

**ENİNE DİKİŞLİ KAYNAK BAĞLANTILARININ SONLU ELEMANLAR METODU
İLE GERİLME ANALİZİ**

Sedat ARI

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Nisan 2008


KABUL:

Sedat ARI tarafından hazırlanan "ENİNE DİKİŞLİ KAYNAK BAĞLANTILARININ SONLU ELEMENLAR METODU İLE GERİLME ANALİZİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 15/04/2008

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Halil ÖZER (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih ALTAN (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Serpil KARAKUŞ (ZKÜ)



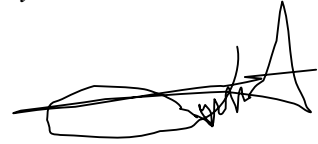
ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2008



Prof. Dr. Mustafa SÖZEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Sedat ARI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENİNE DİKİŞLİ KAYNAK BAĞLANTILARININ SONLU ELEMANLAR METODU İLE GERİLME ANALİZİ

Sedat ARI

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Halil ÖZER

Nisan 2008, 81 sayfa

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte analitik yolla çözülemeyen karmaşık mühendislik problemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenip çözülmesi oldukça yaygın hale gelmiştir.

Bu çalışmada aralarında yatay ve düşey yönde 2 mm'lik boşluk bırakılarak kaynakla birleştirilmiş parçaların kaynak bölgesinde doğan gerilmelerin dağılımı sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir.

Birbirine düşey yönde boşluk bırakılarak kaynak yapılan parçalarda kaynak kökünde kesme etkisi önem kazanmakta; yatay yönde boşluk bırakılarak kaynak yapılan parçalarda ise kaynak kökünde yırtılma etkisi önem kazanmaktadır.

ÖZET (devam ediyor)

Kaynak bölgesinde meydana gelen gerilmeler ANSYS 9.0 paket programında analiz edilmiş, kaynak ayakları ve kaynak boğazı boyunca gerilme bileşenlerinin ve eşdeğer gerilmelerin dağılımının grafikleri MATLAB programı yardımıyla çizilmiştir.

Elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla modelleme yapılan geometride deney numuneleri hazırlanmış ve çekme deneyi yapılarak teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kaynak Bağlantıları, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Gerilme Analizi

Bilim Kodu:

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

STRESS ANALYSIS IN THE TRANSVERSE FILLET JOINTS WITH FINITE ELEMENT METHOD

Sedat ARI

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Halil ÖZER

April 2008, 81 pages

With the improvements of the computer technologies, modeling and solving the complex engineering problems which can not be solved by the analytical methods, with finite element method is became widespread.

In this study the materials which have 2 mm spaces in horizontal and vertical directions are transverse fillet welded. The stress distributions occurred in the welding region is analyzed by the finite element method.

The type of transverse fillet which has vertical space between materials is subjected to sliding action at root of the weld and the other type which has horizontal space between materials is subjected to tearing action at the root.

ABSTRACT (continued)

The stress distributions occurred at the weld region is analyzed by the software ANSYS 9.0. The graphics of the stress components' and equivalent stress distribution at the weld legs and throat is derived by the help of the software MATLAB.

To compare the results; samples which have same dimensions with the model analyzed in the ANSYS was prepared, pulling experiment was done and theoretical results and experimental results were compared.

Key Words: Welded Joints, Finite Element Method, Stress Analysis

Science Code:

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Halil Özer'e en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana her türlü desteği veren aileme de teşekkürü borç bilirim.

Sedat ARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 LİTERATÜR TARAMASI.....	1
1.2 AMAÇ VE KAPSAM.....	4
BÖLÜM 2 KAYNAK İŞLEMİ.....	7
2.1 KAYNAK İŞLEMİNİN TANIMI.....	7
2.2 KAYNAK İÇİN GEREKLİ KOŞULLAR.....	8
2.3 ELEKTRİK ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ.....	9
BÖLÜM 3 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	13
3.1 GİRİŞ	13
3.2 8 DÜĞÜMLÜ DÖRTGEN ELEMAN	14
3.2.1 8 Düğümlü dörtgen İzoparametrik elemanın Şekil fonksiyonu.....	14
3.2.2 Eleman Direngelik Matrisi	20
3.3 GENEL GERİLME ZORLANMA BAĞINTILARI.....	22
3.3.1 Düzlem Gerilme.....	23
3.3.2 Düzlem Zorlanma	24
3.4 EŞDEĞER GERİLMELERİN ELDE EDİLMESİ.....	24

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 PROBLEMİN TANITIMI	27
BÖLÜM 5 ÇÖZÜM	31
5.1 PROBLEMİN TEORİK ÇÖZÜMÜ	31
5.1.1 Kesme Etkisinde Olan (K-Tipi) Bağlantı.....	31
5.1.2 Yırtılma Etkisinde Olan (Y-Tipi) Bağlantı	34
5.2 PROBLEMİN SONLU ELEMANLAR ÇÖZÜMÜ	37
5.2.1 BA (Yatay) Kaynak Ayağı Boyunca Gerilme Değişimleri.....	40
5.2.2 BC (Düşey) Kaynak Ayağı Boyunca Gerilme Değişimleri	42
5.2.3 BD Kaynak Boğazı Boyunca Gerilme Değişimleri	45
5.2.4 Sonuçların Açıklamaları.....	53
5.3 DENEYSEL ÇALIŞMA	58
BÖLÜM 6 YORUM.....	67
KAYNAKLAR	69
EK AÇIKLAMALAR A DENEY NUMUNELERİNİN DENEY SONUCU ELDE EDİLEN MUKAVEMET DATALARI	73
EK AÇIKLAMALAR B DENEY NUMUNELERİNİN DENEY SONUCU ELDE EDİLEN AKMA-KOPMA EĞRİLERİ	77
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Örtülü elektrot ile ark kaynağında elektron ve iyon hareketlerinin şematik gösterimi.	10
2.2 Örtülü elektrot kaynağında kaynak bölgesinin şematik gösterimi.	10
4.1 Kaynak kökü kesme etkisine maruz olan enine dikişli kaynak bağlantısı (K tipi).	27
4.2 Kaynak kökü yırtılma etkisine maruz olan enine dikişli kaynak bağlantısı (Y tipi).	28
4.3 Problemin sınır şartları ve eksen takımı.	28
4.4 K tipi ve Y tipi bağlantılar için kaynak ayakları BA, BC ve kaynak boğazı BD'nin şematik gösterimi.	29
4.5 Kaynak bölgesinin gösterimi.	30
5.1 K tipi bağlantıda kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment.	31
5.2 Y tipi bağlantıda kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment.	34
5.3 Kaynak kökü kesme etkisine maruz bağlantının (K tipi) sonlu elemanlar ağı gösterimi. ...	37
5.4 Kaynak kökü yırtılma etkisine maruz bağlantının (Y tipi) sonlu elemanlar ağı gösterimi. ...	38
5.5 Modelde meydana gelen deformasyon.	39
5.6 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	40
5.7 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	40
5.8 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	41
5.9 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	41
5.10 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	42
5.11 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	42
5.12 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	43
5.13 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	43
5.14 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	44
5.15 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	44
5.16 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.	45
5.17 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.	45
5.18 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.	46
5.19 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak ayağı boyunca değişimi.	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.20 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.....	47
5.21 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	47
5.22 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.....	48
5.23 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.	48
5.24 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.....	49
5.25 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	49
5.26 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.....	50
5.27 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.	50
5.28 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.....	51
5.29 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.	51
5.30 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.....	52
5.31 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.	52
5.32 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.....	53
5.33 Kaynaklı deney numuneleri.	59
5.34 Çekme deney cihazı.....	61
5.35 Deney sonucu kopan malzemeler.....	62
B.1 Deney numunelerinin deney sonucu elde edilen akma-kopma eğrileri	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 BA kaynak ayağı boyunca meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.	58
5.2 BC kaynak ayağı boyunca meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.	58
5.3. BD kaynak boğazı boyunca maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.	58
A.1 Deney malzemelerinin çekme deneyi sonucu elde edilen akma ve çekme deney dataları.	75

SİMGELER DİZİNİ

D	:	Elastisite matrisi
E	:	Elastisite modülü
G	:	Kayma modülü
N	:	Şekil fonksiyon vektörü
J	:	Jakobien matrisi
q	:	Eleman yerdeğiştirme vektörü
k^e	:	Eleman direngenlik matrisi
u,v,w	:	x,y,z doğrultularındaki yerdeğiştirme bileşenleri
U,V	:	Yerdeğiştirme matrisleri
U_{dist}	:	Distorsiyon enerjisi
δ	:	Açıklık
ε	:	Zorlama vektörü
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$:	x, y, z doğrultularındaki birim uzamalar
γ	:	Kayma açısı
ζ, η	:	Doğal koordinatlar
σ_E	:	Von Mises eşdeğer gerilmesi
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$:	x, y, z doğrultularındaki normal gerilmeler
σ_0	:	Sisteme uygulanan gerilme
σ_1	:	Maksimum asal gerilme
ν	:	Poisson oranı
$\tau_{xy}, \tau_{zy}, \tau_{zy}$:	Kayma gerilmeleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sonlu elemanlar yönteminin ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle analitik yöntemlerle çözülemeyen, kompleks geometriye sahip mühendislik problemlerinin başarıyla çözülebilmesi mümkün hale gelmiştir. Sonlu Elemanlar metodunda problem geometrisi birbirlerine düğüm noktalarından bağlı birçok sonlu elemana bölünerek çözüm bölgesi eleman ağına dönüştürülür.

Kaynak ile birleştirilmiş levhaların gerilme analizinde de sonlu elemanlar yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.1 LİTERATÜR TARAMASI

Lie ve Lan (1997) birbirinden eksenel yönde kaçık olarak kaynakla birleştirilmiş malzemeleri değişik sınır şartları uygulayarak incelemiştir. Çentik gerilim konsantrasyon faktörlerini hesaplayarak malzemelerin yorulma ömürlerini tespit etmişlerdir. Kaynak işleminde eksenel kaçıklığın yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. Birbirinden eksenel yönde kaçık olarak kaynakla birleştirilen yapılarda, yorulma dayanımının eksenel kaçıklığa önemli oranda bağlı olduğunu; bu kaçıklığın kaynak köklerinde bulunan çatlak uzunluğundan daha önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Dong (2001) kaynak yöntemiyle birleştirilmiş parçalarda yapısal gerilme tanımlarını ve formülasyonlarını incelemiştir. Bu formülasyonların yorulma analizine sayısal uygulamasını yapmıştır. Değişik tipte kaynaklı birleştirmeleri sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmiştir.

Xu ve Deng (2004) ince levhaların birleştirilmesinde kullanılan spot (nokta) kaynak yöntemi ile birleştirilmiş kaynaklı yapıları sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Kaynaklı yapıları değişik ağ (mesh) yoğunluklarında modelleyerek incelemişler ve 3 boyutlu sonlu

elemanlar modeline uyarlamışlardır. Değişik yükleme şartları ve birleştirme parametrelerini incelemişlerdir.

Teng ve vd. (2001) iç köşe kaynağı ile (T-joint) birleştirilmiş yapıların kaynak bölgesi civarında, kaynak bölgesinin hızlı soğumasından dolayı meydana gelen artık çekme gerilmelerini ve açılmal distorsiyonları sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Ayrıca flanş kalınlığının, kaynak nüfuziyet derinliğinin ve iş parçasının hareketinin kısıtlı olmasının veya olmamasının artık gerilmeler ve distorsiyonlara olan etkilerini analiz etmişler, sonuçları grafiksel olarak vermişlerdir. Kaynak ayağı civarında yüksek çekme gerilmelerinin oluştuğunu ve kaynak bölgesinden uzaklaştıkça gerilmelerin sifira gittiğini tespit etmişlerdir. Kaynak nüfuziyet derinliğinin ve ısı girdisinin artmasıyla kaynak bölgesi civarındaki artık çekme gerilmelerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Flanş kalınlığının artmasıyla kaynak bölgesi civarındaki artık çekme gerilmelerinin arttığını tespit etmişlerdir. İş parçalarının hareket kısıtlılığının ortadan kalkması halinde artık çekme gerilmelerinin ve açılmal distorsiyonların kaynak bölgesi civarında azaldığını gözlemlemişlerdir.

Doerk vd. (2003) kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen yapısal gerilmeleri hesaplamada kullanılan değişik yöntemleri incelemişler ve bu yöntemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Deng vd. (2007) kaynakla birleştirilen parçaların kaynak bölgelerinde meydana gelen kaynak deformasyonunu sayısal metodla analiz etmişler, sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sayısal metodla kaynak deformasyonunu tahmin edebilmek için 3 boyutlu termal elastik plastik sonlu elemanlar modelini kullanmışlardır. Sonlu elemanlar sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak deformasyonuna flanş kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Termal elastik plastik sonlu elemanlar modelinin kaynak deformasyonunun tahmini için efektif bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Açılmal deformasyona neden olan en önemli etkenin kalınlık boyunca olan sıcaklık gradienti olduğu gözlemlemişlerdir.

Teng vd. (2002) alın kaynaklı birleştirmelerde kaynak geometrisi parametrelerinin (kaynak dikişi yarıçapı, kaynak ağız açısı, levha kalınlığı vb.) ve kaynak işlemi neticesinde meydana gelen artık gerilmelerin kaynak bölgesinde çatlak başlangıcına ve kaynak yorulmasına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında sonlu elemanlar çözümü ile deneysel çalışma sonuçlarını incelemişlerdir. Kaynak işlemi dolayısıyla lokal olarak meydana gelen ısınma ve

hızlı soğumanın kaynak bölgesinde artık çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olduğunu tespit etmişler ve bu artık gerilmelerin kaynaklı yapının yorulma dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Karakaş ve Gülsöz, kaynaklı birleştirmelerin statik ve yorulma dayanımına etki eden faktörleri incelemişlerdir. Çentik etkisi, kaynak dikişinin etkisi, kaynaklı birleştirme şeklinin etkisi, kaynak hatalarının etkileri, çelik cinsinin etkisi, iç gerilmelerin etkisi ve gerilim giderilmesinin etkilerini incelemişlerdir.

Minguez ve Vogvell (2003) açık ve kapalı formda kaynakla birleştirilmiş malzemelerde meydana gelen gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemiyle ve klasik hesap yöntemiyle incelemişler, bu iki farklı tip bağlantının karşılaştırmasını yapmışlardır. Kaynak bölgesinde meydana gelen kesme gerilmelerini incelemişlerdir. Kapalı kaynak formulu yapının daha mukavemetli olduğu sonucuna varmışlardır. Kapalı kaynak formunun kesme gerilmesini açık kaynaklı forma oranla yarı yarıya düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Diğer bir çalışmada, tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş iş parçalarının kaynak metali, ısının tesiri altında kalan bölge ve esas metal bölgelerinin mekanik özellikleri düz çekme numuneleri hazırlanarak deneysel olarak incelenmiş, ANSYS yazılımında sonlu elemanlar çözümü yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Yavuz vd).

Meriç ve Okur (2000) rutil elektrotla birleştirilmiş C22 çelik malzemesinin kaynak bölgesinin tokluğunu incelemişler ve uygunsuzluk (mismatch) faktörünü belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında farklı çekme dayanımına sahip üç ayrı rutil elektrotla kaynak edilmiş C22 çelik sacdan alınan numuneleri incelemişlerdir. Malzemelerde yorulma sonucu oluşturulan çatlaklardan hareketle kaynak bölgelerinin direngenliklerini incelemişlerdir. Kaynak metali ve ısının tesiri altında bölgenin mekanik özelliklerini deneysel olarak ve sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmişlerdir, esas metal ile kaynak metali arasındaki uyumsuzluğu incelemişlerdir.

Çelik vd. AISI 304 paslanmaz çelik ile St37 ferritik çeliğin TIG kaynak yöntemi ile FOX A7-A östenitik elektrot kullanılarak birleştirilmesi ile elde edilen kaynaklı malzemelerin kaynak bölgesinde meydana gelen gerilme dağılımlarını sonlu elemanlar metodu ile ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kaynak bölgesinin, iki çeliğin çekme

mukavemetleri arasında bir değerde kırıldığını ve en yüksek sertlik değerinin kaynak bölgesinde meydana geldiğini saptamışlardır.

Uyulgan vd. 17Mn4 kazan çeliği ve AISI 304 paslanmaz çeliğin ER309L östenitik kaynak elektrodu ile birleştirilmesi sonucu elde edilen kaynaklı yapının kaynak bölgesini sonlu elemanlar metodu ile ve deneysel olarak incelemiştir. Plastik deformasyonun en çok ısının tesiri altında kalan bölgelerde engellendiğini ve kaynağın ortasının kırılma tokluğu açısından en kritik bölge olduğunu saptamışlardır.

Enine dikişli kaynak bağlantılarında kaynak bölgesinde meydana gelen gerilmelerin dağılımını veren, elastisite teorisini kullanarak elde edilmiş kapalı-form bir analitik çözüm bulunmamaktadır. Kapalı form çözümün gerçekleştirilememiş olmasının nedeni elastisite teorisi açısından bağlantının kompleks bir geometriye sahip oluşudur. Daha önceki çalışmalarda çift bindirme enine dikişli köşe kaynak bağlantısında kaynak bölgesinde doğan gerilmelerin dağılımı deneysel olarak, fotoelastik yöntemle belirlenmiştir. Bu çalışmalarda gerilmelerin, kaynak ayakları ve kaynak boğazı boyunca dağılımın niteliğini gösteren eğriler elde edilmiş ancak sayısal değerler elde edilememiştir. Mühendislik uygulamalarında, bu tür bağlantıların tasarımında, kaba varsayımlara dayalı olarak çıkarılmış olan mukavemet formülleri kullanılmaktadır (Günay vd. 1997).

1.2 AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada, 180x25x3 boyutlarında iki adet levha, kaynak bölgesinde, levhalar arasında yatay ve düşey doğrultularda açıklık ($\delta=2\text{mm}$) bırakılarak kaynakla birleştirilmiş ve levha uçlarına, düzgün yayılı çekme yükü uygulanmıştır. Problemin sonlu eleman modeli kurulmuştur. Sonlu elemanlar çözümü ANSYS 9.0 paket programında gerçekleştirilmiştir. Deneysel inceleme yapılmıştır. Deneysel incelemede, ERDEMİR 3237 kalite çelik levhalar kullanılmış, kaynak işlemi ise, elektrik ark kaynağı ile yapılmıştır. Kaynakla birleştirilmiş numunelerin davranışı, çekme deney cihazında, kaynaklı yapılar çekmeye maruz bırakılarak incelenmiştir. Enine dikişli kaynak bağlantıları, kaynak kökünün kesme etkisine maruz kaldığı bağlantı tipi (K tipi), ve kaynak kökünün yırtılma etkisine maruz kaldığı bağlantı tipi (Y tipi) olmak üzere iki tip bağlantı problemi olarak ele alınmıştır. Kaynak ayakları ve kaynak

boğazı boyunca doğan σ_x , σ_y , τ_{xy} , σ_E (eşdeğer gerilme) gerilmeleri ile σ_1 asal gerilmeleri incelenmiştir.

Bağlantılar, düzlem gerilme problemi olarak incelenmiştir. Bağlantının düzlem gerilme problemi olarak ele alınması, kaynak dikiş uzunluğunun kısa olması ve malzemelerin kalınlığının diğer boyutlarına oranla küçük olması durumuna karşılık gelmektedir.

BÖLÜM 2

KAYNAK İŞLEMİ

2.1 KAYNAK İŞLEMİNİN TANIMI

Kaynak; ısı basınç veya her ikisini birden kullanarak bir ilave kaynak malzemesi katarak veya katmadan esas malzemeyi birleştirmek veya esas malzemenin üzerine bir tabaka kaplamaktır. Kaynak esnasında kullanılan pasta, toz veya gaz gibi yardımcı malzeme de işleme kolaylık sağlar. İki malzeme arasında oluşan bağ, birleştirilen ana malzeme ile ek malzeme arasındaki kohezyon kuvvetlerine dayanır (Anık S ve Anık S E 1978).

Kaynak mikroskobik olarak da şöyle tanımlanabilir: Kaynak, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerindeki atomların karşılıklı olarak birbirlerinin çekme bölgelerine getirilmesidir. Sıvı fazdaki bir malzemenin atomları arasında hemen hemen hiç çekim kuvveti yoktur ve dolayısıyla sıvı malzemenin atomları tamamen hareketlidir. Katı halde ise malzemenin atomları arasında bir çekim kuvveti vardır. Atomlar bu çekim kuvvetlerinin etkisiyle birbirlerine göre belirli bir uzaklıkta dengede bulunurlar ve bu sayede katı bir kütleyi oluştururlar. Kaynak işleminde atomlar birbirlerine yaklaştırılır ve böylece atomlar karşılıklı olarak birbirlerini çekmeye başlarlar ve kaynak işlemi, yani birleştirme gerçekleşmiş olur (Aydın 2001).

Kaynak gayesine göre birleştirme ve doldurma kaynağı olarak ikiye ayrılır. İki veya daha fazla parçayı çözülmüş bir bütün haline getirmek üzere kaynak yapmaya birleştirme kaynağı denir. Doldurma kaynağı ise bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütme, ayrıca korozyona ve aşırı tesirlere karşı korumak maksadı ile üzerine sınırlı bir alan dâhilinde malzeme kaynak etmektir. Doldurma kaynağı, aşınmaya karşı zırlama doldurması, korozif etkilere karşı kaplama doldurması ve tampon tabaka doldurması gibi kısımlara ayrılır. Tatbikatta kaynak, eritme (ergitme) ve basınç (pres) kaynağı olarak ikiye ayrılır. Malzemeyi yalnız sıcaklığın tesiri ile bölgesel olarak (sınırlandırılmış) bir kısmını eritip bir ilave metal katarak veya katmadan birleştirmeye eritme kaynağı denir (Elektrik ark

kaynağı, gaz kaynağı). Malzemeyi genellikle ilave metal katmadan basınç altında bölgesel olarak (sınırlandırılmış bir kısmını) ısıtarak birleştirmeye basınç kaynağı denir (Ultrasonik kaynak, demirci kaynağı).

Kaynak yapılış usulü bakımından ise dörde ayrılır:

1. El Kaynağı: Kaynak, yalnız el ile sevk edilen bir kaynak aleti ile yapılır.
2. Yarı (kısmen) mekanize kaynak: Kaynak aleti, el yerine kısmen mekanize edilmiş bir vasıta ile sevk edilir.
3. Tam mekanize kaynak: Kaynak aleti el yerine tamamen mekanize edilmiş bir makine ile sevk edilir.
4. Otomatik kaynak: Gerek kaynak işlemi gerekse iş parçasının değiştirilmesi gibi bütün işlemler tam olarak mekanize edilmiştir (Anık S ve Anık S E 1978).

2.2 KAYNAK İÇİN GEREKLİ KOŞULLAR

İyi bir kaynak dikişi elde etmek için gerekli koşullar 4 ana başlık altında özetlenebilir. Bunlar:

1. Birleştirmeyi gerçekteştirmek için enerji sağlanmalıdır. (Isı, basınç veya her ikisi)
2. Birleşme yüzeylerindeki kir ve pasların temizlenmesi gerekir.
3. Kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması gereklidir.
4. Kaynak metalurjisinin kontrolü gereklidir.

İdeal kaynakta, kaynak dolgusu ve iş parçalarının malzeme özelliklerinin aynı olması yani sürekliliğin tam olması istenir. Pratik olarak kaynak işleminde sürekliliği tam olarak sağlamak mümkün değildir. Ancak uygun kaynak yöntemleri ile yeterli derecede süreklilik sağlanabilmektedir. Malzeme ve birleştirme tipine göre uygun kaynak yöntemi seğıilmelidir. Her kaynak yöntemi ile aynı sonucu almak mümkün değildir. Eğer dolgu metali kullanılıyor ise, sürekliliğin sağlanabilmesi için dolgu malzemesi ile iş parçasının malzemeleri aynı olmalı ve kaynak metalurjisi kontrol altında tutulmalıdır. Örneğin yüksek alaşımlı çeliklerde kaynak sonrası soğuma hızı kontrol altında tutulmalı ve gerek görülürse ön tavlama yapılmalıdır.

Ergitme kaynağında birleşme için ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Isı enerjisi değişik şekillerde sağlanabilir. Bunlar:

1. Alev
2. Elektrik arkı
3. Elektrik akımına karşı gösterilen elektrik direnci
4. Radian enerji
5. Mekanik enerjidir.

Basınç kaynağı gibi baz kaynak yöntemlerinde basınç enerjisi yardımı ile malzeme eritilmeden birleşme sağlanır. Bu tip kaynaklarda enerji, basınç + ısı olarak verilebildiği gibi yalnız basınçta kullanılabilir. Yukarıda adı geçen ergitme ve erime kelimeleri kaynak tekniğinde eş anlamlı değildir. Ergitme eriyerek birleşmeyi ifade eder ancak her eriyen malzemede birleşme söz konusu olmaz (Aydın 2001).

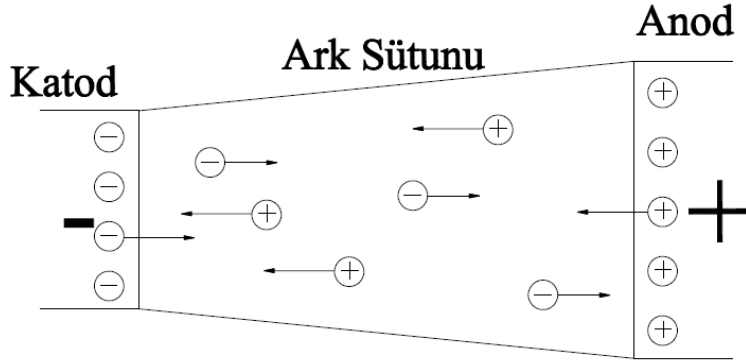
2.3 ELEKTRİK ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemlerinden biri Elektrik ark kaynağıdır. Kaynak işlemi için gerekli ısı enerjisi elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı aracılığı ile sağlanan ergitme kaynağı türüdür. Elektrik arkı kızgın bir katottan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde meydana gelir. Bu bombardıman, çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebebiyet verdiği için, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi sağlanmaktadır. Böylece elektrik enerjisinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Toplam enerjinin 85%'i ısı ve 15%'i ışık enerjisine dönüşmektedir (Anık S ve Anık S E 1978).

Bir elektrik arkında artı kutba anod, eksi kutba katod adı verilir. Anod ile katod arasında uygulanan gerilim sonucu ortaya çıkan elektrik alanı tesiri ile elektronlar (-) kutuptan (+) kutba doğru, iyonlar (+) kutuptan (-) kutba doğru hareket ederler (Şekil 2.1).

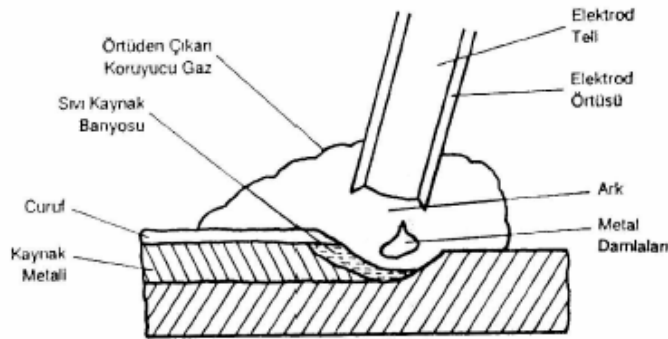
Metaller düşük elektriksel dirence sahiptir ve iyi elektrik iletkenidirler. Buna karşılık hava kötü bir elektriksel iletkenidir. Bunun için elektrik akımı havadan veya gazlardan ancak çok kısa bir yol boyunca geçebilir. Hava veya gazların kötü elektrik iletkenlikleri dolayısıyla arkın tutuşturulması için saniyenin çok kısa bir mertebesinde her iki kutbun birbirine değdirilip kısa

devre yapıldıktan sonra kutuplar ayrılarak ark tutuşturulur. Önce bir elektrik akımı geçerse ark yolunun geçirgenliği düzelir. Böylece akım devamlı surette akabilir.



Şekil 2.1 Örtülü elektrot ile ark kaynağında elektron ve iyon hareketlerinin şematik gösterimi.

Eriyen elektrot ile yapılan metal ark kaynağında ark kaynak elektrotu ile iş parçası arasında yanar ve elektrodun ucu iş parçasından fazla ısınır. Neticede elektrodun ucu erir ve parçanın belirli bir kısmı da bu erimeye katılır. Böylece kaynak banyosu meydana gelir ve eriyen elektrot malzemesi buraya damlalar halinde geçer. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesinin şematik gösterimini Şekil 2.2’ de görebiliriz. Ayrıca elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımıyla, kaynak dikişini alaşımlandırarak istenen özelliklerde kaynak bağlantısı elde edilebilmektedir.



Şekil 2.2 Örtülü elektrot kaynağında kaynak bölgesinin şematik gösterimi.

Örtülü elektrod ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir. Avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Örtülü elektrod ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir.
2. Elektrod ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
3. Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
4. Kaynak makinesinin güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir.
5. Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilir.
6. Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrod türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

Örtülü elektrod ark kaynağının dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

1. Örtülü elektrod ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrodlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrod tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
2. Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan curufu temizlemek gerekir.

BÖLÜM 3

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

3.1 GİRİŞ

Mühendislik problemlerine analitik çözüm uygulanması geometrinin, yüklemenin ve sınır koşullarının basit olduğu durumlarda mümkündür. Aksi halde sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntem uygulamak kaçınılmaz olmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde problem diferansiyel denklemlerle veya integral ifadelerle tanımlanır.

Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method=FEM) karmaşık mühendislik problemlerinin yaklaşık sayısal yöntemlerle çözümüne yarayan yöntemdir. Bu yöntemde sürekli ortam, davranışı sonlu sayıda parametre ile belirlenebilen sonlu sayıda parçalara (elemanlara) bölünür ve tüm sistem elemanların toplamı olarak düşünülür. Sonlu parçalar üzerinde yapılan hesaplamalar yaklaşık sonuçla tüm sisteme genişletilir. Sonlu elemanlar metodunun önemli özelliği tüm problemi temsil etmek üzere elemanları bir araya koymadan önce her bir elemanın formüle edilebilmesidir. Eğer bir gerilme analizi problemi ile uğraşıyorsak her bir elemanın kuvvet-yer değiştirme veya direngenlik karakteristiklerini bulup tüm yapının direngenliğini bulmak için elemanlar toplanır. Böylece kompleks bir problem oldukça basitleştirilmiş bir seri probleme dönüştürülür. Bu yöntemde elemanlar birbirlerine düğüm noktası (node) adı verilen noktalarla bağlanır. Elemanların birbirine bağlanmış haline sonlu elemanlar yapısı denir ve elemanların değişik biçimlerde düzenlenmesiyle oluşan yapıya ağ (mesh) adı verilir.

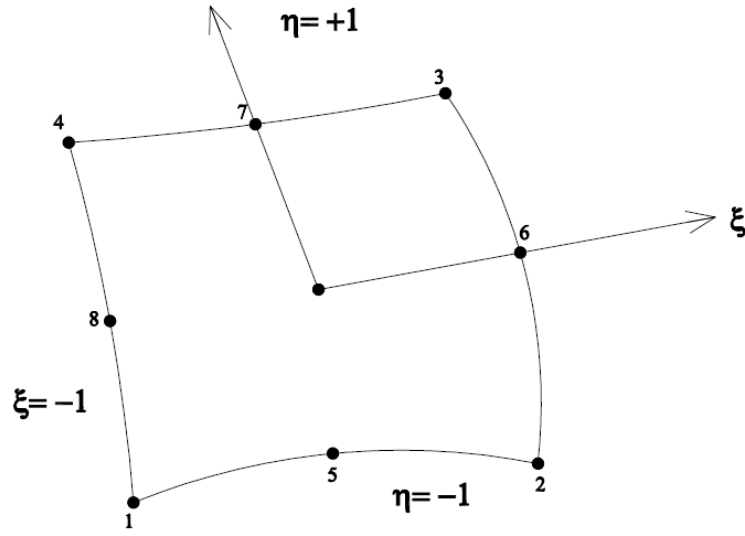
Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak 1950'li yıllarda kompleks savaş uçağı gövdelerinde oluşan gerilmeleri incelemek için geliştirilmiş ve daha sonra birçok mühendislik alanında uygulanmaya başlanmıştır.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile yapı içerisindeki eleman sayısı çok büyük olsa bile sonlu problemler kolayca çözülebilmektedir. Böylece sonsuz bilinmeyenli problemler sonlu

eleman bölme işlemiyle sonlu sayıda bilinmeyenli probleme indirgenir. Bu çalışmada sonlu eleman olarak 8 düğümlü dörtgen elemanlar kullanılmıştır.

3.2 8 DÜĞÜMLÜ DÖRTGEN ELEMAN

Bu bölümde sonlu eleman modelinde kullanılan 8 düğümlü dörtgen elemana ait şekil fonksiyonları, yer değiştirme bileşenleri, elastisite matrisi ve eleman dirençlik matrisi elde edilmiştir. Düzlem gerilme ve zorlanma haline ait bağıntılar elde edilmiş ve analizimiz için önemli bir parametre olan eşdeğer gerilme tanımlanmıştır (Özer 1996).



Şekil 3.1 Sekiz düğümlü dörtgen eleman.

3.2.1 8 Düğümlü dörtgen İzoparametrik elemanın Şekil fonksiyonu

$$N_1 = -\frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 + \xi + \eta)$$

$$N_2 = -\frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta)(1 - \xi + \eta)$$

$$N_3 = -\frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta)(1 - \xi - \eta)$$

$$N_4 = -\frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)(1 + \xi - \eta)$$

$$N_5 = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 - \eta)$$

$$\begin{aligned}
N_6 &= \frac{1}{2}(1 + \xi)(1 - \eta^2) \\
N_7 &= \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta) \\
N_8 &= \frac{1}{2}(1 - \xi)(1 - \eta^2)
\end{aligned} \tag{3.1}$$

şeklinde verilmiştir. Bu ifade çarpma işlemi yapıldıktan sonra,

$$\begin{aligned}
N_1 &= -\frac{1}{4}[1 - \eta\xi - \xi^2 - \eta^2 + \xi^2\eta + \xi\eta^2] \\
N_2 &= -\frac{1}{4}[1 - \xi^2 + \xi\eta - \eta^2 - \xi\eta^2 + \xi^2\eta] \\
N_3 &= -\frac{1}{4}[1 - \xi^2 - \eta\xi - \xi^2\eta - \eta^2 - \xi\eta^2] \\
N_4 &= -\frac{1}{4}[1 - \xi^2 - \xi^2\eta - \eta^2 + \xi\eta + \xi\eta^2] \\
N_5 &= \frac{1}{2}[1 - \eta - \xi^2 + \xi^2\eta] \\
N_6 &= \frac{1}{2}[1 - \eta^2 + \xi - \xi\eta^2] \\
N_7 &= \frac{1}{2}[1 - \xi^2 + \eta - \xi^2\eta] \\
N_8 &= \frac{1}{2}[1 - \xi - \eta^2 + \xi\eta^2]
\end{aligned} \tag{3.2}$$

şeklinde yazılabilir. $N_{[MD1]1}, N_2, N_3, \dots, N_8$ şekil fonksiyonu olsun.

$$N = [N_{[MD2]1111}, N_2, N_3, \dots, N_8] \tag{3.3}$$

şeklinde bir (1x8) vektörü olarak gösterilebilir. Şekil fonksiyonları vektörü \mathbf{N} 'de değişken ve sabitler ayrılırsa,

$$N = I/Q \tag{3.4}$$

Şeklinde yazılabilir. Burada

$$l = [\xi^{m_i}, \eta^{n_i}] \quad (3.5)$$

Şeklinde bir vektördür. (m_i, n_i) sırasıyla $[(0,0), (1,0), (0,1), (2,0), (1,1), (0,2), (2,1), (1,2)]$ olup değişkenler vektörü açık olarak yazılırsa,

$$l = [1 \quad \xi \quad \eta \quad \xi^2 \quad \xi\eta \quad \eta^2 \quad \xi^2\eta \quad \xi\eta^2] \quad (3.6)$$

dir. Sabitlerden oluşan Q kare matrisi (8x8) boyutunda olup,

$$Q = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & 0 & -2 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & -2 & 0 & -2 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 2 & 0 & -2 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

şeklinde elde edilir.

Yer değiştirme bileşenleri (u,v) şekil fonksiyonları yardımıyla;

$$\begin{aligned} u &= \sum_{i=1}^8 N_i u_i = NU \\ v &= \sum_{i=1}^8 N_i v_i = NV \end{aligned} \quad (3.8a)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$U = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_8] \quad (3.8b)$$

$$V = [v_1, v_2, v_3, \dots, v_8]^T \quad (3.8c)$$

dir.

İzoparametrik sonlu eleman formülasyonunda koordinatlarda benzer formda ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \sum_{i=1}^8 N_i x_i = \mathbf{NX} \\ \mathbf{y} &= \sum_{i=1}^8 N_i y_i = \mathbf{NY} \end{aligned} \quad (3.9a)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= [x_1, x_2, x_3, \dots, x_8]^T \\ \mathbf{Y} &= [y_1, y_2, y_3, \dots, y_8]^T \end{aligned} \quad (3.9b)$$

şekil fonksiyonları yerine Denklem 3.4'deki ifade Denklem 3.8 ve 3.9'da yazılırsa, yer değiştirme ve koordinatlar;

$$\mathbf{u} = \mathbf{lQU}$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{lQU}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{lQX}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{lQX} \quad (3.10)$$

şeklinde yazılır.

Herhangi bir f fonksiyonun ξ ve η 'ye göre türevleri $f = f(x, y)$, $x = x(\xi, \eta)$ ve $y = y(\xi, \eta)$ olduğu göz önüne alınarak, zincir hesabına göre,

$$\frac{\partial f}{\partial \xi} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \eta} = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial \eta} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem 3.11, matris formunda ifade edilirse,

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

dir. Burada J Jakobiyen operatörü olup,

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Denklem 3.15'te Jakobien operatörü elemanları, x ve y'nin ξ ve η 'ye göre türevlerinden oluşmaktadır. x ve y yerine Denklem 3.10'daki ifadeleri yazılırsa,

$$\begin{aligned} J_{12} &= \frac{\partial l}{\partial \xi} QX \\ J_{12} &= \frac{\partial l}{\partial \eta} QY \\ J_{21} &= \frac{\partial l}{\partial \eta} QX \\ J_{22} &= \frac{\partial l}{\partial \eta} QY \end{aligned} \quad (3.14)$$

olmaktadır. Q matrisi ve X, Y vektörleri ξ ve η 'ye bağlı olmadığından jakobiyen operatörünün elemanları denklem 3.14'te görüldüğü gibi yalnız değişkenlerden oluşan l vektörünün türevlerini alarak Q matrisini X ve Y vektörleri ile çarpmak yeterli olacaktır. Denklem 3.6 göz önüne alındığında l'nin ξ ve η 'ye göre türevleri;

$$\begin{aligned} \frac{\partial l}{\partial \xi} &= [0 \ 1 \ 0 \ 2\xi \ \eta \ 0 \ 2\xi\eta \ \eta^2] \\ \frac{\partial l}{\partial \eta} &= [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ \xi \ \eta \ \xi^2 \ 2\xi\eta] \end{aligned} \quad (3.15)$$

olur. Denklem 3.15'teki ifadeler Denklem 3.14'te yerine yazıldığında jakobien operatörünün elemanları bulunmuş olur.

Denklem 3.12'den;

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \xi} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

elde edilir.

Jakobien operatörünün tersi Denklem 3.13'den

$$J^{-1} = \frac{1}{dctj} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

olur. Denklem 3.16'da jakobiyen tersi yerine Denklem 3.17'deki ifadesi yazılır ve f fonksiyonu yerine yer değiştirme bileşenleri u ve v konursa,

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{1}{dctj} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

ve

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{1}{dctj} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

elde edilir.

3.2.2 Eleman Direngelik Matrisi

Zorlanma enerjisi ifadesi, düzlem eleman için;

$$u = \int_v \sigma^T \epsilon dV \quad (3.20)$$

veya

$$u = \sum_e t_e \int_e \frac{1}{2} \sigma^T \epsilon dA \quad (3.21)$$

şeklinde verilmiştir. Burada t_e , elemanın kalınlığıdır.

Zorlama – yer değiştirme bağıntısı;

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

dir.

Denklem 3.22’de türev ifadesi yerine Denklem 3.18 ve 3.19’da elde edilen ifadeler yazılırsa, zorlama vektörü

$$\epsilon = \frac{1}{DctJ} \begin{bmatrix} J_{22} \frac{\partial u}{\partial \xi} - J_{12} \frac{\partial v}{\partial \xi} \\ -J_{21} \frac{\partial u}{\partial \eta} + J_{11} \frac{\partial v}{\partial \eta} \\ -J_{21} \frac{\partial u}{\partial \xi} + J_{11} \frac{\partial u}{\partial \eta} + J_{22} \frac{\partial v}{\partial \xi} - J_{12} \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

elde edilir. Denklem 3.10’ dan

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial \xi} &= \frac{\partial l}{\partial \xi}(\mathbf{Qu}) \\
\frac{\partial u}{\partial \eta} &= \frac{\partial l}{\partial \eta}(\mathbf{Qu}) \\
\frac{\partial v}{\partial \xi} &= \frac{\partial l}{\partial \xi}(\mathbf{Qv}) \\
\frac{\partial v}{\partial \eta} &= \frac{\partial l}{\partial \eta}(\mathbf{Qv})
\end{aligned} \tag{3.24}$$

yazılır. $\frac{\partial l}{\partial \xi}$ ve $\frac{\partial l}{\partial \eta}$ türevleri Denklem 3.15’de verilmiştir.

Denklem 3.23’de, Denklem 3.24 ve Jakobien operatörünün elemanlarının Denklem 3.14’te verilen ifadeleri yerine yazılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa zorlama vektörü

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B}\mathbf{q} \tag{3.25}$$

şeklinde yazılabilir. Burada yer değiştirmeleri zorlamalara bağlayan \mathbf{B} (3x16) matrisi, doğal koordinatlar ξ ve η değişkeni ile elemanın düğüm noktalarının global koordinatları olan (x_i, y_i) sabitlerinden oluşmaktadır. Elemanın düğüm yer değiştirmeler vektörü;

$$\mathbf{q} = [\mathbf{u}_1, v_1, \mathbf{u}_2, v_2, \mathbf{u}_3, v_3, \dots, \mathbf{u}_8, v_8] \tag{3.26}$$

olup (16x1) boyutundadır. Gerilme vektörü hooke kanunundan veya

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\varepsilon} \tag{3.27}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{DB}\mathbf{q} \tag{3.28}$$

şeklinde yazılabilir. Burada D, (3x3) boyutunda malzeme matrisidir. Eğer problem bir düzlem gerilme problemi ise D yerine düzlem gerilme için verilen elastisite matrisi; düzlem zorlanma problemi ise, düzlem zorlanma için verilen elastisite matrisi konacaktır.

Denklem 3.21’deki zorlanma enerjisi ifadesinde $dA = dx dy = d\mathbf{ct}/d\xi d\eta$ ve Denklem 3.25 ve Denklem 3.28’de yerine yazılırsa;

$$u = \sum_{\epsilon} \frac{1}{2} q^T \left[t_{\epsilon} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 B^T D B \det J d\xi d\eta \right] q = \sum \frac{1}{2} q^T k^{\epsilon} q \quad (3.29)$$

olur. Burada;

$$k^{\epsilon} = t_{\epsilon} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 B^T D B \det J d\xi d\eta \quad (3.30)$$

elde edilir. Bunun da eleman dirençlilik matrisi k^{ϵ} , (16x6) boyutundadır. B ve $\det J$ büyüklükleri, ξ ve η nün fonksiyonudurlar. İntegral işlemi numerik olarak gerçekleştirilerek k^{ϵ} hesaplanır.

3.3 GENEL GERİLME ZORLANMA BAĞINTILARI

x, y, z doğrultularındaki yer değiştirmeler u, v, w olmak üzere, genelleştirilmiş Hook kanunu;

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \epsilon_y &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \epsilon_z &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E} \end{aligned} \quad (3.31)$$

şeklinde yazılabilir.

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = \frac{1 - 2\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (3.32)$$

Bu ifadeden D elastisite matrisi olmak üzere gerilme

$$\sigma = D \cdot \epsilon \quad (3.33)$$

şeklinde ifade edilebilir.

(3.31) no'lu eşitlikteki σ 'ları ϵ cinsinden ifade ettiğimizde;

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5-\nu \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

elastisite matrisini elde etmiş oluruz.

3.3.1 Düzlem Gerilme

Düzlem gerilme halinde

$$\sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = 0 \quad (3.35)$$

olmaktadır. Dolayısıyla;

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} \\ \epsilon_y &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} \\ \epsilon_z &= -\frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \end{aligned} \quad (3.36)$$

dir. Düzlem gerilmeyi matris formunda şu şekilde ifade edebiliriz:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{Bmatrix} \quad (3.37)$$

3.3.2 Düzlem Zorlanma

Düzlem zorlanma halinde

$$\begin{aligned}\varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} &= 0 \\ \gamma_{xz} = \frac{\tau_{zx}}{G} &= 0\end{aligned}\quad (3.38)$$

olmaktadır. Bu sınır şartlarından

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \nu(\sigma_x + \sigma_y) \\ \varepsilon_x &= \frac{1}{E}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + (\nu\sigma_x + \sigma_y))] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}[\sigma_y - \nu(\sigma_x + (\nu\sigma_x + \sigma_y))]\end{aligned}\quad (3.39)$$

eşitlikleri elde edilir.

Düzlem zorlanmayı matris formunda şu şekilde ifade edebiliriz:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0,5-\nu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix}\quad (3.40)$$

3.4 EŞDEĞER GERİLMELERİN ELDE EDİLMESİ

Eşdeğer gerilme, basit çekmede akma başlangıcındaki distorsiyon enerjisinin, ele alınan gerilme durumundaki distorsiyon enerjisine eşitlenmesiyle elde edilir. Basit çekme için distorsiyon enerjisi ifadesindeki akma gerilmesi yerine σ_E yazılıp, göz önüne alınan gerilme durumuna ait distorsiyon enerjisine eşitlendikten sonra elde edilen σ_E ifadesi eşdeğer gerilme olarak adlandırılır. Distorsiyon enerjisi;

$$U_{dist} = \frac{3}{4G} \tau_{oct}^2\quad (3.41)$$

şeklindedir ve burada:

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + G(\tau_{xy}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{yz}^2) \right]^{1/2} \quad (3.42)$$

şeklinde verilmiştir.

Basit çekmede akma noktasında distorsiyon enerjisi Denklem 3.41 ve 3.42'den;

$$U_{dist} = \frac{1}{6G} \sigma_y^2 = \frac{1}{6G} \sigma_E^2 \quad (3.43)$$

$$U_{dist} = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xz} \right]^{1/2} \quad (3.44)$$

Denklem 3.43 ve 3.44 eşitlenirse eşdeğer gerilme,

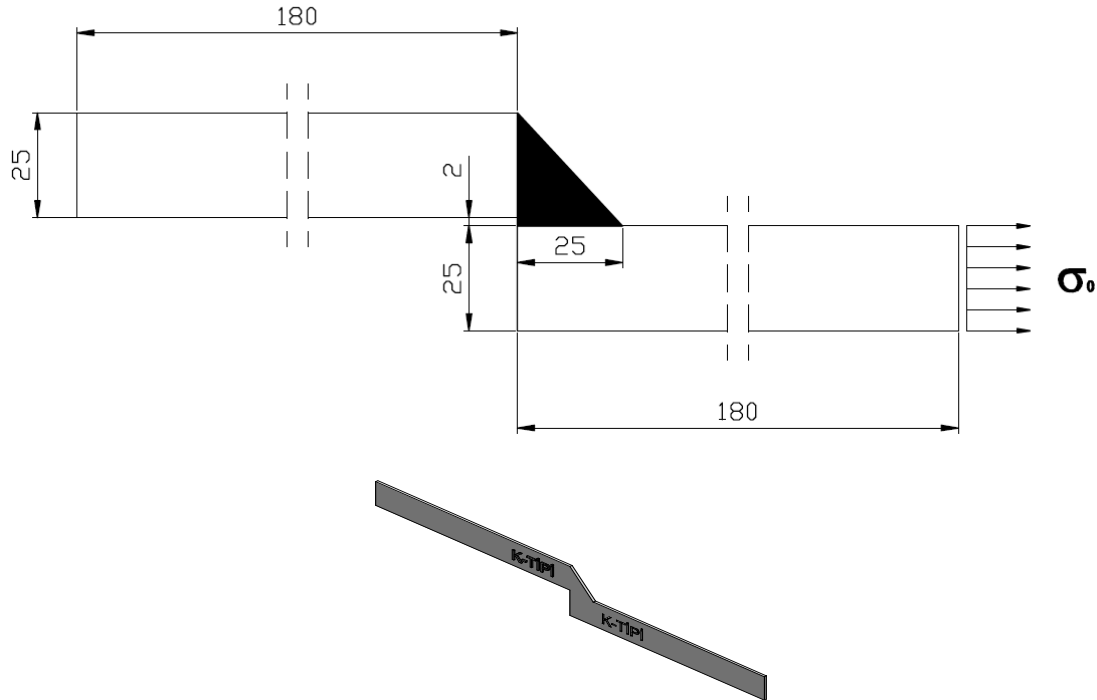
$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xz} \right]^{1/2} \quad (3.45)$$

olarak elde edilir.

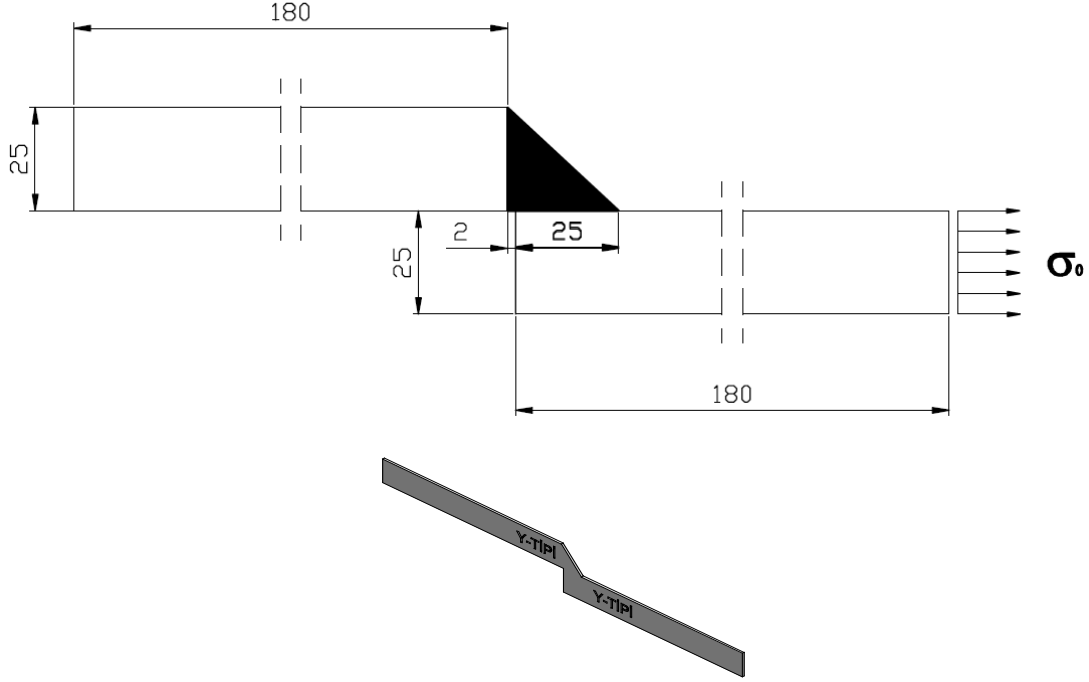
BÖLÜM 4

PROBLEMİN TANITIMI

Bu çalışmada incelenen problem, 180x25 mm boyutlarında, 3 mm kalınlığında iki çelik levhanın kaynak yöntemiyle birleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Birleştirme iki farklı tipte oluşturulmuştur. Bunlardan birincisinde kaynak kökünde kesme etkisini öne çıkarmak için levhalar arasında düşey doğrultuda ($\delta=2\text{mm}$) açıklık bırakılmış (K tipi); diğesinde ise kaynak kökünde yırtılma etkisini öne çıkarmak için levhalar arasında yatay doğrultuda ($\delta=2\text{mm}$) açıklık bırakılmıştır (Y tipi). K ve Y tipinde birleştirilmiş parçaların şematik görünüşü Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

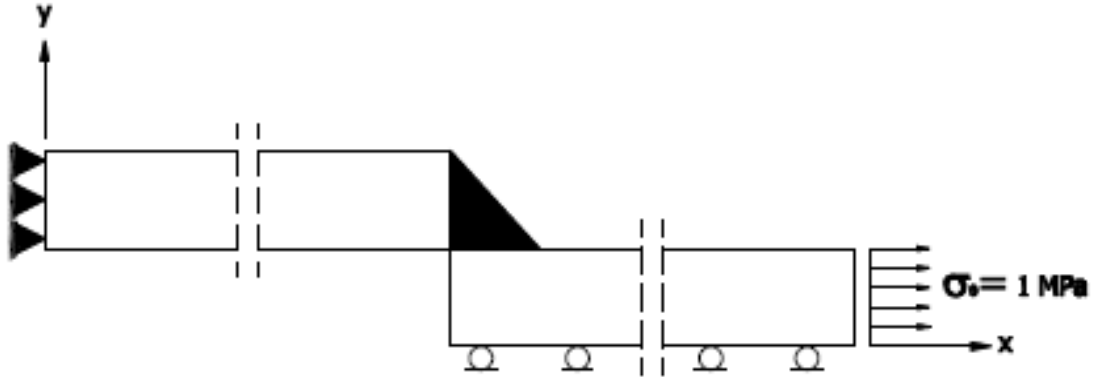


Şekil 4.1 Kaynak kökü kesme etkisine maruz olan enine dikişli kaynak bağlantısı (K tipi).



Şekil 4.2 Kaynak kökü yırtılma etkisine maruz olan enine dikişli kaynak bağlantısı (Y tipi).

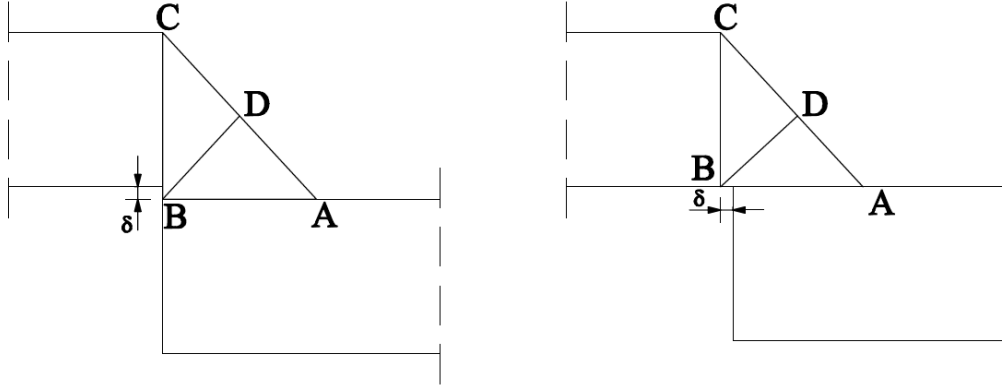
Parçaların düşey kenarları ankastre mesnetlenmiştir. Malzemelerin yatay uzun kenarına ise yatay hareketi serbest bırakılacak şekilde kayıcı mesnet uygulanmıştır (Şekil 4.3). Kaynaklı yapı, levha ucuna yatay yönde $\sigma_0=1$ MPa'lık üniform gerilme uygulanarak yüklenmiştir.



Şekil 4.3 Problemin sınır şartları ve eksen takımı.

Probleme esas olacak modellemede kaynak ayakları birbirine eşit kabul edilmiştir. Sonlu eleman modeli için problemi temsil eden bölgeler Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Modelde, birleştirilen parçalar ve kaynak dikişi aynı malzemeden yapılmış olup malzeme çelik olarak

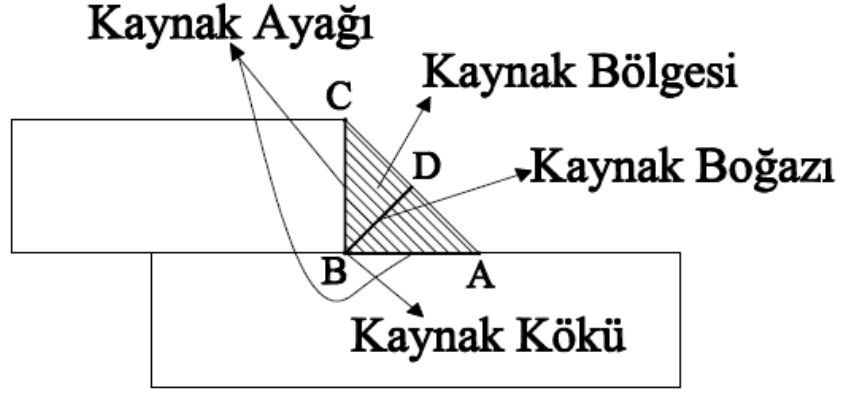
düşünülmüştür. Çeliğin elastisite modülü $E=210$ GPa ve poisson oranı $\nu=0.3$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.4 K tipi ve Y tipi bağlantılar için kaynak ayakları BA, BC ve kaynak boğazı BD'nin şematik gösterimi.

Problemin kesin çözümü ANSYS 9.0 sonlu elemanlar paket programı ile yapılmıştır. Kaynak bölgesinde meydana gelen σ_x , σ_y , τ_{xy} , σ_E (eşdeğer gerilme) gerilmeleri ile σ_1 asal gerilmelerinin kaynak ayakları ve kaynak boğazı boyunca değişimleri incelenmiş ve değişimler grafiksel olarak verilmiştir. Kaynak bölgesi şematik olarak Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Meydana gelen gerilmelerin mertebeleri hakkında fikir sahibi olabilmek için genel mukavemet bağıntıları kullanılarak teorik çözüm yapılmıştır.

Deneysel çalışmada K tipi ve Y tipi bağlantı olacak şekilde elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş çelik levhalara 60 ton çekme kapasiteli Zwick / Z600 marka Alman malı çekme deney cihazında çekme deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda malzemelerin kopmaları ve şekil değişimleri incelenmiştir.



Şekil 4.5 Kaynak bölgesinin gösterimi.

BÖLÜM 5

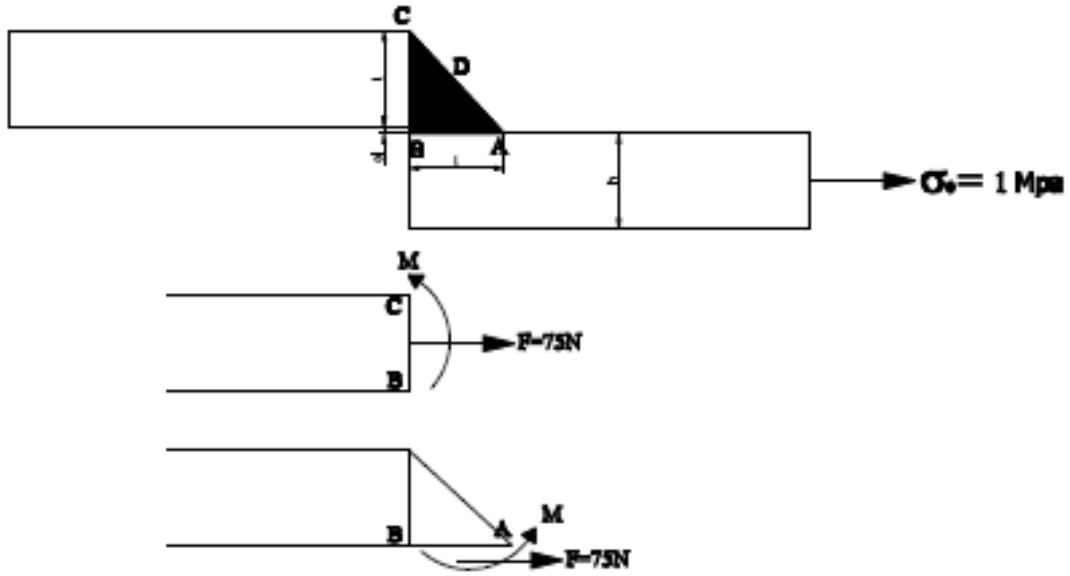
ÇÖZÜM

5.1 PROBLEMİN TEORİK ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde sonlu elemanlar çözümünde ulaşılan gerilme büyüklükleri hakkında fikir sahibi olmak için genel mukavemet formülleri kullanılarak ortalama gerilme değerleri hesaplanmıştır.

5.1.1 Kesme Etkisinde Olan (K-Tipi) Bağlantı

Kesme etkisinde olan kaynaklı bağlantıya uygulanan gerilme sonucu kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 K tipi bağlantıda kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment.

BC Kaynak Ayağı:

$$\sigma = 1 \text{ Mpa}, \quad h = l = 25 \text{ mm}, \quad t = 3 \text{ mm}, \quad d = 2 \text{ mm}$$

$$F = \sigma x A \rightarrow F = (3 \times 0,001) \times (25 \times 0,001) \times (1 \times 10^6) = 75 \text{ N}$$

$$M = Fx \left(\frac{h}{2} + d \right) \rightarrow M = 75x \left(\frac{25}{2} + 2 \right) = 1087,5 \text{ Nmm}$$

B noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = \frac{M}{I} \left(\frac{h}{2} + d \right) + \frac{F}{A}$$

$$\sigma_x = \frac{1087,5}{\frac{3 \times 25^3}{12}} \left(\frac{25}{2} + 2 \right) + \frac{75}{3 \times 25} = 4,04 + 1 \cong 5 \text{ MPa}, \quad \sigma_y = 0, \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{max} = \frac{5}{2} + \frac{5}{2} = 5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 5 \text{ MPa}$$

C noktası gerilmeleri;

$$M = Fx \left(\frac{h}{2} \right) \rightarrow M = 75x \frac{25}{2} = 937,5 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = -\frac{M}{I} \frac{h}{2} + \frac{F}{A}$$

$$\sigma_x = -\frac{937,5}{\frac{3 \times 25^3}{12}} \frac{25}{2} + \frac{75}{3 \times 25} = -3 + 1 = -2 \text{ MPa}, \quad \sigma_y = 0, \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{min} = -1 - 1 = -2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 2 \text{ MPa}$$

BA Kaynak Ayağı :

$$\sigma = 1 \text{ MPa}, \quad h = l = 25 \text{ mm}, \quad t = 3 \text{ mm}, \quad d = 2 \text{ mm}$$

$$F = \sigma x A \rightarrow F = (3 \times 0,001) \times (25 \times 0,001) \times (1 \times 10^6) = 75 \text{ N}$$

$$M = F x \left(\frac{h}{2}\right) \rightarrow M = 75 \times \frac{25}{2} = 937,5 \text{ Nmm}$$

B noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = \frac{M h}{I z}$$

$$\sigma_x = \frac{937,5 \cdot 25}{\frac{3 \times 25^3}{12} \cdot 2} = 3 \text{ MPa}, \quad \sigma_y = 0,$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{lt} = \frac{75}{25 \times 3} = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{max} = \frac{3}{2} + 1,8 = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 3,6 \text{ MPa}$$

A noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = -\frac{M h}{I z}$$

$$\sigma_x = -\frac{937,5 \cdot 25}{\frac{3 \times 25^3}{12} \cdot 2} = -3 \text{ MPa}, \quad \sigma_y = 0,$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{lt} = \frac{75}{25 \times 3} = 1 \text{ MPa}$$

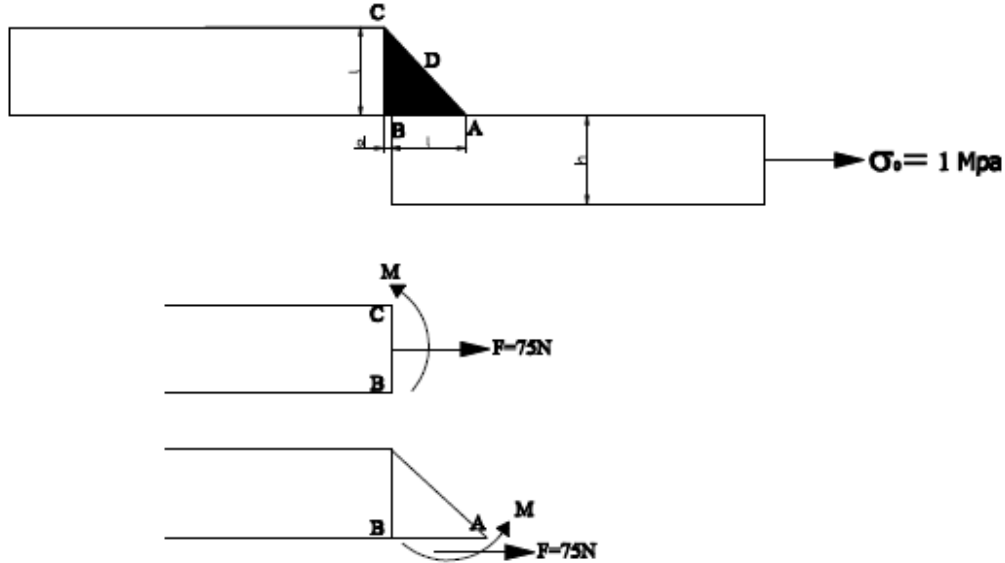
$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{min} = -\frac{3}{2} - 1,8 = -3,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 3,6 \text{ MPa}$$

5.1.2 Yırtılma Etkisinde Olan (Y-Tipi) Bağlantı

Yırtılma etkisinde olan kaynaklı bağlantıya uygulanan gerilme sonucu kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Y tipi bağlantıda kaynak bölgesinde meydana gelen kuvvet ve moment.

BC Kaynak Ayağı:

$$\sigma = 1 \text{ MPa}, \quad h = l = 25 \text{ mm}, \quad t = 3 \text{ mm}, \quad d = 2 \text{ mm}$$

$$F = \sigma x A \rightarrow F = (3 \times 0,001) \times (25 \times 0,001) \times (1 \times 10^6) = 75 \text{ N}$$

$$M = F x \frac{h}{2} \rightarrow M = 75 \times \frac{25}{2} = 937,5 \text{ Nmm}$$

B noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = \frac{M h}{I} + \frac{F}{A}$$

$$\sigma_x = \frac{937,5}{3 \times 25^3} \frac{25}{2} + \frac{75}{3 \times 25} = 3 + 1 = 4 \text{ MPa} , \sigma_y = 0 , \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{max} = 2 + 2 = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 4 \text{ MPa}$$

C noktası gerilmeleri;

$$M = Fx\left(\frac{h}{2}\right) \rightarrow M = 75x \frac{25}{2} = 937,5 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = -\frac{M h}{I} + \frac{F}{A}$$

$$\sigma_x = -\frac{937,5}{3 \times 25^3} \frac{25}{2} + \frac{75}{3 \times 25} = -3 + 1 = -2 \text{ MPa} , \sigma_y = 0 , \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \sigma_{min} = -1 - 1 = -2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \rightarrow \tau_{max} = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \rightarrow \sigma_E = 2 \text{ MPa}$$

BA Kaynak Ayağı:

$$\sigma = 1 \text{ MPa}, \quad h = l = 25 \text{ mm}, \quad t = 3 \text{ mm}, \quad d = 2 \text{ mm}$$

$$F = \sigma x A \rightarrow F = (3 \times 0,001) \times (25 \times 0,001) \times (1 \times 10^6) = 75 \text{ N}$$

$$M = Fx\left(\frac{h}{2}\right) \rightarrow M = 75x \frac{25}{2} = 937,5 \text{ Nmm}$$

B noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = \frac{M h}{I 2}$$

$$\sigma_x = \frac{937,5 \cdot 25}{\frac{3 \times 25^3}{12} \cdot 2} = 3 \text{ MPa} , \quad \sigma_y = 0 ,$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{lt} = \frac{75}{25 \times 3} = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \rightarrow \sigma_{max} = \frac{3}{2} + 1,8 = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \rightarrow \tau_{max} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \rightarrow \sigma_E = 3,6 \text{ MPa}$$

A noktası gerilmeleri;

$$\sigma_x = -\frac{M h}{I 2}$$

$$\sigma_x = -\frac{937,5 \cdot 25}{\frac{3 \times 25^3}{12} \cdot 2} = -3 \text{ MPa} , \quad \sigma_y = 0 ,$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{lt} = \frac{75}{25 \times 3} = 1 \text{ MPa}$$

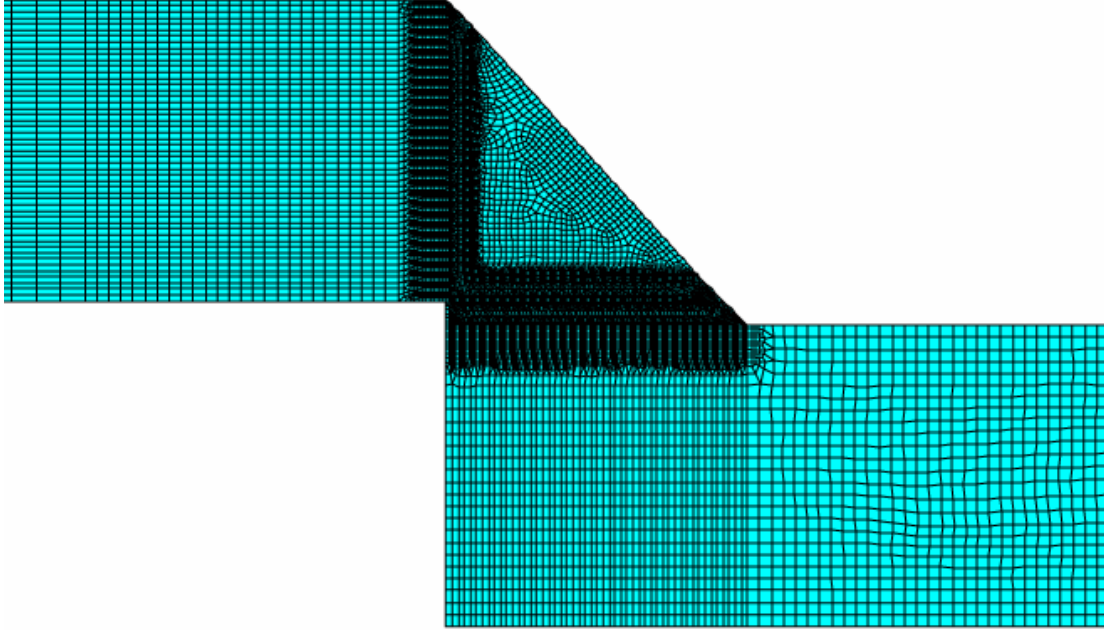
$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \rightarrow \sigma_{min} = -\frac{3}{2} - 1,8 = -3,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad \rightarrow \tau_{max} = 1,8 \text{ MPa}$$

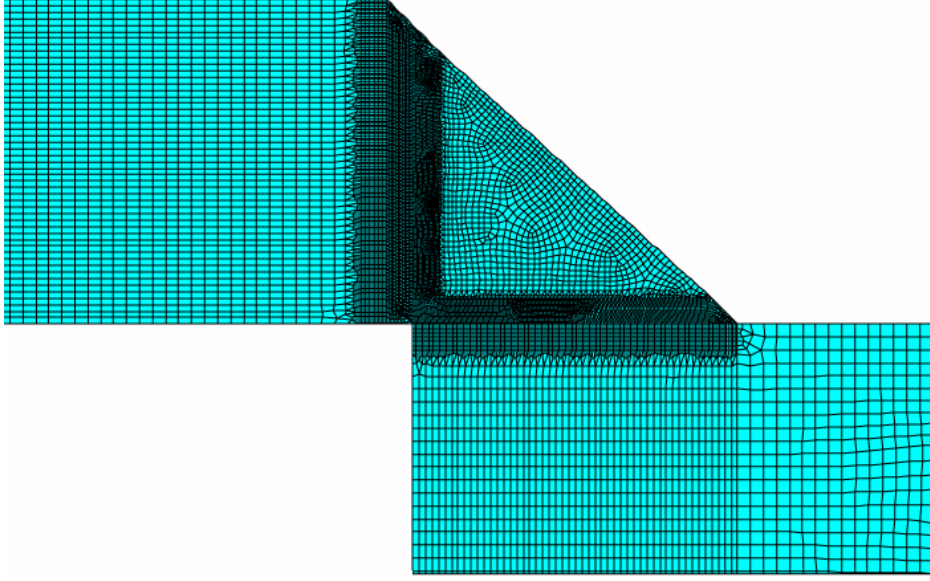
$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \rightarrow \sigma_E = 3,6 \text{ MPa}$$

5.2 PROBLEMİN SONLU ELEMANLAR ÇÖZÜMÜ

Problemin sonlu eleman çözümü ANSYS 9.0 programında yapılmıştır. Sonlu elemanlar çözümünde 8 düğümlü dörtgen izoparametrik sonlu eleman kullanılmıştır. K tipi ve Y tipi bağlantının sonlu elemanlar ağ yapısı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



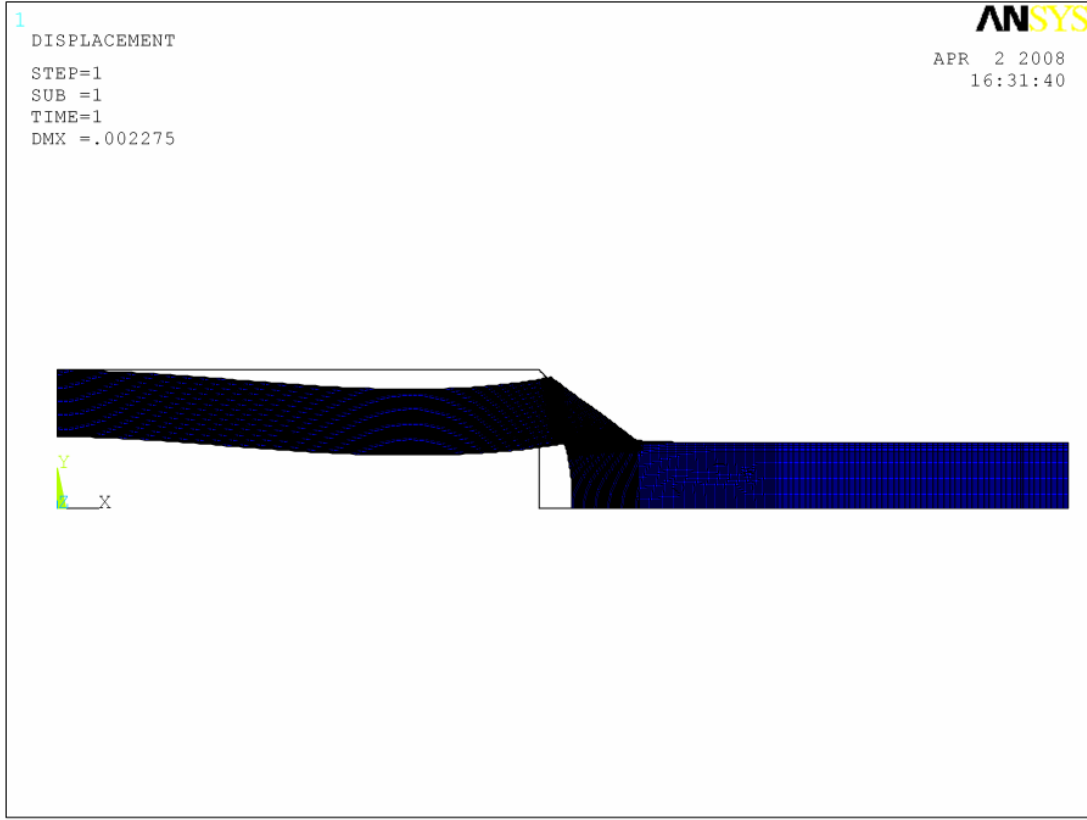
Şekil 5.3 Kaynak kökü kesme etkisine maruz bağlantının (K tipi) sonlu elemanlar ağı gösterimi.



Şekil 5.4 Kaynak kökü yırtılma etkisine maruz bağlantının (Y tipi) sonlu elemanlar ağı gösterimi.

Problem düzlem gerilme hali ($\sigma_z = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$) olarak incelenmiştir. Bu inceleme kaynak kalınlığı doğrultusunda (kâğıt düzlemine dik doğrultuda) boyutu küçük olan bağlantıya tekabül eder.

Yukarıda belirtilen sınır şartları ve gerilme uygulandığında kaynaklı yapı Şekil 5.5’de görüldüğü gibi deformasyona uğramıştır.

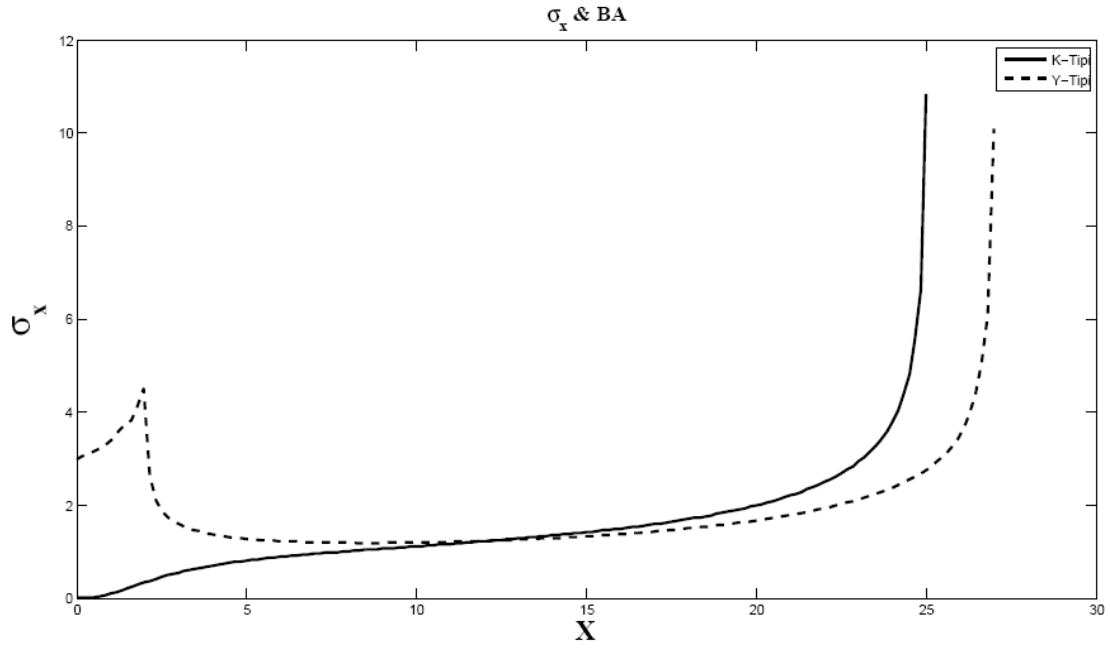


Şekil 5.5 Modelde meydana gelen deformasyon.

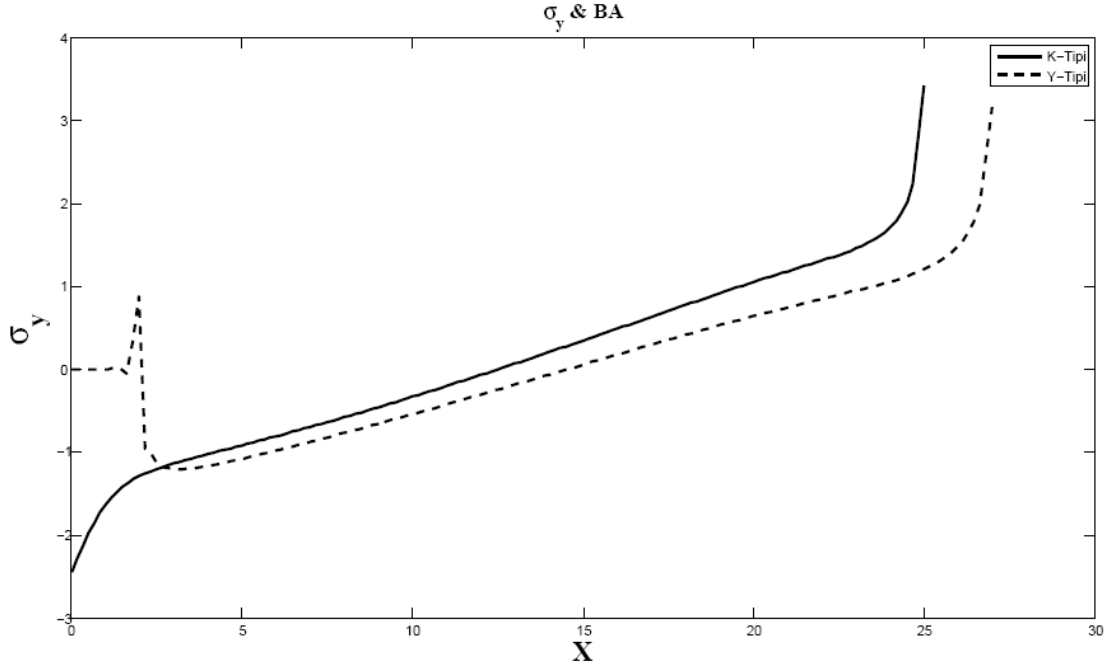
Kaynak bölgesinde, yatay BA ve düşey BC kaynak ayakları ile BD kaynak boğazı doğrultusunda düzlem gerilme bileşenleri σ_x , σ_y , τ_{xy} ve σ_E (Von Mises eşdeğer gerilmesi) ile asal gerilme σ_1 , değişimleri çizilmiştir.

Grafiklerde yatay eksen kaynak ayağı veya kaynak boğazı uzunluğunu, düşey eksen ise ilgili gerilmeyi göstermektedir. Gerilmeler Megapascal (MPa) cinsinden verilmiştir.

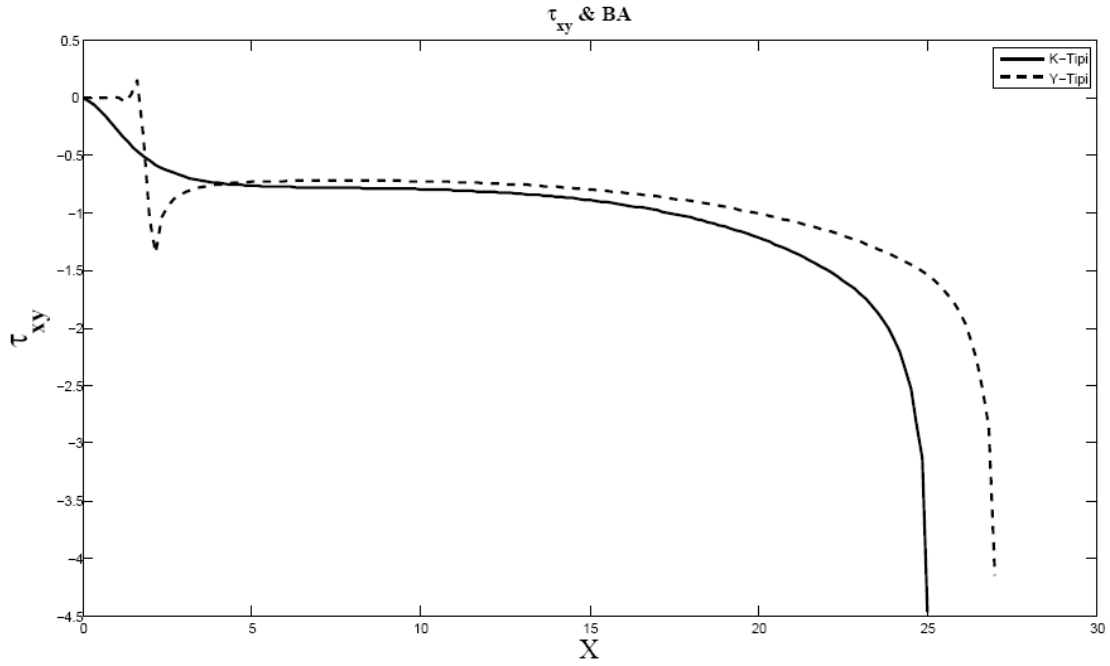
5.2.1 BA (Yatay) Kaynak Ayağı Boyunca Gerilme Değişimleri



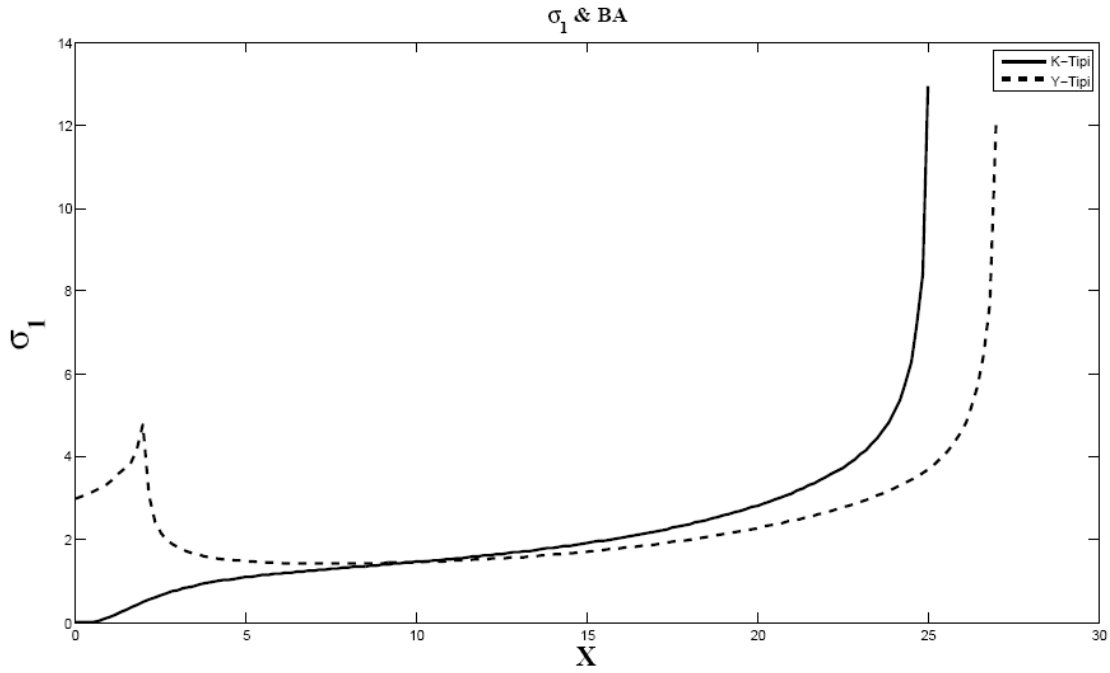
Şekil 5.6 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



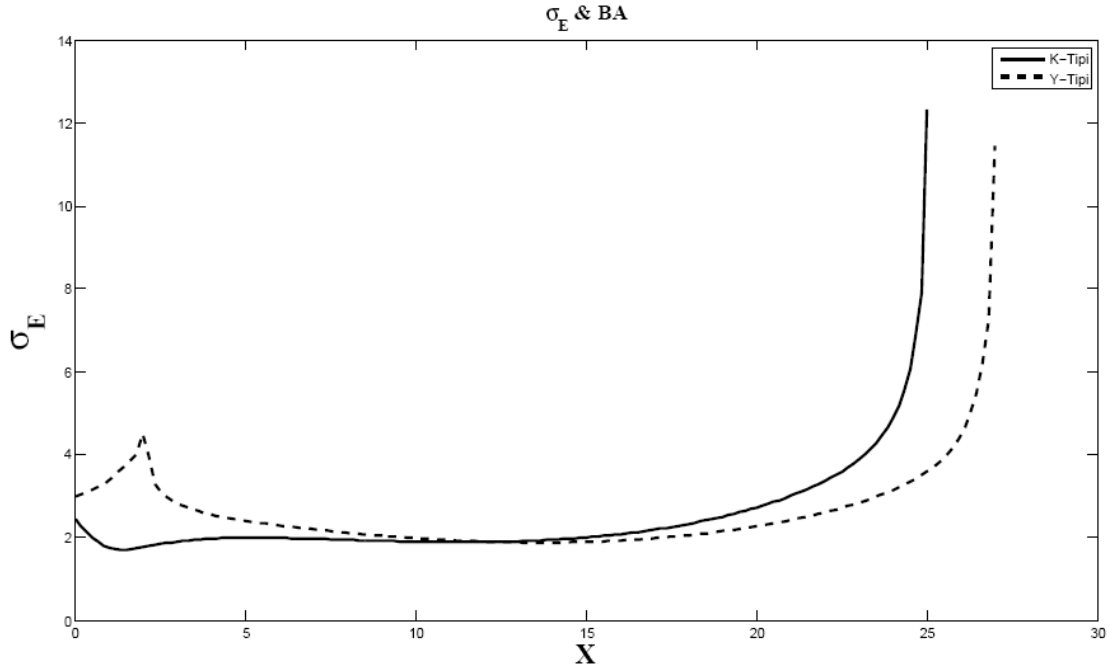
Şekil 5.7 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



Şekil 5.8 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.

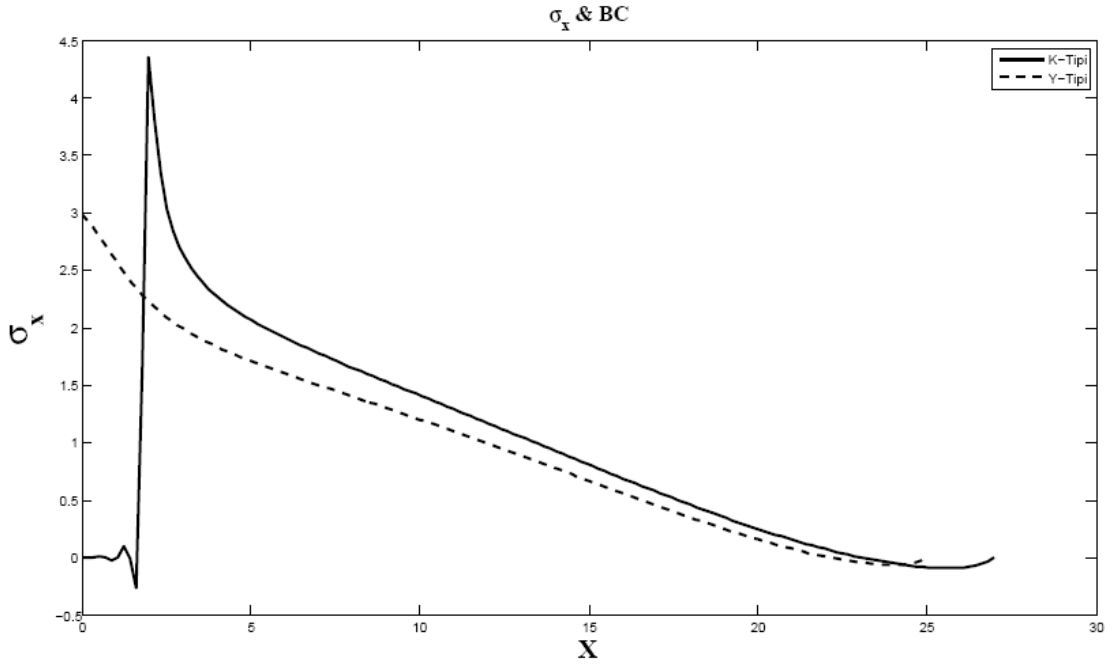


Şekil 5.9 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.

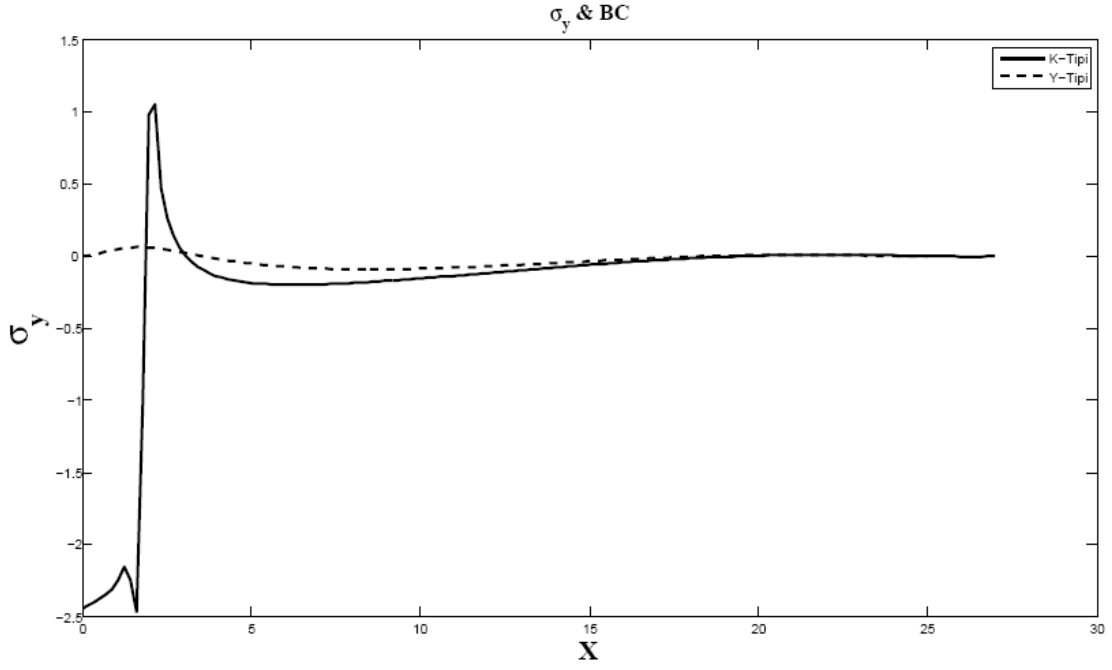


Şekil 5.10 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.

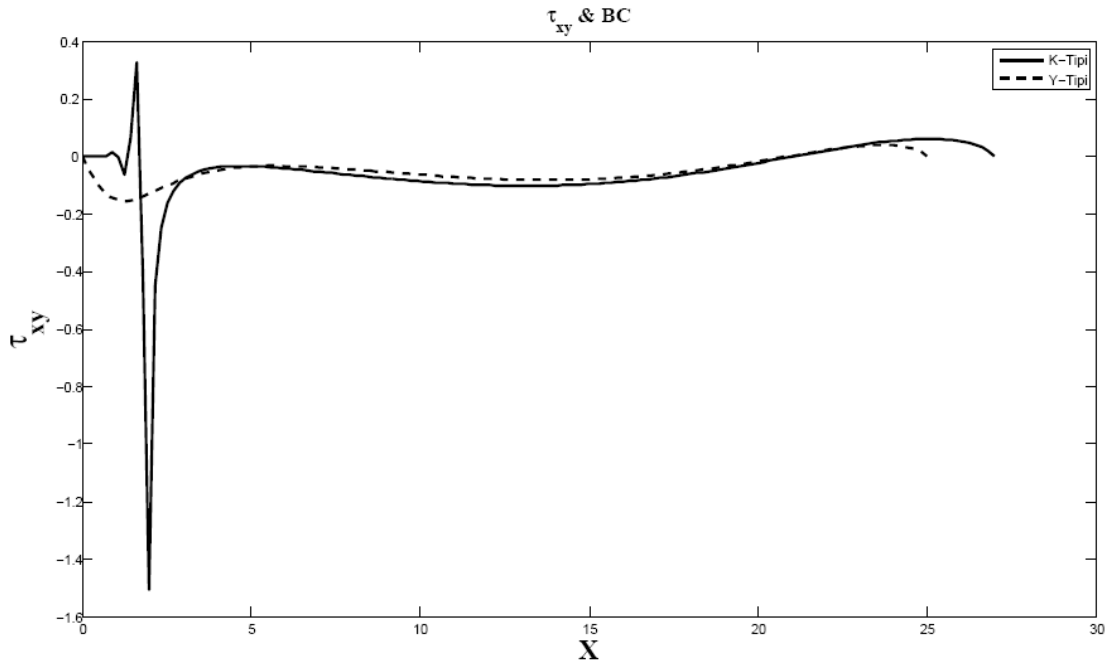
5.2.2 BC (Düşey) Kaynak Ayağı Boyunca Gerilme Değişimleri



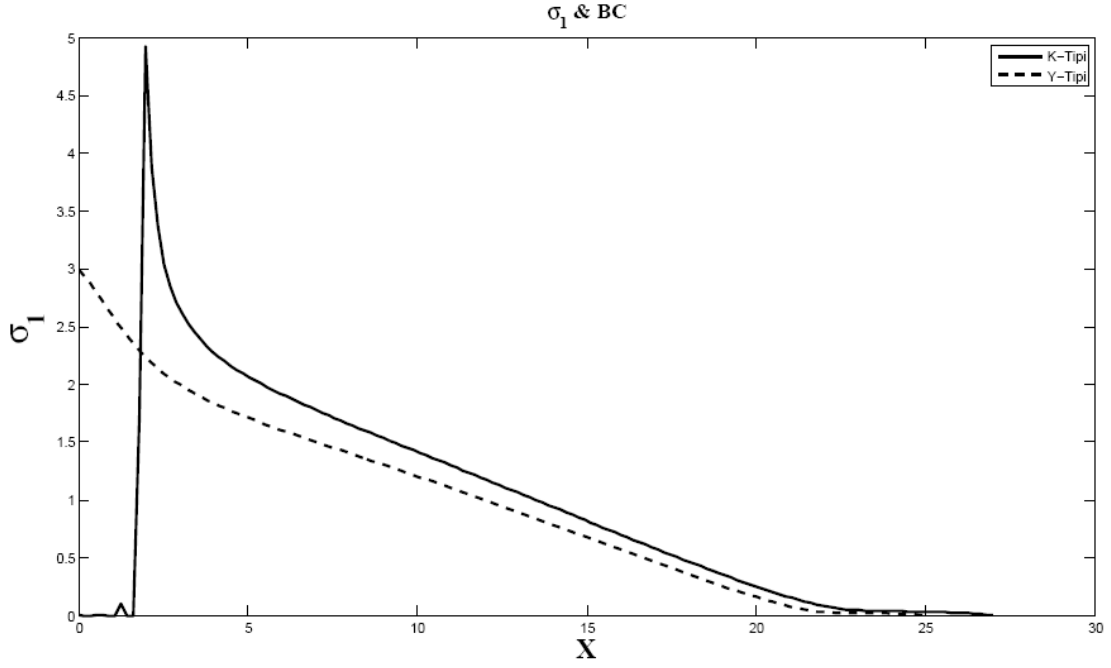
Şekil 5.11 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



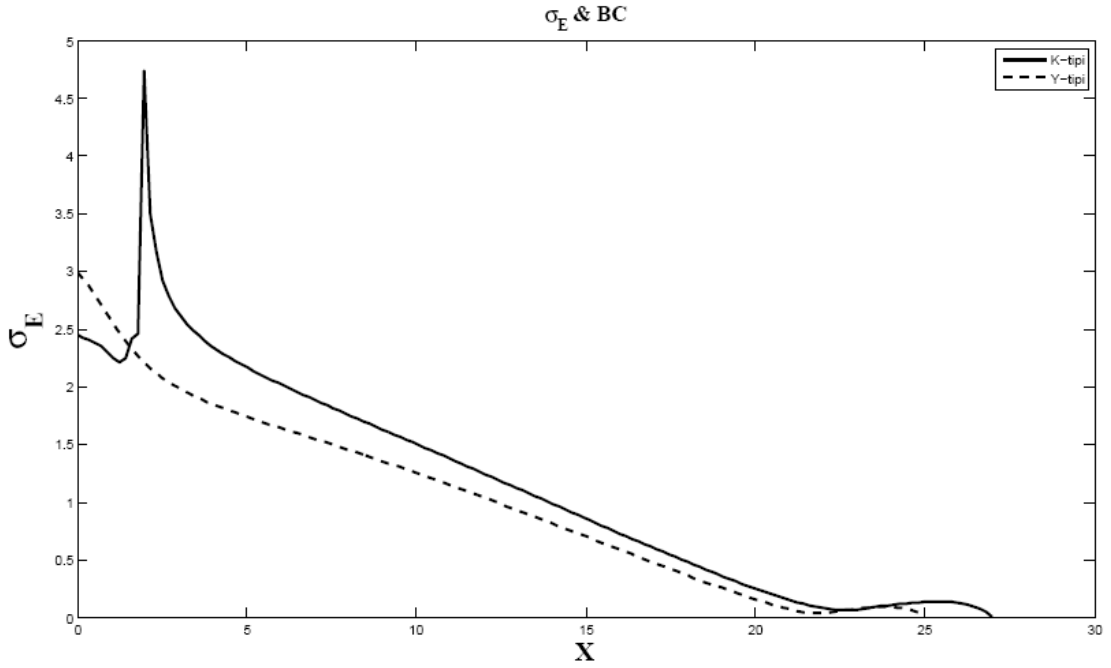
Şekil 5.12 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



Şekil 5.13 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.

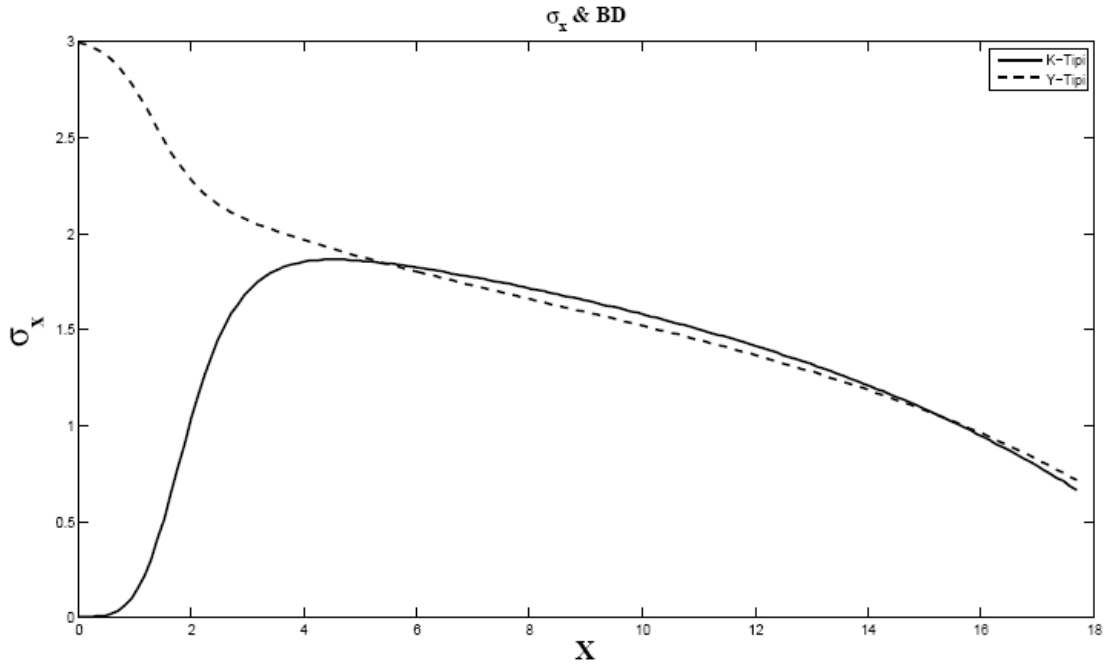


Şekil 5.14 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.

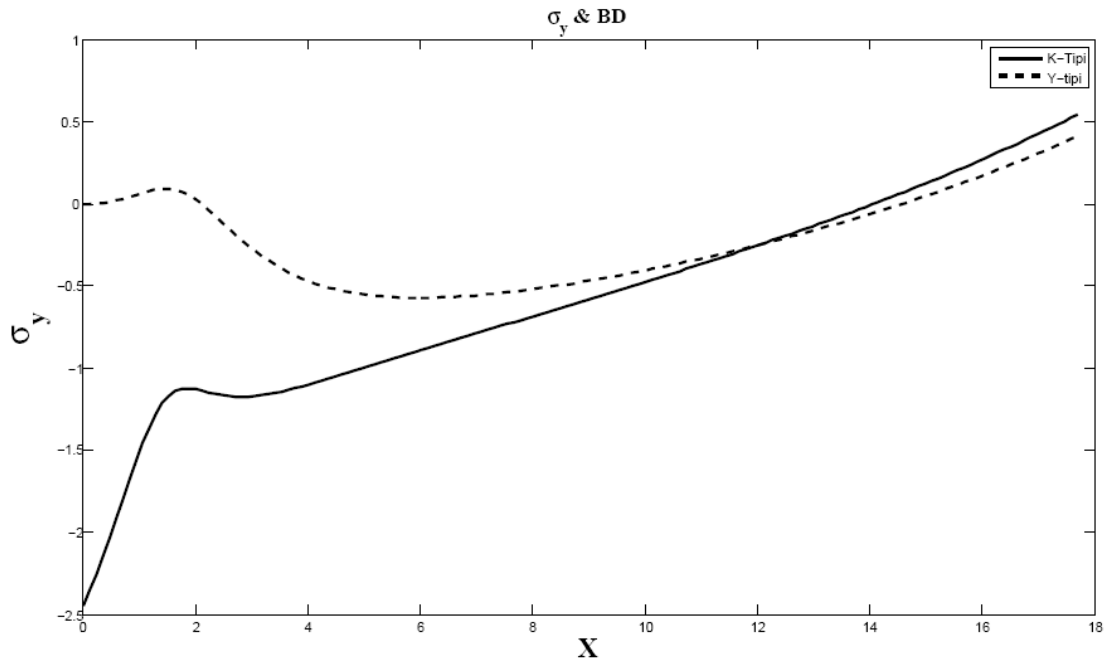


Şekil 5.15 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.

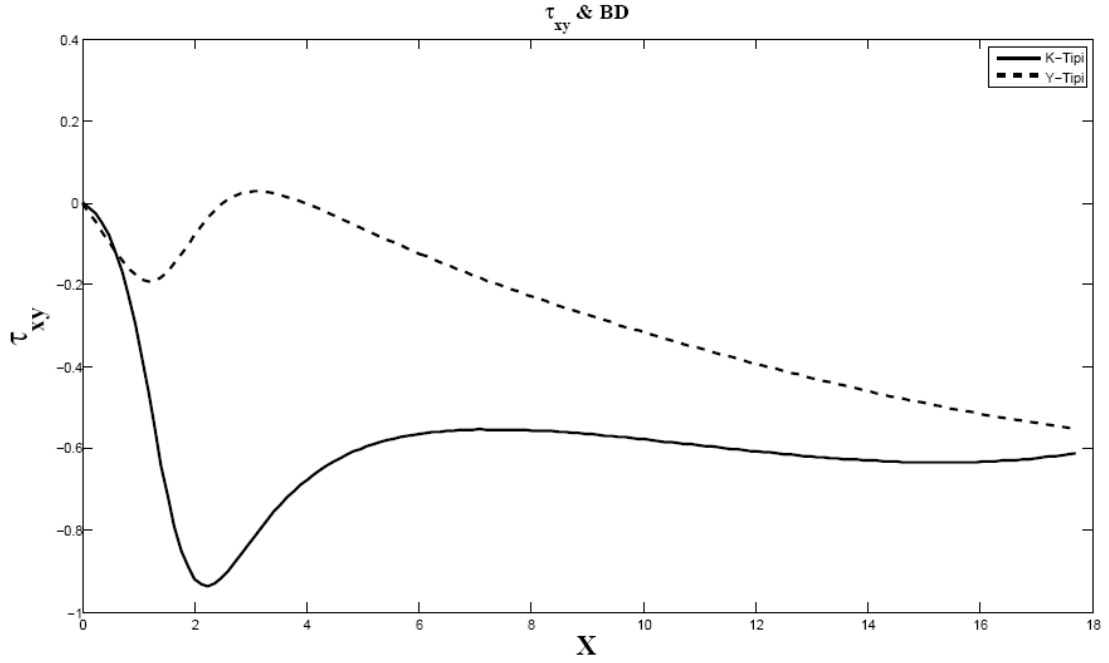
5.2.3 BD Kaynak Boğazı Boyunca Gerilme Değişimleri



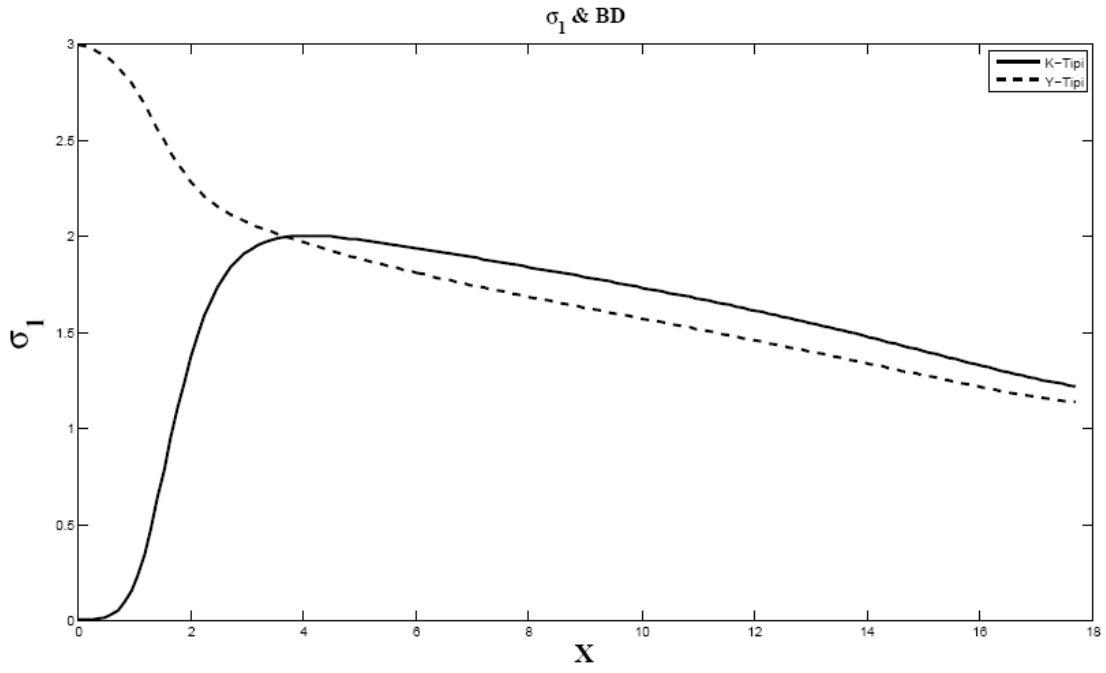
Şekil 5.16 σ_x gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



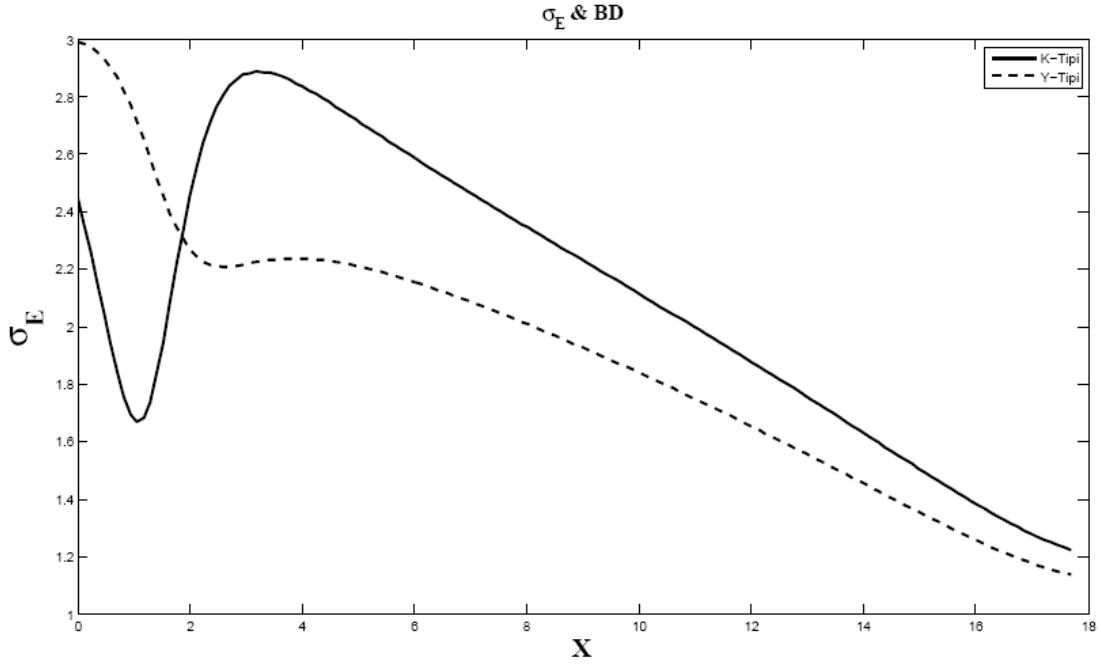
Şekil 5.17 σ_y gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



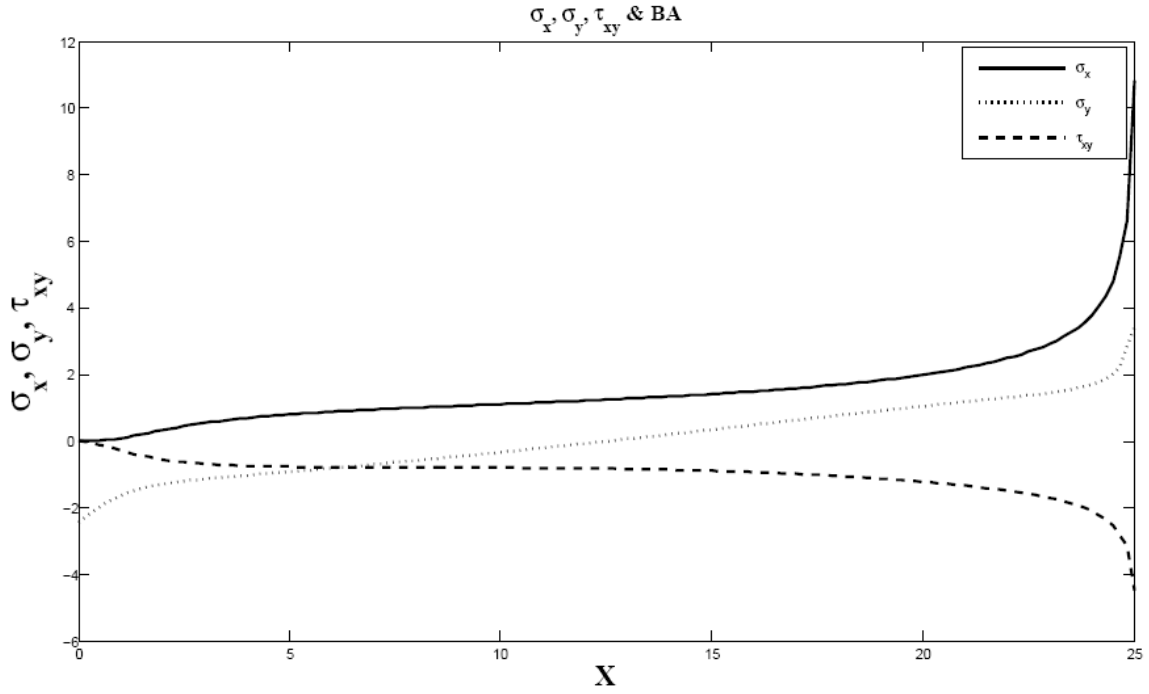
Şekil 5.18 τ_{xy} gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



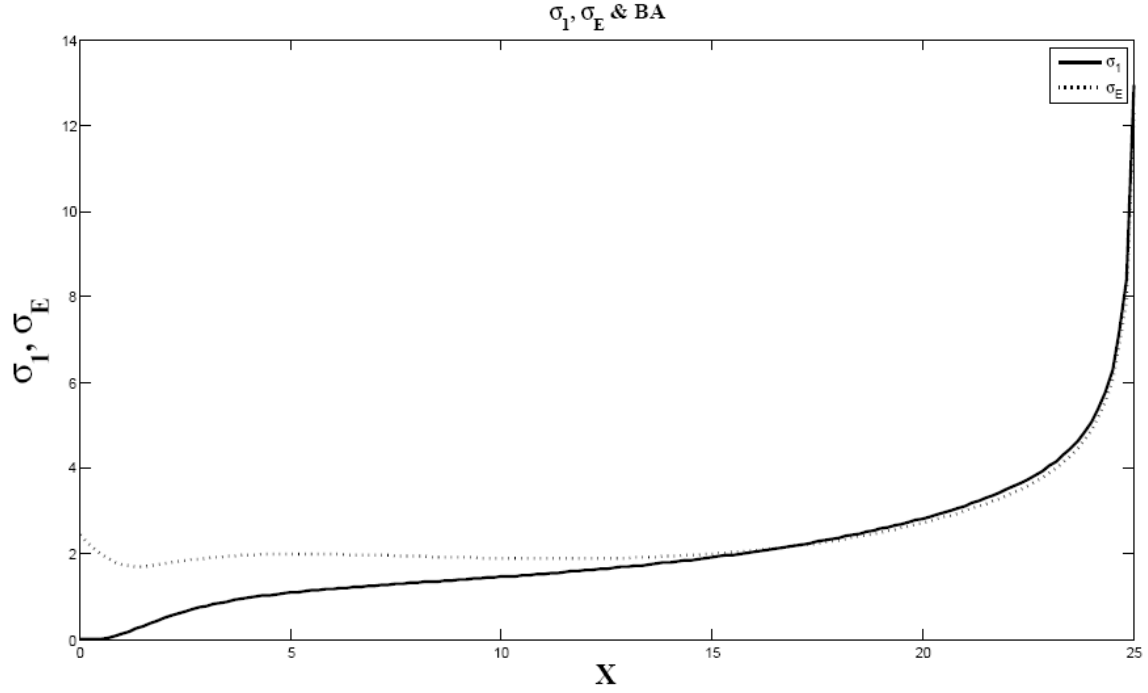
Şekil 5.19 σ_1 asal gerilmesinin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak ayağı boyunca değişimi.



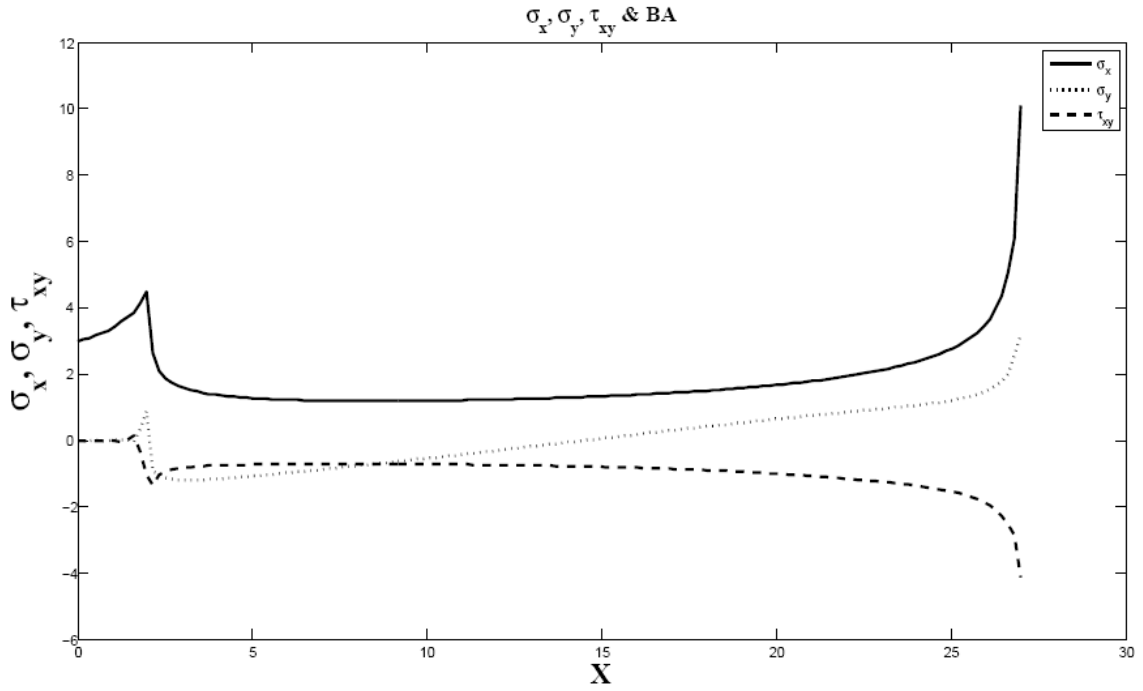
Şekil 5.20 σ_E eşdeğer (Von Mises) gerilmenin K tipi ve Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



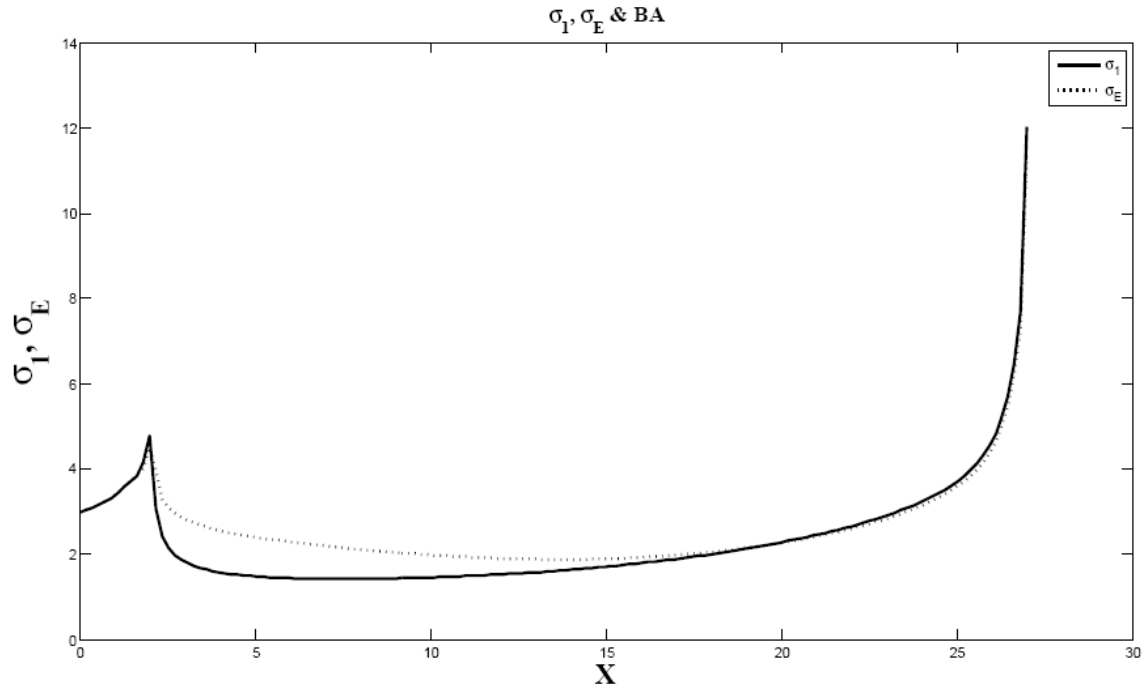
Şekil 5.21 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



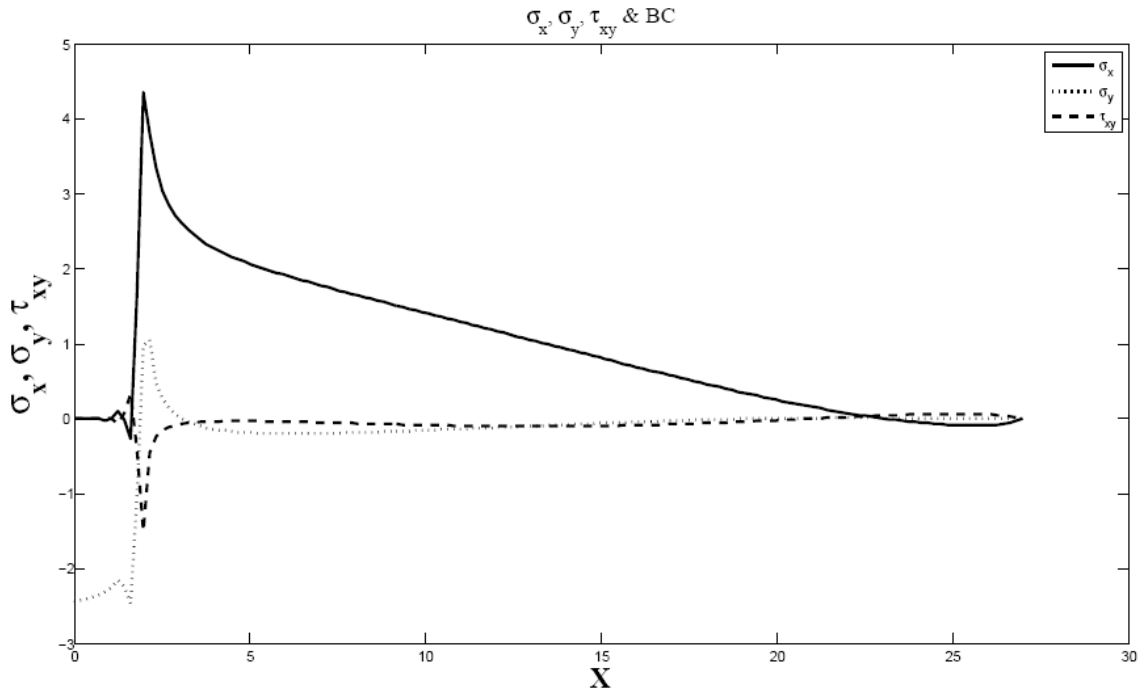
Şekil 5.22 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



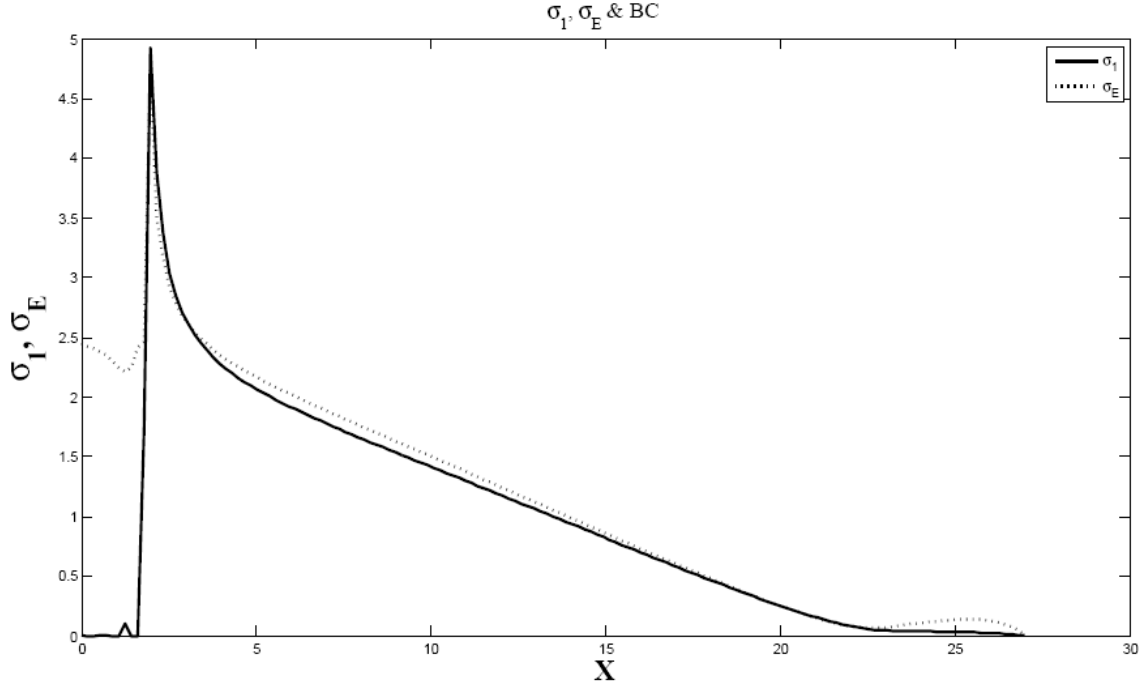
Şekil 5.23 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



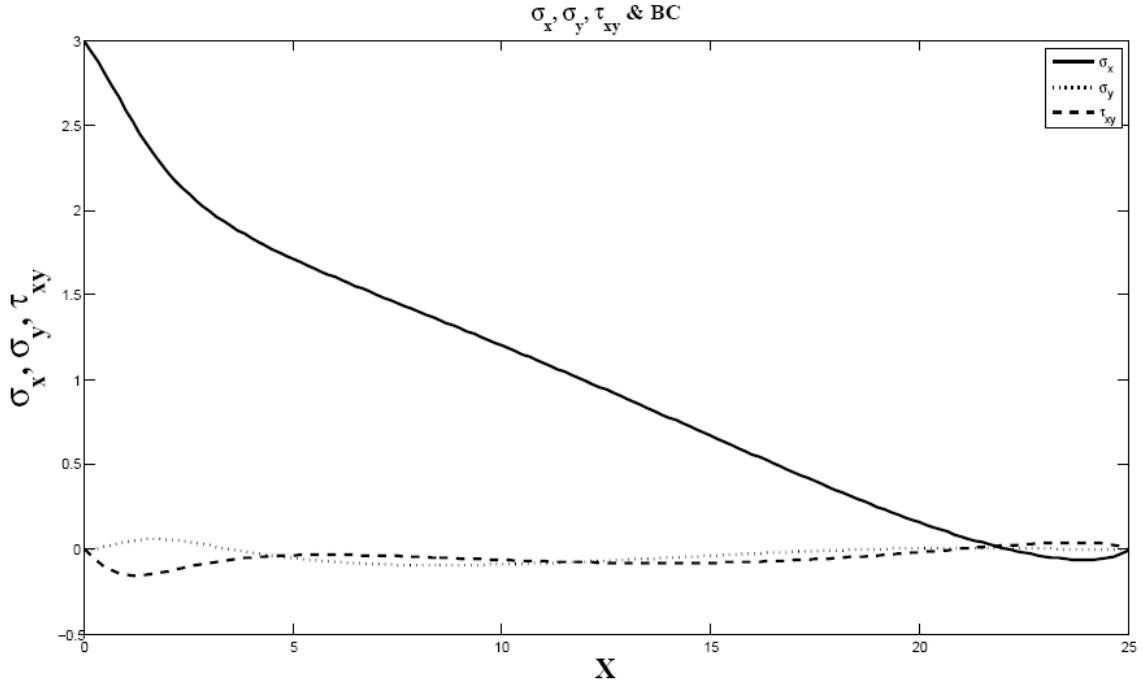
Şekil 5.24 σ_I ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BA kaynak ayağı boyunca değişimi.



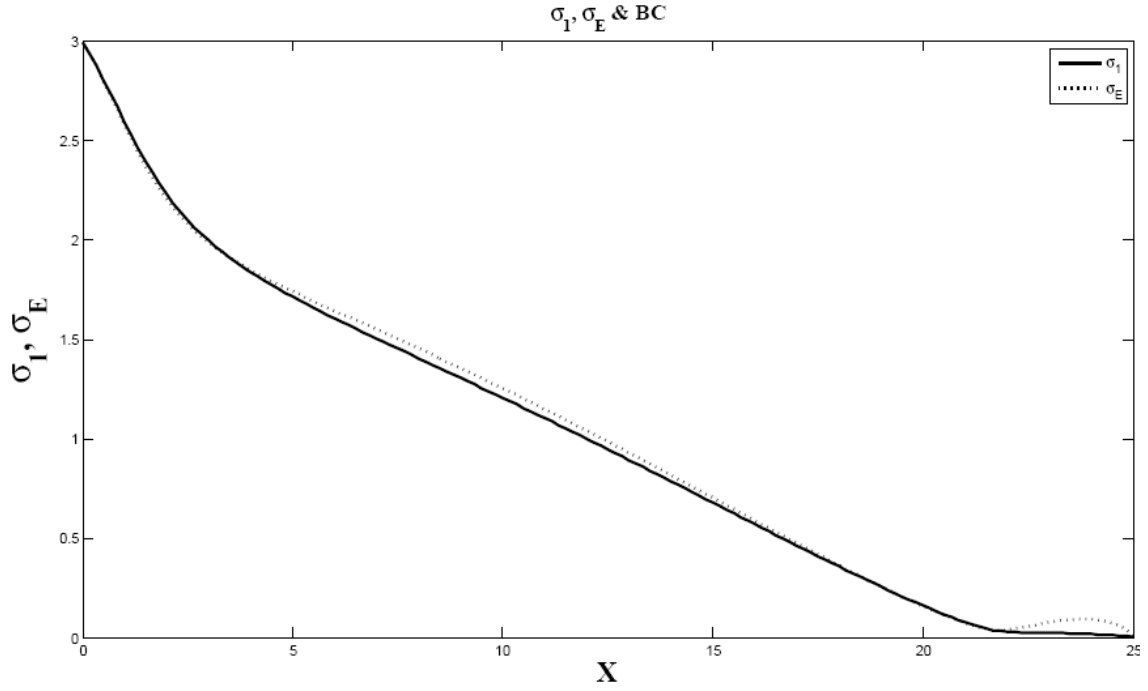
Şekil 5.25 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



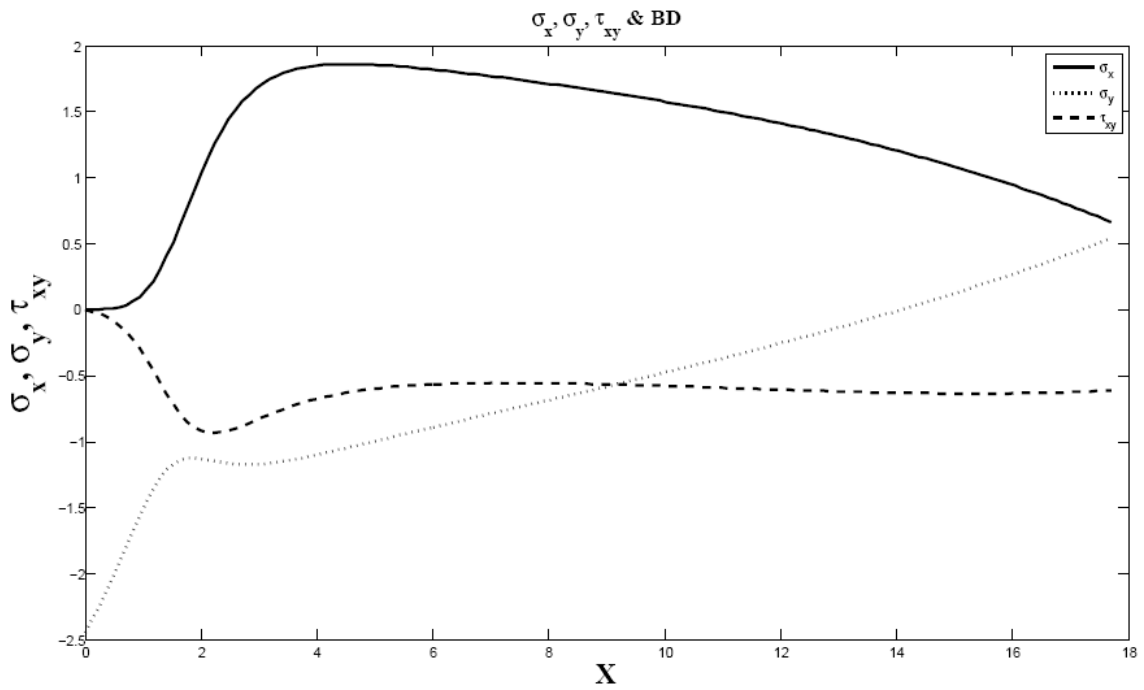
Şekil 5.26 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



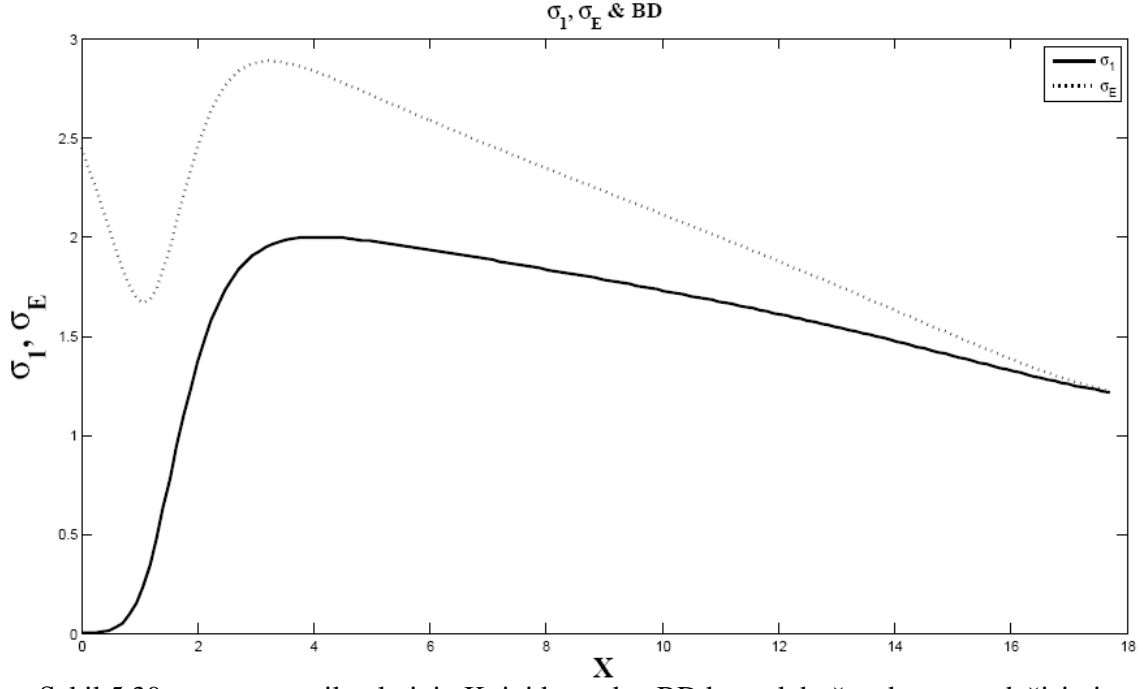
Şekil 5.27 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



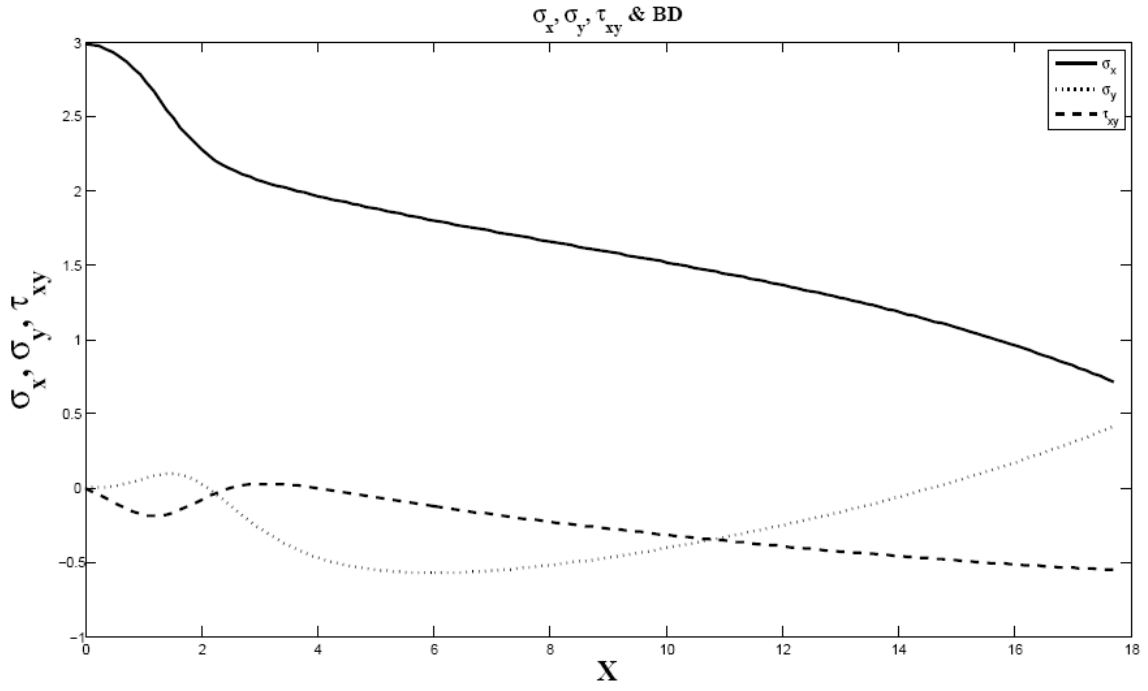
Şekil 5.28 σ_I ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BC kaynak ayağı boyunca değişimi.



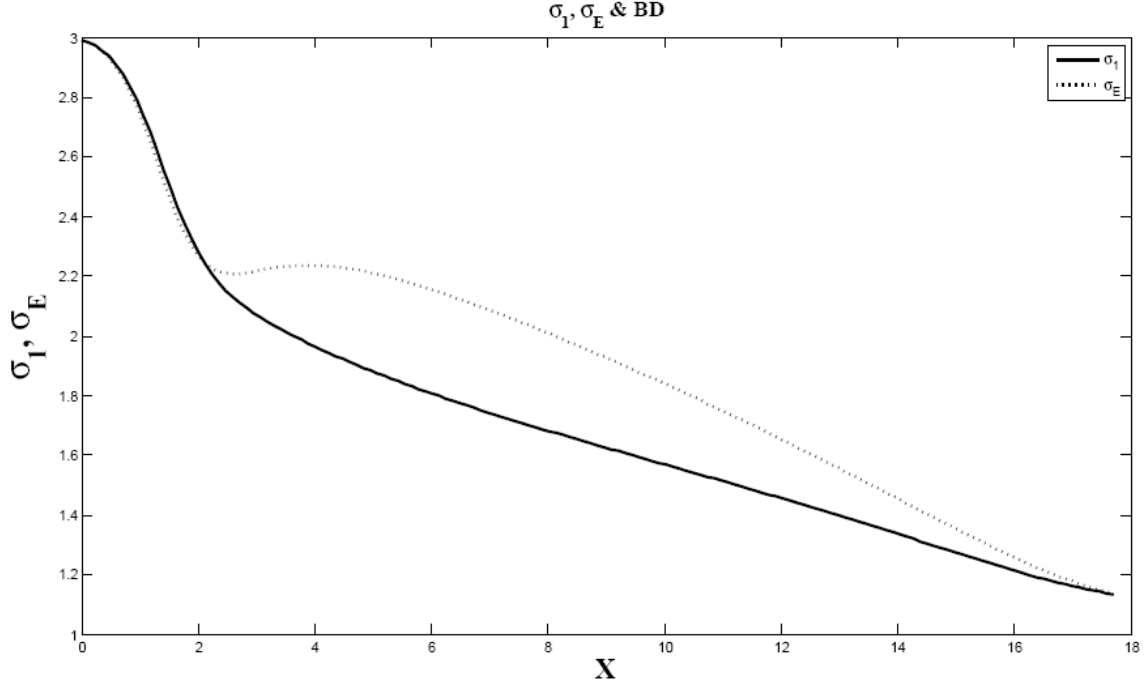
Şekil 5.29 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin K tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



Şekil 5.30 σ_1 ve σ_E gerilmelerinin K tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



Şekil 5.31 σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.



Şekil 5.32 σ_I ve σ_E gerilmelerinin Y tipi kaynakta BD kaynak boğazı boyunca değişimi.

5.2.4 Sonuçların Açıklamaları

BA Kaynak Ayağı

σ_x gerilmesi (Şekil 5.6)

- σ_x gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış ve A noktasında 10,8 değerini almıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_x gerilmesi B noktasında 3 değerinden başlamış, kaynak kökünde 4,5 değerine çıkmış sonra azalıp tekrar artarak A noktasında 10,8 değerini almıştır.
- Her iki tip bağlantıda da σ_x gerilmesi A noktasında maksimuma ulaşmıştır.

σ_y gerilmesi (Şekil 5.7)

- σ_y gerilmesi K tipi bağlantıda -2,45 değerinden başlamış ve artarak A noktasında 3,4 değerine yaklaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_y gerilmesi B noktasında sıfırdan başlamış kaynak kökünde 1 değerine ulaşmış sonra azalıp tekrar artarak A noktasında 3,16 değerine yaklaşmıştır.

- Her iki tip bağlantıda da σ_y gerilmesi A noktasında maksimum değerine yaklaşmıştır.

τ_{xy} gerilmesi (Şekil 5.8)

- τ_{xy} gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış ve azalarak B noktasında -4,47 değerine ulaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda τ_{xy} gerilmesi sıfır değerinden başlamış kaynak kökünde -1,5'e düşmüş sonra artıp tekrar azalarak -4,15 değerine ulaşmıştır.
- Her iki tip bağlantıda da τ_{xy} gerilmesi A noktasında basma şeklinde maksimum değerine ulaşmıştır.

σ_1 gerilmesi (Şekil 5.9)

- σ_1 asal gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış ve A noktasında 12,9 değerini almıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_1 gerilmesi B noktasında 3 değerinden başlamış kaynak kökünde 5 değerine ulaşmış, sonra azalıp tekrar artarak A noktasında 12 değerine ulaşmıştır.
- Her iki tip bağlantıda da σ_1 asal gerilmesi A noktasında maksimum değerine ulaşmıştır.

σ_E Eşdeğer (Von Mises) gerilme (Şekil 5.10)

- Eşdeğer gerilme K tipi bağlantıda 2,45 değerinden başlamış ve A noktasında 12,3 değerine ulaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda eşdeğer gerilme 3 değerinden başlamış, kaynak kökünde 4,5 pik değerine ulaşmış sonra azalıp tekrar artarak A noktasında 11,5 değerine ulaşmıştır.
- Her iki tip bağlantıda da eşdeğer gerilme A noktasında maksimum değerine ulaşmıştır.

BC Kaynak Ayağı

σ_x gerilmesi (Şekil 5.11)

- σ_x gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış kaynak kökünde 4,35 değerine ulaşmış ve azalarak C noktasında -0,35 değerini almıştır.
- σ_x gerilmesi Y tipi bağlantıda 3 değerinden başlamış ve azalarak C noktasında -0,38 değerini almıştır.
- σ_x gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca K tipi bağlantıda daha kritik değerler almaktadır.

σ_y gerilmesi (Şekil 5.12)

- σ_y gerilmesi K tipi bağlantıda -2,5 değerinden başlamış, kaynak kökünde 1 civarında bir değere yükselmiş ve sıfır civarında değerler alarak C noktasına ulaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_y gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca sıfır civarında kalmıştır.
- σ_y gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca K tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

τ_{xy} gerilmesi (Şekil 5.13)

- τ_{xy} gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış kaynak kökünde -1,5 civarında değer almış ve sonra artarak sıfır civarında C noktasına ulaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda τ_{xy} gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca sıfıra yakın değerler almaktadır.
- τ_{xy} gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca K tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

σ_1 gerilmesi (Şekil 5.14)

- σ_1 asal gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış kaynak kökünde 4,9 değerine ulaşmış ve azalarak C noktasında sıfır değerini almıştır.

- Y tipi bağlantıda σ_1 gerilmesi B noktasında 3 değerinden başlamış ve azalarak C noktasına yaklaştıkça sıfır değerini almıştır.
- σ_1 asal gerilmesi BC kaynak ayağı boyunca K tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

σ_E Eşdeğer (Von Mises) gerilme (Şekil 5.15)

- Eşdeğer gerilme K tipi bağlantıda 2,5 değerinden başlamış kaynak kökünde 4,73 değerine ulaşmış sonra azalarak C noktasında sıfır değerini almıştır.
- Y tipi bağlantıda eşdeğer gerilme B noktasında 3 değerinden başlamış ve azalarak C noktasında sıfır değerini almıştır.
- Eşdeğer gerilme BC kaynak ayağı boyunca K tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

BD Kaynak Boğazı

σ_x gerilmesi (Şekil 5.16)

- σ_x gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış 1,8 değerine ulaşmış azalarak D noktasında 0,66 değerini almıştır.
- σ_x gerilmesi Y tipi bağlantıda 3 değerinden başlamış ve azalarak D noktasında 0,66 değerini almıştır.
- σ_x gerilmesi BD kaynak boğazı boyunca Y tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

σ_y gerilmesi (Şekil 5.17)

- σ_y gerilmesi K tipi bağlantıda -2,5 değerinden başlayıp artarak 0,54 değerine ulaşmıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_y gerilmesi BD kaynak boğazı boyunca sıfıra yakın değerlerde kalmaktadır.
- σ_y gerilmesi BD kaynak boğazı boyunca K tipi bağlantıda daha büyük değerler almaktadır.

τ_{xy} gerilmesi (Şekil 5.18)

- τ_{xy} gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlamış -1'e yakın değerlere ulaşmış sonra artarak -0,6 civarında değer almıştır.
- Y tipi bağlantıda τ_{xy} gerilmesi sıfırdan başlayıp azalarak -0,5 civarında bir değere ulaşmıştır.
- K tipi bağlantıda τ_{xy} gerilmesinin kısmen daha büyük değerler aldığı görülmektedir.

σ_1 gerilmesi (Şekil 5.19)

- σ_1 asal gerilmesi K tipi bağlantıda sıfır değerinden başlayıp 2 değerine ulaşmış ve azalarak 1,2 değerini almıştır.
- Y tipi bağlantıda σ_1 asal gerilmesi 3 değerinden başlayıp azalarak 1,13 değerini almıştır.
- Y tipi bağlantıda B noktasına yakın bölgede σ_1 asal gerilmesinin daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir.

σ_E Eşdeğer (Von Mises) gerilme (Şekil 5.20)

- Eşdeğer gerilme K tipi bağlantıda B noktasına yakın bölgelerde 2,4 değerinden 1,6 değerine düşüp 2,9 değerine çıkmakta ve azalarak 1,2 değerini almaktadır.
- Y tipi bağlantıda eşdeğer gerilme B noktasında 3 değerinden başlayıp 1,13 değerini almaktadır.
- Eşdeğer gerilmesinin her iki tip bağlantıda da B noktasına (kaynak kökü) yakın noktalarda daha büyük değerler aldığı görülmektedir.

Çizelge 5.1 BA kaynak ayağı boyunca meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.

BA Kaynak Ayağı				
	K Tipi		Y Tipi	
	Max. Değer	Nokta	Max. Değer	Nokta
σ_x	10.835	A	10.086	A
σ_y	3.418	A	3.164	A
τ_{xy}	-4.472	A	-4.148	A
σ_I	12.936	A	12.028	A
σ_E	12.330	A	11.465	A

Çizelge 5.2 BC kaynak ayağı boyunca meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.

BC Kaynak Ayağı				
	K Tipi		Y Tipi	
	Max. Değer	Nokta	Max. Değer	Nokta
σ_x	4.352	B'ye yakın	2.992	B
σ_y	-2.467	B'ye yakın	-0,03	
τ_{xy}	-1,504	B'ye yakın	-0,153	B'ye yakın
σ_I	4,925	B'ye yakın	2,992	B
σ_E	7,737	B'ye yakın	3,992	B

Çizelge 5.3. BD kaynak boğazı boyunca maksimum gerilme değerleri ve maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgeler.

BD Kaynak Boğazı				
	K Tipi		Y Tipi	
	Max. Değer	Nokta	Max. Değer	Nokta
σ_x	1,864	B'ye yakın	2,992	B
σ_y	-2,450	B	-0,573	B'ye yakın
τ_{xy}	-0,936	B'ye yakın	-0,550	D
σ_I	2,000	B'ye yakın	2,992	B
σ_E	2,888	B'ye yakın	2,992	B

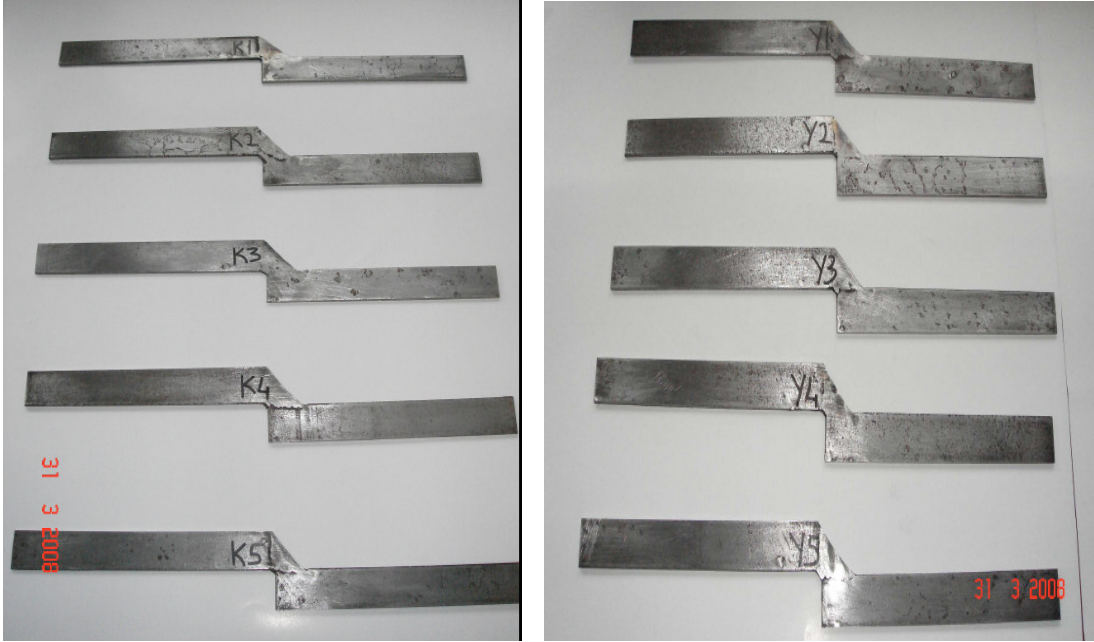
5.3 DENEYSSEL ÇALIŞMA

ANSYS paket programında yapılan analizlerin doğruluğunu deneysel olarak da tespit etmek amacıyla 180x25x3 mm boyutlarında 20 adet ERDEMİR 3237 kalite levha hazırlanmıştır. Bu levhalardan 10 adedi K tipi ve 10 adedi de Y tipi bağlantı olacak şekilde elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri Şekil 5.33'de gösterilmiştir.

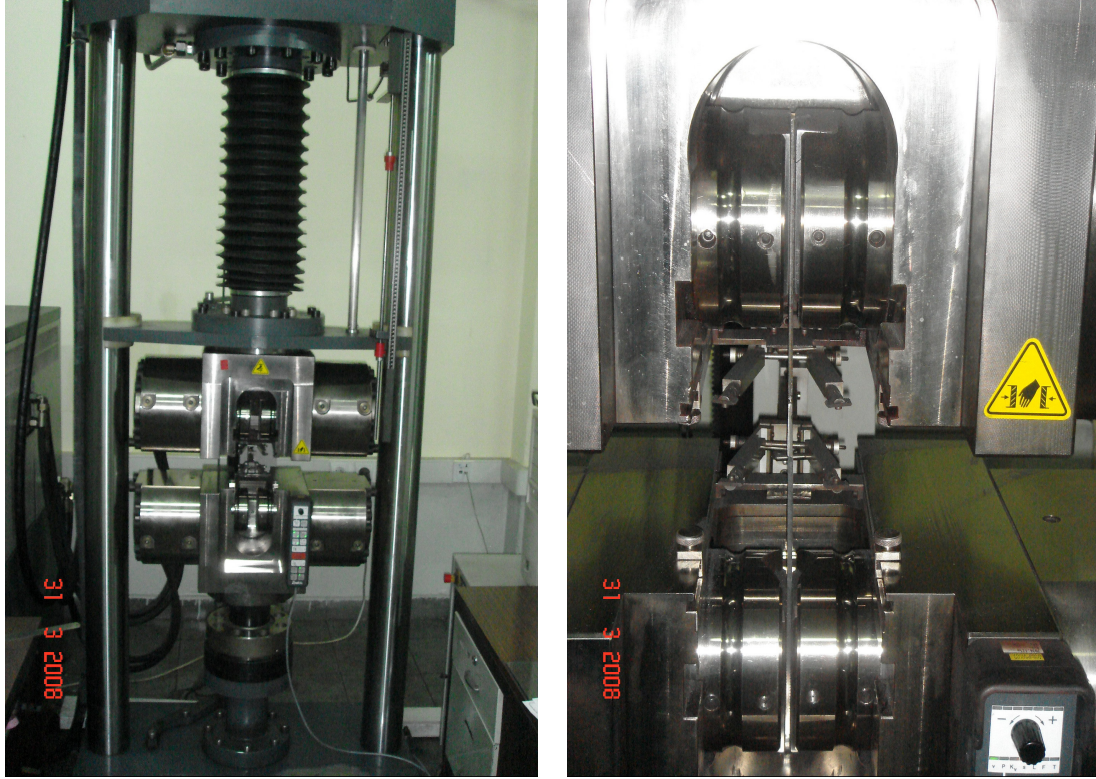


Şekil 5.33 Kaynaklı deney numuneleri.

Şekil 5.33 (devam ediyor)



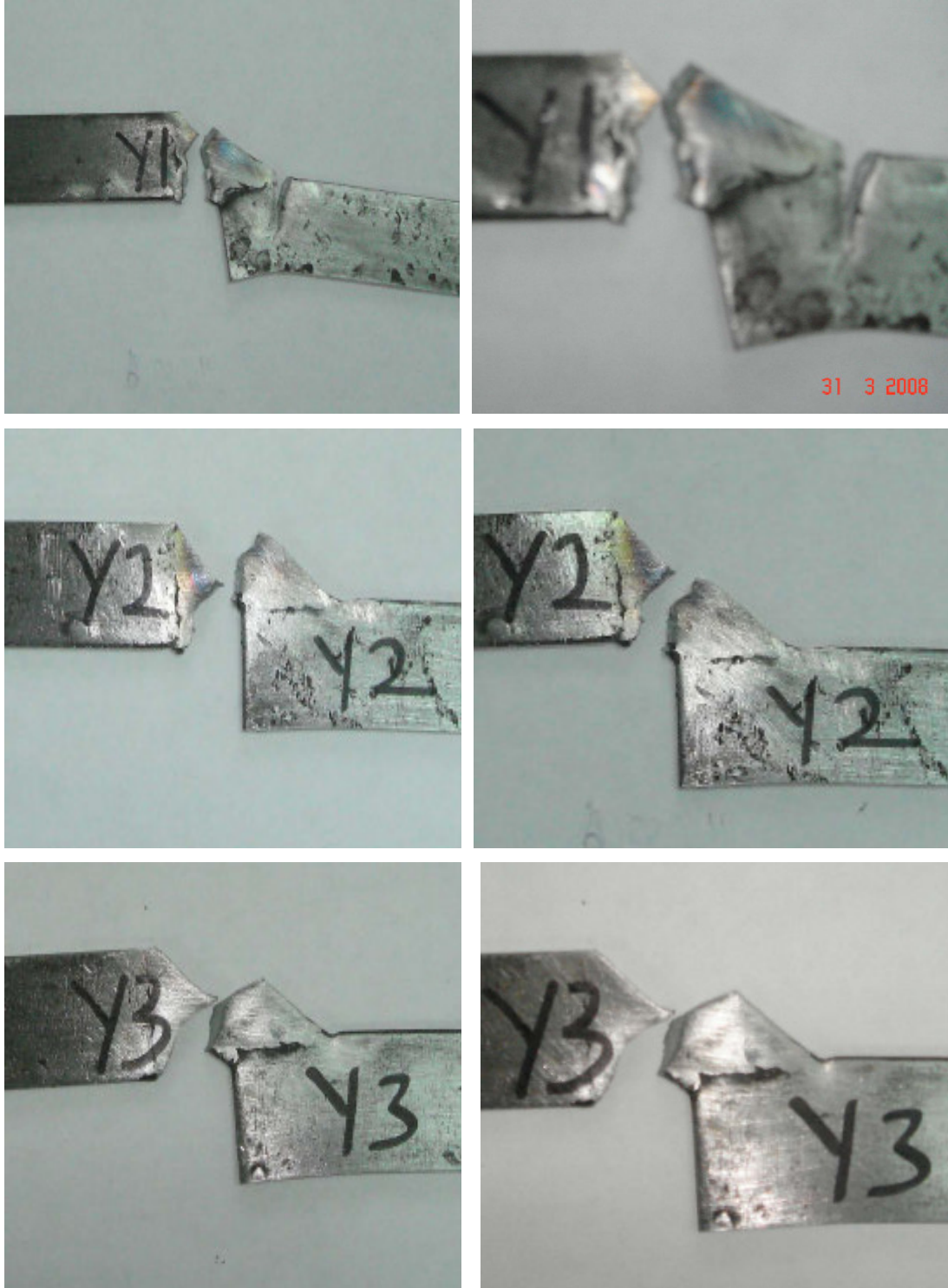
Kaynakla birleştirilmiş deney numunelerine, laboratuvar ortamında Şekil 5.34’de gösterilen Zwick / Z600 marka çekme deney cihazında çekme deneyi yapılmıştır.



Şekil 5.34 Çekme deney cihazı.

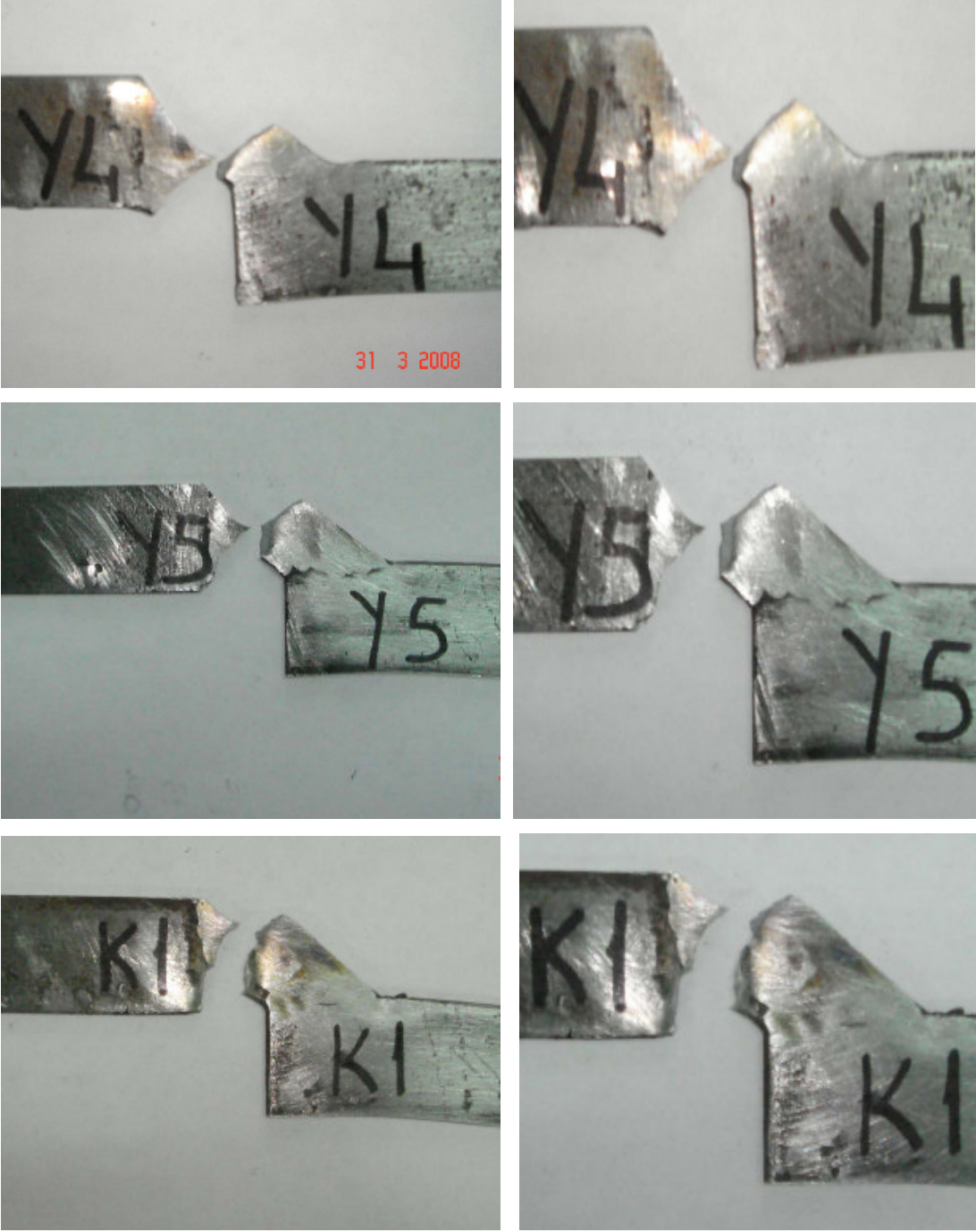
ANSYS programında BA kaynak ayağı boyunca yapılan analizde elde edilen maksimum eşdeğer (Von Mises) gerilmenin A noktasında olduğu görülmüştü. Yapılan deney sonucunda da Şekil 5.35’de görüldüğü üzere A noktasında yarıma meydana gelmiştir. Her iki tipte de malzemeler BC kenarından B noktasına (kaynak köküne) yakın bölgelerden ani şekilde kopmuştur. Bu durum da sonlu elemanlar analizinde BC kaynak ayağı boyunca yapılan analizde eşdeğer (Von Mises gerilmesi) gerilmenin maksimum olduğu noktaya tekabül etmektedir. Deney sonucunda malzemelerde ani şekilde gevrek kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Malzemelerin ani şekilde kopmasının nedeni olarak, kaynak homojenliğinin sağlanamaması, kaynak hataları ve en önemlisi de kaynak bölgesinin homojen ve yavaş soğutulamamasından dolayı sert olması gösterilebilir. Şekil 5.35’de çekme deneyi sonucu kopan malzemeler gösterilmiştir. Deney sonrası malzemelerden sertlik ölçümleri alınmıştır. Plakalardan alınan sertlik ölçümlerinde HRc cinsinden sertlik değeri okunamamış (malzeme yumuşak), fakat kaynak bölgesinden sertlik ölçümü alındığında ise kaynak

bölgesinin 30-35 HRc olduğu görülmüştür. Bu da gevrek kopmanın nedeni olarak gösterilebilir. Ek Açıklamalar B’de malzemelerin akma-kopma grafikleri gösterilmiştir.

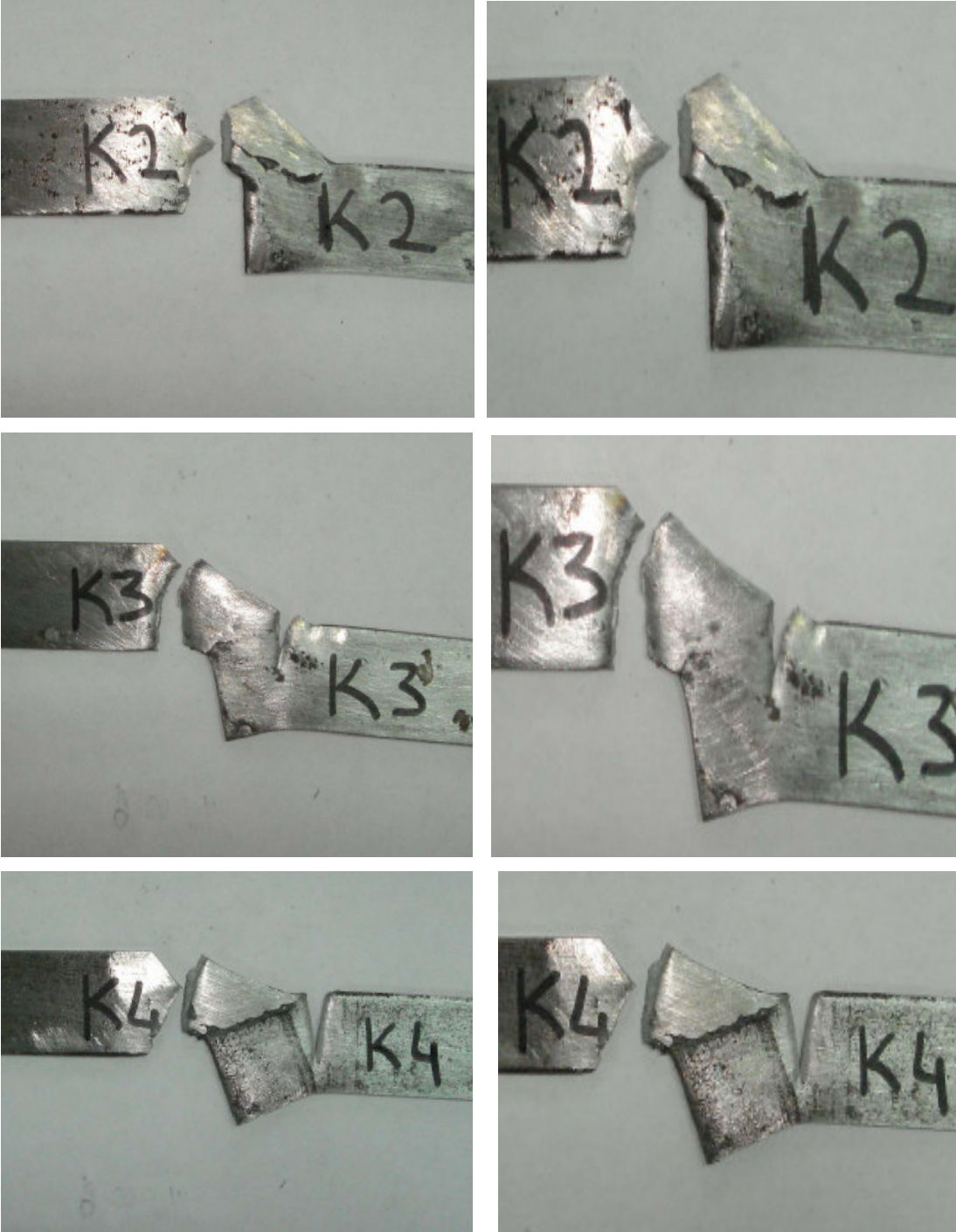


Şekil 5.35 Deney sonucu kopan malzemeler.

Şekil 5.35 (devam ediyor)



Şekil 5.35 (devam ediyor)



Şekil 5.35 (devam ediyor)



BÖLÜM 6

YORUM

Kaynak kökünün kesme etkisinde ve yırtılma etkisinde olduğu iki farklı kaynaklı yapı çalışmamızda incelenmiştir. Problem deneysel olarak da incelenmiştir. Problemin sonlu elemanlar çözümü ile deneysel çalışma uyum göstermiştir.

Problemin ANSYS yazılımında yapılan sonlu elemanlar çözümünden elde edilen sonuçlara ve deney sonuçlarına göre aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

Kaynak ayakları ve kaynak boğazı boyunca meydana gelen maksimum gerilmeler ve bu gerilmelerin meydana geldikleri noktalar Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir. K tipi ve Y tipi bağlantılar karşılaştırıldığında, maksimum gerilmelerin her iki tipte de A noktasında meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç deneysel çalışma sonucunda malzemenin A noktası kenarında oluşan malzeme yırtılması sonucu da görülmektedir.

Bütün malzemelerin kaynak kökünden kopmaya başladığı görülmüştür. Bu durum kaynaklı malzemelerdeki en kritik bölgenin kaynak kökü (B noktası civarı) olduğunu göstermiştir.

B noktasına yakın bölgede oluşan gerilmeler K tipi kaynakta kısmen daha büyük değerler almaktadır.

Bu çalışma sonucunda kaynak yöntemiyle birleştirilmiş malzemelerin kaynak bölgesindeki iki kritik noktanın kaynak kökü B noktası ile yatay kaynak ucu A noktası oluştuğu görülmektedir. D noktasında gerilmeler önemli bir büyüklüğe ulaşmamaktadır.

Sonuç olarak Y tipi kaynak bağlantısının K tipi bağlantıya tercih edilebilir bağlantı olduğu söylenebilir. Deney sonucuna göre de Y tipi bağlantının ortalama akma gerilmesinin K tipi bağlantıların ortalama akma gerilmesine göre kısmen daha düşük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akkurt M** (1999) *Makine elemanları Cilt 1*. 4. basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, 678 s.
- Akkurt M** (2007) *Makine Bilgisi*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 664 s.
- Ank S, Ank E S** (1978) *Soru ve Yanıtlarıyla Kaynak Tekniği*. Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul, 328 s.
- Aydın S** (2001) Kaynak Formunun Gerilme Dağılımına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Aydoğan M Ö** (1999) Kaynaklı Yapılardaki Artık Gerilmelerin ve Distorsiyonların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Benli S** (2004) Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı, İzmir.
- Chang B, Shi Y and Lu L** (2001) Studies on the stress distribution and fatigue behaviour of weld-bonded lap shear joints. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol: 108, p. 307-313.
- Çelik A, Özel A ve Alsaran A** Farklı malzemelerin kaynağının deneysel ve teorik incelenmesi. *Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi* , s.21-30.
- Çidem Y** (2000) Bilgisayar Yardımı ile Kaynak Bağlantıları Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Deng D, Liang W and Murakawa H** (2007) Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol: 183, p. 219-225.
- Dikicioğlu A ve Vural M** (2001) *Kaynak ve döküm tekniği ders notları*. İTÜ Makina Fakültesi.
- Doerk O, Fricke W and Weissenborn C** (2003) Comparison of different calculation methods for structural stresses at welded joints. *International Journal of Fatigue*, Vol: 25, p. 259-369.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dong P** (2001) A structural stress definition and numerical implementation for fatigue analysis of welded joints. *International Journal of Fatigue*, Vol: 23, p.865-876.
- Dönmez M** (1988) Kompozit Malzemelerde Gerilme Dağılımlarının Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Fetvacı C** (1997) Sonlu elemanlar metodu ile modelleme. *Mühendis ve Makina*, Cilt: 38, Sayı: 455, s. 45-48.
- Fetvacı M C** (1999) Sonlu elemanlar metodu ile modellemede temel prensipler. *Mühendis ve Makina*, Cilt: 40, Sayı: 470, s. 45-49.
- Gediktaş M, Temiz V, Palabıyık M ve Parlar Z** (1999) *Makine elemanları Problemleri*. 3. basım, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 492 s.
- Günay D, Elmas M, Aydemir A, Çağlar N ve Özer H** (1997) Enine dikişli kaynak bağlantılarında gerilme analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 3, Sayı: 2, s. 323-329.
- Günay E** (1997) Kompozit plakların kişisel bilgisayarda gerilme analizi ve tasarımı. *Metaluri*, Cilt: 21 Sayı: 111-özel s. s.46-50.
- Gür M ve Kaman M O** (2001) Ortasında dikdörtgen delik bulunan düzlem kompozit levhada elasto-plastik gerilme analizi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 2 s. 225-236.
- Karakaş Ö ve Gülsöz A** Kaynaklı birleştirmelerin statik ve yorulma dayanımına etki eden Faktörler, *Mühendis ve Makina*, Cilt: 48, Sayı: 573, s. 10-17.
- Karamanos S A, Romejin A and Wardenier J** (1999) Stress concentrations in multi-planar welded CHS XX-connections. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol: 50, p. 259-282.
- Lee C H and Chang K H** (2007) Numerical analysis of residual stresses in welds of similar or dissimilar steel weldments under superimposed tensile loads. *Computational Materials Science*, Vol:40, p. 548-556.
- Li X Y, Partanen T, Nykanen T and Björk T** (2001) Finite element analysis of the effect of weld geometry and load condition on fatigue strength of lap joint. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol: 78, p. 591-597.
- Lie S T and Lan S** (1997) A Boundary element analysis of misaligned load-carrying cruciform welded joints. *International Journal of Fatigue*, Vol: 20, No: 6, p.433-439.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Meriç C ve Okur A** (2000) Rutil elektrotlarla birleştirilmiş C22'nin kaynak bölgesinin kırılma tokluğunun incelenmesi ve uyumsuzluk (mismatch) faktörünün belirlenmesi. *Denizli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 95-105.
- Minguez J M and Vogwell J** (2003) The stress distribution over open and closed weld joints. *Engineering Failure Analysis*, Vol: 10, p. 103-111.
- Özbay M** (1999) Stress analysis of metal matrix laminated plates under in plane loading. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 12, Sayı: 3 s. 849-857.
- Özçatalbaş Y, Fındık T, Kurt A, Karacif K, Özer A ve Vural H İ** (2008) Kaynaklı birleştirmeli konstrüksiyonların çarpılma eğilimlerinin belirlenmesi için deneysel bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 1, s. 139-145.
- Özer D ve Özbay M** (2004) Düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakta oluşan elastik gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 19, Sayı: 1 s. 51-57.
- Özer H** (1996) Düz Dişli Çarkların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Teng T L, Fung C P and Chang P H** (2002) Effect of weld geometry and residual stresses on fatigue in butt-welded joints. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol: 79, p. 467-482.
- Teng T L, Fung C P, Chang P H and Yang W C** (2001) Analysis of residual stresses and distortions in T-joint fillet welds. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol: 78, p. 523-538.
- Uyulgan B, Çetinel H ve Aksoy T** (2000) İki farklı çeliğin kaynağındaki uyumsuzluğun incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, Cilt: 48, Sayı: 573, s. 18-23.
- Wang T, Hopperstad O S, Lademo O G and Larsen P K** (2007) Finite element analysis of welded beam-to-column joints in aluminium alloy EN AW 6082 T6. *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol: 44, p. 1-16.
- Xu S and Deng X** (2004) An evaluation of simplified finite element models for spot-welded joints. *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol: 40, p.1175-1194.
- Yalçın H T, Vural M and Akkus A** (2005) The FEM analysis of the behaviour of a welded column-joist joint under seismic loading. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol: 164-165, p. 1269-1276.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Yavuz N, Özcan R ve Polat F G (2005) Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 10, Sayı: 2, s. 9-19.

URL-1 (2001) <http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys>, ANSYS Tutorials, University of Alberta, 08 Mart 2008.

URL-2 (2008) <http://atlas.cc.itu.edu.tr/~mecit/>, Prof. Dr. Zahit Mecitoğlu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 14 Mart 2008.

EK AÇIKLAMALAR A
DENEY NUMUNELERİNİN DENEY SONUCU ELDE EDİLEN MUKAVEMET
DATALARI

Çizelge A.1 Deney malzemelerinin çekme deneyi sonucu elde edilen akma ve çekme deney dataları.

Deney Numune No	Akma Mukvemeti (MPa)	Çekme Mukvemeti (MPa)
K1	2,57	3,92
K2	2,74	3,71
K3	2,58	3,5
K4	2,65	3,86
K5	2,83	4,09
Y1	2,56	3,34
Y2	2,4	3,8
Y3	2,75	4,22
Y4	2,63	4,39
Y5	2,58	3,89

EK AÇIKLAMALAR B

**DENEY NUMUNELERİNİN DENEY SONUCU ELDE EDİLEN AKMA-KOPMA
EĞRİLERİ**

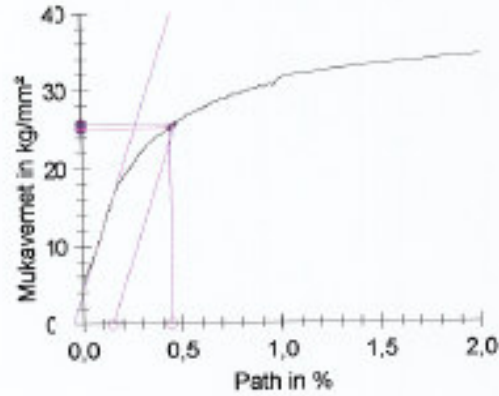
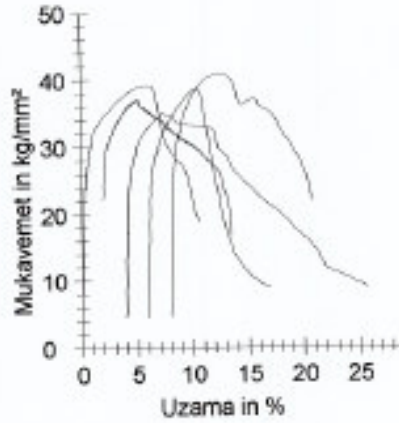
Parametre tablosu :

Müşeri :	Gauge length: 50 mm
Bobin no :	Test Opr. : CEMAL & METİN
Dokum no :	Makine : Zwick 2600I-800KN
Kalite :	Macro extensometre

Istatistikler :

n = 5	E-Modulus kN/mm ²	Akma 0,2 kg/mm ²	Akma 0,5 kg/mm ²	Alt Akma kg/mm ²	Üst akma kg/mm ²	Cekme muk. kg/mm ²	Uzama %	Kalınlık mm	Genişlik mm
x	83,93	26,6	26,2	-	-	38,2	13,8	2,81	18,28
min.	77,57	25,7	25,2	-	-	35,0	10,4	2,67	18
max.	98,71	28,3	27,4	-	-	40,9	21,5	3	19,82
s	9,92	1,2	1,1	-	-	2,2	5,2	0,1738	1,423
v	11,82	4,50	4,06	-	-	5,80	37,73	6,18	7,78

Numune grafikleri :



Sonuc lar :

Nr	Lab no	E-Modulus kN/mm ²	Akma 0,2 kg/mm ²	Akma 0,5 kg/mm ²	Alt Akma kg/mm ²	Üst akma kg/mm ²	Cekme muk. kg/mm ²	Uzama %	Kalınlık mm	Genişlik mm	Ag %
1	k-1	77,57	25,7	25,2	-	-	38,2	10,4	3	18,82	5,51
2	k-2	-	-	-	-	-	37,1	-	3	18,04	-
3	k-3	78,99	25,8	25,4	-	-	35,0	21,5	2,67	18,7	3,12
4	k-4	98,71	26,5	26,7	-	-	38,6	10,8	2,68	19,82	4,08
5	k-5	80,46	28,3	27,4	-	-	40,9	12,6	2,7	16	3,79

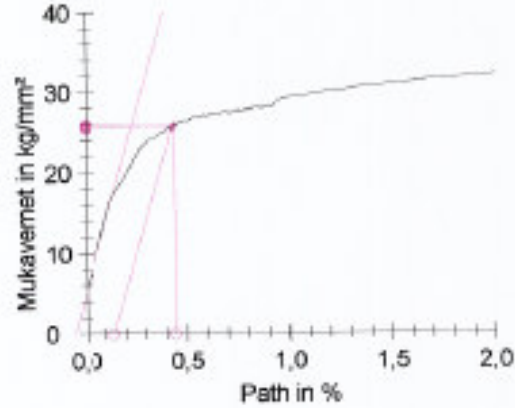
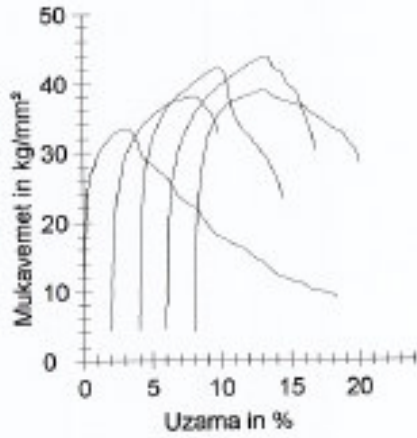
Parametre tablosu :

Müşeri :	Gauge length: 52 mm
Bobin no :	Test Opr. : CEMAL & METİN
Dokum no :	Makine : Zwick Z800H-600KN
Kalite :	Macro extensometre

İstatistikler :

n = 5	E-Modulus kN/mm ²	Akma 0,2 kg/mm ²	Akma 0,5 kg/mm ²	Akt Akma kg/mm ²	Üst akma kg/mm ²	Cekme muk. kg/mm ²	Uzama %	Kalınlık mm	Genişlik mm
x	68,79	25,8	24,7	-	-	39,3	11,6	3	17,66
min.	58,13	24,0	22,5	-	-	33,4	7,4	3	16,54
max.	87,00	27,5	25,9	-	-	43,9	18,3	3	18,53
s	12,22	1,3	1,3	-	-	4,1	4,1	0,000	0,7506
v	17,77	4,95	5,18	-	-	10,36	34,93	0,00	4,25

Numune grafikleri :



Sonucilar :

Nr	Lab no	E-Modulus kN/mm ²	Akma 0,2 kg/mm ²	Akma 0,5 kg/mm ²	Akt Akma kg/mm ²	Üst akma kg/mm ²	Cekme muk. kg/mm ²	Uzama %	Kalınlık mm	Genişlik mm	Ag %
1	y-1	87,00	25,6	25,9	-	-	33,4	18,3	3	18,53	2,91
3	y-2	58,55	24,0	22,5	-	-	38,0	7,4	3	17,35	5,38
4	y-3	58,13	27,5	24,7	-	-	42,2	10,2	3	17,9	5,19
5	y-4	63,90	26,3	25,0	-	-	43,9	10,5	3	16,54	6,91
6	y-5	75,37	25,8	25,2	-	-	38,9	11,8	3	17,96	4,76

Şekil B.1 Deney numunelerinin deney sonucu elde edilen akma-kopma eğrileri

ÖZGEÇMİŞ

Sedat ARI, 1981’de Kdz. Ereğli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kdz. Ereğli’de tamamladı. Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2001 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2004 yılında mezun olduktan sonra Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları 2. Sıcak Haddehane Müdürlüğünde mekanik bakım mühendisi olarak göreve başladı; halen 2004 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: İstanbul Yol Ayrımı Fırın S. No: 47/101

67300 Kdz. EREĞLİ/ ZONGULDAK

Tel : (372) 329 5439

Faks : -

E-posta: ari_sedat@yahoo.com