

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

**ANSYS™ VE FCPAS KULLANARAK
PLAKALARDAKİ KIRILMA VE ÇATLAK İLERLEME
PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mahmut USLU

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

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANSYS™ VE FCPAS KULLANARAK
PLAKALARDAKİ KIRILMA VE ÇATLAK İLERLEME
PROBLEMLERİNİN MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mahmut USLU

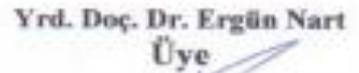
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 14 / 06 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ali Osman AYHAN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Kenan GENEL
Üye


Yrd. Doç. Dr. Ergün Nart
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı büyük bir titizlikle yöneten çalışma süresince her türlü fedakarlığı gösteren yüksek bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Ali Osman AYHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Tez ve proje çalışmalarım kapsamında fikir ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ergün NART'a ve çalışmalarımı finansal olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

OMMI (Operation Maintenance and Materials Issues) ve yayıncısı European Technology Development Ltd. UK tarafından OMMI'nin online telif hakkında belirttiği gibi (<http://www.ommi.co.uk>), M. Reytier verilerinin kullanılabilmesi ve tekrar yayınlanabilmesi izni olduğu için bu çalışmada, plakada çatlak ilerleme analizi gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen çatlak ilerleme profillerinin karşılaştırılmasında deneysel çalışmalarını referans olarak kullandığım OMMI ve M. REYTIER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın tüm döneminde benden her türlü maddi manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme, sabrı benden esirgemeyen nişanlım Leyla ERDOĞANOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu tezin hazırlanmasında katkılarından dolayı proje arkadaşım Cihan KURTİŞ, Gökhan ATALI ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xxii
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY.....	xxiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Kırılma Mekanizmasının Tanımı Ve Gelişimi	1
1.2. Kırılma modelleri.....	3
1.2.1. Çatlak Açılma Deformasyon Tipi(Mode I)	3
1.2.2. Çatlak Kayma Deformasyon Tipi (Mode II)	3
1.2.3. Çatlak Yırtılma Deformasyon Tipi (Mode III)	3
1.3. Kırılma Analizlerinde Gerilme Şiddet Faktörü ve Elde Etme Metotları.....	4
1.3.1. Teorik Metotlar	5
1.3.2. Nümerik Metotlar	6
1.3.3. Deneysel Metotlar.....	8
1.4. Üç Boyutlu Kırılma Analizlerinin Önemi ve İhtiyacı	8
1.4.1. Newman-Raju Denklemleri [32] Kullanılarak $a/c < 1$ Olduğu Durumlarda K_I Gerilme Şiddet Faktörü Elde Etme Metodu.....	11
1.4.2. Newman-Raju Denklemleri [32] Kullanılarak $a/c > 1$ Olduğu Durumlarda K_I Gerilme Şiddet Faktörü Elde Etme Metodu.....	13
1.5. Üç Boyutlu Kırılma Mekanizması Literatür Çalışmaları	16

BÖLÜM 2.

ANSYS™ ve FCPAS KULLANARAK PLAKALAR İÇİN KIRILMA

MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI ve ÇÖZÜMÜ

18

2.1. Giriş...	18
2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	18
2.3. Ansys™ Paket Programına Giriş.....	20
2.4. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması	21
2.5. Farklı Eğilme Yükü Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması.....	27
2.6. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması.....	31
2.7. Farklı Eğilme Yükü Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması.....	34
2.8. FCPAS (Fracture & Crack Propagation Analysis System) Programı	36
2.9. Örnek Uygulama.....	37
2.9.1. Değişik Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelinin Parametrik Makro İle Oluşturulması ve FCPAS Ara Yüzü ile Çözümü ($a/c=0.2$, $a/t=0.2$)	38
2.9.2. Değişik Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelinin Parametrik Makro İle Oluşturulması ve FCPAS Ara Yüzü ile Çözümü ($a/c=0.2$, $a/t=0.2$).....	50
2.10. Plakalardaki Eliptik Yüzey ve Köşe Çatlak Modeli Çözümlerinin Geçerliliği.....	51
2.10.1. Üniform Yayılı Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlak İçeren Plaka Modelleri ve Çözümlerinin Geçerliliği.....	52
2.10.2. Yayılı Eğilme Yükü Altında Eliptik Yüzey Çatlak İçeren Plaka Modelleri ve Çözümlerinin Geçerliliği.....	59
2.10.3. Üniform Yayılı Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Çözümlerinin Geçerliliği.....	63
2.10.4. Yayılı Eğilme Yükü Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Çözümlerinin Geçerliliği.....	68

BÖLÜM 3.

ÇEKME, TERMAL ve DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKE MARUZ KALAN PLAKALARDAKİ ÜÇ BOYUTLU ÇATLAKLAR İÇİN GERİLME ŞİDDET FAKTÖRLERİ.....	71
3.1. Giriş.....	72
3.2. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi.....	72
3.3. Farklı Eğilme Yükleri Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi.....	82
3.4. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi.....	90
3.5. Farklı Eğilme Yükleri Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi.....	100

BÖLÜM 4.

DEĞİŞİK YAYILI ve DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKE MARUZ PLAKALARDA ÜÇ BOYUTLU ÇATLAK İLERLEME ANALİZLERİ.....	108
4.1. Giriş.....	108
4.2. Çatlak İlerleme Modeli.....	110
4.3. Çatlak Profillerine En Uygun Elips Uydurma Yöntemi (Best_Ellipse_Fit).....	111
4.3.1. Simetrik Çatlak İlerlemesi	112
4.3.1.1. Genel Elips Denkelem.....	112
4.3.1.2. Elips Uydurulması İstenen Çatlak Ucu Düğüm Noktaları Koordinat Değerleri.....	113
4.3.1.3. Elips Uydurma İşlem Sonucu Elde Edilen Elips Boyutları.....	113
4.3.1.4. Elips Uydurma Metodu.....	114
4.3.1.5. Örnek Uygulama	115

4.3.2. Simetrik Olmayan Çatlak İlerlemesi.....	116
4.3.2.1. Merkezi Ötelenmiş ve Yatay Eksenle β Açısı Yapmış Genel Elips Denklemi.....	116
4.3.2.2. Elips Uydurulması İstenen Çatlak Ucu Düğüm Noktaları Koordinat Değerleri.....	117
4.3.2.3. Elips Uydurma İşlem Sonucu Elde Edilen Elips Boyutları.....	117
4.3.2.4. Elips Uydurma Metodu.....	118
4.3.2.5. Örnek Uygulama	120
4.4. Farklı Yükler Altında Bulunan Plakalar İçin Çatlak İlerleme Analizleri.....	121
4.4.1. Üniform Yayılı Yük ve Üniform Deplasman Yükü Altındaki Plakalar İçin Çatlak İlerleme Analizi	121
4.4.1.1. Örnek Uygulama: Üniform Deplasman Yükü Altında Plaka Çatlak İlerleme Analizi ($a/c=0.2$, $a/t=0.05$)... ..	124
4.4.1.2. Örnek Uygulama: Üniform Yayılı Yük Altında Plaka Çatlak İlerleme Analizi ($a/c=0.2$, $a/t=0.05$)... ..	127
4.4.2. Yayılı Eğilme Yükü ve Deplasman Eğilme Yükü Altındaki Plakalar İçin Çatlak İlerleme Analizi	141
4.4.2.1. Yayılı eğilme yükü altında plaka çatlak ilerleme analizi ve geçerliliği.....	142
4.4.2.2. Örnek Uygulama: Yayılı Eğilme Yükü Altında Plaka Çatlak İlerleme Analizi ($a/c=0.2$, $a/t=0.05$).....	145
4.4.2.3. Örnek Uygulama: Yayılı Eğilme Yükü Altında Plaka Çatlak İlerleme Analizi ($a/c=0.2$, $a/t=0.05$).....	145
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMA	159
5.1. Sonuçlar.....	159
KAYNAKLAR.....	
ÖZGEÇMİŞ	164

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

K1	: Mod I yükü altında gerilme şiddet faktörü
K2	: Mod II yükü altında gerilme şiddet faktörü
K3	: Mod III yükü altında gerilme şiddet faktörü
K_t	: Gerilme yığılma katsayısı
a	: Çatlak derinliği
c	: Çatlak genişliği
t	: Levha kalınlığı
Q	: Şekil faktörü
$F(a/c, a/t, \varphi)$: Düzeltme faktörü
σ_{\max}	: Parçada oluşan maksimum gerilme
ρ	: Elips değişken yarıçapı
σ	: Parçaya uygulanan gerilme
σ_b	: Eğilme zorlanması
σ_t	: Basma zorlanması
φ	: Parametrik çatlak ucu açısı
P	: Sütun matris olup dış kuvvetlerin tamamını
K	: Sistemin toplam katılık (direngenlik) matrisi
U	: r, θ , z yönündeki düğüm yer değiştirmelerini
W	: Plaka yarı genişliği
H	: Plaka yarı uzunluğu
t	: Plaka et kalınlığı
σ_0	: Lineer Gerilme
M	: Eğilme Momenti
Δ_{\max}	: Çatlak ucu boyunca bir adımdaki maksimum ilerleme miktarı
E	: Elastisite modülü
ν	: Poisson oranı
K_N	: Normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü

σ^T	: Termal yük gerilme
ε^T	: Termal yük birim şekil değişimi
α	: Isı iletim katsayısı
σ^D	: Deplasman yükü gerilmesi
ε^D	: Deplasman yükü birim şekil değişimi
ΔL	Silindir boyundaki değişim
L	: Silindir boyu
C	: Malzeme sabiti
n	: Malzeme sabiti
da	: Belli bir çevrim sayısındaki çatlak ilerlemesi
N	: Çevrim sayısı
ΔK	: Gerilme şiddet faktörü genliği
i	: Çatlak ucu boyunca eleman sayısı
FCPAS	: Fracture and crack propagation analysis system (Kırılma ve çatlak ilerleme analiz sistemi)
3DCPP&C	: Three dimensional crack propagation in plates and cylinders (Plaka ve silindirlerde üç boyutlu çatlak ilerlemesi)
Crack_lesize	: Çatlak Ucu Boyunca Eleman Sayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Kırılma örnekleri; (a) liberty gemileri-ikinci dünya savaşı, 1941-1945, [1] b) aloha havayollari uçuş 243, nisan 28, 1988, [2].....	1
Şekil 1.2.	Kırılma modelleri a) mode i tipi b) mode ii tipi c) mode iii tipi...	4
Şekil 1.3.	Green fonksiyonu süperpozisyon ilkesi	6
Şekil 1.4.	Eliptik çatlak açılmış numune	11
Şekil 2.1.	Farklı üniform yükler altında eliptik yüzey çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a) üniform yayılı yük b)üniform termal yük c)üniform deplasman yükü.....	23
Şekil 2.2.	Makro1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli.....	25
Şekil 2.3.	Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka çatlak bölgesi hassas bölüntü gösterimi ($a/c=0.2$, $a/t=0.2$).....	25
Şekil 2.4.	Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli, bölüntü, yükler ve sınır şartlari($a/c=0.4$, $a/t=0.4$).....	26
Şekil 2.5.	Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli, bölüntü, yükler ve sınır şartlari ($a/c=1$, $a/t=0.6$).....	26
Şekil 2.6.	Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a)yayılı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü.....	28
Sekil 2.7.	Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlağı içeren $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a)yayılı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü.....	31
Şekil 2.8.	Farklı üniform yükler altında eliptik köşe çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli a)üniform yayılı yük b)üniform termal yük c)üniform deplasman yükü.....	33
Sekil 2.9.	Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli a)yayılı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü.....	35

Şekil.2.10.	Fcpas ana formu.....	39
Şekil.2.11.	Analiz için gerekli dosyaların bulunduğu çalışma klasörünün seçilmesi.....	40
Şekil 2.12.	Fcpas geo file dosyasi oluşturma dosya seçimi	41
Şekil 2.13.	Fcpas geo file sekmesi.....	41
Şekil 2.14.	Fcpas run file sekmesi.....	42
Şekil 2.15.	Fcpas fracture analysis sekmesi.....	43
Şekil 2.16.	Fcpas frac3d çözümü.....	44
Şekil 2.17.	Fcpas fracture info sekmesi dosya seçimi.....	45
Şekil 2.18.	Fcpas fracture info sekmesi k1,k2,k3 grafiksel gösterimi.....	45
Şekil 2.19.	Fcpas post processing sekmesi.....	46
Şekil 2.20.	Fcpas visulation sekmesi.....	47
Şekil 2.21.	Fcpas visulation sekmesinde gerilme dağılımının gösterilmesi.....	47
Şekil 2.22.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi a) crack lesize=80 b) crack lesize=160, yüzey çatlağı (a/c=0.2 - a/t=0.2,0.4,0.5)	52
Şekil 2.23.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı (a/c=0.2 - a/t=0.6,0.8)	53
Şekil 2.24.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı (a/c=0.4 - a/t=0.2,0.4).....	53
Şekil 2.25.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı (a/c=0.4 - a/t=0.5).....	54
Şekil 2.26.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı (a/c=0.4 - a/t=0.6,0.8).....	54
Şekil 2.27.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi , yüzey çatlağı (a/c=1 - a/t=0.2,0.4).....	55

Şekil 2.28.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.5$).....	55
Şekil 2.29.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$).....	56
Şekil 2.30.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.2$).....	56
Şekil 2.31.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.4$).....	57
Şekil 2.32.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.5$).....	57
Şekil 2.33.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.6$).....	58
Şekil 2.34.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.8$).....	58
Şekil 2.35.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.2,0.4$).....	59
Şekil 2.36.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=0.4 - a/t=0.2,0.4,0.5$).....	60
Şekil 2.37.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.2,0.4,0.5$).....	60
Şekil 2.38.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$).....	61

Şekil 2.39.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.2,0.4,0.5$).....	61
Şekil 2.40.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.6,0.8$).....	62
Şekil 2.41.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.2,0.4,0.5$).....	63
Şekil 2.42.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=0.4 - a/t=0.2,0.4$).....	63
Şekil 2.43.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=0.4 - a/t=0.5$).....	64
Şekil 2.44.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.2,0.4$).....	64
Şekil 2.45.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.5$).....	65
Şekil 2.46.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$).....	65
Şekil 2.47.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.2$).....	66
Şekil 2.48.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.4$).....	66
Şekil 2.49.	Üniform yayıllı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlakları ($a/c=2 - a/t=0.5$)	67

Şekil 2.50.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklığı ($a/c=2 - a/t=0.6$).....	67
Şekil 2.51.	Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklığı ($a/c=2 , a/t=0.8$)	68
Şekil 2.52.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklığı ($a/c=1 - a/t=0.2,0.4,0.5$)	69
Şekil 2.53.	Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklığı ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$).....	69
Şekil 3.1.	Farklı üniform yükler altında eliptik yüzey çatlaklığı içeren tam ve $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a) üniform yayılı yük b)üniform termal yük c)üniform deplasman yükü	73
Şekil 3.2.	Üniform termal yük ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlaklığı ($a/c=0.2 - a/t=0.2$).....	74
Şekil 3.3.	Üniform termal yük ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlaklığı ($a/c=0.2 - a/t=0.4$).....	74
Şekil 3.4.	Üniform termal yük ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü , yüzey çatlaklığı ($a/c=0.2 - a/t=0.6$).....	75
Şekil 3.5.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlaklığı ($a/c=0.2 - a/t=0.2, .4,0.5$).....	75
Şekil 3.6.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlaklığı ($a/c=0.2 - a/t=0.6, .8$).....	76
Şekil 3.7.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlaklığı ($a/c=0.4 - a/t=0.2, .4,0.5$).....	76

Şekil 3.8.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	77
Şekil 3.9.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.2, 0.4$).....	77
Şekil 3.10.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.5$).....	78
Şekil 3.11.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	78
Şekil 3.12.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.2$).....	79
Şekil 3.13.	Üniform yayılı yük ve termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.4$).....	79
Şekil 3.14.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.5$).....	80
Şekil 3.15.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.6$).....	80
Şekil 3.16.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.8$).....	81
Şekil 3.17.	Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a)yayılı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü	83
Şekil 3.18.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2$).....	84

Şekil 3.19.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.4$).....	84
Şekil 3.20.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.4$).....	85
Şekil 3.21.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	85
Şekil 3.22.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	86
Şekil 3.23.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	86
Şekil 3.24.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	87
Şekil 3.25.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.2, 0.4$).....	87
Şekil 3.26.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.5$).....	88
Şekil 3.27.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	88
Şekil 3.28.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	90
Şekil 3.29.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.6, 0.8$).....	90

Şekil 3.30.	Farklı üniform yükler altında eliptik köşe çatlakları içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli a)üniform yayılı yük b)üniform termal yük c)üniform deplasman yükü.....	91
Şekil 3.31.	Üniform termal yükü ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.2$).....	92
Şekil 3.32	Üniform termal yükü ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.4$).....	92
Şekil 3.33.	Üniform termal yükü ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.6$).....	93
Şekil 3.34.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	93
Şekil 3.35.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.2 - a/t=0.6, 0.8$).....	94
Şekil 3.36.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.4 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	94
Şekil 3.37.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=0.4 - a/t=0.6, 0.8$).....	95
Şekil 3.38.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.2, 0.4$).....	95
Şekil 3.39.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.5$).....	96
Şekil 3.40.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlakları ($a/c=1 - a/t=0.6, 0.8$).....	96

Şekil 3.41.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2$).....	97
Şekil 3.42.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.4$).....	97
Şekil 3.43.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.5$).....	98
Şekil 3.44.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.6$).....	98
Şekil 3.45.	Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.8$).....	99
Şekil 3.46.	Farklı eğilme yükleri altında eliptik köşe çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli a)yayılı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü	101
Şekil 3.47.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.2$).....	102
Şekil 3.38.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.4$).....	102
Şekil 3.49.	Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.5$).....	103
Şekil 3.50.	Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.2, 0.4$).....	103
Şekil 3.51.	Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.5, 0.6, 0.8$).....	104

Şekil 3.52.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=0.4 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	104
Şekil 3.53.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=0.4 - a/t=0.6, 0.8$).....	105
Şekil 3.54.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	105
Şekil 3.55.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6, 0.8$).....	106
Şekil 3.56.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$).....	106
Şekil 3.57.	Yayıllı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.6, 0.8$).....	107
Şekil 4.1.	Çatlak ilerleme genel işlem şeması.....	108
Şekil 4.2.	Çevrim sayısına karşılık çatlak uzunluğu örnek gösterimi.....	111
Şekil 4.3.	Merkezi orijin üzerinde elips gösterimi.....	112
Şekil 4.4.	$\frac{1}{4}$ simetrik olarak çizilmiş çatlak koordinat değerleri ve ellipsefit_2.exe ile oluşturulmuş elips koordinat değerlerinin grafiksel gösterimi.....	116
Şekil 4.5.	Merkezi ötelenmiş ve yatay eksenle arasında açı bulunan elips gösterimi.....	116
Şekil 4.6.	Çatlak koordinat değerleri ve ellipsefit_5.exe ile oluşturulmuş olan elips koordinat değerlerinin grafiksel gösterimi.....	121
Şekil 4.7.	Çatlak ilerleme analizleri Fcpas ara yüzü.....	124
Şekil 4.8.	Üniform deplasman yükü kontrollü eliptik yüzey çatlağı içeren plakadaki çatlak ilerleme analizi Fcpas ara yüzü görünümü ($a/t=0.05 - a/c=0.2$).....	125

Şekil 4.9.	Üniform yayılı yük kontrollü eliptik yüzey çatlakları içeren plakadaki çatlak ilerleme analizi Fcpas ara yüzü görünümü (a/t=0.05 - a/c=0.2).....	128
Şekil 4.10.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/t=0.05- a/c=0.2; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük.....	129
Şekil 4.11.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/t=0.05- a/c=0.4; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük.....	130
Şekil 4.12.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/t=0.05- a/c=0.6; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük.....	131
Şekil 4.13.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/t=0.05- a/c=0.8; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük.....	132
Şekil 4.14.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/t=0.05- a/c=1; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük.....	133
Şekil 4.15.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/c ve a/t oranları (a)üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük (c)üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük mukayesesi	135
Şekil 4.16.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı (a/t=0.05, a/c=0.2).....	136
Şekil 4.17.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı (a/t=0.05, a/c=0.4).....	136
Şekil 4.18.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı (a/t=0.05, a/c=0.6).....	137
Şekil 4.19.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı (a/t=0.05, a/c=0.8).....	137
Şekil 4.20.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı (a/t=0.05, a/c=1).....	138

Şekil 4.21.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a/t=0.05$, $a/c=0.2$).....	139
Şekil 4.22.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a/t=0.05$, $a/c=0.4$).....	139
Şekil 4.23.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a/t=0.05$, $a/c=0.6$).....	140
Şekil 4.24.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a/t=0.05$, $a/c=0.8$).....	140
Şekil 4.25.	Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a/t=0.05$, $a/c=1$).....	141
Şekil 4.26.	Plaka modeli için eğilme yükü altında çatlak ilerleme profilleri ...	143
Şekil 4.27.	Yayıllı eğilme yükü altındaki plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri - Reytier deneysel olarak elde edilen çatlak ilerleme profil [39] mukayesesi	143
Şekil 4.28.	Reytier M. tarafından ve Fcpas çatlak ilerleme analizi sonucunda yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinde elde edilen ömür grafiği mukayesesi.....	144
Şekil 4.29.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a/t=0.05$ - $a/c=0.2$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü	146
Şekil 4.30.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a/t=0.05$, $a/c=0.4$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü	147
Şekil 4.31.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a/t=0.05$, $a/c=0.6$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü	148
Şekil 4.32.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a/t=0.05$, $a/c=0.8$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü	149
Şekil 4.33.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a/t=0.05$, $a/c=1$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü	150

Şekil 4.34.	Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/c ve a/t oranları (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü(c) deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü mukayesesi.....	152
Şekil 4.35.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a/t=0.05$, $a/c=0.2$)	153
Şekil 4.36.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a/t=0.05$, $a/c=0.4$)	153
Şekil 4.37.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a/t=0.05$, $a/c=0.6$)	154
Şekil 4.38.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a/t=0.05$, $a/c=0.8$)	154
Şekil 4.39.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a/t=0.05$, $a/c=1$)	155
Şekil 4.40.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde ömür grafiğı ($a/t=0.05$, $a/c=0.2$)	156
Şekil 4.41.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde ömür grafiğı ($a/t=0.05$, $a/c=0.4$)	156
Şekil 4.42.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde ömür grafiğı ($a/t=0.05$, $a/c=0.6$)	157
Şekil 4.43.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde ömür grafiğı ($a/t=0.05$, $a/c=0.8$)	157
Şekil 4.44.	Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde ömür grafiğı ($a/t=0.05$, $a/c=1$)	158

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Otomatikleştirilmiş makro ile analizi yapılan a/c ve a/t değerleri.....	24
Tablo 2.2.	Ansys TM kullanılarak oluşturulan farklı üniform yükler altında yüzey çatlakları içeren plaka parametrik makro listesi.....	25
Tablo 2.3.	Ansys TM kullanılarak oluşturulan farklı eğilme yükleri altında yüzey çatlakları içeren plaka parametrik makro listesi.....	29
Tablo 2.4.	Ansys TM kullanılarak oluşturulan farklı üniform yükler altında köşe çatlakları içeren plaka parametrik makro listesi.....	34
Tablo 2.5.	Ansys TM kullanılarak oluşturulan farklı eğilme yükleri altında köşe çatlakları içeren plaka parametrik makro listesi.....	36
Tablo 4.1.	Çatlak ilerleme analizleri için plaka ve başlangıç çatlak ölçüleri.....	122
Tablo 4.2.	Analiz adım sayısı, çatlak ilerleme miktarları (Δa_{max}), çatlak ucu boyunca eleman sayısı(crack_lesize) ve malzeme sabitleri(c,n).....	125
Tablo 4.3.	Analiz adım sayısı, çatlak ilerleme miktarları (Δa_{max}), çatlak ucu boyunca eleman sayısı(crack_lesize) ve malzeme sabitleri(c,n).....	142

ÖZET

Anahtar kelimeler: Gerilme Şiddet Faktörü, Zenginleştirilmiş Sonlu Eleman, ANSYSTM Makro, Üç Boyutlu Kırılma ve Çatlak İlerleme Analizi, FCPAS

Malzemelerin ve makine parçalarının üzerine etkiyen çalışma yükleri, geleneksel tasarım yöntemleriyle, akma, çekme, ve kırılma mukavemet değerlerinin altında tutularak hesaplanmaktaydı. Fakat uygulamada pek çok yapı bu şekilde dizayn edilmesine karşın hesaplanan gerilmelerin çok altındaki işletme gerilmelerinde hasara uğradıkları görülmüştür.

Bu hasarların nedenleri ve malzemelere etkiyen zorlanma neticesinde oluşan çatlakların ilerleyip yayılmaları neticesinde konuyla ilgili araştırmalar artarak, malzemelerin kırılmaya karşı direncini tam olarak ifade edebilecek kırılma mekaniğinin esaslarını belirlenmiştir.

Bu çalışmada gerilme şiddet faktörü hesaplama yöntemlerinden özetlenmiştir. ANSYSTM sonlu elemanlar programı kullanılarak üç boyutlu kırılma modelleri için makrolar oluşturulmuştur. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodunu kullanarak çözüm yapan FCPAS ara yüzü ile plakalarda farklı yükler altında üç boyutlu kırılma, çatlak ilerleme analizleri yapılmış ve literatürdeki çözümler ile mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürdeki matematiksel ve deneysel olarak elde edilen sonuçlarla uygun olduğu ispatlanmıştır.

THREE DIMENSIONAL ELLIPTICAL SURFACE AND CORNER CRACKS IN PLATE UNDER TENSION AND BENDING LOADING

SUMMARY

Key Words: Stress Intensity Factor, Enriched Finite Element, Ansys Macro, Three Dimensional Fracture and Crack Propagation Analysis, FCPAS

In this study, three dimensional fracture and crack propagation analyses are performed by using FCPAS (Fracture & Crack Propagation Analysis System) under different loads for plates. Analyses are made for elliptical surface and corner cracks. Results are compared with different solutions in the literature. For this study, the most important point is the stress intensity factor. In this study stress intensity factors are calculated by using enriched finite elements.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Kırılma Mekanizmasının Tanım ve Gelişimi

Kırılma, bir parçanın çeşitli kuvvetler etkisi altında bir ya da daha fazla parçaya ayrılması olarak tanımlanabilir. Kırılma Mekanizması ise kırılma olayını mekanizmanın temel prensiplerini kullanarak makro ve mikro açılardan ele alan, inceleyen bir bilim dalı olarak ifade edilebilir. Yapıların incelenmesinde kırılma, malzeme ömrü ve güvenlik açısından çok önemlidir. Bu nedenle, kırılma mekanizması çatlak ve hasar içeren bir yapının bütünlüğünü kontrol etmek için kullanılan önemli bir bilim dalıdır.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Liberty Gemisi'ndeki kırılma olayı sonucu oluşan hasar Şekil 1.1a'da, Şekil 1.1.b'de ise bir uçuş (1988) sırasında kırılma sonucu zarara uğramış uçak gövdesi kırılma örnekleri olarak gösterilmiştir. Şekil 1.1 de görüldüğü gibi kırılma olayı sonucu oluşan hasar ve kazaların sayısı oldukça fazladır. Günümüzde de mekanik, termal, deplasman yükü altındaki farklı yapılarda kırılma sonucu benzer birçok hasar oluşması kırılma mekanizmasının önemini açıkça göstermektedir. Bundan dolayı kırılma mekanizması ,araştırma konuları arasında çok önemli bir yere sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 1.1. Kırılma örnekleri; (a) Liberty Gemileri-İkinci Dünya Savaşı, 1941-1945, [1]
(b) Aloha Havayolları Uçuş 243, Nisan 28, 1988, [2]

Leonardo da Vinci (1452-1529) ve Galileo Galilei (1544-1642) kırılma mekaniği ile ilgili ilk basit çalışmaları yapmışlardır. Galileo, ahşap çubuklarla yaptığı deneylerde parçanın hasara uğramadan taşıyabileceği yükün kesit alanı ile orantılı olduğunu ve çubuğun boyunun buna etki etmediğini ortaya koymuştur [3].

Ayrıca Şekil 1.1 deki hasarlar geleneksel dizayn ve kırılma kriteri ile açıklanamamıştır. Dairesel ve eliptik delikler için gerilme konsantrasyonu üzerine çalışan Inglis'ten (1913) [4] sonra Griffith (1921, 1924), çatlaklı bir yapının gerilme hasarı üzerine boyut etkisini geliştirmiştir. Griffith 1920'lerin başlarında kırılma olayını, çatlak ilerlemesi için gerekli enerji olarak tespit etmiştir. Griffith, sistemin toplam enerjisindeki azalmayla önceden var olan bir çatlağın ilerlemeye başlayacağını formüle etmiştir [5].

1950'lerin ortalarında Irwin, kırılma mekaniğinde yeni yaklaşımlar bulmuştur [6]. Eliptik biçiminde bir delik bulunan sonsuz büyüklükteki bir levhanın gerilme dağılımı incelemiştir. Gerilme analizi gerçekleştirilirken kullanılan elastisite teorisini temel alan analitik çözümler detaylı olarak bu çalışmada gösterilmemiştir [7,8].

Westergaard (1931, 1935) ve Williams (1953) in çalışmaları, kırılma mekaniği ile ilgili analitik çözümlerin sadece basit bir geometri ve sınır şartları ile ilgili sorunlar için uygulanabildiğini göstermiştir [9,10].

Bu aşamadan sonra son otuz yıl içerisinde kırılma mekaniğinde kullanılan nümerik metotlar sürekli olarak gelişmeye devam etmiş, üç boyutlu ve daha karmaşık yapılara uygulanmıştır. Üç boyutlu kırılma problemlerinin nümerik olarak çözümünde kullanılan metotlara alternatif metotlar, sınır integral metodu, virtuel işler metodu, çizgi-yay metodu ve tekil çeyrek nokta üç boyutlu elemanlara uygun olarak modifiye edilmiş sonlu elemanlar metodudur. Bu metotlara ilave olarak ise domain integral ve sonlu elemanlar metodu yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bahsedilen bu yöntemlerin bazılarında çatlak ucu etrafında sonlu eleman bölüntüsüne ve gerilme şiddet faktörünün hesaplanması için son işleme ihtiyaç duyulmaktadır [11].

Malzemelerin mekanik özellikleri, belli boyutlardaki numunelere belirli koşullar altında gerçekleştirilen laboratuvar testleri ile belirlenir. Malzemenin gerilme altındaki davranışını etkileyen özellik yükleme türüdür. Bu nedenle mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerini incelerken uygulanacak olan yükleme türünün ortaya konması gerekir. Malzemelerde yükleme durumuna bağlı olarak kırılma üç şekilde meydana gelir.

1.2. Kırılma Modelleri

Kırılma model çeşitleri ;

1. Çatlak açılma deformasyon tipi (Mode I)
2. Çatlak kayma deformasyon tipi (Mode II)
3. Çatlak yırtılma deformasyon tipi (Mode III) olarak tanımlanır.

1.2.1. Çatlak açılma deformasyon tipi (Mode I)

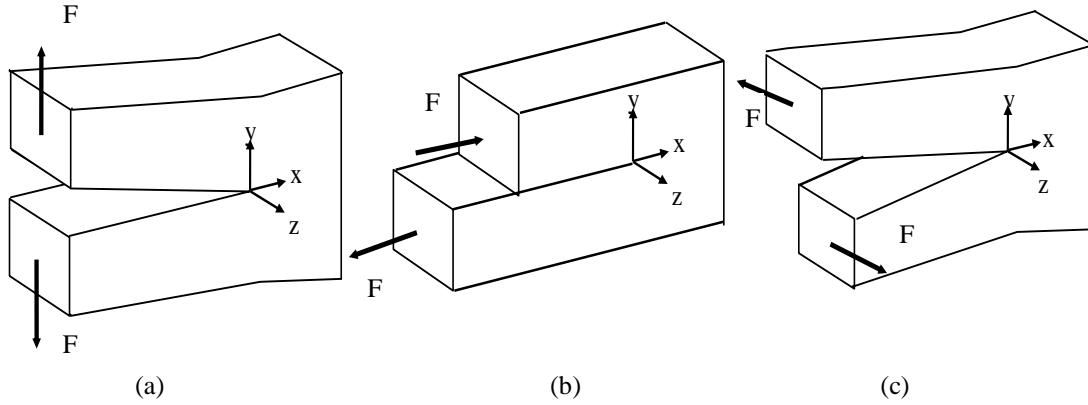
Şekil 1.2.a'da görüldüğü gibi Mode I deformasyon tipinde, gerilmenin normal bileşeni, çatlak yüzeyine dik olarak y eksenini doğrultusunda etki etmektedir

1.2.2. Çatlak kayma deformasyon tipi (Mode II)

Şekil 1.2.b'de görüldüğü gibi Mode II deformasyon tipinde, gerilmenin kayma bileşeni, çatlakla x eksenini doğrultusunda etki etmektedir.

1.2.3. Çatlak yırtılma deformasyon tipi (Mode III)

Şekil 1.2.c'de görüldüğü gibi Mode III deformasyon tipinde, gerilmenin kayma bileşeni, çatlakla z eksenini doğrultusunda, çatlakın dip kenarına paralel olarak etki etmektedir.



Şekil 1.2. Kırılma modelleri a) mode I tipi b) mode II tipi c) mode III tipi

Yüklemeye türüne bağlı olarak gerilme şiddet faktörü doğru hesaplanması içerisinde çatlak bulduran yapılar için önemlidir. Bu üç kuvvet uygulama yöntemleri arasında açılma deformasyonu türü en sık karşılaşılan kırılma modudur.

1.3. Kırılma Analizlerinde Gerilme Şiddet Faktörü ve Elde Etme Metotları

Ortam sıcaklığı, malzeme tokluğu, tasarımdan kaynaklanan çeşitli hatalar, kaynak, artık gerilmeler ve yorulma gibi bir çok faktör makine elemanlarında ve yapılarda kırılmaya neden olur.

Malzemede bulunan çatlak, küçük boşluklar çentik etkisi oluşturur. Böyle bir durumda eleman üzerindeki kuvvetten dolayı oluşan gerilmeler parçanın her yerinde üniform olarak değişmemektedir. Parçada süreksizliklerin bulunduğu yerlerde meydana gelen gerilme ortalama gerilmenin üzerinde olmaktadır. Bazı bölgelerde gerilme maksimum değere ulaşır. Gerilme değerlerinin ortalama gerilmenin üzerine çıkarak maksimum değere ulaşmasına gerilme yığılması veya çentik etkisi denir [12].

Bununla beraber herhangi bir elemanda kırılmaya neden olarak üç temel faktör belirlenmiştir. Bunlar: malzeme tokluğu, çatlak büyüklüğü ve gerilme seviyesidir. Kırılma mekaniğinin temel prensibi, keskin bir çatlak ucundaki gerilme alanının K_t olarak tanımlanan bir parametreyle karakterize edilmesine dayanmaktadır. K_t gerilme yoğunluk (yığılma) faktörü olarak adlandırılır.

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ort}} \quad (1.7)$$

K_t : Gerilme yığılma katsayısı

σ_{\max} : Parçada oluşan maksimum gerilme

σ_{ort} : Parçada oluşan ortalama gerilme

Çatlak başlangıç ömrü çok büyük ölçüde elde edilmiş olan gerilme yığılma katsayısı (K_t) değerine bağlıdır. Çatlak başlangıcını çatlak ilerlemesi takip etmektedir.

Çatlak başlangıcı gerçekleştikten sonra gerilme yığılma katsayısı (K_t), çatlak ucundaki gerilme dağılımı büyüklüğü için faydalı bir durum olmayacaktır.

Çatlak ucunda gerilme dağılımı büyüklüğünü gösteren yeni durum gerilme şiddet faktörüdür (K). Bu durum Irwin modeliyle geliştirilmiştir [13].

Buna göre çatlak içeren herhangi bir eleman ya da deney numunesi, çatlaksız malzemelerin kritik gerilme seviyelerine kadar yüklenebilmeleri gibi çeşitli K değerlerine kadar yüklenebilirler. K değeri böylece malzemenin bir özelliği olur.

Kırılma analizinde çatlak ucu boyunca (K) gerilme şiddet faktörünü elde etme yöntemleri teorik, nümerik, deneysel olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

1.3.1. Teorik metodlar

Teorik metodlar basit çatlak geometrileri ve sınır şartları ile kısıtlanmaktadır [14]. Teorik metodlar Airy gerilme fonksiyonlarının farklı formatta yazılmış durumlarıdır [15].

İki farklı teorik gerilme şiddet faktörü elde etme metodu vardır. Bunlar;

Komplex Potansiyeller Metodu

Westergard Metodu

Mod-I çatlakları için Westergard Metodunun kullanılması uygundur. Westergard metodunun tam olarak doğru olmadığı Sih [16] ve Eftis ve Liebowitz [17] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ile gösterilmektedir ancak bu durum tekil gerilme durumlarını etkilememektedir [15].

1.3.2. Nümerik metodlar

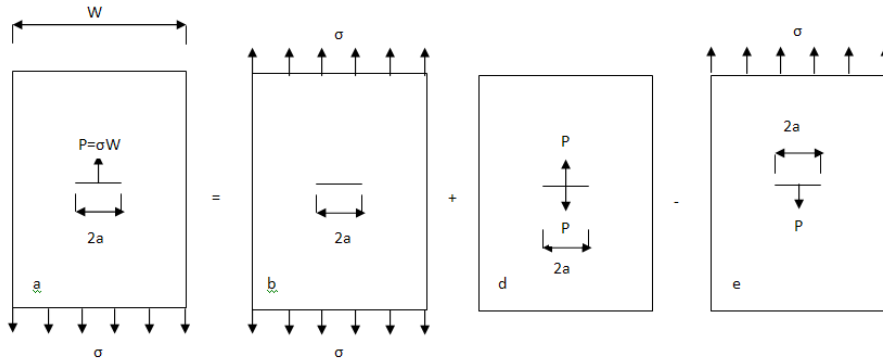
Üç farklı nümerik gerilme şiddet faktörü elde etme metodu vardır. Bunlar;

Integral Transformları Metodu

Green Fonksiyonu Metodu

Sonlu Elemanlar Metodu

Çatlaklı yapıdan elde edilecek olan çatlak bölgesindeki gerilmeler kullanılarak gerilme şiddet faktörleri değerleri hesaplanabilmektedir.



Şekil 1.3. Green Fonksiyonu Süperpozisyon İlkesi

Gerilme şiddet faktörü elde etmede üç farklı sonlu elemanlar metodu kullanılır. Bunlar;

a) Domain integral Metodu

Bilinen şekil fonksiyonlarını kullanarak kolayca hesaplanabilen çizgi integralin, bir domain integrale dönüştürülmesi ile hesaplanmış olan J integrali enerji salıverme oranı hesaplanması için en hassas bir metottur.

b) J integral Metodu

J integrali çatlak ilerlemesinin başlamasını tanımlamaktadır. Elasto-plastik kırılma mekaniğinde kırılma tokluğunu tespit etmede kullanılan en önemli metodlardan birisidir. Plastik şekil değiştirme lineer-elastik kırılma mekaniğinin (LEFM) kullanılmayacağı kadar büyüdüğünde J integrali kullanılmaktadır. J integrali çatlak ilerlemesi için kullanılabilen enerji ile de bağlantılıdır. J integrali aynı yük altında iki parça arasındaki potansiyel enerji farkıdır [14].

c) Zenginleştirilmiş Sonlu Elemanlar Metodu

Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodu çatlak ucu yakınında özel bölüntüye ve sonlu eleman çözümünün sonrasında ilave işleme ihtiyaç duymadığından üç boyutta etkili ve hassas kırılma analizleri için cazip bir yoldur [18]. Zenginleştirilmiş elemanlar için yer değiştirmeler aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 u(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) u_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(f_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{uj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(g_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{uj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(h_u(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{uj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right) \quad (1.8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) v_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(f_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{vj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(g_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{vj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(h_v(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{vj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right) \quad (1.9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w(\xi, \eta, \rho) = & \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) w_j + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(f_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) f_{wj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_I^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(g_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) g_{wj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{II}^i \right) \\
 & + Z_0(\xi, \eta, \rho) \left(h_w(\xi, \eta, \rho) - \sum_{j=1}^m N_j(\xi, \eta, \rho) h_{wj} \right) \left(\sum_{i=1}^{ntip} N_i(\Gamma) K_{III}^i \right) \quad (1.10)
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki denklemlerden görüldüğü gibi, düğüm noktalarındaki bilinmeyen yer değiştirmelere, u_j , v_j , w_j ek olarak bilinmeyen gerilme şiddet faktörleri de K_I^i , K_{II}^i , K_{III}^i , formülasyona dâhil edilmiştir. Sonlu eleman çözümünde, deplasman ve gerilme şiddet faktörleri aynı anda elde edilmiştir.

Sonlu eleman denklemlerinden zenginleştirilmiş çatlak elemanları fonksiyonunda polinomik olmayan yer değiştirmeleri, tekil gerilme kavramlarını ve gerilme şiddet faktörlerini elde edilebilmektedir [18]. Bu sayede kırılma analizleri sonucunda daha öncede bahsedildiği gibi çözüm işlemi sonrasında gerilme şiddet faktörü elde etmek için ilave işlemine ihtiyaç duymamaktadır.

Bu çalışmada zenginleştirilmiş sonlu elemanlar kullanan FCPAS ara yüzü ile, yüzey ve köşe çatlağı içeren plakalarda kırılma ve çatlak ilerleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar metodu Bölüm 2.2'de detaylı olarak açıklanmıştır.

1.3.3. Deneysel metotlar

Gerilme şiddet faktörlerinin çeşitli deneyler yapılarak elde edilmesi durumudur. Malzemelerin kırılma tokluğu değerleri deneyler sonucunda elde edilmektedir. Gerilme şiddet faktörü hesaplanmasında iki farklı deneysel metot vardır:

Fotoelastisite Metodu

Moire Metodu

1.4. Üç Boyutlu Kırılma Analizlerinin Önemi ve İhtiyacı

Çoğu mühendislik malzemesi mekanik açıdan bakıldığında üç boyutlu geometri ve yükleme karakteristiğe sahiptir. Bundan dolayı, herhangi bir yapıdaki çatlak oluşumu ve ilerlemesi açısından yapının kalan ömrünün belirlenmesinde üç boyutlu kırılma analizine oldukça ihtiyaç duyulmaktadır [19].

Yorulma hasarları, genellikle malzemenin homojen olmamasından, yüzeyinde veya köşesinde bulunan çentikler ya da imalat hatalarından oluşmuş olan çatlakların

başlangıcı ve ilerlemesinden oluşur. Bu çatlaklar eliptik ya da eliptiğe yakın çatlak profilleri ile ilerler. Çatlak ilerleme ömrü ve kırılma mukavemetini tahmin edebilmek için bu çatlak şekillerinin hassas gerilme şiddet faktörü çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada ise üç boyutlu kırılma mekaniğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Ancak bu tip problemlerin karmaşık durumlarından dolayı tam çözümlere ulaşılamamaktadır. Araştırmacılar bunun yerine, yaklaşık analitik metodları, deneysel metodları ve mühendislik yaklaşımlarını kullanmak zorunda kalmışlardır.

Pratik durumlarda yapısal elemanlar çoğunlukla üç boyutlu gerilmelere maruz kalmaktadır. Yükleme dışarıdan basit görünse bile, gerilmelerin ani geçişlere uğrayabildiği çatlak ve mekanik arızaların çevresinde kompleks yapıda bir gerilme oluşabilmektedir. Bu tip gerilmelerin etkileri çoğu defa beklenmeyen kırılma hatasına yol açabilmektedir. Çatlak sınır alanı belirli plakalar boyunca malzeme ayrılma başlangıcını etkileyecek olan tüm gerilme şiddet faktörlerini içereceğinden, bu tip gerilme durumlarında çatlak ilerlemesi probleminin tahmini zordur. Bundan dolayı, mevcut yapısal uygulamalar için belirli kritik şartlara ulaşan gerilme şiddet faktörlerinin uygun bir kombinasyonunun, çatlak ilerleme kriterinin ve test verilerinin araştırılması gereklidir. Çatlak ilerlemesi tahmini için, maksimum çekme gerilmesi kriteri ve minimum gerilme eğrisi yoğunluğu kriteri yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

Literatürde üç boyutlu çatlaklı parçalar için tam çözümler az miktarda bulunmaktadır. Bunlardan birisi Green ve Sneddon'un tam gerilme analizini kullanan Irwin tarafından üretilen üniform çekme yüküne maruz kalan sonsuz bir katı içerisindeki eliptik çatlaktır. Kassir ve Sih, Shah ve Kobayashi, Vijayakamur ve Atluri üniform olmayan çekmeye maruz kalan sonsuz büyüklükteki bir katı içerisindeki eliptik bir yüzey çatlağı için yakın form çözümlerini elde etmişlerdir [21].

Sonlu parçalar için tüm çözümler yaklaşık analitik metotlara ihtiyaç duymaktadır. Sonsuz büyüklükteki dairesel bir katı içerisindeki yüzey çatlağı ve sonlu kalınlıktaki bir plakadaki yarı eliptik yüzey çatlağı için Smith, Emery ve Kobayashi sırasıyla

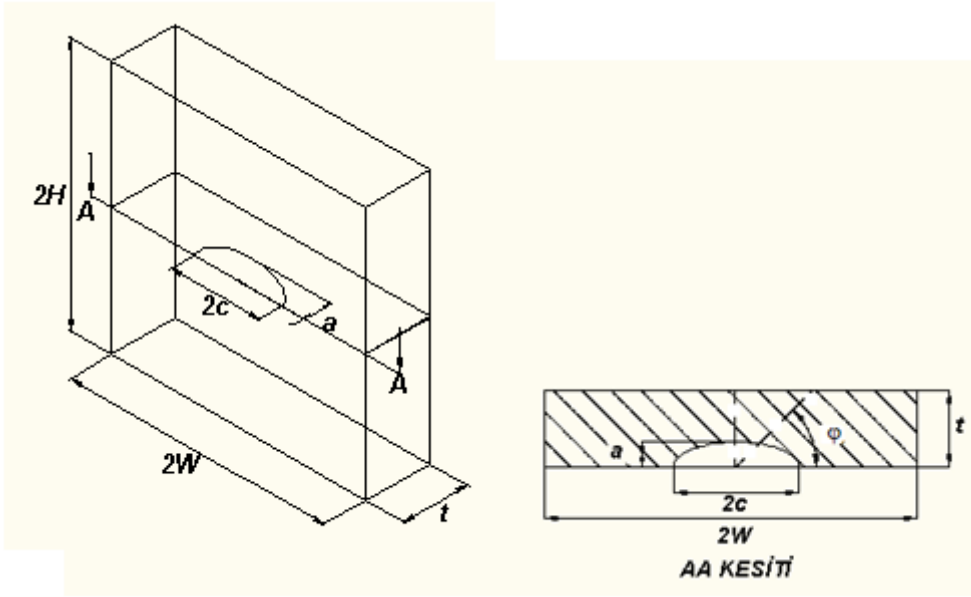
çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörlerini elde etmek amacıyla alternatif metodlar kullanmışlardır. Raju ve Newman sonlu eleman metodunu, Heliot, Labbens ve Pellissier-Atluri aynı bilgiyi elde etmek için sonlu eleman alternatif metodunu kullanmıştır. Shah bir yüzey çatlak için gerilme şiddet faktörlerinin dairesel bir delikten çıktığını tahmin etmiştir. Bir plakadaki dairesel bir delikten çıkan tekil bir köşe çatlak gerilme şiddet faktörlerini elde etmek için Smith ve Kullgren sonlu eleman alternatif metodu kullanmıştır. Hechmer, Bloom, Raju ve Newman bir plakadaki dairesel bir delikten oluşan simetrik köşe çatlak için sonlu eleman metodunu kullanmışlardır [21].

Plaka modelleri, kırılma analizlerinde en yaygın kullanılan gerilme şiddet faktörü elde etme metodu olan Newman-Raju denklemleri detaylı bir biçimde açıklanmaktadır.

Newman ve Raju üzerinde yarı eliptik yüzey çatlak bulunan izotropik levhalarda çekme ve eğme yükünün etkisinde, gerilme şiddet faktörünü üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile dükümsel kuvvet metodundan hesaplamıştır. Eksenel çekme için K1 gerilme şiddet faktörü aşağıdaki denklemlerle elde edilmiştir [21].

$$K_I = (\sigma_t) \sqrt{\frac{\pi^* a}{Q}} F\left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \phi\right) \quad (1.11)$$

Şekil 1.4'de görüldüğü gibi, a çatlak derinliği, 2c çatlak genişliği, t levha kalınlığı, φ parametrik açı olup; σ_t çekme gerilmesi, Q şekil faktörü, F(a/c, a/t, φ) düzeltme faktörüdür. Denklem 1.18 ile hesaplanan gerilme şiddet faktörü detayları Bölüm 1.4.1 ve Bölüm 1.4.2 de verilmiştir.



Şekil 1.4. Eliptik Çatlak Açılmış Numune

Günümüzde plakalardaki üç boyutlu yüzey ve köşe çatlakları için en etkili gerilme şiddet faktörleri Newman ve Raju tarafından tespit edilmiştir.

1.4.1. Newman-Raju denklemleri [21] kullanılarak $a/c \leq 1$ olduğu durumlarda K_I gerilme şiddet faktörü elde etme metodu

$$K_I = (\sigma_t + H\sigma_b) \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F\left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \phi\right) \quad (1.12)$$

Eğer plaka sadece eğilme zorlanmasına maruz kalıyorsa $\sigma_t=0$, eğer sadece çekme ve basma zorlanmasına maruz kalıyorsa $\sigma_b=0$ olarak alınır.

$$Q = 1 + 1.464 * \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65} \quad (1.13)$$

olarak ifade edilir, F ve H fonksiyon değerleri hesaplanır. Sınır düzeltme faktörü çekme ve basma için F eşitliğinden, eğilme için ise F ve H eşitliğinden bulunur.

Buradaki F fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$F = \left[M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t}\right)^4 \right] f_\phi g f_w \quad (1.14)$$

Bu eşitlikte yer alan diğer ifadeler ise;

$$M_1 = 1.13 - 0.09 \left(\frac{a}{c} \right) \quad (1.15)$$

$$M_2 = -0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \left(\frac{a}{c} \right)} \quad (1.16)$$

$$M_3 = 0.5 - \frac{100}{0.65 + \left(\frac{a}{c} \right)} + 14 \left(1.00 - \frac{a}{c} \right)^{24} \quad (1.17)$$

f_ϕ ; açısız fonksiyonda verilen eliptik çatlak çözümünden

$$f_\phi = \left[\left(\frac{a}{c} \right)^2 (\cos \phi)^2 + (\sin \phi)^2 \right]^{0.25} \quad (1.18)$$

f_w fonksiyonu sonlu genişlik düzeltmesi

$$f_w = \left[\sec \left(\frac{\pi c}{2b} \sqrt{\frac{a}{t}} \right) \right]^{0.5} \quad (1.19)$$

elde edilir. H fonksiyonu mühendislik kararı ve eğri uydurma ile geliştirilmiş olup aşağıdaki gibidir.

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) * (\sin \phi)^p \quad (1.20)$$

Burada H1, H2 ve p sırası ile verilmiştir.

$$H_1 = 1 - 0.34 \left(\frac{a}{t} \right) - 0.11 \left(\frac{a}{c} \right) \left(\frac{a}{t} \right) \quad (1.21)$$

$$H_2 = 1 - G_1 \left(\frac{a}{t} \right) + G_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 \quad (1.22)$$

$$p = 0.2 + \left(\frac{a}{c} \right) + 0.6 \left(\frac{a}{t} \right) \quad (1.23)$$

H₂ eşitliği için;

$$G_1 = -1.22 - 1.12 \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$G_2 = 0.55 - 1.05 \left(\frac{a}{c} \right)^{0.75} + 0.47 \left(\frac{a}{c} \right)^{1.5} \quad (1.24)$$

olarak hesaplanır.

1.4.2. Newman-Raju denklemleri [21] kullanılarak $a/c > 1$ olduğu durumlarda K_I gerilme şiddet faktörü elde etme yöntemi

Bu zamana kadar en etkili gerilme şiddet faktörü hesaplama yöntemi olan Newman-Raju denklemleri sırasıyla uygulanmaktadır.

$$K_I = (\sigma_t + H * \sigma_b) \sqrt{\frac{\pi * a}{Q}} F \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \phi \right) \quad (1.25)$$

Plaka eğer sadece eğilme zorlanmasına maruz kalıyorsa $\sigma_t=0$, eğer sadece çekme ve basma zorlanmasına maruz kalıyorsa $\sigma_b=0$ olarak alınır.

Fakat $a/c > 1$ ve $a/c \leq 1$ durumlarında bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar aşağıda olduğu gibi formülize edilmiştir

Eğer $a/c > 1$ ise :

$$Q = 1 + 1.464 * \left(\frac{c}{a} \right)^{1.65} \quad (1.26)$$

olarak ifade edilir ve F ve H fonksiyon değerleri hesaplanmaktadır. Sınır düzeltme faktörü çekme ve basma için F eşitliğinden, eğilme için ise F ve H eşitliğinden bulunmaktadır. F fonksiyonu; a/c , a/t ve ϕ terimleri çift seri polinomları kullanılarak sistematik uygun normal eğriden elde edilir. Buradaki F fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$F = \left[M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right] f_\phi g f_w \quad (1.27)$$

Bu eşitlikte yer alan diğer ifadeler ise;

$$M_1 = \left(\frac{c}{a} \right)^{0.5} \left(1 + 0.04 \left(\frac{c}{a} \right) \right) \quad (1.28)$$

$$M_2 = 0.2 \left(\frac{c}{a} \right)^4 \quad (1.29)$$

$$M_3 = -0.11 \left(\frac{c}{a} \right)^4 \quad (1.30)$$

f_ϕ açısıl fonksiyonda verilen eliptik çatlak çözümünden;

$$f_\phi = \left[\left(\frac{c}{a} \right)^2 (\sin \phi)^2 + (\cos \phi)^2 \right]^{0.25} \quad (1.31)$$

f_w fonksiyonu sonlu genişlik düzeltmesi

$$f_w = \left[\sec \left(\frac{\pi c}{2b} \sqrt{\frac{a}{t}} \right) \right]^{0.5} \quad (1.32)$$

elde edilir. H fonksiyonu mühendislik kararı ve eğri uydurma ile geliştirilmiş olup aşağıdaki gibidir.

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) * (\sin \phi)^p \quad (1.33)$$

Burada H_1 , H_2 ve p sırası ile verilmiştir.

$$H_1 = 1 + G_{11} \left(\frac{a}{t} \right) + G_{12} \left(\frac{a}{t} \right)^2 \quad (1.34)$$

$$H_2 = 1 + G_{21} \left(\frac{a}{t} \right) + G_{22} \left(\frac{a}{t} \right)^2 \quad (1.35)$$

$$p = 0.2 + \left(\frac{c}{a} \right) + 0.6 \left(\frac{a}{t} \right) \quad (1.36)$$

H₁ eşitliği için;

$$G_{11} = -0.04 + 0.41 \left(\frac{c}{a} \right)$$

$$G_{12} = 0.55 - 1.93 \left(\frac{a}{c} \right)^{0.75} + 1.38 \left(\frac{a}{c} \right)^{1.5} \quad (1.37)$$

$$G_{21} = -2.11 + 0.77 \left(\frac{c}{a} \right)$$

$$G_{22} = 0.55 - 0.72 \left(\frac{c}{a} \right)^{0.75} + 0.14 \left(\frac{c}{a} \right)^{1.5} \quad (1.38)$$

olarak eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelleri için hesaplanmaktadır [21]. Eliptik köşe çatlakları içeren plaka modelleri için elde edilen Newman-Raju denklemleri eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelleri için elde edilen Newman-Raju denklemlerinden farklılıklar göstermektedir. Bu fark [21] numaralı referansta mevcuttur.

1.5. Üç Boyutlu Kırılma Mekanikliği Literatür Çalışmaları

Bu çalışmada değişik yükler altındaki plakalarda üç boyutlu çatlaklar analiz edildiği için daha çok bu konudaki ilgili literatür çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

J. C. Newman, I. S. Raju [21], çekme yükü ve eğilme yükü kontrollü sonlu elastik izotropik plakalardaki derin ve derin olmayan yarı eliptik yüzey çatlakları için üç boyutlu sonlu eleman analizi ile gerilme şiddet faktörlerini hesaplamışlardır. Çatlak derinliği ve plaka kalınlığı oranı 0.2'den 0.8'e ve çatlak derinliği, çatlak uzunluğu oranı ise 0.2'den 2.0'a değişmektedir. Çatlak derinliği, çatlak uzunluğu, plaka et kalınlığı ve plaka genişliğinin bir fonksiyonu olan çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörleri için geniş bir denklem aralığı geliştirilmiştir. Denklemler gerilme ve eğilme yorulma yükleri altında yüzey çatlak ilerleme modelini tahmin etmek için kullanılmaktadır.

W. T. Riddell [22] deneysel gözlemleri üç farklı bilgisayar kodundan elde edilen sayısal tahminler ile karşılaştırmıştır. Sayısal olarak tahmin edilen çatlak şekillerini çeyrek eliptik olarak kısıtlayan bazı kodların standart kütüphanelerini içeren basit geometriler çatlak ilerleme oran tahminlerini kötü biçimde etkilememektedir. Ancak

bu yaklaşım önceden var olan çözümlerin olması ile sınırlıdır. Ayrıca, eliptik çeyrekler her zaman için doğru çatlak şeklinin temsilcisi olmamaktadır. Bu yaklaşım genel numuneler ve geometriler için uygundur.

X. B. Lin, R. A. Smith [23] çekme ve eğilme yüklerine maruz kalan plakalardaki yüzey çatlaklarının yorulma çatlak ilerleme tahmini için kabul edilebilir çok serbestlik dereceli sayısal bir prosedür tanımlamışlardır. Bu prosedürde çatlak ucu boyunca bir takım noktalarda gerilme şiddet faktörlerinin tahmini amacı ile üç boyutlu bir sonlu eleman analizi uygulanmış ve bu noktalarda yorulma çatlak ilerlemesine neden olan çatlak ilerleme artışları hesaplanmıştır. Çatlak önü kübik kama kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen tekrar bölüntüleme tekniği ile prosedürün otomatik olarak uygulanmasını ve çatlağın ilerlemesini etkinleştirmekte ve böylelikle adım adım tahmin edilebilmektedir.

X. B. Lin, R. A. Smith [24] birden çok serbestlik dereceli bir modeli temel alan sayısal bir simülasyon tekniği açıklamışlardır. Yarı eliptik statik çatlak ve ilerleme çatlakları için sonuçlar çalışmada bulunmaktadır. Bu çalışmadaki sonuçlar ile Newman-Raju yakın form gerilme şiddet faktörü denklemini temel alan iki serbestlik dereceli model tahminleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar büyük oranda, kullanılan Newman-Raju denklemlerinin plaka derinliğinin %90'ından büyük çatlak derinliğine sahip olan çatlaklar için bu çalışmadaki sonuçlardan daha az hassasiyete sahip değerler verdiğini ve yine bu çalışmadaki çatlak ilerleme sırasındaki gerilme şiddet faktörlerinin iki boyutlu metot ile elde edilen sonuçlarla genel olarak uyumlu olduğunu göstermektedir.

M. Iranpour, F. Taheri [25] çekme yüküne eşit bir eğilme momentine maruz kalan bir borunun kullanımı, birkaç araştırmacı tarafından genellikle başlangıç yüzey çatlaklı boruların karmaşık deneysel çatlak ilerleme araştırmalarını örnek teşkil etmek için denenmiştir. Hesaplamalı simülasyonlar ve çatlağın ilerlemesi sırasında yarı dairesel bir şekli takip eden çatlak önü açıklaması temel alınarak eğilme momenti altındaki bir borunun gerilme şiddet faktörü ile üniform çekme gerilmesi altındaki plakadaki gerilme şiddet faktörü arasındaki boyutsuz ilişki anlatılmıştır. Önerilen hesaplamalı simülasyonun geçerliliğini ortaya koymak için bir seri deneysel

araştırma uygulanmaktadır. Sonuçlar eğilme altındaki borunun yorulma çatlak ilerlemesi kabulü yapıldığında bu yaklaşımın rasyonelliğini ve kabul edilebilirliğini göstermektedir.

A.R. Maligno, S. Rajaratnam, S. B. Leen, E. J. Williams [26] sonlu elemanlar ve tekrar bölüntüleme tekniklerini temel alan hava taşıtlarının şaft bileşenleri için kullanılan bir hasar tolerans yaklaşımı geliştirmek amacıyla sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak yüksek mukavemete sahip alaşımli çelik malzemesi için gerilme şiddet faktörleri deneysel olarak hesaplanmakta ve farklı faktörlerin etkisi altında sayısal yöntemlerle de karışık Mod yüklemesi altında gerilme şiddet faktörleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Sayısal analizler ile deneysel çalışmalar uygunluk göstermektedir.

A. O. Ayhan [27] yorulma çatlak ilerleme simülasyonu için üç boyutlu bir metodoloji açıklamıştır. Metot, karışık mod gerilme şiddet faktörlerinin hesabı için çatlak ucu zenginleştirilmiş elemanlar kullanımı ile geliştirilmiştir. Ayrıca çatlak ilerleme ömür hesabı yapılmıştır. Örnek olarak, Mod-I yüzey çatlağının yorulma çatlak ilerlemesi ve karışık mod yüzey çatlaklarının çatlak ilerlemeleri simule edilmiştir. Tahmin edilen sonuçlar literatürdeki deneysel verilerle harika bir biçimde uygunluk göstermektedir.

Bu çalışmada, TÜBİTAK destekli araştırma projesi kapsamında geliştirilen FCPAS (Fracture & Crack Propagation Analysis System- Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi) ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilen yayılı, termal ve deplasman yükleri altında bulunan plakalardaki üç boyutlu çatlaklar için kırılma analizleri yapılarak gerilme şiddet faktörleri elde edilmiş ve bu yükler altında çatlak ilerleme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Gerilme şiddet faktörleri, çatlak ilerleme profilleri ve ömürleri bakımından görülen farklar da detaylıca sunulmuştur.

BÖLÜM 2. ANSYS™ VE FCPAS KULLANARAK PLAKALAR İÇİN KIRILMA MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI VE ÇÖZÜMÜ

2.1. Giriş

Bu çalışmada ilk olarak ANSYS™ programında mevcut olan parametrik makro dili kullanılarak plakalardaki yüzey çatlak modelleri otomatik olarak oluşturulmuştur. Daha sonra ANSYS™ programı ile oluşturulan parametrik makro ve zenginleştirilmiş sonlu elemanlar metodunu kullanan FCPAS ara yüzü ile kırılma analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar literatür ile mukayese edilmiştir.

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bu yöntemle, incelenmek istenilen cismin sonlu sayıda küçük elemanlara bölüdüğü için Sonlu Elemanlar Yöntemi (The Finite Element Metot) olarak adlandırılır. Bu metot ile model düğüm noktalarından birbirine bağlı sonlu sayıda elemana bölünür. Seçilen birim eleman, geometrik bir şekildir. Bunun amacı, geometrik yapısını bildiğimiz küçük elemanlar üzerinde inceleme ve çözüm yapma imkanının kolay olmasıdır.

Bu işlem ANSYS™'de bölüntü komutuyla yapılır. Birim eleman boyunun küçülmesi, daha hassas çözüm yapmamızı sağlarken, denklem sayısını arttırdığı için işlem süresini uzatır. Sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapılırken izlenmesi gereken yol [28];

1. Yapıyı ya da sürekli elemanı birim elemanlara bölmek. Bu yapılırken birim elemanın boyutunu ve şeklini, malzemenin fiziki özelliklerine göre seçmek gerekir.
2. Sonlu elemanlar birbirine düğüm noktalarından bağlanmış kabul edilirler. Bu düğüm noktalarının yer değiştirmeleri, basit yapıların analizlerinde olduğu gibi, problemin bilinmeyen ana parametreleridir.

3. Her bir sonlu elemanın yer değişimini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değişimleri cinsinden fonksiyonu seçilir. (Genelde bir polinomdur, polinomun derecesi birim elemanın düğüm sayısına bağlıdır.)
4. Eleman ile yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri oluşturulur.
5. Elemanlara bölünen sistemin özelliklerini toplamak gerekir. Bunu da elemanların matris denklemlerini birleştirerek sistemin davranışını ifade eden matris denklemleri oluşturmakla yapabiliriz. Sistemin matris denklemleri bir elemanın matris denklemleriyle aynı formdadır. Fakat sistemde denklemlerin terim sayısı fazladır.
6. Düğüm noktalarına toplanmış kabul edilen ve sınır gerilmeleri dengeleyen kuvvetler ile düğüm noktalarının yer değiştirmeleri arasında Denklem 2.1 de verilen bağıntı mevcuttur.

$$|P| = |K| \times \{U\} \quad (2.1)$$

$|P|$: Sütun matris olup dış kuvvetlerin tamamını göstermektedir.

$|K|$: Sistemin toplam katılık (direngenlik) matrisidir.

$\{U\}$: Düğüm yer değiştirmelerini gösteren sütun matrisidir.

Matris Denklemi 2.1 ile sonlu elemanlar metoduna giriş yapılır. Sonuç olarak bu denklemde $|K|$ oluşturulan cismin birim yer değiştirmesi için gerekli kuvveti temsil etmektedir. Yani cismin sonlu elemanlar modelini bir denge yayı olarak düşünürsek, $|K|$ bu yayın yay sabiti (direngenlik sabiti) olur. Böylece sonlu elemanlar metodunun esası, cismin direngenliği bakımından yapılan gerilme analizi olmuştur. Verilen sınır şartları ve dış kuvvetler etkisi altındaki cismin düğümlerinin yer değiştirmesi bulunur. Model üzerindeki düğüm noktalarının yer değiştirme değerlerinden gerilme ve zorlanma hesaplamalarına geçilmektedir [29].

Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya en uygun gelecek elemanlar seçilmelidir. Sonlu eleman tipi elde edilecek gerilme analizi sonuçlarına etki etmektedir.

Verilen bir cismin nasıl bölüntüleneceğinin belirlenmesinde cismin geometrisi, iç ve dış sınırlarının biçimi, geniş ölçüde yol gösterici olmaktadır. Üç boyutlu cisimler için üçgen prizma veya dörtgen prizma gibi eleman biçimi bulunmaktadır. Bu çalışmada da modelin genelinde üçgen prizma elemanlar kullanılmakta iken çatlak ucu boyunca zenginleştirilmiş elemanlar kullanılmaktadır. Bölüm 1.3.2’ de özetlenmiş olan zenginleştirilmiş sonlu eleman formülasyonu detaylı olarak Ayhan ve Nied [30] ve Ayhan [31] tarafından verilmiştir. Bu çalışmada ANSYS™ sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır.

2.3. ANSYS™ Paket Programına Giriş [32]

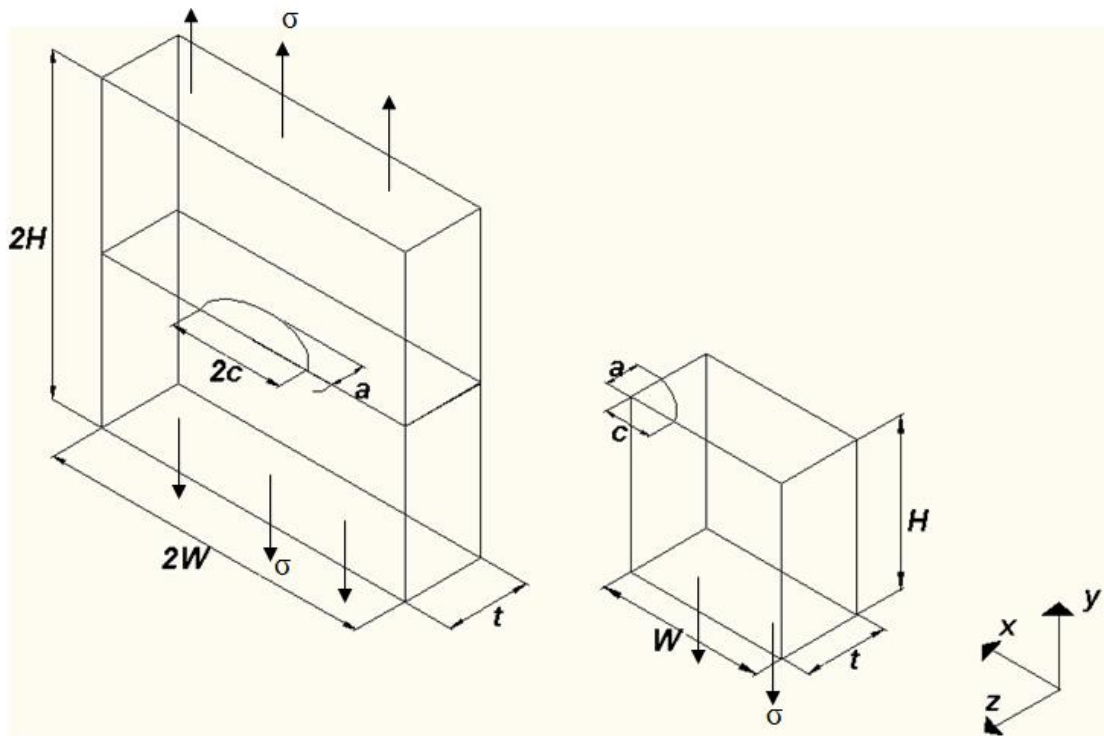
ANSYS™ yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimini simule etmekte kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simule edilmesine olanak sağlayan ANSYS™, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır. ANSYS™ yazılımı hem dışarıdan CAD datalarını alabilmekte hem de içindeki “preprocessing“ imkanları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Yine aynı preprocessing içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani bölüntüleme de oluşturulmaktadır. Bu çalışmada FCPAS kırılma analizleri için gerekli bölüntüleme otomatikleştirilmiş makrolar kullanılarak ANSYS™ programında oluşturulmuştur.

ANSYS™ programında sonuçlar görsel olarak çok etkileyici bir biçimde kontur grafikler olarak rahatlıkla elde edilebilse de sonuçların kalitesi modelin fiziksel problemi gerçekte ne kadar yansıttığına ve dolayısıyla analizi yapılan modelin kalitesine bağlıdır. Başarılı bir analiz için dikkatli bir planlamanın yapılması zorunluluğu göz ardı edilmemelidir [33].

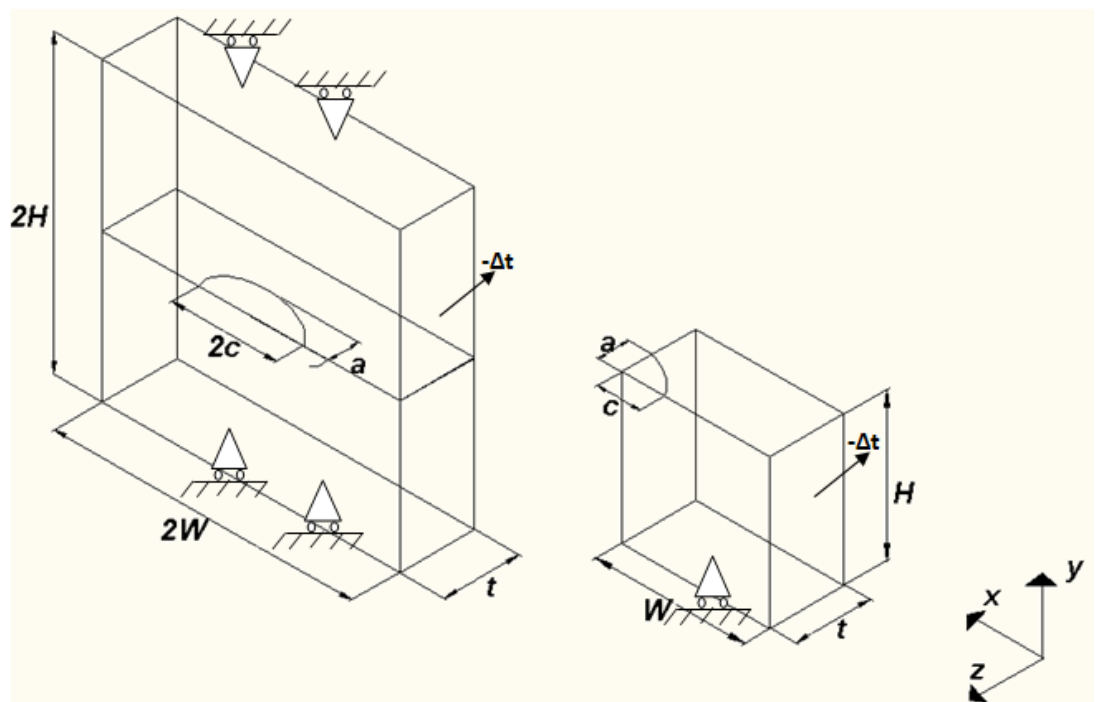
Cisim uzay sisteminde “n” boyuta sahipse “n” boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılmaktadır. Tek boyutlu cisimler düğüm noktalarıyla iki boyutlu cisimler çizgilerle üç boyutlu cisimler ise düzlemler ile sonlu sayıda elemana ayrılmaktadır [34].

2.4. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması

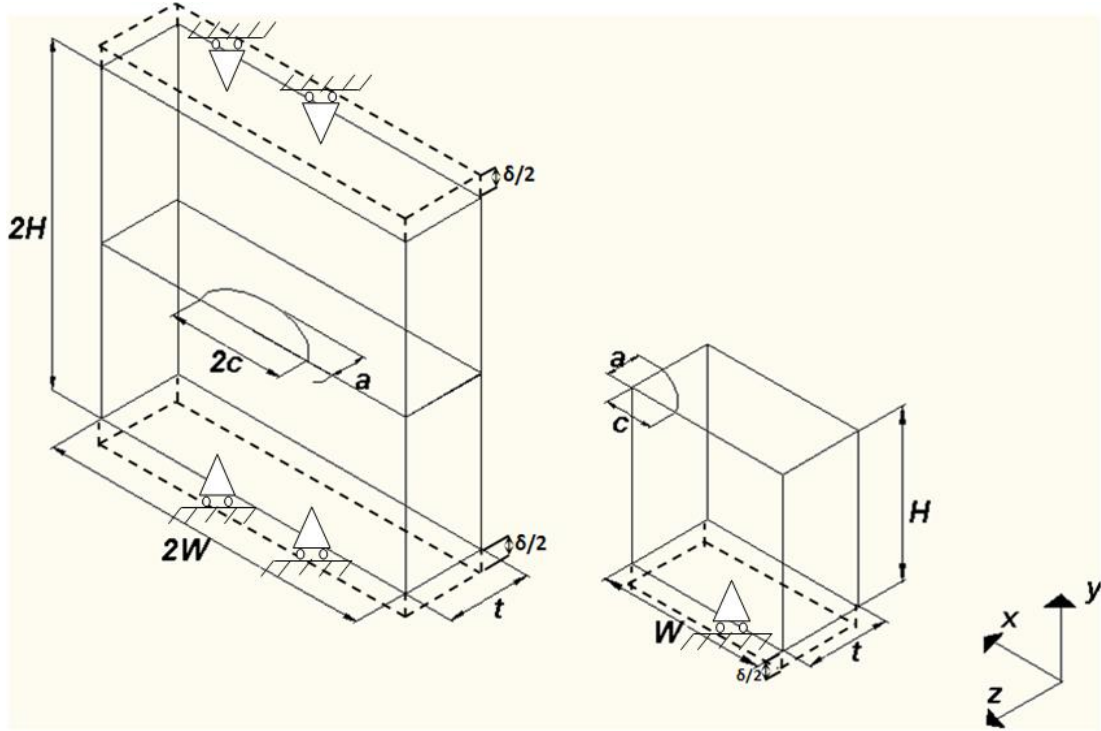
Bu bölümünde, üniform yayılı yük, üniform termal yük ve üniform deplasman yükü kontrollü, eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modellerinde farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranlarında ve farklı çatlak derinliği/plaka et kalınlığı (a/t) durumları, ANSYSTM sonlu elemanlar programı kullanılarak kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için çatlak içeren plaka modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2.1 de kullanılan plaka modelleri ve yüklemeleri örnek olarak gösterilmiştir. ANSYSTM programında otomatikleştirilmiş makronun oluşturulması FCPAS Software & Tutorial dokümanında geniş şekilde açıklanmıştır [35]. Yüzey çatlağı içeren plaka modelinde Simetri 1 sınır şartı kaldırılarak köşe çatlağı içeren makrolar elde edilmiştir. Üniform yayılı yük Şekil 2.1.a’ da görüldüğü gibi plaka alt ve üst yüzeyine $\sigma=1$ birimlik çekme gerilmesi, üniform termal yük olarak ise Şekil 2.1.b’ de görüldüğü gibi tüm plaka modeline $\Delta t=1^\circ \text{C}$ sıcaklık farkı, üniform deplasman yükü olarak ise Şekil 2.1.c’ de görüldüğü gibi plaka alt ve üst yüzeyine $\Delta l=HH/100$ ($\Delta l=\delta/2$) birimlik deplasman yükü analizlere ait otomatikleştirilmiş makrolar tarafından plakaya uygulanır.



a)



b)



c)

Şekil 2.1 Farklı üniform yükler altında eliptik yüzey çatlaklı içeren tam ve 1/4 simetrik plaka modeli a) üniform yayılı yük b) üniform termal yük c) üniform deplasman yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

c: Çatlak yarı uzunluğu

σ : Yayılı yük

$\delta/2$: Deplasman yükü ($\delta/2 = \Delta L$)

Δt : Termal yük

Bu çalışmada ilk olarak $a/c=0.2$ ve $a/t=0.2$ oranlarında 1/4 simetriye sahip üniform yayılı yük altında eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modeli ANSYSTM programında manuel olarak oluşturularak FCPAS kırılma analizi için gerekli dosyalar elde edilir.

Otomatikleştirilmiş makroya geçiş yapılırken geometrinin oluşturulması, sistemin bölüntülenmesi, kuvvet, sıcaklık veya deplasman yüklerinin uygulanması plaka malzeme sabitleri, sınır şartları, çatlak ucu boyunca istenilen eleman sayısı manuel olarak tek seferliğine ANSYSTM programından oluşturmuş ve daha sonra sabit

ölçüler için elde edilmiş olan makro parametrik hale getirilmiştir. Oluşturulan modellerde çatlak ucu bölgesine Şekil 2.3 de gösterildiği gibi zenginleştirilmiş eleman kullanılarak daha hassas bölüntülenmiş, plakanın geriye kalan kısmı ise serbest bölüntülenmiştir. Ayrıca çatlak ucu boyunca eleman sayısı kullanıcı isteği doğrultusunda parametrik hale getirilmiştir. Kullanıcı, parametrik hale getirilmiş makroyu kullanarak istediği a/c , a/t oranlarını ve malzeme özelliklerini belirleyip analiz modeli oluşturup sonuçları gözlemleyebilme imkanına sahiptir. Analizi gerçekleştirilen plaka ve çatlak boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1 Otomatikleştirilmiş Makrolar İle Analizi Yapılan a/c ve a/t Değerleri

		a/t				
		0.2	0.4	0.5	0.6	0.8
a/c	0.2	t=1 w=5*c h=5*c a=0.2 c=1	t=0.5 w=5*c h=5*c a=0.2 c=1	t=0.4 w=5*c h=5*c a=0.2 c=1	t=0.333 w=5*c h=5*c a=0.2 c=1	t=0.25 w=5*c h=5*c a=0.2 c=1
	0.4	t=2 w=5*c h=5*c a=0.4 c=1	t=1 w=5*c h=5*c a=0.4 c=1	t=0.8 w=5*c h=5*c a=0.4 c=1	t=0.6667 w=5*c h=5*c a=0.4 c=1	t=0.5 w=5*c h=5*c a=0.4 c=1
	1	t=3 w=5*c h=5*c a=1 c=1	t=2.5 w=5*c h=5*c a=1 c=1	t=2 w=5*c h=5*c a=1 c=1	t=1.6667 w=5*c h=5*c a=1 c=1	t=1.25 w=5*c h=5*c a=1 c=1
	2	t=10 w=5*a h=5*a a=2 c=1	t=5 w=5*a h=5*a a=2 c=1	t=4 w=5*a h=5*a a=2 c=1	t=3.333 w=5*a h=5*a a=2 c=1	t=2.5 w=5*a h=5*a a=2 c=1

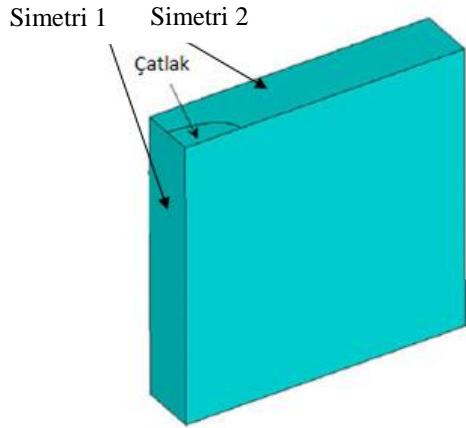
Bu analizler tekrarlanırken her a/c ve a/t oranı için benzer modelleri tek tek ANSYSTM programında manuel olarak oluşturarak gerekli dosyaların elde edilmesi yerine otomatikleştirilmiş makro kullanılarak farklı oranlarda sonlu eleman modelleri

çok daha kısa sürede oluşturulmuştur. Böylece FCPAS analizleri için gerekli dosyalar kolaylıkla elde edilmiştir. Bundan dolayı analizleri tamamlanması açısından oldukça büyük bir zaman kazancı sağlanmıştır. Farklı üniform yükler için oluşturulan parametrik makrolar Tablo 2.2 de verilmiştir.

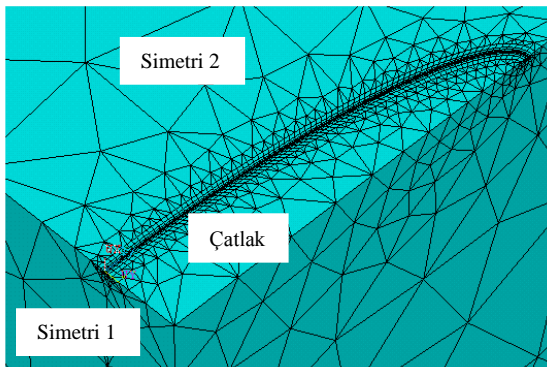
Tablo 2.2 ANSYS™ kullanılarak oluşturulan farklı üniform yükler altında yüzey çatlaklı içeren plaka parametrik makro listesi

Makro 1	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Üniform Yayılı Yük Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 2	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Üniform Termal Yük Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 3	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Üniform Deplasman Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu

Otomatikleştirilmiş makro ve ANSYS™ programı kullanılarak elde edilmiş modeller Şekil 2.2, 2.3, 2.4, 2.5’de gösterilmiştir.

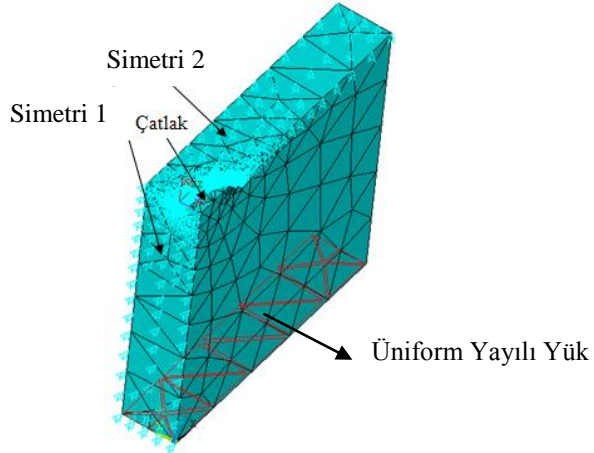


Şekil 2.2. Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli

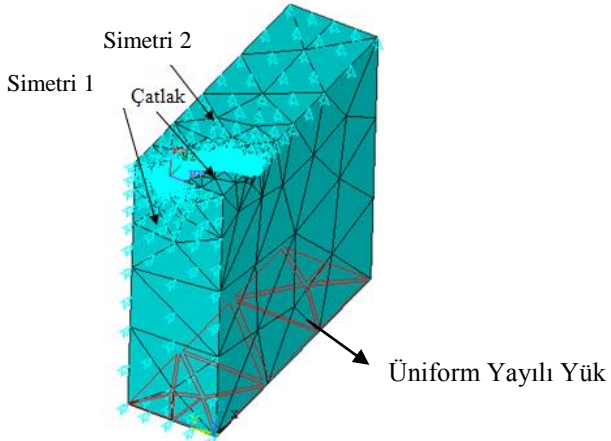


Şekil 2.3. Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka çatlak bölgesi hassas bölüntü gösterimi ($a/c=0.2$, $a/t=0.2$)

Şekil 2.3 te gösterilmiş olan örnekte çatlak ucu boyunca zenginleştirilmiş elemanlar kullanılarak özel bölüntü oluşturulmuştur. Bu işlem elemanlar arası geçiş kolaylaştırarak çatlak ucu boyunca hesaplanması istenilen gerilme şiddet faktörü değerlerinin daha hassas bir biçimde elde edilmesini sağlar. Ancak model üzerindeki zenginleştirilmiş elemanların sayısı çözümlenmesi gereken eleman direngenlik matrisi sayısını artırarak kırılma analizi için gerekli süreyi uzatmıştır.



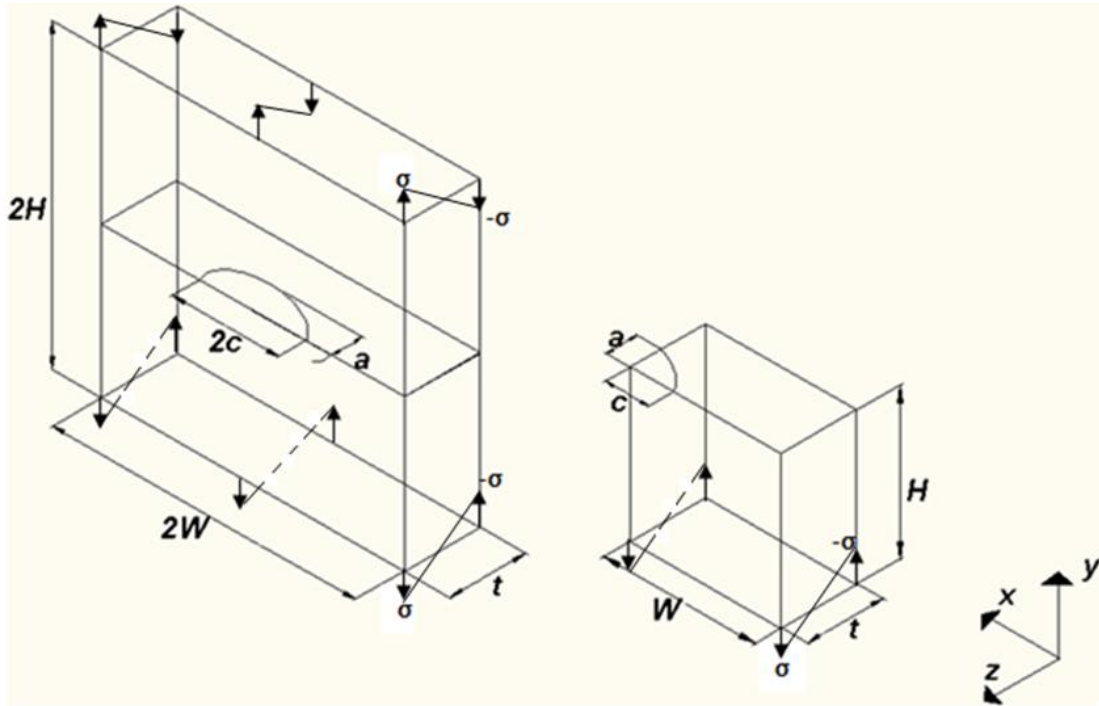
Şekil 2.4. Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli, bölüntü, yükler ve sınır şartları ($a/c=0.4$, $a/t=0.4$)



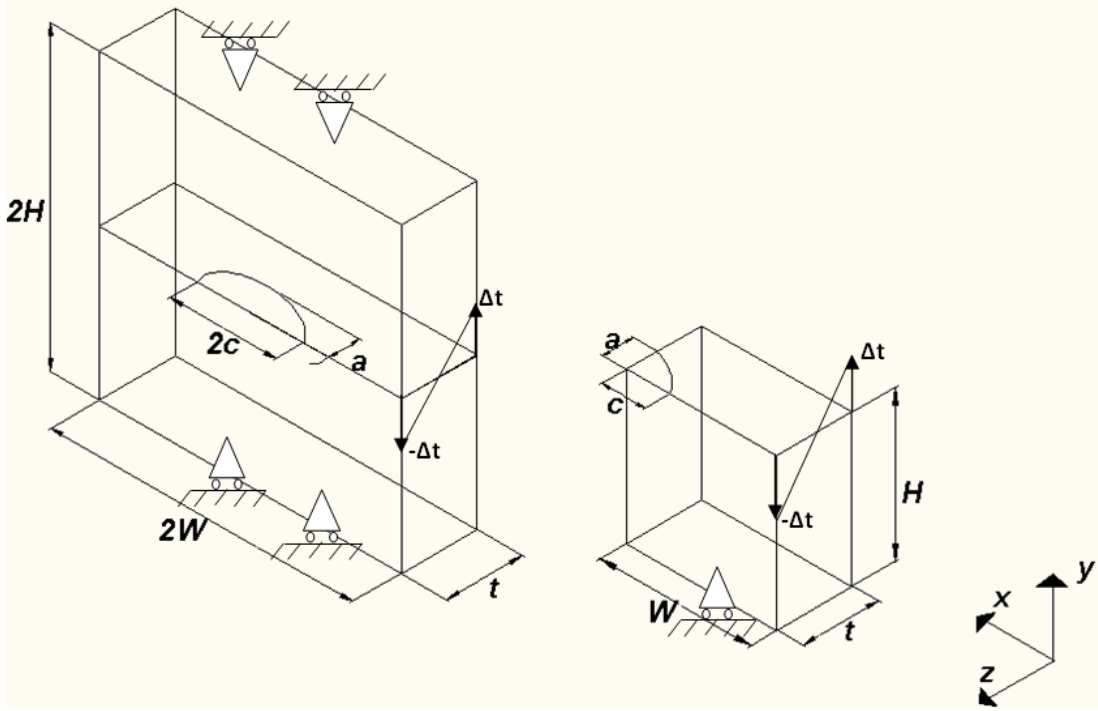
Şekil 2.5. Makro 1 kullanılarak elde edilmiş plaka modeli, bölüntü, yükler ve sınır şartları ($a/c=1$, $a/t=0.6$)

2.5. Farklı Eğilme Yükü Altında Eliptik Yüze Çatlağı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması

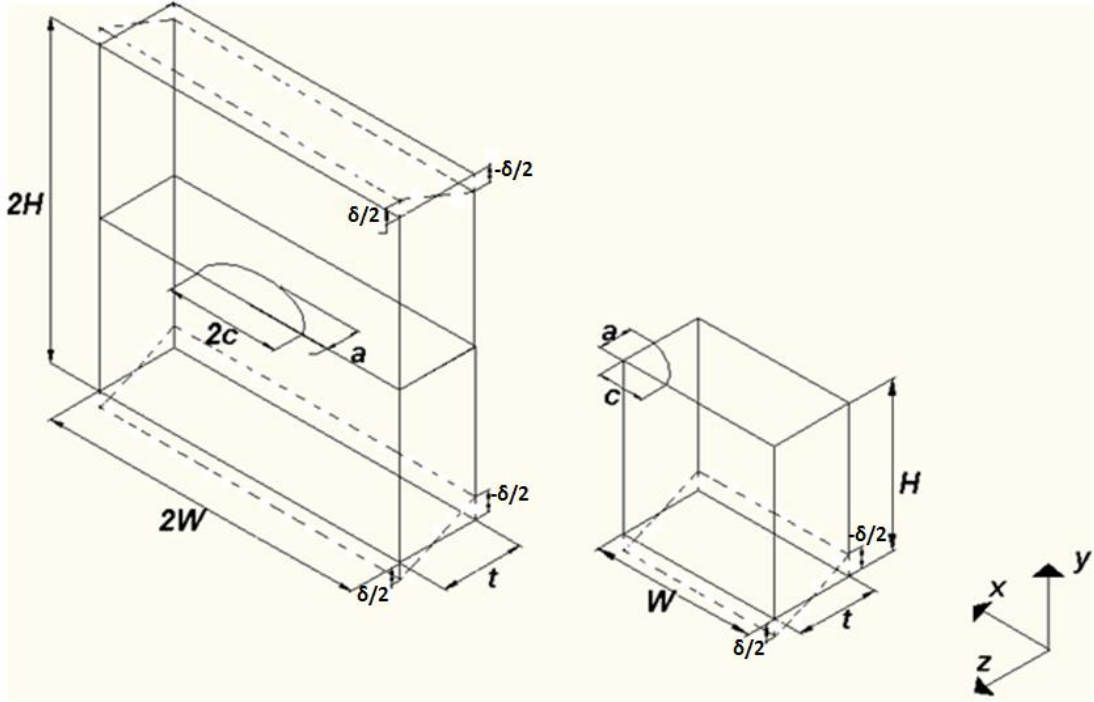
Bu bölümünde, yayılı eğilme yükü, termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü kontrollü, eliptik yüze çatlak içeren plaka modellerinde farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranlarında ve farklı çatlak derinliği/plaka et kalınlığı (a/t) durumları için ANSYSTM sonlu elemanlar programı kullanılarak kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için çatlak içeren plaka modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2.6 da kullanılan plaka modelleri ve yüklemeleri örnek olarak gösterilmiştir. Ansys programında otomatikleştirilmiş makronun oluşturulması FCPAS Software & Tutorial dokümanında geniş şekilde açıklanmıştır [35]. Yayılı eğilme yükü olarak Şekil 2.6.a' da görüldüğü gibi plaka ön yüzeyinde $\sigma=-1$ birimlik çekme gerilmesi, plaka arka yüzeyinde $\sigma=1$ basma gerilmesi, termal eğilme yük olarak ise Şekil 2.6.b' de görüldüğü gibi plaka ön yüzeyinde $\Delta t=1^\circ$ plaka arka yüzeyinde ise $\Delta t=-1^\circ$ sıcaklık farkı, deplasman eğilme yükü olarak ise Şekil 2.6.c' de görüldüğü gibi plaka ön yüzeyinde $\Delta l=HH/100$ ($\Delta l= \delta/2$) plaka arka yüzeyinde $\Delta l=-HH/100$ birimlik deplasman yükü analizlere ait otomatikleştirilmiş makrolar tarafından plakaya uygulanır.



(a)



(b)



(c)

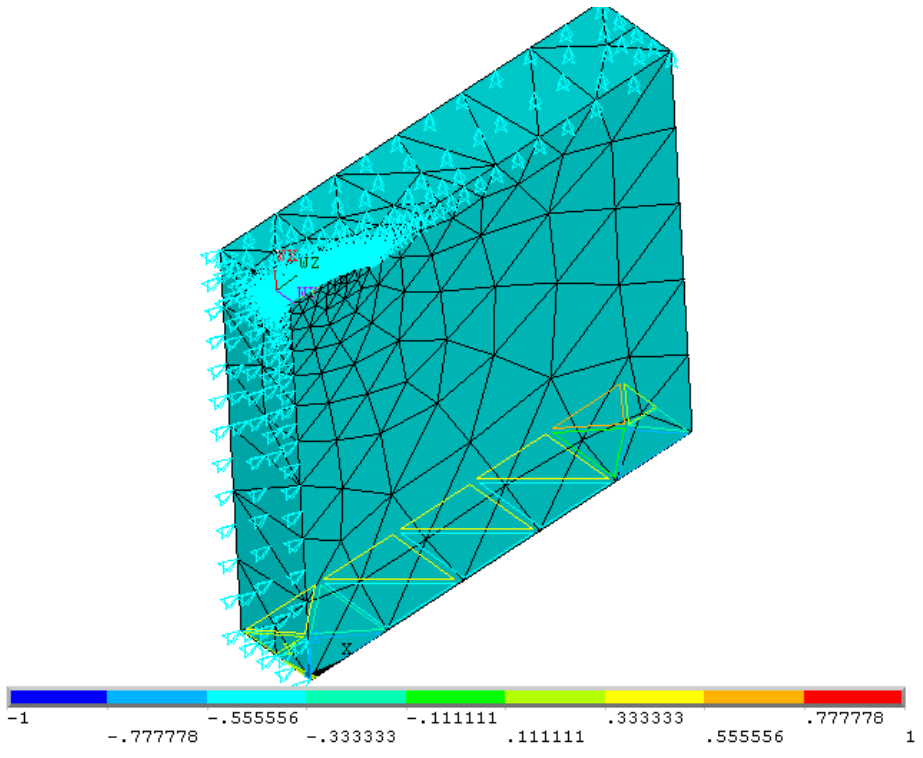
Şekil 2.6. Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlğı içeren tam ve ¼ simetrik plaka modeli
 a) yayılı eğilme yükü b) termal eğilme yükü c) deplasman eğilme yükü

- t: Plaka et kalınlığı
H: Plaka yarı yüksekliği
W: Plaka yarı genişliği
a: Çatlak derinliği
c: Çatlak yarı uzunluğu
 σ : Yayılı yük
 $\delta/2$: Deplasman yükü
 Δt : Termal yük

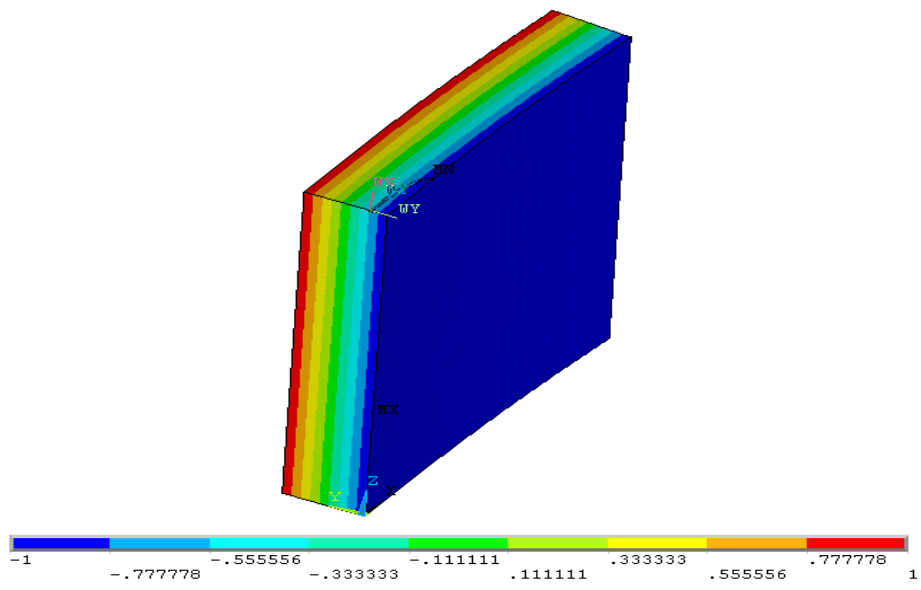
Yayılı eğilme yükü altında eliptik yüzey çatlağı içeren plakalar için oluşturulan parametrik makro, Bölüm 2.4 de üniform yayılı yük eliptik yüzey çatlağı içeren plakalar için oluşturulan makrolar ile aynı yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Analizi gerçekleştirilen plaka ve çatlak boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir. Farklı eğilme yükleri için oluşturulan parametrik makrolar Tablo 2.3 de verilmiştir.

Tablo 2.3. ANSYS™ kullanılarak oluşturulan farklı eğilme yükleri altında yüzey çatlağı içeren plaka parametrik makro listesi

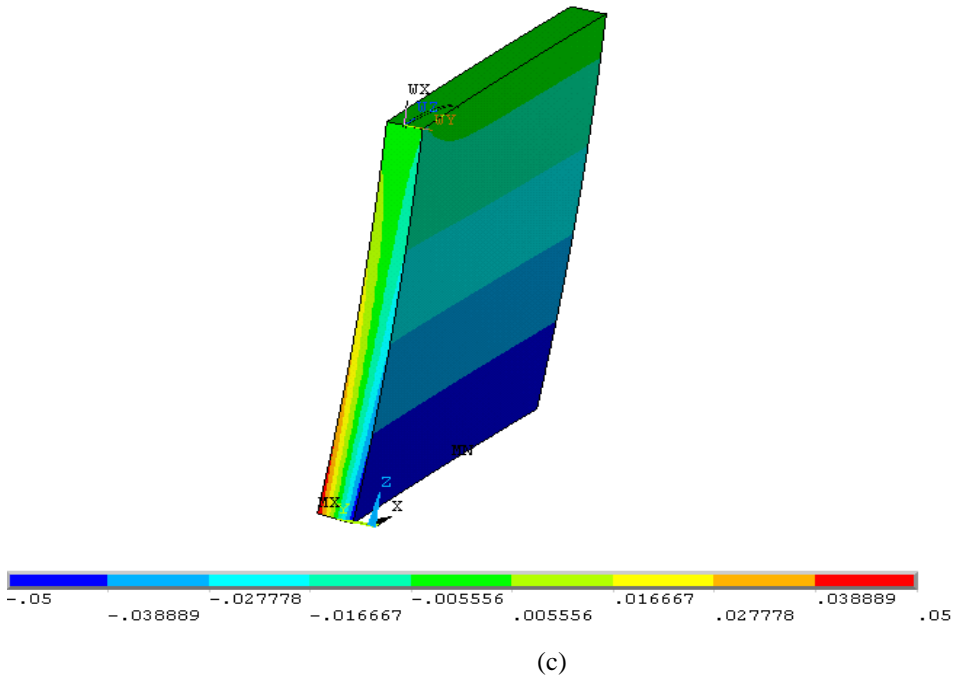
Makro 4	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Yayılı Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 5	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Termal Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 6	Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Deplasman Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu



(a)



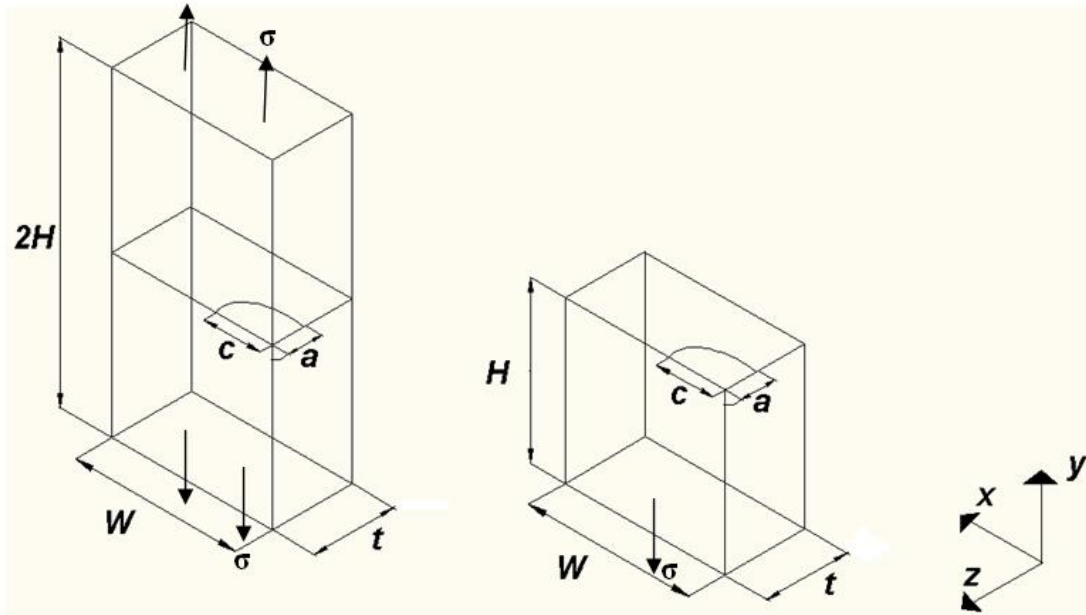
(b)



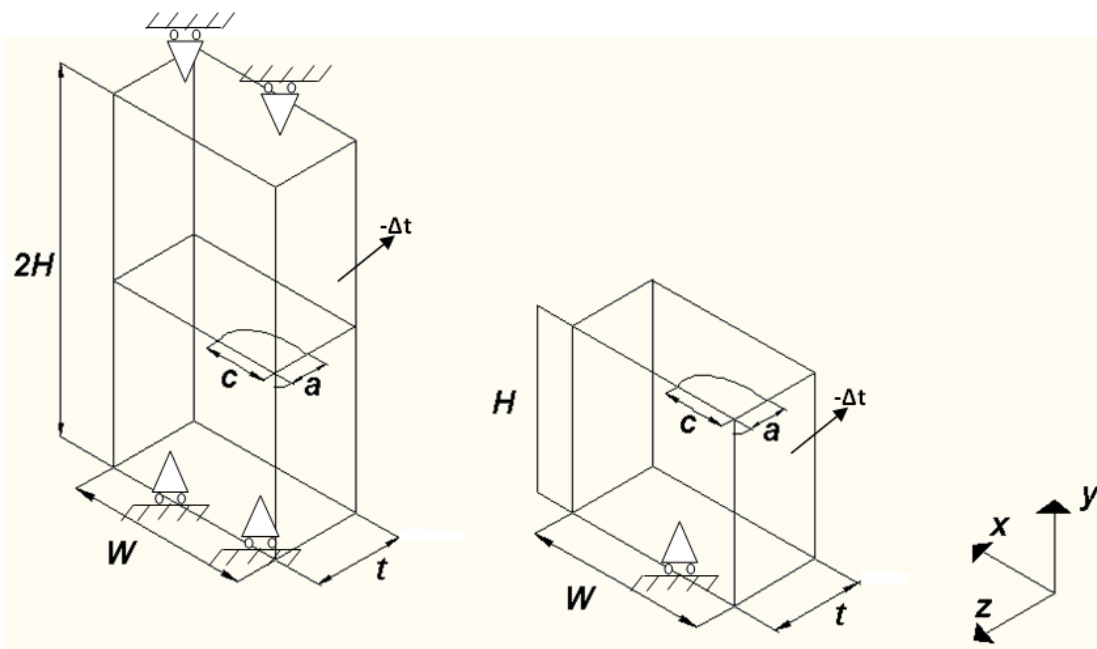
Şekil 2.7. Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlaklı içeren $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli a) yayılı eğilme yükü b) termal eğilme yükü c) deplasman eğilme yükü

2.6. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlaklı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması

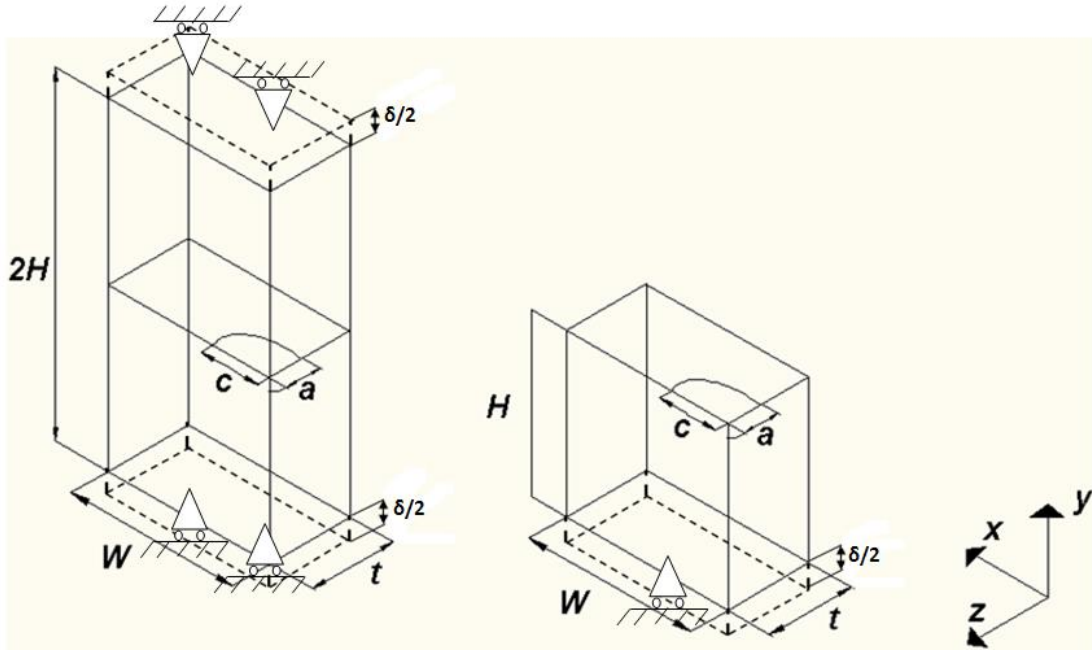
Bu bölümünde, üniform yayılı yük, üniform termal yük ve üniform deplasman yükü kontrollü, eliptik köşe çatlaklı içeren plaka modellerinde farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranlarında ve farklı çatlak derinliği/plaka et kalınlığı (a/t) durumları için ANSYSTM sonlu elemanlar programı kullanılarak kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için çatlak içeren plaka modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2.8’de kullanılan plaka modelleri ve yüklemeleri örnek olarak gösterilmiştir. Ansys programında otomatikleştirilmiş makronun oluşturulması FCPAS Software & Tutorial dokümanında geniş şekilde açıklanmıştır [35]. Köşe çatlaklı otomatikleştirilmiş makroları yüzey çatlaklı içeren modele uygulanan Simetri 1 sınır şartının model üzerinden kaldırılması ile elde edilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.8. Farklı üniform yükler altında eliptik köşe çatlaklı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli
 a) üniform yayılı yük b) üniform termal yük c) üniform deplasman yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

c: Çatlak yarı uzunluğu

σ : Yayılı yük

$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

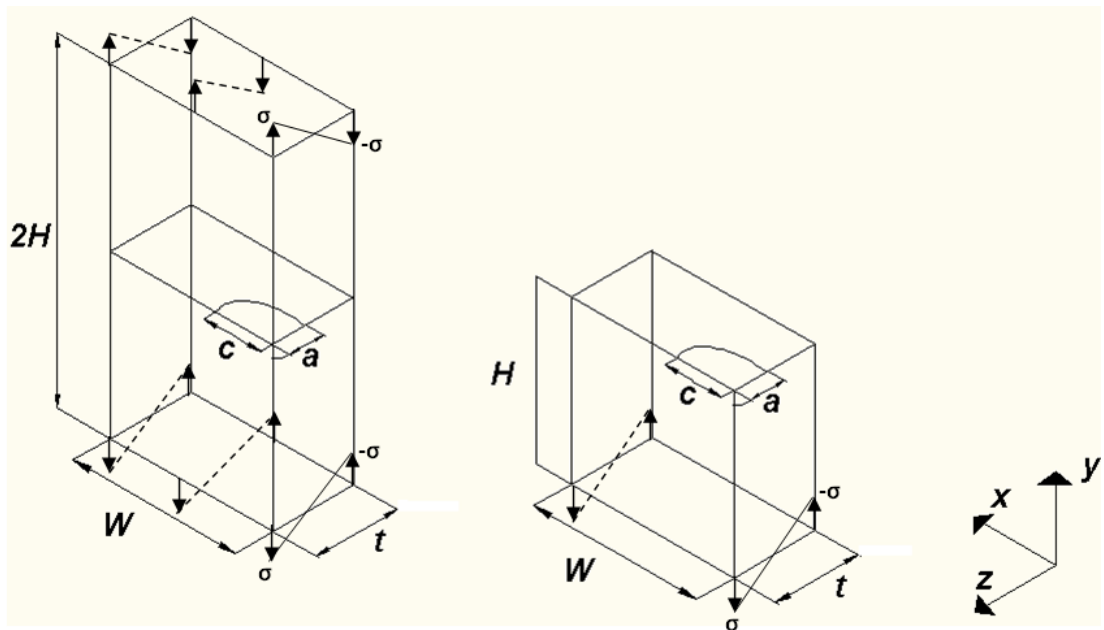
Üniform yayılı yük altındaki eliptik köşe çatlaklı içeren plakalar için oluşturulan parametrik makro Bölüm 2.4 de yüzey çatlaklı içeren plakalar için oluşturulan makrolar ile aynı yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Analizler için uygulanma yöntemi Bölüm 2.4 de anlatılan yöntemlere benzerdir. Farklı yükler için oluşturulan parametrik makrolar Tablo 2.4 de verilmiştir.

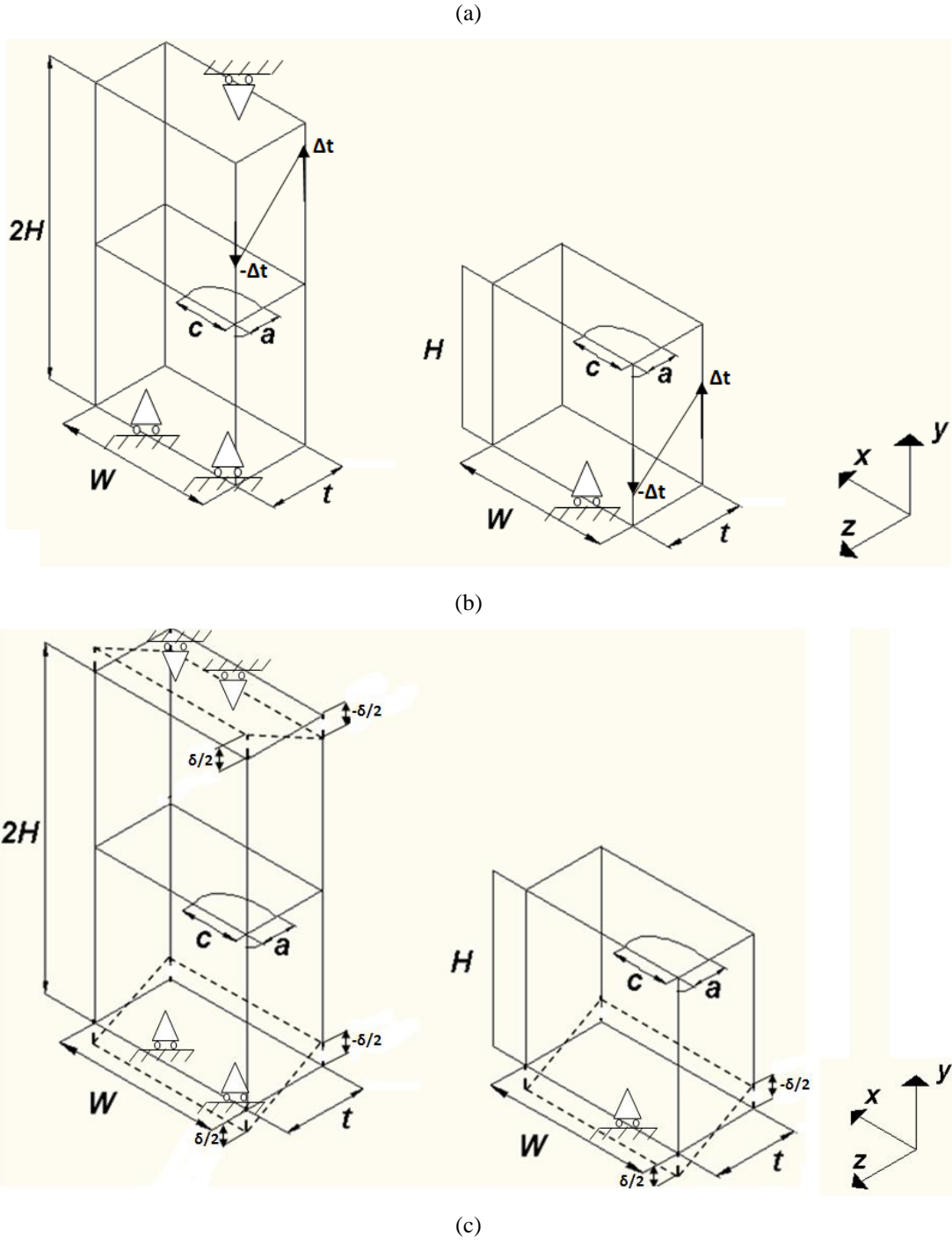
Tablo 2.4. ANSYS™ kullanılarak oluşturulan farklı üniform yayılı yükler altında köşe çatlaklı içeren plaka parametrik makro listesi

Makro 7	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Üniform Yayılı Yük Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 8	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Üniform Termal Yük Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 9	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Üniform Deplasman Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu

2.7. Farklı Eğilme Yükü Altında Eliptik Köşe Çatlaklı İçeren Plakalar İçin Mod I Makro Oluşturulması

Bu bölümünde, yayılı eğilme yük, termal eğilme yük ve deplasman eğilme yük kontrollü, eliptik köşe çatlaklı içeren plaka modellerinde farklı çatlak derinliği/çatlak uzunluğu (a/c) oranlarında ve farklı çatlak derinliği/plaka et kalınlığı (a/t) durumları için ANSYS™ sonlu elemanlar programı kullanılarak kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için çatlak içeren plaka modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2.8’de kullanılan plaka modelleri ve yüklemeleri örnek olarak gösterilmiştir. Ansys programında otomatikleştirilmiş makronun oluşturulması FCPAS Software & Tutorial dokümanında geniş şekilde açıklanmıştır [35]. Köşe çatlaklı otomatikleştirilmiş makroları yüzey çatlaklı içeren modele uygulanan Simetri 1 sınır şartının model üzerinden kaldırılması ile elde edilir.





Şekil 2.9. Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlaklı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli
a) yayılı eğilme yükü b) termal eğilme yükü c) deplasman eğilme yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

c: Çatlak yarı uzunluğu

σ : Yayılı yük

$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

Yayılı eğilme yükü altında eliptik köşe çatlakları içeren plakalar için oluşturulan Bölüm 2.4 de yüzey çatlakları içeren plakalar için oluşturulan makrolar ile aynı yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Analizler için uygulanma yöntemi ile Bölüm 2.4 de anlatılan yöntemler benzerdir. Farklı yükler için oluşturulan parametrik makrolar Tablo 2.5 de verilmiştir.

Tablo 2.5. ANSYSTM kullanılarak oluşturulan farklı eğilme yükleri altında köşe çatlakları içeren plaka parametrik makro listesi

Makro 10	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Yayılı Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 11	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Termal Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu
Makro 12	Eliptik Köşe Çatlak İçeren Deplasman Eğilme Yükü Plaka Modeli Parametrik Makrosu

Bu çalışmada TÜBİTAK destekli araştırma projesi kapsamında geliştirilen FCPAS isimli ara yüz kullanılarak üç boyutlu eliptik yüzey çatlakları ve eliptik köşe çatlakları içeren plakaların Mod-I kırılma analizleri ve çatlak ilerleme analizleri gerçekleştirilmiştir. FCPAS ara yüzü üç boyutlu çatlaklı modeller için kırılma ve çatlak ilerleme analizleri ile çatlak içermeyen modellere çatlak yerleştirilerek kırılma analizleri uygulamalarını gerçekleştirebilen bir ara yüzdür.

2.8. FCPAS (Fracture & Crack Propagation Analysis System) Programı

FCPAS, mühendislik malzemelerinin üç boyutlu biçimde kırılma analizleri ve plaka ile silindirik modeller için çatlak ilerleme analizi yapabilen, temelinde sonlu elemanlar yöntemine dayanan bir ara yüzdür. Ayrıca çatlak içermeyen modellere, istenilen konum ve boyutlarda çatlak yerleştirme işlemini gerçekleştirerek kırılma analizleri yapılabilir. Üç boyutlu zenginleştirilmiş elemanların kullanılmasına ve gerilme şiddeti faktörü gibi önemli kırılma parametrelerinin verimli ve doğru bir

biçimde hiçbir özel bölüntü ihtiyacı ve post-process çabası gerekmeden hesaplanmasına fırsat vermektedir.

FCPAS Kırılma analizlerinde genel işlem basamakları [35];

- a) Yayılı yük, termal yük ya da deplasman yüküne maruz kalan bir modelin kırılma analizi için otomatikleştirilmiş ANSYSTM makrolarından herhangi birisi seçilir.
- b) Otomatikleştirilmiş makro dosyası üzerinde kullanıcının belirlemiş olduğu çalışma klasörü yolu değiştirilir.
- c) Otomatikleştirilmiş makro dosyası içerisinde istenilen a/c ve a/t oranlarında hazırlanır.
- d) Makro içerisindeki tüm komutlar ANSYSTM programı komut satırına girilerek istenilen oranlarda model ve modele ait gerekli kırılma dosyalar elde edilir.
- e) Makro ile oluşturulmuş olan kırılma analiz dosyaları çalışma klasörü içerisine gerekli uzantılar ve çalışma ismi ile kaydedilir.
- f) FCPAS programı çözümü gerçekleştirilerek istenilen yükleme kontrolünde ve istenilen oranlarda çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörleri hesaplanır.

2.9. Örnek Uygulama: Farklı Yükler Altında Eliptik Yüzey ve Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modellerinin Parametrik Makro İle Oluşturulması FCPAS Ara Yüzü ile Çözümü (a/c=0.2, a/t=0.2)

Bu bölümde, Bölüm 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7 de oluşturulmuş olan parametrik makrolar kullanılarak eliptik yüzey ve eliptik köşe çatlağı içeren plaka modeli için örnek uygulamalar bulunmaktadır. Analizlerde gerçekleştirilen işlemlerin en geniş hali [35] numaralı kaynakta mevcuttur.

2.9.1. Farklı yükler altında eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelinin parametrik makro ile oluşturulması FCPAS ara yüzü ile çözümü ($a/c=0.2$, $a/t=0.2$)

Bölüm 2.8’de genel işlem basamakları olarak ifade edilen kırılma analizleri için çatlak derinliği $c=1$ ve $a/c=0.2$, $a/t=0.2$, $H=5*c$, $W=5*c$, $E=3*10^7$, $\nu=0.3$, Crack_Lesize=80, $\sigma=-1$ değerleri alınarak $1/4$ simetrik olarak modellenmiş eliptik yüzey ve köşe çatlakları içeren plaka modeli örnek uygulama olarak açıklanmaktadır. Termal analiz için elde edilen makroda yük olarak $\Delta T = -1^\circ C$ birim sıcaklık farkı, deplasman yükü kontrollü analiz için elde edilen makroda yük olarak $\Delta l = HH / 100$ ($\Delta l = \delta/2$) deplasman yükü olarak uygulanır. Verilen oranlar için plaka boyutları;

$$t=1$$

$$w=5$$

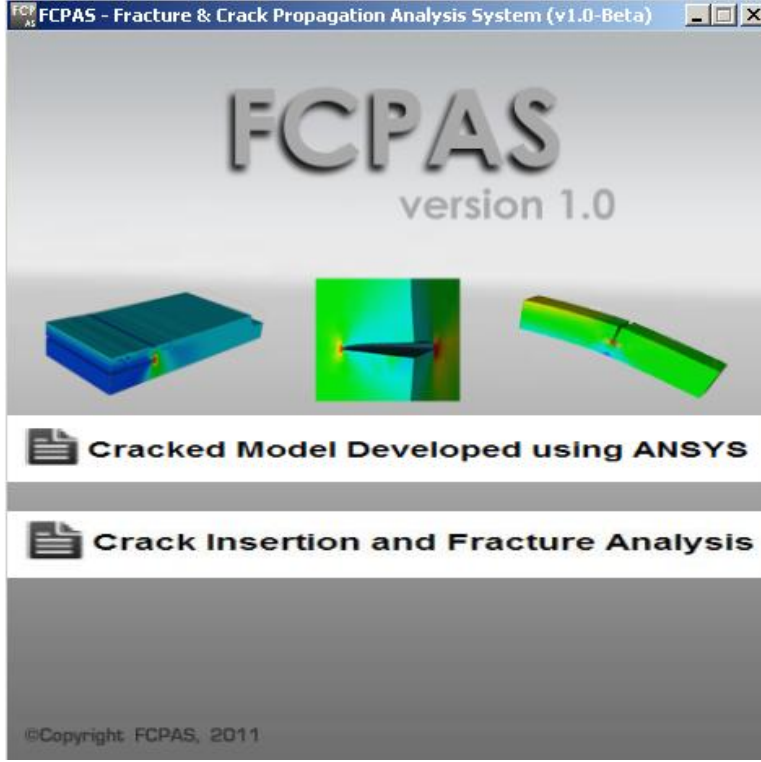
$$h=5$$

$$a=0.2$$

$c=1$ olarak otomatikleştirilmiş makro tarafından hesaplanır.

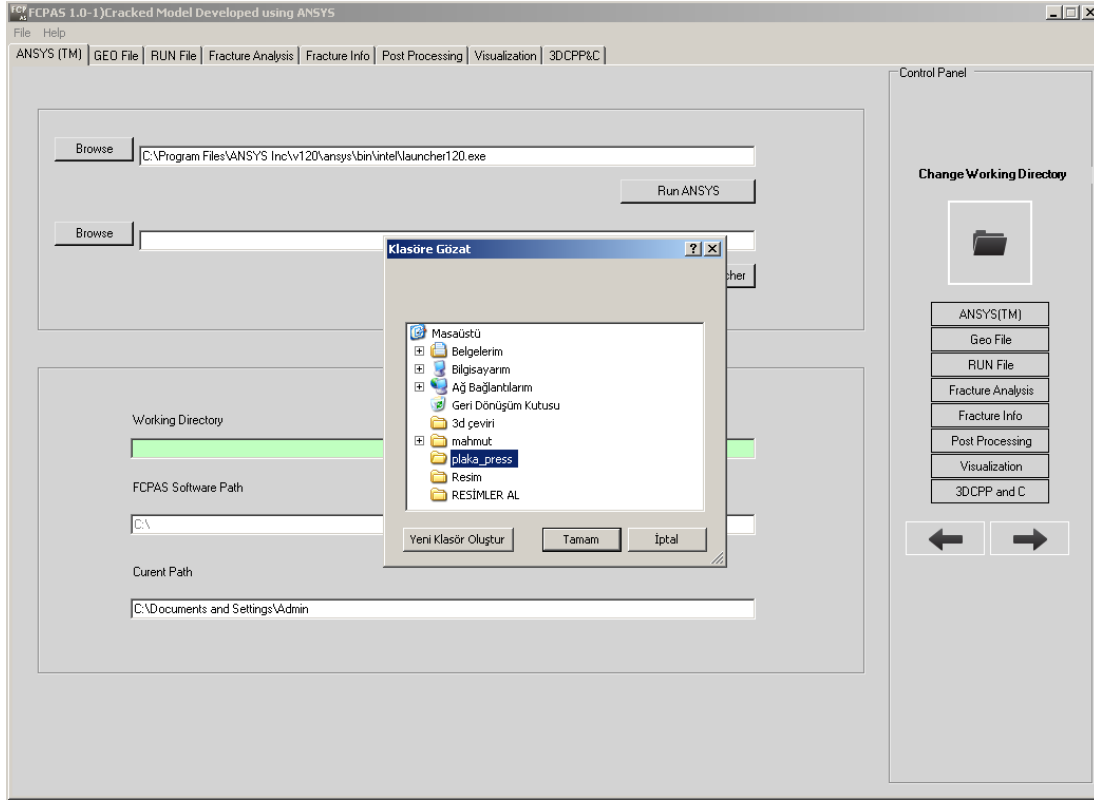
İlk olarak, yayılı yük için oluşturulan otomatikleştirilmiş makro kullanılarak plakadaki seçilen düğüm noktalarına göre sıralanmış olan *.dlis uzantılı sınır şartları dosyası, *.sflis uzantılı yük dosyası, *.elis uzantılı tüm modelin eleman dosyası, *.crelems uzantılı çatlak ucu boyunca uzanan eleman dosyası ve *.crnodes uzantılı çatlak ucu boyunca bulunan düğüm dosyası, belirlenen çalışma klasörü içerisine kaydedilir. Parametrik makro sonucu *.node uzantılı modelin tamamının düğüm listesini içeren dosya çalışma klasörü içerisine otomatik olarak kaydedilir. Termal yük ve deplasman yükü altında plakalarda kırılma analizi yapılmak istendiğinde plakada kuvvet altında bir çekme yükü oluşmayacağı için *.sflis uzantılı dosya oluşmayacaktır. Termal yük altında plakalarda kırılma analizi yapılırken *.tem uzantılı termal yük dosyası oluşur. Deplasman yükü altında bir plakaya etki eden deplasman yükleri *.dlis uzantılı dosya içerisine yazılır. Modele ait oluşan tüm dosyalar çalışma klasörü içerisine kaydedilir [35]. Aynı işlemler deplasman yükü ve termal yük altındaki plakalar için Makro 2 ve Makro 3 kullanılarak tekrar edilir. Bu işlemlerden sonra FCPAS ara yüzü kırılma analizi için gerekli dosyalar hazır duruma gelir. FCPAS ara yüzünde açılan ana formdan “Cracked Model Developed using

ANSYS”(ANSYS Kullanılarak Çatlaklı Model Geliştirilmesi) butonu ile gerekli kırılma analiz formuna geçilir.



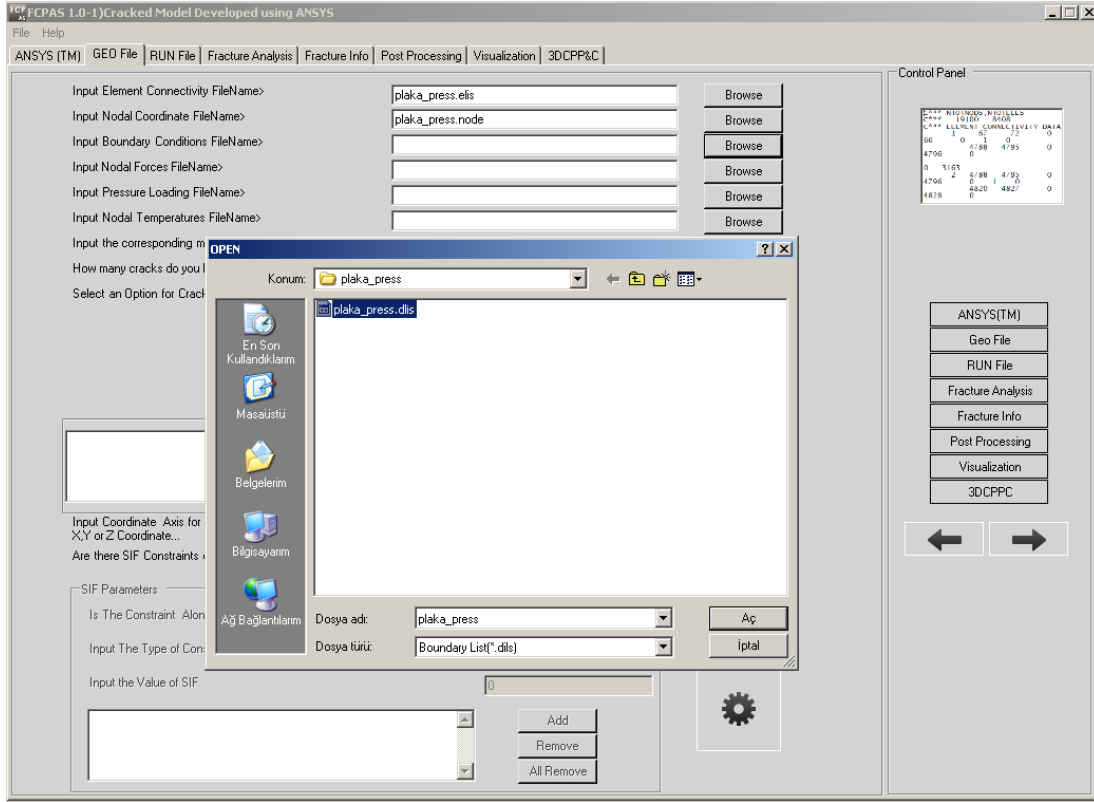
Şekil 2.10. FCPAS ana formu

Analiz formunda ilk sekme “ANSYS(TM)” sekmesidir. Bu sekmede kullanıcı ANSYS programında oluşturulan *.sflis, *.dlis, *.elis, *.node, *.crelems ve *.crnodes uzantılı dosyaların bulunduğu çalışma klasörünü seçerek analiz sonrası elde edilen (*.sum, *.crk, *.str, *.stn, *.wct, *.prop1) uzantılı dosyaların kayıt edileceği yolu belirler.

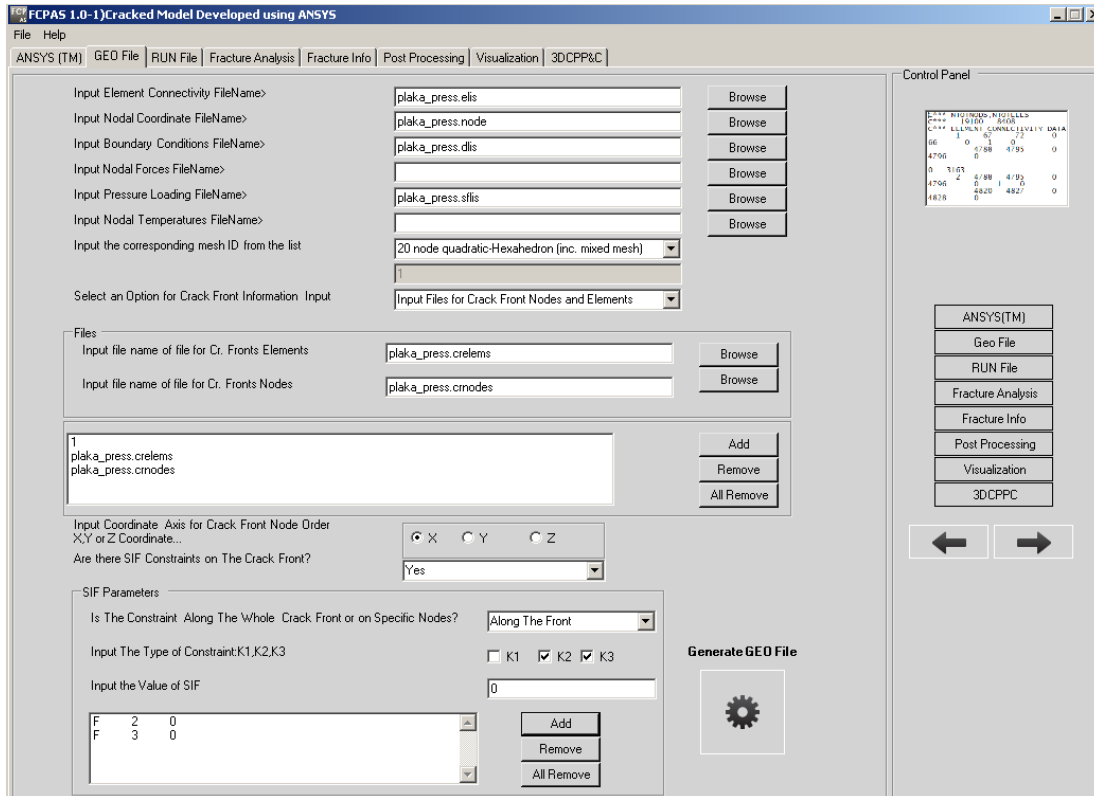


Şekil 2.11. Analiz İçin Gerekli Dosyaların Bulunduğu Çalışma Klasörünün Seçilmesi

Çalışma klasörü seçildikten sonra bir sonraki sekmede kullanıcı GEO File sekmesi ile karşılaşır. Bu sekmede gerekli dosyalar “Browse” butonları ile seçilir. Ayrıca çatlak ucu için gerekli koordinat eksenini belirlenir. Şekil 2.13’de görüldüğü gibi K2 ve K3 seçenekleri işaretlenir. Bunun anlamı; plaka modeli bu analizde yayılı yük altında sadece çekmeye maruz kaldığından plaka üzerinde yalnızca K1 gerilmesinin oluşacağı ve K2 ile K3 gerilmelerinin sıfıra eşit olacaktır. Bu sekmede son işlem olarak “Generate GEO File” butonuna tıkladığında ANSYS programından elde edilmiş olan plaka model ve çatlak geometrisi dosyaları çalışma klasörü içerisine FCPAS’in “Fracture Analysis” sekmesinde kullanacağı *.geo uzantılı tek bir dosya haline dönüştürülür.



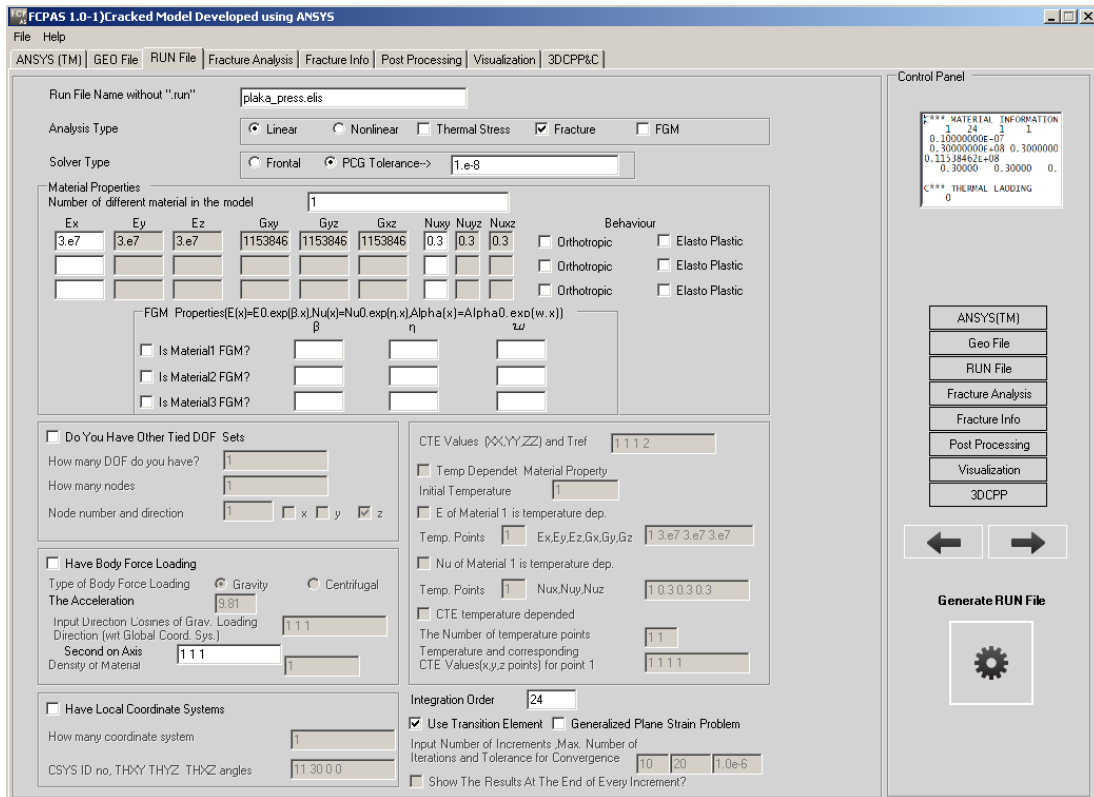
Şekil 2.12. FCPAS GEO File dosyası oluşturması dosya seçimi



Şekil 2.13. FCPAS GEO File sekmesi

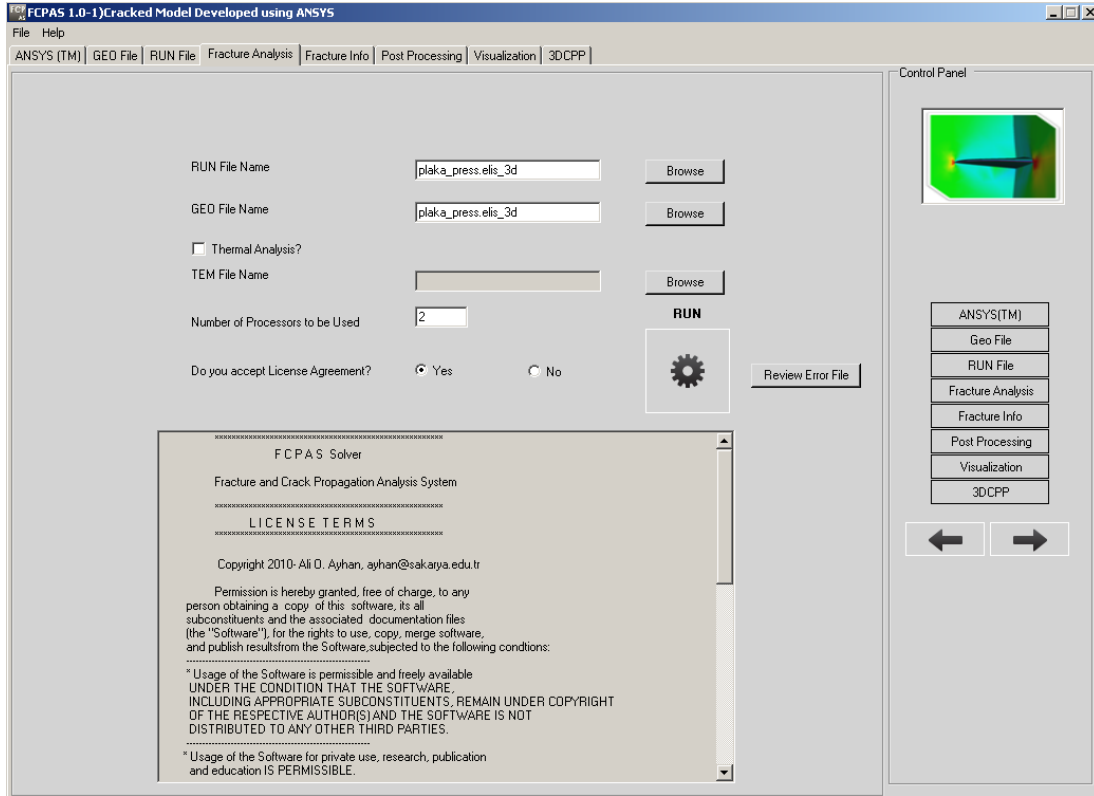
“RUN File” sekmesinde ise modele ait malzeme özellikleri, analiz tipini, çözücü tipini, modeldeki malzeme sayısını, belirlenen malzemenin davranışını, integrasyon sayısını, analizde geçiş elemanının kullanılıp kullanılmayacağını ve yapılan analize göre gerekli görülen seçenekler belirlenir.

Bu sekmede son işlem olarak “Generate RUN File” butonu tıklanarak modele ait girilmiş olan tüm malzeme özellikleri, çözümün kaç iterasyonla yapılmak istendiği, çatlak ucunda geçiş elemanları ile çatlak ucunda zenginleştirilmiş eleman kullanılıp kullanılmayacağı, çalışma klasörü içerisine FCPAS’ın “Fracture Analysis” sekmesinde kullanılmak üzere *.run uzantılı dosya olarak kaydedilir. Termal yük altında bir analiz gerçekleştireceksek analiz tipi kısmından termal analiz butonu işaretlenir plaka için ısı taşınım katsayısı belirlenir ve gerekli *.tem uzantılı dosya elde edilir.

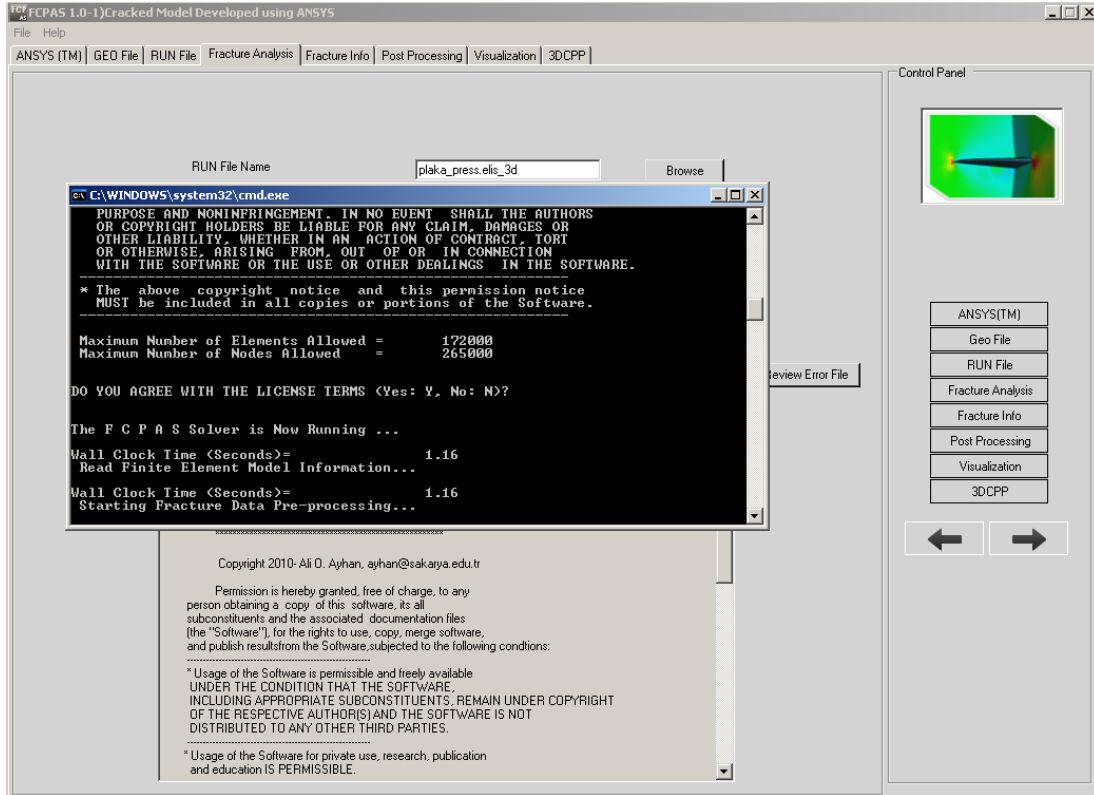


Şekil 2.14. FCPAS RUN File sekmesi

“Fracture Analysis” sekmesinde oluşturulmuş olan *.geo ve *.run ve termal analizler için *.tem uzantılı dosyalar kullanılarak eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinin çözümü gerçekleştirilir. Çözüm işlemini başlatmak için lisans şartları kabul edilerek etkin hale gelen “RUN butonuna” tıklanır ve kırılma modelinin çözümü başlatılır. Sonuç olarak, *.crk, *.out, *.stn, *.str, *.sum uzantılı dosyalar oluşturulmaktadır.



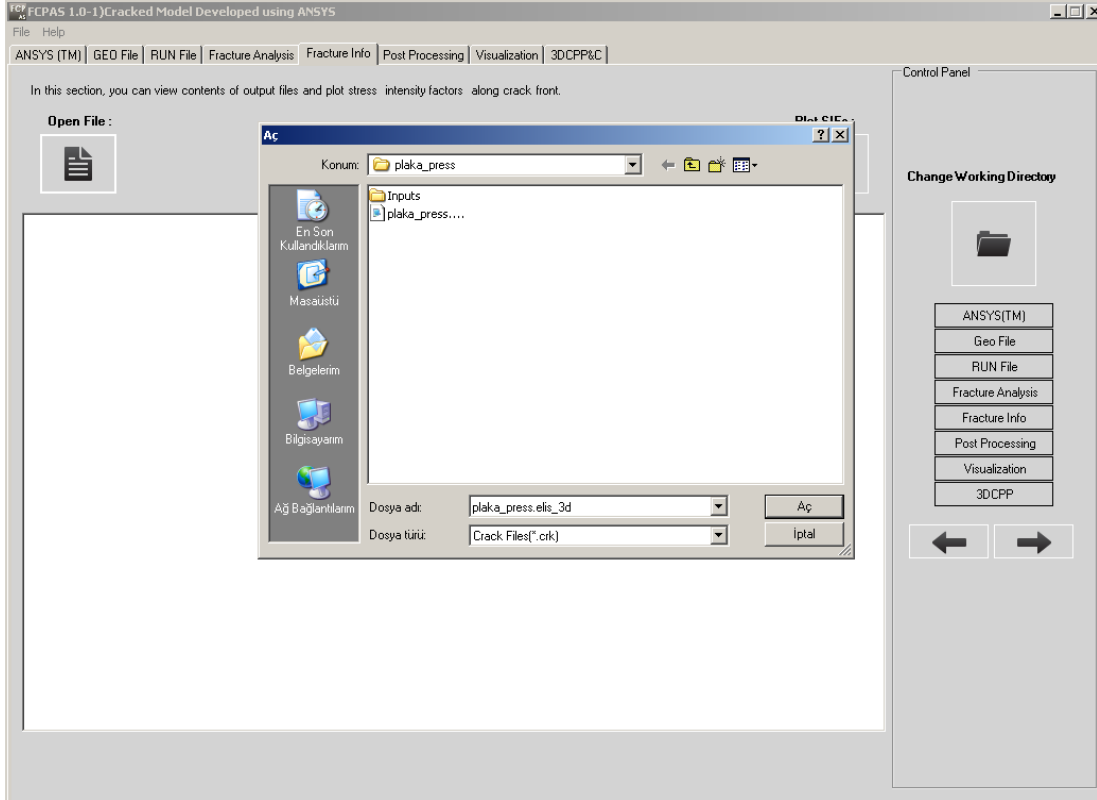
Şekil 2.15. FCPAS Fracture Analysis sekmesi



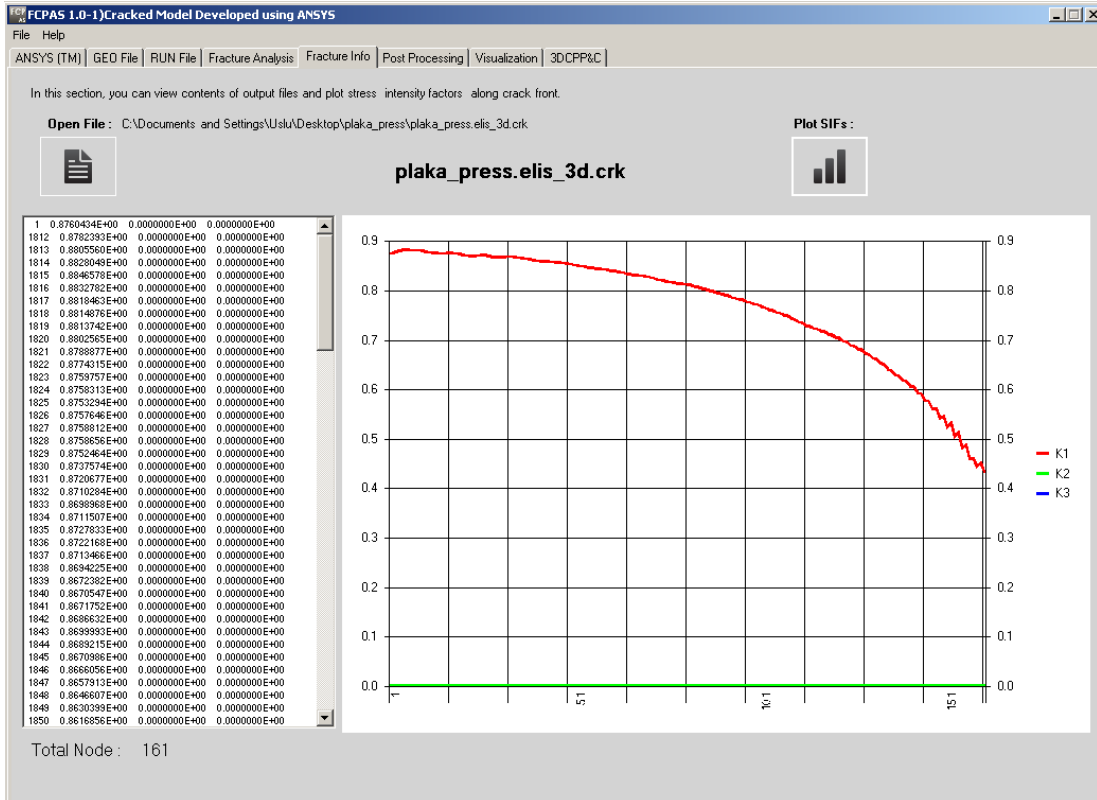
Şekil 2.16. FCPAS Frac3d çözümü

Frac3d çözümü sonucunda oluşan *.crk uzantılı dosya içerisinde *.crnodes dosyası içerisindeki çatlak ucu boyunca her düğüm noktasına karşılık gelen gerilme şiddet faktörü (K1,K2,K3) değerleri oluşur. *.crk dosyasının içerisindeki K1 gerilme şiddet faktörü değerleri denklem 2.2-2.10’ da verilen formüller kullanılarak normalizasyon yapıp boyutsuz hale getirilir.

Frac3d çözümü sonucu oluşan *.sum, *.str, *.stn, *.out uzantılı dosyalar ise “Postprocessing” sekmesinde kullanılmaktadır. “Fracture Info” sekmesinde ise, çatlak ucu boyunca düğümlere göre elde edilen gerilme şiddet faktörlerinin değerlerinin gösterildiği ve grafikte birlikte ifade edildiği sekmedir. Kullanıcı grafiksel olarak değerleri görebilmektedir. “Open File” butonu kullanılarak çatlak ucu boyunca her düğüm noktasına karşılık gelen gerilme şiddeti faktörleri (K1,K2,K3) görüntülenir. “Plot SIFs” butonu kullanılarak çatlak ucu tüm düğüm noktalarına karşılık gelen gerilme şiddet faktörleri (K1,K2,K3) grafiksel olarak görüntülenir.

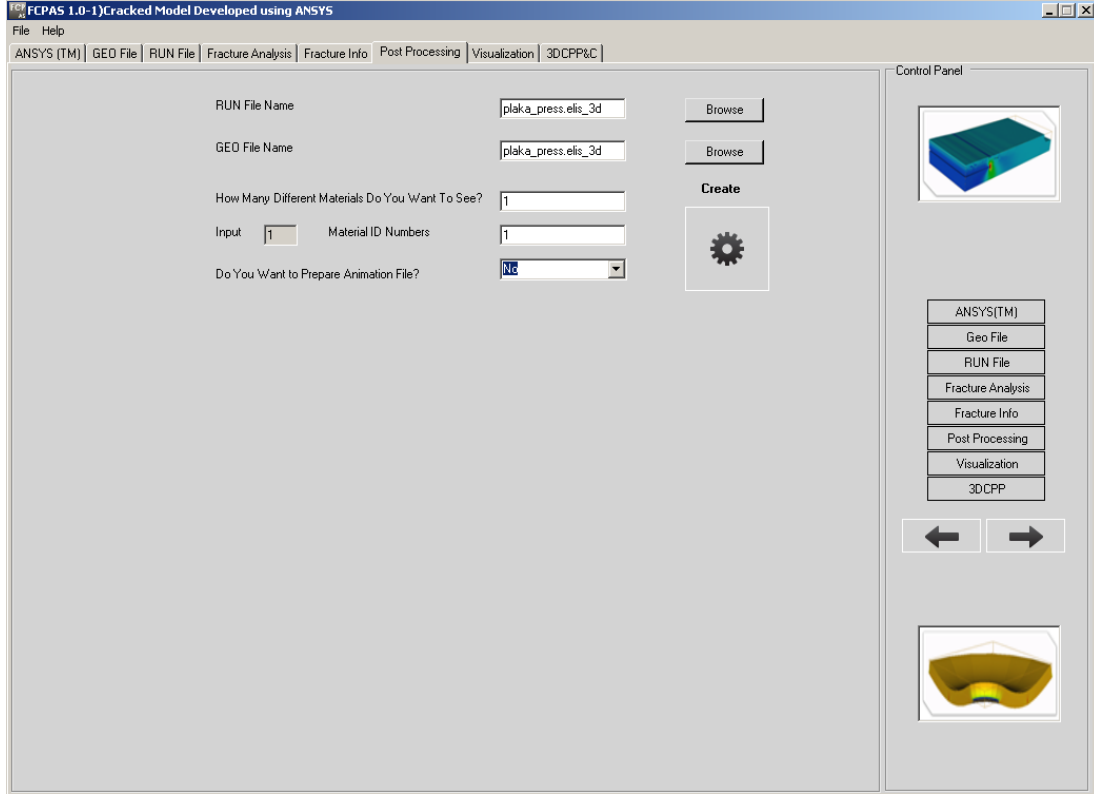


Şekil 2.17. FCPAS Fracture Info sekmesi dosya seçimi



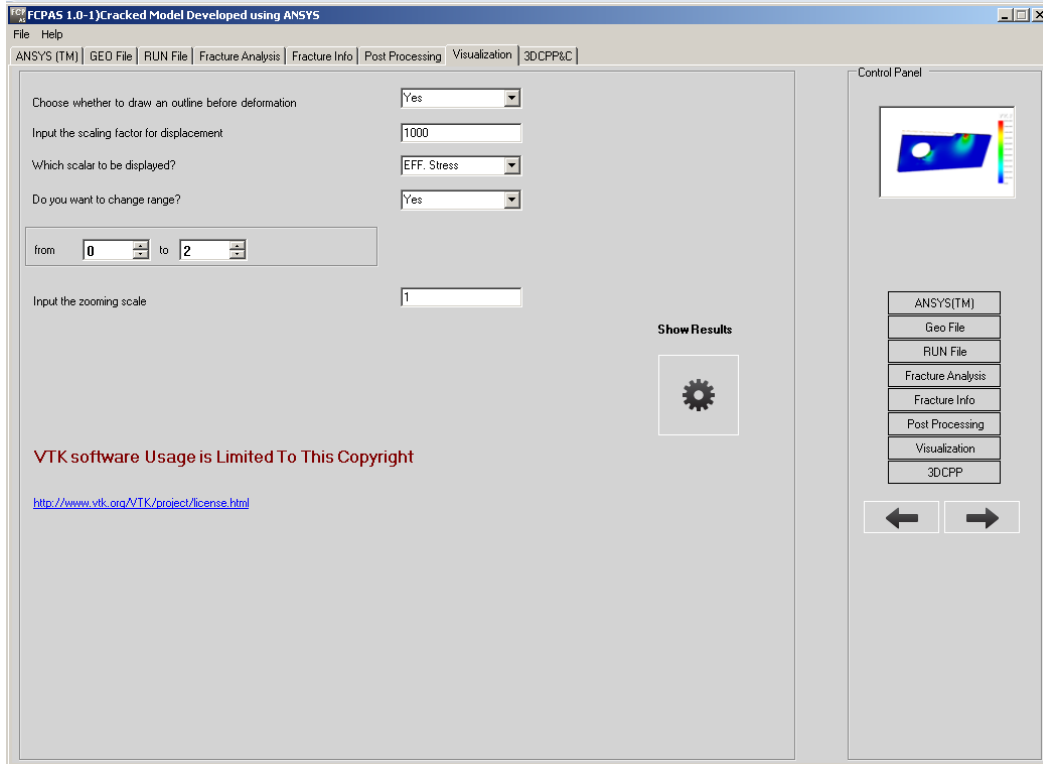
Şekil 2.18. FCPAS Fracture Info sekmesi k1,k2,k3 grafiksel gösterimi

“Post Processing” sekmesinde ise “Fracture Analysis” sekmesinde elde edilen *.sum,*.str,*.stn,*.out” uzantılı dosyalar seçildikten sonra “Create” butonuna basılıp movie3d.exe ‘de çalıştırılarak bir sonraki “Visualization” sekmesi için gerekli dosya formatına dönüştürülmektedir.

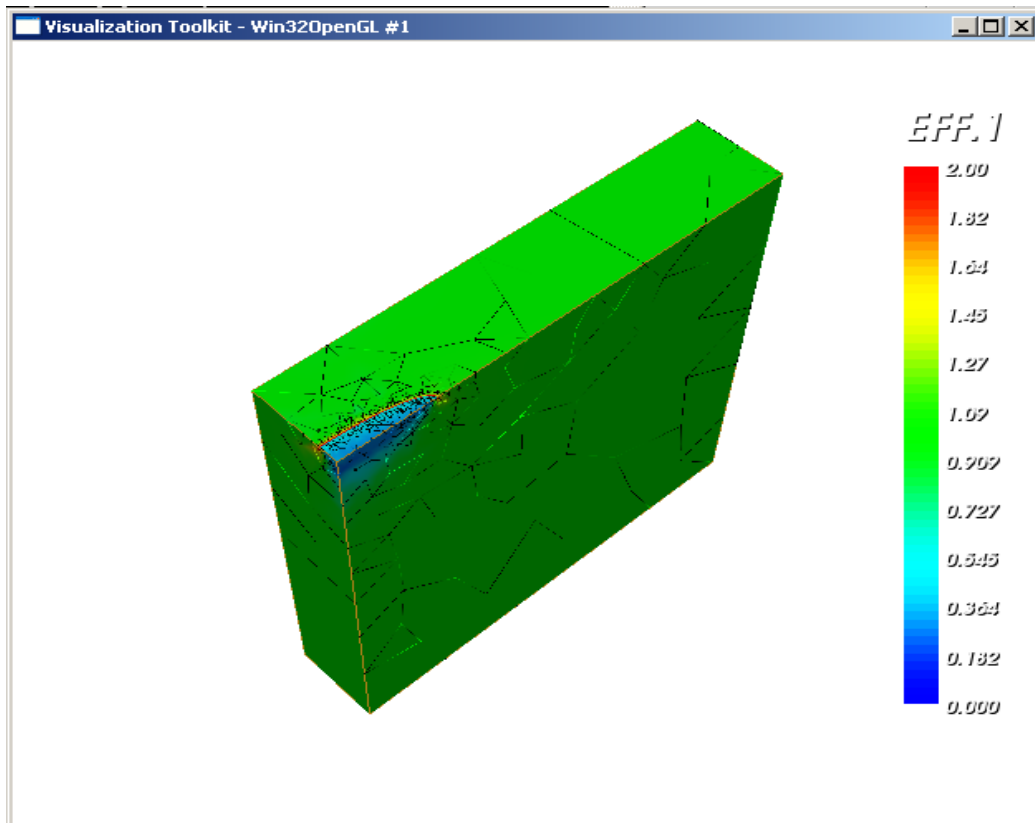


Şekil 2.19. FCPAS Post Processing sekmesi

“Visualization” sekmesinde ise analizi yapılan çatlaklı modelin “Post Processing” sekmesinde elde edilen dosyalar seçilerek “Create” butonuna tıklanarak üç boyutlu olarak gösterimi bulunmaktadır. “Visualization” sekmesi analizi yapılan çatlaklı modelin doğru olarak çizilip çizilmediğini, çatlak bölgesindeki gerilmenin maksimum olduğu alanı görsel olarak görebilme imkanı sağlar. Aşağıda, Şekil 2.11’ da çatlaklı modelin resmedildiği örnek bulunmaktadır [35].



Şekil 2.20. FCPAS Visualization sekmesi



Şekil 2.21. FCPAS Visualization sekmesinde gerilme dağılımının gösterilmesi [35]

Elde edilen K1 gerilme şiddet faktörü değerleri Denklem 2.2-2.10 kullanılarak normalizasyon yapılır. Boyutsuz hale gelen gerilme değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Eğilme yükleri altında kırılma analizleri yapılırken üniform yükler altında kırılma analizleri için uygulanan işlemler benzer biçimde tekrarlanır. Tablo 2.2-2.4 de verilen makrolar kullanılarak modeller oluşturulur ve FCPAS ara yüzü kullanılarak gerilme şiddet faktörleri hesaplanır. Hesaplanan çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü değerleri Denklem 2.2, 2.10 ile normalizasyon edilerek grafiksel gösterime geçilmiştir. Yüzey çatlağı ile köşe çatlağı arasındaki analizler açısından tek fark analizlerde kullanılan makrolardır.

FCPAS kırılma analizleri sonunda elde edilmiş olan K1 gerilme şiddet faktörü boyutsuz hale getirilip çatlak derinliğinden, uygulanan yük cinsi ve büyüklüğünden bağımsız hale getirilir.

Yayıllı yük altındaki plaka için gerilme şiddet faktörü normalizasyonu Denklem 2.2'de gösterilmektedir.

$$K_N = \frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}} \quad (2.2)$$

$a/c < 1$;

$$Q = 1 + 1.464 * \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65} \quad (2.3)$$

$a/c > 1$;

$$Q = 1 + 1.464 * \left(\frac{c}{a}\right)^{1.65} \quad (2.4)$$

K: Frac3d çözümü sonucunda *.crk uzantılı dosya içerisinde çatlak ucu düğümlerine karşılık gelen gerilme şiddet faktörü

σ_0 : Yayılı yük

a : Çatlak derinliği

c : Çatlak uzunluğu

Bu çalışmada yayılı yük kontrollü plaka modeli için gerilme (σ_0) değeri 1 birim olarak alınmıştır.

Termal ve deplasman yük kontrolleri altındaki gerilme şiddet faktörü değerlerinin normalizasyonları Denklem 2.5, 2.6, 2.7 ve Denklem 2.8, 2.9, 2.10'da açıklanmaktadır.

Termal yük kontrollü silindir çubuk için gerilme şiddet faktörü normalizasyonu;

$$K_N = \frac{K}{\sigma^t \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}} \quad (2.5)$$

Q değeri denklem 2.3 ve 2.4' te anlatıldığı gibidir.

$$\sigma^t = \varepsilon^t \cdot E \quad (2.6)$$

$$\varepsilon^t = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.7)$$

σ^t : Gerilme değeri

ε^t : Birim şekil değişimi

E : Elastisite modülü

α : Isı iletim katsayısı

ΔT : Sıcaklık farkı

Bu çalışmada termal yük kontrolündeki plaka modeli için ısı iletim katsayısı $\alpha = 1.10^{-5} 1/^\circ \text{C}$ ve alt ve üst yüzeylerinden sabitlenmiş olan plaka modeli termal yük altında $\Delta T = -1^\circ \text{C}$ sıcaklık farkına maruz kalmaktadır.

Deplasman yükü kontrolündeki plaka modeli için gerilme şiddet faktörü normalizasyonu;

$$K_N = \frac{K}{\sigma^d \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}} \quad (2.8)$$

Q değeri denklem 2.2 ve 2.3 te anlatıldığı gibidir.

$$\sigma^d = \varepsilon^d \cdot E \quad (2.9)$$

$$\varepsilon^d = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.10)$$

σ^d : Gerilme

E : Elastisite modülü

ε^d : Birim şekil değişimi

ΔL : Silindir boyundaki değişimi ($\Delta l = \delta/2$)

L: Silindir başlangıç boyuna

Alt ve üst yüzeylerinden sabitlenmiş olan plaka modeli $\Delta L = H/100$ ($\Delta l = \delta/2$) birimlik deplasman yüküne maruz kalmaktadır. Plaka boyu $H = 5$ olarak alındığından birim şekil değişimi:

$\varepsilon = 0.01$ dir.

Tablo 2.1 de verilen tüm değerler için farklı üniform yükler ve farklı eğilme yükleri altında analizler yapılmış olup sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir.

2.9.2. Farklı yükler altında eliptik köşe çatlağı içeren plaka modelinin parametrik makro ile oluşturulması ve FCPAS ara yüzü ile çözümü (a/c=0.2, a/t=0.2)

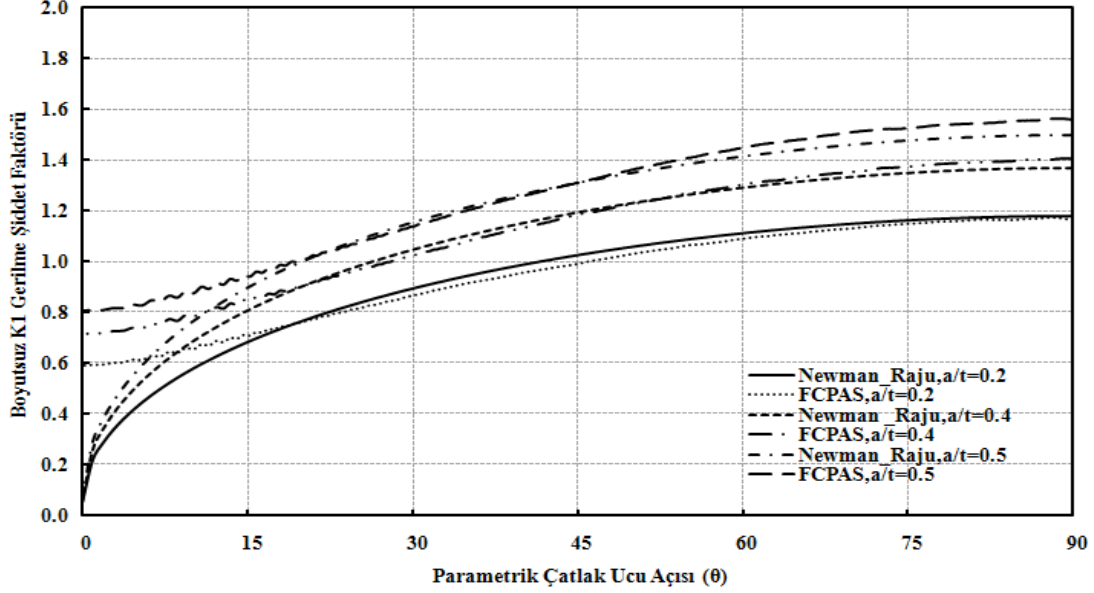
Bu kısımda Bölüm 2.9.1 de yapılmış olan işlemler benzer biçimde tekrarlanmıştır. Eliptik köşe çatlak içeren Tablo 2.4. verilen makrolar kullanılarak Tablo 2.1' de ölçüleri verilen modeller oluşturulmuş ve FCPAS ara yüzü kullanılarak gerilme şiddet faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan çatlak ucu boyunca gerilme şiddet

faktörü değerleri Bölüm 2.9.1.1 deki formüller ile normalizasyon edilerek grafiksel gösterime geçilmiştir. Yüzey çatlakları ile köşe çatlakları arasındaki analizler açısından tek fark analizlerde kullanılan makrolardır. Eğilme yükleri altındaki plakalarda gerilme analizleri içinde benzer işlemler tekrarlanarak K1 gerilme şiddet faktörleri değerleri elde edilir. Analizlerde gerçekleştirilen işlemlerin en geniş hali [36] numaralı kaynakta mevcuttur.

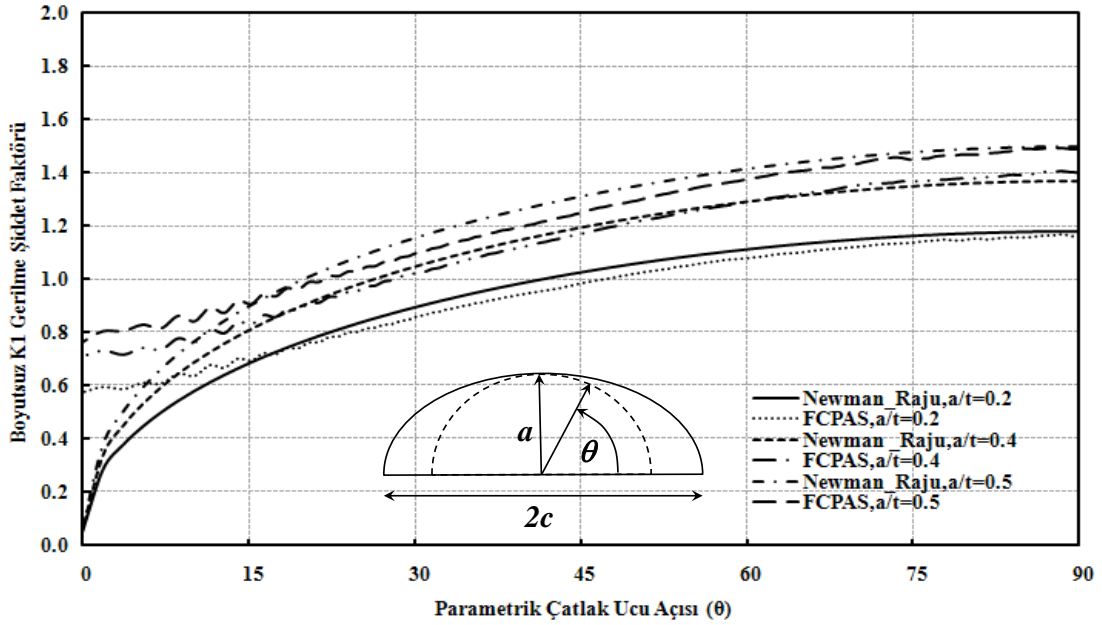
2.10. Plakalardaki Eliptik Yüzey ve Köşe Çatlak Modeli ve Çözümlerinin Geçerliliği

Bu bölümde ANSYSTM ve parametrik makroları kullanarak Tablo 2.1 de verilen a/c ve a/t oranları için elde edilmiş kırılma modellerinin FCPAS ara yüzü kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen boyutsuz K1 gerilme şiddet faktörleri Newman-Raju [21] denklemleriyle elde edilen K1 değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Sonuçların birbirlerine çok yakın çıktığı gözlemlenerek otomatikleştirilmiş makro kullanılarak ANSYSTM programında elde edilmiş modelin ve FCPAS çözümlerinin doğruluğu ispatlanmıştır. K1 gerilme şiddet faktörü, yükleme çeşitlerine, şiddetine ve çatlak geometri ve uzunluğuna bağlıdır. $\theta = 0$ serbest yüzeydeki normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değeri teorik olarak sıfıra gitmektedir. Bundan dolayı o bölgede detaylı bir incelemeye gerek duyulmamıştır.

2.10.1. Ünlform yayılı yük altında eliptik yüzey çatlak içeren plaka modelleri ve çözümlerinin geçerliliği



(a)

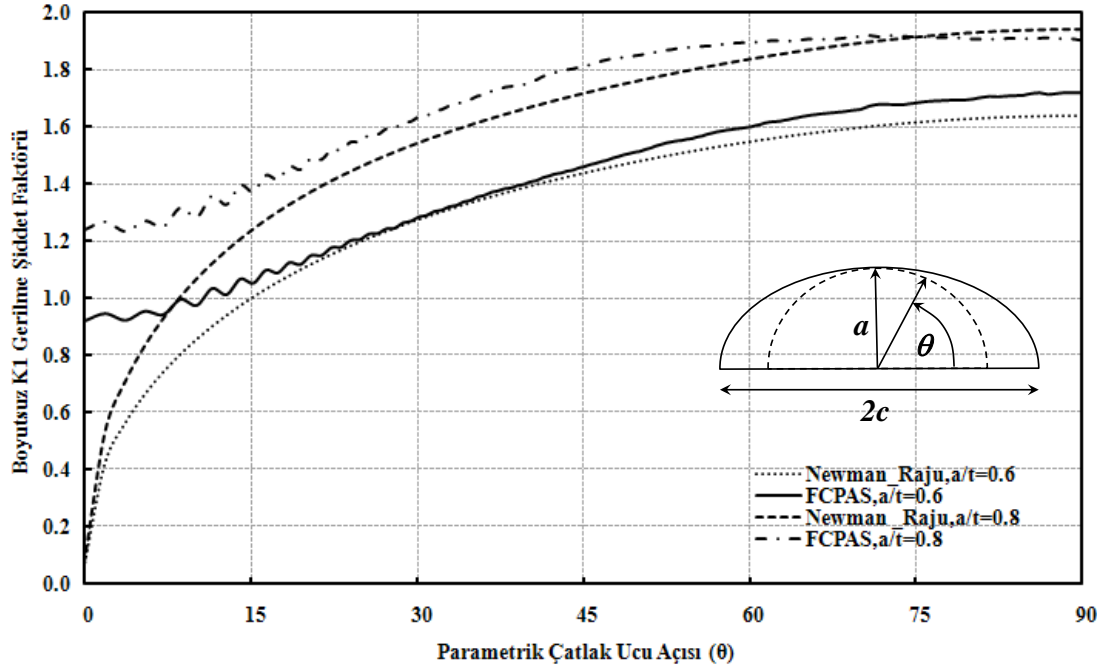


(b)

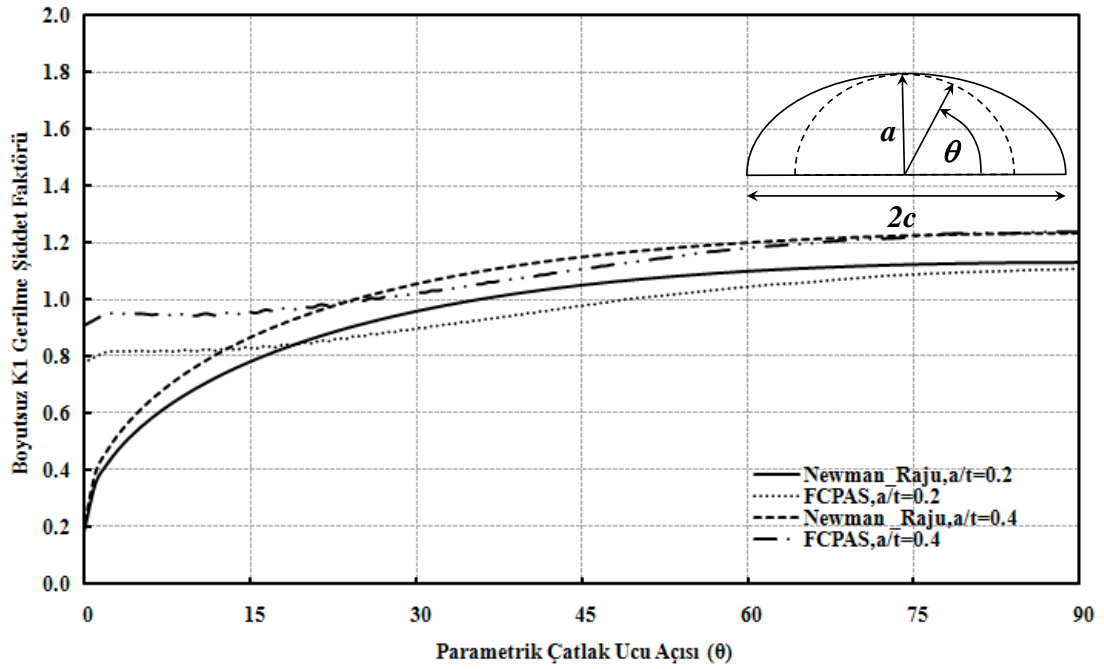
Şekil 2.22. Ünlform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi a) crack lesize=160 b) crack lesize=80, yüzey çatlakı (a/c=0.2 - a/t=0.2,0.4,0.5)

Şekil 2.22.a' da çatlak ucu boyunca kullanılan eleman sayısı 160 olup Şekil 2.21.b' de kullanılan çatlak ucun boyunca eleman sayısı 80 dir. Grafikler incelendiğinde iki grafik arasında gerilme şiddet faktörleri arasında oldukça ihmal edilebilir farkların

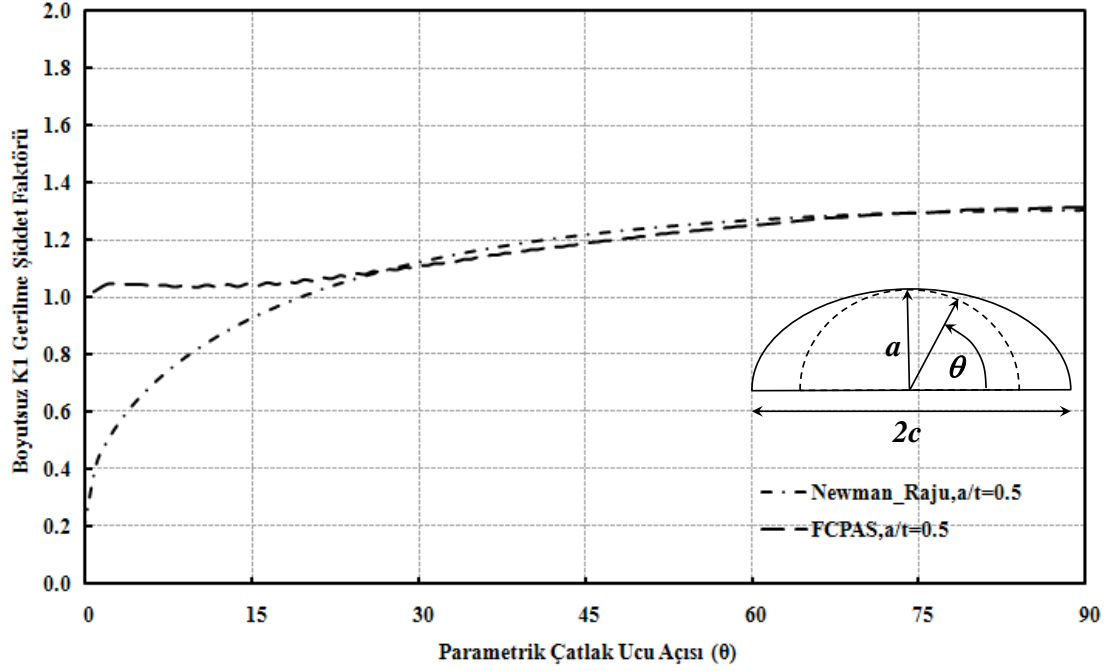
olduğu gözlemlenmiştir. Fakat çatlak ucu boyunca eleman sayısı 160 kullanıldığında analizleri işlem süresi uzun sürdüğünden bu çalışma da çatlak uzun boyunca eleman sayısı 80 olarak kullanılmıştır.



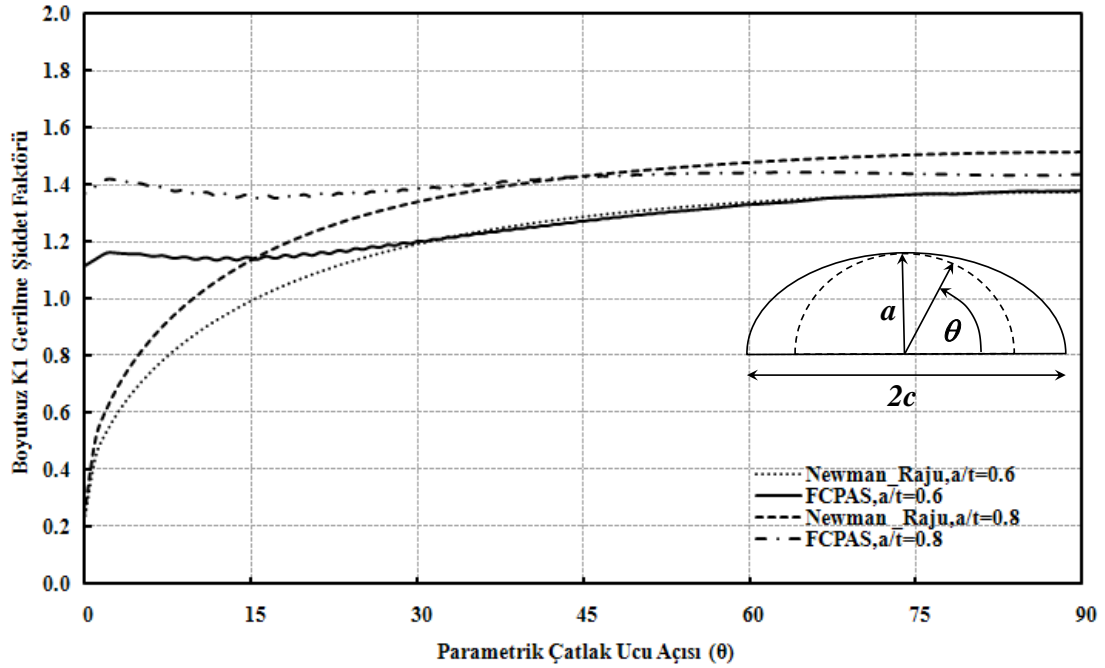
Şekil 2.23. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.6,0.8$)



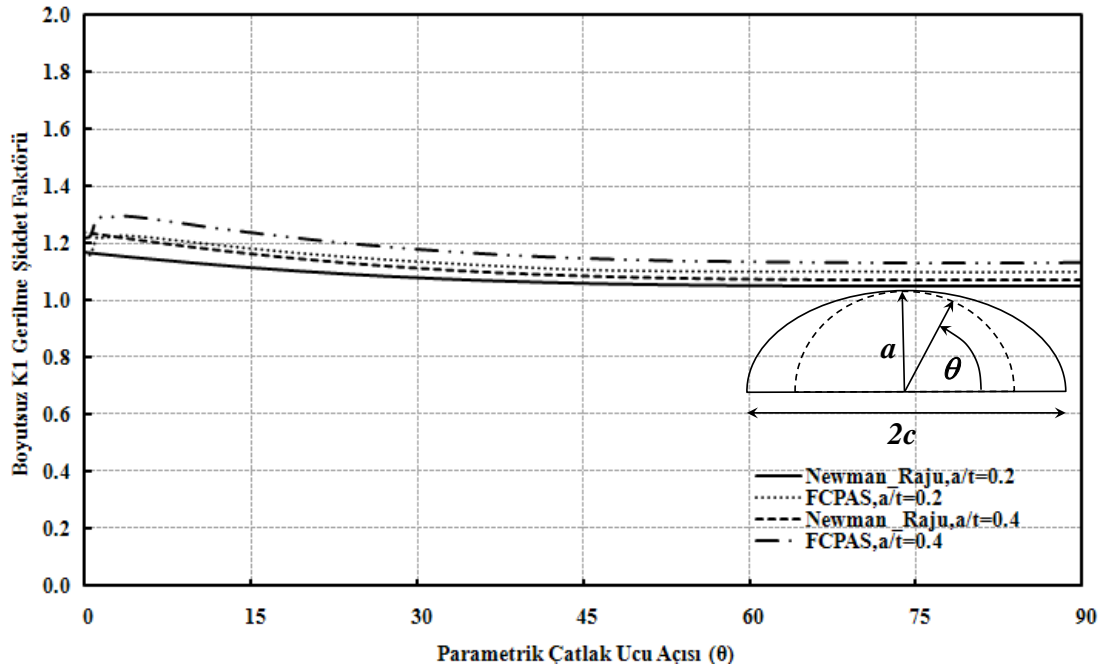
Şekil 2.24. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2,0.4$)



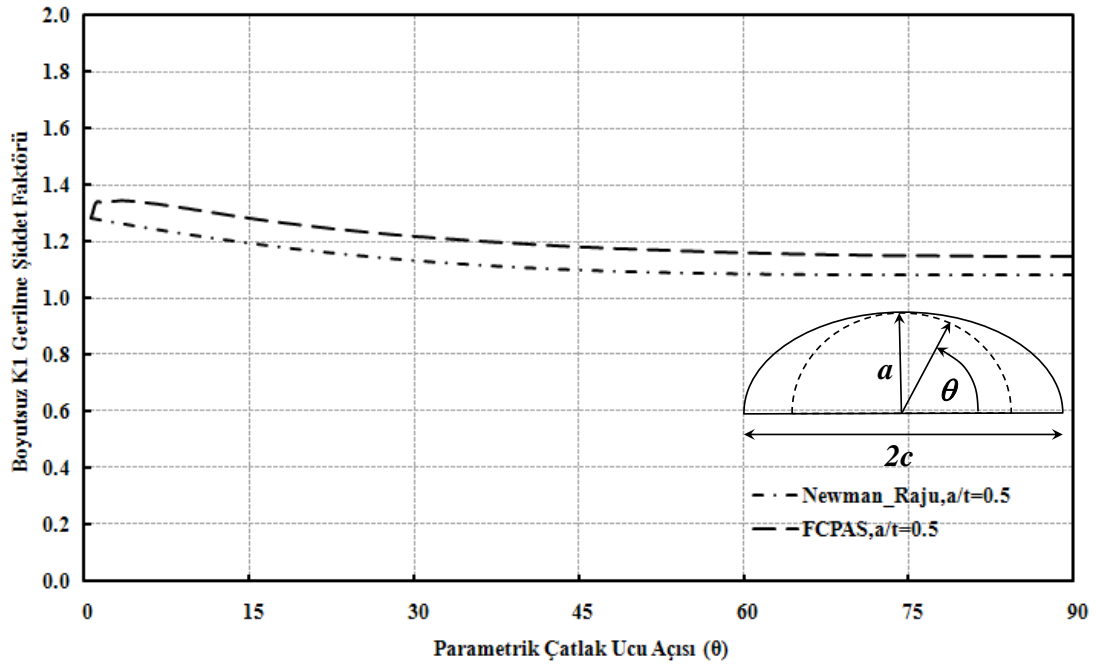
Şekil 2.25. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=0.4 - a/t=0.5$)



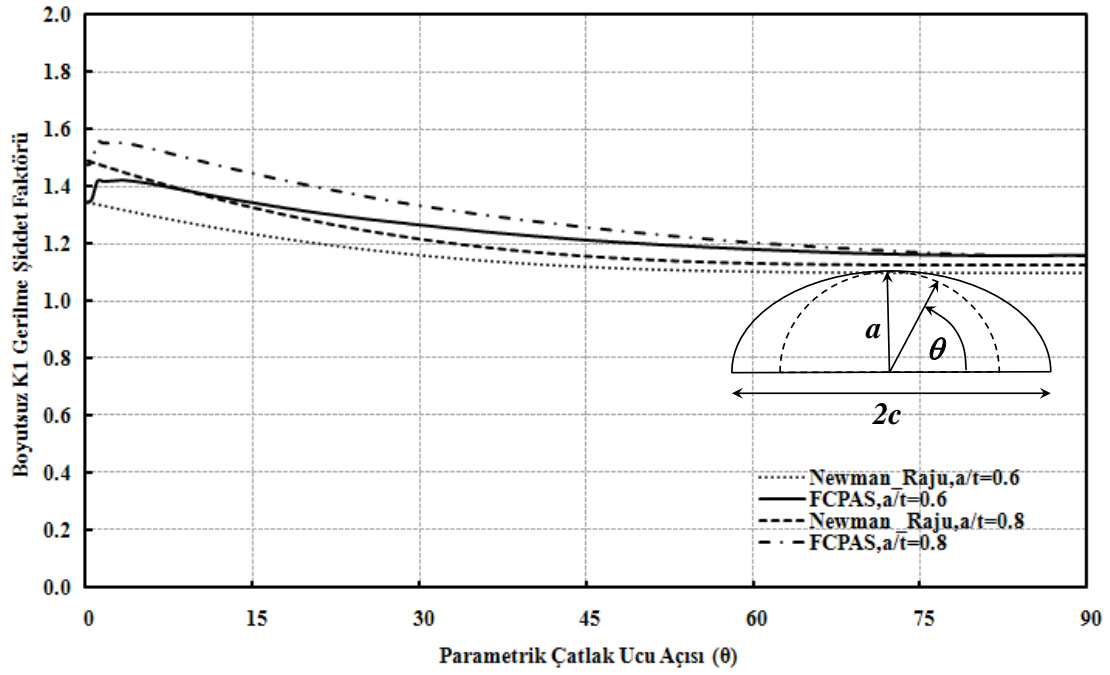
Şekil 2.26. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=0.4 - a/t=0.6, 0.8$)



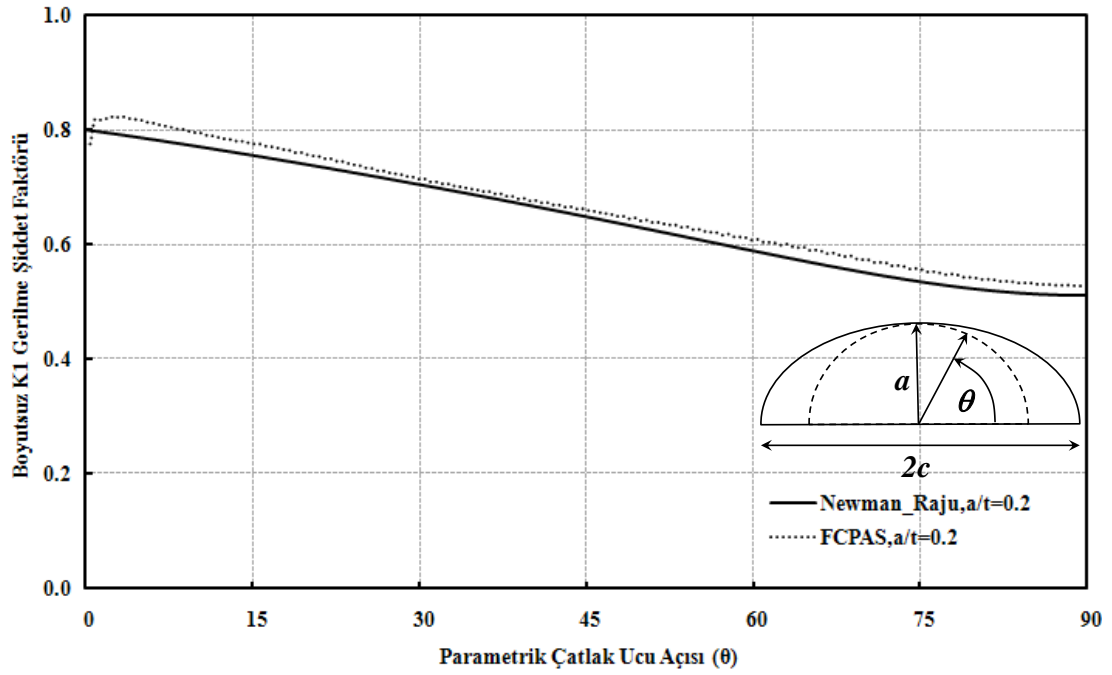
Şekil 2.27. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.2,0.4$)



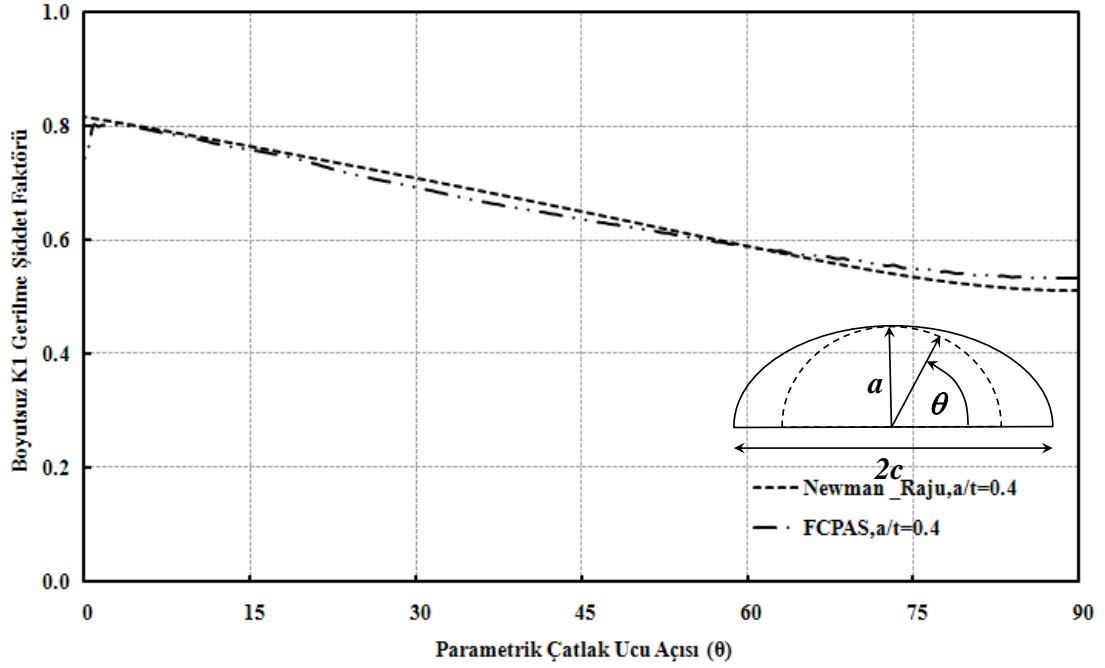
Şekil 2.28. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.5$)



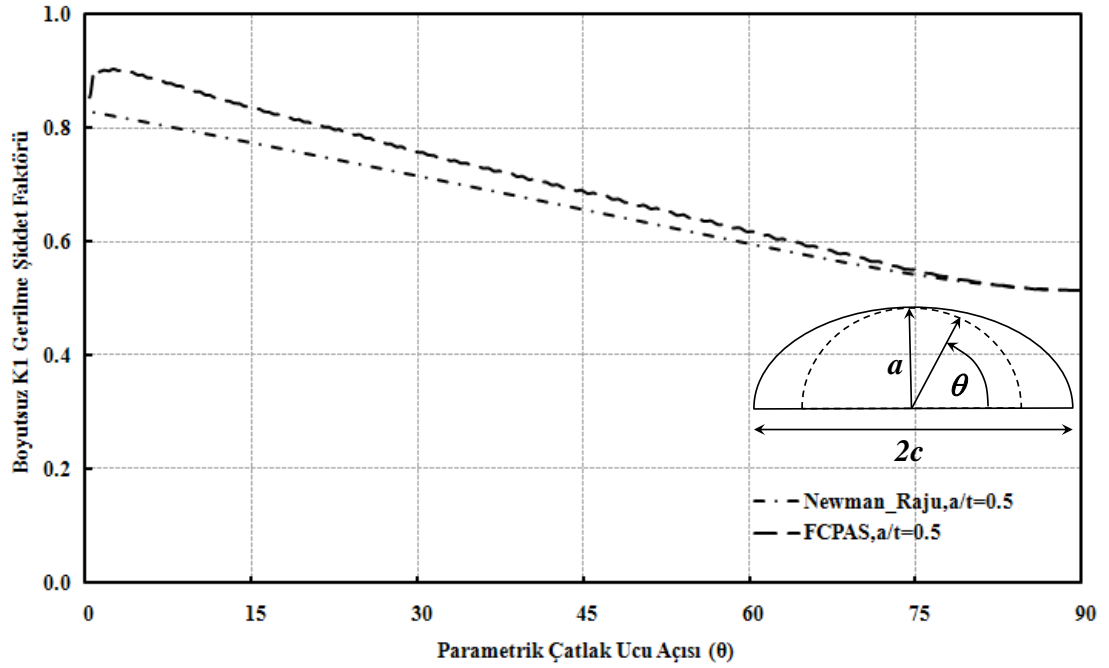
Şekil 2.29. Üniorm yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$)



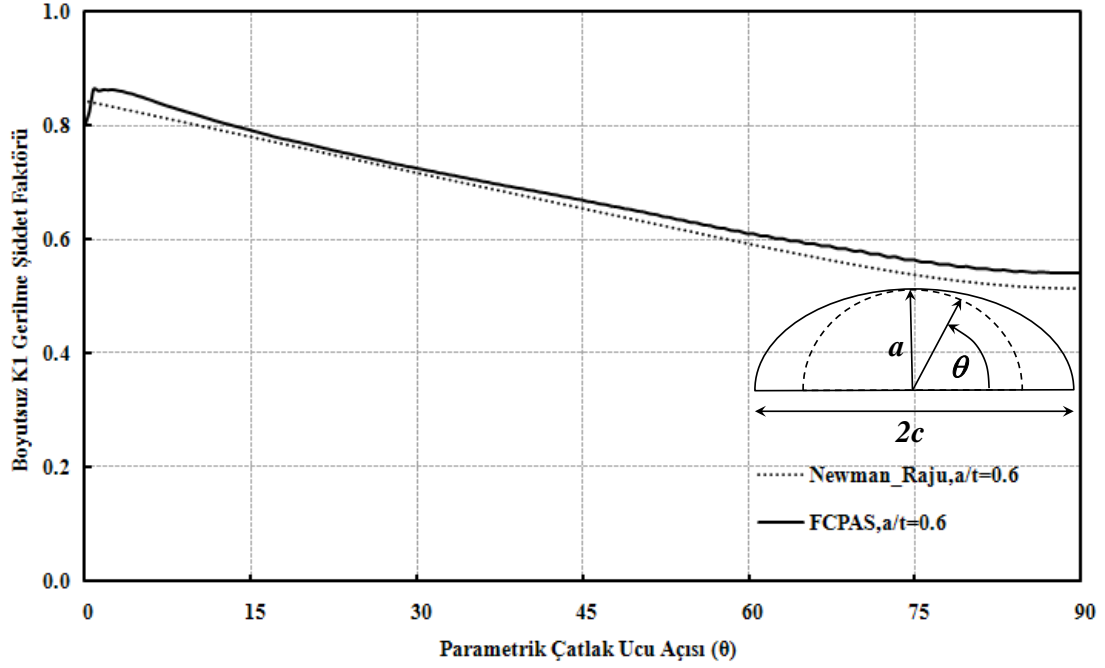
Şekil 2.30. Üniorm yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2$)



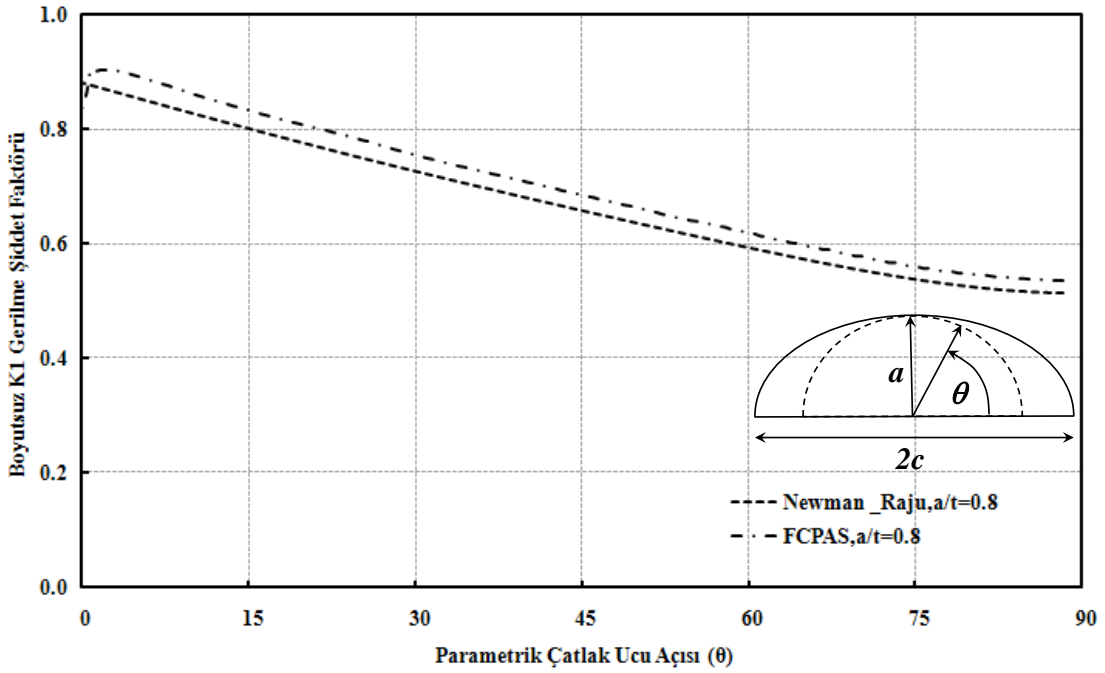
Şekil 2.31. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.4$)



Şekil 2.32. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.5$)



Şekil 2.33. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.6$)



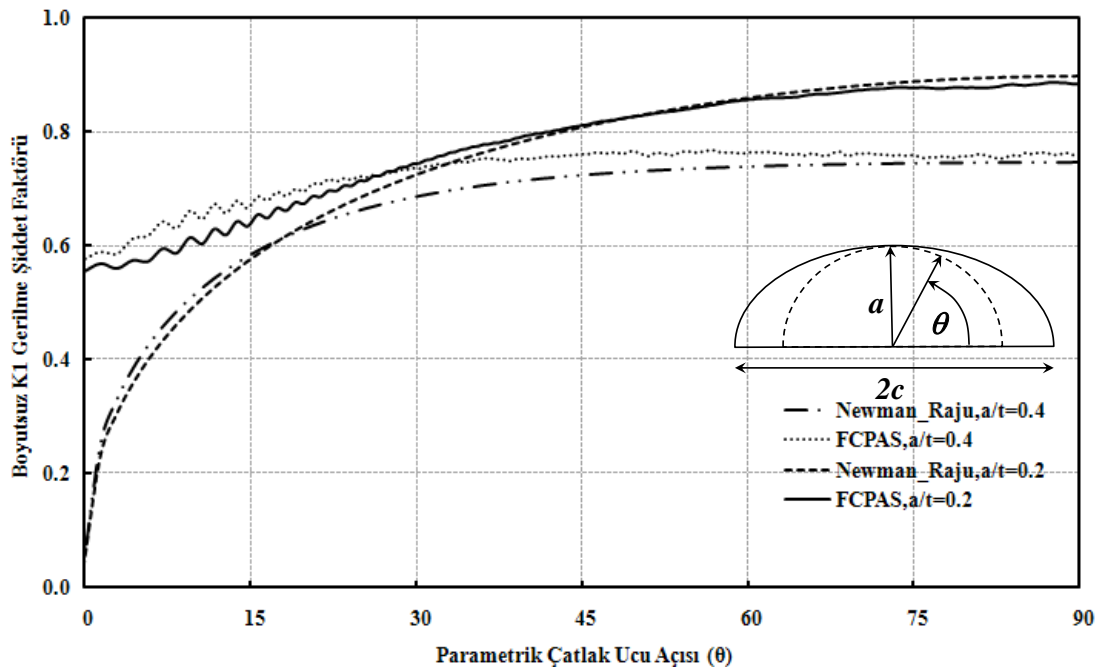
Şekil 2.34. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.8$)

Sonuç olarak Şekil 2.22-2.34 de görüldüğü gibi $a/c=0.2,0.4,1,2$ değerleri için $a/t=0.2,0.4,0.5,0.6,0.8$ değerlerin büyümesi çatlak ucu boyunca normalize edilmiş $K1$ gerilme şiddet faktörü değeri artırmıştır. Değerlerin, Newman & Raju [21] denklemleri ile büyük uyumluluk gösterdiği ispatlanmıştır. Fakat $a/c < 1$ ve a/t farklı

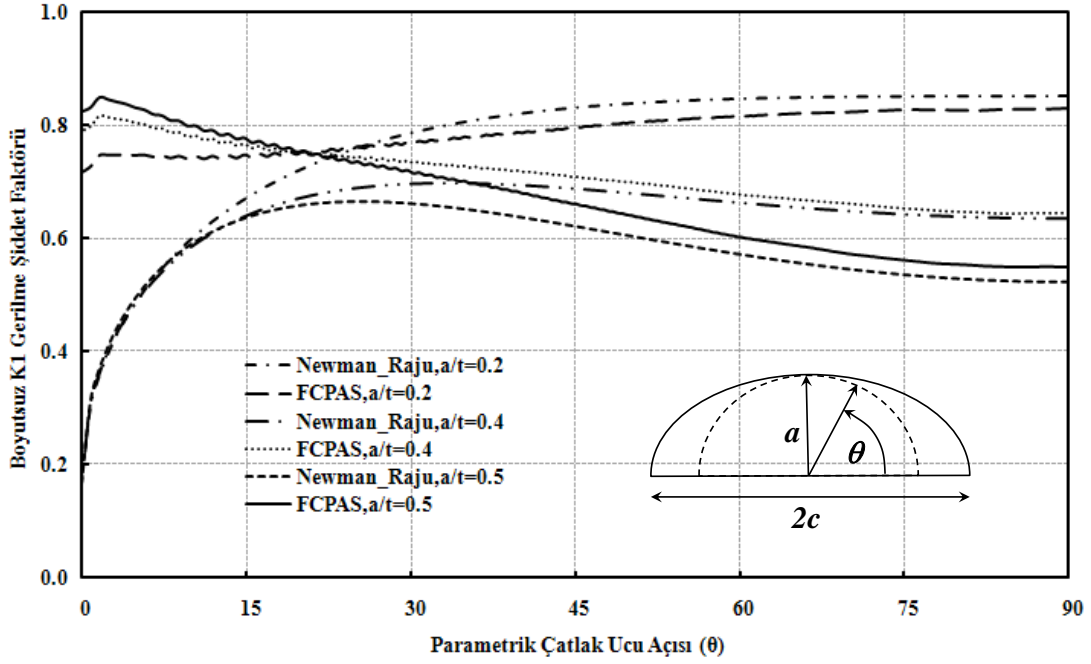
oranları için serbest yüzeydeki gerilme şiddet faktörü değerleri ile Newman & Raju [21] denklemleri ile arasında fark olduğu bu farkın çatlak parametrik açısı büyüdükçe azalarak derinlik noktasında uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Modeller oluşturulurken Analizlerde Tablo 2.1 de gösterildiği gibi a/c ' nin 1'e eşit ve küçük olduğu durumlarda $W=5*a$, $H=5*a$ alınmış, a/c ' nin 1' den büyük olduğu durumlarda $W=5*c$, $H=5*c$ olarak alınmıştır.

2.10.2. Yayılı eğilme yükü altında eliptik yüzey çatlak içeren plaka modelleri ve çözümlerinin geçerliliği

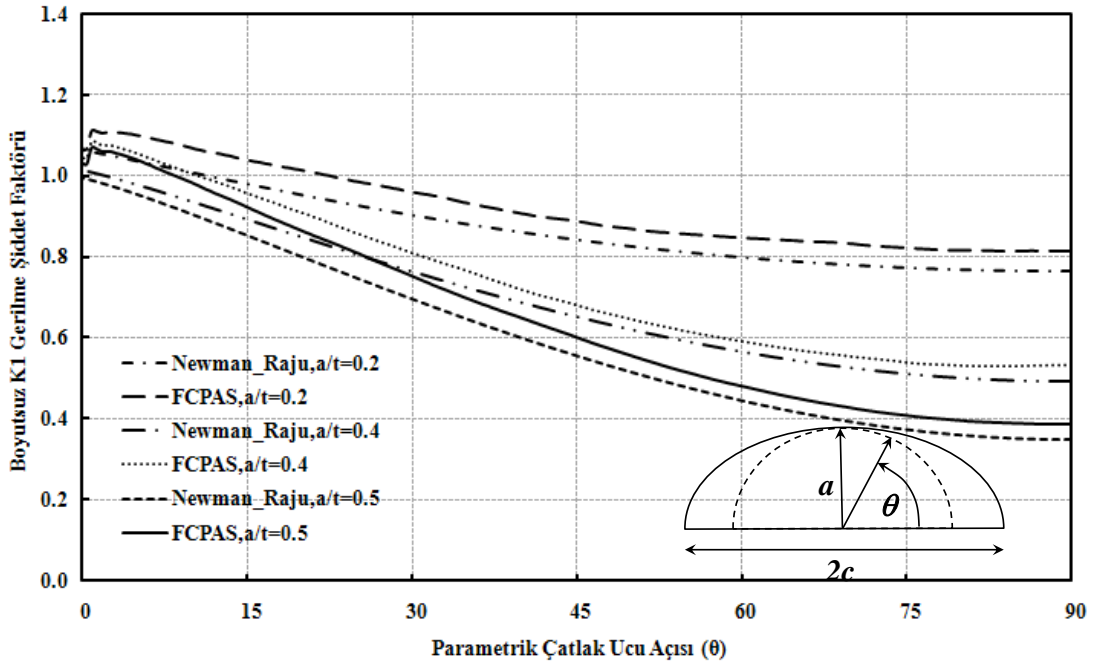
Bu bölümde Tablo 2.1 de verilen bazı oranlar için analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



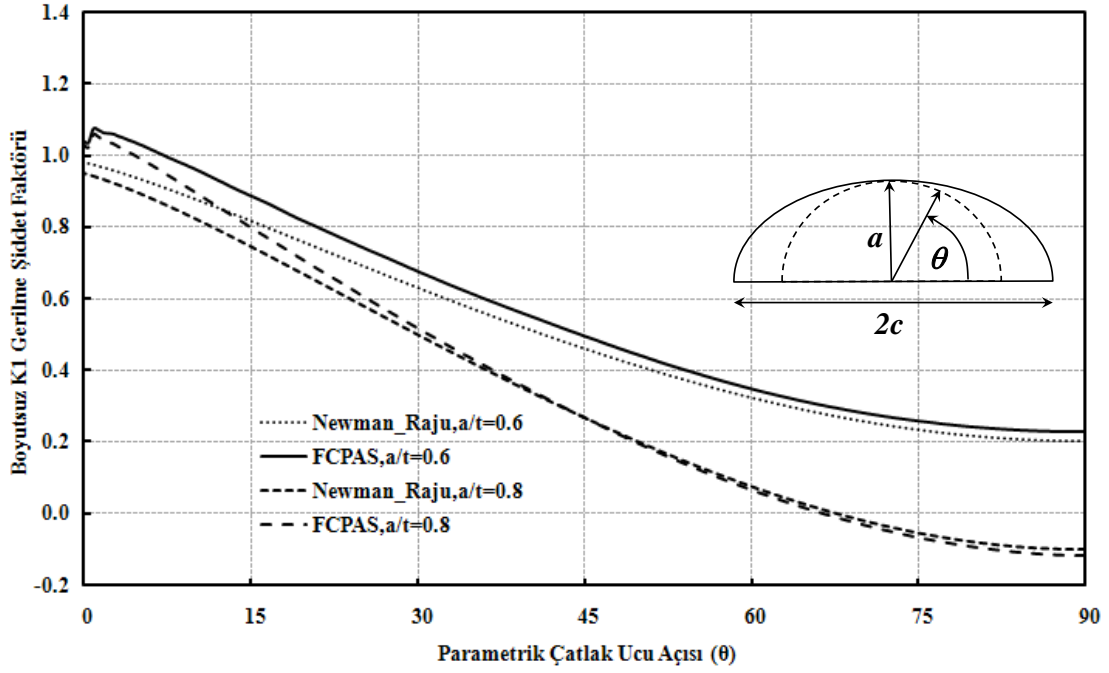
Şekil 2.35. Yayılı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2,0.4$)



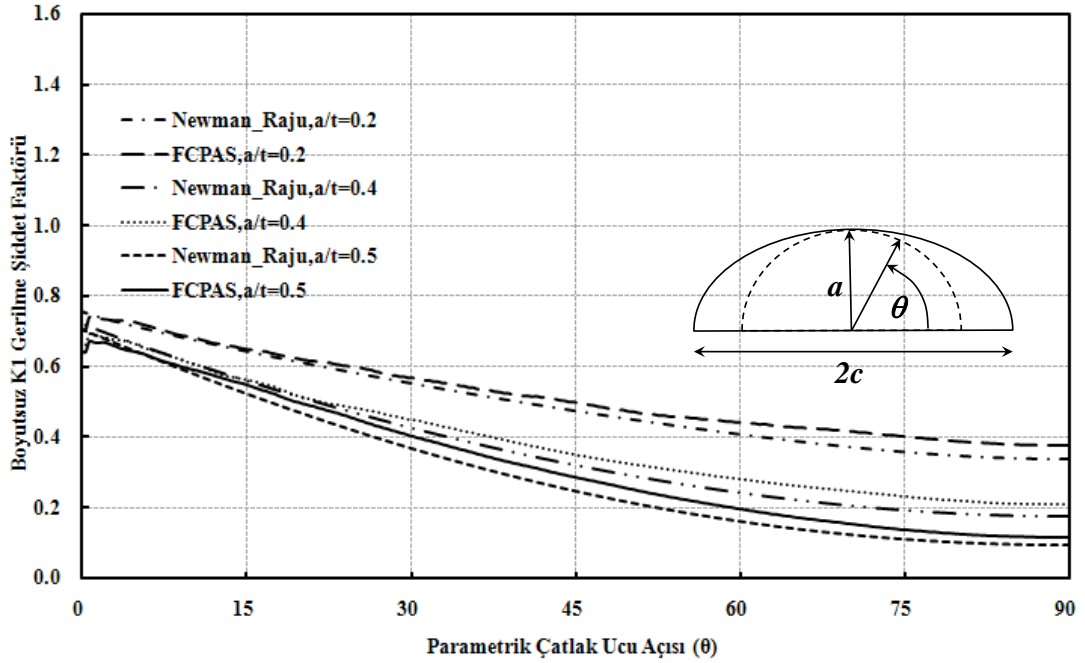
Şekil 2.36. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlaklı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)



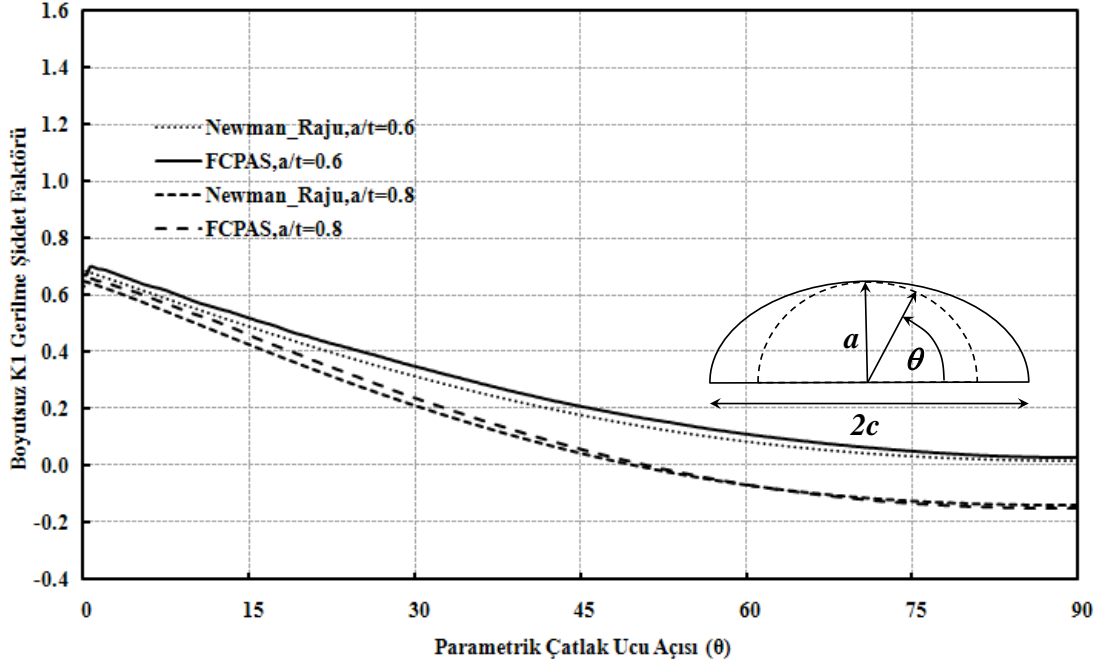
Şekil 2.37. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlaklı ($a/c=1$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)



Şekil 2.38. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlaklı ($a/c=1$ - $a/t=0.6,0.8$)



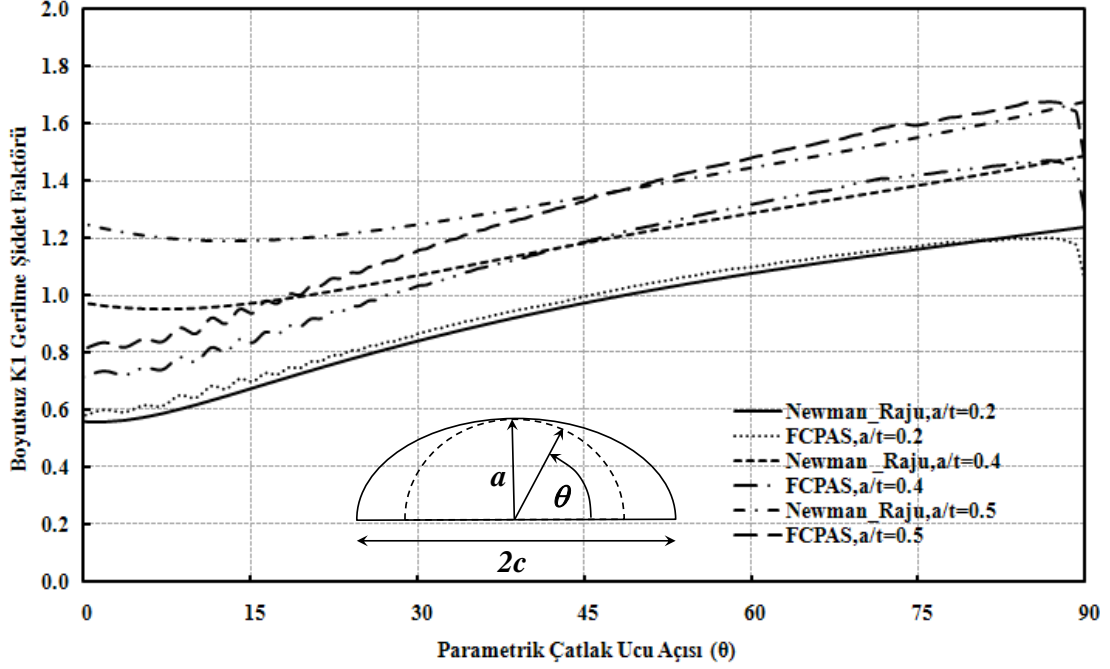
Şekil 2.39. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlaklı ($a/c=2$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)



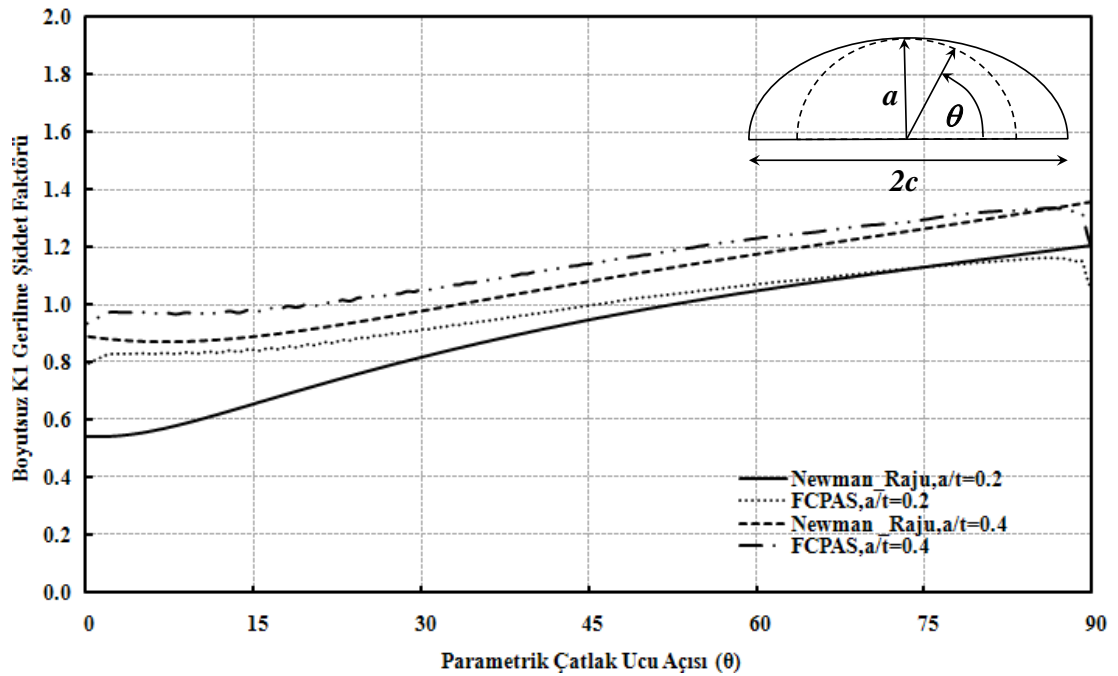
Şekil 2.40. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, yüzey çatlaklığı ($a/c=2 - a/t=0.6,0.8$)

Sonuç olarak Şekil 2.41-2.40 de görüldüğü gibi $a/c=0.2,0.4,1,2$ değerleri için $a/t=0.2,0.4,0.5,0.6,0.8$ değerinin büyümesi çatlak ucu boyunca normalize edilmiş normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değeri artırmıştır. Değerlerin, Newman & Raju [21] denklemleri ile büyük uyumluluk gösterdiği ispatlanmıştır. Fakat $a/c < 1$ ve a/t nin farklı oranları için serbest yüzeydeki gerilme şiddet faktörü değerleri ile Newman & Raju [21] denklemleri ile arasında fark olduğu bu farkın çatlak parametrik açısı büyüdükçe azalarak derinlik noktasında uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Tablo 2.1 de gösterildiği gibi a/c ' nin 1'e eşit ve küçük olduğu durumlarda $W=5*a$, $H=5*a$ alınmış, a/c ' nin 1' den büyük olduğu durumlarda içe $W=5*c$, $H=5*c$ olarak alınmıştır.

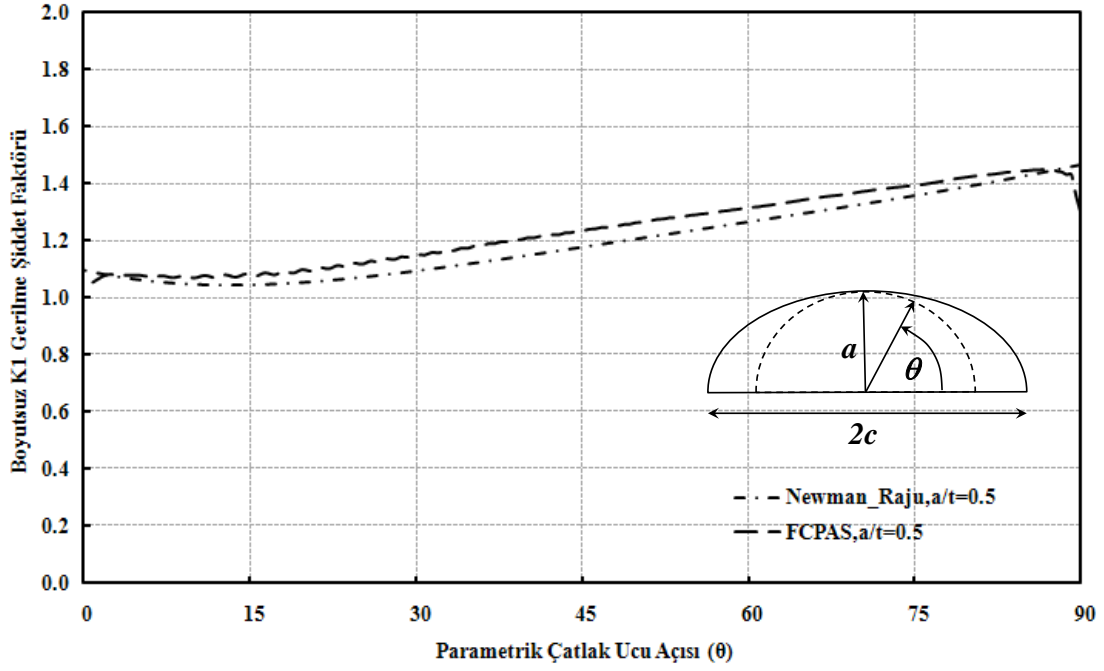
2.10.3. Üniform yayılı yük altında eliptik köşe çatlaklı içeren plaka modelleri ve çözümlerinin geçerliliği



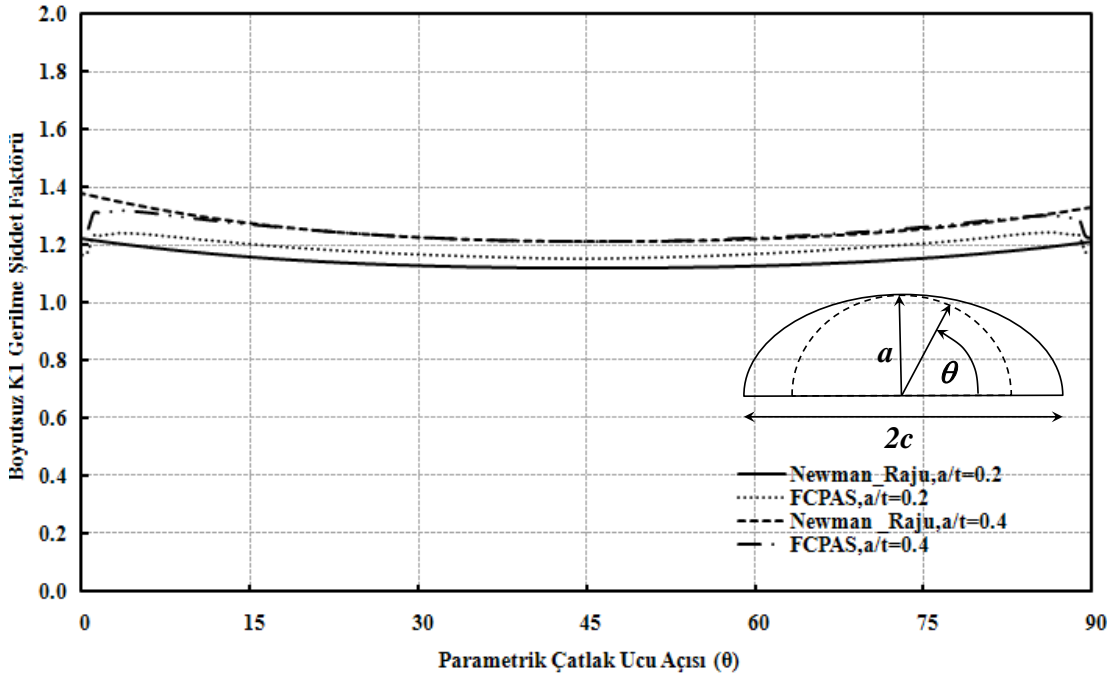
Şekil 2.41. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)



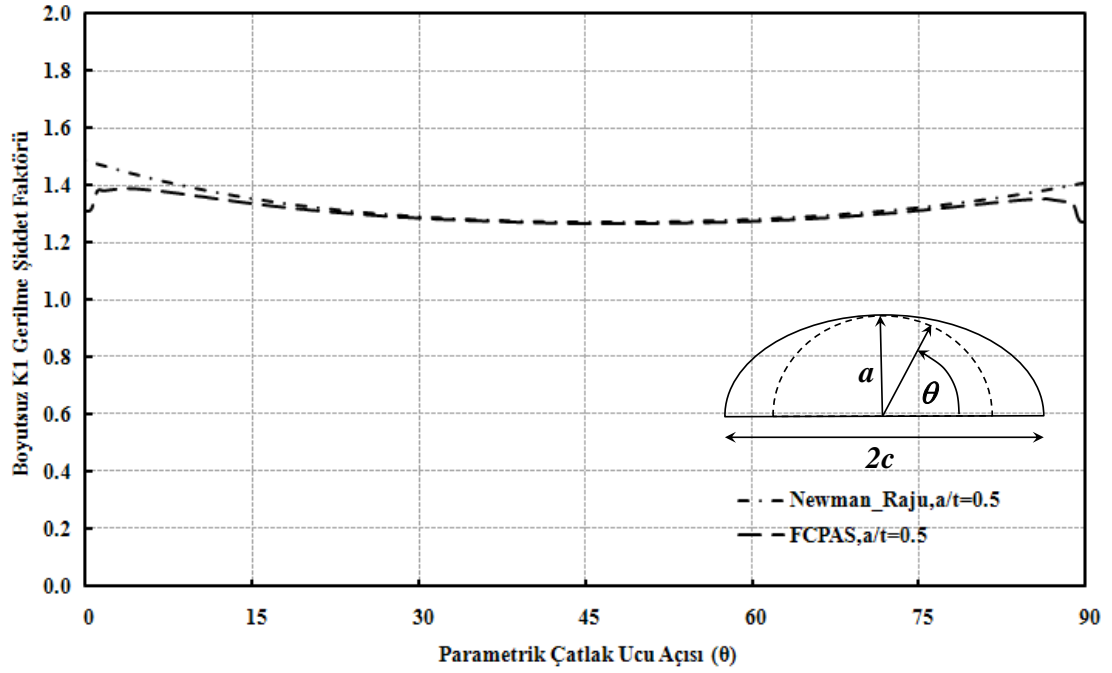
Şekil 2.42. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2,0.4$)



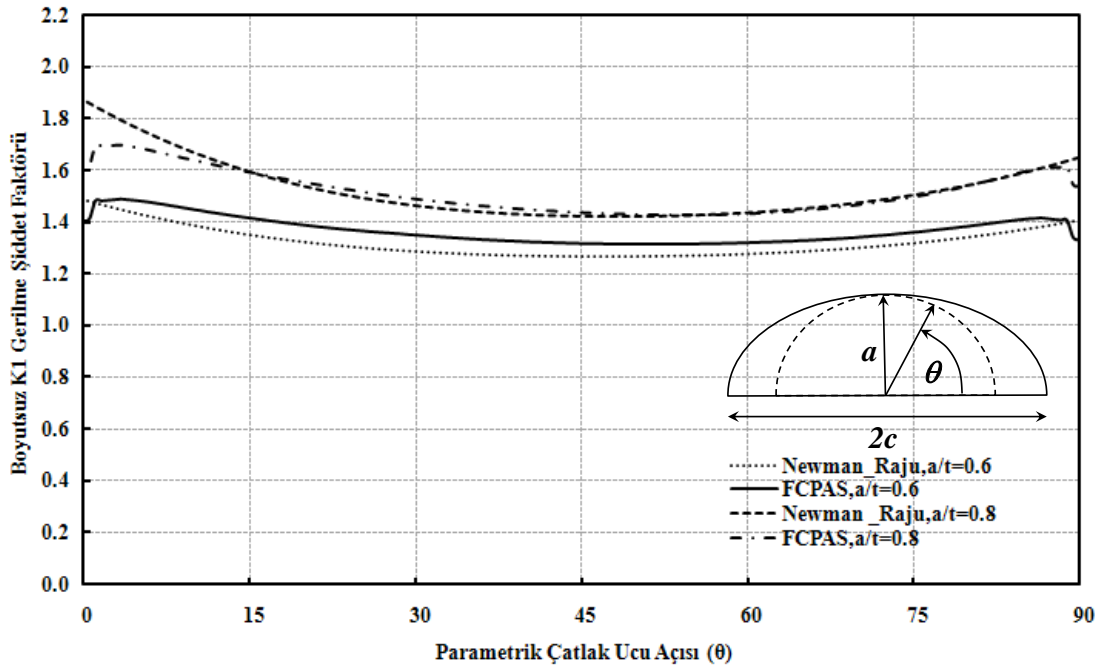
Şekil 2.43. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=0.4 - a/t=0.5$)



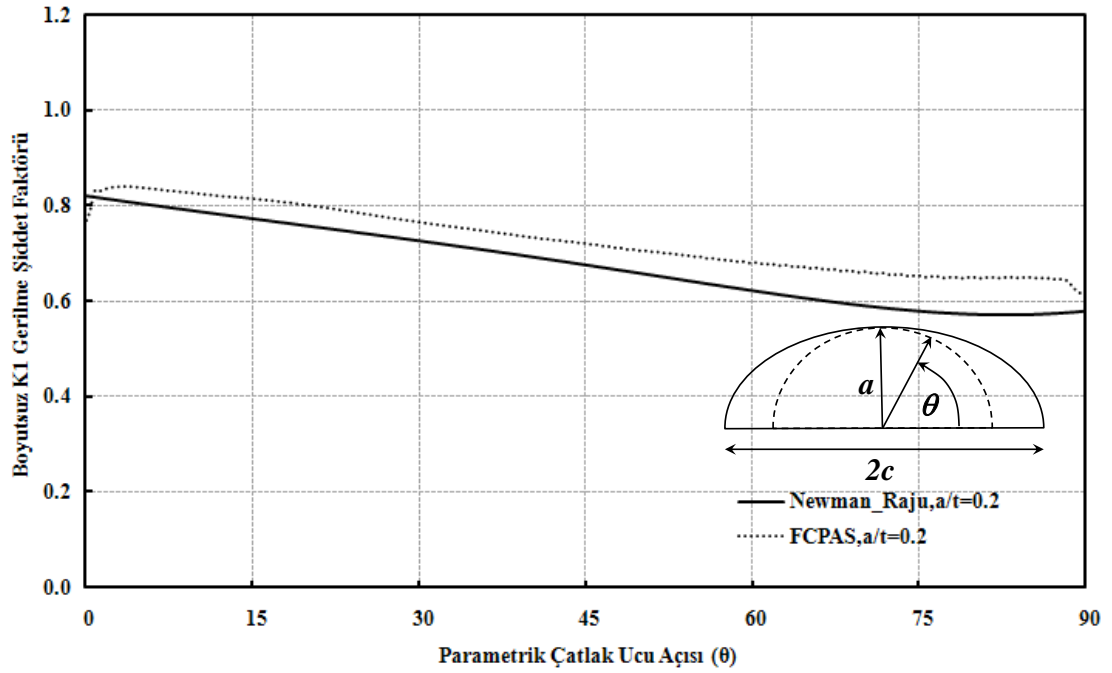
Şekil 2.44. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.2, 0.4$)



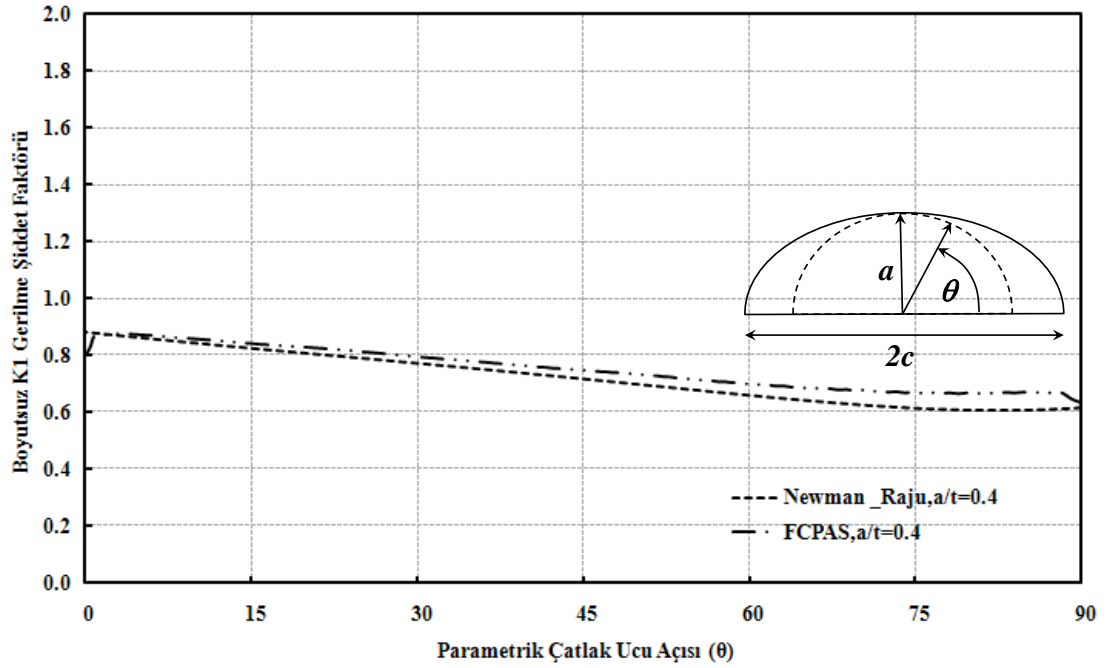
Şekil 2.45. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.5$)



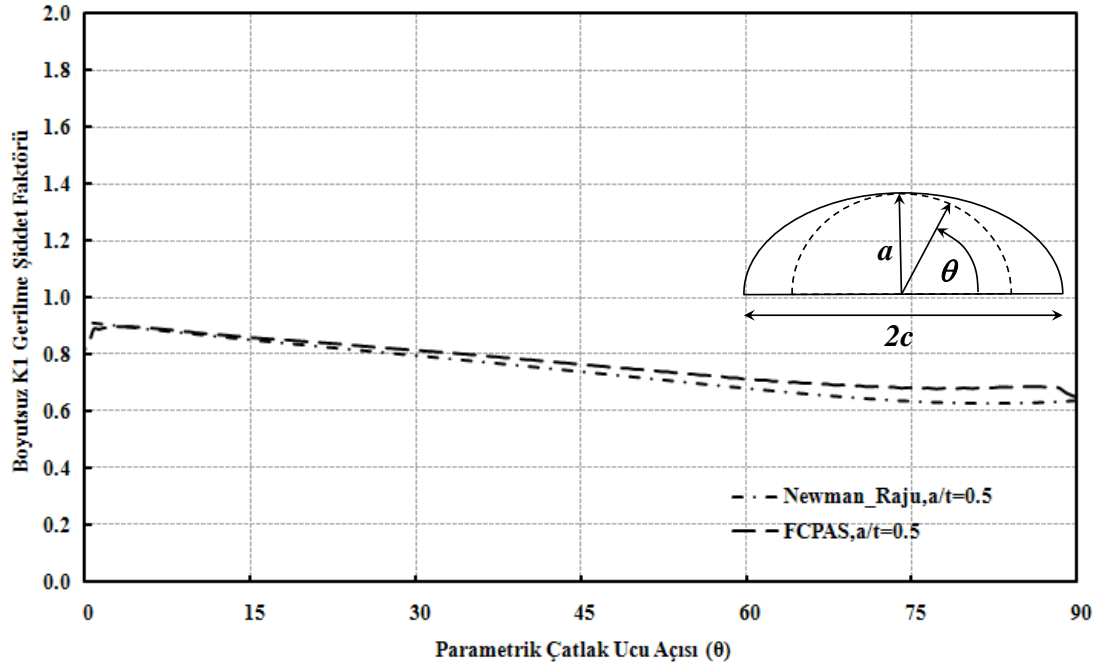
Şekil 2.46. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6,0.8$)



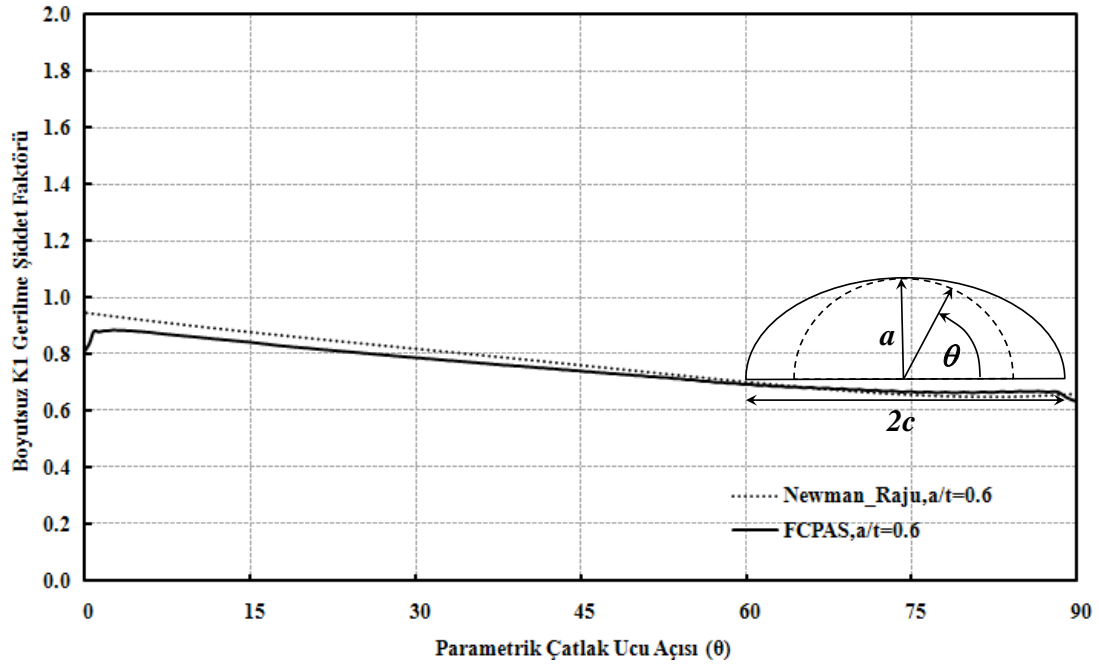
Şekil 2.47. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2$)



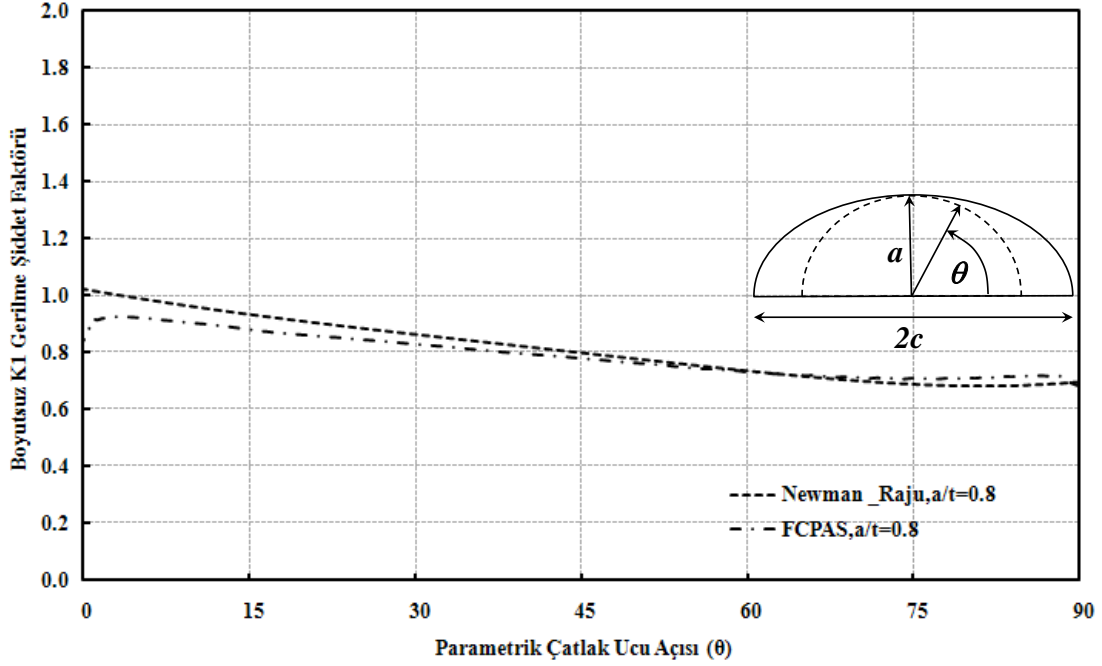
Şekil 2.48. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.4$)



Şekil 2.49. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.5$)



Şekil 2.50. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.6$)

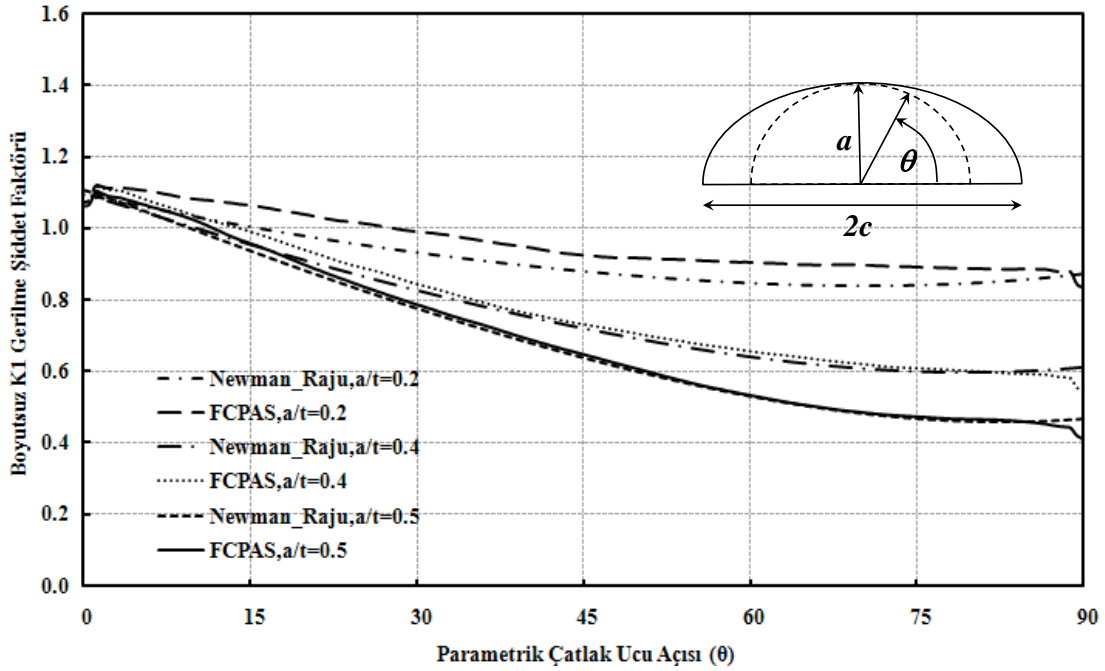


Şekil 2.51. Üniform yayılı yük altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklı ($a/c=2$, $a/t=0.8$)

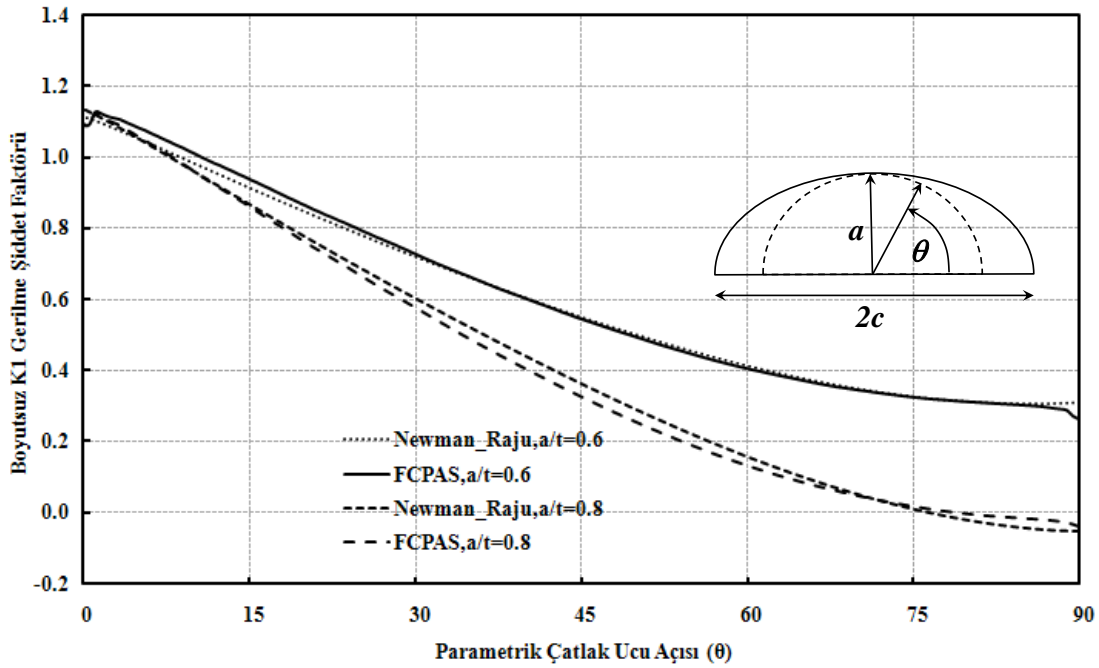
Sonuç olarak Şekil 2.41-2.51 de görüldüğü gibi $a/c=0.2, 0.4, 1, 2$ değerleri için $a/t=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8$ değerinin büyümesi çatlak ucu boyunca normalize edilmiş K_1 gerilme şiddet faktörü değerini artırmıştır. Değerlerin, Newman & Raju [21] denklemleri ile büyük uyumluluk gösterdiği ispatlanmıştır. Analizlerde Tablo 2.1 de gösterildiği gibi a/c ' nin 1'e eşit ve küçük olduğu durumlarda $W=5*a$, $H=5*a$ alınmış, a/c ' nin 1' den büyük olduğu durumlarda içe $W=5*c$, $H=5*c$ olarak alınmıştır.

2.10.4. Yayılı eğilme yükü altında eliptik köşe çatlaklı içeren plaka modelleri ve çözümlerinin geçerliliği

Bu bölümde Tablo 2.1 de verilen tüm oranlar için değil $a/c=1$ ve $a/t=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8$ oranları için analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.52. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklı ($a/c=1$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)



Şekil 2.53. Yayıllı eğilme yükü altında Fcpas ve Newman & Raju denklemleri ile elde edilen gerilme şiddet faktörü mukayesesi, köşe çatlaklı ($a/c=1$ - $a/t=0.6,0.8$)

Sonuç olarak Şekil 2.23-2.53 de görüldüğü gibi $a/c=0.2,0.4,1,2$ değerleri için $a/t=0.2,0.4,0.5,0.6,0.8$ değerinin büyümesi çatlak ucu boyunca K1 gerilme şiddet faktörü değerini artırmıştır. Değerlerin Newman & Raju [21] denklemleri ile büyük uyumluluk gösterdiği gözlemlenmiştir. Farklı üniform yükler ve eğilme yükleri

altında elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörler değerleri Bölüm 3.2 de mukayese edilmiştir. Üniform & eğilme termal yükü ile üniform & eğilme deplasman yükü altındaki oluşturulan makro plaka modelleri ve FCPAS ara yüz çözümlerinin doğruluğu ispatlanmıştır. Analizlerde Tablo 2.1 de gösterildiği gibi a/c ' nin 1'e eşit ve küçük olduğu durumlarda $W=5*a$, $H=5*a$ alınmış, a/c ' nin 1' den büyük olduğu durumlarda ise $W=5*c$, $H=5*c$ olarak alınmıştır.

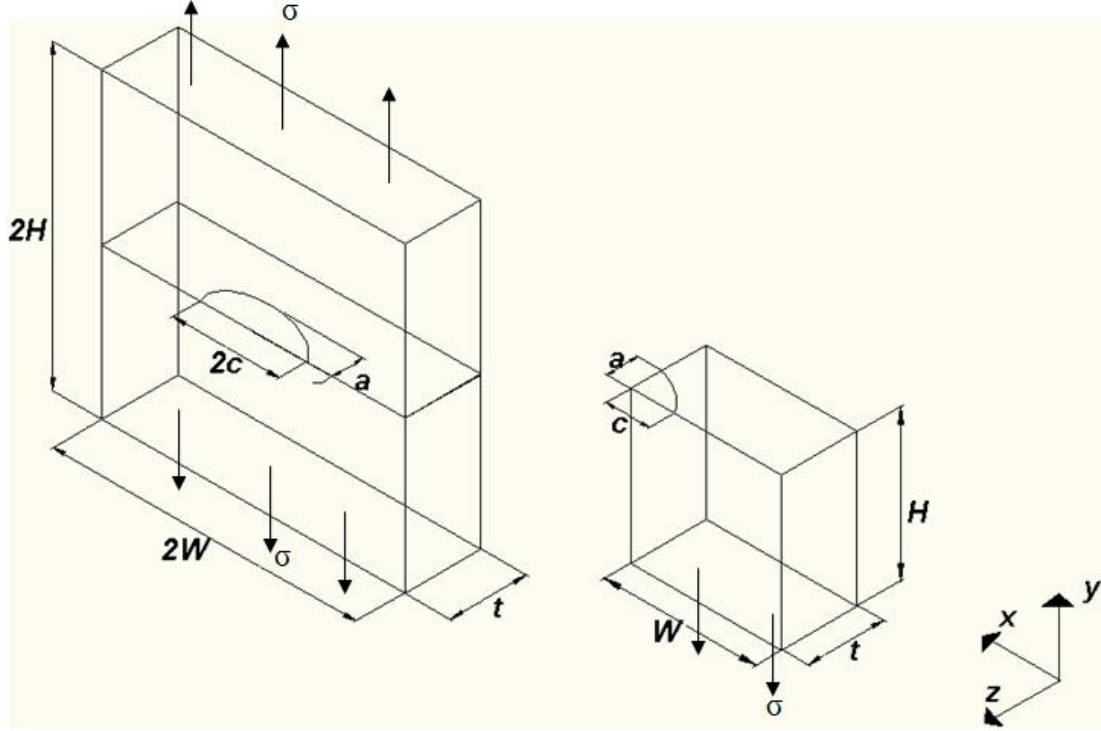
BÖLÜM 3. ÇEKME, TERMAL ve DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKE MARUZ KALAN PLAKALARDAKİ ÜÇ BOYUTLU ÇATLAKLAR İÇİN GERİLME ŞİDDET FAKTÖRLERİ

3.1. Giriş

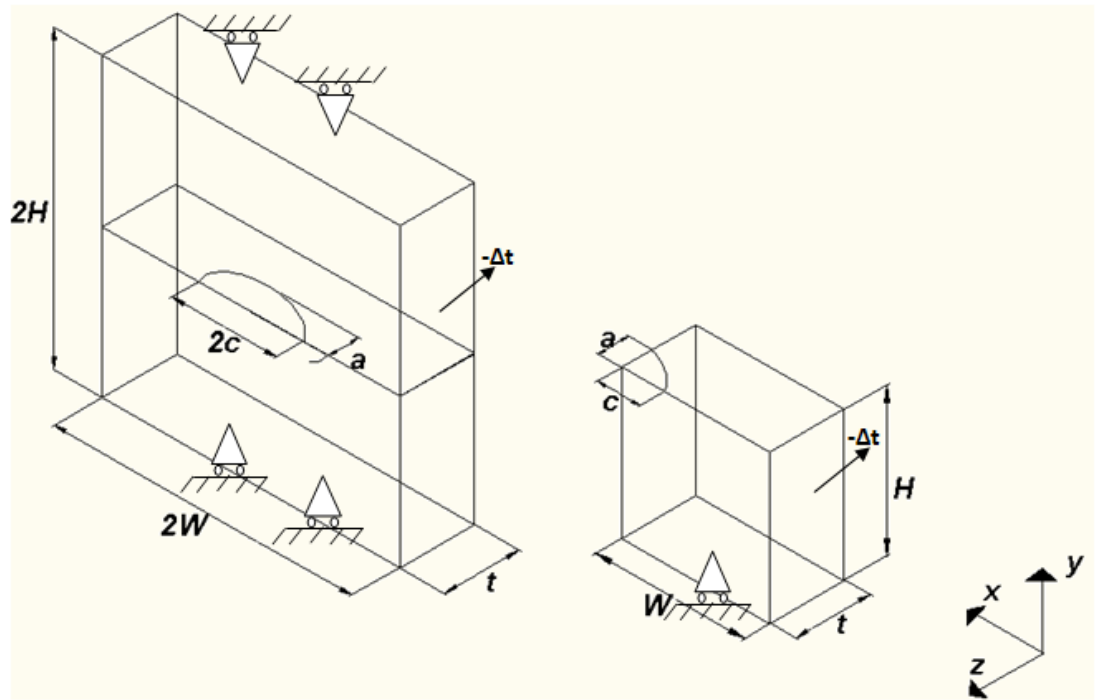
Sonlu kalınlıkta dikdörtgenel geometriye sahip birçok makine bileşeni vardır. Bu makine bileşenlerinin çalışmaları esnasında hasara ya da istenilmeyen kazalara yol açmasını önlemek için kontrol altında tutulabilmesi, eğer çatlak içeriyorsa bu çatlağın nasıl bir ilerleme göstereceğinin önceden tahmin edilebilmesi sistemin güvenliliği açısından önemlidir.

Çalışmanın bu bölümünde; merkezinde yüzey çatlağı ve köşe çatlağı içeren plakalarda üniform yayılı, termal ve deplasman yüküne ile eğilme yayılı, termal ve deplasman yüküne maruz farklı a/c ve a/t oranlarında çözümler FCPAS programı kullanılarak Bölüm 2.8 de anlatılan işlem basamakları sırası ile uygulanarak elde edilmiştir.

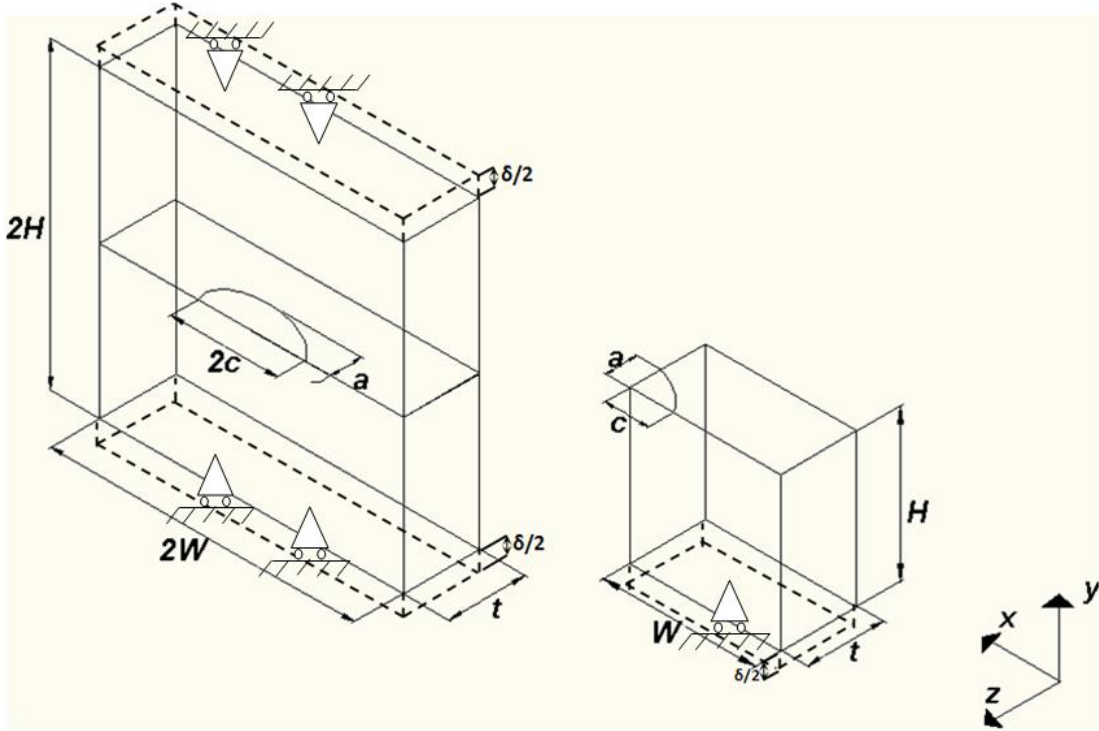
3.2. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi



a)



b)



c)

Şekil 3.1 Farklı üniform yükler altında eliptik yüzey çatlaklı içeren tam ve $1/4$ simetrik plaka modeli a) üniform yayılı yük b) üniform termal yük c) üniform deplasman yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

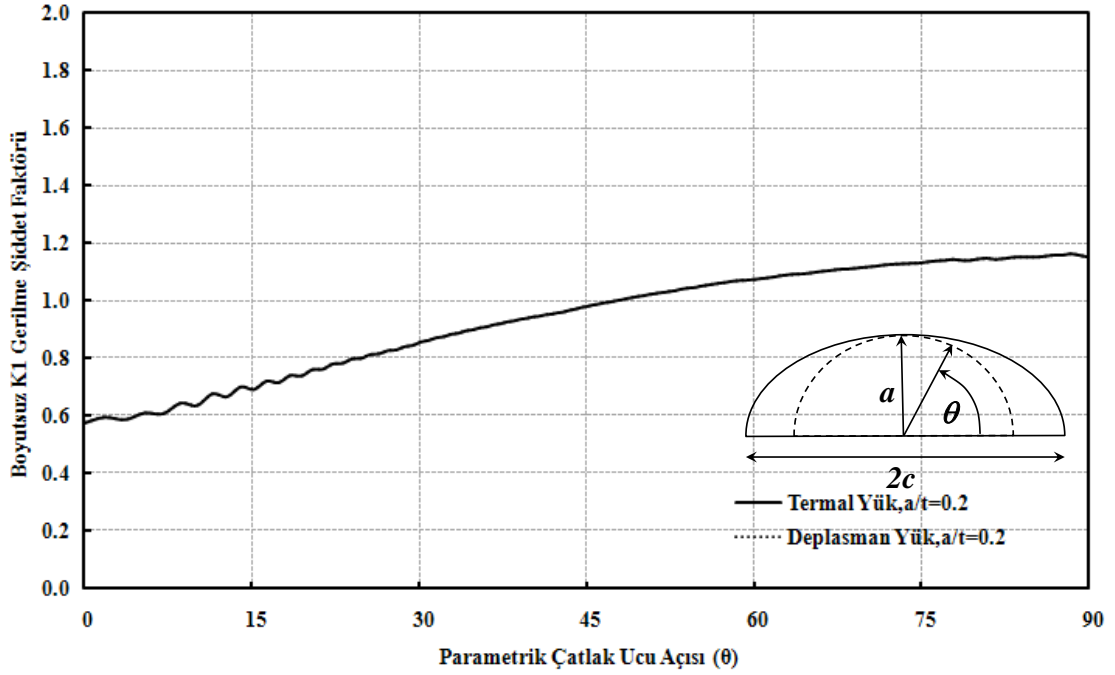
c: Çatlak yarı uzunluğu

σ_0 : Yayılı yük

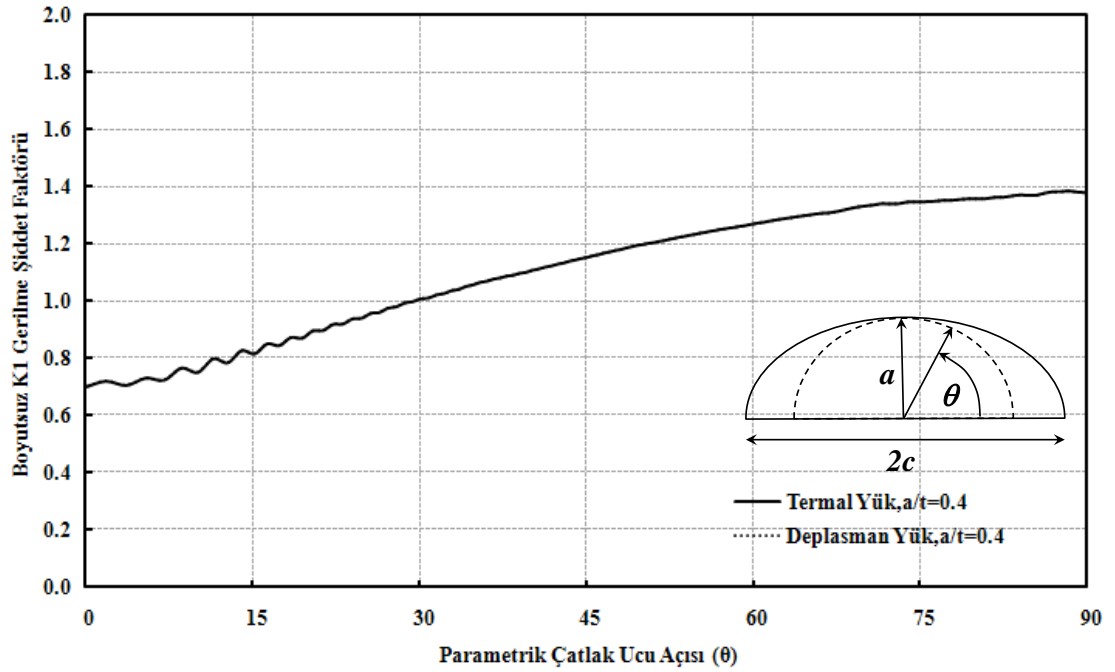
$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

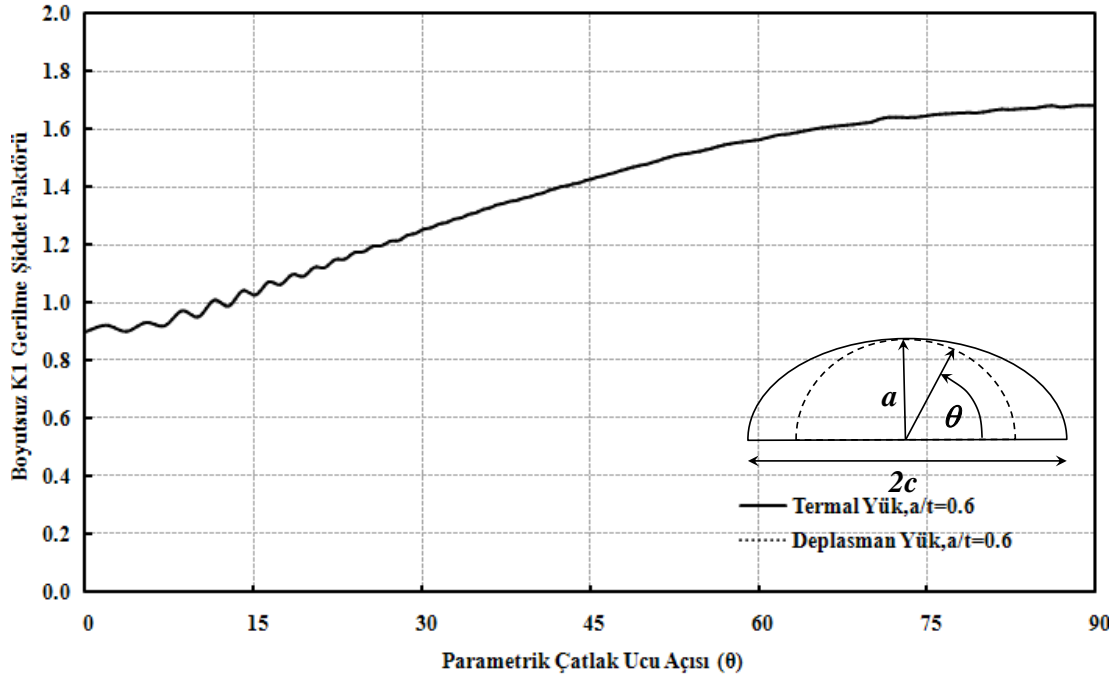
Bu bölümde analizi gerçekleştirilen plaka modellerinin boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir. Analizler de Tablo 2.2 de verilen a/c ve a/t oranları için parametrik hale getirilmiş olan Makro 1, Makro 2, Makro 3 kullanılmıştır. Her bir makro için Tablo 2.1 de verilen farklı oranlarda 20 analiz toplamda 60 adet analiz yapılmış plaka modellerinde çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Üniform termal ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.2$)

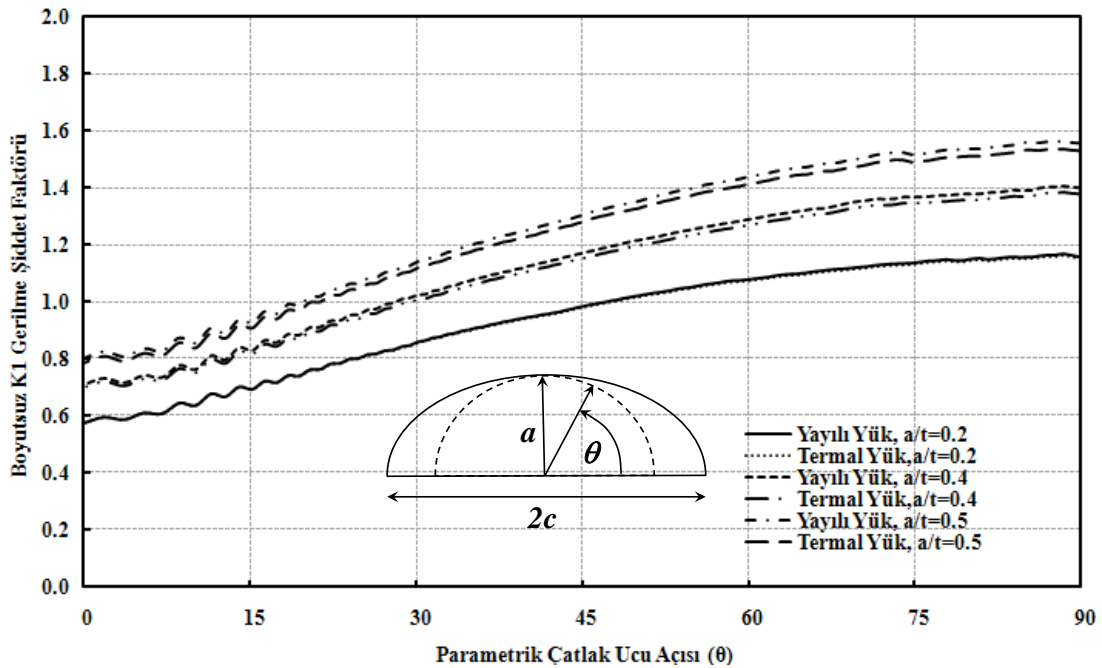


Şekil 3.3. Üniform termal ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.4$)

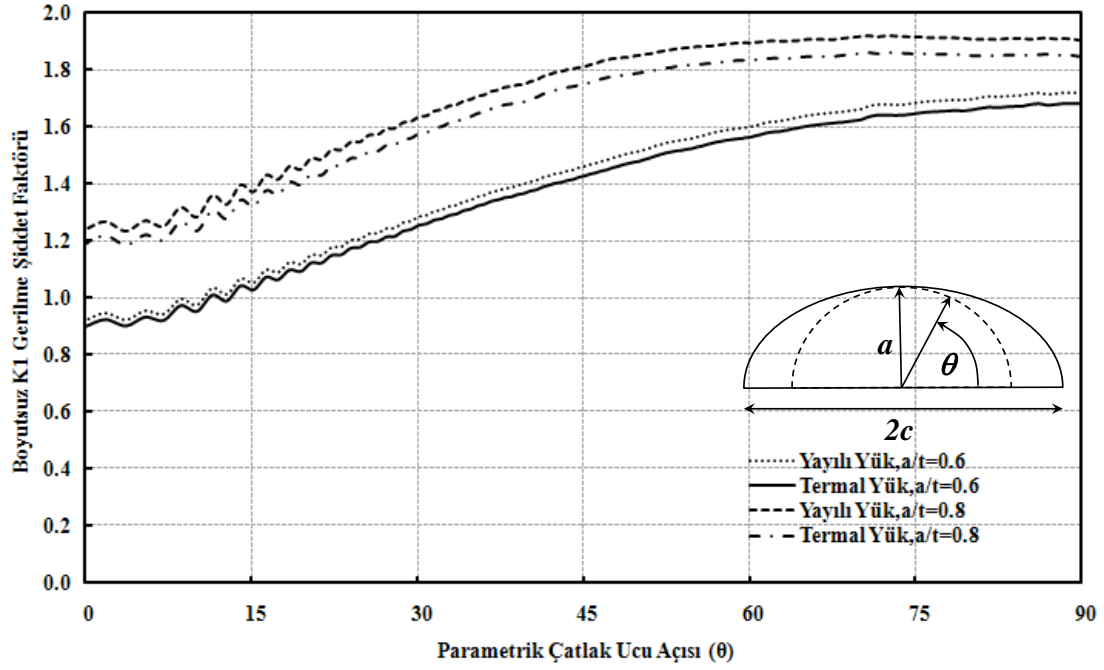


Şekil 3.4. Üniorm termal ve üniorm deplasman yükü altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü , yüzey çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.6$)

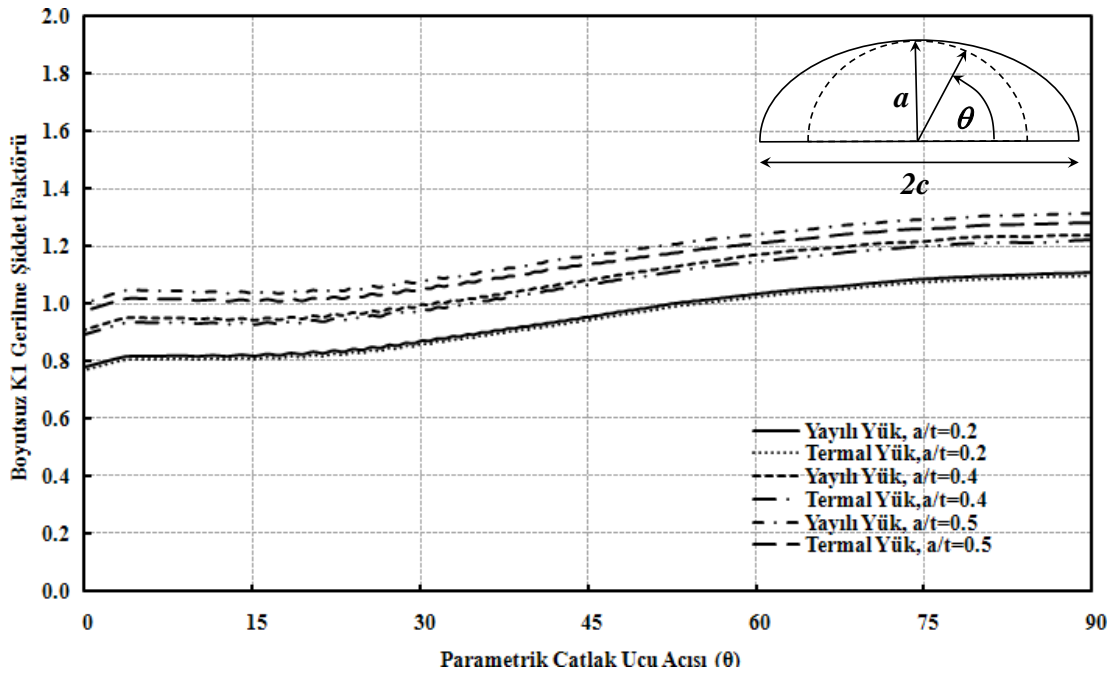
Yukarıda verilen Şekil 3.2, 3.3, 3.4 de plakalarda üniorm termal ve üniorm deplasman kontrollü yüklerdeki normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörlerinin birbiriyle aynı olduğu ispatlanmıştır. Bundan sonraki analizlerde üniorm termal ve üniorm yayılı yük durumları için gerilme şiddet faktörü mukayese grafikleri verilmiştir.



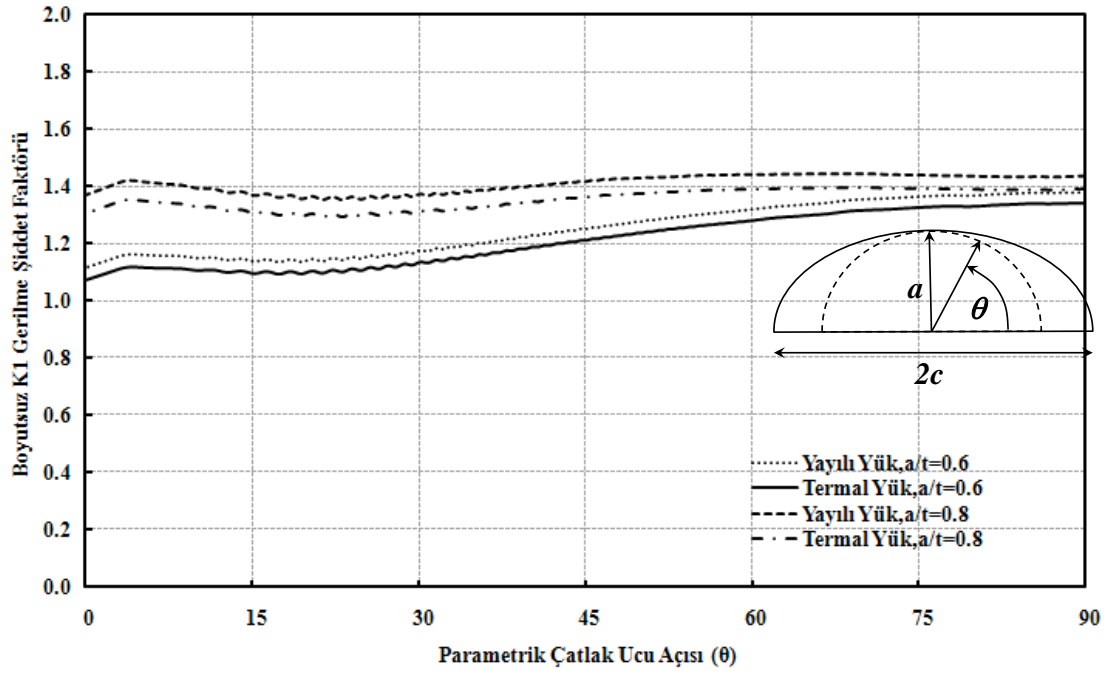
Şekil 3.5 Üniorm yayılı yük ve üniorm termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.2, 0.4,0.5$)



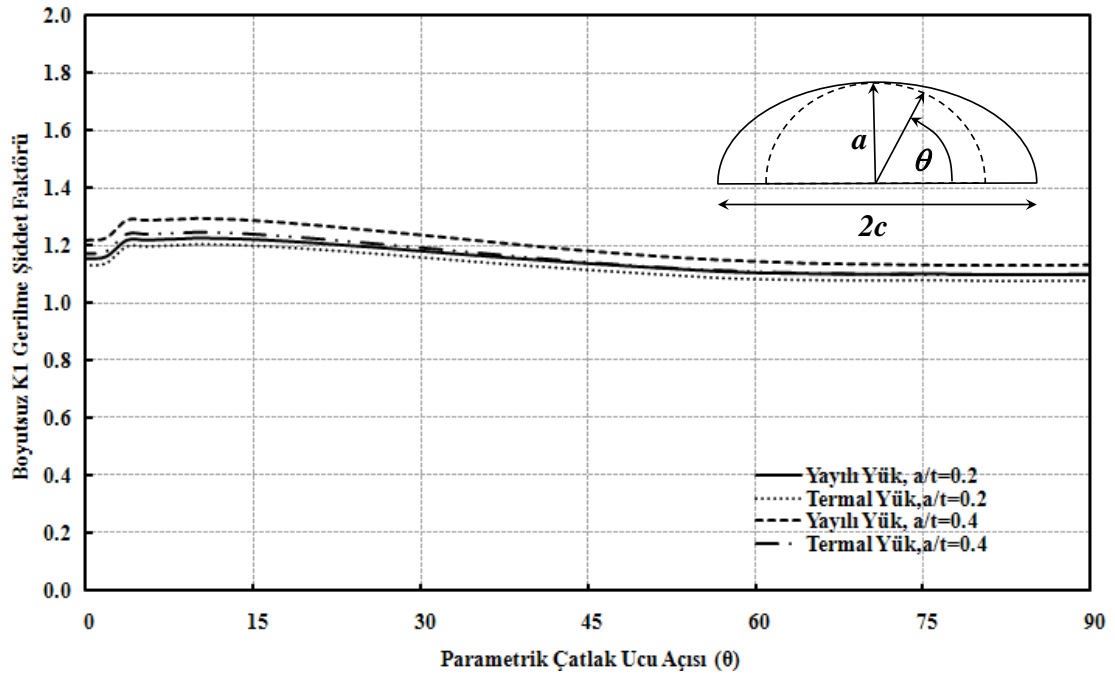
Şekil 3.6. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.6, 0.8$)



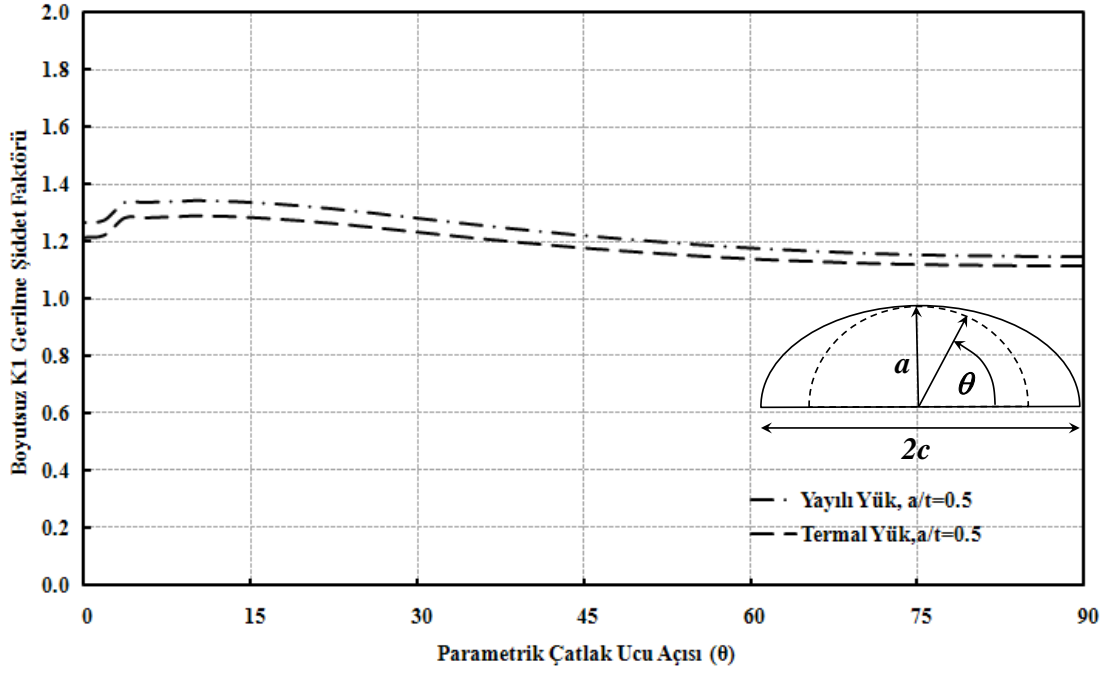
Şekil 3.7. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



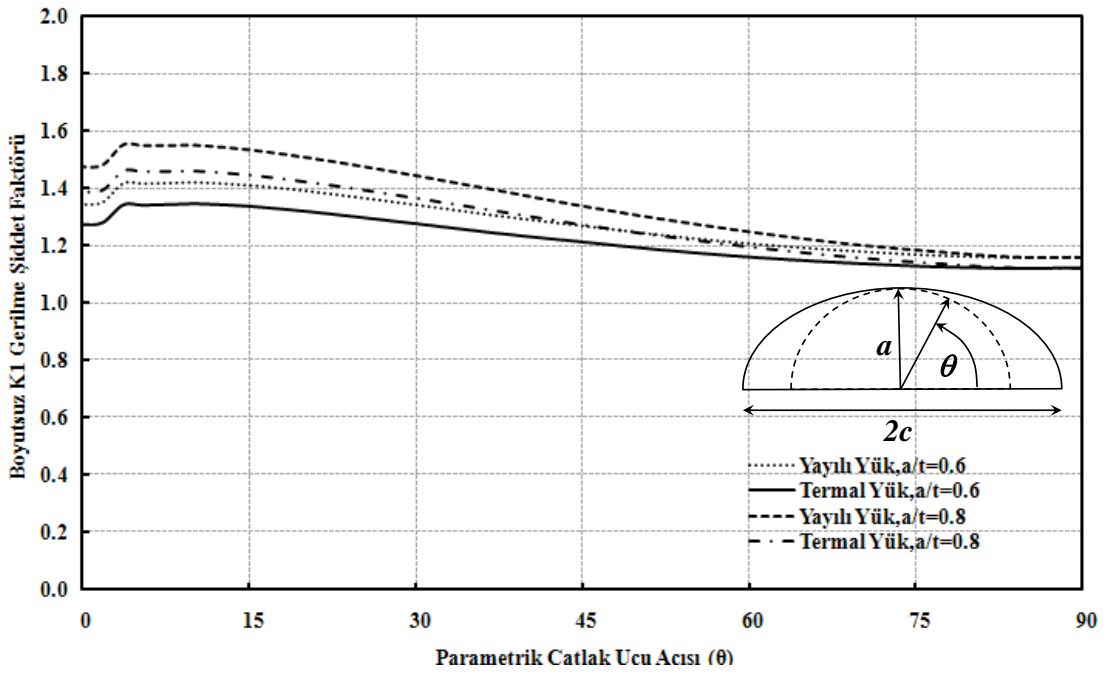
Şekil 3.8. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$)



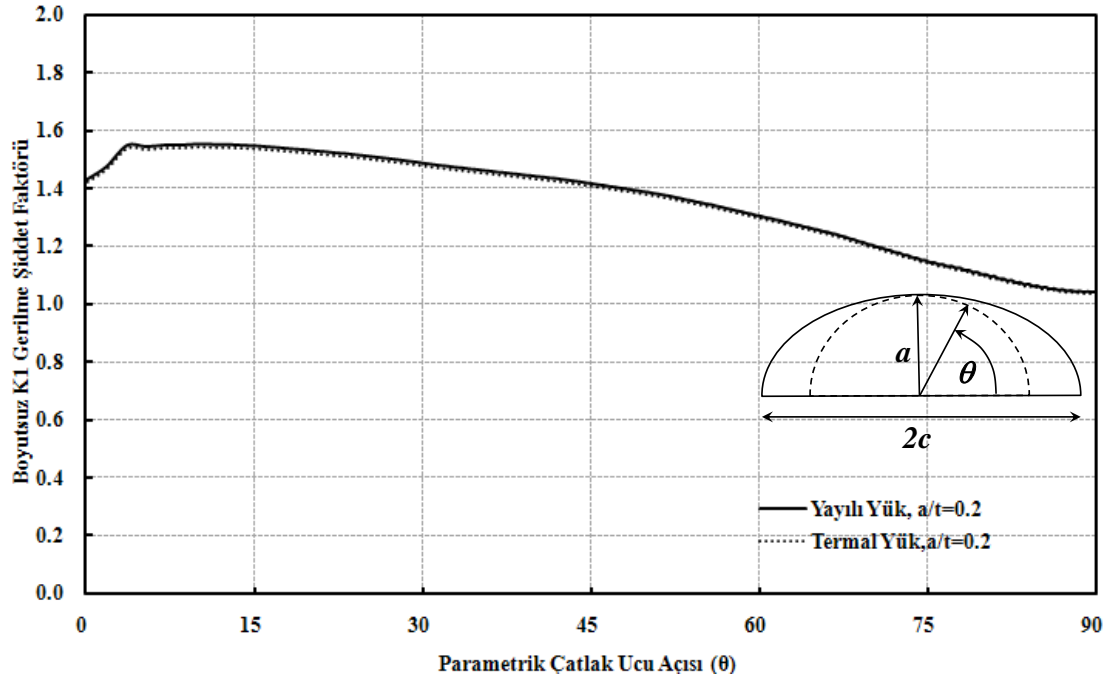
Şekil 3.9. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.2, 0.4$)



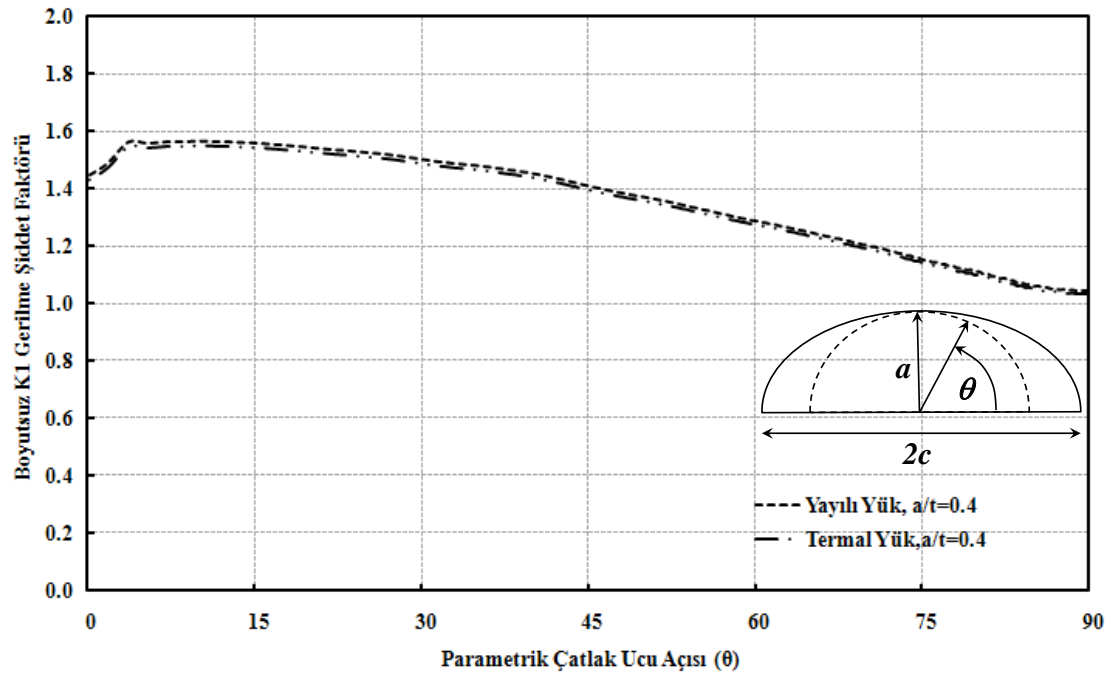
Şekil 3.10. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.5$)



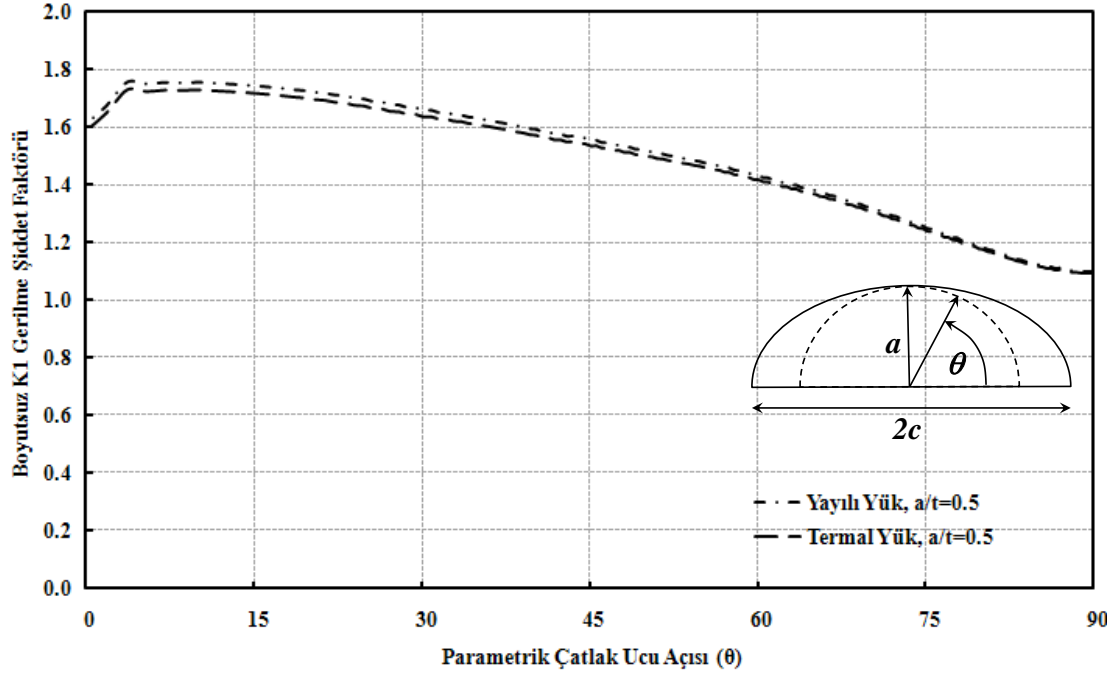
Şekil 3.11. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6, 0.8$)



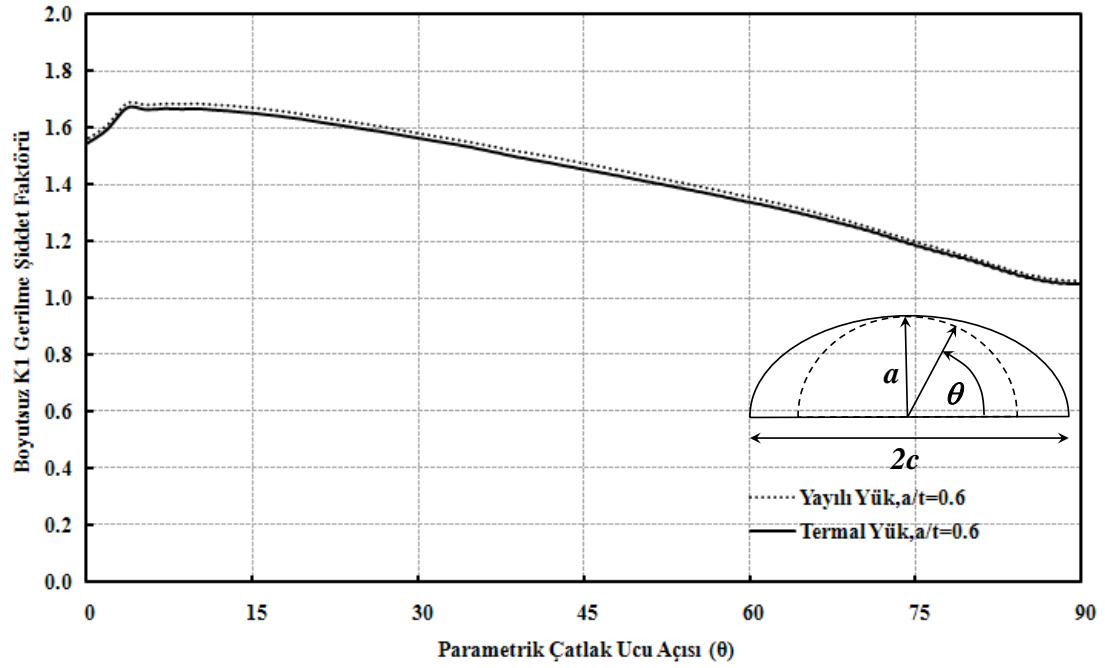
Şekil 3.12. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2$)



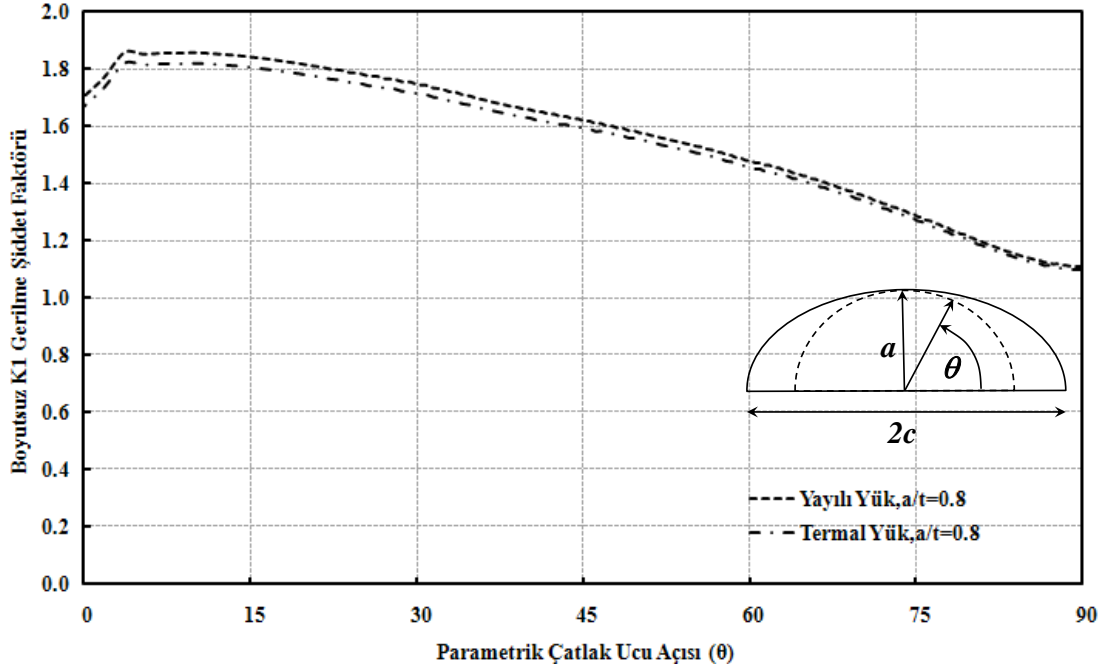
Şekil 3.13. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.4$)



Şekil 3.14. Üniform Yayılı Yük ve Üniform Termal Yük Altında Normalize Edilmiş Çatlak Ucu Gerilme Şiddet Faktörü, Yüzey Çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.5$)



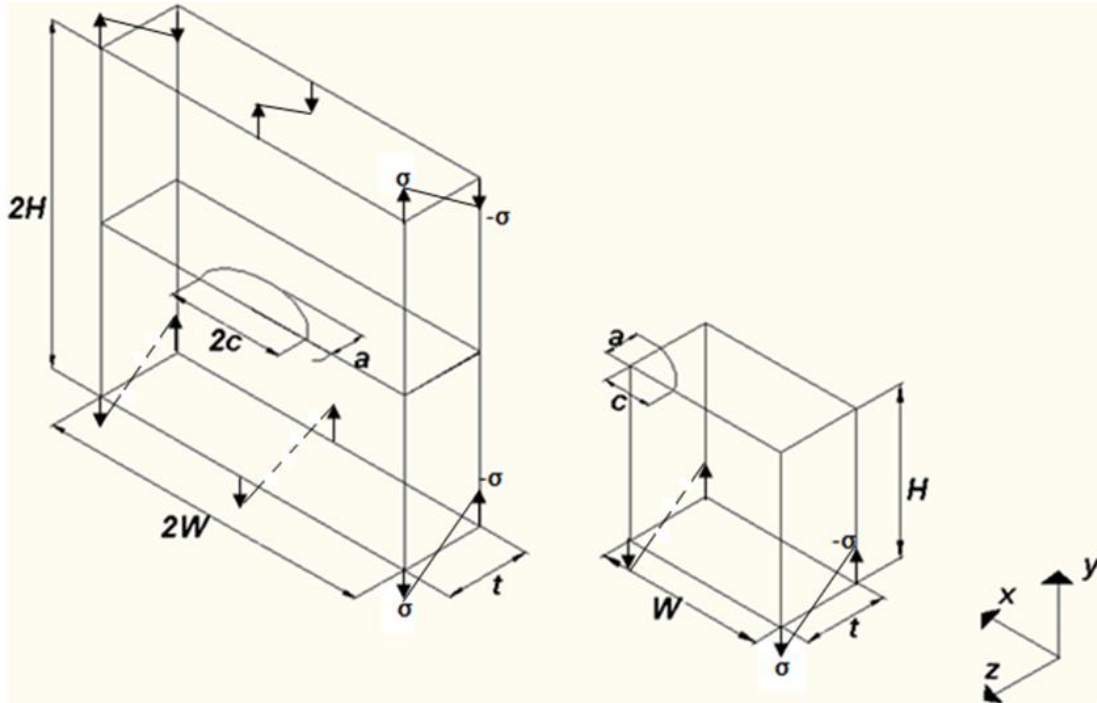
Şekil 3.15. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.6$)



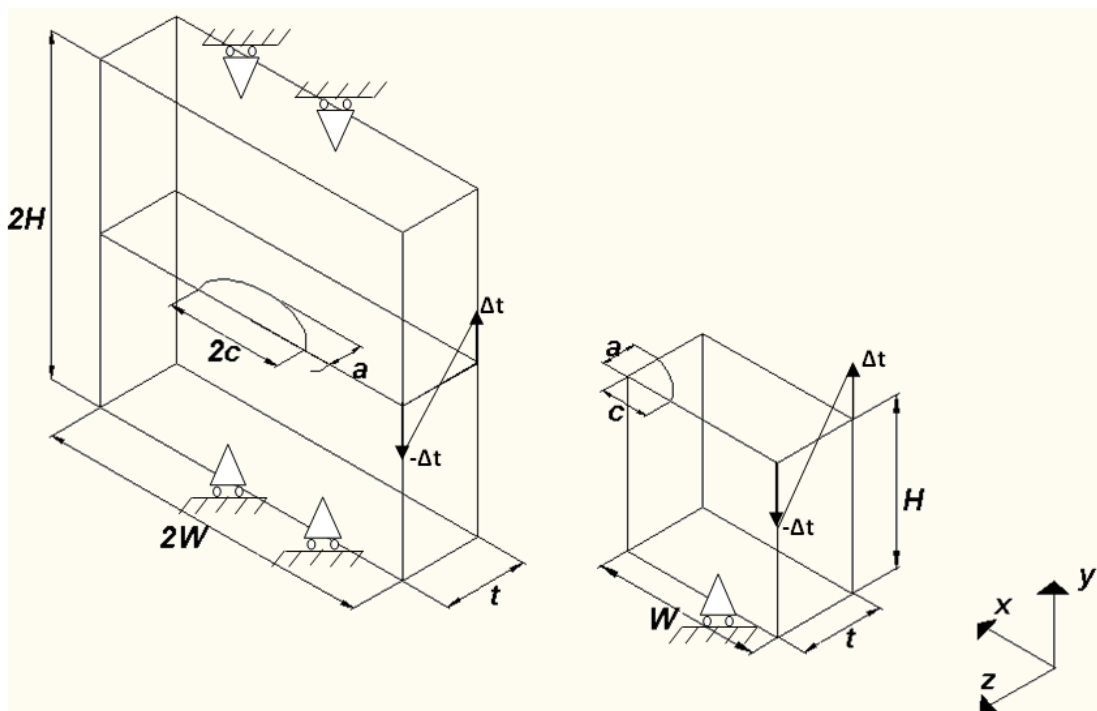
Şekil 3.16. Üniform Yayılı Yük ve Üniform Termal Yük Altında Normalize Edilmiş Çatlak Ucu Gerilme Şiddet Faktörü, Yüzey Çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.8$)

Yukarıda verilen Şekil 3.5-3.16' da görüldüğü gibi üniform yayılı yük altında eliptik yüzey çatlağı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinin, üniform deplasman yükü ve üniform termal yük altında eliptik yüzey çatlağı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinden daha büyük olduğu ve çatlak boyutu büyüdükçe (a/t) aradaki farkında arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi çatlak boyu büyüme gösterdikçe kompliyans değerinin büyümesidir.

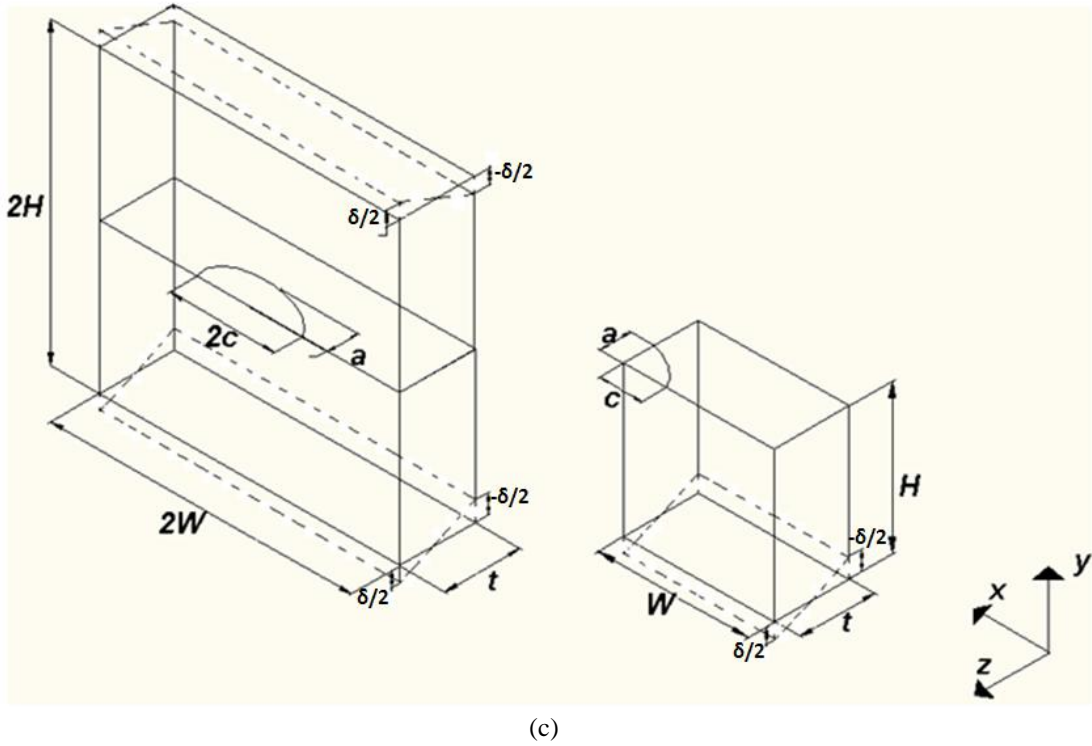
3.3 Farklı Eğilme Yükleri Altında Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi



(a)



(b)



(c)
Şekil 3.17. Farklı eğilme yükleri altında eliptik yüzey çatlaklı içeren tam ve $\frac{1}{4}$ simetrik plaka modeli
a) yayılı eğilme yükü b) termal eğilme yükü c) deplasman eğilme yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

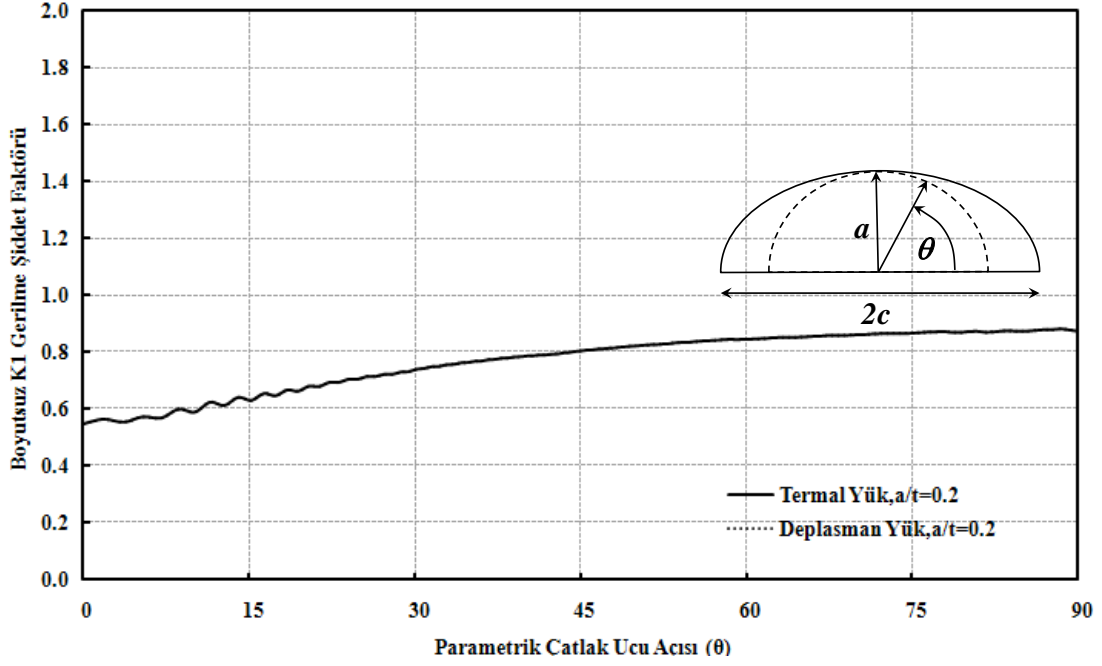
c: Çatlak yarı uzunluğu

σ : Yayılı yük

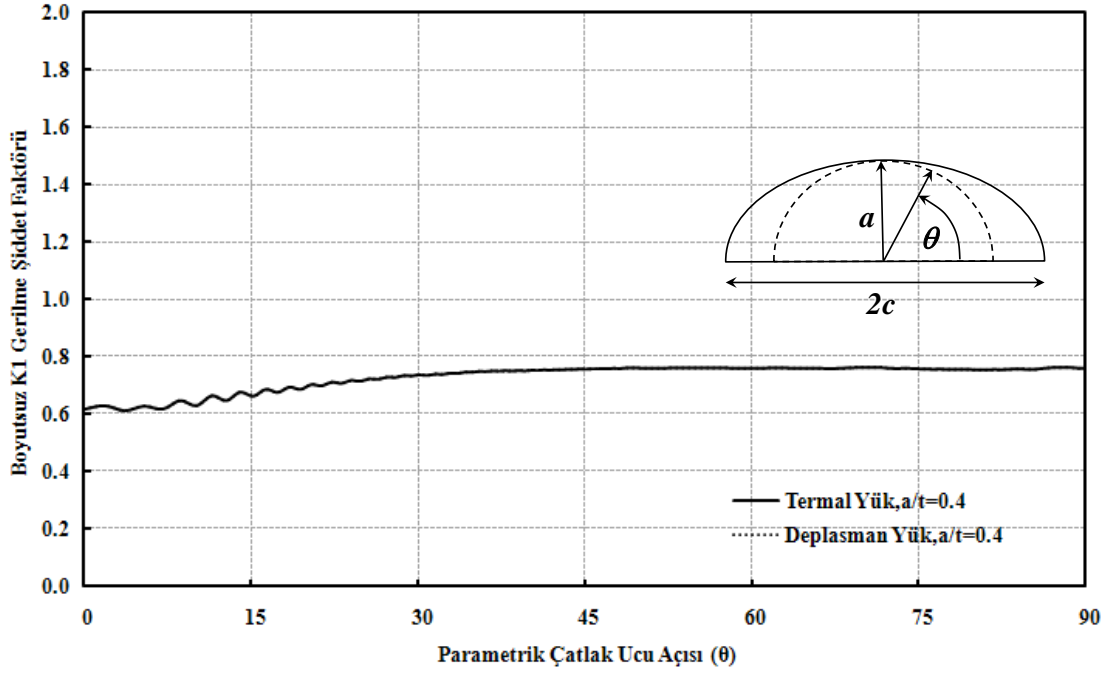
$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

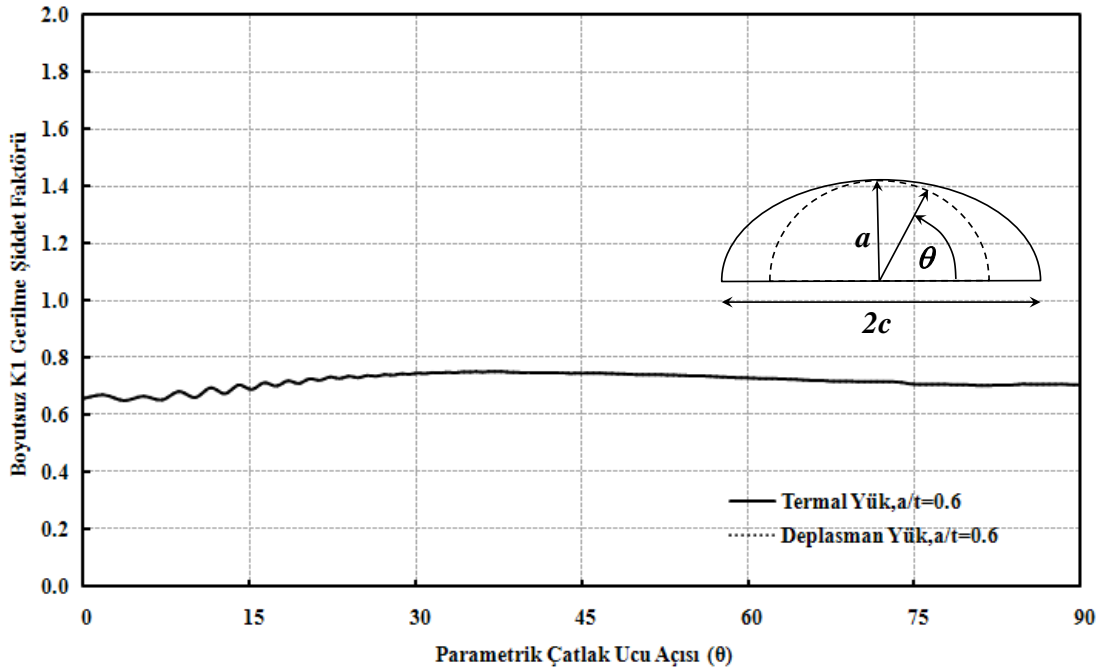
Bu bölümde analizi gerçekleştirilen plaka modellerinin boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir. Analizlerde Tablo 2.3 de verilen a/c ve a/t oranları için parametrik hale getirilmiş olan Makro 4, Makro 5, Makro 6 kullanılmıştır. Her bir makro için Tablo 2.1 de verilen farklı oranlarda 20 analiz toplamda 60 adet analiz yapılmış plaka modellerinde çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü hesaplanmıştır.



Şekil 3.18. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2$)

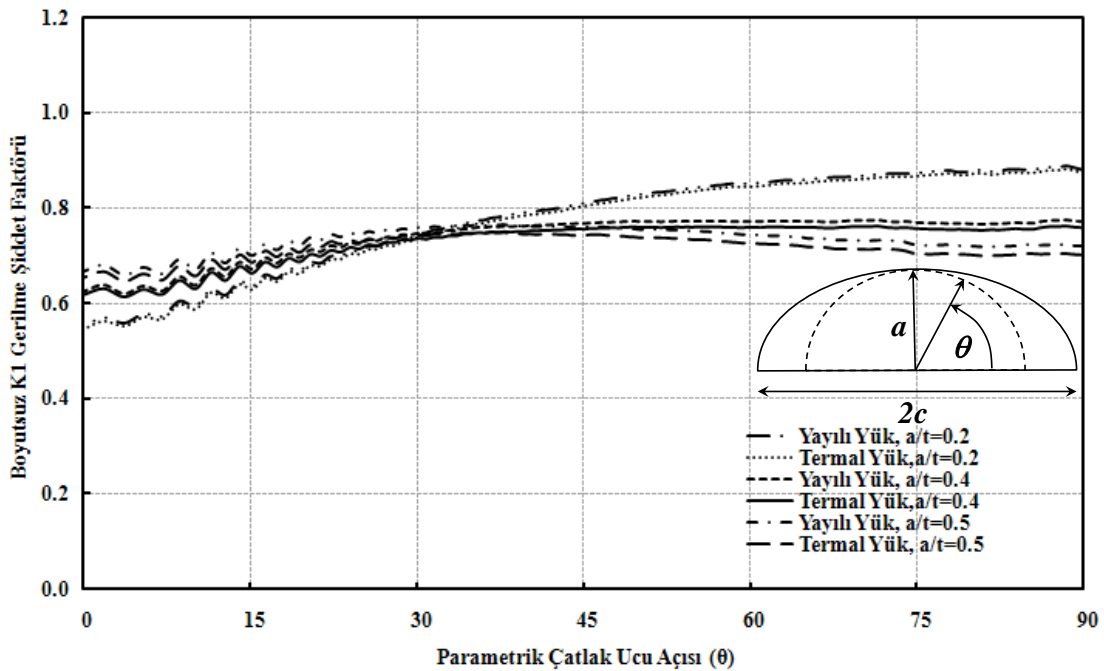


Şekil 3.19. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.4$)

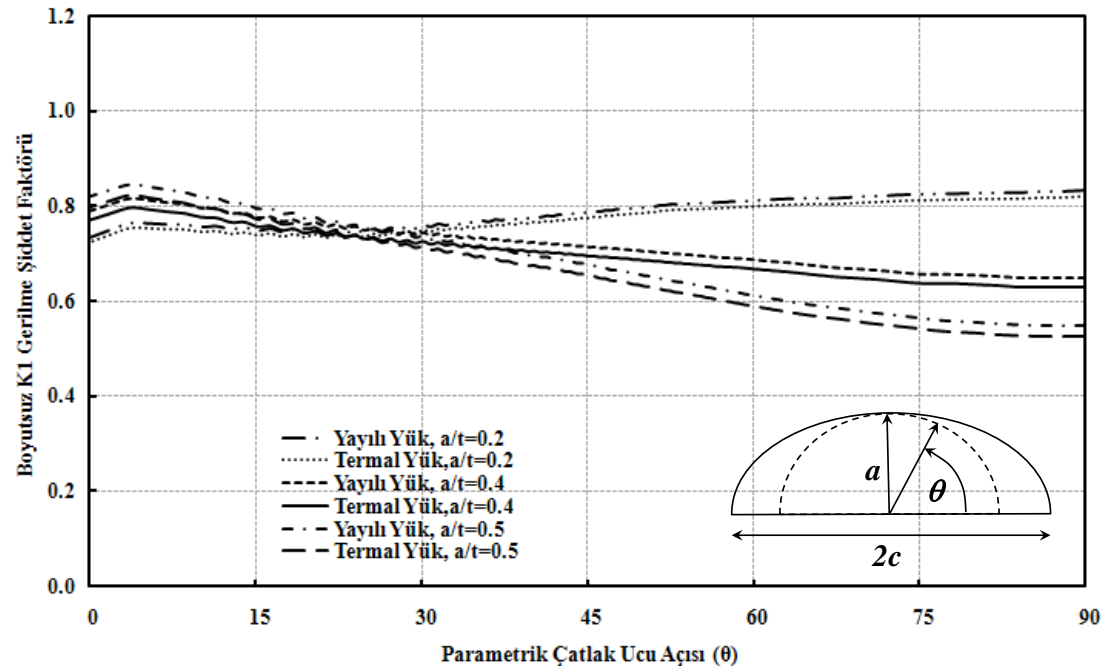
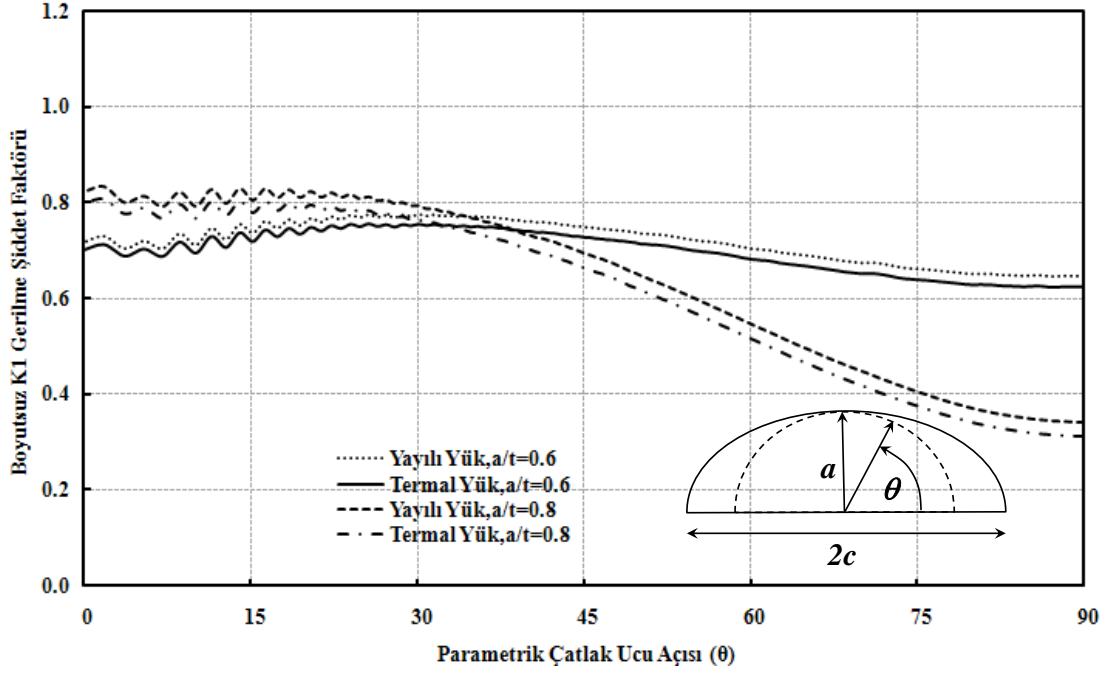


Şekil 3.20. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.5$)

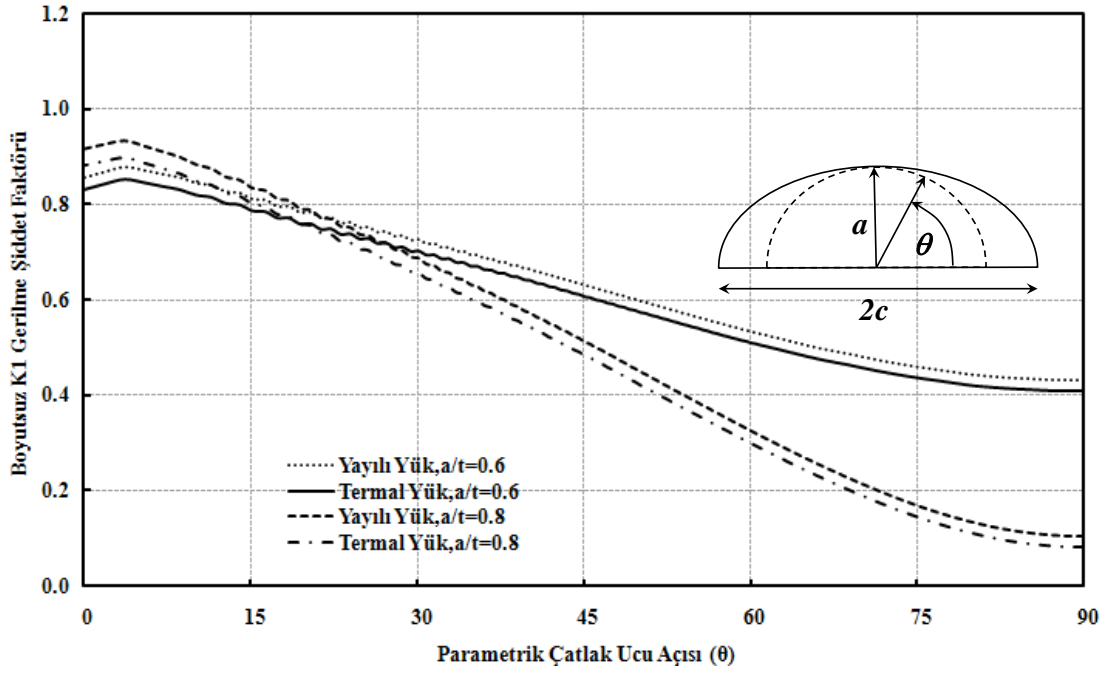
Yukarıda verilen Şekil 3.18, 3.19, 3.20 de plakalarda termal eğilme ve deplasman eğilme kontrollü yüklerdeki normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörlerinin birbiriyle aynı olduğu ispatlanmıştır. Bundan sonraki analizler için sadece termal eğilme ve yayılı eğilme yük durumları için gerilme şiddet faktörü mukayese grafikleri verilmiştir.



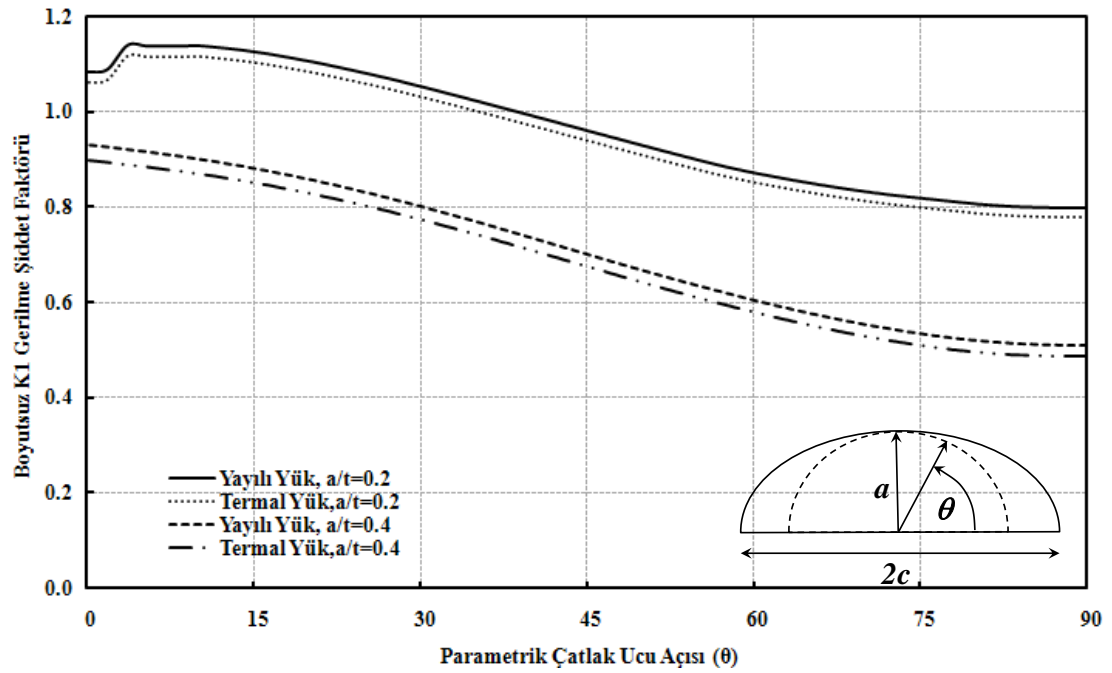
Şekil 3.21. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



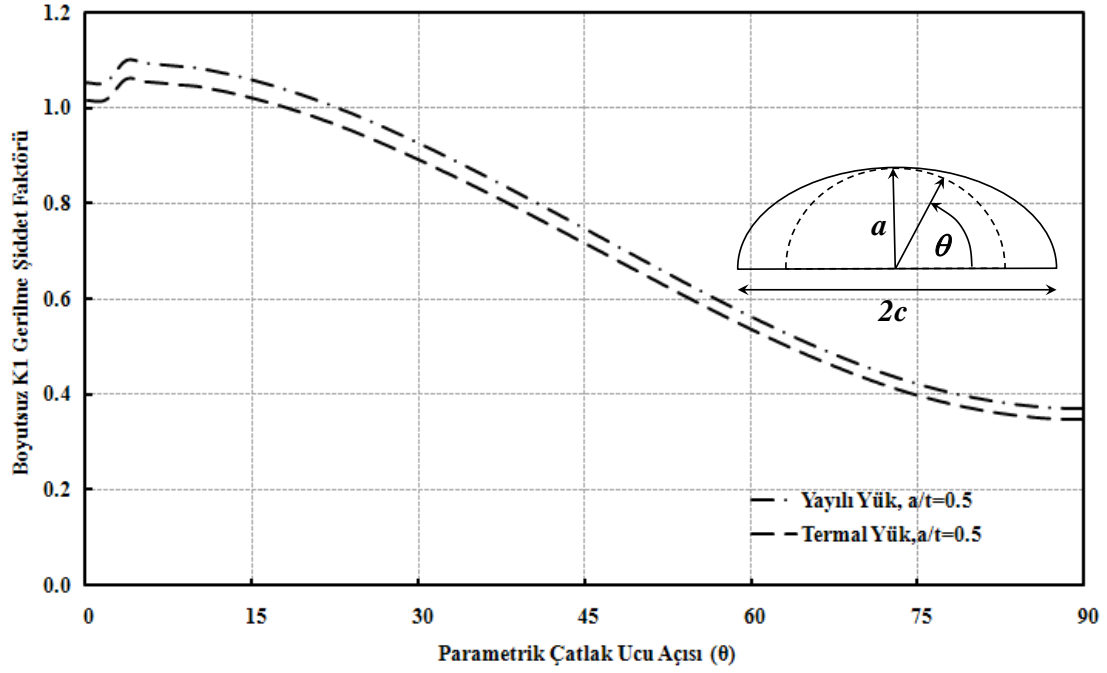
Şekil 3.23. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



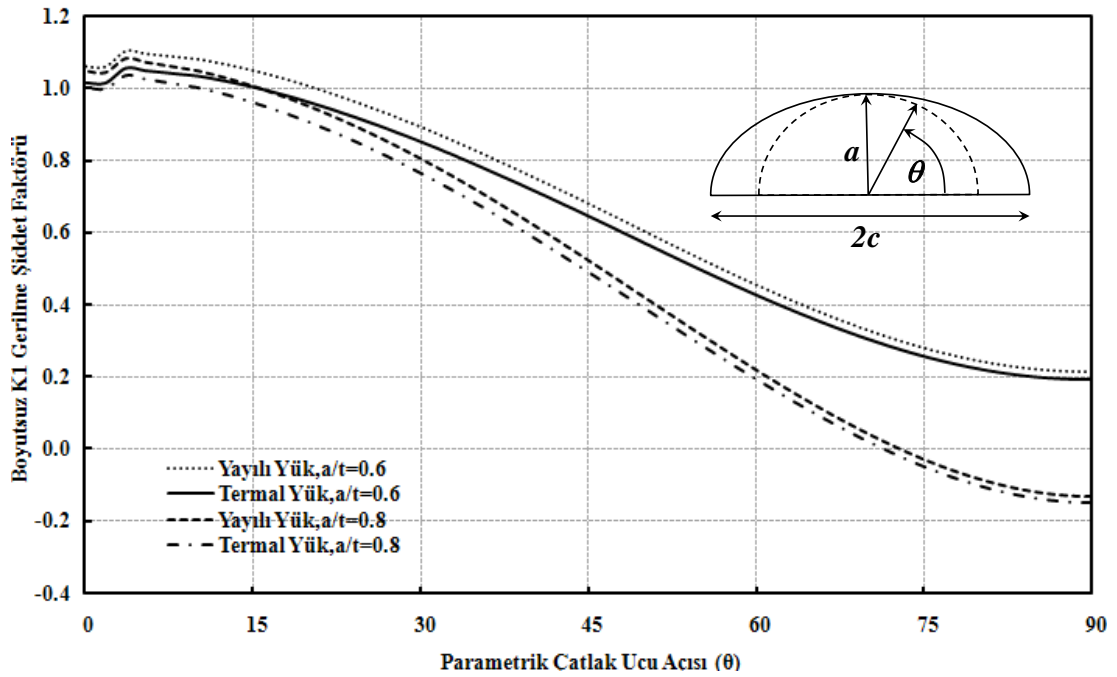
Şekil 3.24. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$)



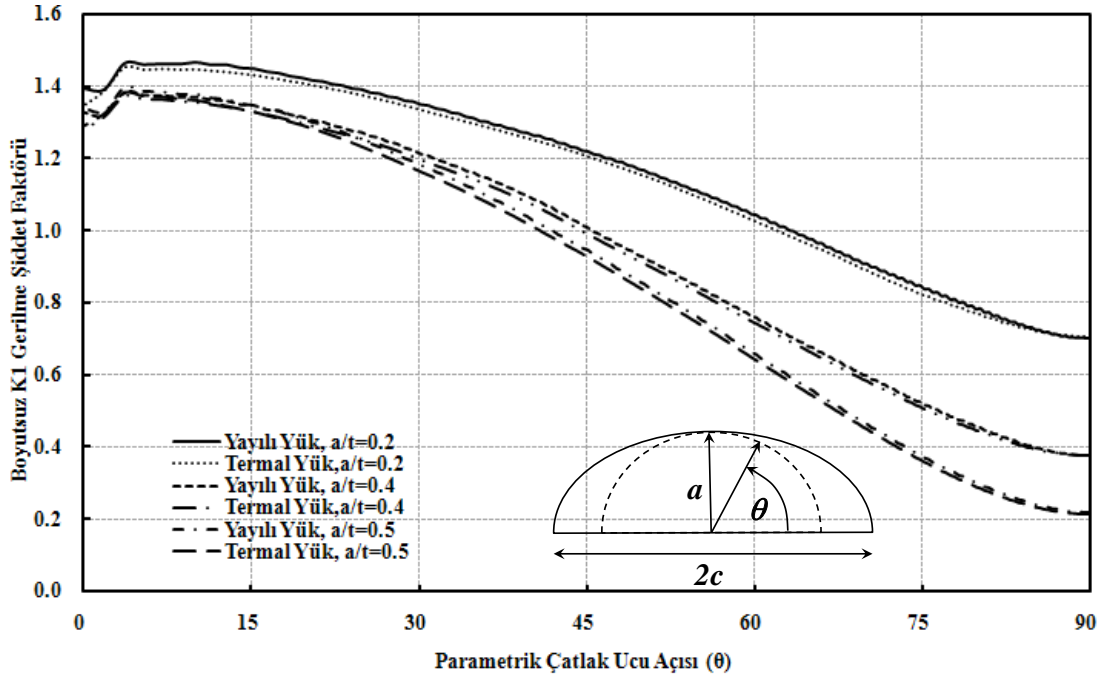
Şekil 3.25. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.2, 0.4$)



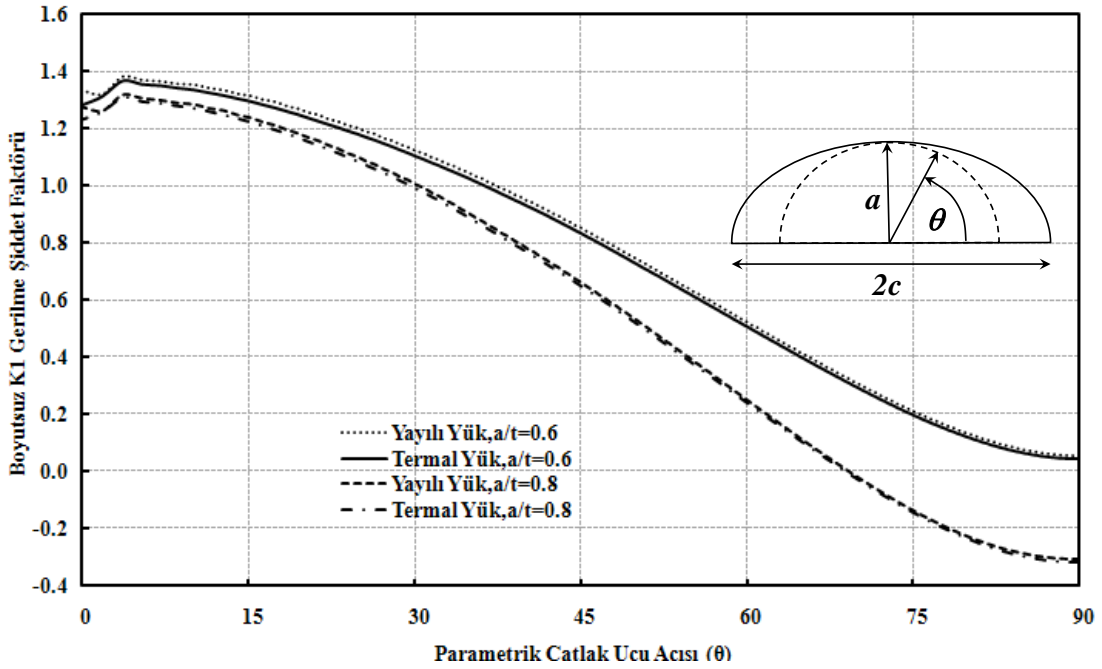
Şekil 3.26. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.5$)



Şekil 3.27. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.6, 0.8$)



Şekil 3.28. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.2,0.4,0.5$)

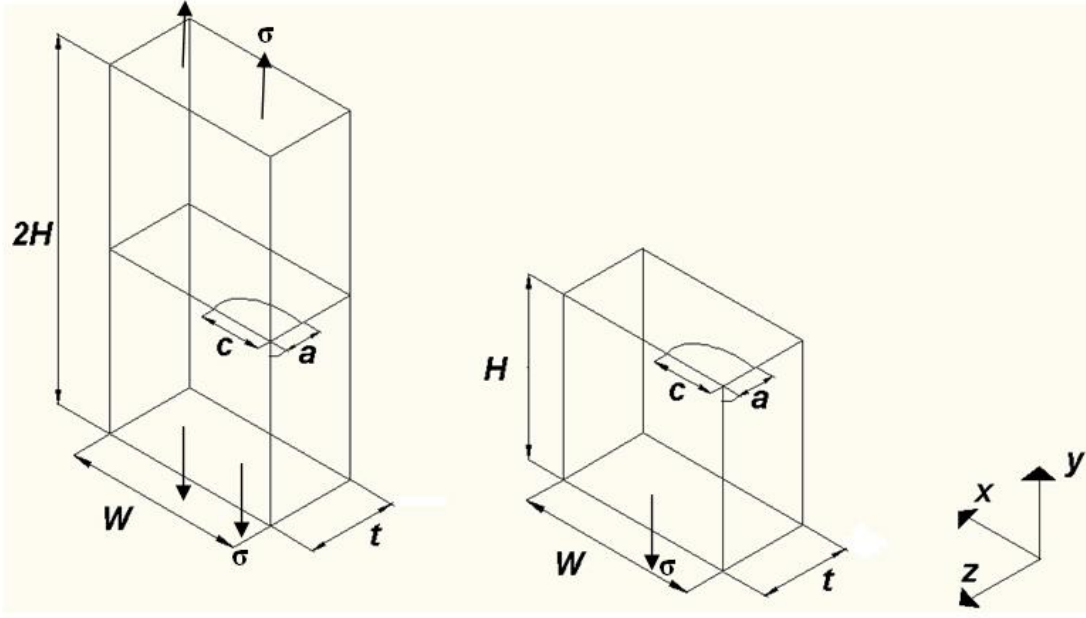


Şekil 3.29. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, yüzey çatlağı ($a/c=2$ - $a/t=0.6,0.8$)

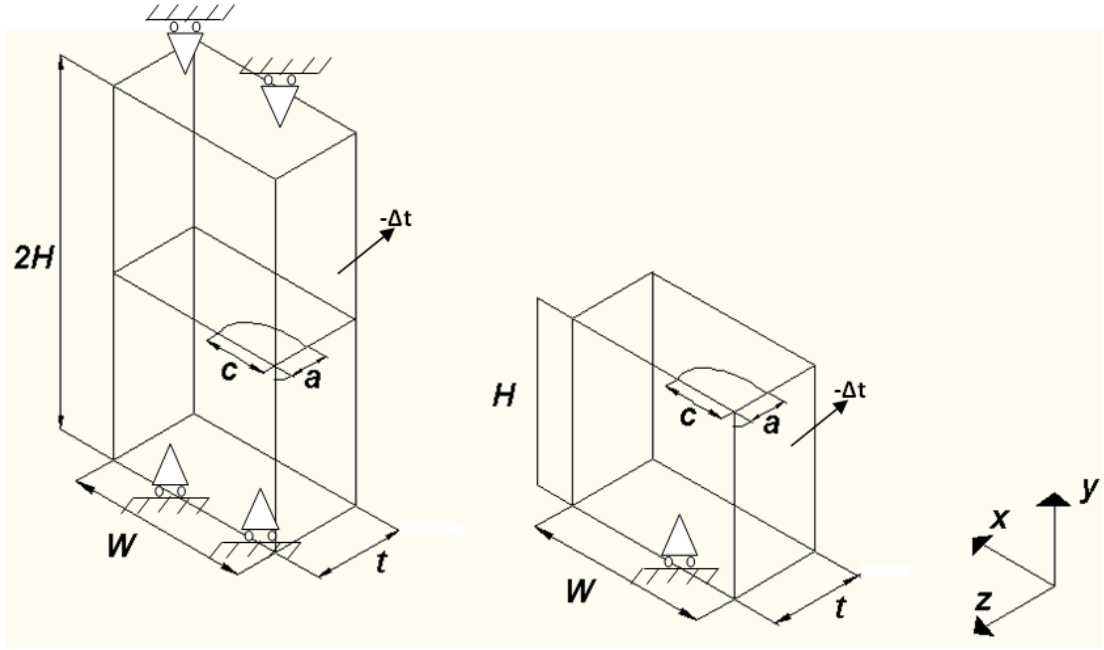
Yukarıda verilen Şekil 3.21-3.29' da görüldüğü gibi eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde yayılı eğilme yükü altında çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinin, deplasman eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1

gerilme şiddet faktörü değerinden çatlak ucu boyunca daha büyük olduğu ve çatlak boyutu büyüdükçe (a/t) aradaki farkında arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi çatlak boyu büyüme gösterdikçe kompliyans değerinin büyümesidir. Bu iki durum arasındaki fark üniform ve eğilme yükleri altındaki plaka modellerinde çatlak ilerleme analizlerinde elde edilecek olan a/c ve a/t grafiklerinde daha anlaşılır bir biçimde gösterilecektir.

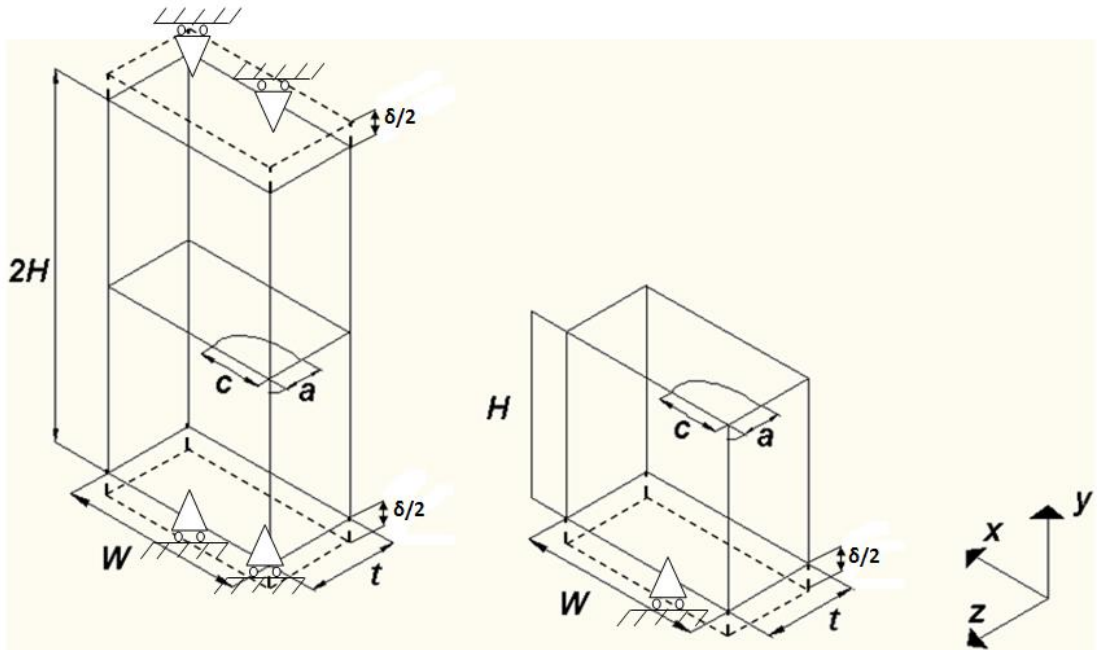
3.4. Farklı Üniform Yükler Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.30. Farklı üniform yükler altında eliptik köşe çatlaklı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli
 a) üniform yayılı yük b) üniform termal yük c) üniform deplasman yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

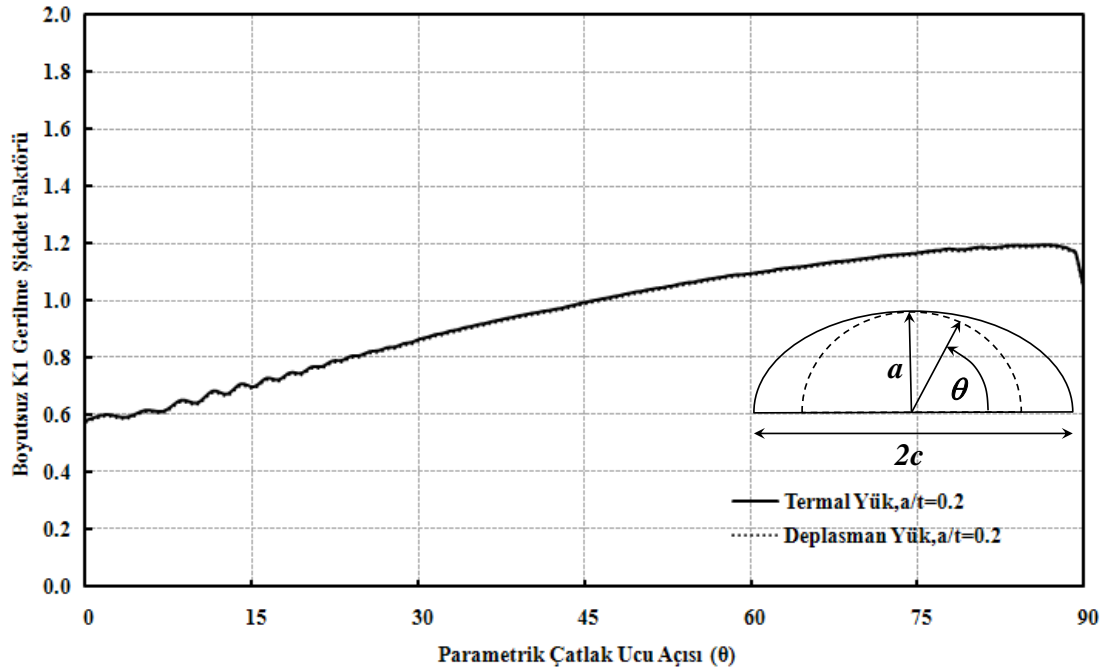
c: Çatlak yarı uzunluğu

σ_0 : Yayılı yük

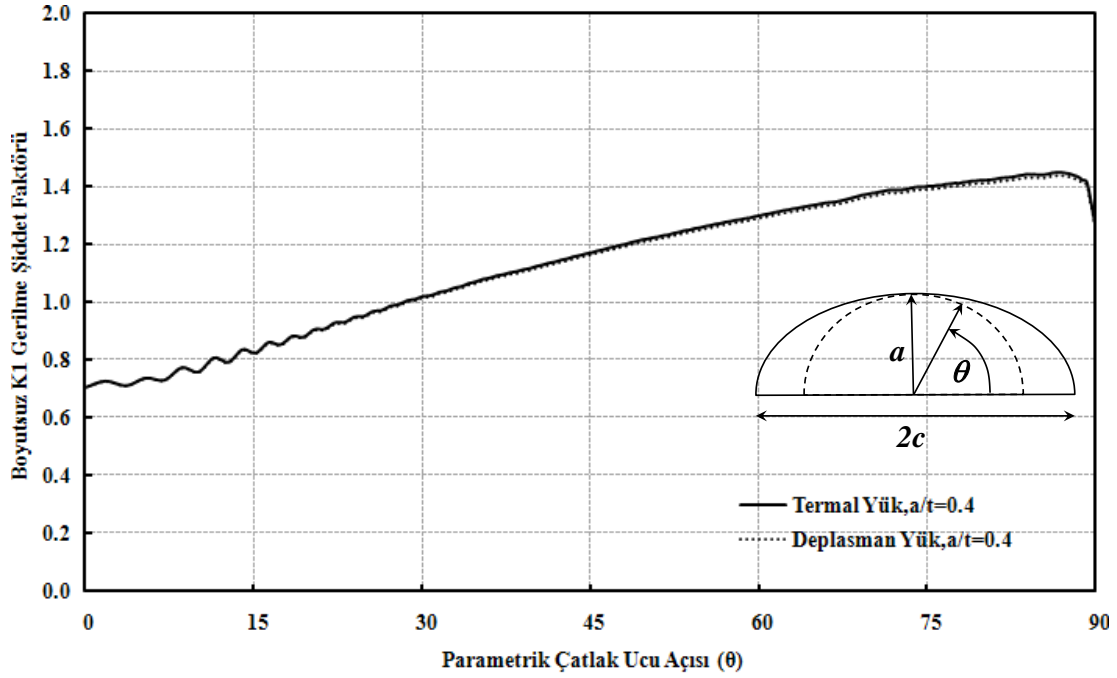
$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

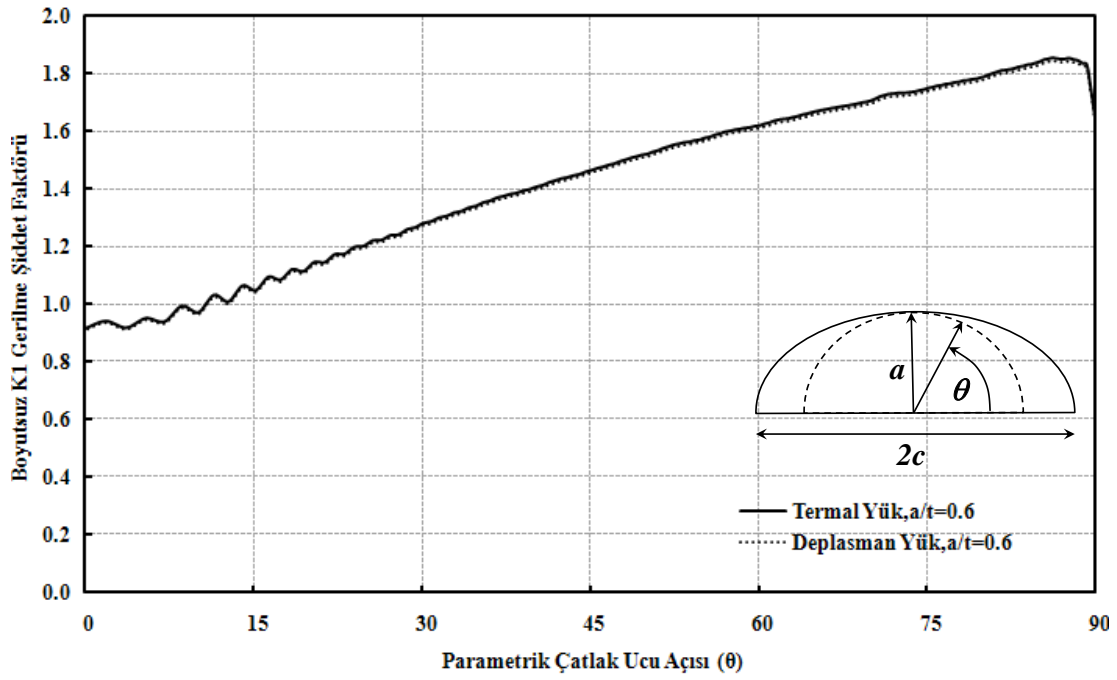
Bu bölümde analizi gerçekleştirilen plaka modellerinin boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir. Analizlerde Tablo 2.4' de verilen a/c ve a/t oranları için parametrik hale getirilmiş olan Makro 7, Makro 8, Makro 9 kullanılmıştır. Her bir makro için Tablo 2.1 de verilen farklı oranlarda 20 analiz toplamda 60 adet analiz yapılmış plaka modellerinde çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü hesaplanmıştır.



Şekil 3.31. Üniform termal yükü ve üniform deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2$)



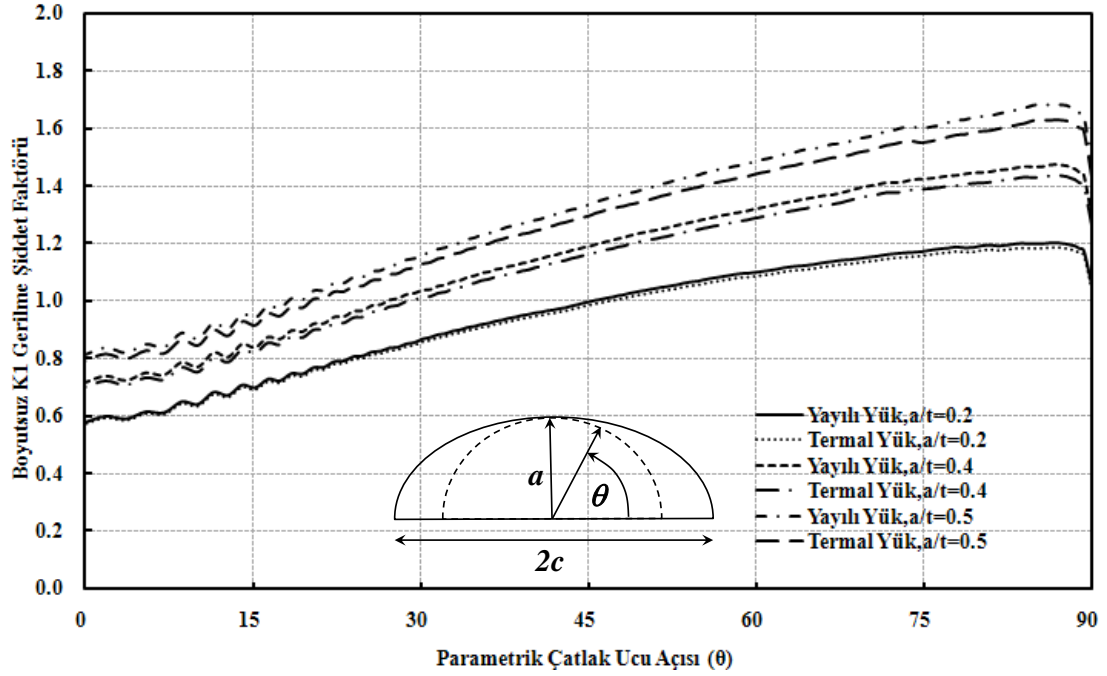
Şekil 3.32. Üniorm termal yükü ve üniorm deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.4$)



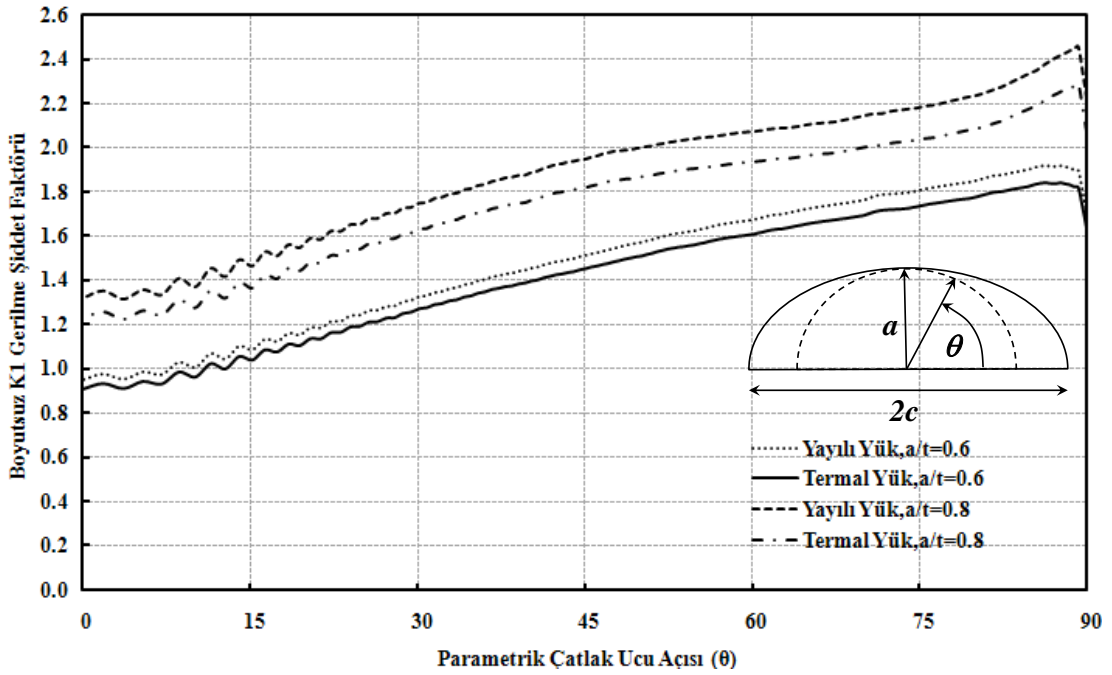
Şekil 3.33. Üniorm termal yükü ve üniorm deplasman yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.6$)

Yukarıda verilen Şekil 3.31,3.32,3.33 de görüldüğü gibi plakalarda üniorm termal ve üniorm deplasman kontrollü yüklerdeki normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörlerinin birbiriyle aynı olduğu yukarıda ispatlanmıştır. Bundan sonraki analizler

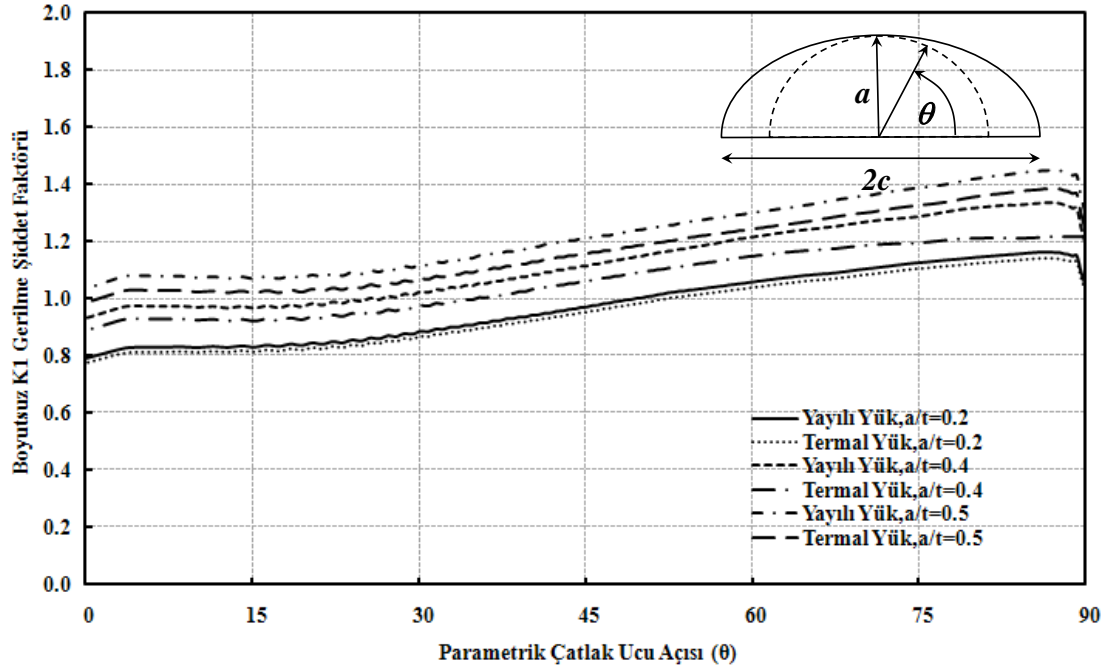
için sadece üniform termal ve üniform yayılı yük durumları için gerilme şiddet faktörü mukayese grafikleri verilmiştir.



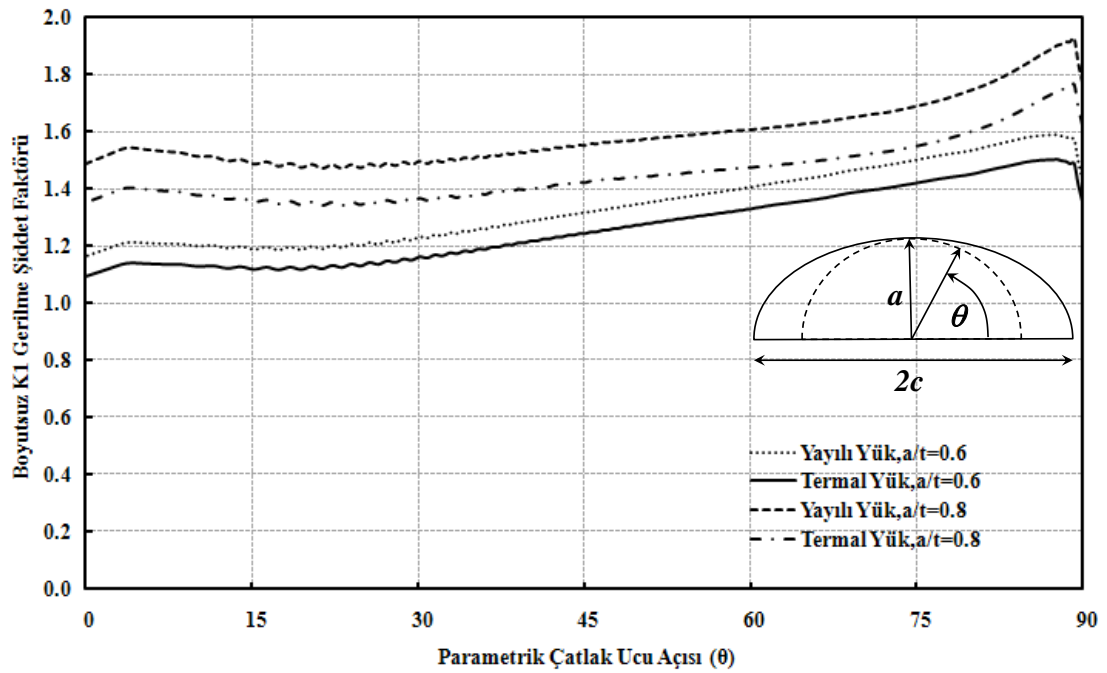
Şekil 3.34. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



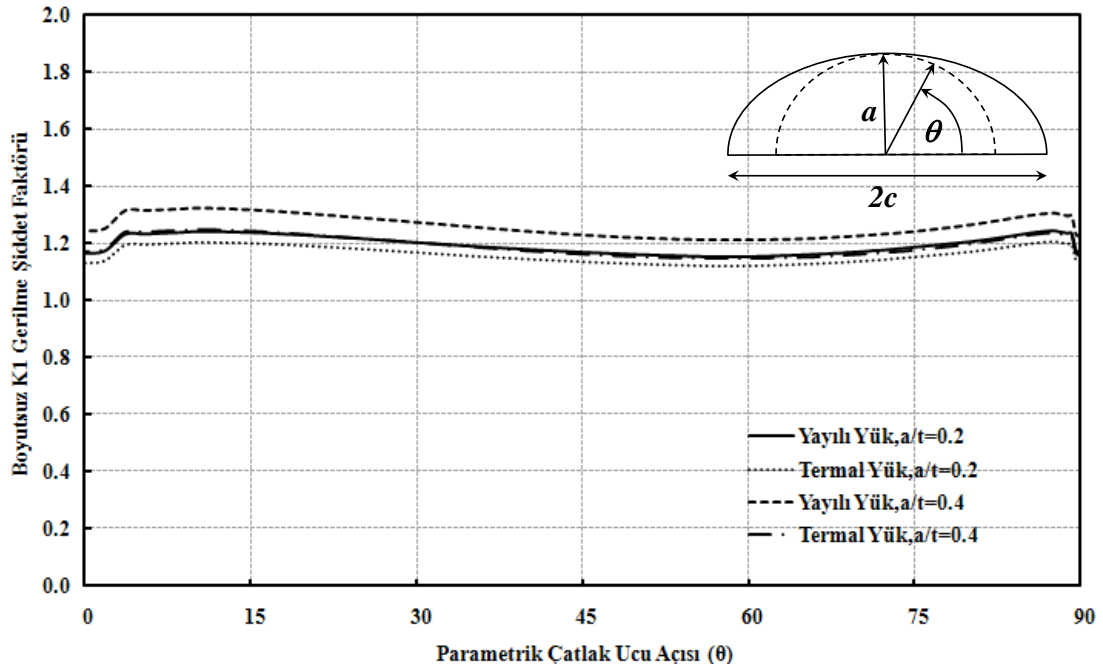
Şekil 3.35. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2 - a/t=0.6, 0.8$)



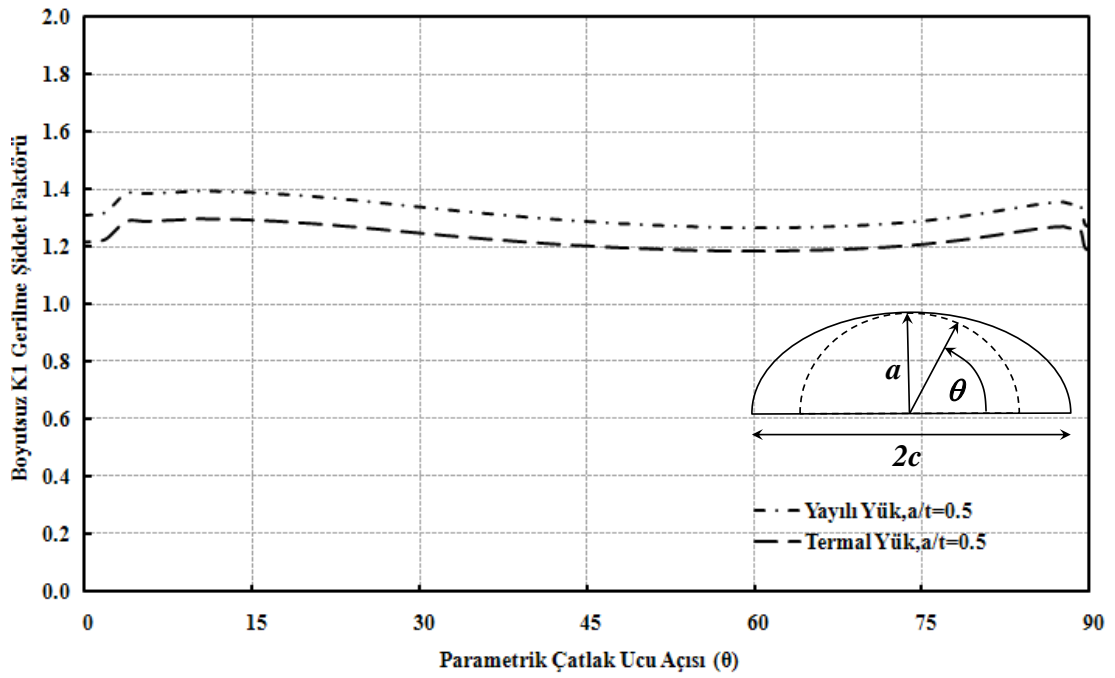
Şekil 3.36. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



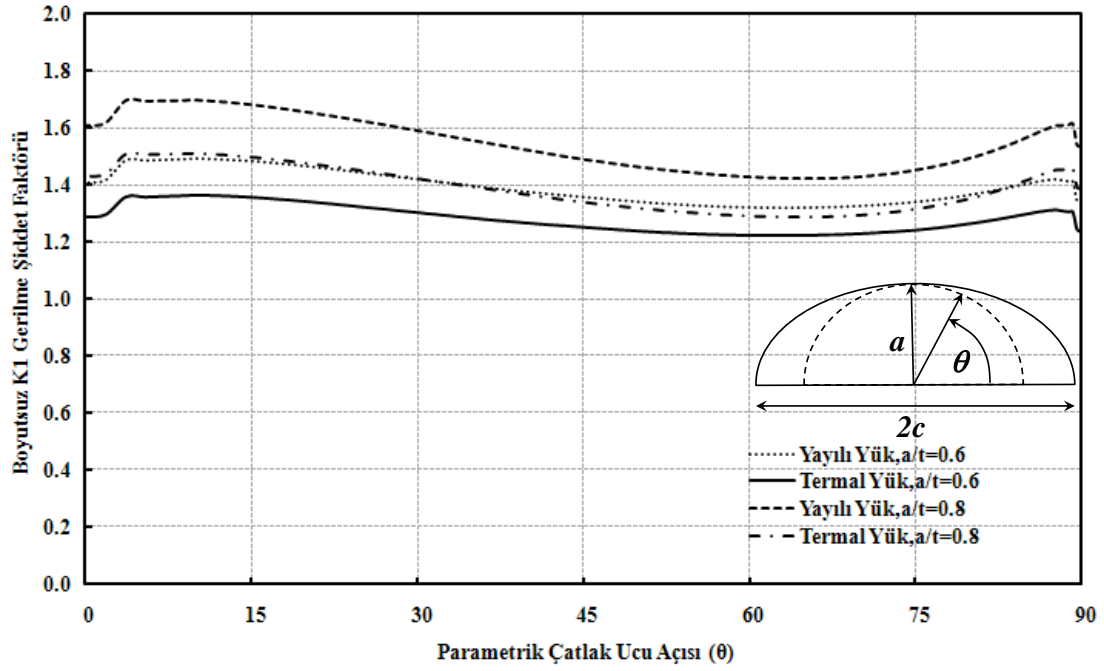
Şekil 3.37. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$)



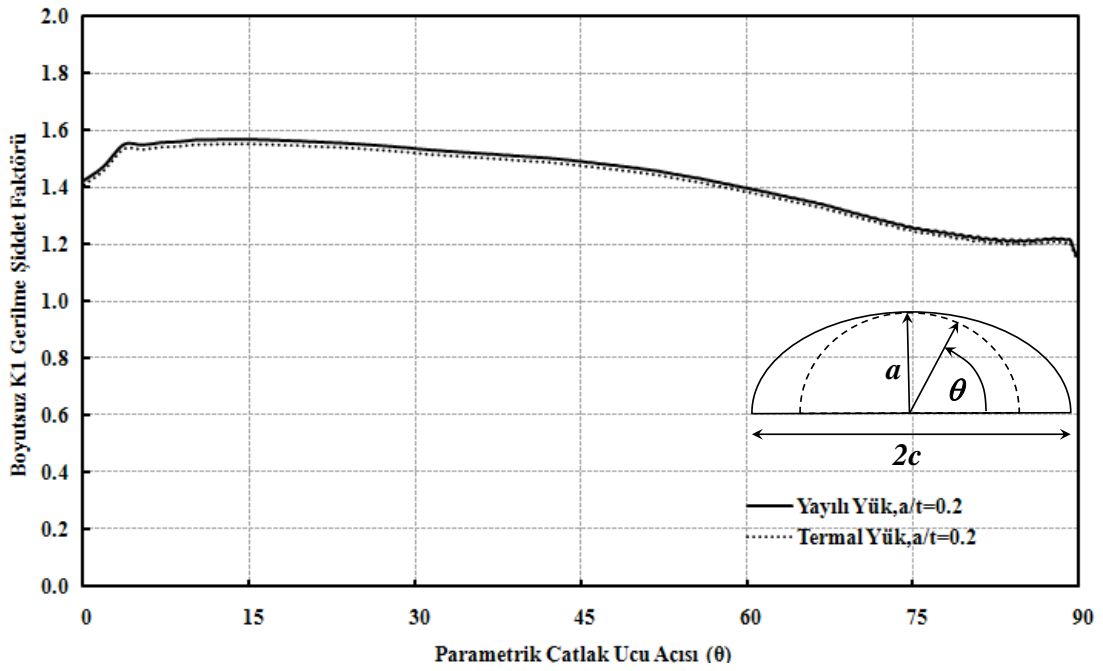
Şekil 3.38. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.2, 0.4$)



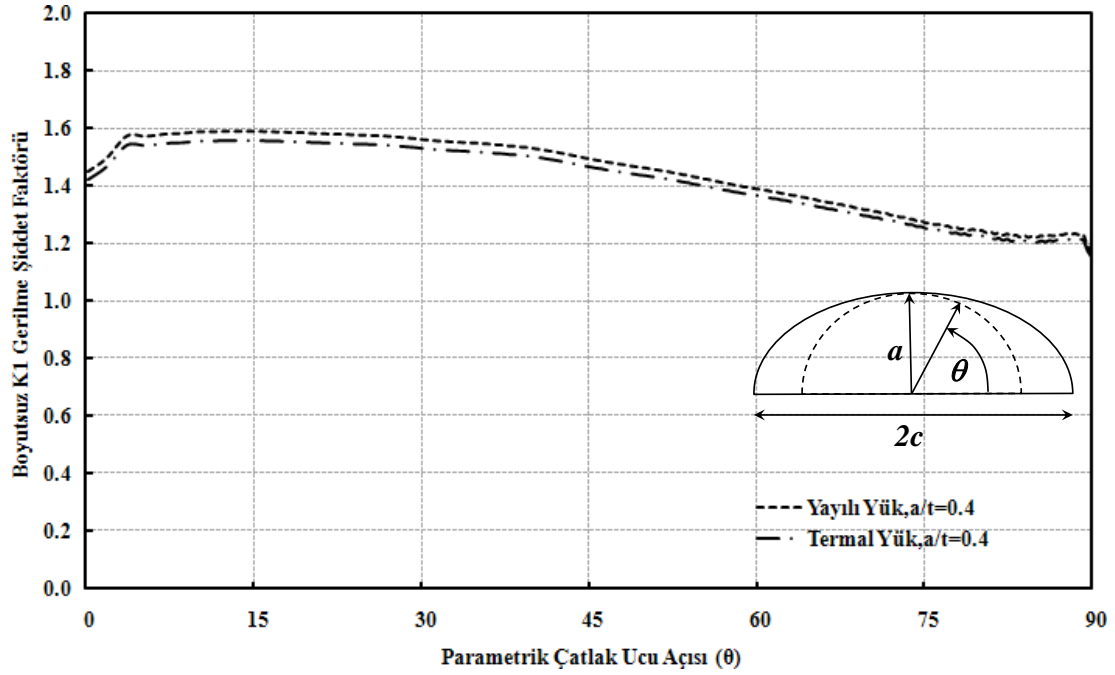
Şekil 3.39. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.5$)



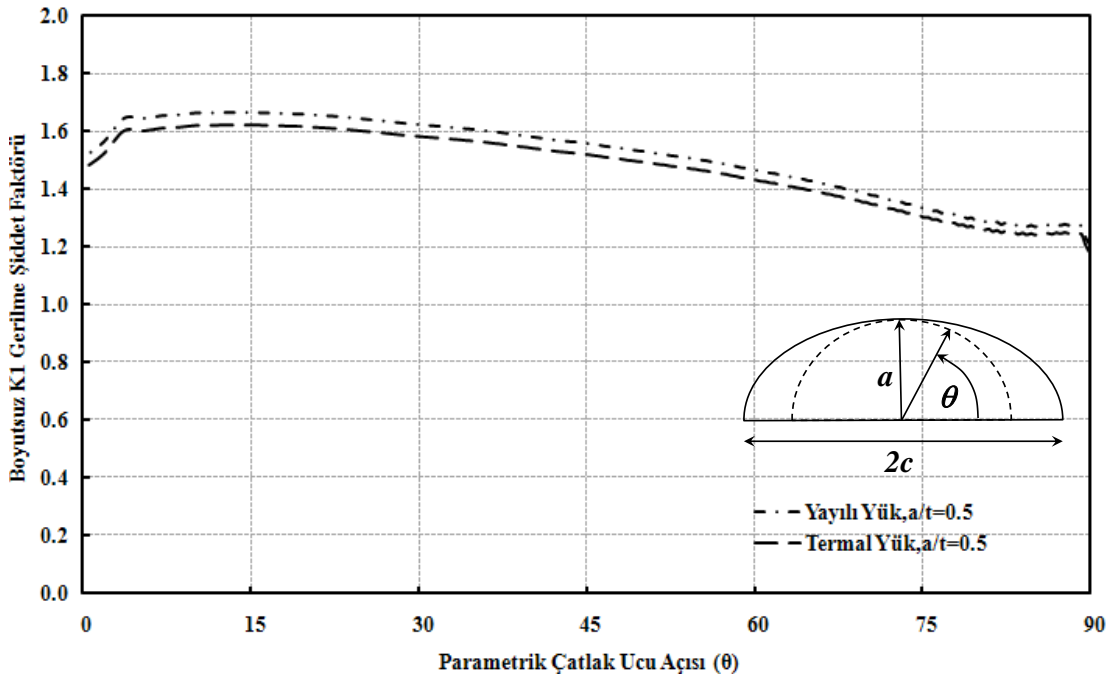
Şekil 3.40. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6, 0.8$)



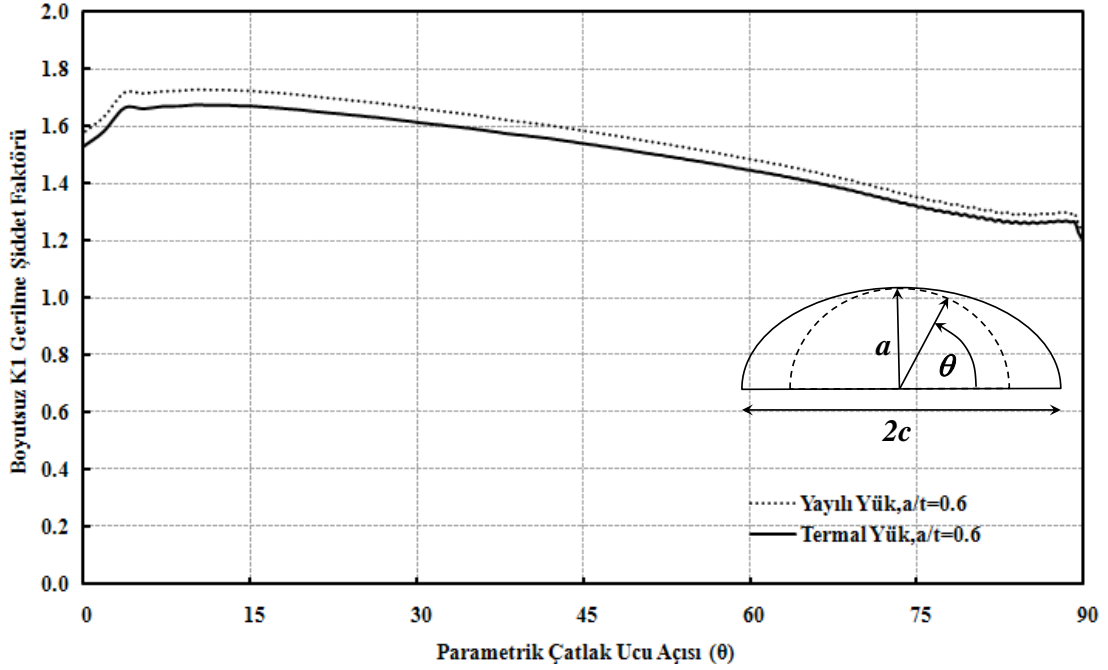
Şekil 3.41. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2$)



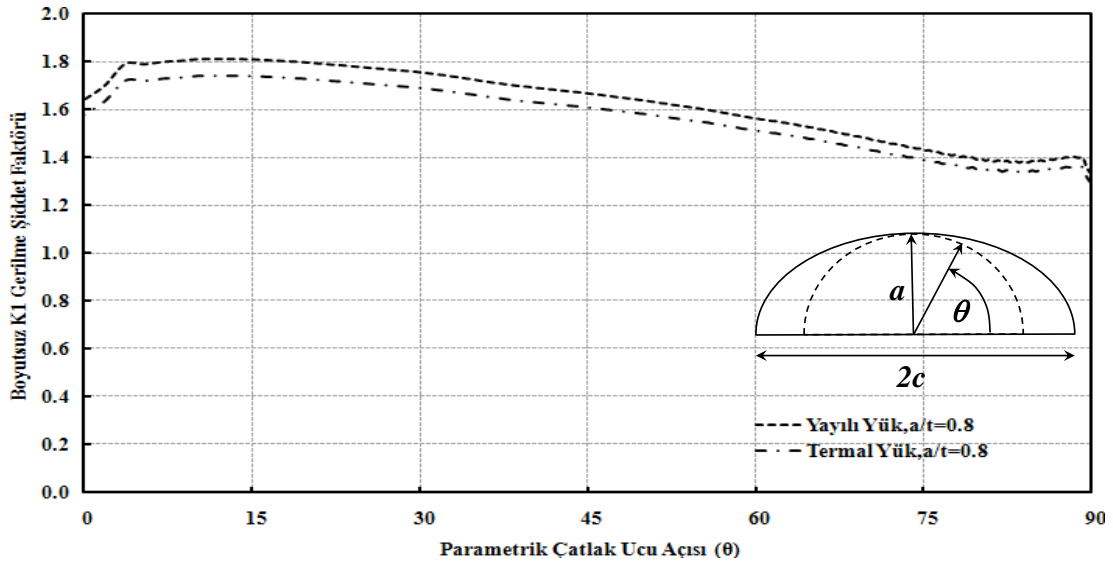
Şekil 3.42. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.4$)



Şekil 3.43. Üniform yayılı yük ve üniform termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.5$)



Şekil 3.44. Üniorm yayılı yük ve üniorm termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.6$)

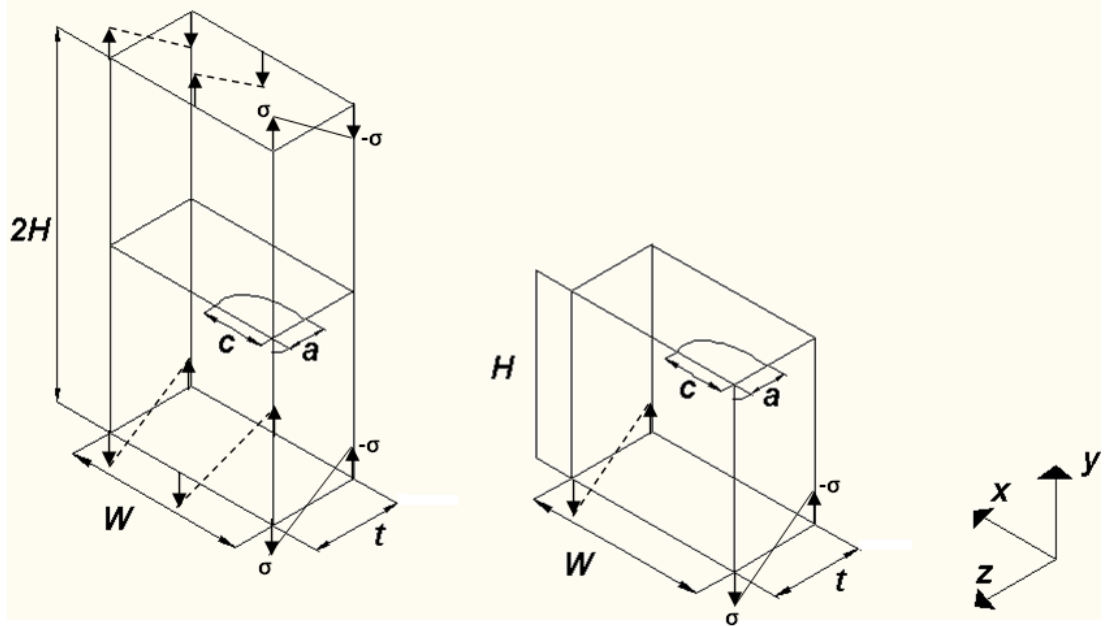


Şekil 3.45. Üniorm yayılı yük ve üniorm termal yük altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.8$)

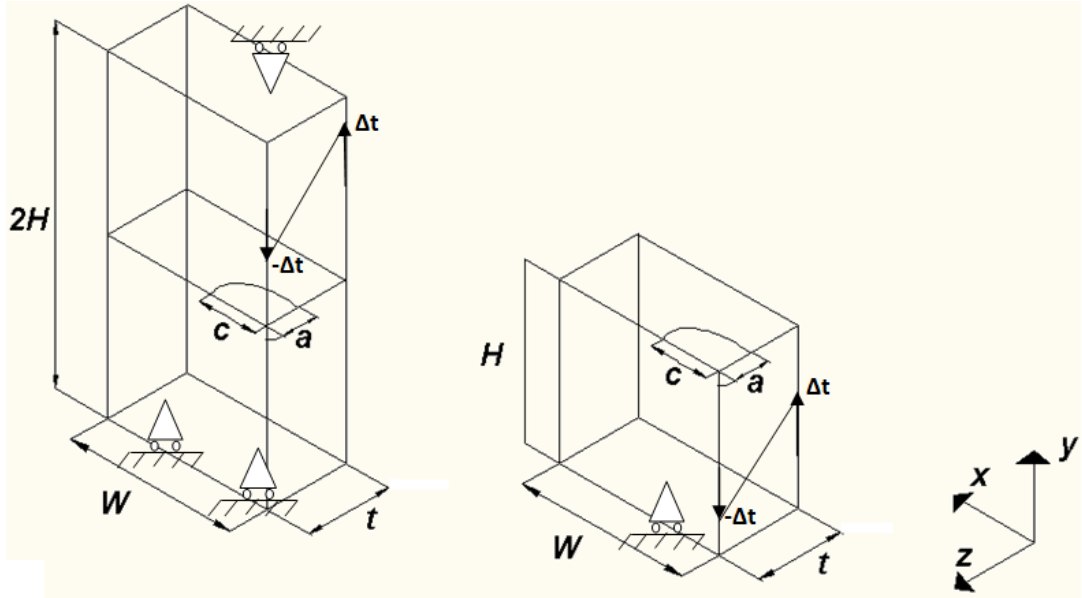
Yukarıda verilen Şekil 3.34-3.45' de görüldüğü gibi üniorm yayılı yük altında eliptik köşe çatlağı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinin, üniorm deplasman yükü ve üniorm termal yük altında eliptik köşe çatlağı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinden daha büyük olduğu ve çatlak

boyutu büyüdükçe (a/t) aradaki farkın arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi çatlak boyu büyüme gösterdikçe kompliyans değerinin büyümesidir.

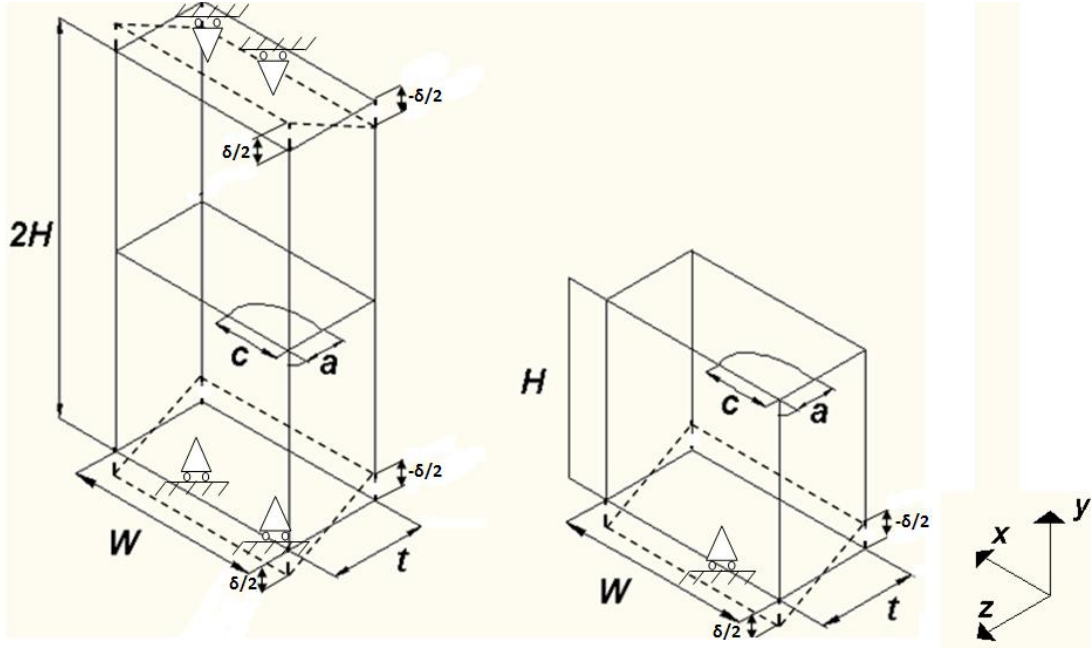
3.5. Farklı Eğilme Yükleri Altında Eliptik Köşe Çatlağı İçeren Plaka Modelleri ve Gerilme Şiddet Faktörleri Mukayesesi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.46. Farklı eğilme yükleri altında eliptik köşe çatlağı içeren tam ve $\frac{1}{2}$ simetrik plaka modeli
 a)yayıllı eğilme yükü b)termal eğilme yükü c)deplasman eğilme yükü

t: Plaka et kalınlığı

H: Plaka yarı yüksekliği

W: Plaka yarı genişliği

a: Çatlak derinliği

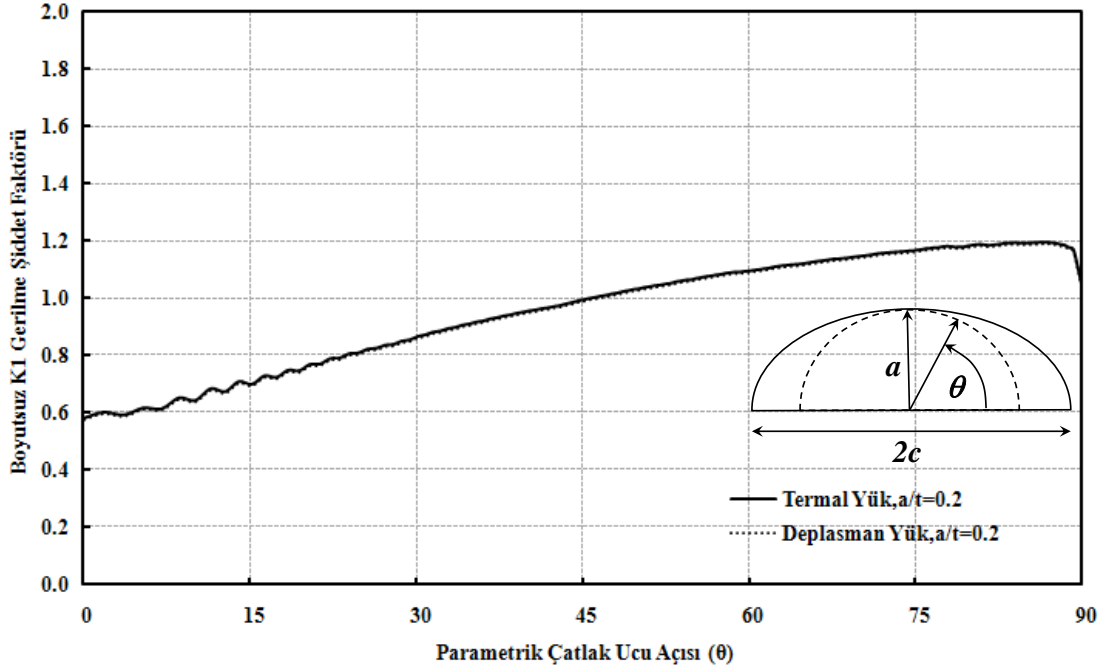
c: Çatlak yarı uzunluğu

σ : Yayıllı yük

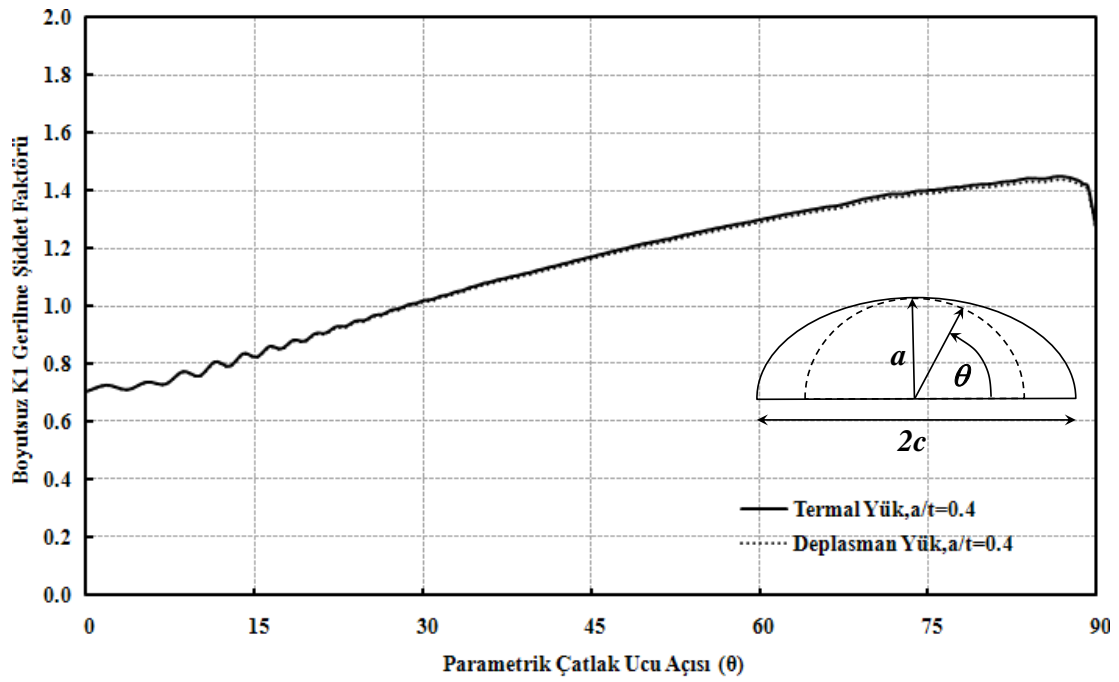
$\delta/2$: Deplasman yükü

Δt : Termal yük

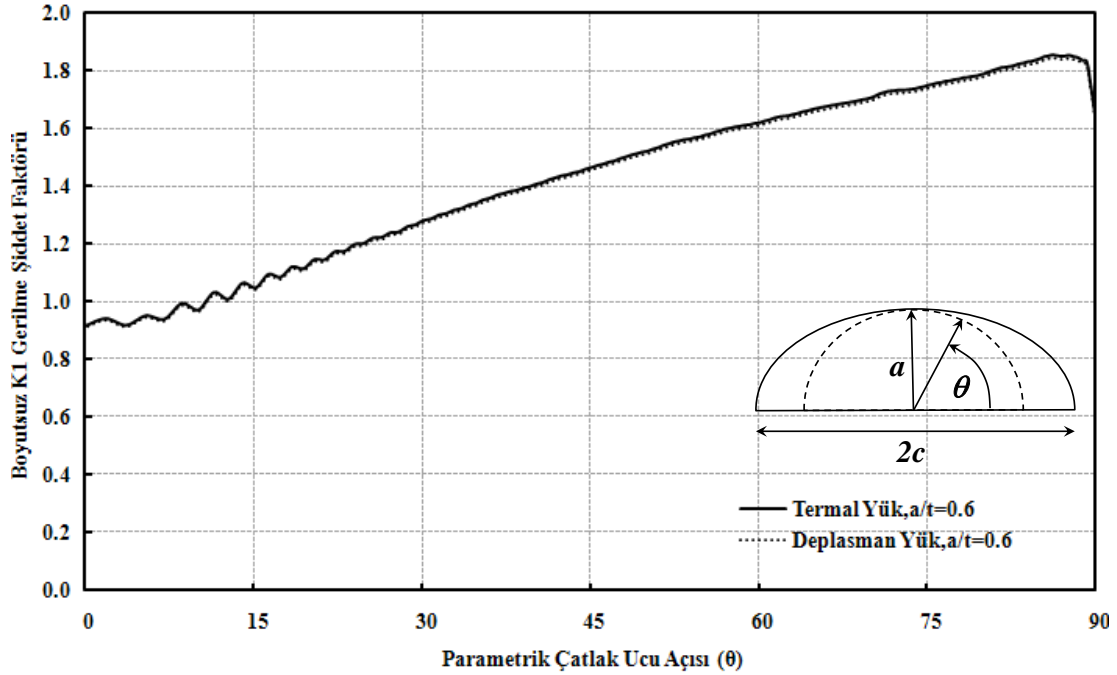
Bu bölümde analizi gerçekleştirilen plaka modellerinin boyutları Tablo 2.1 de verilmiştir. Analizlerde Tablo 2.5' de verilen a/c ve a/t oranları için parametrik hale getirilmiş olan Makro 10, Makro 11, Makro 12 kullanılmıştır. Her bir makro için Tablo 2.1 de verilen farklı oranlarda 20 analiz toplamda 60 adet analiz yapılmış plaka modellerinde çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü hesaplanmıştır.



Şekil 3.47. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2$)

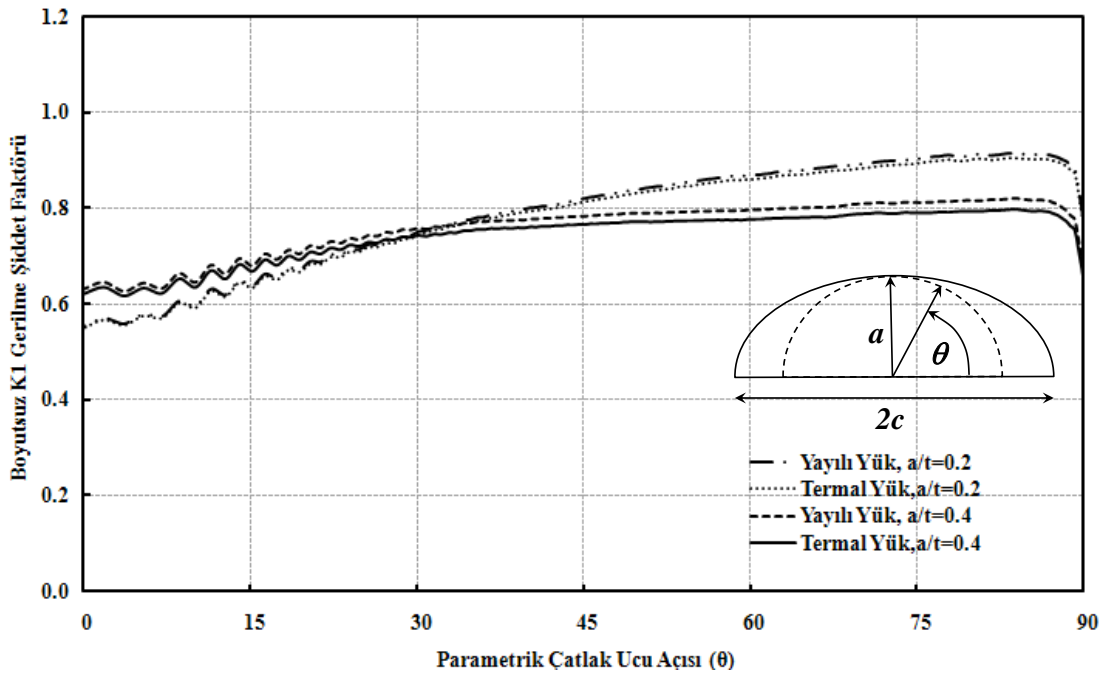


Şekil 3.48. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.4$)

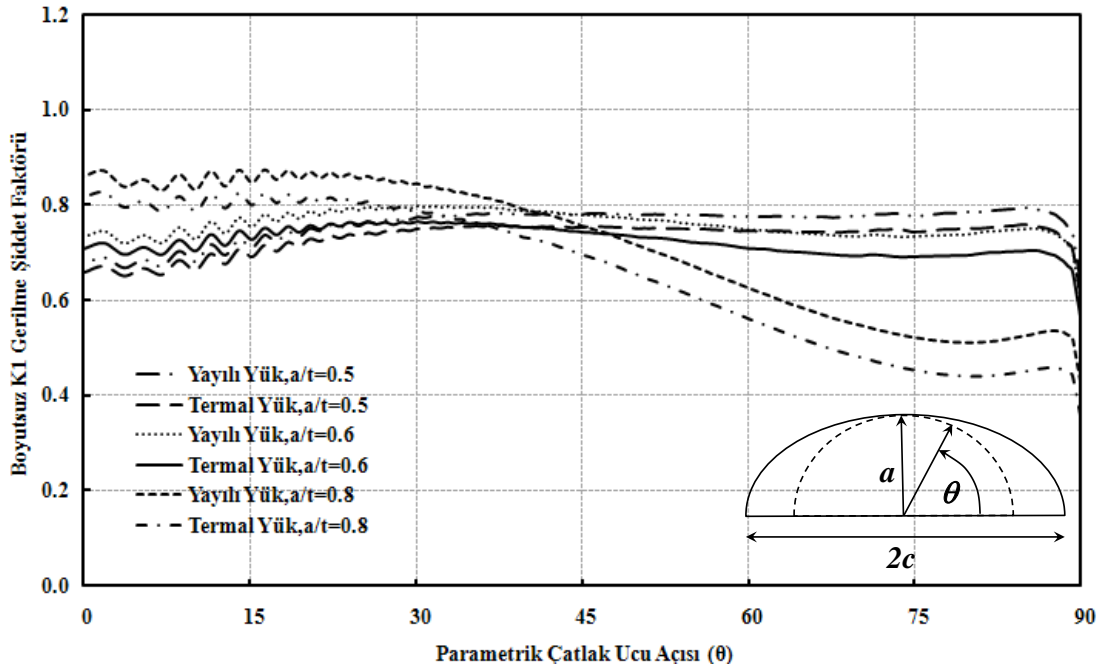


Şekil 3.49. Termal eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.5$)

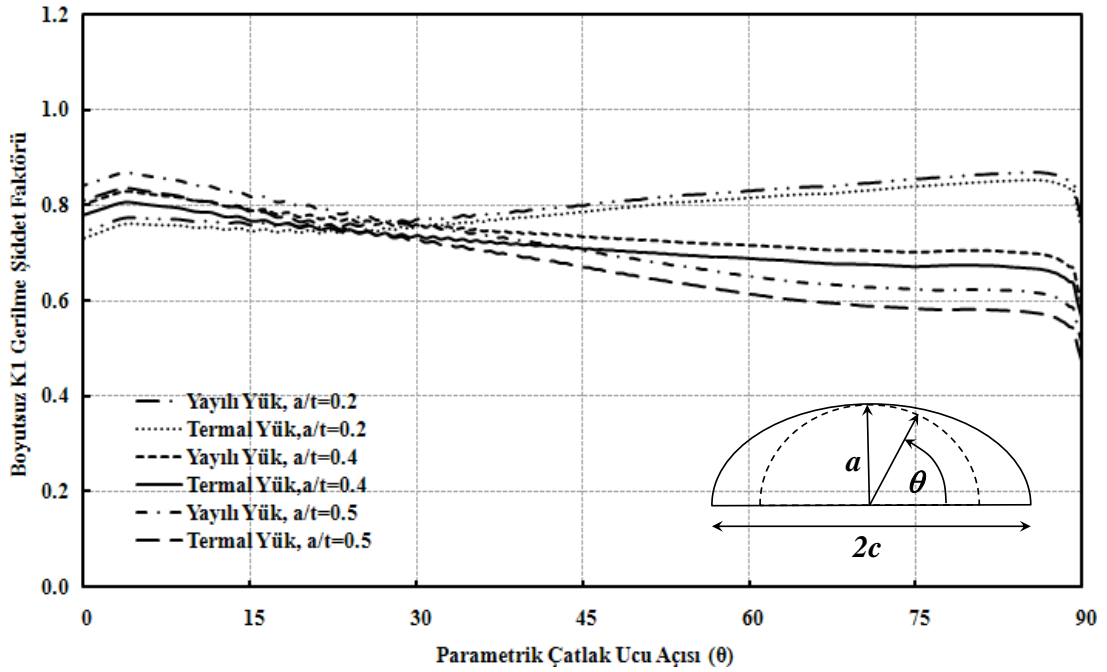
Yukarıda verilen Şekil 3.47, 3.48, 3.49 da görüldüğü gibi plakalarda termal ve deplasman kontrollü yüklerdeki normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörlerinin birbiriyle aynı olduğu yukarıda ispatlandığına göre bundan sonraki analizlerde sadece termal ve yayılı yük durumları için gerilme şiddet faktörü mukayese grafikleri verilmiştir.



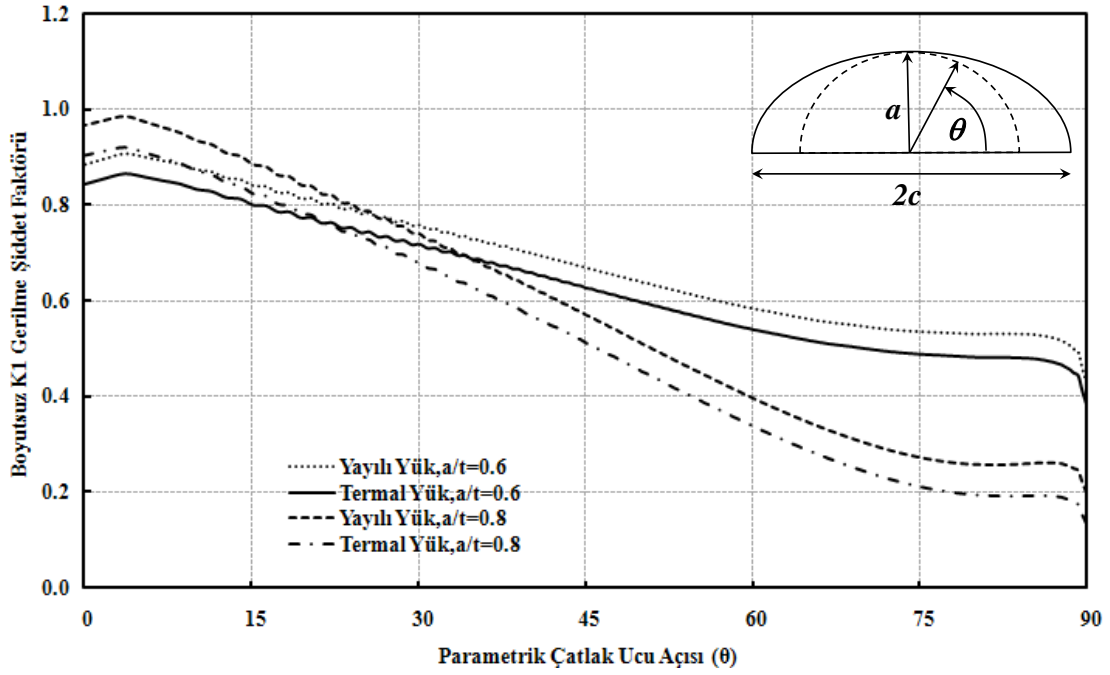
Şekil 3.50. Yayılı Eğilme Yükü ve Termal Eğilme Yükü Altında Normalize Edilmiş Çatlak Ucu Gerilme Şiddet Faktörü, Köşe Çatlağı ($a/c=0.2$ - $a/t=0.2, 0.4$)



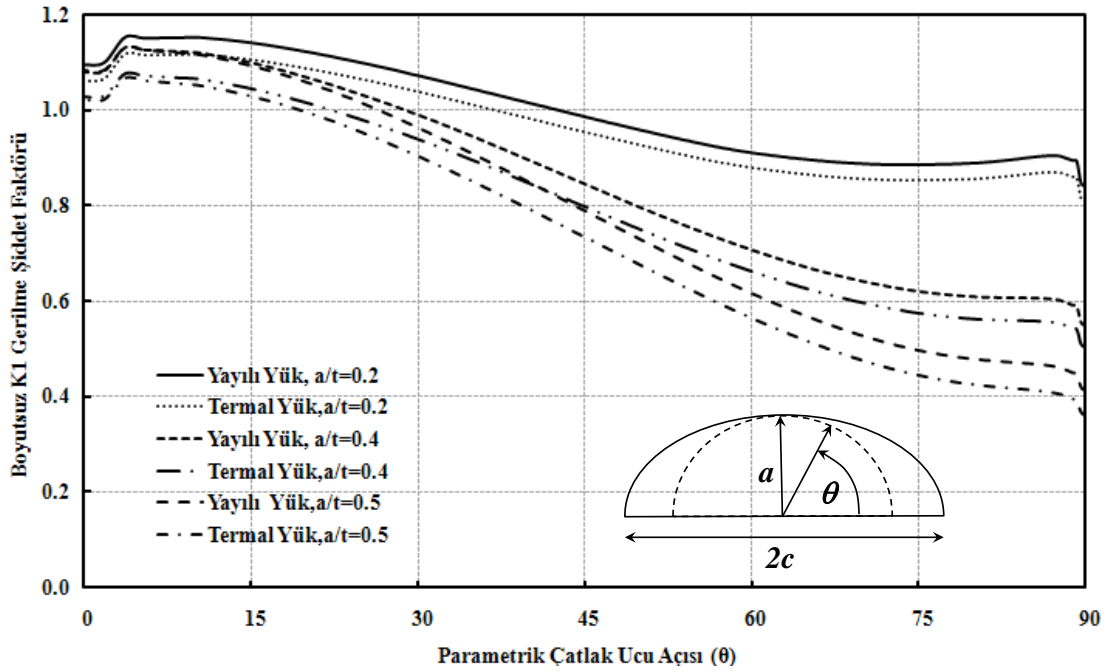
Şekil 3.51. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlaklı ($a/c=0.2 - a/t=0.5, 0.6, 0.8$)



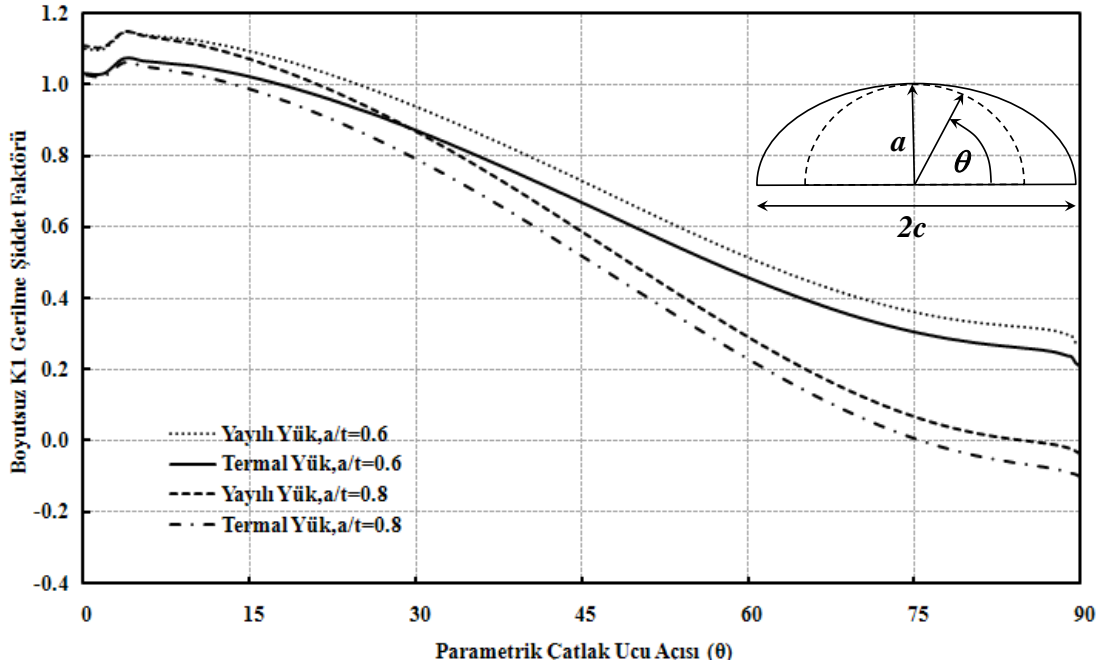
Şekil 3.52. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlaklı ($a/c=0.4 - a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



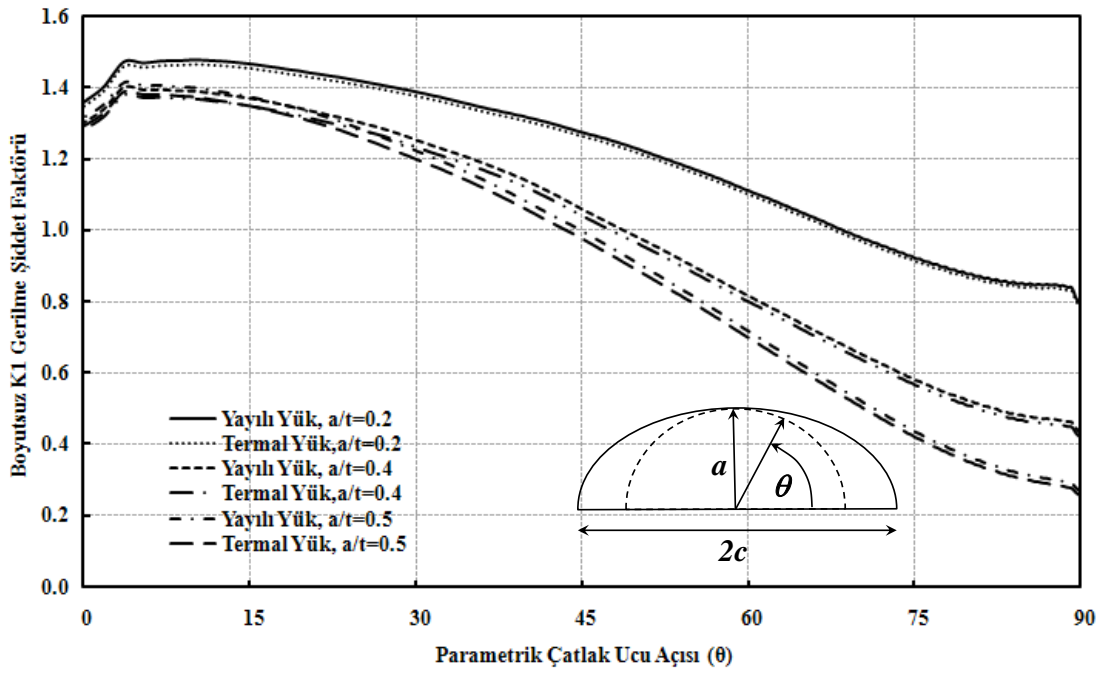
Şekil 3.53 Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=0.4$ - $a/t=0.6, 0.8$)



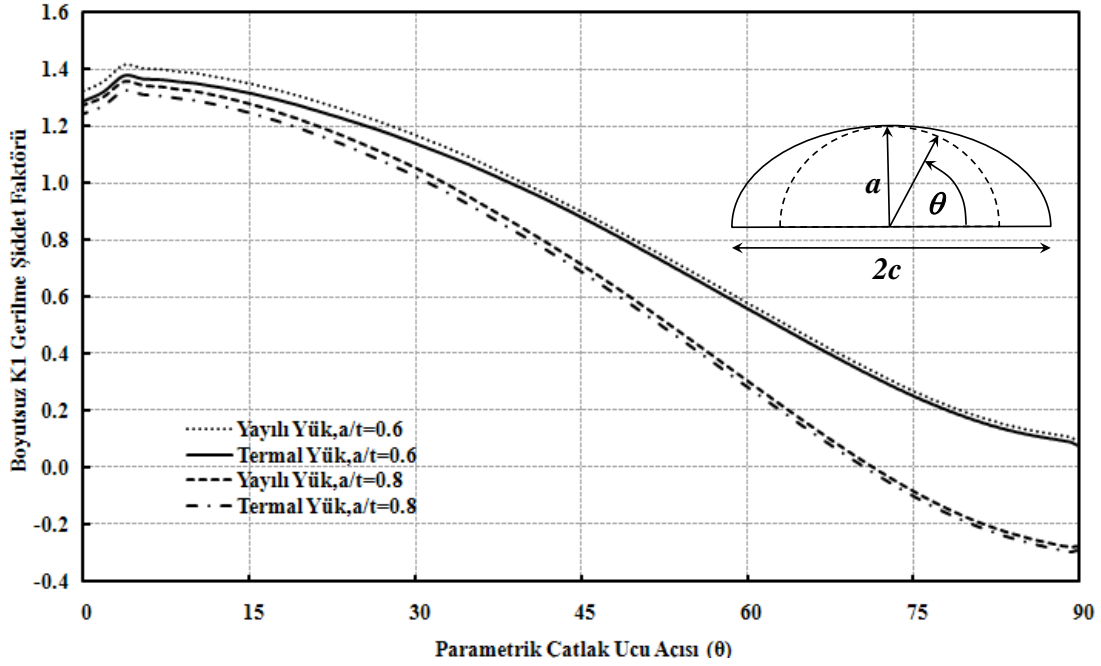
Şekil 3.54. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlağı ($a/c=1$ - $a/t=0.2, 0.4, 0.5$)



Şekil 3.55 . Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=1 - a/t=0.6, 0.8$)



Şekil 3.56. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü , köşe çatlağı ($a/c=2 - a/t=0.2,0.4,0.5$)



Şekil 3.57. Yayılı eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında normalize edilmiş çatlak ucu gerilme şiddet faktörü, köşe çatlaklığı ($a/c=2 - a/t=0.6,0.8$)

Yukarıda verilen Şekil 3.50-3.57' de görüldüğü gibi yayılı yük altında eliptik yüzey çatlaklığı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinin, deplasman yükü ve termal yük altında eliptik yüzey çatlaklığı içeren plakada çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir..

Sonuç olarak $a/c=0.2,0.4,1,2$ ve $a/t=0.2,0.4,0.5,0.6,0.8$ oranlarında çatlak derinliği (a) değeri, çatlak uzunluğu olan (c) ve plaka kalınlığı (t) değerlerine oranla artış gösterdikçe yayılı yük kontrollü sonucu elde edilmiş çatlak ucu boyunca normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörleri termal yük ve deplasman yük kontrollü eliptik yüzey ve köşe çatlaklığı normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktör değerlerine göre daha büyüktür. Çatlak derinlik noktası için aynı a/c ve a/t oranları için yayılı yük ve termal yük altındaki gerilme şiddet faktörü değerleri çatlak boyutu büyüdükçe artış göstermektedir. Burada bahsedilen durum eğilme yükü kontrollü yüzey ve köşe çatlaklığı içeren plaka modelleri içinde aynen geçerliliğini korumaktadır.

BÖLÜM 4. DEĞİŞİK YAYILI ve DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKE MARUZ PLAKALARDA ÜÇ BOYUTLU ÇATLAK İLERLEME ANALİZLERİ

4.1. Giriş

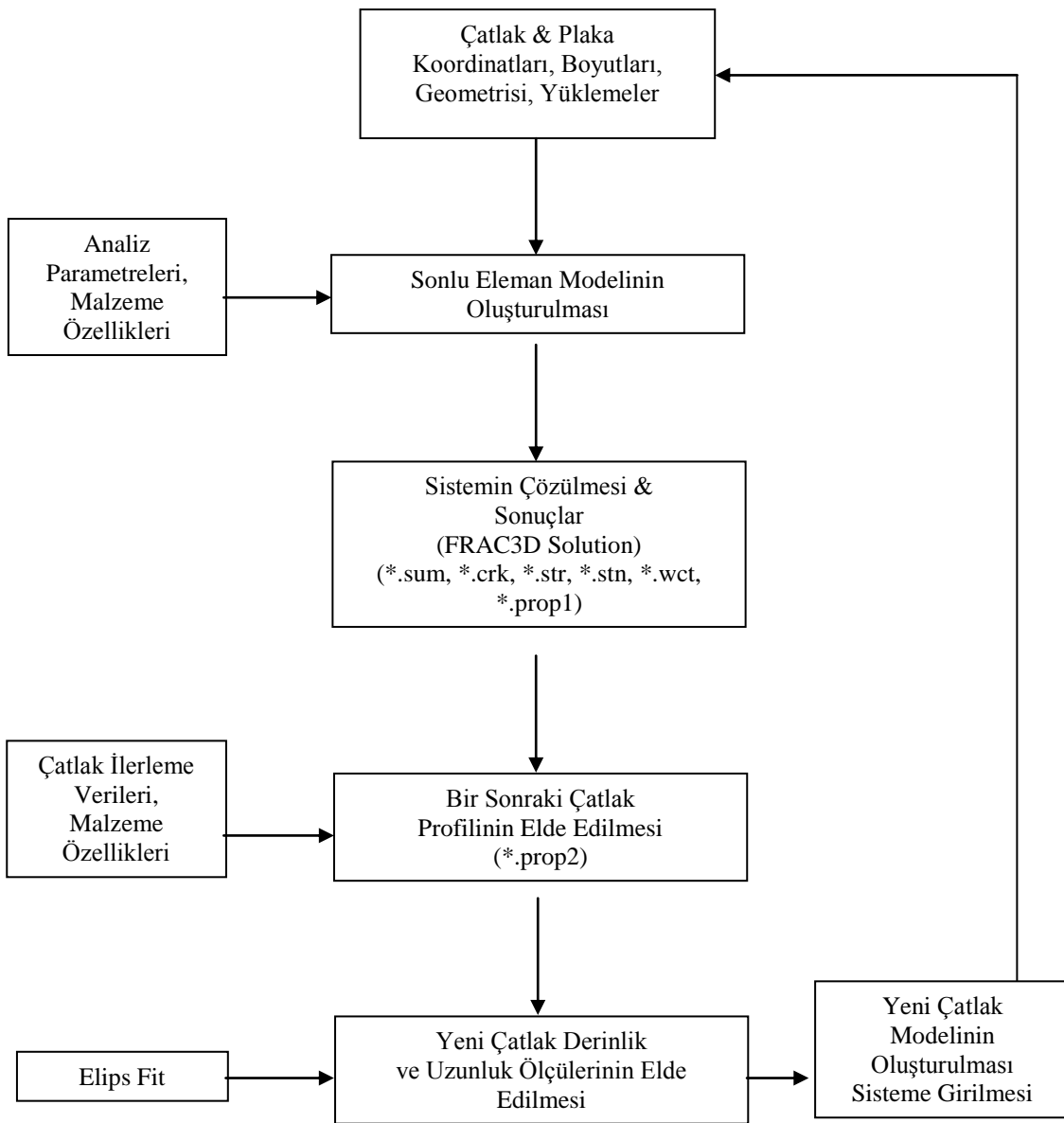
Bu bölümde farklı üniform yayılı yük, deplasman yükü ve farklı yayılı eğilme yük, deplasman eğilme yükü altındaki (H) yüksekliğinde (W) genişliğinde ve (t) et kalınlığındaki plakalarda et kalınlığının t/20 oranında başlangıç çatlak derinliğine sahip ve farklı a/c oranlarında eliptik yüzey çatlakları içeren plakalarda çatlak ilerleme analizleri yapılmıştır.

Çatlak ilerleme analizleri manuel olarak gerçekleştirilmesi zor, devamlı kontrol ihtiyacı duyan ve oldukça zaman alan bir yöntemdir. Ancak FCPAS programı içerisinde bulunan otomatikleştirilmiş çatlak ilerleme ara yüzü 3DCPP&C (**T**hree **D**imensional **C**rack in **P**lates and **C**ylinders) ile kullanıcı istediği plaka kalınlığı (t), plaka yüksekliği (H), plaka genişliği (W) başlangıç çatlağı uzunluğu (c), başlangıç çatlağı derinliği (a) gibi plaka ve çatlak verilerini belirler. Çatlak ucu boyunca her adımdaki maksimum ilerleme miktarı Δ_{max} ölçüsü, maksimum ilerleme miktarı için yapılacak tekrar sayısı, çatlak ucu boyunca istenilen eleman sayısını girebilir. Analizlerde kullanılan malzeme karakteristik özellikleri olan elastisite modülü (E) ile poisson oranı (ν) değerleri ile çatlak ilerleme modeli malzeme sabitleri olan (C), (n) değerlerini ve uygulanmasını istediği gerilme (σ) değerini belirleyerek çatlak ilerleme analizini başlatır.

Kullanıcı istediği kadar çatlak ilerleme döngüsünü tekrarlayabilir ve yine FCPAS içerisinde çatlak profillerini grafiksel olarak görüntüleyebilir.

FCPAS programının bu analizi kullanıcıya bu kolaylığı sağlamasında, parametrik olarak yazılmış olan ANSYSTM makrosunun kullanıcının ara yüze girdiği verileri

otomatik olarak okuması ve her defasında Best_Ellipse_Fit yöntemi ile elde edilen yeni çatlak değerleri ile sisteme daha önceden girilmiş olan plaka boyutlarını, malzeme sabitlerini, çatlak ilerleme verilerini okuyup analizi tekrar etmesidir. Yani FCPAS programının bu analizi kullanıcıya kolayca sağlama nedeni parametrik olarak yazılmış olan ANSYSTM makrosunun ve ayrıca ANSYSTM makrosunu her defasında elde edilen yeni çatlak boyutları ve kullanıcı istekleri ile çalıştıran büyük bir kod döngüsünün arka planda bulunmasıdır. Çatlak ilerleme genel işlem şeması Şekil 4.1 de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Çatlak ilerleme genel işlem şeması

Bu çalışmada her ilerleme adımıdaki gerilme şiddet faktörü değerlerinin bulunmasında sonlu elemanlar metodu ve bir sonraki çatlak modeli bulunurken çatlak ilerleme modeli denklemleri [36] esas alınmakta yeni çatlak modeline geçiş yapılırken ise Ellipsefit yöntemi kullanılmıştır.

4.2. Çatlak İlerleme Modeli

Yorulma çatlak ilerlemesi birçok malzeme ve mühendislik yapısının kullanım ömrünün büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Yorulma ömrünün belirlenmesi için yorulma çatlak ilerlemesinin hassas bir şekilde tahmini önemlidir. Yorulma çatlak ilerlemesinin ana sorusu bir çatlağın başlangıç çatlak derinliğinden maksimum izin verilebilen çatlak derinliğine ulaşması için gerekli olan N_{kr} kritik çevrim sayısının belirlenmesi ve N yükleme çevrimi ile çatlak uzunluğunun ilgili olduğu bu artıştır. Yorulma çatlak ilerlemesi analizinin en yaygın gerçekleştirildiği kural Paris Erdoğan kanunudur.

Yorulma çatlak ilerleme denklemlerinden biri olan Paris- Erdoğan kanunu [37] denklemi denklem 4.1 deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (4.1)$$

$$\Delta a_i = \Delta a_{\max} \left(\frac{\Delta K_i}{\Delta K_{\max}} \right) \quad (4.2)$$

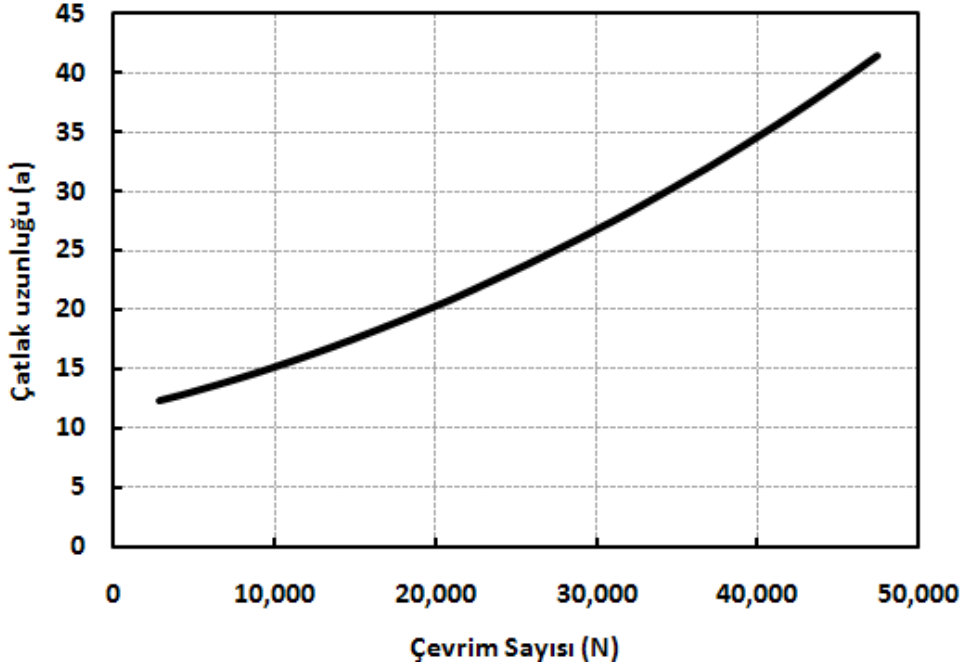
da: $a_{i+1}-a_i$ (Birim çevrimdeki çatlak derinlikleri arasındaki fark)

dN: Çevrim sayısı

C: Malzeme sabiti

ΔK : Gerilme Şiddet Faktörü Genliği

n: Malzeme sabiti



Şekil 4.2. Çevrim sayısına karşılık çatlak uzunluğu örnek gösterimi

Bu denklemle iki sonuç elde edebiliriz.

Çatlak ilerleme analizlerinde çevrim sayısı biliniyor ise çatlak derinliğindeki değişim hesaplanarak kritik çatlak derinliği ile kontrol edilebilir.

Çatlak ilerleme analizlerinde çatlak derinlikleri arasındaki fark biliniyorsa toplam çevrim sayısı hesaplanabilir. Her iki durumda da malzeme ömrü hesaplanmaktadır.

4.3. Çatlak Profillerine En Uygun Elips Uydurma Yöntemi (Best_Ellipse_Fit)

FCPAS ara yüzü kullanılarak çatlak ilerleme analizi gerçekleştirilirken “n.” çatlak profilinden “(n+1).” çatlak profiline geçiş Denklem 4.1 ile olur. “(n+1).” çatlak profiline geçiş yapıldıktan sonra yeni çatlak uzunluklarının otomatikleştirilmiş makronun veri okuyabileceği bir formata dönüştürülmesi gerekir. Bu hesaplamalar Best_Ellipse_Fit yöntemi ile gerçekleştirilir. Bölüm 4.3.1 ve 4.3.2 de Best_Ellipse_Fit yöntemi açıklanmaktadır.

4.3.1. Simetrik çatlak ilerlemesi (elips merkez koordinatları ve konum açısı sabit)

4.3.1.1. Genel elips denklemi

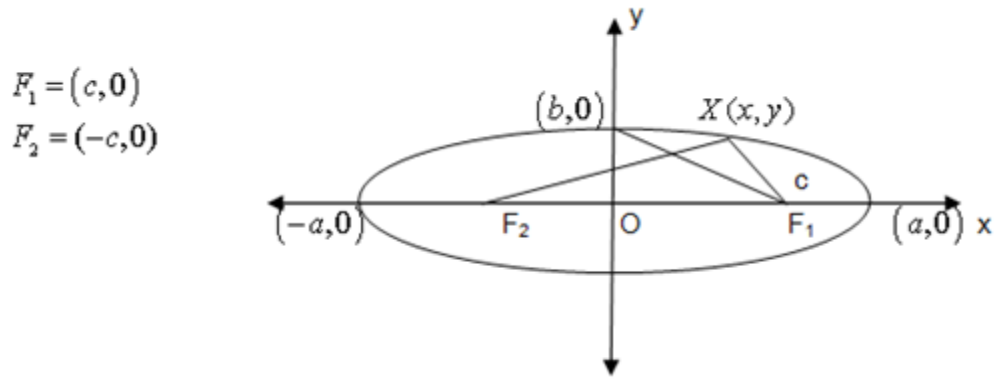
Elips, düzlemde verilen iki noktaya uzaklıkları toplamı sabit olan noktalar kümesi olarak tanımlanır.

Noktala F_1 , F_2 olmak üzere ;

$$\left[X : \frac{1}{2}(|XF_1| + |XF_2|) = a \right] \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir.

Buradan basit bir ifade bulmak için F_1 , F_2 doğrusunu x eksenini olarak alınır ve F_1 , F_2 'nin orta noktası koordinat başlangıcı olarak seçilir. Bu durumda;



Şekil 4.3: Merkezi Orijin Üzerinde Elips Gösterimi

Pisagor Bağntısı;

$$a^2 = b^2 + c^2 \quad (4.4)$$

$XF_1 F_2$ üçgeninde;

$$\left(|XF_1| + |XF_2| \right) > |F_1F_2| \quad (4.5)$$

olduğundan $2a > 2c$ ve $a^2 > c^2$ olur ve ;

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (4.6)$$

Olarak genel elips denklemi tanımlanır

4.3.1.2. Elips uydurulması istenen çatlak ucu düğüm noktaları koordinat değerleri

Kırılma ve çatlak ilerleme analizi sonucunda FCPAS ara yüzü kullanılarak oluşturulan her bir adımdaki çatlak profili working directory içerisindeki *.prop1 dosyasındaki koordinatlar ile belirlidir.

Bu değerleri ve *.matprop dosyası içerisindeki çatlak ilerleme denklem değişken değerlerini okuyarak işlem yapan Crack_propagation.exe çalışır. Bu işlem ile bir sonraki çatlak ucu düğüm noktalarının koordinatları hesaplanarak *.prop2 dosyası içerisine yazılır. Oluşturulmuş olan *.prop2 dosyası içerisindeki bir sonraki çatlak profilinin koordinat değerleri 5 ve 6 numaralı sütunlar ellipsefit.exe nin okuyabileceği ellipse.inp dosyası içerisine kopyalanır. Bu şekilde ellipsefit.exe nin giriş verileri;

x – Çatlak profili x koordinat değerleri (ellipse.inp 1. Sütun)(1*n lik bir sütun matris)

y – Çatlak profili y koordinat değerleri (ellipse.inp 2. Sütun) (1*n lik bir sütun matris) elde edilir.

n: Çatlak ucu boyunca girilen eleman sayısı

4.3.1.3. Elips uydurma işlem sonucu elde edilen elips boyutları

Ellipsefit.exe Bölüm 4.3.1.2 de elde edilen ellipse.inp dosyası içerisindeki çatlak ucu profil koordinat değerlerini okur ve Best ellipse fit yöntemini kullanarak (a_{Next} , c_{Next}) çatlak parametrik uzunluklarını crack_values.inp dosyası içerisine 1x2 matris şeklinde kaydeder.

Semimajor_axis (a)= Elipsin uzun kenar parametrik uzunluğu

Semiminor_axis (b)= Elipsin kısa kenar parametrik uzunluğu

4.3.1.4. Elips uydurma metodu [38]

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4.7)$$

$$b^2x^2 + a^2y^2 = a^2b^2 \quad (4.8)$$

$$\frac{a^2y^2}{b^2} - \frac{a^2b^2}{b^2} = -x^2 \quad (4.9)$$

$$vy^2 - t = -x^2$$

$$v = \frac{a^2}{b^2}, t = a^2 \quad (4.10)$$

$$\begin{bmatrix} y.^2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x.^2 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Denklem 4.9 elde edilen matris

$$(M * E = B) \quad (4.12)$$

Şeklinde yazılırsa;

i: Çatlak ucu boyunca eleman sayısı

$$\begin{aligned} [M]_{i,1} &= (y_i)^2 \\ [M]_{i,2} &= -1 \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} [E]_{1,1} &= v \\ [E]_{1,2} &= t \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$[B]_{i,1} = (-x_i)^2 \quad (4.15)$$

$$E = B / M$$

$$E = \text{pseudoinverse}(M) * B \quad (4.16)$$

Pseudoinverse (M) matrisinin elde edilişi [39];

$$\begin{aligned} [N] &= [M]^T \\ [A] &= [N] \times [M] \\ [K] &= [A]^{-1} \\ [Z] &= [K] \times [N] \\ [Z] &= \text{Pseudoinverse}(M) \end{aligned} \quad (4.17)$$

Elipse uydurma formülasyonu sonucu elde edilen parametrik elips değerleri:

$$\begin{aligned}
 a &= \sqrt{t} \\
 b &= \sqrt{t/v}
 \end{aligned}
 \tag{4.18}$$

Bölüm 4.3.1.4 de açıklanan elips matematiksel formülasyonu kullanılarak Fortan dilinde çatlak koordinatlarına en uygun elipse uydurma işlemini gerçekleştiren Ellipsefit_2.exe oluşturulmuş ve FCPAS a integrasyonu başarılı bir şekilde sağlanmıştır.

4.3.1.5. Örnek uygulama

Çatlak X ve Y değişkenleri matris olarak gösterilmesi:

Giriş verisi: Dosya adı; Ellipse.inp

20*2 lik matris

Ellipsefit_2.exe'nin çalıştırılması: Çatlak ucu boyunca koordinat değerlerini içeren ellipse.inp dosyası kırılma analizi sonucu elde edilir. Ellipsefit_2.exe çalıştırılır ve çatlak koordinatlarına göre uydurulmuş olan elipsin parametrik değişkenlerini içeren crack_values.inp dosyası adı altında bir dosya oluşturulur.

Crack_values.inp : (Semimajor axis(a),Semiminor axis(b))

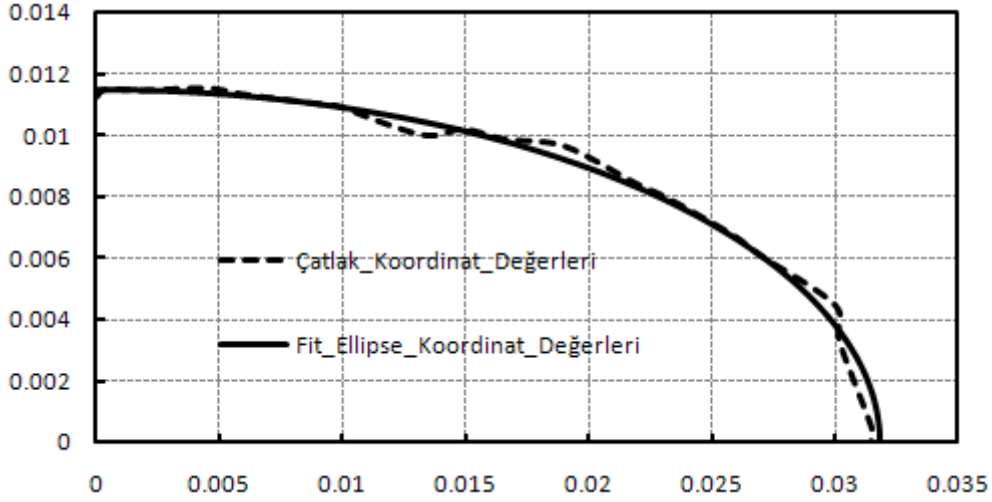
Semimajor_axis (a) = 0.3185746893E-01

Semiminor_axis (b)= 0.1148601863E-01

Crack_values.inp içerisindeki değerleri otomatikleştirilmiş makro:

Semimajor_axis (a) değerini “c” değeri olarak, Semiminor_axis (b) değerini “a” değeri olarak okur ve analizi gerçekleştirir.

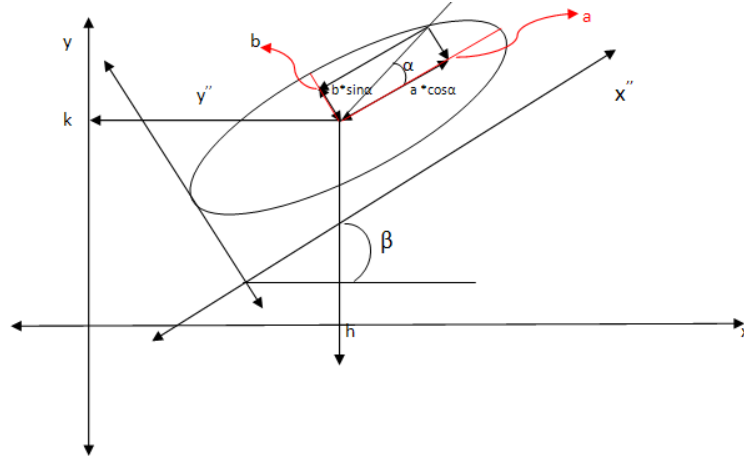
Elde edilen değerler ve çatlak koordinat değerleri grafiksel olarak Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. ¼ simetrik olarak çizilmiş çatlak koordinat değerleri ve ellipsefit_2.exe ile oluşturulmuş elips koordinat değerlerinin grafiksel gösterimi

4.3.2. Simetrik olmayan çatlak ilerlemesi (elips merkez koordinatları ve konum açısı sabit değil)

4.3.2.1. Merkezi ötelenmiş ve yatay eksenle β açısı yapmış genel elips denklemi



Şekil 4.5. Merkezi ötelenmiş ve yatay eksenle arasında açı bulunan elips gösterimi

Bu takdirde x,y koordinat sisteminden başka x'',y'' dik koordinat sistemi söz konusudur. Buradan ötelenmiş ve döndürülmüş genel elips denklemi;

$$\frac{x''}{a^2} + \frac{y''}{b^2} = 1$$

(4.19)

x,y ve x'',y'' eksenleri arasında;

$$R(\alpha) T(a,b) \begin{pmatrix} x'' = (x-h) \cos \beta + (y-k) \sin \beta \\ y'' = -(x-h) \sin \beta + (y-k) \cos \beta \end{pmatrix} \quad (4.20)$$

geçiş formülü kullanılarak elipsin x,y sistemindeki denklemi;

$$\frac{((x-h) \cos \beta + (y-k) \sin \beta)^2}{a^2} + \frac{(-(x-h) \sin \beta + (y-k) \cos \beta)^2}{b^2} = 1 \quad (4.21)$$

olarak bulunur.

4.3.2.2. Elips uydurulması istenen çatlak ucu düğüm noktaları koordinat değerleri

Bölüm 4.4.1.2 de uygulanan aynı yöntemler uygulanarak çatlak ucu düğüm noktaları koordinat değerleri elde edilir.

4.3.2.3. Elips uydurma işlem sonucu elde edilen elips boyutları

Bölüm 4.3.1.3 de uygulanan aynı yöntemler uygulanarak çatlak ucu düğüm noktalarından best ellipse fit yöntemi ile elipsin parametrik uzunlukları crack_values.inp dosyası içerisine 1*5 matris şeklinde kaydedilir.

Semimajor_axis (a): Elips uzun eksen

Semiminor_axis (b): Elips kısa eksen

x₀: Elips merkezinin x koordinat değeri

y₀: Elips merkezinin y koordinat değeri

β: x eksenine bağlı radyan cinsinden dönme açısı (derecede olabilir)

4.3.2.4. Elips uydurma metodu [38]

En genel elips formülü

$$a * x^2 + 2 * b * x * y + c * y^2 + 2 * d * x + 2 * f * y + g = 0 \quad (4.22)$$

şeklinde tanımlanır. Bu sisteme en küçük kareler metodu uygulayabilmek için (a,b,c,d,f,g) denklem katsayılarını bulmamız gerekmektedir. İlk olarak Denklem 4.22'yi a katsayısına bölünür ve x^2 ifadesini denklemin sağ tarafına taşınarak Denklem 4.23'ü elde etmiş oluruz.

$$2*b*x*y + c*y^2 + 2*d*x + 2*f*y + g' = -x^2 \quad (4.23)$$

Bu ifadeyi matris formunda yazarsak;

$$[2*x*y \quad y.^2 \quad 2*x \quad 2*y \quad 1] * \begin{bmatrix} b' \\ c' \\ d' \\ f' \\ g' \end{bmatrix} = -x.^2 \quad (4.24)$$

$$(M * E = B) \quad (4.25)$$

$$E = (B) / M \quad E = \begin{bmatrix} e(1) \\ e(2) \\ e(3) \\ e(4) \\ e(5) \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} [M]_{i,1} &= (2*x)*(y) \\ [M]_{i,2} &= (y_i)^2 \\ [M]_{i,3} &= (2*x) \\ [M]_{i,4} &= (2*y) \\ [M]_{i,5} &= 1 \end{aligned} \quad (4.27)$$

$$[B]_{i,1} = (-x_i)^2 \quad (4.28)$$

$$E = B / M$$

$$E = \text{pseudoinverse}(M) * B \quad (4.29)$$

Pseudoinverse (M) matrisinin elde edilişi [39];

$$\begin{aligned}
 [N] &= [M]^T \\
 [A] &= [N] \times [M] \\
 [K] &= [A]^{-1} \\
 [Z] &= [K] \times [N] \\
 [Z] &= Pseudoinverse(M)
 \end{aligned} \tag{4.30}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \\
 [E]_{1,1} &= b \\
 [E]_{1,2} &= c \\
 [E]_{1,3} &= d \\
 [E]_{1,4} &= f \\
 [E]_{1,5} &= g
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

Elipse uydurma formülasyonu sonucu elde edilen parametrik elips değerleri:

$$\Delta = b^2 - ac \tag{4.32}$$

Çatlak ucu koordinatlarına uydurulmuş elipsin merkez koordinat değerleri; Denklem 4.32 yardımı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 X_0 &= (cd - bf) / \Delta \\
 Y_0 &= (af - bd) / \Delta
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

Elipsin yatay eksenle yapmış olduğu dönme açısı;

$$\beta = 0.5 * \text{acot} \left((c - a) / (2 * b) \right) \tag{4.34}$$

Elipsin kısa ve uzun kenar ölçüleri;

$$s = \sqrt{1 + \frac{4 * b^2}{(a - c)^2}} \tag{4.35}$$

Denklem 4.35 yardımı ile elips kısa kenar ve uzunlukları

$$\begin{aligned}
 a_{prime} &= \sqrt{\frac{w}{\Delta * ((c - a) * s - (c + a))}} \\
 b_{prime} &= \sqrt{\frac{w}{\Delta * ((a - c) * s - (c + a))}}
 \end{aligned} \tag{4.36}$$

Semimajor_axis: Max (a_prime, b_prime): Elips uzun eksen (a) uzunluğu

Semiminor_axis: Min (a_prime, b_prime): Elips kısa eksen (b) uzunluğu

Bölüm 4.4.2.4 de açıklanan elips matematiksel formülasyonu kullanılarak Fortan dilinde çatlak koordinatlarına en uygun elipse uydurma işlemini gerçekleştiren Ellipsefit_5.exe oluşturulmuştur.

4.3.2.5. Örnek uygulama

Çatlak X ve Y değişkenleri matris olarak gösterilmesi:

Giriş verisi: Dosya adı; Ellipse.inp

24*2 lik matris

Ellipsefit.exe'nin çalıştırılması: Çatlak ucu boyunca koordinat değerlerini içeren ellipse.inp dosyası kırılma analizi sonucu elde edilir. Ellipsefit_5.exe çalıştırılır ve çatlak koordinatlarına göre uydurulmuş olan elipsin parametrik değişkenlerini içeren crack_values.inp dosyası adı altında bir dosya oluşturulur.

Crack_values.inp : (Semimajor axis(a),Semiminor axis(b), x_0 , y_0 , β)

Semimajor_axis (a): 0.7953280432E-01

Semiminor_axis (b): 0.1994764641E-01

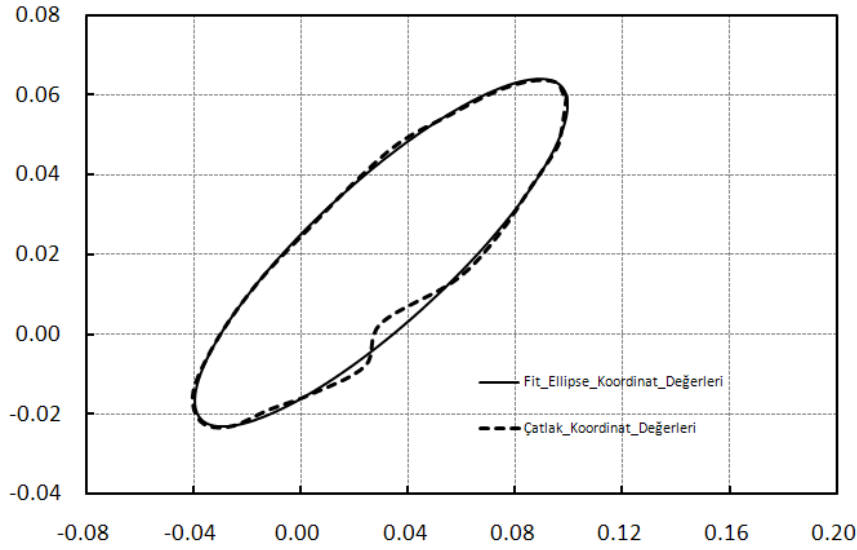
x_0 : 0.3002857200E-01

y_0 : 0.2036207657E-01

β : 0.3024849060E+02

Crack_values.inp içerisindeki değerleri otomatikleştirilmiş makro:

Semimajor_axis (a) değerini “c” değeri olarak, Semiminor_axis (b) değerini “a” , x_0 değeri merkez x koordinatı, y_0 değeri merkez y koordinat değeri olarak okur ve analizi gerçekleştirir.



Şekil 4.6. Çatlak koordinat değerleri ve ellipsfit_5.exe ile oluşturulmuş olan elips koordinat değerlerinin grafiksel gösterimi

4.4. Farklı Yükler Altında Bulunan Plakalar İçin Çatlak İlerleme Analizleri

FSPAS ara yüzü kullanılarak üniform yayılı yük, üniform deplasman yükü ve eğilme yayılı yükü, deplasman eğilme yüküne maruz eliptik yüzey çatlakları içeren plakalarda çatlak ilerleme analizleri yapılmıştır. Farklı yükler altındaki plaka modeli için çatlak ilerleme analizleri sonucunda elde edilen çatlak profilleri ve plaka ömürleri grafiklerde gösterilmiştir. Farklı yükler altında bulunan plakalarda çatlak ilerleme analizlerinde $\sigma=1$ Mpa olarak alınmış grafiksel olarak ömür ve K-a gösterimine geçişte $\sigma=16$ Mpa olarak oranlanmıştır.

4.4.1. Üniform yayılı yük ve üniform deplasman yükü altındaki plakalar için çatlak ilerleme analizi

Bu kısımda üniform yayılı yük ve üniform deplasman yükü altında başlangıç çatlak derinliği ölçüsü $a/t=0.05$ için Tablo 4.1 de belirtilen değişik a/c oranlarında eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modelleri için çatlak ilerleme analizleri yapılmıştır.

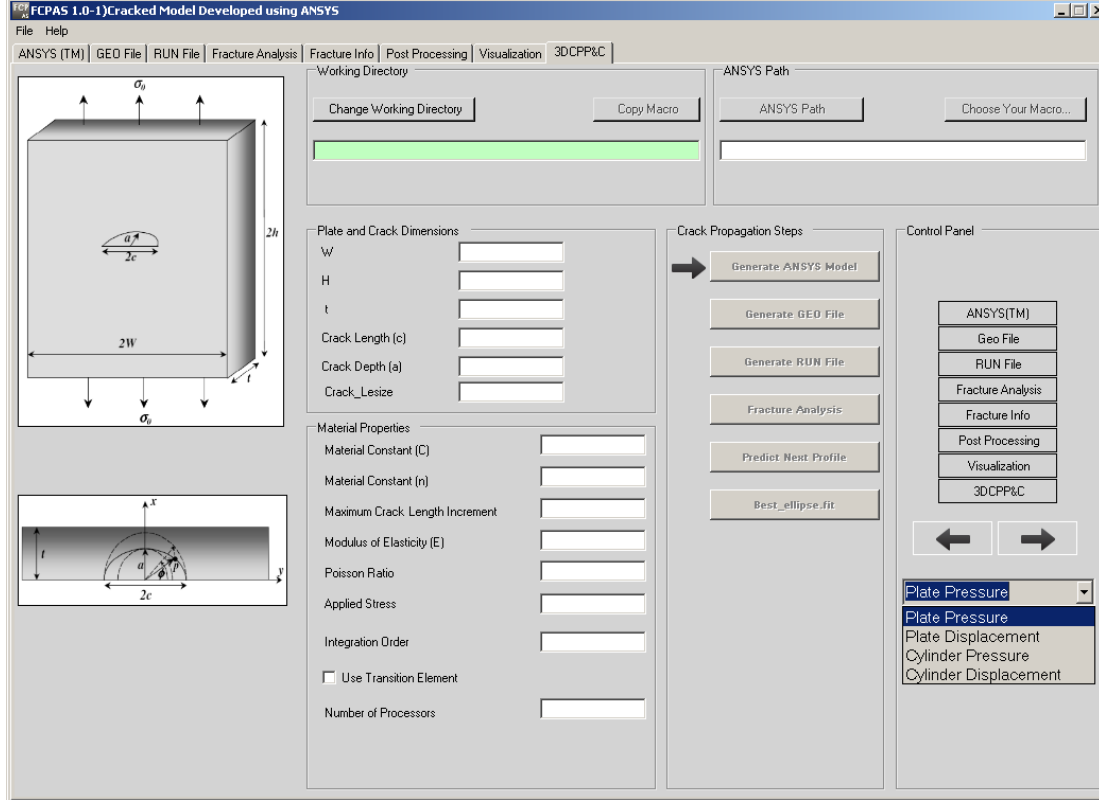
Tablo 4.1. Çatlak ilerleme analizleri için plaka ve başlangıç çatlak ölçüleri

a/t	a/c				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.05	t=1	t=1	t=1	t=1	t=1
	w=5	w=5	w=5	w=5	w=5
	h=5	h=5	h=5	h=5	h=5
	a=0.05	a=0.05	a=0.05	a=0.05	a=0.05
	c=0.25	c=0.125	c=0.0833	c=0.0625	c=0.05

Çatlak analizi için gerekli işlem basamakları şu şekilde sıralanır:

- Yayıllı yük ya da deplasman yüküne maruz kalan bir plaka modeli analizi için FCPAS ara yüzünde bulunan “3DCPP&C” sekmesine açılır. Deplasman yükü altında çatlak ilerleme analizi için “Plate Displacement” kısmı seçilir.
- “Plate Displacement” kısmı seçildikten sonra karşımıza gelen ara yüzde “Change Working Directory” butonu ile ilk olarak analizler sonucunda elde edilen dosyaların kayıt edileceği çalışma klasörü belirlenir.
- “Project Name” kısmında çalışmamıza vermek istediğimiz isim programa girilir.
- “ANSYS Path” butonu ile bilgisayarımızda bulunan ANSYS™ programının uygulama yolu seçilir.
- Analizin yükleme türü Macro Type butonunda belirlenir. Üniform yüklemeli analizler için “Üniform Loading Macro” butonu, eğilme yükü analizleri için “Bending Loading Macro” butonu aktif hale getirilir.
- “Copy macro” butonu ile üniform deplasman yükü kontrollü makro seçmiş olduğumuz çalışma klasörüne kopyalanır.

- g) “Plate and Crack Dimensions” kısmında, plaka kalınlığı (t), plaka yüksekliği (H), plaka genişliği (W) başlangıç çatlağı uzunluğu (c), başlangıç çatlağı derinliği (a) bilgilerini girilir.
- h) “Material Properties” kısmında, sisteme etki eden gerilme (σ), malzeme sabiti (C), malzeme sabiti (n), elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), olan malzeme özellikleri ile analizde kullanılması istenilen integrasyon sayısı, bilgisayar işlemci sayısı ve geçiş elemanı kullanılıp kullanılmayacağını belirlenir.
- i) “Choose Axes of Ellipse” kısmında, çatlağın plaka üzerine hangi eksenlerde yerleştirildiği belirlenir.
- j) “Blocks” kısmında, çatlak ucu boyunca her bir adımdaki maksimum ilerleme miktarı (Δa_{max}), her çatlak ilerleme miktarı için kaç adet (Number of Steps) ilerleme analizi yapılacağı ve her çatlak ilerleme miktarı için çatlak ucu boyunca istenilen eleman sayısı (Crack_LeSize) belirlenir.
- k) “Start Crack Growth Analysis” butonu ile eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli çatlak ilerleme analizi başlatılır.



Şekil 4.7. Çatlak ilerleme analizleri Fcpas ara yüzü

Bölüm 4.4.1 de anlatılan çatlak ilerleme işlem sıraları “Plate Pressure” bölümünde plakalarda yayılı yük analizleri, “Plate Displacement” bölümünde plakalarda deplasman yük analizleri, “Cylinder Pressure” bölümünde silindirlerde yayılı yük analizleri, “Cylinder Displacement” bölümünde silindir deplasman yük çatlak ilerleme analizleri yapılabilir.

4.4.1.1. Örnek Uygulama: Üniform deplasman yükü altında plaka çatlak ilerleme analizi ($a_0/c_0=0.2$, $a_0/t=0.05$)

Bölüm 4.4.1 de gerekli işlem basamakları ifade edilen üniform deplasman yükü altında $t=1$, $a_0/c_0=0.2$, $a_0/t=0.05$, $H=5$, $W=5$, $E=3 \cdot 10^7$, $\nu=0.3$ değerlerinde $1/4$ simetrik ölçülerde eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modeli için örnek çatlak ilerleme analizi gerçekleştirilmiştir. Üniform deplasman yükü kontrollü plakada deplasman yük miktarı $\Delta l = HH / 100$ ($\Delta l = \delta / 2$) hesaplanarak plaka yüksekliği cinsinden otomatikleştirilmiş makro tarafından uygulanır.

Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 kullanılan değerler Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Analiz adım sayısı, çatlak ilerleme miktarları (Δa_{max}), çatlak ucu boyunca eleman sayısı(crack_lesize) ve malzeme sabitleri(c,n)

Adım Sayısı	Δa_{max} (m)	Crack_lesize	$C\left(\frac{m}{cycle(Mpa\sqrt{m})^n}\right)$	n
0-10	0.01 (a/20)	80	$6.9*10^{-12}$	3
11-20	0.015	80	$6.9*10^{-12}$	3
21-30	0.02	80	$6.9*10^{-12}$	3
31-40	0.025	80	$6.9*10^{-12}$	3
41-50	0.03	80	$6.9*10^{-12}$	3
51-55	0.035	80	$6.9*10^{-12}$	3

The screenshot shows the ANSYS Plate Displacement software interface. The main window is titled "Plate Displacement". The interface is divided into several sections:

- Change Working Directory:** Set to "C:\Documents and Settings\Uslu\Desktop\plate_deplasman".
- Project Name:** "plate_deplasman".
- ANSYS Path:** "C:\Program Files\ANSYS Inc\v121\ansys\bin\INTEL\ANSYS\I21.exe".
- Macro Type:** "Uniform Loading Macro".
- Choose Axes of the Ellipse:** "x_ellipse" is set to "X" and "y_ellipse" is set to "Y".
- Life Calculation:** A large button labeled "Life Calculation" is visible on the right side.
- Plate and Crack Dimensions:**
 - W: 5.0
 - H: 5.0
 - t: 1.0
 - Crack Length (c): 0.25
 - Crack Depth (a): 0.05
- Material Properties:**
 - Material Constant (C): 6.9D-12
 - Material Constant (n): 3.0D0
 - Modulus of Elasticity (E): 3.e7
 - Poisson Ratio (ν): 0.3
 - Integration Order: 18
 - Number of Processor: 16
 - Use transition element
- Blocks:**
 - Number of Crack Growth Increment Blocks: 6
 - Starting Crack Front Number: 1
 - Table of Crack Growth Parameters:

Block	Adım Sayısı	amax.	Crack_Lesize
1	10	0.01	80
2	10	0.015	80
3	10	0.02	80
4	10	0.025	80
5	10	0.03	80
6	5	0.035	80
7	1		
8	1		
9	1		
10	1		
- Buttons:** "Start Crack Growth Analysis" and "Plot Crack Profiles" are located at the bottom right.

Şekil 4.8. Üniorm deplasman yükü kontrollü eliptik yüzey çatlağı içeren plakadaki çatlak ilerleme analizi FCPAS ara yüzü görünümü ($a_0/t=0.05 - a_0/c_0=0.2$)

Deplasman yük kontrollü eliptik yüzey çatlağı içeren plakada gerçekleştirilen çatlak ilerleme analizinde ilk olarak çalışma klasörü belirlenir ve analize çalışma ismi

verilir. Daha sonra bilgisayarımızda bulunan ANSYSTM uygulama yolu gösterilerek FCPAS için gerekli olan dosyaların oluşturulacağı sonlu eleman programı belirlenir. Analiz türü belirlenerek analiz türüne ait makro “Copy Makro” butonuna tıklanarak çalışma klasörü içerisine kopyalanır. Çatlak, plaka dataları ve malzeme sabitleri programa girildikten sonra “Start Crack Growth Analysis” butonu tıklanarak analiz başlatılmış olur.

Analiz başlatıldıktan sonra meydana gelen işlemler şu şekildedir; ilk olarak kullanıcı tarafından girilen değerler çalışma klasörü içerisinde FCPAS’ integre edilen parametrik ANSYSTM makrosunun okuyabileceği özelliklerde ve isimlerde kaydedilir. Bu işlem çatlak ilerleme analizi adım sayısı kadardır. Kullanıcının girmiş olduğu değerleri okuyan parametrik makro ile ANSYSTM batch modunda çalışarak FCPAS ara yüzünün kırılma analizi yapabilmesi için gerekli dosyalar elde ederek çalışma klasörü içine kaydeder. FCPAS ara yüz ile ANSYSTM programı ile elde edilmiş olan *.crelems, *.crk, *.cnodes, *.dlis, *.elis uzantılı dosyaları kullanılarak model geometri bilgilerini içeren *.geo ve model malzeme özelliklerini içeren *.run uzantılı dosyalar elde edilir. *.geo ve *.run uzantılı dosyalar frac3d.exe ile çözümlenerek başlangıç çatlak ölçüleri için çatlak ucu boyunca gerilme şiddet faktörü değerlerini içeren *.crk uzantılı dosya, çatlak ucu koordinatlarını içeren *.prop1 uzantılı dosya ile kırılma ve çatlak ilerleme analiziyle ilgili diğer dosyalar oluşur çalışma klasörü içerisine kaydedilir. Bir sonraki çatlak profili tahmini için *.prop1 uzantılı dosya ile çatlak ilerleme prosedürü malzeme sabitlerini içeren *.matprop dosyasını birlikte kullanan crack_propagation.exe çalışarak *.prop2 uzantılı dosya elde edilir. Daha sonra prop2_to_ellipsefit.exe çalışarak *.prop2 dosyasından ellipse.inp dosyasını oluşturur. Ellipsefit_2.exe ellipse.inp içerisindeki verileri okuyarak çalışır ve yeni çatlak ölçülerini içeren crack_values_front2.inp dosyasını oluşturur.

Yukarıda gerçekleştirilen bu işlemler kullanıcının istediği çatlak ucu boyunca her bir adımdaki maksimum çatlak ilerleme miktarı adım sayısı kadar bir döngü biçiminde devam etmektedir. Bu özellik FCPAS ara yüz programının kullanıcıya sağladığı kolaylığı ve zaman tasarrufunu açıkça göstermektedir.

Çatlak ilerleme analizi sonucunda çalışma klasörü içerisine her çatlak boyutu, crack_values_frontn.inp biçiminde ve her adımda elde edilen gerilme şiddet faktörleri *.frontn.crk biçiminde kaydedilir. Ayrıca analizler sonucunda her ilerleme adımı için *.crelems, *.crk, *.crnodes, *.dlis, *.elis, *.geo, *.matprop *.node, *.out, *.prop1, *.prop2, *.sum, *.stn, *.str, *.wct *.run, crack_values_front.inp, uzantılı bu dosyalar çalışma klasörü içerisinde bulunur.

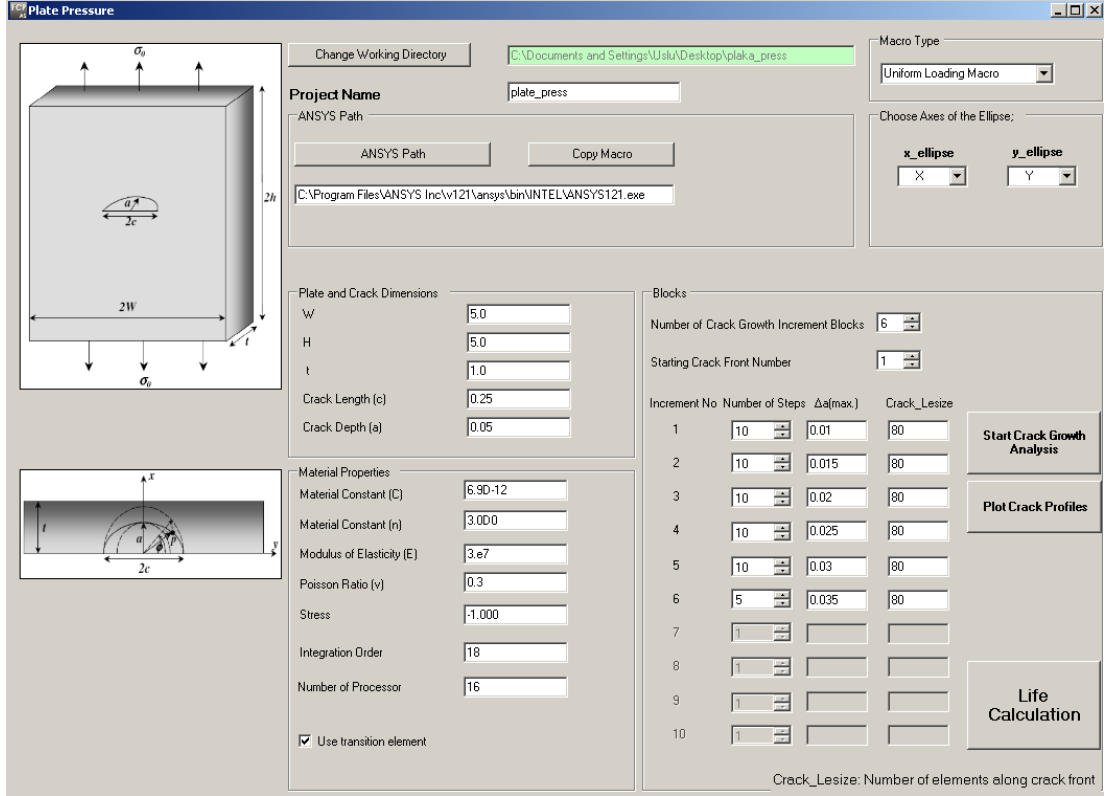
Çatlak ilerleme analizi sonucunda çalışma klasörü içerisine her ilerleme adımındaki çatlak boyutu, crack_values_front(n).inp biçiminde ve her ilerleme adımında elde edilen gerilme şiddet faktörleri *_front(n).crk biçiminde kaydedilmektedir.

Yukarıda anlatılan çatlak ilerleme yöntemi kullanılarak Tablo 4.1 verilen $a/t=0.05$ için farklı a/c oranlarında analizler gerçekleştirilmiş, sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.8,4.9,4.10,4.11,4.12 de gösterilmiştir.

4.4.1.2. Örnek Uygulama: Üniorm yayılı yük altında plaka çatlak ilerleme analizi ($a_o/c_o=0.2$, $a_o/t=0.05$)

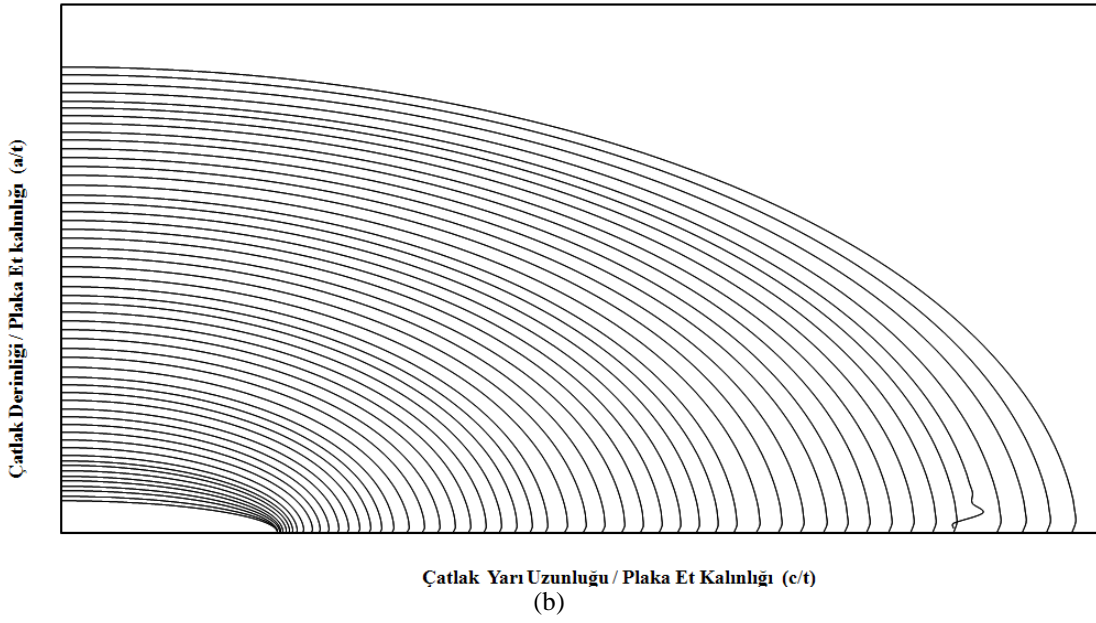
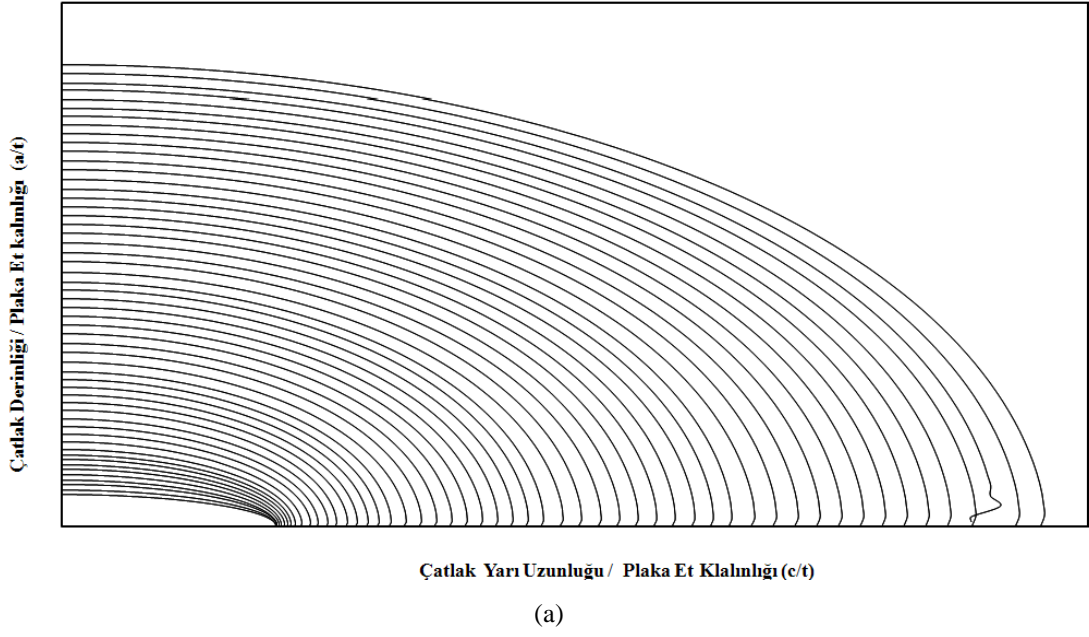
Bölüm 4.4.1’de açıklanan çatlak ilerleme prosedürü üniform yayılı yük altındaki plakada çatlak ilerleme analizi içinde benzer şekilde uygulanır. Tablo 4.1 verilen $a_o/t=0.05$ ve farklı a_o/c_o oranlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde $t=1$, $a_o/c_o=0.2$, $a_o/t=0.05$, $H=5$, $W=5$, $E=3*10^7$, $\nu=0.3$, $\sigma = -1$ alınmıştır.

Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 için kullanılan değerler Tablo 4.2 de verilmiştir.

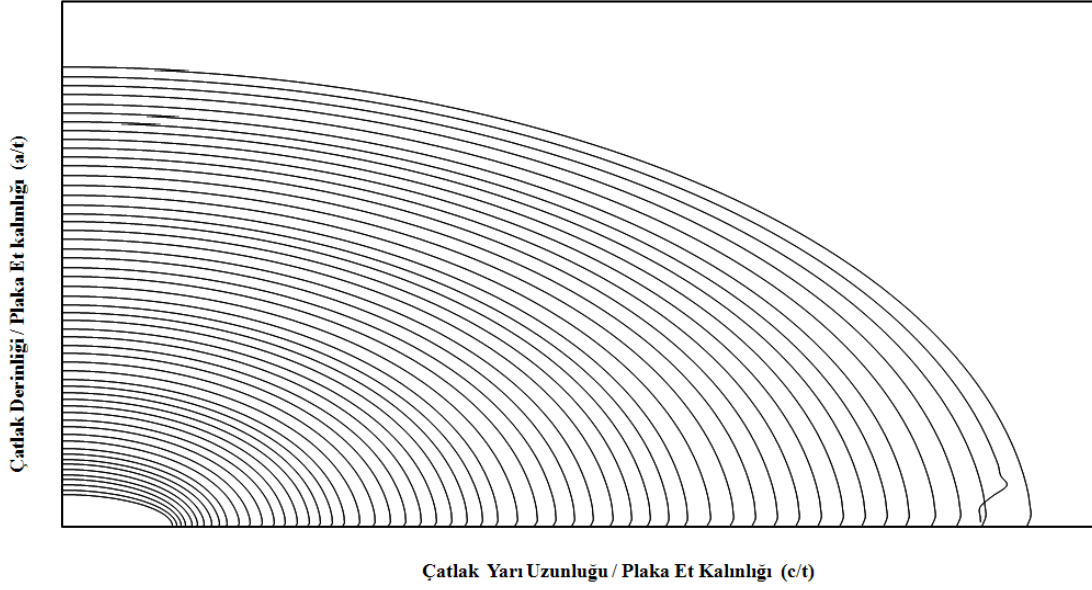


Şekil 4.9. Üniform yayılı yük kontrollü eliptik yüzey çatlaklı içeren plakadaki çatlak ilerleme analizi FCPAS ara yüzü görünümü ($a_0/t=0.05 - a_0/c_0=0.2$)

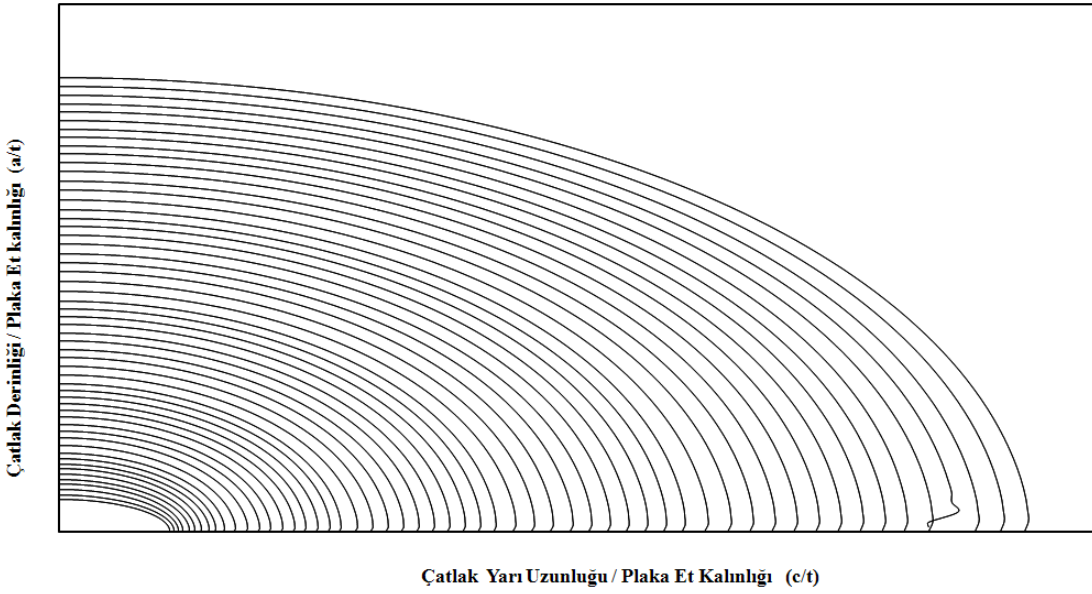
Gerçekleştirilen üniform yayılı yük ve üniform deplasman yükü kontrollü çatlak ilerleme analizleri sonucunda elde edilmiş olan çatlak profilleri Şekil 4.10-4.14 de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$ - $a_0/c_0=0.2$; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük

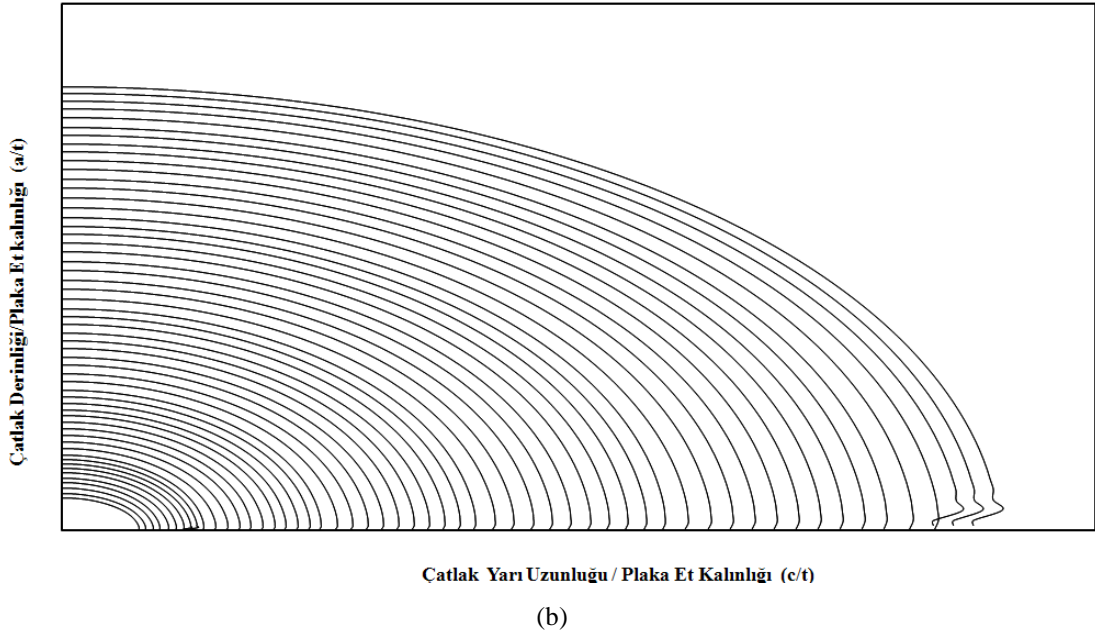
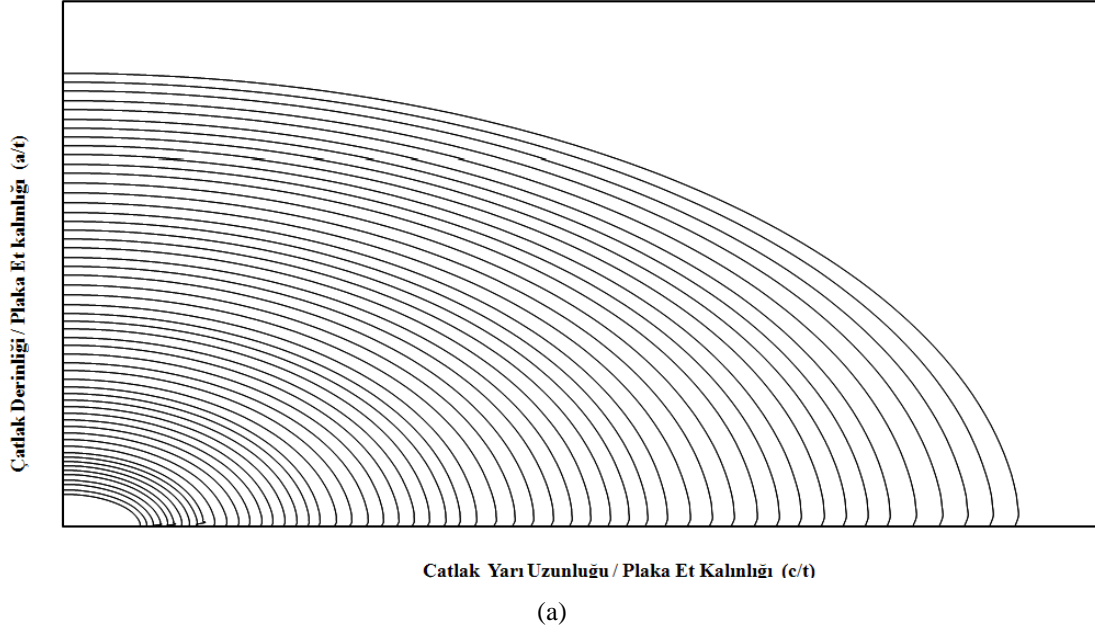


(a)

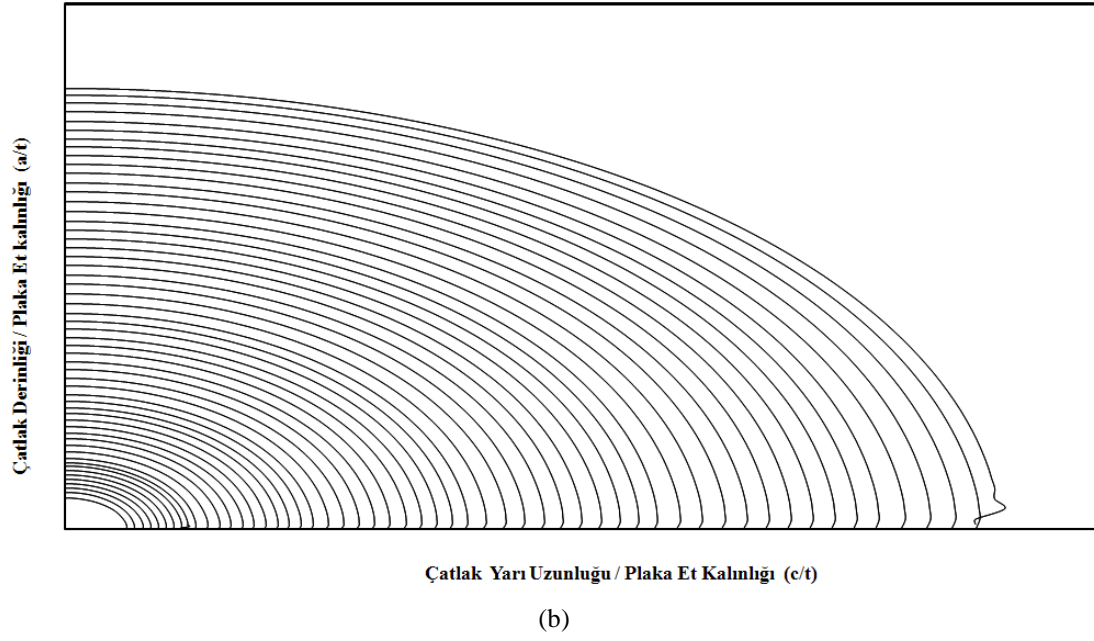
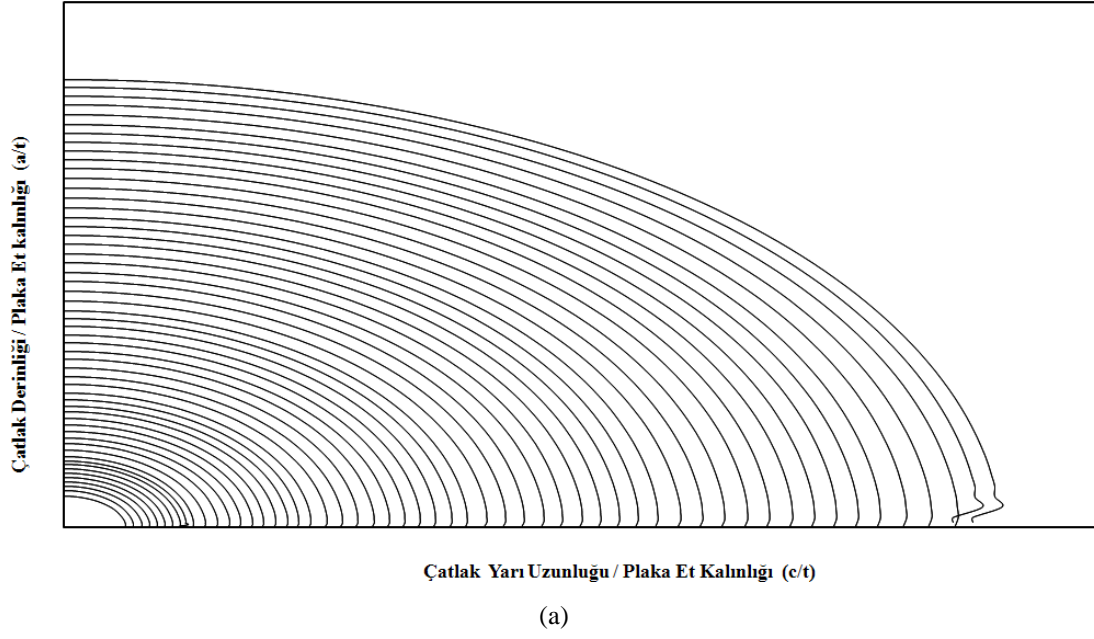


(b)

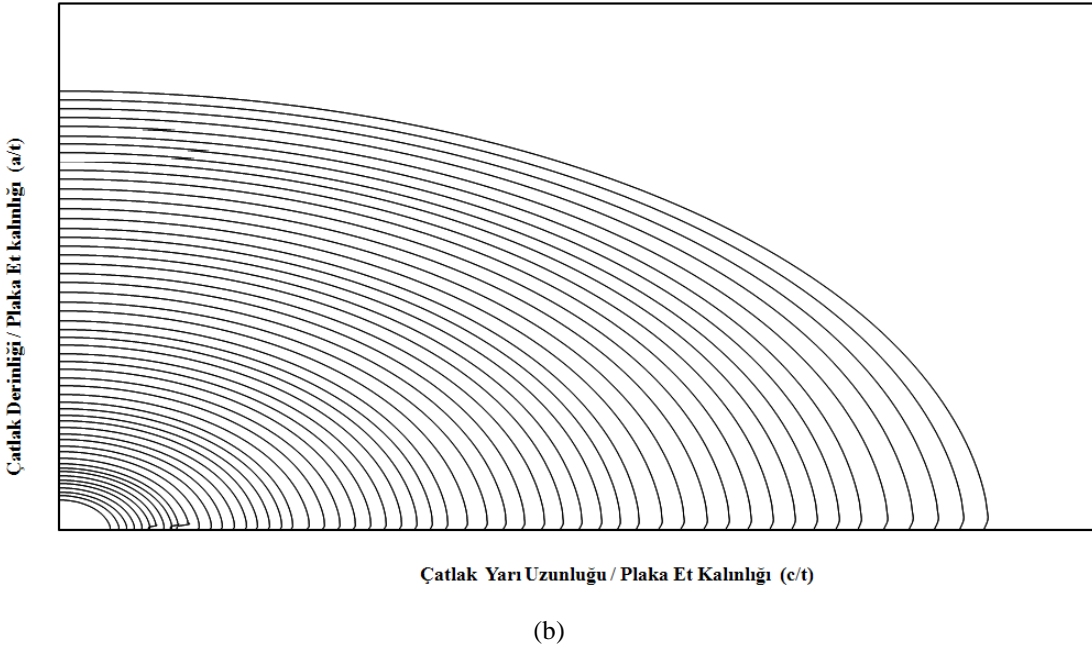
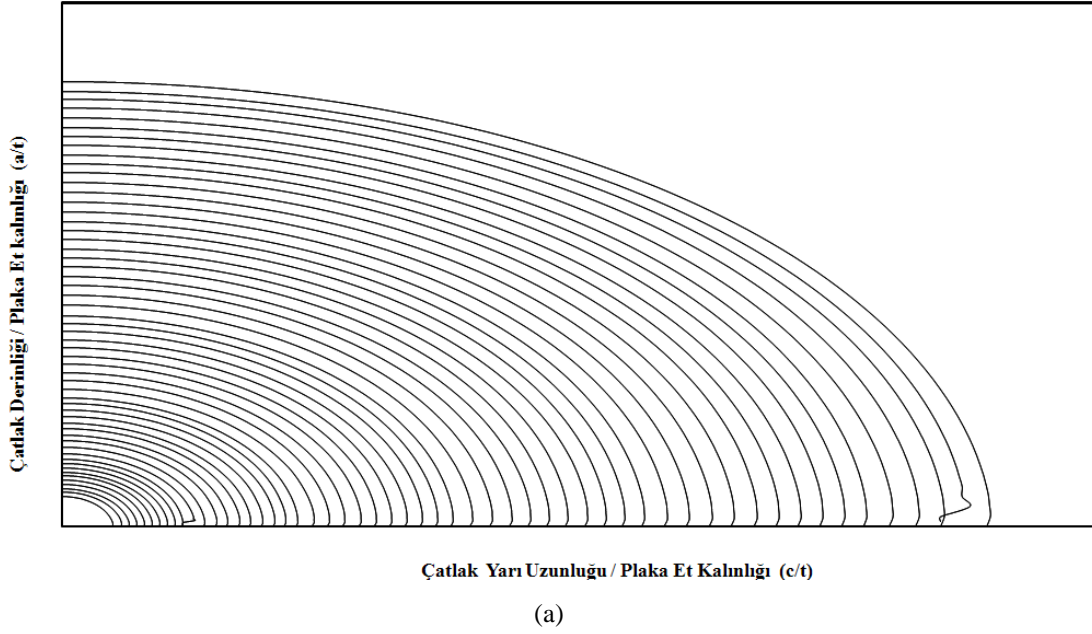
Şekil 4.11. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük



Şekil 4.12. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük



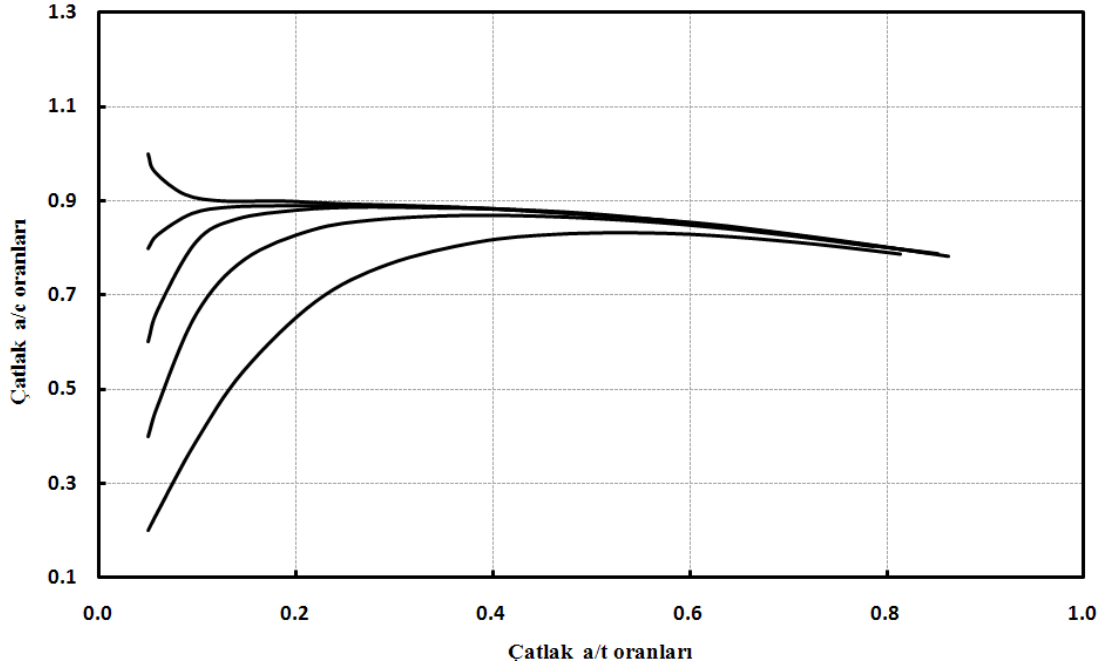
Şekil 4.13. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük



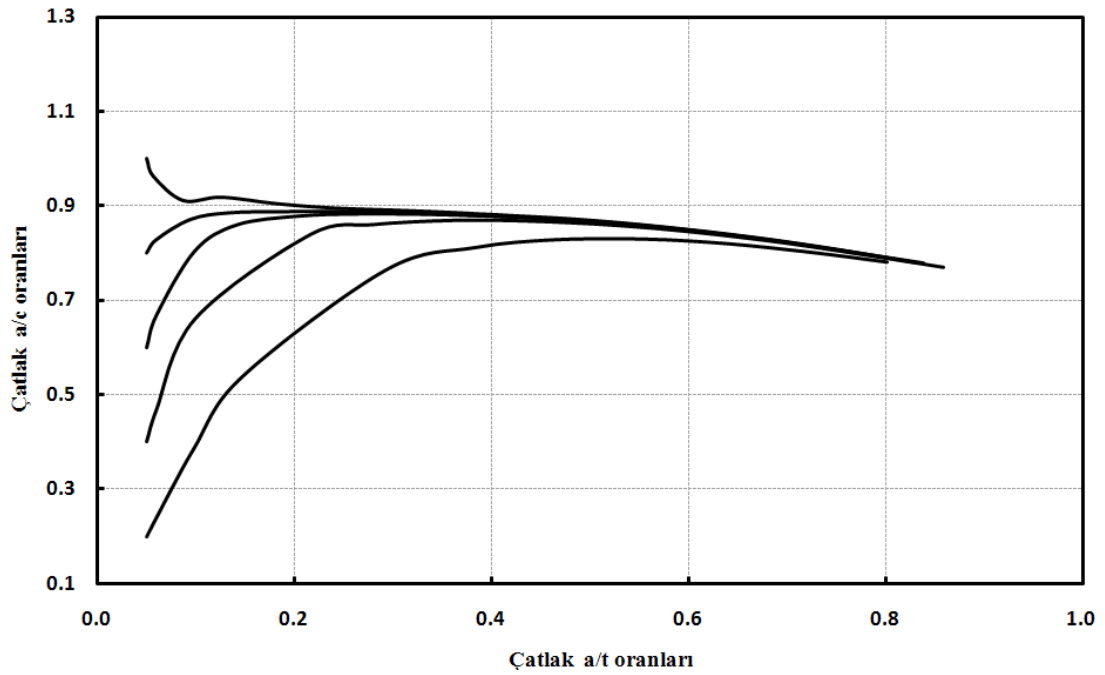
Şekil 4.14. Plaka modeli için çatlak profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$; (a) üniform deplasman yükü (b) üniform yayılı yük

İki farklı analiz çeşidi üniform yayılı yük ve üniform deplasman yüküne maruz eliptik yüzey çatlağı içeren plakalarda çatlak ilerleme analizi yapılmış çatlak profilleri Şekil 4.10 - 4.14 de gösterilmiştir. Çatlak profilleri incelendiğinde üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük çatlak ilerleme profillerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Çatlak serbest bölgesindeki ani gerilme şiddet faktörü değişiklikleri elde edilen çatlak profillerinde dalgalanmalara sebebiyet vermiştir. Bu

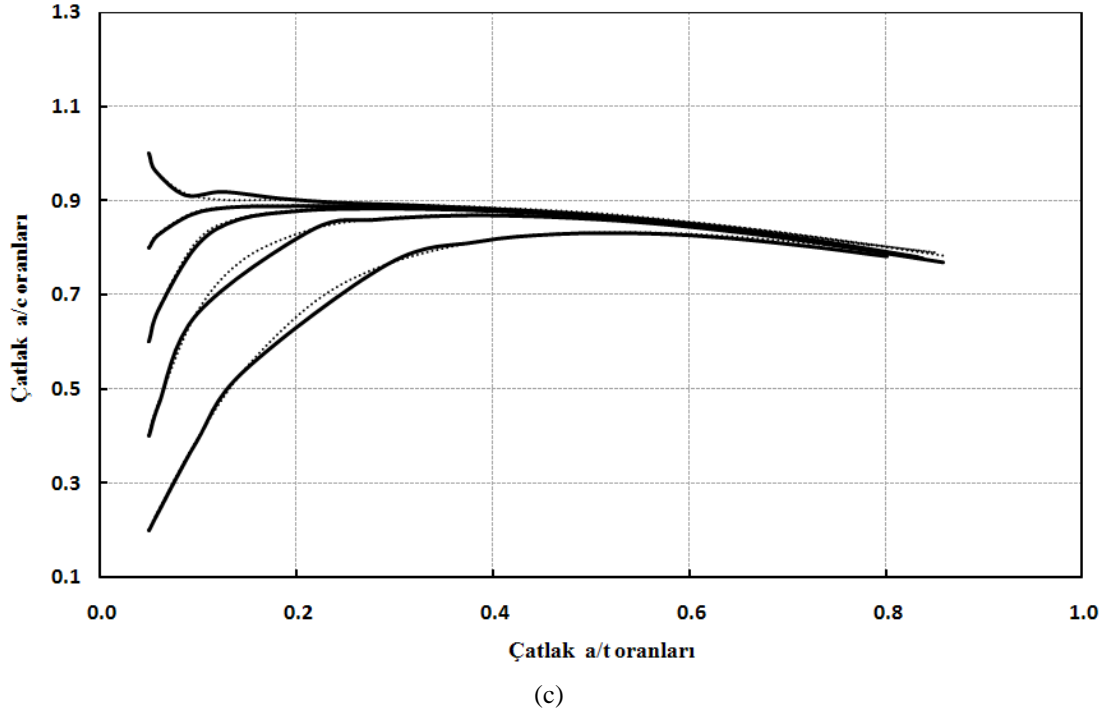
dalgalanma ellipsefit.exe ile bir sonraki çatlak profilinde minimize edilerek analize devam edilmiştir.



(a)



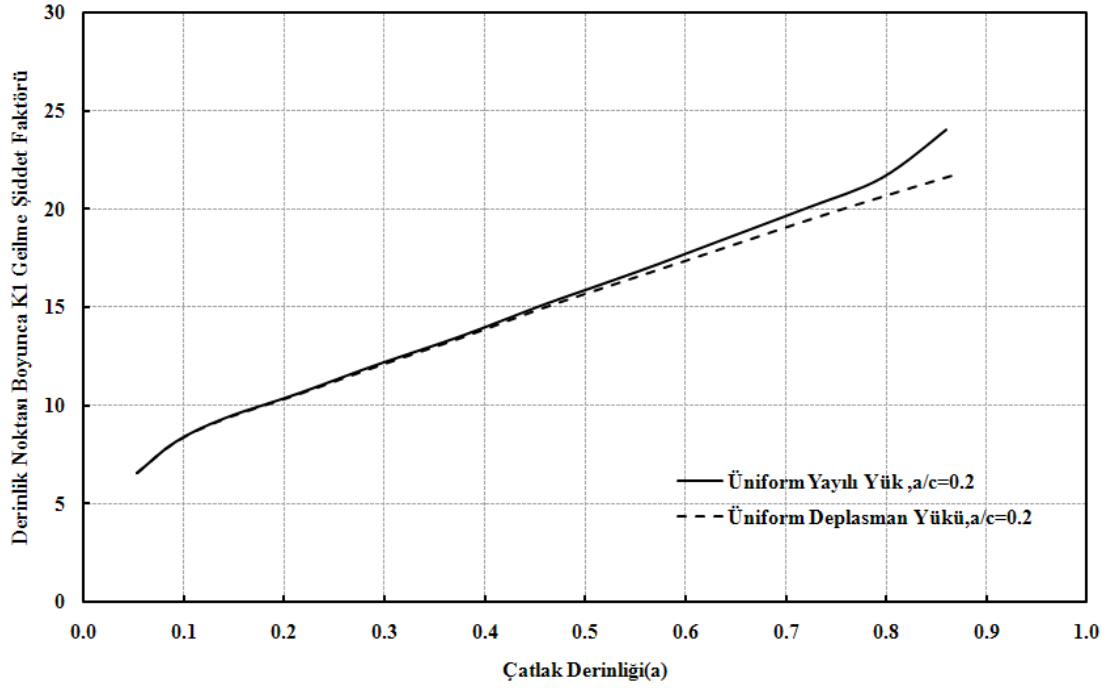
(b)



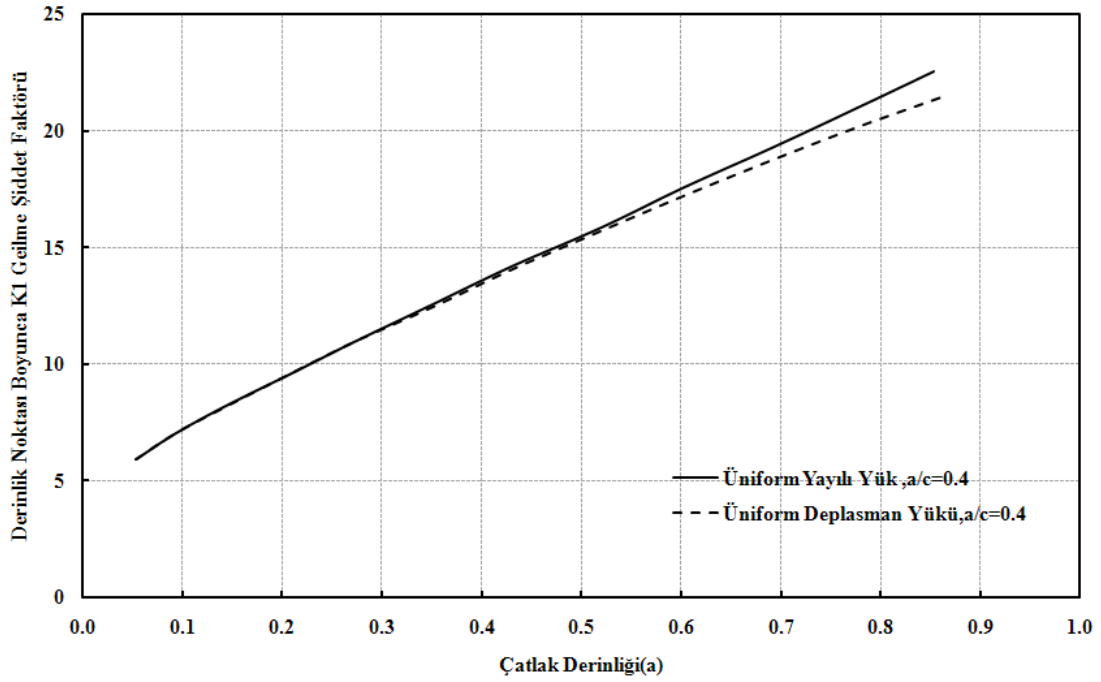
Şekil 4.15. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/c ve a/t oranları (a)üniform deplasman yükü (b)üniform yayılı yük (c)üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük mukayesesi

Şekil 4.15 (b) de verilen üniform yayılı yük altında elde edilen çatlak profillerine ait a/c ve a/t oranları 2007 yılında Mohammad Iranpour, Farid Taheri, “A study on crack front shape and the correlation between the stress intensity factors of a pipe subject to bending and a plate subject to tension” isimli çalışmadaki a/c ve a/t oranları ile uygunluk göstermektedir.

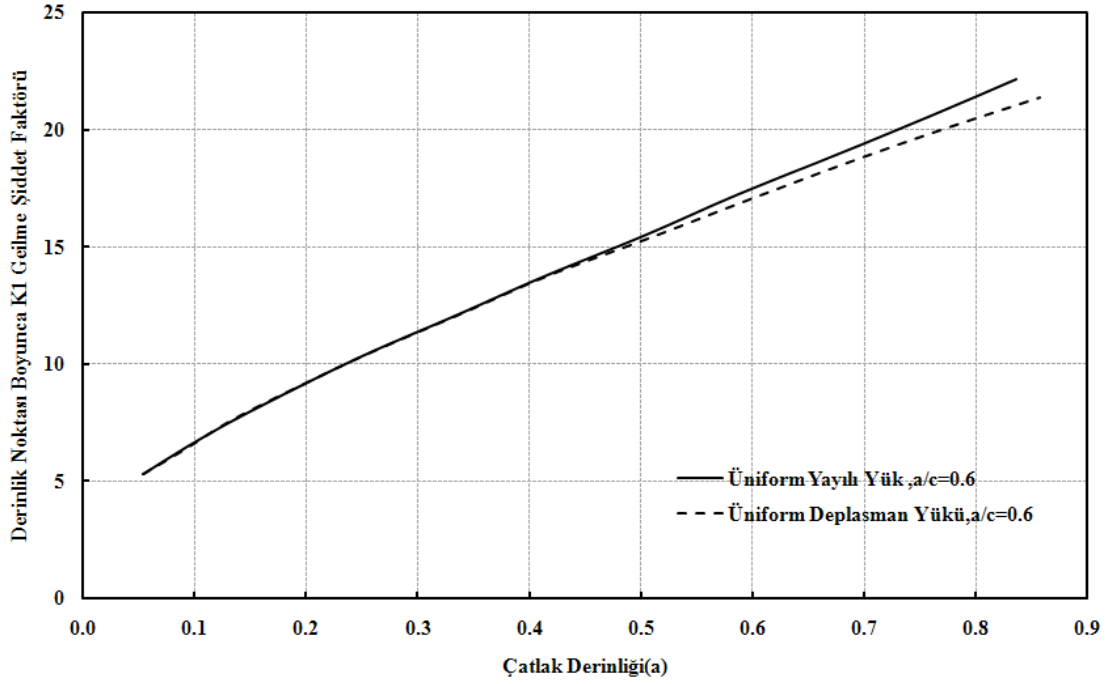
Her ne kadar üniform yayılı yük ve üniform deplasman yükü kontrollü eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli için elde edilen çatlak profilleri aynı görülse de, çatlak derinlik noktasındaki (a) gerilme şiddet faktörü değerleri grafiksel olarak incelendiğinde üniform yayılı yük altındaki değerler üniform deplasman yükü altındaki değerlerden çatlak büyüdükçe artan bir fazlalık göstermektedir. Bu durum Şekil 4.16’da açıkça görülmektedir. Gerilme şiddet faktörleri arasındaki bu fark çatlak ilerleme ömrüne direk olarak yansiyacaktır. Yani deplasman yükü altındaki çatlak ilerleme ömrü, yayılı yük altındaki çatlak ilerleme ömründen daha fazla olacaktır.



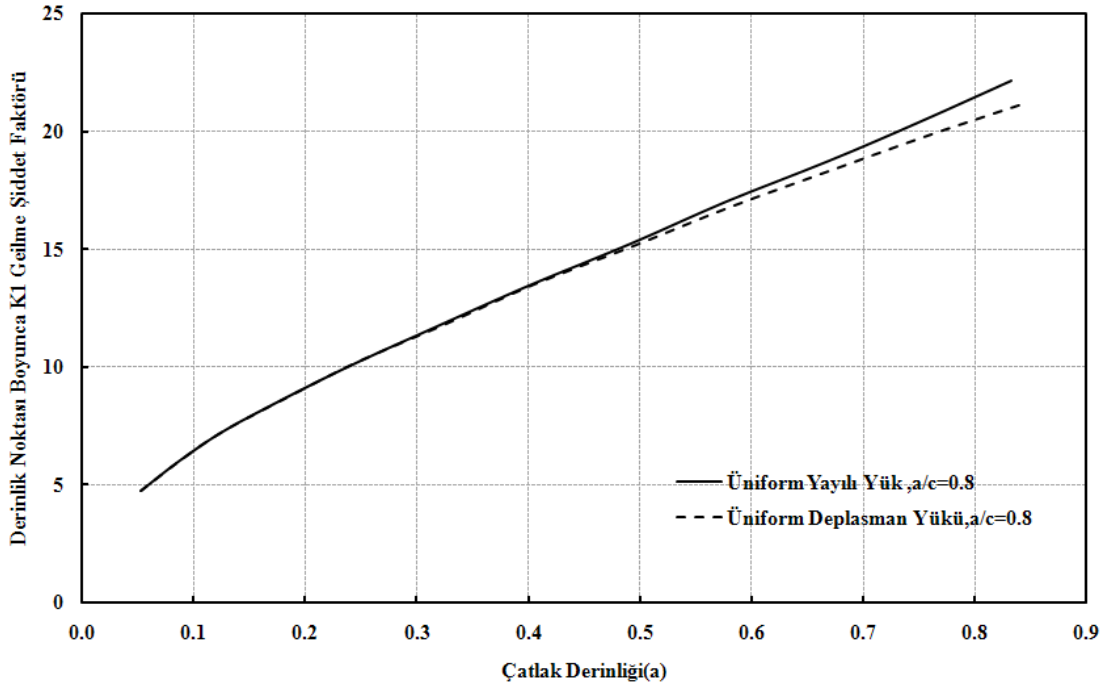
Şekil 4.16. Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2$)



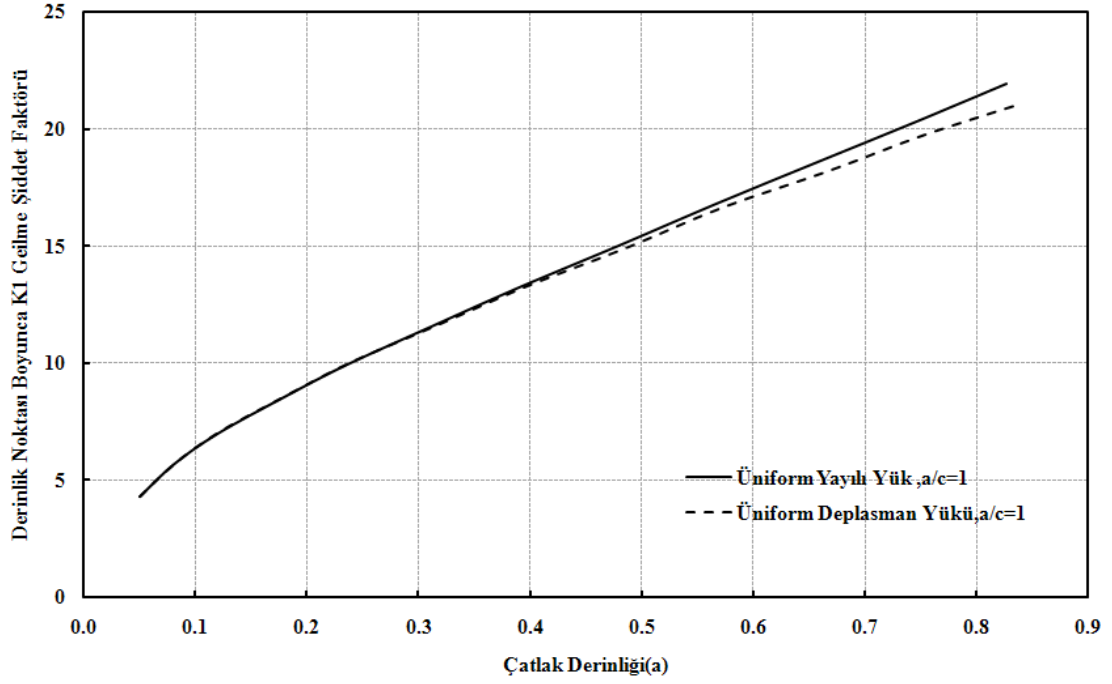
Şekil 4.17. Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$)



Şekil 4.18. Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$)



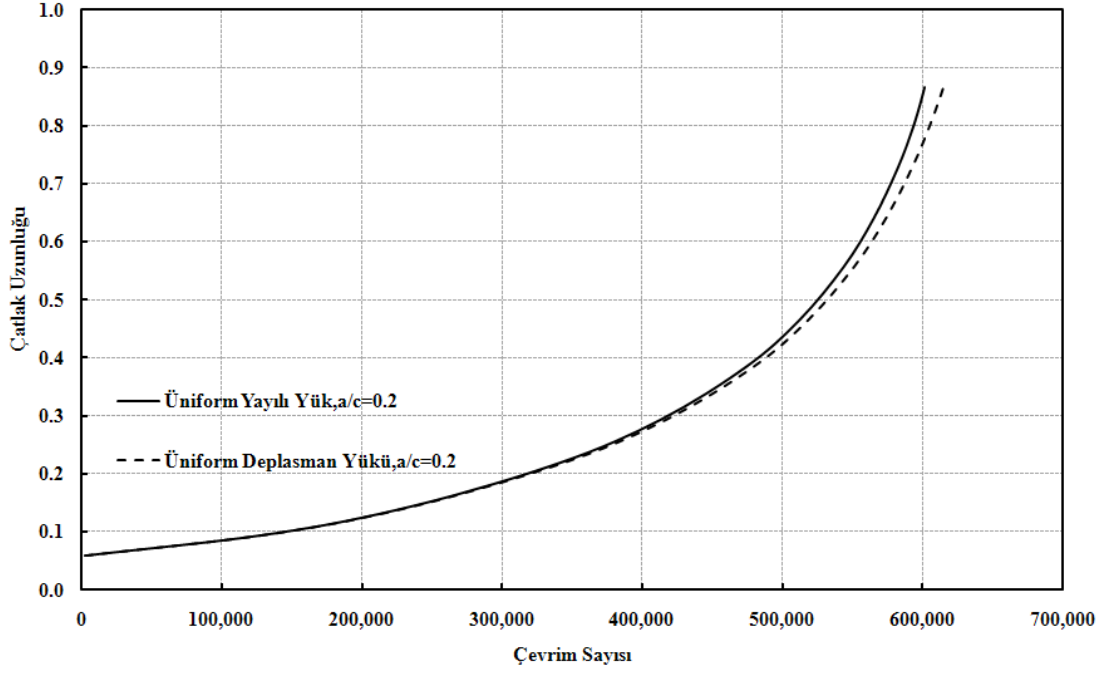
Şekil 4.19. Üniform deplasman yükü ve üniform yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$)



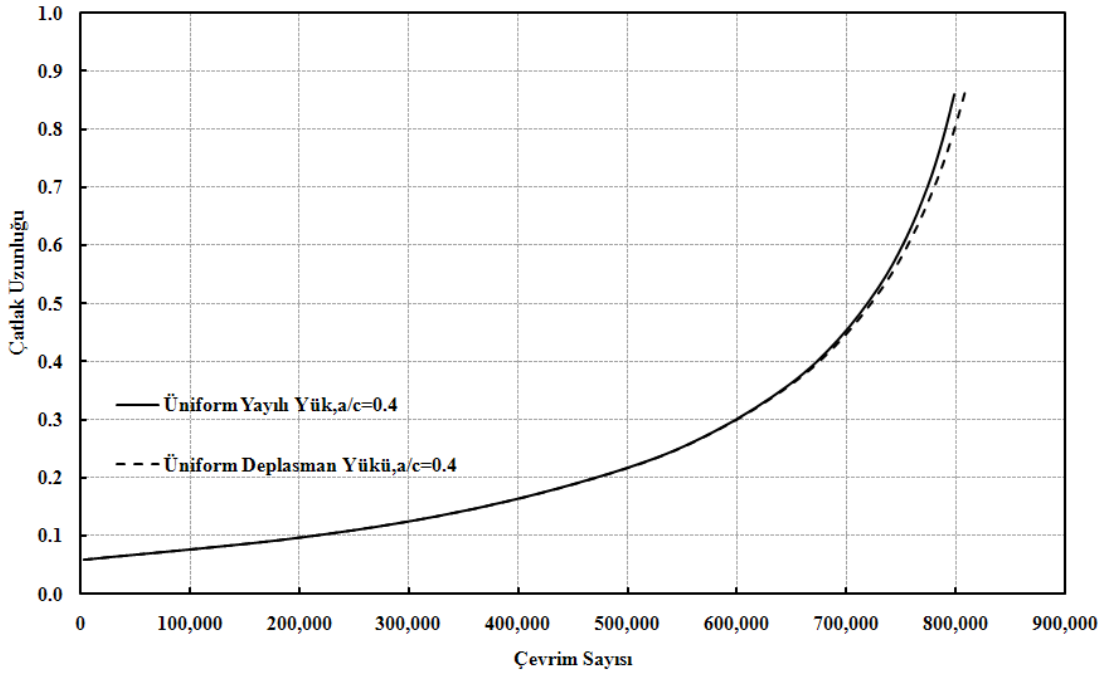
Şekil 4.20. Üniform Deplasman Yüğü ve Üniform Yayılı Yük Altındaki Eliptik Yüzey Çatlağı İçeren Plaka Modelinde Çatlak Derinlik Noktası Gerilme Şiddet Faktörü Dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$)

Her iki yükleme türü için çatlak profillerinin benzer çıktığı fakat etkin çatlak derinliğindeki derinlik noktası boyutsuz K_1 gerilme şiddet faktörleri arasında fark oluştuğu yukarıdaki profil ve grafik şekillerinden gözlemlenmektedir.

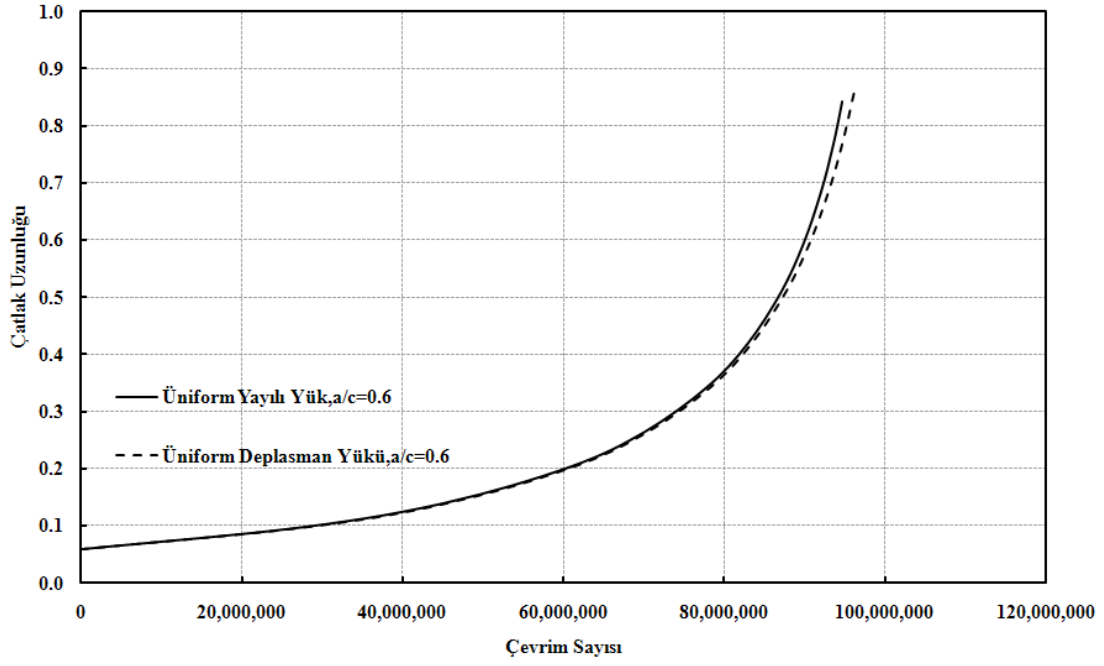
Bu noktada, çatlak ilerleme analizlerine ilave olarak $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2,0.4,0.6,0.8,1$ oranları için üniform deplasman yüğü ve üniform yayılı yük kontrollü eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli için ömür hesabı yapıлып sonuçlar karşılaştırılmıştır.



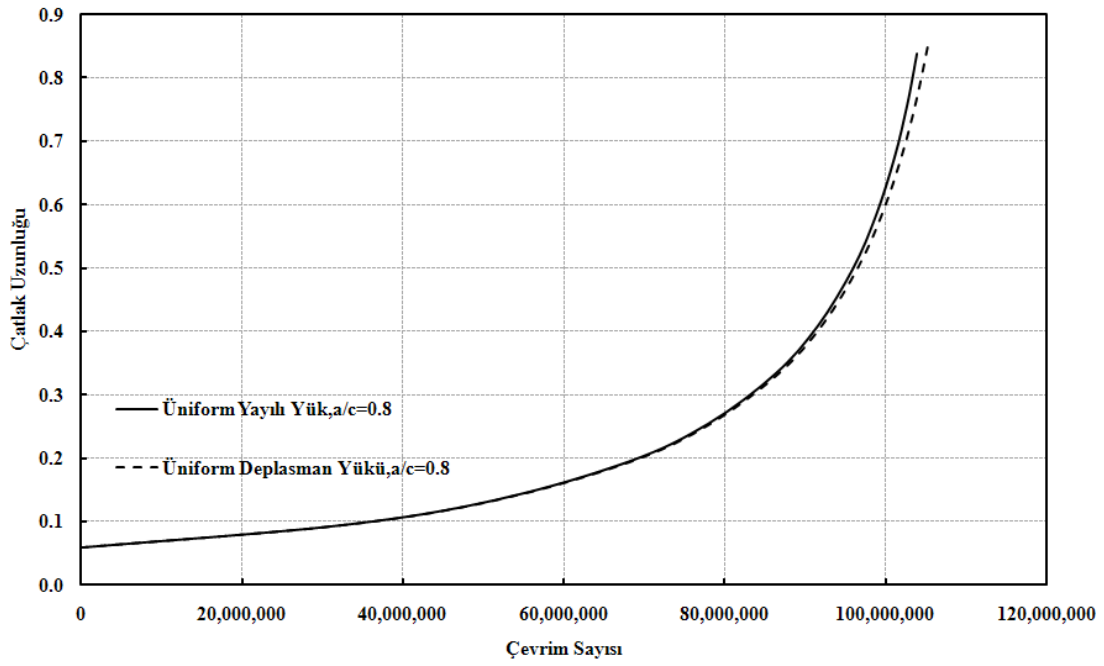
Şekil 4.21. Ünlförm deplasman yükü ve ünlförm yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2$)



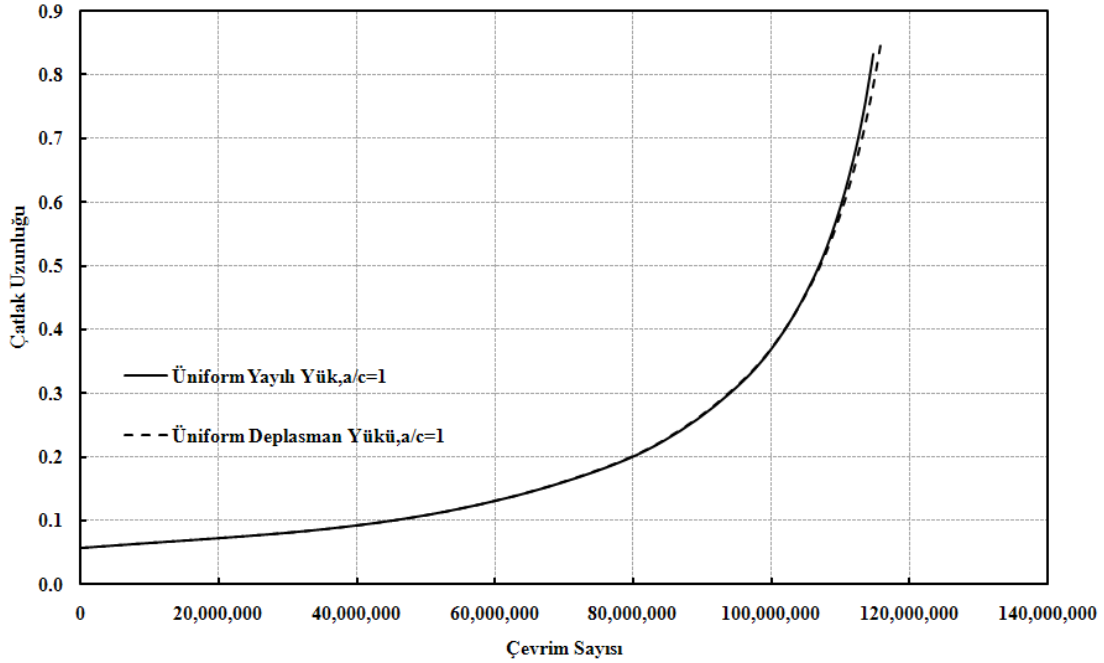
Şekil 4.22. Ünlförm deplasman yükü ve ünlförm yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$)



Şekil 4.23. Üniorm deplasman yükü ve üniorm yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$)



Şekil 4.24. Üniorm deplasman yükü ve üniorm yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$)



Şekil 4.25. Üniorm deplasman yükü ve üniorm yayılı yük altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$)

Şekil 4.21-4.25' de görüldüğü, gibi üniorm yayılı yüke maruz eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinin çevrim sayısı, üniorm deplasman yüküne maruz modele ait çevrim sayısından daha azdır. Yani üniorm yayılı yük altındaki modelin ömrü üniorm deplasman yükü altındaki plaka modeline göre daha kısadır. Plakada a_0/c_0 oranı büyüdükçe ömür sayısında artış olmuştur bu artış Şekil 4.21-4.25' de açıkça görülmektedir.

Şekil 4.21-4.25' de üniorm yayılı yük ile üniorm deplasman yükü arasında fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark çatlak çizgisi plakanın arka yüzeyine ulaştığı anda daha belirgin şekilde görülecektir. Yani üniorm deplasman yükü altında elde edilen ömür üniorm yayılı yük altında elde edilen ömürden çatlak iki boyuta indiği için çok daha uzun olacaktır.

4.4.2. Yayılı eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altındaki plakalar için çatlak ilerleme analizi

Bu bölümde yayılı eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü altında eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelleri için çatlak ilerleme analizleri yapılmıştır. Bölüm 4.4.1 de anlatılan işlem basamakları benzer şekilde uygulanmıştır. Tek fark "Macro Type"

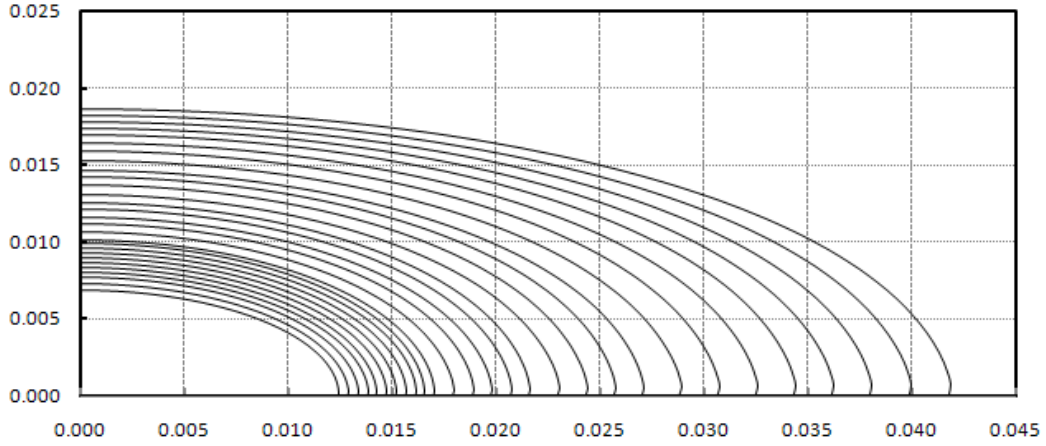
kısından “Bending Loading Macrosunun” seçilip yükleme türüne ait macronun çalışma klasörü içerisine kopyalanmasıdır.

4.4.2.1. Yayılı eğilme yükü altında plaka çatlak ilerleme analizi ve geçerliliği

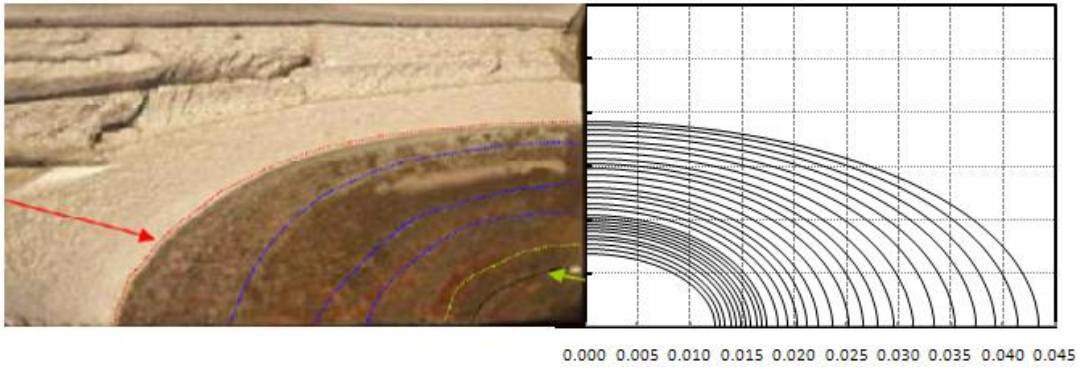
Analizler yapılırken izlenen işlem basamakları Bölüm 4.4.1.1 de üniform deplasman yükü çatlak ilerleme analizi için uygulanan işlem basamaklarına benzer şekilde gerçekleştirilir. Yayılı eğilme yükü altındaki plaka boyutları $t=0.03$, $a_0=0.0069$, $c_0=0.0124$, $H=0.295$, $W=0.175$, $E=3*10^7$, $\nu=0.3$ değerleri için $\frac{1}{4}$ simetrik ölçülerde eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli örnek çatlak ilerleme analizi FCPAS ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üniform yayılı yük altındaki plakada yayılı eğilme yük miktarı plaka ön yüzeyinde $\sigma = -1$ birimlik çekme gerilmesi plaka et kalınlığı boyunca artış göstererek plaka arka yüzeyinde $\sigma = 1$ birimlik basma gerilmesi olarak uygulanmıştır. Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 kullanılan malzeme sabit değerleri C ve n Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Analiz adım sayısı, çatlak ilerleme miktarları (Δa_{max}), çatlak ucu boyunca eleman sayısı(crack_lesize) ve malzeme sabitleri(c,n)

Adım Sayısı	$\Delta a_{max}(m)$	Crack_lesize	$C(\frac{m}{cycle(Mpa\sqrt{m})^n})$	n
1-11	0.0005	80	$7.1*10^{-10}$	1.85
12-16	0.001	80	$7.1*10^{-10}$	1.85
17-19	0.0015	80	$7.1*10^{-10}$	1.85
20-27	0.002	80	$7.1*10^{-10}$	1.85

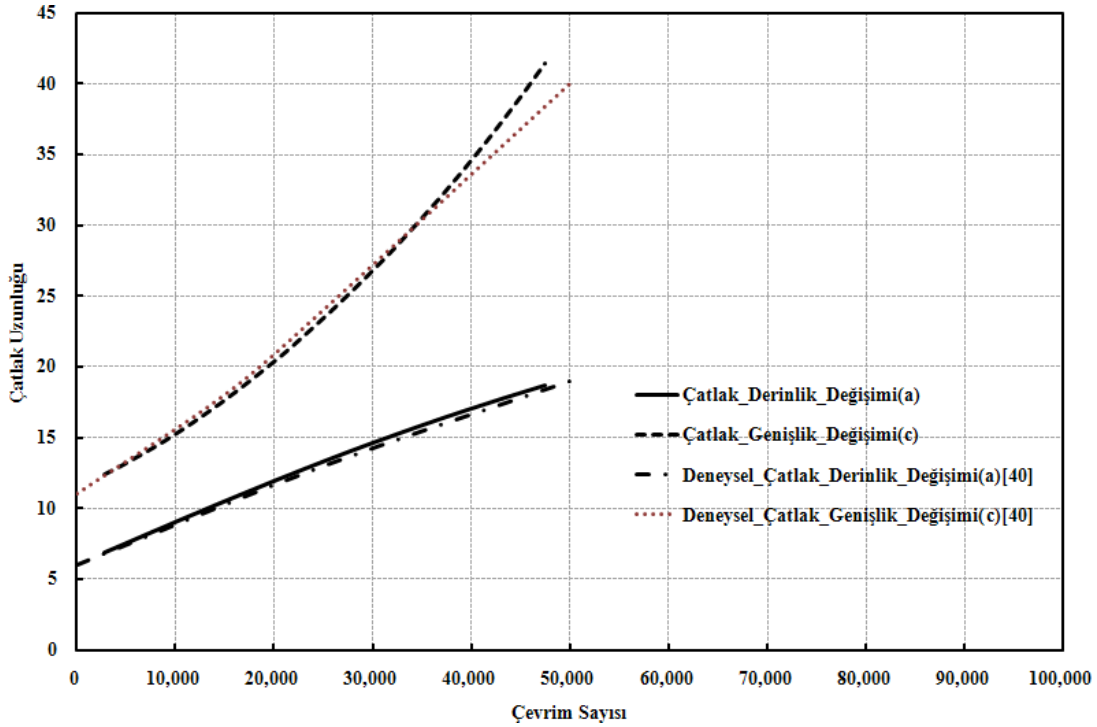


Şekil 4.26. Plaka modeli için eğilme yükü altında çatlak ilerleme profilleri, yayılı eğilme yükü



Şekil 4.27. Yayılı eğilme yükü altındaki plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri - Reytier deneysel olarak elde edilen çatlak ilerleme profil [40] mukayesesi

Şekil 4.26 'da elde edilen yayılı eğilme yükü altındaki plakalarda otomatik çatlak ilerleme profilleri Ayhan O. A., "Simulation of three-dimensional fatigue crack propagation using enriched finite elements" [27] isimli çalışmasında manuel olarak yapmış olduğu çatlak ilerleme profilleri ile Reytier M., Saclay CEA., "Fatigue Crack Growth in Large Cracked Plates of Martenzitik P91 Steel at 550°C" [40] yapmış oldukları çalışmalarındaki elde edilen çatlak ilerleme profilleri ile uygunluk göstermektedir.



Şekil 4.28 Reytier M. [40] tarafından ve Fcpas çatlak ilerleme analizi sonucunda yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modelinde elde edilen ömür grafiği mukayesesi

Şekil 4.27'de görüldüğü gibi eğilme yükü altındaki çatlak ilerleme analizi işlemlerinin FCPAS ara yüzü ile gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilmiş olan çatlak profilleri Reytier tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları ile birebir örtüşmektedir. Şekil 4.28 de ise Reytier M tarafından deneysel olarak elde edilen Çevrim Sayısı –Çatlak Uzunluğu grafiğinin de FCPAS çatlak ilerleme analizler sonucunda elde edilen Çevrim Sayısı –Çatlak Uzunluğu değerleri ile aynı profilleri izlediği görülerek eğilme yükü altında elde edilen çatlak ilerleme analizlerinin doğruluğu deneysel verilerle karşılaştırılarak ispatlanmıştır.

OMMI (Operation Maintenance and Materials Issues) ve yayıncısı European Technology Development Ltd. UK tarafından OMMI'nin online telif hakkında belirttiği gibi (<http://www.ommi.co.uk/>) [41] M. Reytier verilerinin kullanılabilmesi ve tekrar yayınlanabilmesi için alıntı yapılmıştır. Yapılan çalışmaların karşılaştırma imkanını sağladığı için OMMI ve M. Reytier'e teşekkür ediyorum.

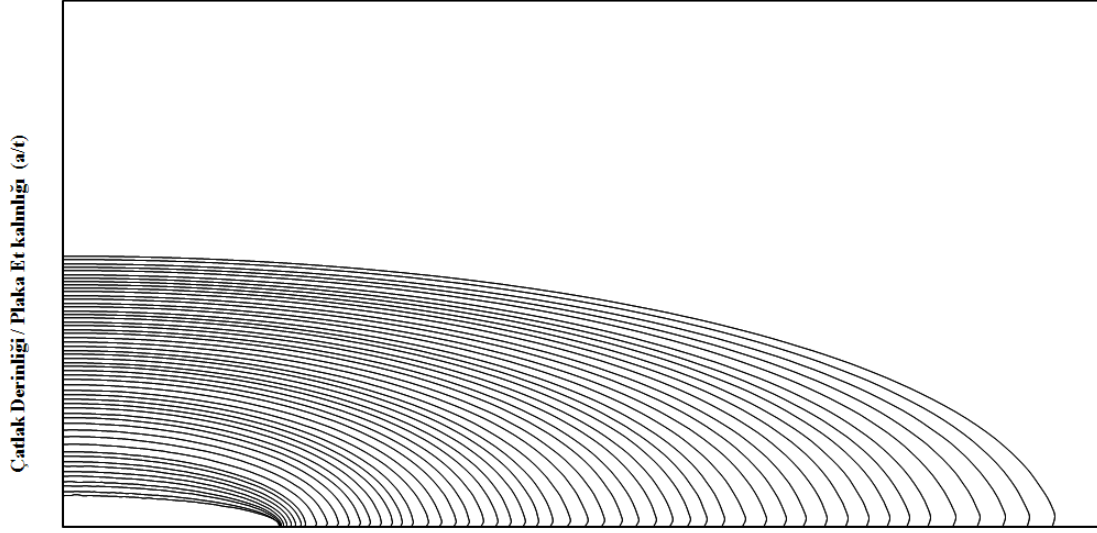
4.4.2.2. Örnek Uygulama: Deplasman eğilme yükü altında plaka çatlak ilerleme analizi ($a_0/c_0=0.2$, $a_0/t_0=0.05$)

Eğilme yükü altında çatlak ilerleme analizleri yapılırken izlenen işlem basamakları Bölüm 4.4.1.1 de üniform çatlak ilerleme analizi için uygulanan işlem basamaklarına benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Deplasman eğilme yükü altındaki plaka boyutları $t=1$, $a_0/c_0=0.2$, $a_0/t=0.05$, $H=5$, $W=5$, $E=3*10^7$, $\nu=0.3$ değerleri için $1/4$ simetrik ölçülerde eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli örnek çatlak ilerleme analizi FCPAS ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deplasman eğilme yükü miktarı plaka ön yüzeyinde $\Delta l = -HH / 100$ ($\Delta l = -\delta/2$) plaka et kalınlığı (t) boyunca artarak plaka arka yüzeyinde $\Delta l = HH / 100$ ($\Delta l = \delta/2$) olarak hesaplanır ve otomatikleştirilmiş makro tarafından plaka yüksekliği cinsinden et kalınlığının fonksiyonu olarak uygulanır. Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 de kullanılan malzeme sabit değerleri C ve n Tablo 4.2 de verilmiştir. Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 kullanılan değerler Tablo 4.2 de verilmiştir. Yukarıda anlatılan çatlak ilerleme yöntemi kullanılarak Tablo 4.1 verilen $a_0/t_0=0.05$ için farklı a_0/c_0 oranlarında analizler gerçekleştirilmiş, sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.29,a-4.34,a' da gösterilmiştir.

4.4.2.3. Örnek Uygulama: Yayılı eğilme yükü altında plaka çatlak ilerleme analizi($a_0/c_0=0.2$, $a_0/t_0=0.05$)

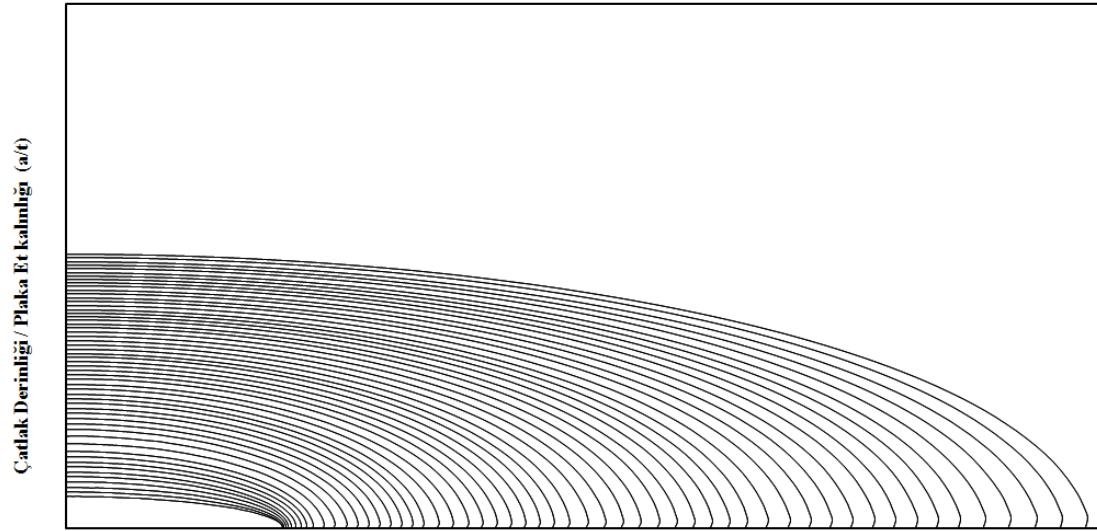
Analizler yapılırken izlenen işlem basamakları Bölüm 4.4.1.1 de çatlak ilerleme analizi için uygulanan işlem basamaklarına benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Yayılı eğilme yükü altındaki plaka boyutları $t=1$, $a_0/c_0=0.2$, $a_0/t=0.05$, $H=5$, $W=5$, $E=3*10^7$, $\nu=0.3$ değerleri için $1/4$ simetrik olarak modellenmiş eliptik yüzey çatlağı içeren plaka modeli örnek çatlak ilerleme analizi FCPAS ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yayılı eğilme yükü altındaki plakada yayılı yük miktarı plaka ön yüzeyinde $\sigma = -1$ birimlik çekme gerilmesi plaka et kalınlığı boyunca artış göstererek plaka arka yüzeyinde $\sigma = 1$ birimlik basma gerilmesi olarak uygulanmıştır. Bu örnek uygulamada, Denklem 4.1 kullanılan malzeme sabit değerleri C ve n Tablo 4.2 de verilmiştir. Gerçekleştirilen yayılı eğilme yükü ve

deplasman eğilme yükü kontrollü çatlak ilerleme analizleri sonucunda elde edilmiş olan çatlak profilleri Şekil 4.29,b-4.34,b' de gösterilmiştir.



Çatlak Yarı Uzunluğu / Plaka Et Kalınlığı (c/t)

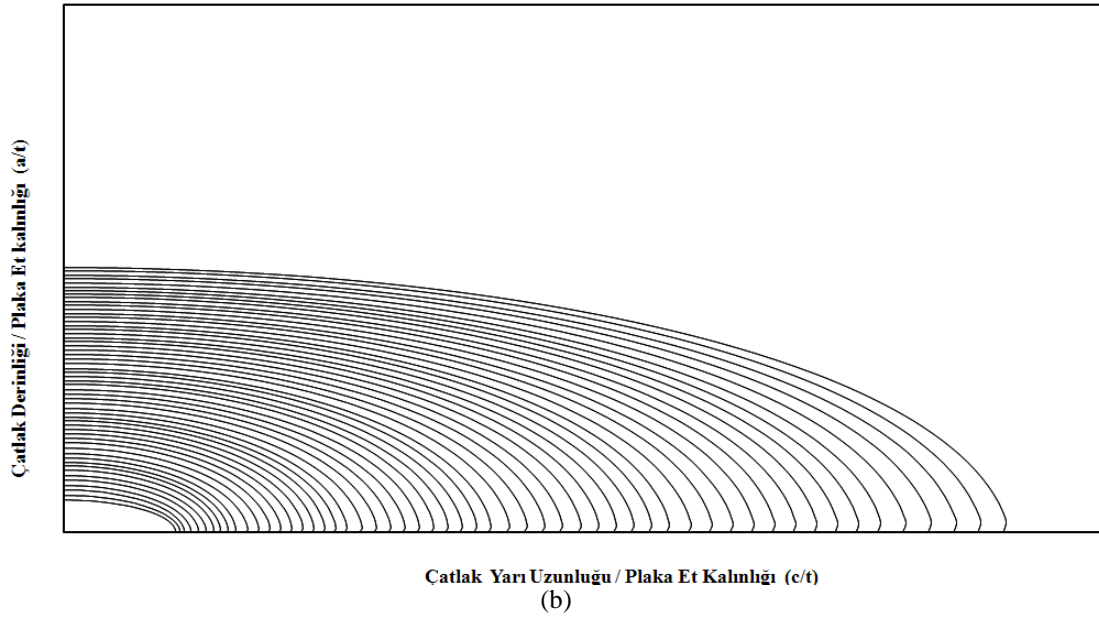
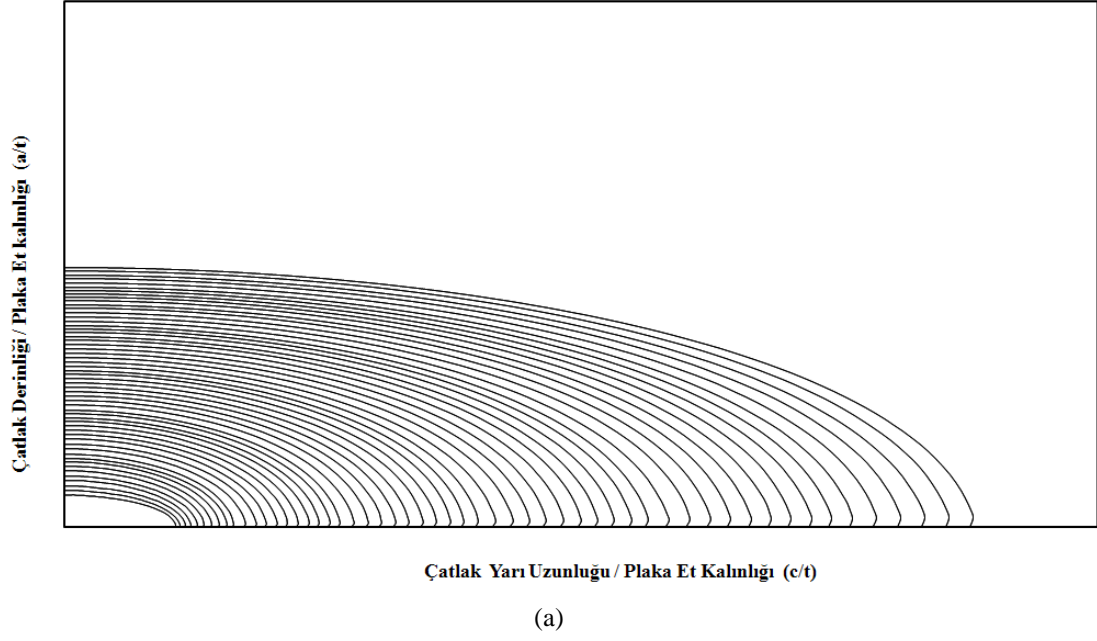
(a)



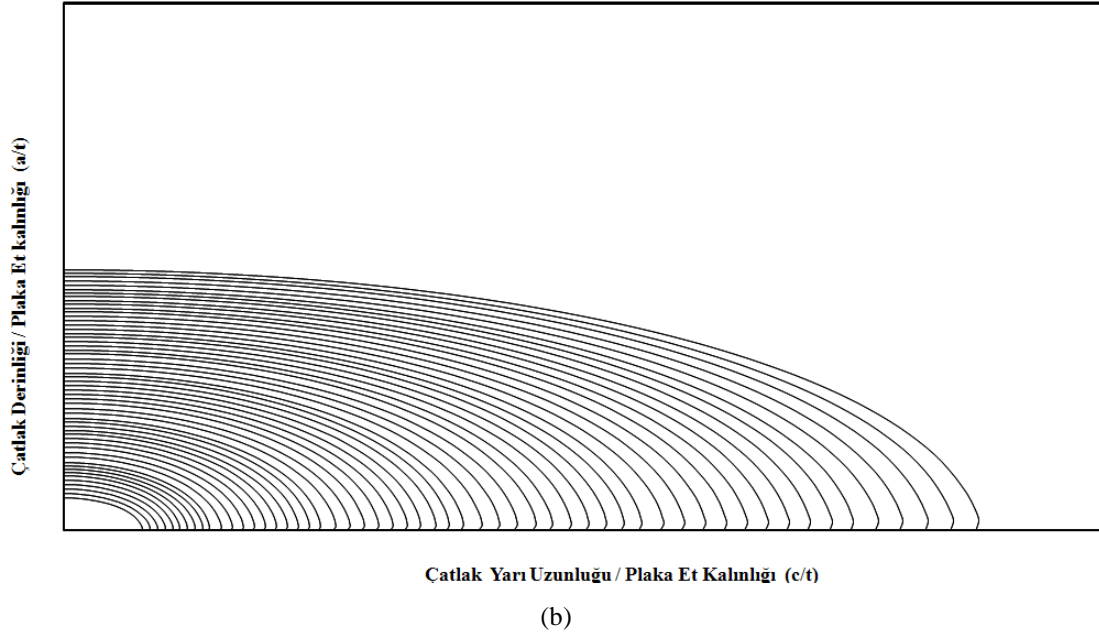
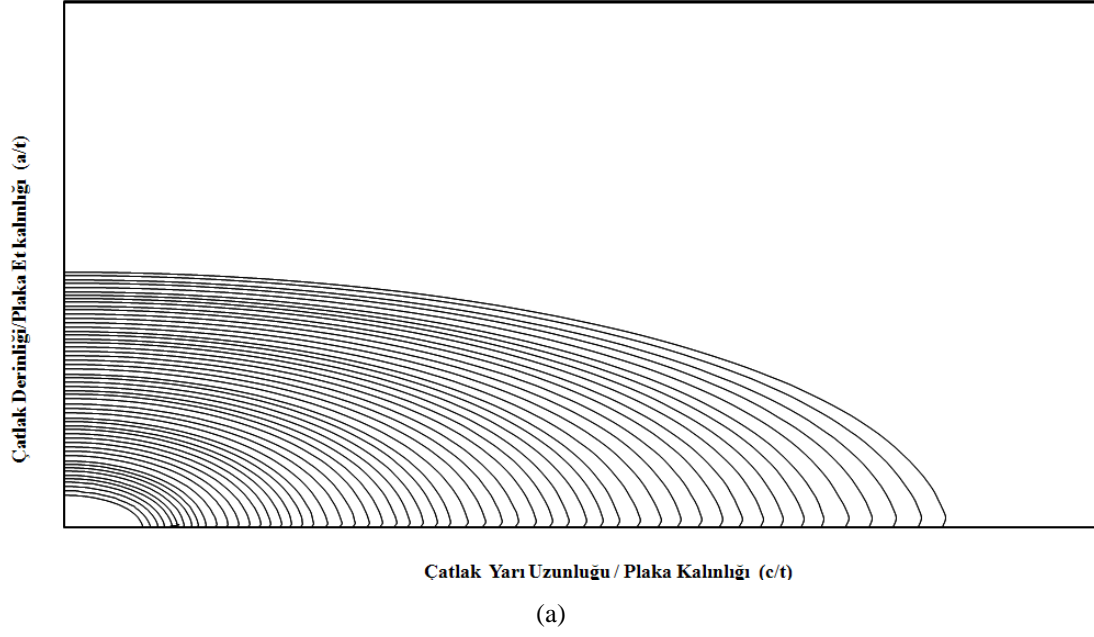
Çatlak Yarı Uzunluğu / Plaka Et Kalınlığı (c/t)

(b)

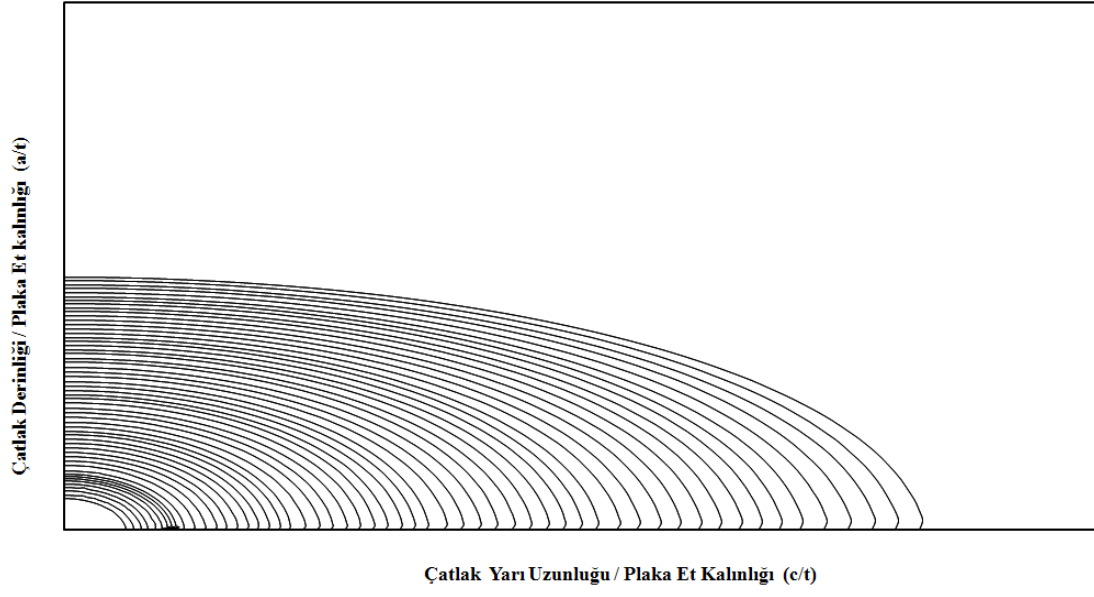
Şekil 4.29. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$ - $a_0/c_0=0.2$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü



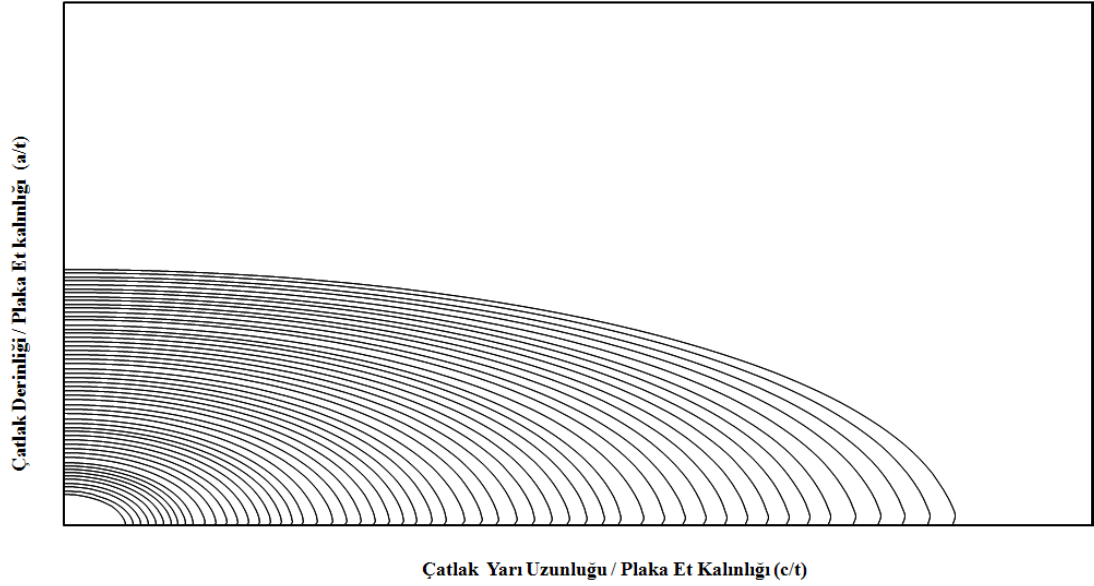
Şekil 4.30. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü



Şekil 4.31. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü

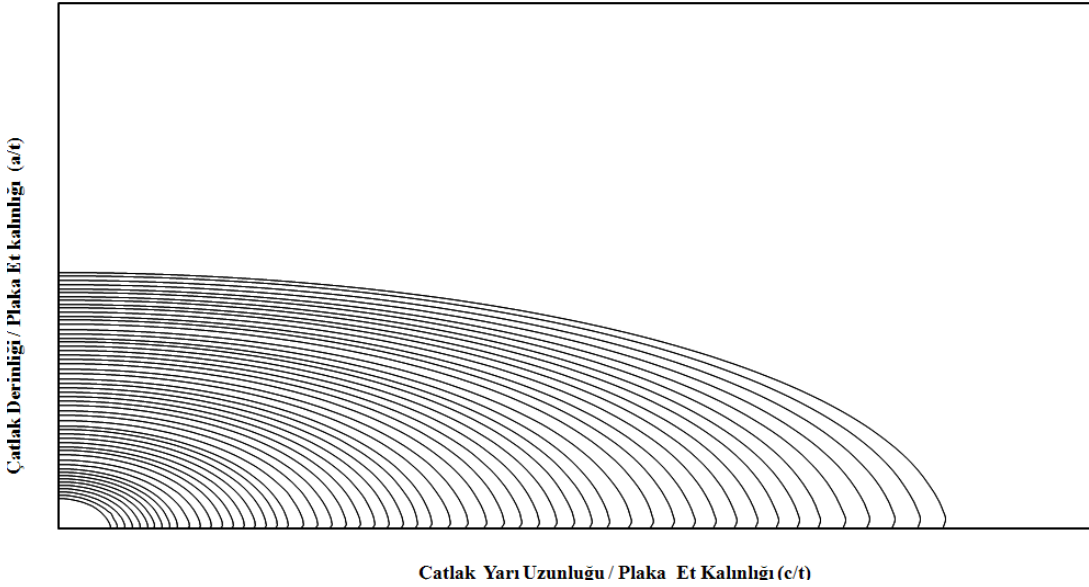
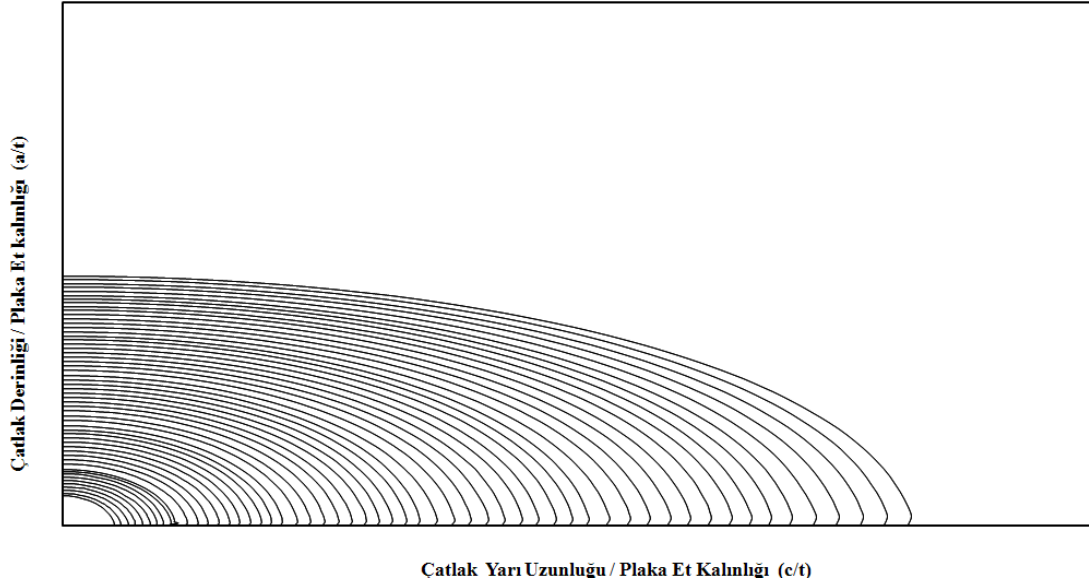


(a)



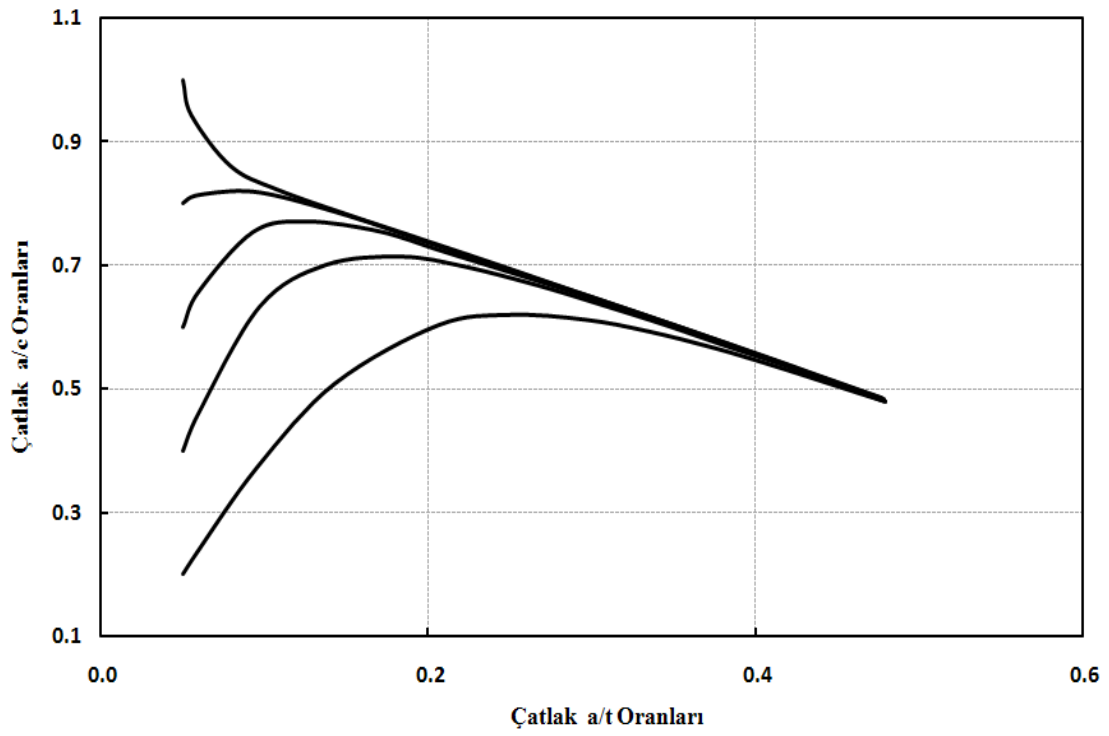
(b)

Şekil 4.32. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü

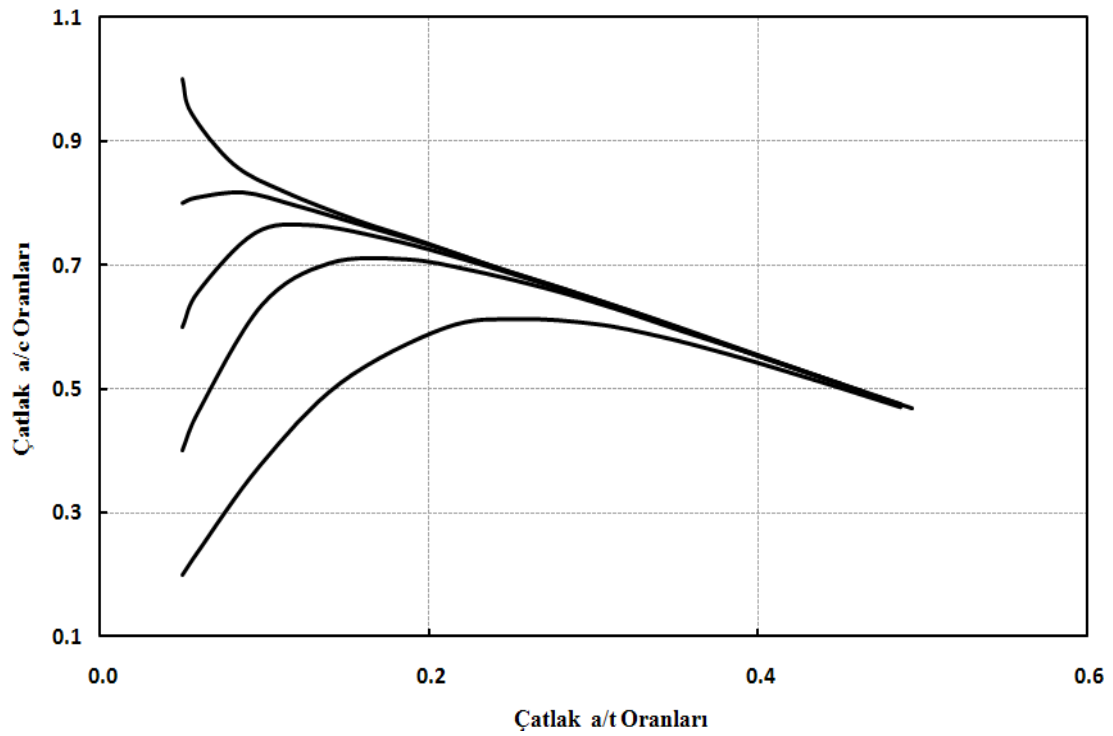


Şekil 4.33. Plaka modeli için çatlak profilleri, $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$; (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü

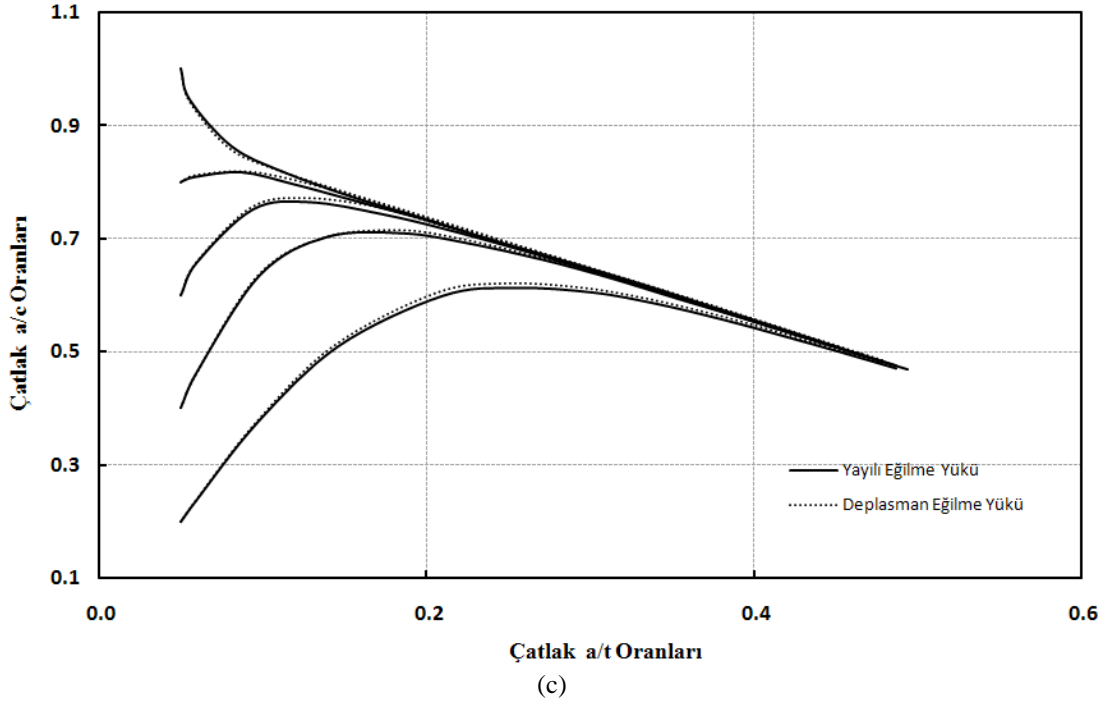
İki farklı analiz çeşidi yayılı eğilme yükü ve deplasman eğilme yüküne maruz eliptik yüzey çatlakları içeren plakalarda çatlak ilerleme analizi yapılmış, çatlak profilleri Şekil 4.29 - 4.33 da gösterilmiştir. Çatlak profilleri incelendiğinde deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki analizler sonucundan elde edilen çatlak ilerleme profillerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

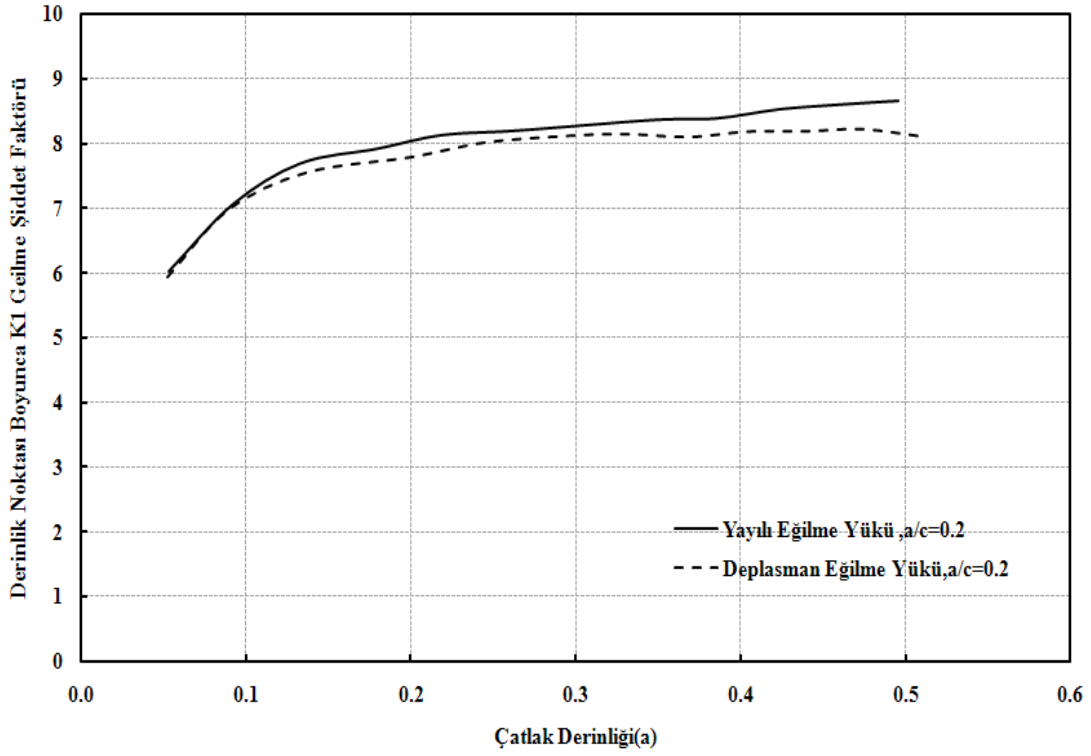


Şekil 4.34. Plaka modeli için çatlak ilerleme profilleri, a/c ve a/t oranları (a) deplasman eğilme yükü (b) yayılı eğilme yükü(c) deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü mukayesesi

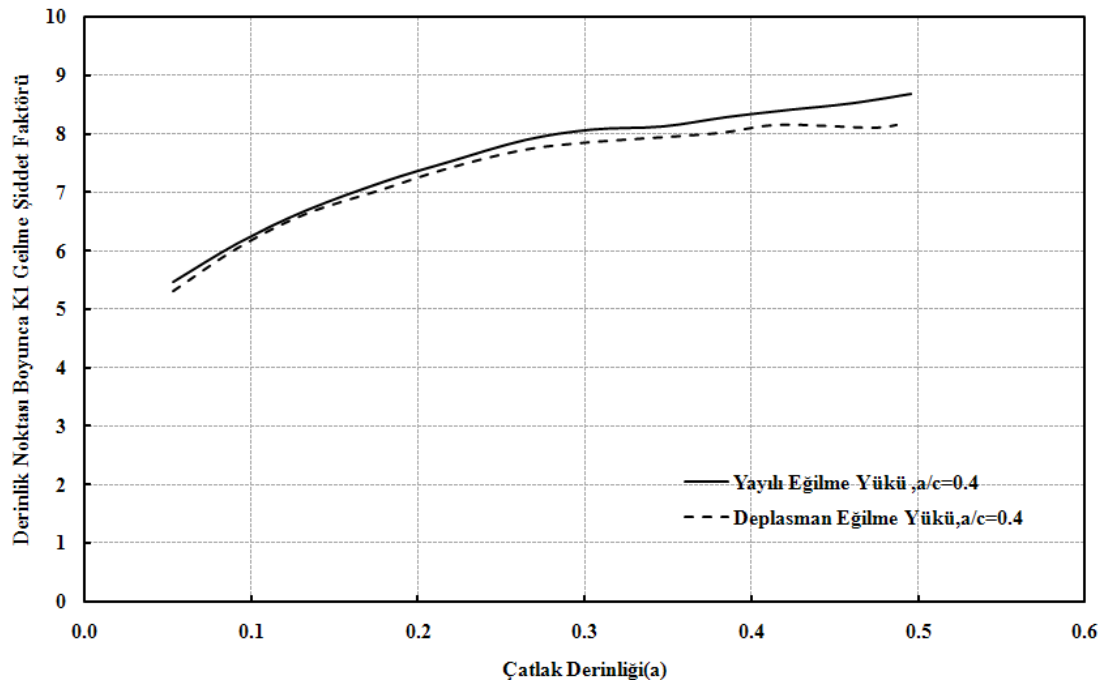
Şekil 4.34 (b) de verilen üniform yayılı yük altında elde edilen çatlak profillerine ait a/c ve a/t oranları 1999 yılında X.B. Lin, R.A. Smith, “Finite element modelling of fatigue crack growth of surface cracked plates, Part II: Crack shape change” isimli çalışmadaki a/c ve a/t oranları ile benzerlik göstermektedir [24].

Şekil 4.34-(c)’ de ise deplasman eğilme yükü altında elde edilen a/c – a/t oranlarının yayılı eğilme yükü altında elde edilen değerlerden yüksek olduğu görülmüştür.

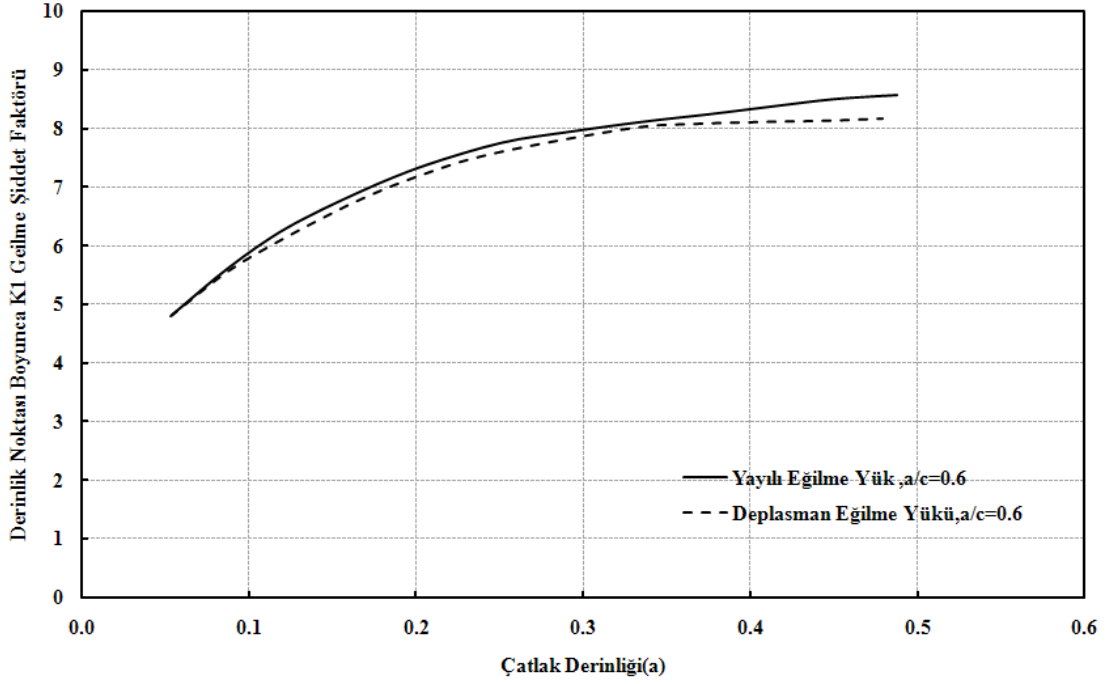
Her ne kadar yayılı eğilme yükü ve deplasman eğilme yükü kontrollü eliptik yüzey çatlakları içeren plaka modeli için elde edilen çatlak profilleri aynı görülse de, çatlak derinlik noktasındaki (a) gerilme şiddet faktörü değerleri grafiksel olarak incelendiğinde yayılı eğilme yükü altındaki değerler deplasman eğilme yükü altındaki değerlerden çatlak büyüdükçe artan bir fazlalık göstermektedir. Bu durum Şekil 4.35 – 4.40 ’da açıkça görülmektedir. Gerilme şiddet faktörleri arasındaki bu fark çatlak ilerleme ömrüne direk olarak yansıtacaktır. Yani deplasman yükü altındaki çatlak ilerleme ömrü, yayılı yük altındaki çatlak ilerleme ömründen daha fazla olacaktır.



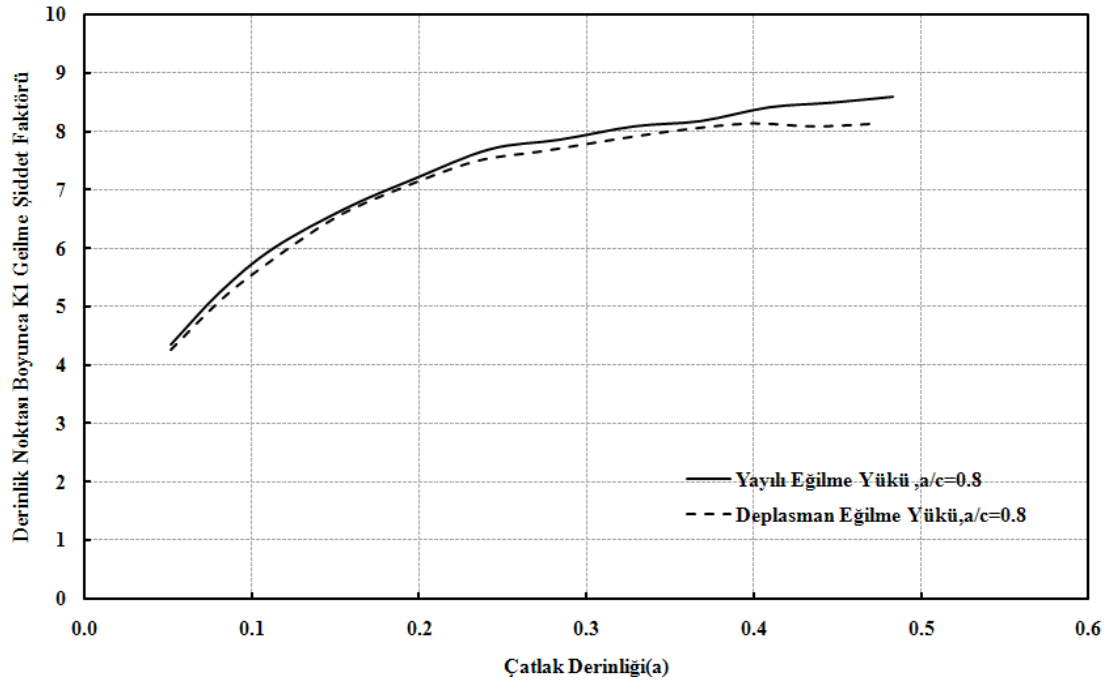
Şekil 4.35. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2$)



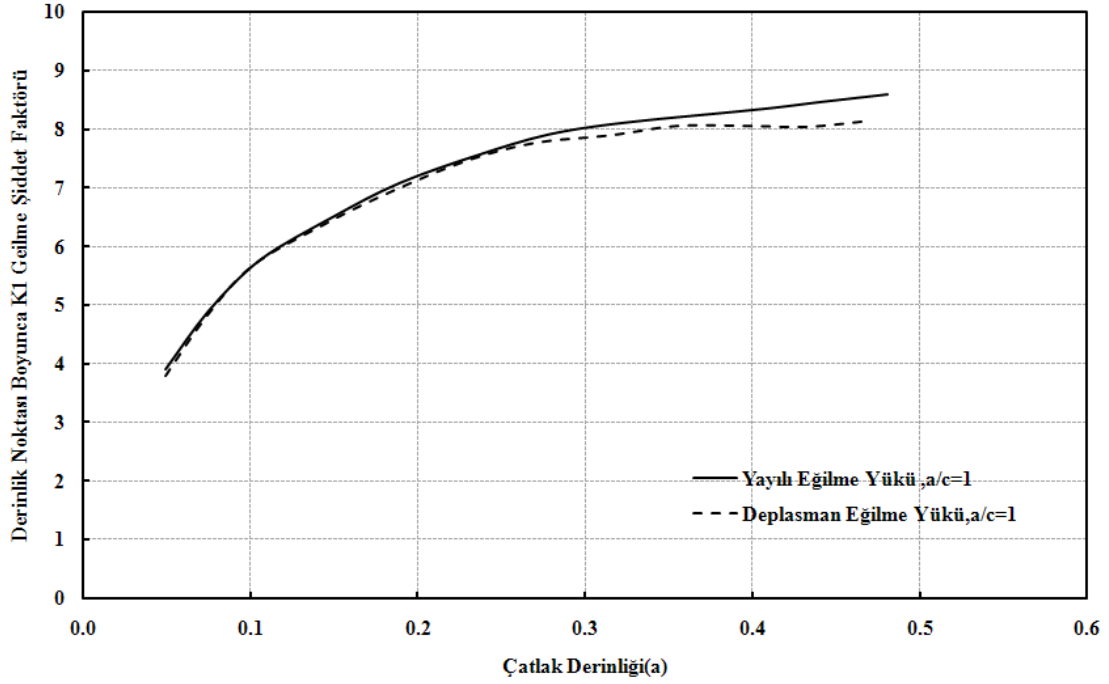
Şekil 4.36. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$)



Şekil 4.37. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$)



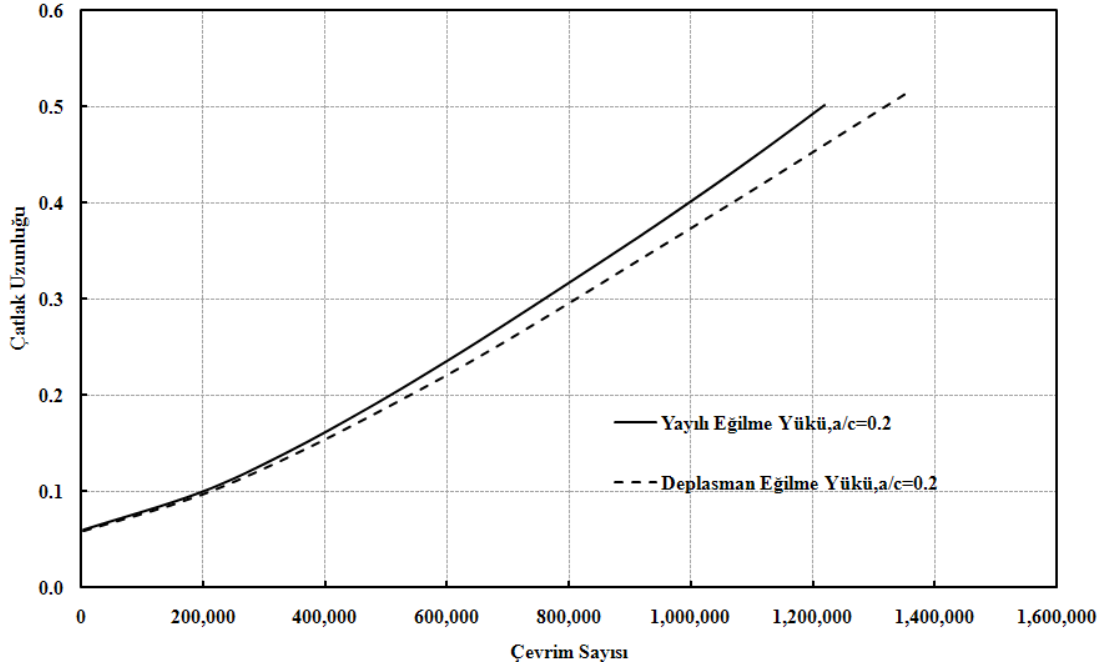
Şekil 4.38. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$)



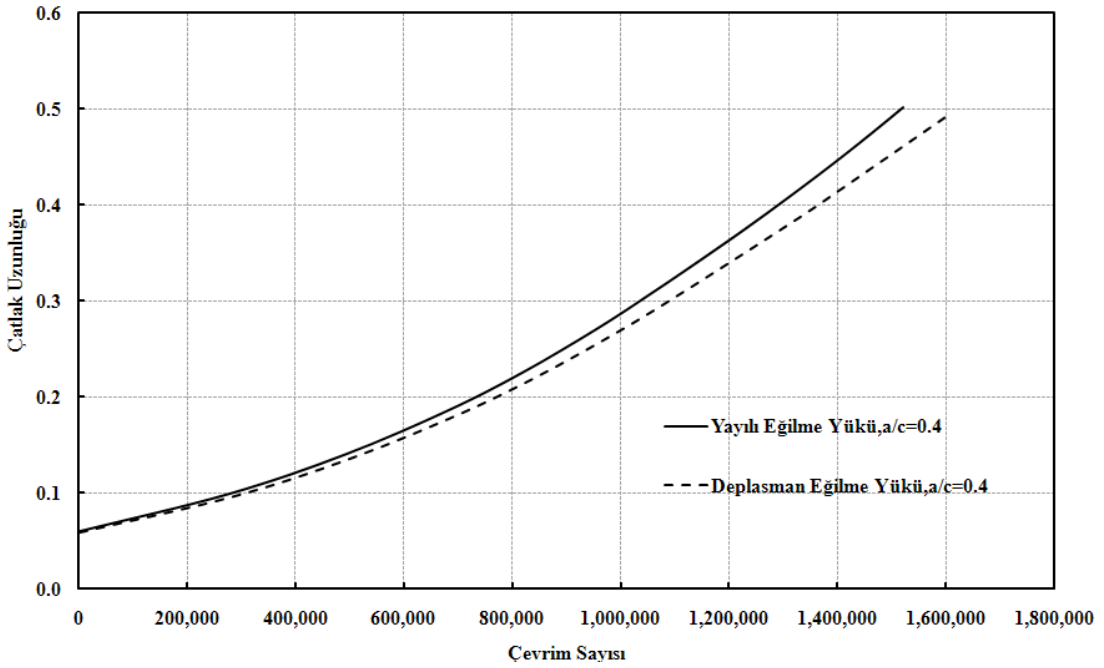
Şekil 4.39. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde çatlak derinlik noktası gerilme şiddet faktörü dağılımı ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$)

Her iki yükleme türü için çatlak profillerinin benzer çıktığı fakat etkin çatlak derinliğindeki derinlik noktası boyutsuz K_1 gerilme şiddet faktörleri arasında fark oluştuğu yukarıdaki profil ve grafik şekillerinden gözlemlenmektedir.

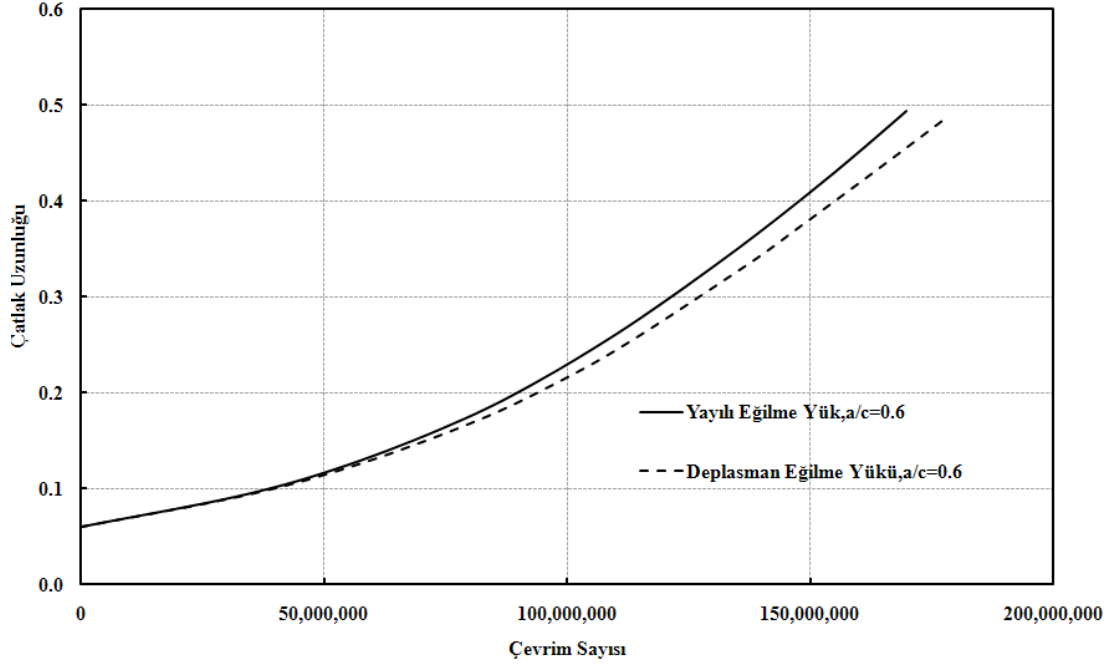
Bu noktada, çatlak ilerleme analizlerine ilave olarak $a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ oranları için deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü kontrollü eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modeli için ömür hesabı yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.



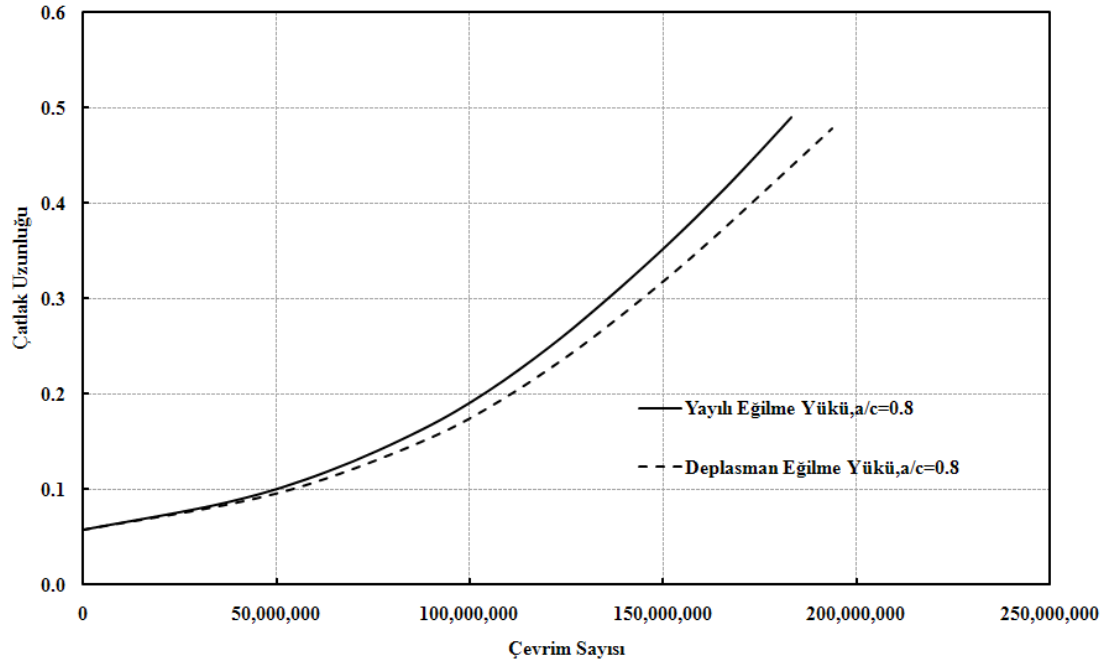
Şekil 4.40. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.2$)



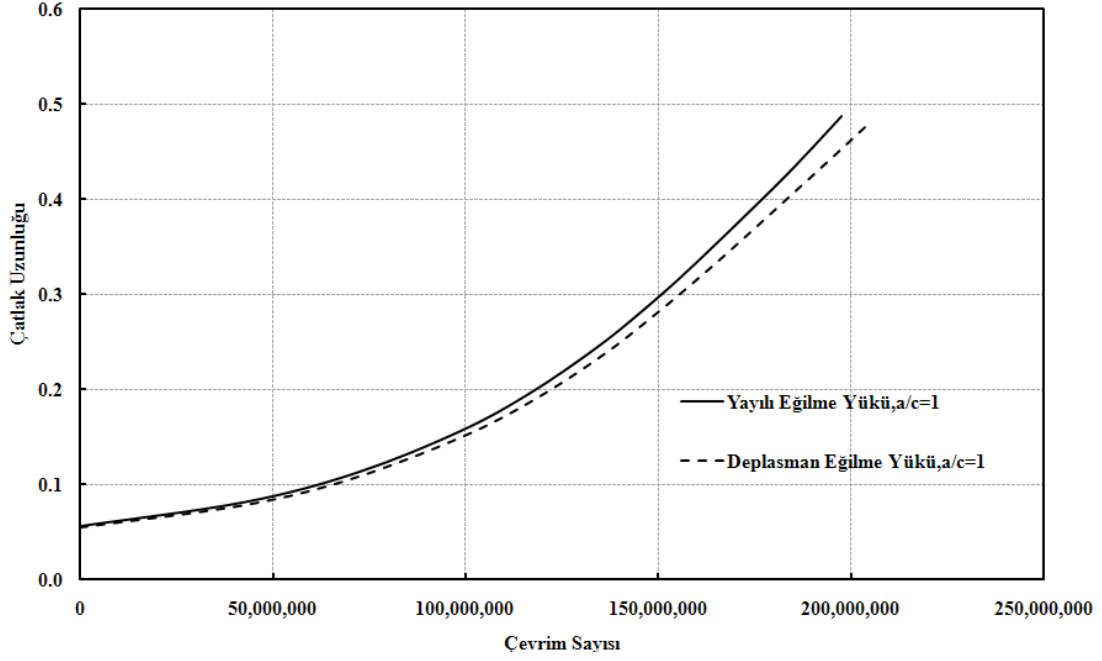
Şekil 4.41. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.4$)



Şekil 4.42. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.6$)



Şekil 4.43. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=0.8$)



Şekil 4.44. Deplasman eğilme yükü ve yayılı eğilme yükü altındaki eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinde ömür grafiği ($a_0/t=0.05$, $a_0/c_0=1$)

Şekil 4.40-4.44' de görüldüğü, gibi yayılı eğilme yüküne maruz eliptik yüzey çatlaklı içeren plaka modelinin çevrim sayısı, deplasman eğilme yüküne maruz modele ait çevrim sayısından daha azdır. Yani yayılı eğilme yük altındaki modelin ömrü deplasman eğilme yükü altındaki plaka modeline göre daha kısadır. Plakada a_0/c_0 oranı büyüdükçe ömür sayısında artış olmuştur bu artış Şekil 4.40-4.44' de açıkça görülmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, ilk olarak ANSYSTM programı kullanılarak üç boyutlu yüzey çatlak ve köşe çatlak içeren plakalar için farklı uniform ve farklı eğilme yükleri altında parametrik makrolar oluşturulmuş ve FCPAS (**F**racture & **C**rack **P**ropagation **A**nalysis **S**ystem) ara yüzü kullanılarak kırılma analizleri yapılmıştır.

Farklı a/c ve a/t oranları için tekil analizler gerçekleştirilmiştir. Tekil kırılma analizleri sonucunda elde edilen değerlerin Newman & Raju [21] denklemleri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. FCPAS çözümlerinin ve parametrik makro ile oluşturulan modellerin geçerliliği ispatlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen çatlak ucu boyunca üniform yayılı yük altında normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü değerlerinin (K), deplasman ve termal yük altında elde edilen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Eliptik yüzey ve eliptik köşe çatlak içeren plaka modellerinde yayılı eğilme yükü altında çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerlerinin de, deplasman eğilme yükü ve termal eğilme yükü altında çatlak ucu boyunca elde edilen normalize edilmiş K1 gerilme şiddet faktörü değerinden çatlak ucu boyunca daha büyük olduğu görülmüştür.

Eliptik yüzey ve eliptik köşe çatlak içeren plaka modellerinde farklı yayılı yük altında çatlak ucu boyunca elde edilen ömür değerlerinin, farklı deplasman termal yük altında çatlak ucu boyunca elde edilen ömür değerlerinden kısa olduğu bunun nedeninin gerilme şiddet faktörleri arasındaki farktan dolayı olduğu gözlemlenmiştir.

Termal yük ve deplasman yükü altında elde edilen kırılma analizleri sonucunda elde edilen normalize edilmiş gerilme şiddet faktörü değerlerinin eşit çıktığı gözlemlenmiştir

Bölüm 4'te oluşturulmuş olan tekil analiz makroları çatlak ilerleme analizleri için uygun hale getirilmiştir. Elde edilen 12 adet plaka için çatlak ilerleme makroları, TÜBİTAK projesi kapsamında kırılma ve çatlak ilerleme analizleri gerçekleştirilen FCPAS ara yüzüne başarılı bir şekilde integre edilmiştir. İntegre edilmiş olan makrolar kullanılarak istediğimiz oranlarda ANSYSTM Batch modunda çalıştırılarak çatlak içeren plaka modelleri oluşturulup termal, yayılı ve deplasman yükleri altında FCPAS çatlak ilerleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

FCPAS'a integre edilmiş makrolar ile yapılan uniform yayılı yük altında elde edilen çatlak ilerleme profillerine ait a/t nin fonksiyonu olarak değişik a/c oranları grafiği 2007 yılında Mohammad Iranpour, Farid Taheri [25] yapmış oldukları çalışmalarıyla uygunluk göstermektedir. Ayrıca yayılı eğilme yükü altında yapılan çatlak ilerleme profilleri ile de M. Reytier'in [34] deneysel olarak elde etmiş olduğu çatlak ilerleme profillerinin uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

FCPAS'a integre edilmiş makrolar ile yapılan yayılı eğilme yükü altında elde edilen çatlak ilerleme profillerine ait a/t nin fonksiyonu olarak değişik a/c oranları grafiği 1999 yılında X.B. Lin, R.A. Smith yapmış oldukları çalışmalarına benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

İlerleyen çalışmalarımızda ise plaka modellerinde farklı üniform yükler ve farklı eğilme yükleri altında karışık mod kırılma ve çatlak ilerleme analizleri için makrolarının oluşturulması, FCPAS ara yüzüne integre edilmesi, gerilme şiddet faktörü hesaplanması, çatlak ilerleme profillerinin çizdirilmesi ve ömür hesaplarının başarılı bir şekilde yapılması planlanmaktadır.

Ayrıca FCPAS ara yüzü kullanılarak sadece plaka modelleri için değil belirsiz geometrik şekillere çatlak yerleştirme işlemi yapılarak kırılma ve çatlak ilerleme analizleri yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/liberty-ships-schem.html>, Nisan 2011.
- [2] <http://www.volpe.dot.gov/infosrc/journal/30th/safety.html>, Nisan 2011.
- [3] YAYLA, P., Kırılma Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, 2007.
- [4] INGLIS, C.E., Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners, Transactions of the Institute of Naval Architects 55, pp.219-241, 1913.
- [5] GRIFFITH, A.A., The phenomena of rupture and flow in solids, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A221, pp.163-198, 1921.
- [6] IRWIN, G. R., TADA, H., PARIS, P. C., The Stress Analysis of Cracks Handbook, The American Society of Mechanical Engineers Three park Avenue, New York, NY 10016.
- [7] TIMOSHENKO, S., Goodier, J.N., Theory of Elasticity (3rd rd.), Mc Graw Hill, 1987.
- [8] MUSHKELISVILI, N.I., Some basic problems of the mathematical theory of elasticity, Noordhoff, 1936.
- [9] WESTERGAARD, H.M., Stresses at a crack, size of the crack and the bending of reinforced concrete, Proceedings of the American Concrete Institute 30, pp.93-102, 1934.
- [10] WILLIAMS M.L., On the stress distribution at the base of a stationary crack, Journal of Applied Mechanics 24, pp.109–114, 1957.
- [11] AYHAN, A.O., Three-dimensional fracture analysis using tetrahedral enriched elements and fully unstructured mesh, International Journal of Solids and Structures 48 , pp. 492–505, 2011.
- [12] PEREZ, N., Fracture Mechanics, Vol:3 p.58, 2004.
- [13] SCHIJVE, J., Fatigue of Structures and Material, Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [14] GDOUTOS, E.E., Fracture Mechanics, Springer, 2005.

- [15] BROEK, D., Elementary Engineering Fracture Mechanics, Kluwer Academic Publishers, Galena OH, USA , 1986.
- [16] SIH, G.C., On the Westergaard Method of Crack Analysis, *Int. J. Fracture Mech.*, 2 pp. 628-631, 1966.
- [17] EFTIS, J., LIEBOWITZ, H., On the Modified Westergaard Equations for Certain Plane Crack Problems, *Int. J. Fracture Mech.*, 8 , pp. 383-392, 1972.
- [18] NART, E., AYHAN, A. O., Crack Insertion, Meshing and Fracture Analysis of Structures Using Tetrahedral Finite Elements, *European J. of Mech. A/Solids* pp.1-14, 2011.
- [19] AYHAN, A.O., NART, E., KURTİS, C., USLU, M., Modeling of Three-Dimensional Fracture Problems Using FCPAS: Application On a Surface Crack Problem, *Proceedings of 13th International Materials Symposium, IMSP'2010, Denizli, Turkey, October 13-15, 2010.*
- [20] Ai KAH. S., Li CHUN, B., Mixed mode fatigue crack growth criteria, *Int. J. Fatig.* 23, pp.427-439, 2000.
- [21] NEWMAN, J.C., RAJU, I. S., Stress-Intensity Factor Equations For Cracks In Three-Dimensional Finite Bodies Subjected to Tension and Bending Loads, *NASA Technical Memorandum*, 1986.
- [22] RIDDELL, W. T., Experimental Observation And Numerical Prediction Of Three Dimensional Fatigue Crack Propagation, *Engineering Frac. Mech.* 58, pp.293-310 1997.
- [23] LIN, X.B., SMITH., R.A., Finite Element Modelling of Fatigue Crack Growth of Surface Cracked Plates, *Engineering Frac. Mech.*,63, pp. 503-522, 1999.
- [24] LIN, X.B., SMITH, R.A., Shape Evolution of Surface Cracks in Fatigued Round Bars With a Semicircular Circumferential Notch, pp. 965-973, 1999.
- [25] IRANPOUR, M., TAHERİ, F., A study on crack front shape and the correlation between the stress intensity factors of a pipe subject to bending and a plate subject to tension, *Marine Structures* 19 , pp.193–216, 2006.
- [26] MALIGNO A.R., RAJARATNAM, S., LEEN, S. B., WILLIAMS, E. J., A Three Dimensional (3D) Numerical Study of Fatigue Crack Growth Using Remeshing Techniques, *Engineering Fracture Mechanics*, pp. 94-111, 2010.
- [27] AYHAN, A.O., Simulation of Three-Dimensional Fatigue Crack Propagation Using Enriched Finite Elements, *Computers and Structures*, pp.801-812, 2011.

- [28] TOPCU, M., TAŞGETİREN, S., Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, 2009.
- [29] FAGAN, M.J., Finite Element Analysis, ISBN 0-582-02247-9, 1992.
- [30] AYHAN, A.O., NİED H. F., Stress intensity factors for three-dimensional surface cracks using enriched finite elements, Int. J. Numer. Meth. Engng 54:899–921, 2002.
- [31] AYHAN, A.O., Three-dimensional fracture analysis using tetrahedral enriched elements and fully unstructured mesh, International Journal of Solids and Structures 48 (2011) 492–505, 2011.
- [32] ANSYS, 2009. Version 12.0. Ansys Inc., Canonsburg, PA, USA.
- [33] MOAVE, S., Finite Element Analysis Theory an Application With ANSYS, 1999.
- [34] NATH, B., Çeviri: Mühendisler İçin Solu Elemanlar Metodunun Temelleri, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı, 2004.
- [35] <http://www.vtk.org/VTK/project/license.html>, Nisan 2011.
- [36] FCPAS (Fracture & Crack Propagation Analysis System) Version 1.0 Software & Tutorial Document, 2010.
- [37] PARIS PC, GOMEZ MP, ANDERSON WE., A rational analytic theory of fatigue , Trend, Eng 13:9–14, 1961.
- [38] <http://mathworld.wolfram.com/Ellipse.html>, Ocak 2011.
- [39] <http://planetmath.org/encyclopedia/Pseudoinverse.html>, Ocak 2011.
- [40] REYITER, M., Fatigue Crack Growth in Large Cracked Plates of Martenzitik P91 Steel at 550°C, OMMI Vol.3, Issue 2, 2004.
- [41] <http://www.ommi.co.uk/>, Nisan 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut USLU, 11.07.1986 da Kırıkkale’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kırıkkale’ de tamamladı. 2004 yılında Kırıkkale Süper Lisesi’nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Makine Bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2011 yılında mezun oldu. 2008-2009 yılları arasında Karpiyer Ltd. Şti.nde üretim mühendisi olarak çalıştı ve TÜBİTAK TEYDEB 7090021 numaralı proje yürütücülüğü yaptı. Bu süre içerisinde şirketin üretim geliştirme, verimlilik ve ürün kalitesi geliştirilmesi projelerinde aktif rol aldı. 2009-2011 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversite’ si öğretim üyelerinden Doç. Dr. Ali Osman AYHAN’ ın yürütücülüğünü yaptığı “Kırılma ve Çatlak İlerleme Analiz Sistemi-FCPAS” isim ve 108M283 kod numaralı TÜBİTAK projesinde bursiyer proje asistanı olarak görev yaptı. Bu süre içerisinde ANSYSTM kullanarak plakalarda çatlak ilerleme konusunda makrolar yazdı ve farklı yükleme çeşitleri için kırılma analizlerinin yapılmasında aktif rol aldı.