

XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, ISPARTA

GENETİK PROGRAMLAMA

YARDIMI İLE K_I 'NİN AÇIK FORMÜLASYONU

Abdulkadir ÇEVİK*, Nihat ATMACA**, İbrahim H. GÜZELBEY***

*Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 27310, Gaziantep

**Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep Meslek Yüksekokulu, 27310, Gaziantep

***Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 27310, Gaziantep

e-mail: akcevik@gantep.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, kırılma mekaniğinde açılma moduna (K_I) göre Gerilme Şiddet Çarpanı'nın (GŞÇ) formülasyonu için Genetik Programlama (GP) kullanılmıştır. GP için eğitim setleri ANSYS paket programı kullanılarak hazırlanmıştır. GP modellenmesi için gerekli tüm işlemler hazır paket program kullanılarak yapılmıştır. Kırılma Mekaniğinde yaygın olarak kullanılan üç değişik geometri için bir GŞÇ formülasyonu elde edilmiştir. Elde edilen bu açık formülasyonun sonuçlarının, ANSYS sonuçları ile oldukça uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

ABSTRACT

In this study, Genetic Programming (GP) is used for the analysis and the formulation of the Stress Intensity Factor (SIF) for the opening mode (K_I) of fracture mechanics. The training patterns for Genetic Programming are prepared using ANSYS. All necessary processes for Genetic Programming are conducted using ready package software. A SIF formulation for the three different geometries which are commonly used in fracture mechanics has been obtained. It is shown that the results of the explicit formulation are in good agreement with, ANSYS results.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında bilgisayarlar artık yaşamın neredeyse vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Hemen her alanda bilgisayarlardan yararlanılmaktadır. Aslına bakılırsa bilgisayarlar insan beynini taklit etmek üzere kurulmuş temeli ilkel hesap makinelerine dayanan sistemlerdir. İnsan beynini ve düşünme mekanizmasını taklit eden sistemlerin gelişmesine

yönelik çalışmalar genel ifadesiyle yapay zeka olarak adlandırılır. 1950’lerde yeni gelişmeye başlayan bu çalışmalar, 1970’lerde ivme kazanmış ve 1990’lı yıllarda disiplinler arası kullanılan bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu gelişmeler disiplinler arası etkileşimi hızlandırmış ve özellikle mühendislik alanında yeni yaklaşımların önünü açmıştır.

Yapay zeka tekniklerinden biri olan GP, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum kriterine göre evrilerek mükemmelleşmesini amaçlayan bir Evrimsel Algoritma tekniğidir [1,2].

GP mühendislik mekaniğinde henüz gereken ilgiyi görememiş ve geniş uygulama alanı bulamamıştır. Bu çalışmada, kırılmada yaygın kullanıma sahip bazı geometrilerde GŞÇ denklemi elde etmek için GP kullanılmıştır. İlgilenilen parçanın veya yapının işletme ömrünün tahmininde GŞÇ hakkındaki doğru bilginin çok önemli bir yeri vardır. GŞÇ hakkında analitik yöntemler kullanılarak elde edilen değerlerin yayımlandığı bir çok eser [3, 4] bulunmasına karşın, uygun bir sayısal yöntem yardımı ile bu değerlerin elde edilmesi gerekli olmaktadır. Literatürde Yer değiştirme Ekstrapolasyon Yöntemi (YEY), Gerilme Ekstrapolasyon Yöntemi (GEY), J-integral yöntemi, Gerinim Enerji Yayılım Oranı (GEYO) yaklaşımı ve Sanal Çatlak Yayılma Teknikleri GŞÇ elde etmek amacıyla kullanılmıştır [5, 6, 7 ve 8]

Bu çalışmada YEY yardımıyla GŞÇ değerleri elde edilmiş ve bu değerler ANSYS ile de teyit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GP yardımıyla kırılma mekaniğinde genel kullanıma haiz modeller için bir açık formülasyon elde edilmesinde kullanılmıştır. Açık formülasyon yardımıyla elde edilen sonuçlar, YEY, ANSYS, literatürde mevcut önceki çalışma sonuçları ve analitik çözüm sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2. GŞÇ’NİN ANALİTİK YÖNTEMLER İLE HESABI

GŞÇ yaklaşımı ilk olarak 1950’li yıllarda Irwin tarafında ortaya konuldu. Irwin, sonsuz bir plak üzerindeki çatlak çevresinde oluşan gerilmenin, lineer elastik teori yardımıyla aşağıdaki şekilde olduğunu göstermiştir:

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \quad (1)$$

burada r ve θ bir noktanın çatlak merkezine göre silindirik polar koordinatlarını göstermektedir.

Yukarıda verilen formül sadece sonsuz plaklar için geçerlidir. Sonlu geometriler için elde edilecek GŞÇ değerlerinde bu formüllere bir düzeltme faktörü eklenmelidir.

Griffith’in analizleri, GŞÇ formülünün, malzemenin geometrisi ve çatlak uzunluğunu içerecek şekilde aşağıdaki genel formda gösterimini sağlamıştır.

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (2)$$

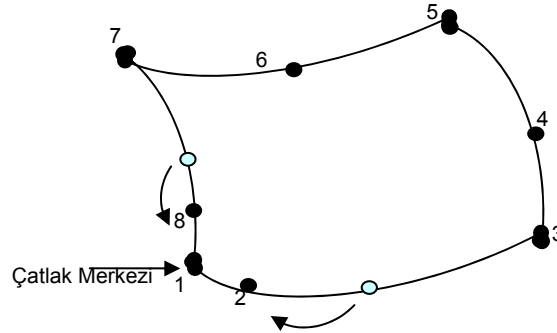
burada $f\left(\frac{a}{w}\right)$ malzemenin geometrisine ve çatlığa bağlı boyutsuz bir parametreyi yani düzeltme faktörünü göstermektedir. Bu parametreler gerilme analizi ile hesaplanmalıdır. Denklem (2)'de “a” çatlak boyunu, “w” plak genişliğini ve σ uygulanan gerilmeyi göstermektedir.

Mevcut çalışma ile karşılaştırılacak olan analitik GŞÇ değerleri, çatlak geometrisine ve yükleme koşullarına bağlı olarak Broek[3] tarafından önerilen formüllerden elde edilmiştir.

3.KIRILMA MEKANİĞİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Denklem (2)'ye uygun kapalı formda çözümler oldukça azdır. Bir çok ifade sayısal yaklaşım yöntemleri ile elde edilir. Sayısal yöntemler kapalı formda çözümü olmayan, dış yüklemelere maruz kalmış çatlak içeren elemanlarda oluşan gerilme ve gerinimlerin hesabında kullanılırlar. GŞÇ hesabı için kullanılan çeşitli sayısal yöntemler vardır. Bunlar arasında sık kullanım alanı bulan sayısal yöntemlerden bazıları şunlardır: Sonlu Farklar Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ve Sınır Elemanlar Yöntemi.

SEY, lineer elastik ve elasto plastik kırılma problemlerinin çözümünde çok sık kullanılan sayısal bir yöntemdir. Ancak çatlak merkezi yakınlarındaki büyük gerilme ve gerinim iniş çıkışları sebebiyle, oldukça hassas ağ yapısına ve çatlak merkezinde özel elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal SEY yöntemiyle GŞÇ eldesin de temel iki teknik vardır: Nokta Eşleme ve enerji yöntemleri. Nokta eşleme tekniğinde pratik olarak GŞÇ, malzemedeki gerilme ve yer değiştirme değerlerinden çıkarılarak elde edilir. Fakat enerji yöntemlerinde GŞÇ, malzemedeki enerji yayılım oranından (EYO) elde edilir. EYO'nun karışık moddaki bir elemandan ayrıştırılması genellikle zordur. Bu yüzden tipik ve pratik bir nokta eşleme tekniği olan YEY sayısal yöntem olarak tercih edilmiştir. YEY çatlak çevresindeki düğümsel yer değiştirmelere bağlıdır. Çatlak merkez bölgesinin iyi bir gösterimi için Barsoum ve arkadaşları[6] tarafından önerilen $\frac{1}{4}$ izoparametrik eleman kullanılmıştır. $r^{-1/2}$ parametresinden kaynaklanacak gerilme ve gerinimdeki belirsizliği ortadan kaldırabilmek için çatlak merkezine doğru tüm eksenlerdeki düğümler eleman boyunun $\frac{1}{4}$ 'ünce çatlığa doğru yaklaştırılmıştır. İkinci dereceden dörtgen bir elemanda düğümlerin eleman boyunca çatlığa $\frac{1}{4}$ oranında yaklaştırılmasının tipik bir örneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İkinci dereceden dörtgen bir elemanda eleman boyunun $\frac{1}{4}$ 'ü oranında çatlak merkezine doğru düğüm noktalarının yaklaştırılması [5]

İki GŞÇ cinsinden (K_I ve K_{II}) çatlak bölgesindeki gerilme yayılımı [7, 8] şu şekilde ifade edilir:

$$\sigma_{rr} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \cos \theta\right) + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{3}{2} \cos \theta - \frac{1}{2}\right) \quad (3)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \theta\right) - \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \cos \theta\right) \quad (4)$$

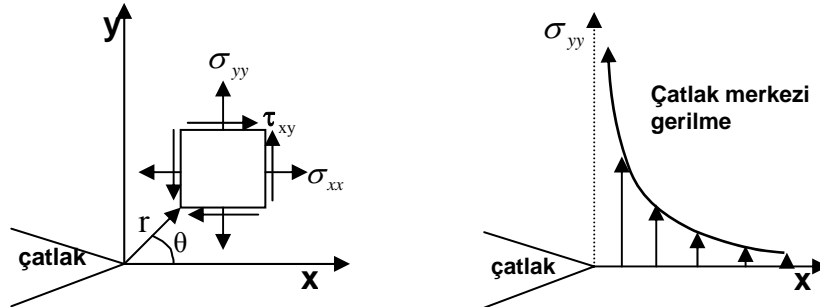
$$\sigma_{r\theta} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{1}{2} \sin \theta\right) + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(\frac{3}{2} \cos \theta - \frac{1}{2}\right) \quad (5)$$

burada, K_I ve K_{II} mod I ve mod II'ye göre GŞÇ ve θ , x-ekseni ile radyal doğru arasındaki açıyı göstermektedir. GŞÇ parametreleri σ , θ ve r Şekil 2'de gösterilmiştir. Eğer uygunluk ve denge eşitlikleri denklemlere uygulanırsa gerilim ve yer değiştirmeler hesaplanabilir. Mod I için GŞÇ, $\theta=\pi$ (tam açılma modu) alınıp gerekli işlemler yapılırsa sonuçta aşağıdaki formül elde edilir.

$$v = \frac{4K_I}{E^*} \sqrt{\left(\frac{r}{2\pi}\right)} \quad (6)$$

Çatlak merkezine doğru, elde edilen bir seri yer değiştirme değerleri kullanılarak, K_I sayısal olarak referans [14]'de verildiği gibi hesaplanabilir. Bu K değeri sayısal YEY'in sonucu olacaktır.

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{vE^*}{4} \sqrt{\left(\frac{2\pi}{r}\right)} \right) \quad (7)$$



Şekil 2. Çatlak Çevresinde Gerilme Yayılımı

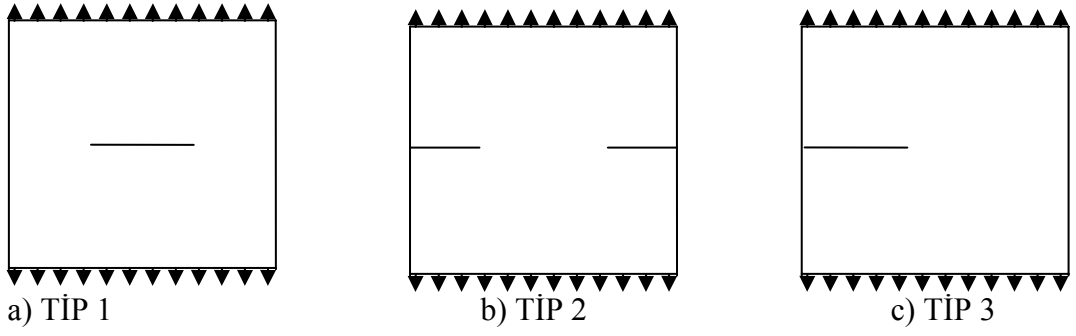
4. UYGULAMALAR

4.1 Yaygın Çatlak Modelleri

Çok iyi bilinen merkezi çatlak, tek kenarlı çatlak ve çift kenarlı çatlak modellerinin GŞÇ değerini hesaplayabilmek için analitik çözümler ve sayısal analiz (YEY) yöntemleri kullanılmıştır. Çatlak geometri tipleri Şekil 3'de gösterildiği gibidir.

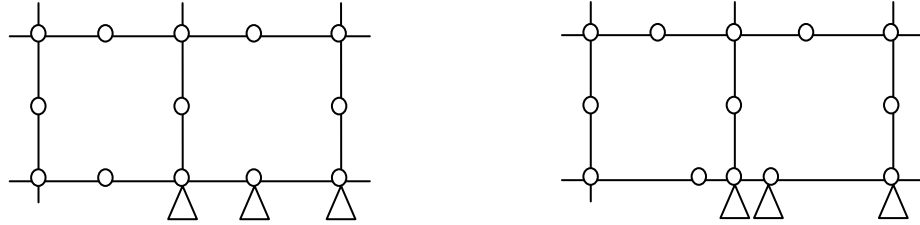
Tüm modellerde kullanılan boyutlar [20*20, 40*40, 60*60 ve 80*80] mm, ve 1mm kalınlık olacak şekilde tasarlanmıştır. Bir seri çatlak boyu kullanılarak GŞÇ değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 8 ve 6 düğümlü izoparametrik elemanlar kullanılmış ve malzeme özellikleri ile yükleme durumu da şu şekilde seçilmiştir:

$$E = 80000 \text{ N/mm}^2, \nu = 0.3 \text{ ve } \sigma = 60, 80, 100 \text{ ile } 120 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3. Çatlak Geometri Tipleri

8-düğümlü bir elemanın standart ve çatlak merkezli gösterimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Analizlerde düzlem gerilme hali ile 3 noktalı gauss sayısal entegrasyon kullanılmıştır.



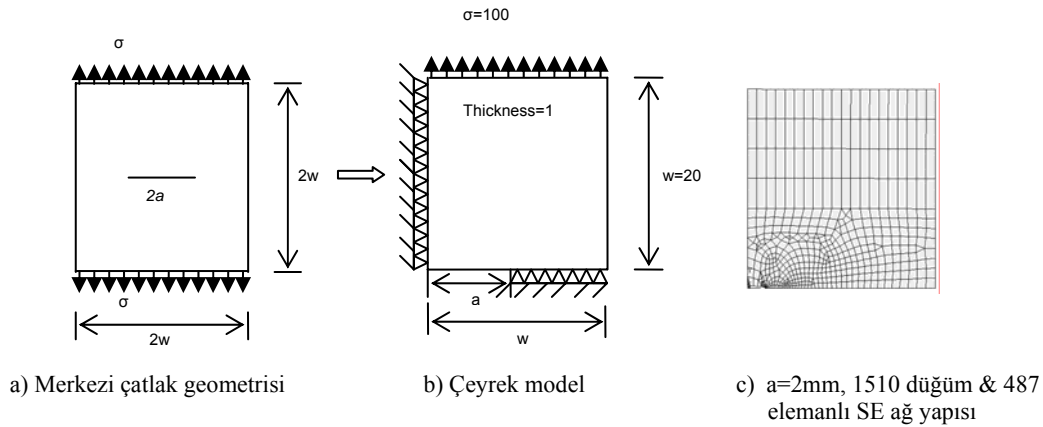
Şekil 4. 8-Düğümlü bir Elemanın Standart ve Çatlak Merkezli Gösterimi

Merkezi çatlak modelinin geometrisi ve çeyrek simetrik görünümü Şekil 5a ve 5b'de gösterilmiştir. Açılma modu mod I'e göre GŞÇ ise referans [3]'de verildiği şekli ile :

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (8)$$

burada, $f\left(\frac{a}{w}\right) = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi a}{w}\right)}$ şeklindedir.

Merkezi çatlak örneğinin Sonlu Eleman hassas ağ yapısı Şekil 5c'de gösterilmiştir. Ağ konfigürasyonlarında 3mm'lik çatlak için 1477 düğüm ve 472 eleman, 4mm'lik çatlak için 1516 düğüm ve 485 eleman, 5mm'lik çatlak için 1530 düğüm ve 489 eleman ve 6mm'lik çatlak için 1470 düğüm ve 469 eleman kullanılmıştır.

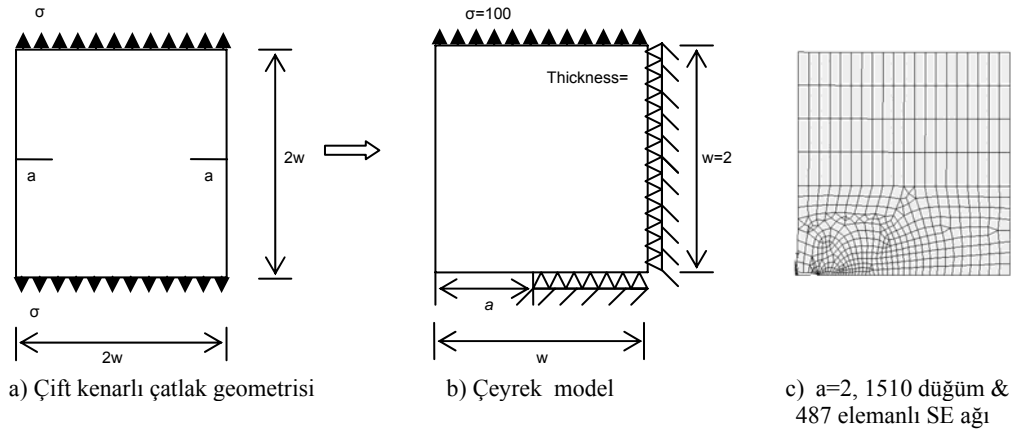


Şekil 5. Merkezi Çatlak Modeli

Çift kenarlı çatlak ve tek kenarlı çatlak geometrisi, çeyrek ve yarım simetrisi ile hassas ağ yapısı şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Bu örnek modellerin açılma modu mod I’e göre, GŞÇ değerleri yine aynı referanstan [3] alınarak (9) ile (10) denklemlerinde gösterilmiştir.

$$K_I = \sigma \sqrt{a} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (9)$$

burada, $f\left(\frac{a}{w}\right) = 1.99 + 0.76 \frac{a}{w} - 8.48 \left(\frac{a}{w}\right)^2 + 27.36 \left(\frac{a}{w}\right)^3$ şeklindedir.

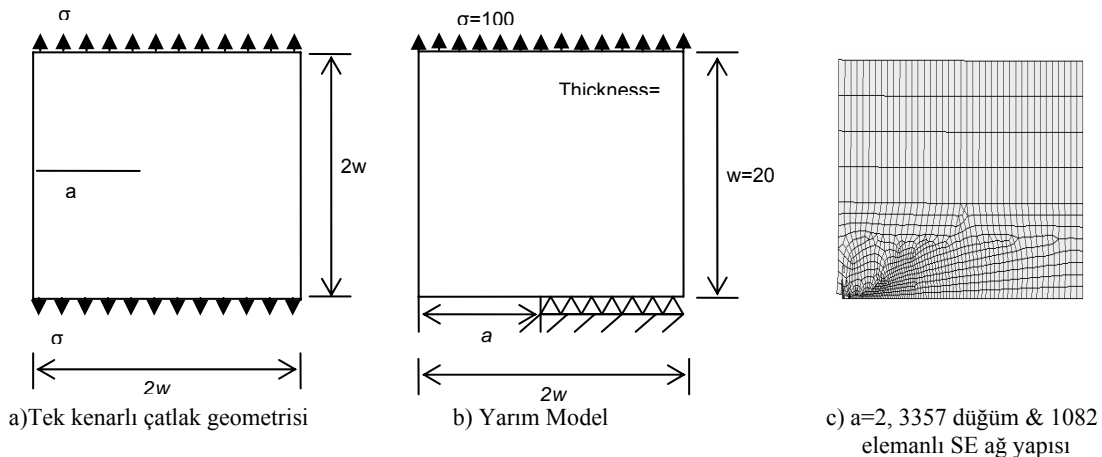


Şekil 6. Çift Kenarlı Çatlak Modeli

Çift kenarlı çatlak modeli ağ konfigürasyonunda merkezi çatlak modeli ile aynı sayıda düğüm ve eleman kullanılmıştır. Ancak tek kenarlı çatlak modeli ağ konfigürasyonunda simetri koşulları nedeniyle farklı sayıda düğüm ve elemandan faydalanılmıştır. Tek kenarlı çatlak ağ konfigürasyonunda 3mm’lik çatlak için 3384 düğüm ve 1093 eleman, 4mm’lik çatlak için 3465 düğüm ve 1124 eleman, 5mm’lik çatlak için 3247 düğüm ve 1048 eleman ve 6mm’lik çatlak için 3253 düğüm ve 1052 eleman kullanılmıştır.

$$K_I = \sigma \sqrt{a} f\left(\frac{a}{w}\right) \quad (10)$$

burada, $f\left(\frac{a}{w}\right) = 1.99 - 0.41 \left(\frac{a}{w}\right) + 18.7 \left(\frac{a}{w}\right)^2 - 38.48 \left(\frac{a}{w}\right)^3 + 53.85 \left(\frac{a}{w}\right)^4$ şeklindedir.



Şekil 7. Tek Kenarlı Çatlak Modeli

SE eleman analizi analitik yöntemde kullanılan aynı malzeme özellikleri ve ağ yapısı ile yapılmıştır. Çatlak bölgesinde 8 düğümlü üçgen eleman kullanılırken diğer bölgelerde 8 düğümlü dörtgen elemanlar kullanılmıştır (ANSYS’de kullanılan eleman PLANE82).

Sayısal yöntemlerin en önemli dezavantajı uzun çözüm zamanıdır. Çünkü hesaplama zamanı kullanılan eleman, düğüm sayısı ve yükleme durumu ile orantılı olarak artar veya azalır. Kırılma mekaniğinde çok kullanılan bazı geometrilerin GŞÇ’nin, GP yardımıyla açık formülize edilmesi çözüm zamanını kısaltacaktır. Bu amaçla bir GP tabanlı bir formül geliştirilmiştir.

4. 2 GŞÇ için Açık Formül Türetilmesi

GP eğitim modelleri ANSYS paket programı sonuçları kullanılarak hazırlanmıştır. Geniş bir aralıkta değişkenlerin GP modeli oluşturulması amacıyla 192 veri seti ile kullanılmıştır. Bu set verilerinin bazıları Tablo 1’de verilmiştir. Bu tabloda koyu tonda verilen sayılar test için değerleri ise eğitim için kullanılmıştır. Gerekli tüm işlemler GeneXproTools hazır paket programı yardımıyla yapılmıştır. Buradan görüleceği üzere her test seti ile eğitim seti hata oranları oldukça memnun edici çıkmıştır.

Tablo 1. ANSYS-GP Sonuçları

GERİLME (σ)	a	w	TİP	ANSYS	GP	ANSYS/GP
60	2	20	1	159.11	171.53	0.93
60	2	20	2	177.48	180.85	0.98
60	2	20	3	185.23	190.20	0.97
60	6	20	2	361.47	432.18	0.84
60	6	20	3	482.20	462.09	1.04
60	8	20	1	600.08	539.32	1.11
60	8	20	2	494.48	586.41	0.84
60	8	20	3	700.19	634.49	1.10
80	2	20	1	212.14	228.70	0.93
80	2	20	2	236.64	241.13	0.98
80	2	20	3	246.97	253.60	0.97
80	4	20	1	345.55	367.52	0.94
80	4	20	2	374.49	390.55	0.96
80	4	20	3	464.23	413.76	1.12
80	6	20	1	515.36	536.89	0.96
80	8	20	2	659.30	781.88	0.84
80	8	20	3	933.58	845.99	1.10
100	2	20	1	265.18	285.88	0.93
100	2	20	2	295.80	301.41	0.98
100	2	20	3	308.72	317.00	0.97
100	4	20	1	431.93	459.41	0.94
100	4	20	2	455.94	488.19	0.93
100	4	20	3	528.07	517.20	1.02
100	8	20	1	1000.10	898.86	1.11
100	8	20	2	824.13	977.35	0.84
100	8	20	3	1167.00	1057.49	1.10

120	2	20	1	318.21	343.06	0.93
120	4	20	3	633.68	620.64	1.02
120	6	20	1	773.04	805.34	0.96
120	6	20	2	722.93	864.37	0.84
120	6	20	3	964.39	924.18	1.04
120	8	20	1	1200.20	1078.63	1.11
120	8	20	2	988.96	1172.82	0.84
120	8	20	3	1400.40	1268.98	1.10
60	2	40	1	152.86	158.09	0.97
60	2	40	2	174.50	162.49	1.07
60	4	40	2	251.10	244.91	1.03
60	4	40	3	262.04	252.52	1.04
60	6	40	1	293.30	319.39	0.92
60	8	40	1	366.64	386.61	0.95
60	8	40	2	387.05	403.46	0.96
60	8	40	3	448.22	420.44	1.07
80	4	40	2	334.80	326.55	1.03
80	4	40	3	349.38	336.69	1.04
80	6	40	1	392.75	425.86	0.92
80	6	40	2	428.38	441.64	0.97
80	6	40	3	467.71	457.50	1.02
80	8	40	1	488.85	515.47	0.95
80	8	40	2	516.06	537.94	0.96
80	8	40	3	597.63	560.58	1.07
100	2	40	1	254.76	263.48	0.97
100	2	40	2	285.66	270.81	1.05
100	2	40	3	289.20	278.15	1.04
100	4	40	1	375.09	395.56	0.95
100	4	40	2	418.50	408.19	1.03
100	4	40	3	438.66	420.86	1.04
100	8	40	2	645.08	672.43	0.96
100	8	40	3	747.04	700.73	1.07
120	2	40	1	305.71	316.18	0.97
120	4	40	3	526.40	505.03	1.04
120	6	40	1	586.61	638.79	0.92
120	6	40	2	642.57	662.46	0.97
120	6	40	3	701.57	686.25	1.02
120	8	40	1	733.28	773.21	0.95
120	8	40	2	778.80	806.91	0.97
120	8	40	3	896.44	840.87	1.07
60	2	60	1	151.63	153.92	0.99
60	2	60	2	170.14	156.80	1.09
60	2	60	3	171.13	159.68	1.07
60	6	60	3	321.11	312.73	1.03
60	8	60	1	331.16	351.64	0.94
60	8	60	2	365.70	361.90	1.01
60	8	60	3	392.65	372.20	1.05
80	4	60	2	326.59	308.36	1.06
80	4	60	3	333.43	314.85	1.06

80	6	60	1	367.36	397.21	0.92
80	6	60	2	410.29	407.08	1.01
80	6	60	3	428.15	416.98	1.03
80	8	60	1	441.55	468.85	0.94
80	8	60	2	487.60	482.53	1.01
80	8	60	3	523.54	496.27	1.05
100	2	60	1	252.72	256.54	0.99
100	2	60	2	283.57	261.33	1.09
100	2	60	3	285.22	266.13	1.07
100	4	60	1	364.28	377.36	0.97
100	4	60	2	408.23	385.45	1.06
100	4	60	3	416.79	393.56	1.06
100	6	60	1	459.63	496.51	0.93
100	8	60	1	551.94	586.07	0.94
100	8	60	2	609.50	603.16	1.01
100	8	60	3	654.42	620.34	1.05
120	2	60	1	303.27	307.85	0.99
120	4	60	3	500.15	472.27	1.06
120	6	60	1	551.56	595.82	0.93
120	6	60	2	615.44	610.62	1.01
120	6	60	3	642.23	625.47	1.03
120	8	60	1	662.32	703.28	0.94
120	8	60	2	731.40	723.79	1.01
120	8	60	3	785.31	744.40	1.05
60	2	80	1	157.01	151.90	1.03
60	2	80	2	169.10	154.03	1.10
60	2	80	3	169.70	156.17	1.09
60	4	80	1	216.50	221.25	0.98
60	6	80	3	309.63	298.83	1.04
60	8	80	1	318.40	336.13	0.95
60	8	80	2	355.28	343.50	1.03
60	8	80	3	370.98	350.90	1.06
80	2	80	1	200.74	202.53	0.99
80	2	80	2	225.47	205.38	1.10
80	2	80	3	226.26	208.23	1.09
80	4	80	1	288.66	295.00	0.98
80	6	80	3	412.85	398.44	1.04
80	8	80	1	424.53	448.18	0.95
80	8	80	2	473.71	458.00	1.03
80	8	80	3	494.64	467.87	1.06
100	2	80	1	250.92	253.16	0.99
100	2	80	2	281.84	256.72	1.10
100	2	80	3	282.83	260.29	1.09
100	4	80	1	360.83	368.75	0.98
100	8	80	1	530.66	560.22	0.95
100	8	80	2	592.14	572.51	1.03
100	8	80	3	618.30	584.83	1.06
120	2	80	1	301.11	303.79	0.99
120	2	80	2	338.20	308.07	1.10

120	2	80	3	339.39	312.34	1.09
120	6	80	2	603.66	586.87	1.03
120	6	80	3	619.27	597.66	1.04
120	8	80	1	636.79	672.26	0.95
120	8	80	2	710.57	687.01	1.03
120	8	80	3	739.88	701.80	1.05
					Ortalama (ANSYS/GP)	1.00
					Std Sapma	0.06
					R	0.98
					Ortalama Mutlak Hata	0.06

Elde edilen açık formül üç farklı geometri için bazı kırılma parametrelerini kullanarak GŞÇ'ni direk olarak hesaplayabilmektedir. Bu parametreler:

$$GŞÇ = f(\sigma, a, w, Tip) \quad (11)$$

Burada, σ uygulanan gerilmeyi, a çatlak boyunu, w plaka genişliğini, Tip ise geometrinin tipini göstermektedir. Şekil 3'de gösterildiği üzere, Tip 1 merkezi çatlak için, Tip 2 çift kenar çatlak için, Tip 3 ise tek kenar çatlak için kullanılmıştır ve aşağıdaki formül bulunmuştur:

$$GŞÇ = \left(\frac{G1C11}{((d(1)*G1C11)-G1C6)+d(1)} + \frac{d(3)-d(3)/(G2C13/d(1))}{d(3)} \right) * \left(\frac{d(0)}{((d(3)-G3C11)/(G3C11/d(1))+d(2))} \right) \quad (12)$$

kullanılan katsayılar $G1C11 = -79.7$; $G1C16 = -40.7$; $G2C13 = 20.3$; $G3C11 = -65.8$

Bu formüllerdeki d katsayıları aşağıdaki parametrelere karşılık gelmektedir:

$$d(0) = \sigma$$

$$d(1) = a$$

$$d(2) = w$$

$$d(3) = \text{Çatlak tipi}$$

Bu değerler yerine konarak formül son hali ile aşağıdaki gibidir:

$$GŞÇ = \left(\frac{79.7}{79.7d_1 - 40.7} + a \right) \left(w + TYPE - \frac{a*w}{20.3} \right) \left(\frac{\sigma}{w + \frac{a(TYPE + 65.8)}{65.8}} \right) \quad (13)$$

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmanın temel amacı, kırılma mekaniği problemlerinde önemli bir parametre olan GŞÇ değerinin, kullanım alanı yaygın geometriler için elde edilmesinde GP kullanmaktır. Denklem (13) bu amaçla ortaya konulmuştur. Önerilen Denklem (13)'in GŞÇ hesabında kullanımının iki avantajı bulunmaktadır: Birincisi sayısal yöntemlere nazaran daha kısa sürede sonuç vermesi ve ikincisi de analitik sonuçlardan daha gerçekçi sonuçlar vermesi. Aynı zamanda Denklem (13) kullanılarak "geometrinin modellenmesi" gibi zaman alıcı bir aşamaya gerek kalmaksızın GŞÇ değerlerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Koza, J., "Genetic Programming: On the Programming of Computers by means of Natural Selection", The MIT Press, USA-1992
2. Koza, J., "Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs", MIT Press, Cambridge, MA, USA- 1994
3. Broek D., "Elementary Engineering Fracture Mechanics", Kluwer Academic Publishers Group - 1986
4. Ewalds, H. L., Wanhill, R.J.H., "Fracture Mechanics", Edward Arnold Pub., London-1986
5. Fenner R.T., "Engineering Elasticity Application of Numerical and Analytical Techniques", John Wiley and Sons, New York - 1986
6. Barsoum RS., "Application of quadratic isoparametric finite elements in linear fracture mechanics", International Journal of Fracture, 10:603-5, 1974
7. Anderson T.L., "Fracture Mechanics Fundamentals and Applications", CRC Pres, London - 1986
8. Gustavo V. Guinea, Jaime Planas, Manuel Elices, K_I evaluation by the displacement extrapolation technique, Engineering Fracture Mechanics 66(2000), 243-255.

