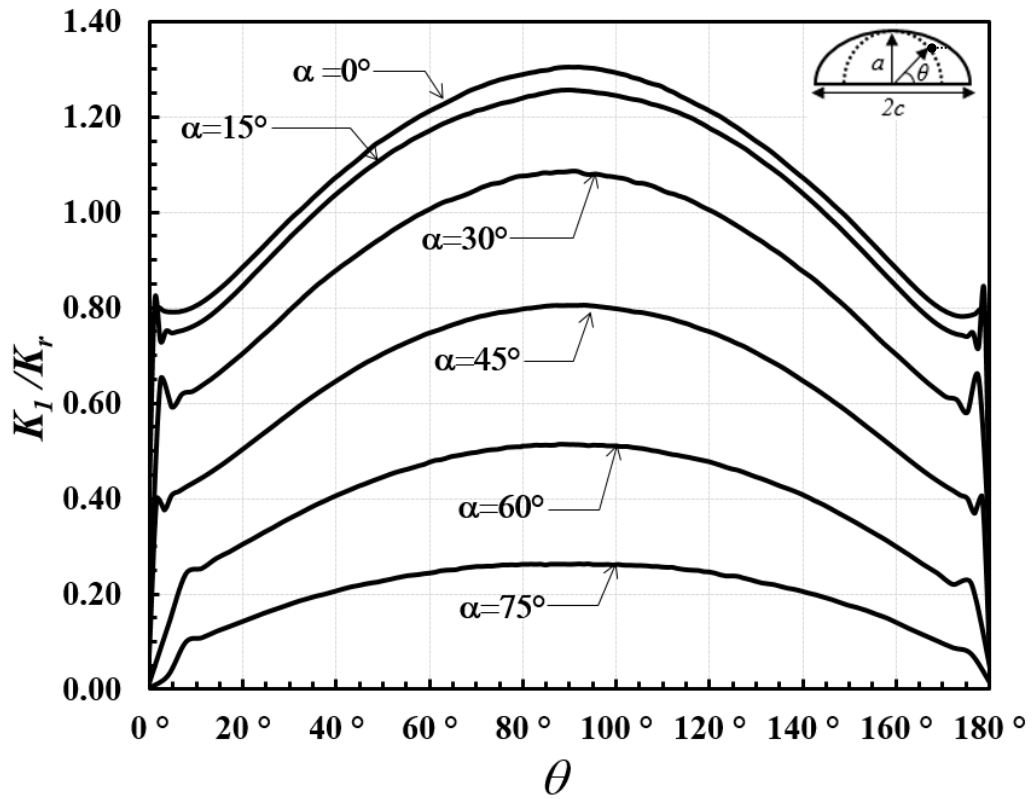
Şekil 3.76.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



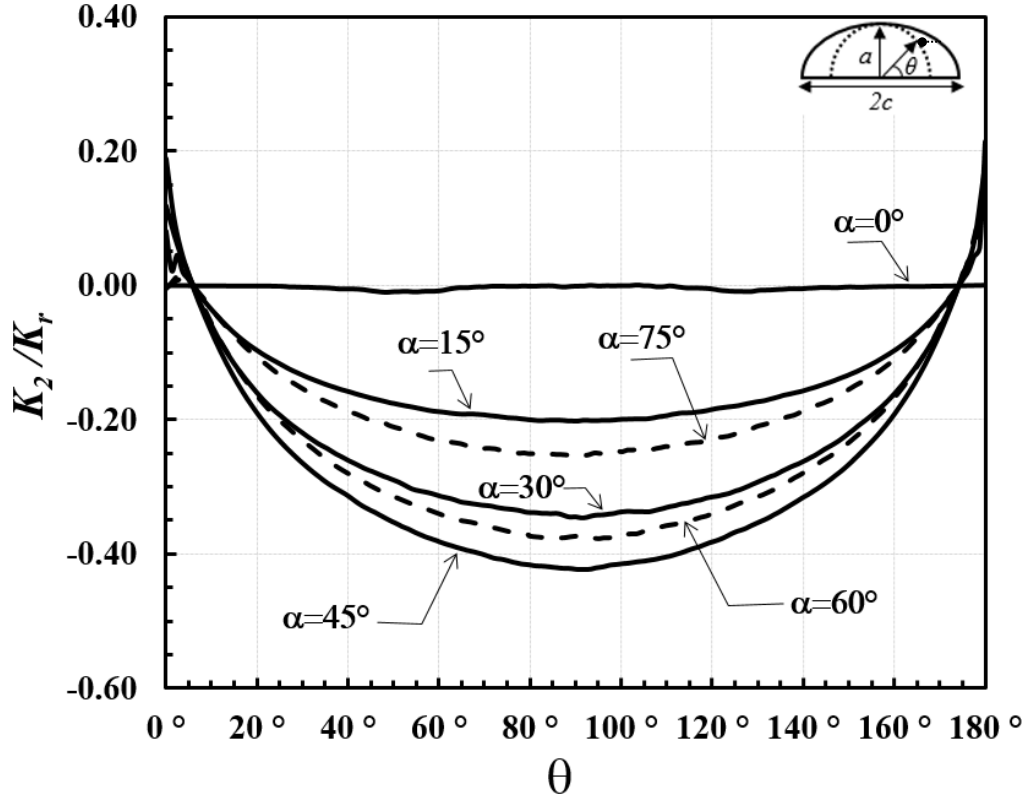
Şekil 3.77.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



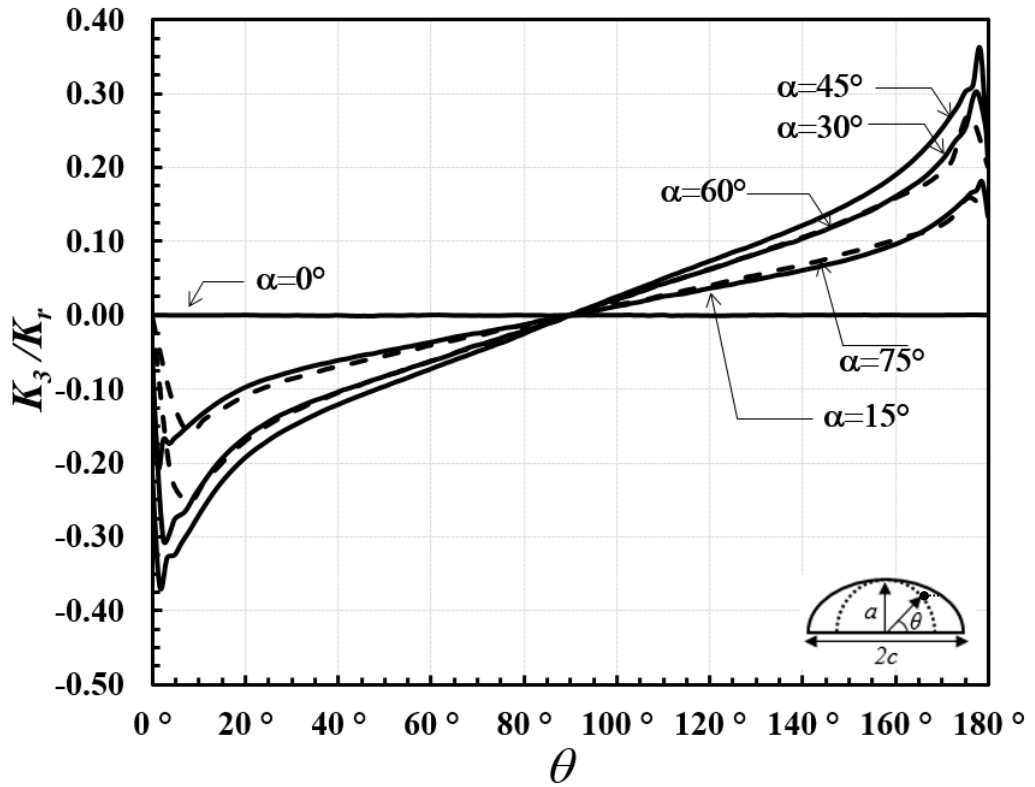
Şekil 3.78.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



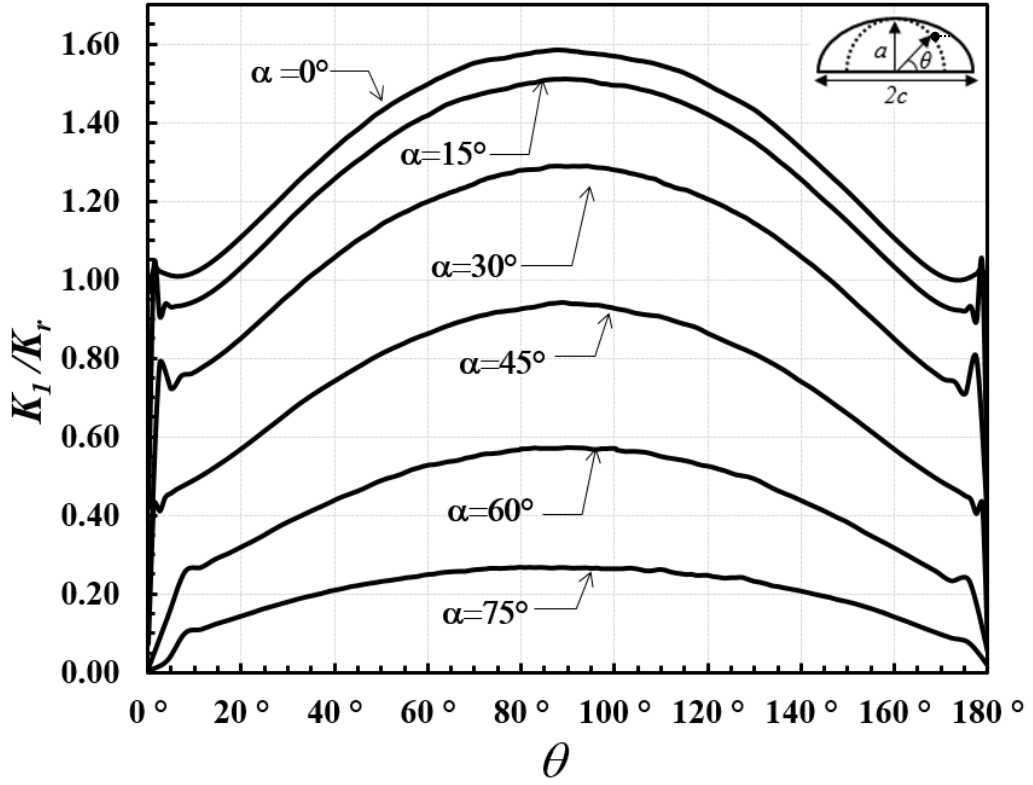
Şekil 3.79.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



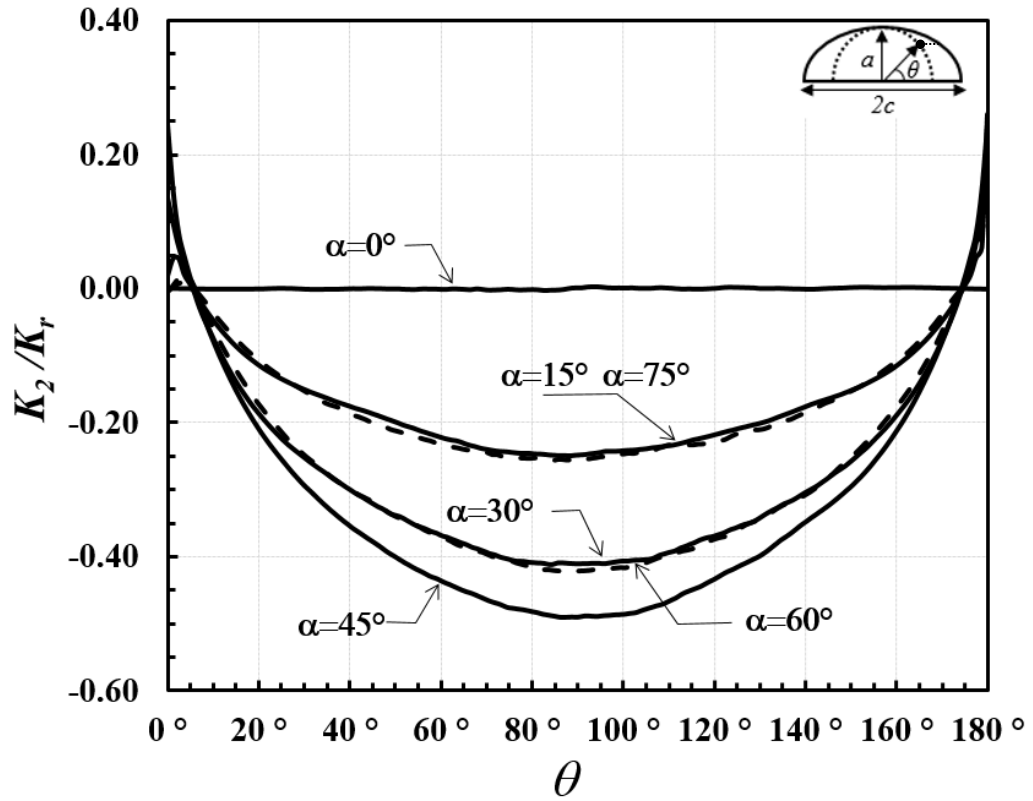
Şekil 3.80.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



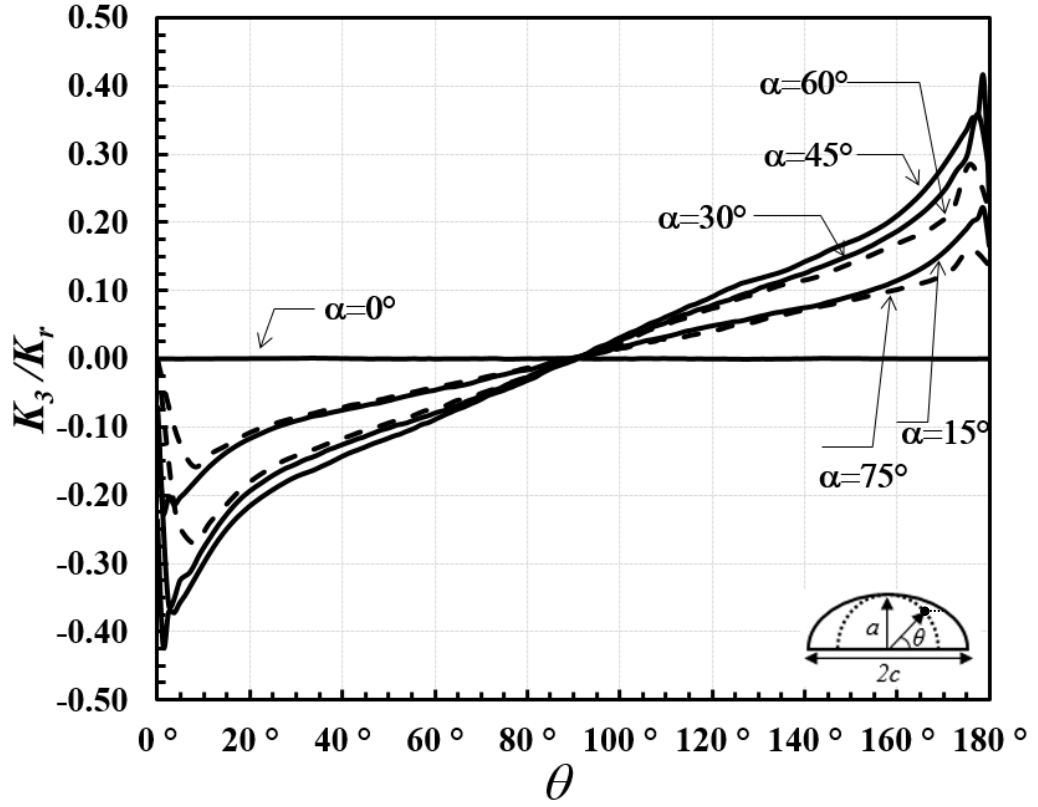
Şekil 3.81.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



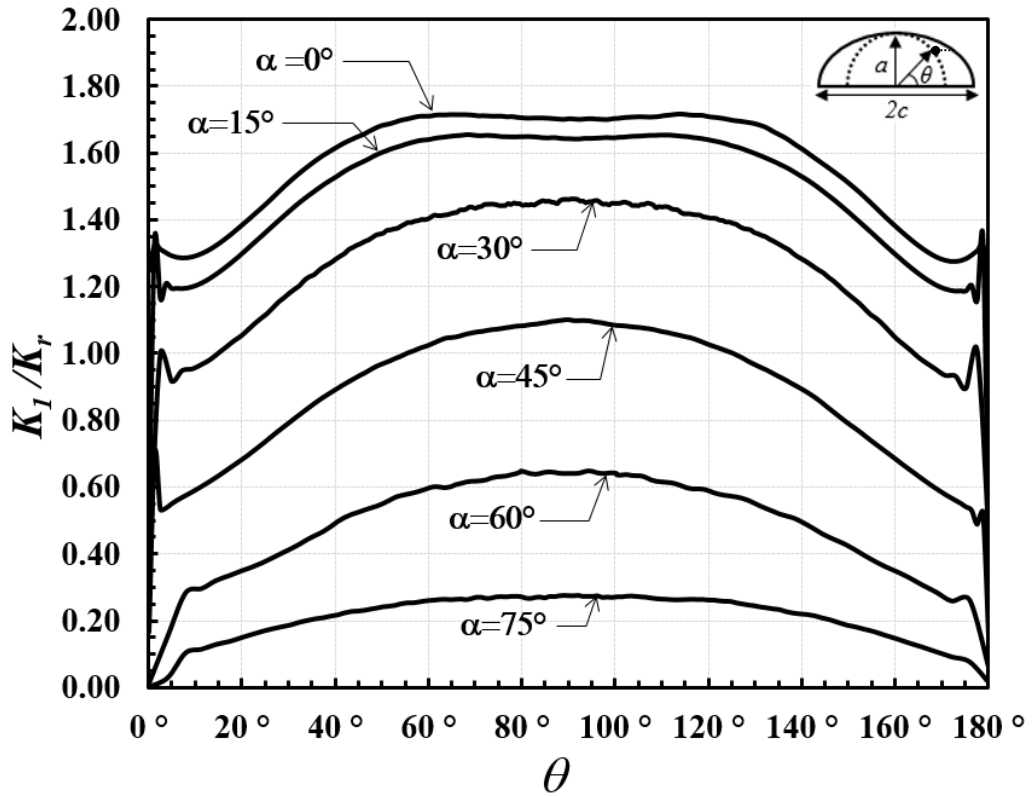
Şekil 3.82.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



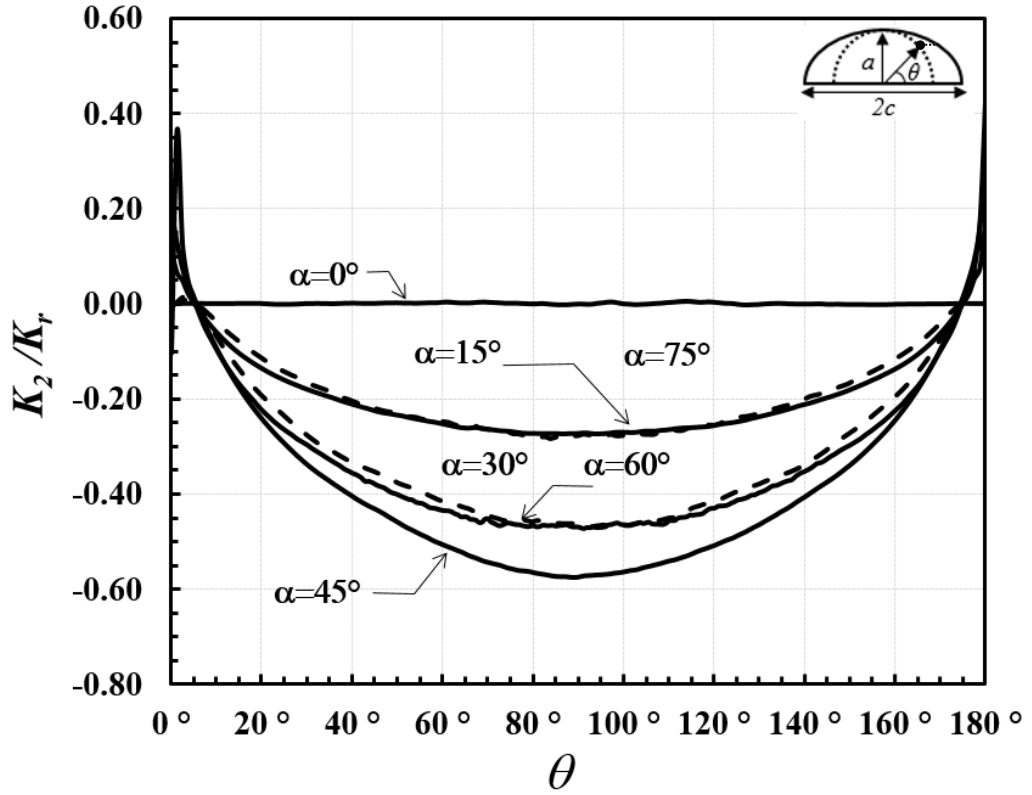
Şekil 3.83.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



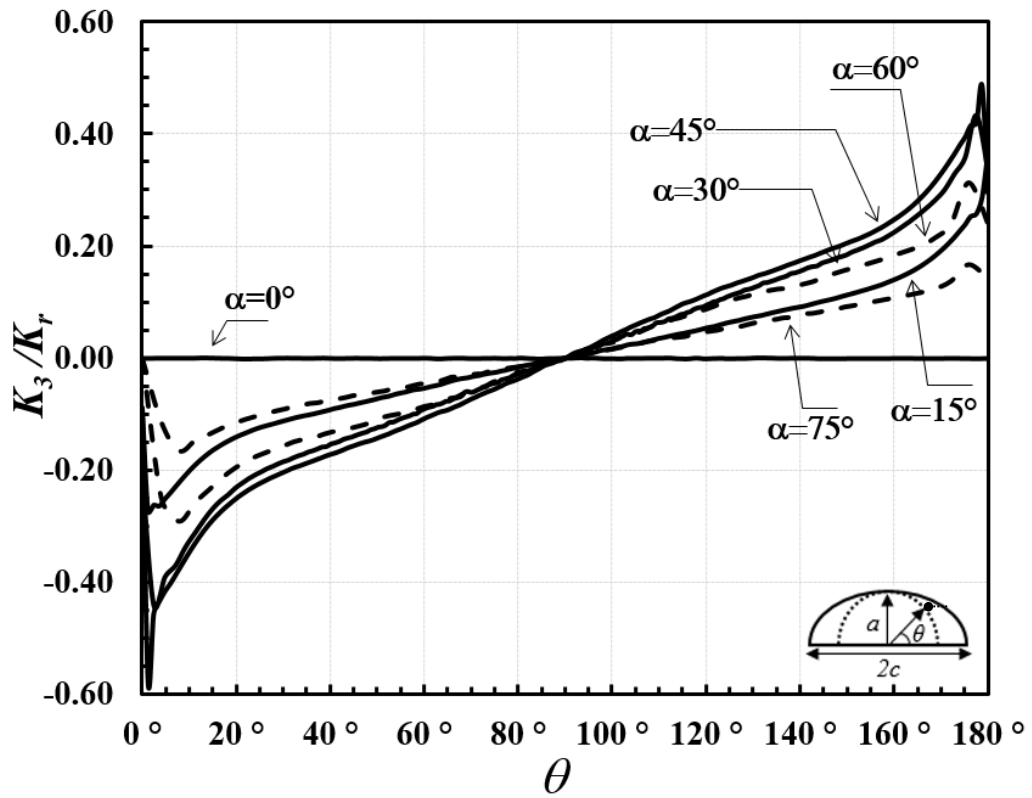
Şekil 3.84.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.85.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

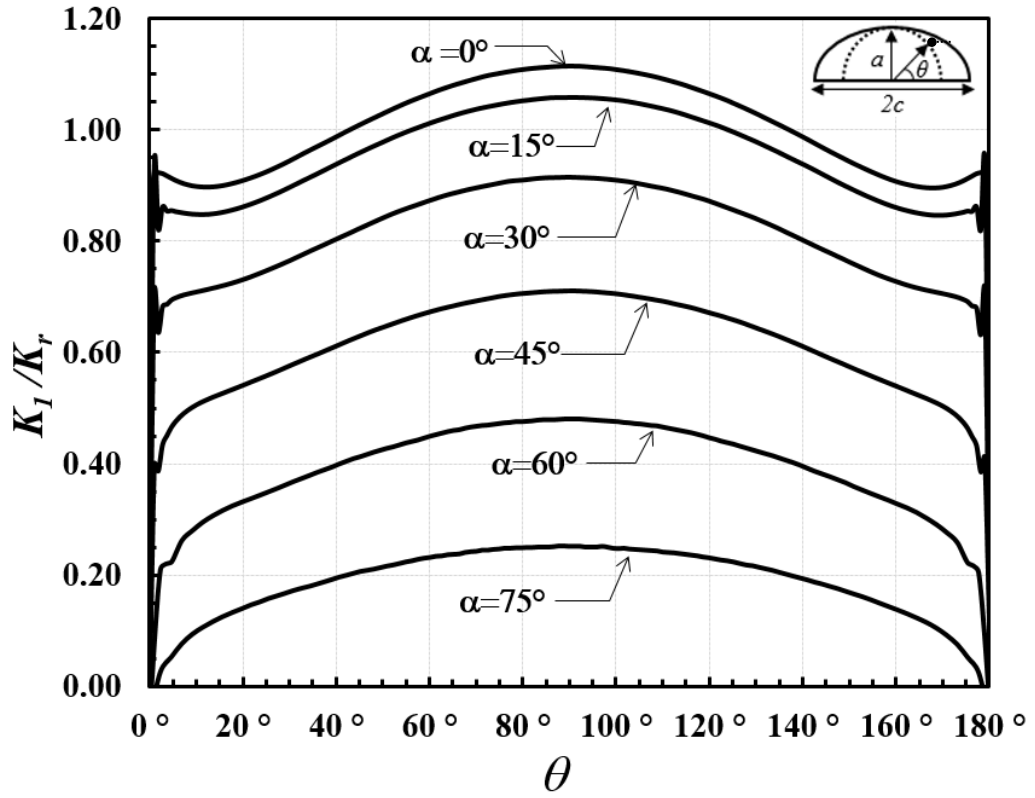


Şekil 3.86.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

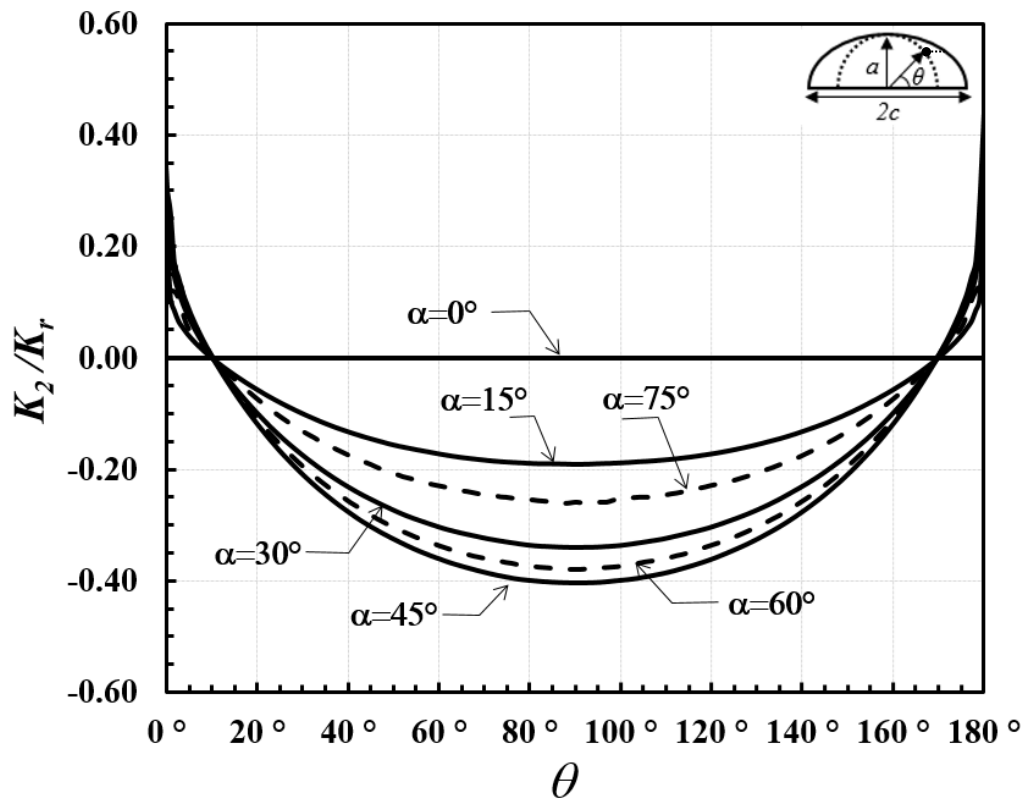


Şekil 3.87.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

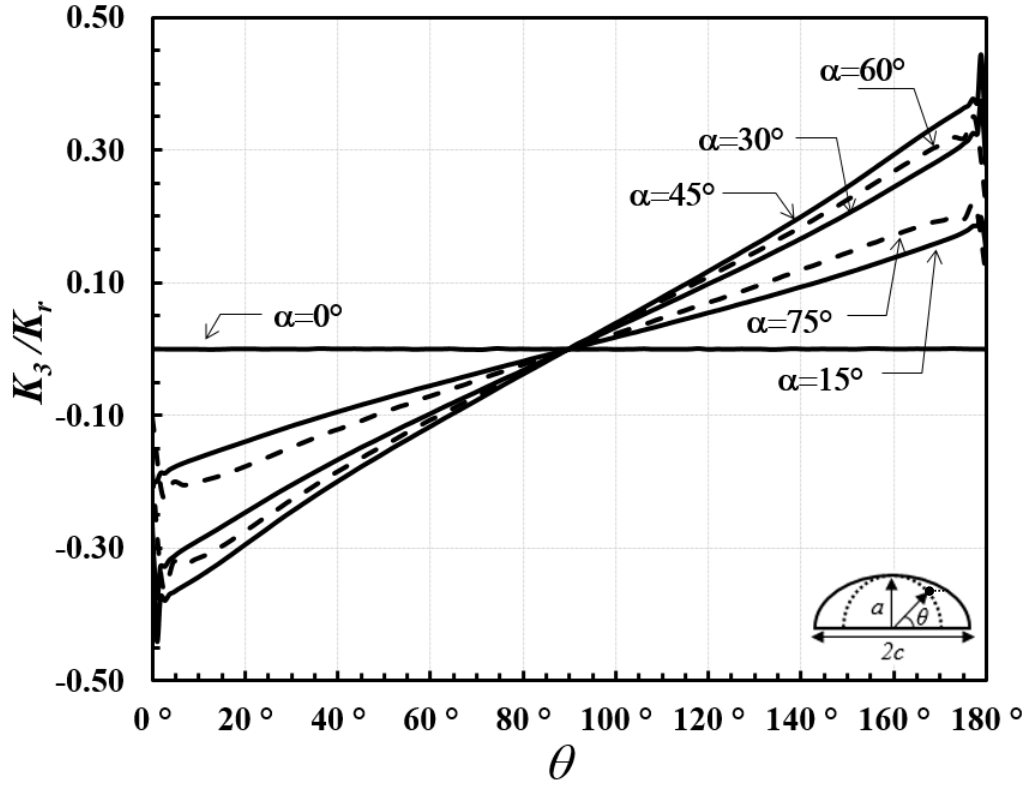




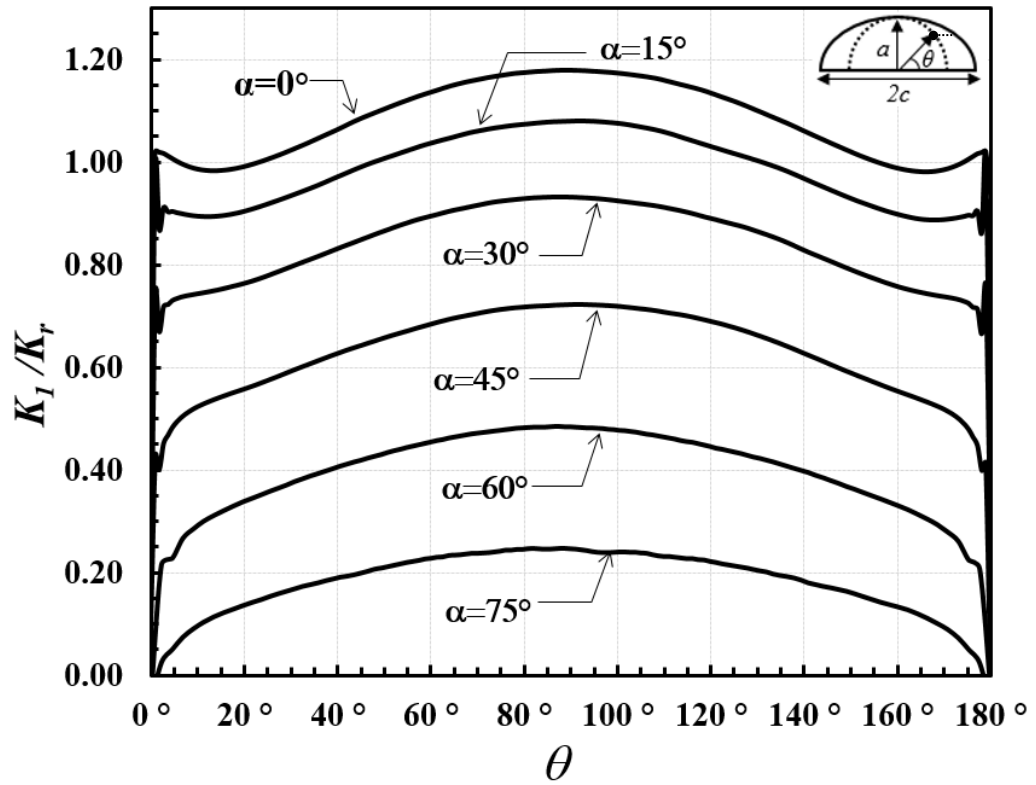
Şekil 3.88.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



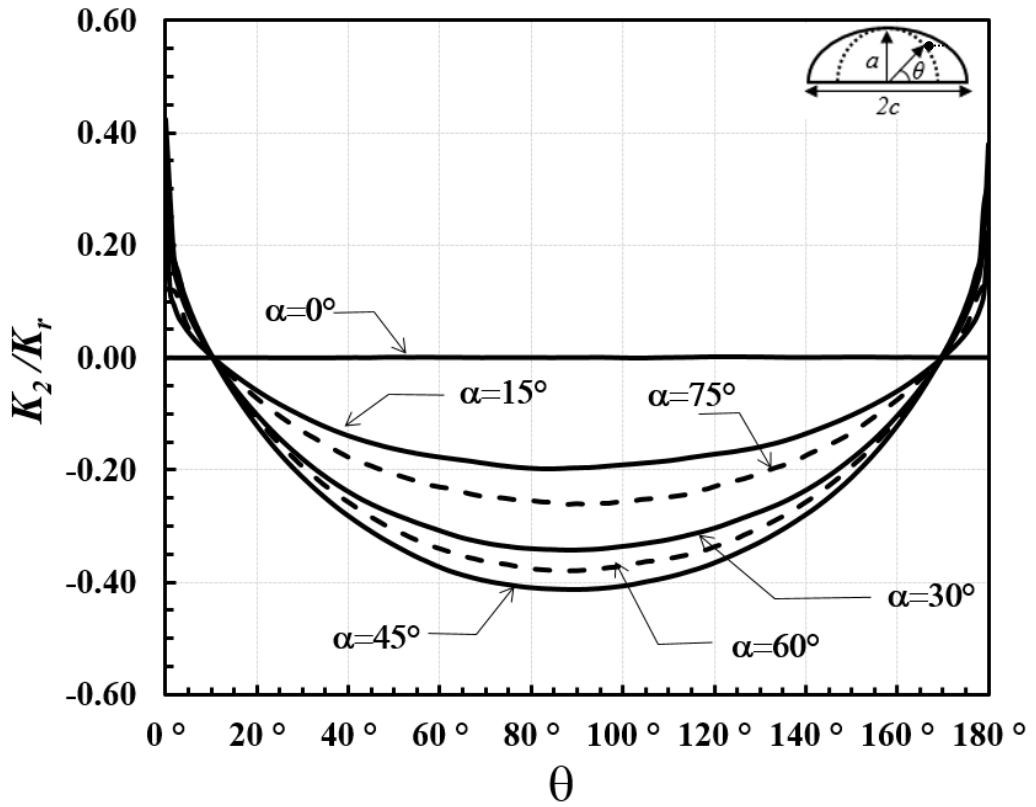
Şekil 3.89.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



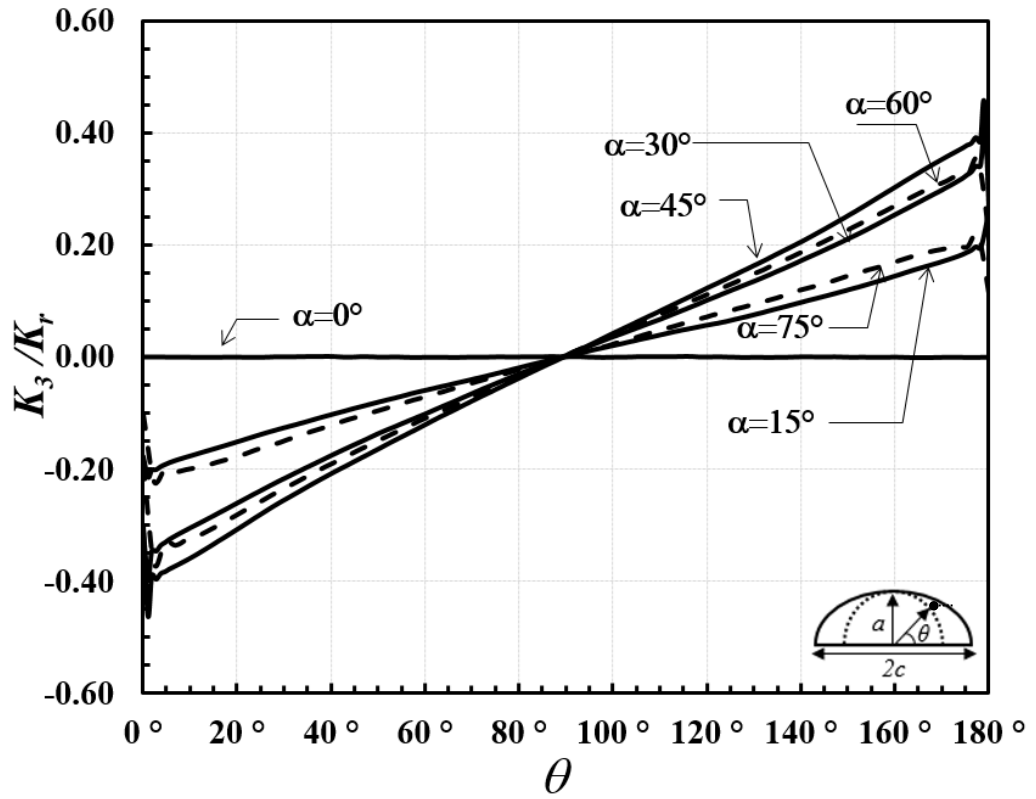
Şekil 3.90.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



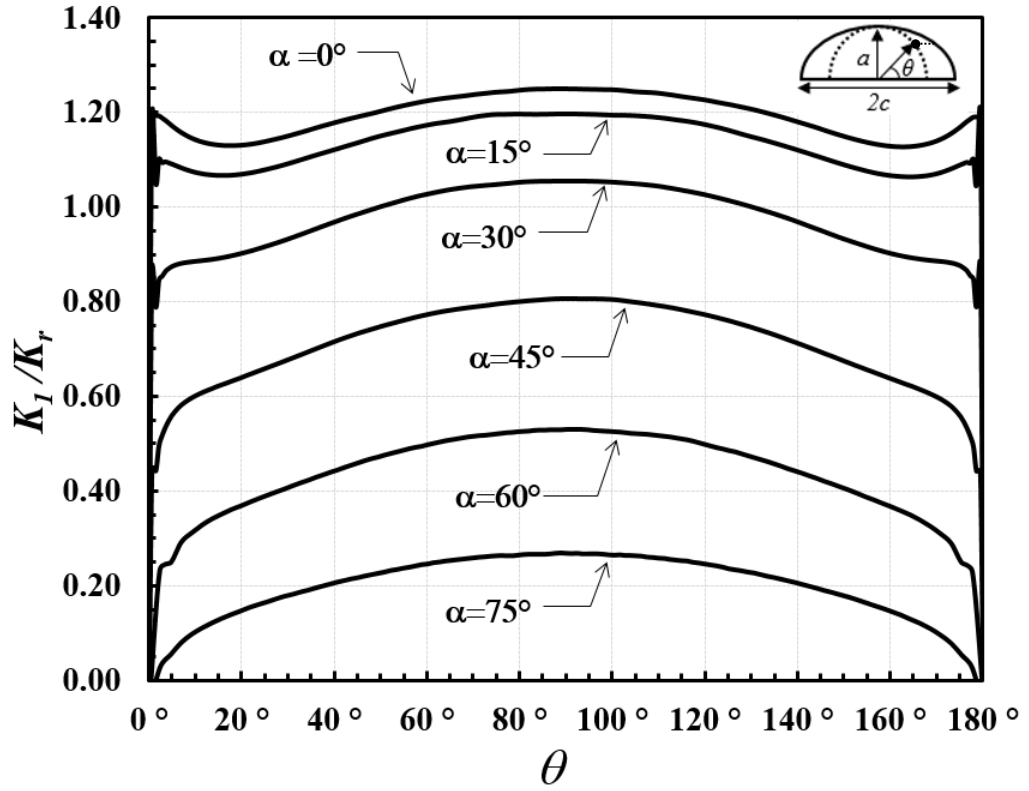
Şekil 3.91.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



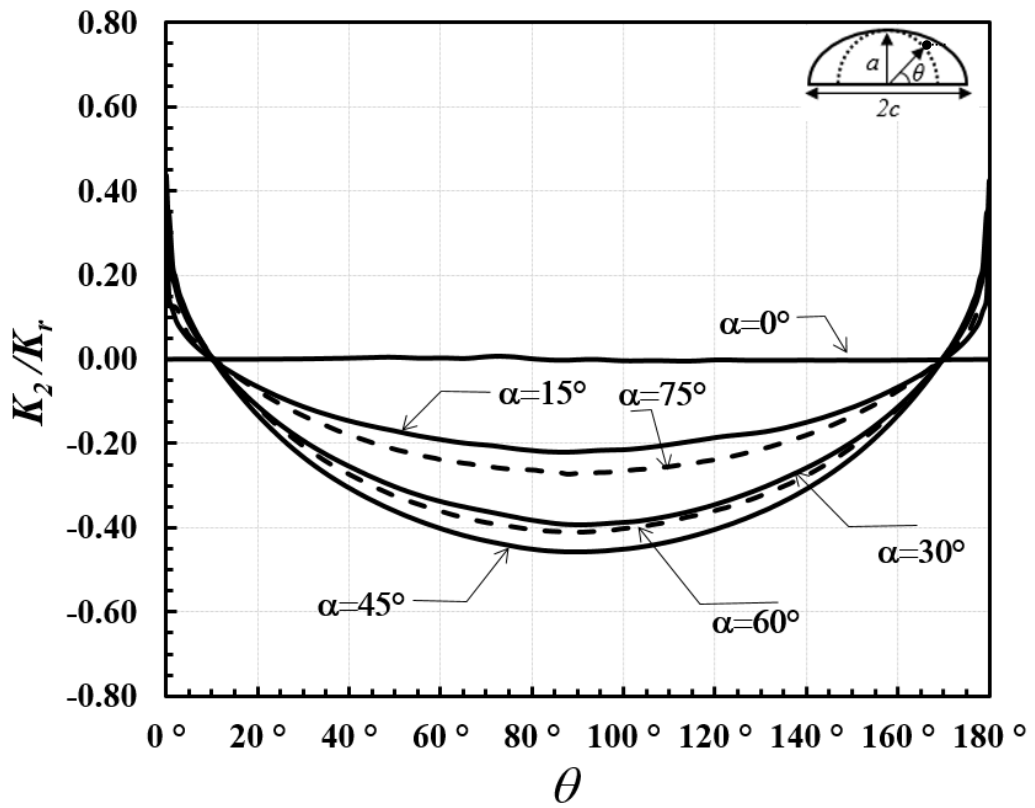
Şekil 3.92.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



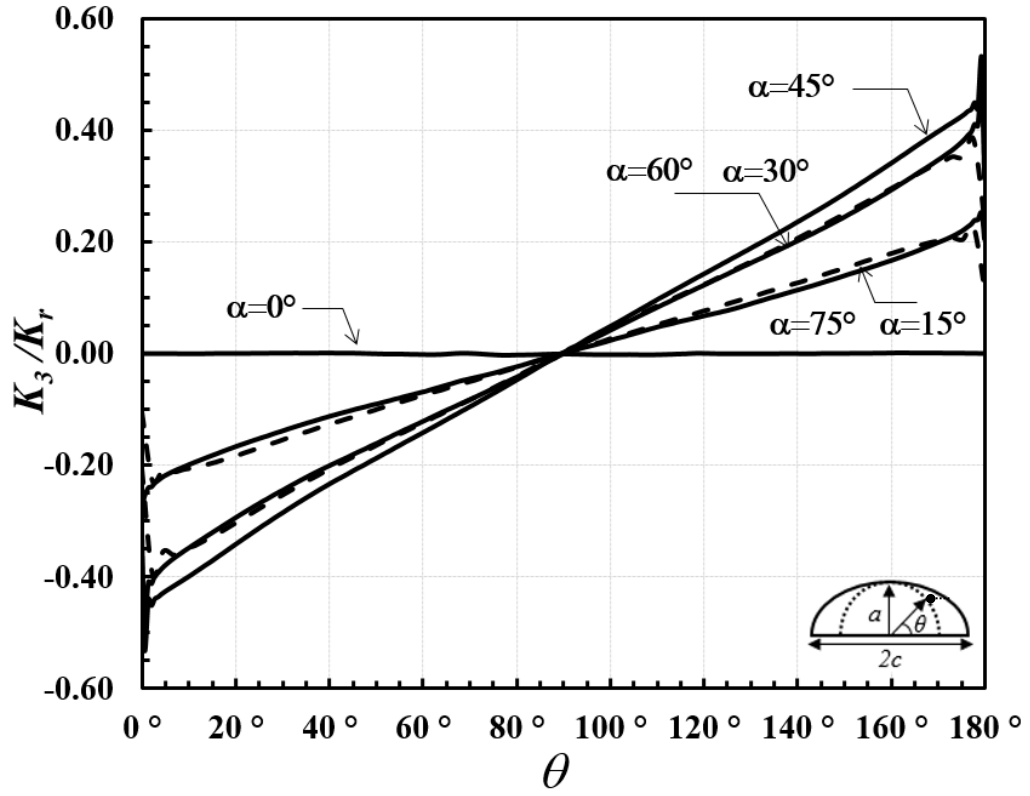
Şekil 3.93.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



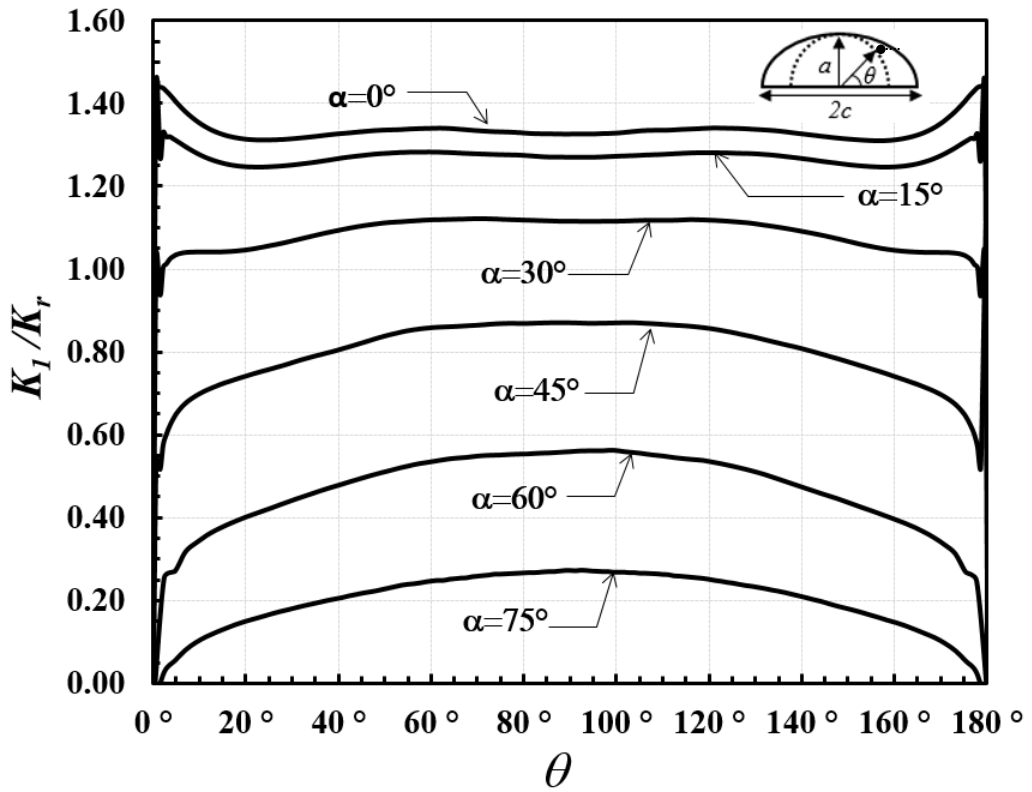
Şekil 3.94.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



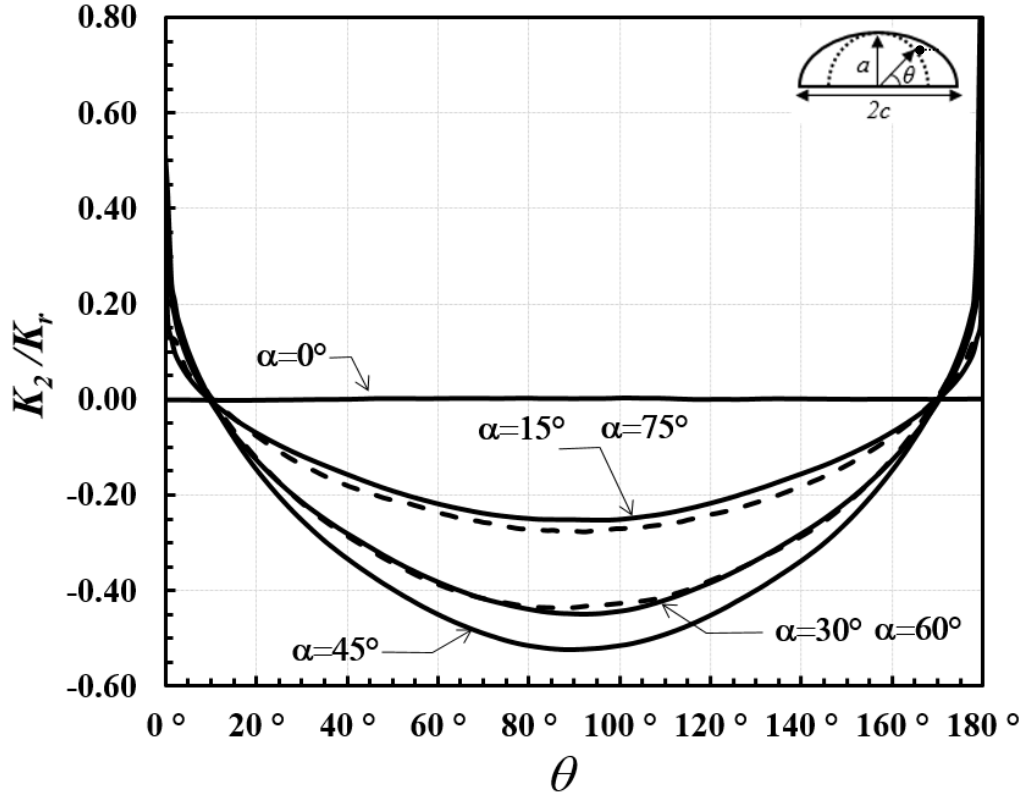
Şekil 3.95.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



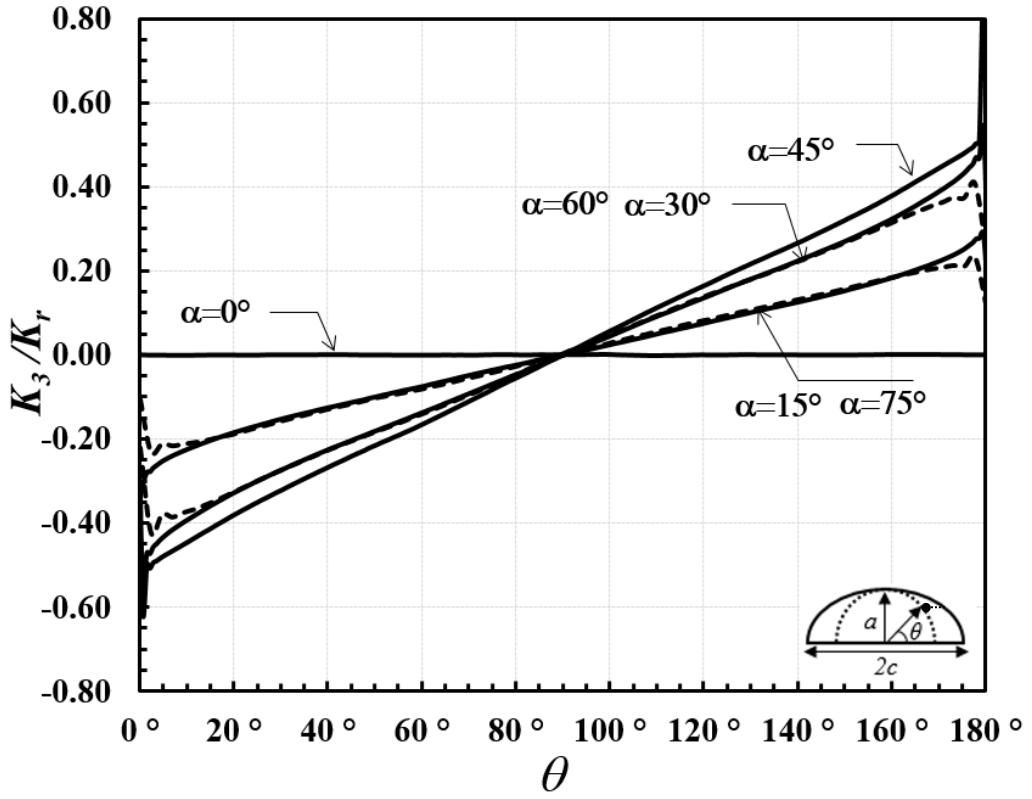
Şekil 3.96.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



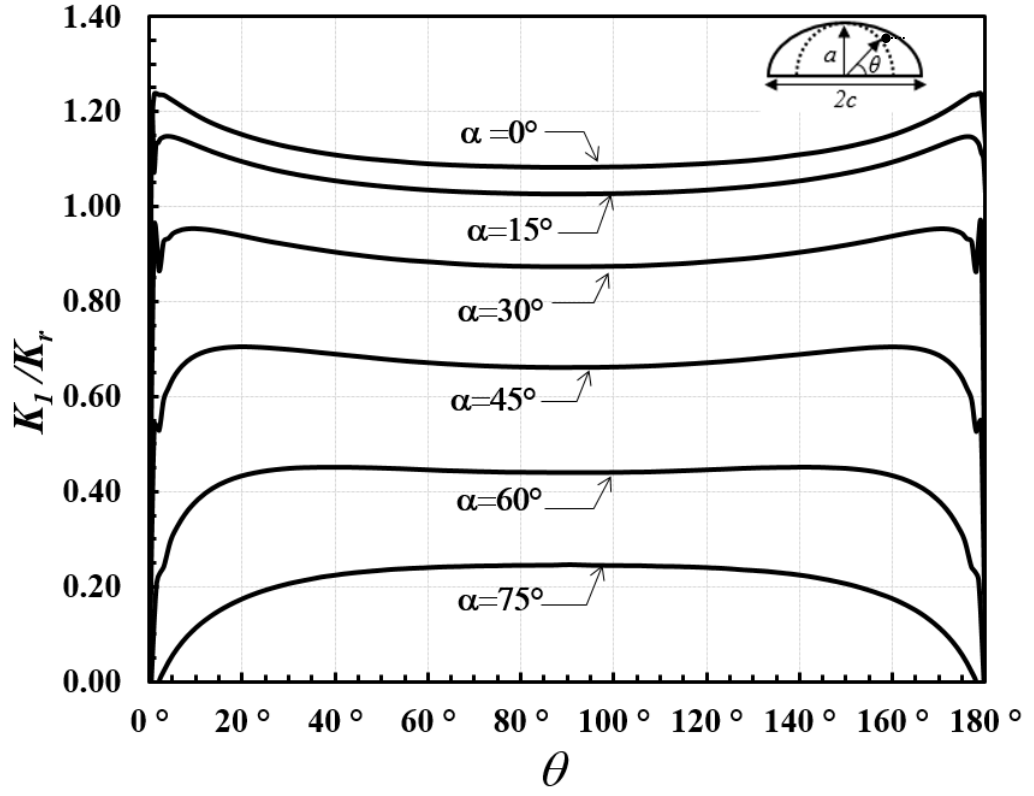
Şekil 3.97.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



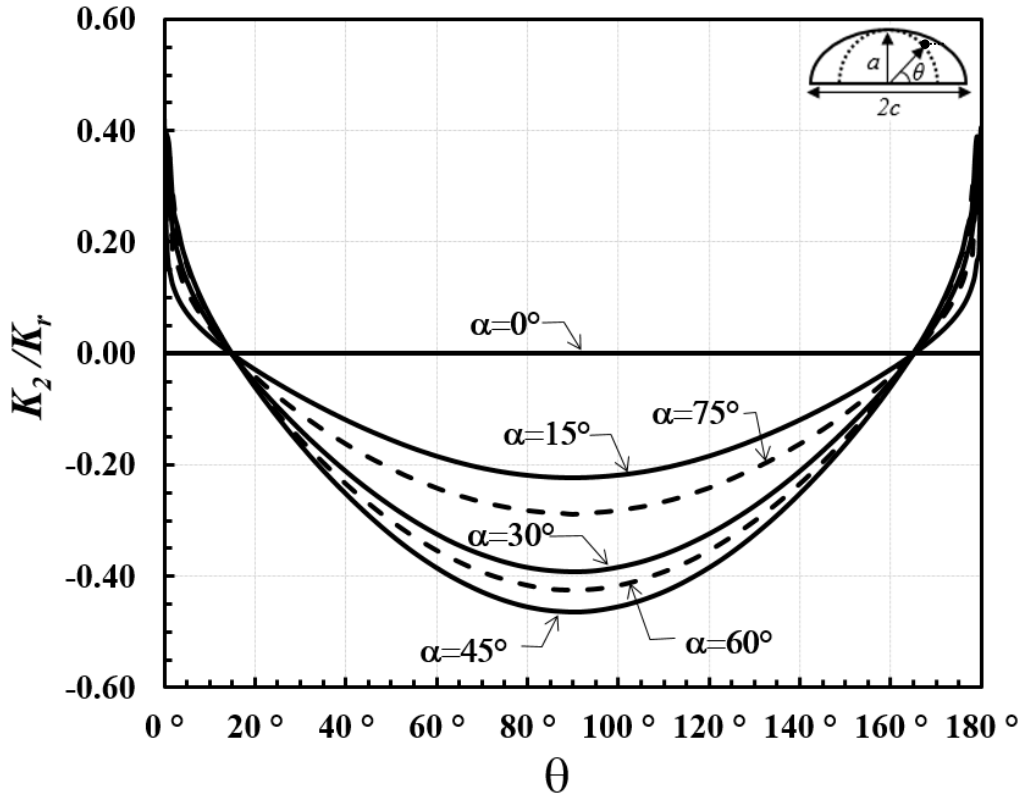
Şekil 3.98.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



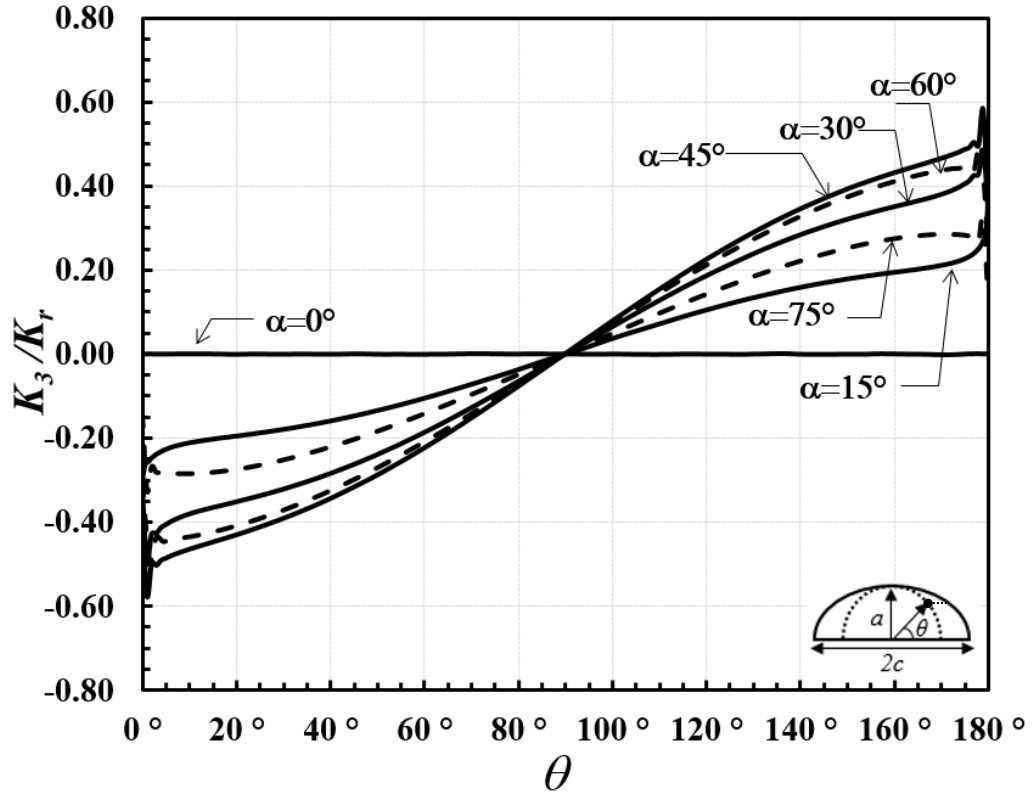
Şekil 3.99.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



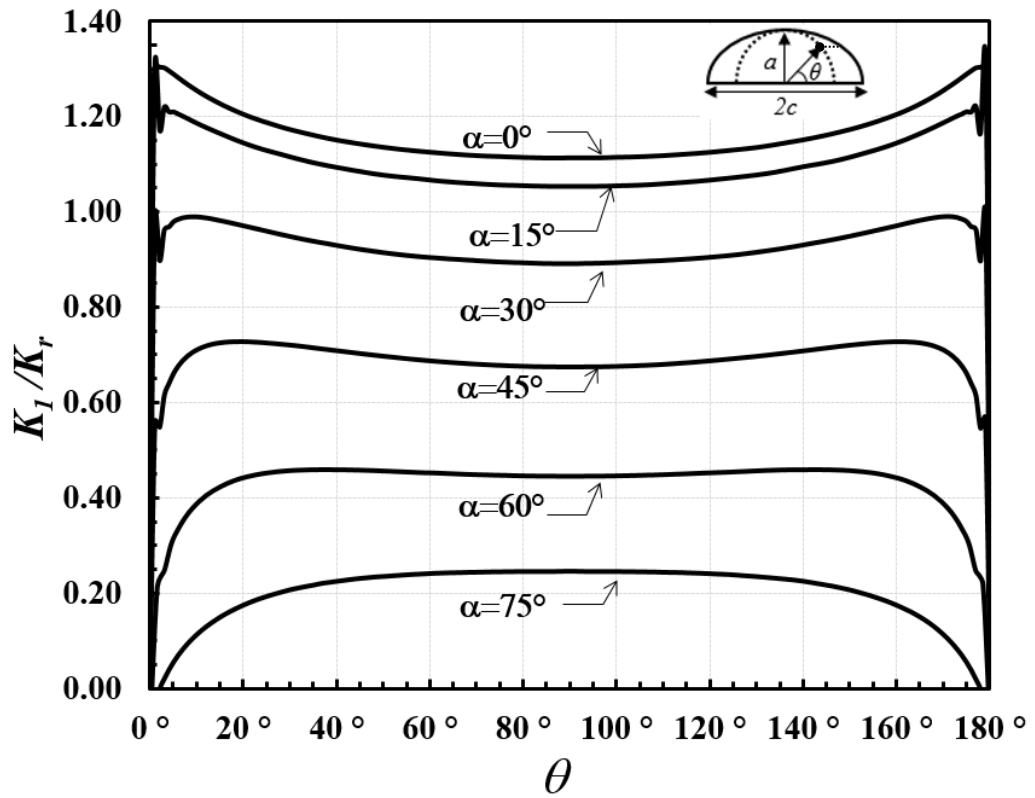
Şekil 3.100.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.101.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

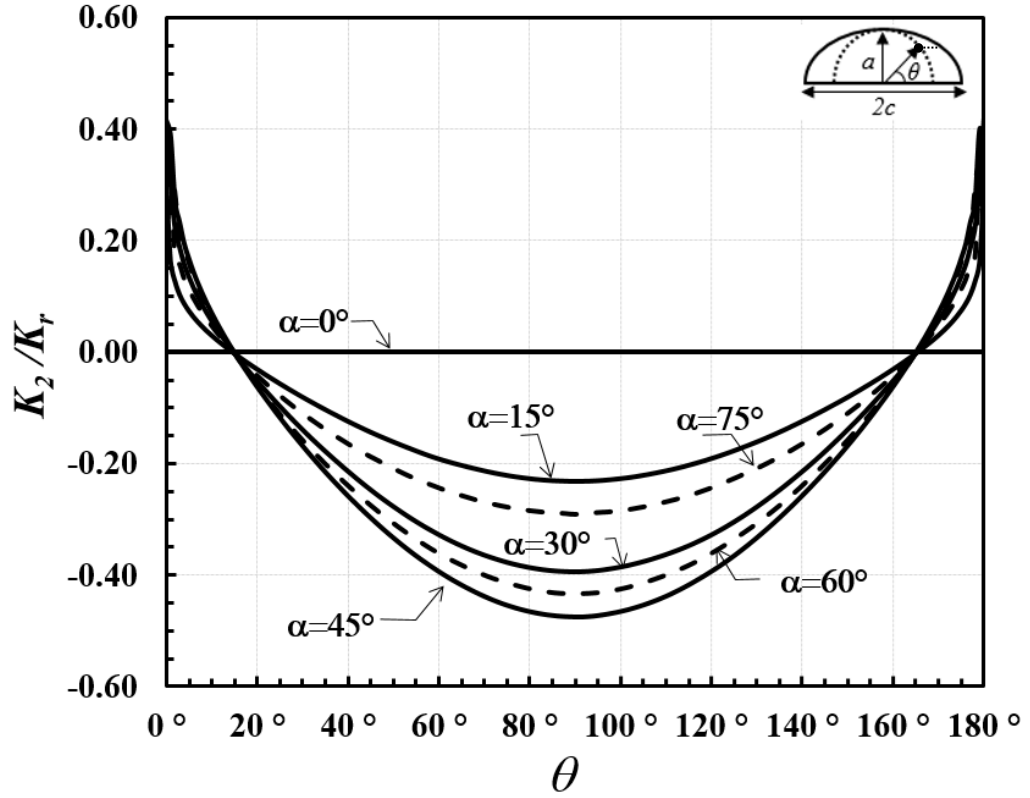


Şekil 3.102.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

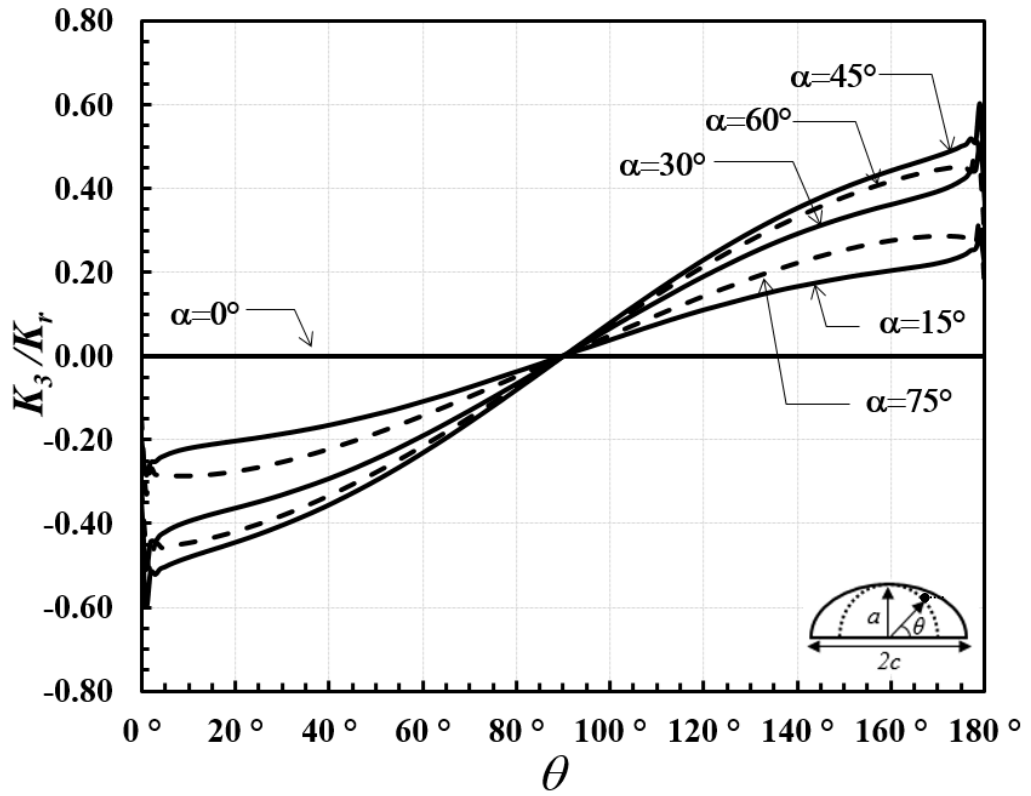


Şekil 3.103.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

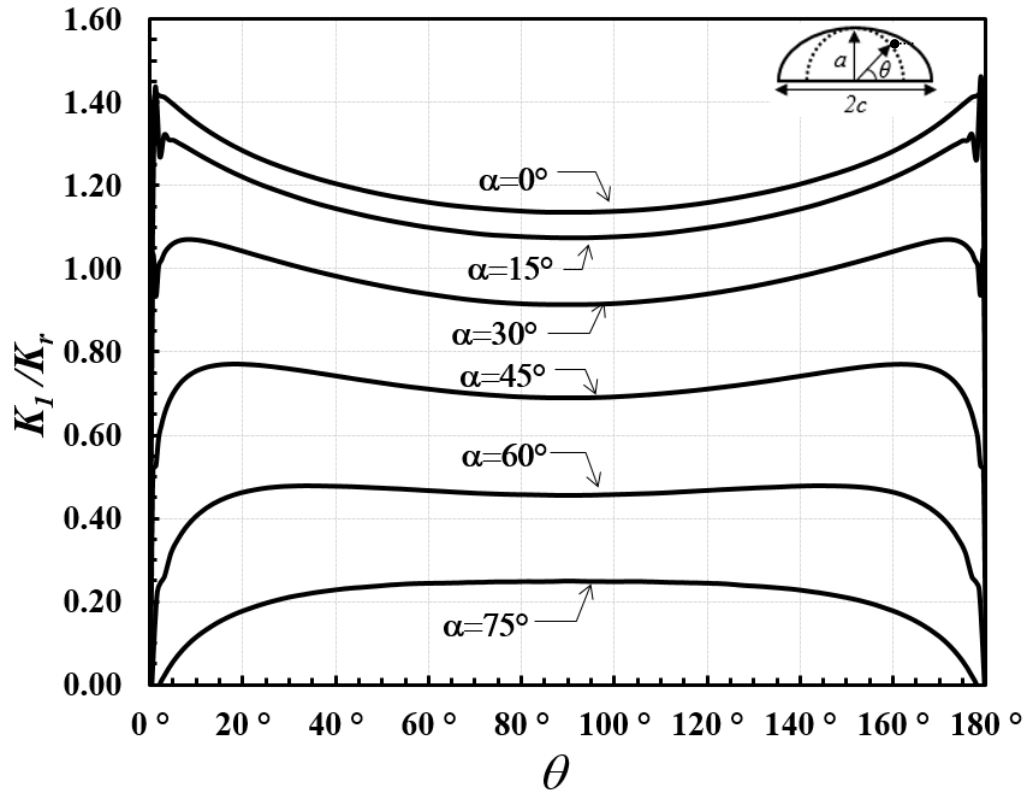




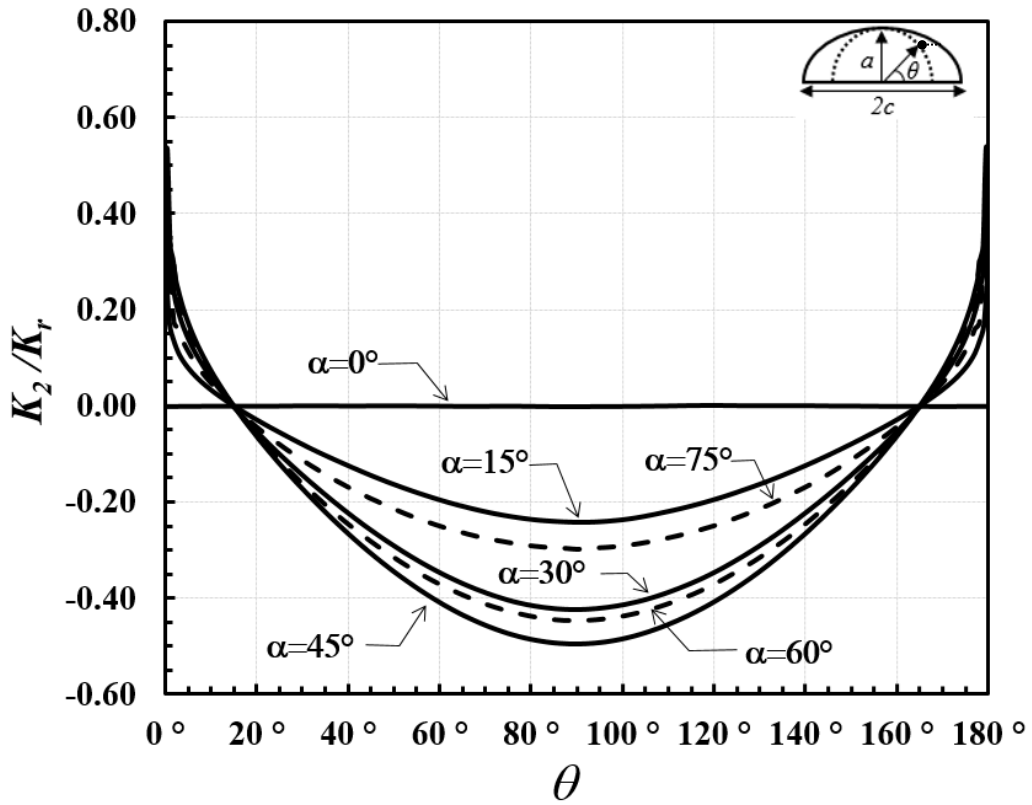
Şekil 3.104.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



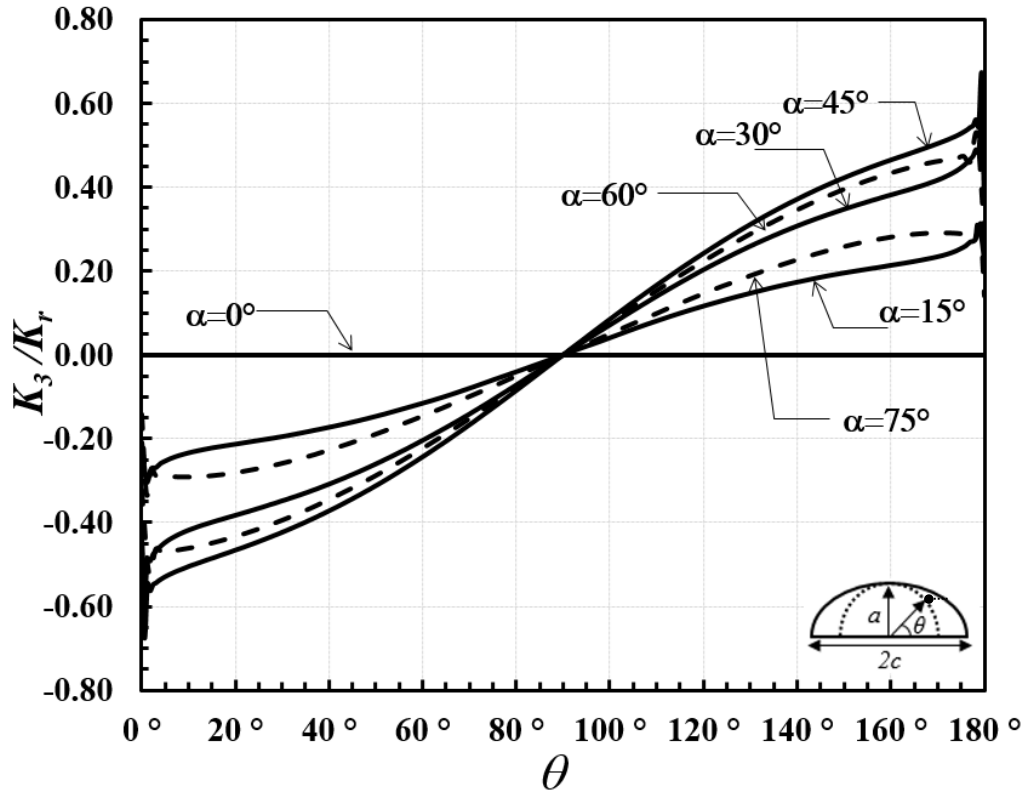
Şekil 3.105.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



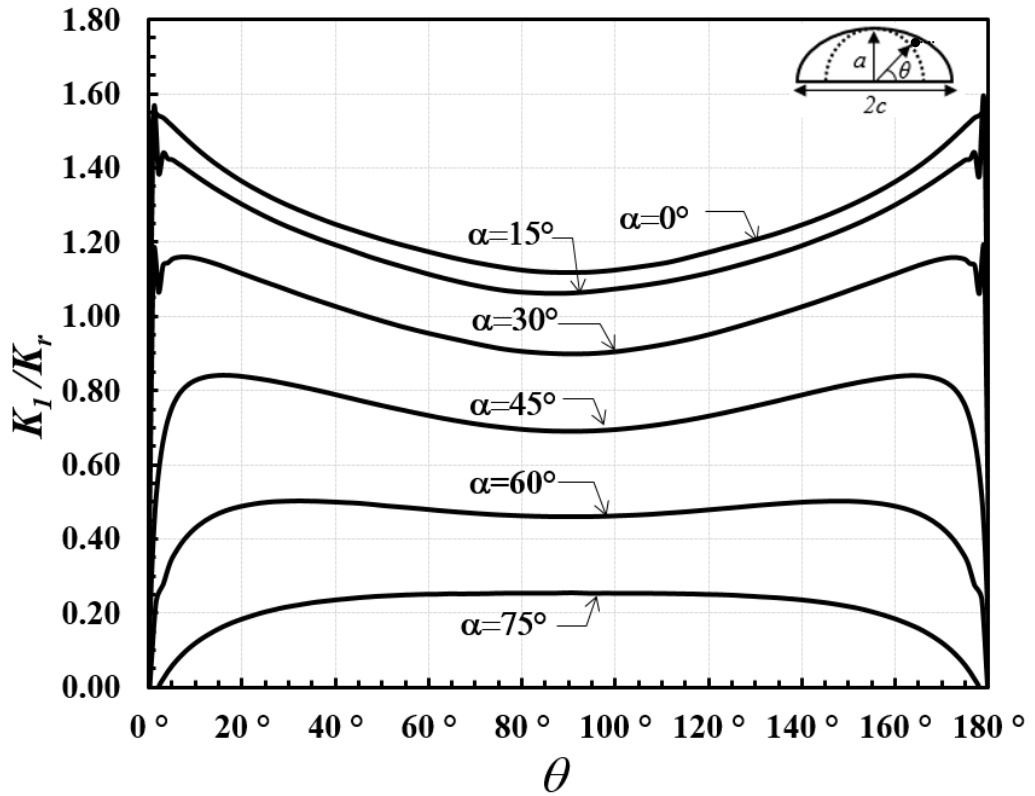
Şekil 3.106.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



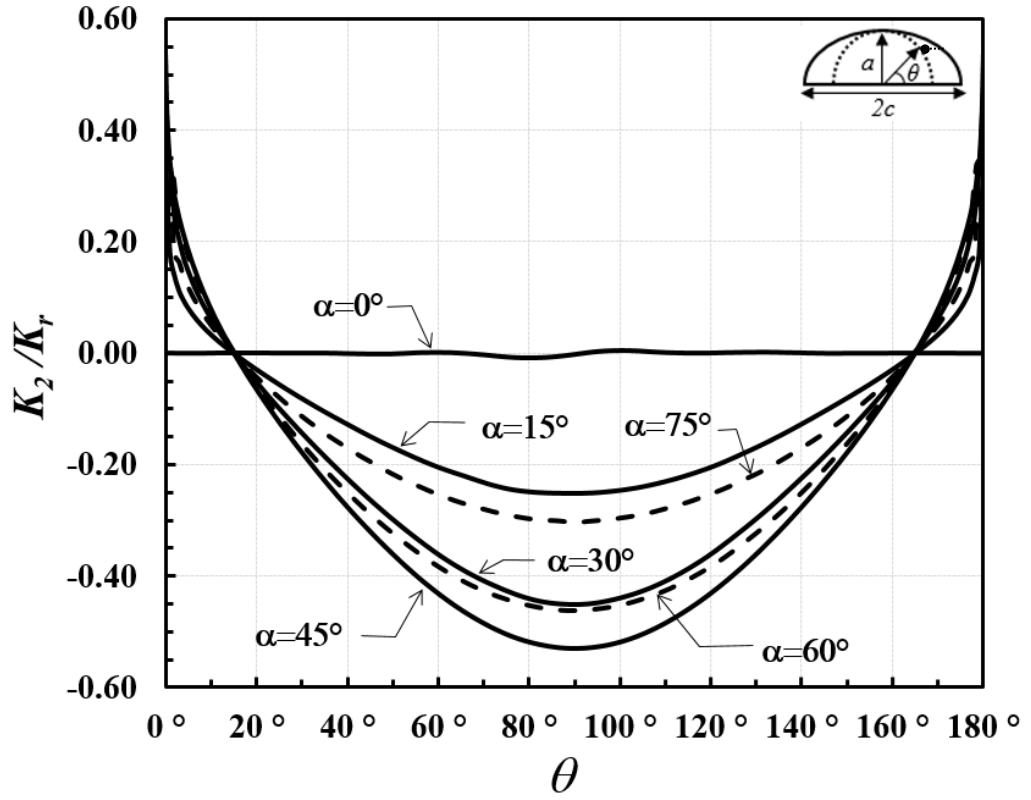
Şekil 3.107.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



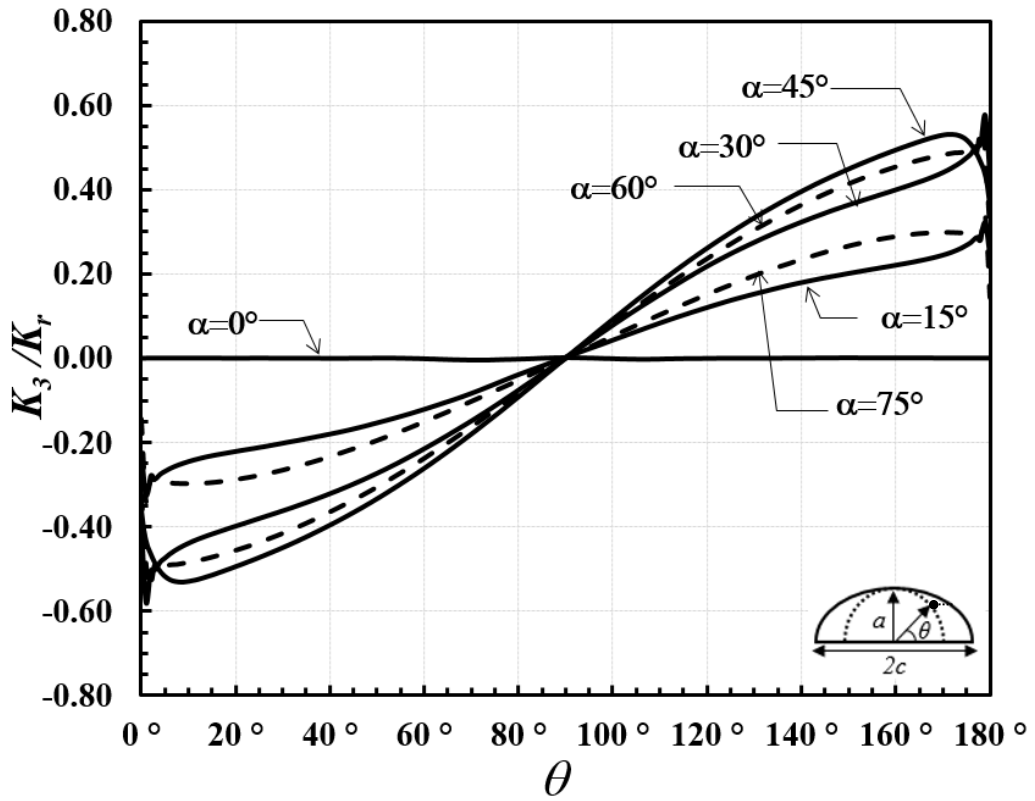
Şekil 3.108.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



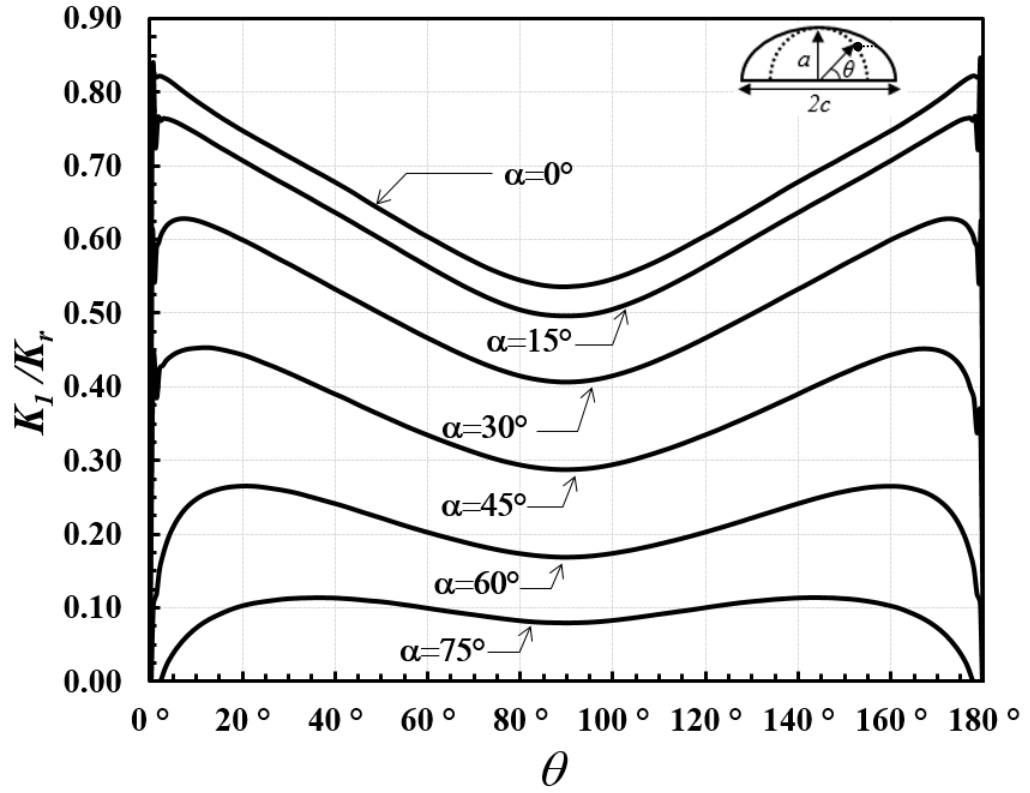
Şekil 3.109.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



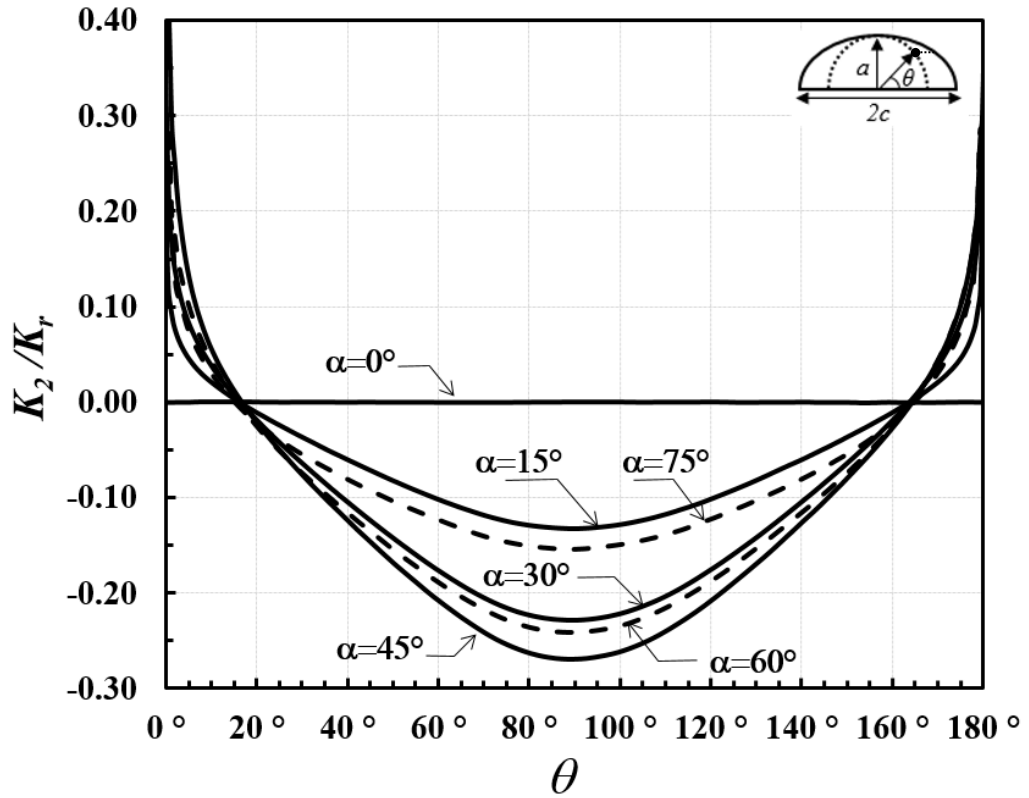
Şekil 3.110.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



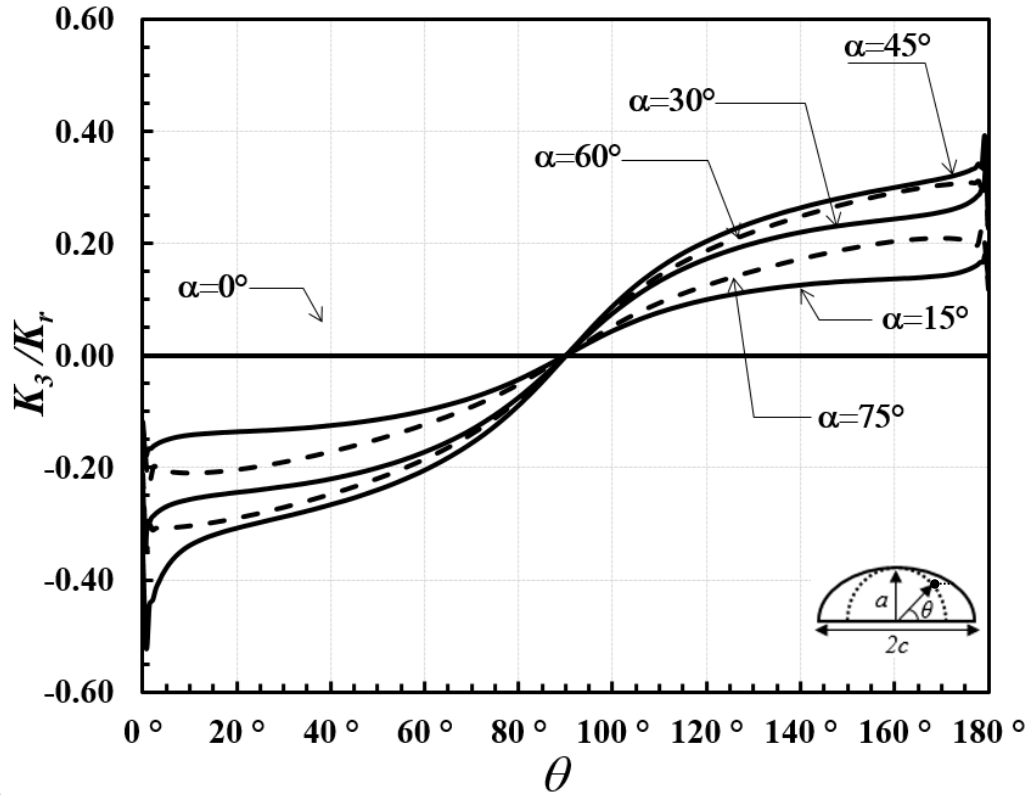
Şekil 3.111.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



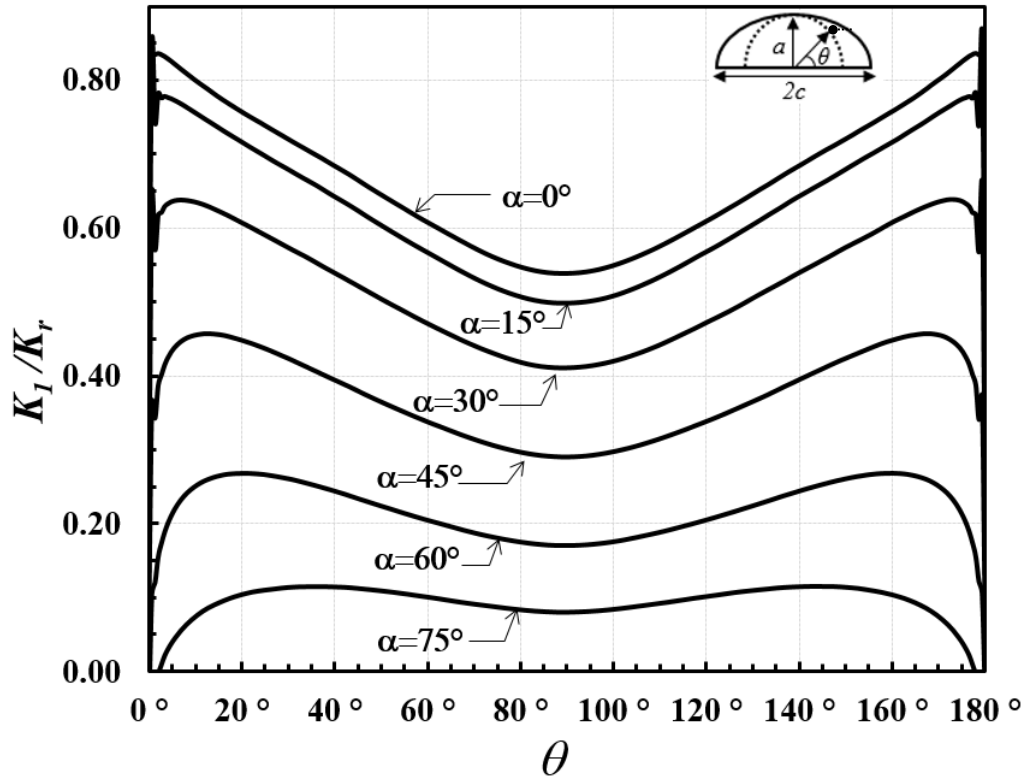
Şekil 3.112.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri



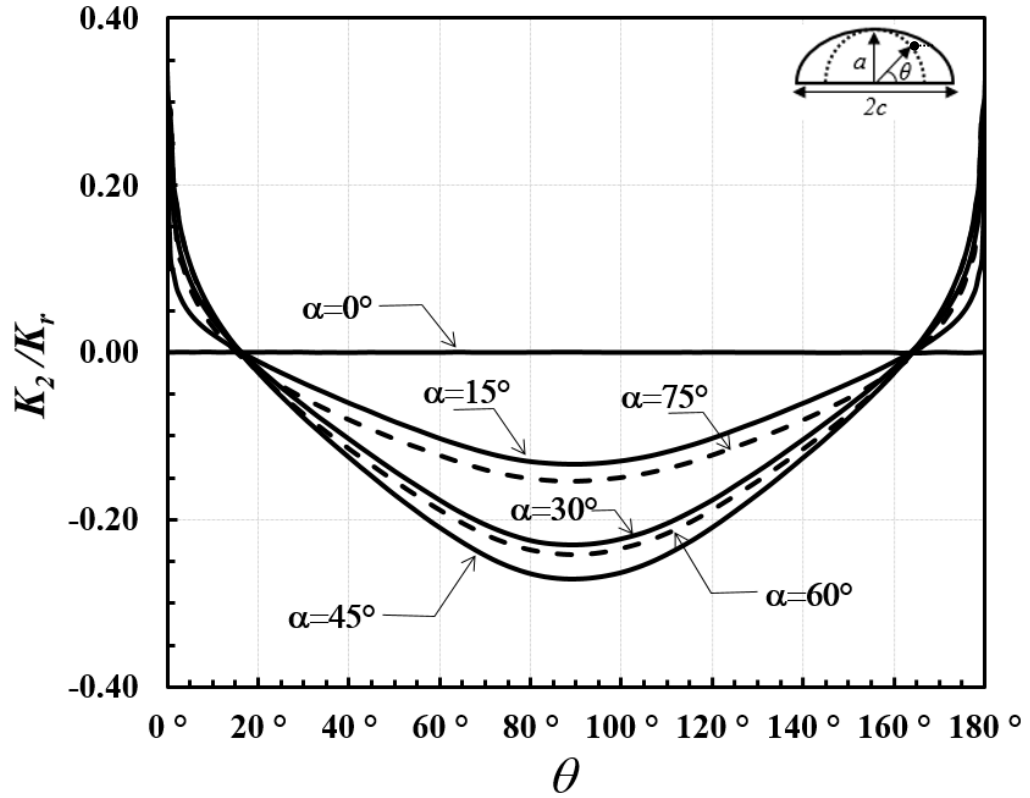
Şekil 3.113.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



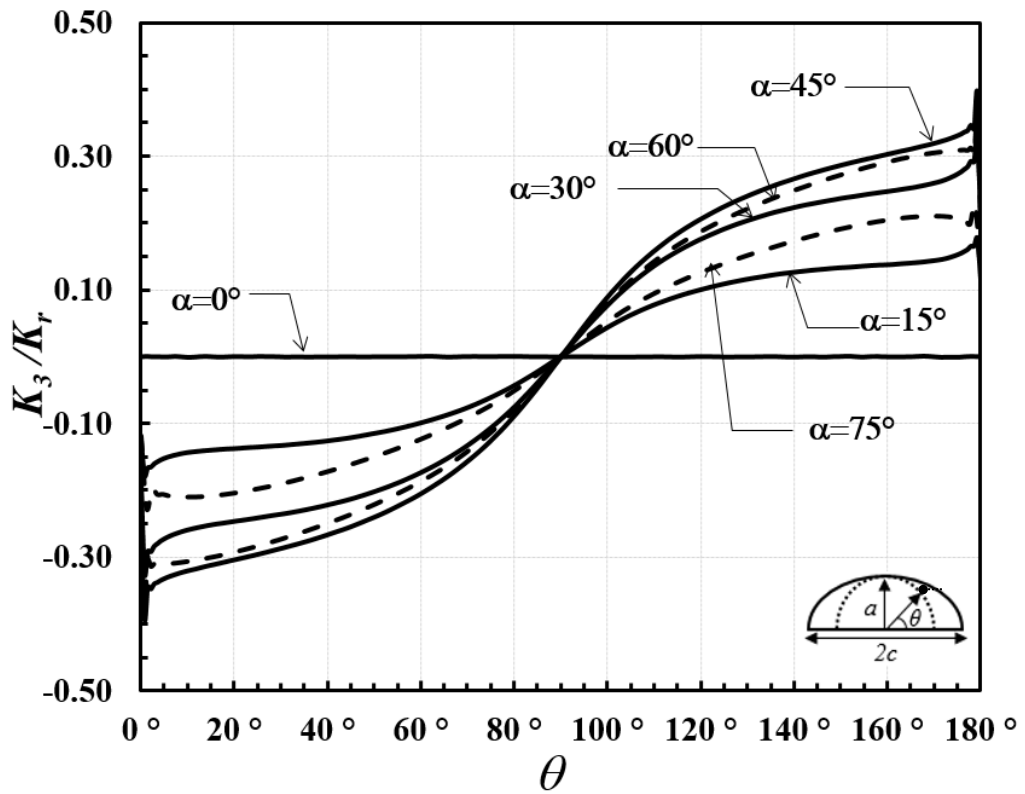
Şekil 3.114.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



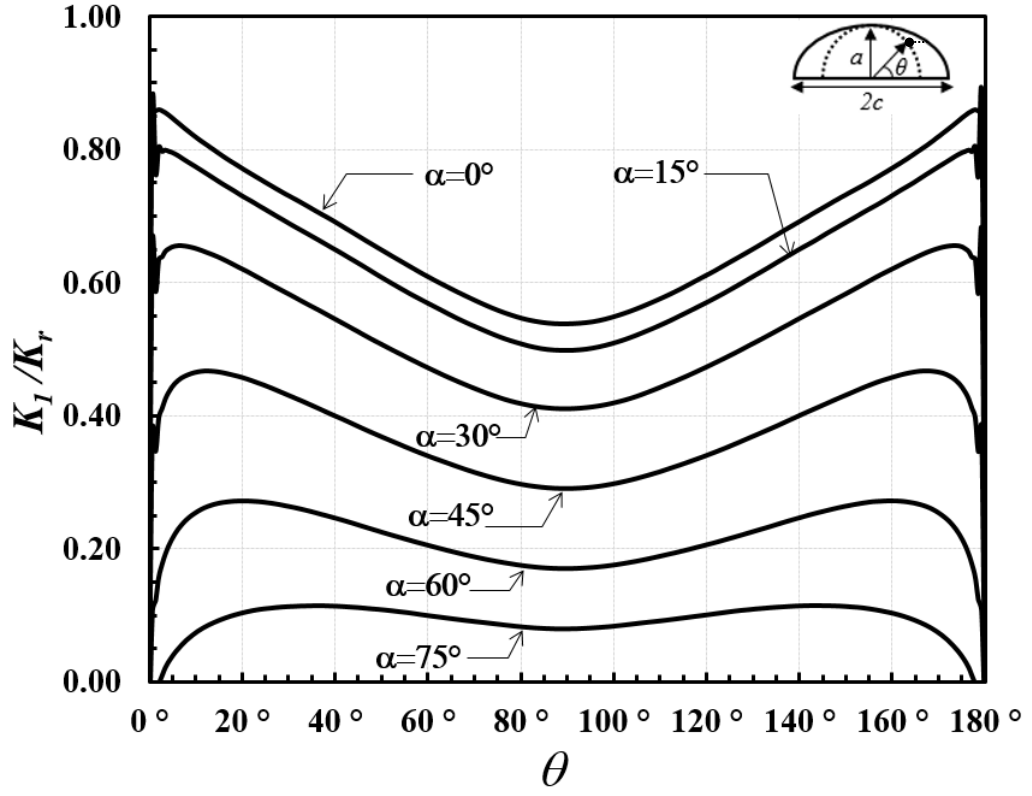
Şekil 3.115.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



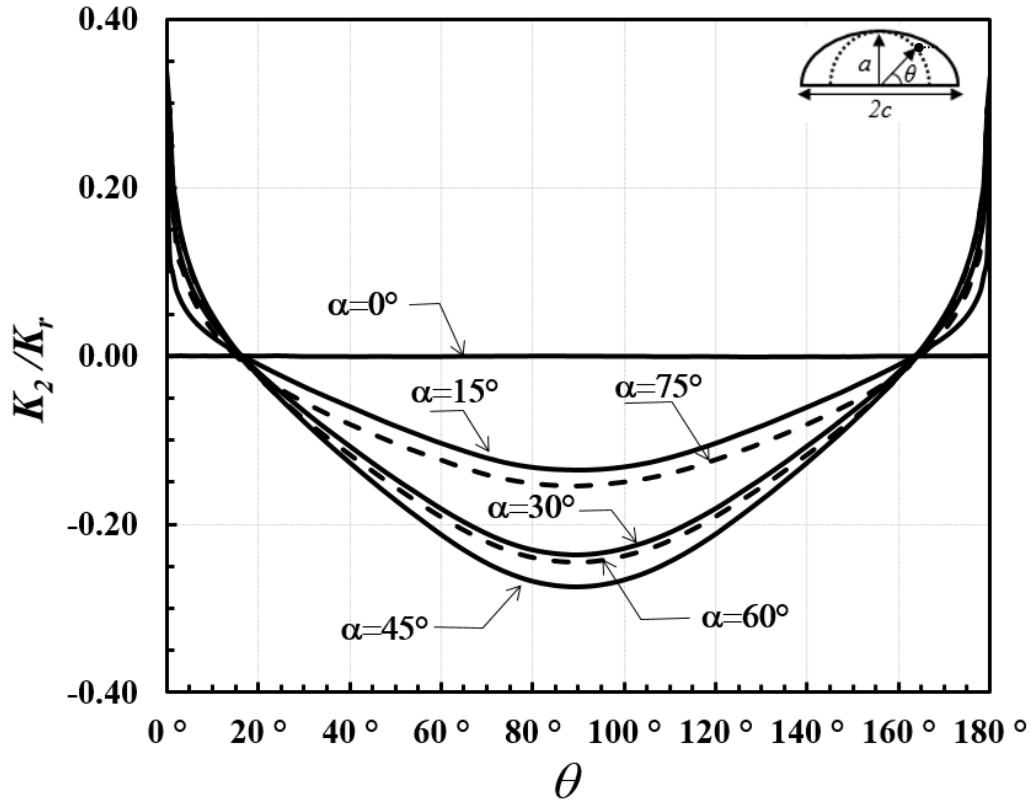
Şekil 3.116.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.117.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

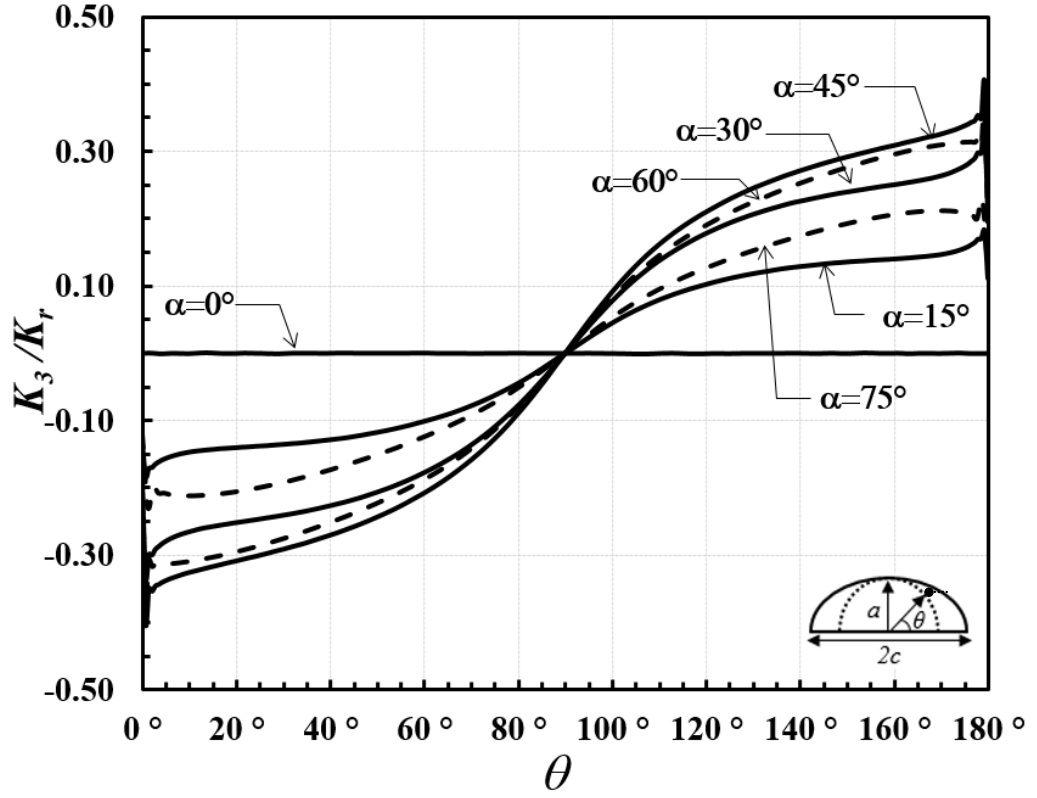


Şekil 3.118.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

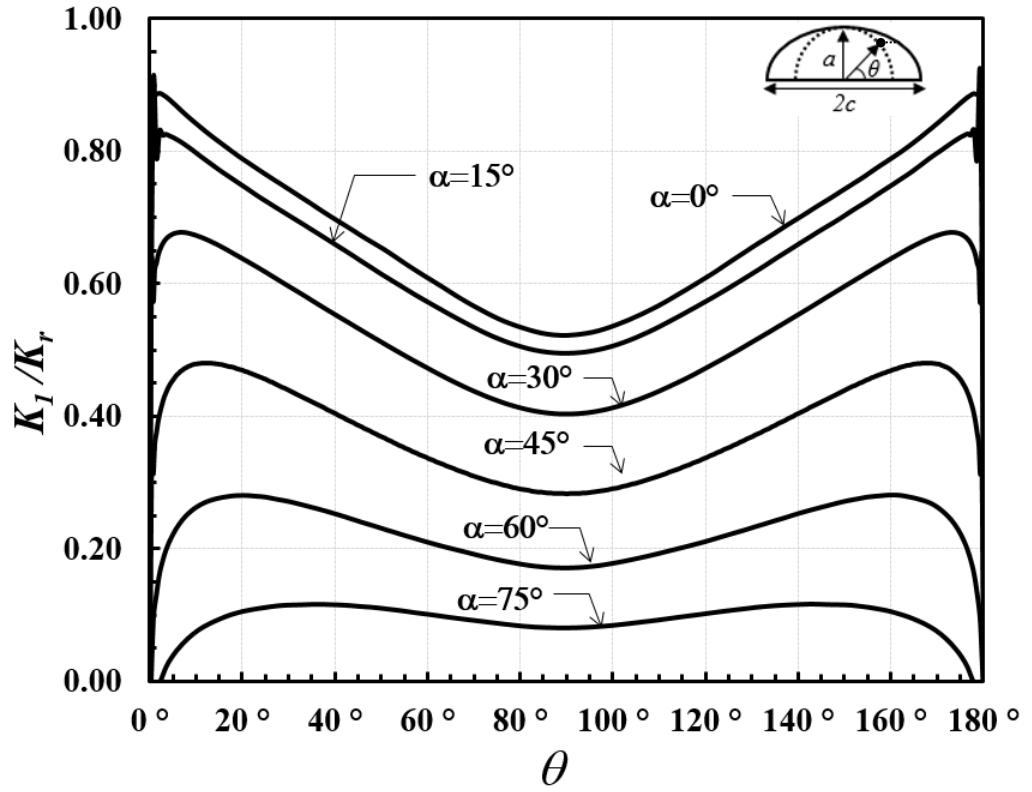


Şekil 3.119.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

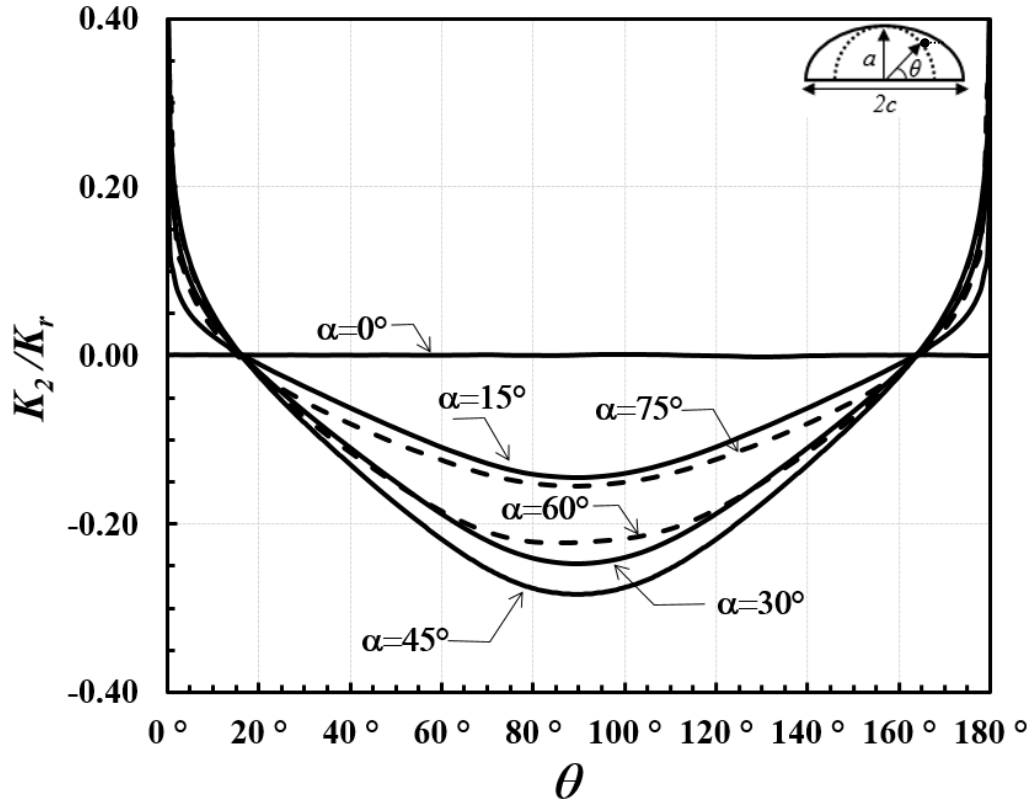




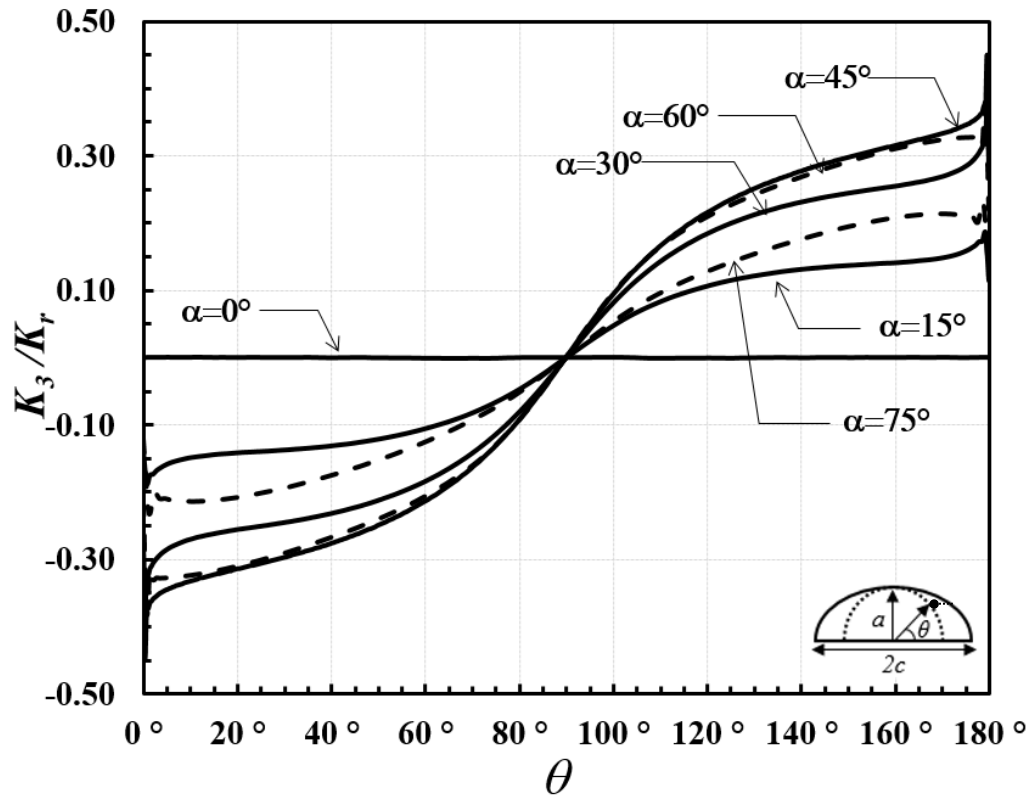
Şekil 3.120.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



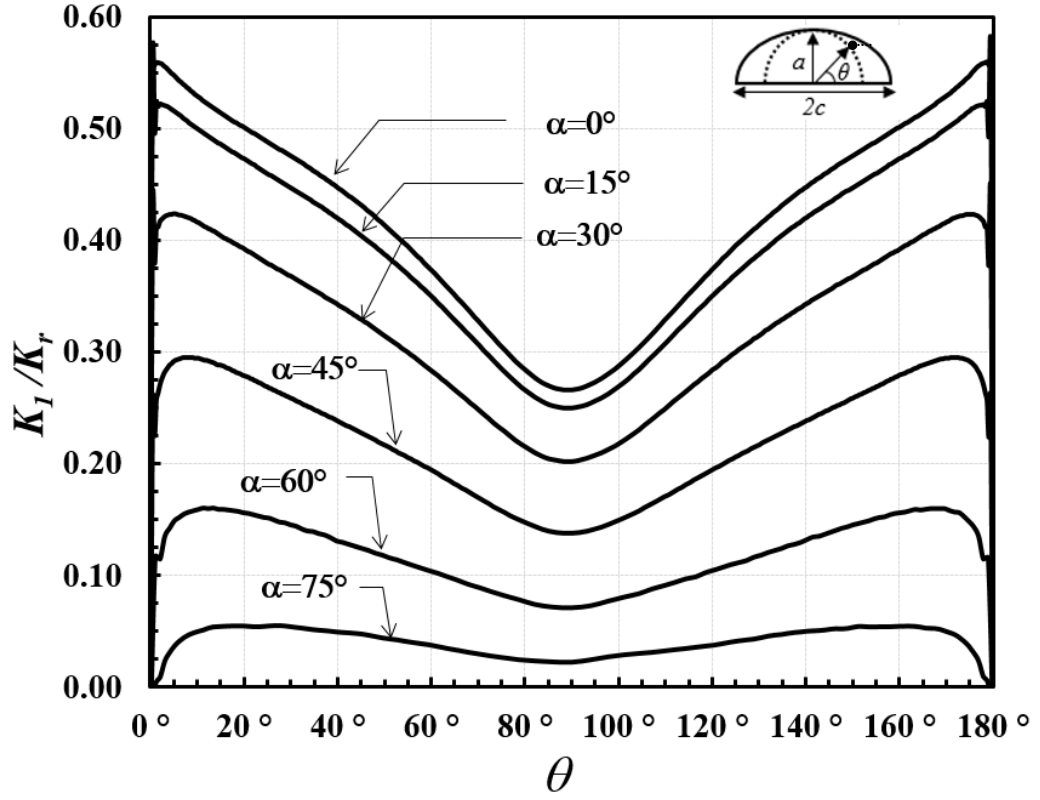
Şekil 3.121.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



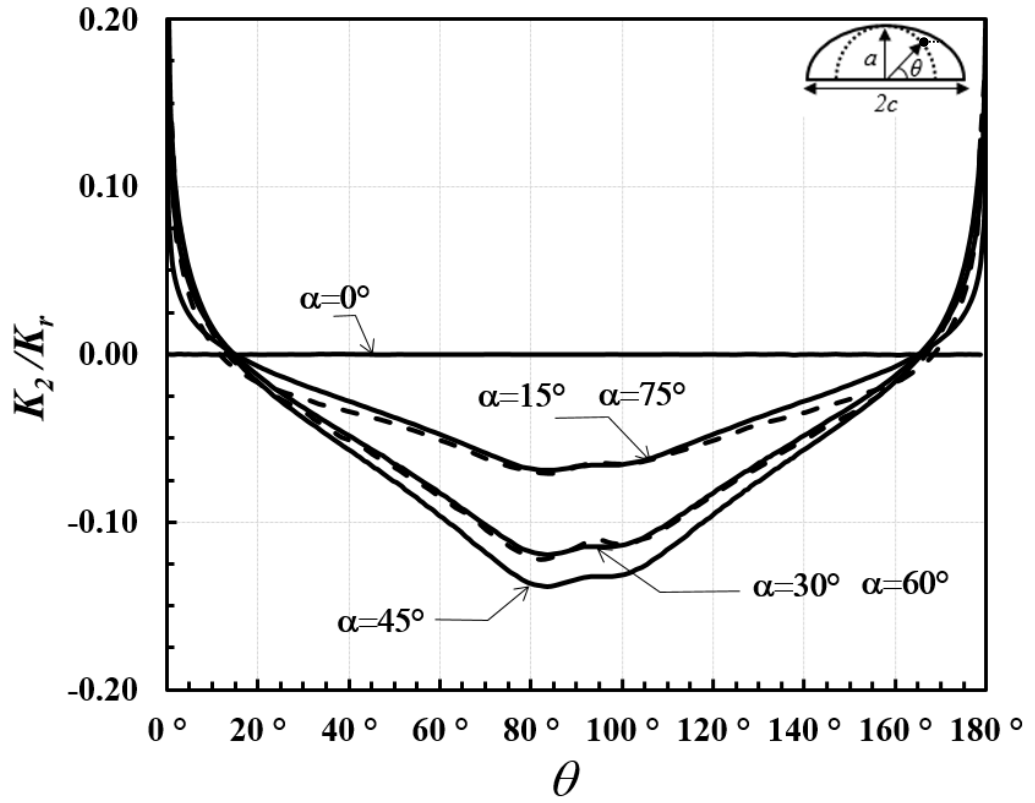
Şekil 3.122.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



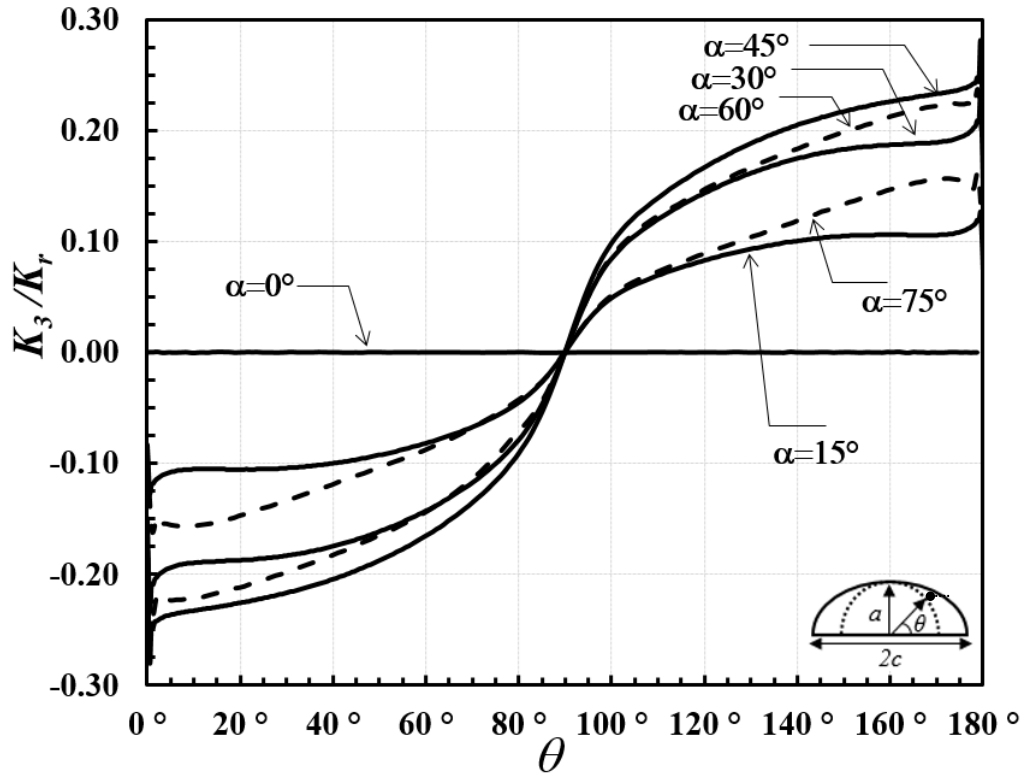
Şekil 3.123.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



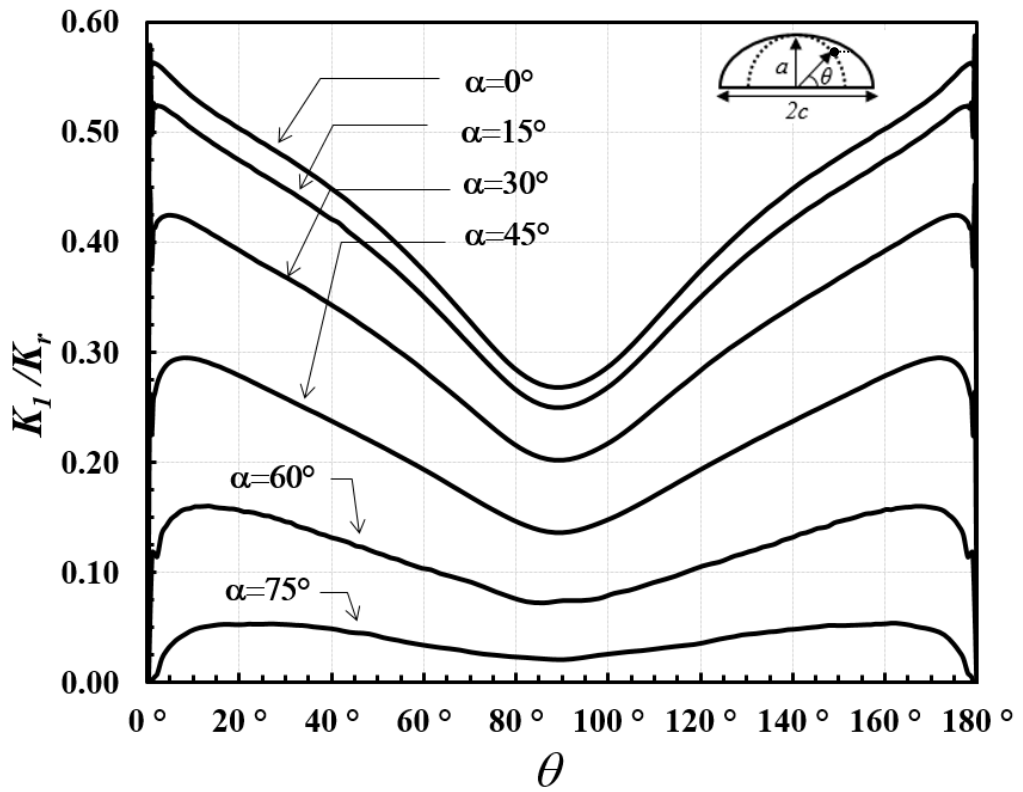
Şekil 3.124.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



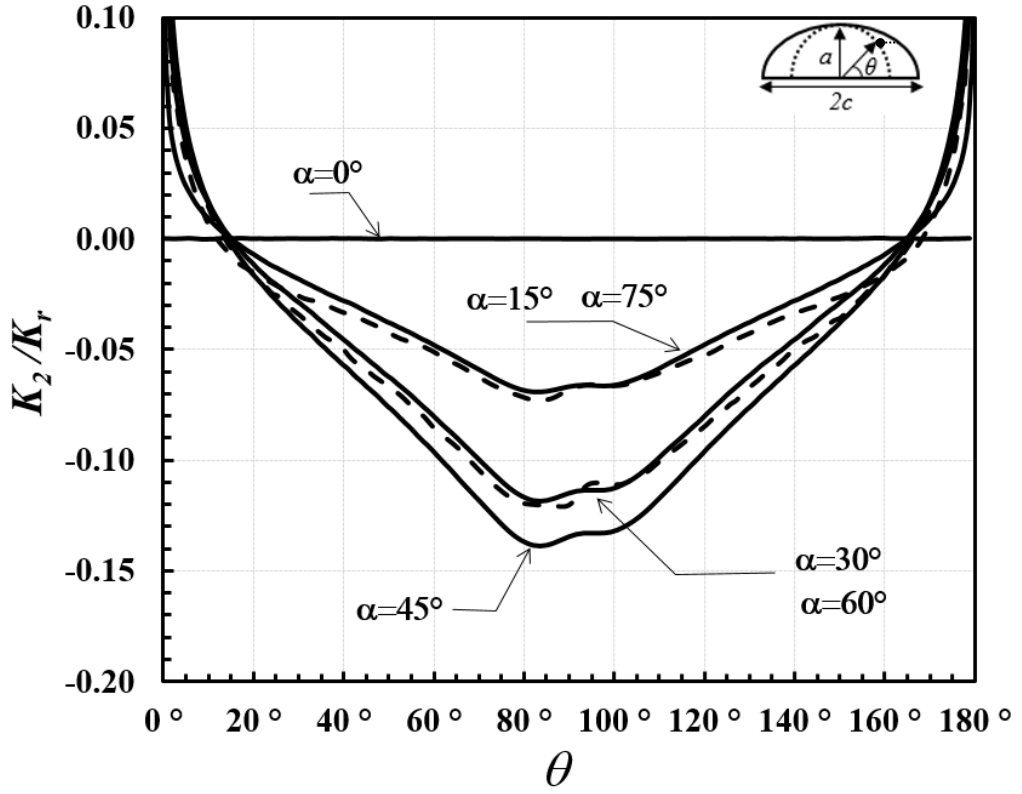
Şekil 3.125.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



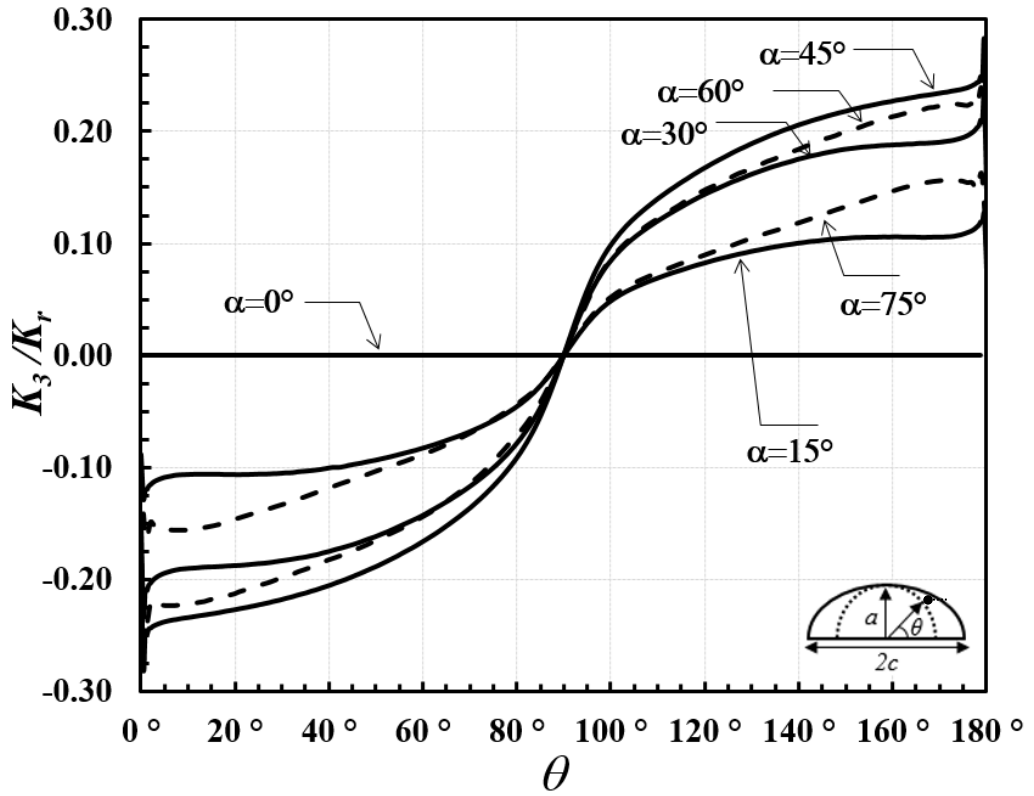
Şekil 3.126.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



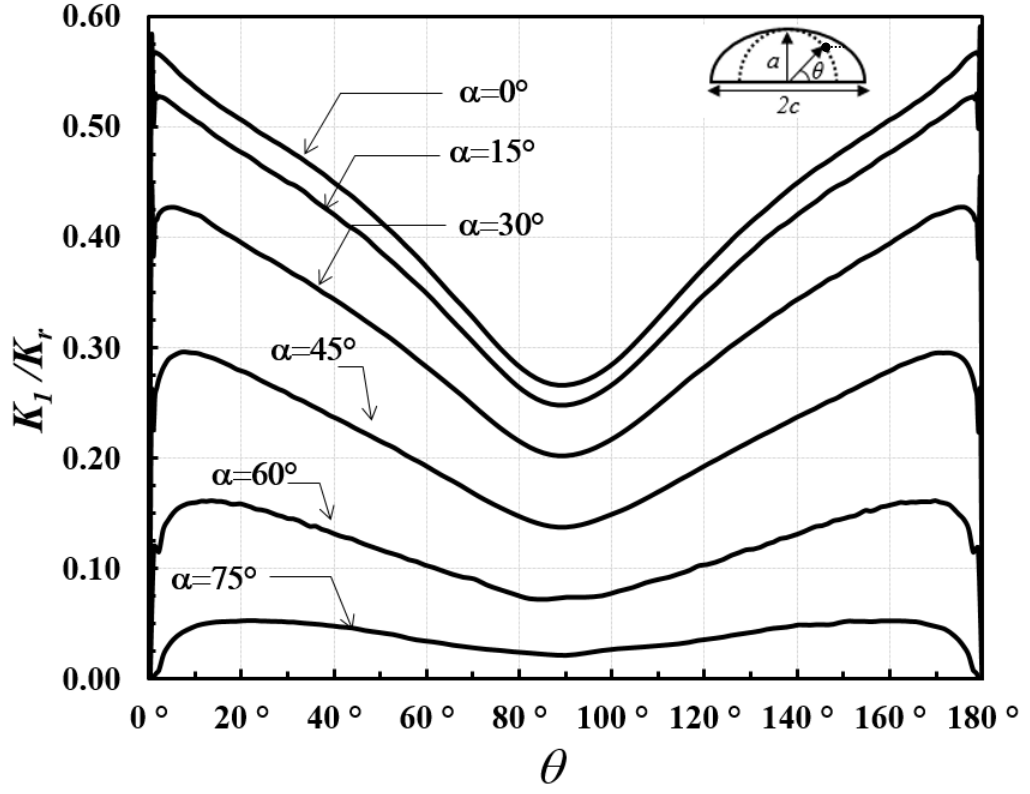
Şekil 3.127.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



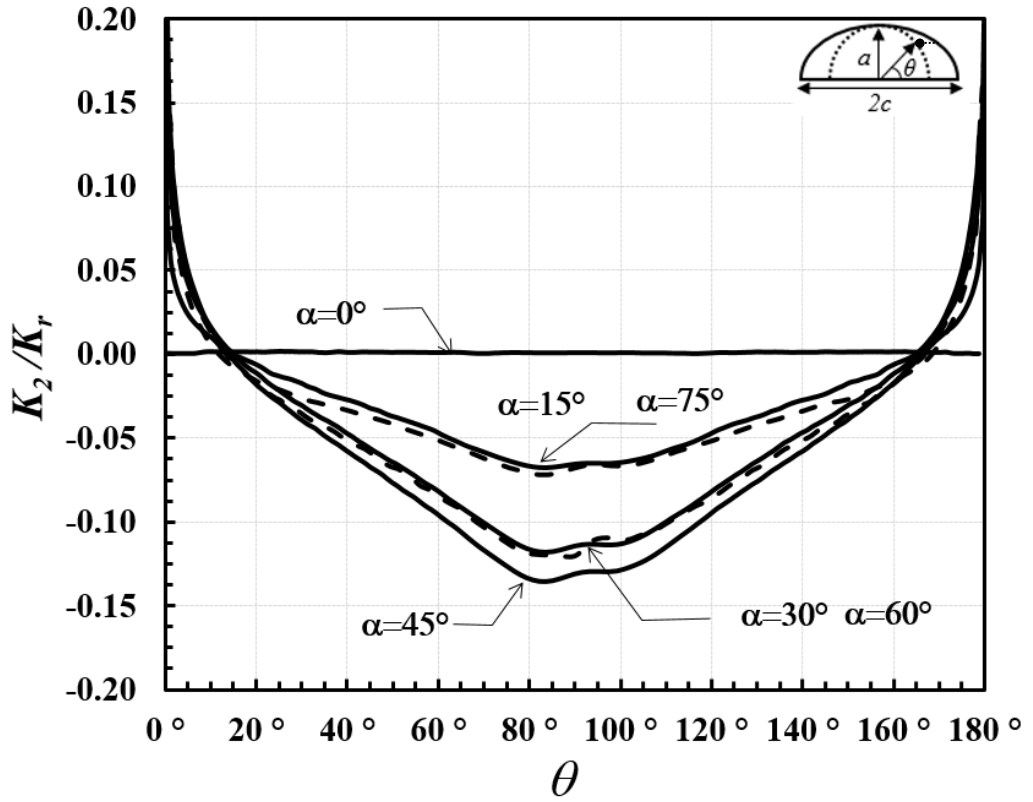
Şekil 3.128.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



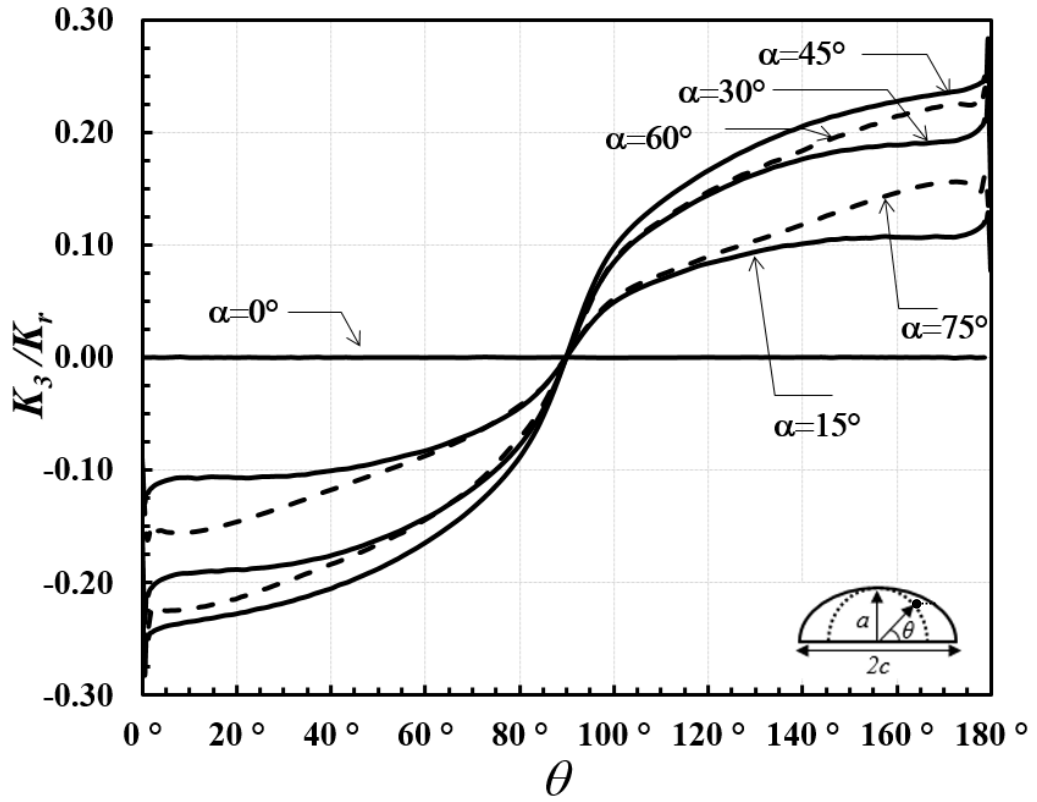
Şekil 3.129.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



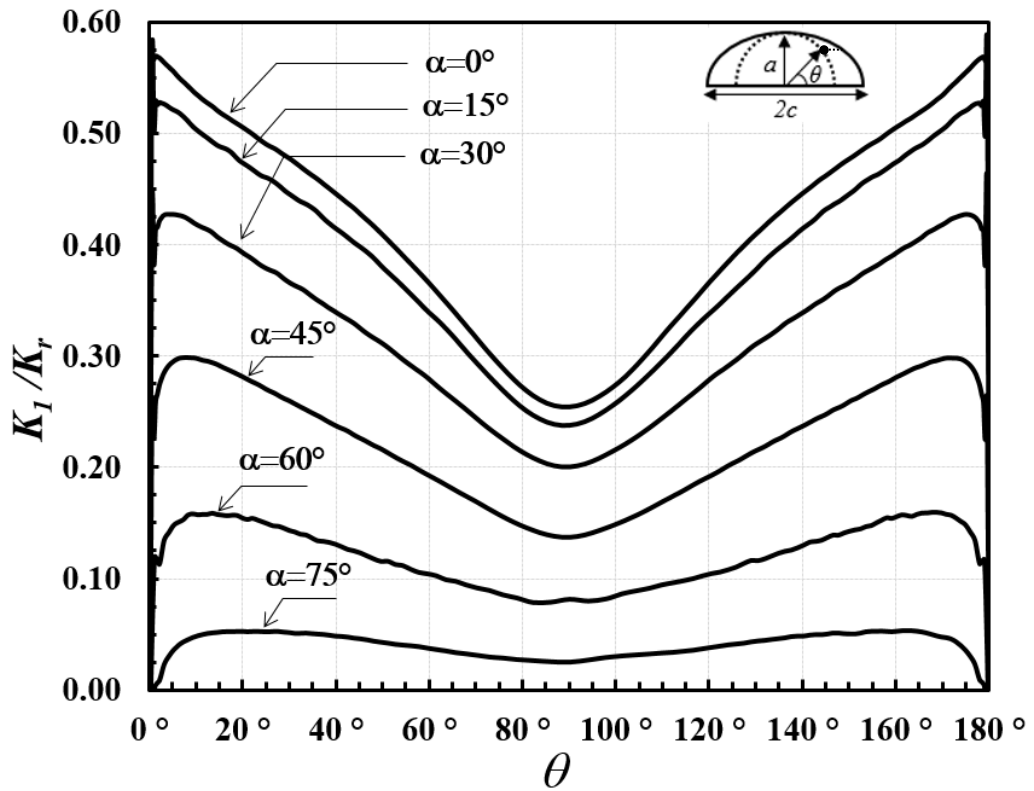
Şekil 3.130.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



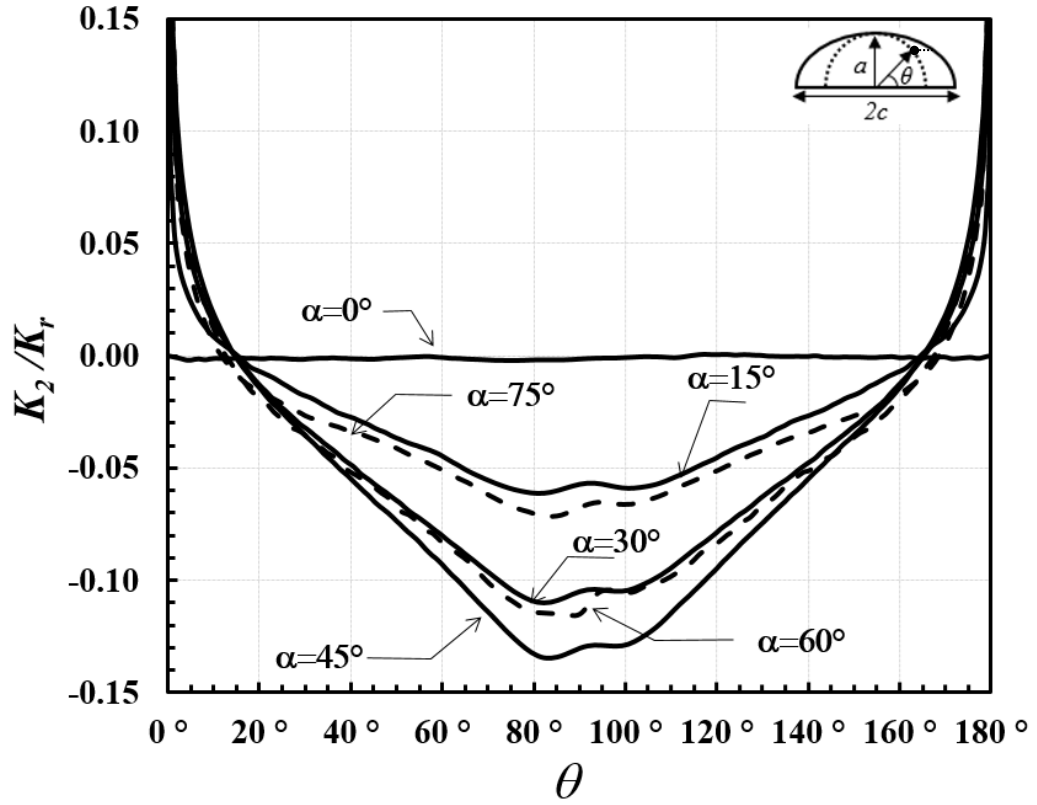
Şekil 3.131.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



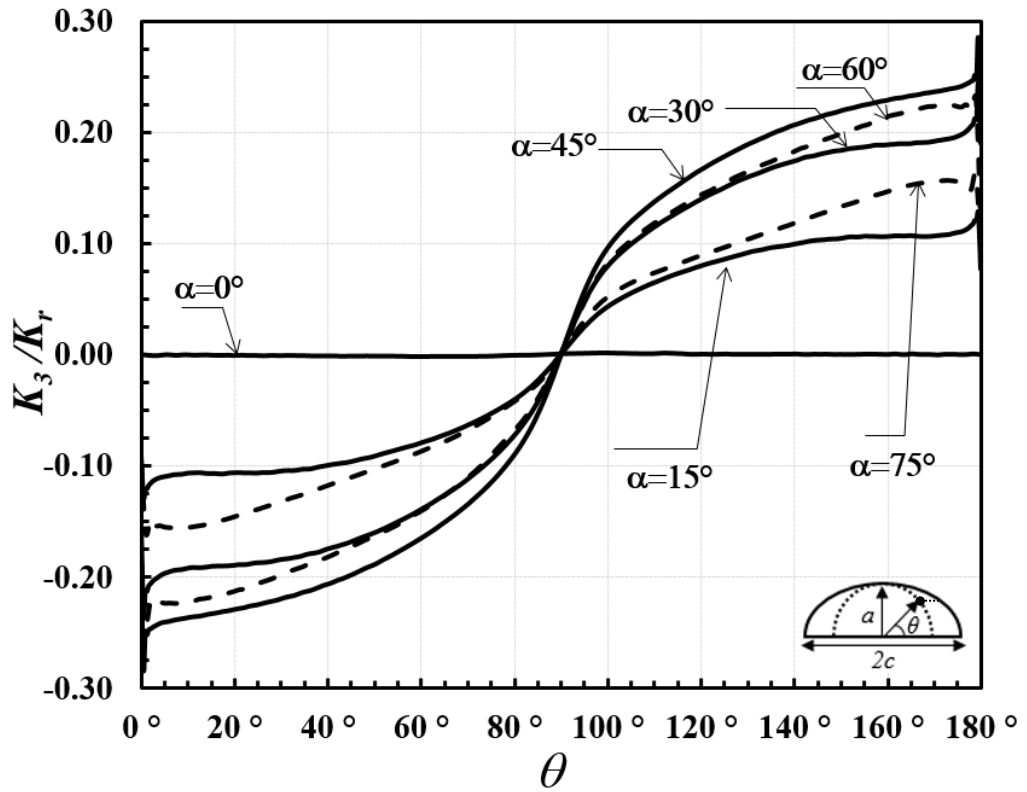
Şekil 3.132.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.133.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.134.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

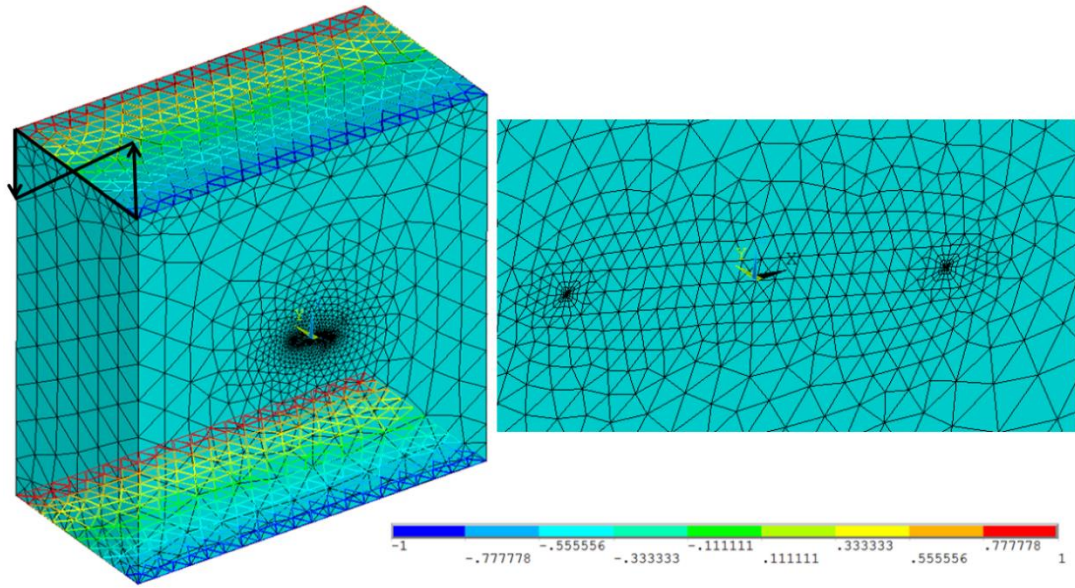


Şekil 3.135.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



### 3.4. Eğilme Gerilmesine Maruz Levhada Bulunan Eğik Çatlak Analizleri

Bu kısımda analiz grubu olan eğilme gerilmesine maruz bir levhadaki eğik çatlak için GŞF değerleri verilmektedir. Analizlerde kullanılan  $a/c$  (çatlak derinliği/çatlak uzunluğu) değerleri 0.25, 0.5, 1, 2, 4;  $a/t$  (çatlak derinliği/et kalınlığı) oranları sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8; çatlağın yatay eksenle yaptığı açı olan  $\beta$ , 0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak ele alınmıştır.  $\theta$  açısı ise çatlak önü (crack front) konumsal açıdır. Konumsal açı 0'dan 180 dereceye kadar değişmektedir. Yapılacak analizlerde çatlak derinliği ( $a$ ) 1 birim olarak alınmaktadır. Levhanın genişliği ve yüksekliği ise eliptik çatlağın çatlak uzunluk veya derinliğinden hangisi daha büyük ise bu boyutun on katı olarak belirlenmiştir. Böylece modeller ANSYS ortamında oluşturulmakta ve ağ bölüntülenmesi yapılmaktadır. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlakların ağ bölüntülenmesinde Bölüm 3.2.'deki modeller kullanılmıştır. Eğilme momentinin uygulandığı üst ve alt levhadaki bölüntü daha fazla sıklaştırılıp daha sonra sınır şartları tanımlanmaktadır. Eğilme durumundaki sınır şartında, kalınlık yönünde levhanın merkezinde sıfır olacak şekilde lineer yayılı yük gerilmesi alt ve üst taban alanlarına uygulanarak eğilme momenti oluşturulmuştur. Alt taban köşelerinden bir nokta üç ekseninde, diğer bir nokta iki ekseninde ve başka bir nokta tek ekseninde sabitlenmiştir. Böylece levha parçasının rijit cisim hareketi kısıtlanmıştır. Daha sonra, modelden FCPAS verileri alınarak, FCPAS ile kırılma analizi yapılır. FRAC3D kullanılarak karışık mod GŞF'leri hesaplandıktan sonra uygulanan gerilme ve  $a/c$  oranına bağlı olan bir referans  $Kr$  değeri ile Denklem 3.2-3.4'teki denklemler kullanılarak normalize edilmektedir. Şekil 3.136.'da eğilme gerilmesine maruz ve eğik çatlak içeren levhanın sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.136.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$ ,  $\alpha=15^\circ$  olan eğik yüzey çatlakına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

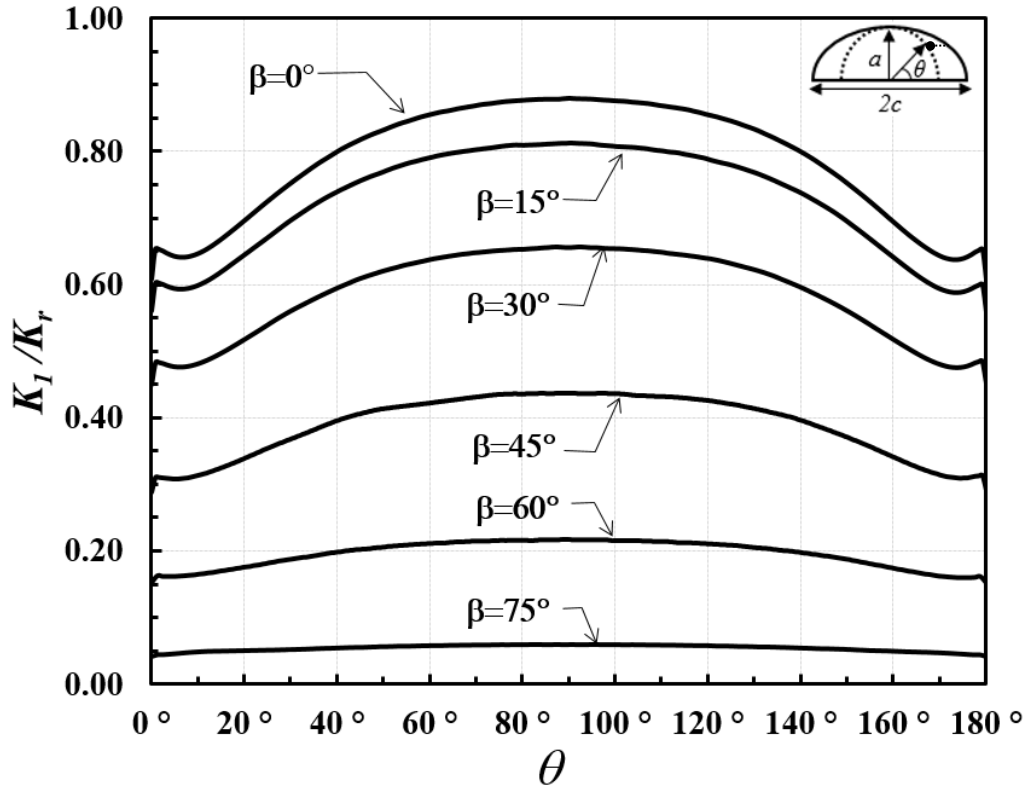
Şekil 3.137.-3.196. arasındaki grafikleri daha iyi anlamak için, normalize edilmiş mod-II ve mod-III GŞF'leri,  $\beta=60$  ve  $75$  derece durumları kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Çatlak derinliği ( $a$ ) sabit kaldığında levhanın et kalınlığı azaldıkça normalize edilmiş  $K_1$  değerleri çatlak ucu derinlik noktalarında azalmaktadır. Levha kalınlığının azalması, çatlak ucu derinlik noktasının levha arka yüzeyine mesafesinin azalmasıyla daha düşük GŞF değerleri oluşmaktadır. Çatlakın yatay eksenle yaptığı açının  $0$  derece olması sadece mod-I problemidir ve diğer açılar olan  $15$ ,  $30$ ,  $45$ ,  $60$ ,  $75$  derece durumları ile çatlak ucu bölgesinde karışık mod gerilme durumu ortaya çıkmaktadır.

Mod-I (açılma modu) sonuçlarında sabit  $a/c$  değerlerinde levhanın et kalınlığı azaldıkça, oluşan GŞF değerleri çatlak ucu derinlik noktasında azaldığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. Yine sabit  $a/c$  değerinde levhanın et kalınlığı azaldıkça, çatlak ucu derinlik noktası yüzey noktalarına göre daha fazla sıfır değerine yaklaşmaktadır.  $0$  derece saf açılma modu olduğundan GŞF değeri en yüksektir.  $0$  derecede kayma ve yırtılma modlarının olmadığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. Eğiklik açısı  $\beta$  arttıkça, çatlak önü boyunca mod-I GŞF değerlerinin azaldığı Şekil 3.137.'de gözükmektedir.  $a/c$  değeri  $1$  ve daha büyük olduğunda, normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin sıfırın altına düştüğü görülmektedir. Mod-I değerlerinin sıfırın

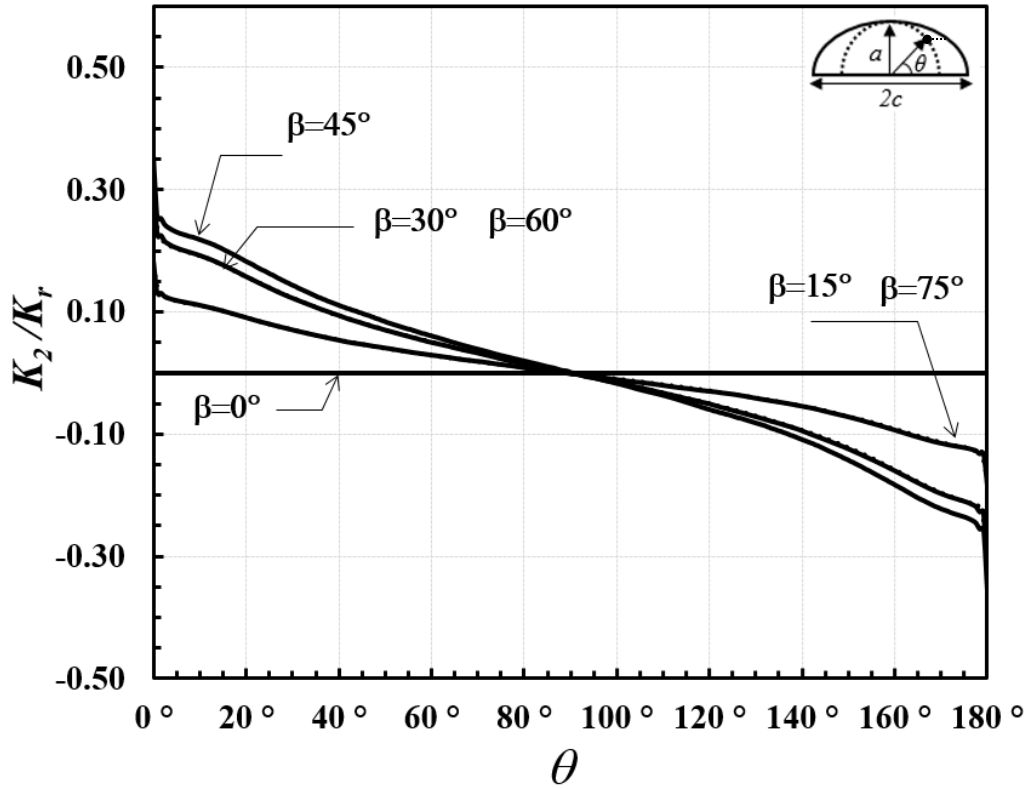
altına düştüğü yerlerde çatlak yüzeyleri kapanmaktadır. Mod-I GŞF değerlerinin sıfırın altına düştüğü kısımları mod-II ve mod-III GŞF değerleri için de noktalı şekilde gösterilmiştir.

Kayma modu için en yüksek GŞF değerlerinin çatlağın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede (maksimum kayma gerilmesinin olduğu düzlem) elde edildiği görülmektedir. Sıfır derecede ise normalize edilmiş  $K_2$  değeri 0'dır. Eğilme gerilmesine maruz bir levhada, aynı kayma gerilmesi değerlerine sahip olduklarından dolayı, birbirlerini 90 dereceye tamamlayan 15 ile 75 ve 30 ile 60 derece eğik açılı düzlemlerdeki yüzey çatlakları, beklendiği üzere aynı mod-II GŞF değerlerini oluşturmaktadır (Şekil 3.138.).

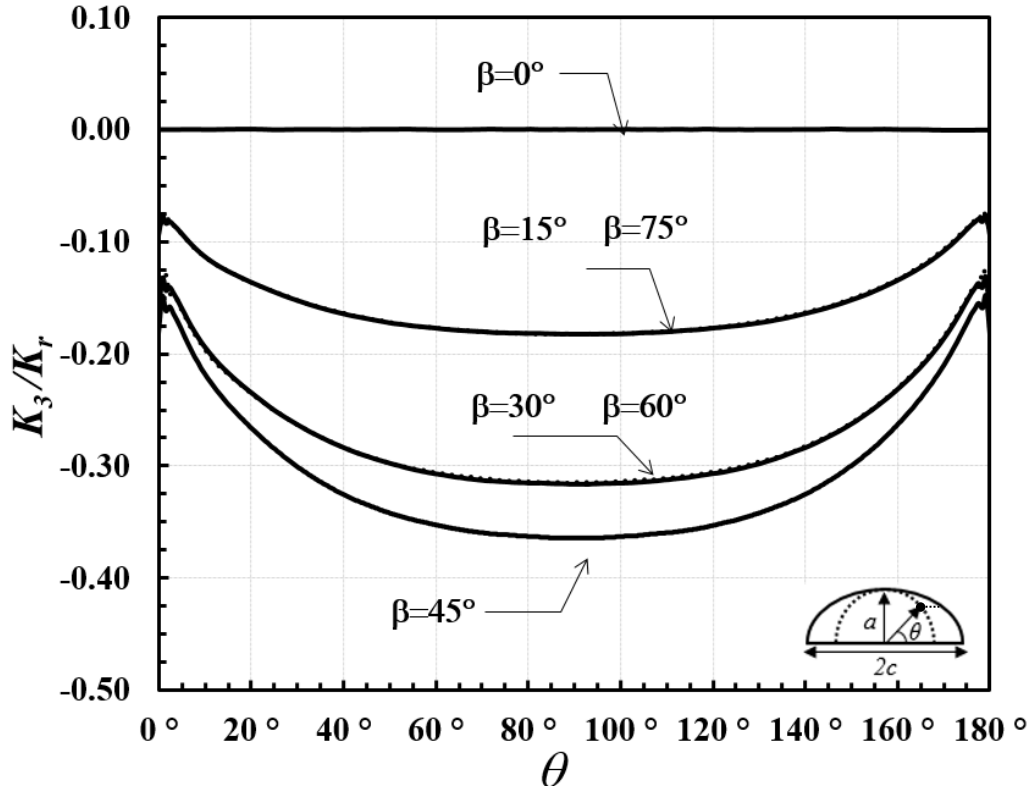
Yırtılma modunda (mod-III) kayma modunda olduğu gibi, en yüksek GŞF değerinin çatlağın yatayla yaptığı açı olan 45 derecede negatif bölgede elde edildiği görülmektedir. Birbirlerini 90 dereceye tamamlayan 15 ile 75 ve 30 ile 60 derece eğik açılı düzlemlerdeki yüzey çatlakları için de aynı mod-III GŞF değerlerinin olduğu görülmektedir. 0 derecede normalize edilmiş  $K_3$  değerleri 0 olduğu görülmektedir. Normalize edilmiş  $K_3$  değerleri simetrik bir dağılım gösterdiği Şekil 3.139.'da gözükmektedir. Elde edilen tüm kombinasyonlara göre, çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı ( $a/c$ ) 0.25, 0.5, 1, 2, 4 için çatlak derinliği/et kalınlığı oranı ( $a/t$ ) sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 durumları için karışık mod GŞF'lerinin dağılımları Şekil 3.137.-3.196.'da verilmektedir. Adı geçen grafiklerde açılma, kayma ve yırtılma için yukarıda yapılan yorumlar görülebilir. Çatlağın yüzey kısımdaki ve yüzeye yakın kısımlarında GŞF değerleri dalgalı şekilde sonuçlarda gözükmektedir. Bu ani değişimler serbest yüzey etkisinden dolayı olup, bu çalışmada dar serbest yüzey bölgesi için özel bir analiz yapılmamıştır.



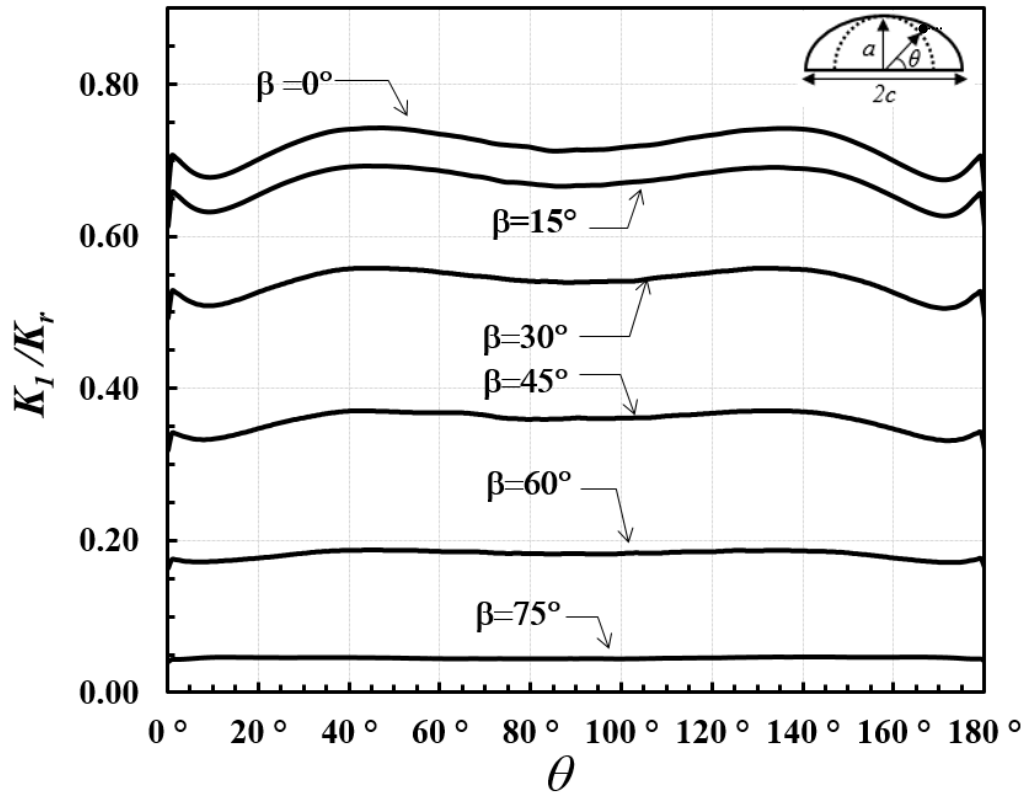
Şekil 3.137.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



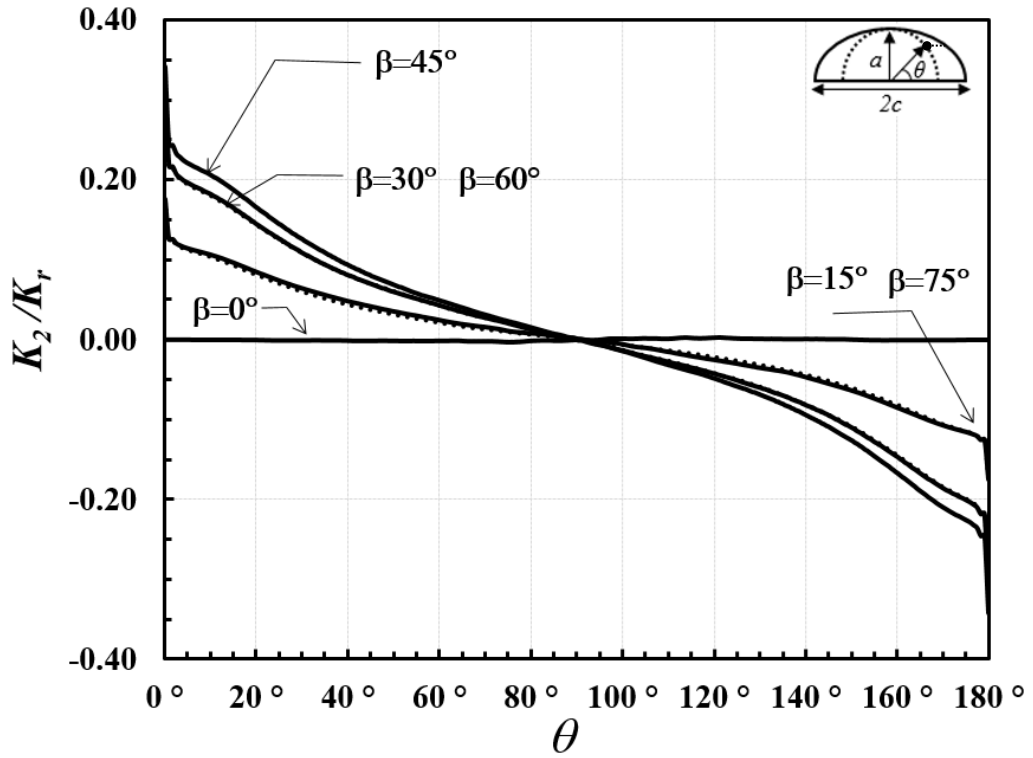
Şekil 3.138.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



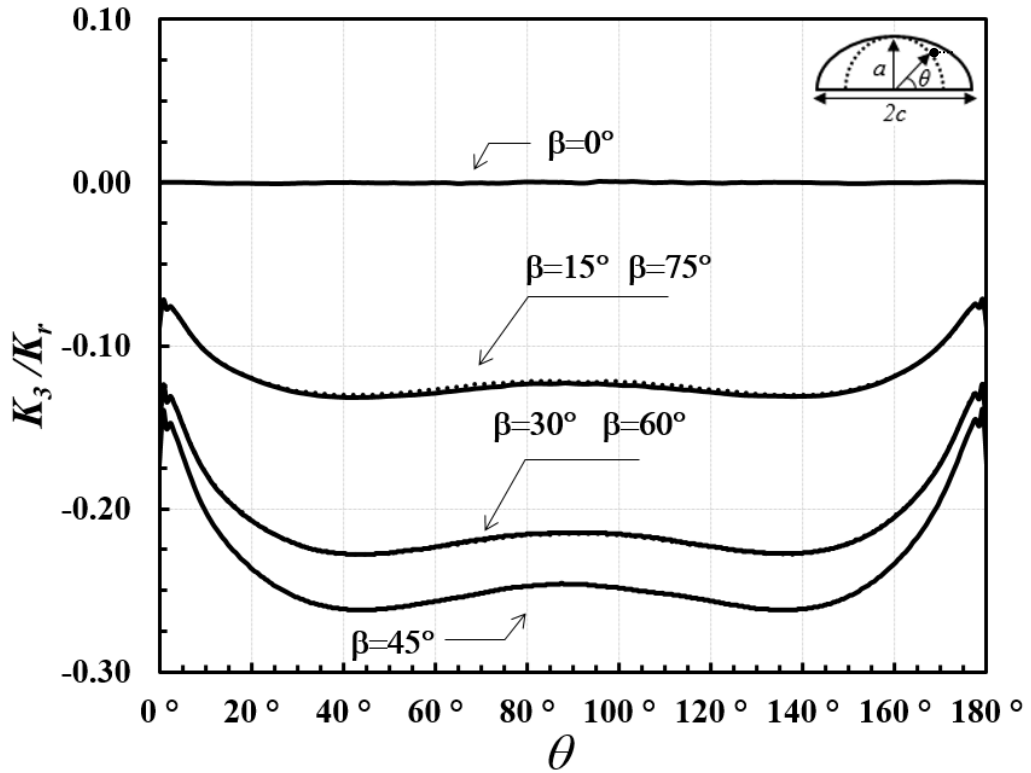
Şekil 3.139.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



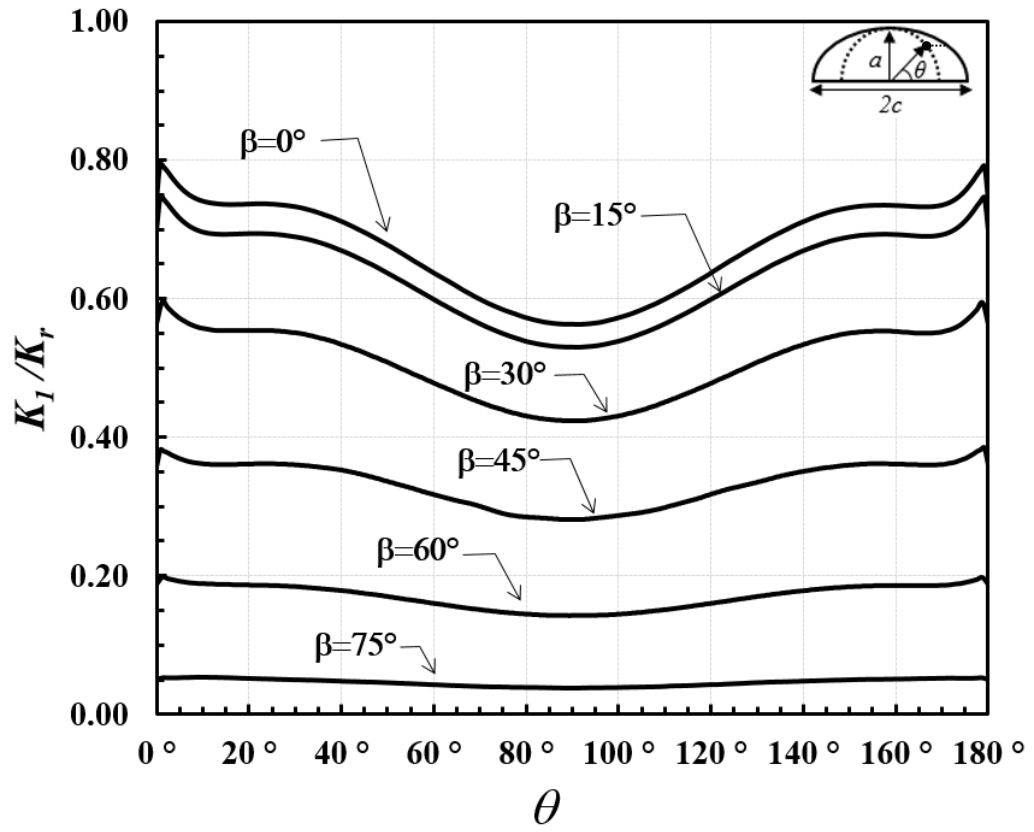
Şekil 3.140.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



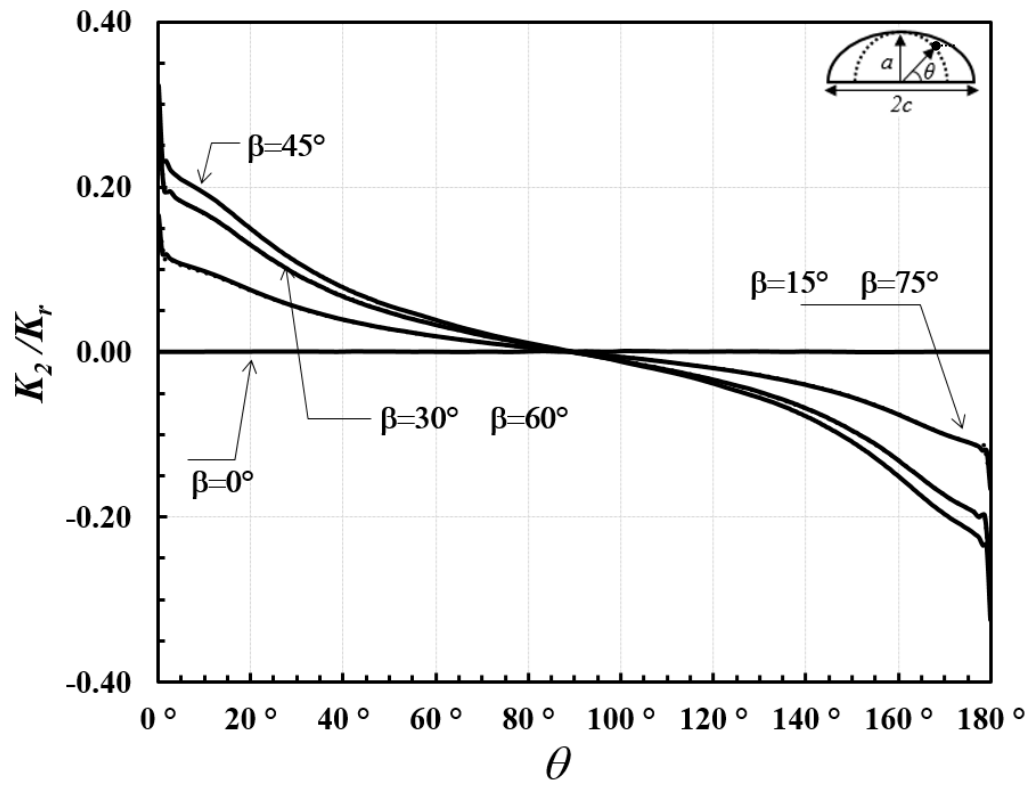
Şekil 3.141.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



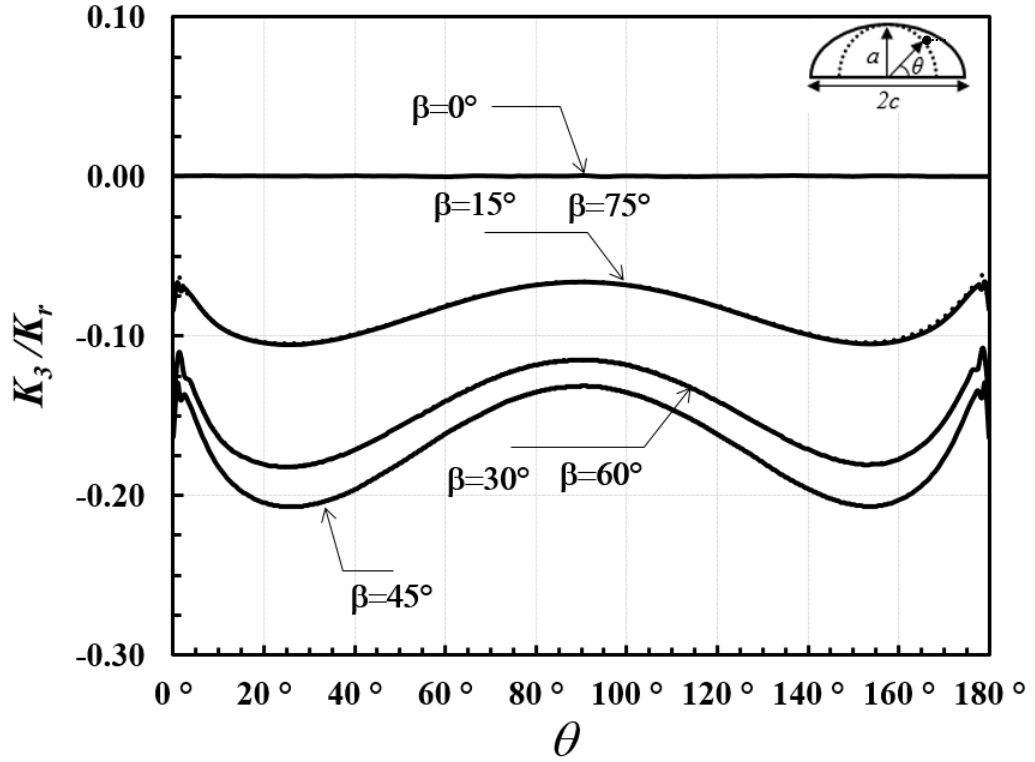
Şekil 3.142.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



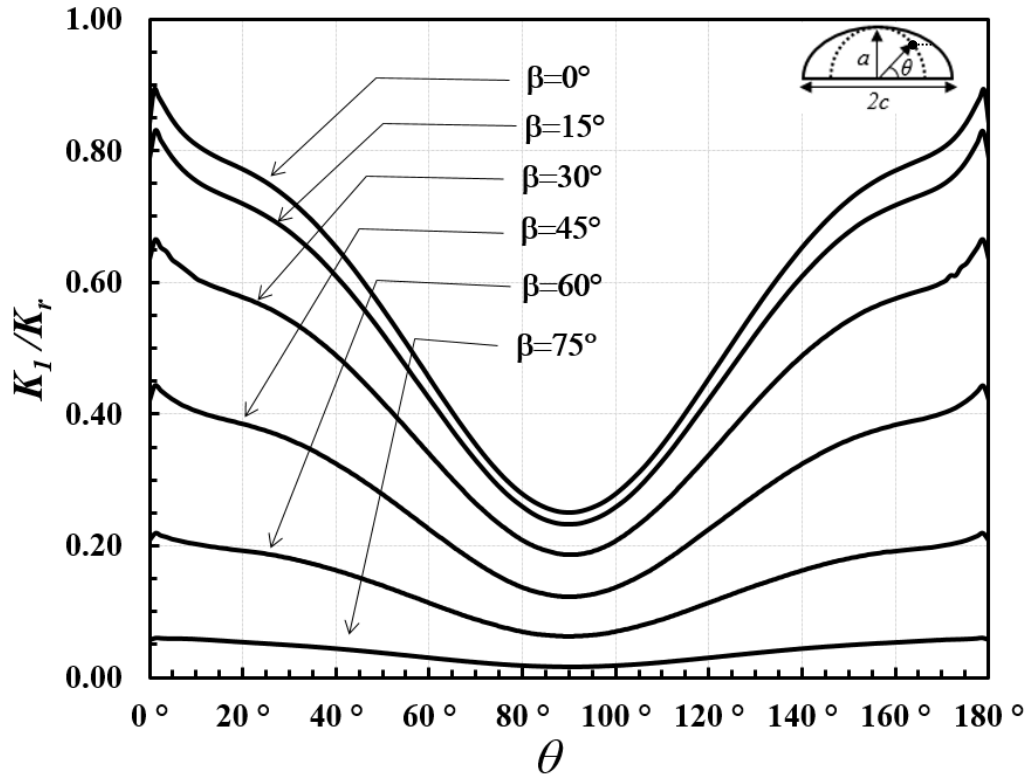
Şekil 3.143.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.144.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

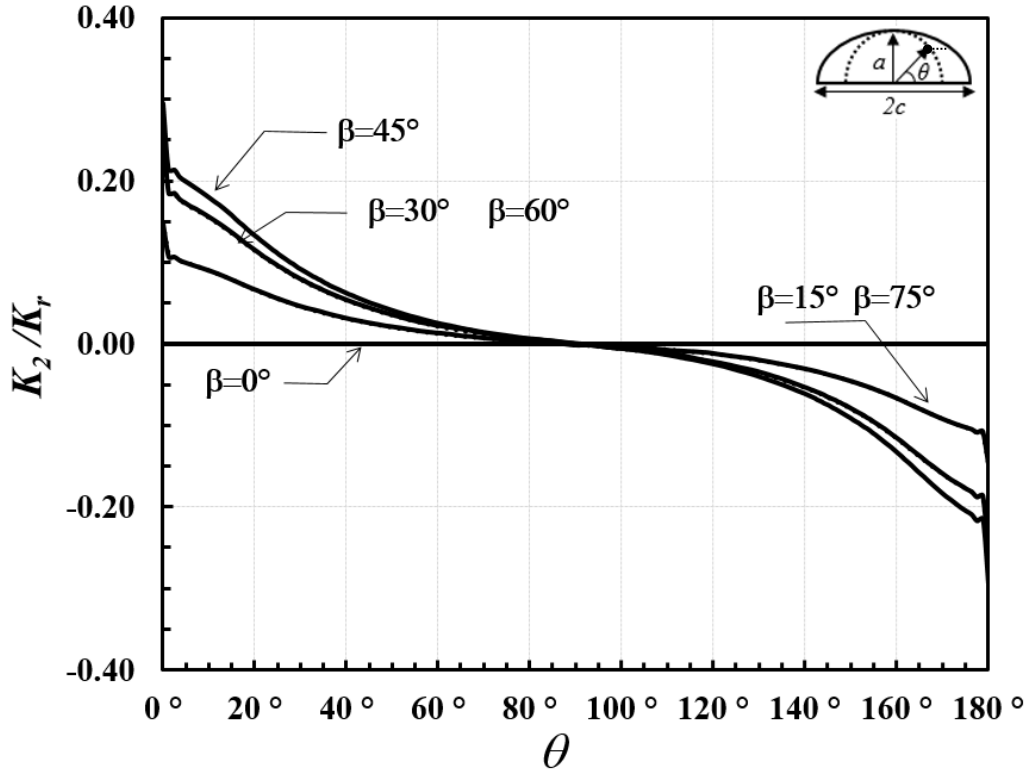


Şekil 3.145.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

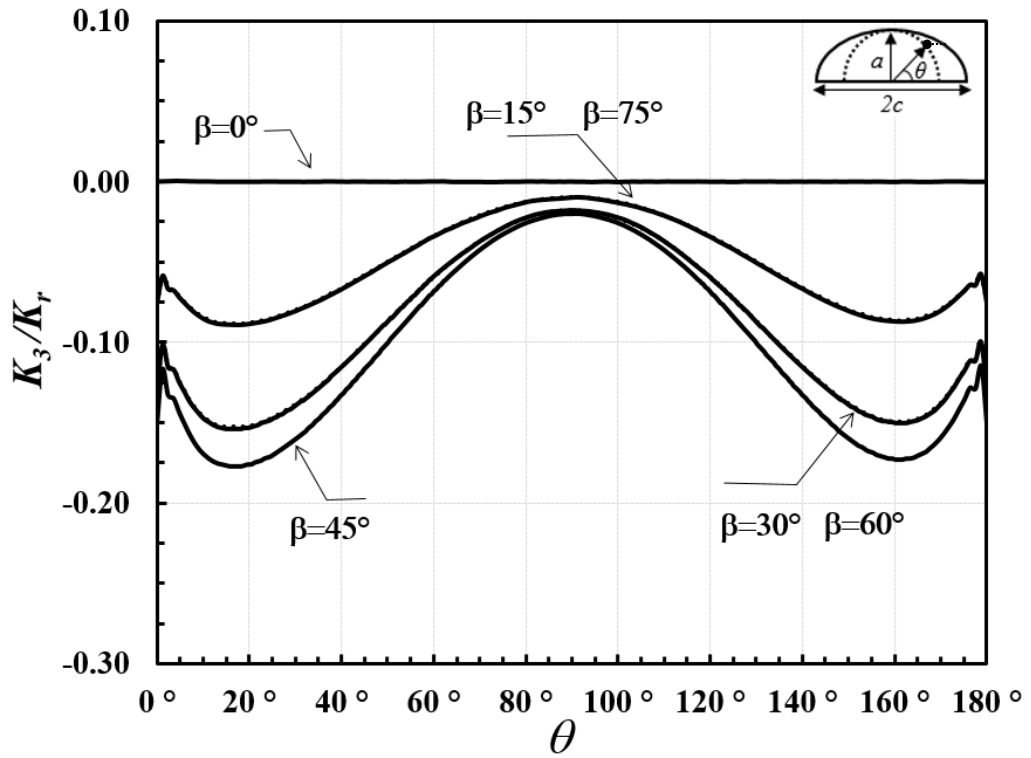


Şekil 3.146.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

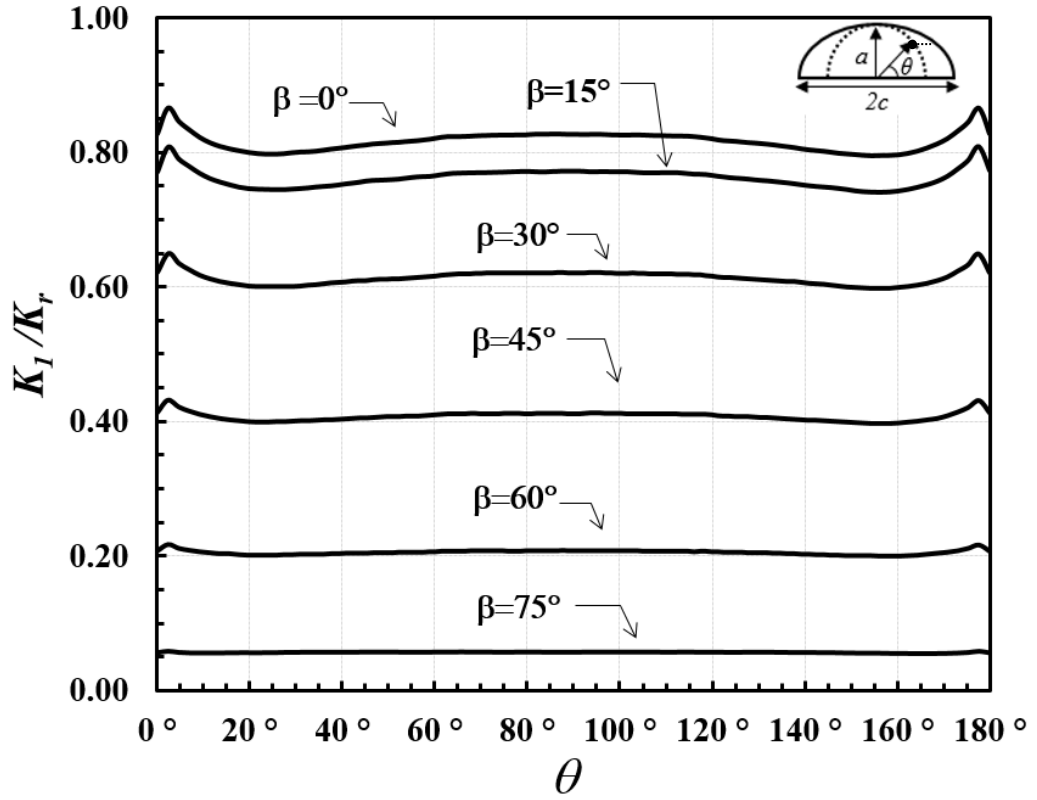




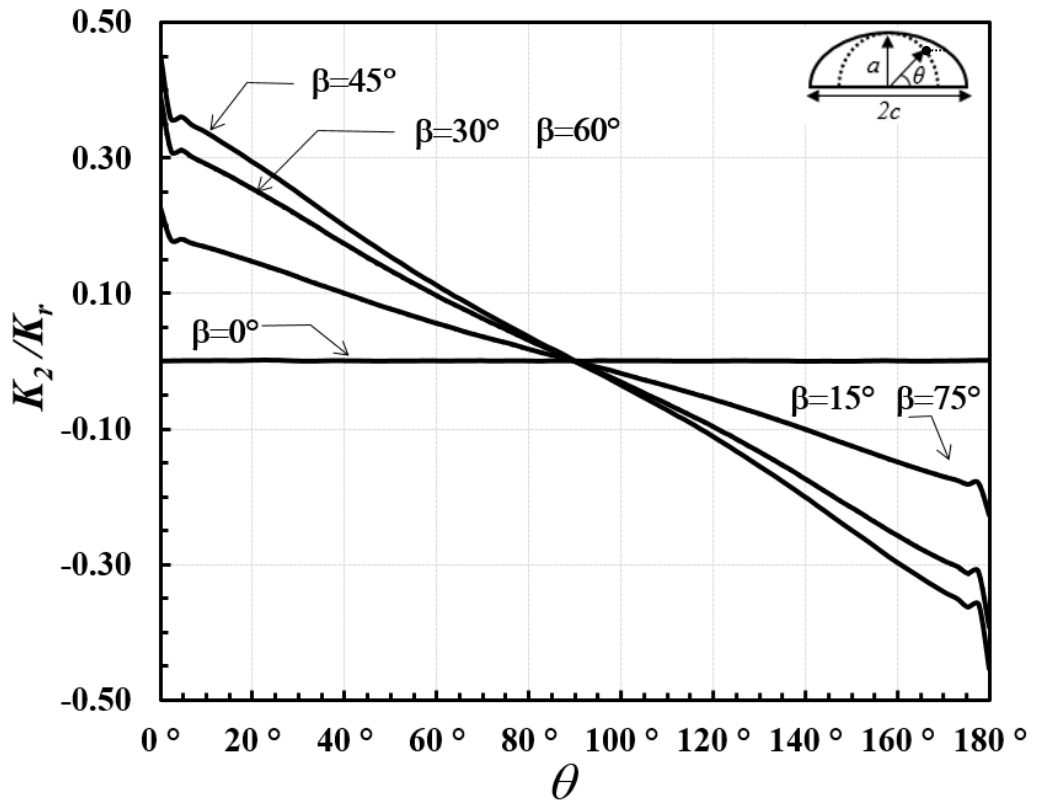
Şekil 3.147.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



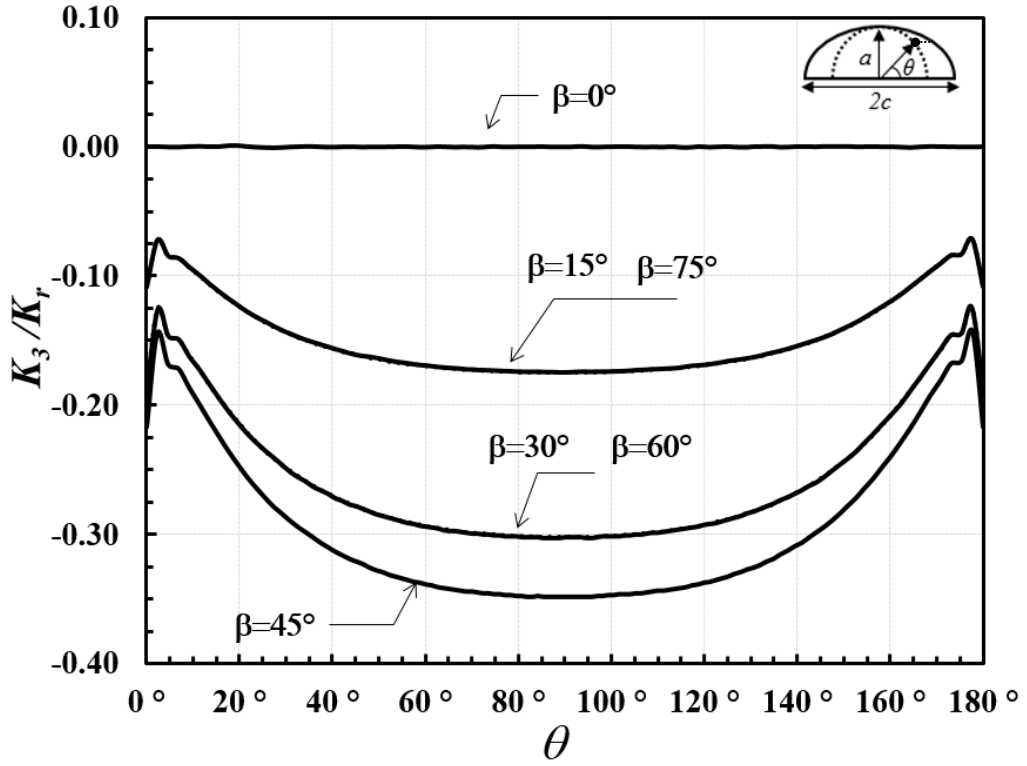
Şekil 3.148.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



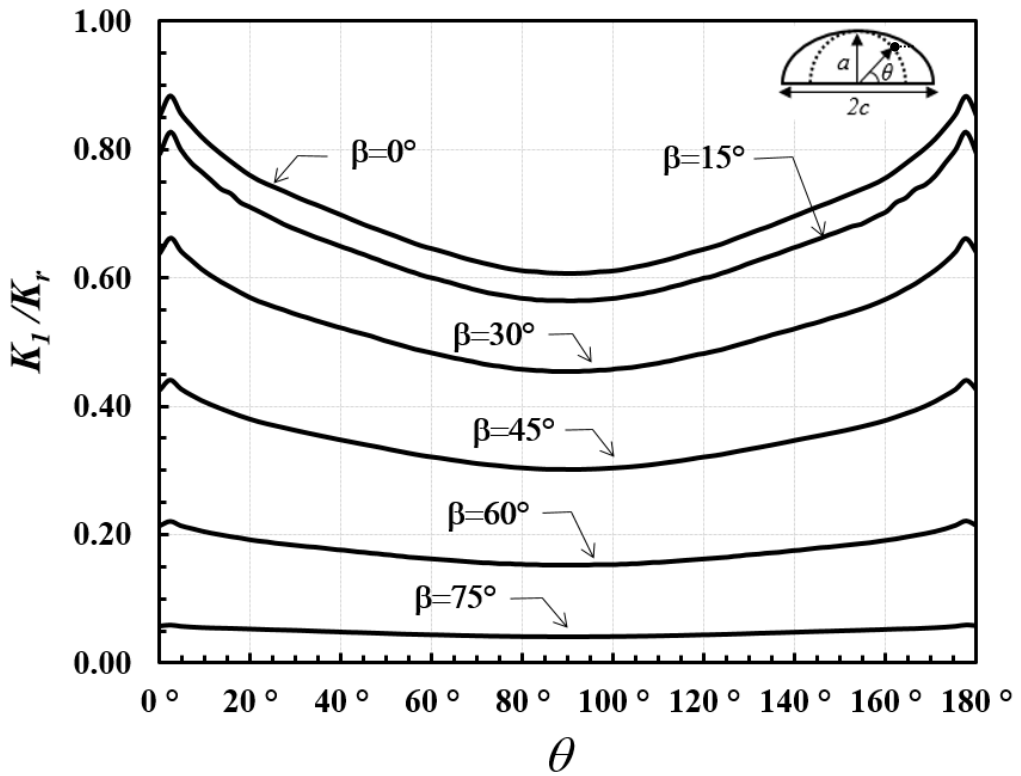
Şekil 3.149.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



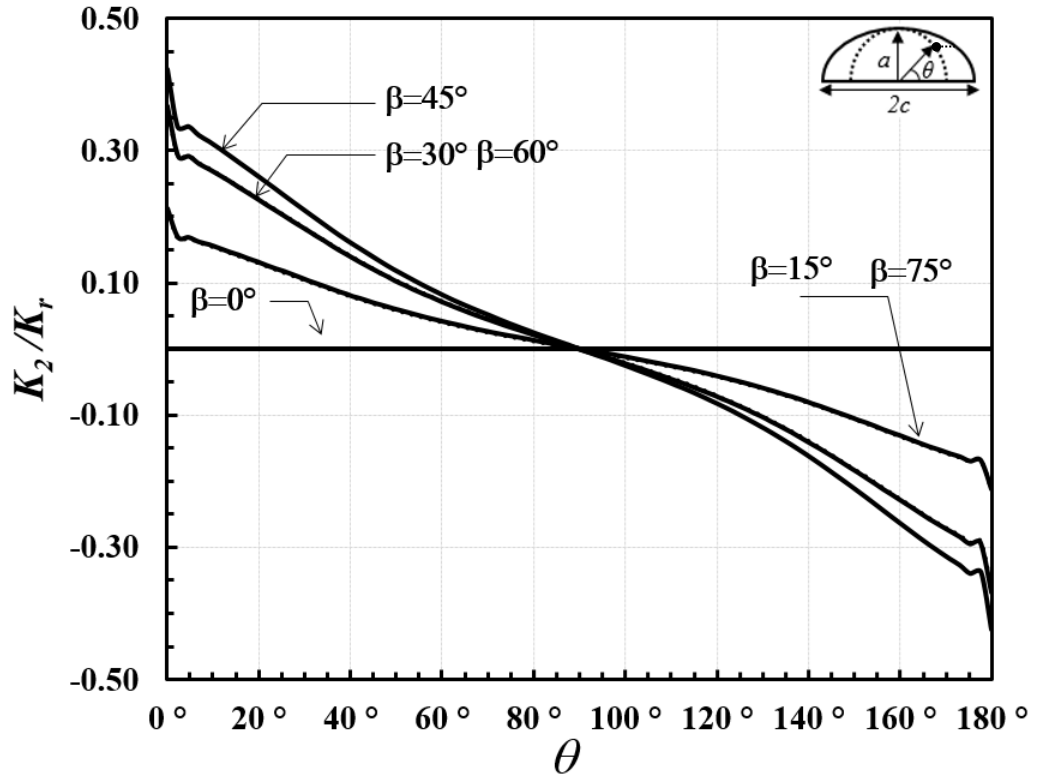
Şekil 3.150.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



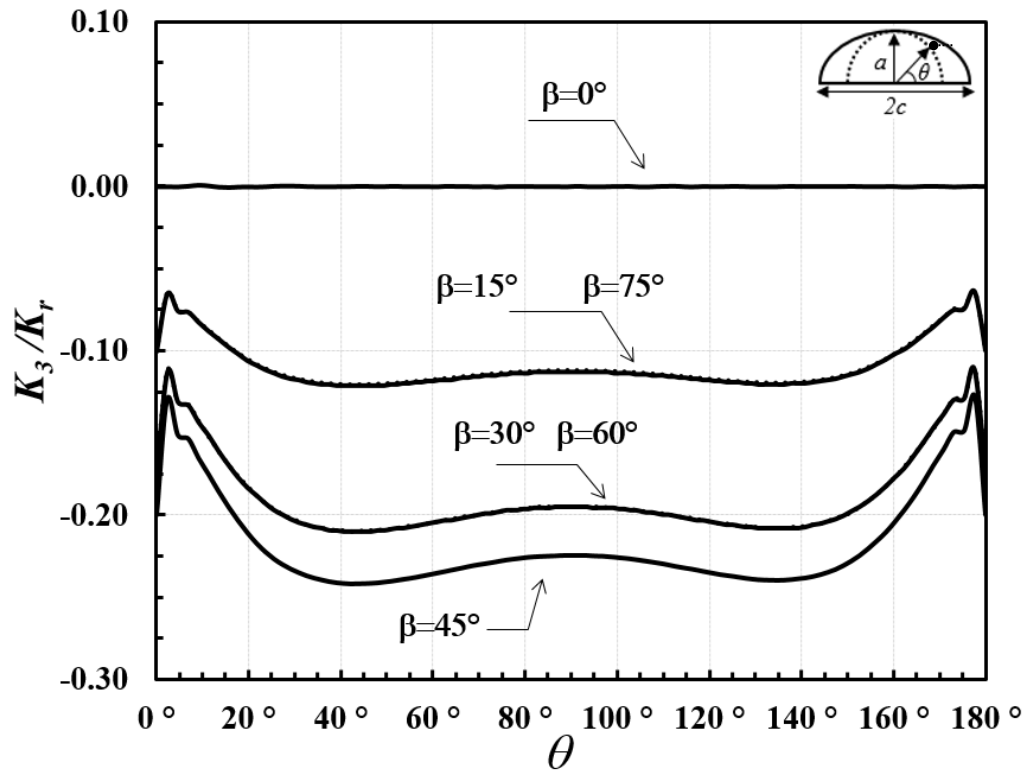
Şekil 3.151.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



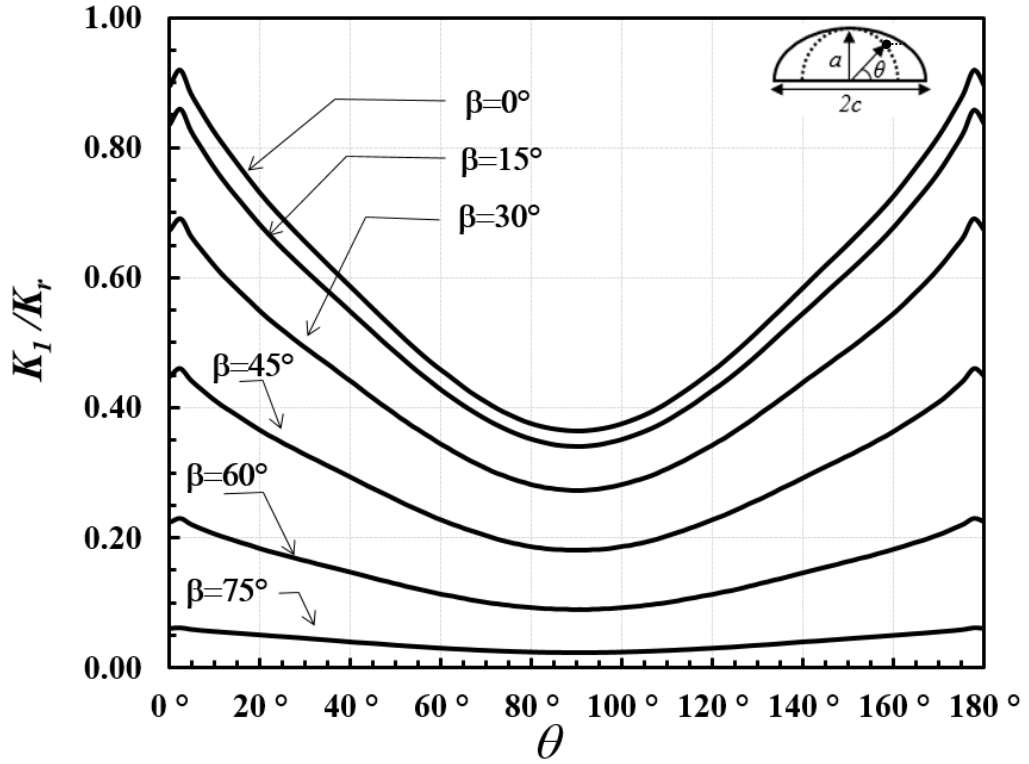
Şekil 3.152.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



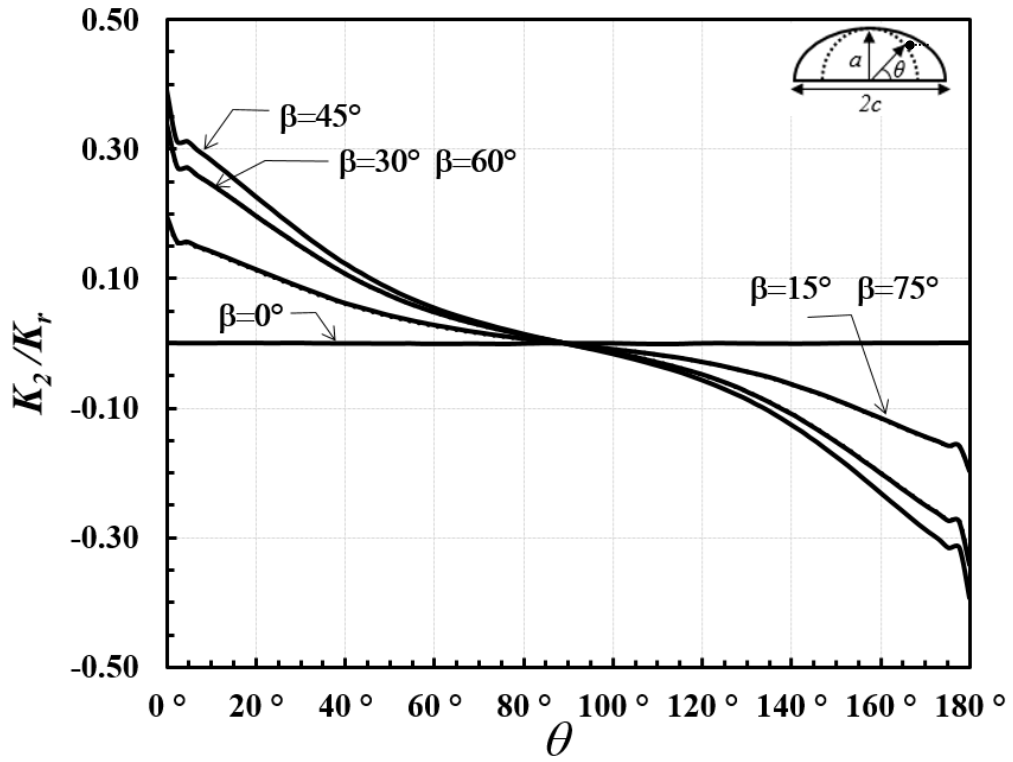
Şekil 3.153.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



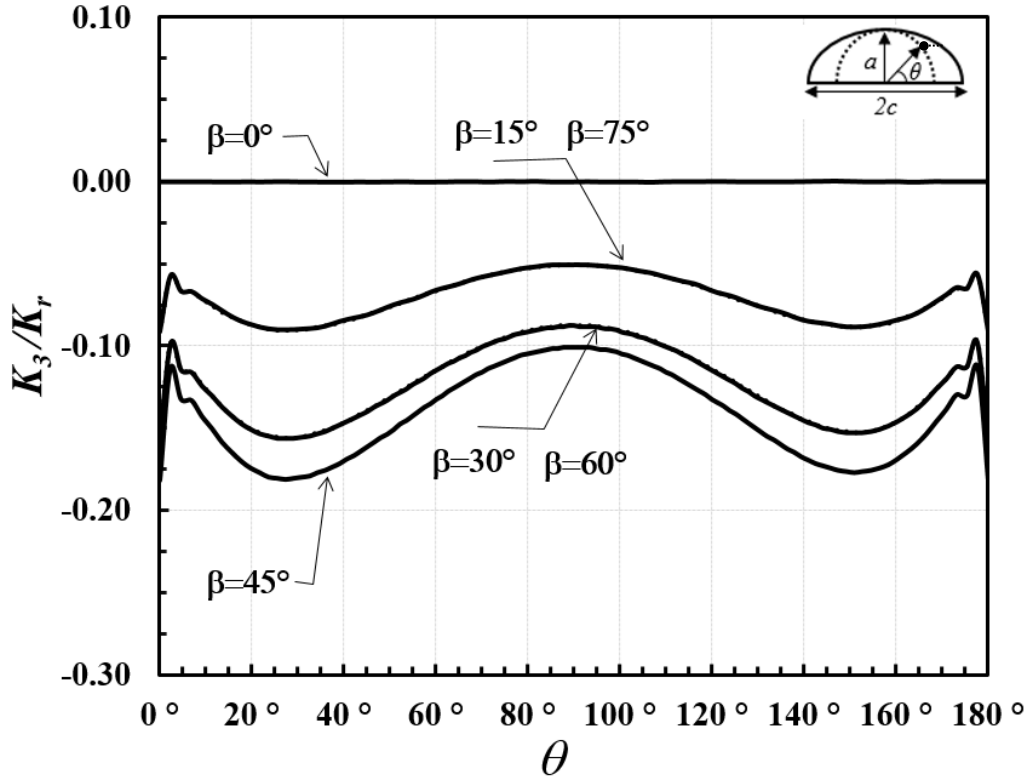
Şekil 3.154.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



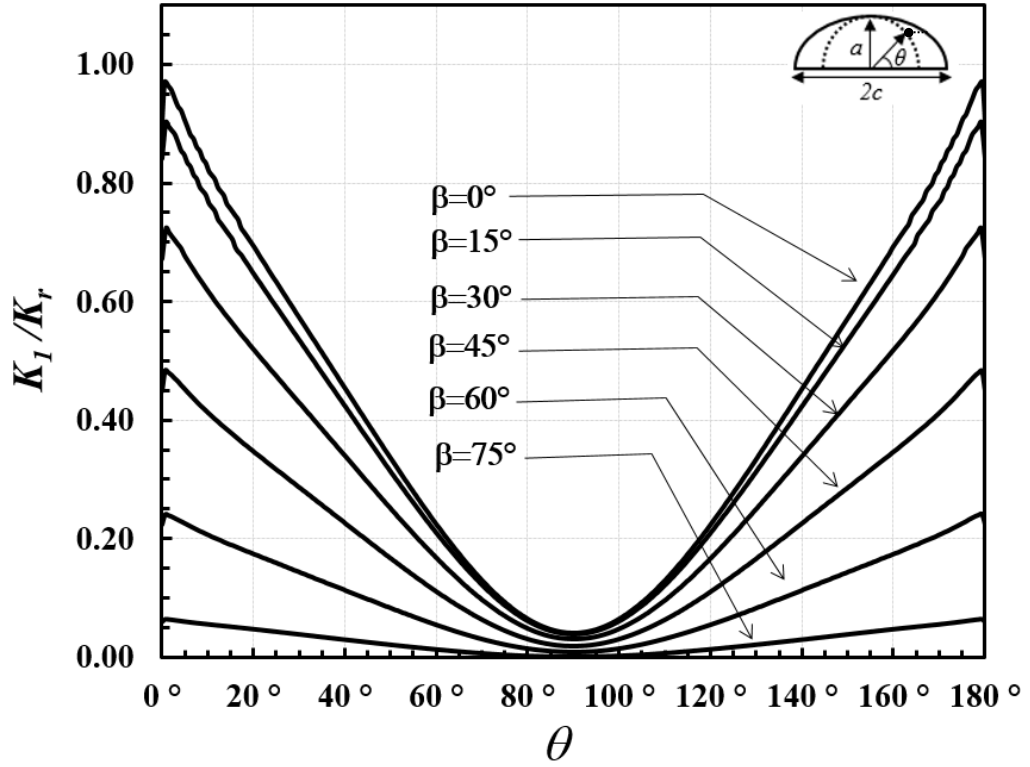
Şekil 3.155.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



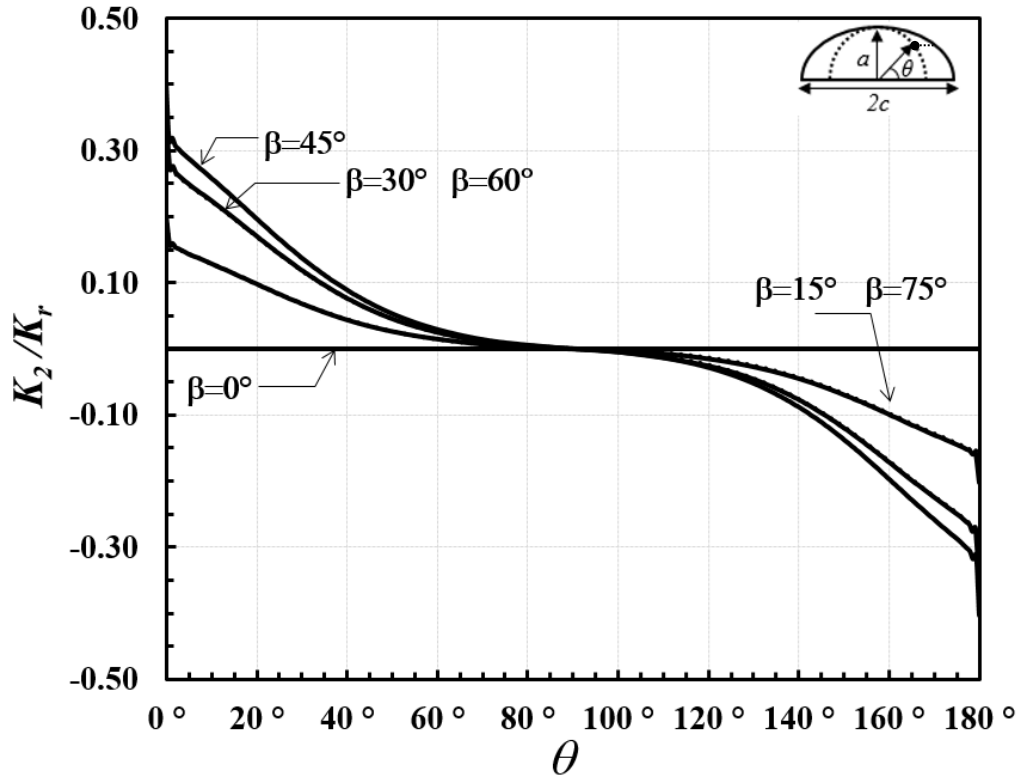
Şekil 3.156.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



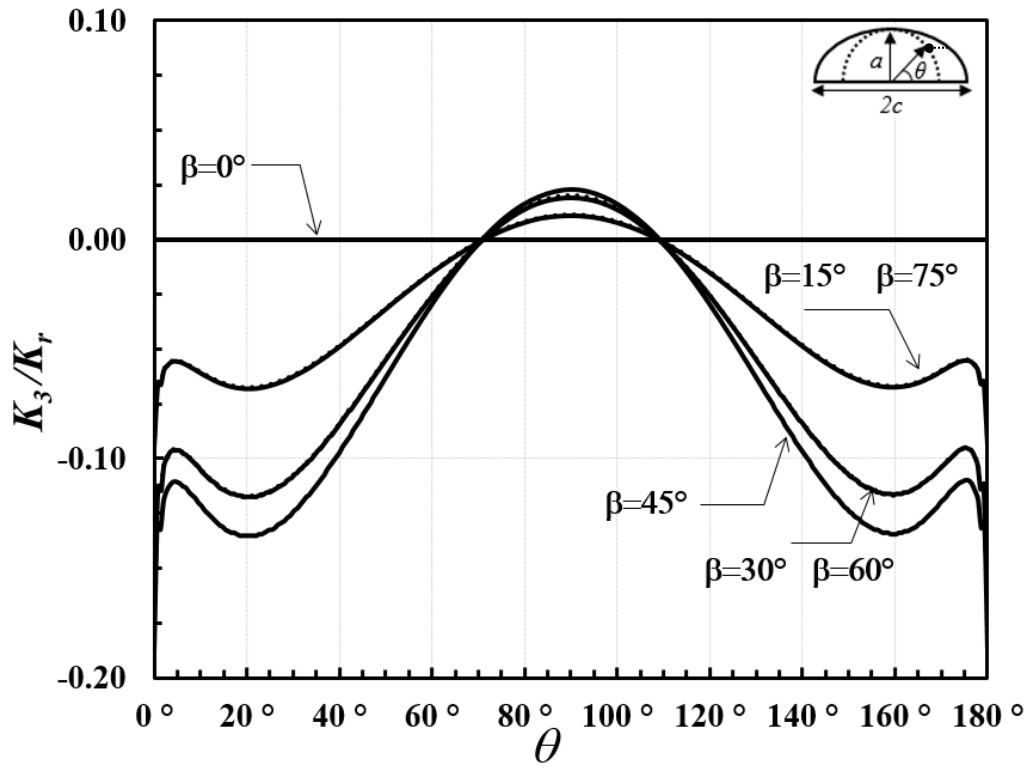
Şekil 3.157.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



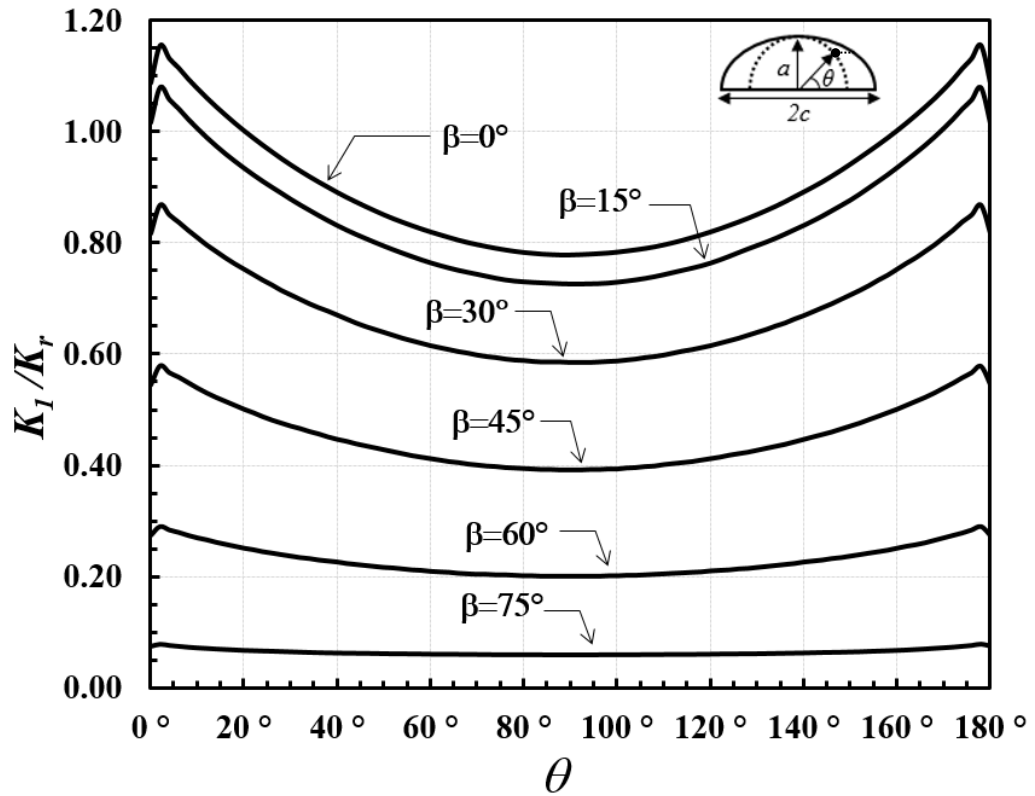
Şekil 3.158.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



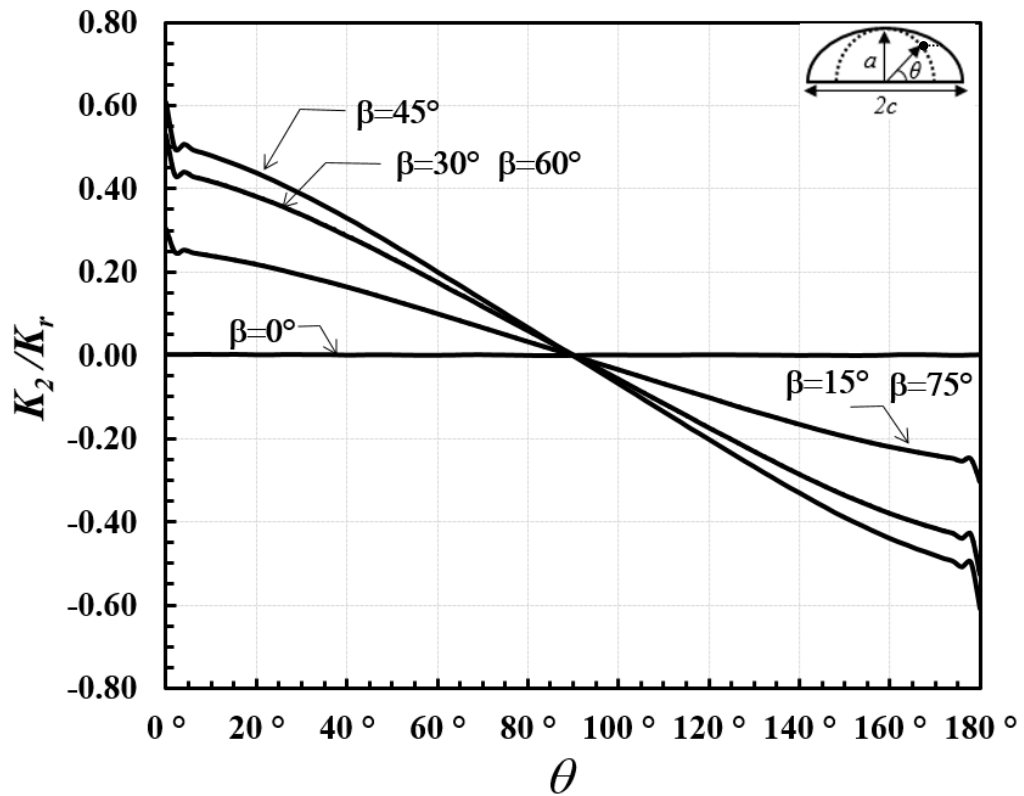
Şekil 3.159.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.160.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

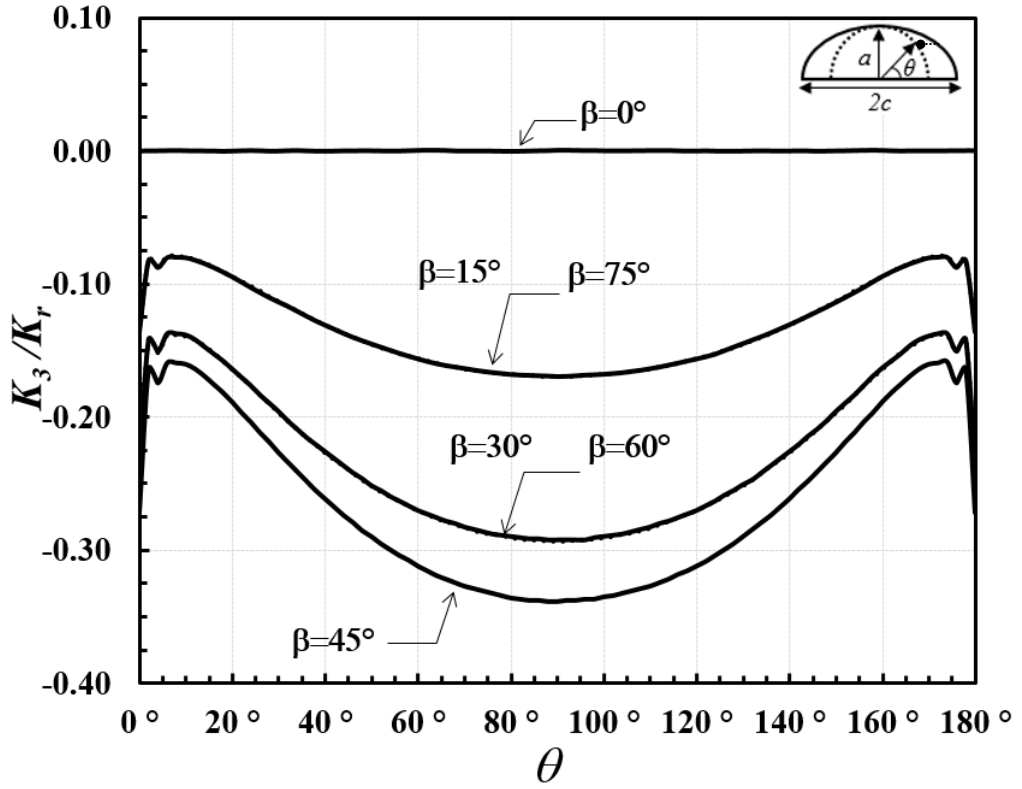


Şekil 3.161.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

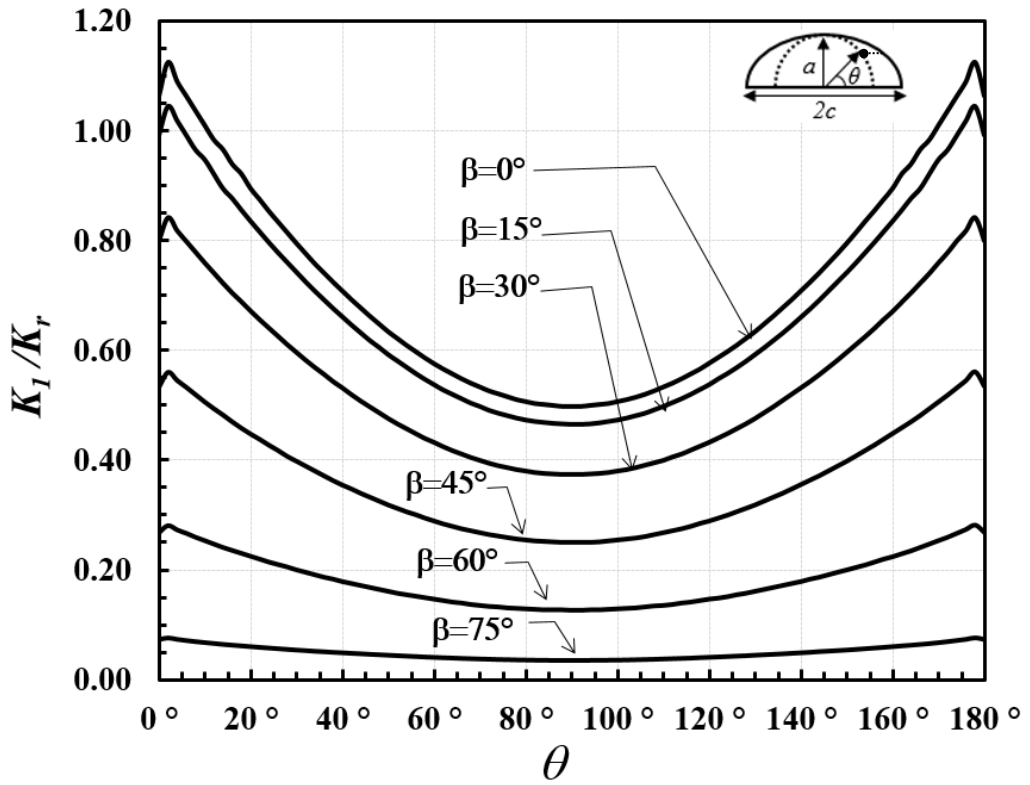


Şekil 3.162.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

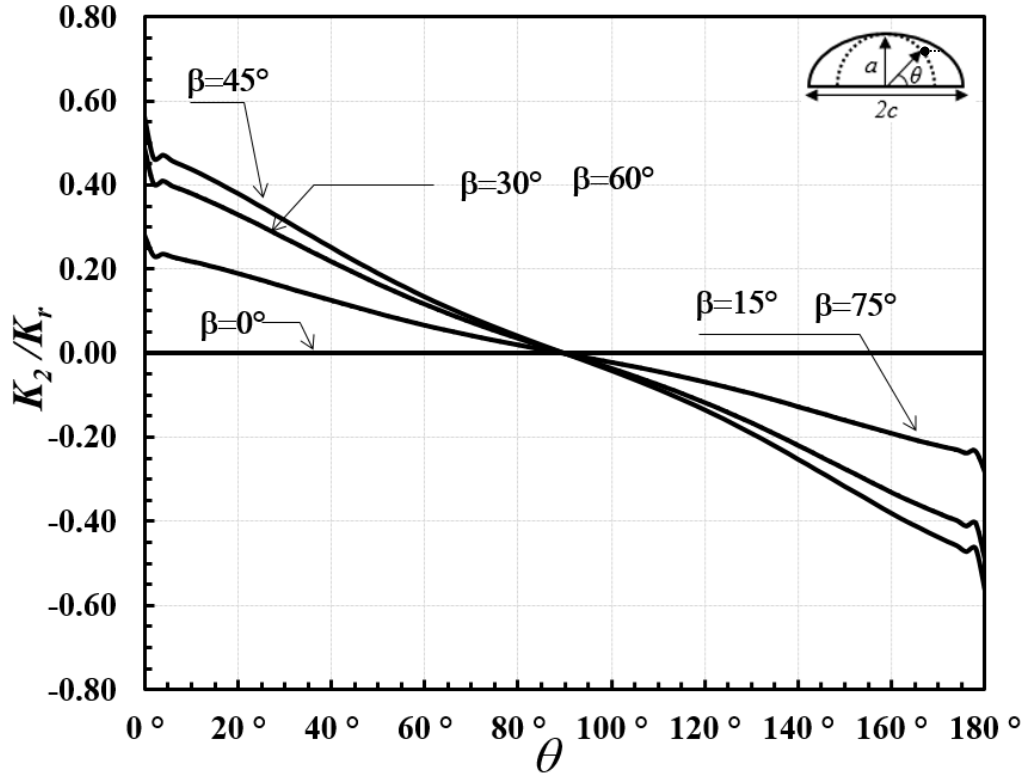




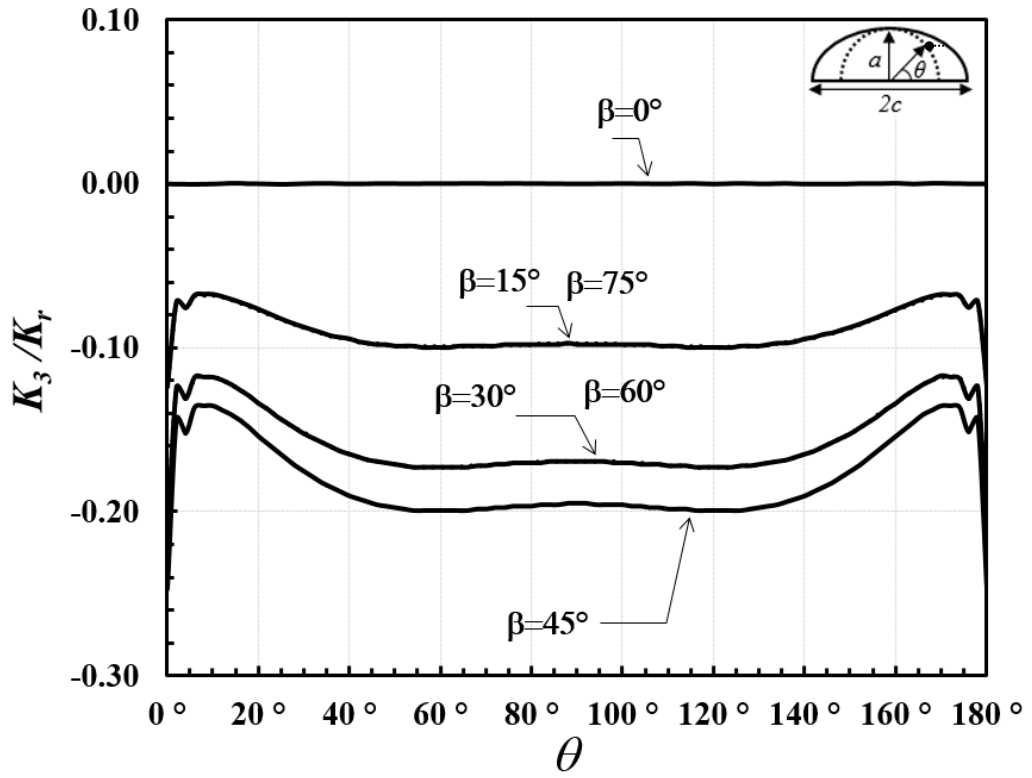
Şekil 3.163.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



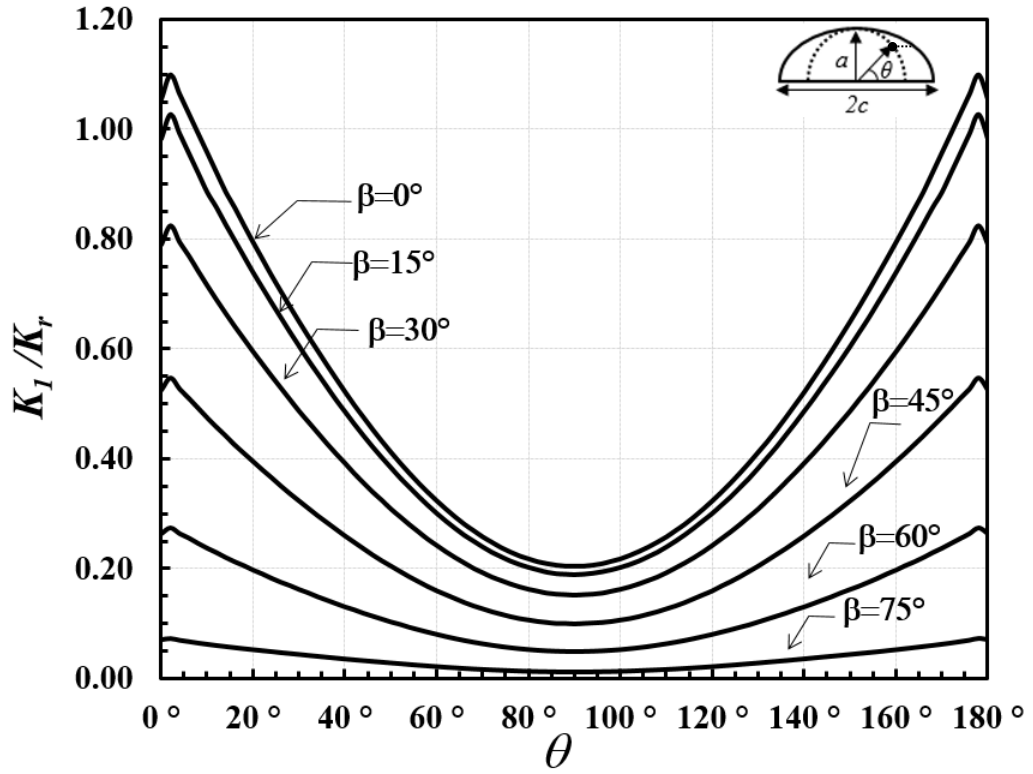
Şekil 3.164.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



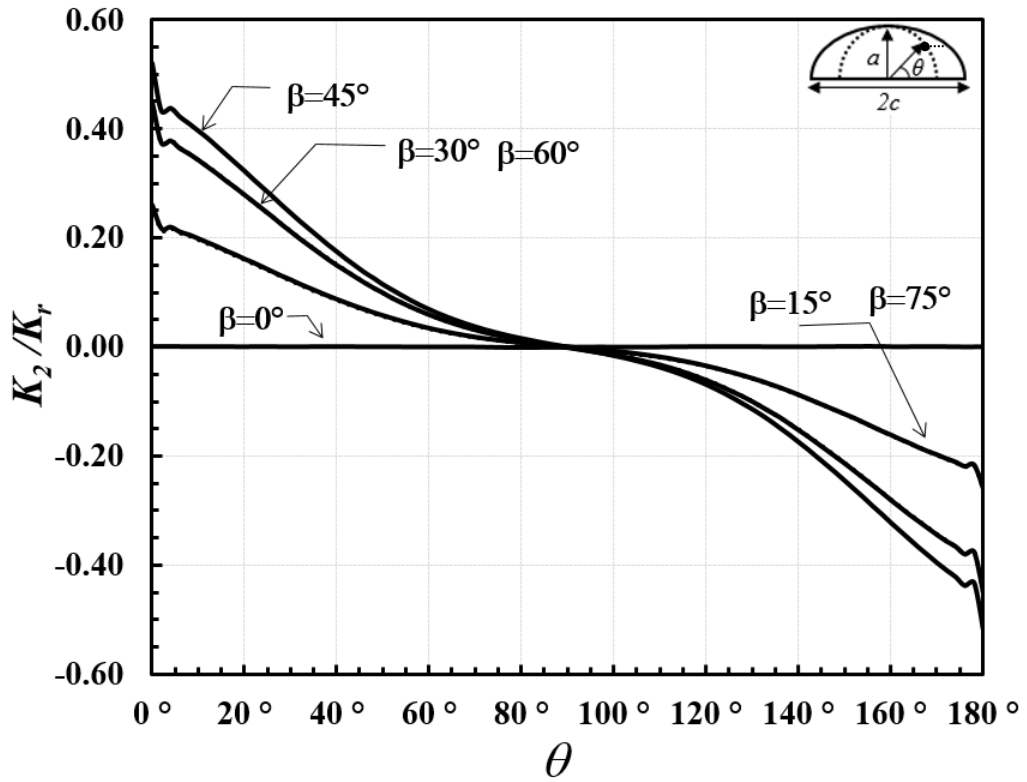
Şekil 3.165.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



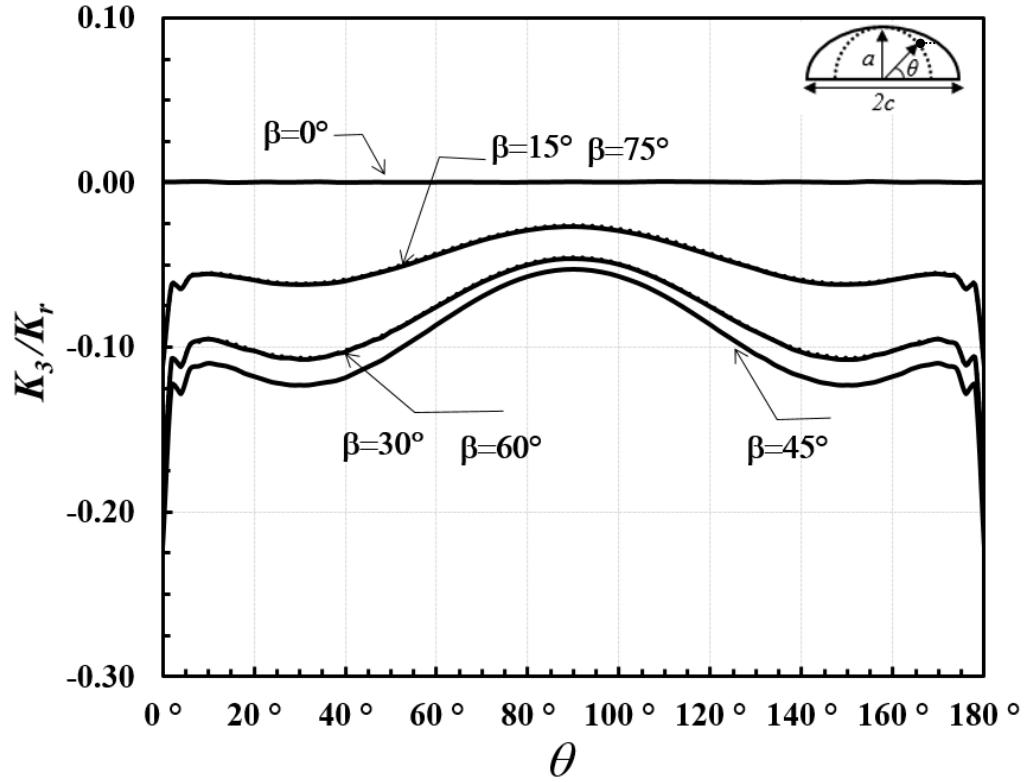
Şekil 3.166.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



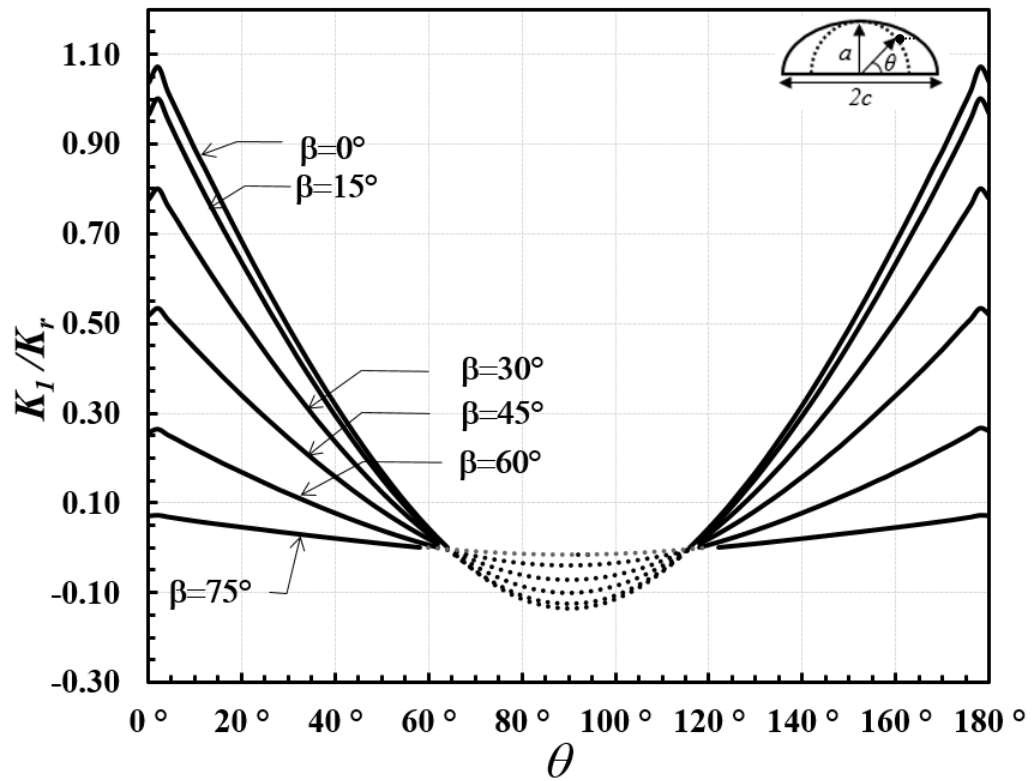
Şekil 3.167.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



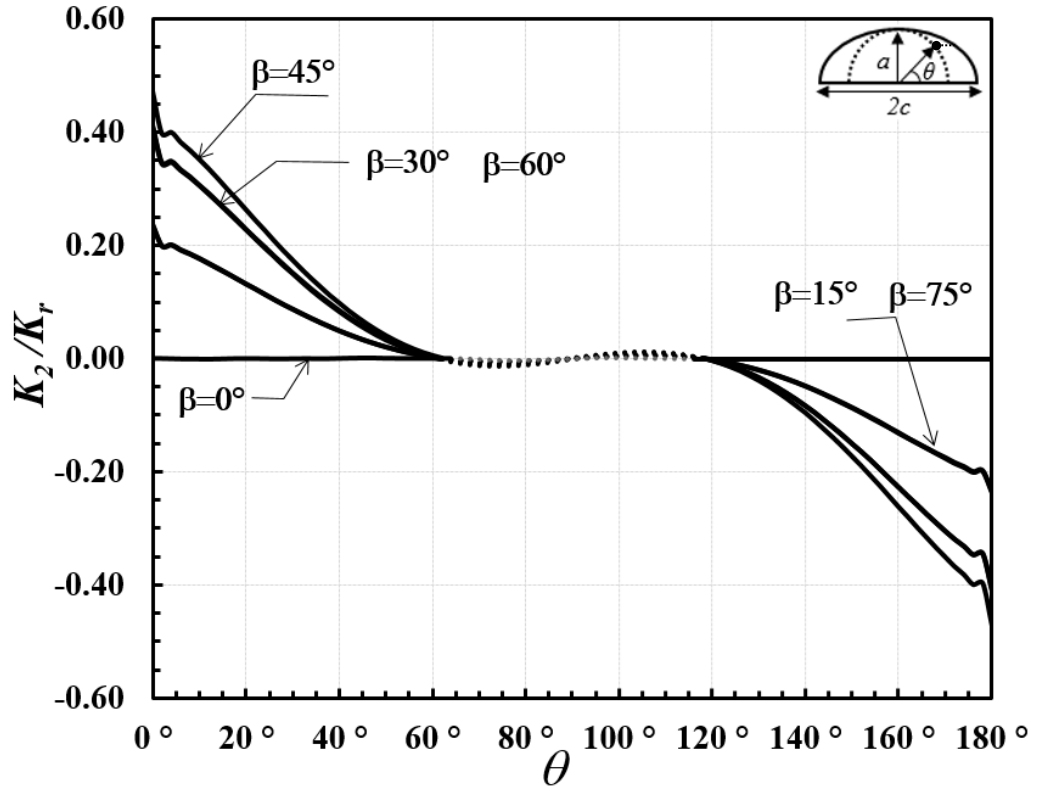
Şekil 3.168.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



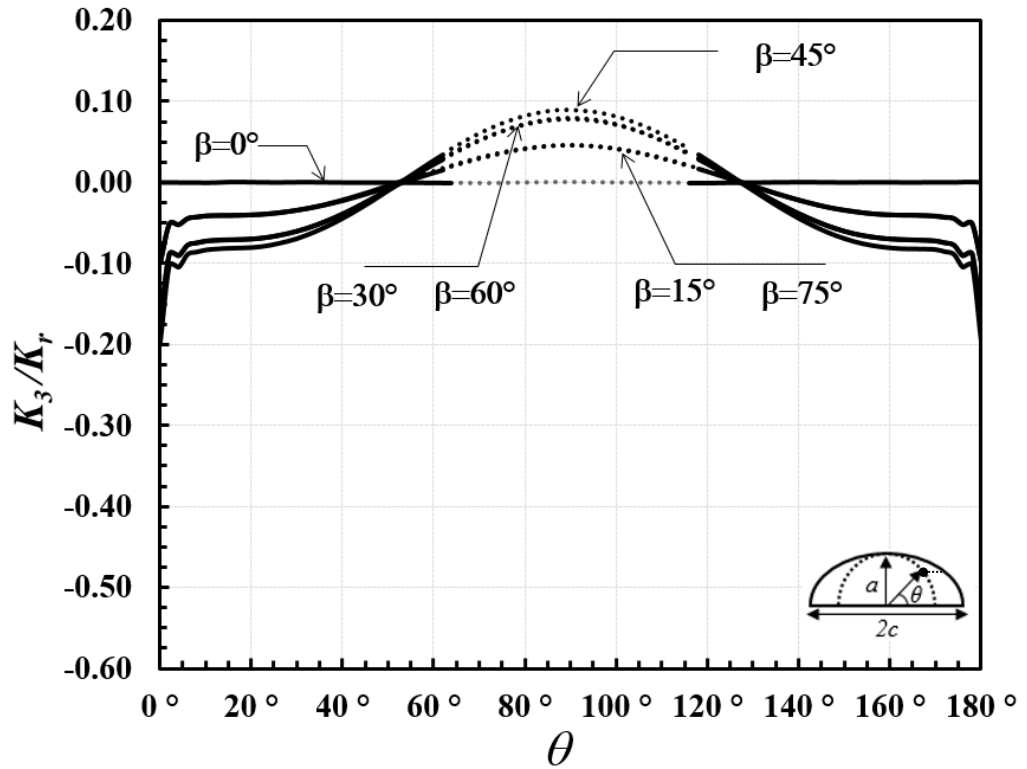
Şekil 3.169.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



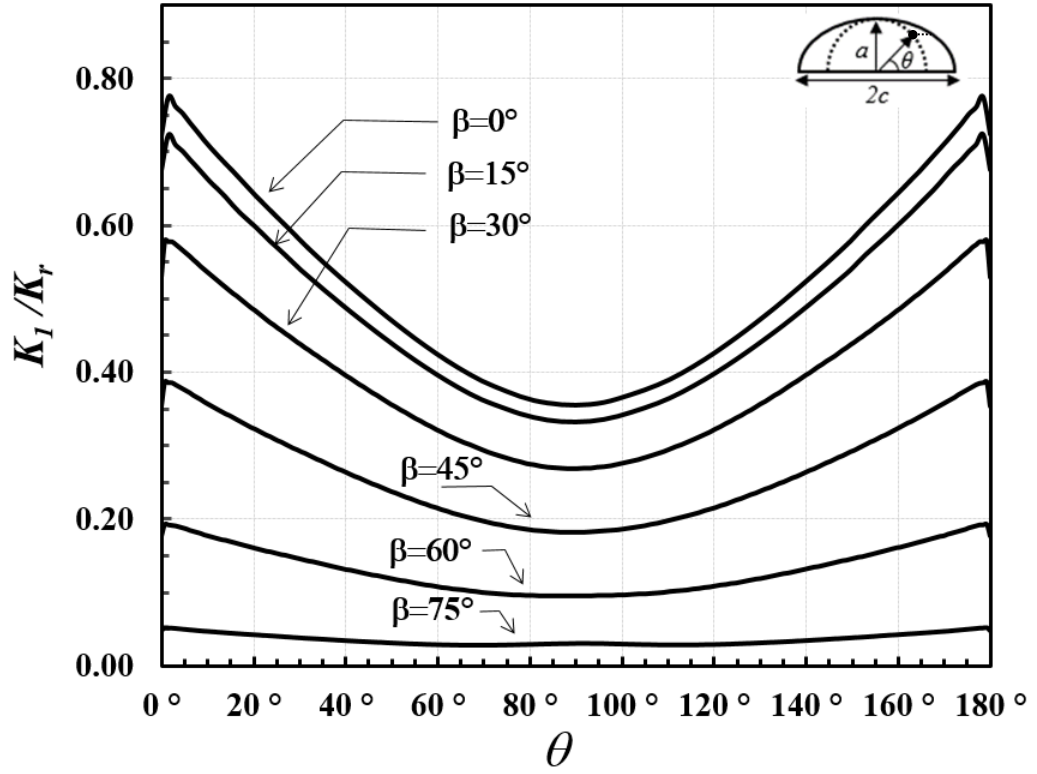
Şekil 3.170.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



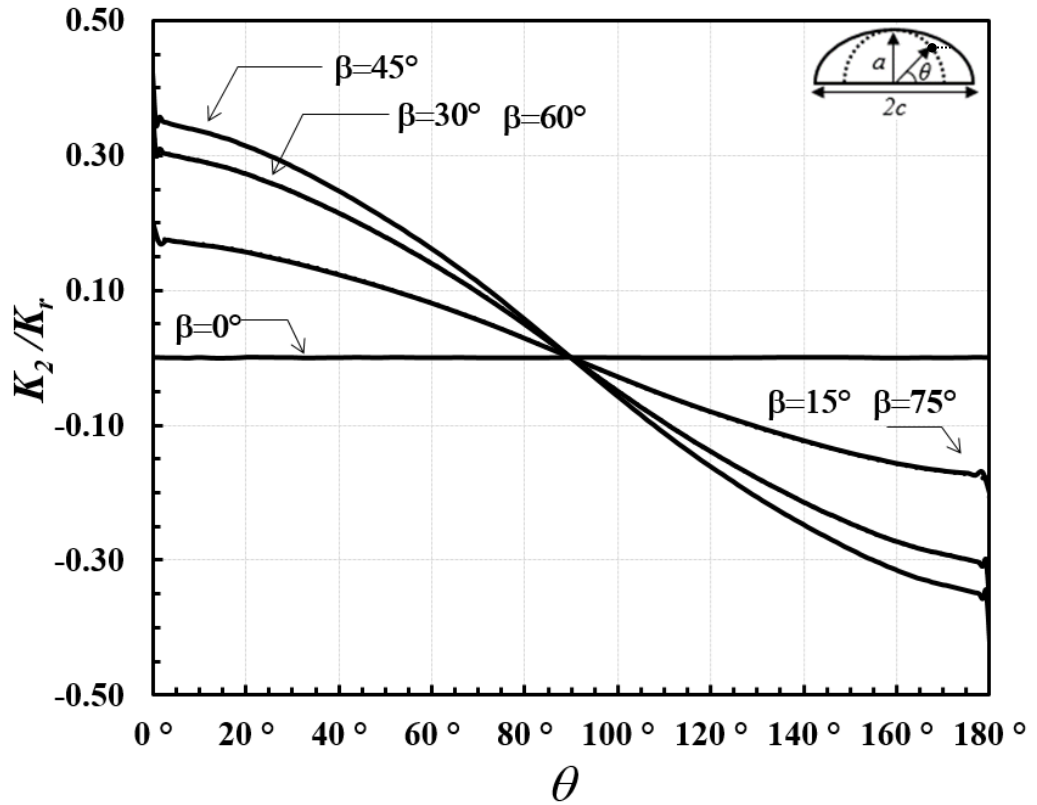
Şekil 3.171.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



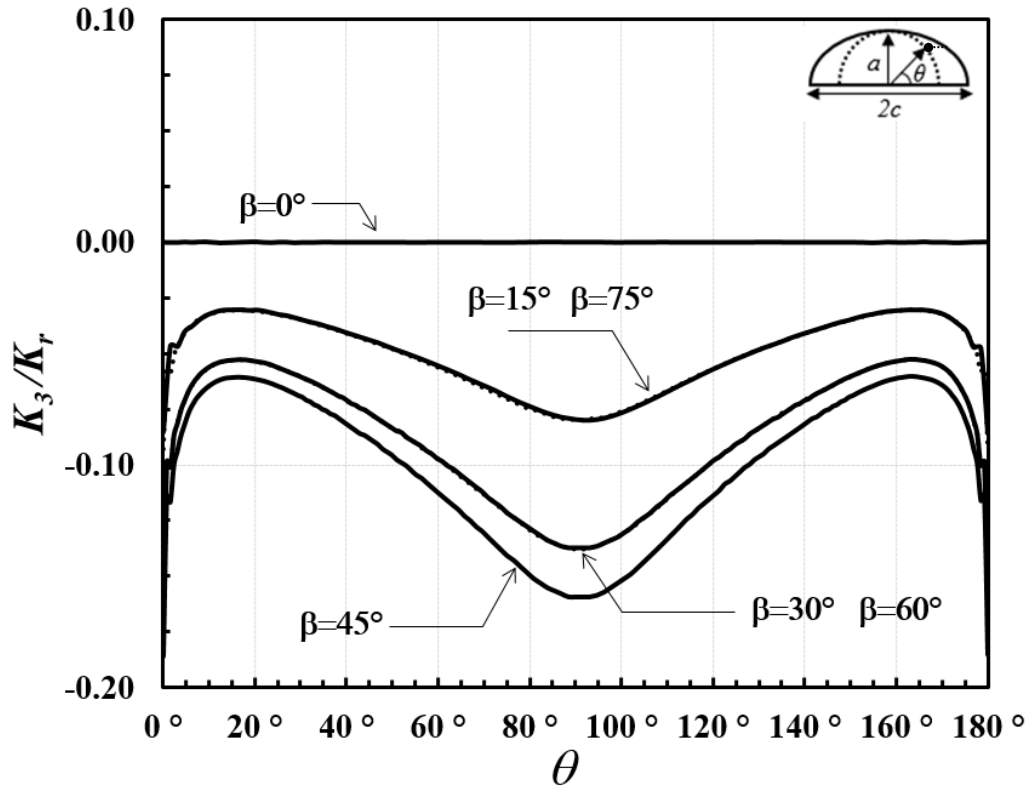
Şekil 3.172.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



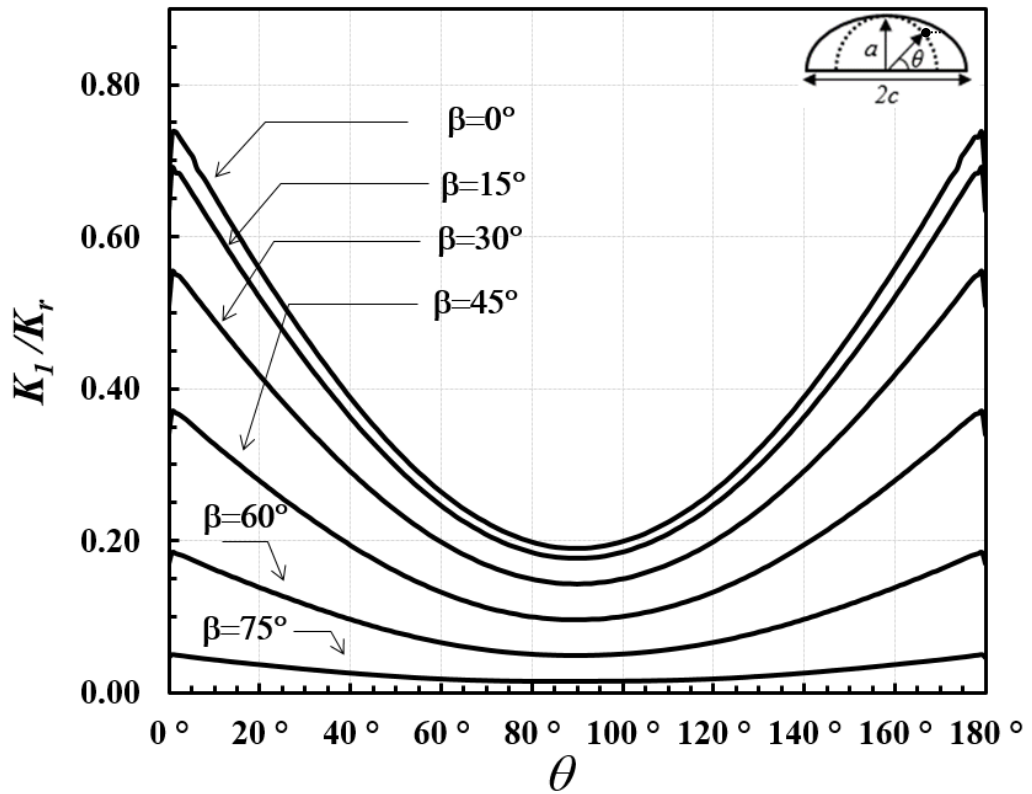
Şekil 3.173.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



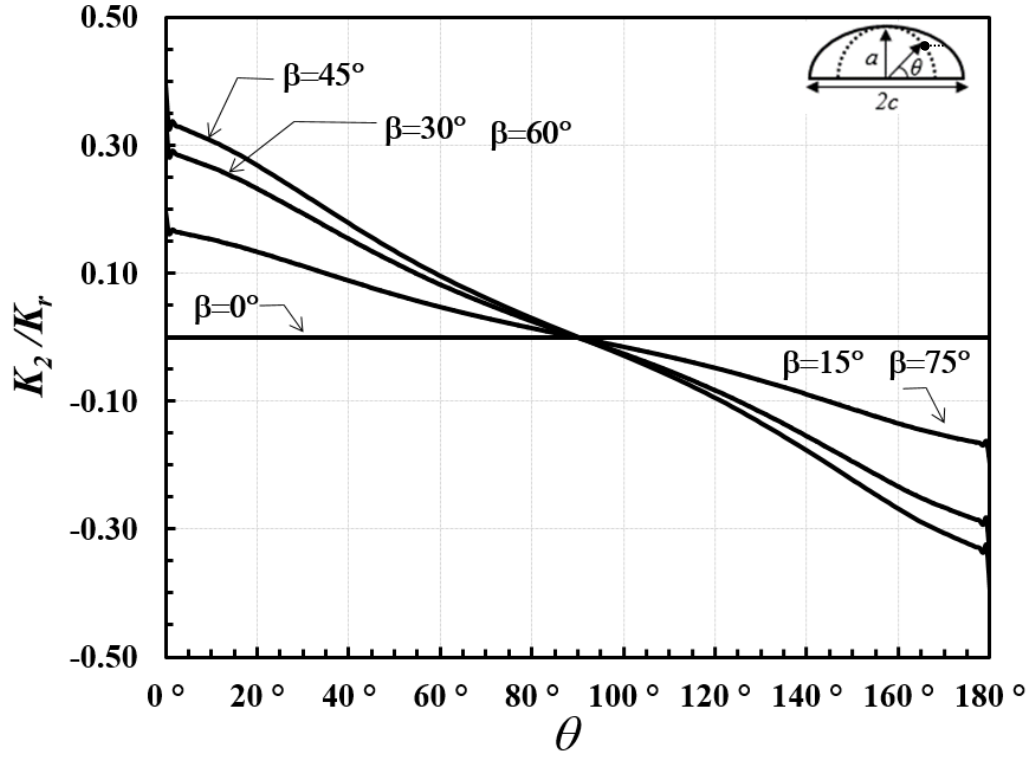
Şekil 3.174.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



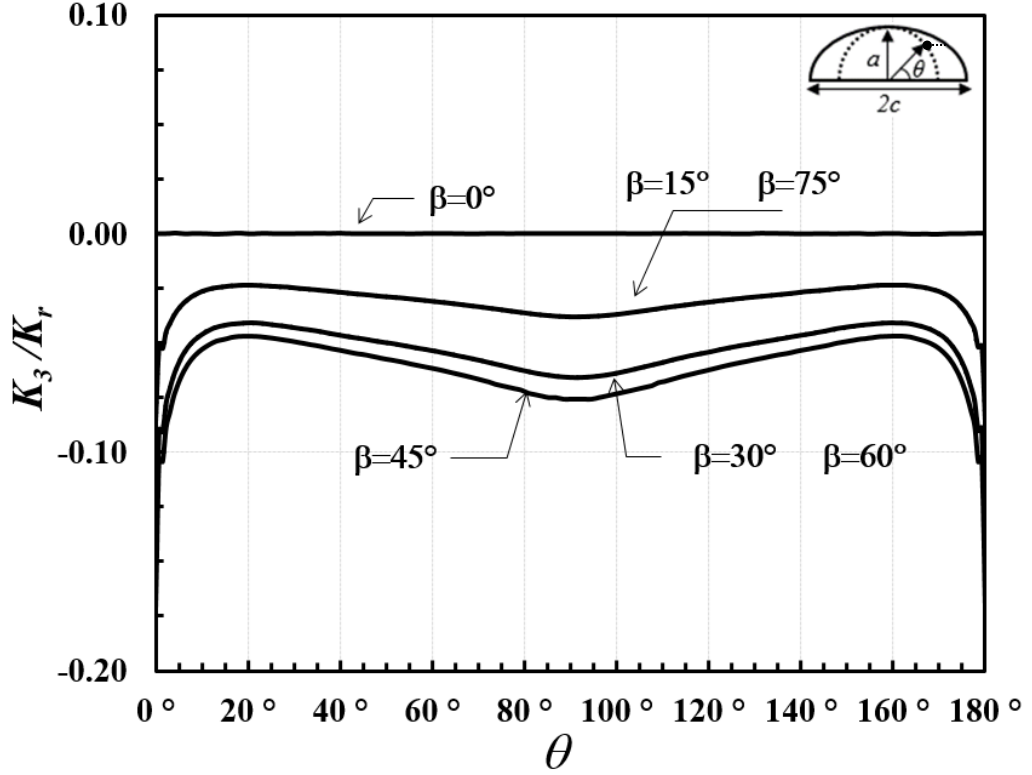
Şekil 3.175.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.176.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

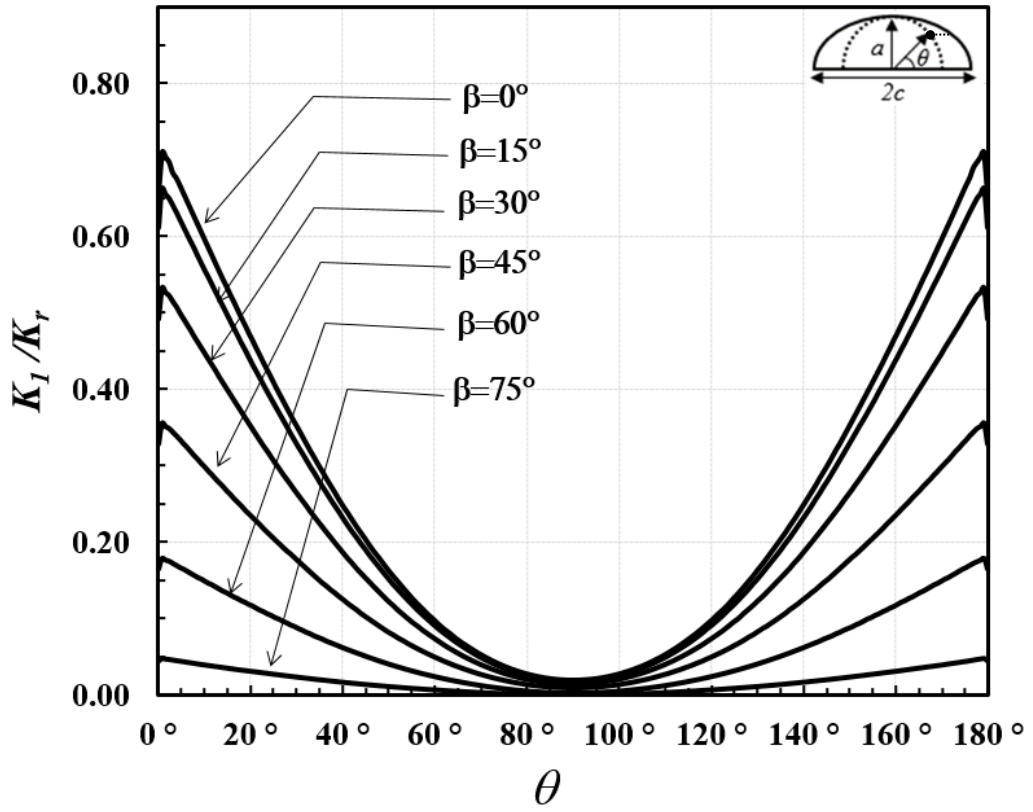


Şekil 3.177.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

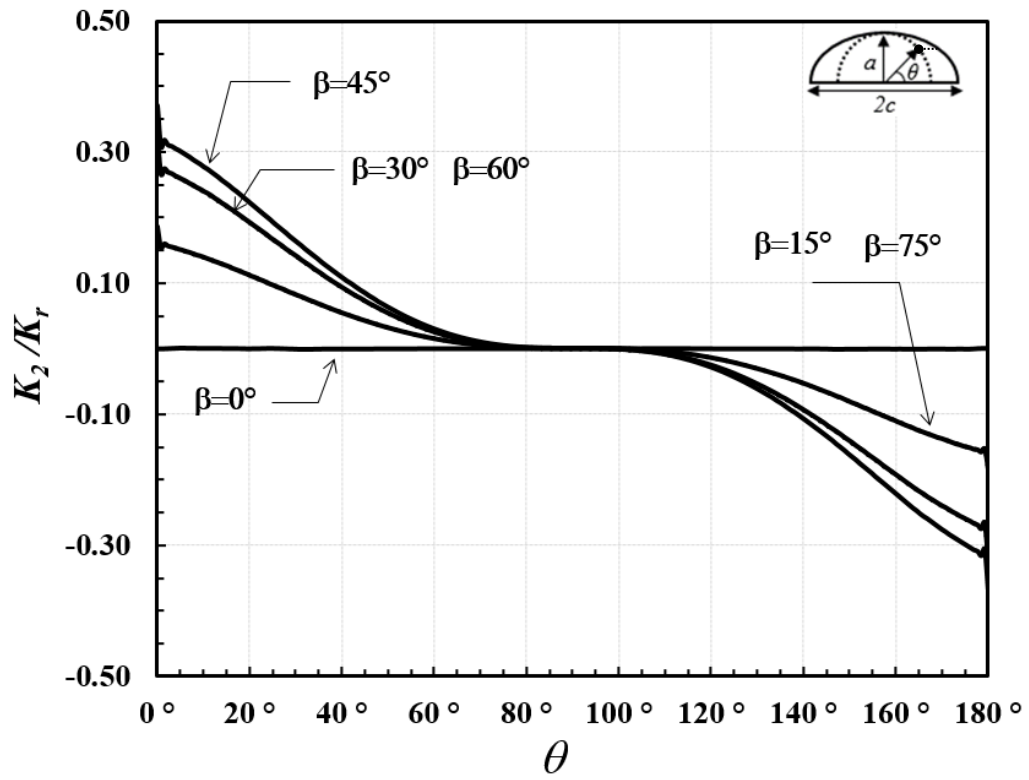


Şekil 3.178.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

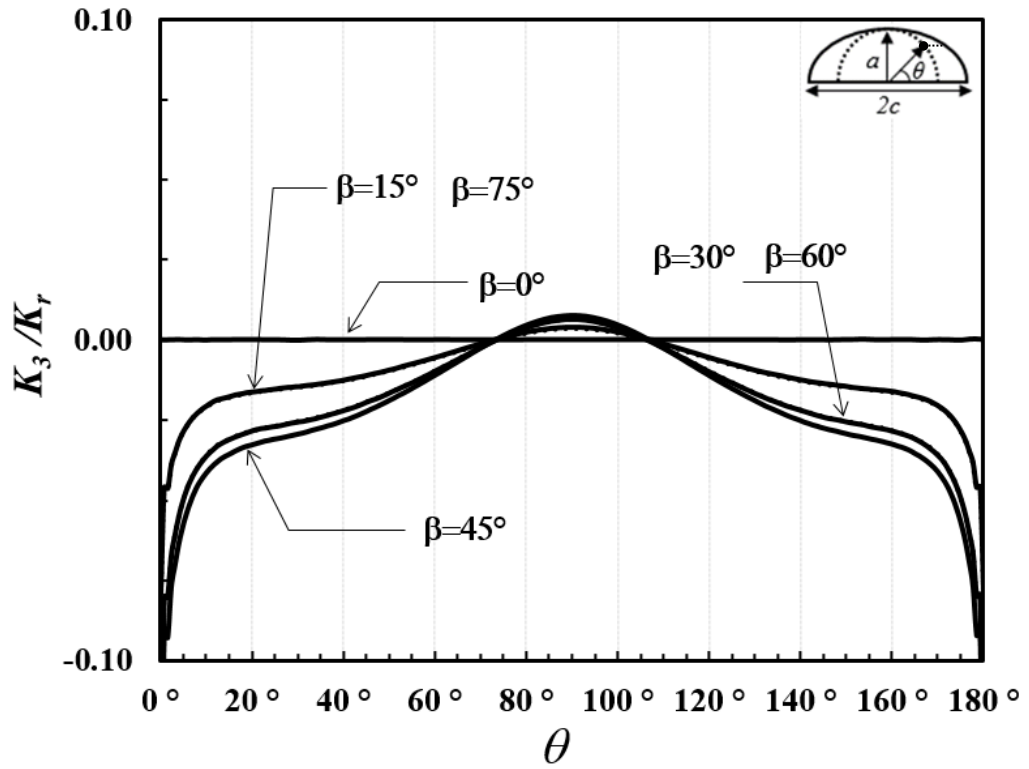




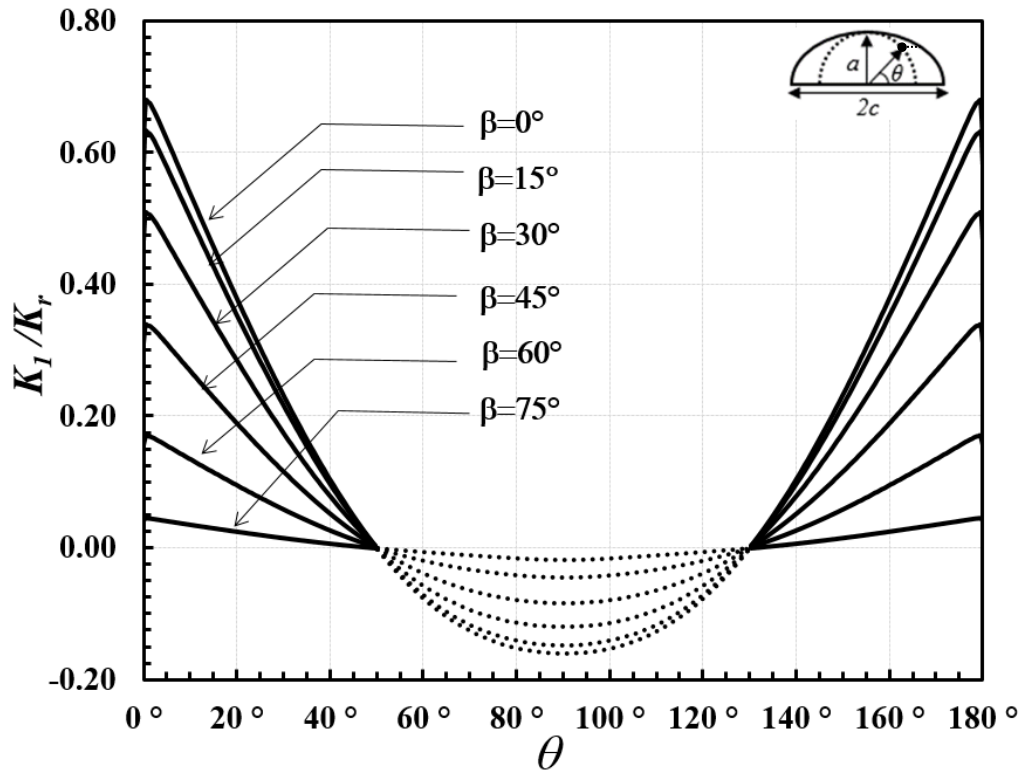
Şekil 3.179.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



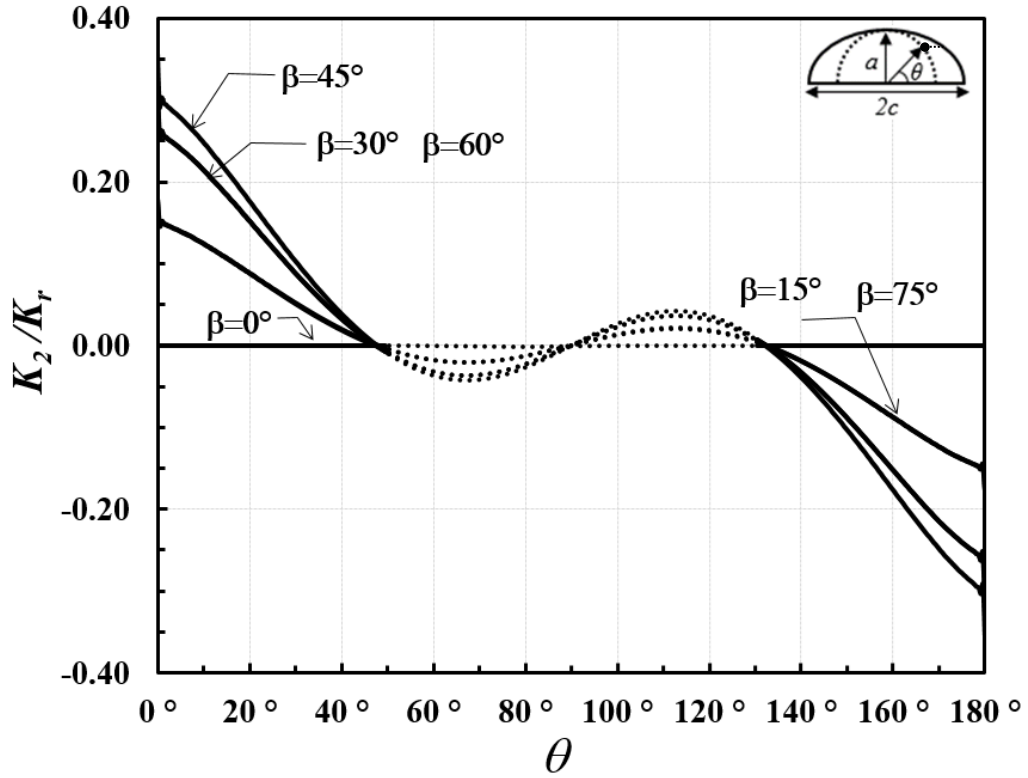
Şekil 3.180.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



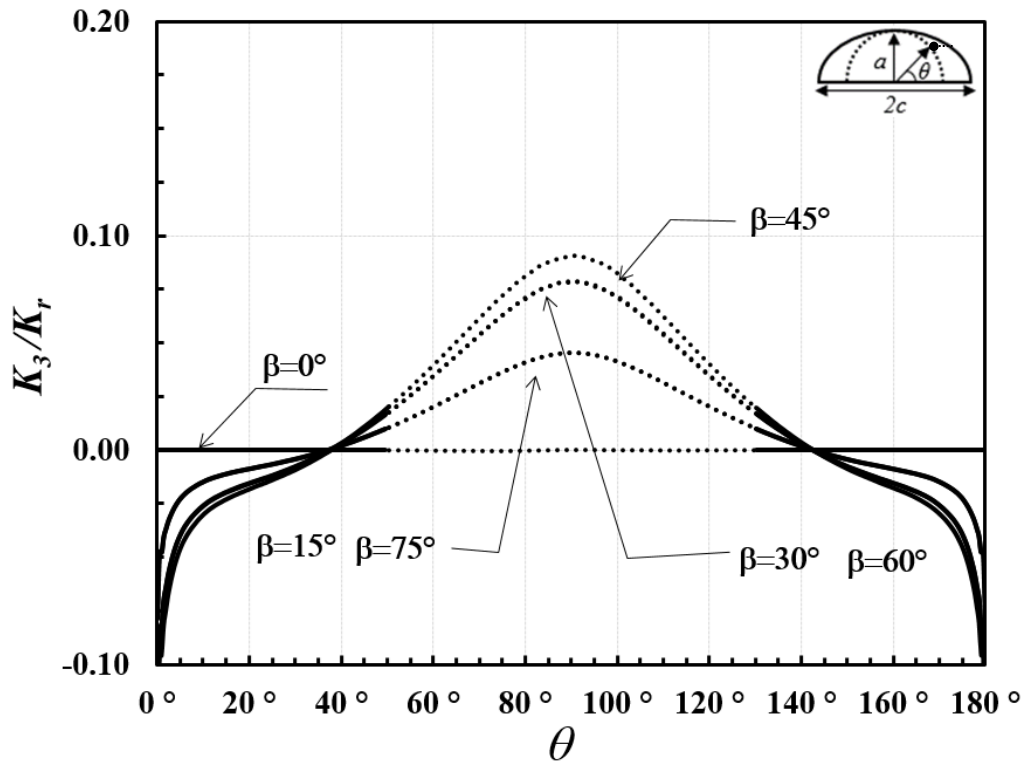
Şekil 3.181.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



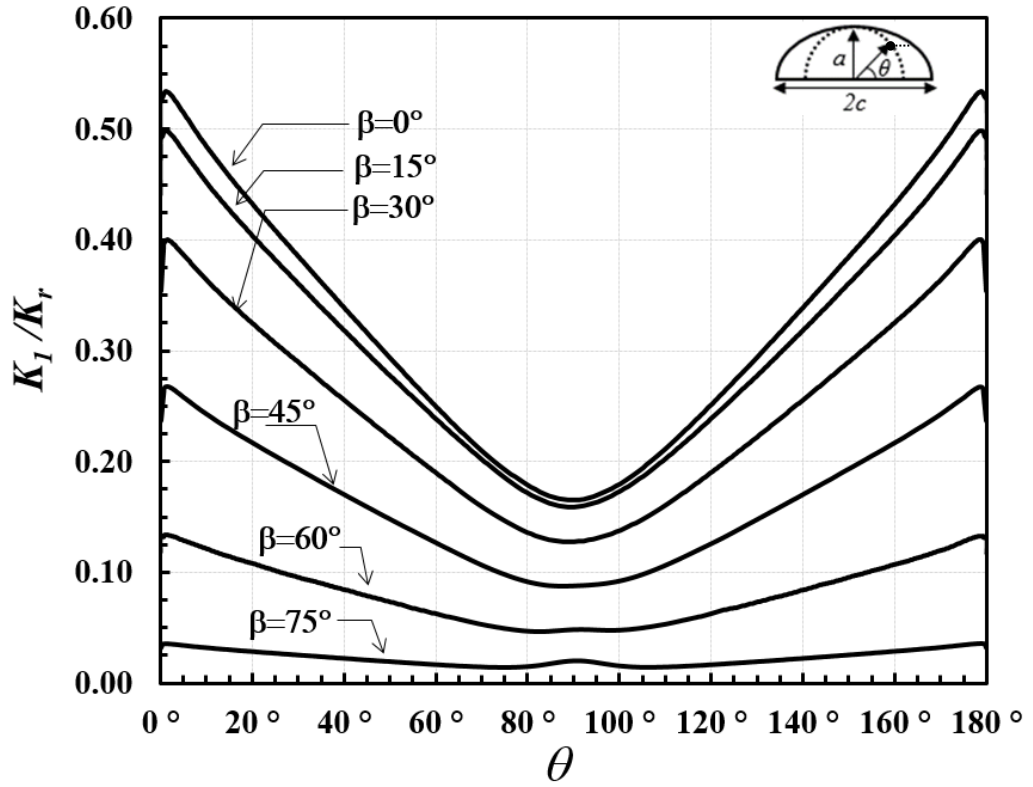
Şekil 3.182.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



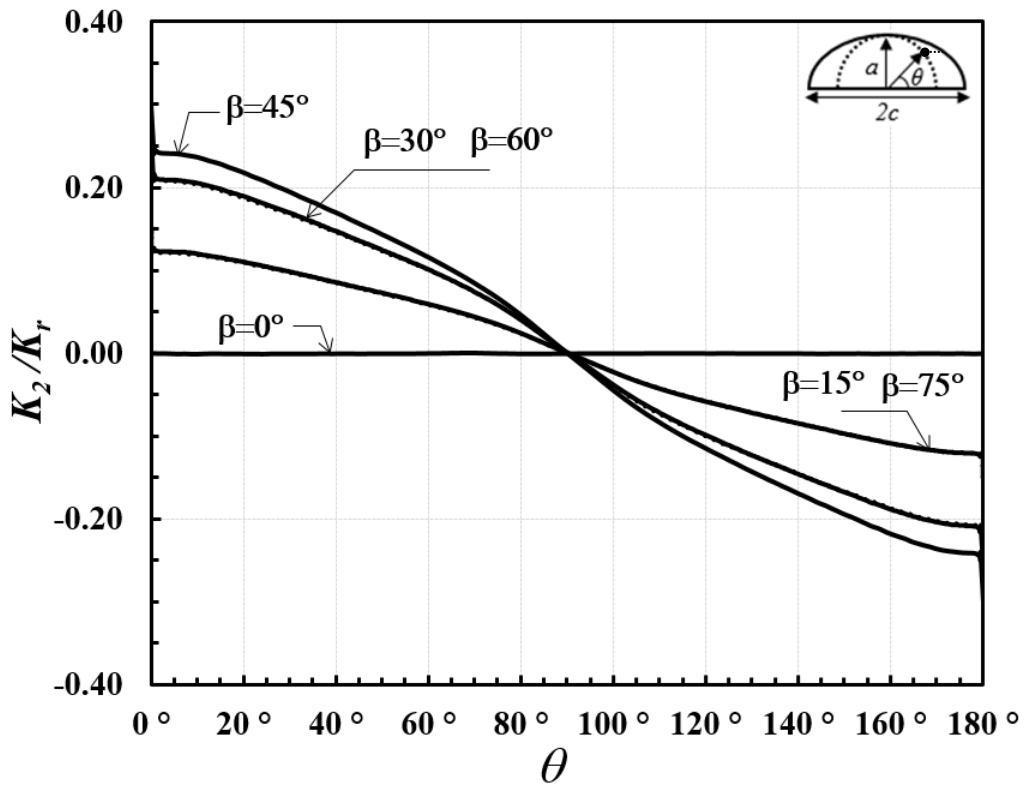
Şekil 3.183.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



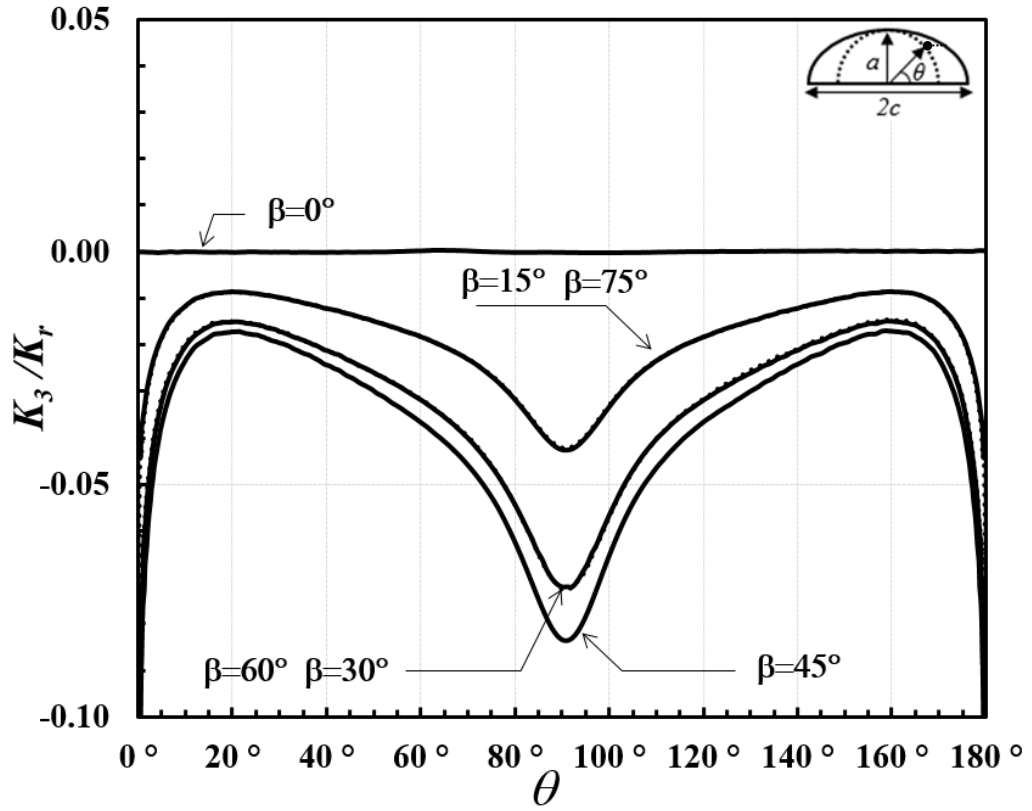
Şekil 3.184.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



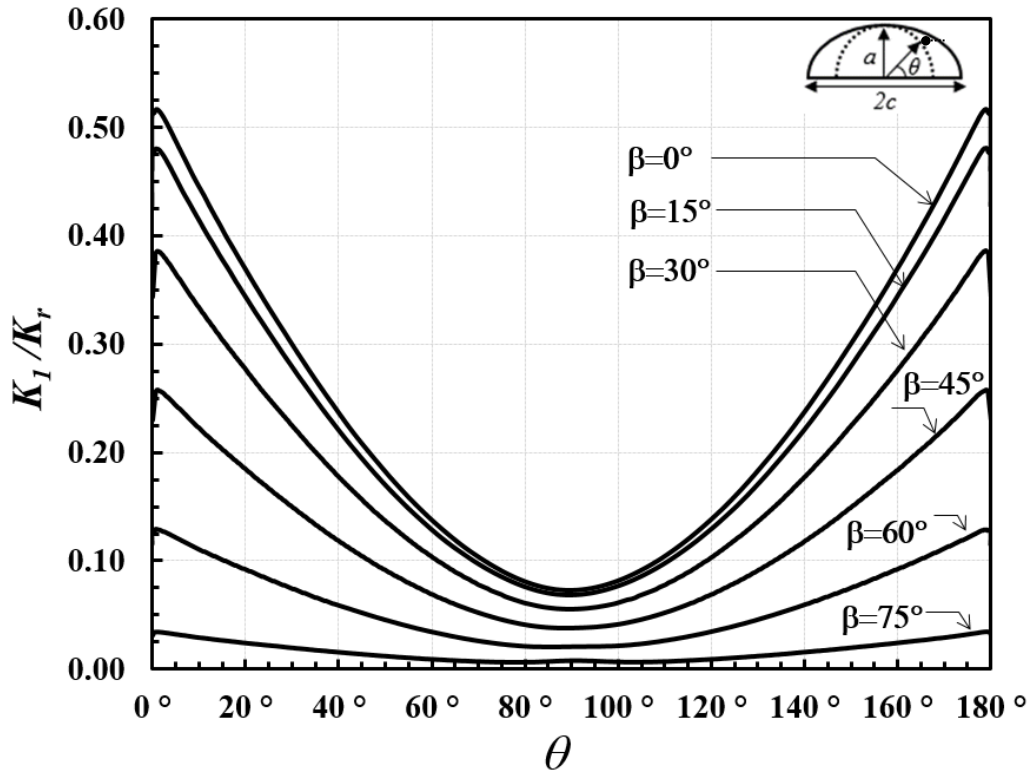
Şekil 3.185.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



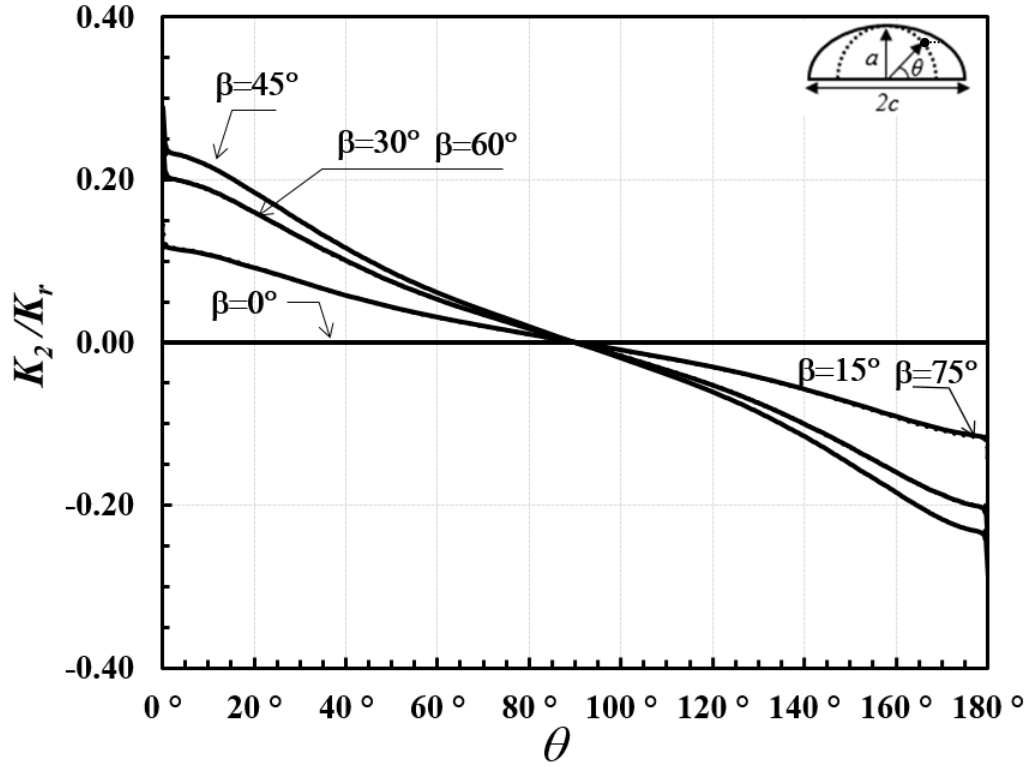
Şekil 3.186.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



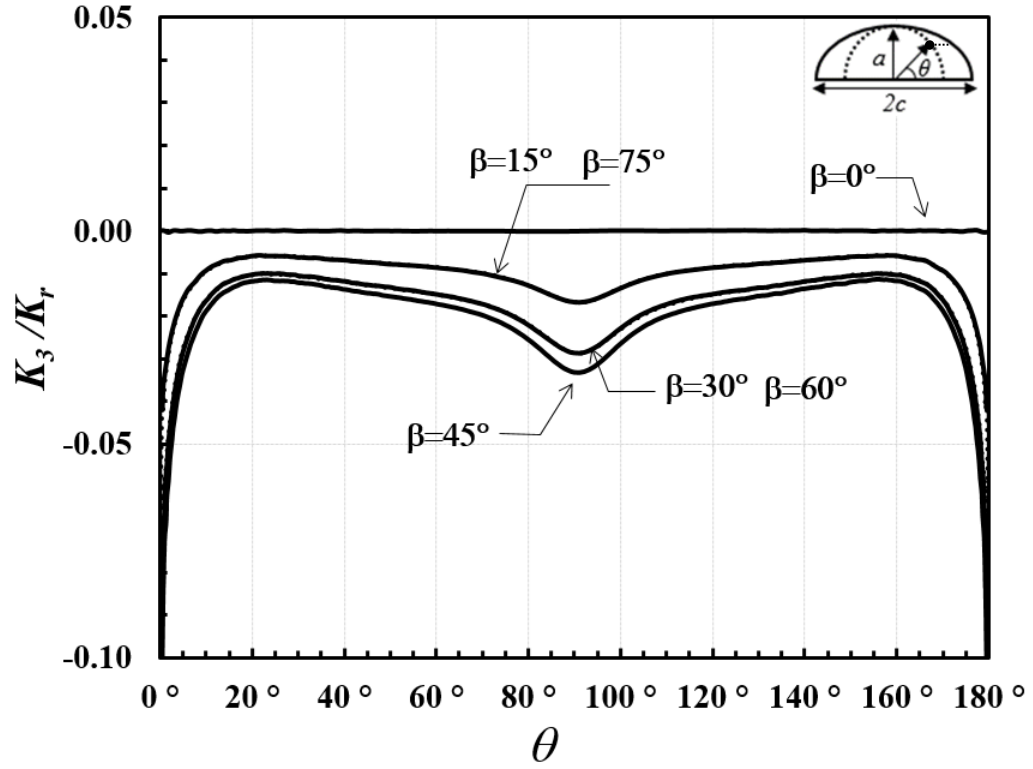
Şekil 3.187.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



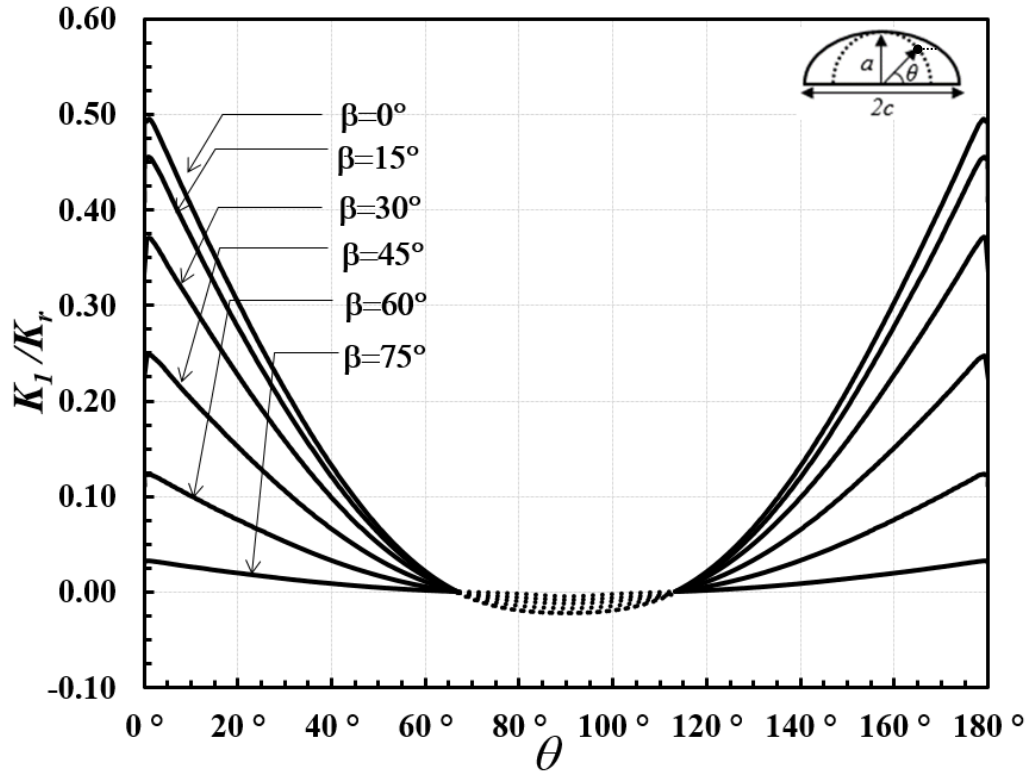
Şekil 3.188.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



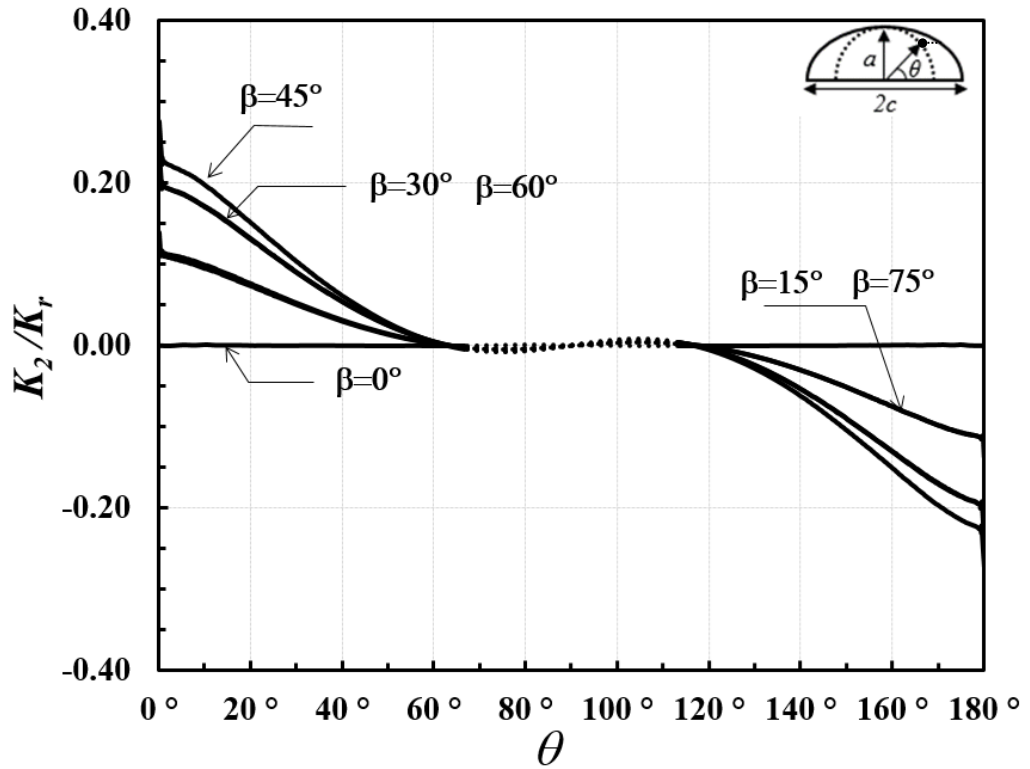
Şekil 3.189.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



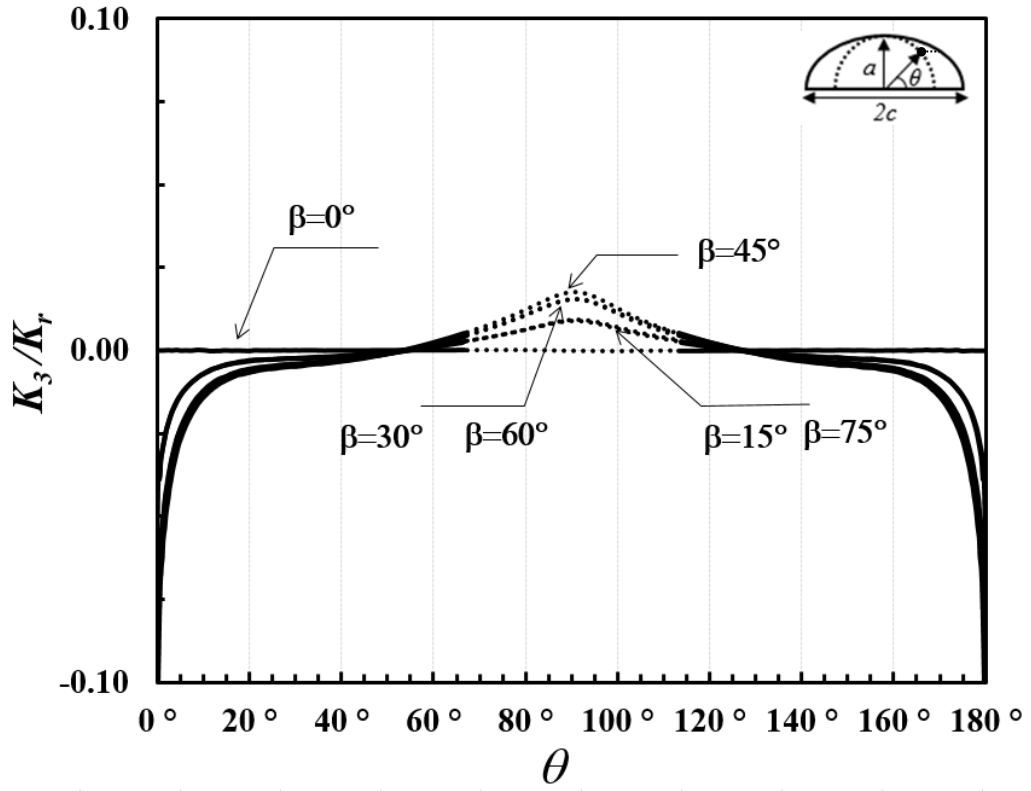
Şekil 3.190.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



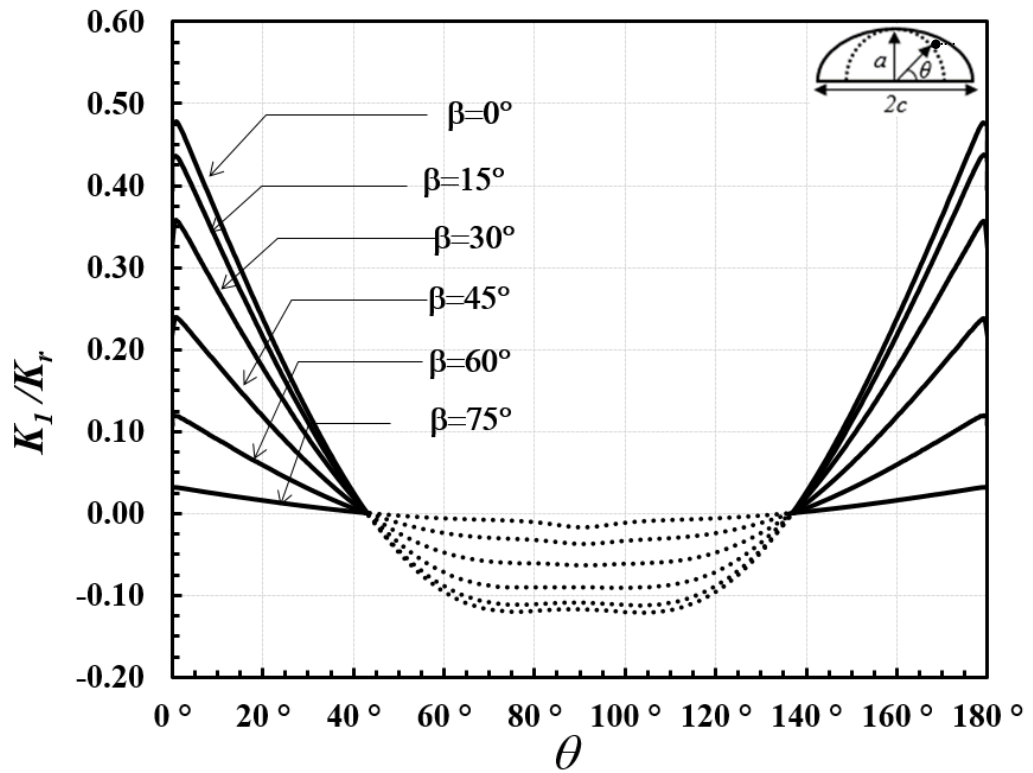
Şekil 3.191.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.192.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

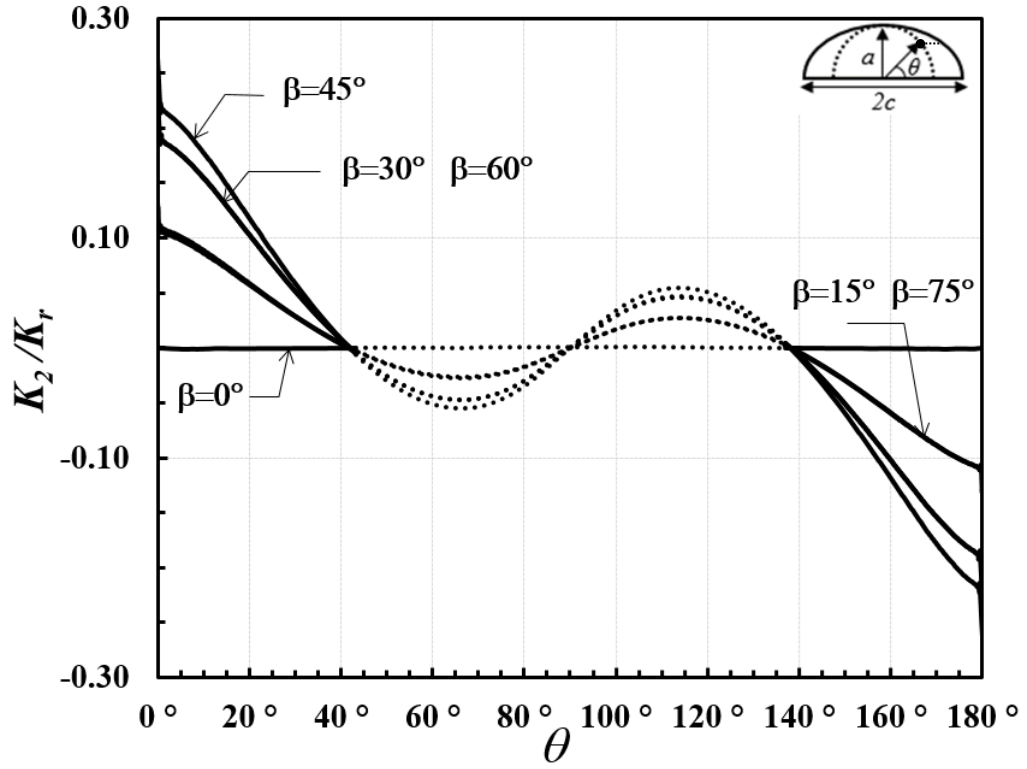


Şekil 3.193.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

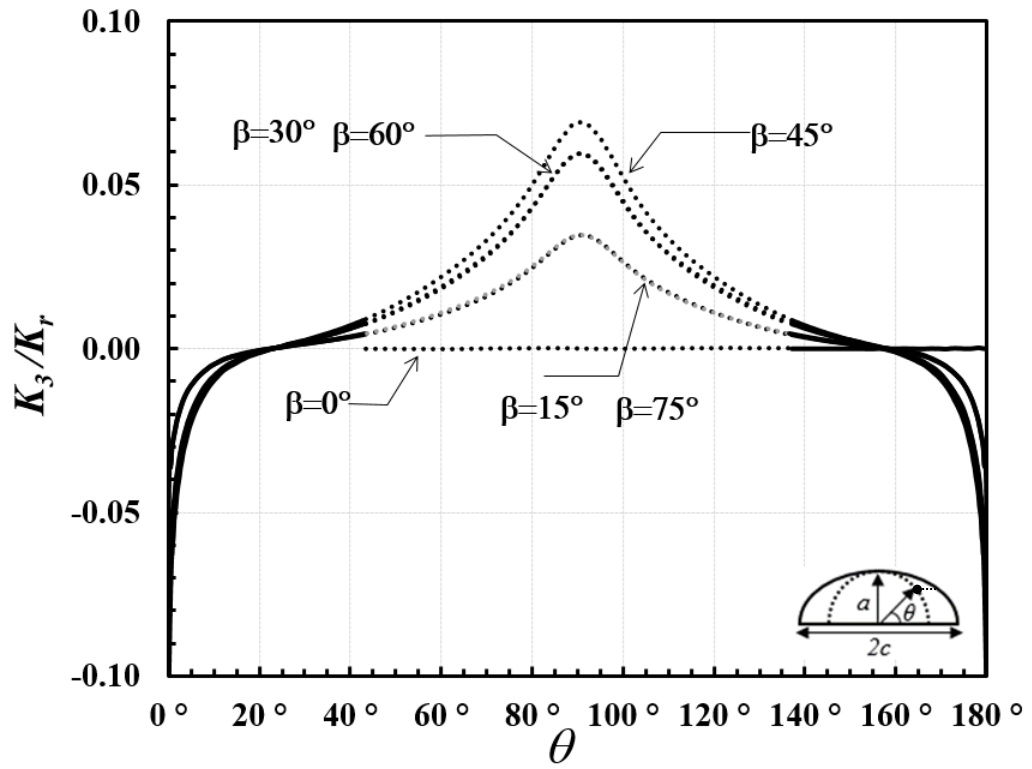


Şekil 3.194.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.





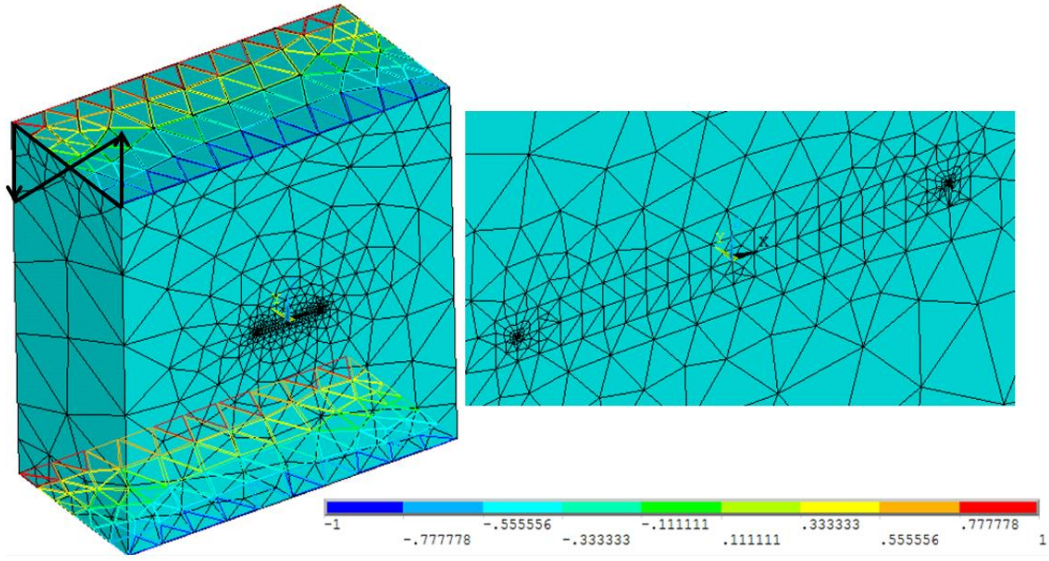
Şekil 3.195.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.196.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

### 3.5. Eğilme Gerilmesine Maruz Levhada Bulunan Dönmüş Çatlak Analizleri

Bu kısımda analiz grubu olan eğilme gerilmesine maruz bir levhadaki dönmüş çatlak için GŞF değerleri verilmektedir. Analizlerde kullanılan  $a/c$  (çatlak derinliği/çatlak uzunluğu) değerleri 0.25, 0.5, 1, 2, 4 ;  $a/t$  (çatlak derinliği/et kalınlığı) oranları sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8; çatlağın yatay eksenle yaptığı açı olan  $\alpha$  0, 15, 30, 45, 60, 75 derece olarak ele alınmıştır.  $\theta$  açısı ise çatlak önü (crack front) konumsal açısıdır. Konumsal açı da 0'dan 180 dereceye kadar değişmektedir. Yapılacak analizlerde çatlak derinliği ( $a$ ) 1 birim olarak alınmaktadır. Levhanın genişliği ve yüksekliği ise eliptik çatlağın çatlak uzunluk veya derinliğinden hangisi daha büyük ise bu boyutun on katı olarak belirlenmiştir. Böylece modeller ANSYS ortamında oluşturulmakta ve ağ bölüntülenmesi yapılmaktadır. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlakların ağ bölüntülenmesinde Bölüm 3.3.'teki modeller kullanılmıştır. Eğilme momentinin uygulandığı üst ve alt levhadaki bölüntü daha fazla sıklaştırılıp daha sonra sınır şartları tanımlanmaktadır. Eğilme durumundaki sınır şartında, kalınlık yönünde levhanın merkezinde sıfır olacak şekilde lineer yayılı yük gerilmesi alt ve üst taban alanlarına uygulanarak eğilme momenti oluşturulmuştur. Alt taban köşelerinden bir nokta üç ekseninde, diğer bir nokta iki ekseninde ve başka bir nokta tek ekseninde sabitlenmiştir. Böylece levha parçasının rijit cisim hareketi kısıtlanmıştır. Daha sonra, modelden FCPAS verileri alınarak, FCPAS ile kırılma analizi yapılır. FRAC3D kullanılarak karışık mod GŞF'leri hesaplandıktan sonra uygulanan gerilme ve  $a/c$  oranına bağlı olan bir referans  $K_r$  değeri ile Denklem 3.2-3.4'teki denklemler kullanılarak normalize edilmektedir. Şekil 3.197.'de eğilme gerilmesine maruz ve dönmüş çatlak içeren levhanın sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir.



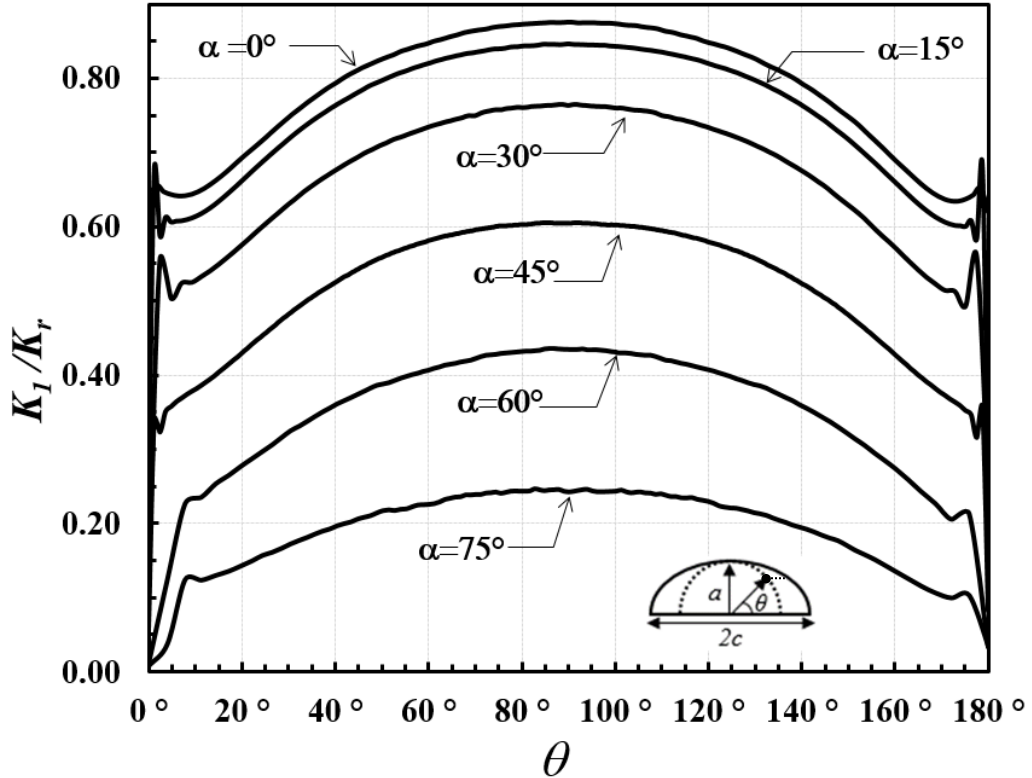
Şekil 3.197.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$ ,  $\alpha=15^\circ$  olan dönmüş yüzey çatlağına sahip bir levhanın ağ bölüntülenme modeli ve çatlak bölgesinin yakından görünümü.

Şekil 3.198.-3.257. arasındaki grafikleri daha iyi anlamak için, normalize edilmiş mod-II ve mod-III GŞF'leri,  $\alpha=60$  ve  $75$  derece durumları için kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Çatlak derinliği ( $a$ ) sabit kaldığında levhanın et kalınlığı azaldıkça, normalize edilmiş  $K_1$  değerleri çatlak ucu derinlik noktalarında azalmaktadır. Levha kalınlığının azalması, çatlak ucu derinlik noktasının levha arka yüzeyine mesafesinin azalmasıyla daha düşük GŞF değerleri oluşmaktadır. Çatlağın yatay eksenle yaptığı açının  $0$  derece olması sadece mod-I problemidir ve diğer açılar olan  $15$ ,  $30$ ,  $45$ ,  $60$ ,  $75$  derece durumları ile çatlak ucu bölgesinde karışık mod gerilme durumu ortaya çıkmaktadır.

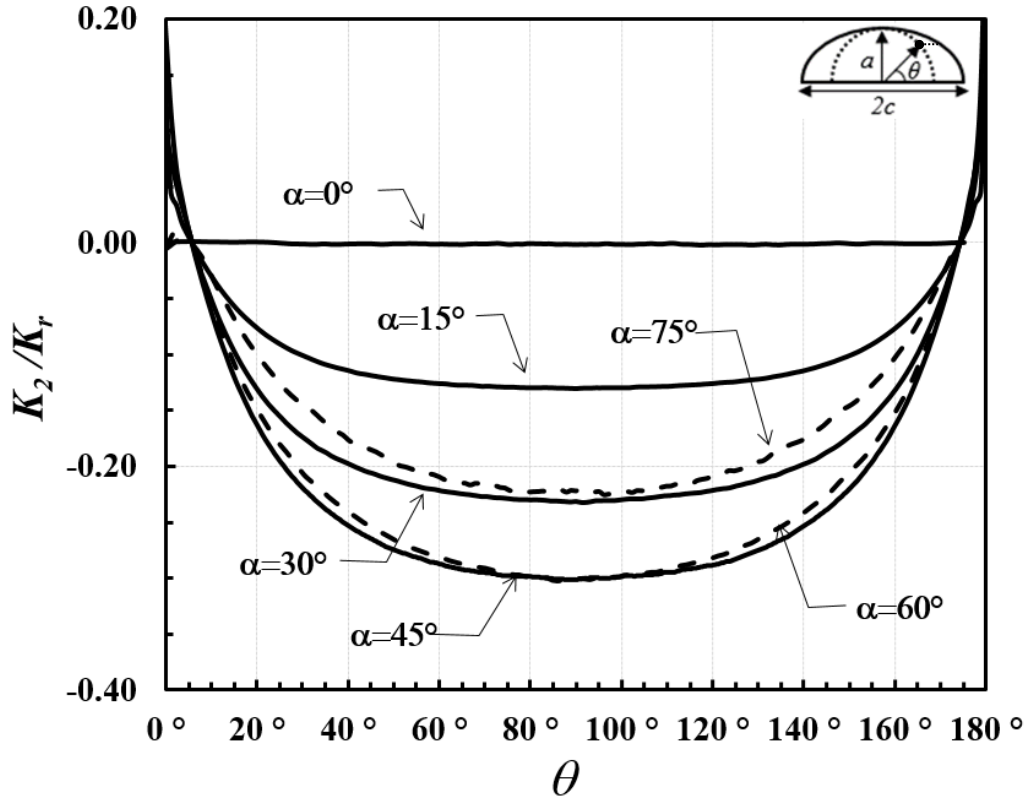
Mod-I (açılma modu) sonuçlarında sabit  $a/c$  değerlerinde levhanın et kalınlığı azaldıkça, oluşan GŞF değerleri çatlak ucu serbest yüzeylerde arttığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. Yine sabit  $a/c$  değerinde levhanın et kalınlığı azaldıkça çatlak ucu derinlik noktası yüzey noktalarına göre daha fazla sıfır değerine yaklaşmaktadır.  $0$  derece saf açılma modu olduğundan GŞF değeri en yüksektir.  $0$  derecede kayma ve yırtılma modlarının olmadığı ilgili grafiklerde gözükmektedir. Dönme açısı  $\alpha$  arttıkça mod-I GŞF değerlerinin azaldığı Şekil 3.198.'de gözükmektedir.  $a/c$  değeri  $1$  ve daha büyük olduğunda normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin sıfırın altına düştüğü görülmektedir. Mod-I değerlerinin sıfırın altına düştüğü yerlerde çatlak yüzeyleri

kapanmaktadır. Mod-I GŞF değerlerinin sıfırın altına düştüğü kısımları mod-II ve mod-III GŞF değerleri için de noktalı şekilde gösterilmiştir. Sıfır derecede normalize edilmiş  $K_2$  değeri 0'dır (Şekil 3.199.).

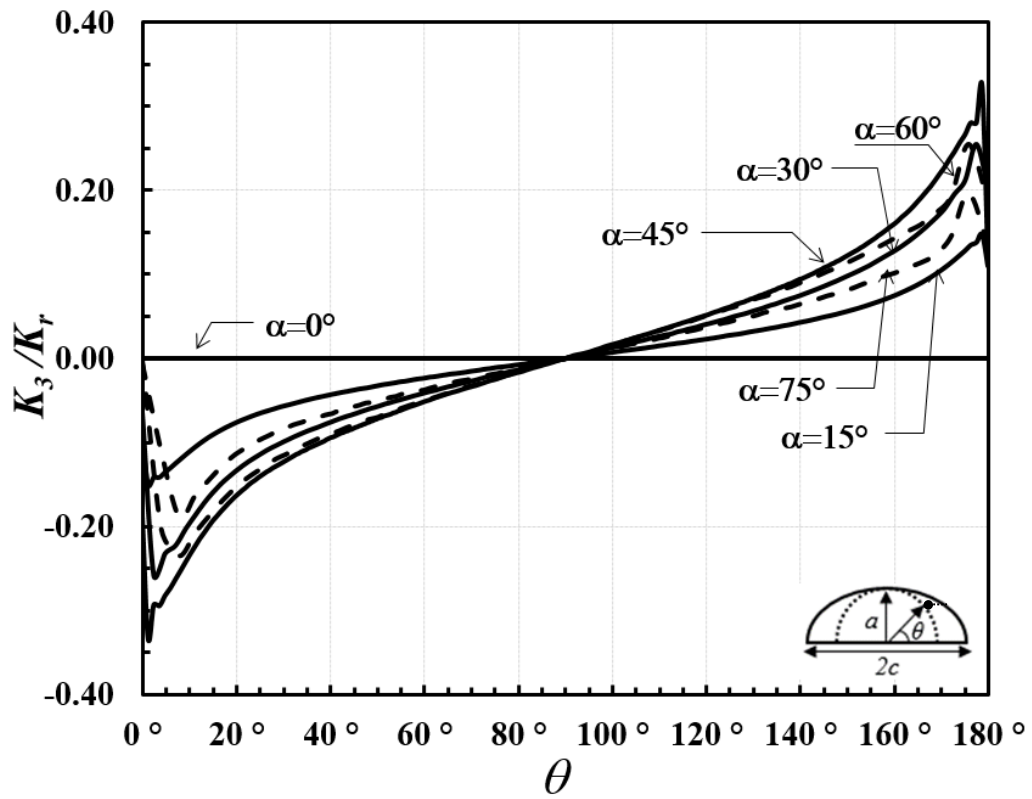
Yırtılma modunda (mod-III), 0 derecede normalize edilmiş  $K_3$  değerlerinin 0 olduğu Şekil 3.200.'de gözükmektedir. Elde edilen tüm kombinasyonlara göre, çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı ( $a/c$ ) 0.25, 0.5, 1, 2, 4 için; çatlak derinliği/et kalınlığı oranı ( $a/t$ ) sırasıyla 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 durumları için karışık mod GŞF dağılımları Şekil 3.198.-3.257.'de verilmektedir. Adı geçen grafiklerde açılma, kayma ve yırtılma için yukarıda yapılan yorumlar görülebilir. Çatlağın yüzey kısımdaki ve yüzeye yakın kısımlarında GŞF değerleri dalgalı şekilde sonuçlarda gözükmektedir. Bu ani değişimler serbest yüzey etkisinden dolayı olup, bu çalışmada dar serbest yüzey bölgesi için özel bir analiz yapılmamıştır.



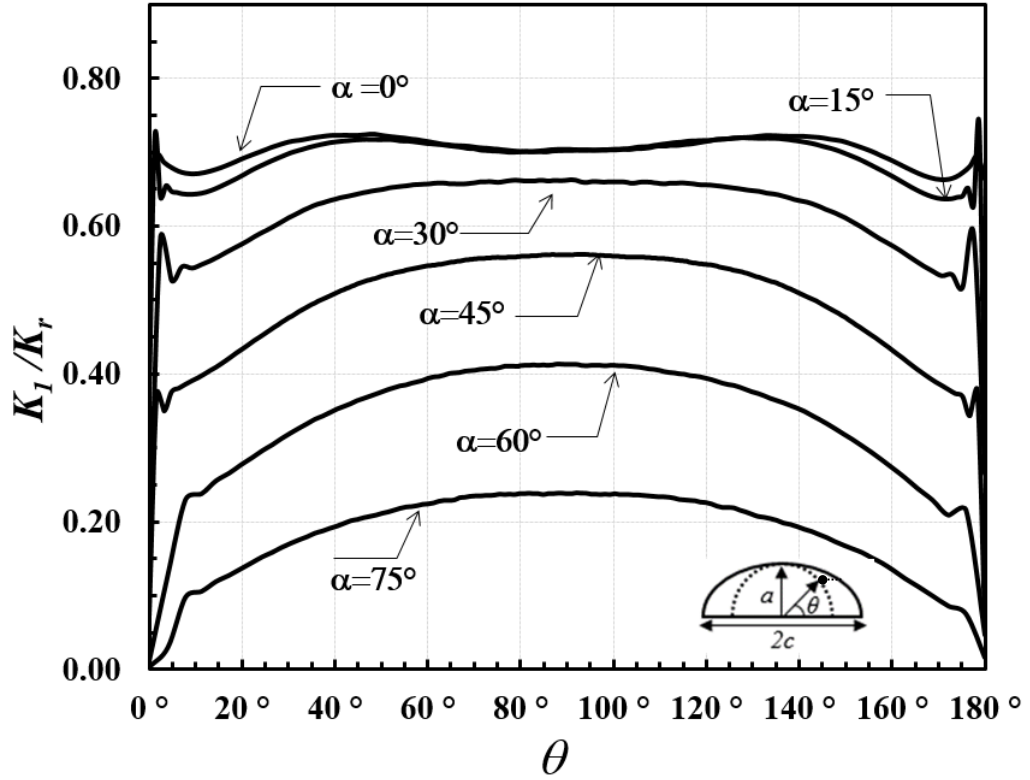
Şekil 3.198.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



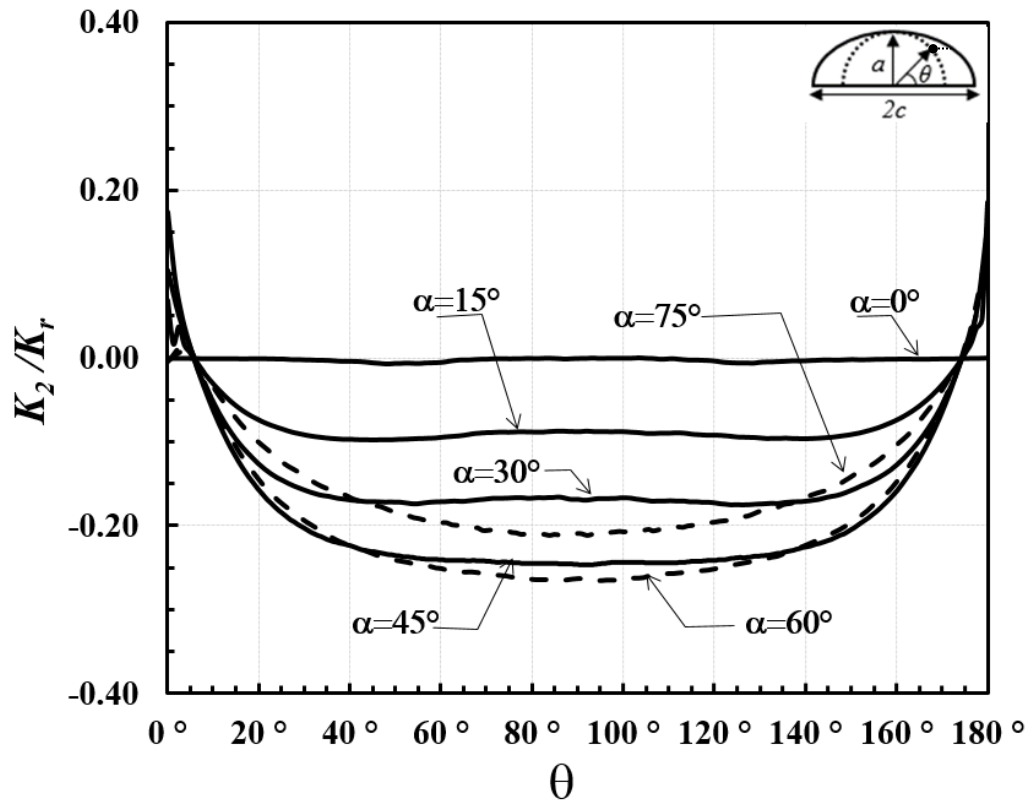
Şekil 3.199.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



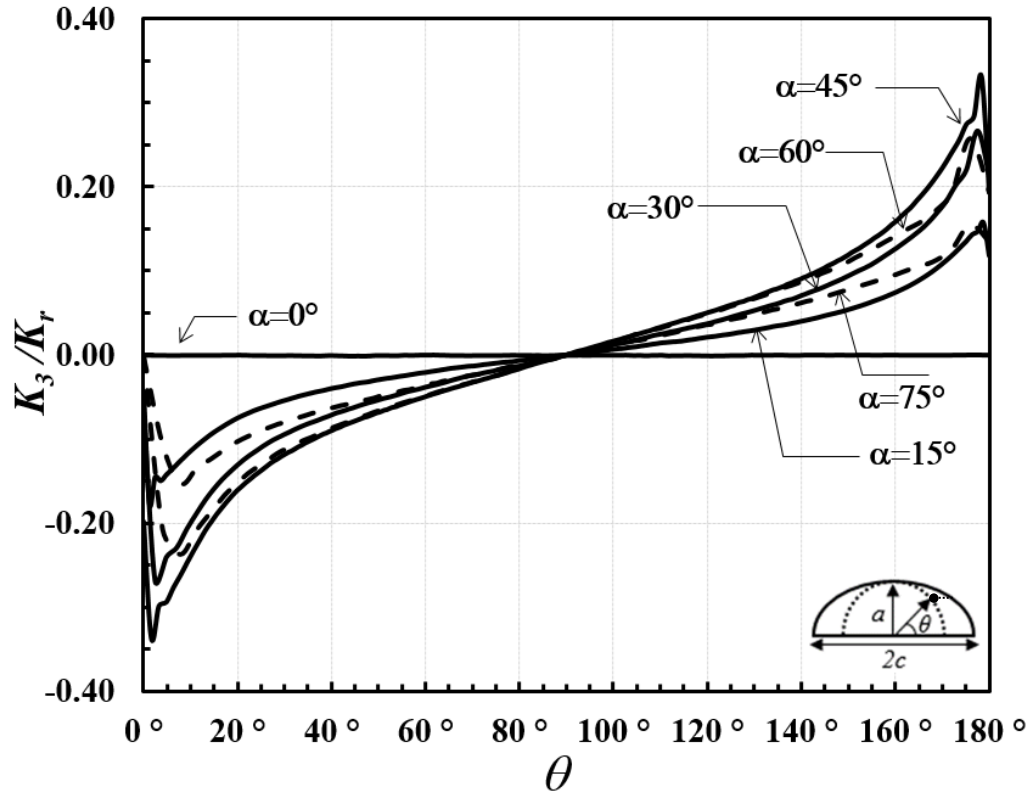
Şekil 3.200.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



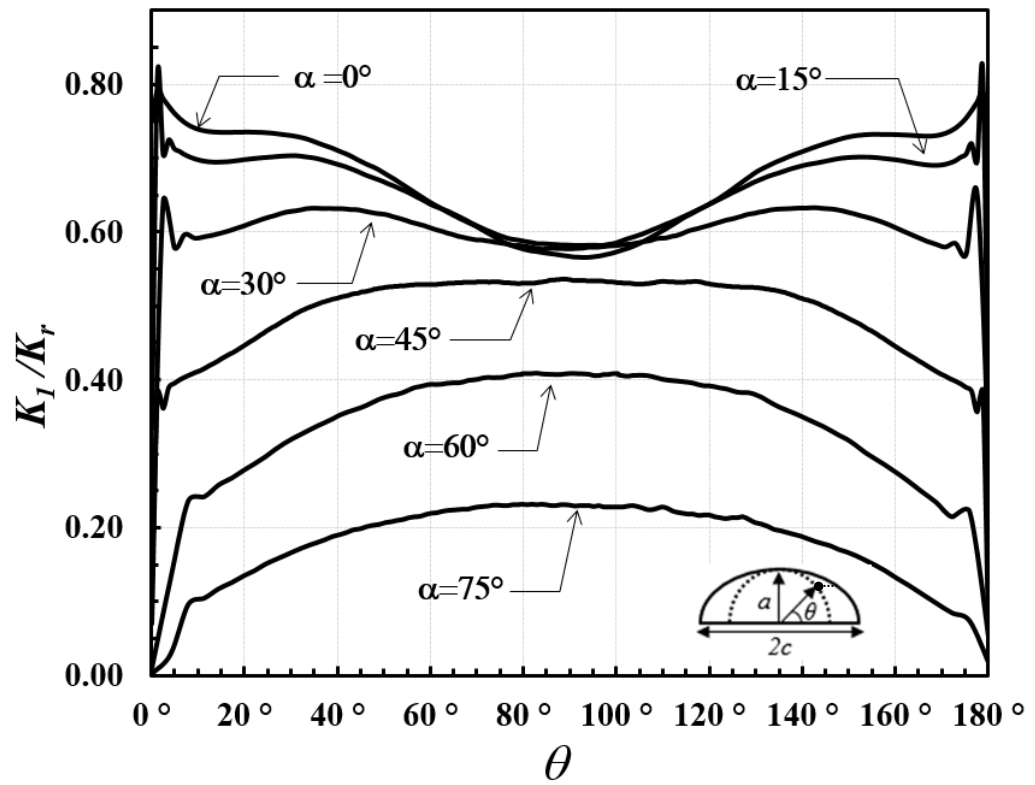
Şekil 3.201.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



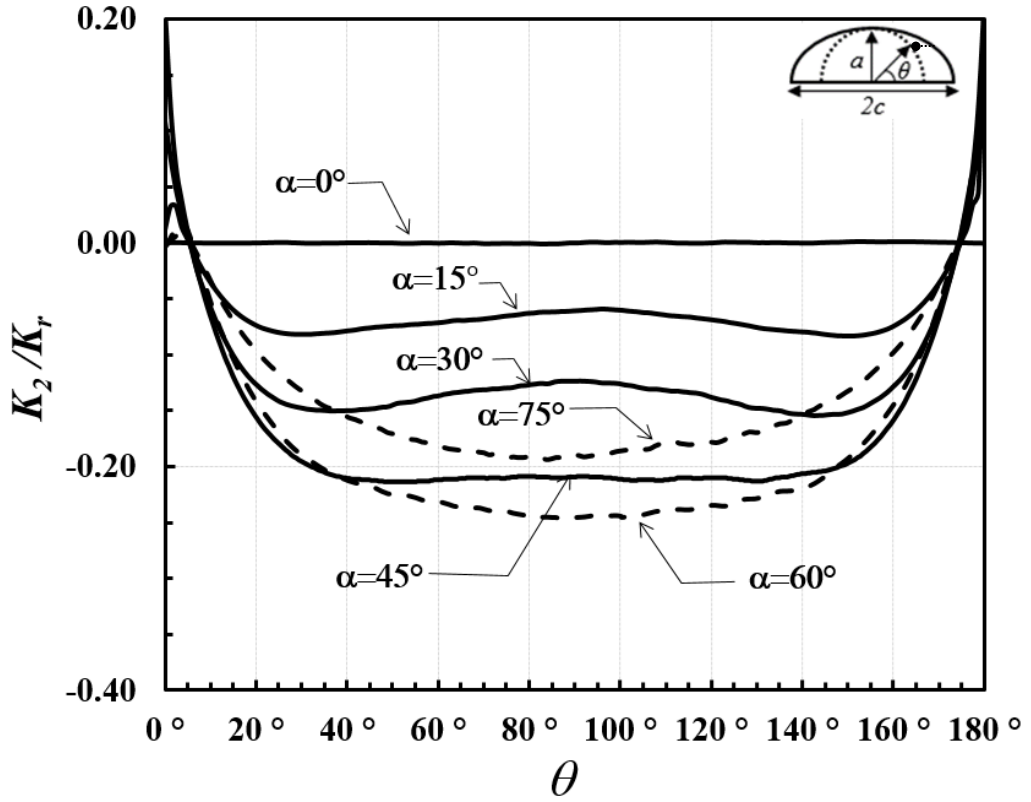
Şekil 3.202.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



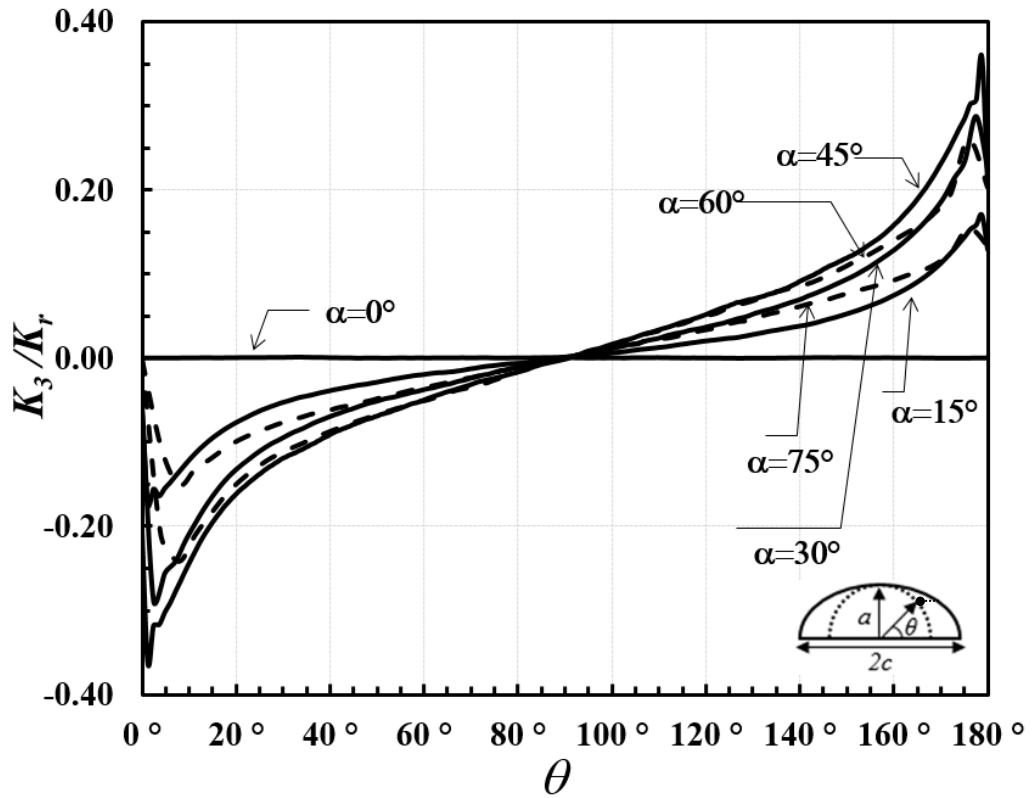
Şekil 3.203.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.204.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

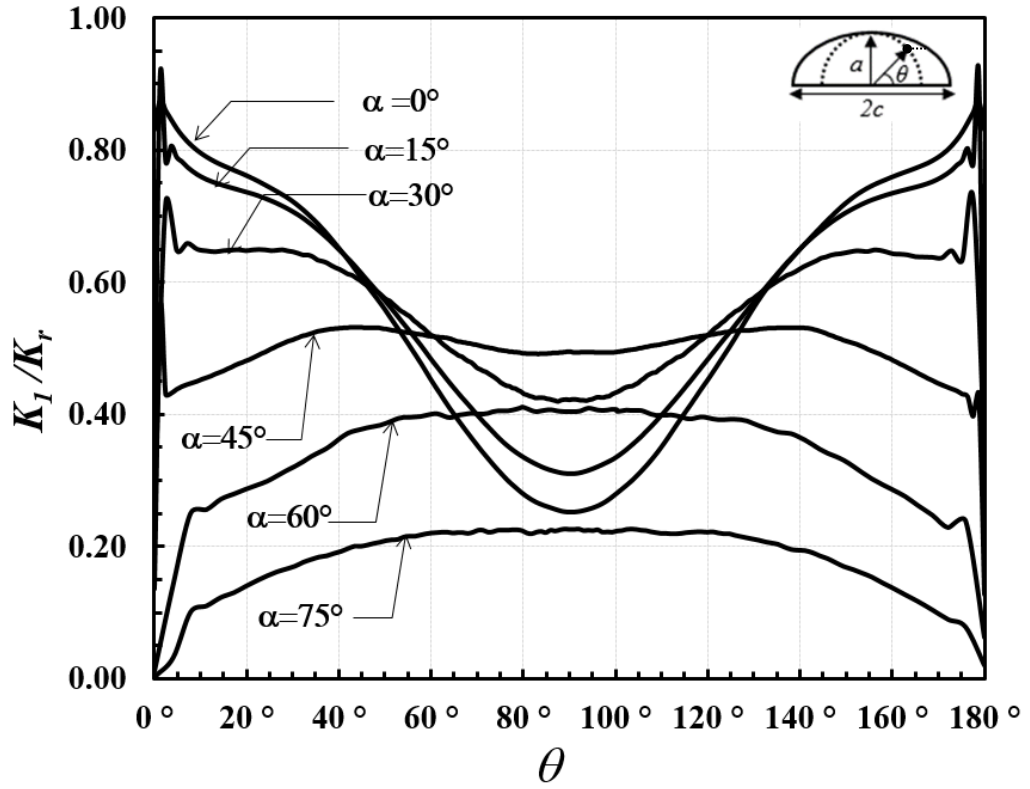


Şekil 3.205.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

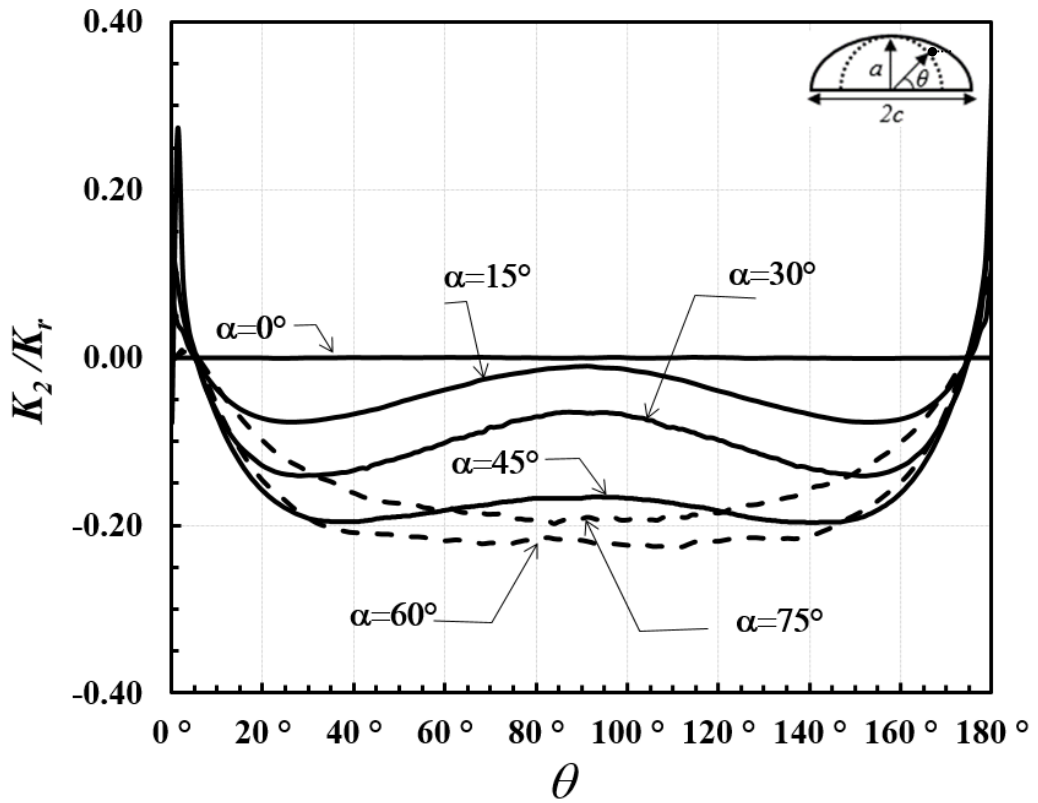


Şekil 3.206.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

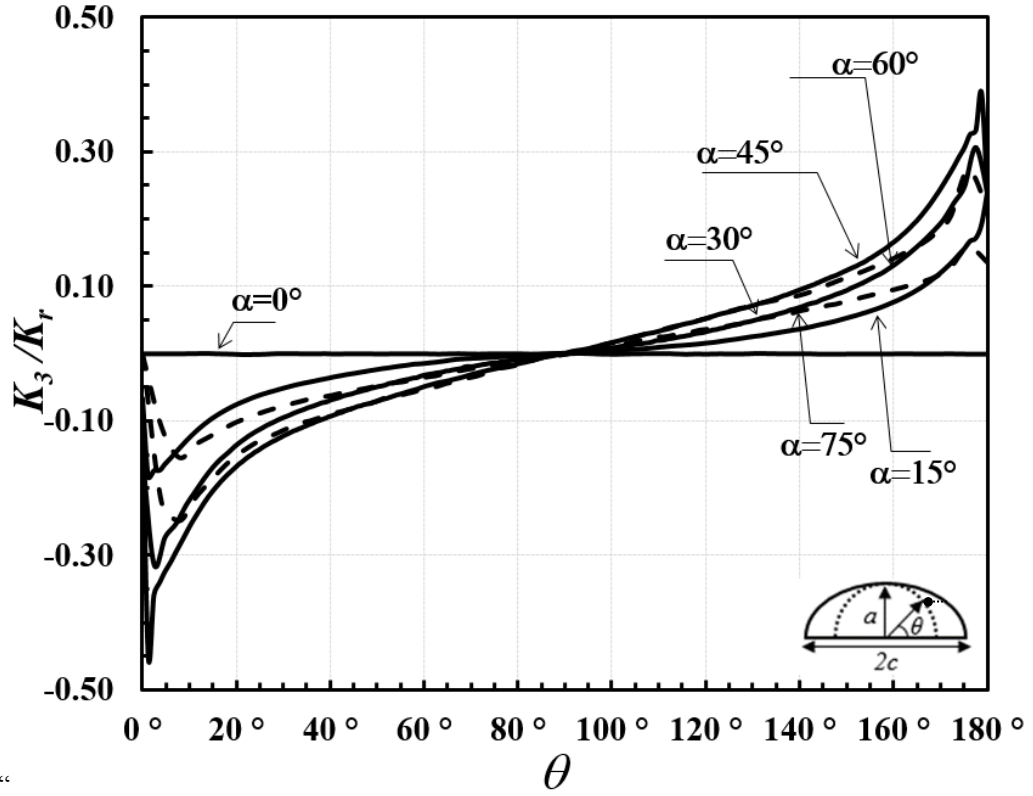




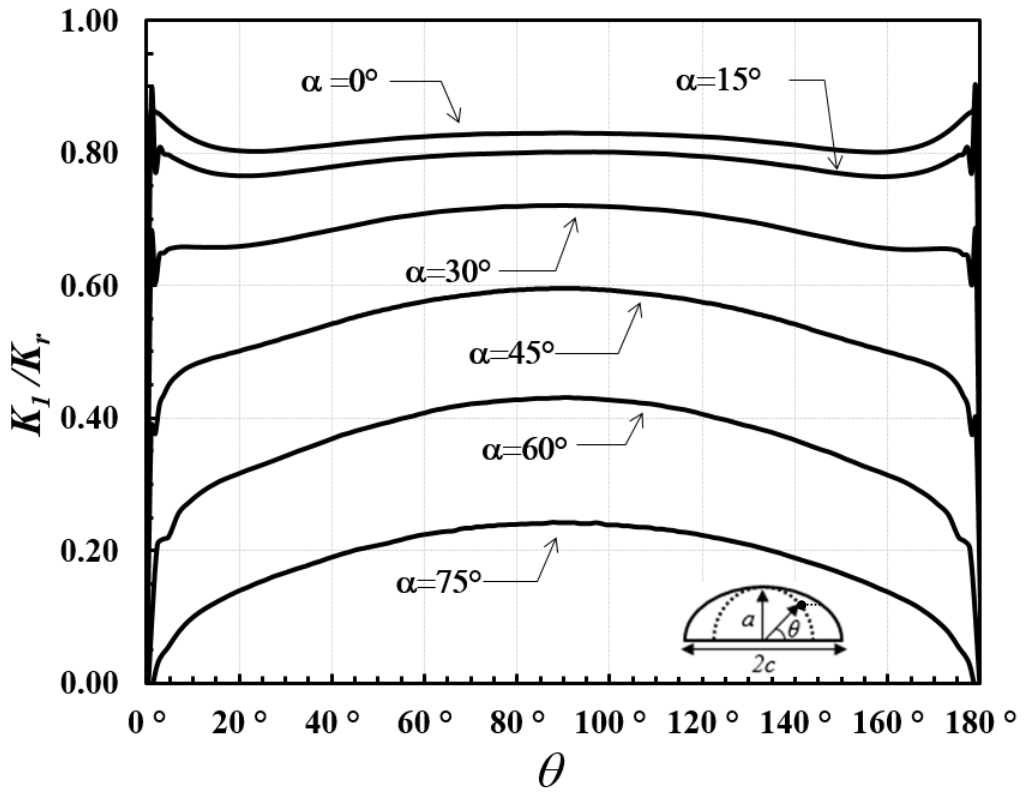
Şekil 3.207.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



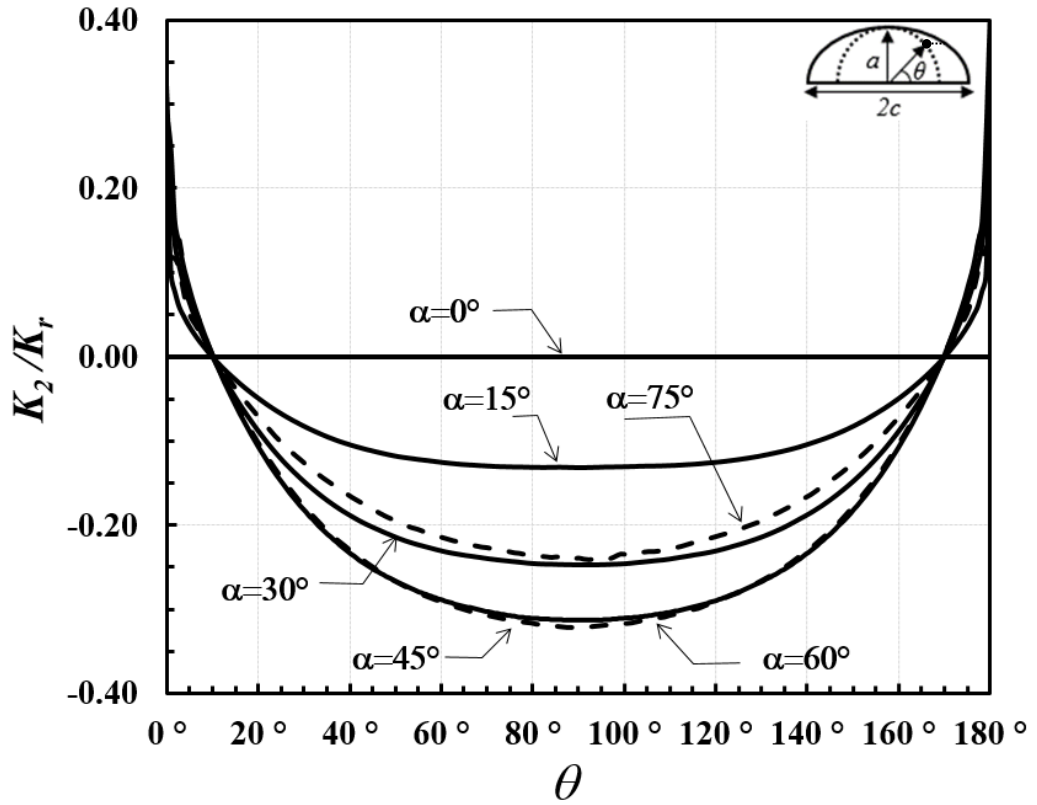
Şekil 3.208.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



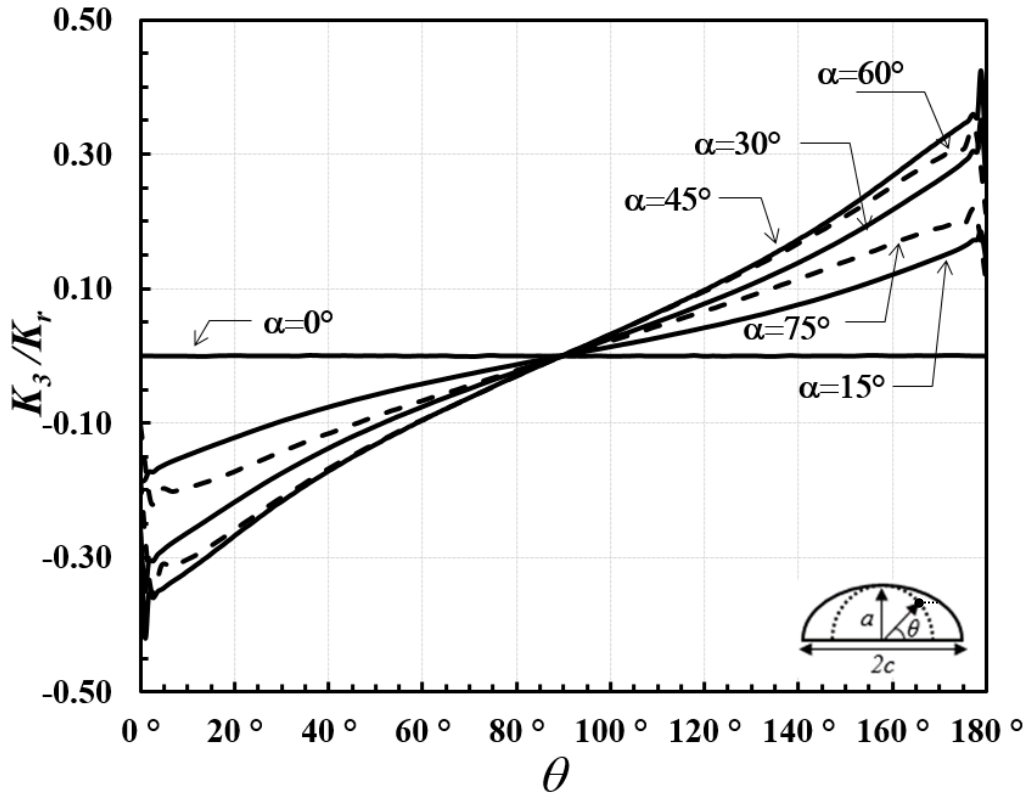
Şekil 3.209.  $a/c=0.25$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



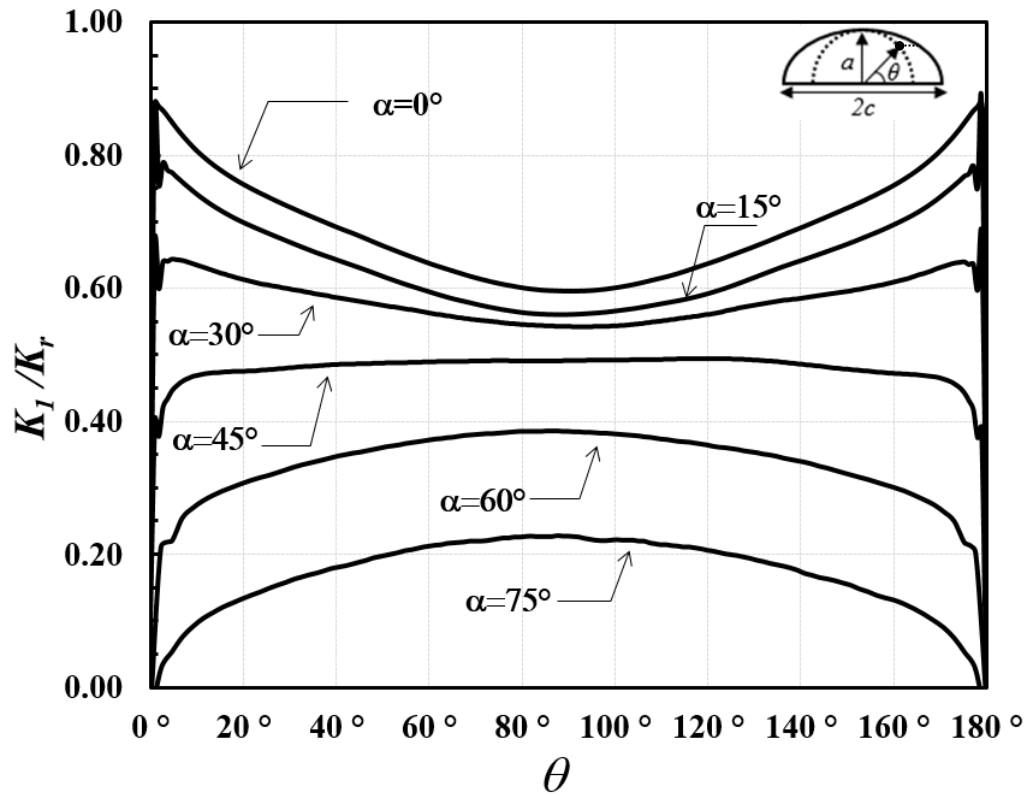
Şekil 3.210.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



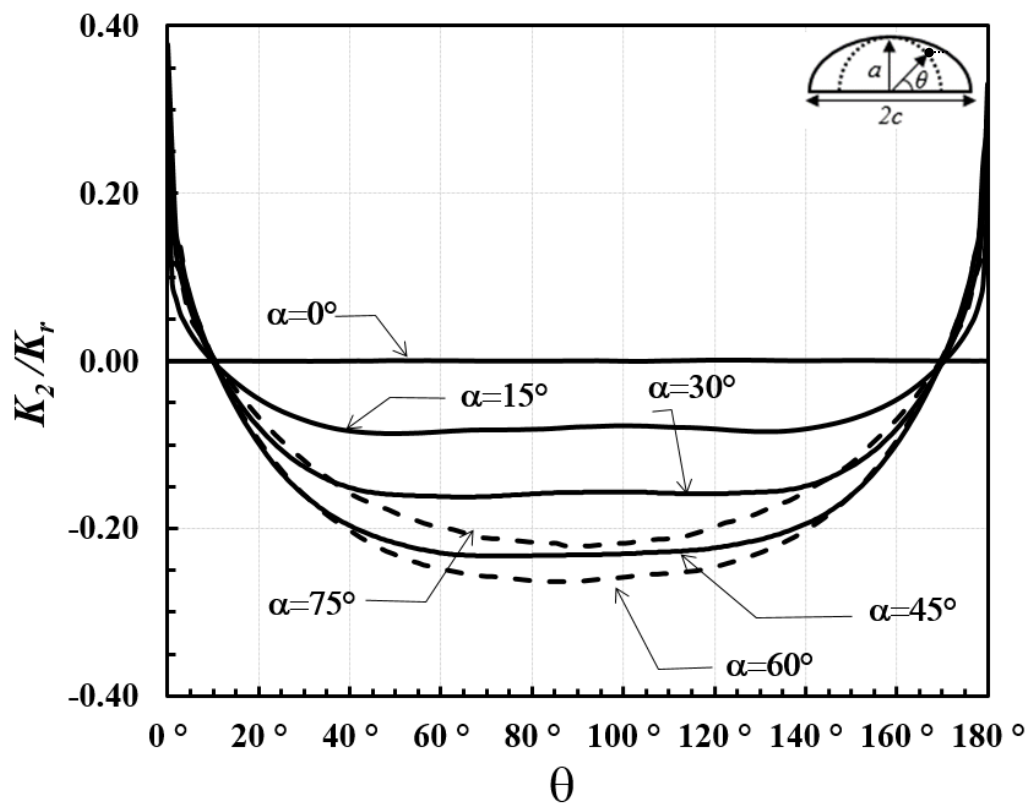
Şekil 3.211.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



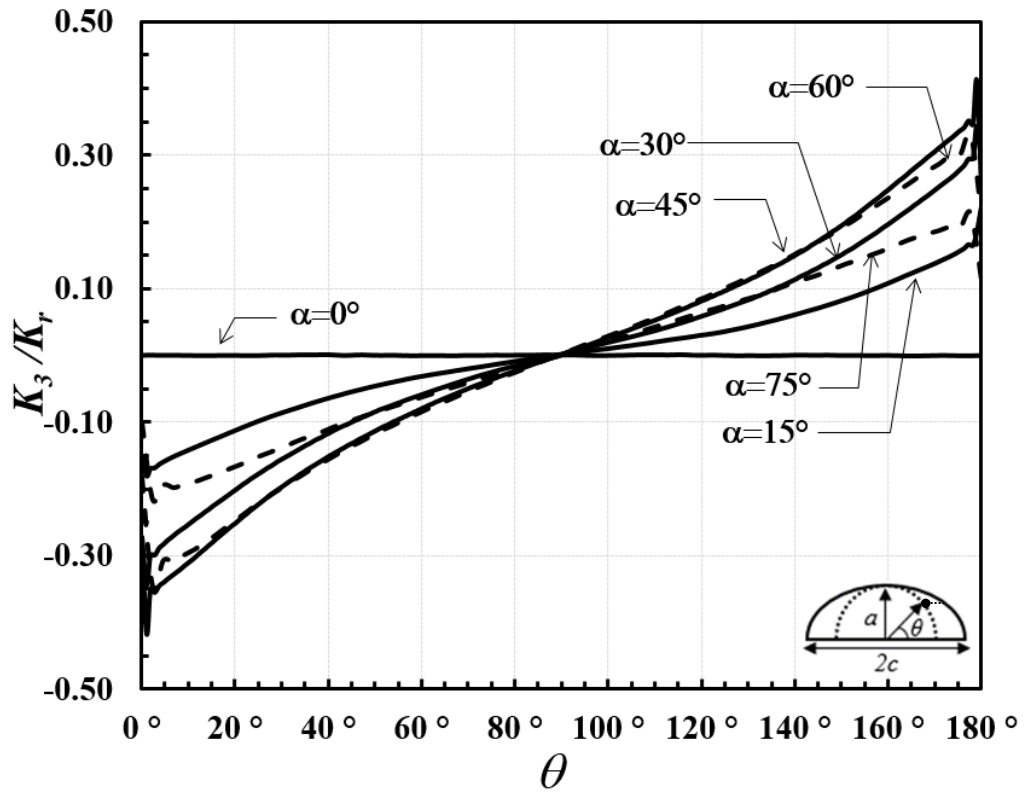
Şekil 3.212.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



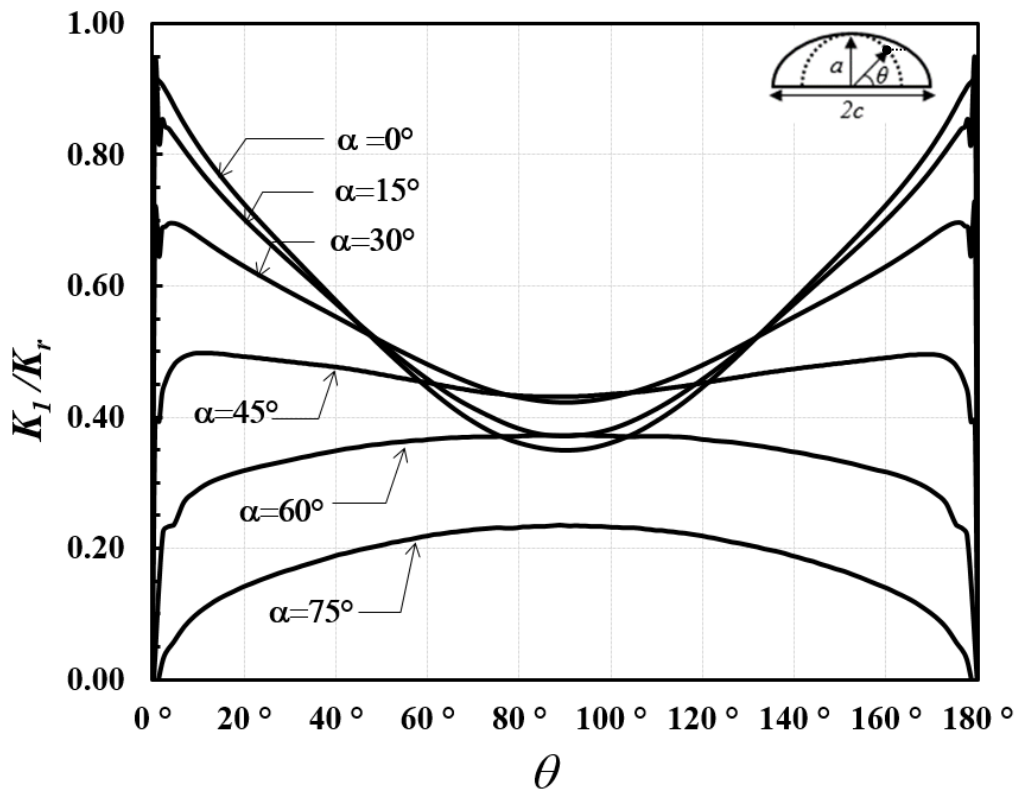
Şekil 3.213.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



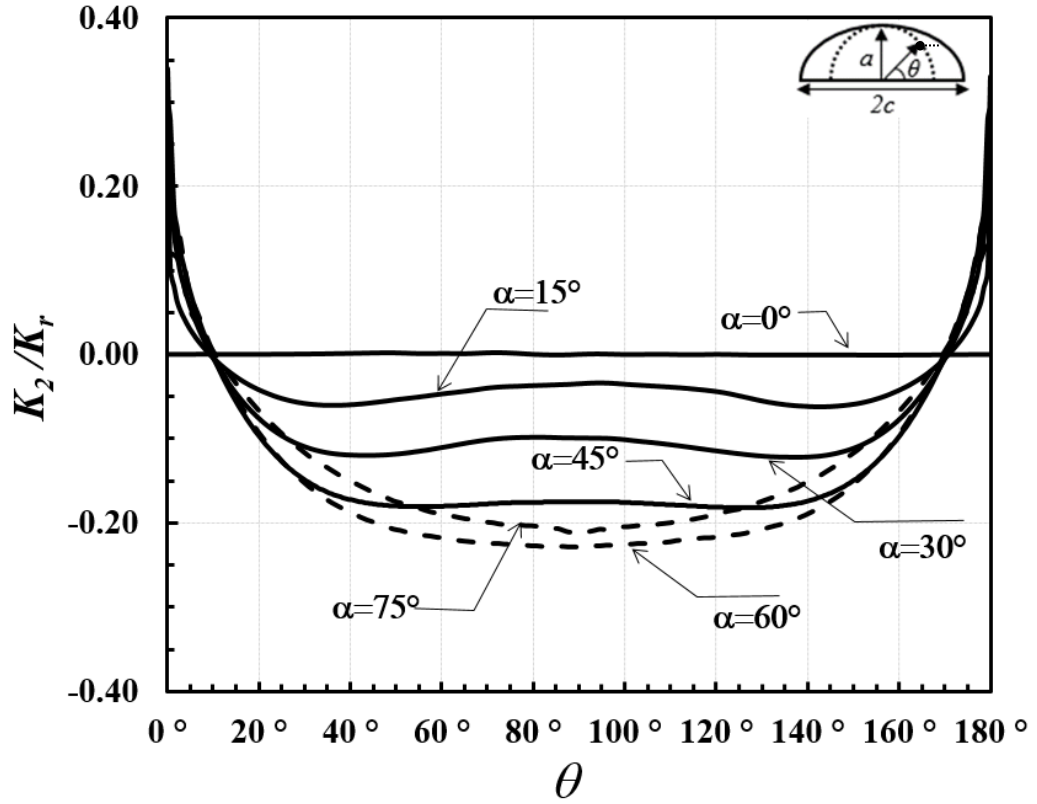
Şekil 3.214.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



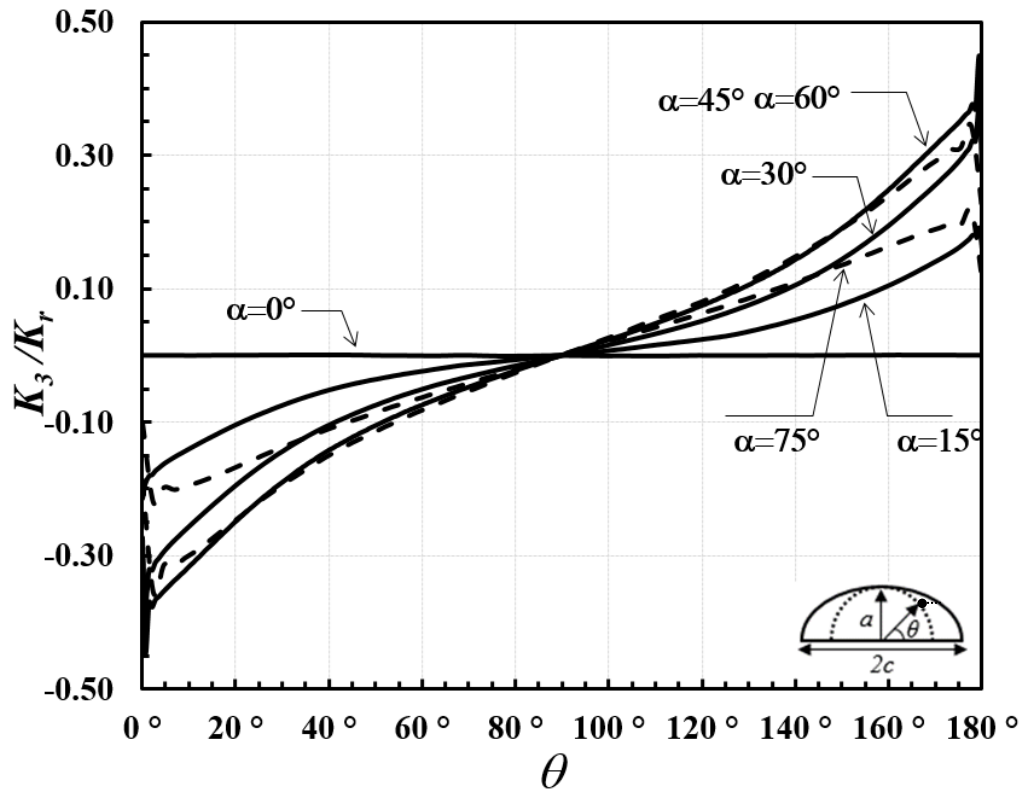
Şekil 3.215.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



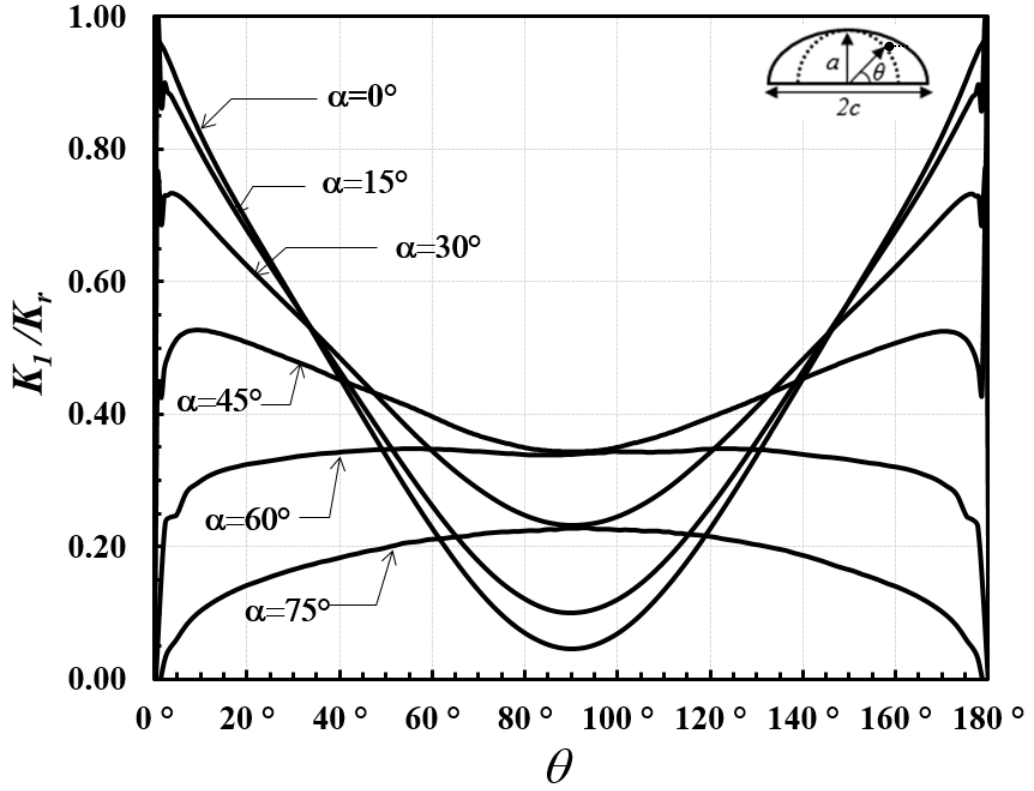
Şekil 3.216.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



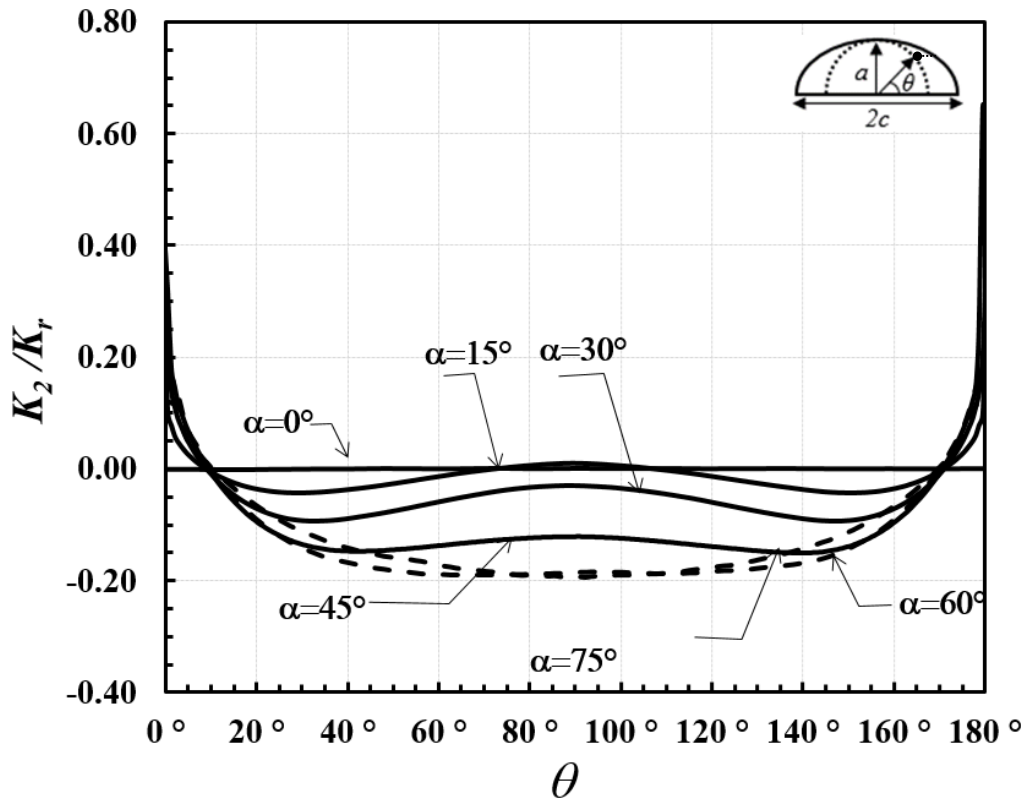
Şekil 3.217.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



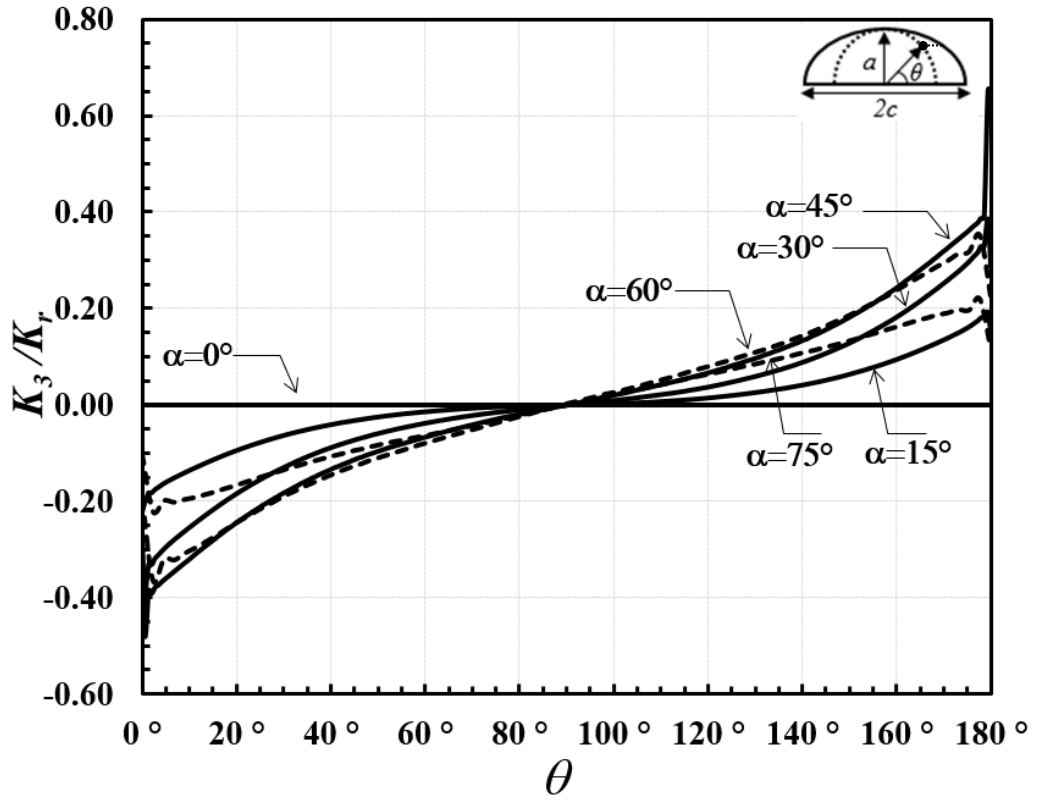
Şekil 3.218.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



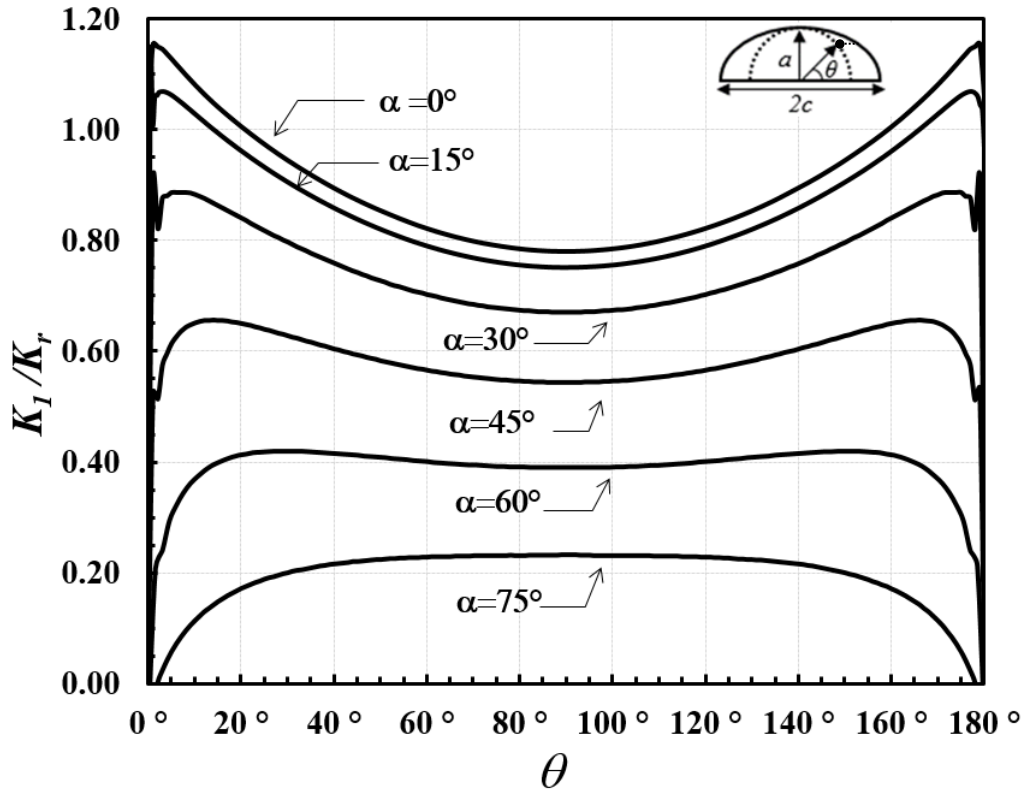
Şekil 3.219.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.220.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

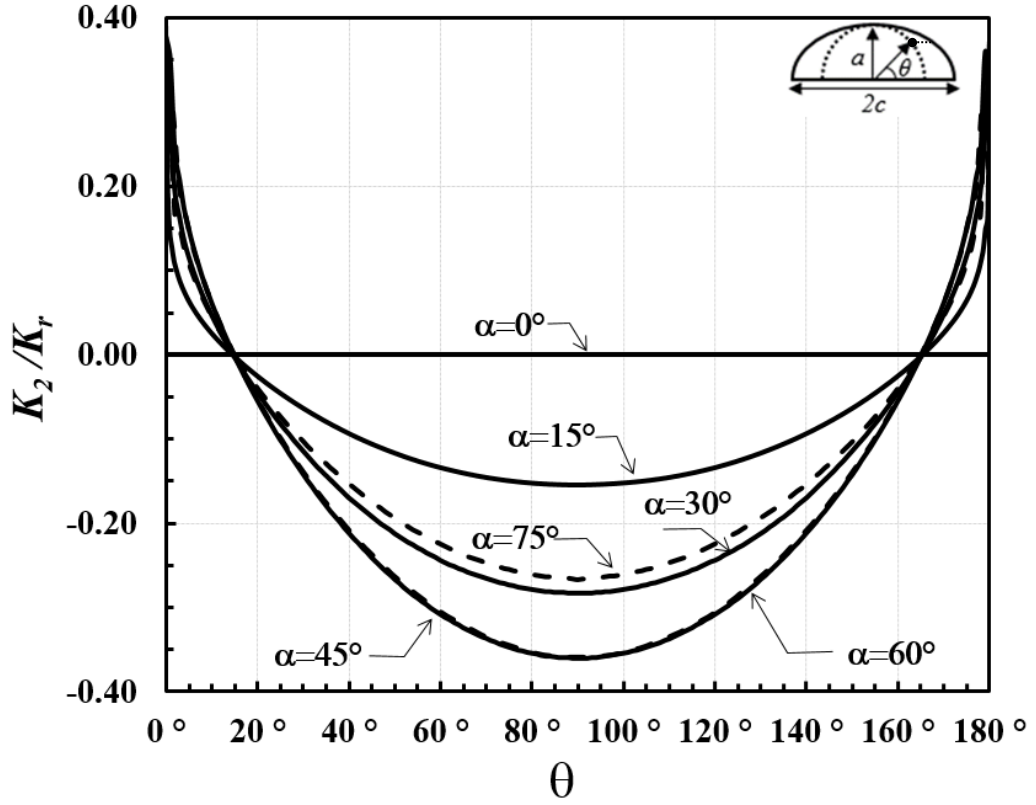


Şekil 3.221.  $a/c=0.5$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

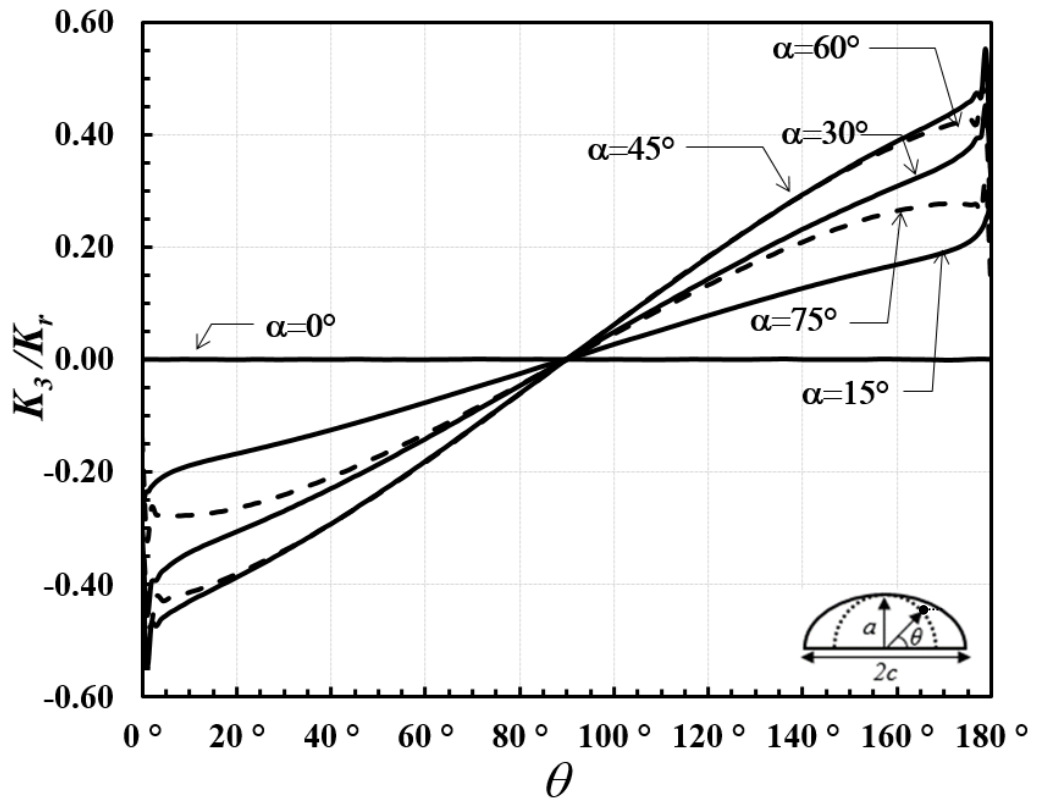


Şekil 3.222.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

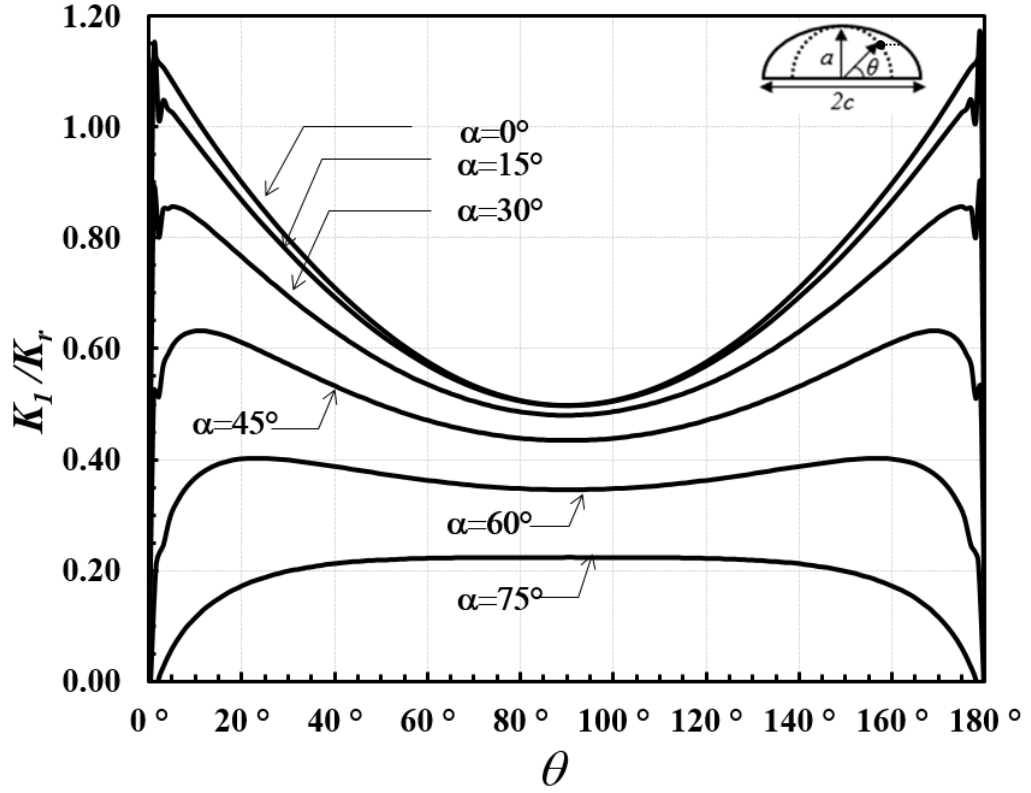




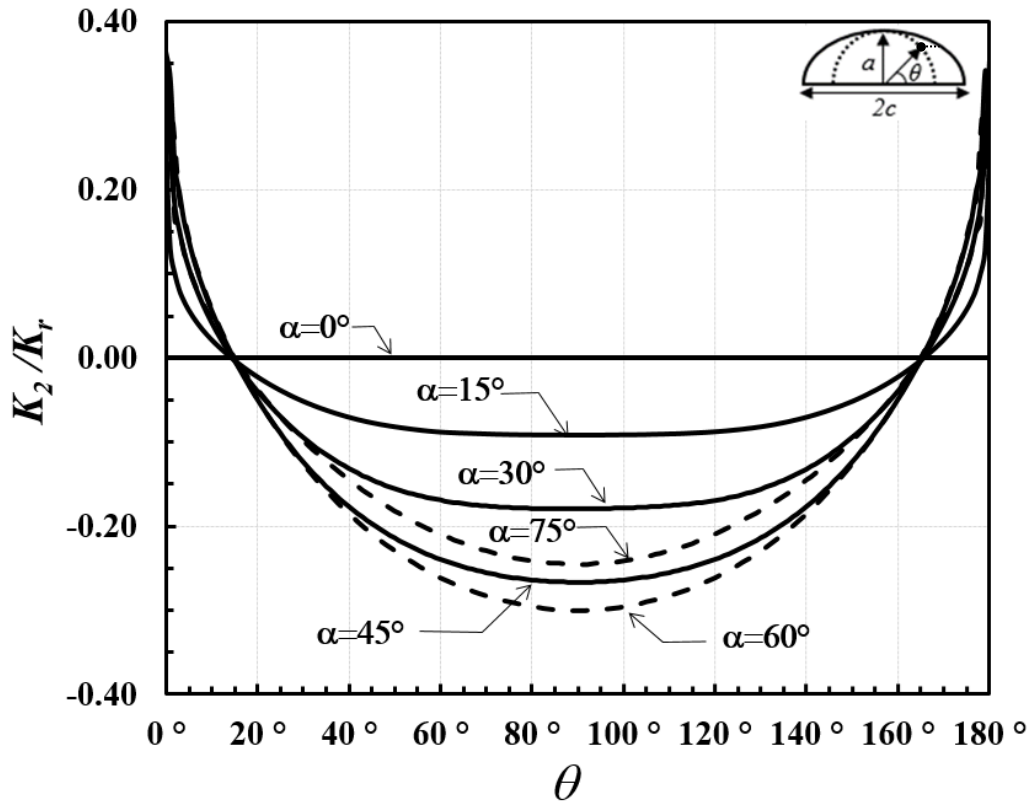
Şekil 3.223.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



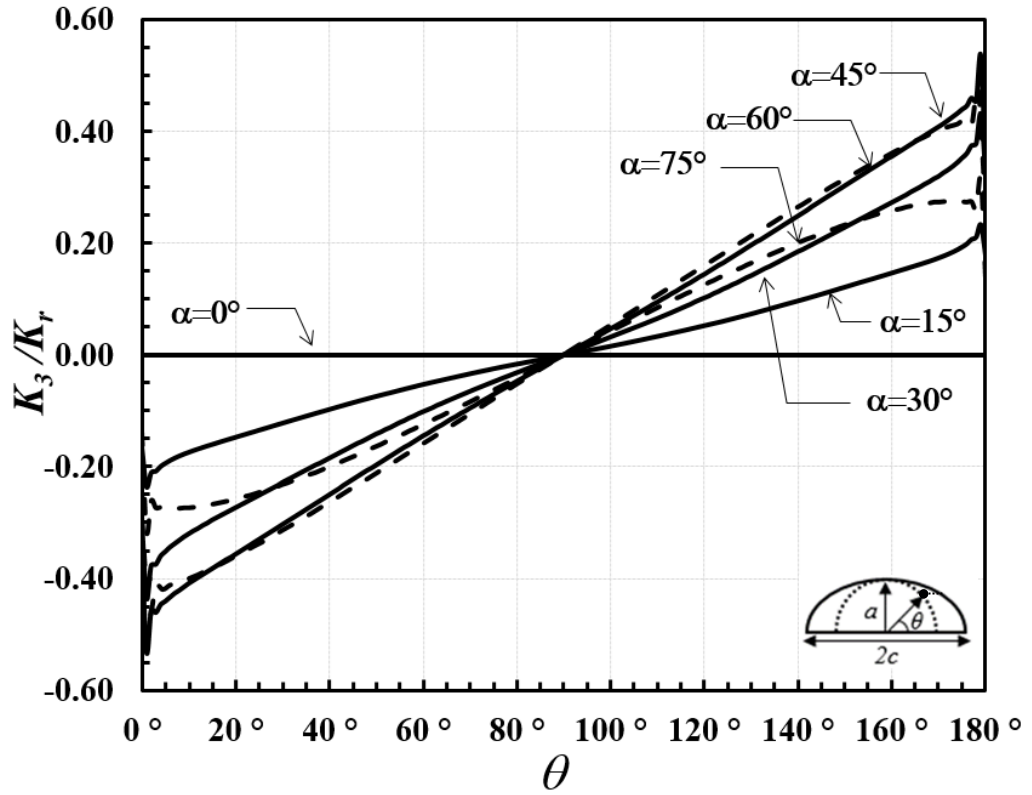
Şekil 3.224.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



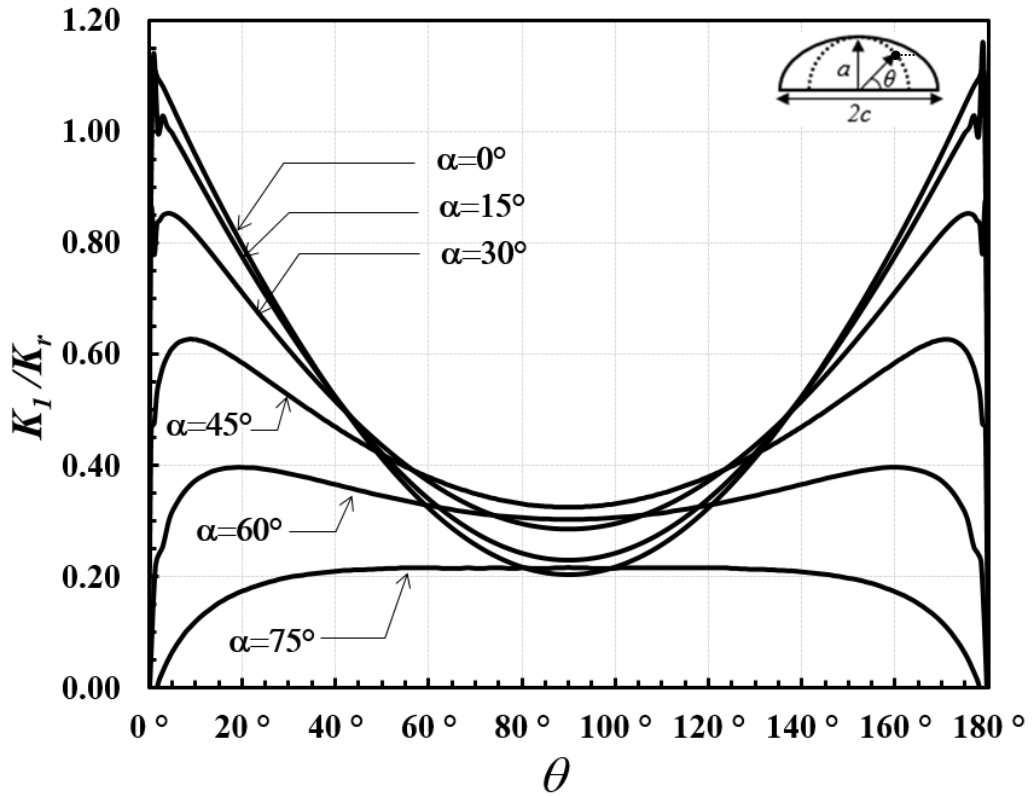
Şekil 3.225.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



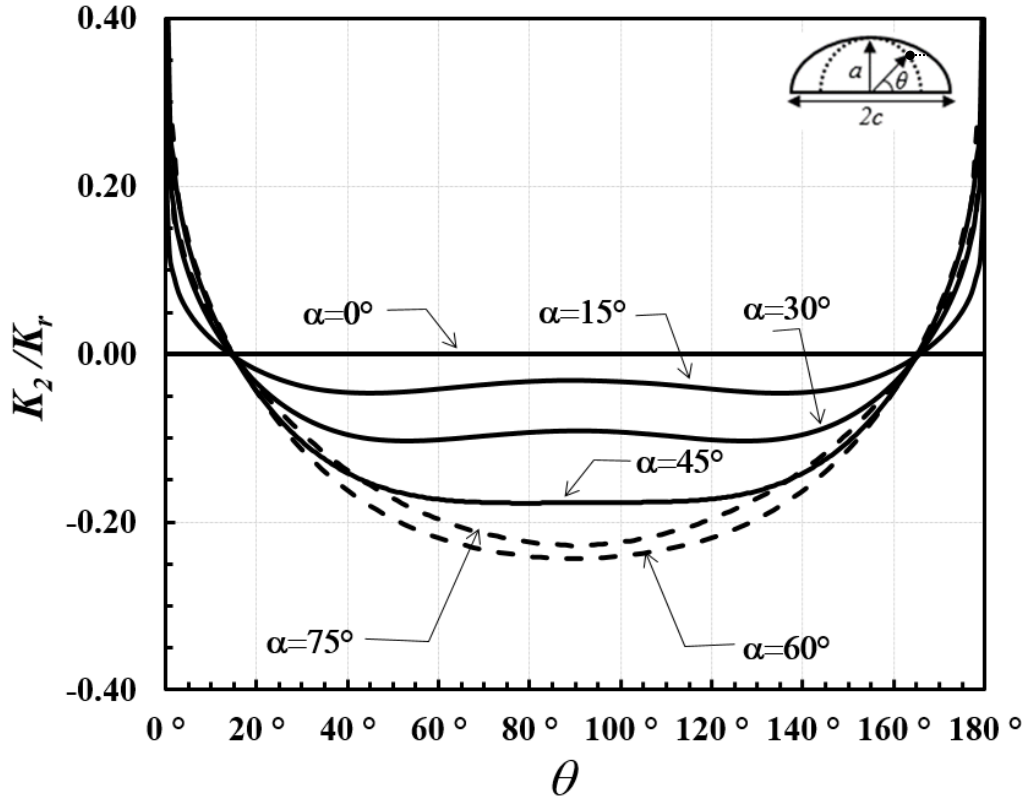
Şekil 3.226.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



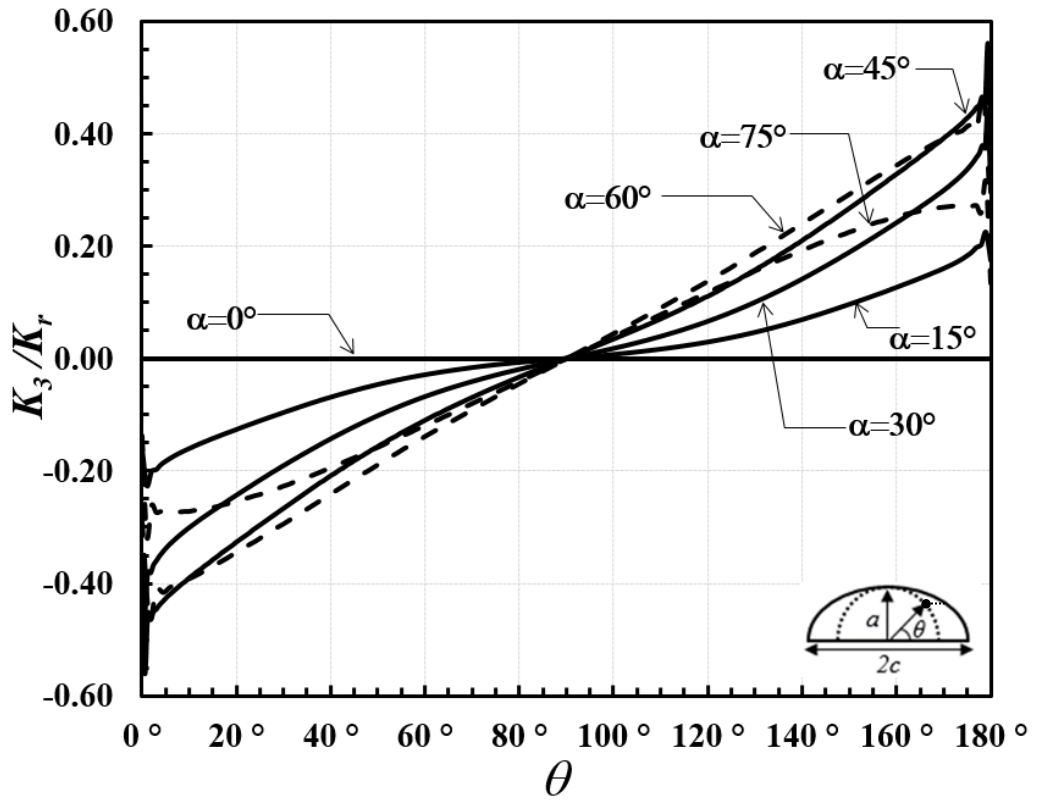
Şekil 3.227.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



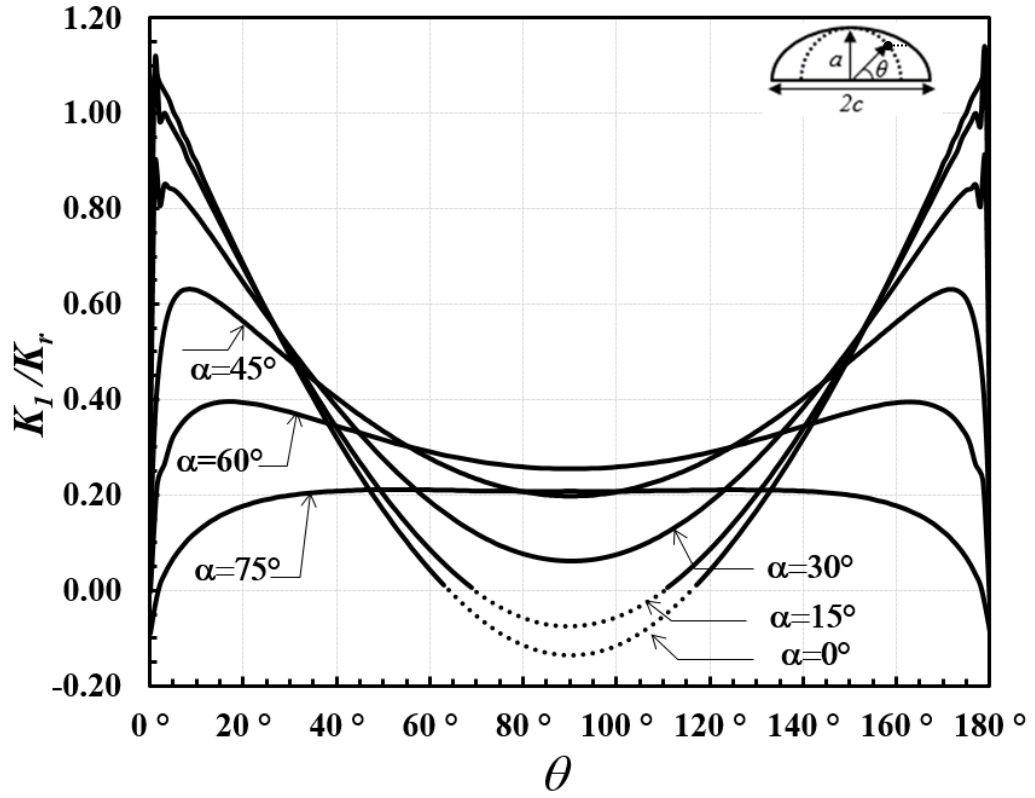
Şekil 3.228.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



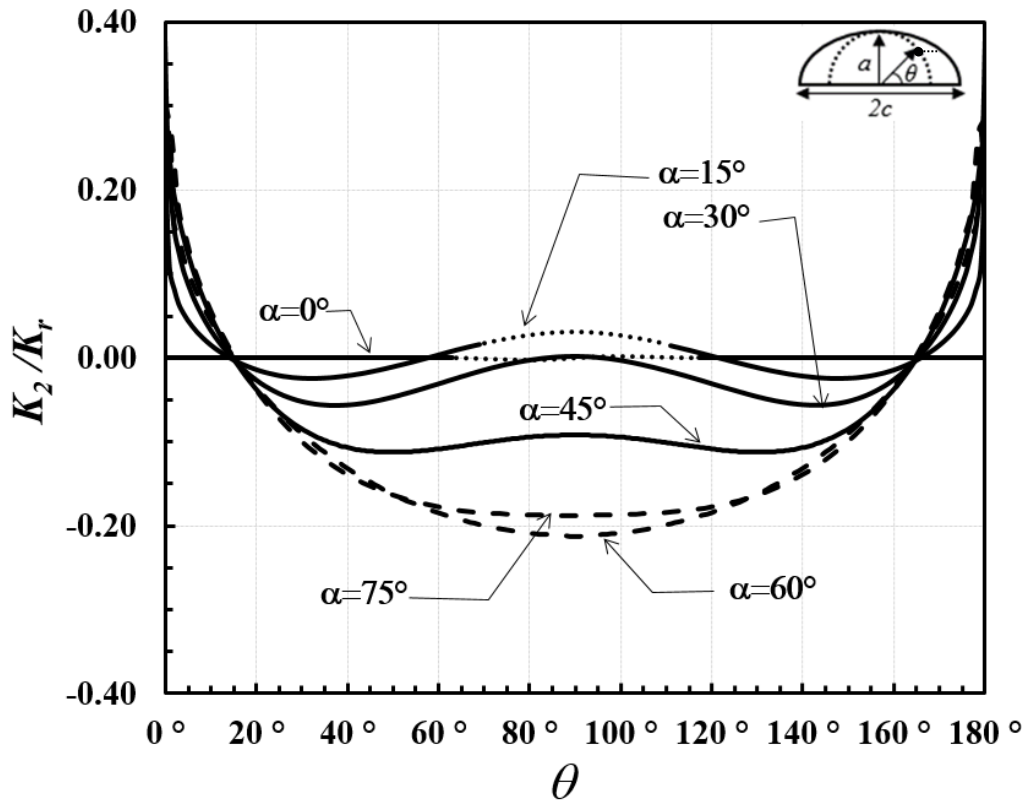
Şekil 3.229.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



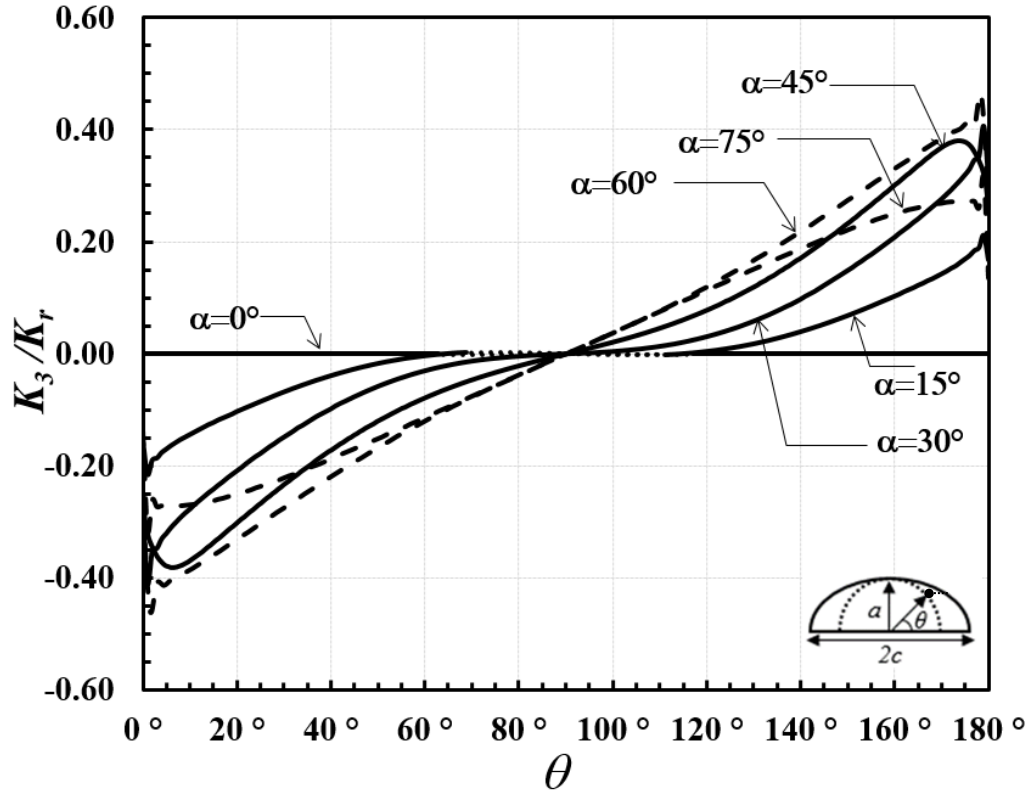
Şekil 3.230.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



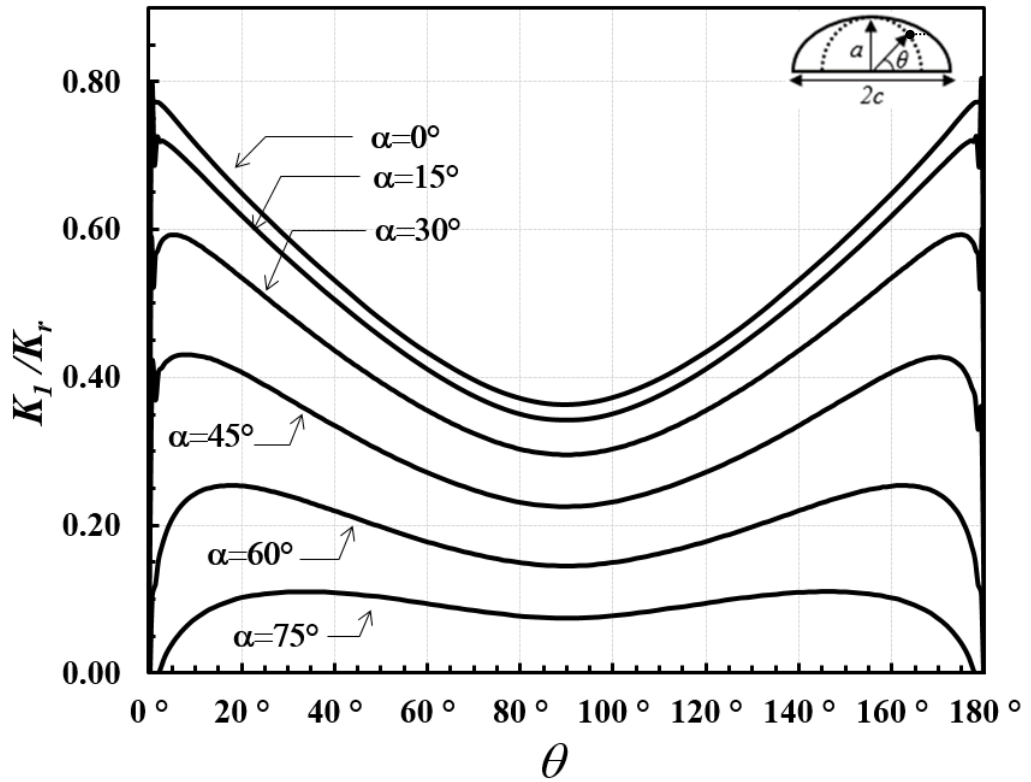
Şekil 3.231.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



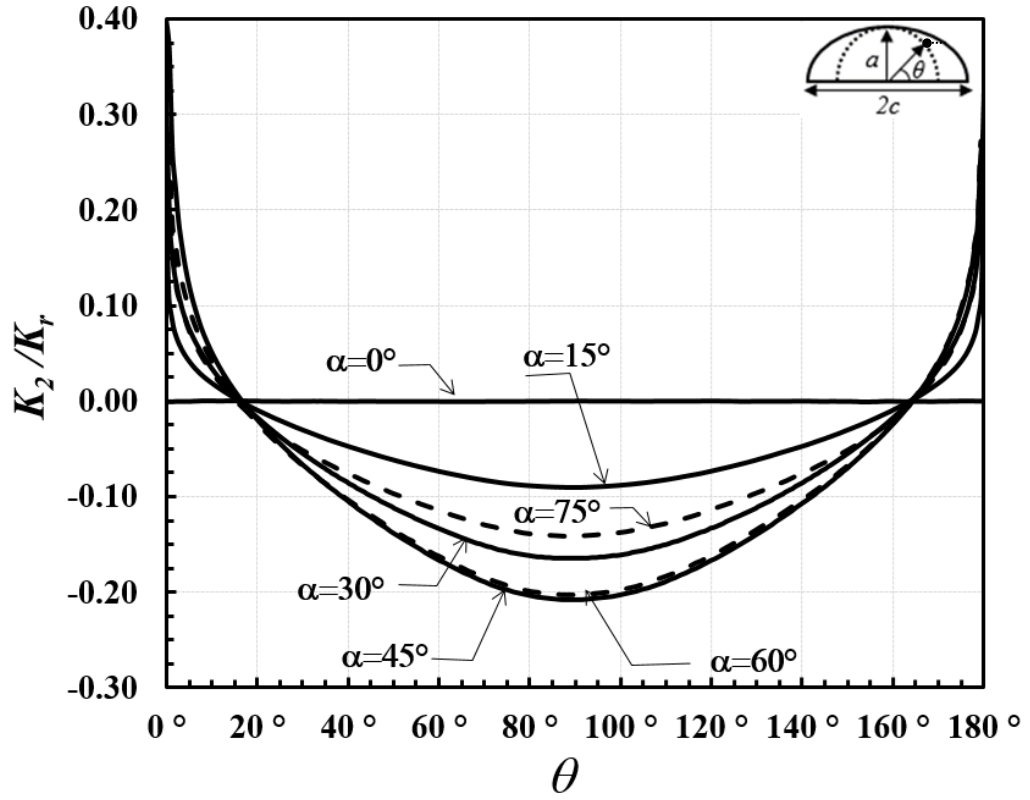
Şekil 3.232.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



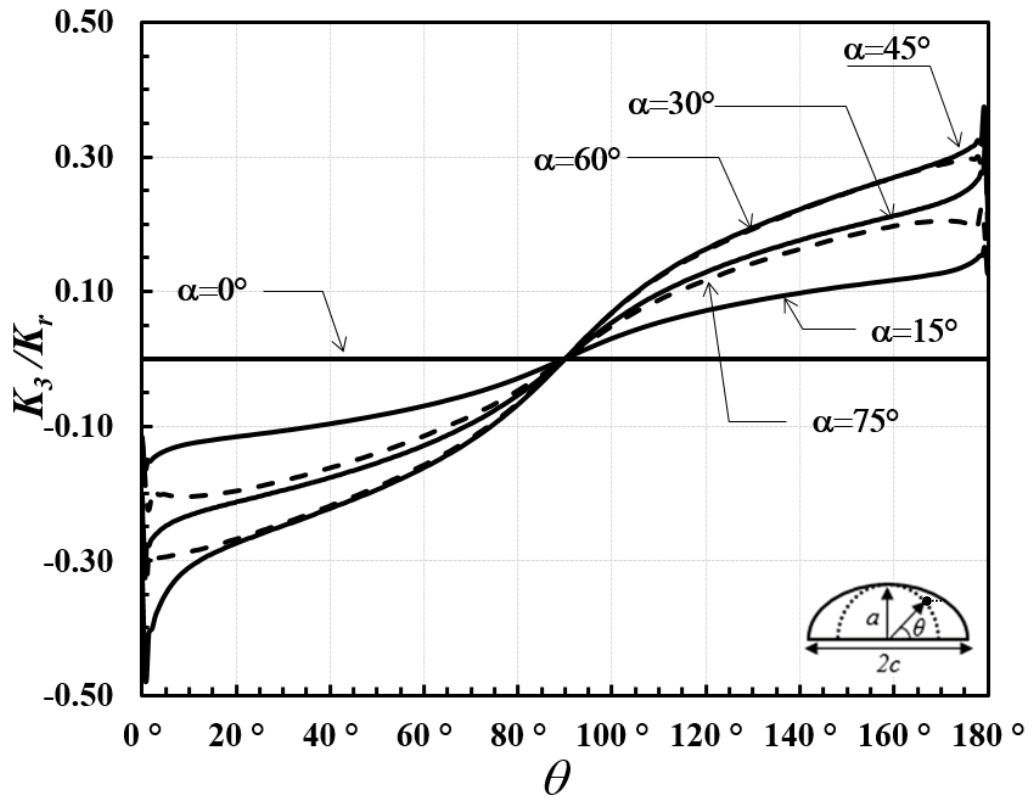
Şekil 3.233.  $a/c=1$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



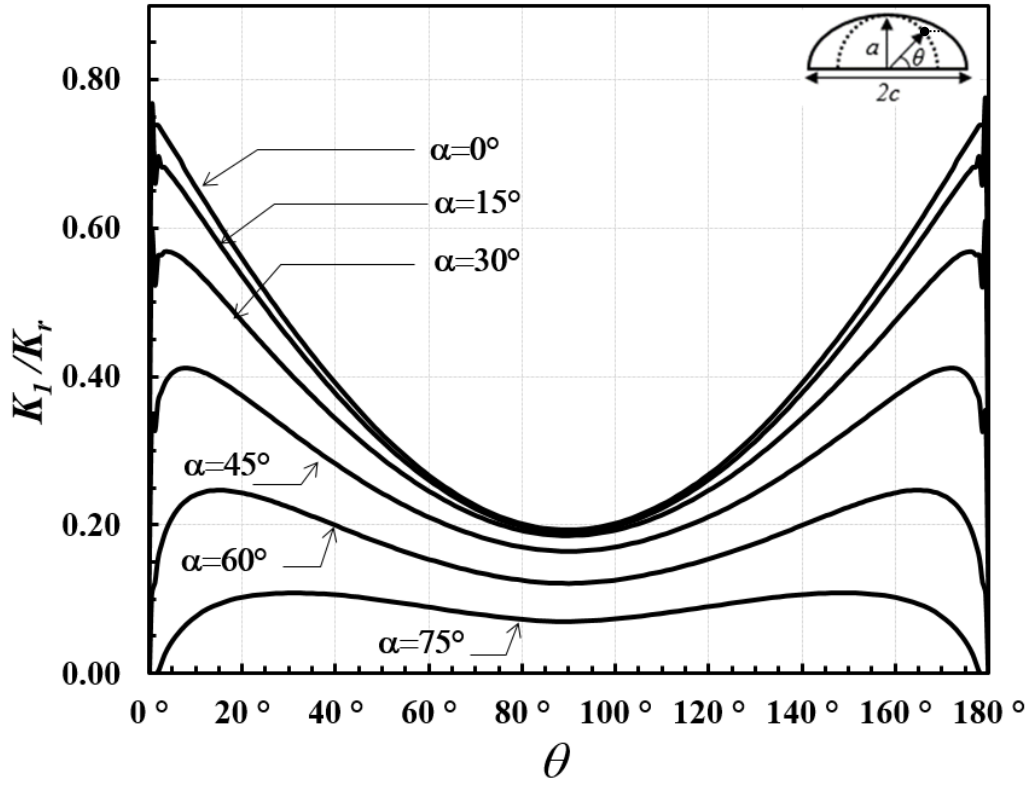
Şekil 3.234.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



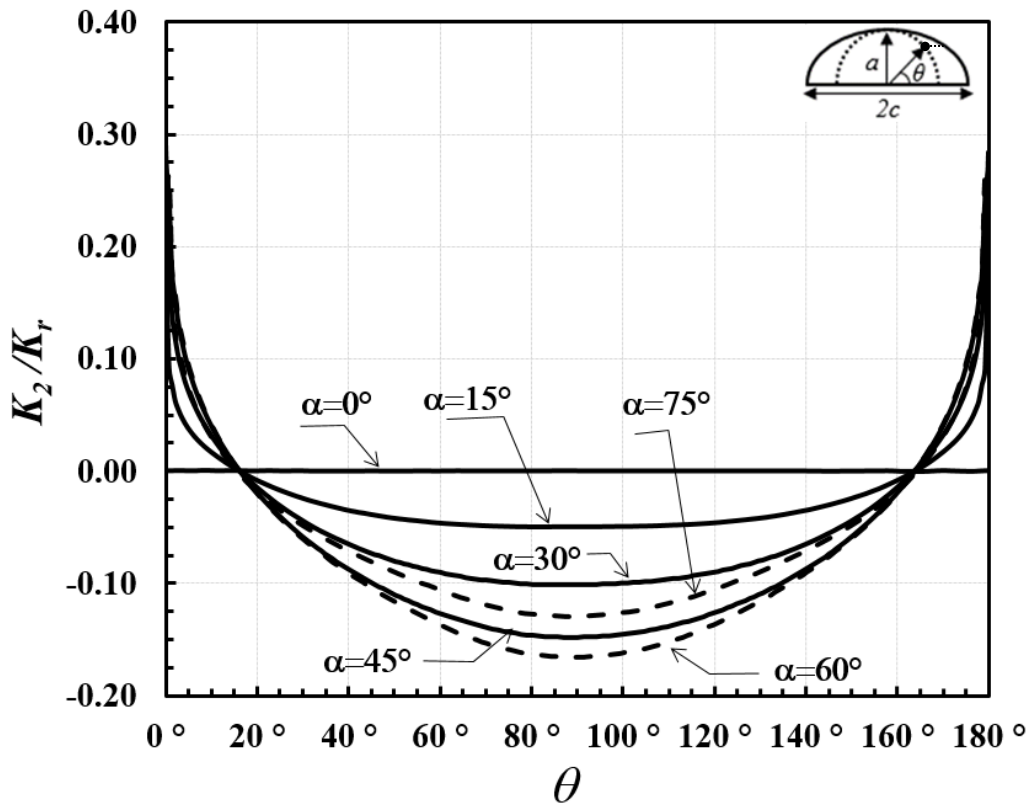
Şekil 3.235.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.236.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

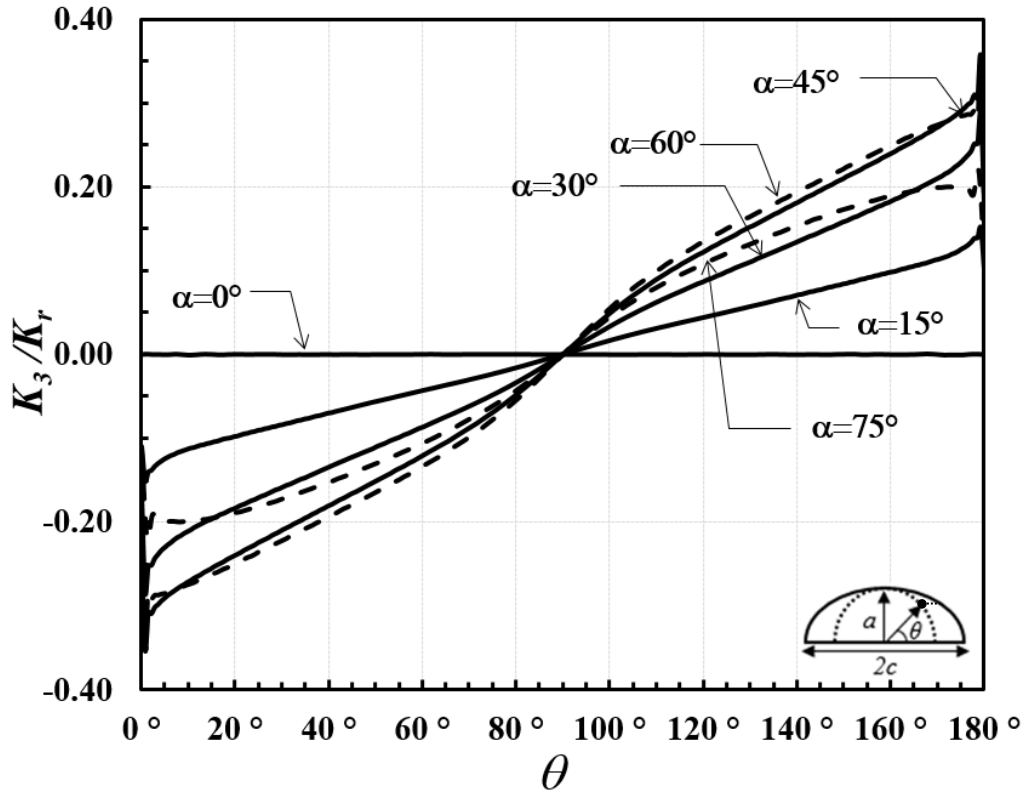


Şekil 3.237.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

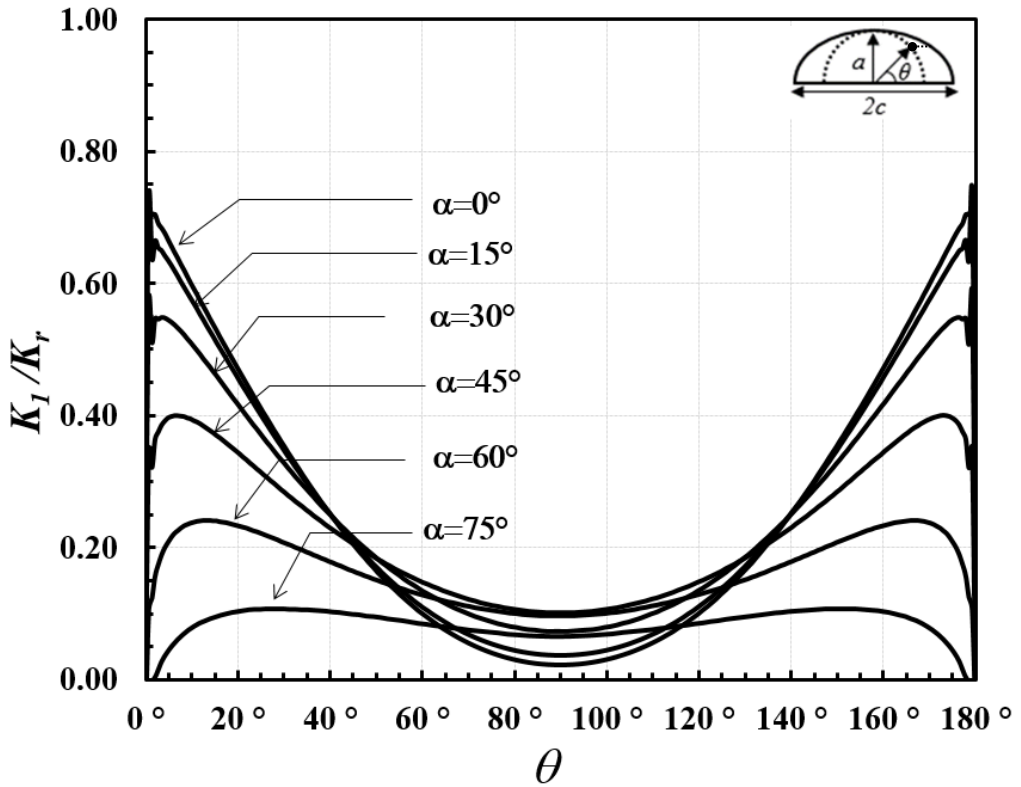


Şekil 3.238.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

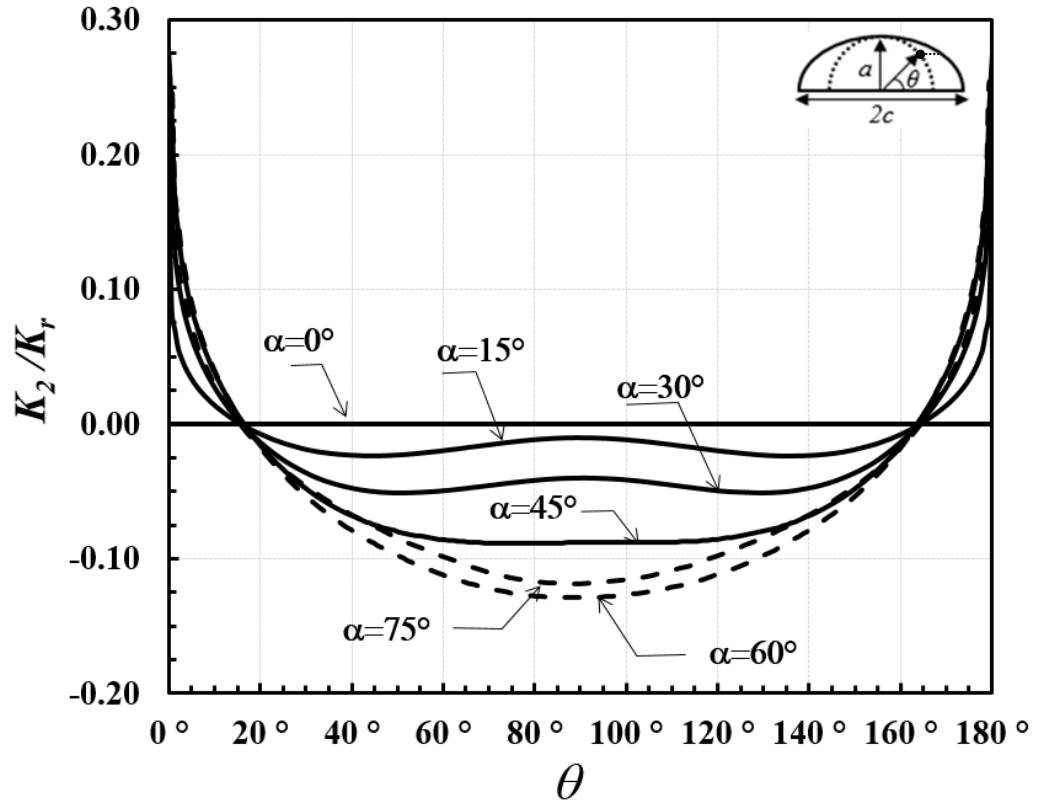




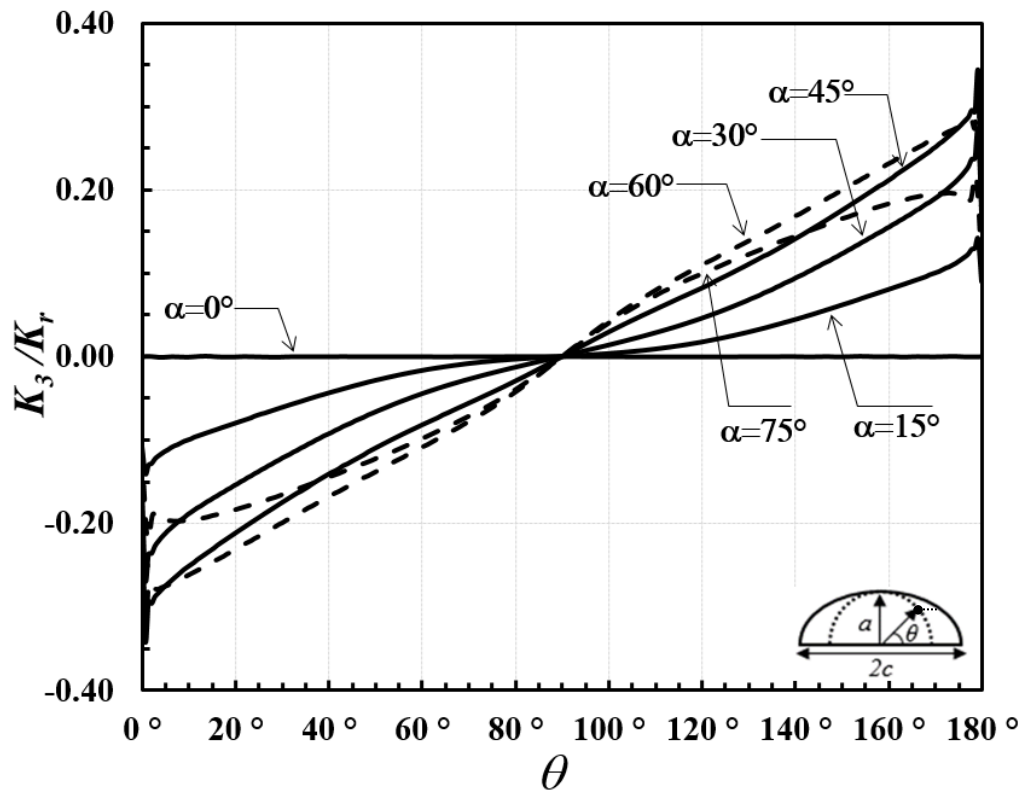
Şekil 3.239.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



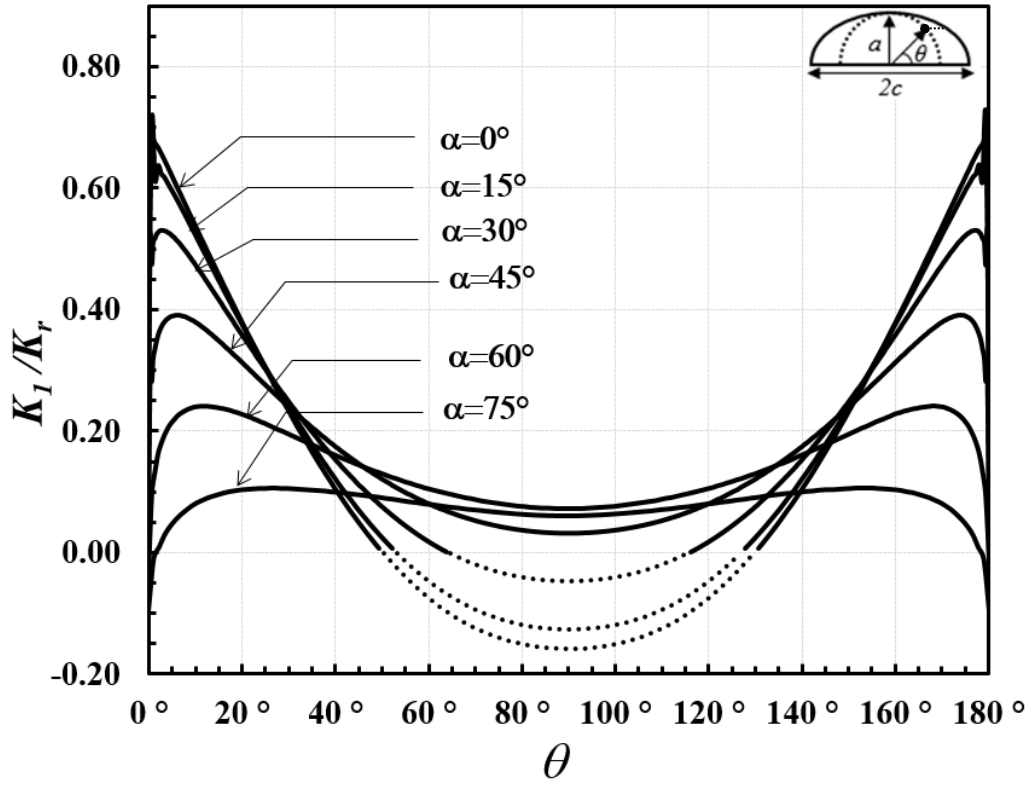
Şekil 3.240.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



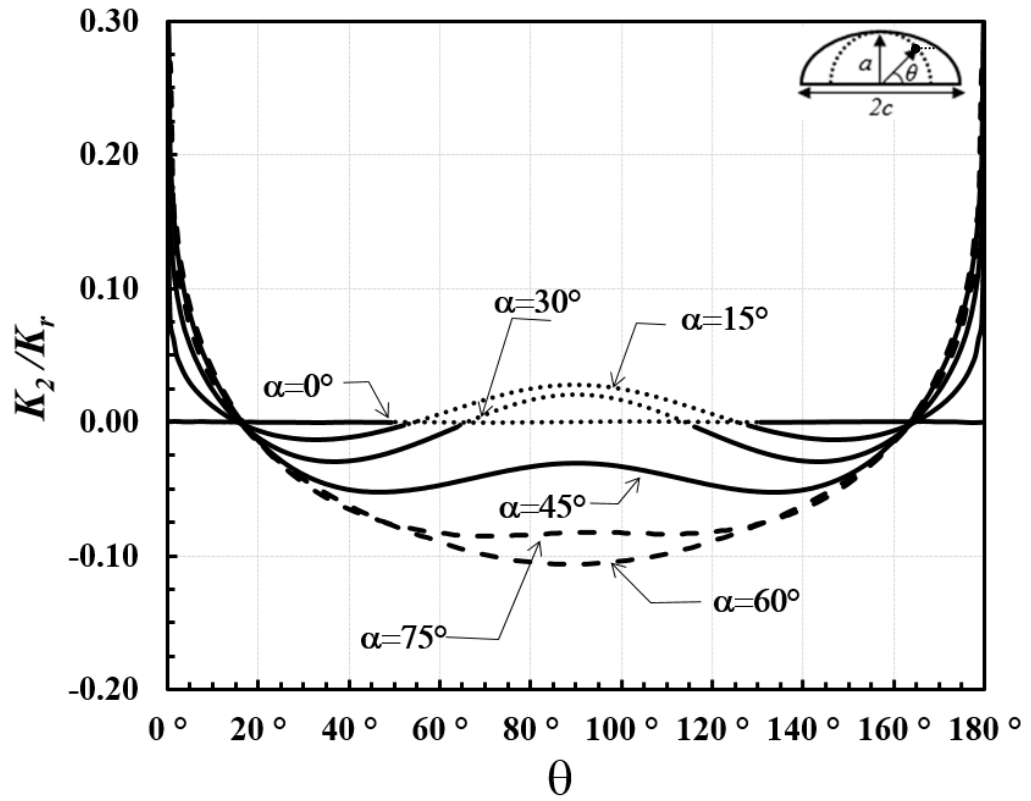
Şekil 3.241.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



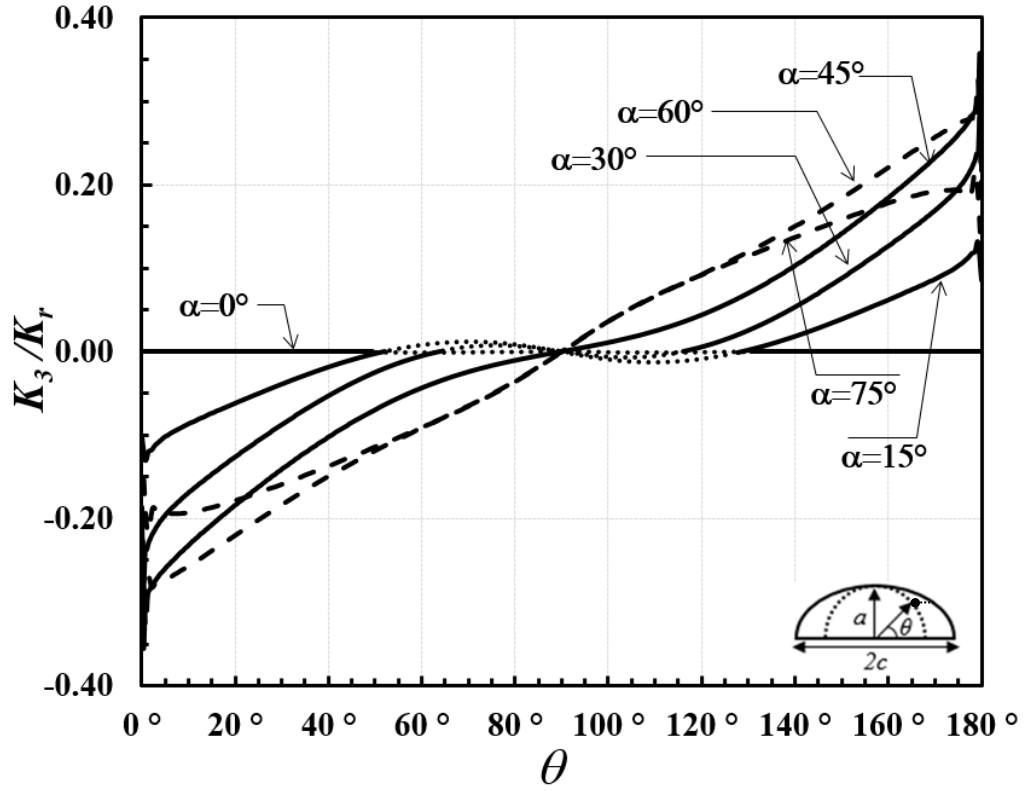
Şekil 3.242.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



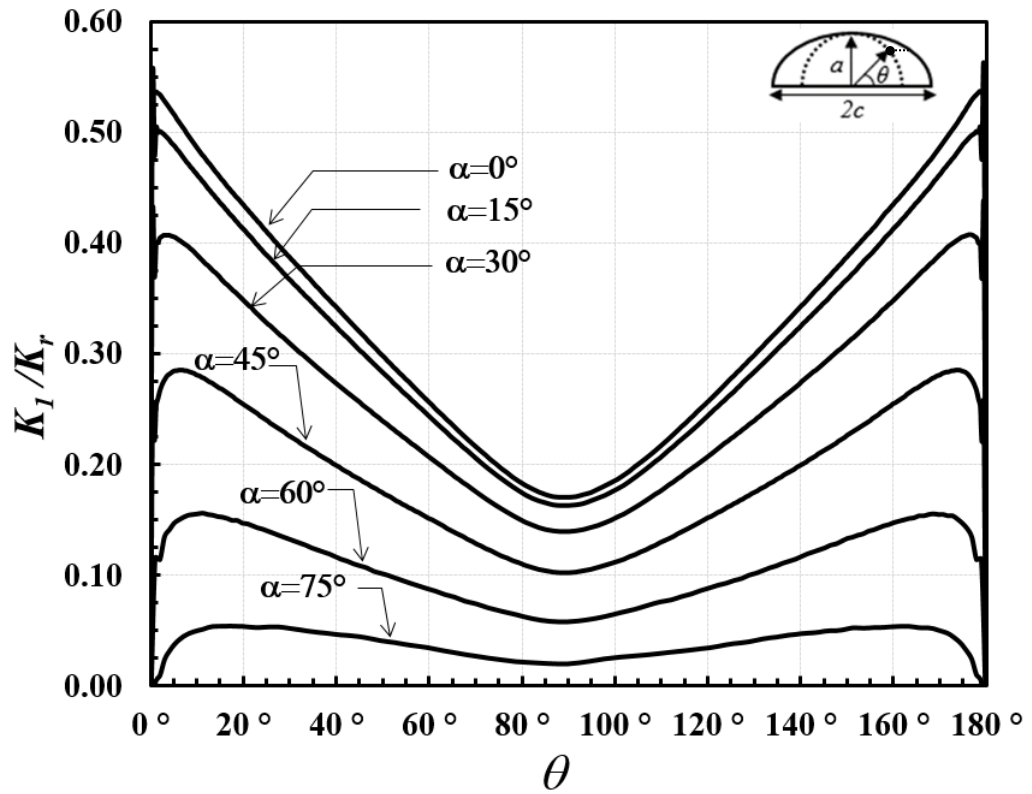
Şekil 3.243.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



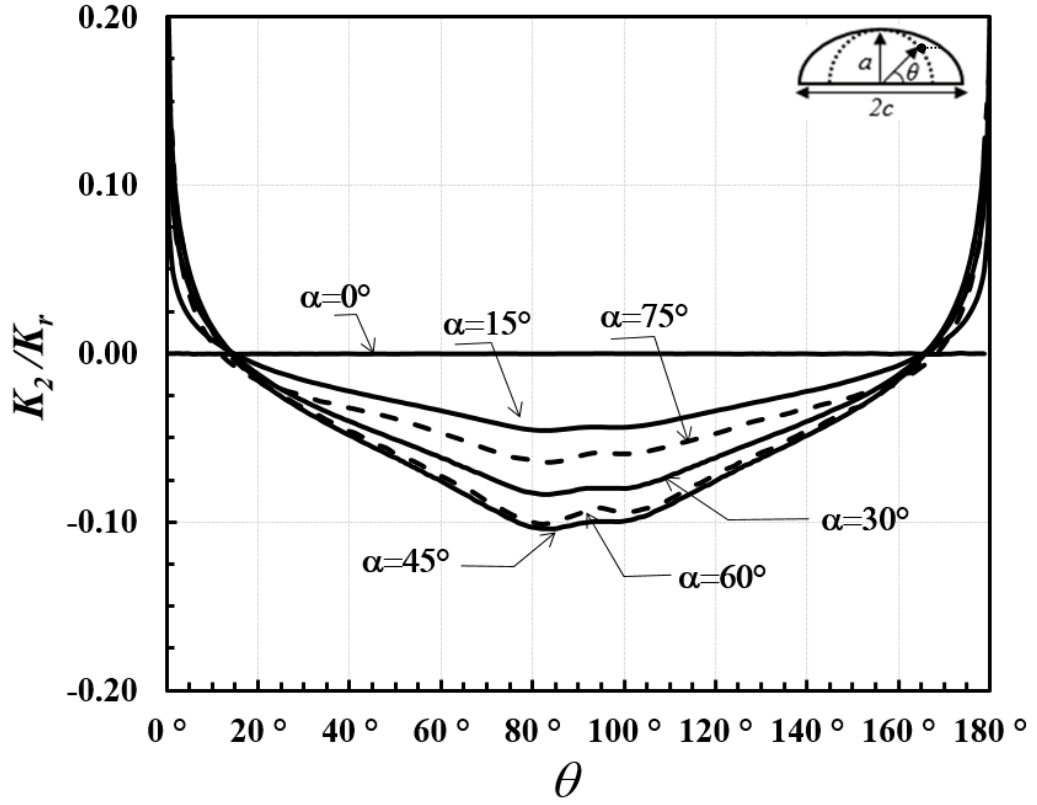
Şekil 3.244.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



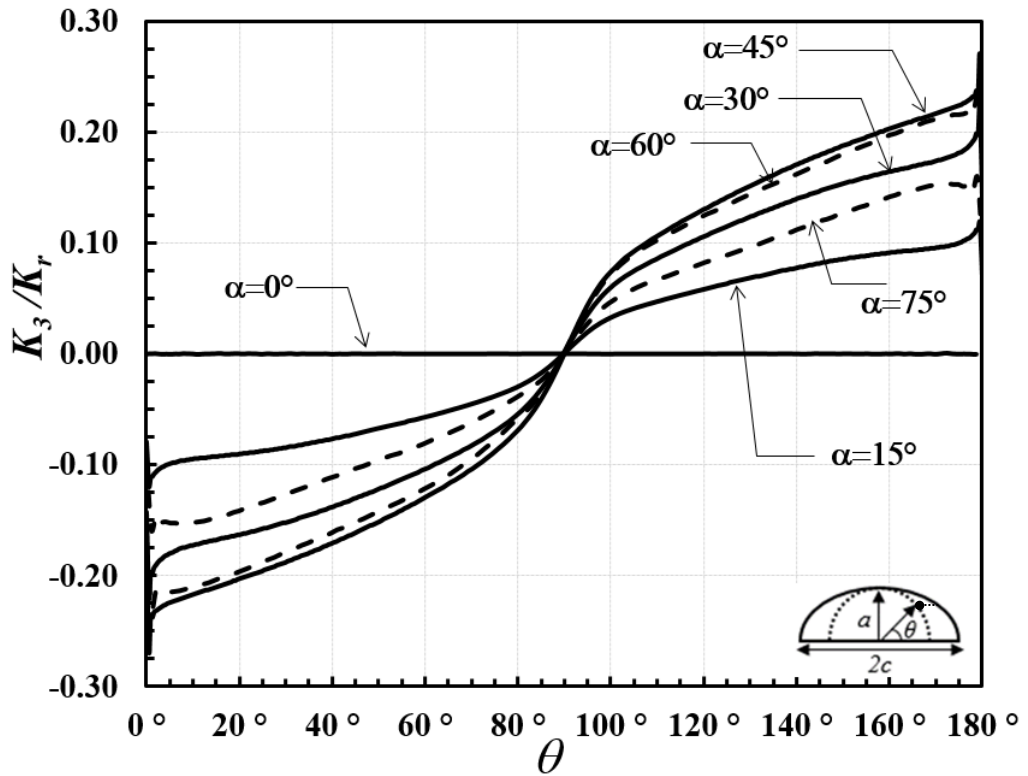
Şekil 3.245.  $a/c=2$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



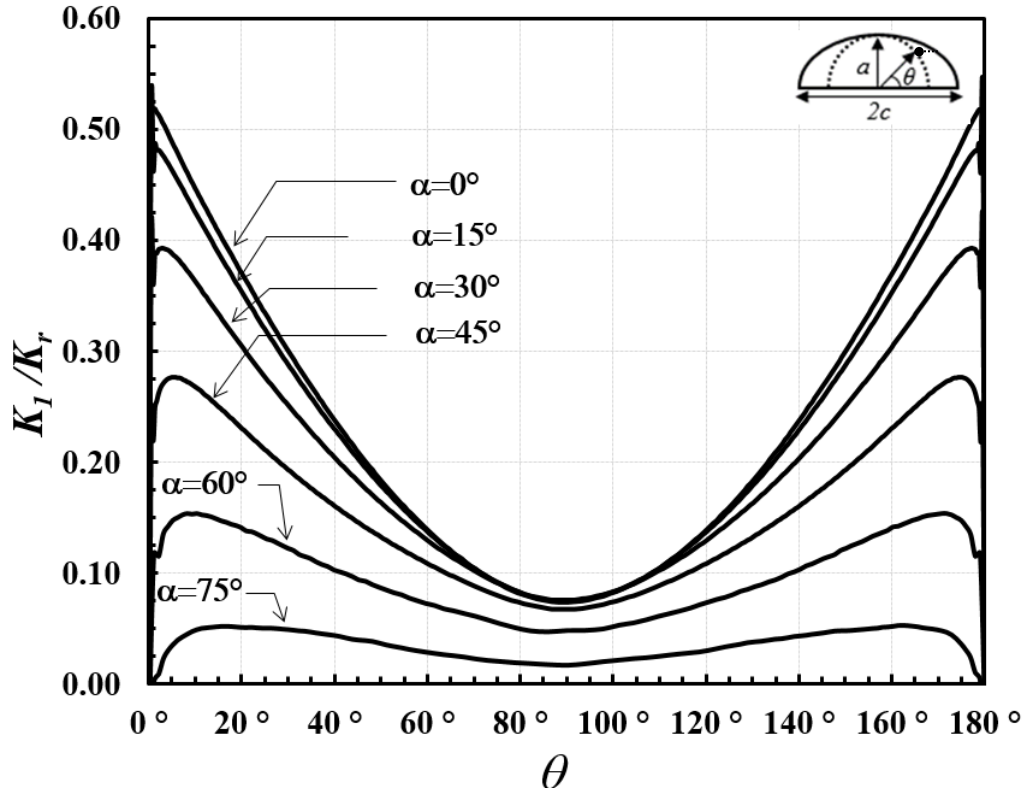
Şekil 3.246.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



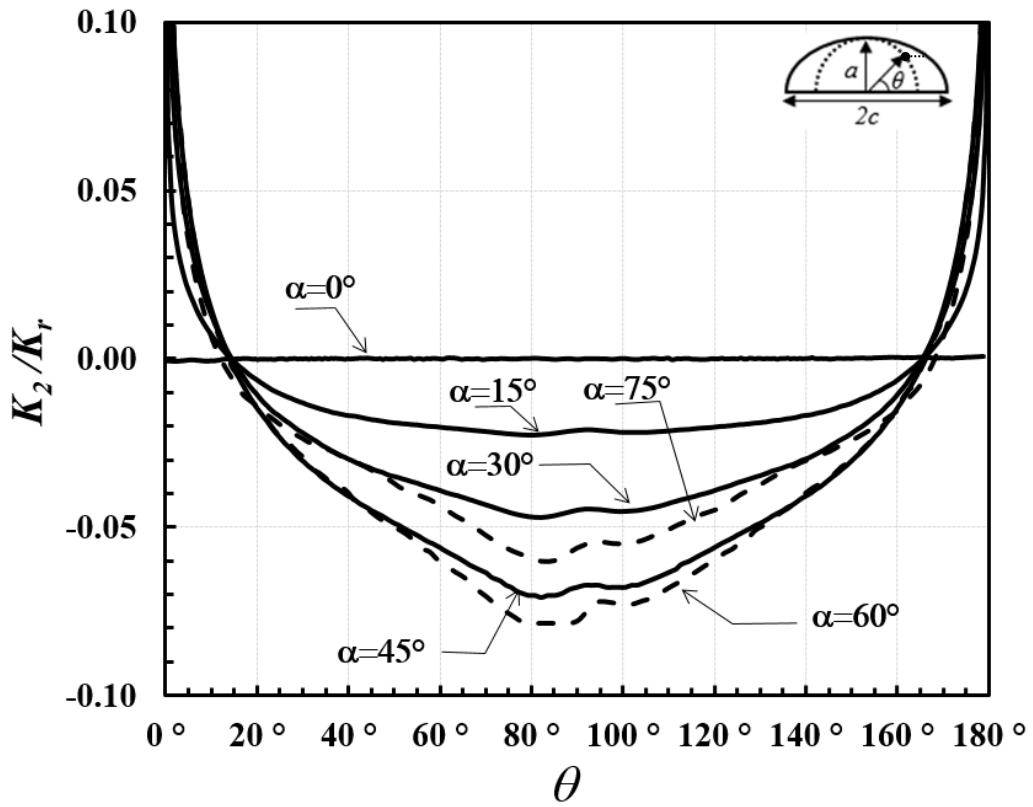
Şekil 3.247.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



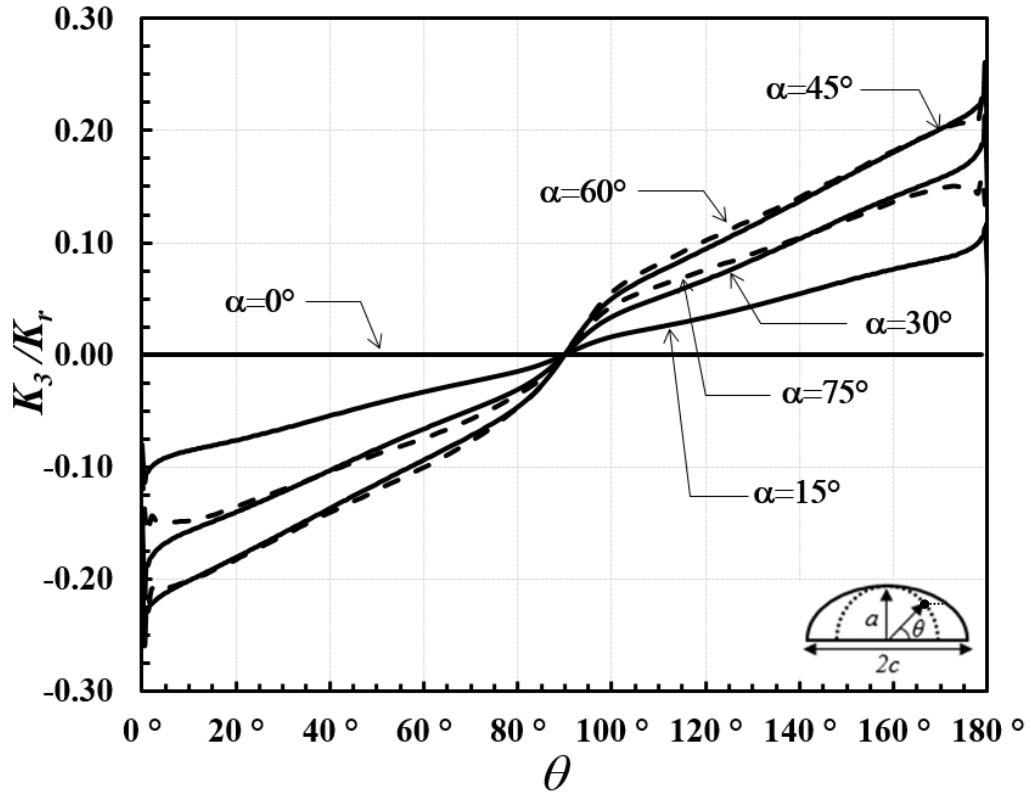
Şekil 3.248.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.2$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



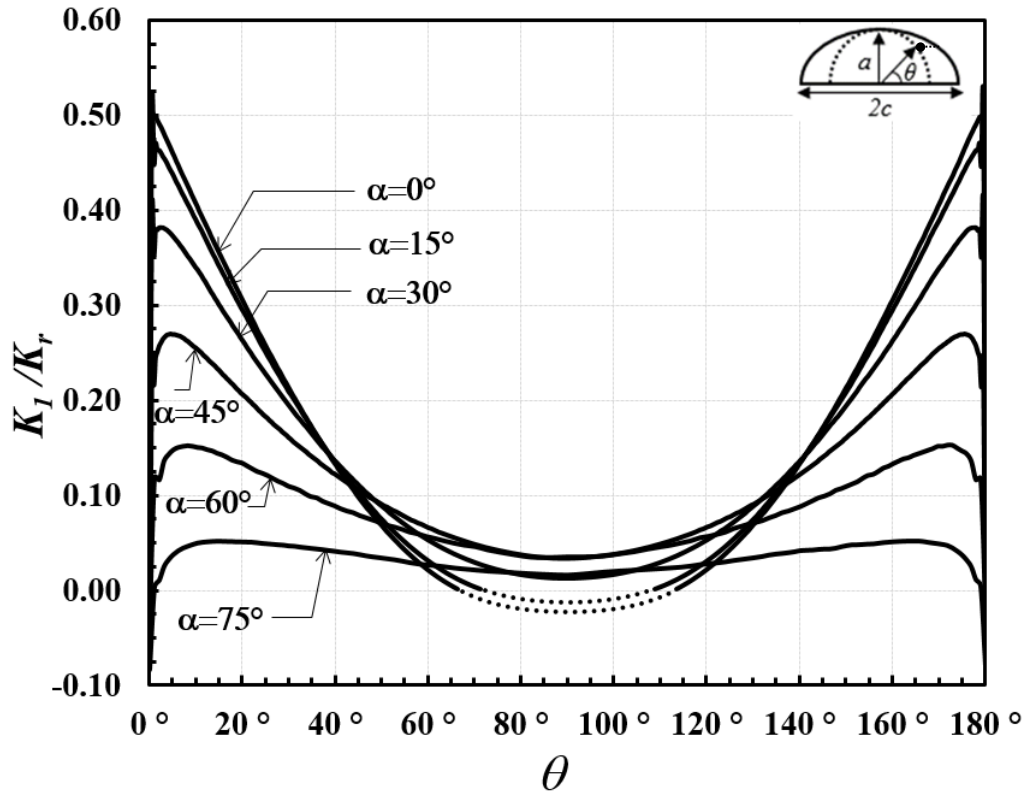
Şekil 3.249.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



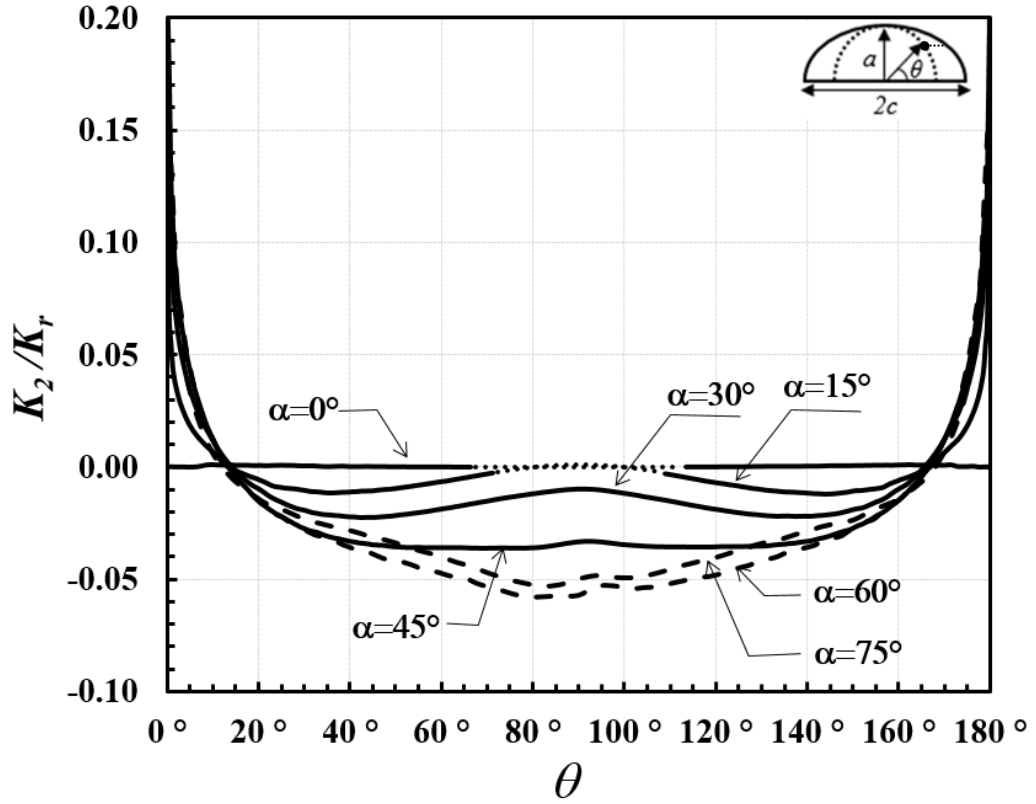
Şekil 3.250.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



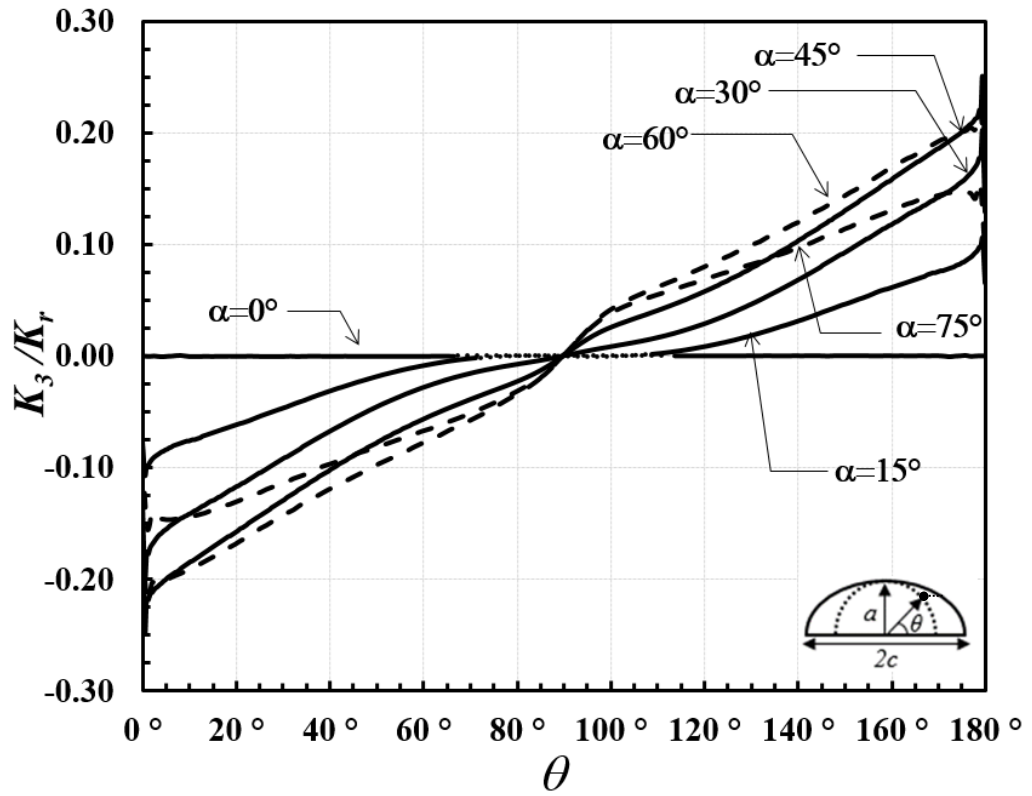
Şekil 3.251.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.4$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.252.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.

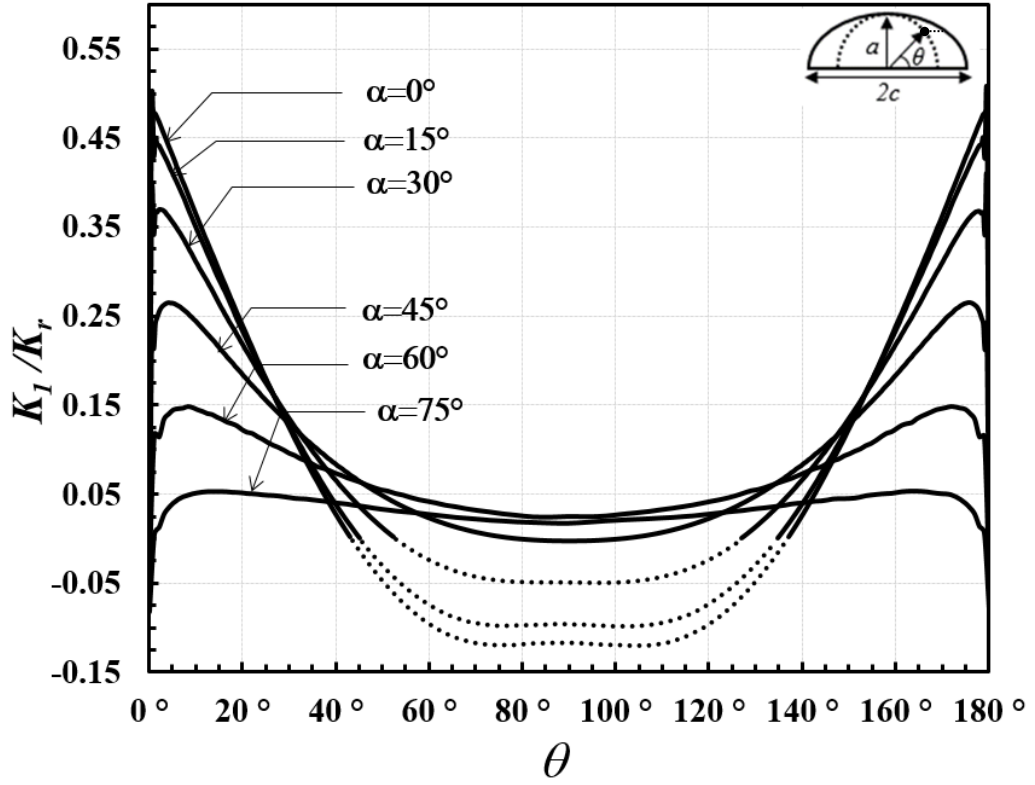


Şekil 3.253.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.

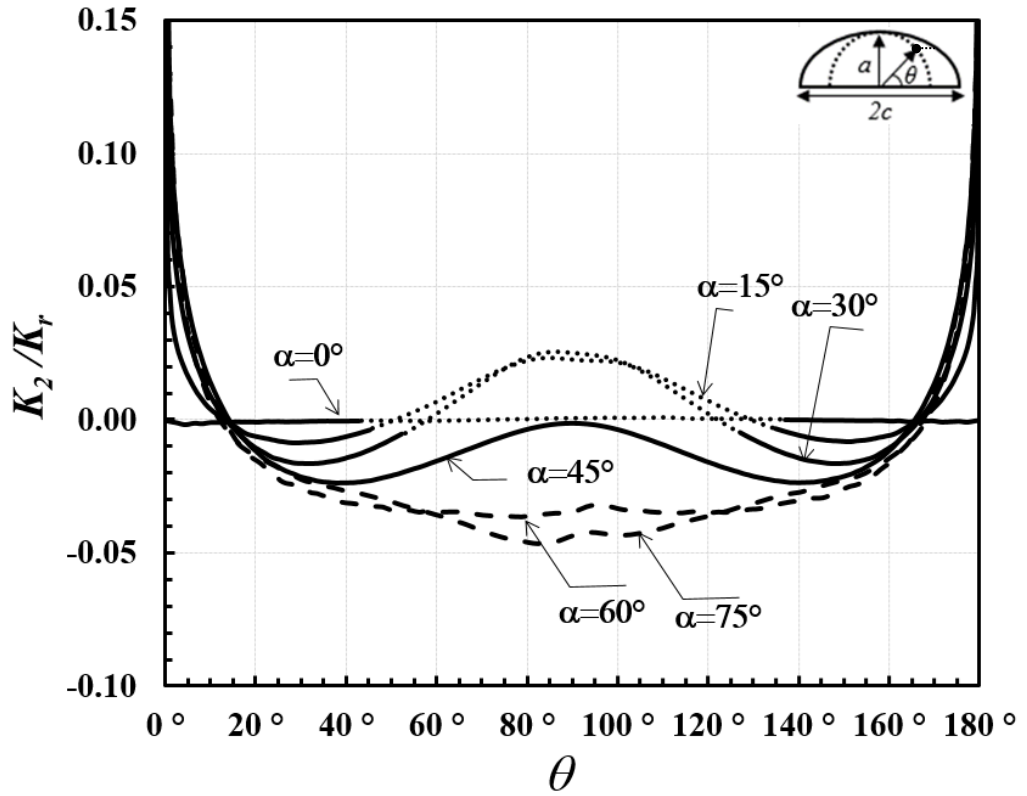


Şekil 3.254.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.6$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

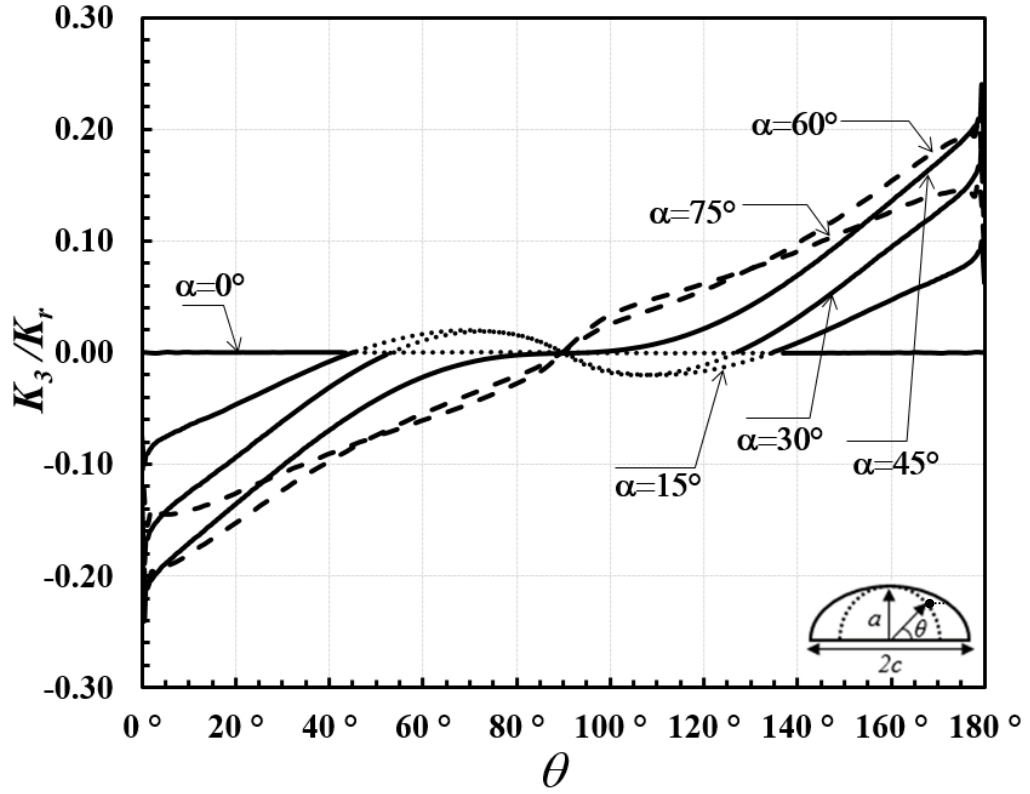




Şekil 3.255.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri.



Şekil 3.256.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri.



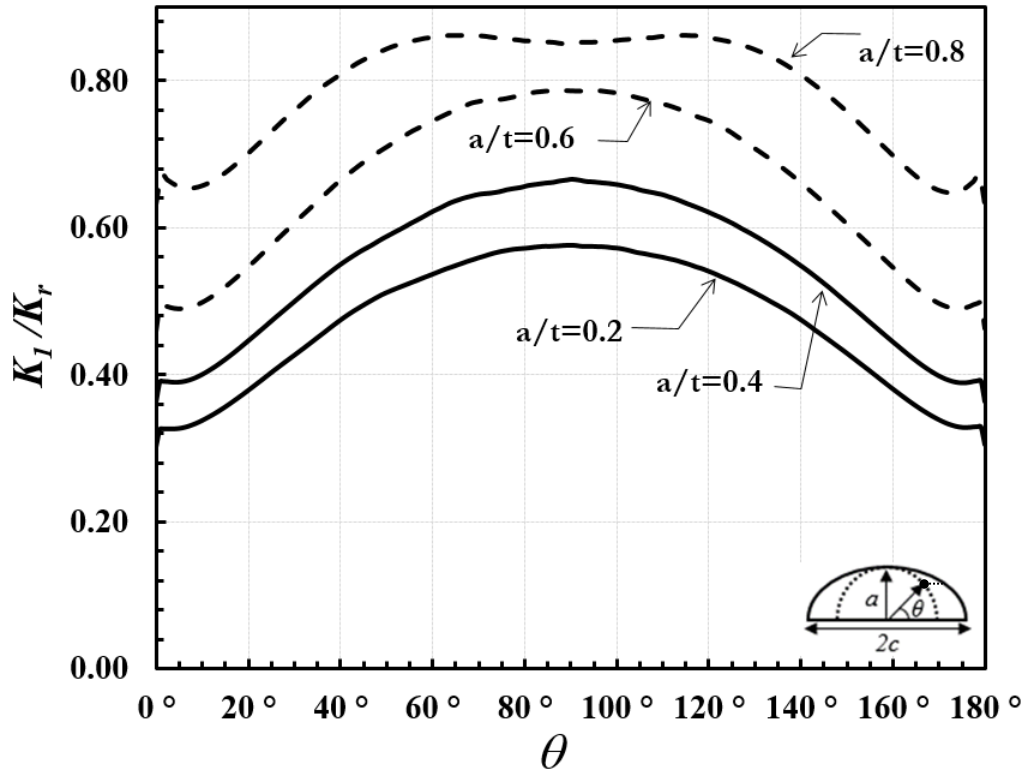
Şekil 3.257.  $a/c=4$ ,  $a/t=0.8$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri.

### 3.6. Çatlak Şekil Oranı ( $a/c$ ) Parametresinin Etkileri

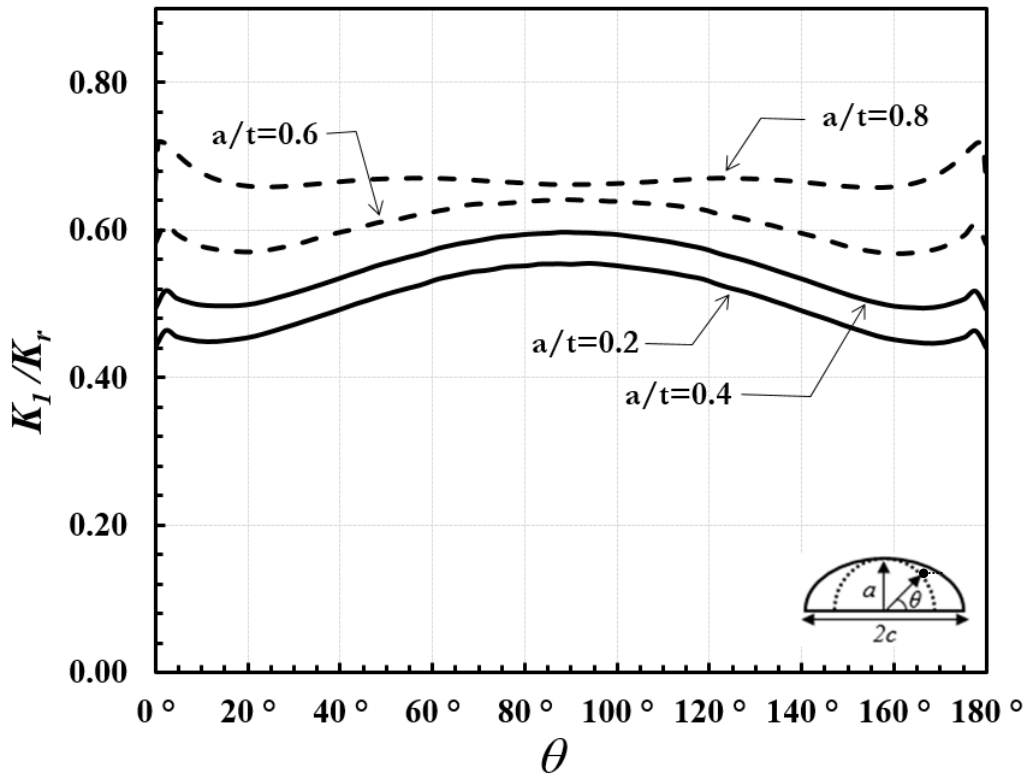
Bölüm 3.2.'den 3.5.'e kadar verilen grafiklerde, karışık mod GŞF değerleri farklı eğik ve dönme açıları için verilmişti. Diğer parametreler olan normalize edilmiş çatlak derinliği ( $a/t$ ) 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve çatlak şekil oranı ( $a/c$ ) 0.25, 0.5, 1, 2, 4 etkileri görsel olarak karşılaştırma yapılabilmekle beraber, bu parametrelerin etkilerinin bağımsız grafikler ile gösterilmesi istenen bir durumdur. Bu amaçla, çatlak bölgesinde orta seviye karışık mod gerilme/yüklemeye oluşturan  $45^\circ$  eğim açılı eliptik yüzey çatlakları için hesaplanan GŞF dağılımları, her bir grafikte ayrı bir  $a/c$  oranı temsil edilerek farklı  $a/t$  oranlarında karşılaştırılmıştır (Şekil 3.258.-3.317.). Çatlak şekil oranı etkileri grafiklerinde GŞF değerleri analiz sırasına göre verilecektir. Önce aksel gerilmeye maruz eğik ve dönmüş çatlak ardında da eğilme gerilmesine maruz eğik ve dönmüş çatlak ele alınmıştır. Şekil 3.258.-3.317. arasındaki grafikleri daha iyi anlamak için, verilen bir sabit  $a/c$  grafiğinde  $a/t=0.6$  ve  $0.8$  durumları kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.

### 3.6.1 Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak

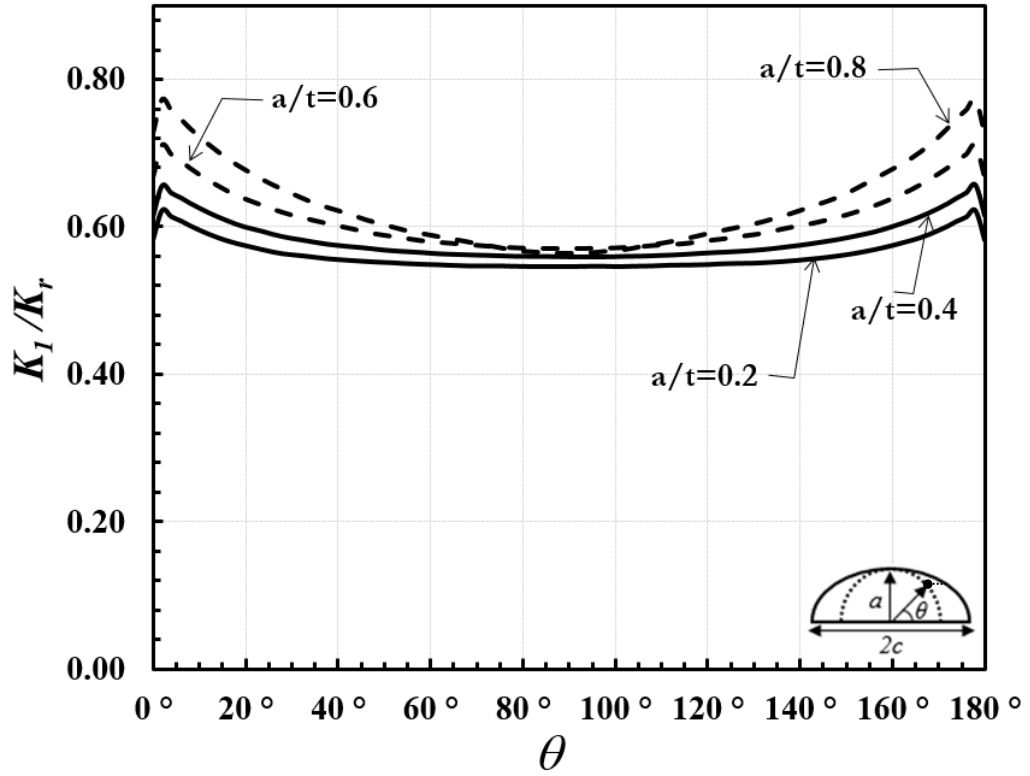
Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlaklar için normalize edilmiş GŞF değerlerinin eğiklik açılarına göre hazırlanan grafikleri Bölüm 3.2.'de verilmişti. Normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) sabit tutularak farklı çatlak derinliği/levha et kalınlıklarıyla karşılaştırılması bu bölümde verilmektedir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.258.-3.272.'de verilmiştir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) oranı 1.0 veya daha küçük olması durumlarında, çatlak derinliği sabit kalıp levha kalınlığı azaldıkça, çatlak önü boyunca mod-I GŞF miktarı artmaktadır. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu 2 ve 4 için ise normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinde kayda değer bir değişim olmadığı Şekil 3.258.-3.262.'de görülmektedir. Çatlak derinliği/ levha et kalınlığı oranı arttıkça, düşük  $a/c$  (0.25 ve 0.5) değerleri için normalize edilmiş mod-II GŞF değerleri az miktarda artmaktadır. Yüksek  $a/c$  (2 ve 4) değerleri için normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı Şekil 3.263.-3.267.'de görülmektedir. Benzer şekilde Çatlak derinliği/ levha et kalınlığı oranı arttıkça, düşük  $a/c$  (0.25 ve 0.5) değerleri için mod-III GŞF şiddeti çatlak önü boyunca az miktarda artmaktadır. Yüksek  $a/c$  (2 ve 4) değerleri için normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı Şekil 3.268.-3.272.'de görülmektedir.



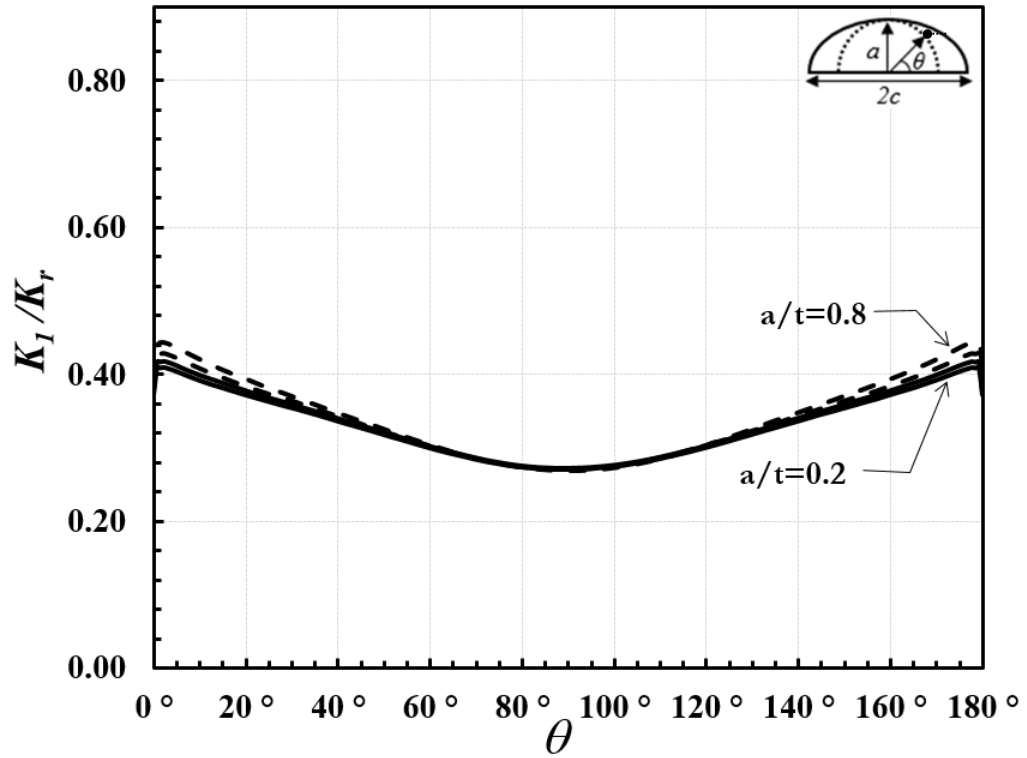
Şekil 3.258. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



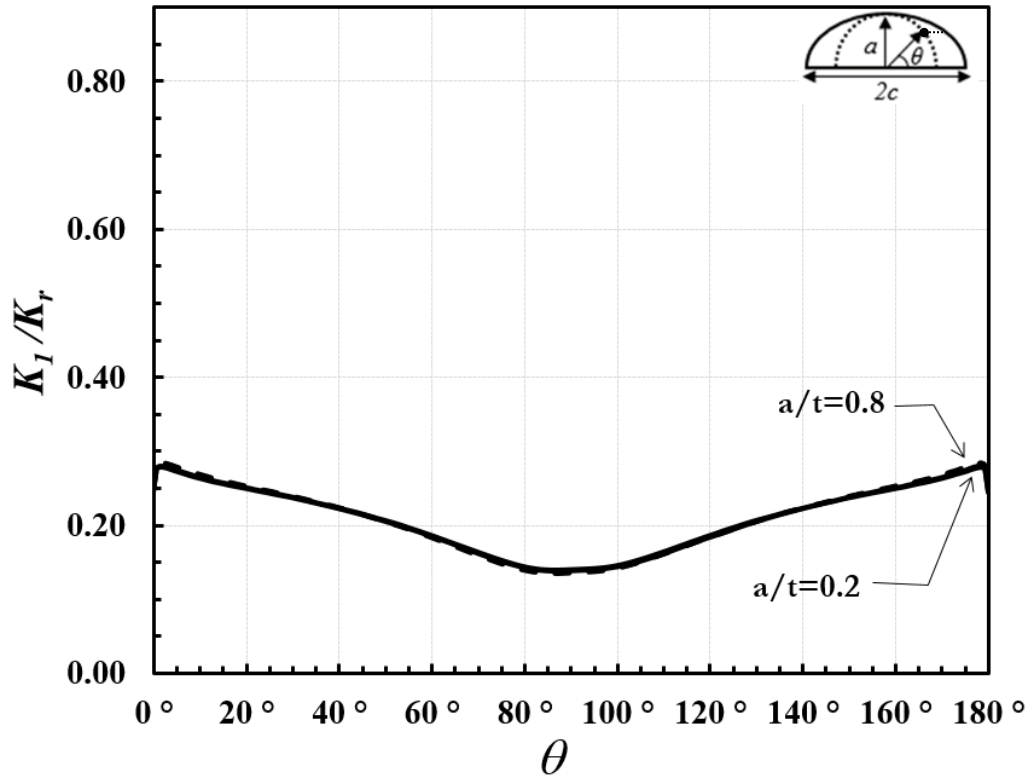
Şekil 3.259. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



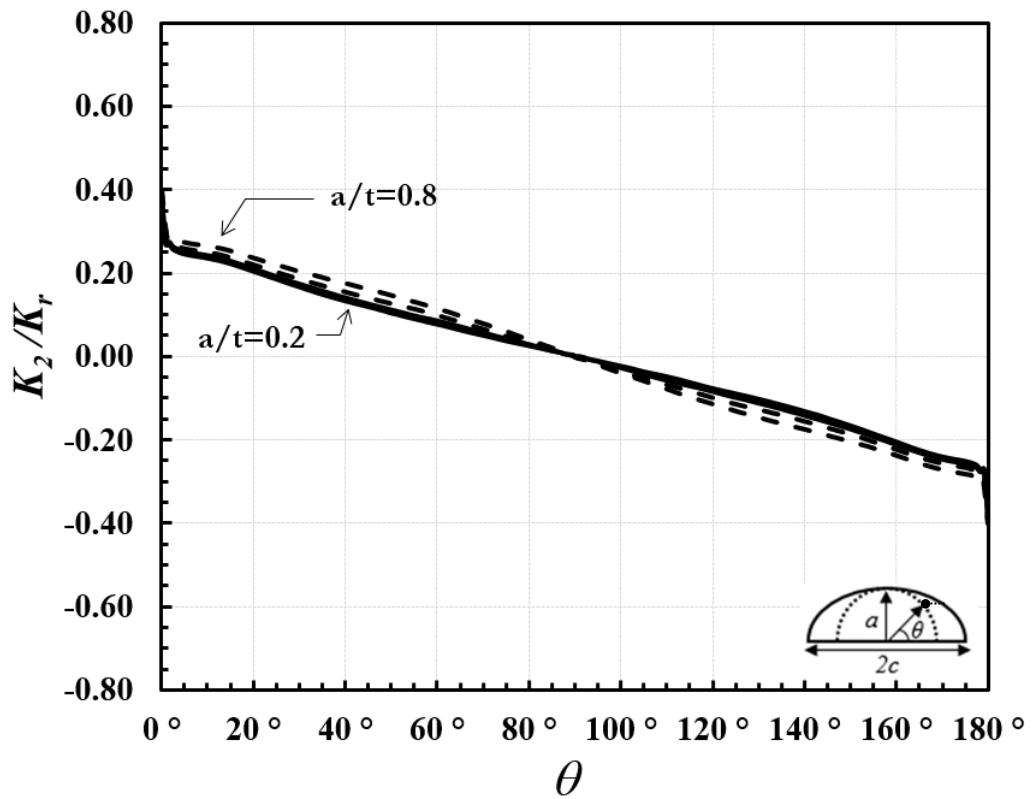
Şekil 3.260. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



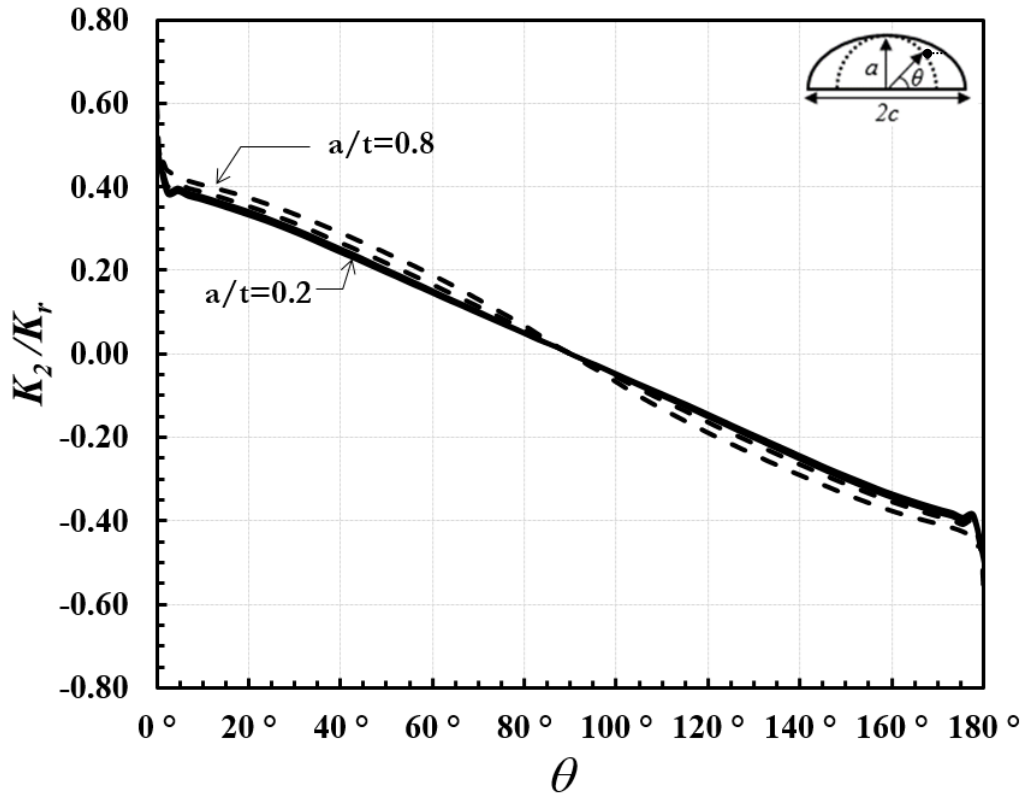
Şekil 3.261. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



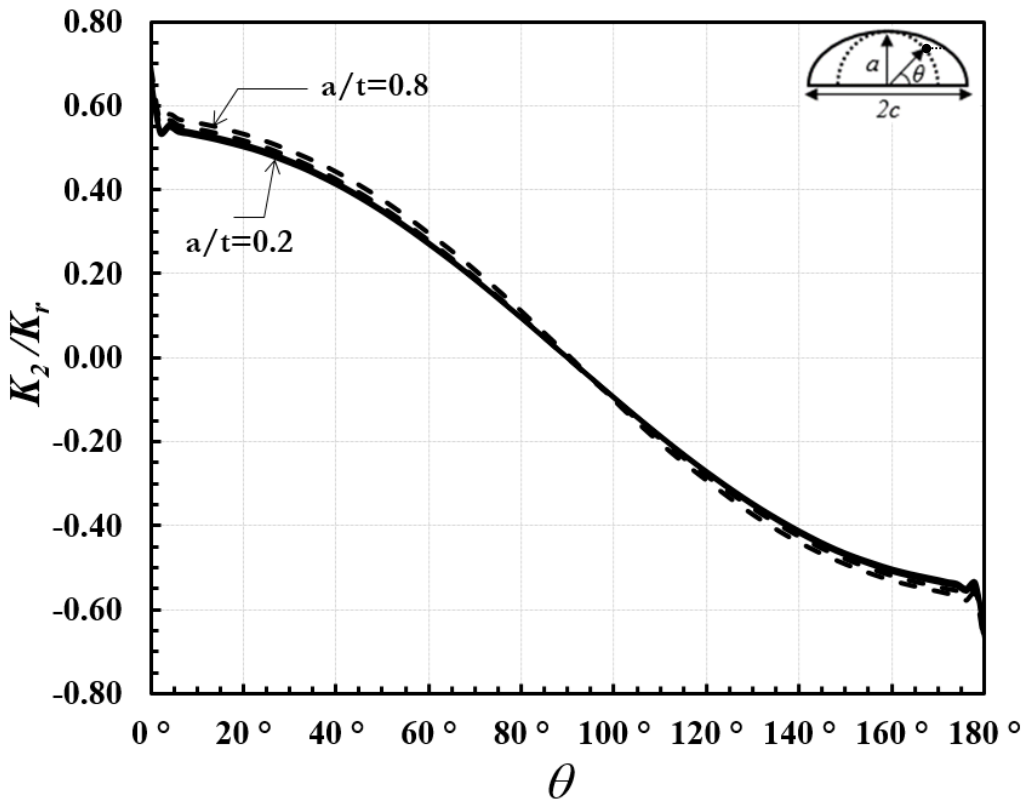
Şekil 3.262. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



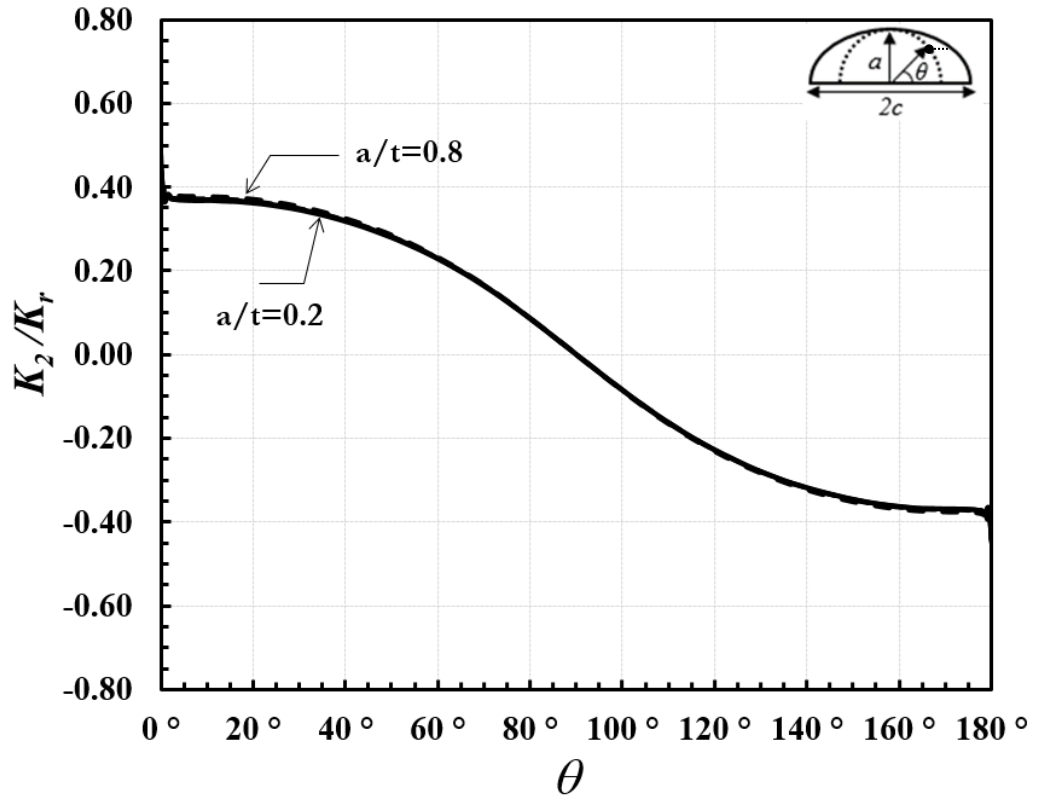
Şekil 3.263. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



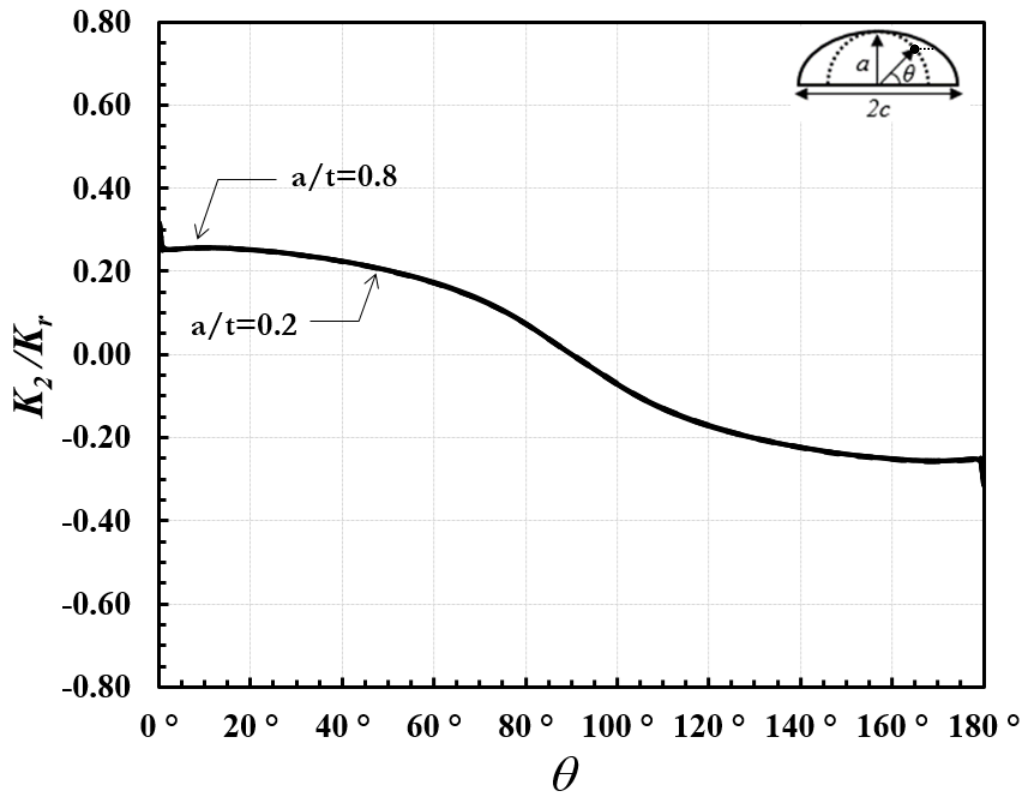
Şekil 3.264. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



Şekil 3.265. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).

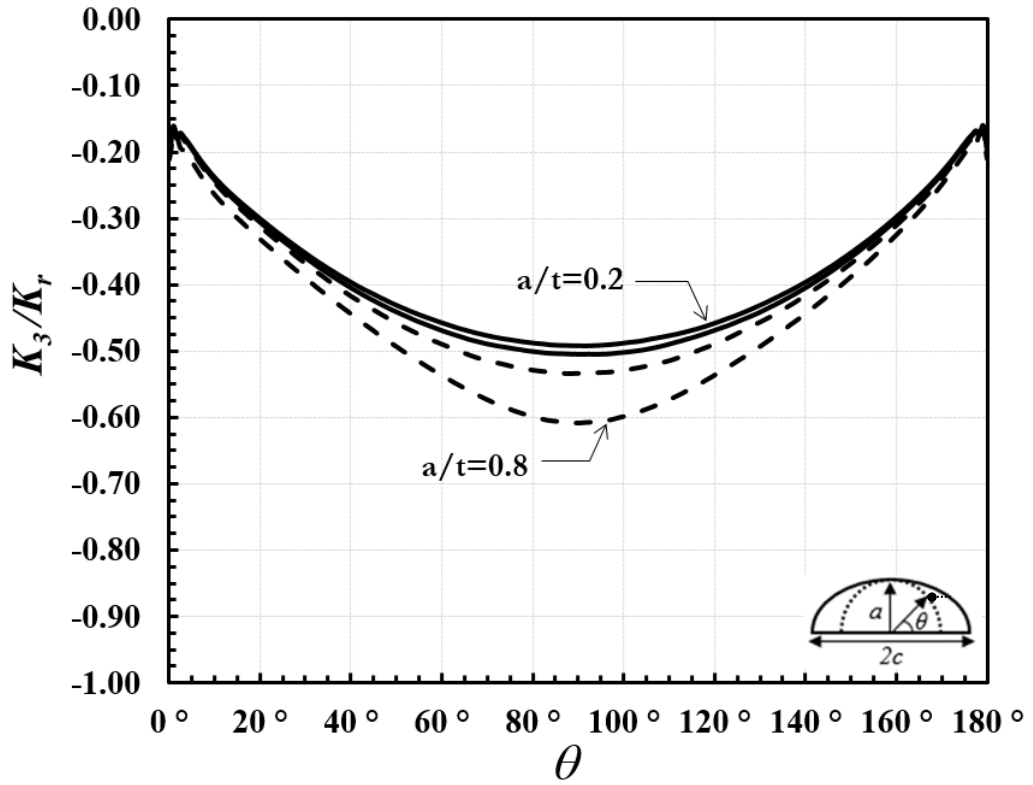


Şekil 3.266. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).

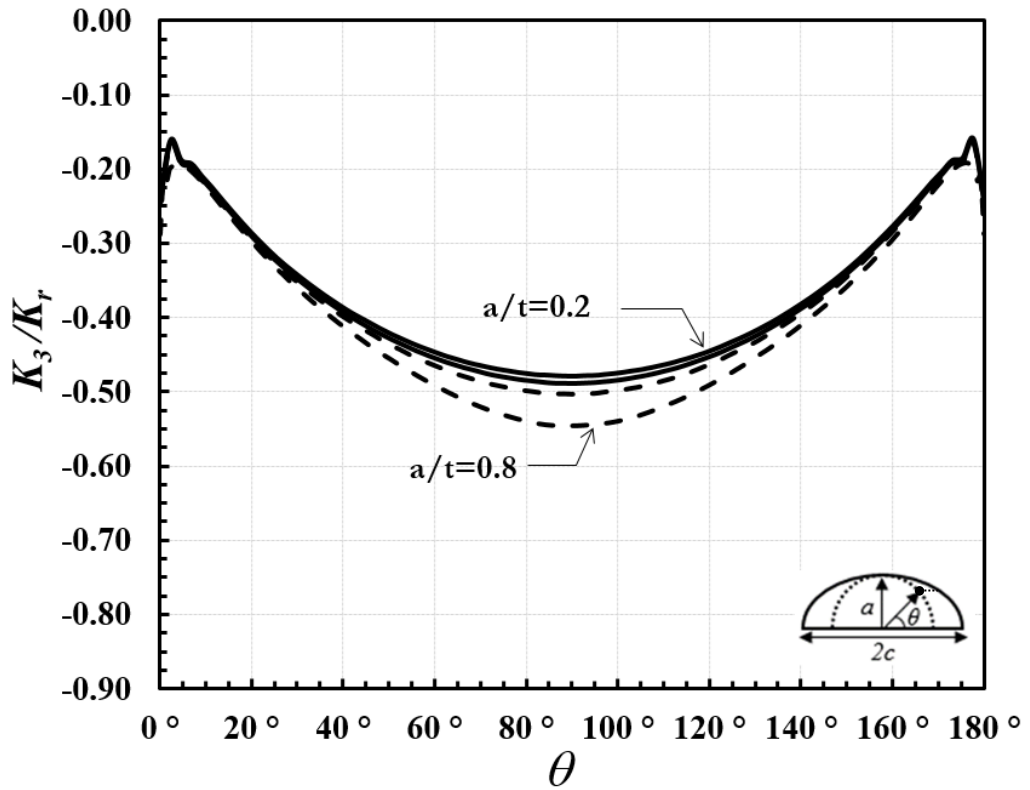


Şekil 3.267. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).

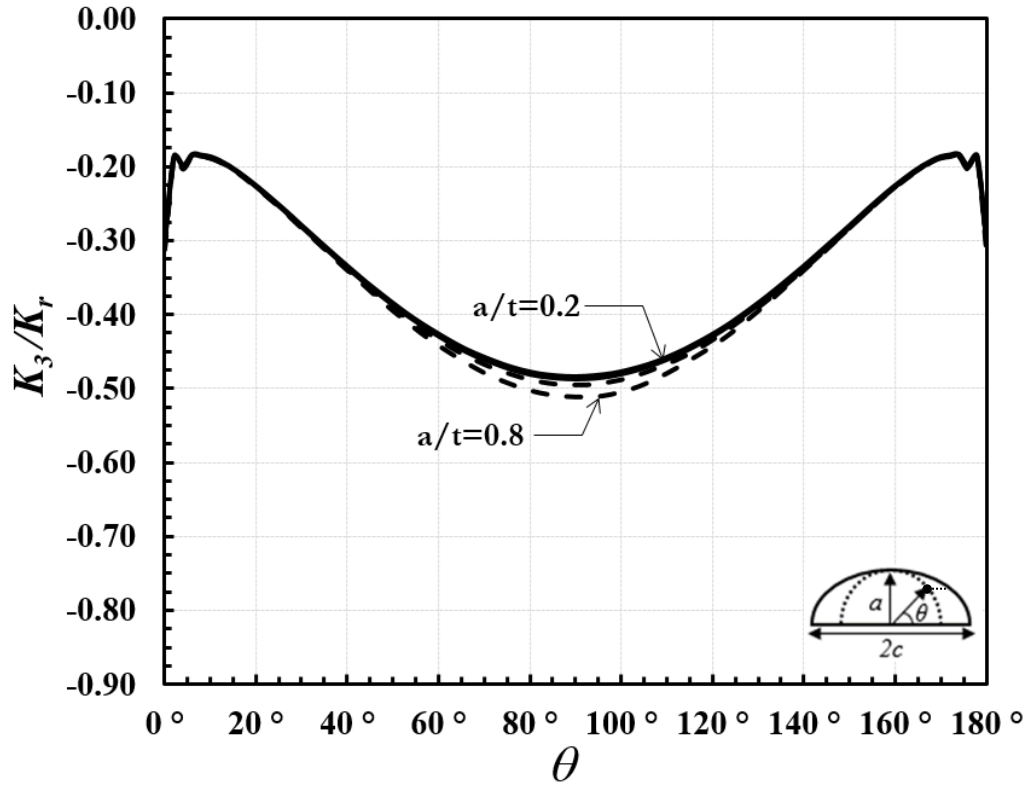




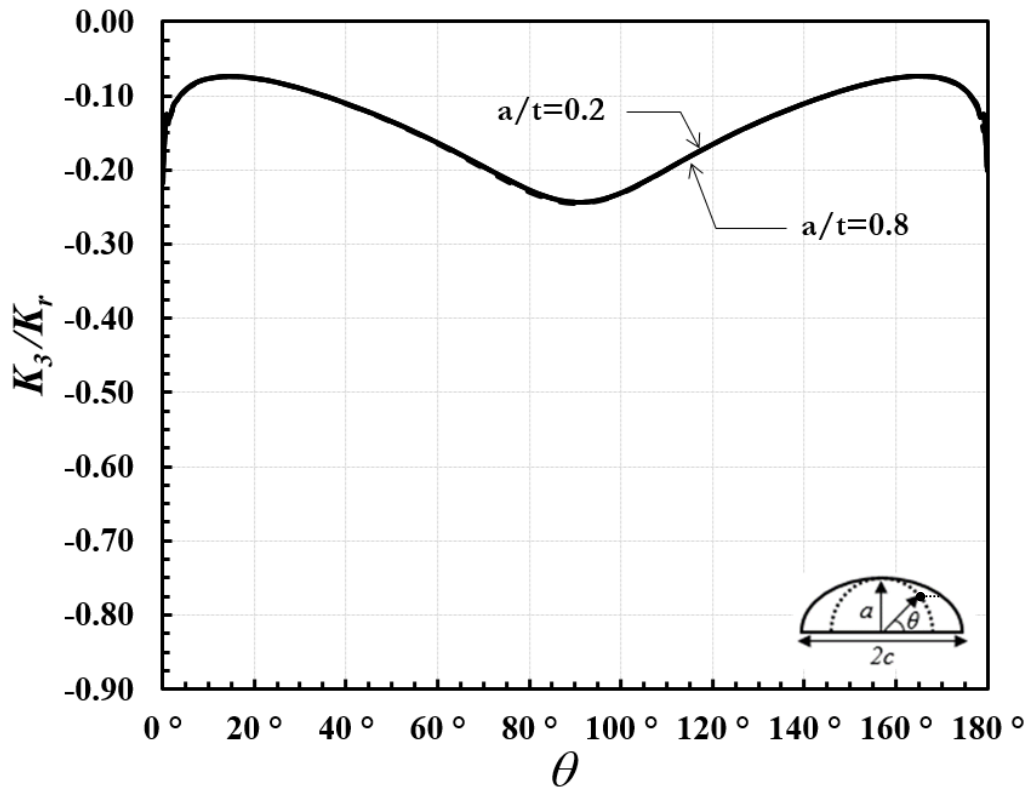
Şekil 3.268. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



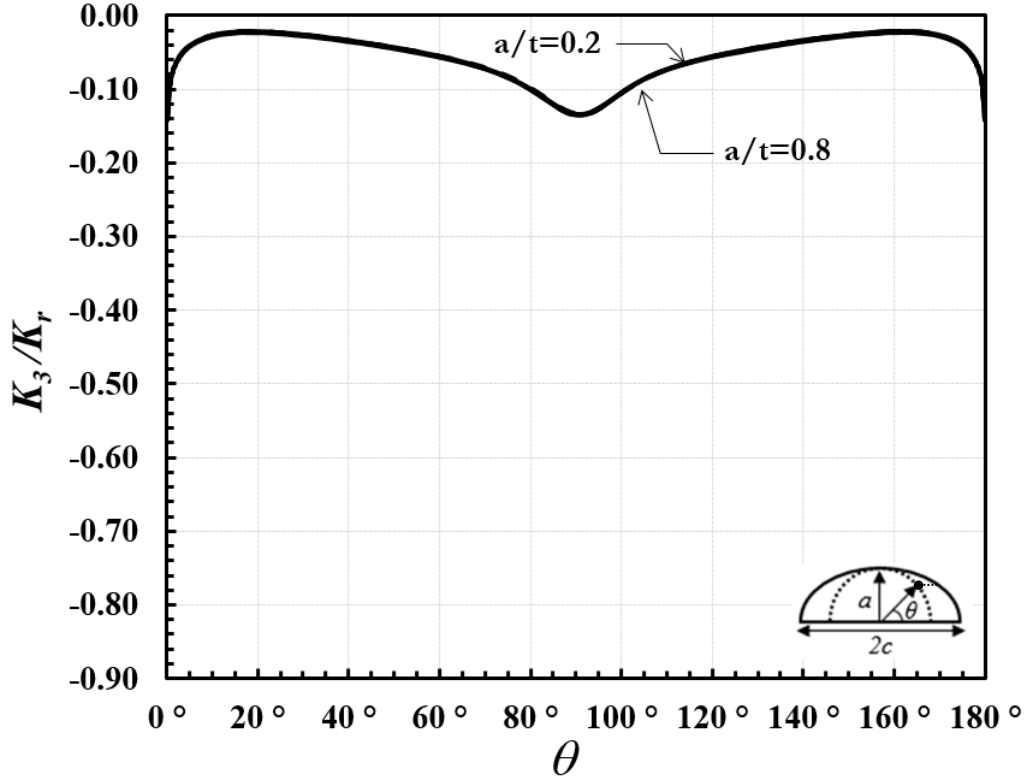
Şekil 3.269. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



Şekil 3.270. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



Şekil 3.271. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).

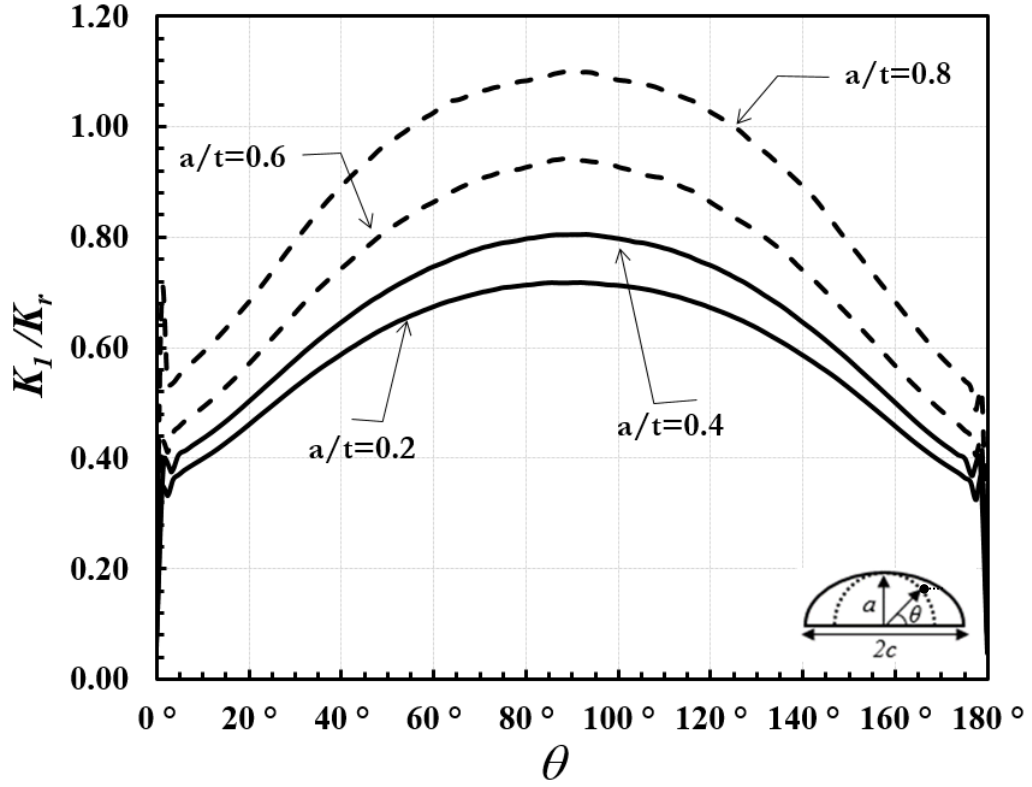


Şekil 3.272. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).

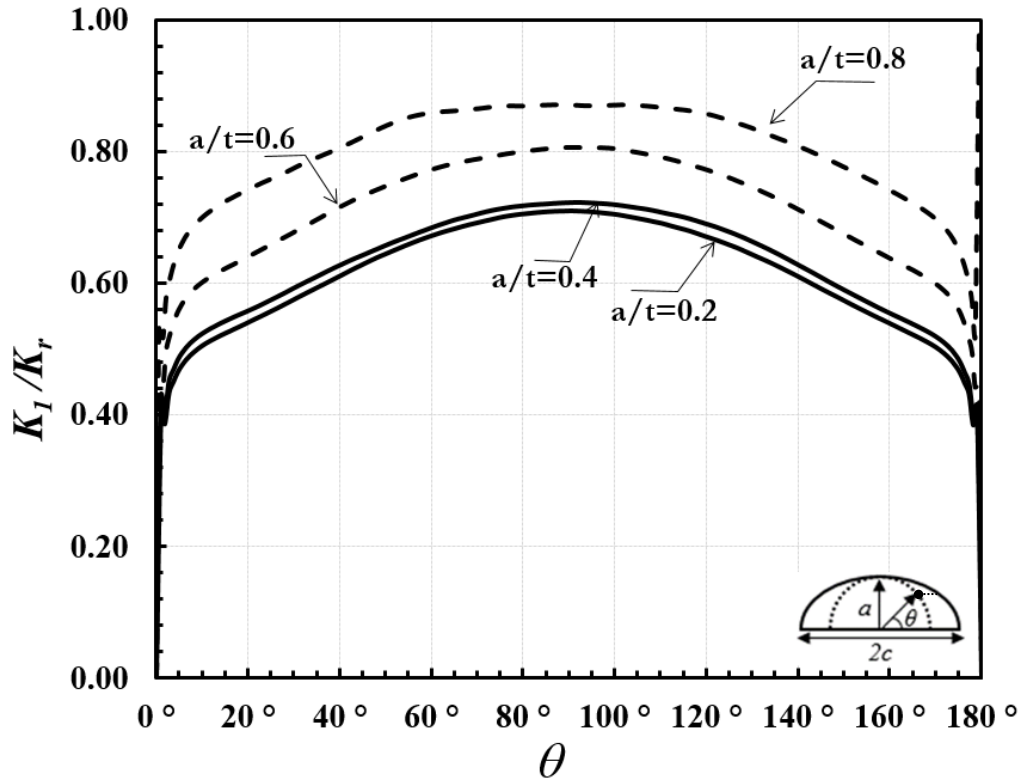
### 3.6.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak

Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlakların normalize edilmiş GŞF değerlerinin dönme açlarına göre hazırlanan grafikleri Bölüm 3.3.'te verilmişti. Normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin, çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) sabit tutularak farklı çatlak derinliği/levha et kalınlıklarıyla karşılaştırılması bu bölümde verilmiştir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.273.-3.287.'de verilmiştir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) oranının 1.0 veya daha küçük olması durumlarında, çatlak derinliği sabit kalıp levha kalınlığı azaldıkça çatlak önü boyunca mod-I GŞF miktarı artmaktadır. Çatlak derinliği/çatlak ( $a/c$ ) uzunluğu 2 ve 4 için normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinde kayda değer bir değişim olmadığı Şekil 3.273.-3.277.'de görülmektedir. Çatlak derinliği/ levha et kalınlığı oranı arttıkça, düşük  $a/c$  (0.25 ve 0.5) değerleri için normalize edilmiş mod-II GŞF değerleri az miktarda artmaktadır. Yüksek  $a/c$  (2 ve 4) değerleri için normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı Şekil 3.278.-3.282.'de görülmektedir. Benzer şekilde çatlak derinliği/ levha et kalınlığı oranı arttıkça, düşük  $a/c$  (0.25 ve 0.5)

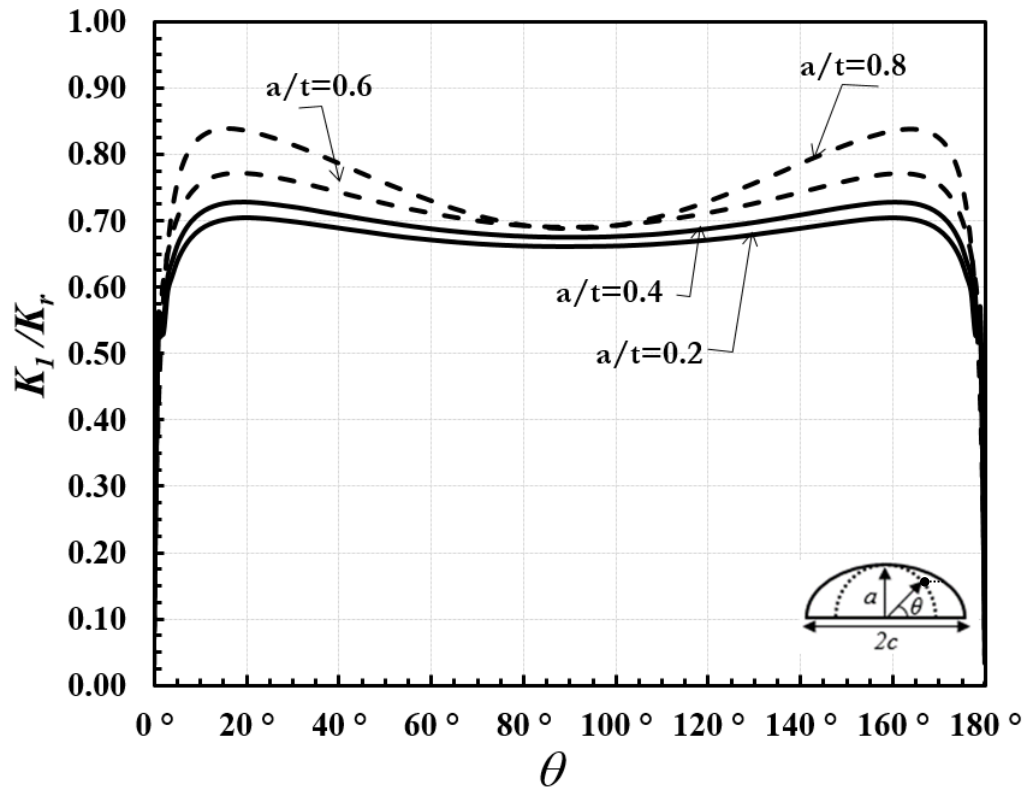
değerleri için mod-III GŞF şiddeti çatlak önü boyunca az miktarda artmaktadır. Yüksek  $a/c$  (2 ve 4) değerleri için normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı Şekil 3.283.-3.287.'de görülmektedir.



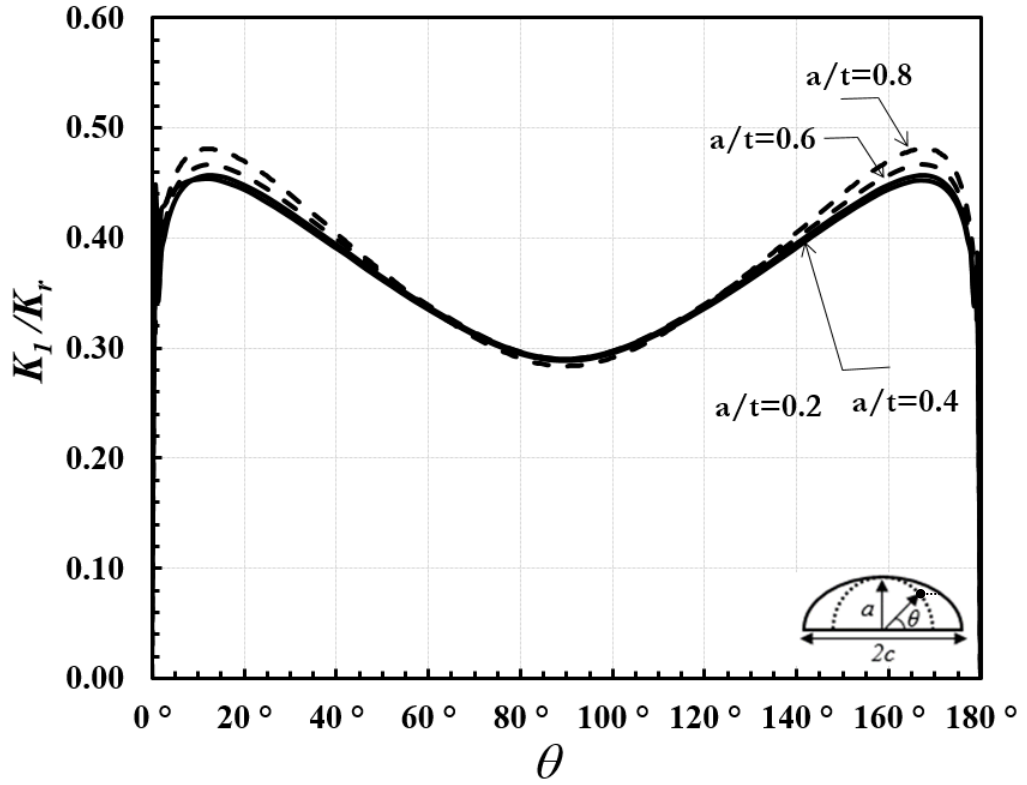
Şekil 3.273. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



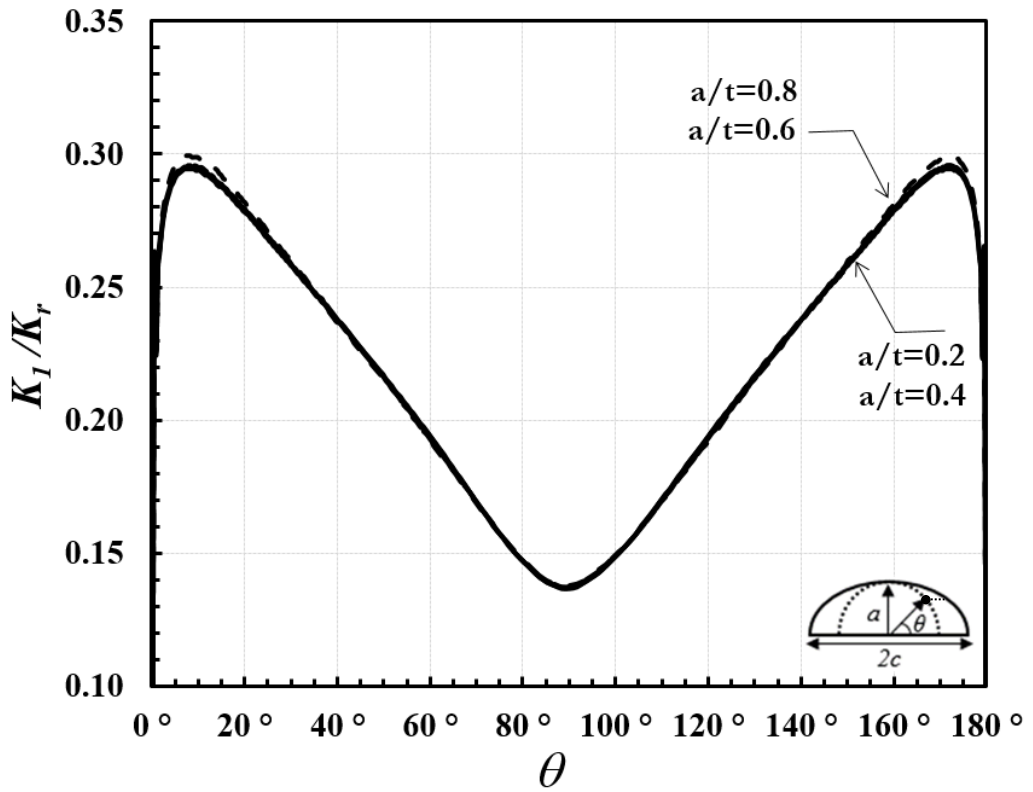
Şekil 3.274. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



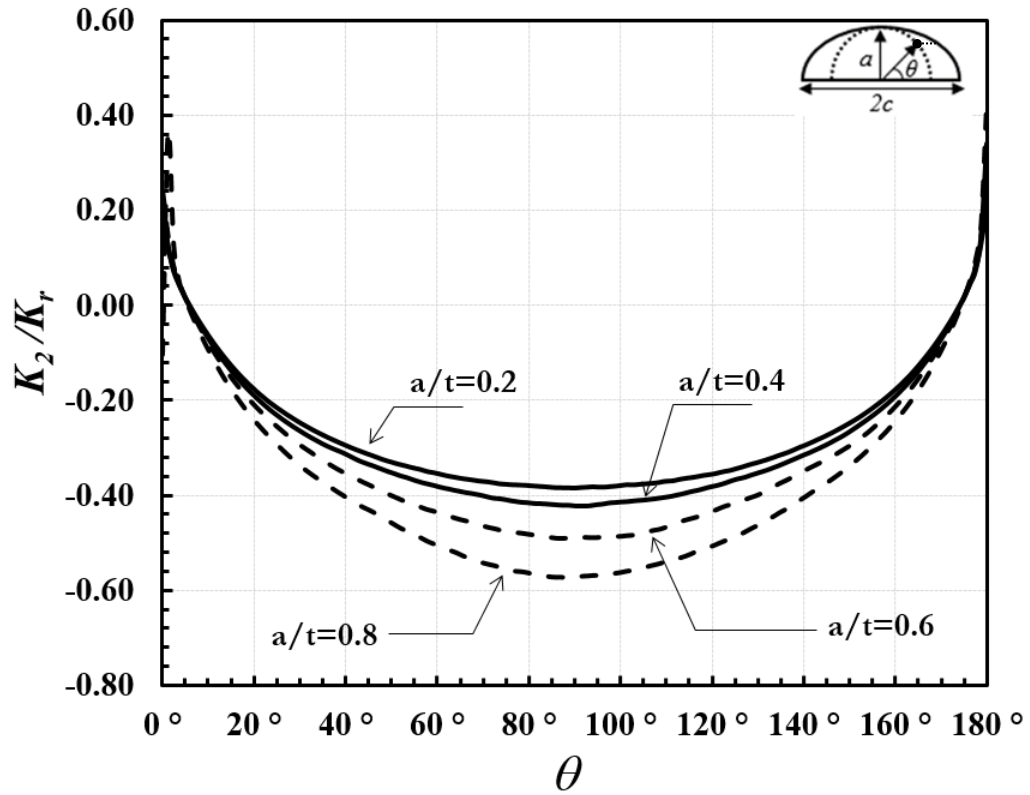
Şekil 3.275. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



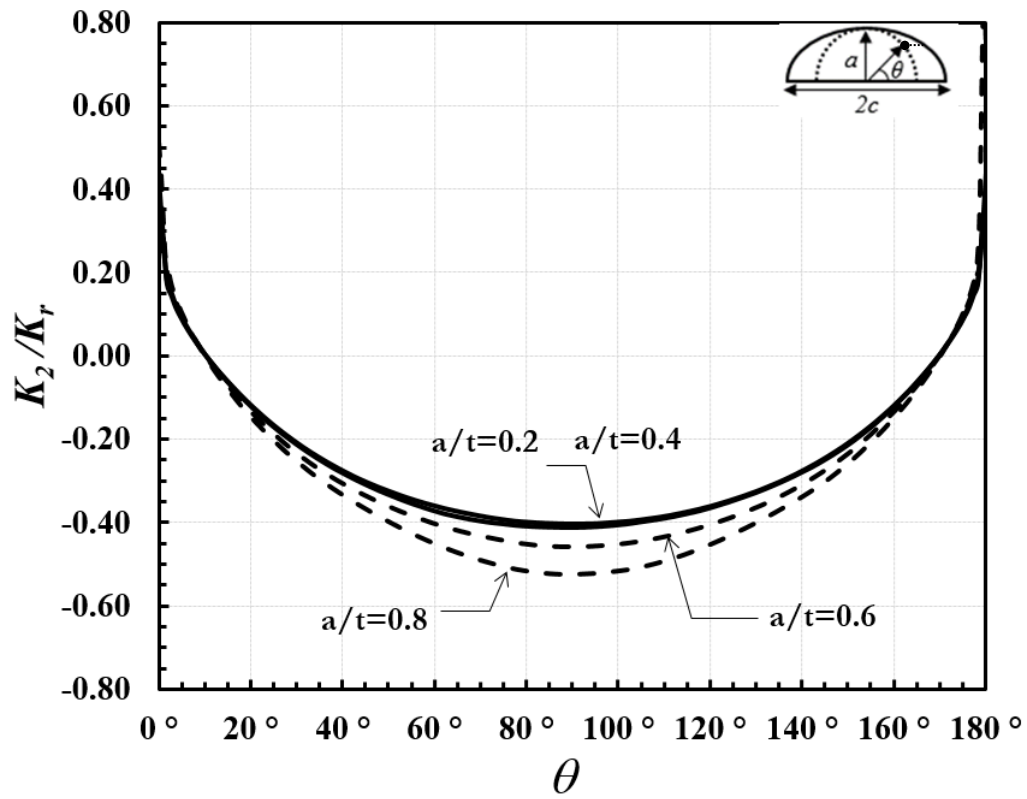
Şekil 3.276. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



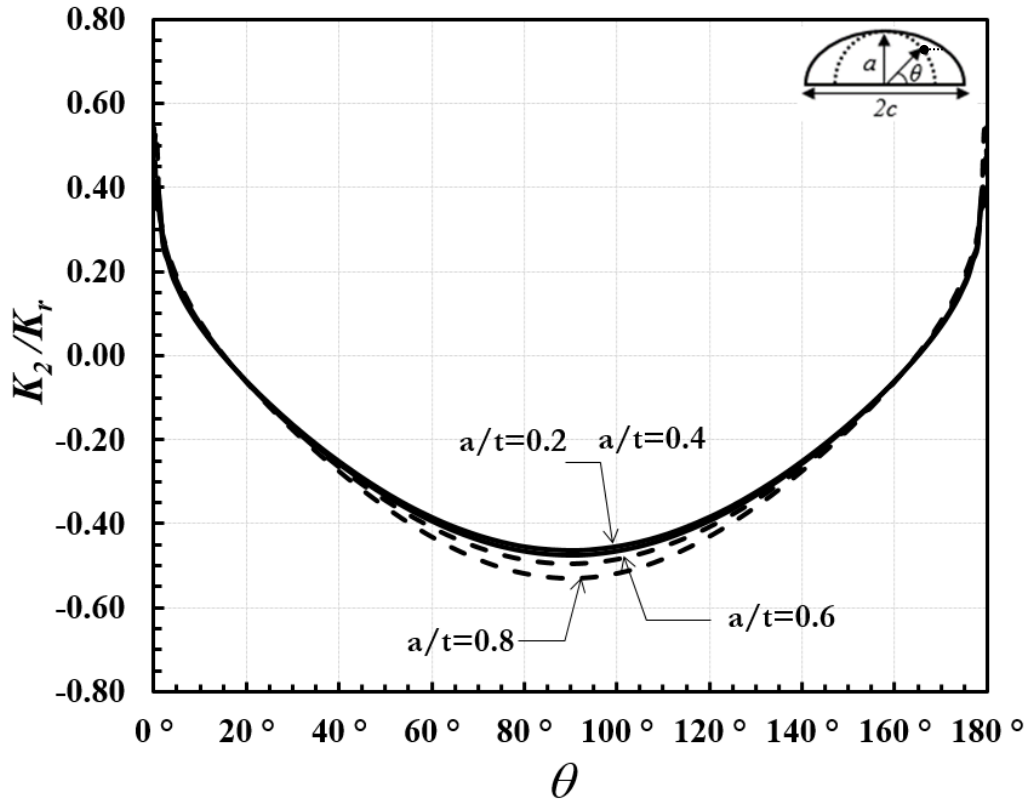
Şekil 3.277. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



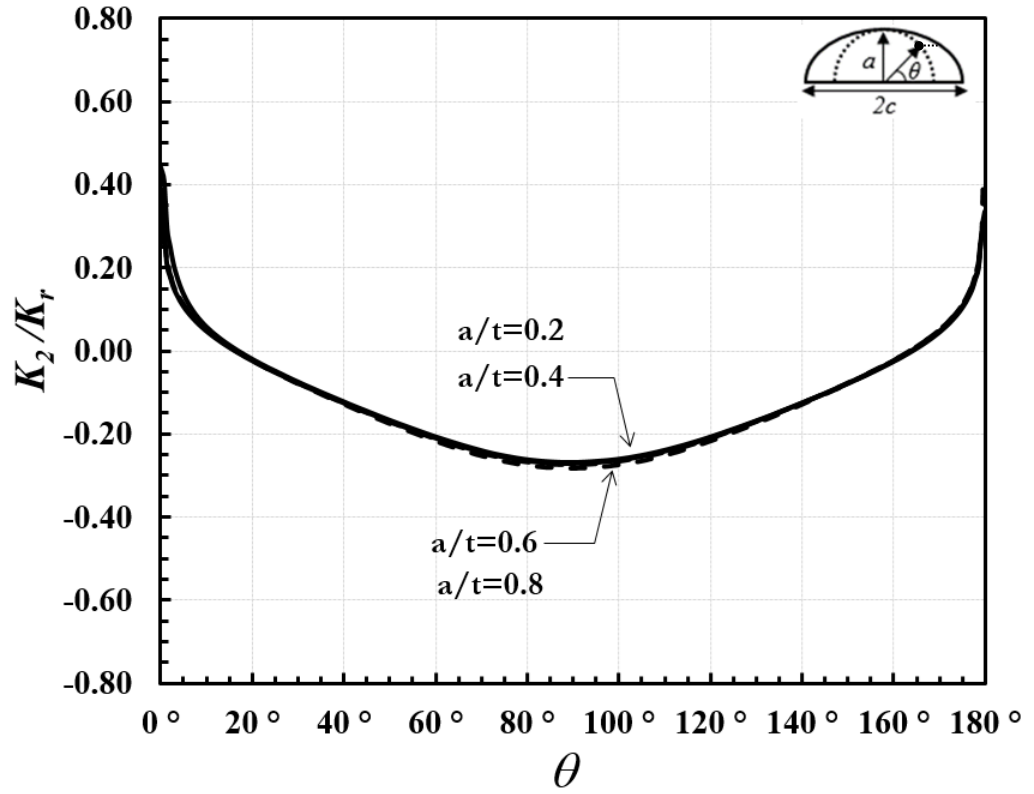
Şekil 3.278. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.25$ ).



Şekil 3.279. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.5$ ).

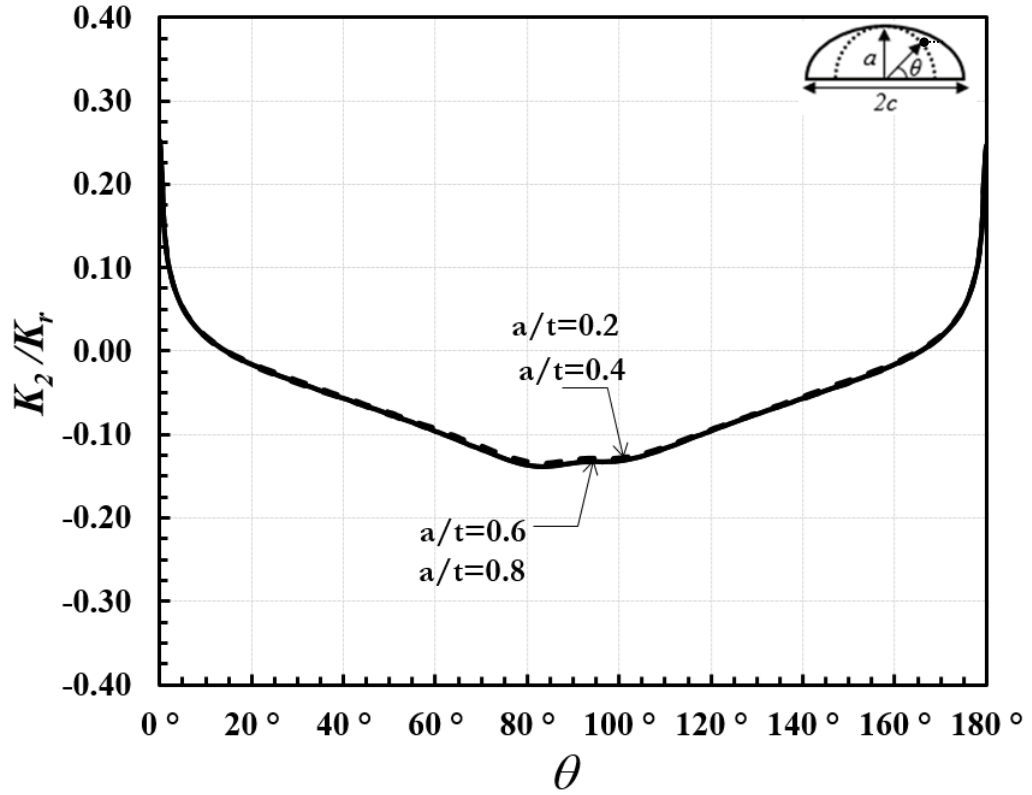


Şekil 3.280. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).

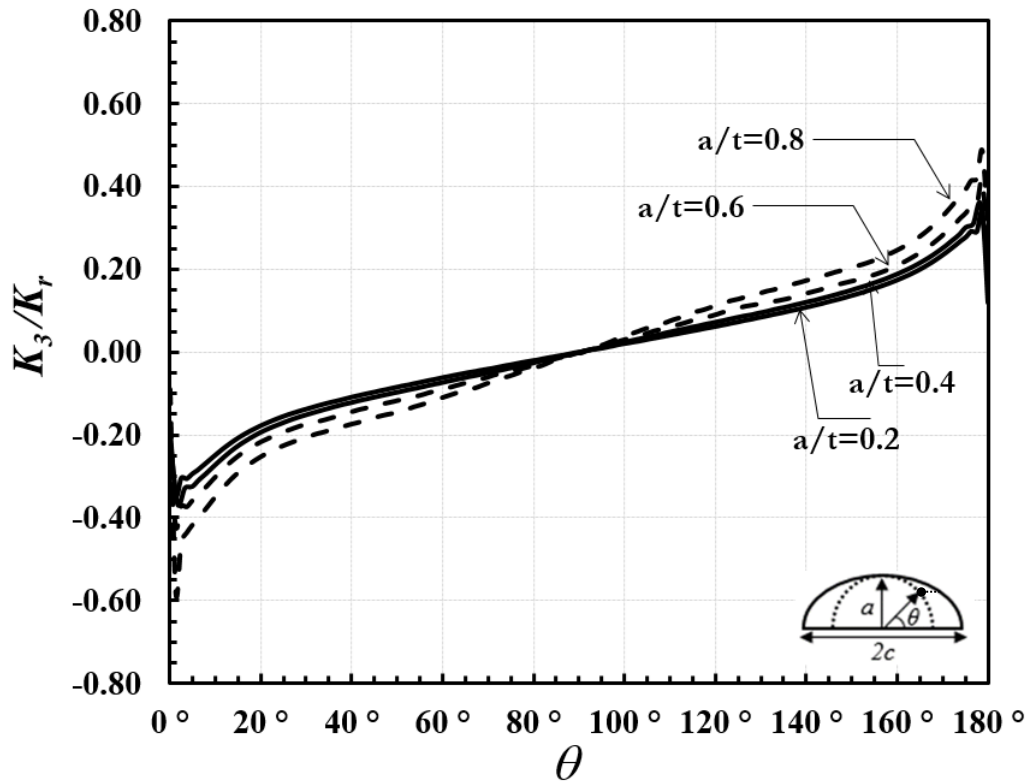


Şekil 3.281. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).

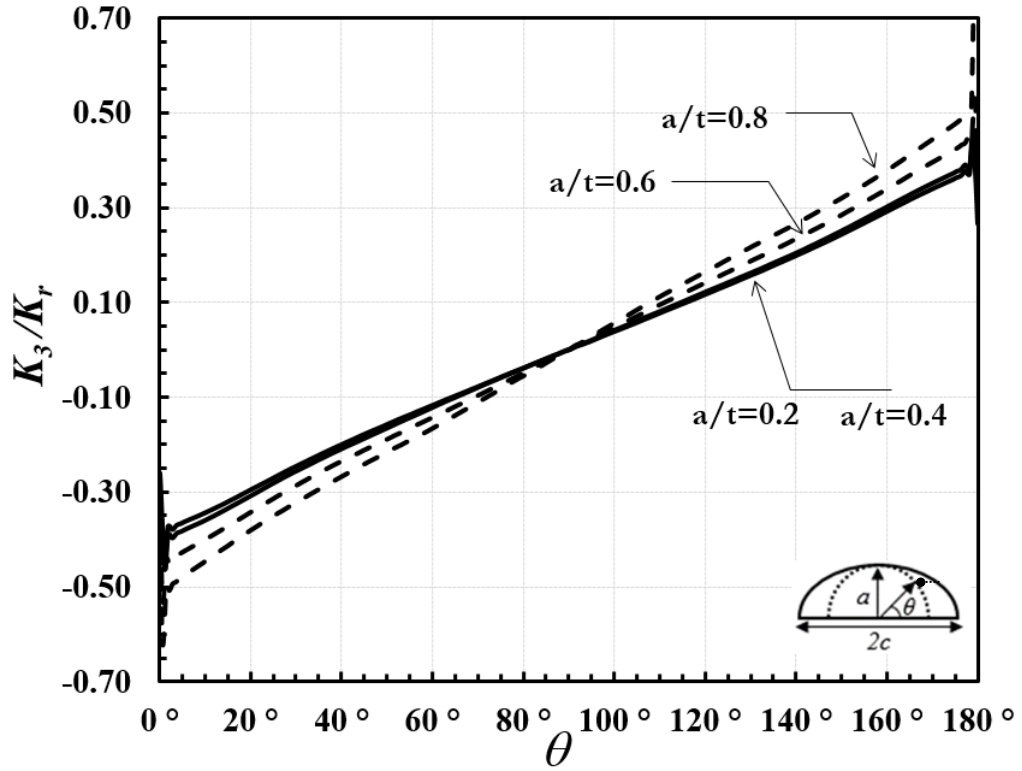




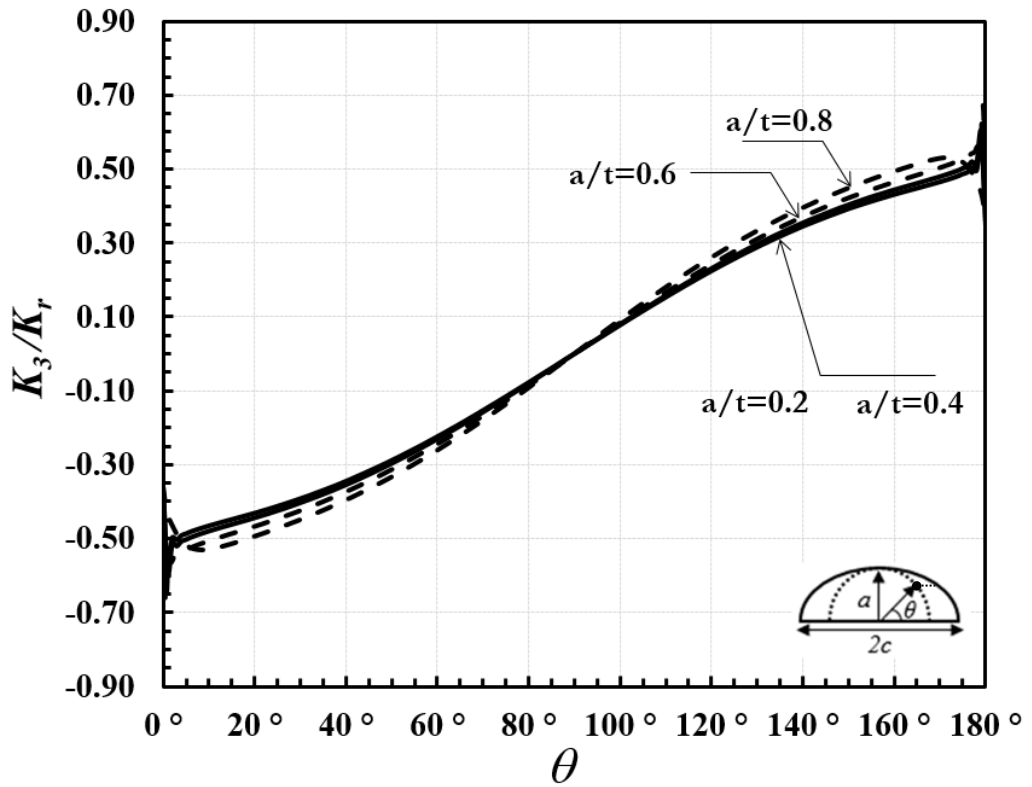
Şekil 3.282. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



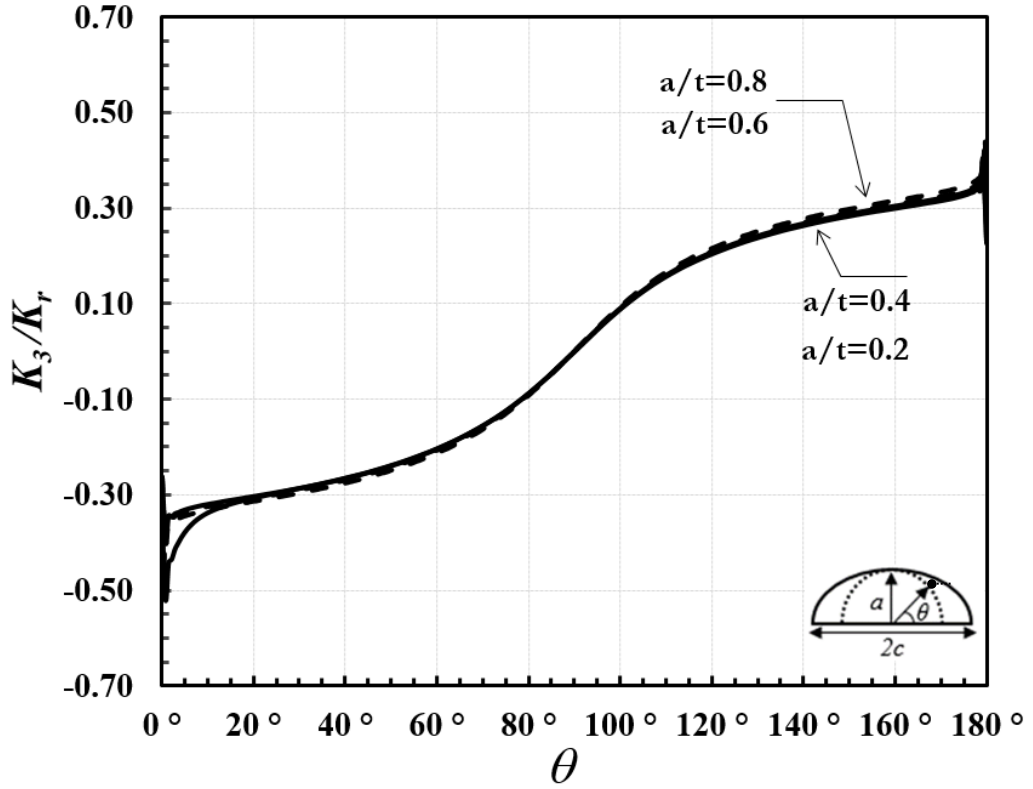
Şekil 3.283. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



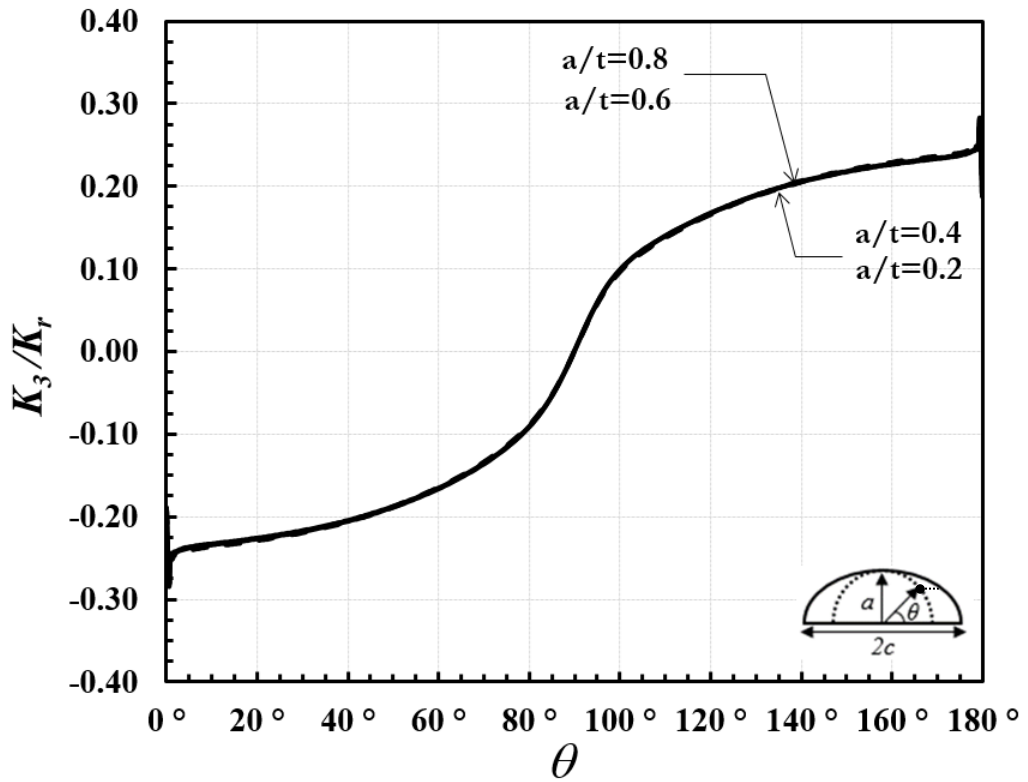
Şekil 3.284. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.5$ ).



Şekil 3.285. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 1$ ).



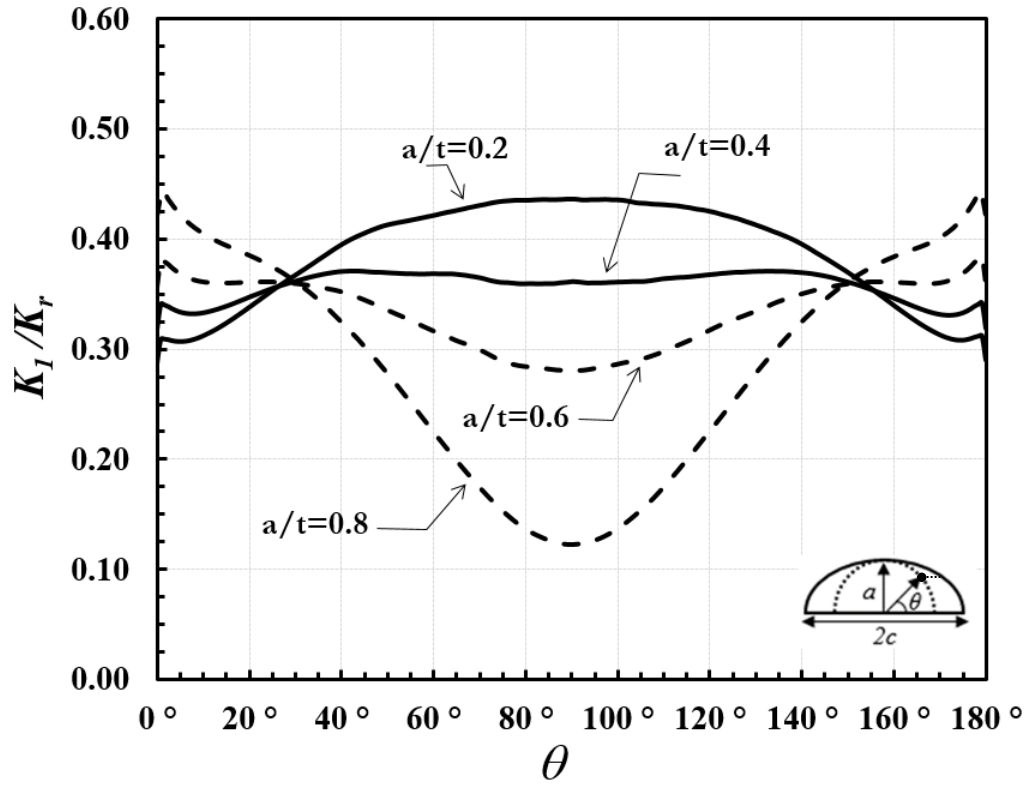
Şekil 3.286. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



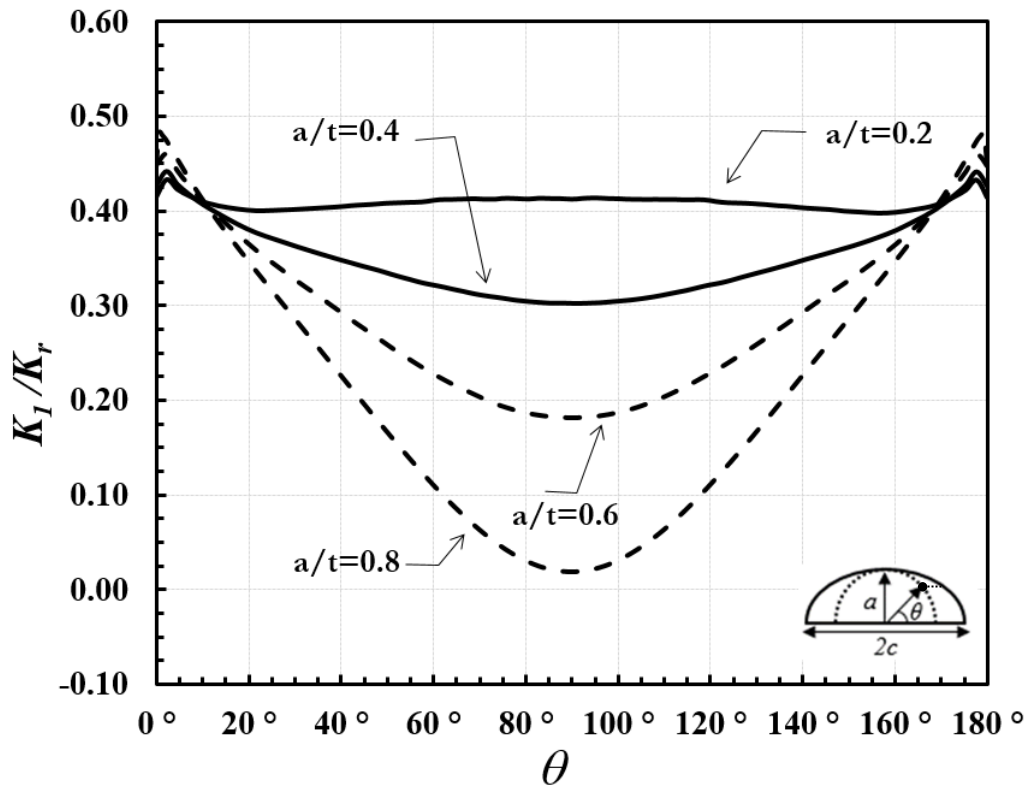
Şekil 3.287. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).

### 3.6.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak

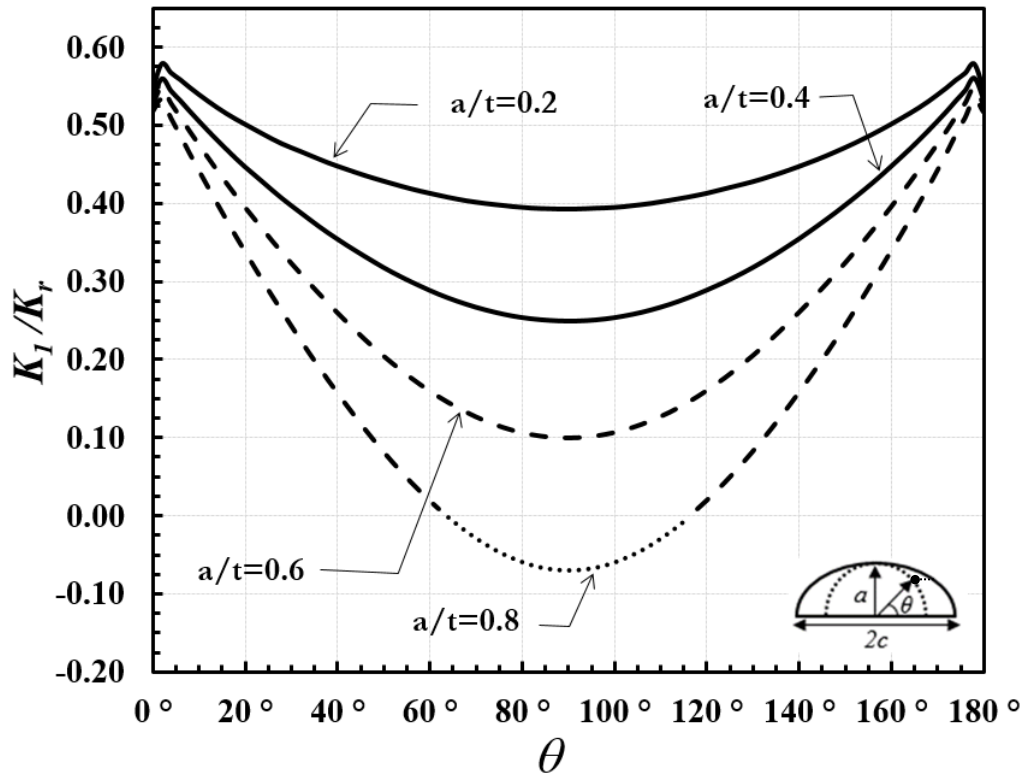
Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlakların normalize edilmiş GŞF değerlerinin eğiklik açılarna göre hazırlanmış grafikleri Bölüm 3.4.'te verilmişti. Normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) sabit tutularak farklı çatlak derinliği/levha et kalınlıklarıyla karşılaştırılması bu bölümde verilmiştir. Karışık mod normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.288.-3.302.'de verilmiştir. Normalize edilmiş Mod-I GŞF'lerde bazı değerler sıfırın altına düştüğü Şekil 3.292.'de olduğu gibi görülmektedir. Bu kısımlarda çatlak yüzeyleri kapanmaktadır. Normalize edilmiş mod-I grafiklerinde sıfırın altında kalan kısımları noktalı şekilde mod-II ve mod-III grafiklerinde de gösterilmiştir.  $a/c$  oranı arttıkça, derinlik noktasının eğilimi, levha et kalınlığı azalmasıyla mod-I GŞF değerlerinin düşmesi yönündedir (Şekil 3.288.-3.292.). Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı azaldıkça, levha et kalınlığının artmasıyla beraber normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin birbirine yaklaştığı Şekil 3.293.-3.297.'de görülmektedir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı ya da çatlak uzunluğu arttıkça, azalan  $a/t$  yöneliminde normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin azaldığı Şekil 3.298.-3.302.'de görülmektedir.



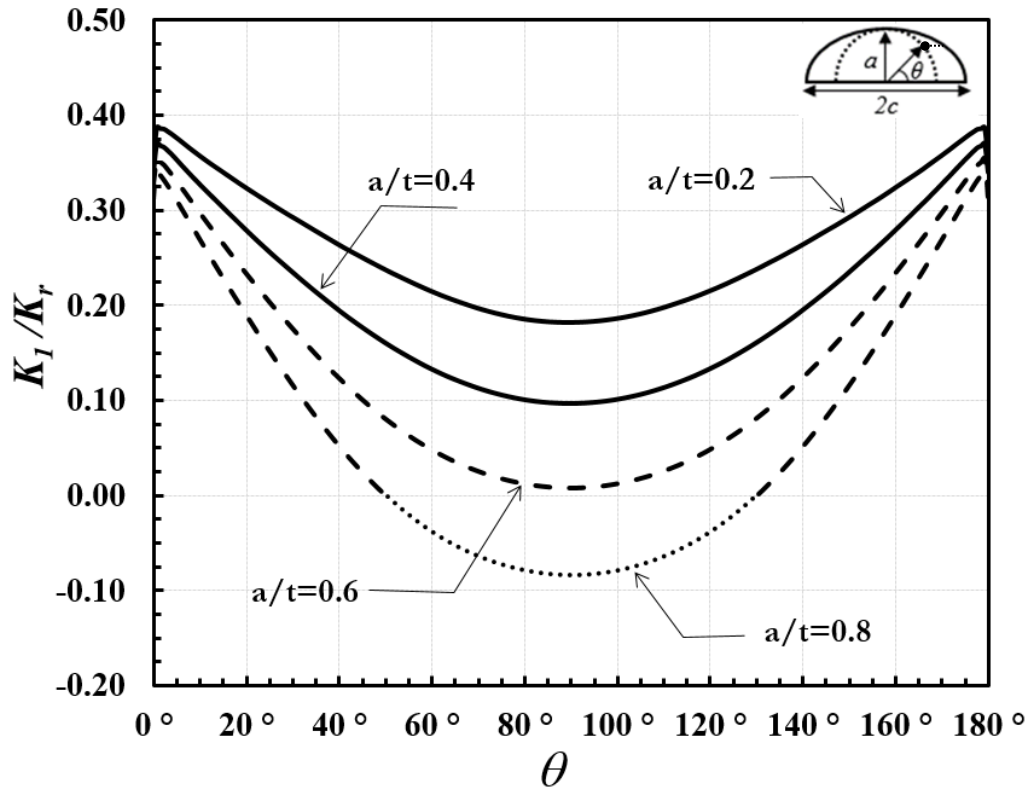
Şekil 3.288. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



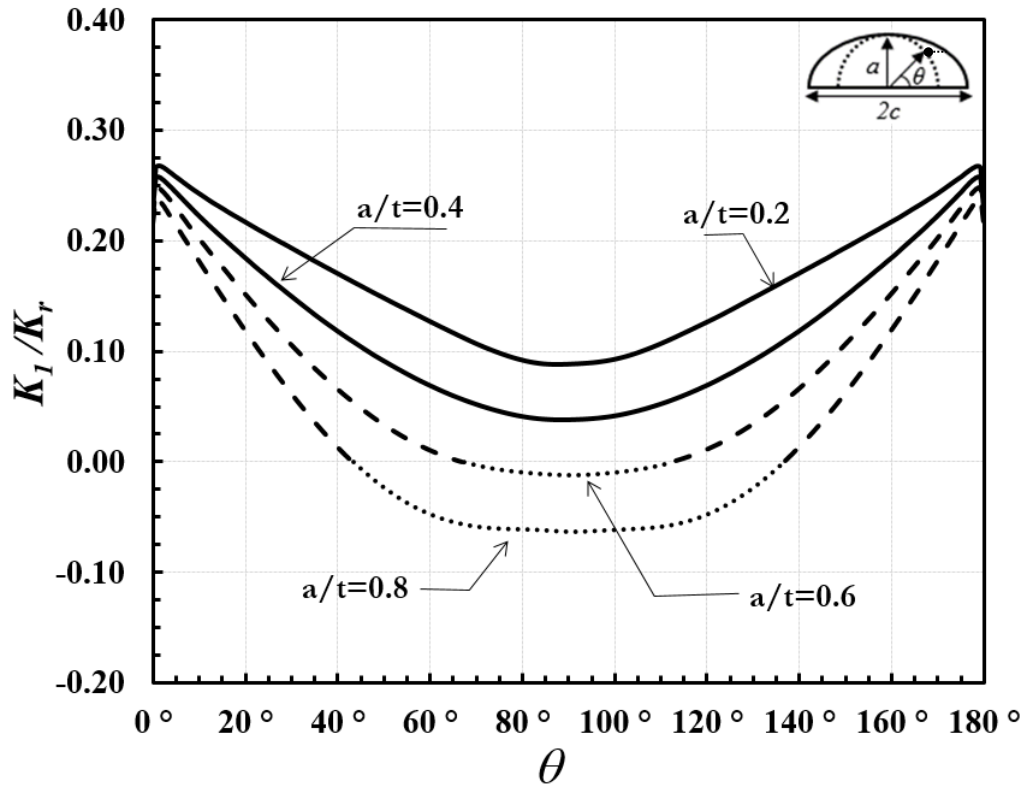
Şekil 3.289. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



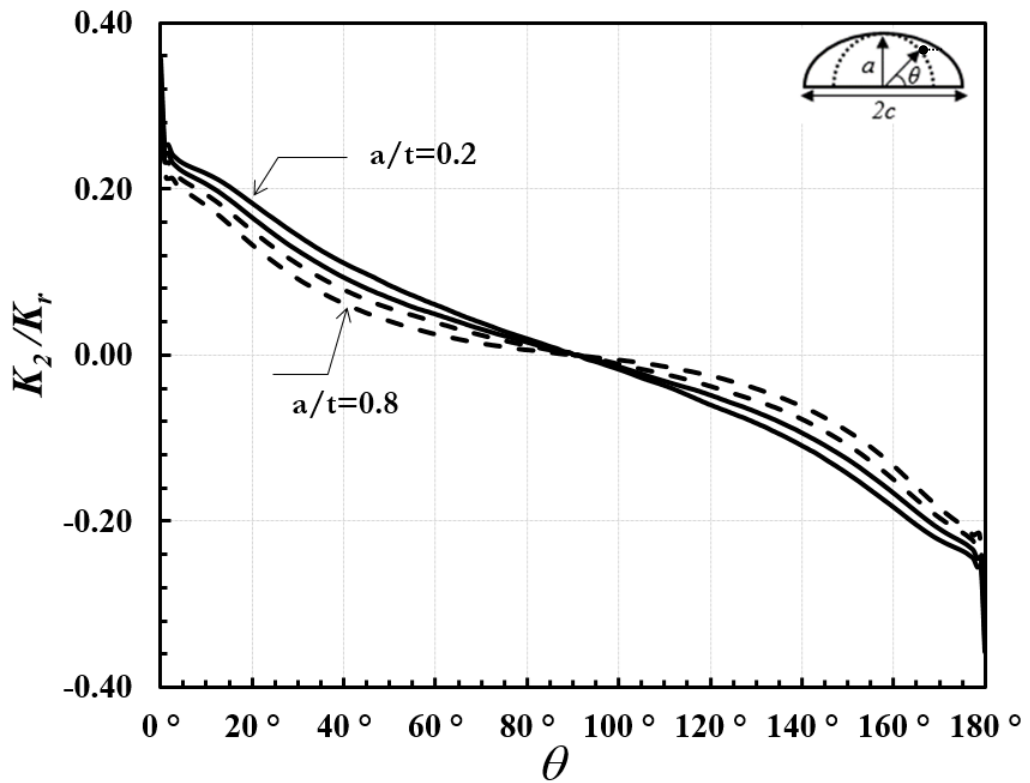
Şekil 3.290. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



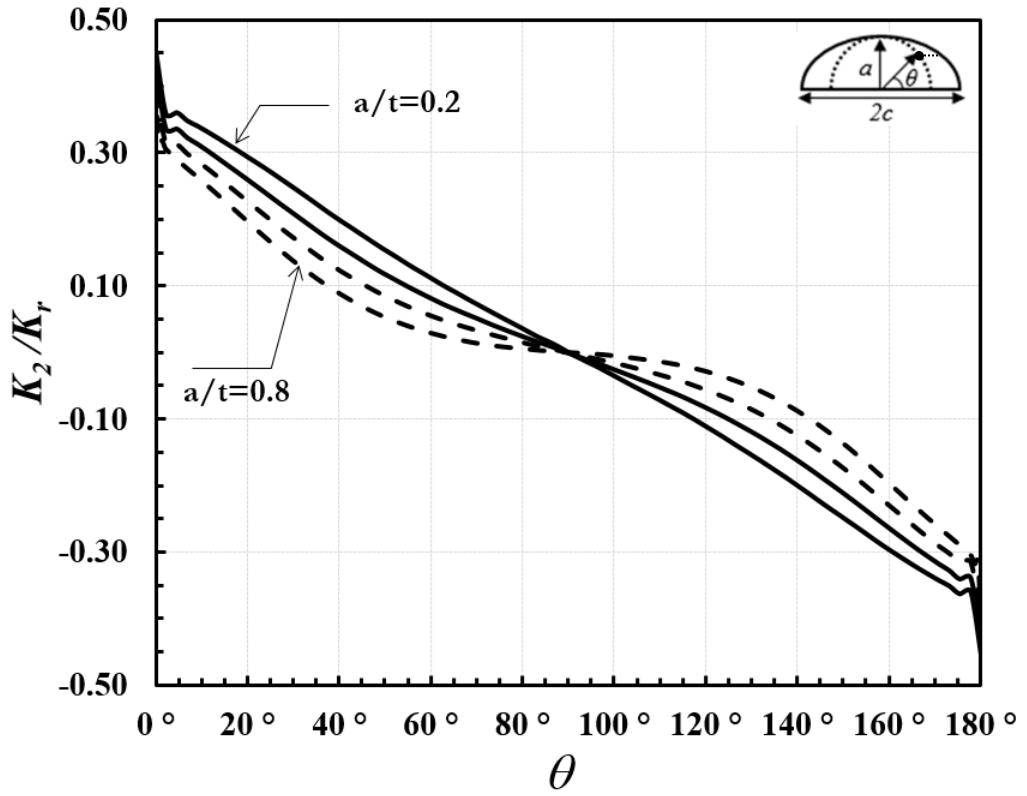
Şekil 3.291. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



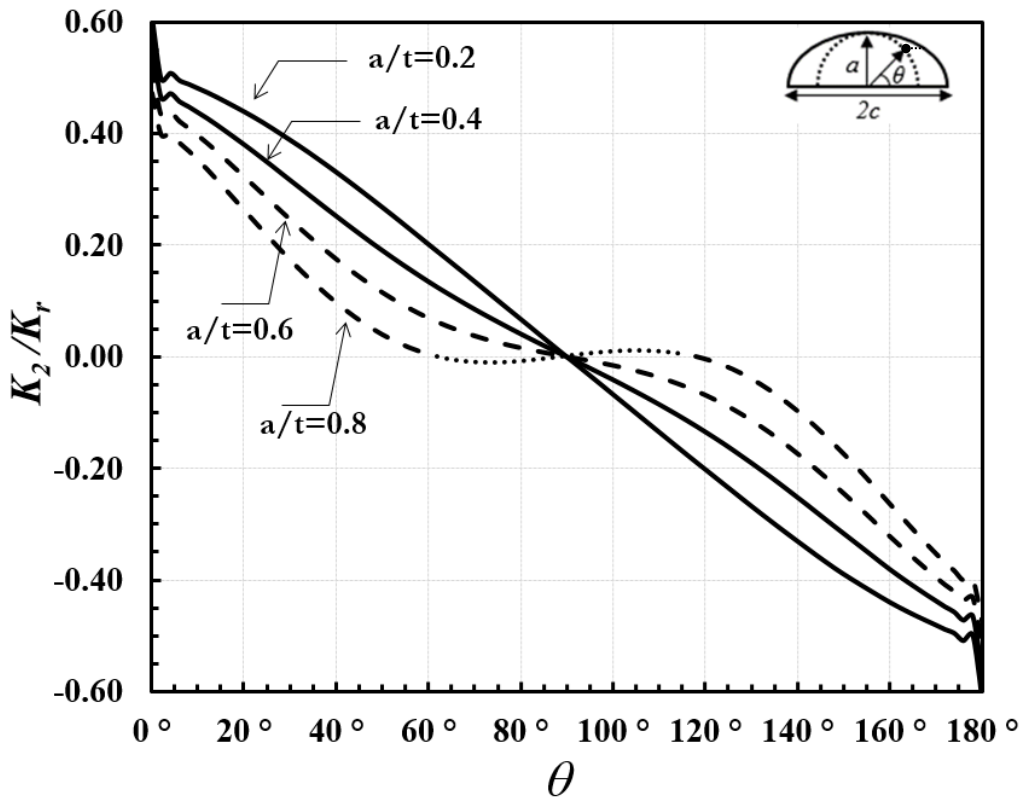
Şekil 3.292. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



Şekil 3.293. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).

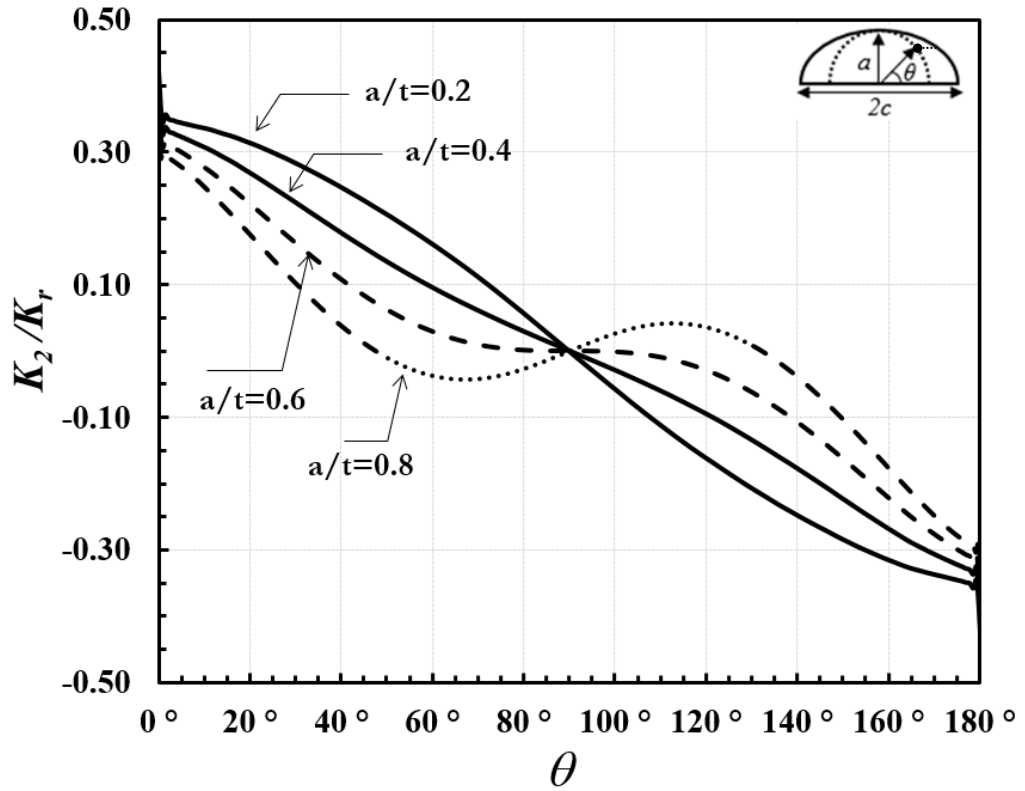


Şekil 3.294. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).

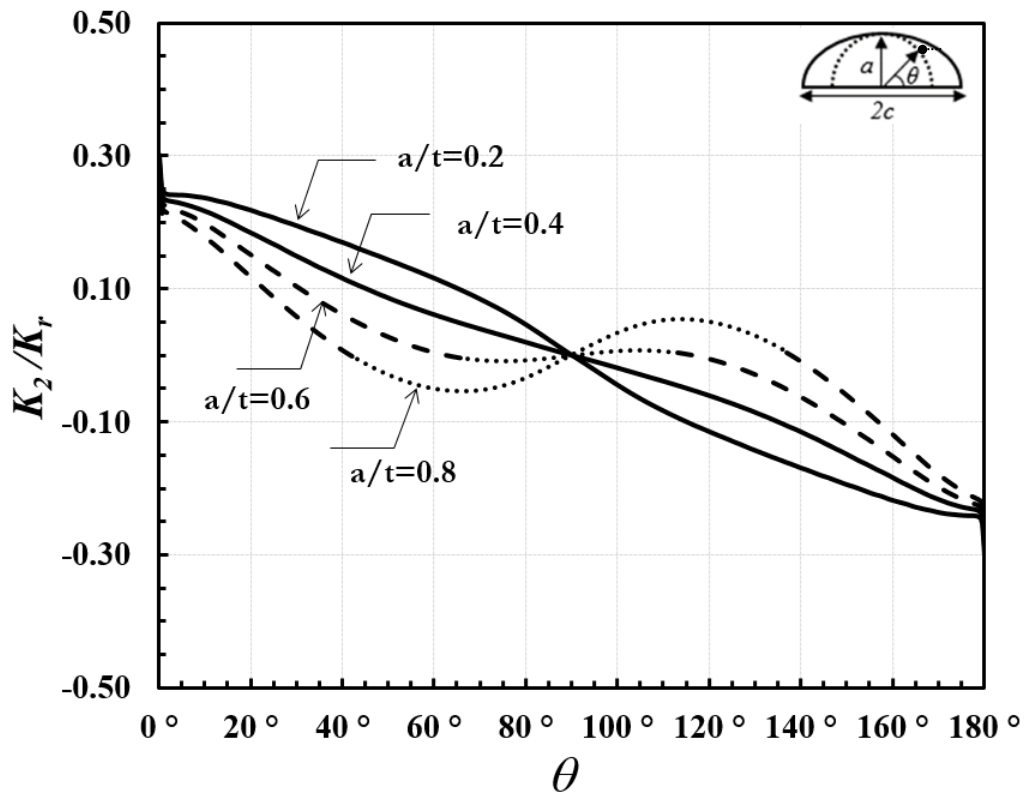


Şekil 3.295. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).

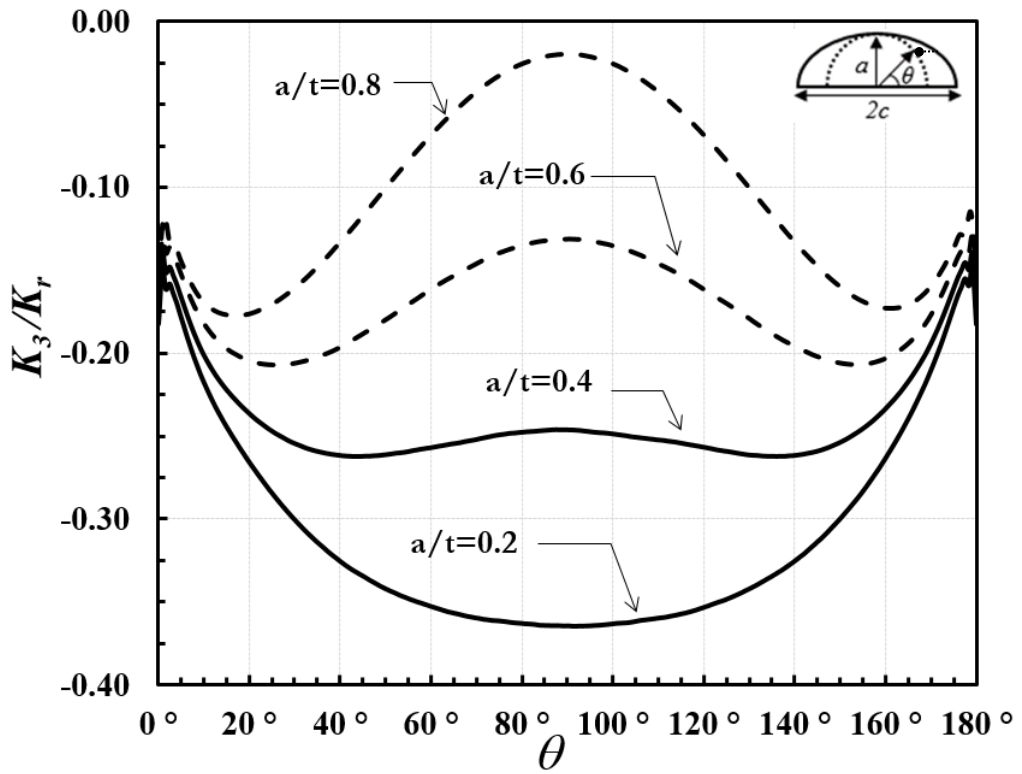




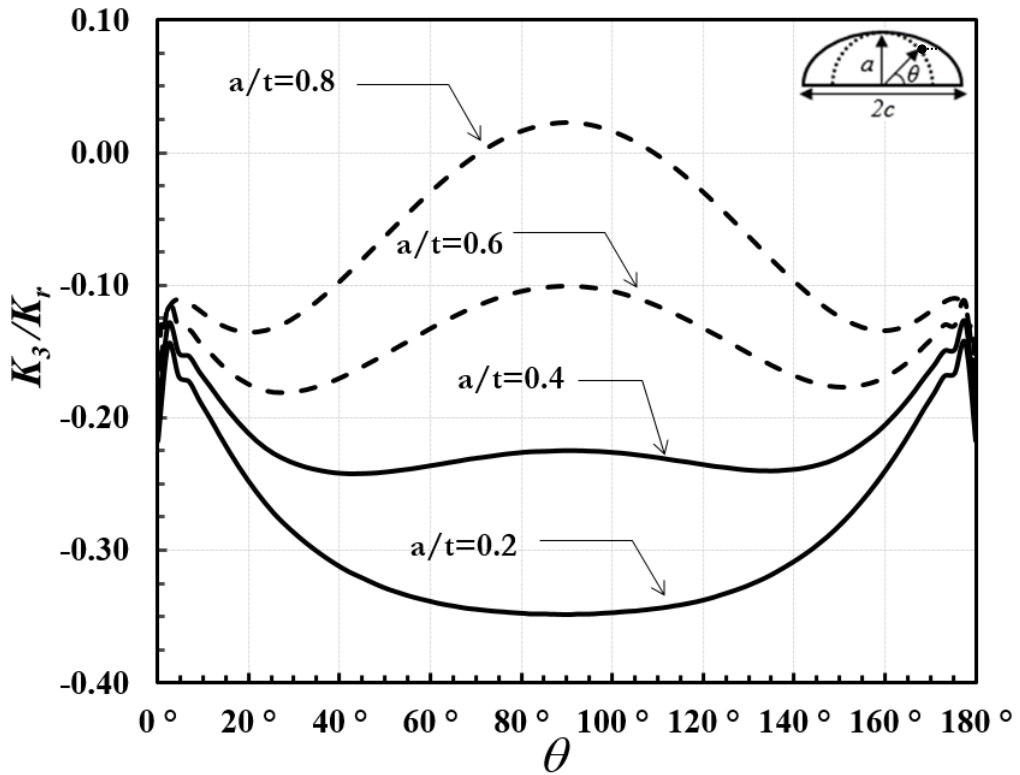
Şekil 3.296. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



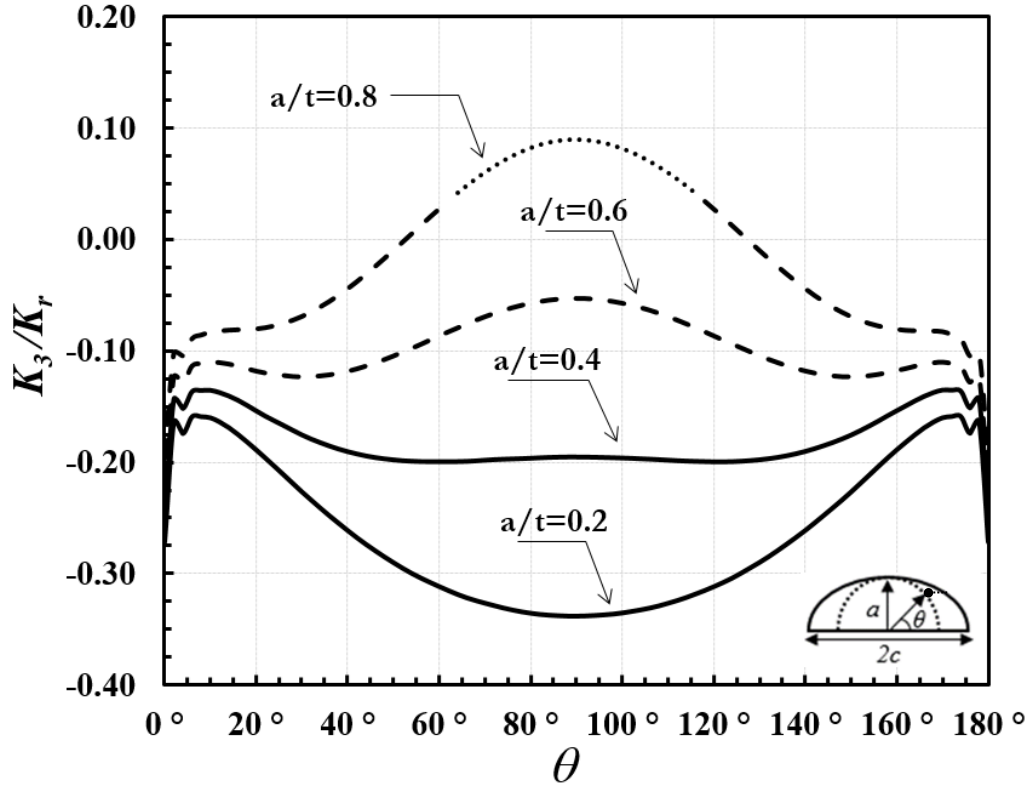
Şekil 3.297. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



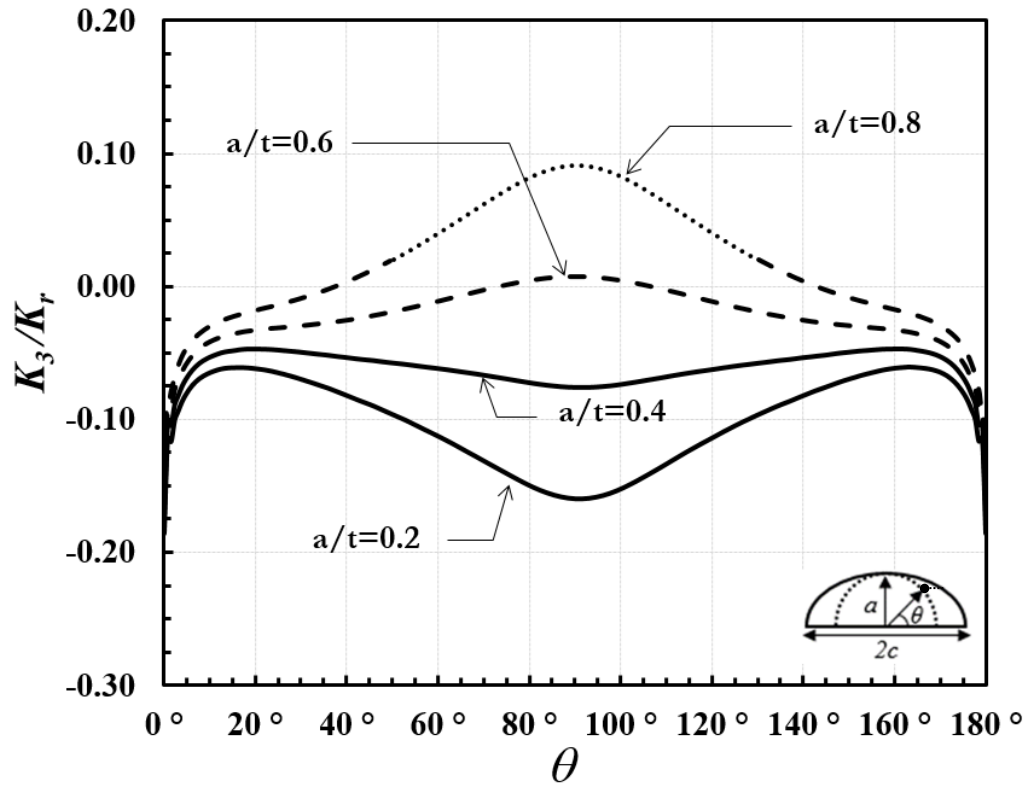
Şekil 3.298. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



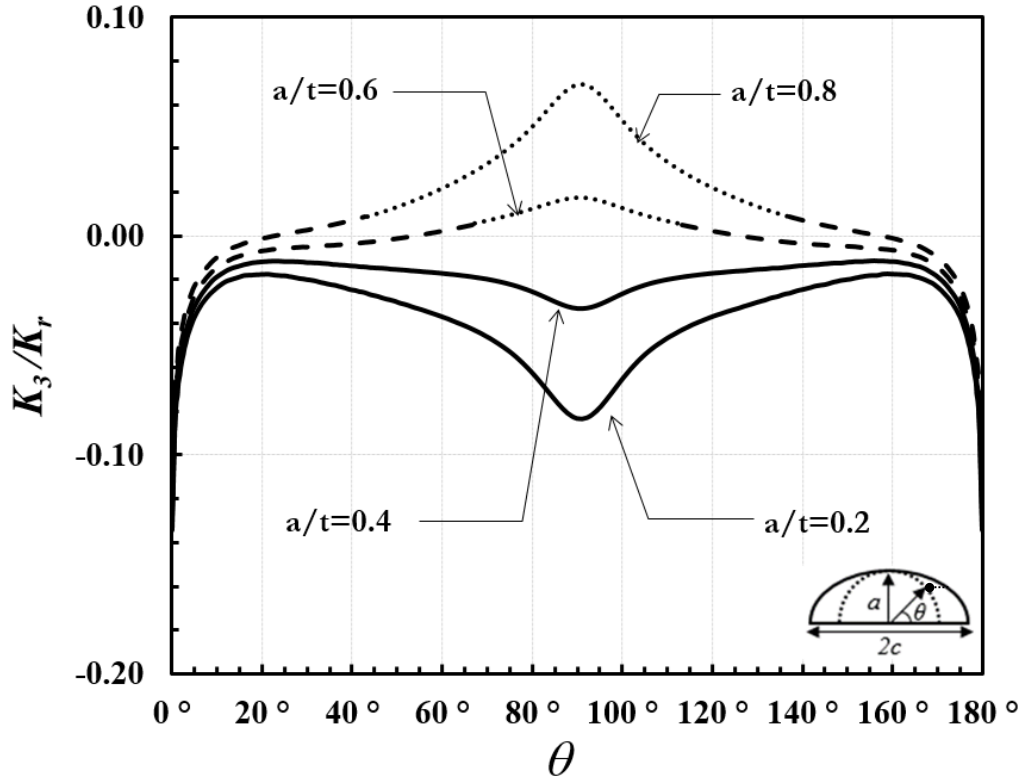
Şekil 3.299. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



Şekil 3.300. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



Şekil 3.301. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).

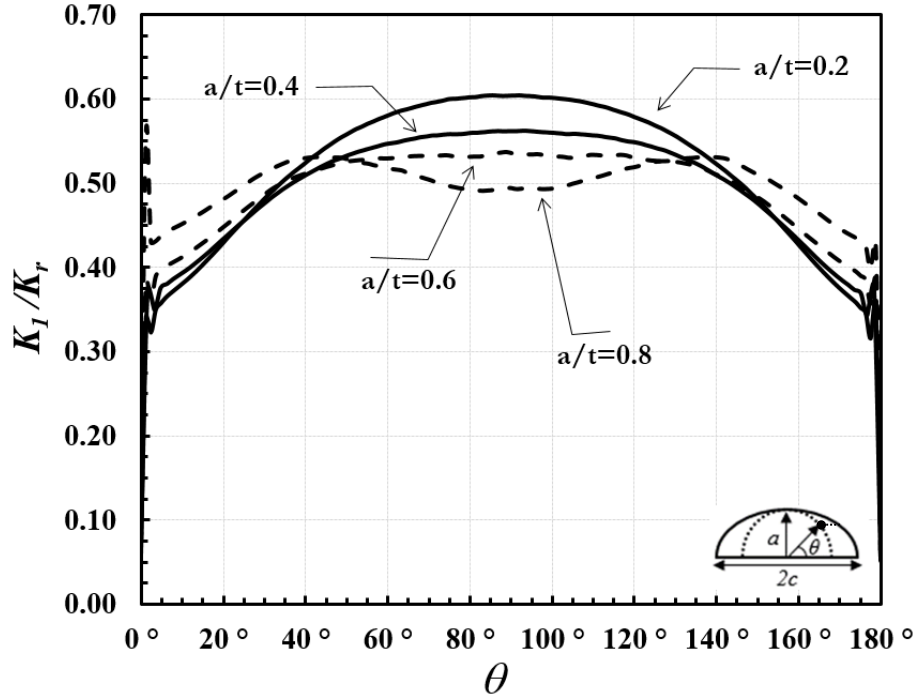


Şekil 3.302. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).

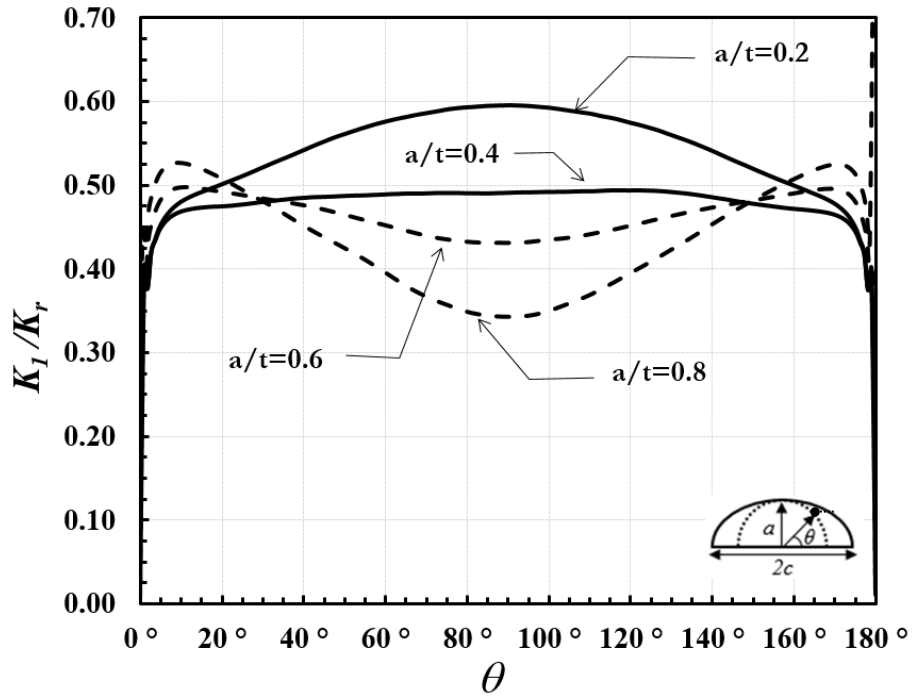
### 3.6.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak

Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlakların normalize edilmiş GŞF değerlerinin dönme açlarına göre hazırlanış grafikleri Bölüm 3.5.'te verilmişti. Normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/çatlak uzunluğu ( $a/c$ ) sabit tutularak farklı çatlak derinliği/levha et kalınlıklarıyla karşılaştırılması bu bölümde verilmiştir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.303.-3.317.'de verilmiştir. Normalize edilmiş Mod-I GŞF'lerde bazı değerler sıfırın altına düştüğü Şekil 3.307.'de görülmektedir. Bu kısımlarda çatlak yüzeyleri kapanmaktadır. Normalize edilmiş mod-I grafiklerinde sıfırın altında kalan kısımları noktalı şekilde mod-II ve mod-III grafiklerinde de gösterilmiştir.  $a/c$  oranı arttıkça, derinlik noktasının eğilimi, levha et kalınlığı azalmasıyla normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin düşmesi yönündedir (Şekil 3.303.-3.307.). Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı arttıkça, levha et kalınlığının artmasıyla beraber normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin  $a/c$  oranı 1'den küçük değerlerinde arttığı ve 1'den büyük değerlerinde azaldığı Şekil 3.308.-3.312.'de gözükmemektedir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranı

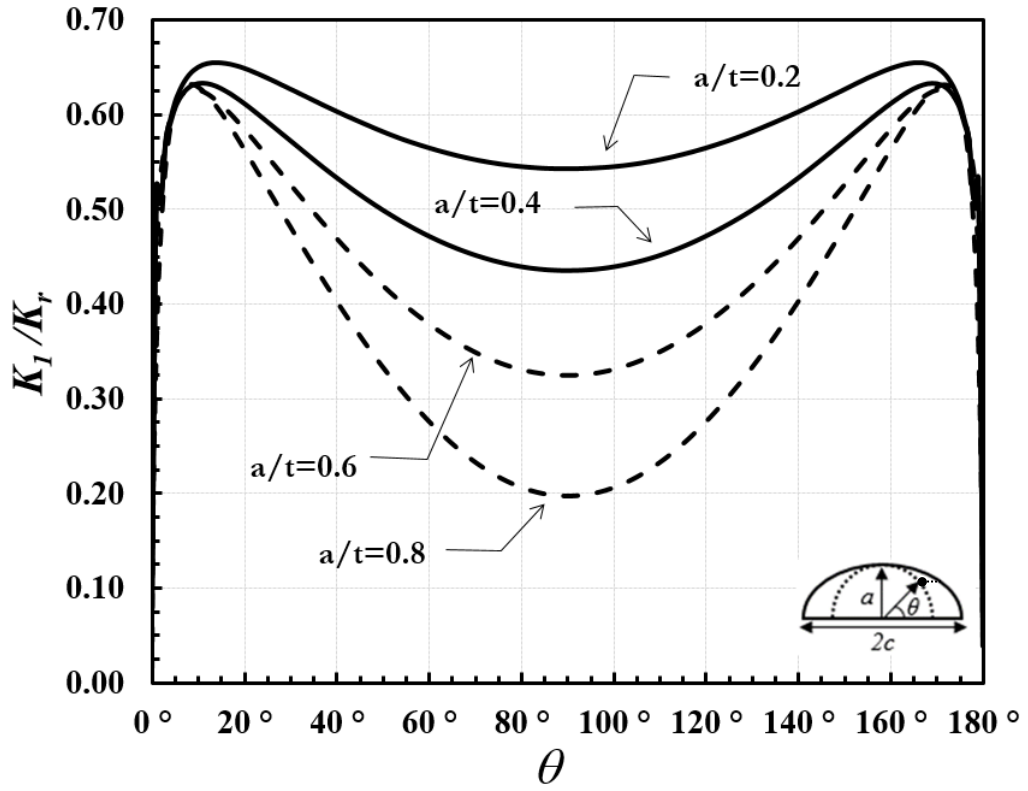
azaldıkça, normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin birbirine yaklaştığı Şekil 3.313-3.317.'de görülmektedir.



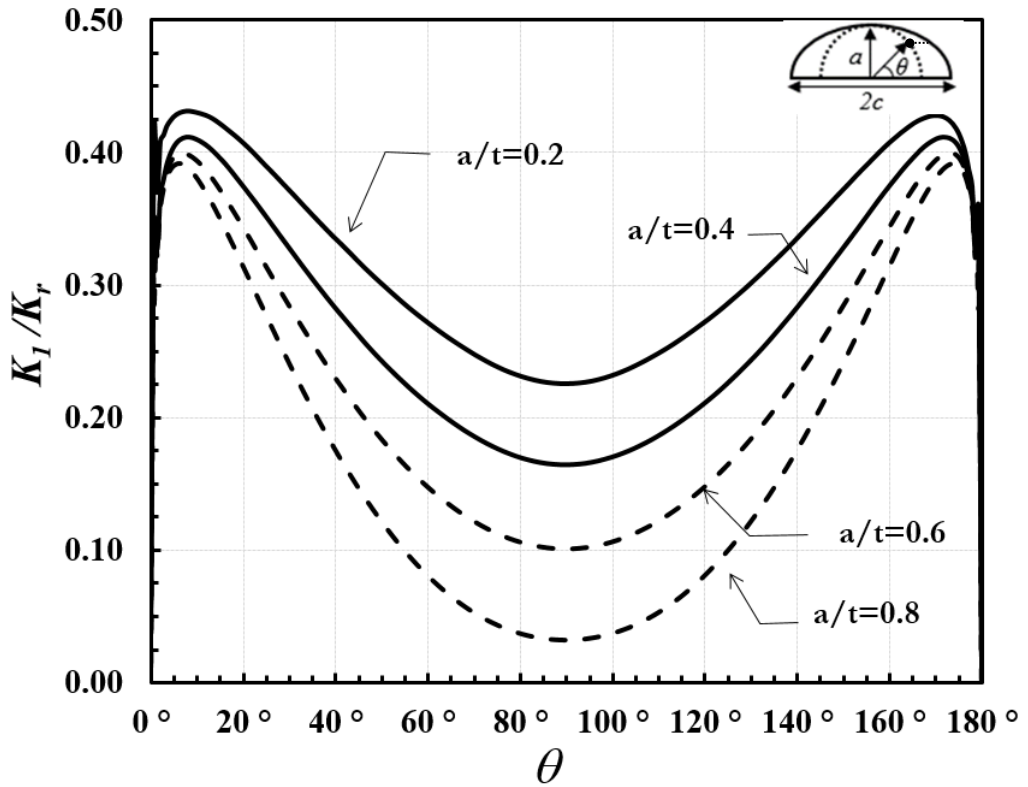
Şekil 3.303. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=0.25$ ).



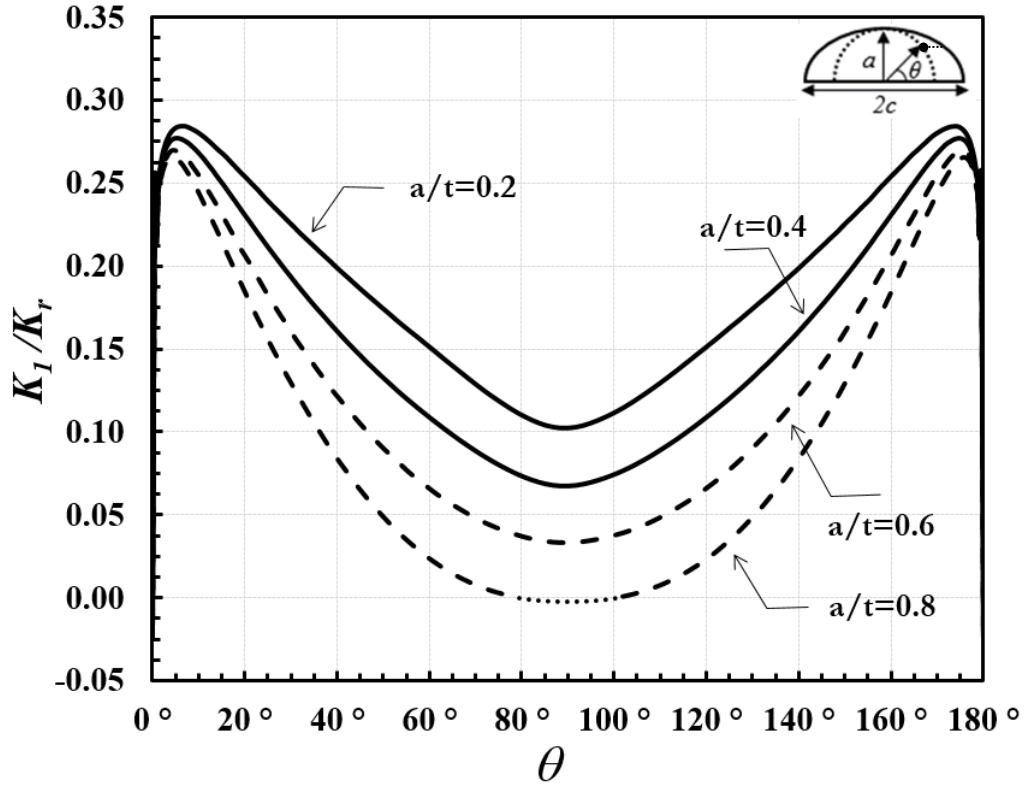
Şekil 3.304. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=0.5$ ).



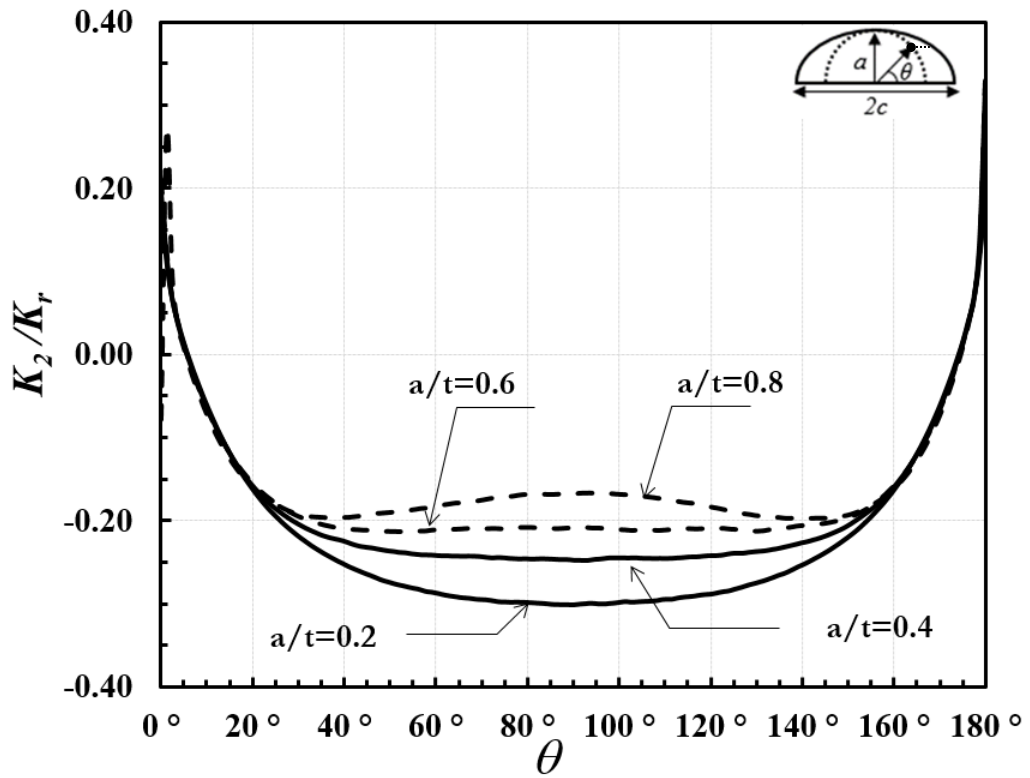
Şekil 3.305. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



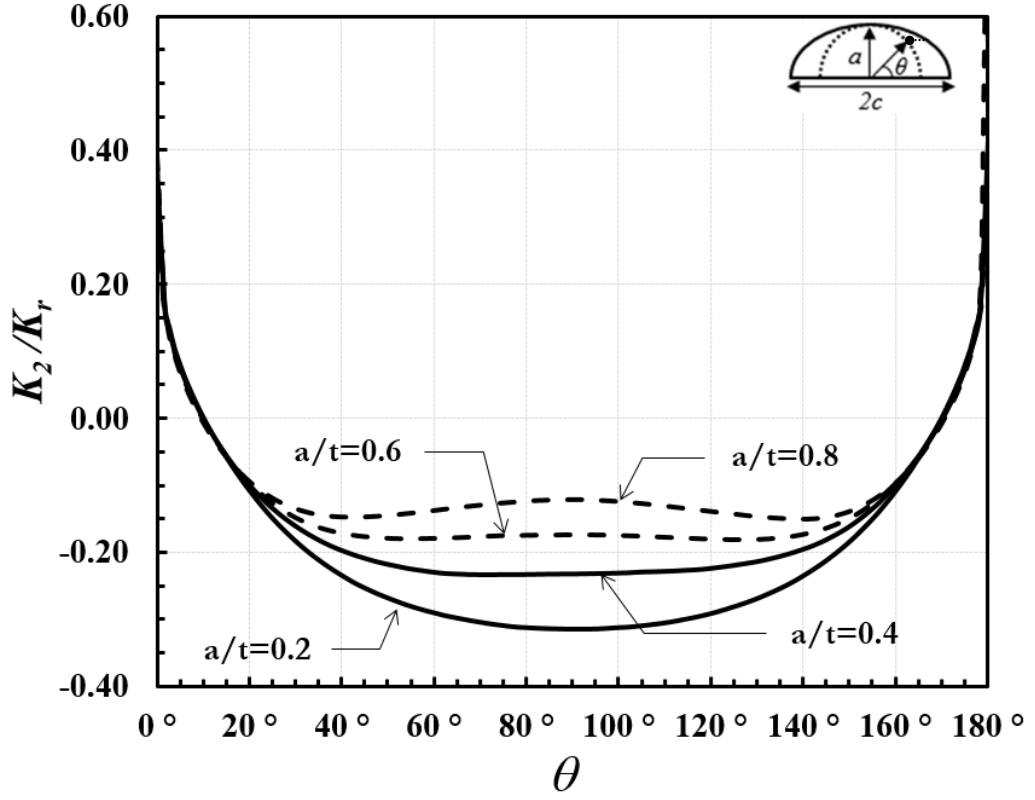
Şekil 3.306. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



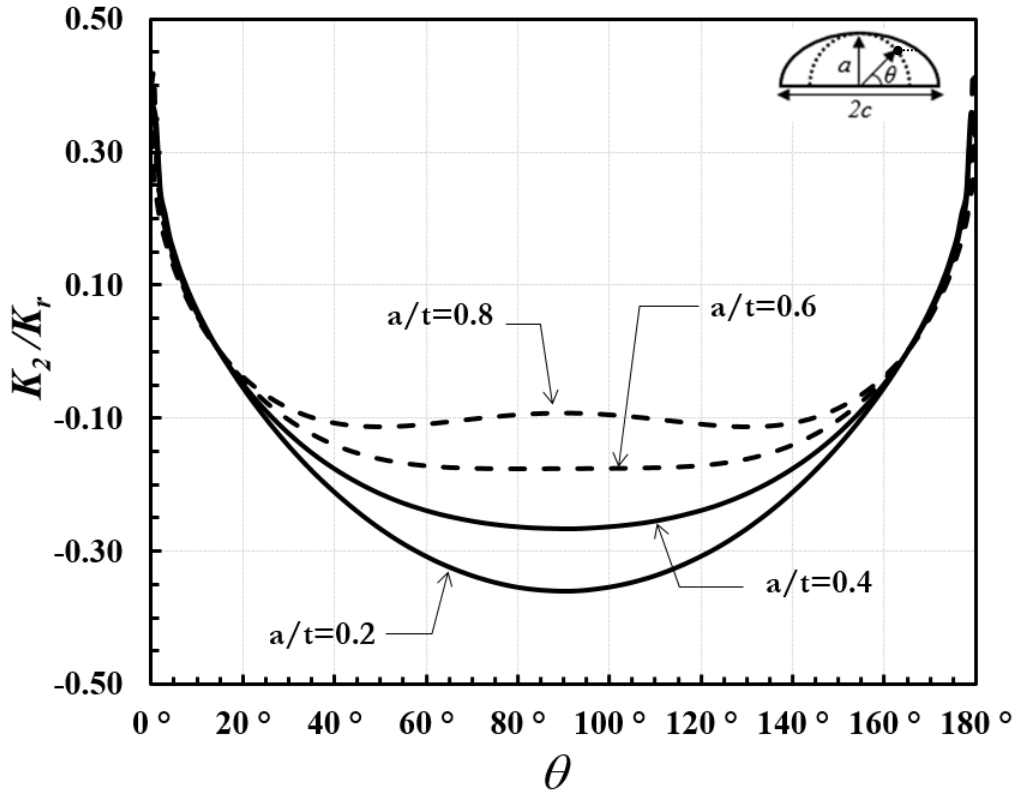
Şekil 3.307. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 4$ ).



Şekil 3.308. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.25$ ).

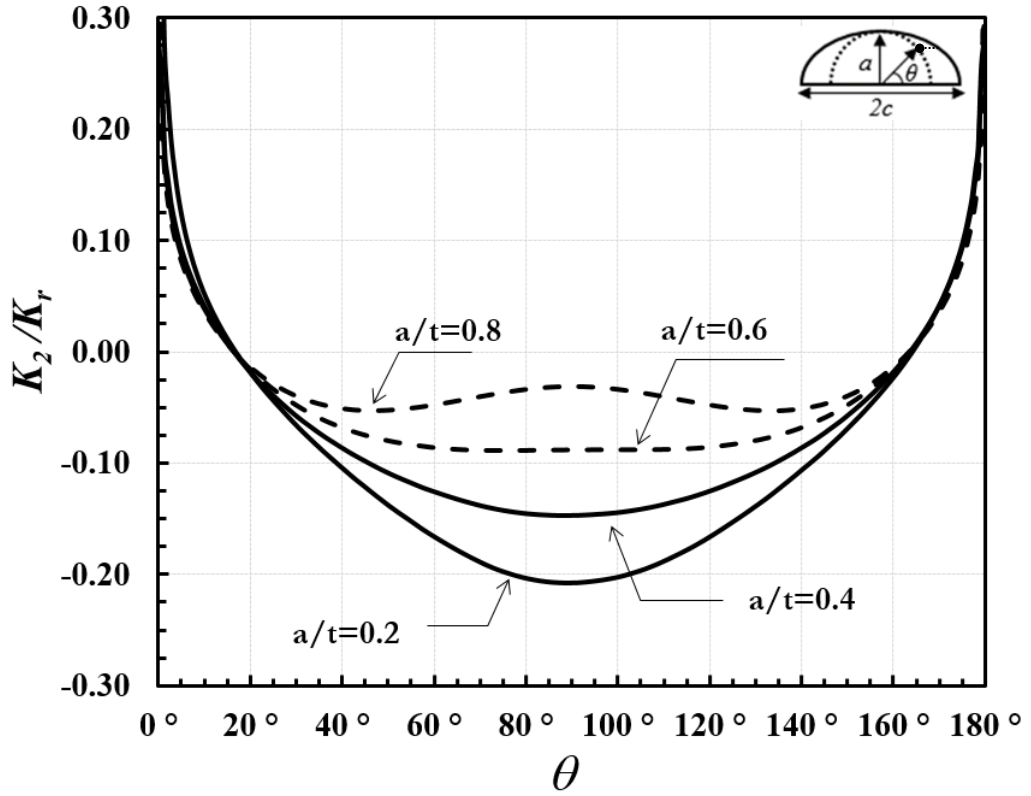


Şekil 3.309. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.5$ ).

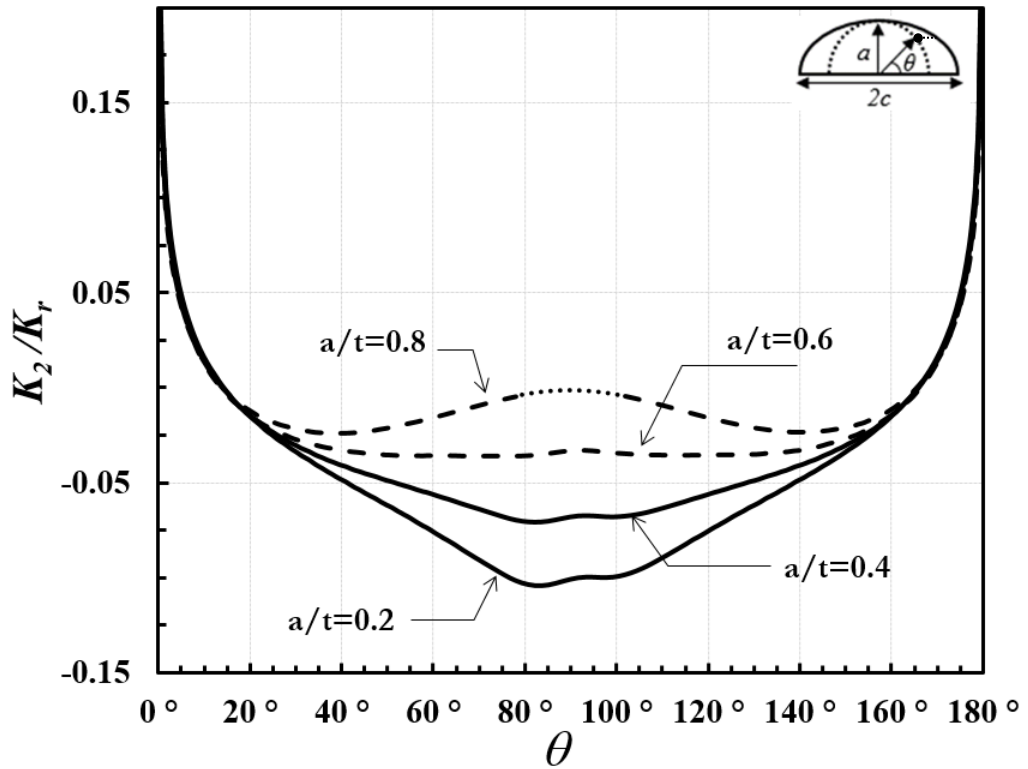


Şekil 3.310. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 1$ ).

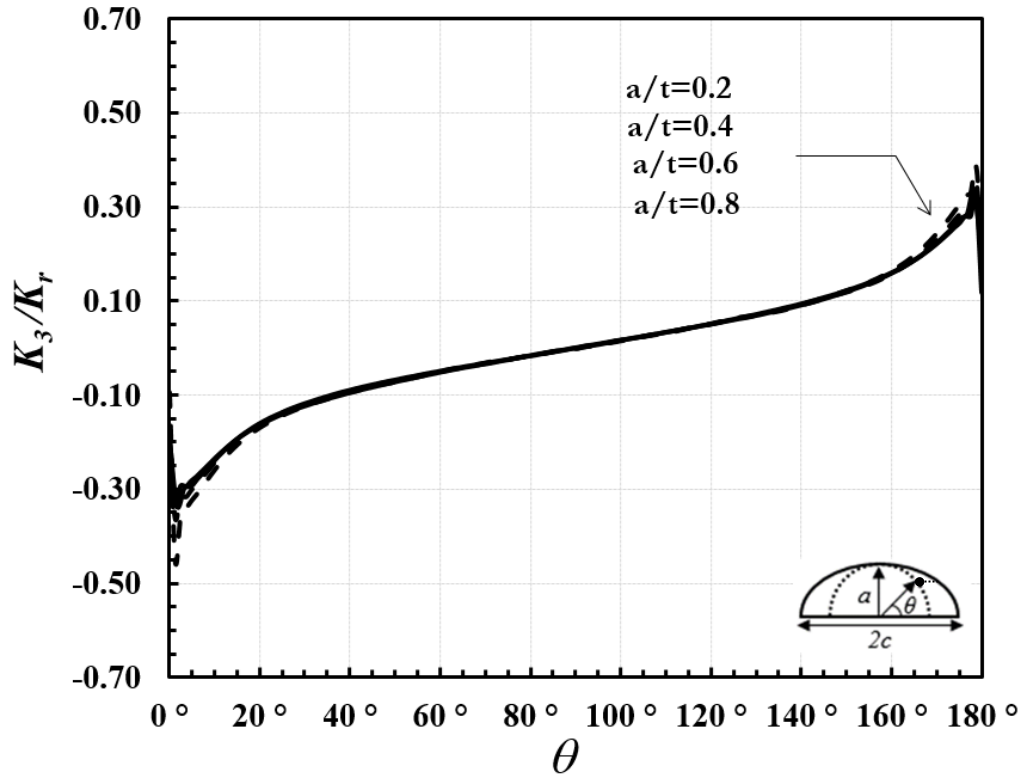




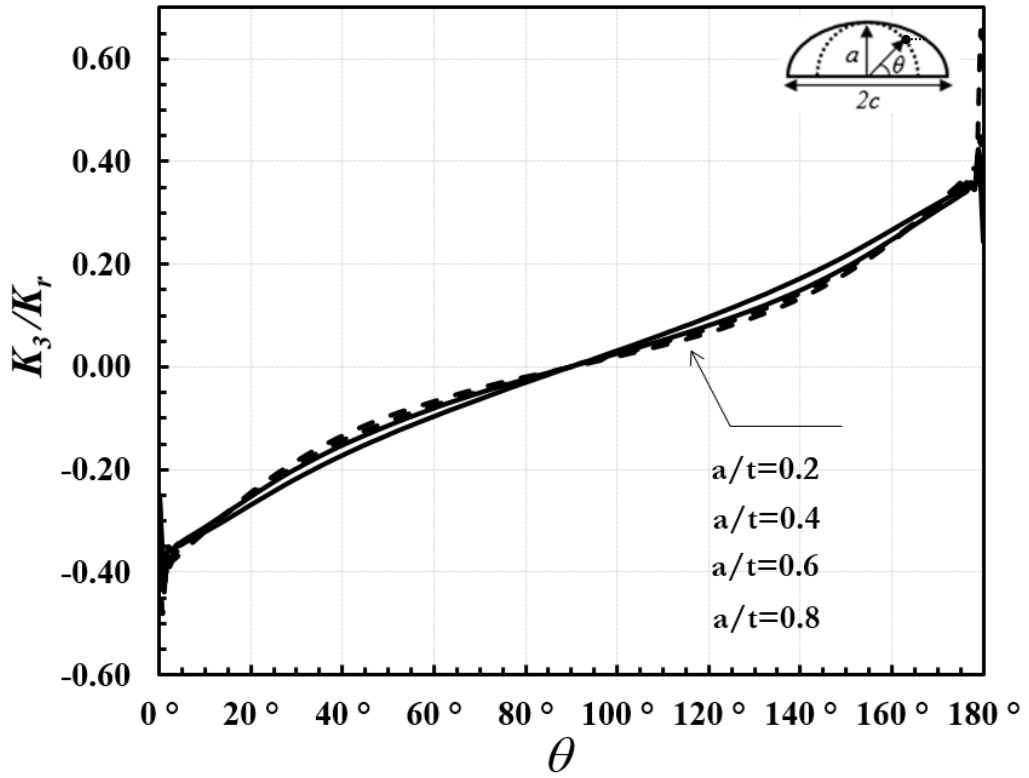
Şekil 3.311. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



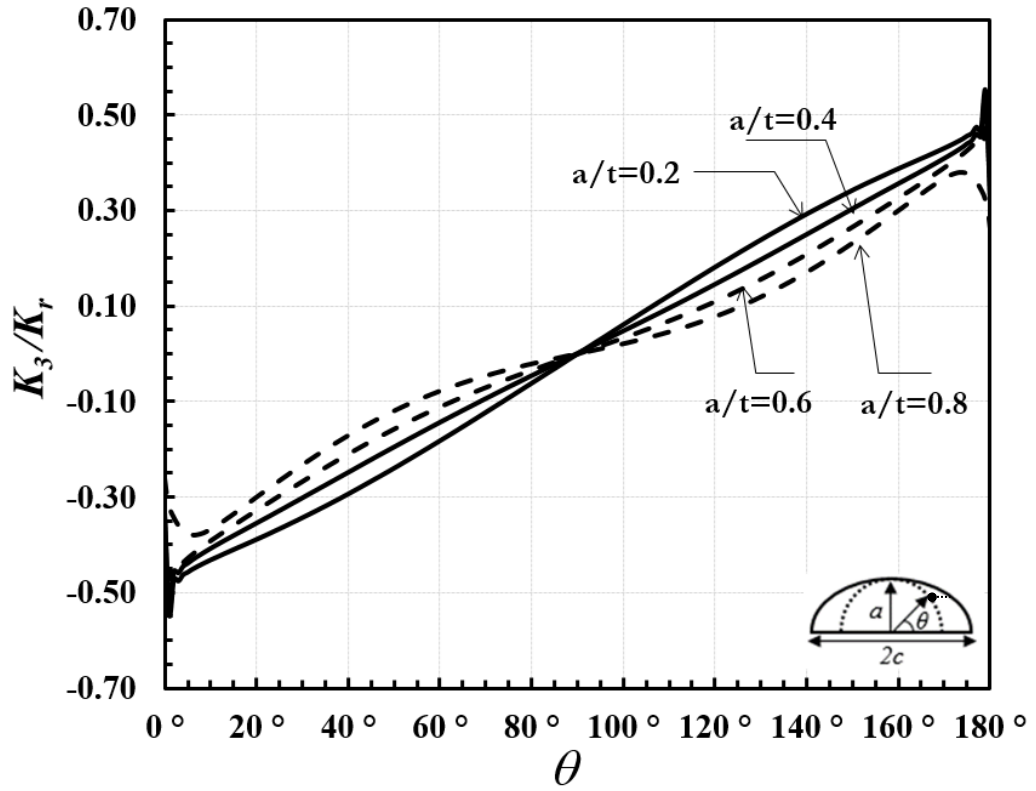
Şekil 3.312. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c=4$ ).



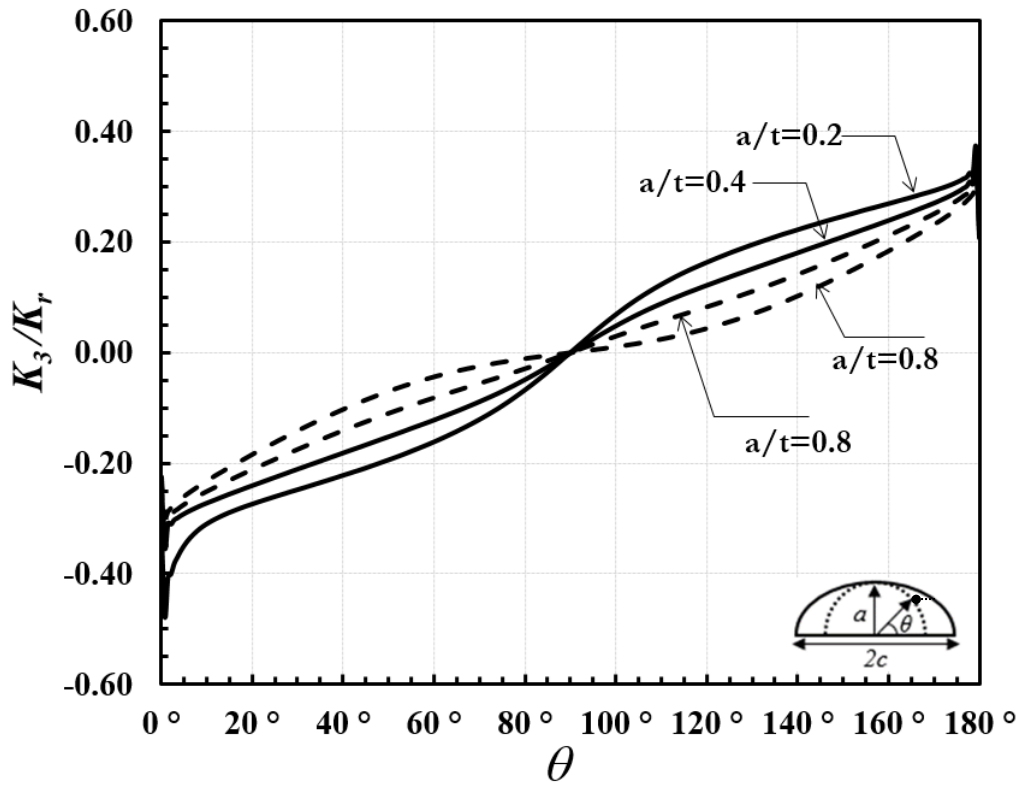
Şekil 3.313. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.25$ ).



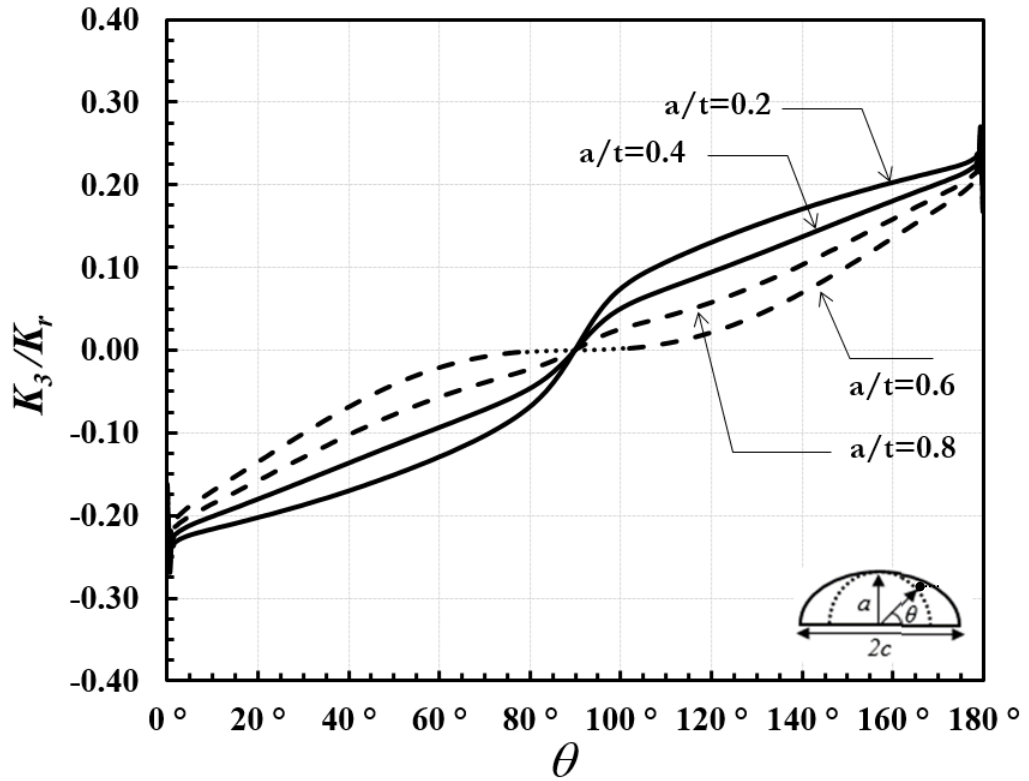
Şekil 3.314. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 0.5$ ).



Şekil 3.315. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=1$ ).



Şekil 3.316. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/c=2$ ).



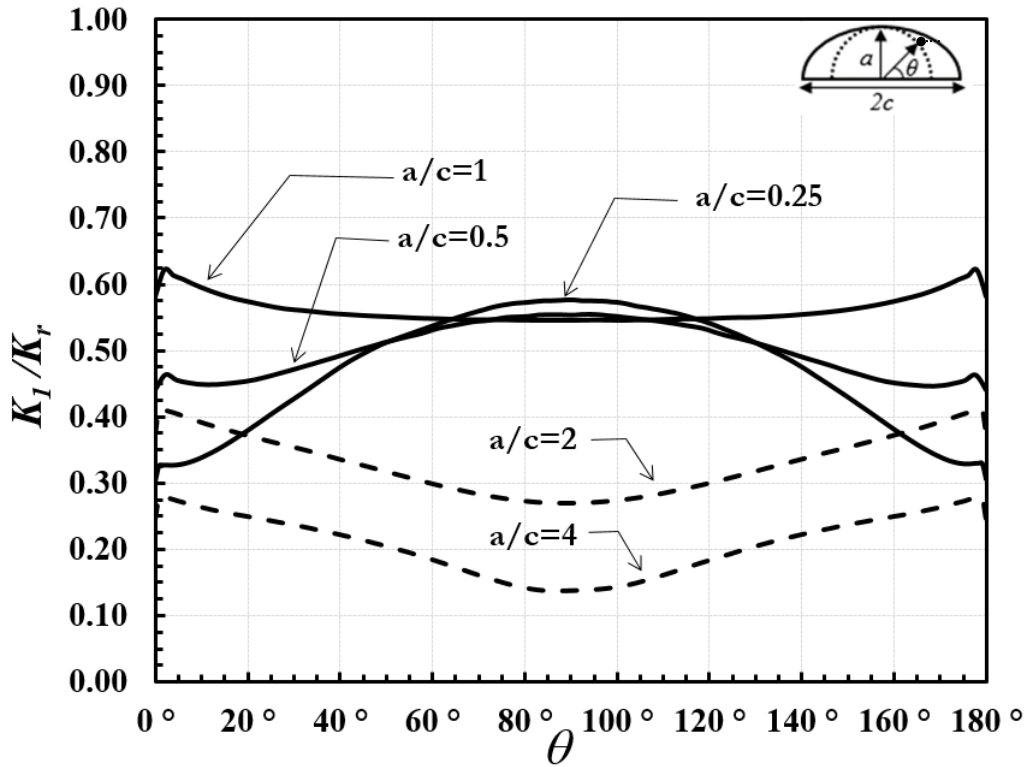
Şekil 3.317. Sabit  $a/c$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $a/c = 4$ ).

### 3.7. Çatlak Derinlik Oranı ( $a/t$ ) Parametresinin Etkileri

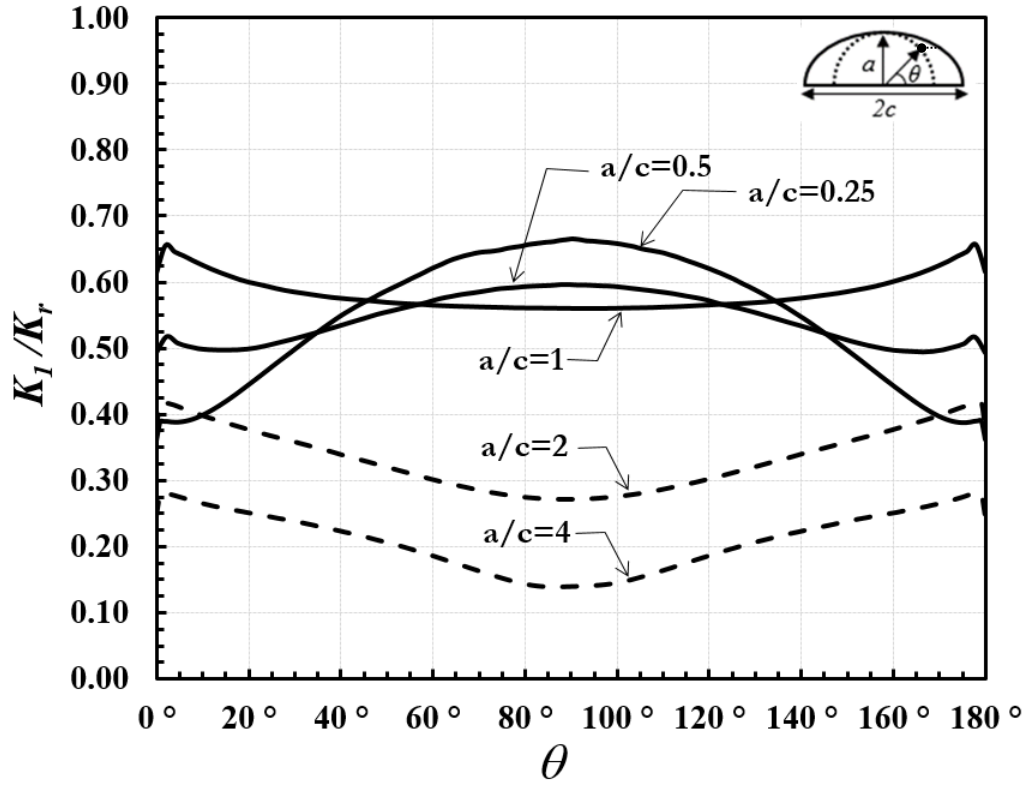
Çatlak şekil oranları parametre etkileri incelendikten sonra çatlak derinlik oranı parametresi de ayrıca incelenmiştir. Bu amaçla, çatlak bölgesinde orta seviye karışık mod gerilme/yüklemeye oluşturan  $45^\circ$  eğim açılı eliptik yüzey çatlakları için hesaplanan GŞF dağılımları, her bir grafikte ayrı bir  $a/t$  (0.2, 0.4, 0.6, 0.8) oranı temsil edilerek farklı  $a/c$  (0.25, 0.5, 1, 2, 4) oranlarında karşılaştırılmıştır (Şekil 3.318.-3.365.). Çatlak derinlik oranları karşılaştırmaları analiz sırasına göre verilmektedir. Önce aksenal gerilmeye maruz eğik ve dönmüş çatlak ardında da eğilme gerilmesine maruz eğik ve dönmüş çatlak sonuçları verilmektedir. Şekil 3.318.-3.365. arasındaki grafikleri daya iyi anlamak için sabit  $a/t$  grafiklerinde  $a/c=4$  ve 2 için kesikli çizgiler kullanılmıştır.

### 3.7.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak

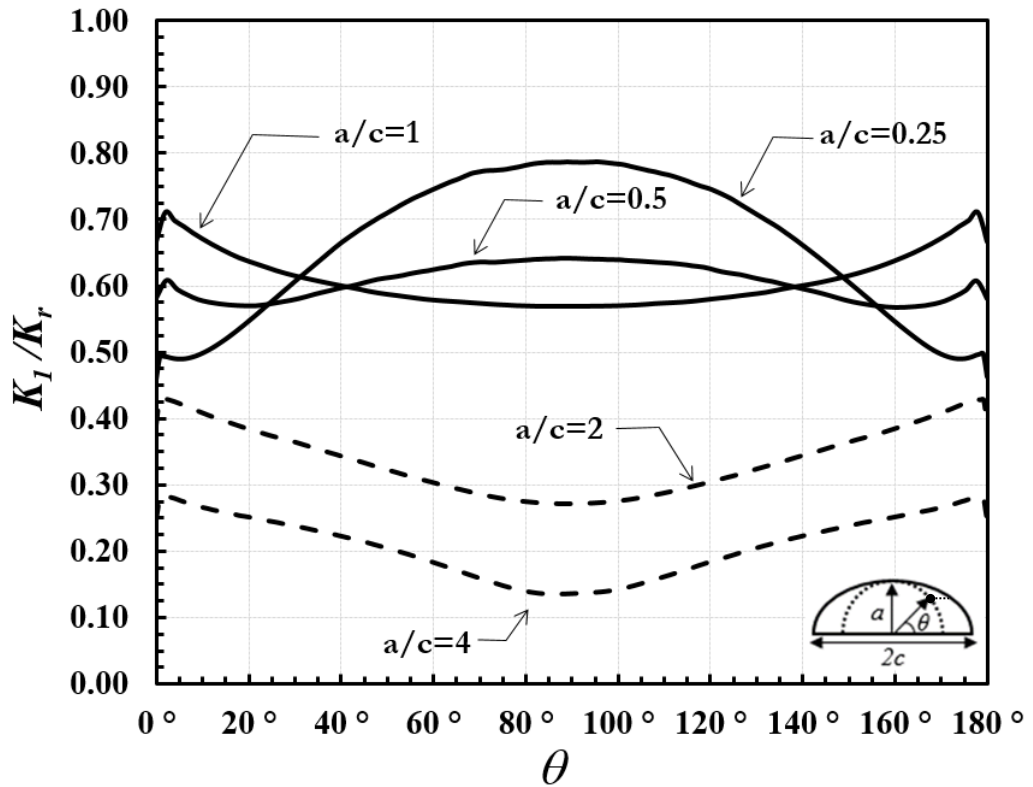
Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak için normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/levha et kalınlıkları sabit tutularak farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranlarında karşılaştırılmaları verilecektir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.318.-3.329.'da verilmiştir.  $a/c$  oranı 0.25 ve 0.5 için, normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin çatlak ucu derinlik noktasıyla kıyaslandığında serbest yüzeylerde daha düşük olduğu Şekil 3.318.-3.320.'de görülmektedir. Şekil 3.321'de  $a/c$  oranı 0.25 için çatlak ucu derinlik noktası serbest yüzeyden daha yüksektir.  $a/c$  oranı 1, 2 ve 4 için normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin çatlak ucu serbest yüzeyle kıyaslandığında, derinlik noktasında daha düşük olduğu da gözükmemektedir. Şekil 3.322.-3.325.'ten,  $a/c$  oranı 0.25'ten 1.0 değerine arttıkça, çatlak önü boyunca mod-II GŞF'nin arttığı,  $a/c$  oranının 2.0 ve 4.0 değerleri için ise azaldığı görülmektedir. Şekil 3.326.-3.329.'da verilen grafiklerde  $a/c$  oranı azaldıkça çatlak önü boyunca normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin arttığı görülmektedir.



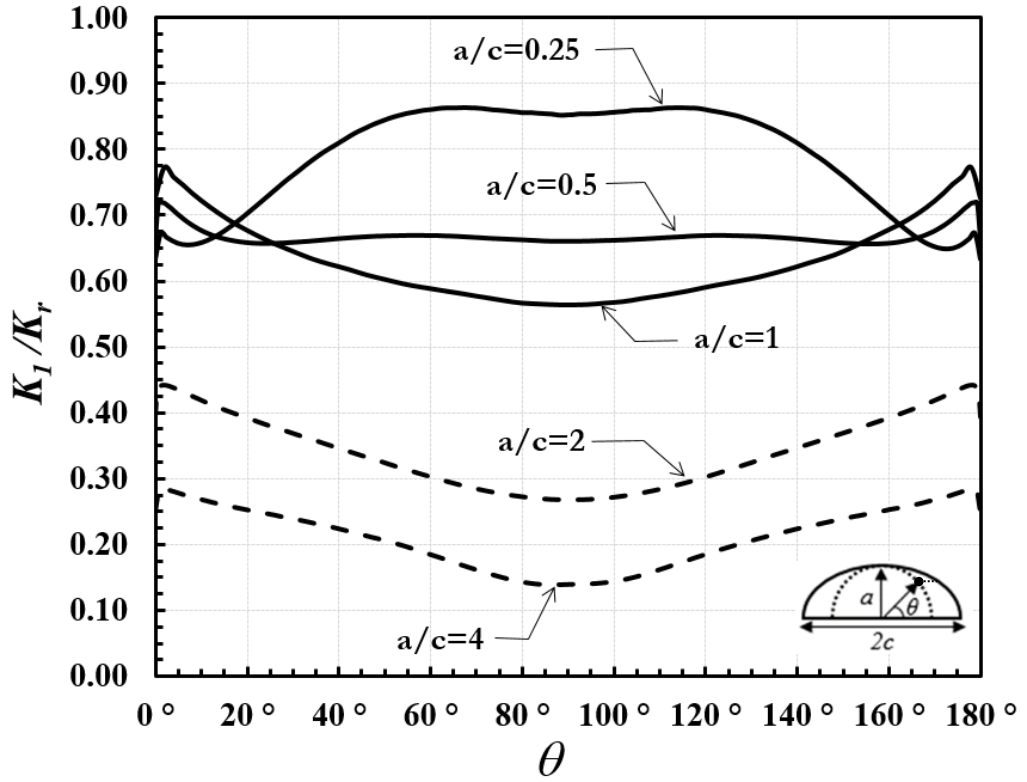
Şekil 3.318. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



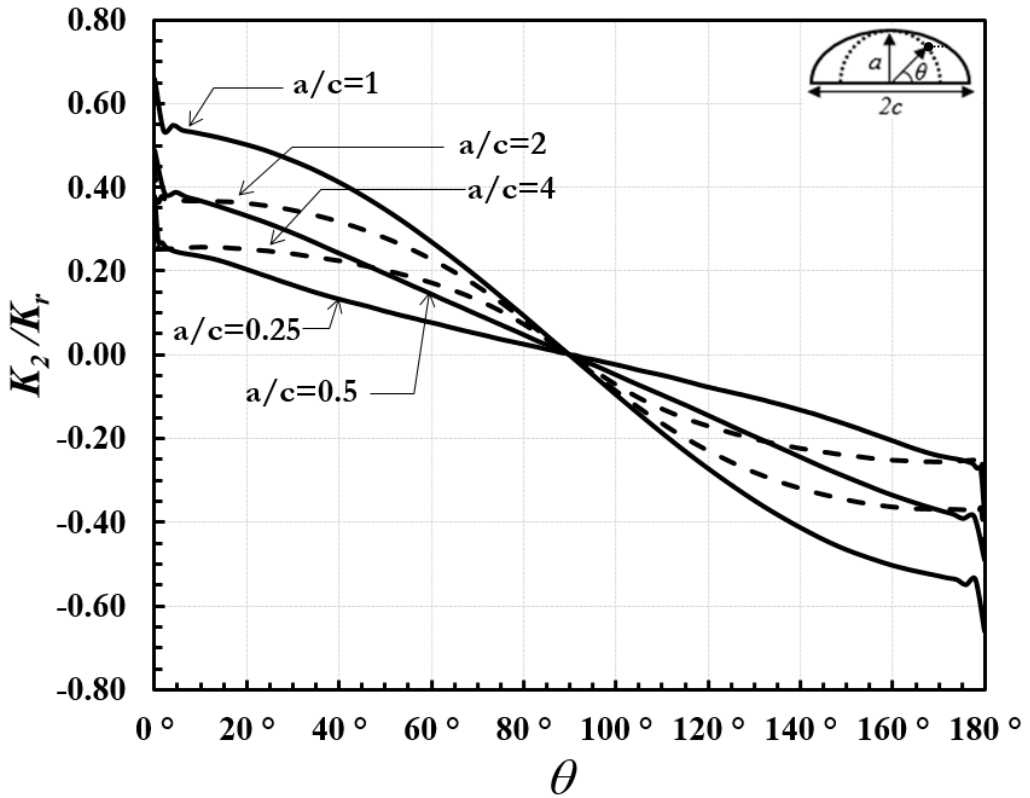
Şekil 3.319. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



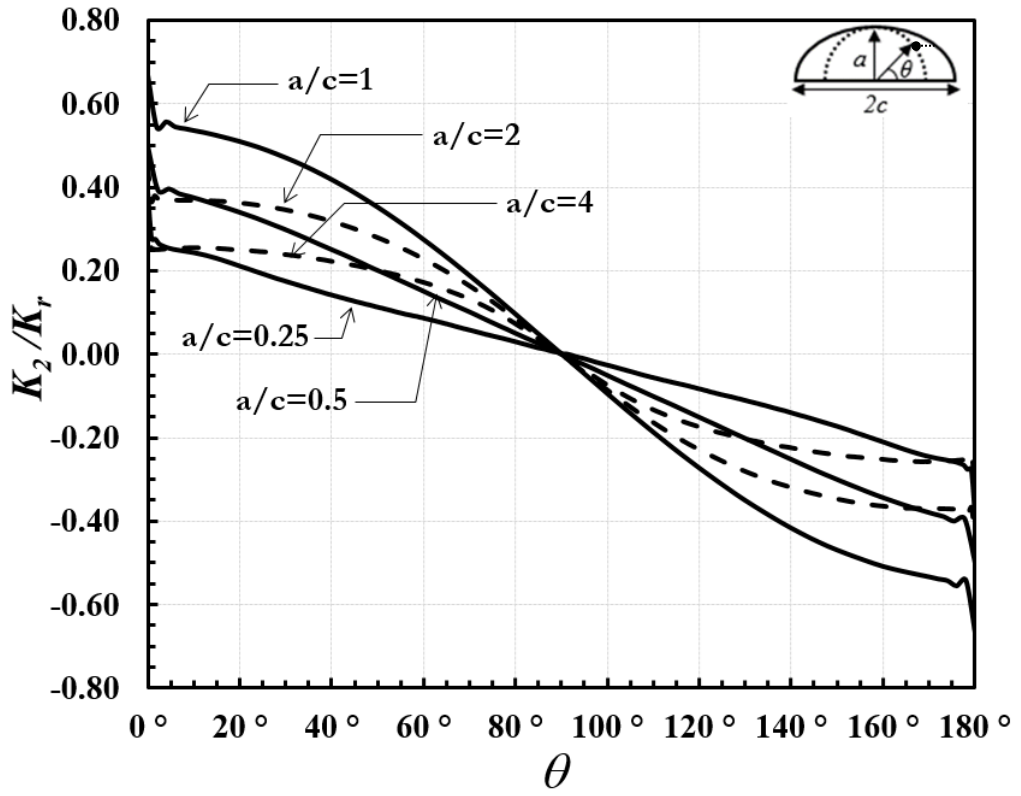
Şekil 3.320. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



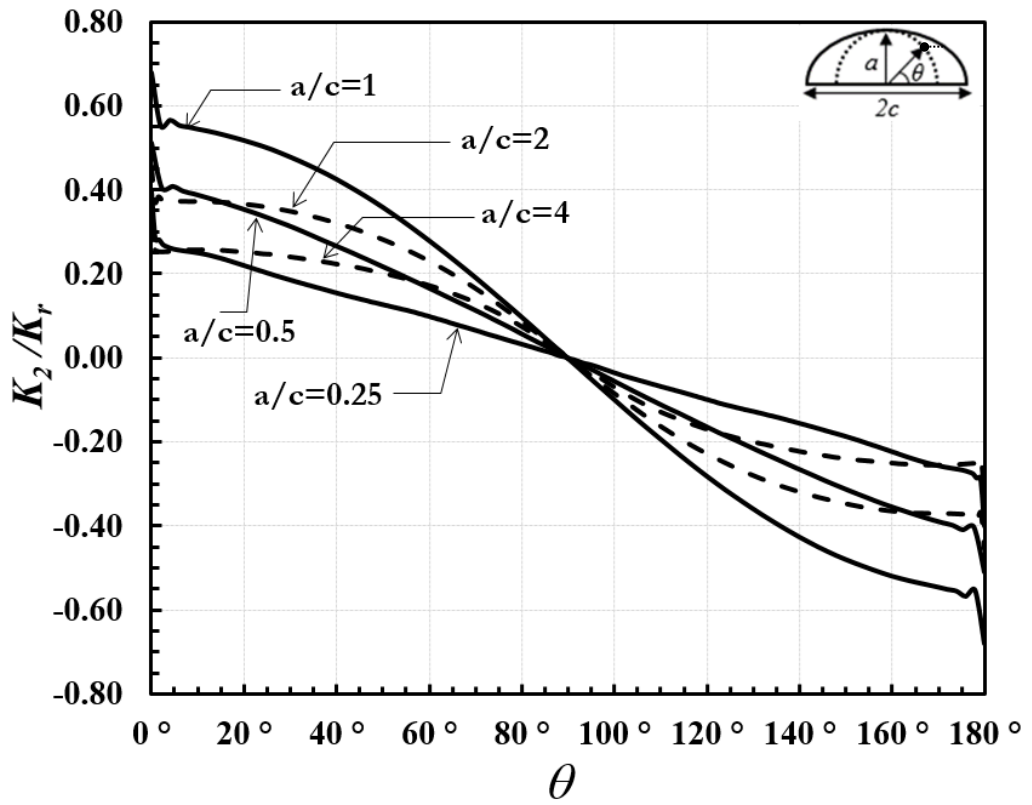
Şekil 3.321. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



Şekil 3.322. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).

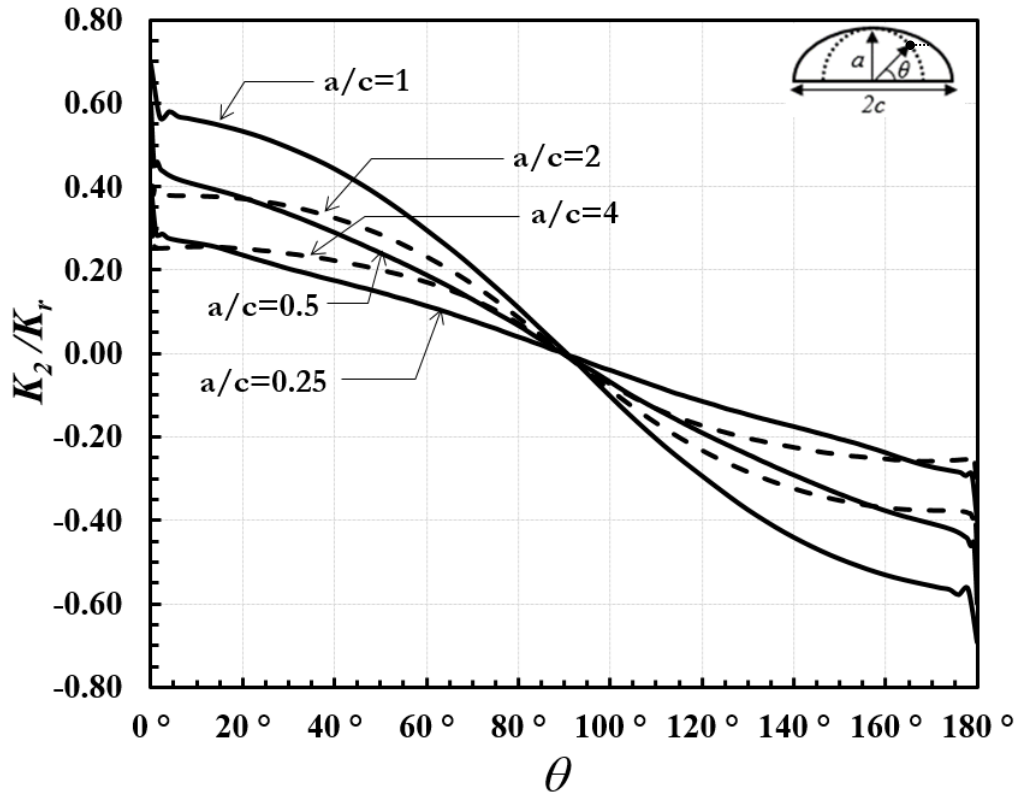


Şekil 3.323. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).

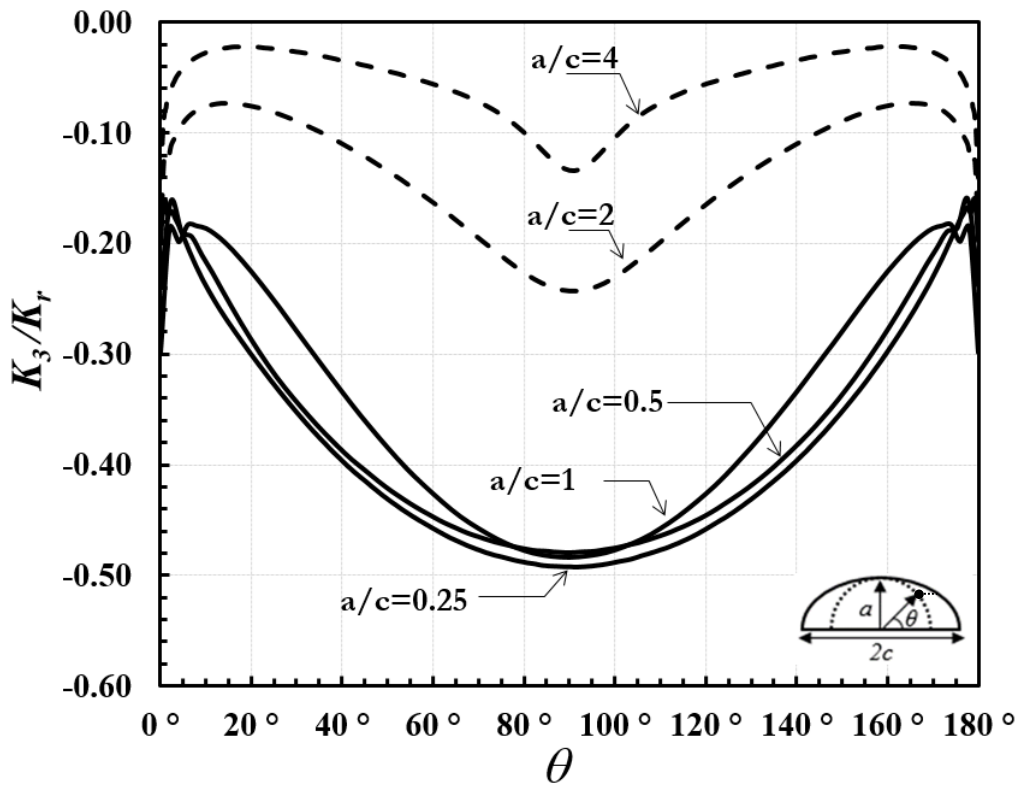


Şekil 3.324. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).

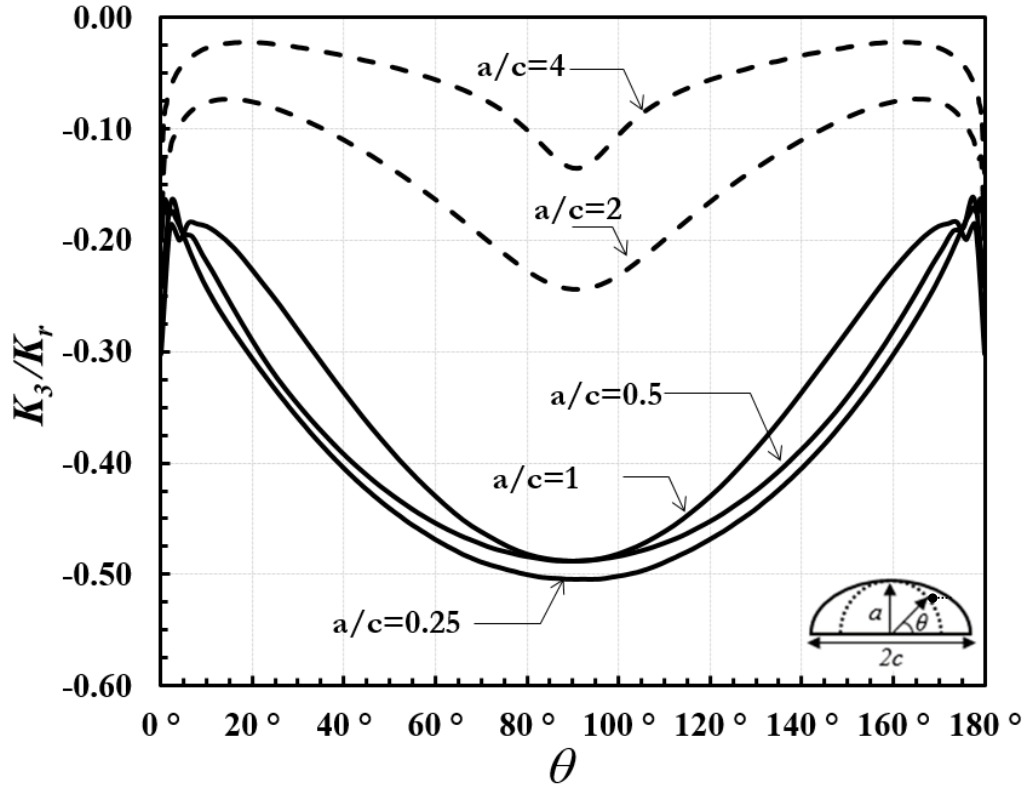




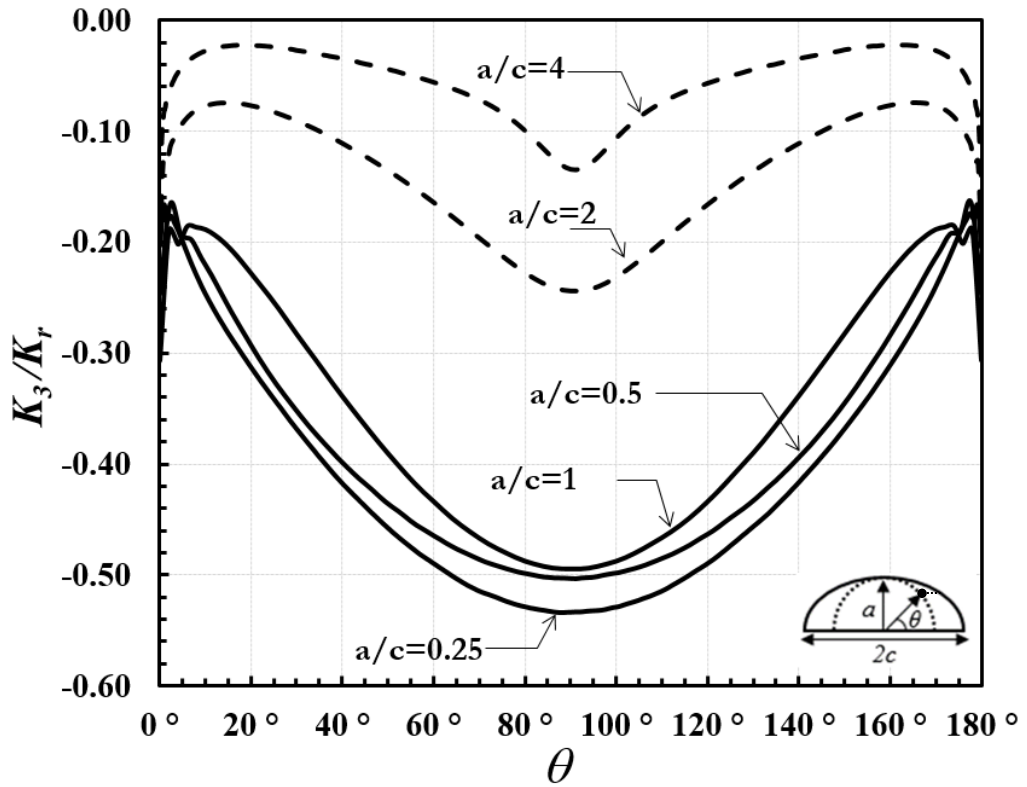
Şekil 3.325. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



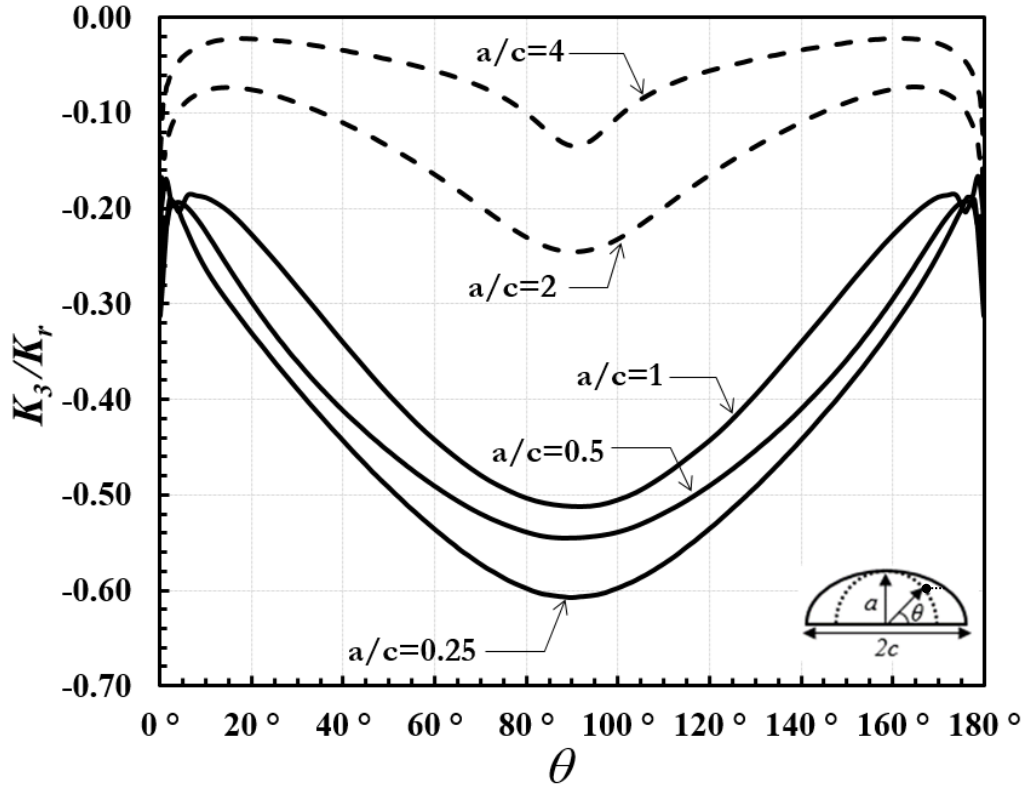
Şekil 3.326. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



Şekil 3.327. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



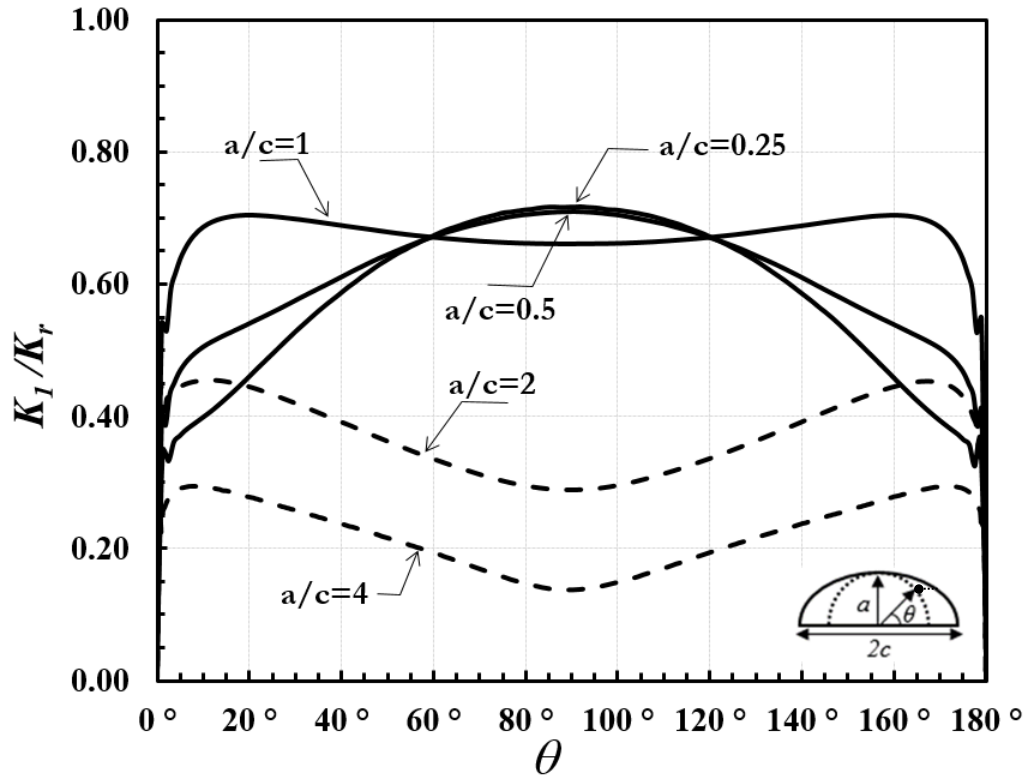
Şekil 3.328. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



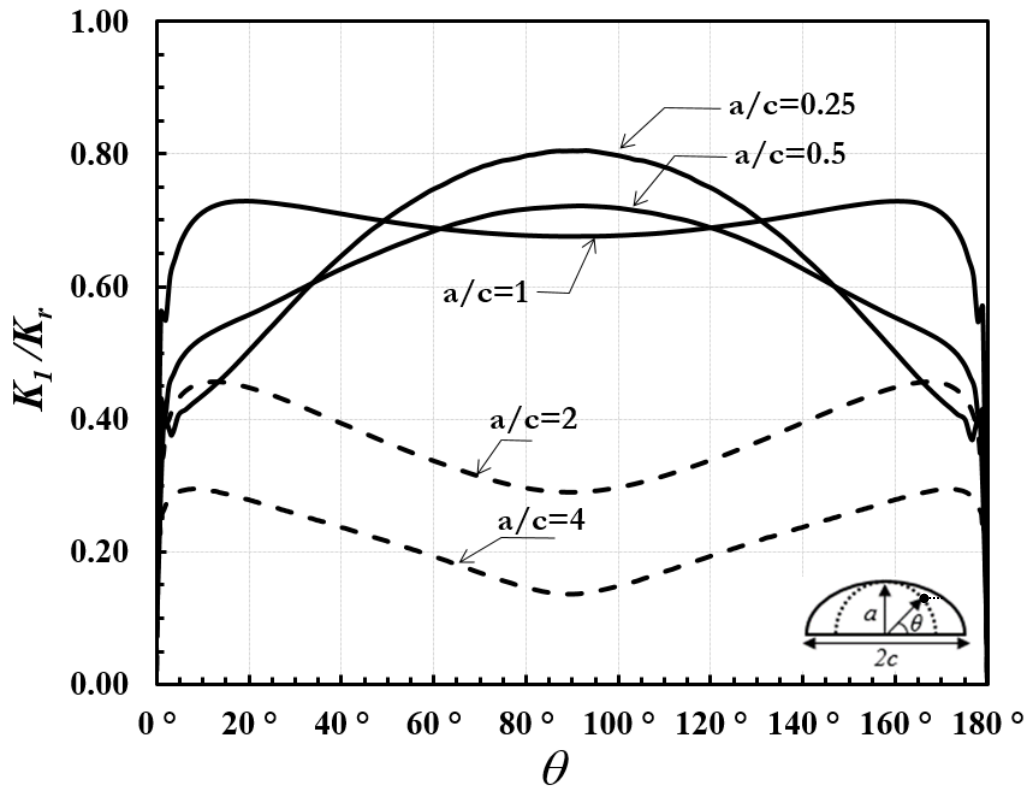
Şekil 3.329. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).

### 3.7.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak

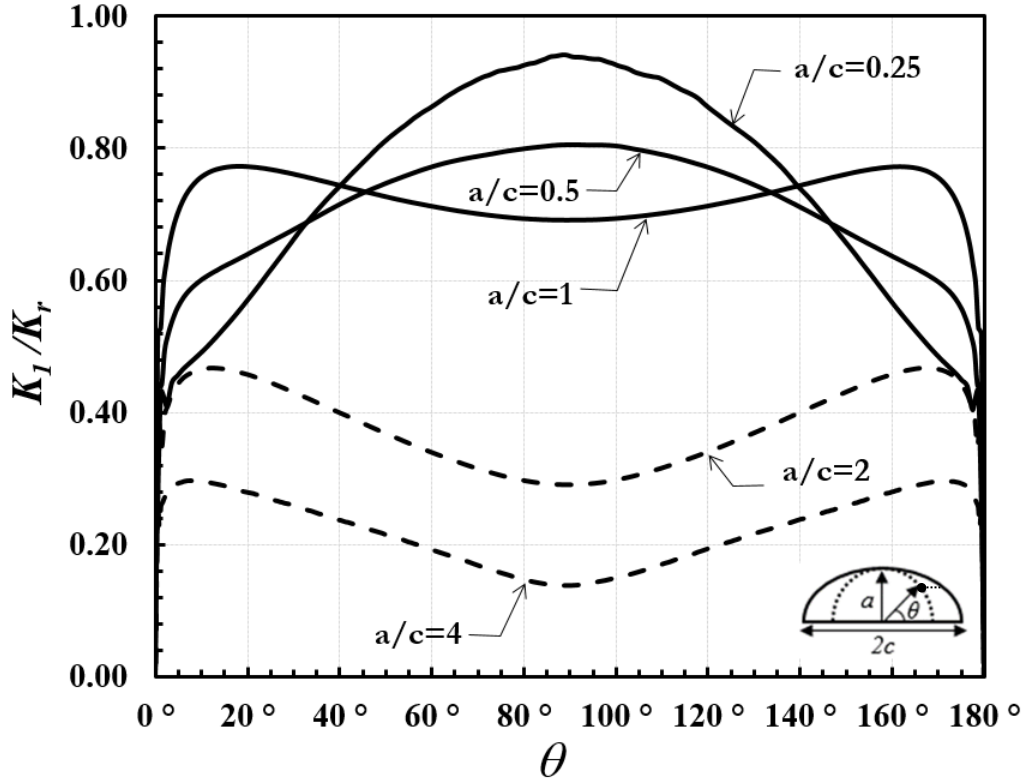
Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak için normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/levha et kalınlıkları sabit tutularak farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranlarında karşılaştırılmaları verilecektir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.330.-3.341.'de verilmiştir.  $a/c$  oranı 0.25 ve 0.5'te normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin çatlak ucu derinlik noktasıyla kıyaslandığında serbest yüzeylerde daha düşük olduğu Şekil 3.330.-3.333.'te görülmektedir.  $a/c$  oranı 1, 2 ve 4 için ise normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin çatlak ucu serbest yüzeylere göre derinlik noktasında daha düşük olduğu gözükmemektedir. Şekil 3.334.-3.337.'den,  $a/c$  oranı artarken levha et kalınlığının azalmasıyla, çatlak önü boyunca normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 3.338.-3.341.'de verilen grafiklerde  $a/c$  oranı 0.25'ten 1.0 değerine yükseldikçe, normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin arttığı  $a/c$  oranı 2'den 4 yükseldiğinde ise normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin azaldığı görülmektedir.



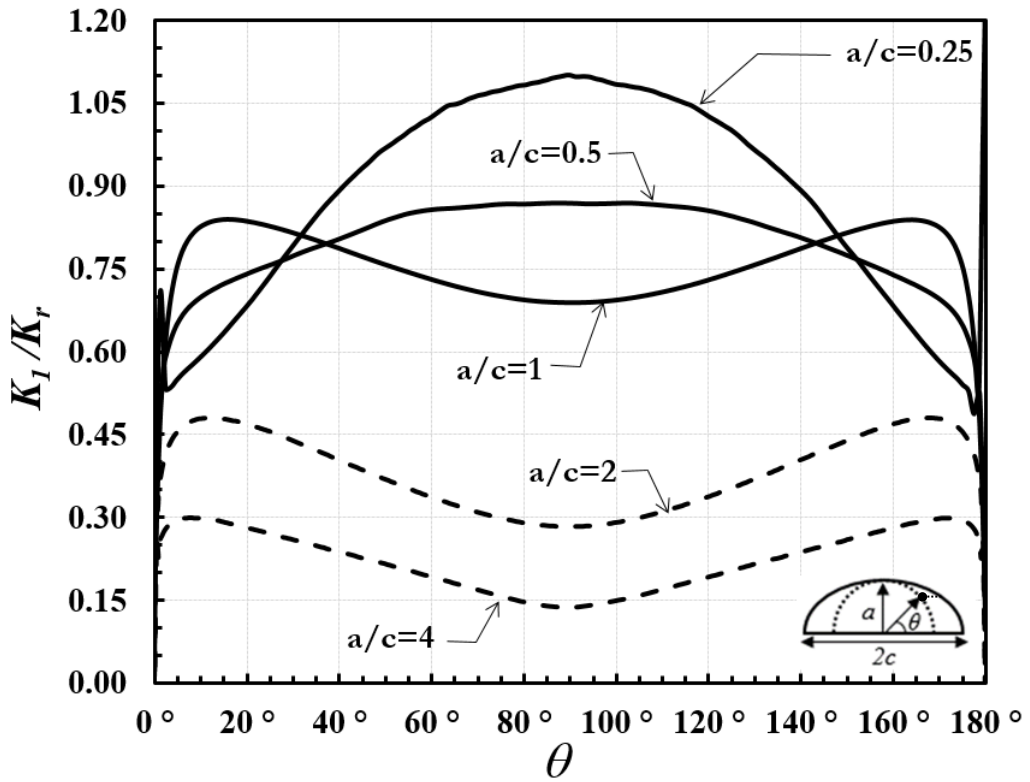
Şekil 3.330. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



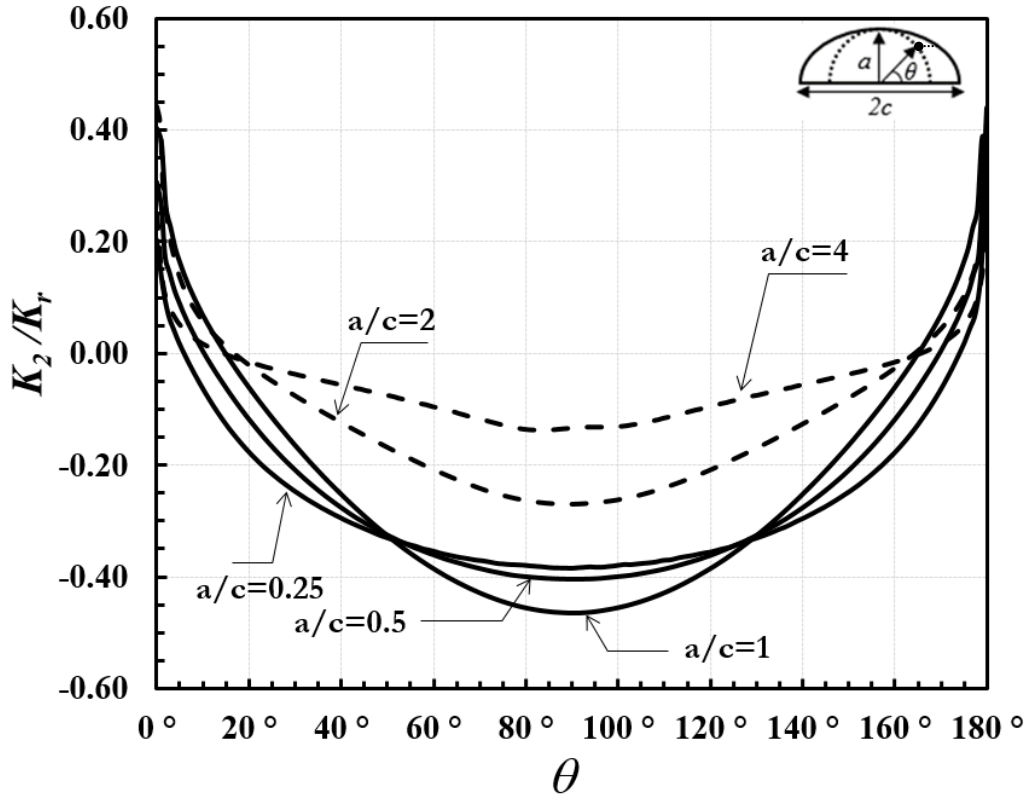
Şekil 3.331. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



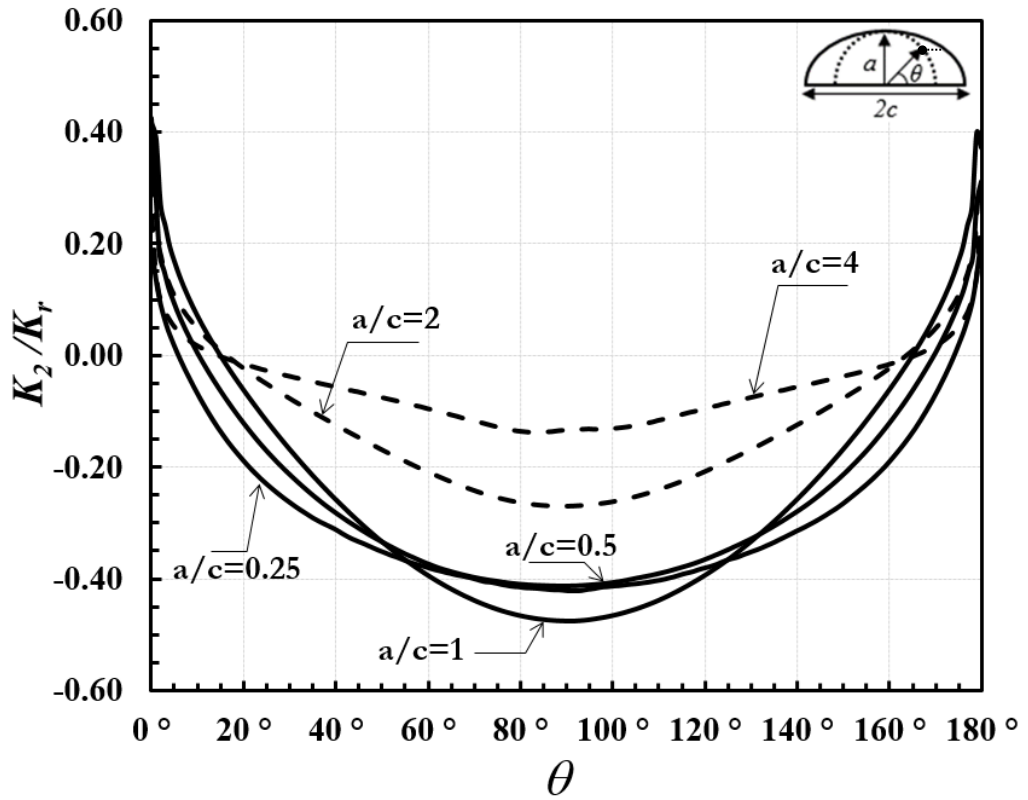
Şekil 3.332. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



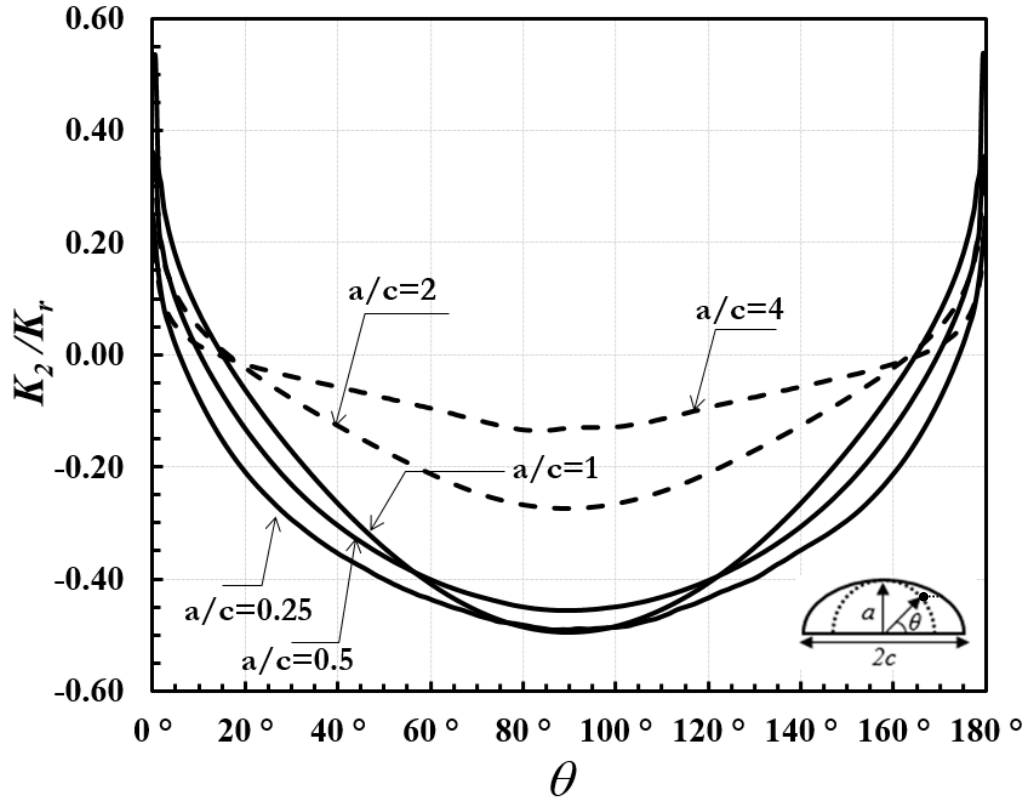
Şekil 3.333. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



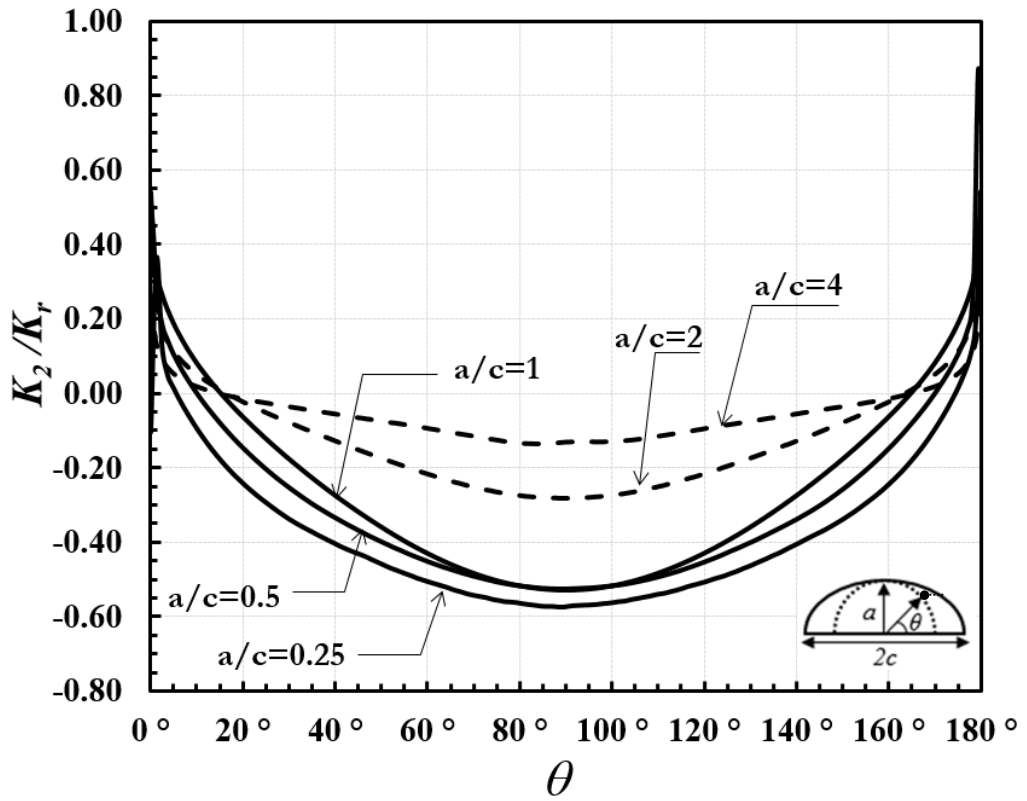
Şekil 3.334. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



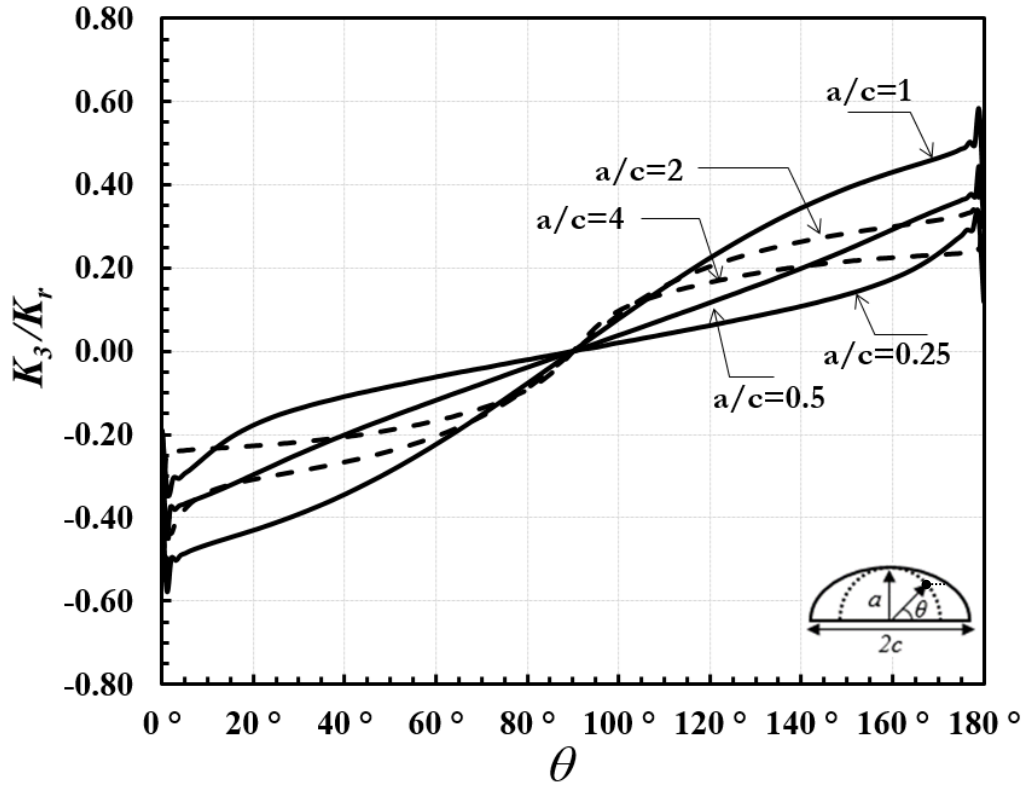
Şekil 3.335. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



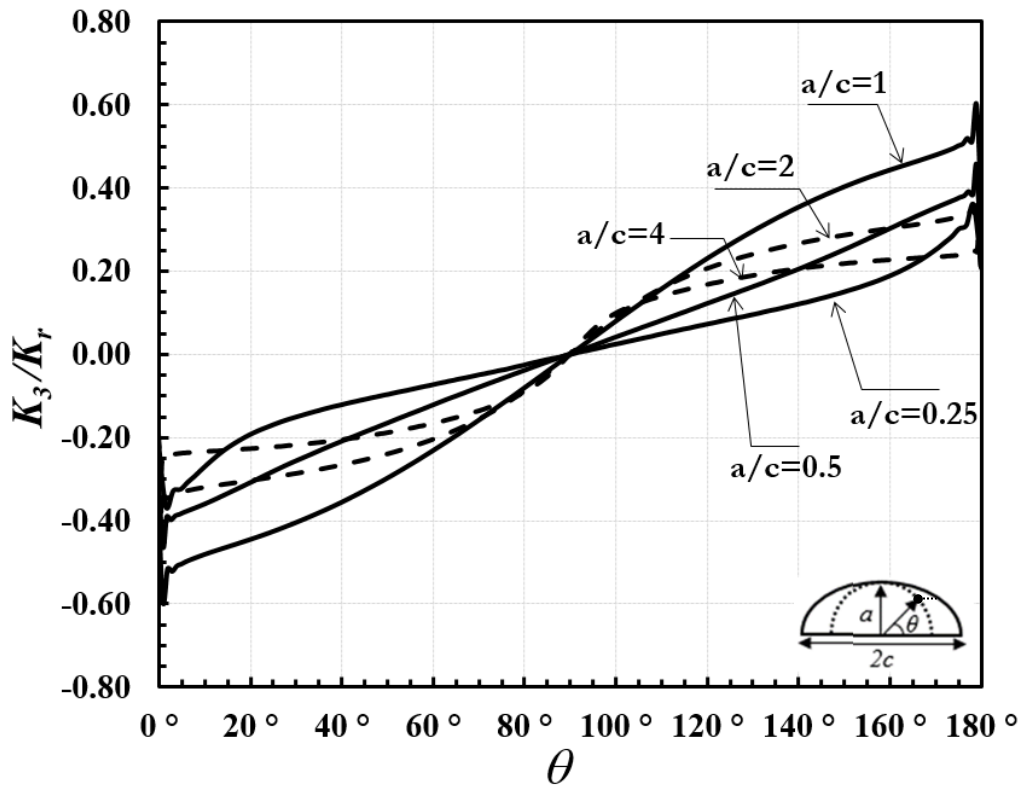
Şekil 3.336. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



Şekil 3.337. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).

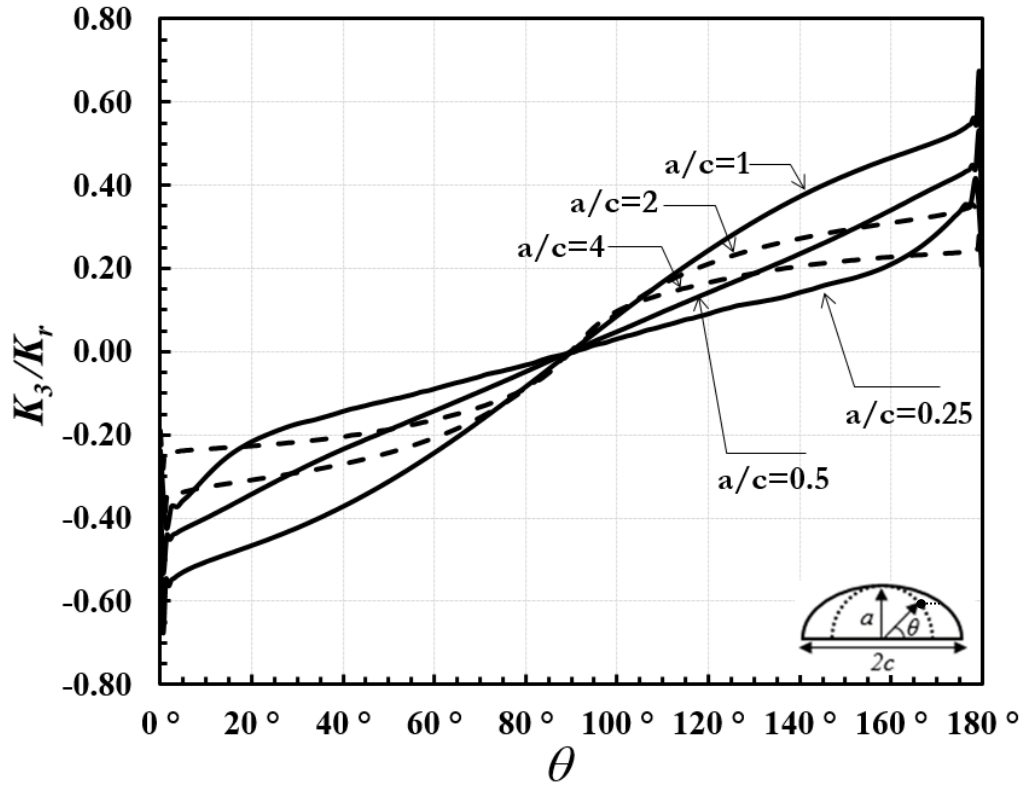


Şekil 3.338. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).

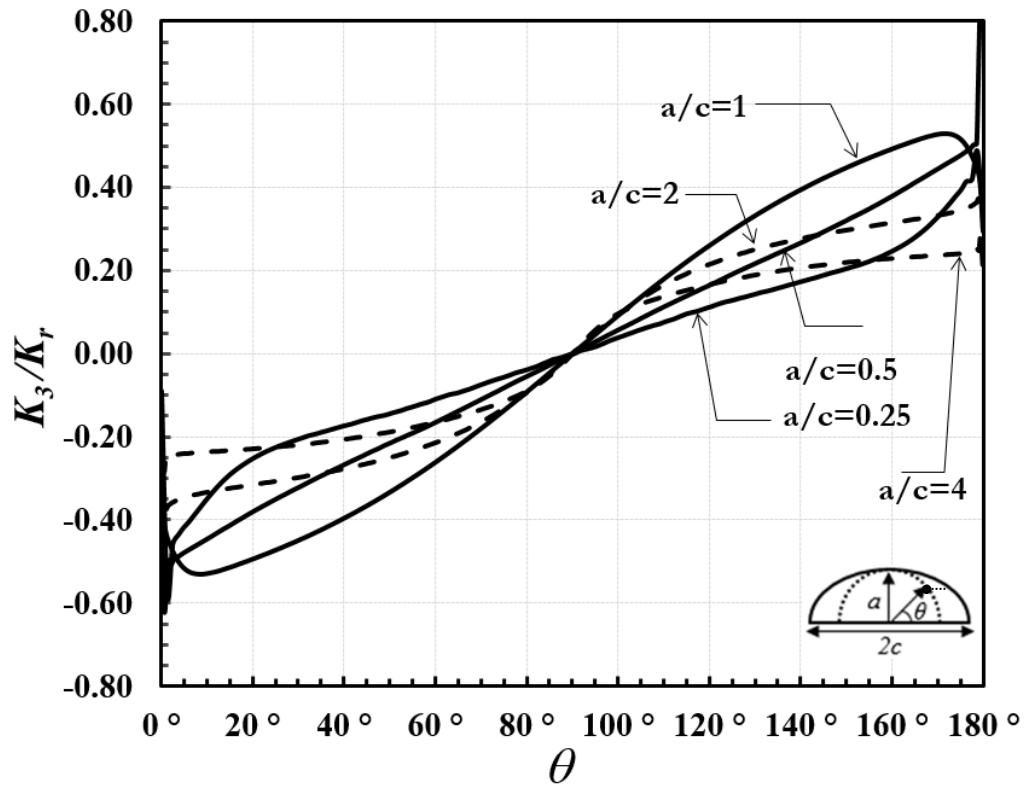


Şekil 3.339. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).





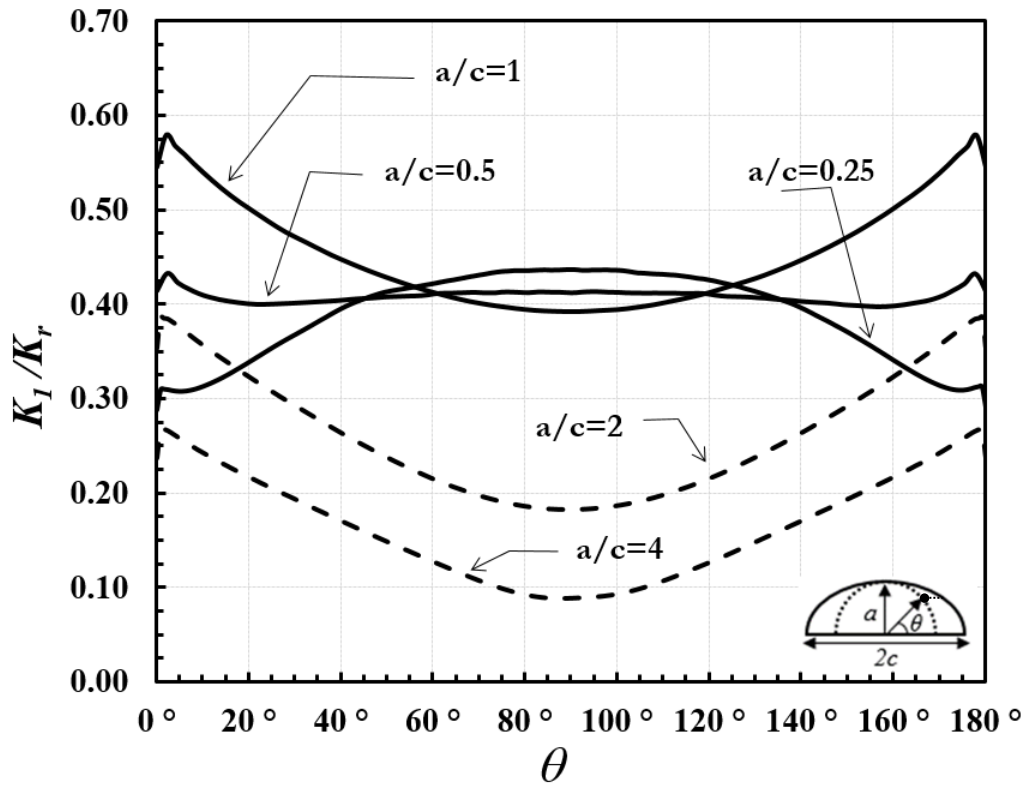
Şekil 3.340. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



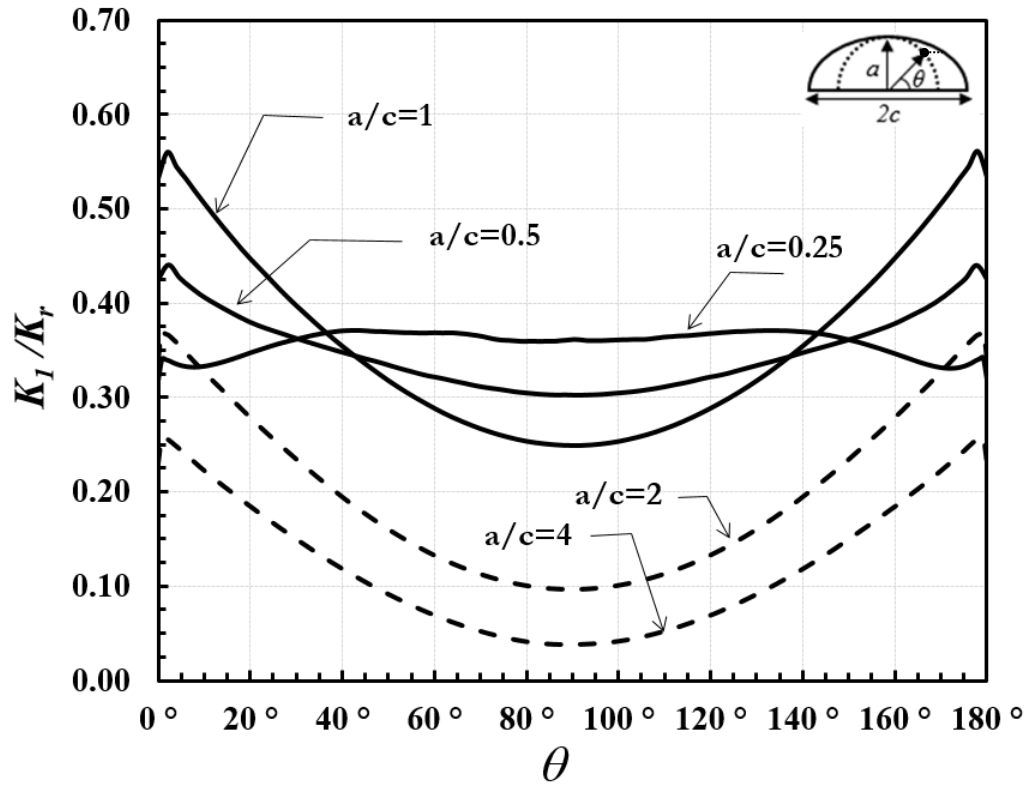
Şekil 3.341. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).

### 3.7.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak

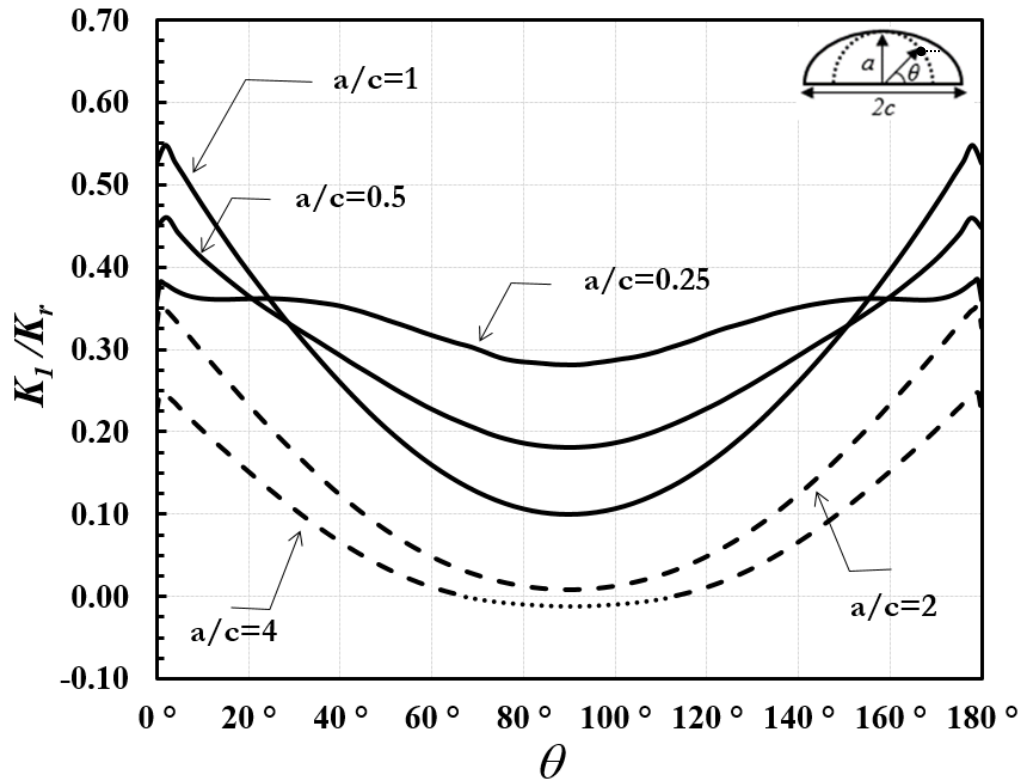
Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak için normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/levha et kalınlıkları sabit tutularak farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranlarının karşılaştırmaları verilmiştir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.342.-3.353.'te verilmiştir. Mod-I GŞF'lerde bazı değerlerin sıfırın altına düştüğü Şekil 3.345.'te olduğu gibi görülmektedir. Bu kısımlarda çatlak yüzeyleri kapanmaktadır. Normalize edilmiş mod-I grafiklerinde sıfırın altında kalan kısımları noktalı şekilde mod-II ve mod-III grafiklerinde de gösterilmiştir.  $a/c$  oranı artarken levha et kalınlığı azaldığında, çatlak ucu derinlik noktasındaki normalize edilmiş mod-I GŞF değerlerinin düştüğü Şekil 3.342.-3.345.'te görülmektedir. Şekil 3.346.-3.349.'dan,  $a/c$  oranı 0.25'ten 1.0 değerine arttıkça, çatlak önü boyunca mod-II GŞF'nin arttığı,  $a/c$  oranının 2.0 ve 4.0 değerleri için ise azaldığı görülmektedir. Şekil 3.350.-3.353.'deki grafiklerde levha et kalınlığı azaldığında ( $a/t= 0.6$  ve  $0.8$ ) çatlak ucu serbest yüzeye kıyasla derinlik noktasındaki mod-III GŞF değerlerinin daha küçük olduğu; levha et kalınlığı arttığında ( $a/t= 0.2$  ve  $0.4$ ) ise tersi bir durum olduğu görülebilir.



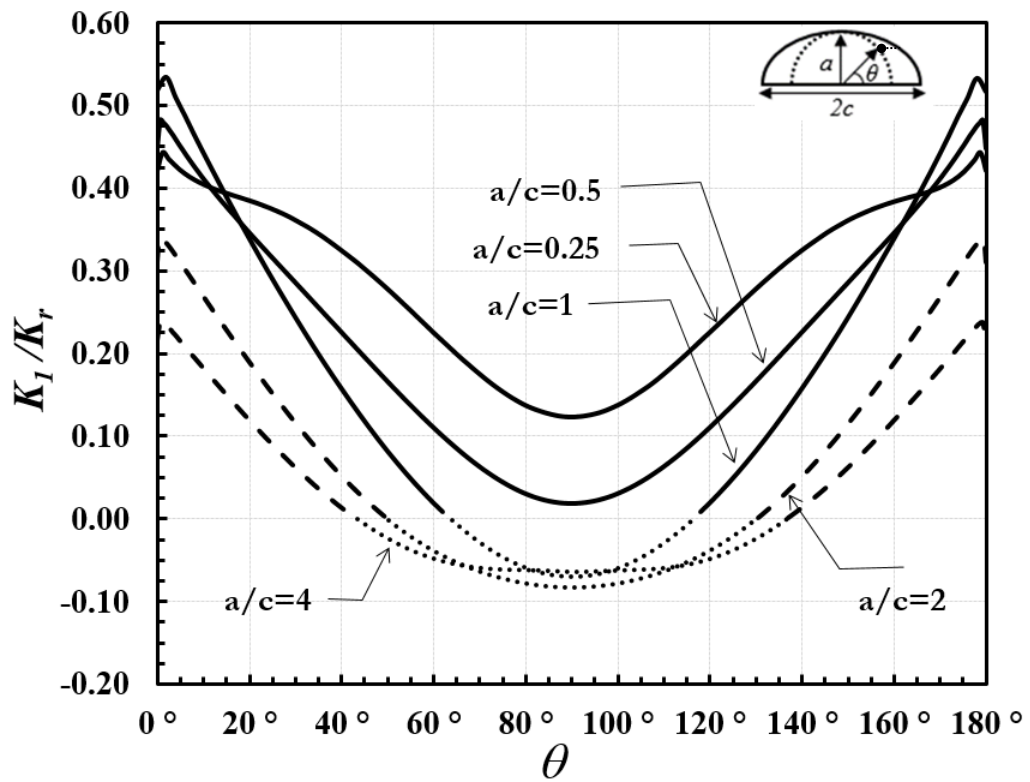
Şekil 3.342. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



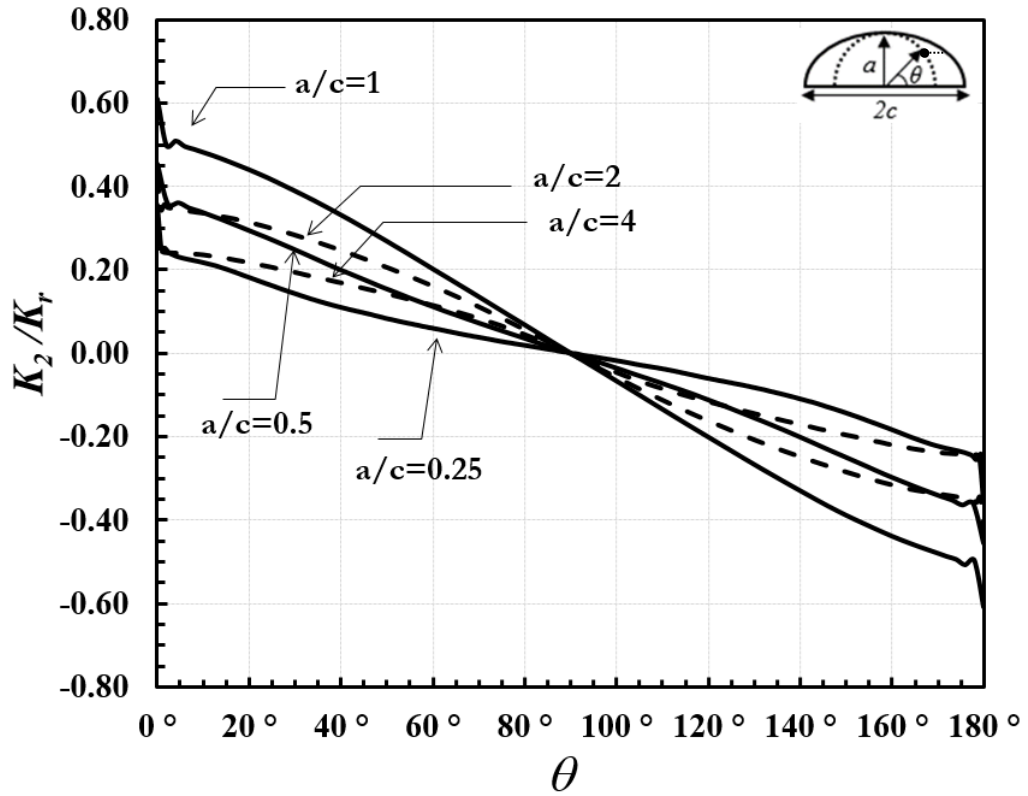
Şekil 3.343. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



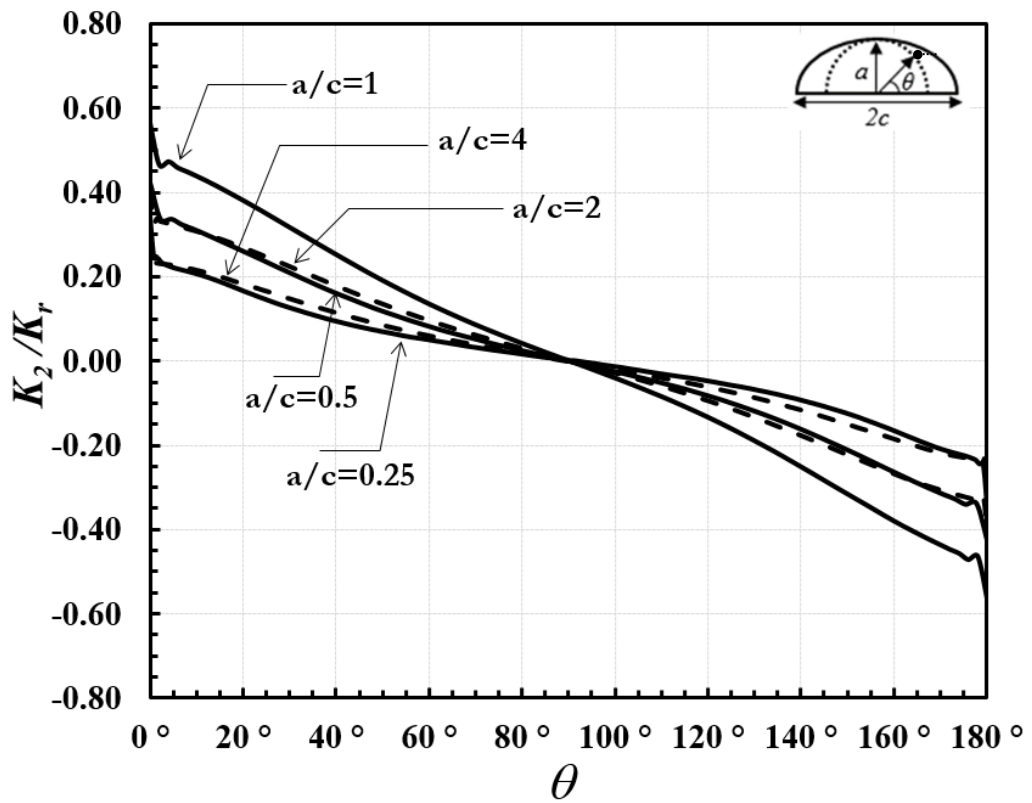
Şekil 3.344. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



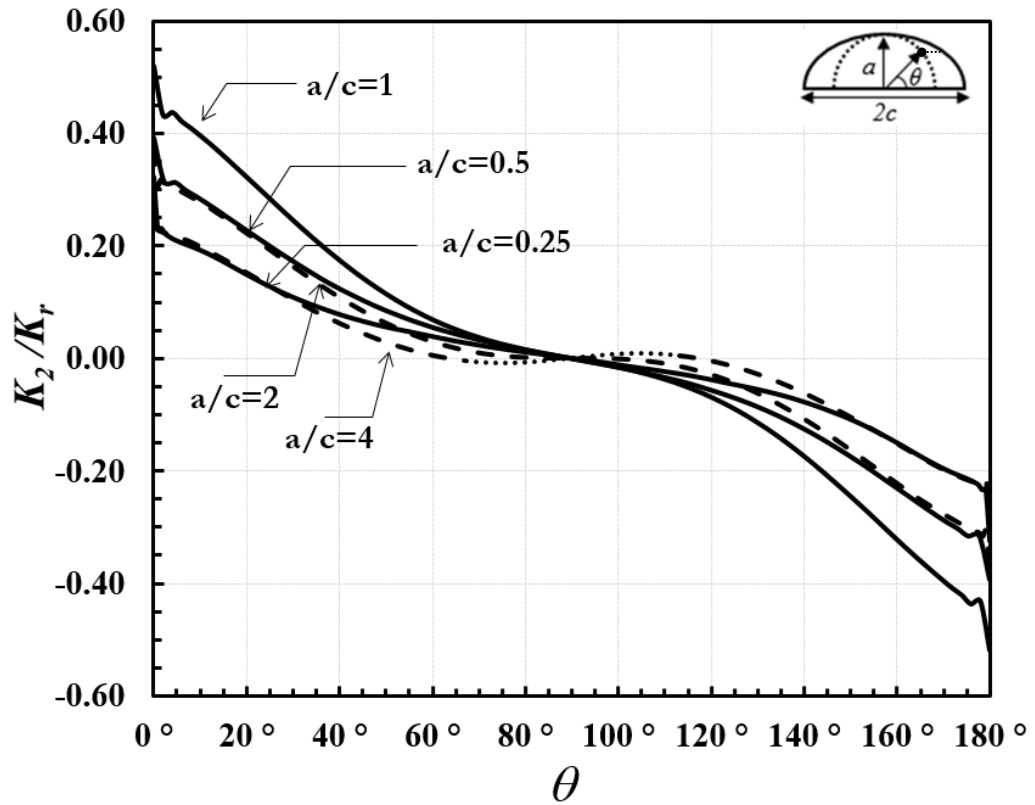
Şekil 3.345. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



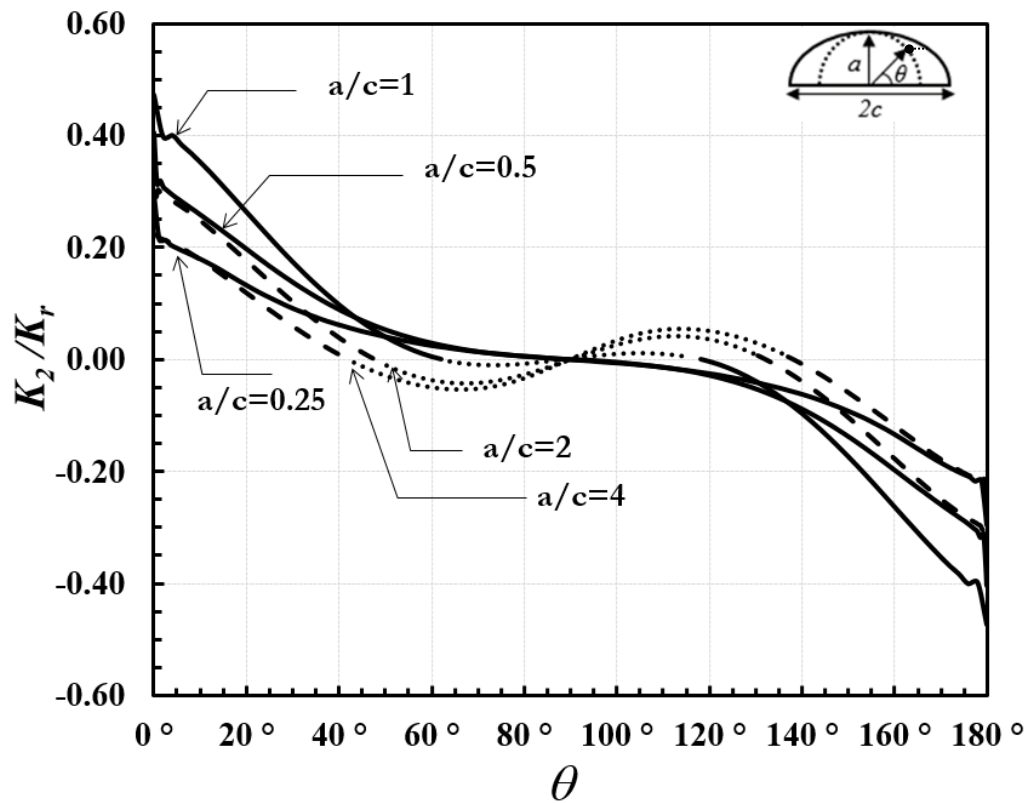
Şekil 3.346. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



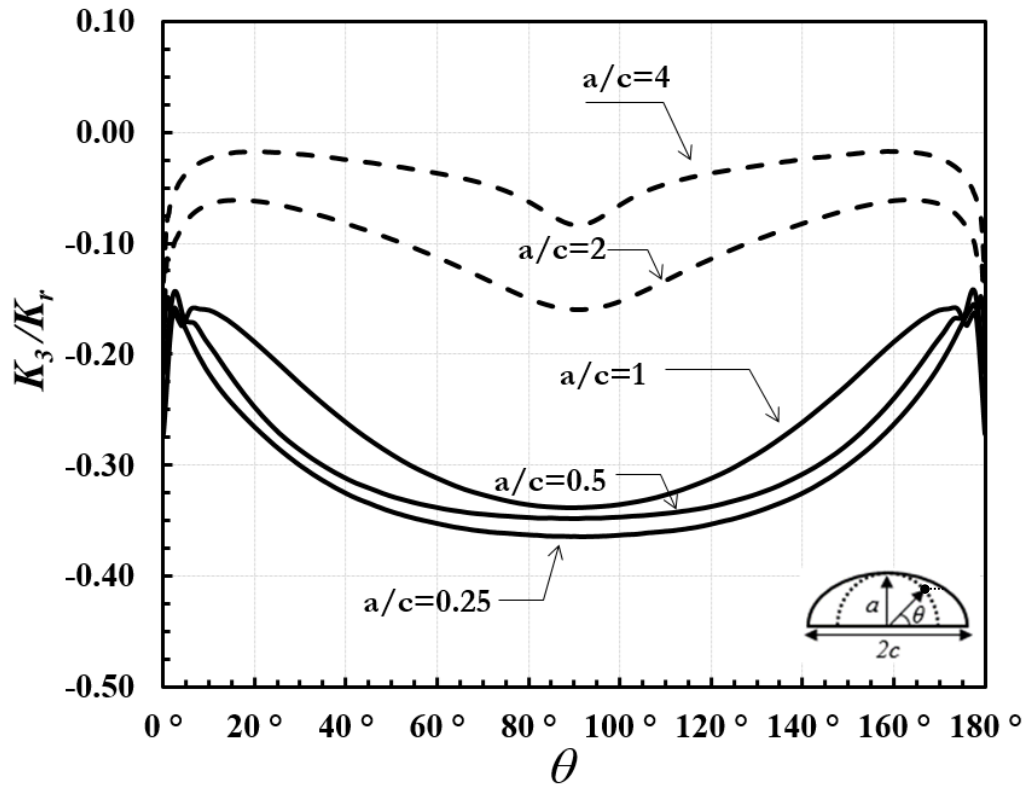
Şekil 3.347. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



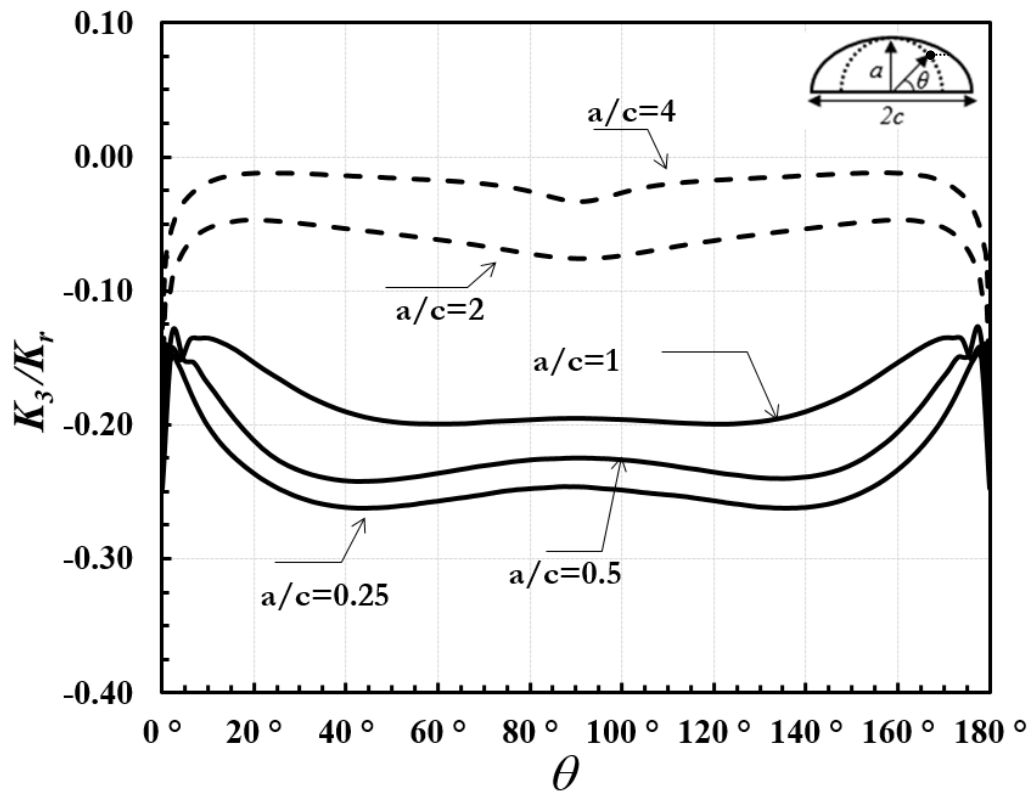
Şekil 3.348. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



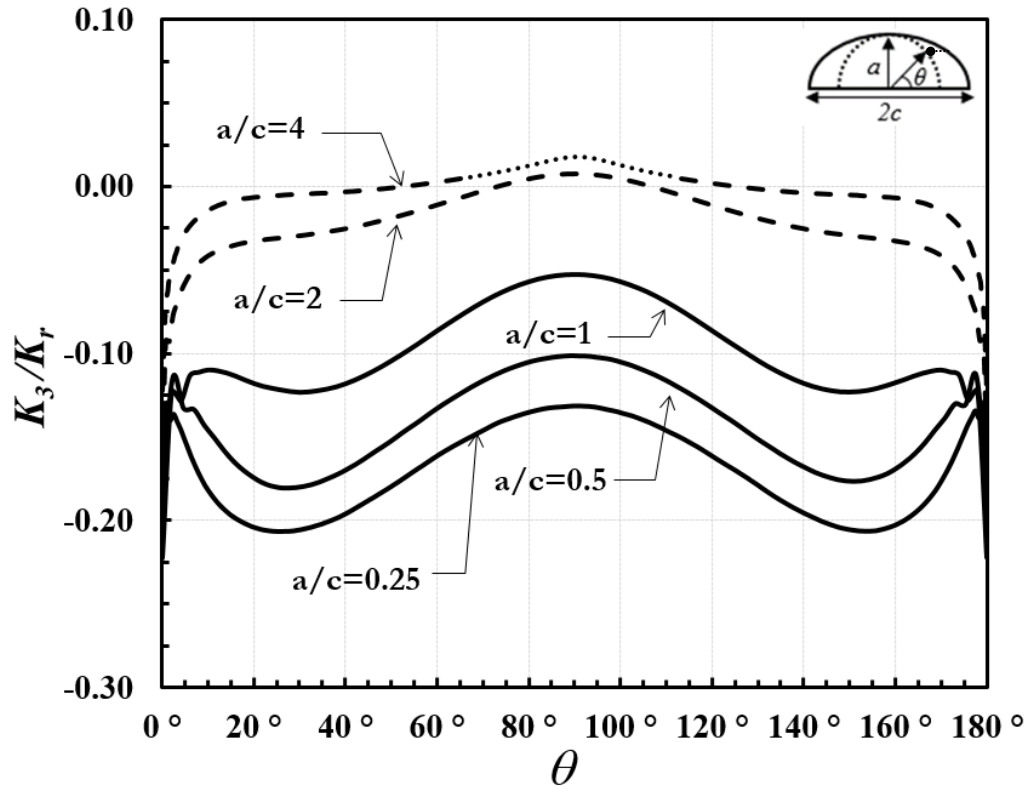
Şekil 3.349. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



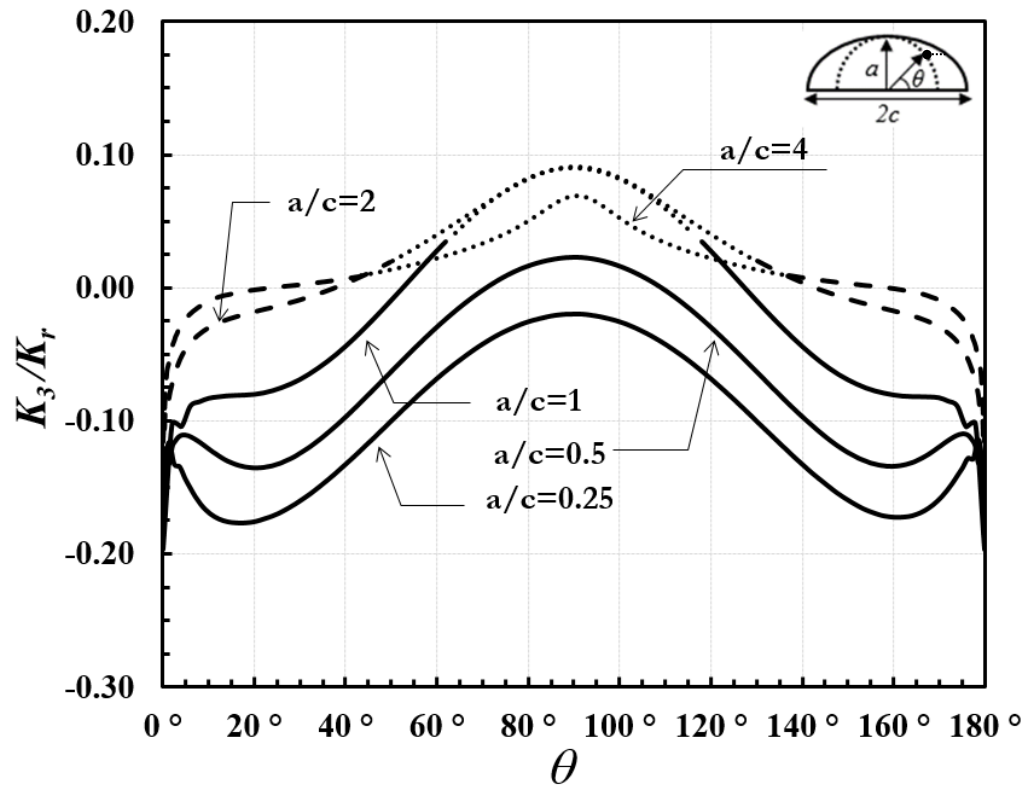
Şekil 3.350. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



Şekil 3.351. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



Şekil 3.352. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).

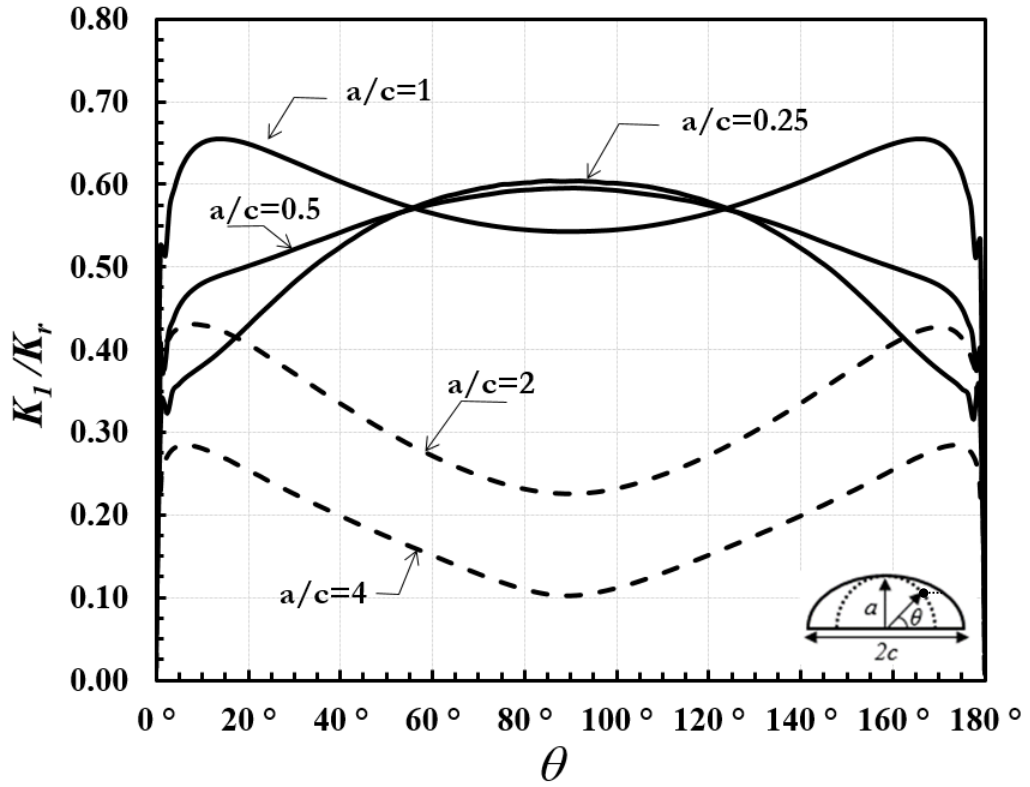


Şekil 3.353. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\beta=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).

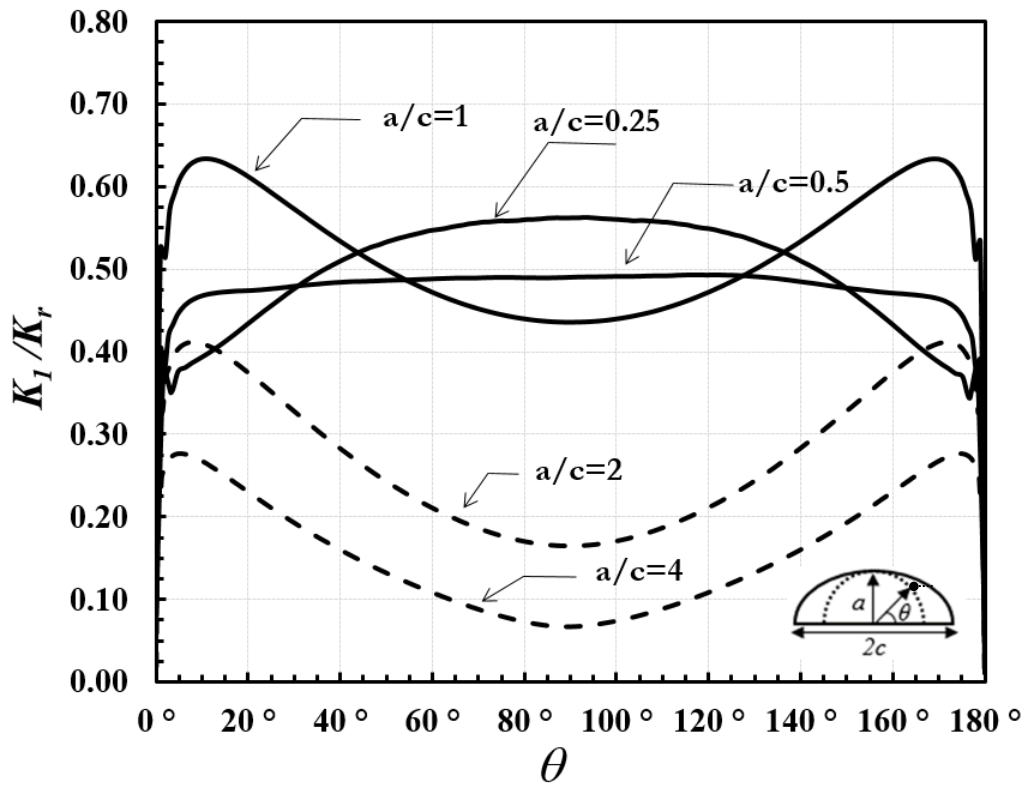


#### 3.7.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak

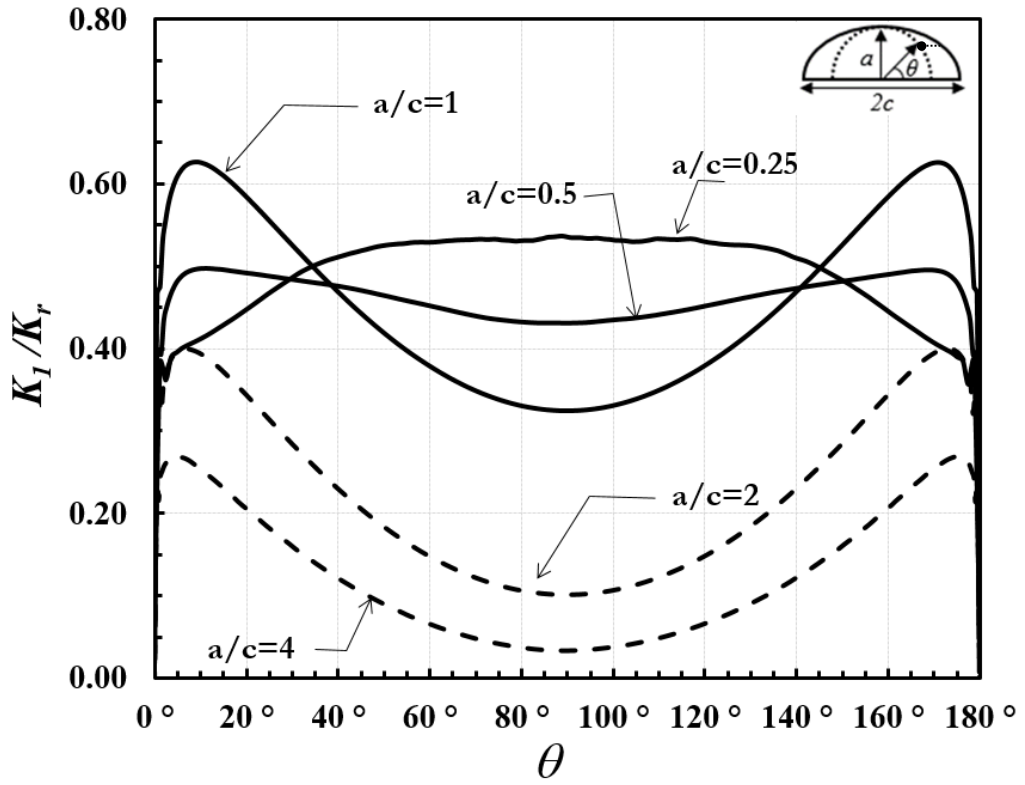
Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak için normalize edilmiş karışık mod GŞF değerlerinin çatlak derinliği/levha et kalınlıkları sabit tutularak farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu oranlarında karşılaştırılmaları verilecektir. Normalize edilmiş mod-I, mod-II, mod-III GŞF değerleri sırasıyla Şekil 3.354.-3.365.'te verilmiştir. Mod-I GŞF'lerde bazı değerlerin sıfırın altına düştüğü Şekil 3.357.'de olduğu gibi görülmektedir. Bu kısımlarda çatlak yüzeyleri kapanmaktadır. Normalize edilmiş mod-I grafiklerinde sıfırın altında kalan kısımları noktalı şekilde mod-II ve mod-III grafiklerinde de gösterilmiştir.  $a/c$  oranı 1'den küçük olduğunda (0.25 ve 0.5) çatlak ucundaki serbest yüzeye kıyasla derinlik noktasında mod-I GŞF değerleri yüksek, 1'den büyük olduğunda ise çatlak ucundaki serbest yüzeydeki mod-I GŞF değerleri daha yüksek olduğu Şekil 3.354.-3.355.'de görülmektedir. Şekil 3.356-3.357.'de  $a/c$  oranı 0.5 için çatlak ucu derinlik noktası serbest yüzeyden daha düşüktür.  $a/c$  oranı azaldıkça levha et kalınlığının artması, normalize edilmiş mod-II GŞF değerlerinin azaldığını Şekil 3.358.-3.361.'de gözükmektedir. Şekil 3.362.-3.365. arasındaki resimlerde  $a/c$  oranı 0.25'ten 1.0 değerine yükseldikçe, normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin arttığı  $a/c$  oranı 2'den 4 yükseldiğinde ise normalize edilmiş mod-III GŞF değerlerinin azaldığı görülmektedir.



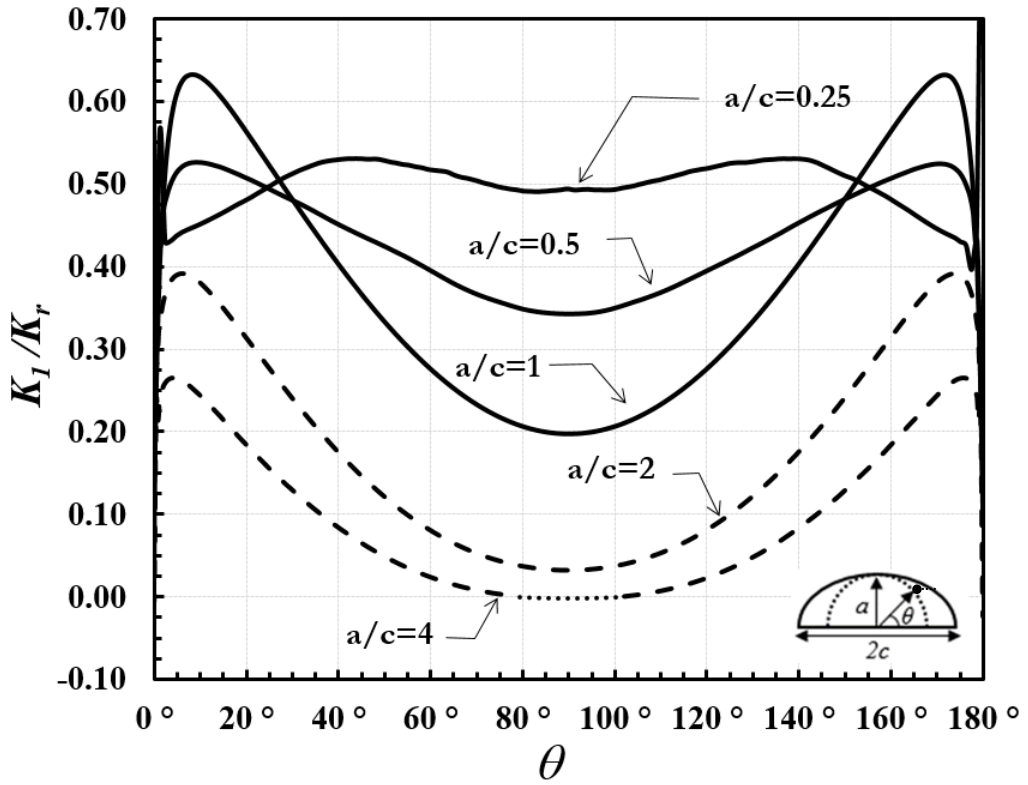
Şekil 3.354. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



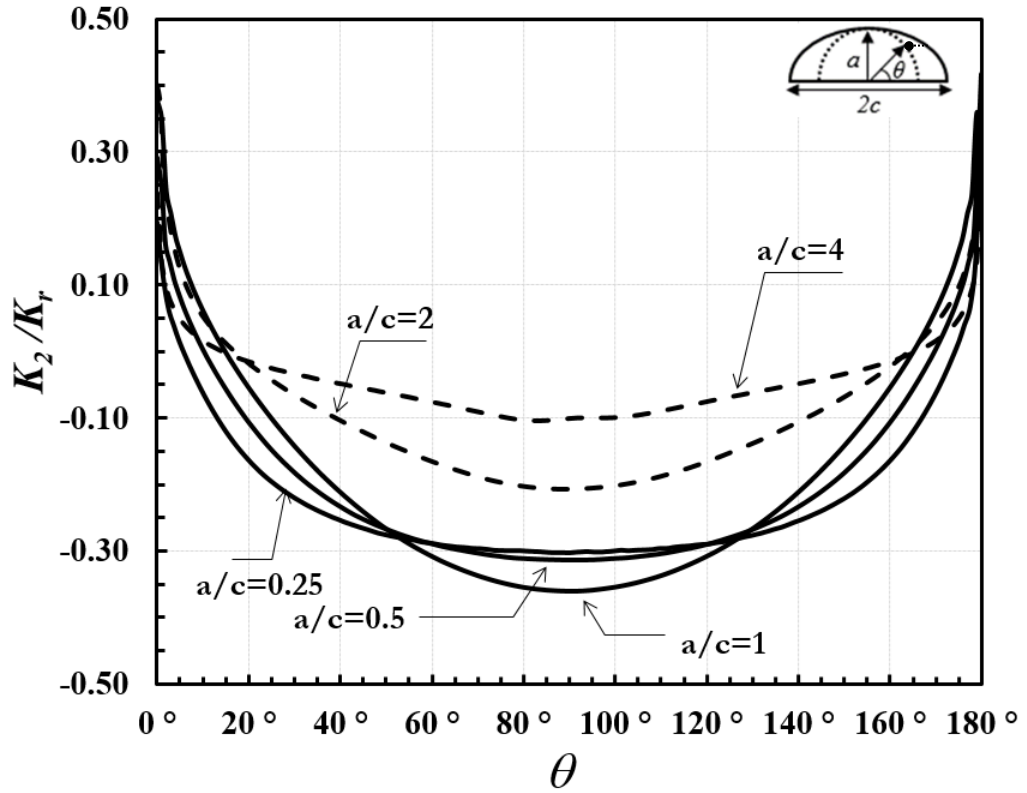
Şekil 3.355. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



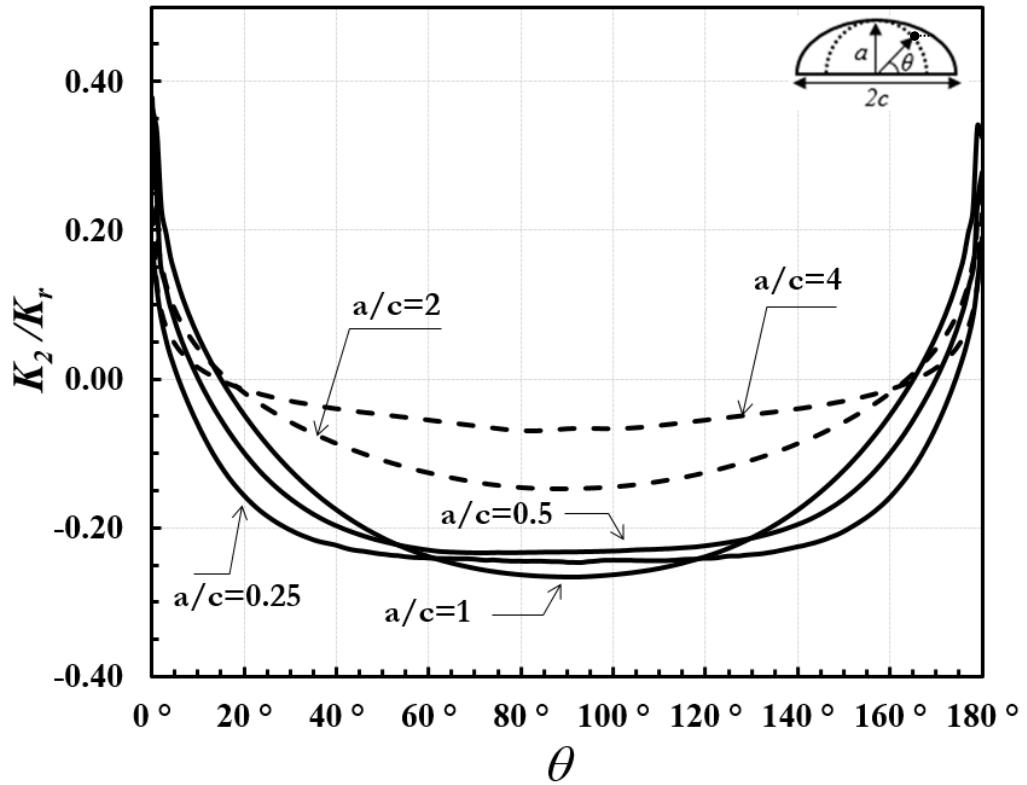
Şekil 3.356. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



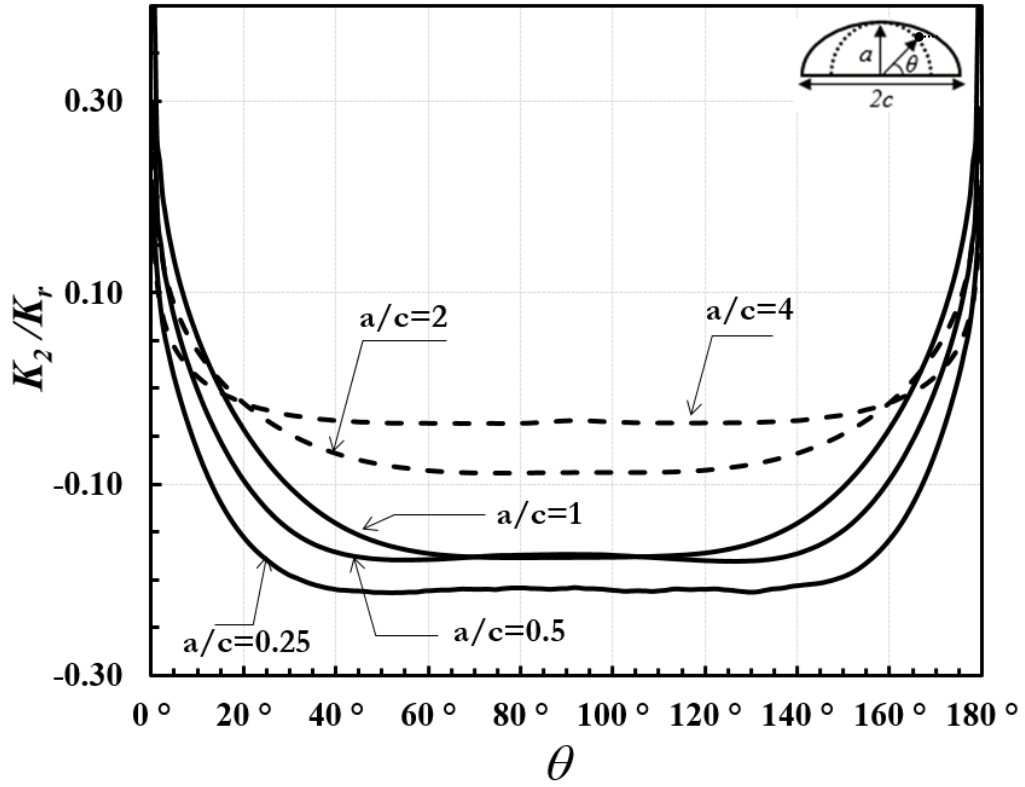
Şekil 3.357. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



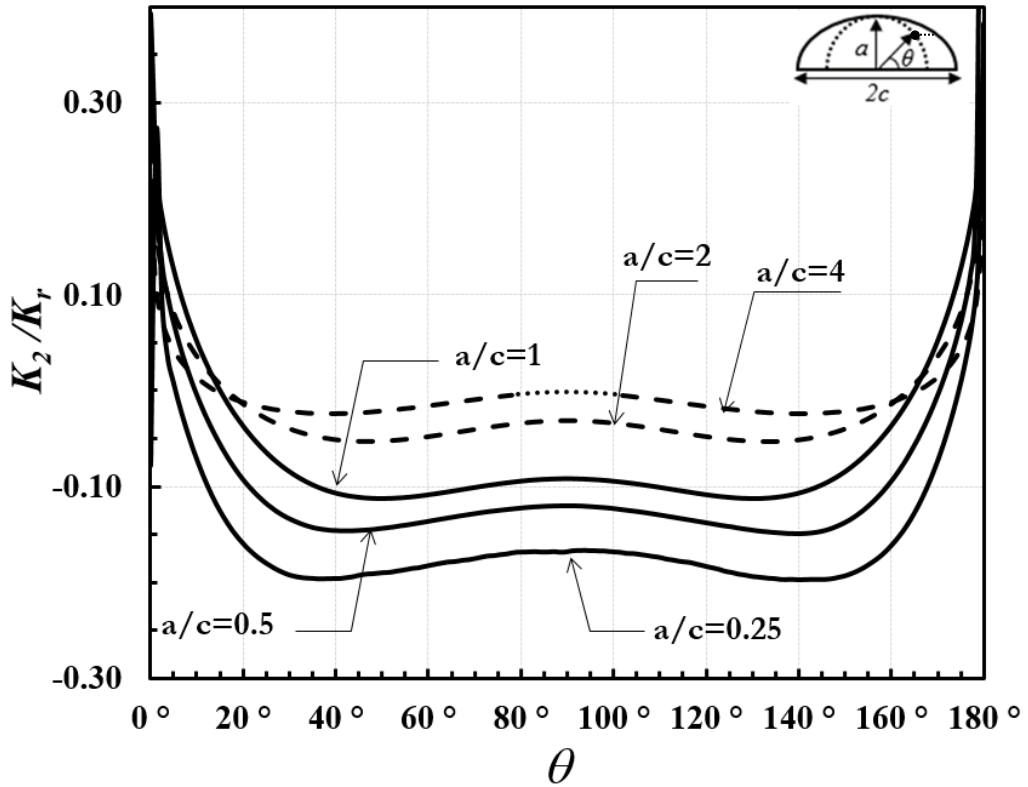
Şekil 3.358. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



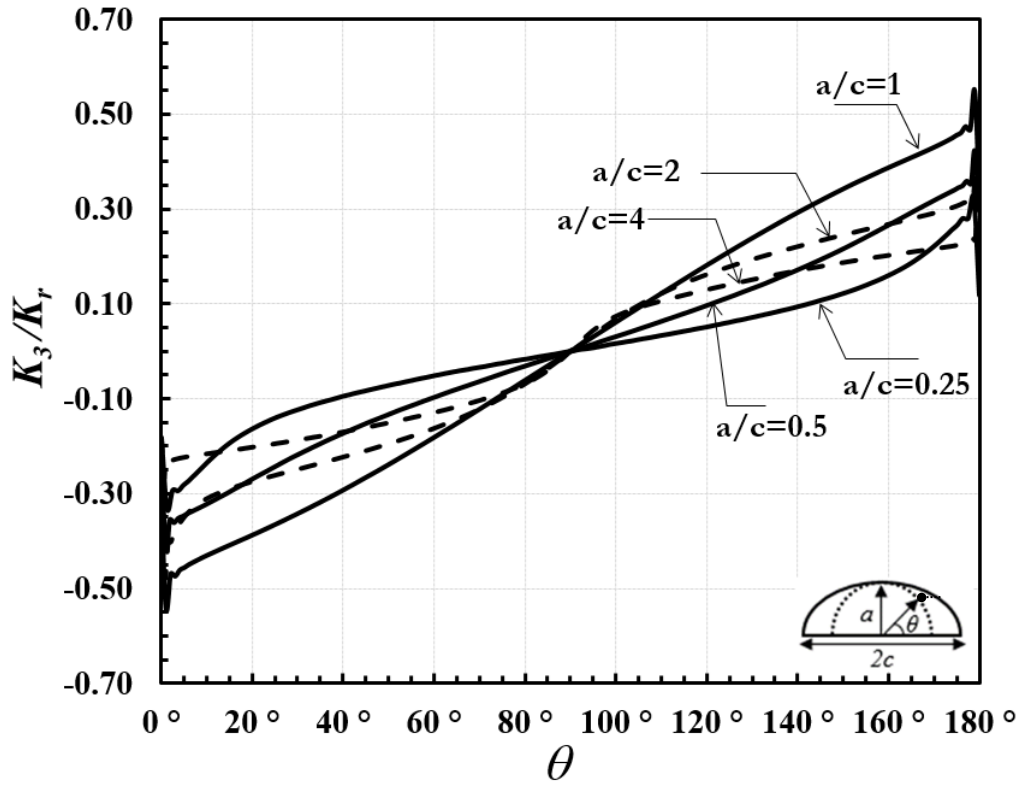
Şekil 3.359. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



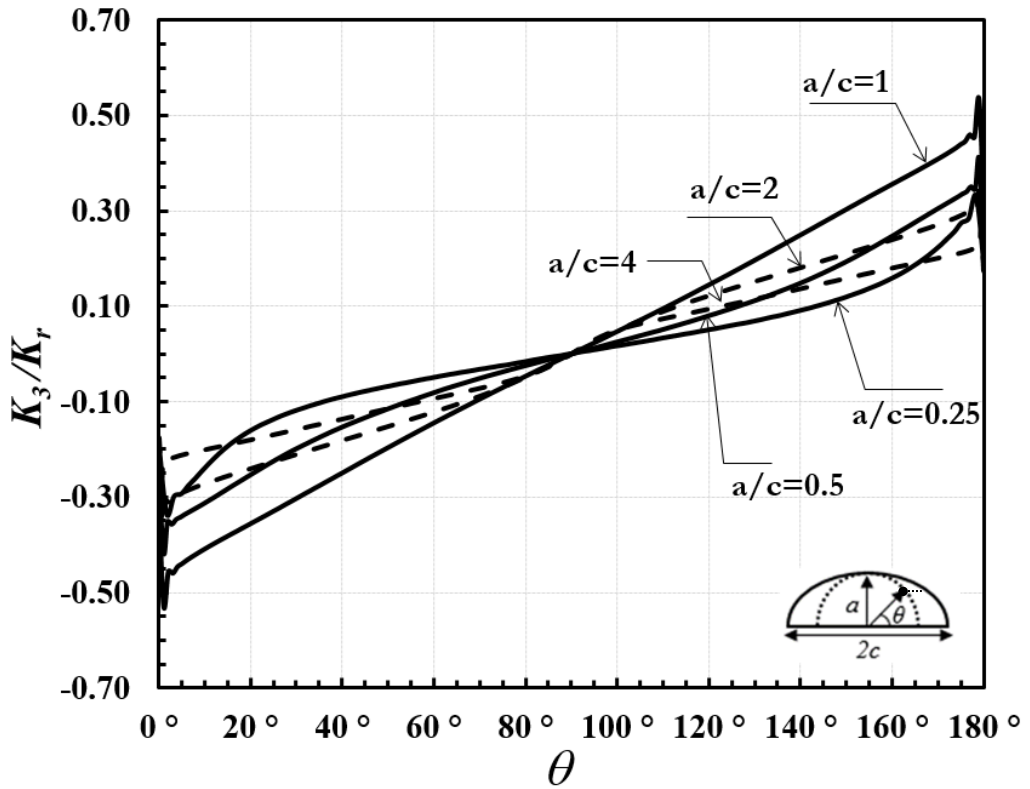
Şekil 3.360. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



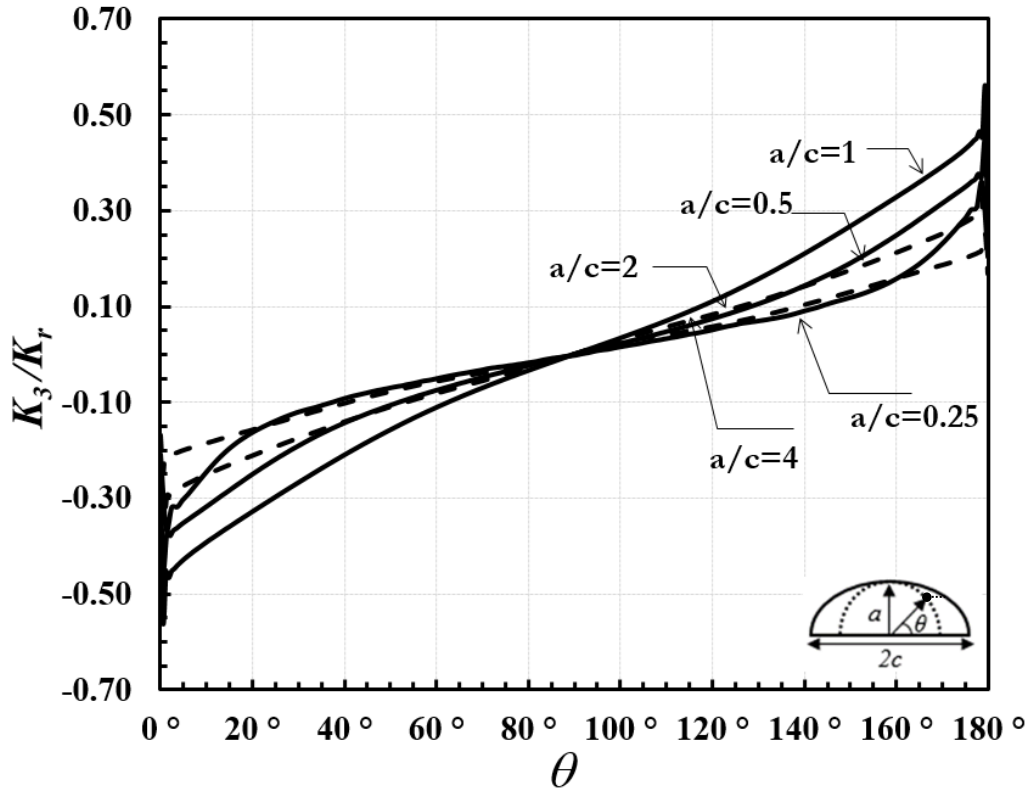
Şekil 3.361. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).



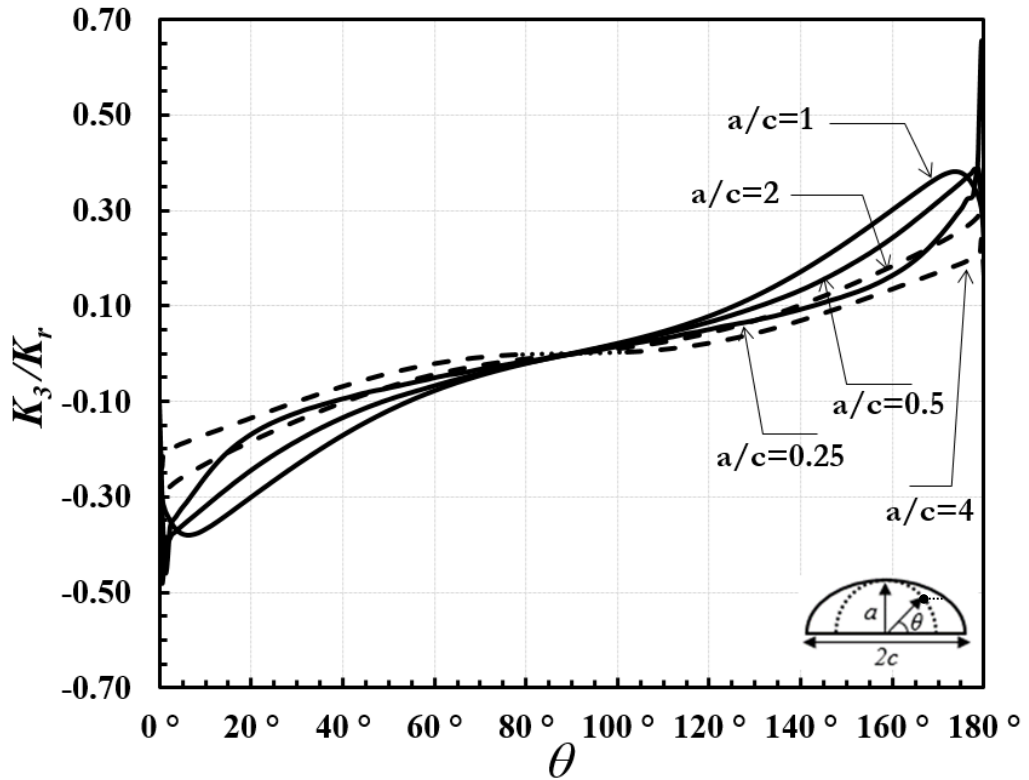
Şekil 3.362. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.2$ ).



Şekil 3.363. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.4$ ).



Şekil 3.364. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.6$ ).



Şekil 3.365. Sabit  $a/t$  için normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörleri ( $\alpha=45^\circ$ ,  $a/t=0.8$ ).

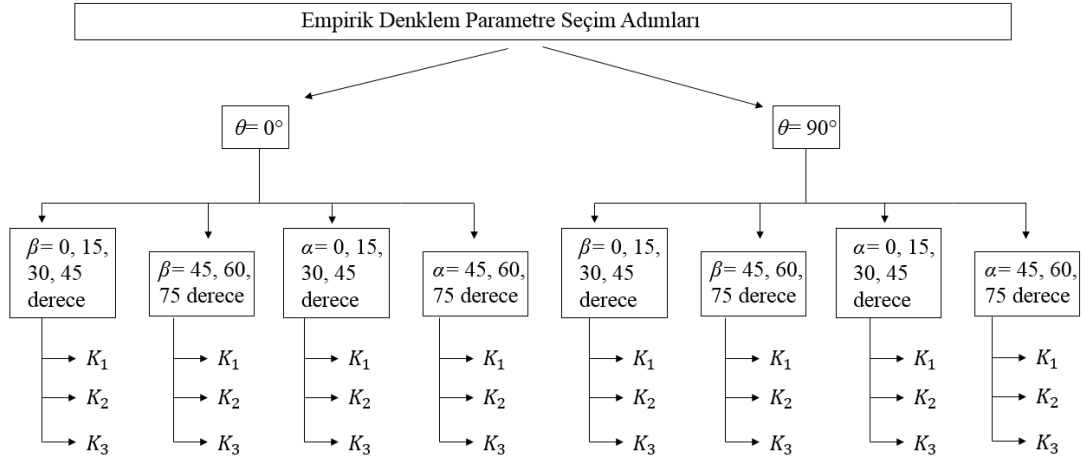
## **BÖLÜM 4. KARIŞIK MOD GERİLME ŞİDDET FAKTÖRLERİ İÇİN EMİRİK DENKLEM GELİŞTİRİLMESİ**

Önceki bölümde, probleme etkiyen tüm parametrelerin geniş aralıklarında belirlenen değerleri için geçerli olan karışık mod Gerilme Şiddet Faktörleri (GŞF) çatlak önü boyunca verilmişti. Yüzlerce farklı durum için verilen grafiksel çözümler oldukça faydalı olmakla beraber, hem analizi yapılan parametre değerlerinde hem de uç özellikle ara değerlerde GŞF tahmini gerektiğinde, grafikten okumak veya interpolasyon yapmak yerine, hazır halde bulunan denklemlerin kullanılması oldukça istenen bir durumdur. Bu amaçla, bu bölümde, daha önce verilen tüm çözümlerin çatlak serbest yüzey ve derinlik noktalarındaki değerleri kullanarak empirik karışık mod GŞF denklemleri elde ederek sunulmaktadır.

Denklem oluşturulurken seçilen parametreler  $a/c$ ,  $a/t$  ve çatlağın yatayda yaptığı açı ( $\beta$  veya  $\alpha$ ) ve  $\theta$  çatlak önü açısı olarak belirlenmiştir. Çatlak derinliği/çatlak uzunluğu için 5 adet (0.25, 0.5, 1, 2, 4), çatlak derinliği/levha et kalınlığı için 4 adet (0.2, 0.4, 0.6, 0.8), çatlağın yatayla yaptığı açı için 6 adet (0, 15, 30, 45, 60, 75) ve çatlak önündeki açı için de 2 adet (0 ve 90 derece) parametre değerleri alınmıştır. Oluşturulmak istenen denklemdeki parametre sayıları çok olması analitik çözümü imkânsız hale getirmektedir. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlağın mod-I GŞF değerleri kullanılarak ilk denklemin nasıl elde edildiği detaylarıyla anlatılacaktır. Bu denklem, önce çatlağın yatay eksenle yaptığı açuya göre 0-45 derece ve 45-75 derece olarak iki kısma ayrılmıştır. Böylece 0'dan 75 dereceye kadar çatlak eğiklik açı değerleri tamamen kapsamaktadır. Çatlak ucu serbest yüzeyi ( $c$  noktası) ve derinlik ( $a$  noktası) noktaları olmak üzere iki farklı konum için parametreler sınırlandırılarak tanımlanmıştır. Şekil 4.1.'de, bu çalışma kapsamında geliştirilen empirik GŞF denklemlerinin çatlak ucu derinlik noktası ve serbest yüzey noktası bazında kademeli şekilde ikiye bölünmesine dair şema gösterilmektedir. Ayrıca şekilden görüldüğü üzere, eğiklik veya dönme açısının 0-45° ve 45-75° aralıkları için de iki farklı bölge

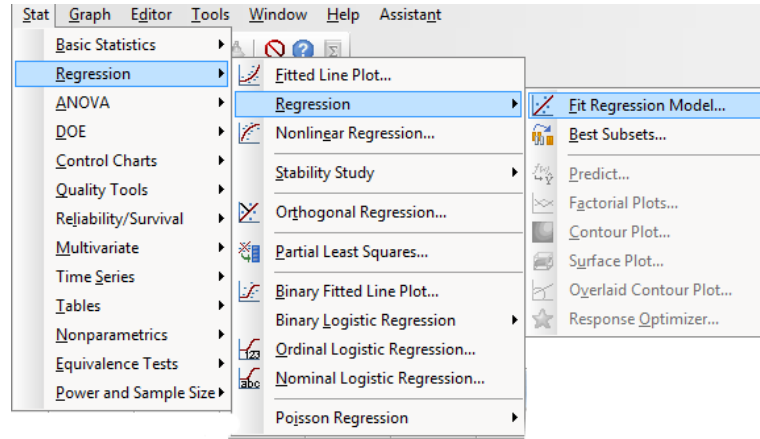


tanımlanmaktadır. Sonra Minitab [24] programına geçilir. Minitab programına ilgili veriler girdi olarak girilir. Daha sonra “Stat” kısmından “Regresyon” analizi kısmına tıklanır.



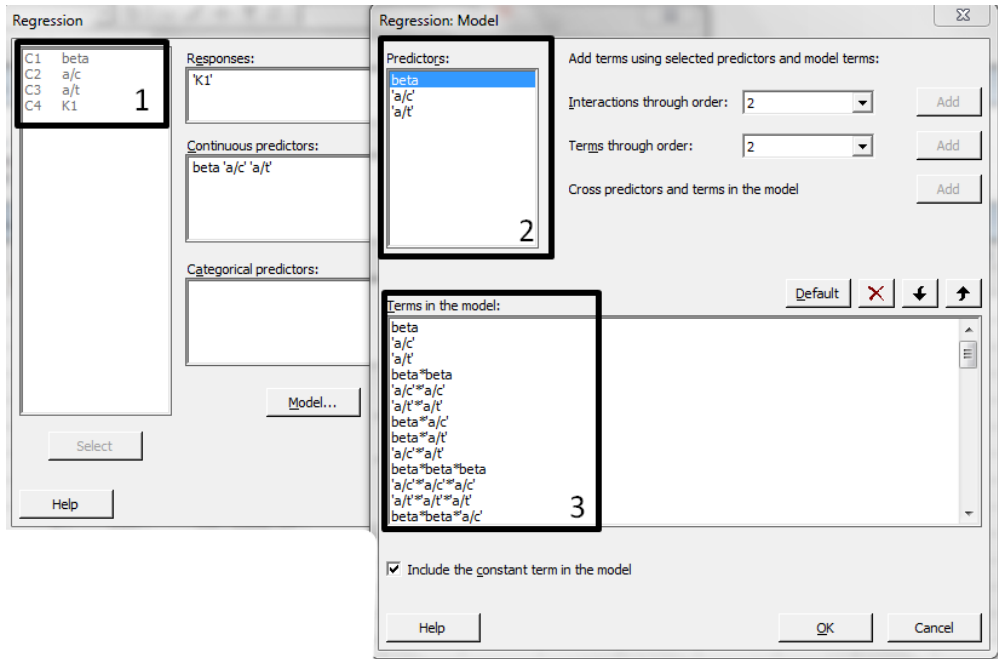
Şekil 4.1. Denklem parametrelerinin belirlenmesinde analiz sonuçlarındaki verilerin seçimi.

Şekil 4.2.’de Minitab programında, regresyon analiz kısmı açılarak denklem kısmına geçilmesi gösterilmektedir. Regresyon analiz sayfası açıldığında Şekil 4.3.’te gösterilen adımlar yapılarak ilgili denklem terimleri tanımlanır.



Şekil 4.2. Minitab programında regresyon analizi kısmının açılması [24].

Model kısmına tıklanarak regresyon denklem oluşturulur. Oluşturulan denklemdeki katsayılar arttıkça hassasiyet artmaktadır. Çatlağın yatayla yaptığı açı 45 dereceden küçük açılarda  $4 (\text{beta}) * 4 (a/t) * 5(a/c) = 80$  adet denklem olmalıdır. Doğal olarak da 80 adet parametre olması gerekmektedir. Denklem sistemi çok uzun olduğu için “önemsiz” terimler elimine edilerek terim sayısı 70’e indirgenmiştir. Çatlağın yatayla yaptığı açı 45 dereceden büyük açılarda  $3 (\text{beta}) * 4(a/t) * 5(a/c) = 60$  adet denklem olmalıdır. İki farklı nokta için oluşturulan denklemler sisteminde, analiz sonuçları ile denklemlerin tahmin ettiği değerler arasındaki fark en fazla %5’tir. Tablo 4.1.’de empirik denklemlerle ilgili indirgenmiş katsayı adetleri görülmektedir. Adı geçen tablodaki bazı değerlerde, GŞF değerleri sıfır olduğundan denklem oluşturulmamıştır. Tablo 4.2. ile Tablo 4.41. arasında verilecek olan denklem katsayılarıyla GŞF değerlerini bulmak için, denklem katsayılarıyla ilgili parametreler çarpılarak ve sabit değerle toplanarak  $K_1$ ,  $K_2$  ve  $K_3$  GŞF değerleri bulunur.



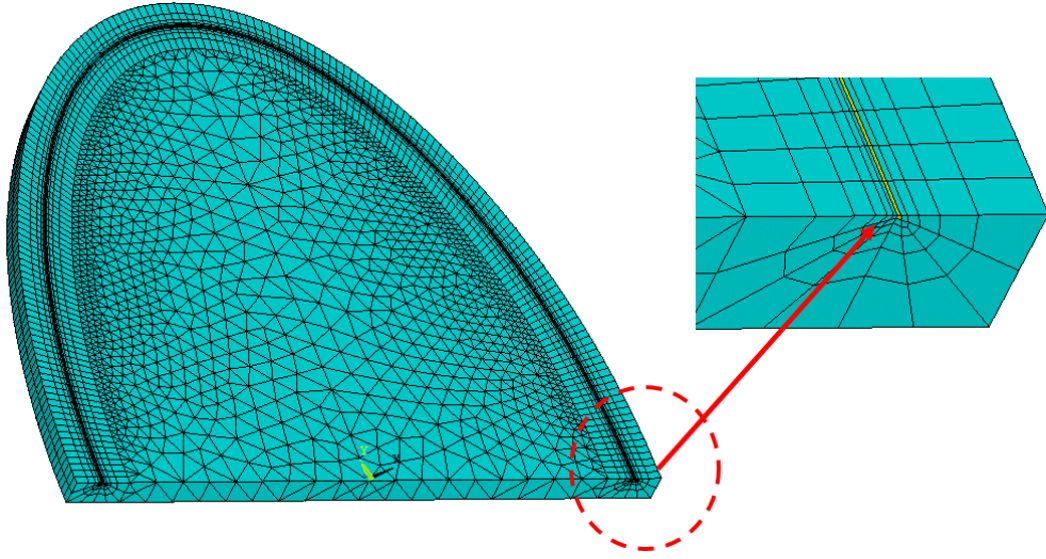
Şekil 4.3. Minitab programında regresyon denklemi oluşturma işlemleri [24].

Tablo 4.1. Geliştirilen empirik denklemlerde 0-45 derece ve 45-75 derecedeki karışık mod yüzey çatlaklarının indirgenmiş katsayı adetleri.

	Modlar	Eksenel gerilme + eğik çatlak		Eksenel gerilme + dönmüş çatlak	
		0 derece	90 derece	0 derece	90 derece
$\alpha$ ve $\beta=0-45$ derece arasındaki açılar	mod-I	58	58	58	58
	mod-II	58	-	58	58
	mod-III	58	58	58	-
		Eğilme gerilme + eğik çatlak		Eğilme gerilme + dönmüş çatlak	
	Modlar	0 derece	90 derece	0 derece	90 derece
	mod-I	58	58	58	70
	mod-II	58	-	70	70
	mod-III	70	58	70	-
	$\alpha$ ve $\beta=45-75$ derece arasındaki açılar		Eksenel gerilme + eğik çatlak		Eksenel gerilme + dönmüş çatlak
Modlar		0 derece	90 derece	0 derece	90 derece
mod-I		58	58	58	58
mod-II		58	-	58	58
mod-III		58	58	58	-
		Eğilme gerilme + eğik çatlak		Eğilme gerilme + dönmüş çatlak	
Modlar		0 derece	90 derece	0 derece	90 derece
mod-I		58	58	58	58
mod-II		58	-	58	58
mod-III		58	58	58	-

#### 4.1. Çatlak Ucu Serbest Yüzey Noktaları ( $\theta=0^\circ$ )

Karışık mod GŞF empirik denklemleri için önce çatlak ucu serbest yüzey noktaları ele alınmıştır. Tam çatlak ucundaki GŞF değerleri çok bilinmemekle birlikte Bölüm 3.'teki analiz grafikleri incelendiğinde çatlak ucu serbest yüzey bölgesindeki GŞF değerlerinin değişken olduğu gözükmemektedir. Bu sebepten dolayı çatlak ucu yüzey noktaları için ekstrapolasyon yapılmıştır. Şekil 4.4.'te çatlak ucu serbest yüzey bölgeleri ağ bölüntülenme modeli üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çatlak ucu serbest yüzey bölgesinin ağ bölüntülenme modelinde gösterilmesi.

#### 4.1.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak

Bölüm 3.2.'de verilen eksenel gerilmeye maruz eğik çatlaklar için analiz sonuçları kullanılarak empirik denklemler elde edilmiştir. Çatlak ucu serbest yüzey bölgesindeki karışık mod GŞF değerleri Minitab [24] programına aktarılarak, denklemlerin kat sayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I, mod-II ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın eğiklik açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.2.-4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	8.572347E-01	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c$	9.751186E-04	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.268899E+01
beta	-1.470664E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t$	1.874999E-03	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	5.711368E-05
a/c	1.434755E+00	$\beta^*\beta^*a/t^*a/t$	-1.684434E-03	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	1.636373E-03
a/t	-2.286857E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	3.373719E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	2.782838E-03
$\beta^*\beta^*$	-1.051013E-04	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	5.700550E-01	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-2.514408E-03
$a/c^*a/c$	-1.189998E+00	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	8.395377E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	3.564567E-02
$a/t^*a/t$	6.682115E+00	$\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	6.600403E-02	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	5.124416E-01
$\beta^*a/c$	5.741599E-02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	5.061049E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	6.050681E-01
$\beta^*a/t$	8.946223E-02	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	2.252523E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.393406E+00
$a/c^*a/t$	8.715840E+00	$a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	9.028343E+00	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	6.103536E+00
$a/c^*a/c^*a/c$	3.534190E-01	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	-4.237075E-04	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.392274E-04
$a/t^*a/t^*a/t$	-2.333056E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	-3.192791E-03	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.844973E-03
$\beta^*\beta^*a/c$	-7.979759E-04	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	-8.994200E-05	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	1.424106E-03
$\beta^*\beta^*a/t$	5.424190E-05	$\beta^*\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	1.645661E-03	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-7.089522E-02
$\beta^*a/c^*a/c$	-7.437603E-02	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-4.627854E-03	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-2.844197E-01
$\beta^*a/c^*a/t$	-4.385699E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.592006E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-8.634343E-01
$\beta^*a/t^*a/t$	-1.593291E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.114615E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	2.960078E-04
$a/c^*a/c^*a/t$	-1.112041E+01	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-4.330094E-01	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-2.263233E-04
$a/c^*a/t^*a/t$	-1.890696E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-6.963191E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	3.976509E-02
$a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-3.625586E-02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.013631E+01		

Tablo 4.3. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta= 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.740615E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c$	2.139278E-05	$a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	4.910609E+01
beta	-8.456672E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 t$	5.729738E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c$	1.026200E-05
a/c	6.615245E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	1.728744E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	2.975096E-03
a/t	1.219018E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c$	-3.612399E-02	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	7.677920E-03
beta*beta	1.180305E-04	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	3.737904E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	2.623926E-04
a/c*a/c	-6.966970E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	1.991504E-02	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	2.443886E-02
a/t*a/t	-5.170268E+00	$\beta^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-1.831626E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	-5.215318E-02
beta*a/c	-9.982643E-02	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	-1.109820E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-7.709798E-01
beta*a/t	5.978713E-02	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	-3.935223E+01	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	-2.194268E+00
a/c*a/t	-2.833679E+00	$a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-4.062464E+01	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-2.077727E+01
a/c*a/c*a/c	2.692186E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c$	-4.988536E-05	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	-4.092423E-04
a/t*a/t*a/t	1.090500E+01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	-6.720486E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	-3.313623E-03
beta*beta*a/c	6.801614E-05	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	-7.261972E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	1.697168E-04
beta*beta*a/t	-1.246851E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	2.104769E-04	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	5.087147E-03
beta*a/c*a/c	9.986782E-02	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c$	4.250344E-03	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	3.279485E-01
beta*a/c*a/t	-3.238547E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	-1.714591E-01	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	2.710260E+00
beta*a/t*a/t	-2.278773E-02	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	1.189801E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	4.574710E-04
a/c*a/c*a/t	3.515343E+00	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	6.065638E-01	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-6.864822E-05
a/c*a/t*a/t	2.879316E+01	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t$	9.370836E-02	$\beta^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t^2 a^2 t$	-4.234855E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-3.351851E-01	$a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 c^2 a^2 t^2 a^2 t$	1.693524E+01		

Tablo 4.4. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	6.700173E-03	beta*beta*a/c*a/c	4.322968E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.083930E-01
beta	4.648712E-03	beta*beta*a/c*a/t	6.616759E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.320619E-05
a/c	-3.550136E-02	beta*beta*a/t*a/t	1.223660E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.207721E-04
a/t	-6.355442E-02	beta*a/c*a/c*a/c	1.243961E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.290031E-03
beta*beta	-4.531752E-05	beta*a/c*a/c*a/t	-1.539610E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.662994E-03
a/c*a/c	4.649219E-02	beta*a/c*a/t*a/t	7.931874E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.411457E-02
a/t*a/t	1.508507E-01	beta*a/t*a/t*a/t	2.937117E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.222951E-01
beta*a/c	5.711896E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	1.113986E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.109135E-02
beta*a/t	1.152632E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	4.011915E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.405976E-02
a/c*a/t	2.063718E-01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.728321E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.327178E-02
a/c*a/c*a/c	-2.515034E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-1.286919E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	5.842143E-05
a/t*a/t*a/t	-1.018014E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	2.335814E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.438079E-04
beta*beta*a/c	-5.578917E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-2.715236E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-8.315529E-04
beta*beta*a/t	-4.480250E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-7.743166E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.967990E-02
beta*a/c*a/c	-4.396209E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.201054E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	6.550170E-02
beta*a/c*a/t	4.382874E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	9.184324E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.419506E-03
beta*a/t*a/t	-4.190540E-02	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.764817E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.000266E-05
a/c*a/c*a/t	-2.256597E-01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.430634E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.237017E-04
a/c*a/t*a/t	-4.409457E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.693171E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.063494E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	3.931689E-03	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.696529E-01		

Tablo 4.5. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta= 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	6.475531E-01	beta*beta*a/c*a/c	7.970122E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.738211E+01
beta	-1.572556E-02	beta*beta*a/c*a/t	2.768844E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.167271E-05
a/c	-1.548151E+00	beta*beta*a/t*a/t	3.649554E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.324055E-04
a/t	-7.188004E+00	beta*a/c*a/c*a/c	2.801528E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	4.047606E-03
beta*beta	9.187610E-05	beta*a/c*a/c*a/t	3.289471E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	4.811340E-03
a/c*a/c	1.390108E+00	beta*a/c*a/t*a/t	1.226074E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.759733E-03
a/t*a/t	1.645216E+01	beta*a/t*a/t*a/t	3.243667E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.822400E-01
beta*a/c	1.129499E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	7.735743E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.888101E-01
beta*a/t	2.176060E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	4.492855E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.199719E+00
a/c*a/t	1.994345E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.837722E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.052789E+01
a/c*a/c*a/c	-5.156716E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-2.255418E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	7.466436E-05
a/t*a/t*a/t	-1.037652E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-8.348086E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.628953E-04
beta*beta*a/c	-1.049228E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-7.587237E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.621392E-03
beta*beta*a/t	-1.537976E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-2.330622E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.875390E-02
beta*a/c*a/c	-9.070529E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-2.950039E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.785364E-01
beta*a/c*a/t	-4.887400E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-8.301130E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.309988E+00
beta*a/t*a/t	-5.090618E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.341902E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.240587E-05
a/c*a/c*a/t	-1.972335E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.736487E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.037573E-04
a/c*a/t*a/t	-4.571601E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-9.774814E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.823672E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	6.315313E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.750703E+01		



Tablo 4.6. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-1.149673E-02	beta*beta*a/c*a/c	-1.006145E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.681806E-01
beta	-3.972267E-03	beta*beta*a/c*a/t	-9.296490E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	9.771948E-06
a/c	2.596619E-02	beta*beta*a/t*a/t	-1.729563E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	7.085724E-04
a/t	1.190517E-01	beta*a/c*a/c*a/c	-8.875508E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.107231E-03
beta*beta	3.988155E-05	beta*a/c*a/c*a/t	-6.533790E-02	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.405191E-03
a/c*a/c	2.594517E-02	beta*a/c*a/t*a/t	-3.768519E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.218588E-03
a/t*a/t	-2.685912E-01	beta*a/t*a/t*a/t	-8.989941E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.595461E-02
beta*a/c	-2.405158E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	1.983985E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.820214E-01
beta*a/t	-4.381679E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	4.452821E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	9.070422E-02
a/c*a/t	-2.577598E-01	a/c*a/t*a/t*a/t	-2.708107E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.590656E-01
a/c*a/c*a/c	-2.961052E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-4.465430E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.283654E-04
a/t*a/t*a/t	1.775400E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-5.855443E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.362731E-04
beta*beta*a/c	1.297626E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	3.848161E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.948512E-03
beta*beta*a/t	6.033688E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.318783E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.137553E-03
beta*a/c*a/c	2.570498E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	9.863628E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	9.732511E-02
beta*a/c*a/t	1.195238E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	4.699884E-03	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.354097E-02
beta*a/t*a/t	1.192543E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	3.001568E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.248776E-04
a/c*a/c*a/t	-1.384061E-01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	3.078501E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.949614E-04
a/c*a/t*a/t	4.869322E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.757636E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.115407E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	5.441687E-03	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.985277E-01		

Tablo 4.7. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-2.154766E+00	$\beta a^2 c^2$	-1.331723E-03	$a^2 c^2 t^2$	2.714275E+01
beta	6.623503E-02	$\beta a^2 c t$	-9.207633E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	-4.170202E-05
a/c	5.588274E+00	$\beta a^2 t^2$	-8.540558E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	-9.123601E-04
a/t	1.501133E+01	$\beta a c^2$	-5.573973E-02	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.090911E-02
$\beta a^2$	-4.747408E-04	$\beta a c^2 t$	-8.416179E-01	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.282722E-02
$a^2/c$	-4.201582E+00	$\beta a^2 c t^2$	-2.672013E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.407380E-02
$a^2/t$	-3.205633E+01	$\beta a^2 t^2$	-7.320537E-01	$\beta a^2 c^2 t^2$	-3.592240E-01
$\beta a/c$	-2.134152E-01	$a^2 c^2 t^2$	-5.532715E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.092853E+00
$\beta a/t$	-5.208052E-01	$a^2 c^2 t^2$	-4.479076E+01	$a^2 c^2 t^2$	-4.136808E-01
$a^2/c^2$	-3.614325E+01	$a^2 c^2 t^2$	-4.713282E+01	$a^2 c^2 t^2$	-4.628259E+00
$a^2 c^2$	1.222632E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	4.049991E-04	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.974968E-05
$a^2 t^2$	2.079816E+01	$\beta a^2 c^2 t^2$	5.393852E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.607559E-03
$\beta a^2 c$	1.641878E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.948864E-02	$\beta a^2 c^2 t^2$	7.214483E-03
$\beta a^2 t$	3.965750E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	5.606094E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	2.152512E-02
$\beta a^2 c^2$	1.763591E-01	$\beta a^2 c^2 t^2$	5.981499E-03	$\beta a^2 c^2 t^2$	2.277651E-01
$\beta a^2 t^2$	1.270244E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.952552E-01	$a^2 c^2 t^2$	1.181052E-01
$\beta a^2 t^2$	1.119285E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.692307E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	7.848128E-06
$a^2 c^2 t^2$	2.370654E+01	$\beta a^2 c^2 t^2$	1.740899E+00	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.086804E-03
$a^2 t^2$	7.418771E+01	$a^2 c^2 t^2$	4.090688E-01	$\beta a^2 c^2 t^2$	-1.305893E-02
$a^2 c^2 t^2$	-1.223024E-01	$a^2 c^2 t^2$	8.703648E+00		

#### **4.1.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak**

Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak için analizlerde elde edilen GŞF değerleri kullanılarak empirik denklem katsayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I, mod-II ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın dönme açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.8.-4.13.'te verilmiştir.

#### **4.1.3. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak**

Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak için analizlerde elde edilen GŞF değerleri kullanılarak empirik denklem katsayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I, mod-II ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın eğiklik açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.14.-4.19.'da verilmiştir. 45 dereceden küçük mod-III GŞF değerlerinin verdiği 58 katsayılı denklem ile sonlu elemanlar modeli ile elde edilen mod-III GŞF değerleri farkı %10'dur. Bu sebepten dolayı 45 dereceden küçük mod-III GŞF değerleri için 70 katsayılı denklem Tablo 4.18.'de verilmiştir.

#### **4.1.4. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak**

Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak için analizlerde elde edilen GŞF değerleri kullanılarak empirik denklem katsayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I, mod-II ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın dönme açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.20.-4.25.'te verilmiştir. 45 dereceden küçük mod-II ve mod-III GŞF değerlerinin verdiği 58 katsayılı denklem ile sonlu elemanlar modeli ile elde edilen mod-II ve mod-III GŞF değerleri farkı %10'dur. Bu sebepten dolayı 70 katsayılı denklem Tablo 4.22. ve Tablo 4.24.'te verilmiştir.

Tablo 4.8. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-7.557112E-01	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c$	4.334345E-03	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	6.014466E+01
beta	-1.111534E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/t$	1.928736E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	2.176229E-04
a/c	8.593555E+00	$\beta^2 \beta^2 a/t^2 a/t$	-3.695180E-04	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	1.081796E-02
a/t	7.961496E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	1.846248E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	2.912583E-02
$\beta^2 \beta^2$	2.795215E-04	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	8.831560E-01	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.003166E-03
$a/c^2 a/c$	-1.047969E+01	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	1.138186E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	3.895089E-02
$a/t^2 a/t$	-1.323659E+01	$\beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.892222E-02	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	4.097842E-01
$\beta^2 a/c$	6.262151E-02	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.313984E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	1.357279E-01
$\beta^2 a/t$	1.425472E-01	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-9.819287E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-6.323218E+00
$a/c^2 a/t$	-3.777197E+01	$a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-4.537524E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.764266E+01
$a/c^2 a/c^2 a/c$	4.579666E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-1.739728E-03	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-1.393267E-03
$a/t^2 a/t^2 a/t$	9.533366E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.564408E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.227755E-02
$\beta^2 \beta^2 a/c$	-3.562324E-03	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.983245E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-1.329410E-03
$\beta^2 \beta^2 a/t$	-2.075227E-03	$\beta^2 \beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.653822E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-4.456776E-02
$\beta^2 a/c^2 a/c$	-6.265406E-02	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-1.634800E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	7.905406E-03
$\beta^2 a/c^2 a/t$	-7.918485E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-3.295275E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	3.821549E+00
$\beta^2 a/t^2 a/t$	-2.102532E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.195830E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	1.556380E-03
$a/c^2 a/c^2 a/t$	5.027213E+01	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.134964E-01	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	3.646849E-04
$a/c^2 a/t^2 a/t$	7.186683E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	3.200963E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-7.305634E-03
$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-6.174502E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	4.556709E+01		

Tablo 4.9. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45\text{-}75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-4.556675E-01	beta*beta*a/c*a/c	5.269556E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.132189E+01
beta	-1.794196E-03	beta*beta*a/c*a/t	3.902923E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.573786E-04
a/c	-6.410191E+00	beta*beta*a/t*a/t	-1.748943E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	5.744669E-03
a/t	3.029416E+01	beta*a/c*a/c*a/c	2.284010E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	7.933400E-03
beta*beta	2.312158E-04	beta*a/c*a/c*a/t	1.262554E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.890230E-02
a/c*a/c	1.392394E+01	beta*a/c*a/t*a/t	-3.294432E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	7.055112E-02
a/t*a/t	-9.312277E+01	beta*a/t*a/t*a/t	-2.300053E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.792369E-01
beta*a/c	3.271908E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	1.427188E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.775417E+00
beta*a/t	-7.565162E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	-2.671467E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.482360E+00
a/c*a/t	-1.713319E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	-1.499283E+02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.448216E+01
a/c*a/c*a/c	-6.053921E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-2.118641E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-6.900956E-04
a/t*a/t*a/t	7.887814E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-1.345558E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.308974E-03
beta*beta*a/c	-3.573775E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	1.836440E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	9.859130E-03
beta*beta*a/t	4.365446E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.636692E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-7.784781E-02
beta*a/c*a/c	-5.530149E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-2.794343E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.149405E-01
beta*a/c*a/t	8.319651E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.786471E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.084682E+00
beta*a/t*a/t	2.591544E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.457355E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	9.077431E-04
a/c*a/c*a/t	-2.598533E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	4.221047E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.051318E-03
a/c*a/t*a/t	1.362770E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.849045E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.067998E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	7.562466E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.725208E+00		

Tablo 4.10. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-6.657160E-01	beta*beta*a/c*a/c	-7.658479E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.621115E+01
beta	-6.767865E-02	beta*beta*a/c*a/t	-2.157153E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-6.032896E-04
a/c	3.639592E+00	beta*beta*a/t*a/t	-1.558525E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.705171E-02
a/t	5.153908E+00	beta*a/c*a/c*a/c	2.861365E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	5.731135E-04
beta*beta	-1.503404E-03	beta*a/c*a/c*a/t	5.782148E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.439009E-05
a/c*a/c	-5.424742E+00	beta*a/c*a/t*a/t	1.201526E+01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	3.383273E-01
a/t*a/t	-1.084571E+01	beta*a/t*a/t*a/t	1.131526E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	7.101999E+00
beta*a/c	5.307847E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	-2.018773E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.138800E+01
beta*a/t	5.931553E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	-8.655211E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.037532E+00
a/c*a/t	-2.782875E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	-3.771880E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.749858E+01
a/c*a/c*a/c	2.644421E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	4.041728E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.605474E-03
a/t*a/t*a/t	7.207356E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	3.132007E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.205877E-03
beta*beta*a/c	4.934647E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	9.811304E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.355992E-03
beta*beta*a/t	9.613608E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.307025E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.552201E-01
beta*a/c*a/c	-6.712663E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-3.757526E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.077618E+00
beta*a/c*a/t	-4.383522E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.534249E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.922752E+00
beta*a/t*a/t	-1.674296E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.602259E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.043168E-03
a/c*a/c*a/t	4.141160E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-8.444490E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.643054E-03
a/c*a/t*a/t	5.791866E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.873475E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.851325E-01
a/c*a/c*a/c*a/c	-3.763414E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.233707E+01		

Tablo 4.11. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-7.595439E-01	beta*beta*a/c*a/c	-2.185998E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.769033E+01
beta	3.478765E-02	beta*beta*a/c*a/t	-4.892303E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-2.207521E-04
a/c	3.869525E+00	beta*beta*a/t*a/t	-2.803591E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.772929E-03
a/t	3.712500E+00	beta*a/c*a/c*a/c	-1.559379E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.212279E-04
beta*beta	-4.083846E-04	beta*a/c*a/c*a/t	-4.076342E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.007394E-03
a/c*a/c	-7.401014E+00	beta*a/c*a/t*a/t	3.036596E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-7.148426E-02
a/t*a/t	-1.875072E+00	beta*a/t*a/t*a/t	-7.734444E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.051214E-02
beta*a/c	-1.202552E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	-1.037627E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.426048E-01
beta*a/t	-1.894622E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	2.187119E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.397414E+00
a/c*a/t	-3.113540E+00	a/c*a/t*a/t*a/t	2.070437E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.271160E+00
a/c*a/c*a/c	4.984033E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.350683E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.594095E-04
a/t*a/t*a/t	3.879160E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t	5.685091E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.095206E-03
beta*beta*a/c	1.294360E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	2.017619E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.294021E-03
beta*beta*a/t	2.213150E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.382318E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.457798E-02
beta*a/c*a/c	2.330118E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.629263E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.071034E-01
beta*a/c*a/t	3.055501E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	3.698203E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.962151E-01
beta*a/t*a/t	1.882257E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.655865E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.119163E-04
a/c*a/c*a/t	7.638513E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-4.597993E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.525060E-04
a/c*a/t*a/t	-1.997437E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.165242E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.239639E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-8.439588E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.295431E+00		

Tablo 4.12. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	7.770643E-02	beta*beta*a/c*a/c	4.437848E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.285044E+00
beta	8.034644E-03	beta*beta*a/c*a/t	2.905419E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	5.920005E-05
a/c	-3.956389E-01	beta*beta*a/t*a/t	6.359199E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	3.239219E-03
a/t	-6.970321E-01	beta*a/c*a/c*a/c	-2.622840E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.001807E-02
beta*beta	5.834358E-05	beta*a/c*a/c*a/t	-3.115257E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.667650E-03
a/c*a/c	5.268025E-01	beta*a/c*a/t*a/t	-6.473902E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-9.960479E-03
a/t*a/t	1.597239E+00	beta*a/t*a/t*a/t	-1.563048E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.668954E-01
beta*a/c	-9.232644E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	2.198860E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.806209E-01
beta*a/t	-1.419669E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	1.085027E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.873894E-01
a/c*a/t	3.582525E+00	a/c*a/t*a/t*a/t	5.511960E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.327277E+00
a/c*a/c*a/c	-2.416585E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-3.521180E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-4.813492E-04
a/t*a/t*a/t	-1.101764E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-5.967107E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.794371E-03
beta*beta*a/c	7.091276E-05	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-6.701665E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.309117E-03
beta*beta*a/t	1.181789E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.941793E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.823340E-02
beta*a/c*a/c	8.039799E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.902087E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.376678E-01
beta*a/c*a/t	3.949549E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	9.489959E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-4.576353E-01
beta*a/t*a/t	2.208469E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	5.262734E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.725464E-04
a/c*a/c*a/t	-4.787151E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	4.275091E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.244977E-04
a/c*a/t*a/t	-8.125616E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.033447E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.678002E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	3.332117E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.983194E+00		



Tablo 4.13. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	2.790336E+00	beta*beta*a/c*a/c	-2.773277E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.583150E+02
beta	-3.368943E-02	beta*beta*a/c*a/t	-9.602345E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.249144E-04
a/c	-1.101437E+01	beta*beta*a/t*a/t	5.358996E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.687833E-03
a/t	-2.897224E+01	beta*a/c*a/c*a/c	2.144661E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	6.046912E-03
beta*beta	-3.909368E-04	beta*a/c*a/c*a/t	1.739035E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	2.516174E-02
a/c*a/c	1.117800E+01	beta*a/c*a/t*a/t	6.027774E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	9.774929E-02
a/t*a/t	7.648767E+01	beta*a/t*a/t*a/t	1.604477E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.591694E+00
beta*a/c	5.728760E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	4.562773E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.631099E+00
beta*a/t	4.764167E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	2.418839E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.099752E+01
a/c*a/t	1.133486E+02	a/c*a/t*a/t*a/t	2.055918E+02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.927152E+01
a/c*a/c*a/c	-4.923588E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.068735E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.748746E-04
a/t*a/t*a/t	-6.271771E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	3.809485E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.189122E-05
beta*beta*a/c	2.217583E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.919383E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.205328E-02
beta*beta*a/t	6.211703E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-8.107876E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.944968E-01
beta*a/c*a/c	-2.708563E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-4.671650E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.026635E+00
beta*a/c*a/t	-1.985478E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-7.049947E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.427527E+00
beta*a/t*a/t	-1.684158E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.689369E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.332326E-05
a/c*a/c*a/t	-1.116421E+02	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.187120E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.528398E-03
a/c*a/t*a/t	-2.755285E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-6.117832E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.057420E-01
a/c*a/c*a/c*a/c	6.986369E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.819191E+01		

Tablo 4.14 Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.038638E+00	beta*beta*a/c*a/c	3.259456E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.591205E+01
beta	1.889001E-03	beta*beta*a/c*a/t	-8.028442E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	7.800932E-05
a/c	9.693862E-03	beta*beta*a/t*a/t	-8.777004E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	2.416920E-03
a/t	-2.401393E+00	beta*a/c*a/c*a/c	4.623199E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.069669E-02
beta*beta	-4.945386E-04	beta*a/c*a/c*a/t	4.698914E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.260696E-02
a/c*a/c	1.079605E+00	beta*a/c*a/t*a/t	-3.259744E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	5.512005E-02
a/t*a/t	7.700189E+00	beta*a/t*a/t*a/t	-1.691417E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.967962E-01
beta*a/c	7.810478E-03	a/c*a/c*a/c*a/t	9.623145E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.015876E-01
beta*a/t	-5.257571E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	4.935870E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.391073E+00
a/c*a/t	1.208875E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.409499E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.747861E+01
a/c*a/c*a/c	-7.599451E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-4.247953E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.150082E-04
a/t*a/t*a/t	-5.139950E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	3.883730E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.199776E-03
beta*beta*a/c	5.791982E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	2.630410E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.365046E-02
beta*beta*a/t	2.991925E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	6.933474E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.022061E-01
beta*a/c*a/c	-6.881619E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-7.391971E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.875798E-01
beta*a/c*a/t	1.128600E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.378578E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.481245E+00
beta*a/t*a/t	1.837776E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.819744E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.930050E-04
a/c*a/c*a/t	-1.932696E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	4.221059E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.111606E-03
a/c*a/t*a/t	-3.361295E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.377560E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.337099E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	1.218384E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.392592E+01		

Tablo 4.15. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	4.292051E-01	$\beta a^2 c^2$	-6.157489E-04	$a^2 c^2$	-2.038870E+01
beta	-2.825236E-03	$\beta a^2 c$	9.493636E-04	$\beta a^2 c$	-3.079878E-05
a/c	4.659734E+00	$\beta a^2$	-9.451660E-05	$\beta a^2$	7.099751E-04
a/t	1.097063E+00	$\beta a c^2$	-3.732831E-02	$\beta a c^2$	2.752282E-03
beta*beta	-1.044657E-05	$\beta a c$	2.236690E-01	$\beta a c$	-1.234305E-04
a/c*a/c	-3.922687E+00	$\beta a$	2.747550E-01	$\beta a$	1.613973E-02
a/t*a/t	8.539083E-02	$\beta a^2 c^2$	-8.003570E-02	$\beta a^2 c^2$	2.433676E-01
beta*a/c	-1.130775E-01	$a^2 c^2$	5.985451E+00	$a^2 c^2$	2.396239E-01
beta*a/t	-2.381930E-02	$a^2 c$	3.145342E+01	$a^2 c$	2.133045E+00
a/c*a/t	4.082430E+00	$a^2$	1.003335E+01	$a^2$	1.004751E+01
a/c*a/c*a/c	1.299205E+00	$\beta a^2 c^2$	2.403245E-04	$\beta a^2 c^2$	-9.268604E-05
a/t*a/t*a/t	1.551247E+00	$\beta a^2 c$	-1.602415E-03	$\beta a^2 c$	-1.081192E-03
beta*beta*a/c	6.286226E-04	$\beta a^2$	-1.739642E-03	$\beta a^2$	-4.483766E-04
beta*beta*a/t	-3.285356E-05	$\beta a c^2$	5.666227E-04	$\beta a c^2$	-3.262197E-02
beta*a/c*a/c	1.030269E-01	$\beta a c$	4.547603E-03	$\beta a c$	-1.144063E-01
beta*a/c*a/t	-8.513122E-02	$\beta a$	-1.143854E-01	$\beta a$	-1.406946E+00
beta*a/t*a/t	3.258412E-02	$\beta a^2 c^2$	-5.261305E-01	$\beta a^2 c^2$	1.275707E-04
a/c*a/c*a/t	-1.113430E+01	$\beta a^2 c$	-6.541142E-02	$\beta a^2 c$	1.053930E-04
a/c*a/t*a/t	-1.764025E+01	$\beta a^2$	-8.725577E-01	$\beta a^2$	1.514890E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-1.478872E-01	$a^2 c^2$	-1.525963E+01	$a^2 c^2$	

Tablo 4.16. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	4.317128E-02	beta*beta*a/c*a/c	5.057601E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.613800E+00
beta	4.079567E-03	beta*beta*a/c*a/t	1.767488E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.298098E-05
a/c	-2.302320E-01	beta*beta*a/t*a/t	1.343160E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	6.137892E-04
a/t	-3.865767E-01	beta*a/c*a/c*a/c	2.608761E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	2.895443E-03
beta*beta	-5.604512E-05	beta*a/c*a/c*a/t	1.363862E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.438980E-03
a/c*a/c	3.021095E-01	beta*a/c*a/t*a/t	2.316168E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.885468E-03
a/t*a/t	8.734059E-01	beta*a/t*a/t*a/t	4.351928E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.065386E-02
beta*a/c	6.509232E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	1.154928E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	8.282631E-02
beta*a/t	3.591293E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	5.609668E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.455945E-01
a/c*a/t	1.955102E+00	a/c*a/t*a/t*a/t	2.824496E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.619326E+00
a/c*a/c*a/c	-1.387018E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-1.870613E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-7.542162E-05
a/t*a/t*a/t	-5.715669E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-1.644679E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.795644E-04
beta*beta*a/c	-5.330791E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-3.468549E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.603843E-04
beta*beta*a/t	-5.781552E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-7.190119E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.822301E-03
beta*a/c*a/c	-6.692641E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-3.303733E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.487475E-02
beta*a/c*a/t	-1.326837E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.400836E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.208920E-01
beta*a/t*a/t	-7.900742E-02	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.178212E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.116797E-04
a/c*a/c*a/t	-2.544083E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.084151E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.151449E-04
a/c*a/t*a/t	-4.355407E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.588225E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.534687E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	1.922656E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.525947E+00		

Tablo 4.17. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.354473E+00	beta*beta*a/c*a/c	1.019179E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.926329E+01
beta	-4.220695E-02	beta*beta*a/c*a/t	6.179656E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.694598E-05
a/c	-2.072998E+00	beta*beta*a/t*a/t	6.756829E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	6.618851E-04
a/t	-1.144862E+01	beta*a/c*a/c*a/c	2.533666E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	7.310373E-03
beta*beta	3.186556E-04	beta*a/c*a/c*a/t	4.866445E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	7.280885E-03
a/c*a/c	6.182222E-01	beta*a/c*a/t*a/t	1.677804E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.540060E-03
a/t*a/t	2.473263E+01	beta*a/t*a/t*a/t	5.202867E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.478179E-01
beta*a/c	1.467977E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	2.956691E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.866053E-01
beta*a/t	4.001203E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	3.310526E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	7.250887E-01
a/c*a/t	2.231667E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.982157E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.839171E+00
a/c*a/c*a/c	1.531475E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-2.838152E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.525691E-05
a/t*a/t*a/t	-1.518135E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-3.567269E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.392397E-03
beta*beta*a/c	-1.396990E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.266037E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.829091E-03
beta*beta*a/t	-3.184968E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-4.101808E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.819298E-02
beta*a/c*a/c	-9.991051E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-2.138347E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.263744E-01
beta*a/c*a/t	-7.952422E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.050261E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-4.035225E-01
beta*a/t*a/t	-8.536140E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.059595E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.919573E-05
a/c*a/c*a/t	-1.359831E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.809778E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.762335E-04
a/c*a/t*a/t	-4.996896E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.886980E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.924954E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	-5.001833E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.489976E+00		

Tablo 4.18. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	6.716627E-02	beta*beta*a/c*a/t	6.854350E-03	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/t	7.159475E-07
beta	-1.408086E-02	beta*beta*a/t*a/t	-5.095199E-03	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t	-3.828813E-05
a/c	-4.194961E-01	beta*a/c*a/c*a/c	2.380950E-02	beta*beta*beta*a/t*a/t*a/t	-1.012805E-04
a/t	-5.912180E-01	beta*a/c*a/c*a/t	5.079819E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	4.297577E-05
beta*beta	-3.075827E-04	beta*a/c*a/t*a/t	1.054183E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	2.682814E-03
a/c*a/c	6.282319E-01	beta*a/t*a/t*a/t	7.058755E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.768198E-02
a/t*a/t	1.329771E+00	a/c*a/c*a/c*a/t	2.582968E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.108196E-02
beta*a/c	5.534399E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	1.203177E+01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.737494E-02
beta*a/t	4.588556E-02	a/c*a/t*a/t*a/t	5.267472E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.028647E-01
a/c*a/t	3.621707E+00	beta*beta*beta*a/c*a/c	4.200067E-06	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	8.539016E-01
beta*beta*beta	1.015212E-05	beta*beta*beta*a/c*a/t	1.255543E-05	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.138583E-01
a/c*a/c*a/c	-3.011816E-01	beta*beta*beta*a/t*a/t	1.484848E-04	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.792472E+00
a/t*a/t*a/t	-8.691987E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-3.051691E-04	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	2.704160E-05
beta*beta*a/c	-5.652332E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-7.306425E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.288301E-04
beta*beta*a/t	2.138806E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.585407E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.618662E-03
beta*a/c*a/c	-5.861487E-02	beta*beta*a/t*a/t*a/t	3.398312E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.258730E-02
beta*a/c*a/t	-4.496853E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-3.111899E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.607889E-02
beta*a/t*a/t	-1.012552E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.092173E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.588477E-01
a/c*a/c*a/t	-5.388274E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.210564E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.348793E-01
a/c*a/t*a/t	-8.077631E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.319870E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.172120E-04
a/c*a/c*a/c*a/c	4.232330E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.632634E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.777110E-03
beta*beta*beta*a/c	-7.438695E-06	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.779179E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.748541E-02
beta*beta*beta*a/t	-6.252041E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.874826E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.950513E-04
beta*beta*a/c*a/c	6.895064E-04	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/c	-7.189911E-07		

Tablo 4.19. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	2.614897E+00	beta*beta*a/c*a/c	1.887162E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.366430E+01
beta	-1.027694E-01	beta*beta*a/c*a/t	9.503053E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	7.750708E-05
a/c	-7.612506E+00	beta*beta*a/t*a/t	8.225535E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	1.459287E-03
a/t	-1.471650E+01	beta*a/c*a/c*a/c	8.996577E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.015277E-02
beta*beta	8.411775E-04	beta*a/c*a/c*a/t	8.837180E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.251191E-02
a/c*a/c	6.902824E+00	beta*a/c*a/t*a/t	2.527619E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.032529E-02
a/t*a/t	3.148573E+01	beta*a/t*a/t*a/t	7.322881E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.992152E-01
beta*a/c	2.758552E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	4.876188E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.022833E+00
beta*a/t	5.140864E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	3.595847E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.854736E-01
a/c*a/t	3.459088E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	4.615679E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.612128E+00
a/c*a/c*a/c	-2.473108E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-6.607414E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.089217E-04
a/t*a/t*a/t	-2.137702E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-6.218349E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.487433E-03
beta*beta*a/c	-2.138010E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.861652E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.836370E-03
beta*beta*a/t	-3.944901E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-5.520468E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.483763E-02
beta*a/c*a/c	-2.504746E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.075393E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.000584E-01
beta*a/c*a/t	-1.269859E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.310525E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.892314E-01
beta*a/t*a/t	-1.085402E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.522024E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.802266E-06
a/c*a/c*a/t	-2.198310E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.703492E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.015529E-03
a/c*a/t*a/t	-6.855741E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.271853E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	9.786027E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	2.951048E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.461357E+00		

Tablo 4.20. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	5.548241E-01	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c$	2.188567E-03	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.244604E+00
$\beta$	-1.431092E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t$	8.024183E-03	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	1.150907E-04
$a/c$	3.264997E+00	$\beta^*\beta^*a/t^*a/t$	-7.439480E-05	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	4.254249E-03
$a/t$	-8.321575E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	6.204377E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.284536E-02
$\beta^*\beta$	-2.567644E-05	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	1.230620E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	3.198686E-03
$a/c^*a/c$	-3.865565E+00	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	1.786900E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	8.197256E-02
$a/t^*a/t$	4.394949E+00	$\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	1.947806E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.181218E+00
$\beta^*a/c$	8.455159E-02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.950828E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	1.459915E+00
$\beta^*a/t$	1.542834E-01	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-5.039900E+00	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-4.735559E-01
$a/c^*a/t$	-2.802593E+00	$a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	2.097032E+00	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-1.005977E+00
$a/c^*a/c^*a/c$	1.611134E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	-9.018798E-04	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-5.396428E-04
$a/t^*a/t^*a/t$	-2.783310E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	-1.032665E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-4.704302E-03
$\beta^*\beta^*a/c$	-1.745664E-03	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.077853E-02	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-2.966062E-03
$\beta^*\beta^*a/t$	-5.520181E-04	$\beta^*\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	6.095991E-04	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.663487E-01
$\beta^*a/c^*a/c$	-1.277133E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-8.796039E-03	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-7.020472E-01
$\beta^*a/c^*a/t$	-8.741787E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-5.834441E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	1.506936E-01
$\beta^*a/t^*a/t$	-3.305206E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-2.487962E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	5.383114E-04
$a/c^*a/c^*a/t$	5.940138E+00	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-1.033309E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	5.424631E-04
$a/c^*a/t^*a/t$	-1.711562E+00	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	4.119974E-01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	9.958488E-02
$a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-2.105771E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	3.199998E+00		



Tablo 4.21. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha= 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	2.942408E+00	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c$	2.030666E-03	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.711792E+01
$\beta$	-1.117366E-01	$\beta^2\beta^2a/c^*a/t$	2.235437E-02	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c$	-7.338863E-05
$a/c$	-4.643819E+00	$\beta^2\beta^2a/t^*a/t$	1.809674E-02	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.843006E-03
$a/t$	-1.132070E+01	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c$	-5.495661E-02	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	4.107284E-02
$\beta^2\beta^2$	1.042012E-03	$\beta^2a/c^*a/c^*a/t$	9.772249E-02	$\beta^2\beta^2a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	5.074902E-02
$a/c^*a/c$	-2.703365E+00	$\beta^2a/c^*a/t^*a/t$	6.548119E+00	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-1.763296E-01
$a/t^*a/t$	3.897556E+01	$\beta^2a/t^*a/t^*a/t$	1.385916E+00	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-6.492594E-01
$\beta^2a/c$	3.242961E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-4.532513E+01	$\beta^2a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	2.931872E+00
$\beta^2a/t$	6.302321E-01	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-2.018503E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.450557E+01
$a/c^*a/t$	2.661428E+01	$a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	1.042112E+02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-3.342112E+01
$a/c^*a/c^*a/c$	4.474963E+00	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c$	-5.662626E-06	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	9.310080E-04
$a/t^*a/t^*a/t$	-3.045462E+01	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/t$	-8.605509E-03	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-3.321974E-03
$\beta^2\beta^2a/c$	-3.610627E-03	$\beta^2\beta^2a/c^*a/t^*a/t$	-6.656496E-02	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-3.617463E-02
$\beta^2\beta^2a/t$	-6.618790E-03	$\beta^2\beta^2a/t^*a/t^*a/t$	-1.334215E-02	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	2.452944E-01
$\beta^2a/c^*a/c$	-1.184662E-01	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	1.649113E-02	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-2.667596E-02
$\beta^2a/c^*a/t$	-2.003102E+00	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	7.932428E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	7.958921E+00
$\beta^2a/t^*a/t$	-1.843416E+00	$\beta^2a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-2.818280E+00	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-7.825235E-04
$a/c^*a/c^*a/t$	4.243849E+01	$\beta^2a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-5.148927E+00	$\beta^2\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	6.126010E-03
$a/c^*a/t^*a/t$	-1.216471E+02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	8.329899E+00	$\beta^2a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-1.029766E-01
$a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-8.855622E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	6.982784E+01		

Tablo 4.22. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	6.935553E-02	beta*beta*a/c*a/t	2.237173E-02	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/t	3.644038E-06
beta	-2.632873E-02	beta*beta*a/t*a/t	6.925584E-03	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t	-3.614991E-05
a/c	-2.984426E-01	beta*a/c*a/c*a/c	1.900675E-02	beta*beta*beta*a/t*a/t*a/t	-5.231656E-05
a/t	-4.495578E-01	beta*a/c*a/c*a/t	5.971931E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	3.789894E-05
beta*beta	8.463680E-04	beta*a/c*a/t*a/t	1.685095E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	6.966051E-03
a/c*a/c	3.878164E-01	beta*a/t*a/t*a/t	2.514992E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	4.897931E-02
a/t*a/t	8.330429E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	1.046770E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	3.210874E-02
beta*a/c	1.371466E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	3.822347E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.112122E-02
beta*a/t	1.567916E-01	a/c*a/t*a/t*a/t	1.647307E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.569054E-01
a/c*a/t	1.849365E+00	beta*beta*beta*a/c*a/c	-1.368173E-05	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	8.579886E-01
beta*beta*beta	-2.607947E-06	beta*beta*beta*a/c*a/t	3.102057E-06	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.269707E-01
a/c*a/c*a/c	-1.777433E-01	beta*beta*beta*a/t*a/t	1.044519E-04	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.770759E-01
a/t*a/t*a/t	-4.674440E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-6.205194E-04	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	2.067644E-05
beta*beta*a/c	-4.150578E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-2.112762E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-7.648271E-04
beta*beta*a/t	-2.693196E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-4.830339E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.723593E-02
beta*a/c*a/c	-9.409918E-02	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-5.620344E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.276831E-02
beta*a/c*a/t	-7.692916E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-9.063440E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.927288E-02
beta*a/t*a/t	-3.612634E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.477639E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.143185E-01
a/c*a/c*a/t	-2.325828E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.361815E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.035189E-01
a/c*a/t*a/t	-3.196129E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.091964E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.986968E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	2.464073E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.438421E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.173916E-02
beta*beta*beta*a/c	2.480326E-05	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.673368E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.621161E-02
beta*beta*beta*a/t	-5.414298E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.844338E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.375112E-03
beta*beta*a/c*a/c	2.871118E-03	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.865946E-06		

Tablo 4.23. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	7.607417	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c$	0.005754	$a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-29.2262
$\beta$	-0.25135	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t$	0.005317	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	0.000287
$a/c$	-19.528	$\beta^2\beta^2a/t^2a/t$	0.004087	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	0.002276
$a/t$	-20.1641	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	0.28457	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-0.00267
$\beta^2\beta^2$	0.001981	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t$	1.062721	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-0.011
$a/c^2a/c$	20.97908	$\beta^2a/c^2a/t^2a/t$	0.031042	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	0.059461
$a/t^2a/t$	29.29797	$\beta^2a/t^2a/t^2a/t$	0.164354	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	0.544824
$\beta^2a/c$	0.681014	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	23.11875	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-0.2506
$\beta^2a/t$	0.550234	$a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	68.35885	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	6.195427
$a/c^2a/t$	39.90685	$a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-1.19852	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	24.51292
$a/c^2a/c^2a/c$	-8.45084	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	-0.00228	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-0.00028
$a/t^2a/t^2a/t$	-11.3386	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t$	-0.00567	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-0.00054
$\beta^2\beta^2a/c$	-0.00549	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t^2a/t$	0.004918	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	0.008204
$\beta^2\beta^2a/t$	-0.00391	$\beta^2\beta^2a/t^2a/t^2a/t$	-0.00027	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-0.09254
$\beta^2a/c^2a/c$	-0.71668	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c$	-0.03594	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-0.21227
$\beta^2a/c^2a/t$	-0.8924	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-0.45823	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-4.21469
$\beta^2a/t^2a/t$	-0.67964	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-0.64614	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	0.0002
$a/c^2a/c^2a/t$	-51.186	$\beta^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	0.860618	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-0.00133
$a/c^2a/t^2a/t$	-34.0583	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-3.11174	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	0.053829
$a/c^2a/c^2a/c^2a/c$	1.07561	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-40.3309		

Tablo 4.24. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

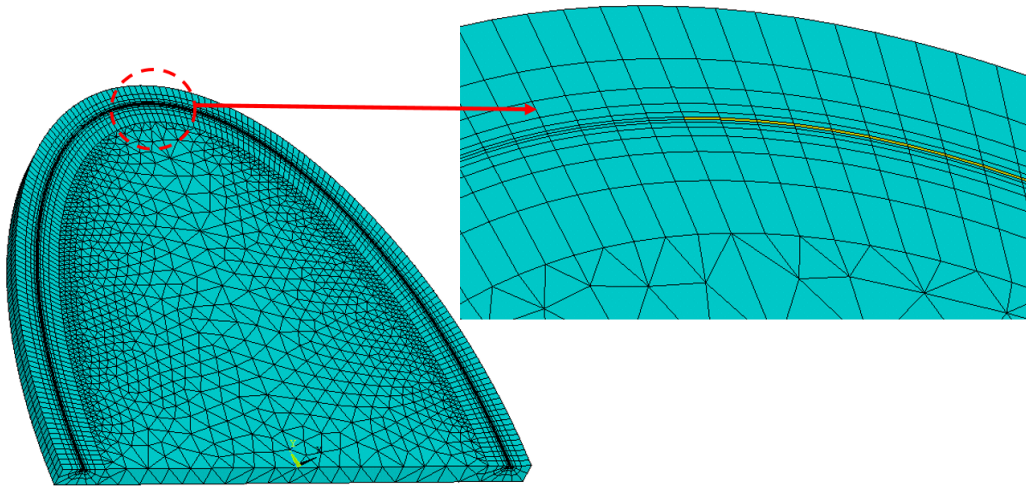
Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-3.184882E-02	beta*beta*a/c*a/t	-1.174862E-02	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/t	-5.140093E-06
beta	-9.592689E-03	beta*beta*a/t*a/t	-3.165298E-03	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t	-5.337436E-06
a/c	1.671046E-01	beta*a/c*a/c*a/c	-3.193031E-02	beta*beta*beta*a/t*a/t*a/t	6.094476E-06
a/t	1.677129E-01	beta*a/c*a/c*a/t	-6.772744E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-5.327890E-05
beta*beta	3.372802E-04	beta*a/c*a/t*a/t	-1.330995E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.154064E-03
a/c*a/c	-2.232377E-01	beta*a/t*a/t*a/t	-1.272709E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.908059E-02
a/t*a/t	-4.290381E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	-4.298470E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.129821E-02
beta*a/c	-7.060819E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	-2.585365E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.198669E-02
beta*a/t	-9.550866E-02	a/c*a/t*a/t*a/t	-1.502228E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-7.246970E-01
a/c*a/t	-8.419831E-01	beta*beta*beta*a/c*a/c	-1.571400E-05	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.267342E+00
beta*beta*beta	-6.713672E-06	beta*beta*beta*a/c*a/t	2.480781E-05	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.395317E-01
a/c*a/c*a/c	1.002057E-01	beta*beta*beta*a/t*a/t	-9.424967E-06	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-7.814124E-01
a/t*a/t*a/t	3.027788E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	3.480438E-04	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	3.271683E-06
beta*beta*a/c	1.556775E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/t	1.336189E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.245686E-04
beta*beta*a/t	1.942753E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	2.726624E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.734338E-02
beta*a/c*a/c	8.249594E-02	beta*beta*a/t*a/t*a/t	2.515997E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.244805E-02
beta*a/c*a/t	5.899810E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	3.913131E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	9.323800E-02
beta*a/t*a/t	1.805503E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	2.622834E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.525604E-01
a/c*a/c*a/t	1.032658E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.724859E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.020737E-01
a/c*a/t*a/t	2.119072E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	9.367728E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.295065E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	-1.361799E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	5.565160E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.516171E-02
beta*beta*beta*a/c	2.036805E-05	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.076695E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-7.291794E-02
beta*beta*beta*a/t	-5.515439E-06	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.854679E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.077622E-03
beta*beta*a/c*a/c	-5.960254E-04	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/c	2.786942E-06		

Tablo 4.25. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-4.015864E+00	beta*beta*a/c*a/c	-4.430207E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.351800E+00
beta	1.338491E-01	beta*beta*a/c*a/t	8.172282E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.619862E-04
a/c	1.161638E+01	beta*beta*a/t*a/t	1.819466E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	6.987606E-03
a/t	-6.490122E+00	beta*a/c*a/c*a/c	-1.600043E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.831754E-02
beta*beta	-1.154763E-03	beta*a/c*a/c*a/t	1.795150E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	9.003836E-03
a/c*a/c	-1.149899E+01	beta*a/c*a/t*a/t	2.414737E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.482217E-01
a/t*a/t	1.249630E+01	beta*a/t*a/t*a/t	2.344914E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.047885E+00
beta*a/c	-4.833152E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	3.197013E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.302324E-02
beta*a/t	1.312694E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	7.103218E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.251187E+00
a/c*a/t	5.069636E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	3.309583E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.234241E+01
a/c*a/c*a/c	3.575598E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.500081E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.106725E-03
a/t*a/t*a/t	-7.718625E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-1.228600E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.062579E-03
beta*beta*a/c	4.437083E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.718464E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.081825E-03
beta*beta*a/t	-3.369810E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-1.701767E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.558678E-01
beta*a/c*a/c	4.834578E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.670986E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.825294E-01
beta*a/c*a/t	-1.336538E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-9.593733E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.127045E+00
beta*a/t*a/t	-3.222892E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.288560E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.385074E-03
a/c*a/c*a/t	-6.293217E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.093139E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.261397E-04
a/c*a/t*a/t	-8.338083E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-4.833669E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.371240E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-3.396827E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.967554E+01		

## 4.2. Çatlak Ucu Derinlik Noktaları ( $\theta=90^\circ$ )

Karışık mod GŞF empirik denklemleri için çatlak ucu serbest yüzey noktaları incelendikten sonra çatlak ucu derinlik yüzey noktası da ele alınmıştır. Şekil 4.2.'de çatlak ucu derinlik noktası, sonlu elemanlar ağ bölüntülenme modeli üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çatlak ucu derinlik noktasını sonlu elemanlar ağ modeli üzerinde gösterimi

### 4.2.1. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak

Bölüm 3.2.'de verilen eksenel gerilmeye maruz eğik çatlaklar için analiz sonuçları kullanılarak empirik denklemler elde edilmiştir. Çatlak ucu derinlik noktasındaki karışık mod GŞF değerleri Minitab [24] programına aktarılarak, denklemlerin kat sayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın eğiklik açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.26.-4.29.'da verilmiştir. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlağın, çatlak ucu derinlik noktasındaki mod-II GŞF değerleri 0 olduğundan dolayı denklem verilmemiştir. Şekil 3.16.'ya bakıldığında  $\theta=90$  derecede mod-II GŞF değerlerinin 0 olduğu gözükmektedir.

Tablo 4.26. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	3.473212E+00	beta*beta*a/c*a/c	1.595216E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.237996E+01
beta	-2.551718E-02	beta*beta*a/c*a/t	2.462541E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.303283E-04
a/c	-6.551095E+00	beta*beta*a/t*a/t	-7.829415E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	3.872458E-03
a/t	-1.173193E+01	beta*a/c*a/c*a/c	8.146412E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.069747E-03
beta*beta	-4.382116E-04	beta*a/c*a/c*a/t	1.066875E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.375353E-02
a/c*a/c	6.785518E+00	beta*a/c*a/t*a/t	1.123088E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	7.408442E-02
a/t*a/t	3.415870E+01	beta*a/t*a/t*a/t	3.399145E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	9.471126E-01
beta*a/c	1.204853E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	2.346053E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	9.857284E-01
beta*a/t	1.067651E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	1.409804E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.093768E+00
a/c*a/t	4.507002E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	7.969449E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.972249E+01
a/c*a/c*a/c	-2.854299E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-8.795742E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-6.119303E-04
a/t*a/t*a/t	-2.268136E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-5.858904E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.836875E-03
beta*beta*a/c	-5.654872E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	1.378301E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	7.437472E-03
beta*beta*a/t	1.655711E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	6.405488E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.363801E-01
beta*a/c*a/c	-1.715704E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.142394E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.178495E-01
beta*a/c*a/t	-6.919276E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.215627E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.311994E+00
beta*a/t*a/t	-1.371976E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.878147E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.658779E-04
a/c*a/c*a/t	-5.388255E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.204819E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.098650E-03
a/c*a/t*a/t	-1.215614E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.154593E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	7.584052E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	3.797918E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-6.056648E+01		

Tablo 4.27. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	5.756271E+00	beta*beta*a/c*a/c	1.726610E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.185107E+01
beta	-1.363924E-01	beta*beta*a/c*a/t	1.004030E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c	7.895687E-05
a/c	-9.590598E+00	beta*beta*a/t*a/t	6.718014E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	3.171873E-03
a/t	-1.675140E+01	beta*a/c*a/c*a/c	8.671265E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.265056E-02
beta*beta	8.518541E-04	beta*a/c*a/c*a/t	1.284776E+00	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	7.154140E-03
a/c*a/c	8.462427E+00	beta*a/c*a/t*a/t	2.727394E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	5.650200E-02
a/t*a/t	4.365379E+01	beta*a/t*a/t*a/t	5.719987E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	7.833477E-01
beta*a/c	2.595542E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	1.961275E+01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.009859E+00
beta*a/t	4.668324E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	1.154603E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.254874E+00
a/c*a/t	5.187379E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	6.911961E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.220185E+01
a/c*a/c*a/c	-3.191141E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-6.429202E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.719996E-04
a/t*a/t*a/t	-2.603462E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-9.003194E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.761801E-03
beta*beta*a/c	-1.880438E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.664981E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.914777E-03
beta*beta*a/t	-3.507232E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-3.417437E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.925518E-02
beta*a/c*a/c	-2.324905E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.069963E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.964616E-01
beta*a/c*a/t	-1.377865E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-4.691983E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.649591E+00
beta*a/t*a/t	-1.036701E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.313838E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.798595E-04
a/c*a/c*a/t	-5.120430E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.356908E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.962603E-04
a/c*a/t*a/t	-1.230224E+02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.440636E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.957849E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	3.981624E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.295275E+01		



Tablo 4.28. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.109890E-02	beta*beta*a/c*a/c	-2.994988E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.323098E-01
beta	-3.656087E-02	beta*beta*a/c*a/t	-9.017159E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-3.829310E-06
a/c	-2.985599E-02	beta*beta*a/t*a/t	-4.986886E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.573209E-04
a/t	-4.595118E-02	beta*a/c*a/c*a/c	4.536319E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-8.812493E-04
beta*beta	3.457107E-04	beta*a/c*a/c*a/t	3.355533E-03	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.402551E-04
a/c*a/c	4.505427E-02	beta*a/c*a/t*a/t	-2.825694E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.424482E-03
a/t*a/t	1.155523E-01	beta*a/t*a/t*a/t	-5.417048E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.207738E-02
beta*a/c	2.311939E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	1.390238E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.554620E-02
beta*a/t	-1.862853E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	5.943775E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.265977E-02
a/c*a/t	1.701550E-01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.265325E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.639390E-01
a/c*a/c*a/c	-2.260262E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c	2.606676E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	4.512227E-05
a/t*a/t*a/t	-7.267222E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t	9.151237E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.624807E-04
beta*beta*a/c	-1.160236E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	1.167970E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.723886E-04
beta*beta*a/t	2.973872E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	5.292473E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.303855E-03
beta*a/c*a/c	-1.269304E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-5.929800E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-8.074099E-03
beta*a/c*a/t	2.109639E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-7.620391E-03	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.356191E-02
beta*a/t*a/t	3.979850E-02	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.831579E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.708355E-05
a/c*a/c*a/t	-2.729773E-01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	7.385642E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.667653E-05
a/c*a/t*a/t	-3.943710E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.021741E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.021819E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	3.263024E-03	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.958740E-01		

Tablo 4.29. Eksenel gerilmeye maruz eğik çatlak ve  $\beta=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-8.692147E-01	beta*beta*a/c*a/c	-3.316637E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.065648E+00
beta	-8.824837E-03	beta*beta*a/c*a/t	-4.636621E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-4.877845E-06
a/c	2.078744E+00	beta*beta*a/t*a/t	-4.028945E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.517709E-04
a/t	5.714173E+00	beta*a/c*a/c*a/c	-8.861458E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.589988E-03
beta*beta	1.829173E-04	beta*a/c*a/c*a/t	-2.855789E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.499867E-03
a/c*a/c	-1.417217E+00	beta*a/c*a/t*a/t	-8.054012E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.125380E-03
a/t*a/t	-9.703932E+00	beta*a/t*a/t*a/t	-2.833559E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.560892E-02
beta*a/c	-5.061209E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	-1.003503E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.502961E-01
beta*a/t	-2.361679E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	-5.102230E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.182138E-01
a/c*a/t	-1.241837E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	-9.516908E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.347563E+00
a/c*a/c*a/c	3.484943E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	7.768679E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.686546E-05
a/t*a/t*a/t	5.327251E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	2.782965E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.138849E-04
beta*beta*a/c	3.873602E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	7.793416E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.936476E-03
beta*beta*a/t	2.157878E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	2.762367E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.308458E-02
beta*a/c*a/c	3.935167E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	5.248584E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.597131E-02
beta*a/c*a/t	5.016093E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	4.881745E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.455149E-01
beta*a/t*a/t	4.299737E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	3.159291E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.761124E-05
a/c*a/c*a/t	6.834907E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	5.447356E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-4.409482E-04
a/c*a/t*a/t	1.784348E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-9.346470E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.476132E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	-2.707387E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.716682E+00		

#### 4.2.2. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak

Bölüm 3.3.'te verilen eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlaklar için analiz sonuçları kullanılarak empirik denklemler elde edilmiştir. Çatlak ucu derinlik noktasındaki karışık mod GŞF değerleri Minitab [24] programına aktarılarak, denklemlerin kat sayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I ve mod-II GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın dönme açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.30.-4.33.'te verilmiştir. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlağın, çatlak ucu derinlik noktasındaki mod-III GŞF değerleri 0 olduğundan dolayı denklem verilmemiştir. Şekil 3.78.'e bakıldığında normalize edilmiş mod-III GŞF değerleri  $\theta=90$  derecede 0 olduğu gözükmemektedir.

#### 4.2.3. Eğilme gerilmeye maruz eğik çatlak

Bölüm 3.4.'te verilen eğilme gerilmeye maruz eğik çatlaklar için analiz sonuçları kullanılarak empirik denklemler elde edilmiştir. Çatlak ucu derinlik noktasındaki karışık mod GŞF değerleri Minitab [24] programına aktarılarak, denklemlerin kat sayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I ve mod-III GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın eğiklik açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.34.-4.37.'de verilmiştir. Eğilme gerilmeye maruz eğik çatlağın, çatlak ucu derinlik noktasındaki mod-II GŞF değerleri 0 olduğundan dolayı denklem verilmemiştir. Şekil 3.138.'e bakıldığında normalize edilmiş mod-II GŞF değerleri  $\theta=90$  derecede 0 olduğu gözükmemektedir.

#### 4.2.4. Eğilme gerilmeye maruz dönmüş çatlak

Bölüm 3.5.'te verilen eğilme gerilmeye maruz dönmüş çatlaklar için analiz sonuçları kullanılarak empirik denklemler elde edilmiştir. Çatlak ucu derinlik noktasındaki karışık mod GŞF değerleri Minitab [24] programına aktarılarak, denklemlerin kat sayıları hesaplanmıştır. Sırasıyla mod-I ve mod-II GŞF denklemlerinin kat sayıları çatlağın dönme açısının 45 dereceden küçük ve 45 dereceden büyük olması durumları için Tablo 4.38.-4.41.'de verilmiştir. Eğilme gerilmeye maruz dönmüş çatlağın, çatlak

ucu derinlik noktasındaki mod-III GŞF değerleri 0 olduğundan dolayı denklem verilmemiştir. Şekil 3.200.'e bakıldığında normalize edilmiş mod-III GŞF değerleri  $\theta=90$  derecede 0 olduğu gözükmemektedir. 45 dereceden küçük mod-I ve mod-II GŞF değerlerinin verdiği 58 katsayılı denklem ile sonlu elemanlar modeli ile elde edilen mod-II ve mod-III GŞF değerleri farkı %10'dur. Bu sebepten dolayı 70 katsayılı denklem Tablo 4.38. ve Tablo 4.40.'da verilmiştir.

Tablo 4.30. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	3.525743E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c$	1.022455E-03	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.130654E+02
beta	-5.882773E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/t$	1.360232E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	4.108763E-05
a/c	-6.105468E+00	$\beta^2 \beta^2 a/t^2 a/t$	-1.306424E-03	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	6.507581E-03
a/t	-1.339994E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	1.583296E-01	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	1.991078E-02
$\beta^2 \beta^2 a$	-3.733365E-04	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	3.377225E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	4.901561E-03
$a/c^2 a/c$	5.690269E+00	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	6.008521E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	1.933000E-01
$a/t^2 a/t$	4.053938E+01	$\beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	7.846626E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	3.167185E+00
$\beta^2 a/c$	2.994633E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	2.202401E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	4.716009E+00
$\beta^2 a/t$	5.346758E-01	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	1.581153E+02	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	8.687525E+00
$a/c^2 a/t$	4.756830E+01	$a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	9.986640E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	4.759798E+01
$a/c^2 a/c^2 a/c$	-2.228353E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-3.694043E-04	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-8.047309E-04
$a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.823434E+01	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-1.648791E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-7.079227E-03
$\beta^2 \beta^2 a/c$	-7.399468E-04	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.645272E-02	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-5.096434E-03
$\beta^2 \beta^2 a/t$	-1.013488E-03	$\beta^2 \beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.068137E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-4.198566E-01
$\beta^2 a/c^2 a/c$	-3.692467E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-2.095501E-02	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.011443E+00
$\beta^2 a/c^2 a/t$	-2.734228E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-1.455020E+00	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-6.283841E+00
$\beta^2 a/t^2 a/t$	-1.191279E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-7.378473E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	7.870720E-04
$a/c^2 a/c^2 a/t$	-5.299278E+01	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-3.878158E+00	$\beta^2 \beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	9.367193E-04
$a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.414115E+02	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.884966E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.656407E-01
$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	2.847962E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-6.607154E+01		

Tablo 4.31. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45\text{-}75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-3.854011E-01	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c$	-1.320513E-03	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	9.347968E+01
$\beta$	4.229064E-02	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/t$	-1.349726E-02	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c$	-5.283726E-05
$a/c$	1.172266E+01	$\beta^2\beta^2 a/t^*a/t$	-4.933508E-03	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-5.173671E-03
$a/t$	2.113229E+01	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c$	-1.051505E-01	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.311909E-02
$\beta^2\beta$	-4.861905E-04	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/t$	-2.240440E+00	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-7.777408E-03
$a/c^*a/c$	-1.512419E+01	$\beta^2 a/c^*a/t^*a/t$	-2.482453E+00	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-1.170682E-01
$a/t^*a/t$	-2.519146E+01	$\beta^2 a/t^*a/t^*a/t$	-3.718297E-01	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-9.382235E-01
$\beta^2 a/c$	-2.460402E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-4.975452E+01	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-1.142375E+00
$\beta^2 a/t$	-5.292749E-01	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.639177E+02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-9.322962E+00
$a/c^*a/t$	-9.578822E+01	$a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-8.178797E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-3.873349E+01
$a/c^*a/c^*a/c$	6.610924E+00	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c$	4.560479E-04	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	6.403663E-04
$a/t^*a/t^*a/t$	1.685922E+01	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/t$	1.350018E-02	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	4.117939E-03
$\beta^2\beta^2 a/c$	1.544740E-03	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/t^*a/t$	1.599485E-02	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	4.455051E-03
$\beta^2\beta^2 a/t$	3.898671E-03	$\beta^2\beta^2 a/t^*a/t^*a/t$	2.791523E-03	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.141956E-01
$\beta^2 a/c^*a/c$	2.628221E-01	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	1.340957E-02	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	3.702998E-01
$\beta^2 a/c^*a/t$	2.054422E+00	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	9.106482E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	5.027762E+00
$\beta^2 a/t^*a/t$	6.093342E-01	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	2.487753E+00	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-4.296140E-04
$a/c^*a/c^*a/t$	1.154041E+02	$\beta^2 a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	1.343452E+00	$\beta^2\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-7.000891E-04
$a/c^*a/t^*a/t$	1.347396E+02	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	6.622876E+00	$\beta^2 a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-3.983808E-02
$a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-8.841107E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	7.039098E+01		

Tablo 4.32. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-9.052809E-02	beta*beta*a/c*a/c	-1.210204E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.163660E+00
beta	-2.489688E-02	beta*beta*a/c*a/t	-2.280311E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-8.575636E-05
a/c	5.016389E-01	beta*beta*a/t*a/t	5.108627E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.289004E-03
a/t	5.187451E-01	beta*a/c*a/c*a/c	-4.333673E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.619118E-03
beta*beta	3.060960E-04	beta*a/c*a/c*a/t	-5.128628E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	5.805210E-03
a/c*a/c	-6.870168E-01	beta*a/c*a/t*a/t	-7.505746E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.700985E-02
a/t*a/t	-9.574346E-01	beta*a/t*a/t*a/t	1.924001E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.086077E-01
beta*a/c	-4.874235E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	-2.038873E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.467678E-02
beta*a/t	4.375987E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	-8.679225E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.746874E-01
a/c*a/t	-3.075163E+00	a/c*a/t*a/t*a/t	-3.513450E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.465952E+00
a/c*a/c*a/c	3.179711E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	6.048263E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	4.768154E-04
a/t*a/t*a/t	5.300391E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	6.154782E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	3.319431E-03
beta*beta*a/c	6.113346E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-2.429305E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.414837E-03
beta*beta*a/t	-1.403466E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-4.248797E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.598216E-02
beta*a/c*a/c	8.899100E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	6.086676E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	5.932261E-02
beta*a/c*a/t	2.622870E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	2.595067E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.460165E-01
beta*a/t*a/t	-2.314125E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	5.285941E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.183936E-04
a/c*a/c*a/t	4.344843E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.828710E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.924794E-04
a/c*a/t*a/t	6.016992E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	2.838690E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.039303E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-4.399735E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.110584E+00		

Tablo 4.33. Eksenel gerilmeye maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.843646E+00	beta*beta*a/c*a/c	-3.645106E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.518469E+01
beta	-9.643699E-02	beta*beta*a/c*a/t	1.176277E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-8.424400E-05
a/c	-1.508787E+00	beta*beta*a/t*a/t	1.621953E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	1.575003E-04
a/t	-1.832447E+01	beta*a/c*a/c*a/c	-6.849540E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	2.035826E-02
beta*beta	9.483689E-04	beta*a/c*a/c*a/t	3.841949E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	2.318375E-02
a/c*a/c	-1.719630E+00	beta*a/c*a/t*a/t	3.080145E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-3.329960E-02
a/t*a/t	4.235568E+01	beta*a/t*a/t*a/t	1.183544E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.172672E-03
beta*a/c	5.470678E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	-9.962989E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	9.123426E-01
beta*a/t	6.840709E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	3.274027E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.587527E+00
a/c*a/t	3.222438E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	4.804447E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.827042E+00
a/c*a/c*a/c	1.663886E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	4.600992E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.527879E-04
a/t*a/t*a/t	-2.979480E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-5.606707E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.469162E-03
beta*beta*a/c	-7.318803E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-3.313297E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.424282E-02
beta*beta*a/t	-6.396638E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-1.137101E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	4.771008E-02
beta*a/c*a/c	7.710660E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.180777E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	6.460502E-02
beta*a/c*a/t	-1.137048E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	9.730506E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.763522E+00
beta*a/t*a/t	-1.688245E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.455199E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.037414E-05
a/c*a/c*a/t	-1.357232E+01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.090764E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.281832E-03
a/c*a/t*a/t	-7.526661E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	6.663187E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-4.488153E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-2.926275E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.232303E+00		



Tablo 4.34 Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	2.834309E+00	$\beta^2 a^2/c^2 a/c$	1.047391E-03	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-5.229883E+01
beta	-2.180804E-02	$\beta^2 a^2/c^2 a/t$	1.984264E-03	$\beta^2 a^2/c^2 a/c^2 a/c$	7.536130E-05
a/c	-3.939263E+00	$\beta^2 a^2 a/t^2 a/t$	-2.708338E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	2.335959E-03
a/t	-8.734752E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	4.791016E-02	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	7.680865E-04
$\beta^2 a^2$	-3.216027E-04	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	6.557909E-01	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-4.981160E-03
$a/c^2 a/c$	3.589989E+00	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	8.742759E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	4.178256E-02
$a/t^2 a/t$	2.019476E+01	$\beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	9.572428E-02	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	5.613301E-01
$\beta^2 a/c$	8.262416E-02	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	1.168685E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	6.797907E-01
$\beta^2 a/t$	1.064045E-01	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	7.503819E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	4.213729E+00
$a/c^2 a/t$	2.396783E+01	$a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	4.748396E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.195286E+01
$a/c^2 a/c^2 a/c$	-1.448788E+00	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-5.287196E-04	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-3.421622E-04
$a/t^2 a/t^2 a/t$	-1.508850E+01	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-4.393340E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.387836E-03
$\beta^2 a^2 a/c$	-4.953384E-04	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	3.353251E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.549172E-03
$\beta^2 a^2 a/t$	5.949175E-04	$\beta^2 a^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	2.655250E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-7.802910E-02
$\beta^2 a/c^2 a/c$	-1.058229E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-6.570267E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-3.204019E-01
$\beta^2 a/c^2 a/t$	-4.881391E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-3.022424E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.902082E+00
$\beta^2 a/t^2 a/t$	-1.783723E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.204194E+00	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	2.574779E-04
$a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.722649E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-4.819387E-01	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-3.689579E-04
$a/c^2 a/t^2 a/t$	-6.682495E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-1.563113E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	4.477309E-02
$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	1.899404E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-3.175649E+01		

Tablo 4.35. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	5.038574E+00	$\beta^2 a^2/c^2 a/c$	1.189129E-03	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-4.030122E+01
beta	-1.188463E-01	$\beta^2 a^2/c^2 a/t$	7.634019E-03	$\beta^2 a^2/c^2 a/c^2 a/c$	4.832847E-05
a/c	-6.706839E+00	$\beta^2 a^2 a/t^2 a/t$	5.956502E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	1.910715E-03
a/t	-1.551543E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	5.054878E-02	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	9.425416E-03
$\beta^2 a^2$	7.355407E-04	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	7.646704E-01	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	7.327087E-03
$a/c^2 a/c$	5.013285E+00	$\beta^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	1.985177E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	2.634654E-02
$a/t^2 a/t$	3.216137E+01	$\beta^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	5.490709E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	4.187526E-01
$\beta^2 a/c$	1.893900E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	9.068932E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	7.558491E-01
$\beta^2 a/t$	4.319032E-01	$a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	6.552666E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	2.428652E+00
$a/c^2 a/t$	3.273905E+01	$a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	5.206675E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	1.261273E+01
$a/c^2 a/c^2 a/c$	-1.695537E+00	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-4.119078E-04	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.054940E-04
$a/t^2 a/t^2 a/t$	-2.260185E+01	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-6.077206E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-2.407264E-03
$\beta^2 a^2 a/c$	-1.423951E-03	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.376022E-02	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-3.965253E-03
$\beta^2 a^2 a/t$	-3.207708E-03	$\beta^2 a^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-3.615783E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-4.131406E-02
$\beta^2 a/c^2 a/c$	-1.489055E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	-5.883878E-03	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-1.799597E-01
$\beta^2 a/c^2 a/t$	-9.621202E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.425774E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	-1.362320E+00
$\beta^2 a/t^2 a/t$	-8.413532E-01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.459783E+00	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	2.055258E-04
$a/c^2 a/c^2 a/t$	-2.705954E+01	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-1.169725E+00	$\beta^2 a^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	5.869391E-04
$a/c^2 a/t^2 a/t$	-7.986720E+01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t$	-1.033451E+00	$\beta^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t^2 a/t$	1.397245E-02
$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/c$	1.985831E-01	$a/c^2 a/c^2 a/c^2 a/t^2 a/t$	-2.159187E+01		

Tablo 4.36 Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	1.198806E-02	beta*beta*a/c*a/c	1.531209E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.310187E-01
beta	-3.870982E-02	beta*beta*a/c*a/t	-7.113149E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-3.528674E-06
a/c	-3.737887E-02	beta*beta*a/t*a/t	1.431041E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.532751E-04
a/t	-6.049617E-02	beta*a/c*a/c*a/c	4.095096E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.011500E-04
beta*beta	3.748827E-04	beta*a/c*a/c*a/t	2.380121E-02	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	3.183575E-04
a/c*a/c	5.128799E-02	beta*a/c*a/t*a/t	5.608775E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.238633E-03
a/t*a/t	1.374334E-01	beta*a/t*a/t*a/t	9.545302E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.435783E-02
beta*a/c	2.655696E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	1.637834E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.950257E-02
beta*a/t	4.926180E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	7.898009E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.187318E-02
a/c*a/t	2.442138E-01	a/c*a/t*a/t*a/t	3.979978E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.467811E-01
a/c*a/c*a/c	-2.442234E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.784095E-05	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	3.748042E-05
a/t*a/t*a/t	-9.703822E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t	4.472347E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.337175E-04
beta*beta*a/c	-1.916005E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-1.378190E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.560188E-04
beta*beta*a/t	-4.327815E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-1.316466E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.229470E-03
beta*a/c*a/c	-1.340537E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-4.848293E-04	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.740541E-02
beta*a/c*a/t	-3.322730E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-9.337425E-03	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.432900E-02
beta*a/t*a/t	-1.703122E-02	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-5.866187E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.799972E-05
a/c*a/c*a/t	-3.433836E-01	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.444559E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.116682E-05
a/c*a/t*a/t	-5.782516E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-2.304473E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.381505E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	3.435063E-03	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.711002E-01		

Tablo 4.37. Eğilme gerilmesine maruz eğik çatlak ve  $\beta=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-III GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-6.771518E-01	beta*beta*a/c*a/c	-3.926843E-04	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.383250E+00
beta	-1.866833E-02	beta*beta*a/c*a/t	-3.262387E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.931636E-05
a/c	1.929904E+00	beta*beta*a/t*a/t	-2.170847E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.028258E-03
a/t	4.232133E+00	beta*a/c*a/c*a/c	-1.955403E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-3.652186E-03
beta*beta	2.783888E-04	beta*a/c*a/c*a/t	-3.351025E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.202105E-03
a/c*a/c	-1.862321E+00	beta*a/c*a/t*a/t	-5.380430E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.364200E-02
a/t*a/t	-6.670638E+00	beta*a/t*a/t*a/t	-1.220683E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.041465E-01
beta*a/c	-3.939521E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	-3.545451E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.240112E-02
beta*a/t	-1.021844E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	-1.019406E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.671664E-01
a/c*a/t	-1.109336E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	-4.898754E+00	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.090610E-01
a/c*a/c*a/c	7.075917E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	1.564914E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.198519E-04
a/t*a/t*a/t	3.115763E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/t	2.945758E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.055465E-03
beta*beta*a/c	2.645384E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	4.972994E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.182530E-03
beta*beta*a/t	7.617913E-04	beta*beta*a/t*a/t*a/t	1.129973E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	9.734168E-03
beta*a/c*a/c	4.988574E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	2.415019E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.827039E-03
beta*a/c*a/t	3.751823E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	1.169192E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.254918E-01
beta*a/t*a/t	2.434293E-01	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	3.791008E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.043128E-04
a/c*a/c*a/t	9.906115E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	2.167152E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.768811E-04
a/c*a/t*a/t	1.448315E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	4.230086E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.446858E-03
a/c*a/c*a/c*a/c	-8.786410E-02	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.824215E+00		

Tablo 4.38. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha=0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	3.041583E+00	$\beta^*\beta^*a/c^*a/t$	5.637154E-02	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	-3.533891E-07
beta	-8.300454E-02	$\beta^*\beta^*a/t^*a/t$	1.512734E-02	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	-2.560676E-05
a/c	-4.516860E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	2.693403E-01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	-6.090854E-05
a/t	-1.115712E+01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	5.000715E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	5.698575E-04
$\beta^*\beta^*$	5.176988E-04	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	8.320050E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	3.579331E-02
$a/c^*a/c$	4.103734E+00	$\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	1.011192E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.644633E-01
$a/t^*a/t$	2.706633E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	1.524323E+01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	7.295965E-02
$\beta^*a/c$	4.468250E-01	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.057142E+02	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	3.107037E-01
$\beta^*a/t$	7.026603E-01	$a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	6.900018E+01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	4.993540E+00
$a/c^*a/t$	3.222617E+01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c$	-4.949002E-07	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	7.142143E+00
$\beta^*\beta^*\beta^*$	4.110431E-06	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/t$	1.184768E-05	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	5.932471E+00
$a/c^*a/c^*a/c$	-1.625804E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/t^*a/t$	7.773387E-05	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	3.304901E+01
$a/t^*a/t^*a/t$	-2.030680E+01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	-4.132317E-03	$\beta^*\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	2.054197E-05
$\beta^*\beta^*a/c$	-6.374107E-03	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t$	-7.796902E-02	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-4.929385E-03
$\beta^*\beta^*a/t$	-6.981960E-03	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.181130E-01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-7.570919E-02
$\beta^*a/c^*a/c$	-5.936171E-01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/t^*a/t^*a/t$	-8.142367E-03	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-1.027574E-01
$\beta^*a/c^*a/t$	-3.771610E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	-3.689335E-02	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-6.839978E-01
$\beta^*a/t^*a/t$	-1.553262E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.268090E+00	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-3.234787E+00
$a/c^*a/c^*a/t$	-3.604281E+01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-1.101527E+01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-4.384619E+00
$a/c^*a/t^*a/t$	-9.338050E+01	$\beta^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-5.405783E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	1.044244E-02
$a/c^*a/c^*a/c^*a/c$	2.103545E-01	$a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t$	-2.020962E+00	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	4.743208E-02
$\beta^*\beta^*\beta^*a/c$	-1.471826E-08	$a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t$	-4.474731E+01	$\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	4.429401E-01
$\beta^*\beta^*\beta^*a/t$	-3.858734E-05	$a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-7.801636E+01	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c^*a/t^*a/t^*a/t$	-6.550365E-03
$\beta^*\beta^*a/c^*a/c$	8.965427E-03	$\beta^*\beta^*\beta^*a/c^*a/c^*a/c$	6.961017E-08		

Tablo 4.39. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha=45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-I GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	3.328733E-01	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c$	-1.177339E-03	$a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	4.749752E+01
$\beta$	2.614270E-02	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t$	-1.106017E-02	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	-5.525308E-05
$a/c$	8.539621E+00	$\beta^2\beta^2a/t^2a/t$	-3.590995E-03	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-5.078382E-03
$a/t$	1.143356E+01	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	-8.743604E-02	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-1.326978E-02
$\beta^2\beta^2$	-3.905758E-04	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t$	-1.836038E+00	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-2.836754E-03
$a/c^2a/c$	-1.164235E+01	$\beta^2a/c^2a/t^2a/t$	-1.717159E+00	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-1.031081E-01
$a/t^2a/t$	-1.475275E+01	$\beta^2a/t^2a/t^2a/t$	-5.870778E-02	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-8.097312E-01
$\beta^2a/c$	-1.856978E-01	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	-3.932572E+01	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-3.781234E-01
$\beta^2a/t$	-3.079692E-01	$a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-1.171584E+02	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-7.080765E+00
$a/c^2a/t$	-7.002577E+01	$a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-3.572928E+01	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-2.109555E+01
$a/c^2a/c^2a/c$	5.209509E+00	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c$	4.450335E-04	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	6.589757E-04
$a/t^2a/t^2a/t$	3.849464E+00	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t$	1.231002E-02	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	5.134958E-03
$\beta^2\beta^2a/c$	1.264235E-03	$\beta^2\beta^2a/c^2a/t^2a/t$	1.300342E-02	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	1.729048E-03
$\beta^2\beta^2a/t$	2.580836E-03	$\beta^2\beta^2a/t^2a/t^2a/t$	8.174472E-04	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	1.047110E-01
$\beta^2a/c^2a/c$	2.097101E-01	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c$	1.144896E-02	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	1.276674E-01
$\beta^2a/c^2a/t$	1.557288E+00	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	7.809741E-01	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	2.833431E+00
$\beta^2a/t^2a/t$	3.815947E-01	$\beta^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	1.956203E+00	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	-6.369104E-04
$a/c^2a/c^2a/t$	8.898242E+01	$\beta^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	4.003141E-01	$\beta^2\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-2.850142E-04
$a/c^2a/t^2a/t$	8.949904E+01	$a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t$	5.303297E+00	$\beta^2a/c^2a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t^2a/t$	-1.378432E-02
$a/c^2a/c^2a/c^2a/c$	-7.052684E-01	$a/c^2a/c^2a/c^2a/t^2a/t$	5.234071E+01		

Tablo 4.40. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 0-45^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta = 90^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	-6.151916E-02	beta*beta*a/c*a/t	1.999298E-03	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/t	1.596115E-07
beta	-2.068368E-02	beta*beta*a/t*a/t	8.785129E-05	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t	-9.812675E-06
a/c	2.631155E-01	beta*a/c*a/c*a/c	-1.450924E-02	beta*beta*beta*a/t*a/t*a/t	-3.455658E-05
a/t	3.555628E-01	beta*a/c*a/c*a/t	-1.588373E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	5.209229E-06
beta*beta	6.566895E-07	beta*a/c*a/t*a/t	1.263081E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	1.016684E-03
a/c*a/c	-3.237088E-01	beta*a/t*a/t*a/t	1.038319E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	9.894620E-03
a/t*a/t	-7.112318E-01	a/c*a/c*a/c*a/t	-8.148215E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	8.076545E-03
beta*a/c	-1.385725E-02	a/c*a/c*a/t*a/t	-3.836704E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.042159E-02
beta*a/t	3.881902E-02	a/c*a/t*a/t*a/t	-1.970733E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.353853E-02
a/c*a/t	-1.527712E+00	beta*beta*beta*a/c*a/c	-1.917684E-06	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.723512E-01
beta*beta*beta	5.011400E-06	beta*beta*beta*a/c*a/t	5.575655E-06	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.250220E-01
a/c*a/c*a/c	1.414890E-01	beta*beta*beta*a/t*a/t	6.161361E-05	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.073757E+00
a/t*a/t*a/t	4.470677E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c	-5.052635E-05	beta*beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	4.208603E-06
beta*beta*a/c	-2.824516E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/t	-2.278645E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.434295E-04
beta*beta*a/t	4.411140E-04	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-8.649731E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.334491E-03
beta*a/c*a/c	3.034403E-02	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-1.037305E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-9.140071E-03
beta*a/c*a/t	7.893063E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.998638E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	2.460426E-03
beta*a/t*a/t	-1.032063E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	7.600887E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-6.427435E-02
a/c*a/c*a/t	1.872778E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-9.359722E-03	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.444457E-01
a/c*a/t*a/t	3.104979E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-2.197399E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	5.950610E-04
a/c*a/c*a/c*a/c	-1.900557E-02	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.091079E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	3.987536E-03
beta*beta*beta*a/c	2.286964E-06	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	1.676400E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	8.269209E-03
beta*beta*beta*a/t	-3.468362E-05	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	2.448955E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.436912E-04
beta*beta*a/c*a/c	1.881250E-04	beta*beta*beta*a/c*a/c*a/c	2.861373E-07		

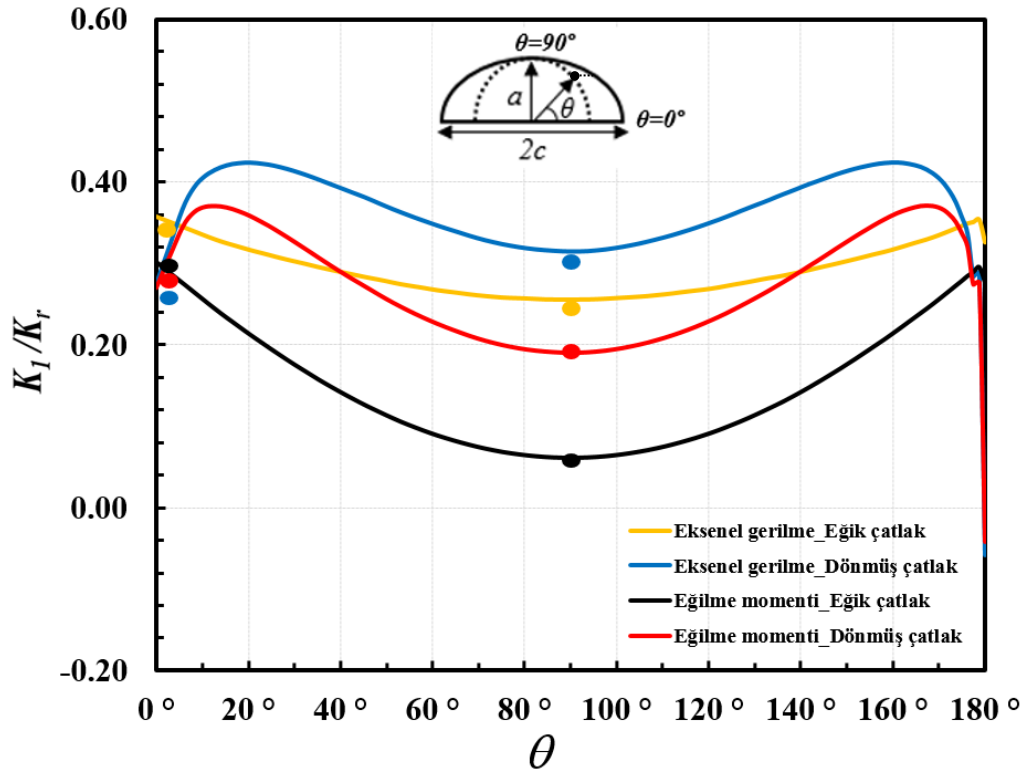
Tablo 4.41. Eğilme gerilmesine maruz dönmüş çatlak ve  $\alpha = 45-75^\circ$  için, serbest yüzey noktasında ( $\theta=90^\circ$ ) mod-II GŞF denklemi.

Terim	Katsayı	Terim	Katsayı	Terim	Katsayı
sabit	8.913436E-01	beta*beta*a/c*a/c	-1.118222E-03	a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.256588E+00
beta	-6.256260E-02	beta*beta*a/c*a/t	5.115016E-03	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c	-1.129267E-04
a/c	1.057647E+00	beta*beta*a/t*a/t	1.118798E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t	-1.935296E-03
a/t	-9.461633E+00	beta*a/c*a/c*a/c	-9.716147E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t	1.009044E-02
beta*beta	6.573469E-04	beta*a/c*a/c*a/t	-3.042820E-01	beta*beta*a/c*a/t*a/t*a/t	1.571800E-02
a/c*a/c	-4.138258E+00	beta*a/c*a/t*a/t	1.753798E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	-5.683005E-02
a/t*a/t	2.712972E+01	beta*a/t*a/t*a/t	7.887375E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-2.371589E-01
beta*a/c	-3.635584E-02	a/c*a/c*a/c*a/t	-6.996857E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	4.272812E-01
beta*a/t	3.998776E-01	a/c*a/c*a/t*a/t	8.438872E+00	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.735078E+00
a/c*a/t	1.168837E+01	a/c*a/t*a/t*a/t	2.841809E+01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-5.249848E+00
a/c*a/c*a/c	2.486229E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c	7.180757E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	3.793352E-04
a/t*a/t*a/t	-1.882288E+01	beta*beta*a/c*a/c*a/t	6.594761E-04	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-7.087687E-04
beta*beta*a/c	6.456896E-05	beta*beta*a/c*a/t*a/t	-2.074214E-02	beta*beta*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-8.982075E-03
beta*beta*a/t	-4.080494E-03	beta*beta*a/t*a/t*a/t	-7.956041E-03	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	6.272276E-02
beta*a/c*a/c	1.622066E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/c	1.494550E-02	beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.053433E-01
beta*a/c*a/t	-3.888890E-01	beta*a/c*a/c*a/c*a/t	3.210033E-01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.268280E+00
beta*a/t*a/t	-1.118894E+00	beta*a/c*a/c*a/t*a/t	-4.226906E-01	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	-1.735692E-04
a/c*a/c*a/t	5.051972E+00	beta*a/c*a/t*a/t*a/t	-1.302074E+00	beta*beta*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	1.386007E-03
a/c*a/t*a/t	-4.185235E+01	a/c*a/c*a/c*a/c*a/t	1.292161E+00	beta*a/c*a/c*a/c*a/c*a/t*a/t*a/t	-3.572246E-02
a/c*a/c*a/c*a/c	-3.834535E-01	a/c*a/c*a/c*a/t*a/t	7.020755E+00		

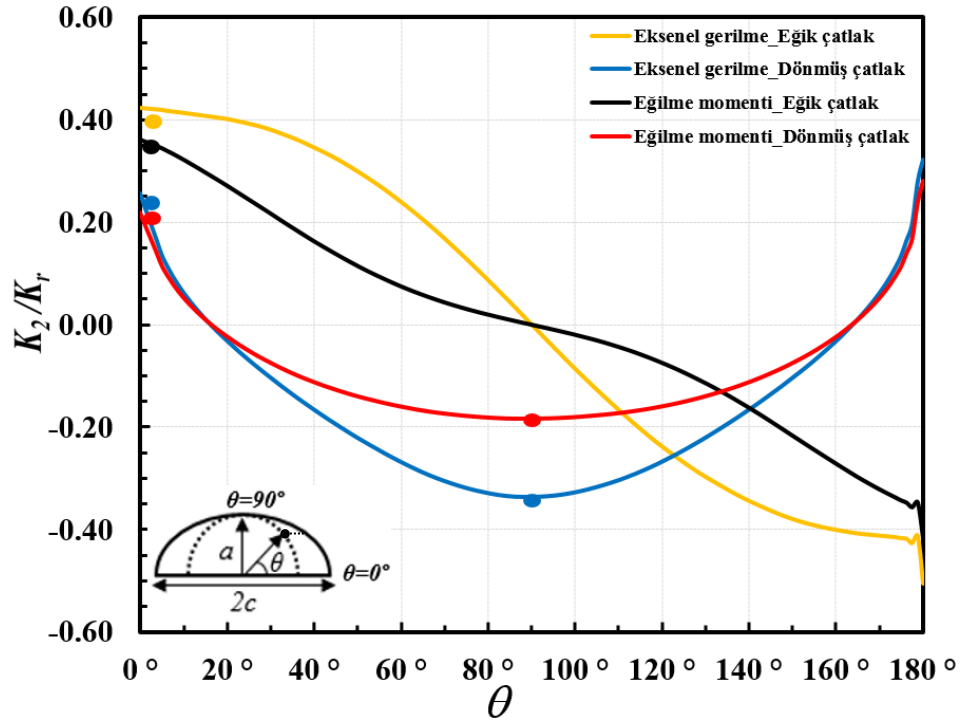


### 4.3. Empirik Denklemler Doğrulama Çalışması

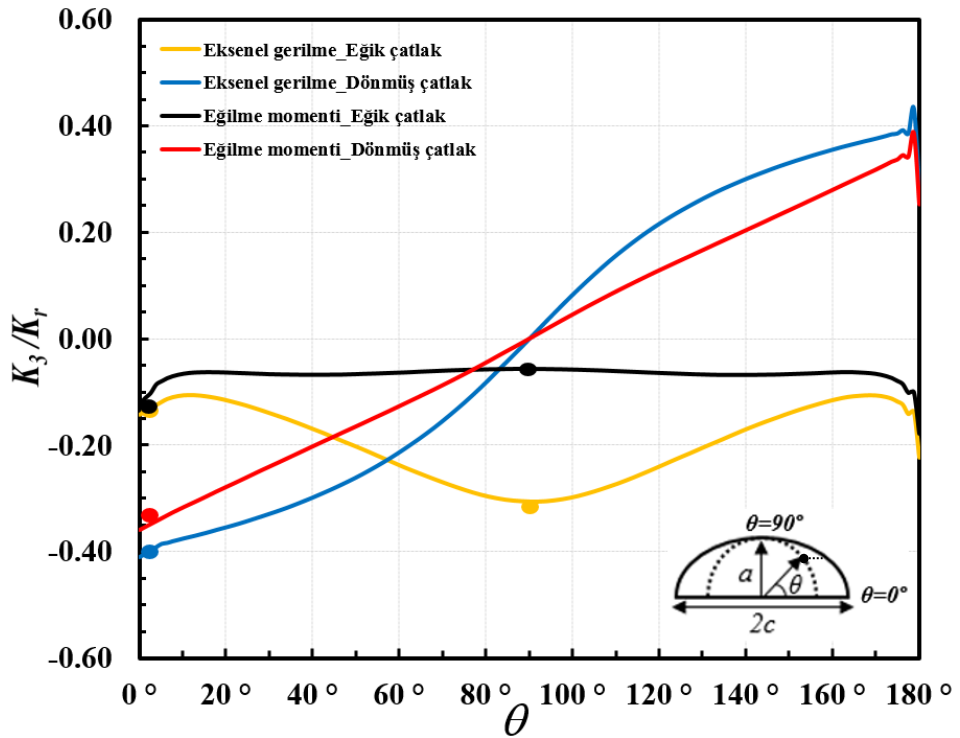
Çatlak ucu serbest yüzey ve derinlik noktası için oluşturulan empirik denklemler verilmiştir. Eksenel gerilme ve eğilme momentine maruz eğik ve dönmüş çatlaklar için verilen empirik denklemler sonuularının, analiz kütüphanesinde olmayan  $a/c=1.5$ ,  $a/t=0.5$ , çatlakın yatay eksenle yaptığı açı ( $\alpha$  ve  $\beta=54^\circ$ ) ara değerleri uygulanarak karışık mod analiz sonuularıyla karşılaştırılması Şekil 4.6.-4.8.'de verilmiştir. Çatlak ucu serbest yüzey noktası  $\theta=0^\circ$  ve derinlik noktası  $\theta=90^\circ$  noktaları için mod-I, mod-II ve mod-III sonuuları arasındaki farkın %5'in altında olduğu görülmektedir. Böylece, geliştirilen denklemlerin doğruluğu, denklemlerin geliştirilmesinde yer almayan ve ara değerler içeren farklı bir durum için ispatlanmış bulunmaktadır.



Şekil 4. 6. Farklı yükler altında normalize edilmiş mod-I gerilme şiddet faktörlerinin çatlak ucu boyunca dağılımları ve serbest yüzey ve derinlik noktalarında empirik denklemler sonuularını karşılaştırmaları;  $a/c=1.5$ ,  $a/t=0.5$ ,  $\beta$  ve  $\alpha=54^\circ$ .



Şekil 4. 7. Farklı yükler altında normalize edilmiş mod-II gerilme şiddet faktörlerinin çatlak ucu boyunca dağılımları ve serbest yüzey ve derinlik noktalarında empirik denklem sonuçları ile karşılaştırmaları;  $a/c=1.5$ ,  $a/t=0.5$ ,  $\beta$  ve  $\alpha=54^\circ$ .



Şekil 4. 8. Farklı yükler altında normalize edilmiş mod-III gerilme şiddet faktörlerinin çatlak ucu boyunca dağılımları ve serbest yüzey ve derinlik noktalarında empirik denklem sonuçları ile karşılaştırmaları;  $a/c=1.5$ ,  $a/t=0.5$ ,  $\beta$  ve  $\alpha=54^\circ$ .

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Pratikte sıklıkla görülen değişik yükler altında bulunan ve çatlak içeren levha türü yapılar ile karşılaşılmaktadır. Bir çok problem lokal olarak levha problemine indirgenebilmektedir. Böylece bu tez kapsamında, aksenal gerilmeye veya eğilme momentine maruz levhalardaki eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarına ait üç boyutlu karışık modlu gerilme şiddet faktörleri hesaplamaları sonlu elemanlar yazılımı FCPAS ile hesaplanarak geniş bir gerilme şiddet faktör kütüphanesi sunulmuştur. Oluşturulan kütüphanede çatlak derinliği/levha et kalınlığı ( $a/t$ ), çatlak derinliği/çatlak genişliği ( $a/c$ ), eğik ve dönmüş eliptik çatlağın yatay eksenle yaptığı açı gibi parametrelerin değişiminin gerilme şiddet faktörlerine etkileri incelenmiştir. Bu parametre değişimlerinin gerilme şiddet faktörlerinin etkilerine ek olarak , çatlak şekil oranı (sabit  $a/c$  değeri için  $a/t$  değerlerinin değişimi) ve derinlik oranı (sabit  $a/t$  değeri için  $a/c$  değerlerinin değişimi) için bağımsız grafiklerle karşılaştırılmaları verilmiştir.

Yüzlerce farklı durum için verilen grafiksel çözümler oldukça faydalı olmakla beraber, hem analizi yapılan parametre değerlerinde hem de özellikle problem tanımlayan parametrelerin ara değerlerinde GŞF tahmini gerektiğinde, grafikten okumak veya interpolasyon yapmak yerine, hazır halde bulunan denklemlerin kullanılması oldukça istenen bir durumdur. Bu amaçla, bu tez kapsamında elde edilen çözümlerin pratikte daha yaygın kullanılabilmesi amacıyla, yapılan detaylı analizler sonucu elde edilen gerilme şiddet faktörleri için, probleme etki eden parametrelere bağlı olarak empirik denklemler de geliştirilmiştir.

Tez çalışmasında, aksenal ve eğilme gerilmesine maruz levhalardaki eğik ve dönmüş çatlaklar için 120'şer adet analiz ile, toplamda 480 adet analiz yapılmıştır. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Aksenal gerilmeye veya eğilme momentine maruz levhalarda eğik veya dönmüş yüzey çatlaklarda,  $a/c$  oranı sabit tutulduğunda  $a/t$  oranı arttıkça, mod-I GŞF değeri artar. Mod-I gerilme değerinin en yüksek olduğu açı 0 derecedir. Eğiklik açısı  $\beta$  veya dönme açısı  $\alpha$  arttıkça, çatlak önü boyunca mod-I GŞF değerleri azalmaktadır.
2. Aksenal gerilmeye veya eğilme momentine maruz levhalarda eğik ve dönmüş yüzey çatlaklarda, çatlağın yatay eksenle yaptığı  $\beta$  ve  $\alpha$  dereceleri, 0 olduğunda  $K_2$  ve  $K_3$  değeri 0'dır. Aksenal gerilmeye ya da eğilme momentine maruz levhalarda eğik yüzey çatlaklarda, birbirlerini 90 dereceye tamamlayan 15 ve 75 ile 30 ve 60 derece eğik açılı düzlemlerdeki yüzey çatlaklarının mod-II ve mod-III değerleri aynıdır.
3. Özellikle eğilme gerilmesine maruz levhalarda bulunan ve normalize edilmiş çatlak derinliği büyük olan dönmüş ve eğik yüzey çatlaklarının derinlik bölgelerinde çatlak yüzeyleri teması oluşmakta ve temas mekaniğinin modellenmediği bu bölgeler için mod-I gerilme şiddet faktörleri negatif değerler olarak hesaplanmaktadır.

İki farklı nokta için oluşturulan denklem sisteminde, analiz sonuçları ile denklemler kullanılarak tahmin edilen değerler arasındaki fark en fazla %5'tir.

## KAYNAKLAR

- [1] Yayla, P., Kırılma Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2007.
- [2] Aran, A., Kırılma Mekaniğine Giriş Seminer Notları.
- [3] Gdoutos. E.E., Fracture Mechanics, Springer, 2005.
- [4] C.T. SUN., & Z. -H. JIN Fracture Mechanics, Academic Press, 2012
- [5] Gross. D., & Seeling. T., Fracture mechanics, Springer, 2011.
- [6] Ayhan, A.O., Mixed mode stress intensity factors for deflected and inclined surface cracks in finite-thickness plates. *Engineering fracture mechanics*, 71(7-8), 1059-1079, 2004.
- [7] Shah, R. C., & Kobayashi, A. S. Stress intensity factors for an elliptical crack approaching the surface of a semi-infinite solid. *International Journal of Fracture*, 9(2), 133-146, 1973.
- [8] Liao, C. Y., & Atluri, S. N. Stress intensity factor variation along a semicircular surface flaw in a finite-thickness plate. *Engineering fracture mechanics*, 34(4), 957-976, 1989.
- [9] Guozhong, C., Kangda, Z., & Dongdi, W. Analyses of embedded elliptical cracks in finite thickness plates under uniform tension. *Engineering fracture mechanics*, 54(4), 579-588, 1996.
- [10] Frangi, A., Novati, G., Springhetti, R., & Rovizzi, M. 3D fracture analysis by the symmetric Galerkin BEM. *Computational Mechanics*, 28(3-4), 220-232, 2002.
- [11] Livieri, P., & Segala, F. Stress intensity factors for embedded elliptical cracks in cylindrical and spherical vessels. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 86, 260-266, 2016.
- [12] Raju, I. S., & Newman Jr, J. C. Stress-intensity factors for a wide range of semi-elliptical surface cracks in finite-thickness plates. *Engineering fracture mechanics*, 11(4), 817-829, 1979.

- [13] Wang, X., & Lambert, S. B. Stress intensity factors for low aspect ratio semi-elliptical surface cracks in finite-thickness plates subjected to nonuniform stresses. *Engineering Fracture Mechanics*, 51(4), 517-532, 1995.
- [14] Ayhan, A. O., & Nied, H. F. Stress intensity factors for three-dimensional surface cracks using enriched finite elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 54(6), 899-921, 2002.
- [15] Ayhan, A. O. Mixed mode stress intensity factors for deflected and inclined corner cracks in finite-thickness plates. *International Journal of Fatigue*, 29(2), 305-317, 2007.
- [16] Uslu, M., Demir, O., & Ayhan, A. O. Surface cracks in finite thickness plates under thermal and displacement-controlled loads–Part 2: Crack propagation. *Engineering Fracture Mechanics*, 115, 255-269, 2014.
- [17] Okada, H., Koya, H., Kawai, H., Li, Y., & Osakabe, K. Computations of stress intensity factors for semi-elliptical cracks with high aspect ratios by using the tetrahedral finite element (fully automated parametric study). *Engineering Fracture Mechanics*, 158, 144-166, 2016.
- [18] Coules, H. E. Stress intensity interaction between dissimilar semi-elliptical surface cracks. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 146, 55-64, 2016.
- [19] Ayhan, A.O., 217M690 nolu TÜBİTAK projesi sonuç raporu, 2019.
- [20] Moaveni, S.A., Ayhan, A.O., Sonlu Elemanlar Analizi Teori ve ANSYS ile uygulamalar, Dördüncü baskıdan Türkçe Çeviri Palme Yayıncılık, 2015.
- [21] ANSYS, Version 12.0. ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA, 2009.
- [22] Cherepanov, G. P. (1979). Mechanics of brittle fracture.
- [23] Nikishkov, G. P., & Atluri, S. N. Calculation of fracture mechanics parameters for an arbitrary three-dimensional crack, by the ‘equivalent domain integral’ method. *International journal for numerical methods in engineering*, 24(9), 1801-1821, 1987
- [24] Minitab, I. MINITAB release 17: statistical software for windows. *Minitab Inc, US*, 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

Hakan ŞAHİN, 01.01.1994 de Malatya'da doğdu. İlkokul eğitimini Malatya'da, ortaokul eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2012 yılında Çiftlikköy Atatürk Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2017 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Makina Tasarım ve İmalat Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2018-2019 yılları arasında Prof. Dr. Ali Osman AYHAN tarafından yürütülen Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi (FCPAS) – Aşama 3 adlı ve 217M690 kod numaralı TÜBİTAK destekli araştırma projesinde bursiyer proje asistanı olarak çalıştı. Bu süre içerisinde çeşitli kırılma analizleri gerçekleştirdi.