

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİNÜS GÖVDELİ I PROFİLLERDEN OLUŞTURULMUŞ
DIŞ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Haşim KISA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİNÜS GÖVDELİ I PROFİLLERDEN OLUŞTURULMUŞ
DIŞ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Haşim KISA
(501111223)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111223 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Haşim KISA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SİNÜS GÖVDELİ İ PROFİLLERDEN OLUŞTURULMUŞ DIŞ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cavidan YORGUN**

Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **05 Haziran 2013**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında tüm bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yol gösteren ve tez çalışmam esnasında karşılaşmış olduğum güçlüklerde yanımda olan ve değerli zamanını ayıran Hocam Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen Yük. Müh. Recep Aydın ve Yük. Müh. Tansu Gökçe başta olmak üzere Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bugünlere gelmeme en büyük maddi ve manevi desteği sağlayan aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Mehmet Haşim KISA
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1 Önceki Çalışmalar	2
1.2 Amaç	4
2. DÜZLEM GERİLME HALİ.....	5
2.1 Düzlem Gerilme Haline Ait Temel Denklemler	7
2.1.1 Dengenin Diferansiyel Denklemleri	7
2.1.2 Bünye Bağlılıları	8
2.1.3 Yerdeğiştirme – Birim Şekildeğiştirme Bağlılıları	9
2.2 Düzlem Gerilme Haline Ait Uygunluk Denklemleri	9
2.3 Düzlem Gerilme Haline Ait Sınır Şartları.....	10
3. DENEYLERİN HAZIRLIĞI	11
3.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	11
3.2 Deney Numuneleri	11
3.2.1 EEPC-H0 numunesi	11
3.2.2 EEPC-HS numunesi.....	14
3.3 Malzeme Dayanımları	15
3.4 Deney Düzenegi	17
3.4.1 Yükleme Planı.....	18
3.4.2 Ölçüm Düzenegi	20
3.5 Veri Okuma ve Kayıt Sistemi	20
3.5.1 Veri okuyucu sistemin yerleşimi.....	20
3.5.2 Verinin toplanması ve kaydedilmesi.....	21
4. BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	23
4.1 Data Dosyası	23
4.2 Programın İşleyişi	23
4.2.1 Data dosyasındaki verilerin okunması	24
4.2.2 Dönüşüm matrisinin oluşturulması ve ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} 'nin bulunması.....	26
4.2.3 Bünye bağılılılarının oluşturulması ve σ_x , σ_y 'nin bulunması.....	30
4.2.4 Kayma gerilmesinin bulunması	31
4.2.5 Asal gerilmelerin bulunması	32
4.2.6 Asal uzama oranlarının bulunması.....	34
4.2.7 Düzlem içi en büyük kayma açısının bulunması	36
4.2.8 Düzlem içi en büyük kayma gerilmesinin bulunması.....	36
4.2.9 En büyük kayma açısının bulunması	37
4.2.10 En büyük kayma gerilmesi.....	38

4.3 Mohr Grafik Betimlemesinin Çizdirilmesi.....	38
4.3.1 Birim şekildeğiştirme bileşenlerinin girilmesi	38
4.3.2 Mohr dairesinin merkezinin ve çapının hesaplanması	41
4.3.3 Birim şekildeğiştirme bileşenlerinin çizdirilmesi	42
4.3.4 Asal uzama oranlarının çizdirilmesi.....	45
4.3.5 En büyük kayma şekildeğiştirmelerinin konumlandırılması.....	46
5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	49
5.1 EEPC-H0 Deneyi.....	49
5.1.1 Akma aşaması şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	49
5.1.2 Akma aşaması yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri	50
5.1.3 Akma öncesi durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	52
5.1.4 Akma öncesi yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri.....	53
5.1.5 Akma sonrası durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	55
5.1.6 Akma sonrası yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri.....	56
5.1.7 Moment şekildeğiştirme grafiği	57
5.1.8 Moment asal gerilme grafiği	61
5.1.9 Panel bölgesi tek eksenli şekildeğiştirme ölçer verilerinin işlenmesi	62
5.2 EEPC-HS Deneyi	64
5.2.1 Akma aşaması şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	64
5.2.2 Akma aşaması yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri	65
5.2.3 Akma öncesi durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	67
5.2.4 Akma öncesi yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri.....	68
5.2.5 Akma sonrası durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri	70
5.2.6 Akma sonrası yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri.....	71
5.2.7 Moment şekildeğiştirme grafiği	72
5.2.8 Moment asal gerilme grafiği	76
5.2.9 Panel bölgesi tek eksenli şekildeğiştirme ölçer verilerinin işlenmesi	77
6. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	81
6.1 Şekildeğiştirme ve Yerdeğiştirme İlişkileri.....	81
6.2 Moment-Dönme İlişkileri.....	84
6.3 Moment Şekildeğiştirme İlişkisi.....	90
6.4 Panel Bölgesi Şekildeğiştirme Ölçerlerden Alınan Verilerin Karşılaştırılması	90
6.4.1 EEPC-H0 deneyi	91
6.4.2 EEPC-HS deneyi	92
6.4.3 EEPC-HS ile EEPC-H0 deneyleri çevrimsel enerji sönümü	94
6.4.4 Birleşim bölgesinin kesme şekildeğiştirmesi	95
7. SONUÇLAR	99
KAYNAKLAR.....	101
EKLER.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	115

KISALTMALAR

[G]	: Gerilme tansörü
[D]	: Şekildeğiştirme tansörü
σ_x	: X eksenini doğrultusunda oluşan normal gerilme
σ_y	: Y eksenini doğrultusunda oluşan normal gerilme
σ_z	: Z eksenini doğrultusunda oluşan normal gerilme
σ_1	: En büyük asal normal gerilme
σ_2	: En küçük asal normal gerilme
τ_{xy}	: Birim elemanın(x,y) yüzeylerinde oluşan gerilme
τ_{zx}	: Birim elemanın(z,x) yüzeylerinde oluşan gerilme
τ_{zy}	: Birim elemanın(z,y) yüzeylerinde oluşan gerilme
ϵ_x	: X doğrultusunda oluşan birim şekildeğiştirme
ϵ_y	: Y doğrultusunda oluşan birim şekildeğiştirme
ϵ_z	: Z doğrultusunda oluşan birim şekildeğiştirme
ϵ_1	: En büyük asal birim şekildeğiştirme
ϵ_2	: En küçük asal birim şekildeğiştirme
θ	: Göreli kat ötelemesi açısı
E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
ν	: Possion oranı
γ_{xy}	: X-Y düzleminde oluşan kayma açısı
γ_{xz}	: X-Z düzleminde oluşan kayma açısı
γ_{yz}	: Y-Z düzleminde oluşan kayma açısı
$\gamma_{\max\text{-inplane}}$: Düzlemiçi en büyük kayma birim şekildeğiştirmesi
γ_{\max}	: En büyük kayma birim şekildeğiştirmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : 15 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.....	16
Çizelge 3.2 : 20 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.....	16
Çizelge 3.3 : 3 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.....	16
Çizelge 5.1 : Akma aşaması (0.002) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	49
Çizelge 5.2 : Akma öncesi (0.00085) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	52
Çizelge 5.3 : Akma sonrası (0.02029) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	55
Çizelge 5.4 : Akma aşaması (0.0022) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	64
Çizelge 5.5 : Akma öncesi (0.00086) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	67
Çizelge 5.6 : Akma sonrası (0.0192) panel bölgesi şekil değiştirme bileşenleri.....	70
Çizelge 6.1 : Yük-Şekil değiştirme-Yerdeğiştirme İlişkileri.....	81
Çizelge A.1 : Gerilme – Birim Şekil değiştirme Grafikleri(t=15mm).	104
Çizelge A.2 : Gerilme – Birim Şekil değiştirme Grafikleri(t=20mm).	106
Çizelge A.3 : Gerilme – Birim Şekil değiştirme Grafikleri(t=3 mm).	108



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Farklı tip gövdeli numuneler.	2
Şekil 1.2 : Yorulma çatlağının oluşum anı.	3
Şekil 2.1 : Düzlem gerilme hali, gerilme ve şekildeğiştirme tansörleri (Gazi, 2008).	5
Şekil 2.2 : Dengenin diferansiyel denklemleri (İnan, 1969).	8
Şekil 2.3 : Sınır şartları (İnan, 1969).	10
Şekil 3.1 : EEPC-H0 numunesinin katı modeli ve kolon kesiti.	12
Şekil 3.2 : EEPC-H0 numunesinin kesit ve detay ölçüleri.	13
Şekil 3.3 : EEPC-HS numunesinin katı modeli ve kolon kesiti.	14
Şekil 3.4 : Malzeme deneyi numuneleri.	15
Şekil 3.5 : EEPC-H0 deney elemanı için hazırlanan düzenek.	17
Şekil 3.6 : Göreli kat ötelemesi açısının bulunmasında kullanılan parametrelerin gösterimi.	19
Şekil 3.7 : SAC yükleme protokolü.	19
Şekil 3.8 : Deney elemanı üzerine sabitlenmiş yerdeğiştirme ölçerler.	20
Şekil 3.9 : Deney elemanın yüzeyine yapıştırılmış şekildeğiştirme ölçerler.	21
Şekil 3.10 : Veri akışını sağlayan deney elemanları.	21
Şekil 3.11 : Kontrol odası.	22
Şekil 4.1 : Akış diyagramı.	24
Şekil 4.2 : Giriş diyalogu penceresi.	25
Şekil 4.3 : Data dosyasının seçilmesi.	25
Şekil 4.4 : Şekildeğiştirmemiş konumun geometrik gösterimi(Omurtag, 2012).	26
Şekil 4.5 : ε_x doğrultusunda birimşekildeğiştirmenin geometrik ifadesi (Omurtag, 2012).	27
Şekil 4.6 : ε_y doğrultusunda birim şekildeğiştirmenin geometrik ifadesi (Omurtag, 2012).	27
Şekil 4.7 : Farklı eksen takımında uzama oranının geometrik arkaplanı (Omurtag, 2012).	28
Şekil 4.8 : Dönüşüm Matrisinin Oluşturulması ve ε_x , ε_y , γ_{xy} 'nin bulunması.	30
Şekil 4.9 : Bünye bağıntılarının oluşturulması ve σ_x ve σ_y 'nin bulunması.	31
Şekil 4.10 : Kayma açısının geometrik gösterimi.	32
Şekil 4.11 : Kayma modülü ve kayma gerilmeleri.	32
Şekil 4.12 : Eğik gerilme vektörünün gösterimi.	33
Şekil 4.13 : Asal gerilmelerin görsel gösterimi.	33
Şekil 4.14 : Asal normal gerilmelerin bulunması.	34
Şekil 4.15 : Doğrultmanın grafiksel gösterimi.	35
Şekil 4.16 : Asal uzama oranlarının bulunması.	35
Şekil 4.17 : Asal uzama oranlarının bulunması.	35
Şekil 4.18 : En büyük kayma açısının geometrik gösterimi.	36
Şekil 4.19 : Düzlemiçi en büyük kayma açısının bulunması.	36
Şekil 4.20 : Düzlemiçi en büyük kayma gerilmesinin bulunması.	37

Şekil 4.21 : En büyük kayma açısının bulunması.....	37
Şekil 4.22 : En büyük mutlak kayma gerilmesinin bulunması.....	38
Şekil 4.23 : Mohr programı giriş diyalog penceresi.....	38
Şekil 4.24 : Giriş diyalogu penceresinin Matlab kodu.....	39
Şekil 4.25 : S matrisinin Matlab kodu.....	40
Şekil 4.26 : U matrisinin Matlab kodu.....	40
Şekil 4.27 : Asal şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	41
Şekil 4.28 : Mohr dairesinin Matlabda çapının ve merkezinin bulunması.....	41
Şekil 4.29 : Mohr dairesinin Matlab da çizdirilmesi.....	42
Şekil 4.30 : Mohr dairesinin çıktı görüntüsü.....	42
Şekil 4.31 : $\varepsilon_3 > \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin konumu.....	43
Şekil 4.32 : $\varepsilon_3 > \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin Matlab kodu.....	43
Şekil 4.33 : $\varepsilon_3 < \varepsilon_2$ durumunda Mohr dairesinin konumu.....	43
Şekil 4.34 : $\varepsilon_3 < \varepsilon_2$ durumunda Mohr dairesinin Matlab kodu.....	44
Şekil 4.35 : $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin konumu.....	44
Şekil 4.36 : $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumunda Matlabda oluşturulan kod.....	44
Şekil 4.37 : Mohr dairesinin Matlab da çizim kodları.....	45
Şekil 4.38 : Mohr dairesi yardımıyla asal şekildeğiştirmelerin gösterimi.....	45
Şekil 4.39 : Matlab üzerinde dairenin gösterilmesi ve çizim alanının düzenlenmesi.....	46
Şekil 4.40 : Matlab üzerinde en büyük kayma şekildeğiştirmelerinin gösterimi.....	46
Şekil 4.41 : Matlab üzerinde kesişim noktalarının işaretlenmesi.....	47
Şekil 5.1 : EEPC-H0 deneyi akma aşaması panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	50
Şekil 5.2 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.....	51
Şekil 5.3 : EEPC-H0 numunesi yük yerdeğiştirme grafiği.....	51
Şekil 5.4 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması yük yerdeğiştirme grafiği.....	52
Şekil 5.5 : EEPC-H0 deneyi akma öncesi panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	53
Şekil 5.6 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.....	54
Şekil 5.7 : EEPC-H0 numunesi akma öncesi yük yerdeğiştirme grafiği.....	54
Şekil 5.8 : EEPC-H0 deneyi akma sonrası panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	55
Şekil 5.9 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.....	56
Şekil 5.10 : EEPC-H0 numunesi akma sonrası yük yerdeğiştirme grafiği.....	56
Şekil 5.11 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.....	57
Şekil 5.12 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.....	57
Şekil 5.13 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.....	58
Şekil 5.14 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.....	58
Şekil 5.15 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.....	59
Şekil 5.16 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.....	59
Şekil 5.17 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.....	60
Şekil 5.18 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.....	60
Şekil 5.19 : EEPC-H0 numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.....	61
Şekil 5.20 : EEPC-H0 numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.....	61
Şekil 5.21 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesinde konumlandırılan şekildeğiştirme ölçerlerin pozisyonu.....	62

Şekil 5.22 : EEPC-H0 numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre C şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	62
Şekil 5.23 : EEPC-H0 görelî kat ötelemesi açısına göre D şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	63
Şekil 5.24 : EEPC-H0 numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre A şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	63
Şekil 5.25 : EEPC-H0 numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre B şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	64
Şekil 5.26 : EEPC-HS deneyi akma aşaması panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	65
Şekil 5.27 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.	66
Şekil 5.28 : EEPC-HS numunesinin yük yerdeğiştirme grafiği.	66
Şekil 5.29 : EEPC-HS numunesi akma aşaması yük yerdeğiştirme grafiği.	67
Şekil 5.30 : EEPC-HS deneyi akma öncesi panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	68
Şekil 5.31 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.	69
Şekil 5.32 : EEPC-HS numunesi akma öncesi yük yerdeğiştirme grafiği.....	69
Şekil 5.33 : EEPC-HS deneyi akma sonrası panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.....	70
Şekil 5.34 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.	71
Şekil 5.35 : EEPC-HS numunesi akma sonrası yük yerdeğiştirme grafiği.....	71
Şekil 5.36 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.	72
Şekil 5.37 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.	72
Şekil 5.38 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.	73
Şekil 5.39 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği....	73
Şekil 5.40 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.	74
Şekil 5.41 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği....	74
Şekil 5.42 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.	75
Şekil 5.43 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği....	75
Şekil 5.44 : EEPC-HS numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.	76
Şekil 5.45 : EEPC-HS numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.	76
Şekil 5.46 : EEPC-HS numunesi panel bölgesinde konumlandırılan şekildeğiştirme ölçerlerin pozisyonu.	77
Şekil 5.47 : EEPC-HS numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre C şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	77
Şekil 5.48 : EEPC-HS numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre D şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	78
Şekil 5.49 : EEPC-HS numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre A şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	78
Şekil 5.50 : EEPC-HS numunesi görelî kat ötelemesi açısına göre B şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.	79
Şekil 6.1 : Akma aşamasında EEPC-H0, EEPC-HS yük-yerdeğiştirme grafikleri. ..	82
Şekil 6.2 : Gövdeyi flanşlara bağlayan kaynaklarda ayrılma başladığında EEPC-H0, EEPC-HS yük-yerdeğiştirme grafikleri.	82
Şekil 6.3 : EEPC-H0 ve EEPC-HS'in adıma göre asal şekildeğiştirme grafikleri. ...	83
Şekil 6.4 : EEPC-H0 deneyi sonrası.	83
Şekil 6.5 : EEPC-HS deneyi panel görüntüsü.	84

Şekil 6.6 : Kiriş alın plakasından ve kolon başlıklarından dönmenin tespitinin grafik olarak gösterimi.	85
Şekil 6.7 : Kolon başlıklarına konulan yerdeğiştirme ölçerler.	85
Şekil 6.8 : Deney numunelerinin kolon üst ve alt başlığından elde edilen moment-dönme ilişkisi.	86
Şekil 6.9 : Deney numunelerinin kolon üst ve alt başlığından elde edilen moment-dönme ilişkisi.	86
Şekil 6.10 : Deney numunelerinin kolon üst ve alt başlığından elde edilen moment-dönme ilişkisi.	87
Şekil 6.11 : Kiriş alın plakasında konumlandırılmış yerdeğiştirme ölçerler.	87
Şekil 6.12 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.	88
Şekil 6.13 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.	88
Şekil 6.14 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.	89
Şekil 6.15 : EEPC-HS deneyi son hali.	89
Şekil 6.16 : Deney numunelerinin moment-şekildeğiştirme ilişkisi.	90
Şekil 6.17 : Şekildeğiştirme ölçerlerin konumları ve doğrultuları.	91
Şekil 6.18 : C, D ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	91
Şekil 6.19 : A, B ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	92
Şekil 6.20 : C, D ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	93
Şekil 6.21 : A, B ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	93
Şekil 6.22 : EEPC-H0 çevrimsel enerji sönümü.	94
Şekil 6.23 : EEPC-HS çevrimsel enerji sönümü.	94
Şekil 6.24 : Birleşim bölgesinin kesme şekildeğiştirme ölçümü.	95
Şekil 6.25 : EEPC-H0 yük- kesme şekildeğiştirme grafiği.	96
Şekil 6.26 : EEPC-HS yük-kesme şekildeğiştirme grafiği.	96
Şekil 6.27 : EEPC-H0 kesme şekildeğiştirme-öteleme oranı grafiği.	96
Şekil 6.28 : EEPC-HS kesme şekildeğiştirme-öteleme oranı grafiği.	97

SİNÜS GÖVDELİ I PROFİLLERDEN OLUŞTURULMUŞ DIŞ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, sinüs gövdeli profillerden oluşturulmuş 2 adet 1/1 ölçekli kolon-kiriş birleşim bölgesi incelenmiştir. Çalışılan numuneler, devam etmekte olan bir doktora çalışmasında incelenen numunelerin iki tanesine karşı gelmektedir. Numunelerden birinde kolon-kiriş panel bölgesinde sinüs gövde profili kullanılırken diğesinde düz plaka kullanılmıştır.

Üretilen deney numuneleri laboratuvarında tersinir tekrarlı yükler etkisinde incelenmiştir. Veri kaynağı olarak panel bölgesine yerleştirilen tek doğrultulu ve üç doğrultulu şekildeğiştirme ölçerler ile yerdeğiştirme ölçerlerden faydalanılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen veriler geliştirilen bir yazılım yardımıyla asal şekildeğiştirme ve gerilme büyüklüklerine çevrilmiştir. Deneylerden elde edilen şekildeğiştirme, yatay rijitlik, dönme büyüklükleri karşılaştırılarak panel bölgesinin davranışı incelenmiştir.

Her iki numunede panel bölgesindeki asal şekildeğiştirmeler akmaya ulaştığında düz gövdeli numunenin yaklaşık iki kat daha fazla yük kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Birleşim bölgesi moment kapasitesi açısından incelendiğinde, sinüs gövdeli profilden oluşturulan numunenin kapasitesinin düşük olduğu belirlenmiştir. Numuneler akma aşamasında değerlendirildiğinde düz gövdeli numune daha rijit bir davranış göstermiştir.

Panel bölgesinde moment etkisinde oluşan düşey doğrultudaki şekildeğiştirmelere bakıldığında, düz gövdeli ve sinüs gövdeli numunelerde akmaya ilk olarak panelin merkezinde bulunan rozet şekildeğiştirme ölçer ulaşmıştır. Düşey doğrultuda ölçülen şekildeğiştirmeler üzerinde berkitme levhalarının gövdeye kaynaklı olup olmamasının etkisi gözlemlenmiştir.

Düz levhadan oluşturulmuş panel bölgesinde yatay doğrultuda en büyük şekildeğiştirmeler, panelin üst bölgesine yerleştirilmiş yatay doğrultuda ölçüm alan tek eksenli şekildeğiştirme ölçerde ve panel bölgesinin merkezinde bulunan rozet şekildeğiştirme ölçerin X bileşeninde oluşmuştur. Diğer numunede ise en büyük şekildeğiştirme rozet şekildeğiştirme ölçerin X bileşeninde oluşmuştur.

Numunelerin yığışlımı çevrimsel enerji sönümlenme kapasiteleri incelendiğinde, panel bölgesi düz levhadan oluşan deney elemanının enerji sönümlenme kapasitesinin sinüs gövdeli profilden oluşan deney elemanına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, panel bölgesinin görel olarak daha kalın levhadan yapılmasının düğüm noktası mekanizması riskinin ortadan kaldırılmasında kullanılabilecek önlemlerden biri olduğunu göstermiştir.



THE BEHAVIOUR OF EXTERIOR BEAM TO COLUMN CONNECTIONS OF CORRUGATED WEB I SECTIONS

SUMMARY

Steel structures are becoming more and more popular due to their many advantages such as the better satisfaction with the flexible architecture, durability, strength, environmental aspects etc. as well as precise and uniform shapes in manufacturing. In parallel to this trend, the use of steel sections with corrugated web is also increasing since some advantages. These types of members are mostly used in Austria and Germany, but the surrounding countries are also started to use them.

The response of a moment-resisting frame depends on the characteristics of its main components, namely the beams, the columns and the connections. There exists several types of connection configurations used in the construction such as extended end plate, flush end plate, welded flanges-bolted web or welded flanges-welded webs connections, among others.

At the beginning of 1970's, the importance of the panel zone in the response of the frames was identified and, experimental and analytical studies were carried out to characterize this component behaviour.

The panel was described to be an element mainly subjected to shear stresses and therefore its failure mode was governed by shear yielding. Tests demonstrated that the shear failure mode was stable and ductile under cyclic loading. These attractive features were taken into account in design regulations by the end of the 1980's which allowed the panel zone to be considered as a dissipative component.

However, the 1994 Northridge earthquake resulted in severe damage in the connections of steel moment-resisting frames which had not been observed before. Extensive research was triggered which detected that excessive distortions in the panel zone played an important role in the development of weld failures in the connections.

Since then research has been carried out to define new panel zone design criteria that can lead to both effective and reliable performance of panel zones during frame response.

In the general behavior, the web usually bears most of the compressive stress and transmits shear in the beam while the flanges support the major external loads. Hence by using the greater part of the steel material for the flanges and using thinner web, could achieve materials saving without weakening the load-carrying capability of the beam.

When the compressive stress in the web has exceeded the critical point prior to the occurrence of yielding, the flat web loses its stability and deforms transversely. This could be improved by using the corrugated web as an alternative to the plane web. The usage of corrugated web produces higher stability and strength without additional stiffening and use of larger thickness.

In this M.Sc. thesis, two full-scale beam-column connections are studied experimentally. The specimens are two of the specimens tested in an ongoing Ph.D. study. The beam and column cross sections have sinusoidal corrugated webs in 3 mm thick. The first specimen has the panel zone made from the sinusoidally corrugated web. In the second specimen, flat plate having a thickness of 8 mm is used in the panel zone.

The specimens are subjected to the lateral displacement cycles in Structural and Earthquake Engineering Laboratory of ITU by using the MTS actuator. Three axial and uni-axial strain gauges are used in and around the beam to column connections for the strain measurements.

Various displacement transducers are used to measure the displacements and rotations at the various locations of the specimens. The data gathered from strain gauges are converted to the principal stress and strains by using the developed computer code.

The behavior of the panel zone is investigated by using the experimentally obtained strain database, load vs. displacement graphics etc.

The lateral load carrying capacity of the specimen having the flat plate panel zone is approximately two times greater than the capacity of the specimen, which has corrugated web panel when the principal strains reached to yielding in the center of panel zone.

When the moment capacity of the connections is concerned, the specimen with the corrugated panel zone has low capacity. If the specimens are compared at the yield condition, the specimen with the flat plate panel zone has more stiff behavior.

When the vertical strains in the panel zones generated from the flexural moment are concerned, the rosette strain gauge located at the center of the panel is reached to yielding first for both of the specimens.

It concluded that welding of the stiffeners to web of the cross section is effective on the intensity of the panel strains measured in vertical direction.

In the panel zone formed with the flat plate, the maximum strains are obtained in the uniaxial strain gauge located at the top and X component of the rosette strain gauge located at the centre of the panel. For the other specimen, the maximum strains are obtained from X component of the rosette strain gauge located at the centre of the panel.

Evaluating the cumulative energy dissipation capacities of the specimens, the energy dissipation capacity of the specimen having flat plate panel zone has bigger than the specimen having corrugated panel zone.

This study shows that to reduce the risk of joint mechanism, the usage of relatively thick flat plate is one of the promising provisions to be taken in the panel zone.



1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Moment aktaran çerçeve yapıların davranışı yapıyı oluşturan ana bileşenlerin özelliklerine bağlıdır. Bu ana bileşenler kolon, kiriş ve bunların bağlandığı birleşim noktalarıdır. Çelik yapı sistemlerinde panel bölgesi olarak anılan bölgeler birçok şekilde oluşturulabilir. Bunlar *kaynaklı flanş-civatalı gövde bağlantısı*, *kaynaklı flanş-kaynaklı gövde bağlantısı*, *genişletilmiş uç plakalı bağlantı* olabilir. Bu tez çalışmasında, genişletilmiş uç plakası ile kolona civatayla bağlanmış numunelerde panel davranışı incelenmiştir.

Panel bölgesinin önemini ortaya koyan çalışmalar yaklaşık 45 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Panel bölgesinin kayma gerilmelerine maruz olduğu düşünülmüştür. Bu sebepten dolayı kayma şekil değiştirmelerinin sınırlandırılması yolu seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, tekrarlı yükler etkisinde kesme göçme modunun istikrarlı olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmalar sonrasında panel bölgesi enerji tüketen bir bölge olarak tanımlanmıştır. Northridge depreminde birçok yapı bağlantı bölgelerinden hasar almıştır. Deprem sonrasında yapılan gözlemler, kaynaklarda oluşan hasar üzerinde panel bölgesinin elastik olmayan davranışının büyük rol oynadığı görülmüştür.

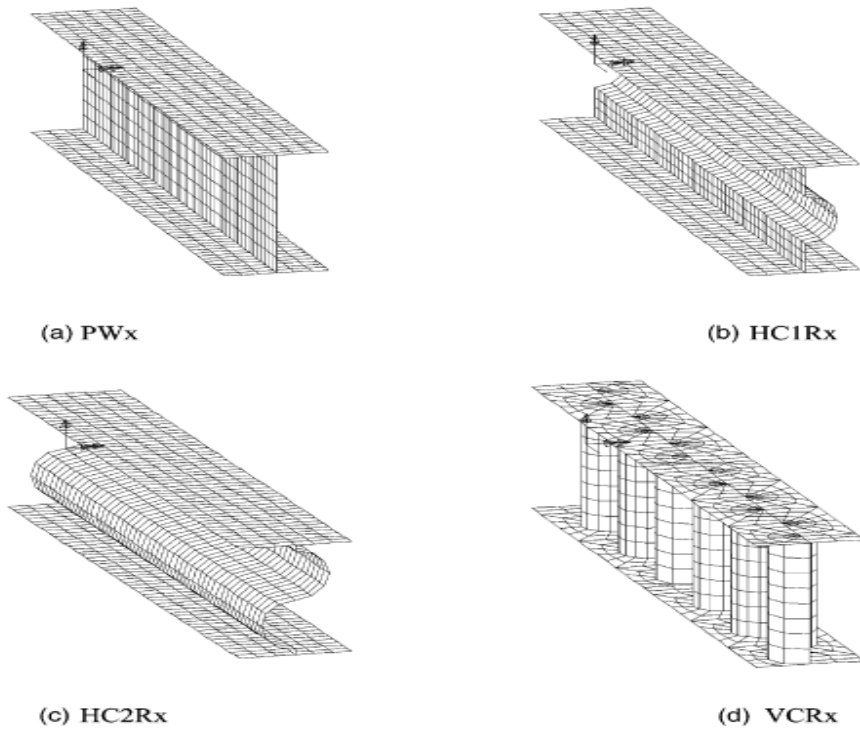
Günümüzde yapısal çelik sektöründe I kesitli profiller yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kesitlerde flanşlar dış yüklerden oluşan eğilme momentini karşılar; gövde, eleman üzerindeki kesmeyi aktarmaktadır. Bu sebepten dolayı malzemenin büyük bölümü flanşlarda küçük bölümü ise gövdede yer almaktadır. Bununla beraber gövdede basınç gerilmesi akma gerilmesini aştığında, düz levhalı gövde stabilitesini kaybeder ve yanal olarak burkulur. Bu problemleri azaltmak üzere düz levhalı gövdeye alternatif olarak sinüs gövdeli çelik kirişler üretilmiştir. Bu tip kirişlerin temel faydalarından birisi sinüs gövdenin burkulma öncesi stabiliteyi arttırmasıdır. Bu sebeplede kirişte teşkil edilen rijitlik arttırıcı berkitmelerin azalması da ekonomik avantajlarıdır. Özellikle bu tip profiller büyük açıklıkların geçilmesinde yüksek gövdeli çelik kirişlere alternatif düşünülebilmektedir.

Tez konusu çerçevesinde iki farklı panel bölgesine sahip deney elemanlarının aksel yük ve moment etkisindeki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı şekildeğiştirme ölçerler ile toplanan veriler özellikleri Bölüm 4’de anlatılan geliştirilmiş bir program yardımıyla işlenerek deney numunelerine ait panel bölgesi davranışları irdelenmiştir.

1.1 Önceki Çalışmalar

Easley ve McFarland (1969), sinüzoidal levhalarda kesme burkulmasını inceleyen ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, levhanın kesme burkulma dayanımı için bir ortotrop düz levhanın göz önüne alınması önerilmiştir.

Chan ve diğ. (2001), eğilme etkisinde gövdeleri farklı biçimlerde sinüzoidal levhalardan oluşturulmuş kirişlerin davranışını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelenmiştir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, 4 tip numuneden oluşan çalışmada doğrusal olmayan elasto-plastik davranış dikkate alınmıştır.



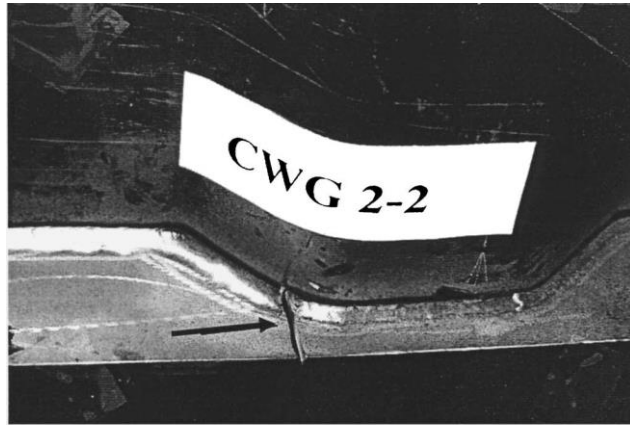
Şekil 1.1 : Farklı tip gövdeli numuneler.

Yapılan analizler sonucunda, dikey olarak konumlandırılan sinüzoidal gövdeli kirişler yatay sinüzoidal gövdeli kirişlere göre %38.8 ile %54.4 arasında daha fazla moment

taşımıştır. Dikey olarak ondüle edilen gövde plakası başlıkların burkulmasını önlemede katkı sağlamıştır.

Khalid ve diğ. (2004), üç nokta yükleme metoduyla eğilmeye maruz bırakılan sinüs dalgalı hafif çelik yapı kirişlerinin eğilme etkisindeki davranışını hem deneysel hem de analitik olarak incelemiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizde LUSAS yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Dalgalandırılmış levhaların yarıçapları 22.5 mm ve et kalınlığı 4 mm dir. Flanşların kalınlığı ise 6 mm seçilmiştir. Deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan karşılaştırmalar tatmin edici doğruluktadır. Yapılan karşılaştırmalarda düşey sinüzoidal gövdeye sahip kirişler düz ve yatay sinüzoidal gövdelere sahip kirişlerden % 13.3 ile % 32.8 arasında daha fazla moment taşımıştır. Bunun yanısıra daha fazla yarıçapa sahip oluklarla akma aşamasına kadar daha fazla moment alması sağlanabileceğini ifade etmiştir. Buna ek olarak ağırlığın, düşey sinüzoidal gövdeli profil kullanılarak azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Sherif ve diğ. (2006), gerilme yığılmasının bir sonucu olarak düz gövde plakalı kirişlerde yanal rijitliği arttırıcı plakaların kaynaklanmasının yorulma ömrünü azaltacağını ifade etmiştir. Yaptıkları çalışmada trapez kesitli kirişlerde farklı gerilme aralıklarında yorulma ömrünü değerlendirmişlerdir. Test kirişlerinde yorulma çatlakları kaynak ile çekmeye çalışan başlık arasında Şekil 1.2'de gösterildiği gibi oluşmuştur.



Şekil 1.2 : Yorulma çatlığının oluşum anı.

Elgaaly ve diğ. (1996), sinüzoidal gövdeli kirişlerde kesme mukavemetini araştırmıştır. Elemanlar kesme altında göçmeye kadar yüklenmiş. Göçme gövde plakasının burkulması ile oluşmuştur. Deney elemanları sonlu elemanlar ile

modellenmiştir. Doğrusal olmayan çözümler ABAQUS programı yardımıyla yapılmıştır. Deney sonuçları ile sonlu eleman çözümünden elde edilen sonuçlar yakın düşmüştür. Analitik sonuçlar ile deneysel burkulma yükleri arasında 1.15'lik bir oran vardır. Analitik sonuçlar test sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Burkulmalar gövdede lokal ve global olarak kaba ve yoğun buruşmalar ile kendini göstermiştir.

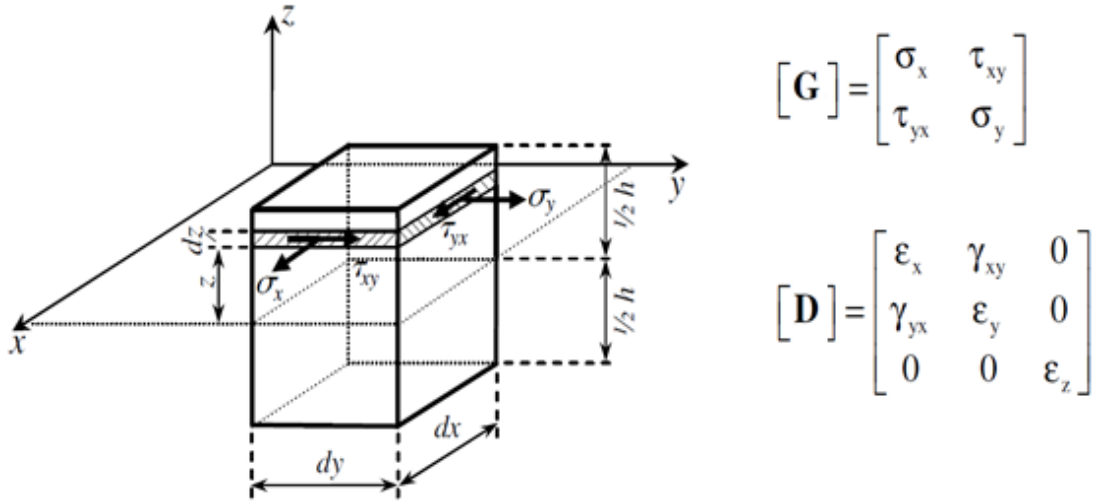
1.2 Amaç

Eksenel yük ve moment etkisindeki sinüs gövdeli dış kolon-kiriş birleşimlerinin davranışının iyileştirilmesine yönelik devam eden bir “*İnce Cidarlı Sinüzoidal Gövdeli Çelik I Elemanların Birleşimlerinin Performansı*” adlı doktora çalışması kapsamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada düğüm noktalarında gövde profili olarak düz ve sinüs levhaların kullanılmış olduğu numuneler incelenmiştir. Farklı doğrultularda oluşturulan berkitme levhalarının kullanıldığı numunelerde yer almaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmalarda düğüm noktası içerisinde alınan farklı önlemler ile rijit ya da rijite yakın panel davranışına ulaşmak amaçlanmıştır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, sinüs gövde ve düz levhadan oluşturulmuş panel bölgelerine sahip numunelerin davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Panel bölgesinde oluşan farklı şekil değiştirme ve gerilme durumlarını açıklamak ve asal büyüklüklere geçmek üzere bir yazılım oluşturulmuştur.

2. DÜZLEM GERİLME HALİ

Dış zorlamaların etkisi altında bir cismin herhangi bir noktasından geçen tüm yüzey elemanlarındaki gerilme vektörleri, aynı bir düzleme paralel ise bu gerilme hali *iki eksenli* veya *düzlem gerilme hali* olarak tanımlanır, (Bakioğlu, 2001). Düzlem gerilme halinin olduğu yapısal elemanlar, düzlemi içerisinde yüklü ve kalınlığı diğer kesitlerine karşın çok küçük olan ince levha tipi elemanlardır. Bundan dolayı düzlem gerilme problemleri “*ince levha problemleri*” adıyla da anılır, (Gazi, 2008).



Şekil 2.1 : Düzlem gerilme hali, gerilme ve şekildeğiştirme tansörleri (Gazi, 2008).

Şekil 2.1’de görülen levha noktaları, (x, y) düzlemi levhanın orta düzlemiyle kesişen bir dik x, y, z koordinat sistemine göre verilmektedir, (Girkmann, 1991). Levha, sınırından, orta düzlemine paralel, kalınlık boyunca düzgün yayılmış bulunan Timoshenko ve Goodier (1969) ve kendi aralarında dengede duran bir kenar kuvvetleriyle yüklenmektedir. Şayet, $z = \pm 1/2h$ sınır yüzlerinde dış kuvvetin bulunmadığı durumlarda buralarda σ_z , τ_{zx} ve τ_{zy} gerilme bileşenleri, sıfır olmalıdır. Tam levha kalınlığı h, oldukça küçük ve kütle kuvvetleri de levha düzlemine paralel ise; bundan dolayı yukarıda belirtilen gerilme bileşenlerinin levha içinde de ihmal

edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilebilir, (Girkmann, 1991). Buna göre, böyle bir levhadaki tüm noktalar için Denklem 2.1'deki eşitlik yazılabilir ve yine her noktadaki gerilme hali, sadece σ_x , σ_y ve τ_{xy} bileşenleri ile belirlenebilir.

$$\sigma_z = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0 \quad (2.1)$$

Düzlemsel gerilme problemlerinde, herhangi bir nokta için σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmelerinin bilinmesi halinde; bu noktadan geçen tüm yüzey elemanlarındaki gerilmeler, bilinen gerilmeler cinsinden yazılabilir, (Gazi, 2008). Dolayısıyla düzlem gerilme hali için σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilme bileşenlerinin bilinmesi yeterlidir. Tüm durumlar için σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yx} , τ_{yz} , τ_{zx} ve τ_{zy} şeklinde altısı bağımsız dokuz bileşenin oluşturduğu 3×3 'lük kare matris formundaki gerilme tansörü, bu gerilme durumunda Şekil 2.1'deki halini alır, (Gazi, 2008). Bu noktadan geçen diğer yüzey elemanlarındaki gerilmeler de; noktanın yakınından alınmış, sonsuz küçüklükte bir elemanın dengesinden elde edilen “dönüşüm formülleri” ile elde edilir, (Gazi, 2008).

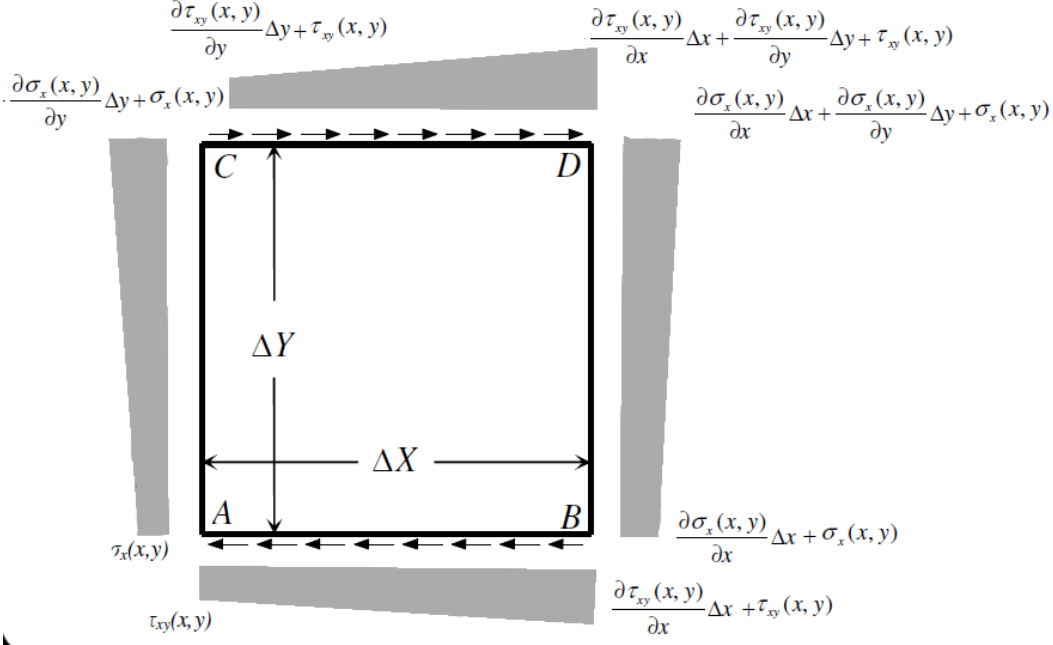
Dönüşüm formülleri, incelenen bir nokta civarındaki asal normal gerilmeler ve asal kayma gerilmelerine ait değer – doğrultular gibi tüm özel ve ara gerilme değer – doğrultularının hesaplanmasında temel faktördür, (Gazi, 2008). Denklem 2.1'de görüldüğü üzere, bu gerilme halinde σ_z asal gerilme ve dolayısıyla z eksenine bir asal eksendir. σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilme bileşenleri ise, orta düzleme dik olan kesitlerde yer alırken ve hepsi orta düzleme paraleldir, (Girkmann, 1991). Bu üç bileşenin de z'den bağımsız oldukları, kalınlık boyunca değişmedikleri kabul edilebilir. Bu bileşenler, yalnız x ve y'nin fonksiyonlarıdır, (Timoshenko ve Goodier, 1969). Bu kabul, levhaya etkiyen kuvvetlerin kalınlık boyunca düzgün yayılı etkimesi halinde gerçekçi bir yaklaşımdır, (Gazi, 2008). Fakat bir düzlemsel gerilme probleminde dış kuvvetlerin, levha kalınlığına dik doğrultuda düzgün yayılı olmayıp, levha orta düzlemine göre simetrik olmaları halinde; düzlem gerilme problemine ait temel denklemler (denge diferansiyel denklemleri, yer değiştirme – birim şekil değiştirme bağıntıları, bünye bağıntıları), gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin levha kalınlığı boyunca ortalama değerleri için geçerli hale gelir, (Gazi, 2008). Bu durumda problem “*genelleştirilmiş düzlem gerilme problemi*” olarak ifade edilir. Fakat bu özelliğin çözüm şekline herhangi bir etkisi yoktur. Çok ince levhalarda bu düzgün yayılamamanın doğuracağı fark çok önemsizdir, (Gazi, 2008).

2.1 Düzlem Gerilme Haline Ait Temel Denklemler

Düzlemsel elastisite problemlerinde temel amaç, bir sınır değer problemini çözmektir, (Gazi, 2008). Bir sınır değer problemi basite indirgenirse verilen bir alanda belirli temel denklemleri ve o alanın sınırlarında da verilen sınır koşullarını sağlayan fonksiyonların gözlendiği problemler olarak ifade edilebilir, (Gazi, 2008). Bu tip problemlerde, ilgili düzleme dik doğrultuda değerlendirilen büyüklüklerde değişim olmadığı düşünülürse, yukarıdaki tanımda ifade edilen bölge bir düzlemin belirli bir parçası veya tamamıdır. Erterpınar ve diğ. (1987)'de belirtilen sınırlar ise, o bölgeyi üzerinde bulunduğu düzlemin kendisine ait olmayan bölümlerinden ayıran, bir veya daha fazla kapalı eğriden oluşur, (Gazi, 2008'de atıfta bulunulduğu gibi). Düzlemsel elastisite problemlerinde incelenen gerilme, yerdeğiştirme ve birim şekildeğiştirme değerlerinin sağlanması gereken denklemler; bünye bağıntıları, denge denklemleri ve yerdeğiştirme–birim şekildeğiştirme eşitlikleri olup; bu denklemlerin tamamına “*temel denklemler*” denir, (Gazi, 2008).

2.1.1 Dengenin Diferansiyel Denklemleri

Düzgün yayılı olmayan gerilme halinde gerilmeler noktadan noktaya değişiklik gösterir. Bu durumda gerilmelerin sürekli olduğu kabul edilirse, eksenlere paralel seçilmiş bir prizmatik elemanın paralel yüzlerinde gerilmeler eşit olmaz, (Omurtag, 2005). Örneğin, Şekil 2.2'de ki ve boyutları Δx , Δy olan düzlem gerilme altında levhanın herhangi bir konumunda gerilme durumunu gösteren σ_x , σ_y ve τ_{xy} değerleri, buldukları konumların fonksiyonudur, (Gazi, 2008). Denge kuramına göre bu üç fonksiyonun türevleri arasında belirli ilişkiler bulunduğu gösterilebilir; işte bu bağıntılara “*diferansiyel denge denklemleri*” denir, (İnan, 1969). Şekildeki levha, kenarlarına etkiyen yüzey kuvvetleri ve hacmine etkiyen kütle kuvvetleriyle denge koşulunu sağlamaktadır. Bu dengeyi ifade eden iki denklem, x ve y eksenleri doğrultularındaki izdüşüm denklemlerinden Denklem 2.2'deki gibi elde edilir, (Gazi, 2008).



Şekil 2.2 : Dengenin diferansiyel denklemleri (İnan, 1969).

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0 \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0 \quad (2.2)$$

Uygulama esnasında çoğu zaman, cismin ağırlığı kütle kuvvetidir, (Gazi, 2008). Bundan dolayı y eksenini aşağıya doğru alıp, cismin birim hacim kütlesi ρ ve yer çekimi ivmesi de g ile gösterilirse; Denklem 2.2’de x eksenini doğrultusundaki X kütle kuvveti bileşeni sıfıra, y eksenini doğrultusundaki Y kütle kuvveti bileşeni ise ρg değerine eşit olur, (Gazi, 2008).

2.1.2 Bünye Bağlılıları

Normal gerilmelerin açı değişimi, kayma gerilmelerinin de boy değişimi yapmayacağı birinci mertebe teorisi ile kısıtlanmış olduğundan; gerilmeden bağımsız şekilde genellikle ısı değişimi gibi nedenlerle gerçekleşen ilk şekildeğişirmelerin meydana gelmemesi durumunda, doğrusal – elastik, homojen ve izotrop malzeme için düzlem gerilme halinde bünye bağıntıları, Denklem 2.3.a ve Denklem 2.3.b’deki gibidir, (Bakioğlu ve diğ, 2004; Zienkiewicz ve Taylor, 2000; Gazi, 2008).

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y) \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu \sigma_x) \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E}(-\nu \sigma_x - \nu \sigma_y) \quad (2.3.a)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad \gamma_{xz} = 0 \quad \gamma_{yz} = 0 \quad (2.3.b)$$

Söz konusu tüm değerler, kalınlık boyunca sabit olduğundan sadece x ve y'ye bağlı fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Eşitliklerden görüldüğü üzere, z eksenine paralel doğrultuda kayma gerilmeleri bulunmadığından; x ile z ve y ile z eksenlerinin diklikleri bozulmaz, bu sebeplerden dolayı doğrunun şekilgeçirme öncesinde ve sonrasında z eksenine paralelliği değişmez, (Gazi, 2008). Ayrıca bu gerilme durumunda, kuvvetlerin etkidiği düzleme dik normal gerilmeler meydana gelmezken, bu doğrultudaki birim şekilgeçirmelerin de sıfır olması şart değildir ve özel haller dışında bu değerler sıfırdan farklı değerler alır, (Gazi, 2008).

2.1.3 Yerdeğiştirme – Birim Şekilgeçirme Bağlıları

Genel hallerde doğrusal olmayan ikinci mertbe terimler içeren yerdeğiştirme ve birim şekilgeçirme bileşenleri arasındaki ilişkiler, düzlem gerilme hali için x ve y'nin tek değerli ve sürekli fonksiyonları olan $u=u(x, y)$, $v=v(x, y)$ ve sadece z'nin fonksiyonu olan $w=w(z)$ yerdeğiştirmelerinin, cismin karakteristik boyutlarına karşın çok küçük olmaları durumunda sadeleştirilerek, Denklem 2.4'deki doğrusal terimlerle ifade edilirler, (Gazi, 2008).

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.4)$$

2.2 Düzlem Gerilme Haline Ait Uygunluk Denklemleri

Bir düzlem gerilme probleminde, problemin bilinmeyenleri olan 8 büyüklük σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , ε_x , ε_y , γ_{xy} u ve v'nin sağlaması gereken denklemler, Denklem 2.2, Denklem 2.3, (ε_z , γ_{xz} ve γ_{yz} hariç) ve Denklem 2.4'de verilen 8 temel denklemdir. Bu 8 denklem, 2 denge denklemi ve gerilmeler cinsinden yazılarak 1 uygunluk koşulu yardımıyla 3'e indirgenebilir, (Omurtag, 2005).

İki eksenli gerilme problemlerinde, birim şekilgeçirme ε_x , ε_y , γ_{xy} 'yi ε_x 'in y'ye göre, ε_y 'nin x'e göre ikişer defa ve γ_{xy} 'nin birer defa x'e ve y'ye göre türevi alınırsa Denklem 2.5 elde edilir, (Timoshenko ve Goodier, 1969).

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (2.5)$$

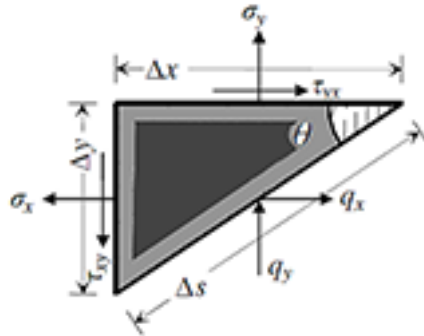
Uygunluk koşulu olan bu bağıntı, birim şekilgeçirme bileşenlerine bağlı olan u ve v fonksiyonlarının doğrulanması için gerilme bileşenlerinin sağlamaları gereken

ifadedir, (Timoshenko ve Goodier, 1969). Bunun için, uygunluk koşulu olarak verilen bu bağıntı, ε_x , ε_y , γ_{xy} 'nin Denklem 2.3'de verilen eşitlikleri Denklem 2.5'e yerleştirildiğinde uygunluk şartı Denklem 2.6'daki gibi elde edilir, (Gazi, 2008).

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = -(1+\nu) \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right) \quad (2.6)$$

2.3 Düzlem Gerilme Haline Ait Sınır Şartları

Erterpınar ve diğ. (1987)'nin ifade ettiği gibi, düzlem eksenli denklemler belli bir bölgede sağlanmasına karşın bölge sınırlarında da bulunan gerilme ve yerdeğiştirme değerlerinin problemde söz konusu değerlerle aynı olmaları gerekir, (Gazi, 2008'de atıfta bulunulduğu gibi). Sınır şartları olarak adlandırılan bu ilave şartların, gerilmeler cinsinden verilmesi durumunda problem “*gerilme problemi*”; yerdeğiştirmeler cinsinden verilmesi durumunda ise “*yerdeğiştirme problemi*” olarak ele alınır.



Şekil 2.3 : Sınır şartları (İnan, 1969).

Düzlem gerilme halinin oluştuğu bir gerilme probleminde etkin tansörler σ_x , σ_y ve τ_{xy} fonksiyonları olup; bu problemlerin genel denklemleri, Denklem 2.2 ile verilen diferansiyel denge denklemleri ve Denklem 2.6 ile verilen uygunluk şartıdır, (Gazi, 2008). Bunun yanında σ_x , σ_y ve τ_{xy} fonksiyonları, sınırda Şekil 2.3'de görülen sınır elemanın dengesinden elde edilen Denklem 2.7'deki sınır şartlarını sağlamak zorundadır, (Gazi, 2008). Gerilmelerin tayininden sonra problemin geriye kalan diğer büyüklükleri ε_x , ε_y , γ_{xy} Denklem 2.3'den; u ve v değerleri ise Denklem 2.4'den elde edilir, (Gazi, 2008).

$$q_x = \sigma_x \sin \theta + \tau_{xy} \cos \theta \quad q_y = \tau_{xy} \sin \theta - \sigma_y \cos \theta \quad (2.7)$$

3. DENEYLERİN HAZIRLIĞI

Bu kısımda deneysel çalışmanın yapıldığı laboratuvar ortamının koşulları, deney numunelerinin üretilmesi ve yerleştirilmesi, yükleme protokolü ve veri kayıt sistemine dair detaylar hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Deneysel çalışmanın İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yapılacağı planlanarak, mevcut deney düzeneği ölçüleri çerçevesinde numune boyutları oluşturulmuştur. Numunelerin fiziksel olarak konumlandırıldığı alan, 5.55 m uzunluğunda ve 0.60 m kalınlığında reaksiyon duvarının bulunduğu laboratuvar bölümüdür. Gerçek boyutlarında ölçülendirilmiş numunelerin deneye hazırlığı esnasında bir problem oluşmamıştır.

3.2 Deney Numuneleri

Deney numunelerine ait kesitlerin belirlenmesinde ön analiz ve boyutlandırma çalışması yapılmış ve numunenin üretimine başlanmıştır. Üretilen numunelerden 2 tanesi bu tez çalışması kapsamında denenmiştir.

3.2.1 EEPC-H0 numunesi

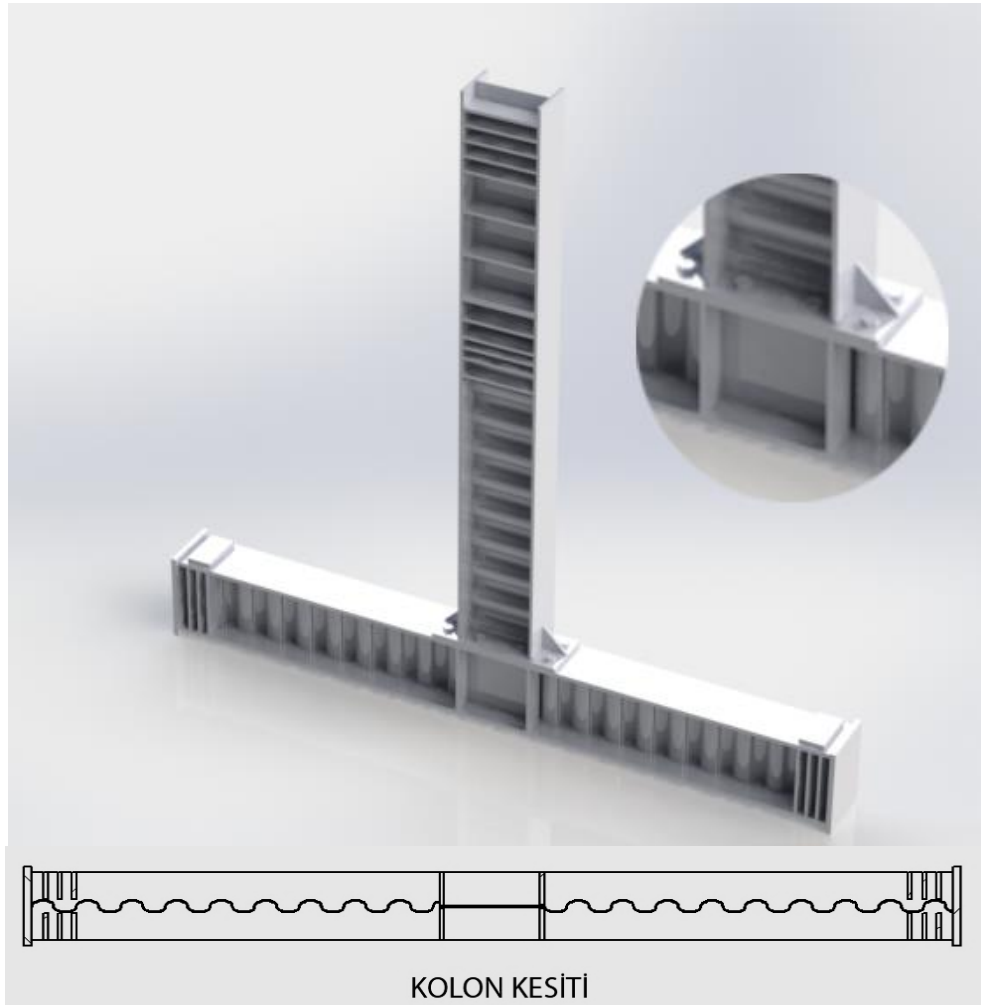
Numunenin görünüşü ve katı modeli Şekil 3.1 de verilmiş olup, detayları ve kesitleri Şekil 3.2 de sunulmuştur. Söz konusu numunede sinüs gövdeli profillerden oluşturulmuş bir kolon-kiriş birleşimidir. Numune, yükleme düzeneğine yatay olarak yerleştirilmiş ve hidrolik kriko ile numune kolonuna aksenal kuvvet tatbik edilmiştir.

Kolon ve kiriş elemanlar farklı geometrilere sahiptir. Kirişin toplam yüksekliği alın plakasından itibaren 2670 mm dir. Bu yüksekliğin 1720 mm lik bölümünde 3 mm kalınlıklı sinüs formlu levha, geriye kalan bölümünde ise 8 mm kalınlıklı düz formlu levha kullanılmıştır.

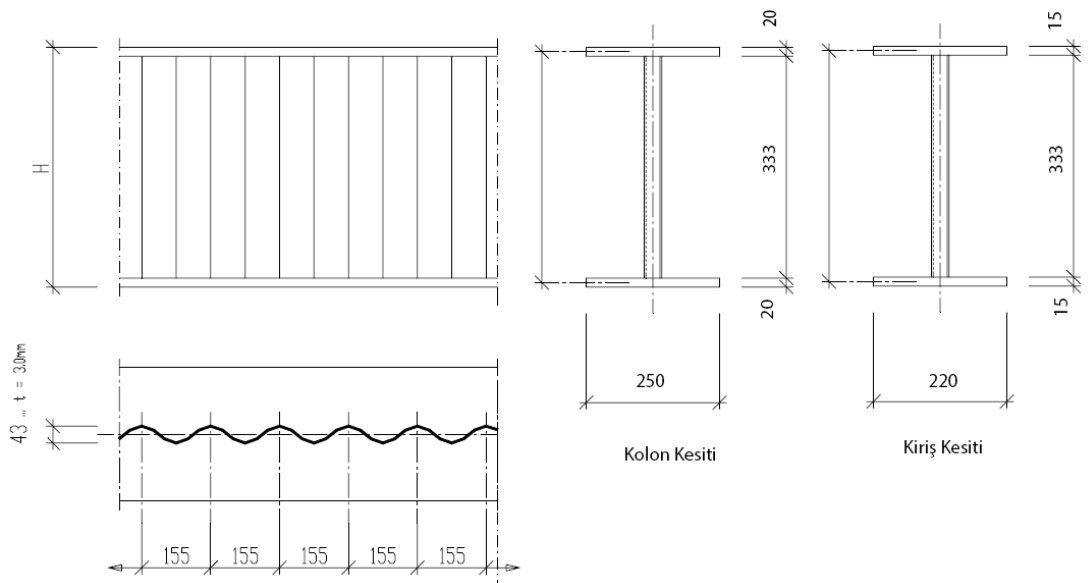
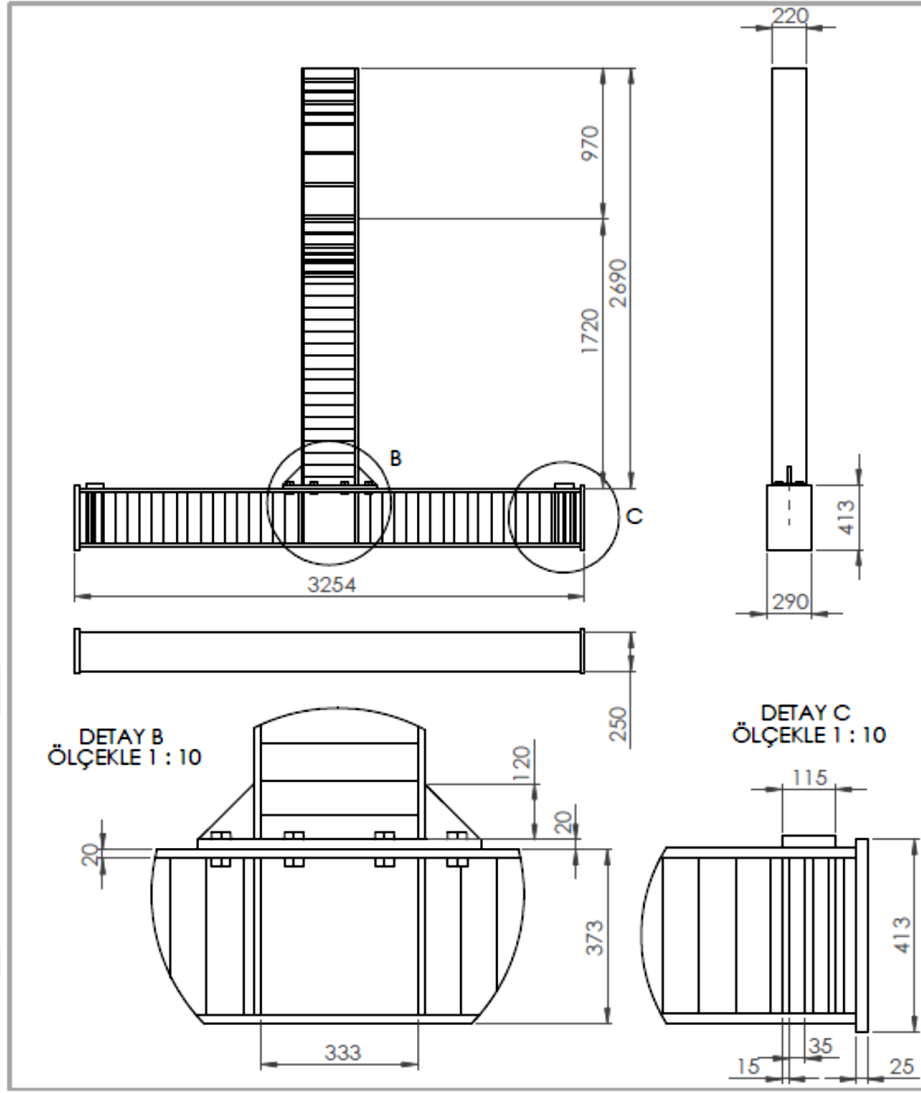
Düz levha profillerlerle imal edilen kiriş bölümü, manivela kolunu arttırmak ve tekil hidrolik veren yüküne karşı önlem olarak oluşturulmuştur. Kiriş kesitinde alt ve üst flanş genişliği 220 mm, kalınlığı ise 15 mm dir.

Kolonun tamamı sinüs gövdeli profilden oluşturulmuştur. Başlık levhaları dâhil olmak üzere toplam boyu 3254 mm dir. Kolon flanşları 20 mm lik levhalar ile teşkil edilmiştir.

Bu tezin konusunu teşkil eden panel bölgesi 8 mm kalınlıklı düz levhadan oluşturulmuştur. Kolon başlık levhaları hizasında berkitme levhaları kullanılmıştır.



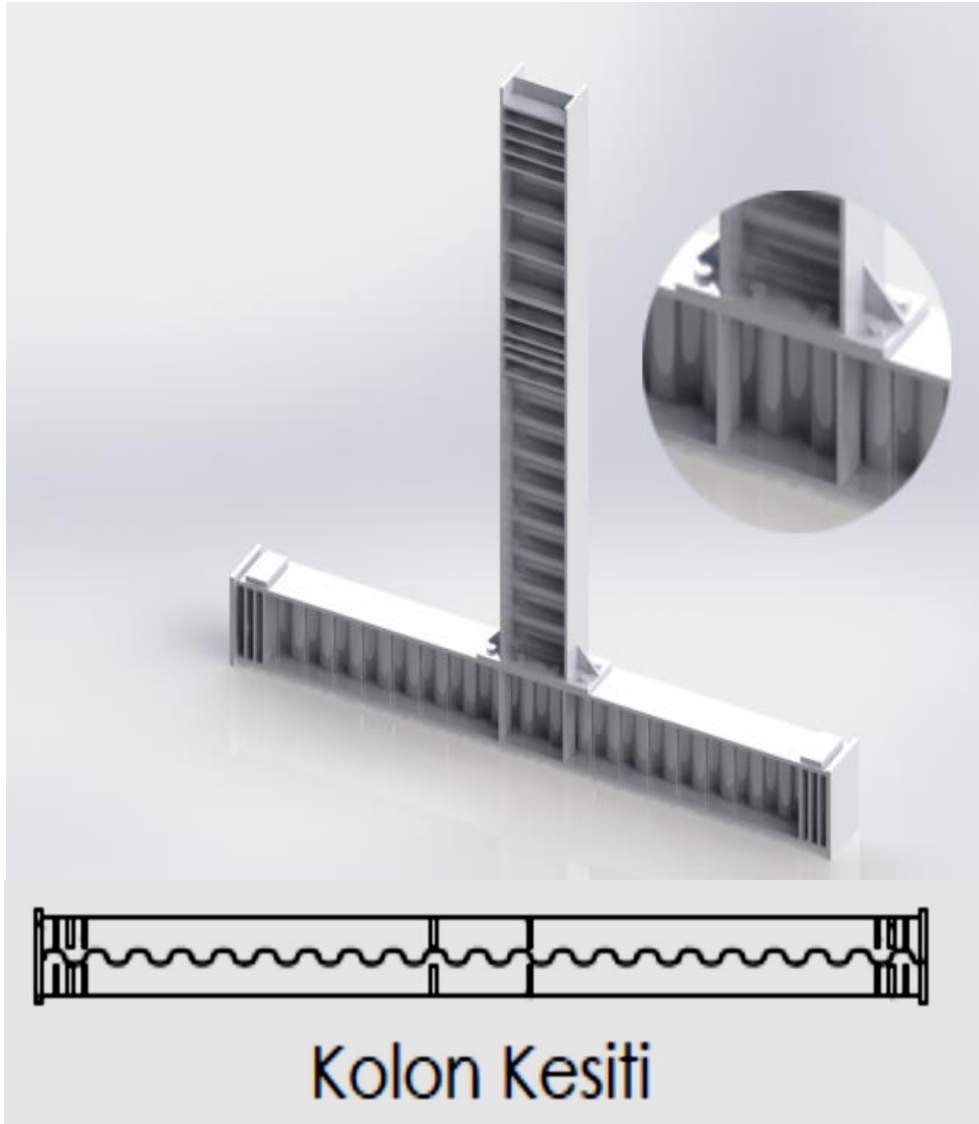
Şekil 3.1 : EEPC-H0 numunesinin katı modeli ve kolon kesiti.



Şekil 3.2 : EEPC-H0 numunesinin kesit ve detay ölçüleri.

3.2.2 EEPC-HS numunesi

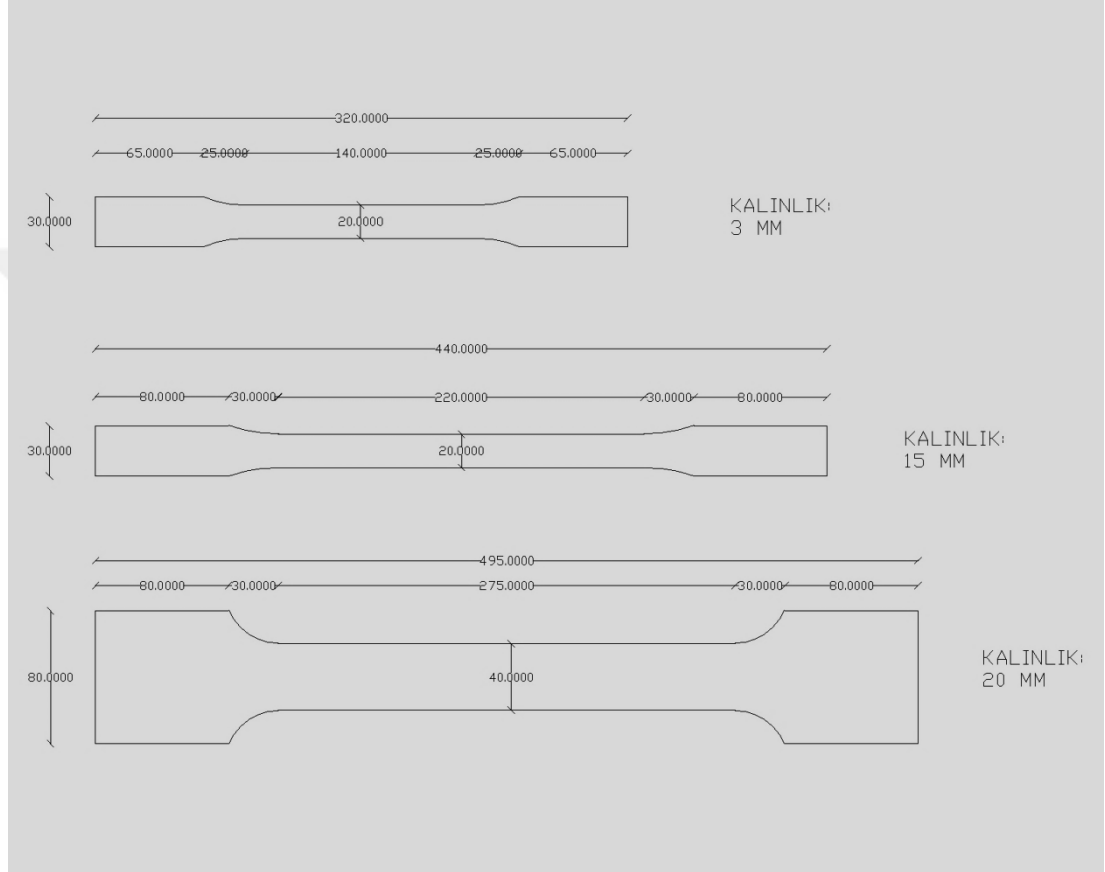
Bu numunenin diğ erinden temel farkı, panel bölgesinin oluşturulma biçimidir. EEPC-H0 numunesinde panel bölgesi 8 mm kalınlıklı dü z levhadan oluşturulmuş iken, Ş ekil 3.3 de katı modeli ve kolon kesiti verilen EEPC-HS numunesinde kolonun sinüs gövdesi birleş im bölgesinde de devam ettirilmiştir. Detay resminden anlaş ılacağı üzere panel bölgesinde bulunan berkitme levhaları sinüs elemana temas etmemektedir.



Ş ekil 3.3 : EEPC-HS numunesinin katı modeli ve kolon kesiti.

3.3 Malzeme Dayanımları

Kullanılan çelik malzemenin mekanik özelliklerinin tesbiti amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme testi kuponlarının hazırlanışında TS EN ISO 6892-1 standardı koşullarına uyulmuştur. Deney numunelerinde kullanılan 3 farklı çelik levhadan 9 çekme numunesi üretilmiş ve denenmiştir, Şekil 3.4.



Şekil 3.4 : Malzeme deneyi numuneleri.

Çekme deneyinde oluşan şekildeğiştirme ölçer şekildeğiştirme ölçerler kullanılarak kaydedilmiştir. Doğrusal elastik bölge ile akma sonrası bölgenin gerilme-şekildeğiştirme özelliklerinin hassas tespiti için yeterli sayıda ve tipte şekildeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Alınan verilerin işlenmesi sonucunda, her bir tür Çizelge 3.1 de verilen büyüklüklere ulaşılmıştır. Net akma sahanlığı vermeyen numunelerde 0.002 şekildeğiştirmeden başlangıç eğimine paralel bir çizgi çizilmiştir. Bu çizginin davranış eğrisini kestiği nokta *akma dayanımı* olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 : 15 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.

15 mm	No.1	No.2	No.3	Ortalama
Akma gerilmesi (MPa)	289.0	308.0	312.0	303.0
Akma şekildeğ.	0.002	0.002	0.002	0.002
En büyük gerilme (MPa)	429.4	431.8	443.7	434.9
En büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğ.	0.092	0.099	0.086	0.092
Kopma gerilmesi (MPa)	314.8	338.8	344.7	332.7
Kopma şekildeğ.	0.227	0.232	0.245	0.234
E (MPa)	183900	232190	271020	229036

Çizelge 3.2 : 20 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.

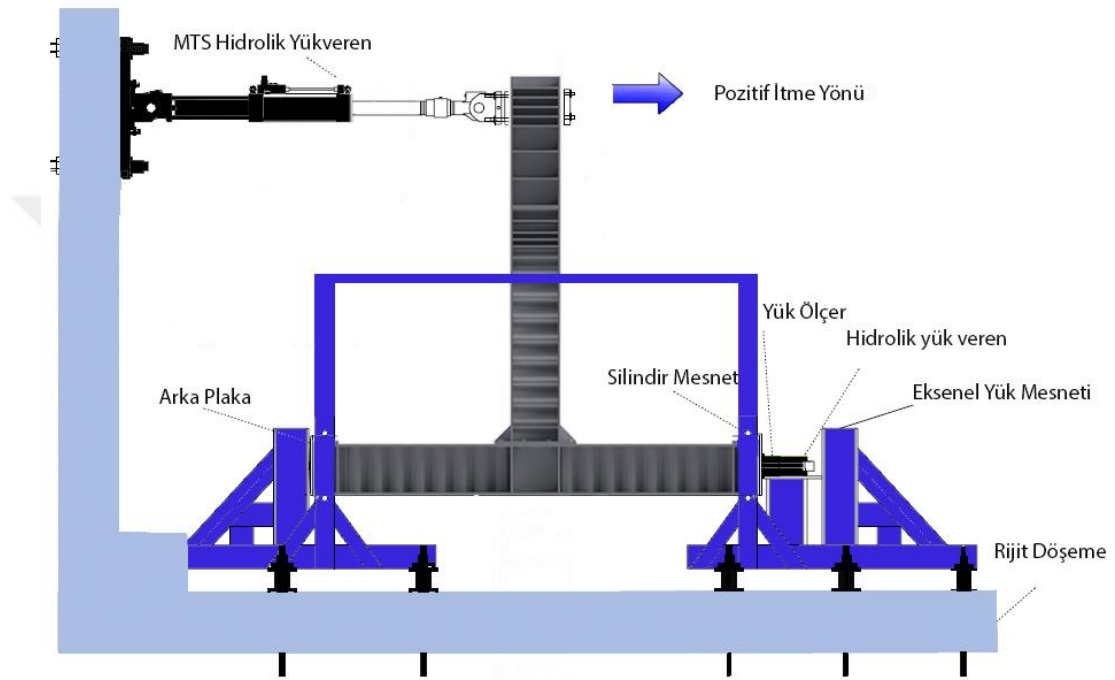
20 mm	No.4	No.5	No.6	Ortalama
Akma gerilmesi (MPa)	301.0	304.0	309.1	305.0
Akma şekildeğ.	0.002	0.002	0.002	0.002
En büyük gerilme (MPa)	451.5	464.0	459.8	458.5
En büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğ.	0.106	0.116	0.135	0.119
Kopma gerilmesi (MPa)	341.2	346.2	345.5	344.2
Kopma şekildeğ.	0.284	0.340	0.320	0.310
E (MPa)	247250	214100	216050	225800

Çizelge 3.3 : 3 mm kalınlığa sahip numunenin çekme deneyi sonuçları.

3 mm	No.7	No.8	No.9	Ortalama
Akma gerilmesi (MPa)	346.2	367.2	366.0	360.0
Akma şekildeğ.	0.002	0.002	0.002	0.002
En büyük gerilme (MPa)	437.1	433.2	454.8	441.7
En büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğ.	0.157	0.065	0.134	0.118
Kopma gerilmesi (MPa)	386.0	379.3	398.9	388.0
Kopma şekildeğ.	0.235	0.323	0.220	0.260
E (MPa)	226300	222000	210900	219733

3.4 Deney Düzenegi

Deney düzenegi, betonarme yükleme duvarına bağlı durumdaki MTS hidrolik vereni ile test numunelerinin yerleştirildiği ve reaksiyonlarını kuvvetli laboratuvar döşemesine aktaran çelik parçalardan oluşmaktadır. Deney düzeneginin genel görünümü Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Deney düzeneginde yatay konumlu eleman kolona, düşey konumlu eleman ise kirişe karşı gelmektedir.



Şekil 3.5 : EEPC-H0 deney elemanı için hazırlanan düzenek.

Numuneler kolon uçlarından deney düzenegine basit mesnetli olarak bağlanarak, sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı statik yatay yükler etkisinde denenmişlerdir. Yükleme çevrimleri adım adım uygulanan yerdeğiştirmeler ile gerçekleştirilmiştir. Deprem esnasında yapı elemanları dinamik yön değiştiren tekrarlı eğilme ve kesme etkilerinin yanı sıra değişken eksenel kuvvetlerin etkisindedir. Ancak bu durumun laboratuvar ortamında oluşturulması oldukça zor olduğundan yükler statik olarak etkilmiş ve eksenel yük deney boyunca sabit tutulmaya çalışılmıştır, (+/- %10 değişim ile). Statik deneylerin en önemli üstünlüğü yüklemenin adım adım ve geniş bir zaman aralığında gerçekleştirilmesi nedeniyle sistem davranışının ve hasar durumunun daha dikkatli gözlenebilmesidir. Her bir yerdeğiştirme adımı yaklaşık 6-7 saniyelik sürede verilmiştir. Bu sürenin ilk 2 saniyesinde hedeflenen yerdeğiştirme artışı gerçekleşmektedir. Sonraki 1 saniyede

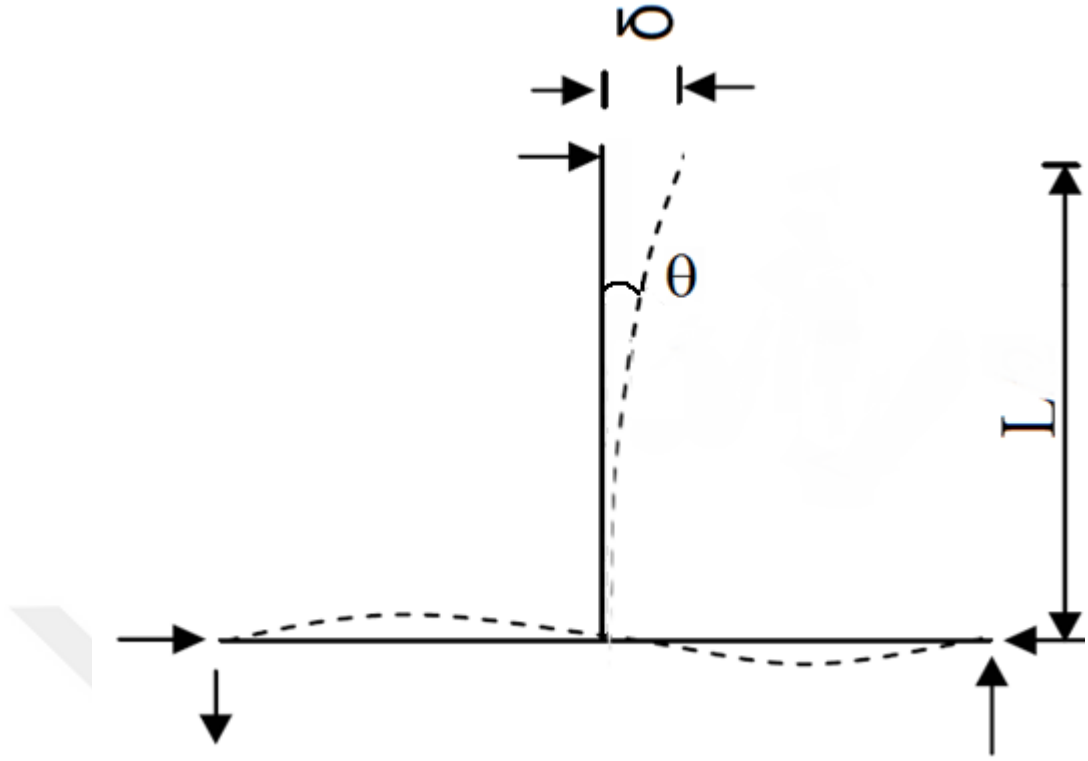
yükleme sistemi veri toplama sistemine sinyal göndermekte, son 4 saniyede ise ölçüm cihazlarından alınan veriler toplanmaktadır. Veri toplama sistemi 1 kanaldan 0.08 saniyede veri alabilmektedir.

Yatay yükler bilgisayar kontrollü MTS hidrolik vereni kullanılarak numunelerin kirişine bağlı levhalar üzerinden yük aktarmaktadır. Hidrolik veren itme ve çekmede 250 kN yük kapasitesine ve toplam 600 mm yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmış ve kontrol sisteminde MTS verenin yerdeğiştirme aralığı ± 150 mm olarak tanımlanmıştır. Kolon uç bölgelerinde numunenin alt ve üstüne yerleştirilen 100×200 mm boyutlarındaki dolu gövdeli çelik silindirler basit mesnet koşullarını sağlamıştır. Kolon aksenal kuvveti Enerpac hidrolik kriko kullanılarak uygulanmıştır. Numune ile kriko arasına yerleştirilen 1000 kN kapasiteli TML yükölçer aracılığı ile aksenal yük seviyesi kontrol edilmiş ve gerektiğinde kriko kullanılarak aksenal yükün 137 kN'da yaklaşık sabit kalması sağlanmıştır. Aksenal yükün kolon kesitinde düzgün dağılmasını sağlamak amacıyla numunenin iki ucunda 10 mm kalınlığında çelik levhalar kullanılmıştır.

Numunelerin düzlem dışı hareketlerinin sınırlandırılması için her iki tarafa çelik kollar bağlanmış, numune ve çelik kollar arasındaki çok küçük boşluklarda gres yağı ile kaplanmıştır.

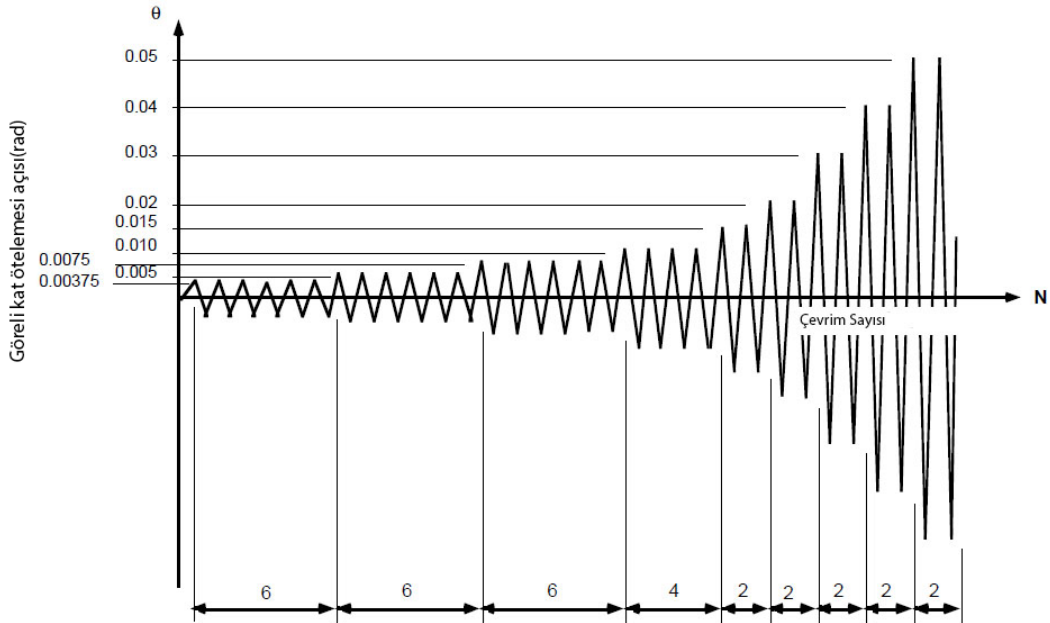
3.4.1 Yükleme Planı

Deneyler yerdeğiştirme kontrollü statik yükleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yükleme, adım adım gerçekleştirildiğinden her adımdan sonra numunenin davranışı izlenmiş ve bir sonraki yükleme adımına geçilmiştir. Yapılan deneylerde, SAC (*Seismic Design Criteria for Steel Moment Frame Construction*) tarafından önerilen yükleme protokolü uygulanmıştır. Northridge depreminde akma öncesinde kaynakta kırılmalar meydana geldiği için protokole küçük elastik çevrimler eklenmiştir. Yükleme protokolü Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Burada θ ile ifade edilen görece kat öteleme açısı, numunenin tepe noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirmenin (kontrol yerdeğiştirmesi, δ) kiriş uç noktasından kolon merkezine kadar olan L boyuna bölünmesi ile elde edilmektedir. δ ve L uzunlukları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Göreli kat ötelemesi açısının bulunmasında kullanılan parametrelerin gösterimi.

Örneğin ± 0.00375 radyanlık dönme açısı oluşması için, 2686.5 mm lik manivela koluna sahip olan birinci deney numunesinin tepe noktasında ± 10.074 mm lik yatay ötelenme oluşması gerekmektedir. EEPC-H0 ve EEPC-HS numuneleri için gerçekleştirilen deneyler ağır hasar düzeyine kadar sürdürülmüştür.



Şekil 3.7 : SAC yükleme protokolü.

3.4.2 Ölçüm Düzenegi

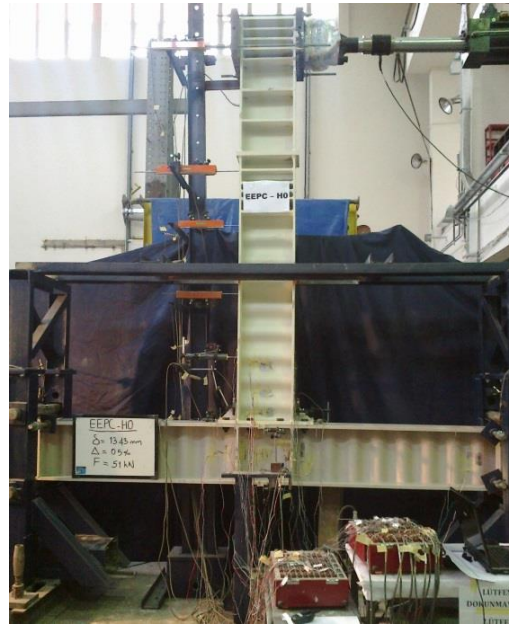
Yerdeğiştirme ölçümleri için TML marka yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Sırası ile 5 mm, 10 mm, 25 mm ve 100 mm ölçüm kapasitesine sahip CDP-10, CDP-25, CDP-100, SDP-200, SDP-300 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme ölçerler, hem itme hem de çekme çevrimlerinde veri alacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekildeğiştirmeleri ölçmek için de tek doğrultulu ve üç doğrultulu Şekildeğiştirme ölçerlerden (Straingauge) yararlanılmıştır.

3.5 Veri Okuma ve Kayıt Sistemi

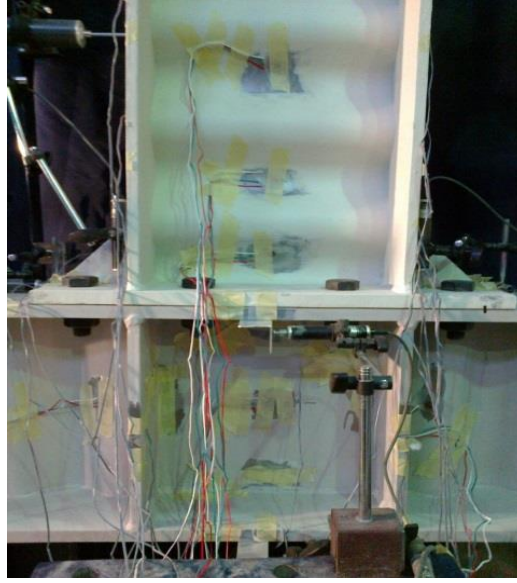
Deney düzeneğinin tam olarak hazırlanmasından sonra Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme ölçerlerden oluşan yaklaşık 70 adet ölçüm kanalı Tokyo Sokki Kenkyujo Co. LTD. ASW-50C çoğaltma kutusuna bağlanmıştır. Toplanan veriler TDS-530 veri işleme ünitesine bağlı Visual Log yazılımı tarafından kaydedilmiştir.

3.5.1 Veri okuyucu sistemin yerleşimi

Deneyisel çalışmada sağlıklı veri akışını sağlamak ve numune davranışını anlayabilmek için veri okuyucu görevini üstlenen Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme ölçerlerin uygun konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir. Veri okuyucu sistemlerden yerdeğiştirme ve Şekildeğiştirme ölçerlerin deney elemanı üzerindeki konumlanması sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8 : Deney elemanı üzerine sabitlenmiş yerdeğiştirme ölçerler.

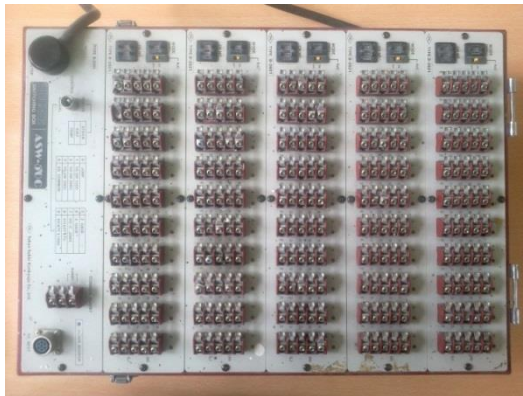


Şekil 3.9 : Deney elemanın yüzeyine yapıştırılmış şekildeğiştirme ölçerler.

Toplanan veriler ile giriş tepe yerdeğiştirme ve yerdeğiştirmenin kontrolü, sistemin düzlem dışına doğru olabilecek hareketinin izlenmesi, panel bölgesinin davranışının izlenmesi, yükleme altında mesnette veya diğer bağlantı elemanlarında oluşabilecek hareketlerin izlenmesi mümkün olmuştur.

3.5.2 Verinin toplanması ve kaydedilmesi

Deney düzeneğinin hazırlanmasından sonra yükleme, bilgisayar kontrollü olarak hedef yerdeğiştirme fonksiyonu izlenerek yapılmaktadır. Her yükleme adımından sonra şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler yaklaşık 70 kanal üzerinden 2 adet ASW-50C çoğaltma kutusu yardımıyla toplanır. Toplanan veriler Şekil 3.11 de görüntüsü verilen kontrol odasında yer alan TDS-530 veri işleme kutusu ve bağlantılı Visual Log yazılımı tarafından kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.10 : Veri akışını sağlayan deney elemanları.



Şekil 3.11 : Kontrol odası.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

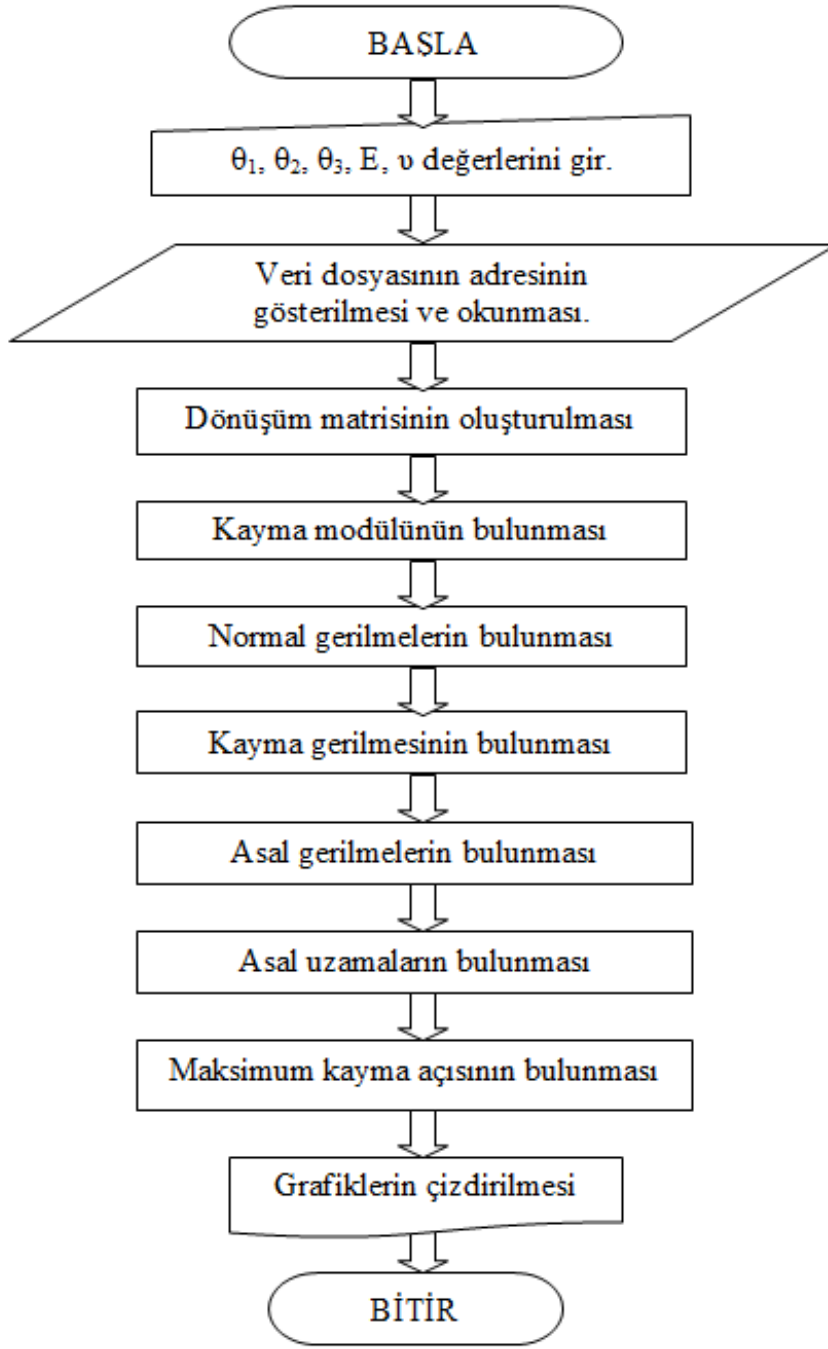
Bir noktadaki şekildeğiştirmeyi daha doğru olarak yorumlayabilmek için, o noktadaki şekildeğiştirmeyi bileşenlerine ayırmak uygun olmaktadır. Her ne kadar mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemeler üç boyutlu geometriye sahip olsa da sac yada plaka gibi bir boyutu diğer ikisine göre küçük olan malzemelerde sadece iki boyutta şekildeğiştirme analizi yapmak tatmin edici doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bu işlemsel süreci ifade edebilmek için matematiksel bir takım işlemler gerekmektedir. Bu tez çalışmasının deneysel bölümünde kullanılan rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen verilerin işlenmesi amacıyla, düzlem gerilme problemlerinde gerilme ve şekildeğiştirme analizi yapmak üzere Matlab ortamında bir yazılım geliştirilmiştir.

4.1 Data Dosyası

Data dosyası, deneysel çalışmada şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen verilerin depolandığı dosyadır. Deneysel çalışma verileri geliştirilen yazılıma bu dosya üzerinden aktarılmaktadır. Elde edilen ham veriler belli katsayılarla düzenlenerek programın işleyebileceği formata getirilir. Program **.txt* formatında düzenlenmiş olup ham verinin katsayılarla çarpılmış sütunlar halindeki değerlerini alır. Her sütun şekildeğiştirme ölçerinin bir ekseninden gelen büyüklükleri içerir. Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerde aynı noktada 3 farklı eksen (açıda) ölçüm alınmaktadır. Bu üç ölçümden elde edilen ifadeler data dosyasında 3 sütuna karşı gelmektedir.

4.2 Programın İşleyişi

Kullanıcı tarafından oluşturulan data dosyalarının tanıtılmasından sonra program değişkenlerin değerlerini adım adım grafiksel ortama aktarmaktadır. Bu esnada programın izlemiş olduğu yol Şekil 4.1’de akış diyagramı olarak verilmiştir.

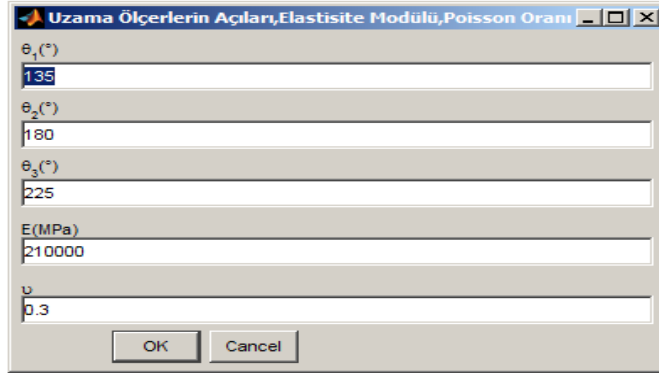


Şekil 4.1 : Akış diyagramı.

4.2.1 Data dosyasındaki verilerin okunması

Matlab tabanında hazırlanan program *DÜZLEM GERİLME ANALİZİ* başlığıyla adlandırılmıştır. Program ilk aşamada kullanılacak değişkenlere ait değerleri Şekil 4.2’de gösterilen giriş diyalogu penceresi yardımıyla kullanıcıdan istemektedir. Bunlar θ_1 , θ_2 , θ_3 açıları ile E , ν değerleridir. Burada θ_1 , θ_2 , θ_3 sırasıyla saat yönünün tersi istikametinde şekildeğiştirme ölçerlerin X eksenine etrafında yaptıkları açıyı derece cinsinden ifade eden değişkenlerdir. ‘E’ malzemenin elastisite modülünü, ‘ ν ’

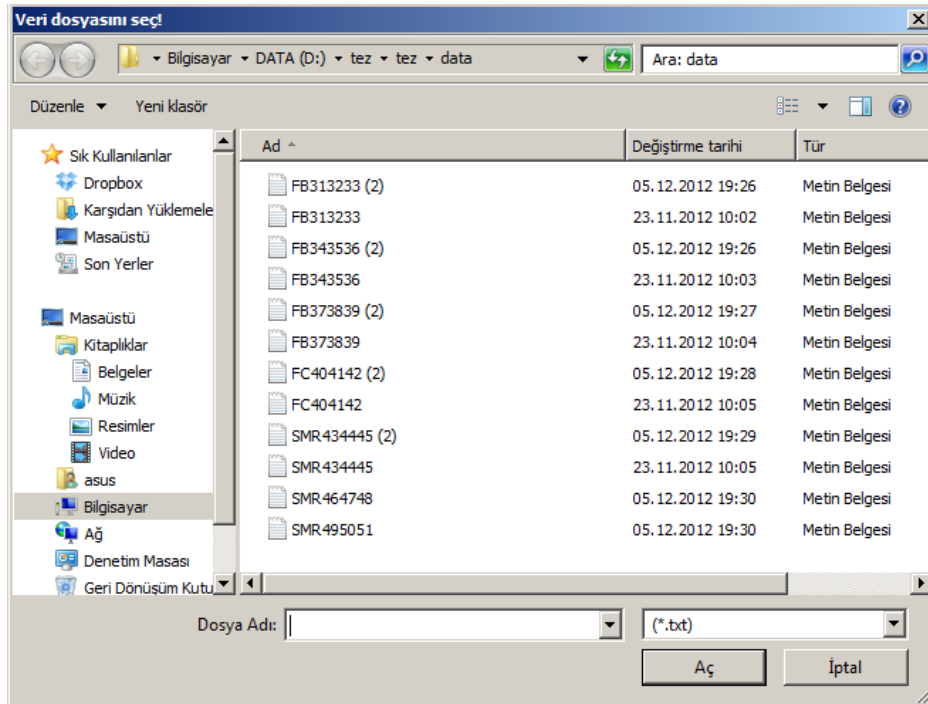
poisson oranını ifade etmektedir. Program kullanıcıya yol göstermek için, giriş diyalog kutusuna varsayılan bazı değerleri atamış olarak gelir.



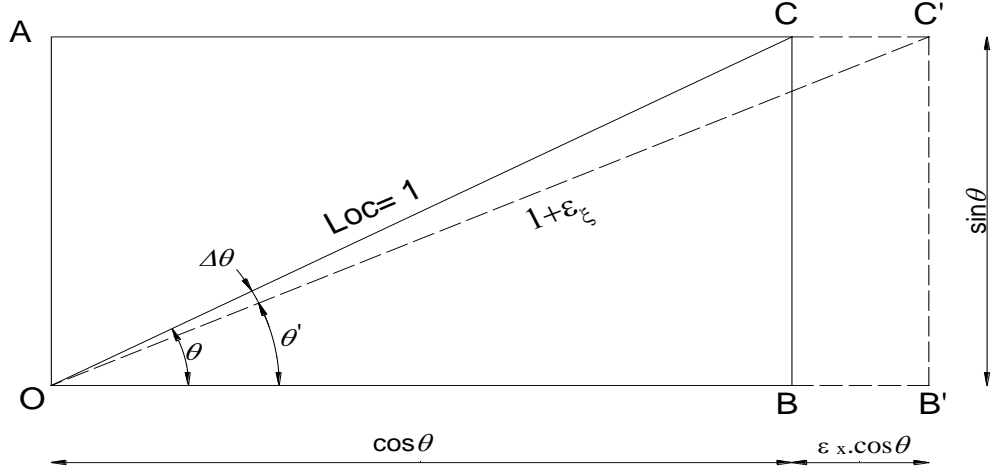
Parameter	Value
θ_1 (°)	135
θ_2 (°)	180
θ_3 (°)	225
E (MPa)	210000
ν	0.3

Şekil 4.2 : Giriş diyalogu penceresi.

Bu değerler kullanıcı tarafından girildikten sonra ikinci aşamaya geçilir. Bu aşamada, data dosyasına depolanan veriler okunur. Bu işlem, “Veri dosyasını seç!” başlıklı pencere üzerinden ilgili dosyanın diskteki yeri kullanıcı tarafından girilerek yazılıma tanıtılır, Şekil 4.3. Data dosyası *.txt formatında düzenlenmelidir. Üç sütundan oluşan data dosyası saat yönünün tersi istikametinde programa girilen açı değerlerinin sıralamasına paralel şekilde oluşturulduğunda her bir sütun o doğrultudaki şekildeğiştirmeyi temsil edecektir. Matlabda dataların doğru şekilde okunması için verilerde ondalık ayraç olarak ‘virgül’ yerine ‘nokta’ kullanılmalıdır.



Şekil 4.3 : Data dosyasının seçilmesi.

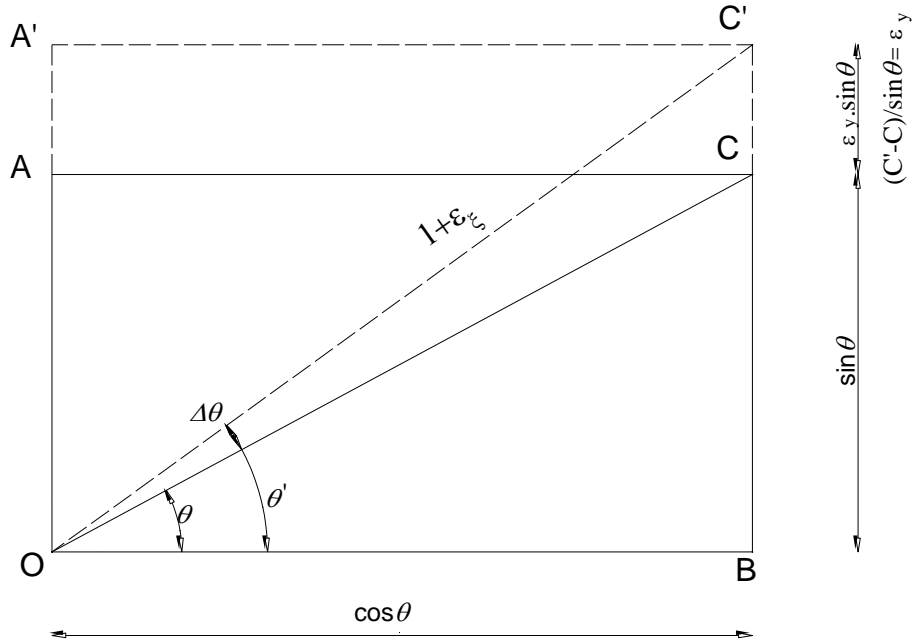


$$(B'-B)/\cos\theta = \varepsilon_x$$

Şekil 4.5 : ε_x doğrultusunda birimşekildeğiştirmenin geometrik ifadesi (Omurtag, 2012).

Y doğrultusunda ölçülen uzama oranından Şekil 4.6 da gösterildiği üzere $\square(OACB)$ nin y eksenindeki boy değişimi $(C'-C)/\sin\theta = \varepsilon_y$ bağıntısından $L_{CC'} = \varepsilon_y \cdot \sin\theta$ olur. Uzamış hipotenüs boyu (ζ, η) da $(L_{OC})^2 = (1 + \varepsilon_\zeta)^2$ ve (x, y) de $(L_{OC'})^2 = \cos^2\theta + (1 + \varepsilon_y)^2 \sin^2\theta$ dir. Bunlar birbirlerine eşitlenip ikinci mertebeden terimler $((\varepsilon_\zeta)^2, (\varepsilon_\zeta)^2)$ ihmal edilirse, uzama oranı ile köşegendeki dönme:

$$\varepsilon_\zeta = \varepsilon_y \sin^2 \theta \quad \Delta\theta = -\varepsilon_y \sin \theta \cos \theta \quad (4.2)$$



Şekil 4.6 : ε_y doğrultusunda birimşekildeğiştirmenin geometrik ifadesi (Omurtag, 2012).

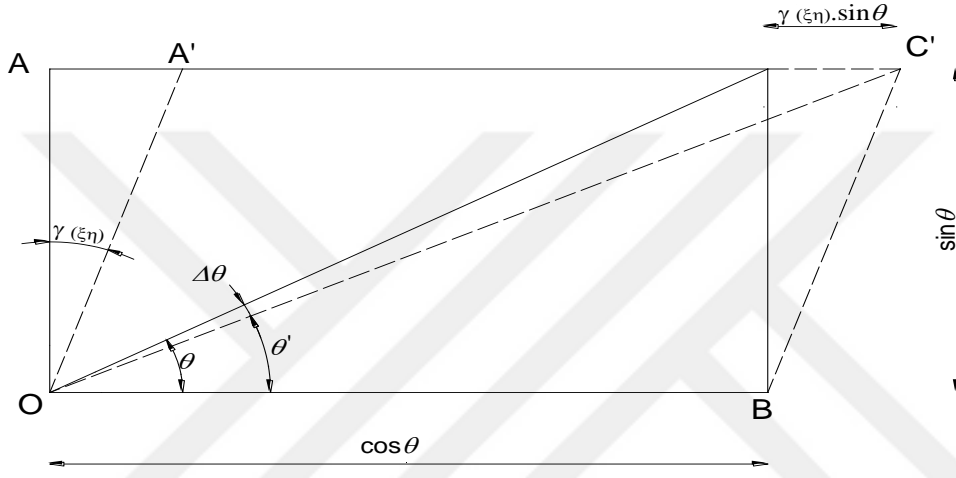
OB⊥OA arasındaki açının 90°'den sapma miktarı olan γ_{xy} den; Şekil 4.7 den köşegen boyu,

$$(\xi, \eta) \text{ eksen takımında: } (L_{OC'})^2 = (1 + \varepsilon_\xi)^2 \text{ ve}$$

$$(x, y) \text{ eksen takımında: } (L_{OC'})^2 = \sin^2 \theta + (\cos \theta + \gamma_{xy} \sin \theta)^2 \text{ dir.}$$

Bunlar birbirlerine eşitlenip ikinci mertebeden terimler $((\varepsilon_\xi)^2, (\varepsilon_\xi)^2)$ ihmal edilirse, uzama oranı ile köşegendeki dönme:

$$\varepsilon_\xi = \gamma_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad \Delta \theta = -\gamma_{xy} \cos^2 \theta - \gamma_{xy} \quad (4.3)$$



Şekil 4.7 : Farklı eksen takımında uzama oranının geometrik arkaplanı (Omurtag, 2012).

Bağımsız üç durum için incelenen bağıntıların süperpozisyonu ξ eksenini boyunca uzama oranı Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3 ün birinci denklemlerinden, Denklem 4.4 elde edilir.

$$\varepsilon_\xi = \varepsilon_x \cos^2 \theta + \varepsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \cos \theta \sin \theta \quad (4.4)$$

Rozet şekildeğiştirme ölçerler 3 doğrultuda uzama oranı verilerini toplamaktadır. Her bir doğrultudaki şekildeğiştirmeyi ifade edebilmek için doğrultu sayısı kadar dönüşüm denkleminin ihtiyacı olacaktır. Bundan dolayı rozet şekildeğiştirme ölçerler için Denklem 4.5 de gösterildiği gibi 3 dönüşüm denklemi yazılacaktır.

$$\varepsilon_a = \varepsilon_x \cos^2 \theta_1 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_1 + \gamma_{xy} \cos \theta_1 \sin \theta_1 \quad (4.5.a)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_x \cos^2 \theta_2 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_2 + \gamma_{xy} \cos \theta_2 \sin \theta_2 \quad (4.5.b)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_x \cos^2 \theta_3 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_3 + \gamma_{xy} \cos \theta_3 \sin \theta_3 \quad (4.5.c)$$

Elde edilen dönüşüm bağıntılarının bilgisayar programına tanıtılması için matris formatında yazılması gerekmektedir. Matris formatında üç denklem (4.6), (4.7), (4.8) de ifade edildiği gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_1)^2 & \sin(\theta_1)^2 & \cos(\theta_1) * \sin(\theta_1) \\ \cos(\theta_2)^2 & \sin(\theta_2)^2 & \cos(\theta_2) * \sin(\theta_2) \\ \cos(\theta_3)^2 & \sin(\theta_3)^2 & \cos(\theta_3) * \sin(\theta_3) \end{bmatrix} = A \quad (4.6)$$

$$\begin{bmatrix} \text{Epsilon}_x \\ \text{Epsilon}_y \\ \text{Gamma}_{xy} \end{bmatrix} = \text{Epsilon}_x \text{Epsilon}_y \text{Gamma}_{xy} \quad (4.7)$$

$$\begin{bmatrix} \text{Epsilon}_a \\ \text{Epsilon}_b \\ \text{Epsilon}_c \end{bmatrix} = B \quad (4.8)$$

Oluşturulan matrisler A, EpsilonEpsilonGamma ve B değişkenlerine atandıktan sonra Denklem 4.9'da gösterildiği gibi dönüşüm bağıntılarının genel matris formatı oluşturulur.

$$A \cdot \text{Epsilon}_x \text{Epsilon}_y \text{Gamma}_{xy} = B \quad (4.9)$$

Denklem 4.9 da son şekli verilen bağıntıda bilinmeyen ifadeler sütun matrisle gösterilen EpsilonEpsilonGamma matrisinin bileşenleridir. Bu matrisin bileşenlerini elde edebilmek için ilk önce A matrisinin tersi alınmalı daha sonra B matrisiyle çarpılmalıdır. Elde edilen matrisin her bir satırı yukarıdan aşağıya sırasıyla ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} ifadelerine karşılık gelmektedir. Bu işlem programa Denklem 4.10'da ifade edildiği gibi kodlanır.

$$\text{Epsilon}_x \text{Epsilon}_y \text{Gamma}_{xy} = \text{inv}(A) * B \quad (4.10)$$

Teorik alt yapısı oluşturulan dönüşüm matrisinin Matlab programında kodlanmış hali Şekil 4.8 de açık olarak gösterilmiştir.

```
%% Dönüşüm Matrisinin Oluşturulması ve  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\gamma_{xy}$ 'nin bulunması
A=[cos(theta1)^2 sin(theta1)^2
cos(theta1)*sin(theta1);cos(theta2)^2 sin(theta2)^2
cos(theta2)*sin(theta2);cos(theta3)^2 sin(theta3)^2
cos(theta3)*sin(theta3)];
B=[Epsilona(i,1);Epsilonb(i,1);Epsilonc(i,1)];
```

```

EpsilonxEpsilonyGammaxy=inv(A)*B;
Epsilonx(i,1)=EpsilonxEpsilonyGammaxy(1,1);
Epsilony(i,1)=EpsilonxEpsilonyGammaxy(2,1);
Gammaxy(i,1)=EpsilonxEpsilonyGammaxy(3,1);

```

Şekil 4.8 : Dönüşüm Matrisinin Oluşturulması ve ε_x , ε_y , γ_{xy} 'nin bulunması.

4.2.3 Bünye bağıntılarının oluşturulması ve σ_x , σ_y 'nin bulunması

Gerilmeler ile birim şekildeğişirmeler bünye bağıntılarıyla birbirlerine ilişkilendirilir. Belirli sınırlar içerisinde kalındığı sürece gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntıları doğrusaldır. (x, y, z) takımındaki bir noktada, gerilme tansörü $\sigma = \sigma(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz})$ ile birim şekildeğiştirme tansörü $\varepsilon = \varepsilon(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz})$ arasındaki ilişkiyi kuran bünye bağıntıları süperpozisyon ilkesiyle elde edilebilir. Mühendislik hesaplarında basitlik sağlamak amacıyla yüklemelerde çeşitli yaklaşımlar yapılarak gerilme ve birim şekildeğiştirme problemleri bir düzleme indirgenebilir. İnce parçaların kalınlık yönü doğrultusundaki yani z yönünde bir alan elemanda normal ve kayma gerilmesi bileşenleri, Denklem 4.11 deki değerleri alır.

$$\sigma_z = 0 \quad \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0 \quad (4.11)$$

Bu durumda gerilmemiş yüzeye dik olan ve kalınlığı boyunca seçilecek alan elemanlarında kayma gerilmelerinin ilgili bileşenleri de $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ olacağından düzlemde gerilme tansörü, Denklem 4.12 ifade edildiği gibi yazılır.

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Bu durumda bünye bağıntıları Denklem 4.13, (4.14), (4.15)'de ki halini alır.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu\sigma_y] \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu\sigma_x] \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (4.15)$$

Denklem 4.13, (4.14), (4.15)'de ifade edilen bünye bağıntıları matris formatına getirilmek istendiğinde Denklem 4.16, (4.17), (4.18)'de yer alan matrisler 3 değişkene atanır.

$$\begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} = C \quad (4.16)$$

$$\begin{bmatrix} \text{Sigma}x \\ \text{Sigma}y \end{bmatrix} = \text{Sigma}x\text{Sigma}y \quad (4.17)$$

$$E. \begin{bmatrix} \text{Epsilon}x\text{Epsilon}y\text{Gamma}xy(1,1) \\ \text{Epsilon}x\text{Epsilon}y\text{Gamma}xy(2,1) \end{bmatrix} = \text{ExEpsilon}x\text{Epsilon}y \quad (4.18)$$

Değişkenlere atanan matrisler denklem formatında genel olarak Denklem 4.19'da ifade edilir. Bu ifade Denklem 4.13, (4.14), (4.15)'de oluşturulan bünye bağıntılarının en genel matris formatında gösterilmiş halidir.

$$C.\text{Sigma}x\text{Sigma}y = E.\text{Epsilon}x\text{Epsilon}y \quad (4.19)$$

σ_x , σ_y değerlerini elde edebilmek için Denklem 4.19 'da $\text{Sigma}x\text{Sigma}y$ değişkenine atanan matrisin değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için Denklem 4.20'de gösterildiği gibi C matrisinin tersinin alınarak $\text{ExEpsilon}x\text{Epsilon}y$ matrisiyle çarpılması gerekmektedir.

$$\text{Sigma}x\text{Sigma}y = \text{inv}(C).\text{ExEpsilon}x\text{Epsilon}y \quad (4.20)$$

Bu çarpım sonucunda $\text{Sigma}x\text{Sigma}y$ matrisi elde edilmiş olur. Bu sütun matrisin birinci elemanı σ_x 'i, ikinci elemanı σ_y değerini ifade etmektedir.

Teorik alt yapısı oluşturulan dönüşüm matrisinin Matlab programında kodlanmış hali Şekil 4.9'da açıkça gösterilmiştir.

```
Bünye bağıntılarının oluşturulması ve  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$ 'nin bulunması
ExEpsilonxEpsilon=E.*[Epsilonx(i,1);Epsilony(i,1)];
SigmaSigma=inv(C)*ExEpsilonxEpsilon;
Sigma(i,1)=SigmaSigma(1,1);
Sigma(i,1)=SigmaSigma(2,1);
```

Şekil 4.9 : Bünye bağıntılarının oluşturulması ve σ_x ve σ_y 'nin bulunması.

4.2.4 Kayma gerilmesinin bulunması

(x,y,z) eksen takımındaki bir noktada, normal ve kayma gerilmelerinin etkileri birbirlerinden bağımsızdır. Normal gerilmeler için yapılacak işlemler, asal normal gerilmeler için izlenen yola benzemektedir. Şekil 4.10'daki basit kayma durumu için kayma gerilmesi τ ile kayma açısı γ arasındaki ilişki, deneyler sonucu,

$$\gamma = \frac{1}{G} \tau, \tau_{xy} = \gamma_{xy} \cdot G \quad (4.21)$$

biçiminde doğrusal bir eşitlik ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.10 : Kayma açısının geometrik gösterimi.

Denklem 4.22 deki G sabitine kayma modülü denir. Homojen ve izotrop malzemelerde,

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4.22)$$

dir. Bu sebeple kayma gerilmelerinin hesabı kayma modülü ve kayma açısı yardımıyla yapılabilir. Düzlem gerilme durumu ele alındığında τ_{xz} ve τ_{yz} gerilmeleri sıfır kabul edilir. Kayma gerilmelerinin hesap adımları Şekil 4.11’de Matlab program kodlarıyla gösterilmiştir.

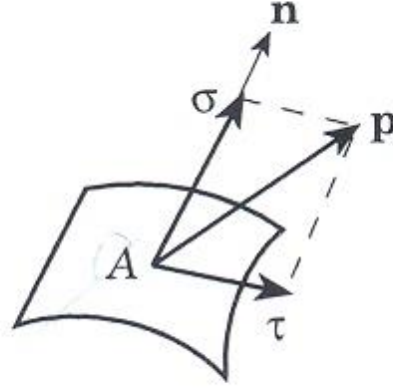
```
%% Kayma Modülü
G=E*(2*(1+poss))^-1;
%% Kayma Gerilmeleri
Tauxy(i,1)=G*Gammaxy(i,1);
```

Şekil 4.11 : Kayma modülü ve kayma gerilmeleri.

4.2.5 Asal gerilmelerin bulunması

Gerilme vektörü Şekil 4.12’de görüldüğü gibi bulunduğu yüzeye dik değildir. Bu nedenle, bu gerilme eğik gerilme vektörü adını alır. Eğik gerilme vektörü, şekilde görüldüğü gibi, biri yüzeyin normaline doğrultusunda diğeri ise yüzeyin teğet düzlemi içinde olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Yüzeye dik olan gerilme bileşenine normal gerilme ve yüzeyin teğet düzlemi içerisinde bulunan gerilme bileşenine de

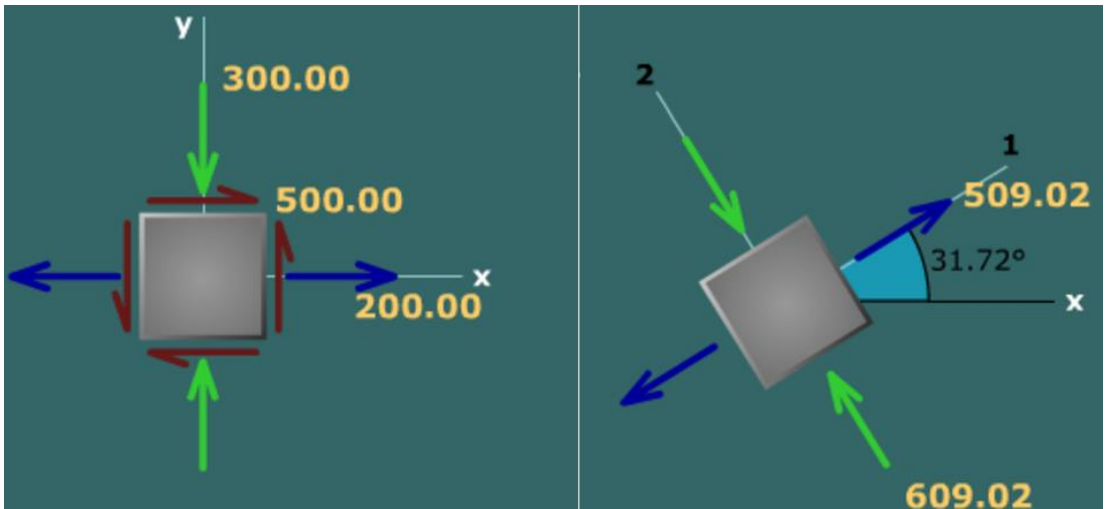
kayma gerilmesi olarak tanımlanır. Genelde, normal gerilmeler σ ve kayma gerilmeleri ise τ ile gösterilir.



Şekil 4.12 : Eğik gerilme vektörünün gösterimi.

Eğik gerilme vektörü yüzeyin normali ile çakışırca kayma gerilmesi $\tau = 0$ olur ve bu hale asal normal gerilme adı verilir. Daha açık bir şekilde açıklanmak istenirse, birim eleman koordinat düzleminde çevrildiğinde gerilme değerleri bazı özel değerler alır. Bu açılardan ilki, kayma gerilmelerinin sıfır olduğu açıdır, bu açı ile birlikte sadece normallerde oluşan gerilmeler kalır. İşte bu açıda, normal gerilmeler ile kayma gerilmelerinin birleşimi Denklem 4.23’de ifade edilen asal gerilmeler ortaya çıkar. Görsel olarak ifade edilmek istenirse Şekil 4.13 örnek bir gösterim şeklindedir.

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \mp \sqrt{\left[\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\right]^2 + \tau_{xy}^2} \quad (4.23)$$



Şekil 4.13 : Asal gerilmelerin görsel gösterimi.

Asal normal gerilmeler σ_1 ve σ_2 hesaplanırken σ_x , σ_y , τ_{xy} gerilmelerinden yararlanılmaktadır. Bu işlem Matlab yazılımında Şekil 4.14 de gösterildiği gibi yapılmaktadır.

```
%% Asal Normal Gerilmeler
Sigma1(i,1)=0.5*(Sigmax(i,1)+Sigmay(i,1))+((0.5*(Sigmax(i,1)
)-Sigmay(i,1))^2+Tauxy(i,1)^2)^0.5;

Sigma2(i,1)=0.5*(Sigmax(i,1)+Sigmay(i,1))-
((0.5*(Sigmax(i,1)-Sigmay(i,1))^2+Tauxy(i,1)^2)^0.5;

Sigma3(i,1)=0;
```

Şekil 4.14 : Asal normal gerilmelerin bulunması.

İnce parçaların kalınlık doğrultusundaki (z doğrultusunda) $\sigma_z=0$, $\tau_{zx}=\tau_{zy}=0$ ifadeleri düzlem gerilme durumu için yazılabilir. Bu sebepten dolayı üçüncü asal gerilme sıfır değerini almıştır.

4.2.6 Asal uzama oranlarının bulunması

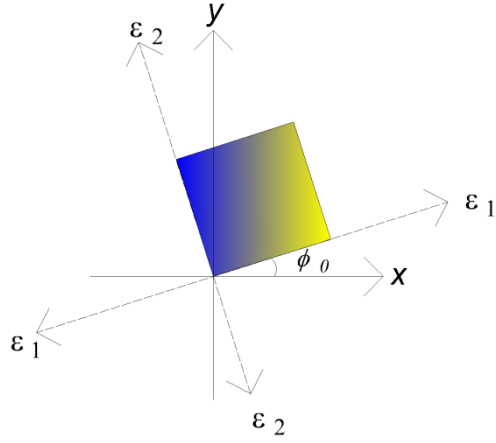
Asal uzama oranlarının belirlenmesi için asal uzama oranları ile asal gerilmeler arasındaki ilişki gözönüne alınmalıdır. Asal gerilmelerin kayma gerilmesinin sıfırlandığı açıda olduğu bilinmektedir. Kayma açısı da kayma gerilmesinin sıfıra eşit olduğu açıda sıfır olmaktadır. Bu sebeple asal uzama oranları ε_1 , ε_2 doğrultusunda seçilen dik eksen takımında (x_1, x_2) kayma açısı $\gamma_{12} = 0$ dır. İlgili doğrultuyu bulmak için, Denklem 4.24'te verilen farklı bir eksen takımında açı değişimini veren denklem kullanılabilir.

$$\gamma_{\xi\eta} = -2(\varepsilon_x - \varepsilon_y) \cos \theta \sin \theta + \gamma_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (4.24)$$

$\gamma_{12} = 0$ koşulunu sağlayacak $\theta = \theta_0$ açı değeri için çözümlerse, doğrultmanı veren ifade Denklem 4.25'deki halini alır.

$$\tan(2\phi_0) = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} \quad (4.25)$$

Doğrultman ifadesi Denklem 4.25'de verilmiş ve Şekil 4.15'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.15 : Doğrultmanın grafiksel gösterimi.

Asal uzama oranları Denklem(4.26) da verilen denklem ile hesaplanabilir. $\varepsilon_{\max}=\varepsilon_1$ 'i, $\varepsilon_{\min}=\varepsilon_2$ 'yi ifade etmektedir.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \mp \sqrt{\left[\frac{1}{2}(\varepsilon_x - \varepsilon_y)\right]^2 + \left(\frac{1}{2}\gamma_{xy}\right)^2} \quad (4.26)$$

Bu denklemin Matlab yazılımındaki ifadesi Şekil 4.16'da verildiği gibidir.

```
%% Asal Uzama Oranları
Epsilon1(i,1)=0.5*(Epsilonx(i,1)+Epsilony(i,1))+((0.5*(Epsilony(i,1))
^2+(Gammaxy(i,1)/2)^2)^0.5;
Epsilon2(i,1)=0.5*(Epsilonx(i,1)+Epsilony(i,1))-
((0.5*(Epsilonx(i,1)-
Epsilony(i,1))
^2+(Gammaxy(i,1)/2)^2)^0.5;
```

Şekil 4.16 : Asal uzama oranlarının bulunması.

Düzlem gerilme durumunda σ_z sıfır olmasına karşın ε_z belli bir değer almaktadır. Bu değer Hooke yasasından yararlanılarak Denklem 4.27'de ifade edilen hesaplama sonucunda elde edilebilir.

$$\varepsilon_3 = -\frac{\nu}{E}[\sigma_1 + \sigma_2] \quad (4.27)$$

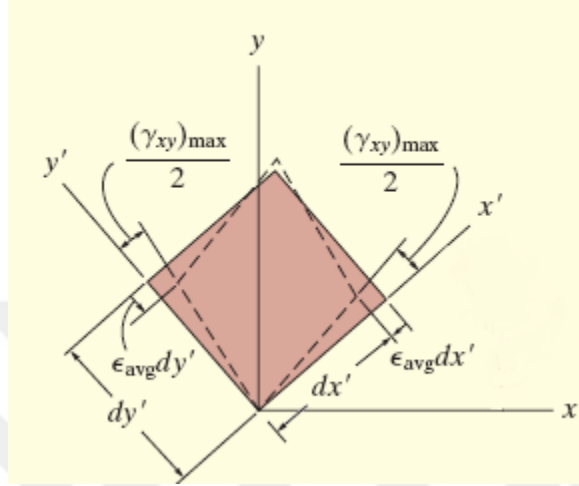
Matematiksel ifade şekli verilen üçüncü asal uzama oranını Matlab'de programlamak gerekirse, denklem Şekil 4.17 deki halini alır.

```
%% Asal Uzama Oranı
Epsilon3(i,1)=-poss*(Sigma1(i,1)+Sigma2(i,1))/E;
```

Şekil 4.17 : Asal uzama oranlarının bulunması.

4.2.7 Düzlem içi en büyük kayma açısının bulunması

Düzlem içinde oluşan en büyük kayma açısı, koordinat sisteminin z eksenine etrafındaki kayma gerilmeleri etkisiyle Şekil 4.18'de gösterildiği gibi döndürülmesiyle elde edilen en büyük kayma şekil değişimidir. Düzlem içinde en büyük kayma açısını belirlemek üzere sadece x-y düzlemini göz önüne alınır.



Şekil 4.18 : En büyük kayma açısının geometrik gösterimi.

Düzlem içi en büyük kayma açısı Denklem 4.28 yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{\gamma_{\max}^{\text{in-plane}}}{2} = \left| \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2} \right| = \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right)^2} \quad (4.28)$$

$\epsilon_1 = \epsilon_{\max}$, $\epsilon_2 = \epsilon_{\min}$ 'i ifade etmektedir. Bu ifadenin Matlab yazılımındaki gösterimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

```
% Düzlem İçi En Büyük Kayma Açısı (Mutlak Değer)
a=Epsilon1(i,1);
b=Epsilon2(i,1);
Epsilonxymax(i,1)=abs(a-b)/2;
Gammamaxinplane(i,1)=2*Epsilonxymax(i,1);
```

Şekil 4.19 : Düzlem içi en büyük kayma açısının bulunması.

4.2.8 Düzlem içi en büyük kayma gerilmesinin bulunması

Kayma gerilmesi τ ile kayma açısı γ arasındaki bağıntı, Denklem 4.29'da verilmiştir.

$$\gamma = \frac{1}{G} \tau \quad (4.29)$$

Düzlem durumda kayma gerilmesinden doğan γ_{xy} Denklem 4.30'da ifade edildiği gibidir (Omurtag, 2012).

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \quad (4.30)$$

Bu ilişkiden hareketle kayma şekildeğiştirmesiyle en büyük kayma gerilmesi arasındaki ilişki Denklem 4.31'de verilmiştir, (Beer ve diğ, 2012).

$$\tau_{\max(\text{inplane})} = \gamma_{\max(\text{inplane})} \cdot G \quad (4.31)$$

Bu ifadenin Matlab yazılımında ifadesi Şekil 4.20'de gösterildiği gibidir.

```
%% Düzlem İçi En Büyük Kayma Gerilmeleri (Mutlak Değer)
Taumaxinplane(i,1)=G*Gammamaxinplane(i,1);
```

Şekil 4.20 : Düzlemiçi en büyük kayma gerilmesinin bulunması

4.2.9 En büyük kayma açısının bulunması

Bir noktadaki en büyük kayma açısı herhangi bir koordinat sisteminde oluşan en büyük kayma açısına denk gelmektedir, (Madhukar, 2012). Bu ifade Denklem 4.32'de ifade edildiği gibi bulunabilir.

$$\frac{\gamma_{\max}}{2} = \max \left(\left| \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \right| \right) \quad (4.32)$$

Burada görüldüğü üzere en büyük kayma açısı ε_3 uzamasına bağlıdır. Asal uzama oranı değeri de düzlem gerilme ve düzlem şekildeğiştirme haline göre değişiklik gösterecektir. Bu ifadenin Matlab yazılımında gösterimi Şekil 4.21'de verilmiştir.

```
%% En büyük Kayma Açısı (Mutlak Değer)
a=Epsilon1(i,1);
b=Epsilon2(i,1);
c=Epsilon3(i,1);
t=max(a,b);
l(i,1)=max(t,c);
g=min(a,b);
h(i,1)=min(g,c);
Gammamax(i,1)=(l(i,1)-h(i,1));
```

Şekil 4.21 : En büyük kayma açısının bulunması.

4.2.10 En büyük kayma gerilmesi

En büyük kayma gerilmesi Hooke yasasından faydalınarak Denklem 4.33'den elde edilebilir.

$$\tau_{\max} = G \cdot \gamma_{\max} \quad (4.33)$$

Söz konusu ifadeye γ_{\max} en büyük kayma açısını, G ise kayma modülünü ifade etmektedir. Bu ifadenin Matlab çıktısı Şekil 4.22'de gösterildiği gibidir.

```
%% En büyük Kayma Gerilmesi (Mutlak Değer)
```

```
Taumax(i,1)=G*Gammamax(i,1);
```

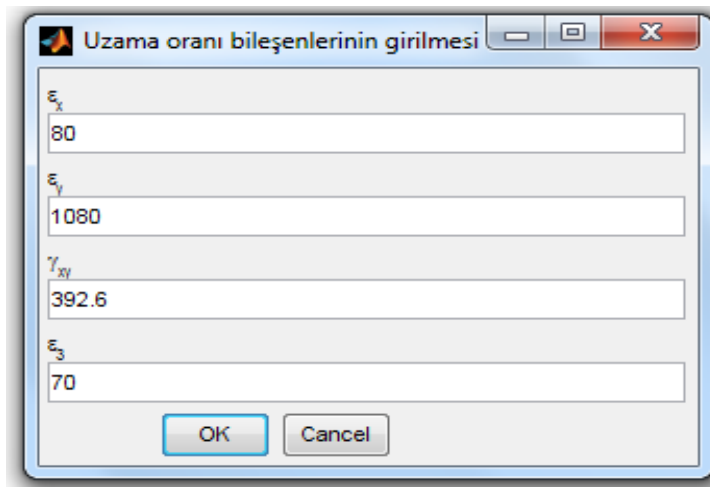
Şekil 4.22 : En büyük mutlak kayma gerilmesinin bulunması.

4.3 Mohr Grafik Betimlemesinin Çizdirilmesi

Düzlemsel gerilme durumunda; şekildeğiştirme dönüşümleri, basit bir görsel yöntem aracılığı ile de gerçekleştirilebilir. Alman mühendis Otto Mohr'a ithafen *Mohr çemberi* adı verilen bu yöntemin temeli önceki bölümlerde verilen matematik ifadelerine dayanmaktadır. Bu bölümde, önceki bölümlerde bulunan büyüklüklerin Matlab yazılımı vasıtasıyla Mohr çemberinde gösterilmesi incelenecektir.

4.3.1 Birim şekildeğiştirme bileşenlerinin girilmesi

Matlab tabanında hazırlanan yazılım 3D MOHR DAİRESİ olarak adlandırılmıştır. Yazılım ilk aşamada kullanılacak değişkenlere ilişkin değerleri giriş diyalogu penceresi vasıtasıyla kullanıcıdan istemektedir, Şekil 4.23.



Şekil 4.23 : Mohr programı giriş diyalog penceresi.

Bunlar ε_x , ε_y , γ_{xy} uzama oranları ile ε_3 asal uzama oranı değerleridir. Burada ε_x , ε_y , γ_{xy} sırasıyla rozet tipi şekildeğiştirme ölçerden alınan verilerin Denklem 4.34'de sunulan denklemler yardımıyla değerlendirilmesiyle elde edilir. Burada θ_1 , θ_2 , θ_3 sırasıyla saat yönünün tersi istikametinde şekildeğiştirme ölçerlerin x eksenine etrafında yaptıkları açığı derece cinsinden ifade eden değişkenlerdir. Bu ifadelerin sonucunda elde edilen değerler giriş diyalogu kutusuna kullanıcı tarafından girilecektir. Bu işlem, verilen denklemler yardımıyla ya da önceki bölümde çıktılarını verilen program yardımıyla yapılabilecektir. Kullanıcıya yol göstermek amacıyla, giriş diyalog kutusunda varsayılan değerler verilir.

$$\varepsilon_a = \varepsilon_x \cos^2 \theta_1 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_1 + \gamma_{xy} \cos \theta_1 \sin \theta_1 \quad (4.34.a)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_x \cos^2 \theta_2 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_2 + \gamma_{xy} \cos \theta_2 \sin \theta_2 \quad (4.34.b)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_x \cos^2 \theta_3 + \varepsilon_y \sin^2 \theta_3 + \gamma_{xy} \cos \theta_3 \sin \theta_3 \quad (4.34.c)$$

Şekil 4.23'de sunulan diyalog kutusunun Matlab yazılımındaki gösterimi Şekil 4.24'de verilmiştir.

```
% Giriş Diyalogu Kutusu
prompt={'\epsilon_x', '\epsilon_y', '\gamma_{xy}', '\epsilon_3'
' };
name='Uzama oranı bileşenlerinin girilmesi';
numlines=1;
defaultanswer={'80', '1080', '392.6', '70'};
options.Resize='on';
options.WindowStyle='normal';
options.Interpreter='tex';
answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer,options)
```

Şekil 4.24 : Giriş diyalogu penceresinin Matlab kodu.

İki boyutlu çizim söz konusu olduğunda ε_3 değerine gereksinim olmayacaktır. Yazılım üç boyutlu olarak birim şekildeğiştirmeleri ifade edeceğinden, ε_3 büyüklüğünün kullanıcı tarafından önceden belirlenmesi gerekmektedir. Veriler girildikten sonra Matlab yazılımı verileri matris formatında alarak Denklem 4.35 deki gibi S matrisine atamaktadır.

$$S = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy} \\ \gamma_{xy} & \varepsilon_y \\ \varepsilon_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.35)$$

Verilen matrisin Matlab çıktısı Şekil 4.25’de gösterildiği gibidir.

```
% S matrisi
S = [str2double(answer(1)) str2double(answer(3));
str2double(answer(3))
str2double(answer(2));str2double(answer(4)) 0];
```

Şekil 4.25 : S matrisinin Matlab kodu.

Verilerin x, y koordinatlarında Mohr çemberinde konumlandırılması için başka bir matris oluşturulur. Bu matris Denklem 4.36’da gösterildiği gibidir.

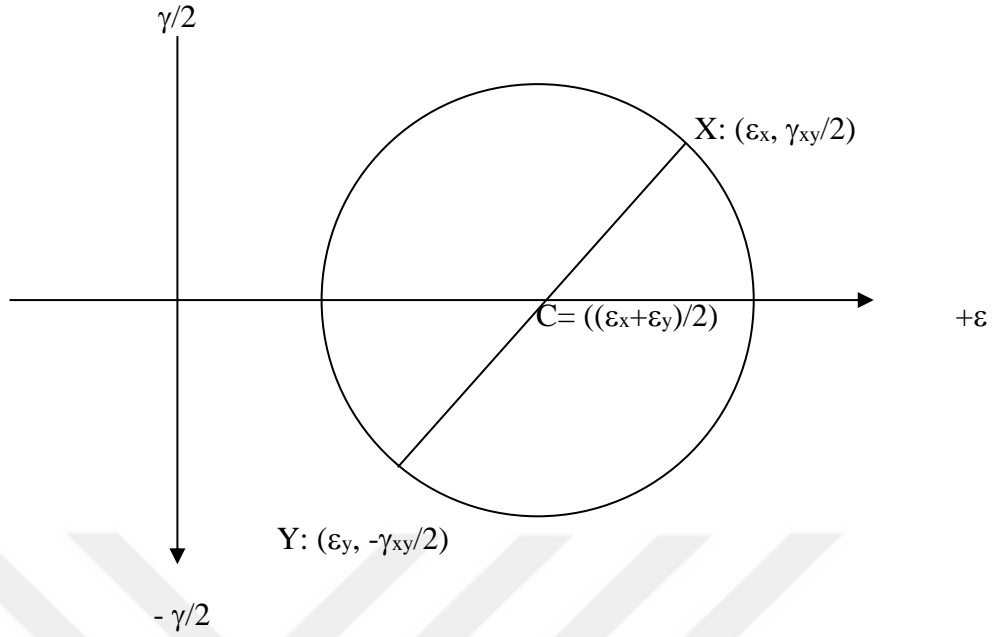
$$U = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ -\frac{\gamma_{xy}}{2} & \varepsilon_y \\ \varepsilon_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

Bu ifadenin Matlab çıktısı Şekil 4.26’da gösterilmiştir.

```
% U matrisi (Koordinat Sisteminde Gösterim)
U = [S(1,1) (S(1,2)/2); (S(2,1)/-2) S(2,2); S(3,1) S(3,2)];
```

Şekil 4.26 : U matrisinin Matlab kodu.

Mevcut veriler Mohr dairesinde çap üzerinde yer alan iki noktayı ifade etmektedir. Bunlardan X noktasının koordinatları $(\varepsilon_x, \gamma_{xy}/2)$. Y noktasının koordinatları ise $(\varepsilon_x, \gamma_{yx}/2)$ dir. Bu gösterime uygun örnek Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 : Asal şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

4.3.2 Mohr dairesinin merkezinin ve çapının hesaplanması

Önceki bölümde bahsedilen X ve Y noktalarından geçen bir doğrunun orta noktası Mohr dairesinin merkezi olacaktır. Bu işlem U matrisinde 1. satır 1. eleman ile 2. satır 2. elemanının toplamı yardımıyla yapılabilecektir, Denklem 4.37. Merkezi bulunan dairede, geometrik bağıntılardan faydalanarak merkez ile X veya Y noktaları arasında Pisagor teoremi uygulandığında yarıçap ifadesi Denklem 4.38'den elde edilebilir. Bu ifadelerin Matlab gösterimi Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

$$C_{\text{merkez}} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \quad (4.37)$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} \quad (4.38)$$

```
%% Dairenin merkezinin ve yarıçapının bulunması
Center = (U(1,1)+U(2,2))/2;
R = sqrt(((U(1,1)-U(2,2))/2)^2+(U(1,2))^2);
```

Şekil 4.28 : Mohr dairesinin Matlabda çapının ve merkezinin bulunması.

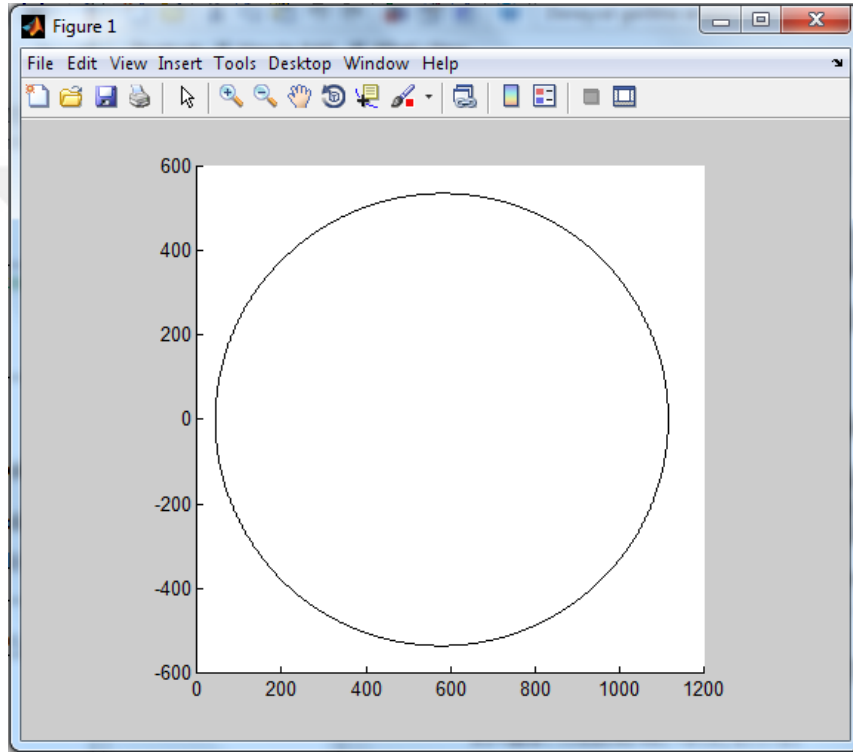
4.3.3 Birim şekilgeştirme bileşenlerinin çizdirilmesi

Çapı ve merkezi belli olan dairenin çizdirilmesinde Matlabın *circle* fonksiyonu kullanılabilir. Bu işlemin Matlab ifadesi Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

```
%% Mohr Dairesinin Çizdirilmesi  
Daire_1 = circle([Center,0],R,100000,'-k');
```

Şekil 4.29 : Mohr dairesinin Matlab da çizdirilmesi.

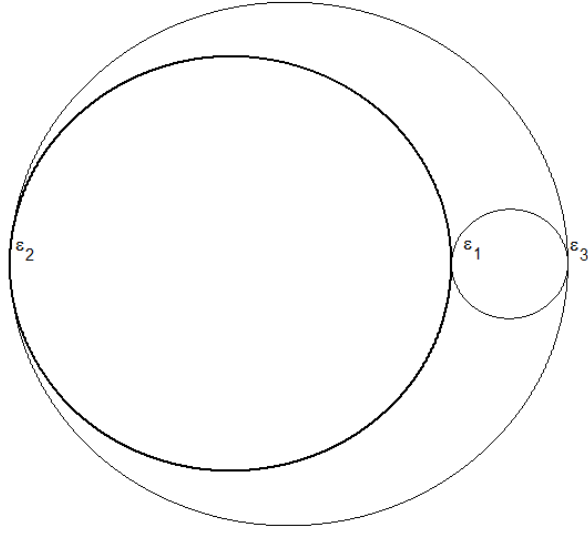
Çizim komutu verildikten sonra Şekil 4.30'daki daire program tarafından oluşturulur.



Şekil 4.30 : Mohr dairesinin çıktı görüntüsü.

Çizdirilen şekil ε_1 ve ε_2 asal şekilgeştirmelerine altlık oluşturacak dairedir. Bunun yanısıra düzlem gerilme durumu için gerekli olan ε_3 değeri önceki bölümlerde hesaplanmıştır. Bu sebeple aynı grafik üzerinde ε_3 'ün konumuna bağlı olarak 3 tane daha Mohr dairesi oluşturmak gerekecektir.

Şekil 4.30 da gösterilen dairenin x eksenini kestiği noktalar asal uzama oranları olan ε_1 ve ε_2 değerlerine karşılık gelmektedir. ε_3 değerinin üç farklı konumda bulunma ihtimali vardır. Bu üç durum $\varepsilon_3 > \varepsilon_1$, $\varepsilon_3 < \varepsilon_2$, $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumlarıdır. Şekil 4.31'deki gösterime uygun ilk durum için *if komutu* Şekil 4.32'de gösterildiği gibi yazılabilir.



Şekil 4.31 : $\varepsilon_3 > \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin konumu.

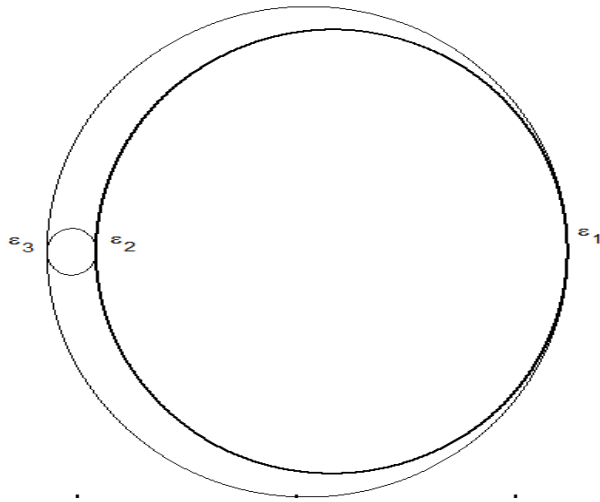
```

%% ε3>ε1
if U(3,1)>(Center+R)
    R2=abs(U(3,1)-(Center+R))/2;
    Center2=((Center+R)+U(3,1))/2;
    R3=abs(U(3,1)-(Center-R))/2;
    Center3=(U(3,1)+(Center-R))/2;
end

```

Şekil 4.32 : $\varepsilon_3 > \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin Matlab kodu.

İkinci durum için Mohr dairesi Şekil 4.33'deki gibi olmaktadır. Matlab çıktısı Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.33 : $\varepsilon_3 < \varepsilon_2$ durumunda Mohr dairesinin konumu.

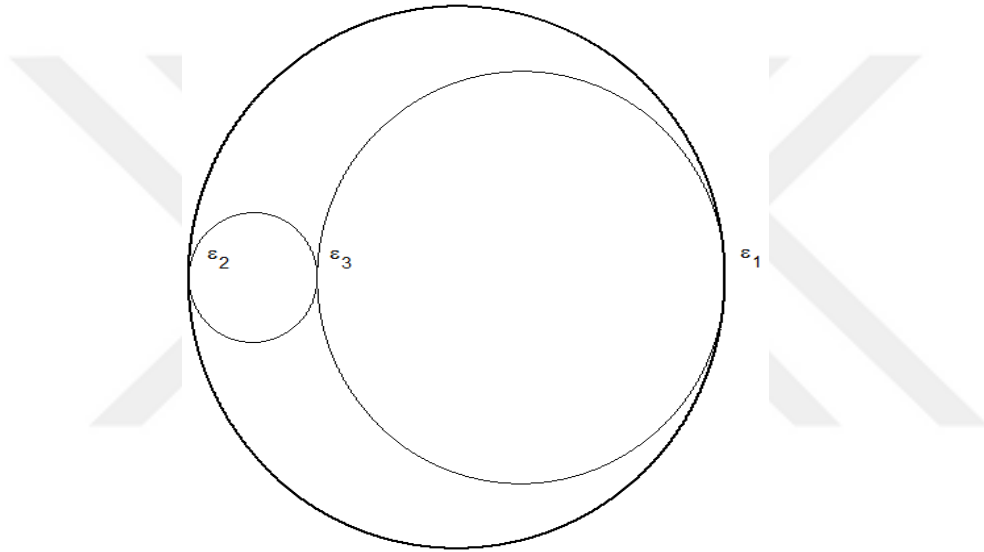
```

%% ε3<ε2
if U(3,1)<(Center-R)
    R2=abs((Center-R)-U(3,1))/2;
    Center2=((Center-R)+U(3,1))/2;
    R3=abs((Center+R)-U(3,1))/2;
    Center3=((Center+R)+U(3,1))/2;
end

```

Şekil 4.34 : $\varepsilon_3 < \varepsilon_2$ durumunda Mohr dairesinin Matlab kodu.

Üçüncü halde $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumu için Mohr dairesi oluşturulmak istenirse, sonuç Şekil 4.35 deki gibi olacaktır. Matlab çıktısı Şekil 4.36 da verilmiştir.



Şekil 4.35 : $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumunda Mohr dairesinin konumu.

```

%% ε2 < ε3 < ε1
if (Center-R)<U(3,1)&&U(3,1)<(Center+R)
    R2=abs(U(3,1)-(Center-R))/2;
    Center2=(U(3,1)+(Center-R))/2;
    R3=abs((Center+R)-U(3,1))/2;
    Center3=((Center+R)+U(3,1))/2;
end

```

Şekil 4.36 : $\varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \varepsilon_1$ durumunda Matlabda oluşturulan kod.

Verilen üç durum için, program sağlanan koşula uygun olarak dış daireyi hazır tutarak, yarıçapı ve merkezi belli olan iki daireyi de konumlandırır. Bunun ardından Şekil 4.37 deki Matlab çıktısında *circle* fonksiyonuyla bu verileri daire çizimine dönüştürür.

```

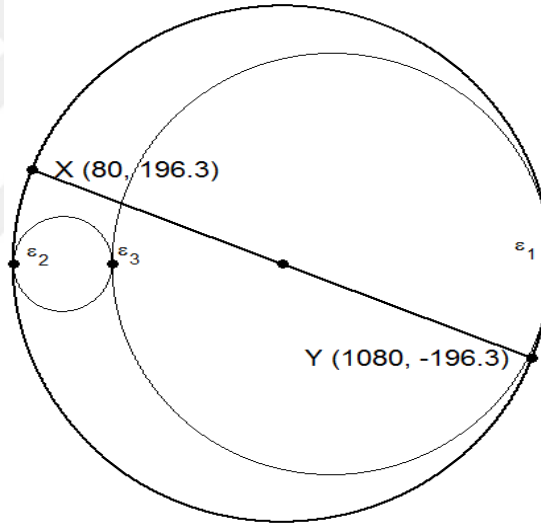
% Mohr Dairesinin Çizimi
hold on
Daire_1 = circle([Center,0],R,100000,'-k');
Daire_2 = circle([Center2,0],R2,100000,'-k');
Daire_3 = circle([Center3,0],R3,100000,'-k');

```

Şekil 4.37 : Mohr dairesinin Matlab da çizim kodları.

4.3.4 Asal uzama oranlarının çizdirilmesi

Matlab yazılımında çizdirilen dairelerin x eksenini kestikleri noktalar *asal uzama oranlarının noktalarını* verecektir. Geliştirilen yazılım, bu noktalarda isimlendirme ve koordinatlandırma yaparak sonucu Matlab grafik arayüzünde vermektedir, Şekil 4.38. Asal uzama oranları ve uzama bileşenlerini belirtmek üzere yazılan Matlab kodları Şekil 4.39’da gösterilmiştir.



Şekil 4.38 : Mohr dairesi yardımıyla asal şekildeşirmelerin gösterimi.

```

%% Asal uzama oranlarının grafikte gösterilmesi
plot([U(1,1), U(2,2)], [U(1,2), U(2,1)], 'k-', 'LineWidth', 2)
%X,Y arasındaki doğru
plot(Center,0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Center
plot(U(1,1), U(1,2), 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') %X
plot(U(2,2), U(2,1), 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') %Y
plot(Center+R, 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_1
plot(Center-R, 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_2
plot(U(3,1), 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_3
% Çizim alanı seçenekleri
set(Daire_1, 'Color', 'k', 'LineWidth', 2) %Epsilon_1 ve
Epsilon_2 arasındaki daire bolt.

```

```

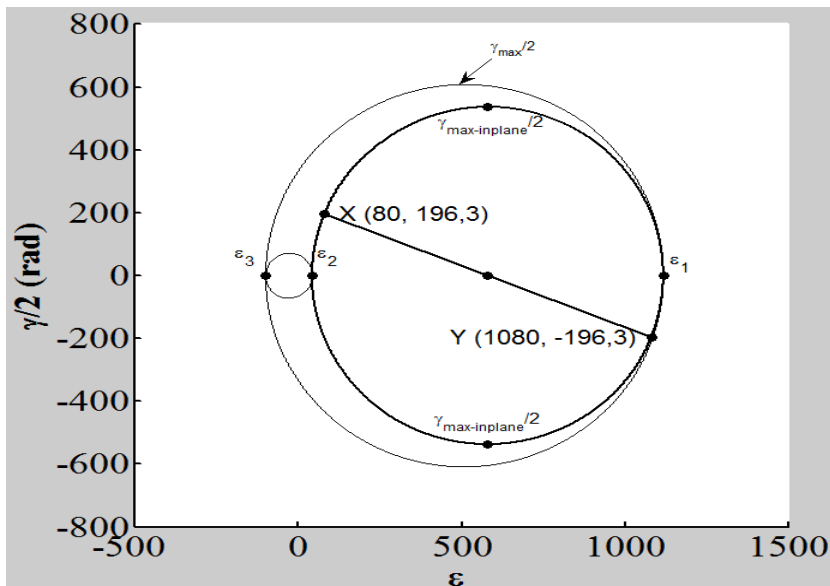
% Koordinatlandırma
text(U(1,1)+R/12,U(1,2),sprintf('X (%d,
%d)',U(1,1),U(1,2)),...
    'HorizontalAlignment','left','FontSize',16)
text(U(2,2)-R/12,U(2,1),sprintf('Y (%d,
%d)',U(2,2),U(2,1)),...
    'HorizontalAlignment','right','FontSize',16)
text(Center+1.1*R,R/12,'\epsilon_{1}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)
text(Center-1.1*R,R/12,'\epsilon_{2}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)
text(U(3,1),R/12,'\epsilon_{3}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)

```

Şekil 4.39 : Matlab üzerinde dairenin gösterilmesi ve çizim alanının düzenlenmesi.

4.3.5 En büyük kayma şekildeşştirmelerinin konumlandırılması

Düzlem içi en büyük kayma birim şekildeşştirmeleri ϵ_1 ve ϵ_2 asal uzama oranlarının oluşturduğu Mohr dairesinin tepe noktasıdır. Düzlem gerilme durumu esas alındığında $\sigma_z=0$ olmasına karşın $\epsilon_3 \neq 0$ dır. Bu yüzden ϵ_3 'ü dikkate aldığımızda oluşan en büyük daire çapı en büyük kayma birim şekildeşştirmesini verecektir. Matlab yazılımında, düzlem içi en büyük kayma birim şekildeşştirmesi *Gamma_in-plane* olarak, en büyük kayma birim şekildeşştirmesi de *Gamma_max* olarak adlandırılmıştır. Herhangi bir değer için grafiğin aksenal düzenlemelerle grafiksel gösterimi Şekil 4.40'da, Matlab kodları da Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.40 : Matlab üzerinde en büyük kayma şekildeşştirmelerinin gösterimi.

```

%% Koordinatları Noktalama ve Adlandırma

plot(Center,R,'ko','MarkerFaceColor','k') %
Gamma_max_inplane/2
plot(Center,-R,'ko','MarkerFaceColor','k') %
Gamma_max_inplane/2 (negative)

text(Center,1.1*R,'\gamma_{max-inplane}/2',...
      'HorizontalAlignment','center','FontSize',12)
text(Center,-1.1*R,'\gamma_{max-inplane}/2',...
      'HorizontalAlignment','center','FontSize',12)

% Çizim alanını düzenleme
set(gca,'LineWidth',2,'FontSize',24,'FontWeight','normal','
FontName','Times')
set(get(gca,'XLabel'),'String','\epsilon
','FontSize',24,'FontWeight','bold','FontName','Times')
set(get(gca,'YLabel'),'String','\gamma/2
(rad)','FontSize',24,'FontWeight','bold','FontName','Times'
)
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',scrsz)
set(gcf,'Position',[1 1 1000 1000])
hold off

```

Şekil 4.41 : Matlab üzerinde kesişim noktalarının işaretlenmesi.



5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

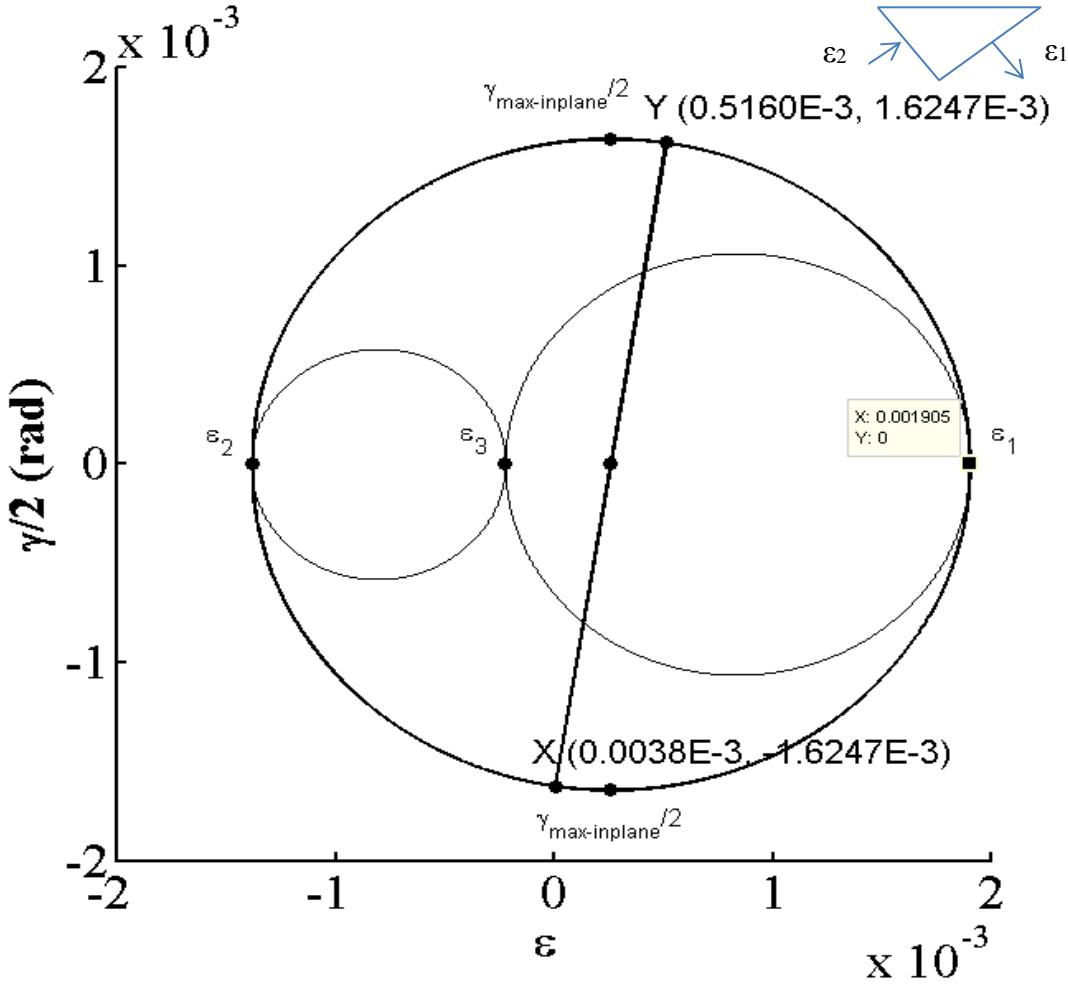
5.1 EEPC-H0 Deneyi

5.1.1 Akma aşaması şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

İncelenen panel bölgesinde oluşacak şekildeğiştirmeleri elde edebilmek için şekildeğiştirme ölçerlerden faydalanılmıştır. Bu sebeple deney elemanı üzerine iki tip olmak üzere beş şekildeğiştirme ölçer yapıştırılmıştır. Bunlardan biri üç doğrultulu diğerleri ise tek doğrultuludur. Üç doğrultulu şekildeğiştirme ölçer tek noktada üç doğrultuda veri aktardığı için önceki bölümlerde ifade ettiğimiz üzere dönüşüm bağıntıları yardımıyla malzemenin davranışını tanımlayabilmemiz için gerekli şekildeğiştirme parametrelerini verecektir. Ham olarak aktarılan 3 doğrultudaki verilerden, geliştirilen yazılım yardımıyla x ve y doğrultularındaki bileşenler elde edildikten sonra mukavemet prensiplerini kullanarak asal şekildeğiştirmeler elde edilmektedir. Yapı çeliği izotrop malzeme olduğu için oluşan asal şekildeğiştirmeler malzeme çekme deneyinden elde edilen akma şekildeğiştirmesi baz alınarak malzemenin hangi yükleme altında akmaya eriştiği belirlenebilmektedir. Bunun yanında malzeme üzerinde oluşan asal şekildeğiştirmeleri bulabilmek için Mohr yöntemi de kullanılmaktadır. Şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen tüm veriler işlenerek akma şekildeğiştirmesine eşit asal şekildeğiştirme durumunda, şekildeğiştirme bileşenleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Akma aşaması (0.002) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

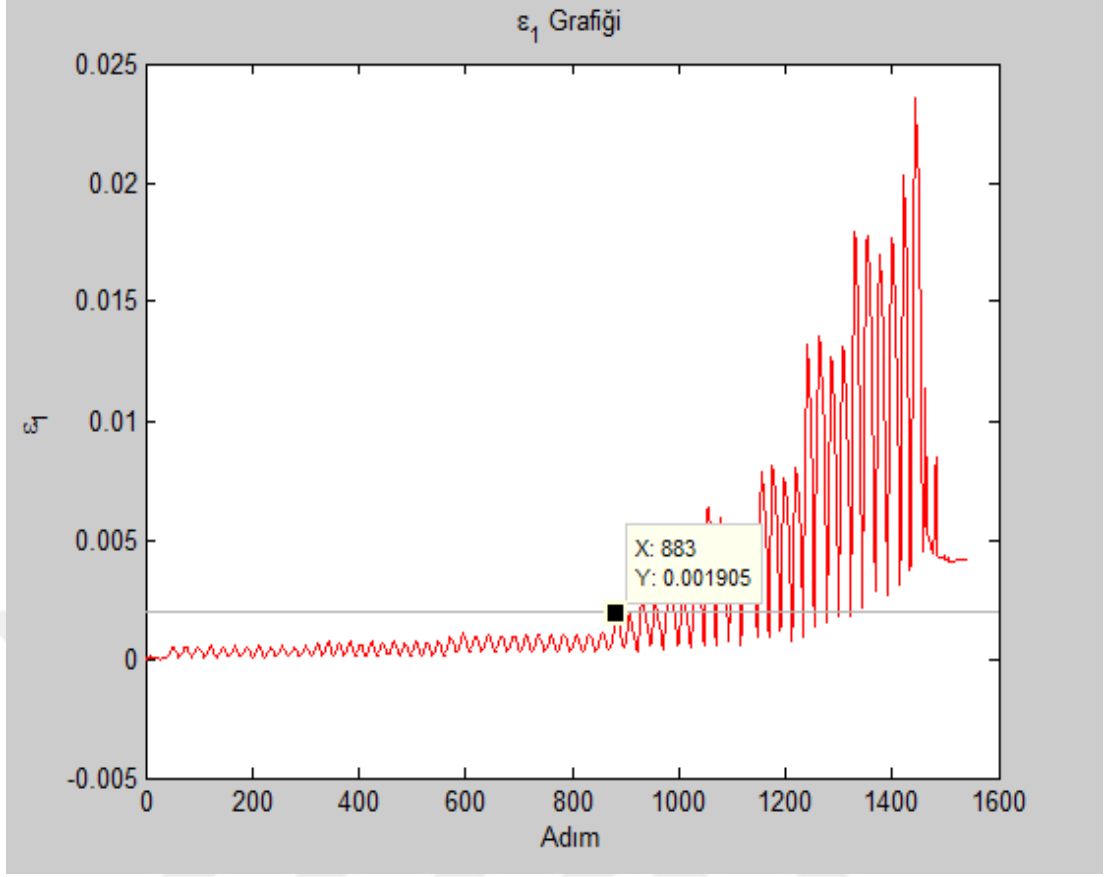
ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
-0.0038E-3	0.5160E-3	3.25E-3	-0.223E-3



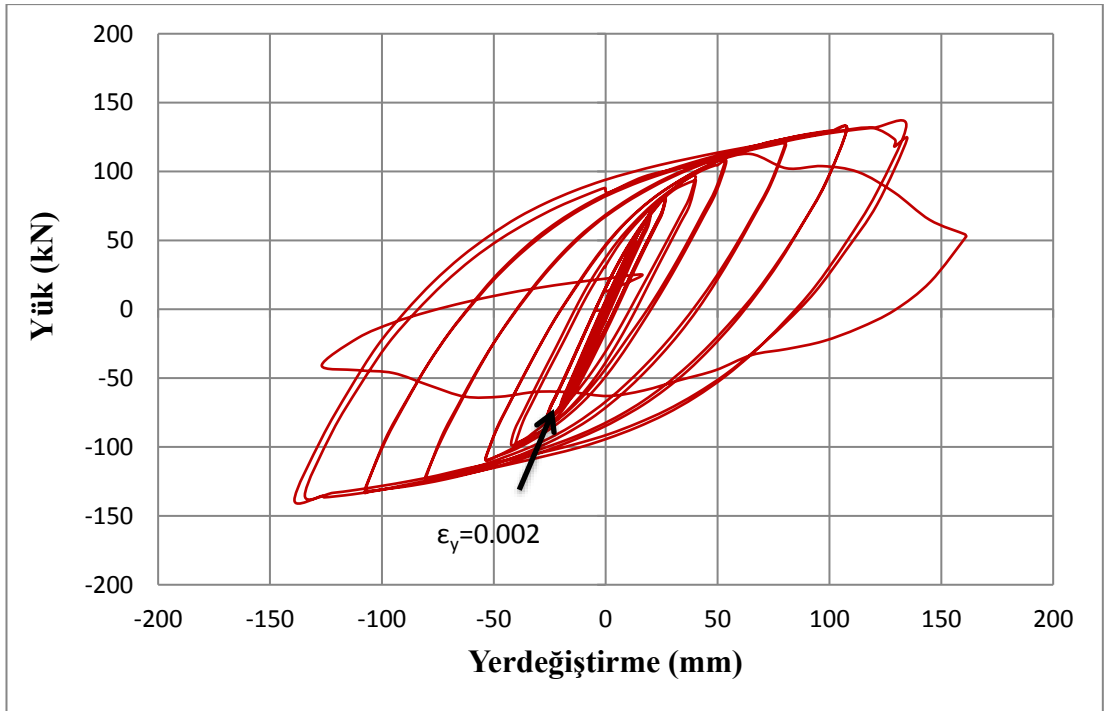
Şekil 5.1 : EEPC-H0 deneyi akma aşaması panel bölgesinde oluşan şekildeğişirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.1.2 Akma aşaması yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

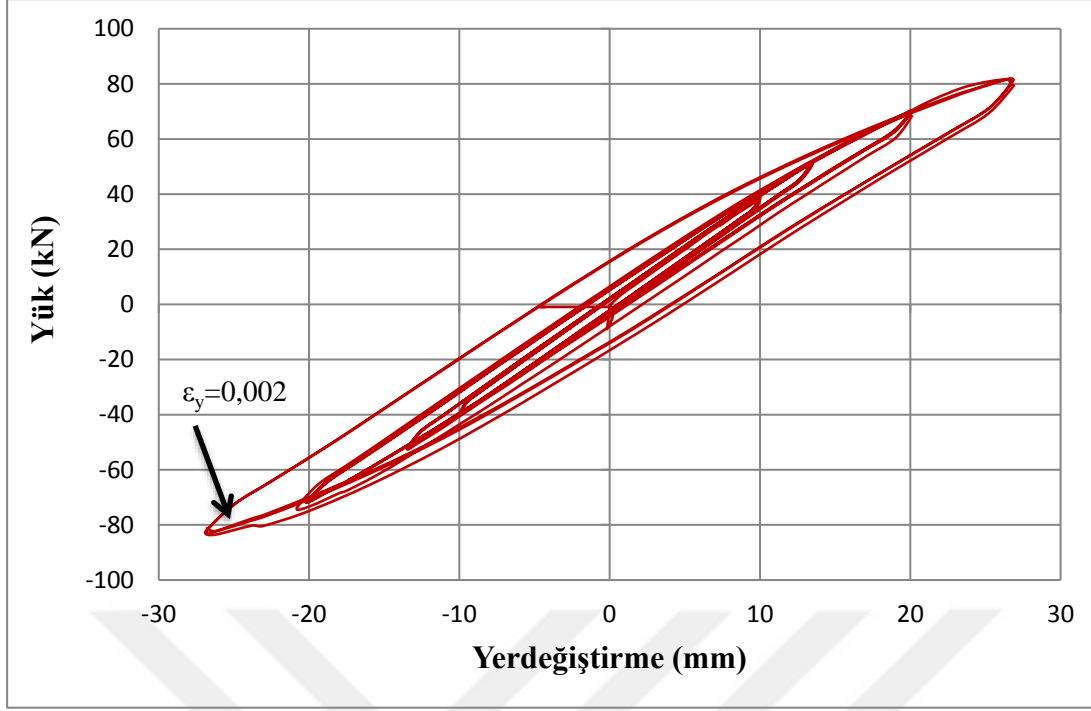
Asal şekildeğiştirme doğrultularında hangi tepe yerdeğiştirmesi düzeyinde akmaya erişildiğini anlayabilmek için Şekil 5.2'deki grafik kullanılmıştır. Çizilen grafikte x eksenine paralel olarak akma şekildeğiştirmesi (0.002) değerinde bir sabit doğru çizilmiştir. Deney sonucu ile sabit akma çizgisinin kesiştiği nokta malzemenin aktığı aşamayı tesbitte kullanılmıştır. Adım numarası belli olduktan sonra o noktada uygulanan yük veri kayıtlarından elde edilebilecektir. İlk önce datanın tamamı Şekil 5.3'te çizilerek genel davranış izlenmiş, sonrasında ise Şekil 5.2'de bahsedilen akma noktasına kadar olan bölge Şekil 5.4'te çizilmiştir. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere malzeme yaklaşık olarak 82.6 kN yükleme etkisinde 26.88 mm yerdeğiştirme, 0.01 rad. görelî kat ötelenmesi açısıyla akma şekildeğiştirmesine ulaşmıştır.



Şekil 5.2 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 5.3 : EEPC-H0 numunesi yük yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 5.4 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması yük yerdeğiştirme grafiği.

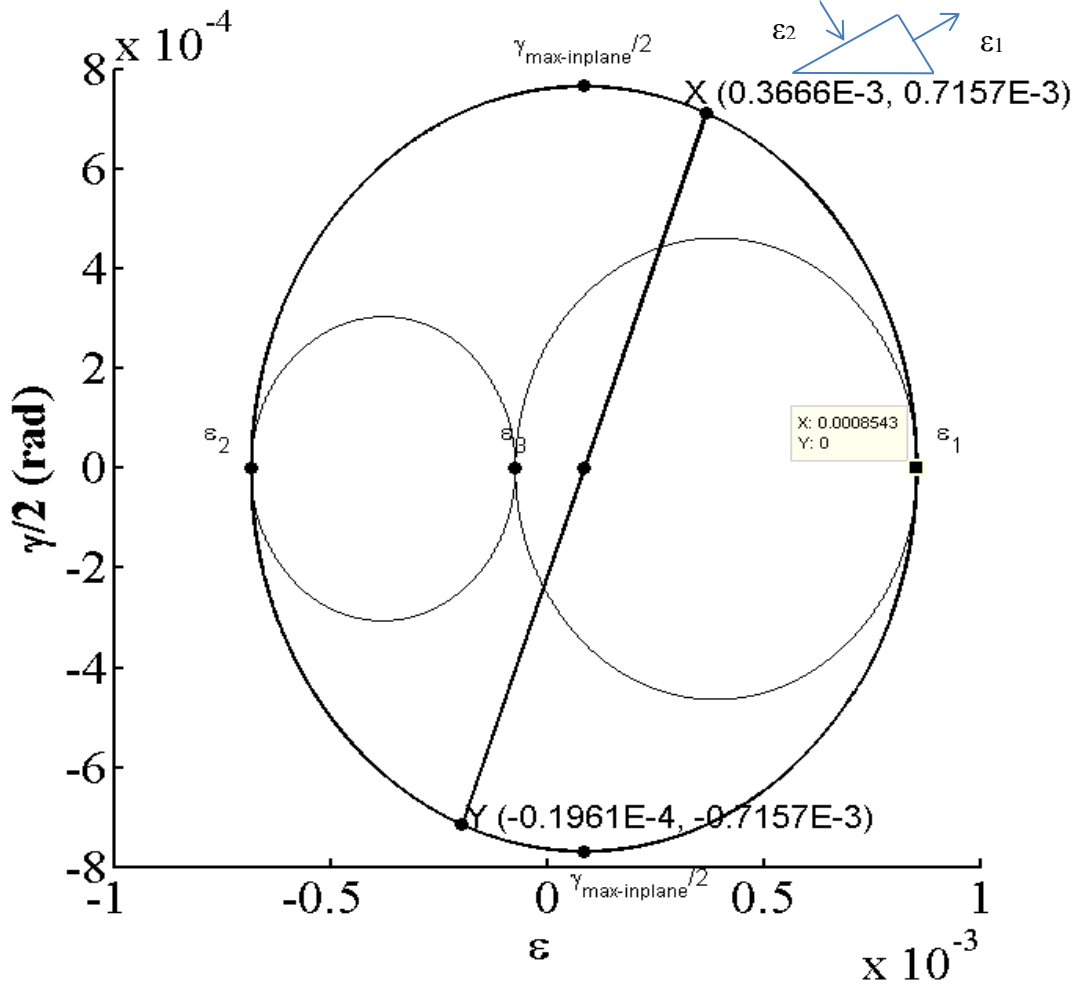
5.1.3 Akma öncesi durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

Malzemenin tam elastik alandaki davranışını belirlemek için malzeme çekme deneyinden elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alınarak bir şekildeğiştirme değeri belirlenmiştir. Çizelge 5.2’de rozet şekildeğiştirme ölçerden elde edilen asal şekildeğiştirmenin bu değere ulaştığı durumdaki şekildeğiştirme bileşenleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Akma öncesi (0.00085) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
0.3666E-3	-0.1961E-3	1.4314E-3	-0.0730E-3

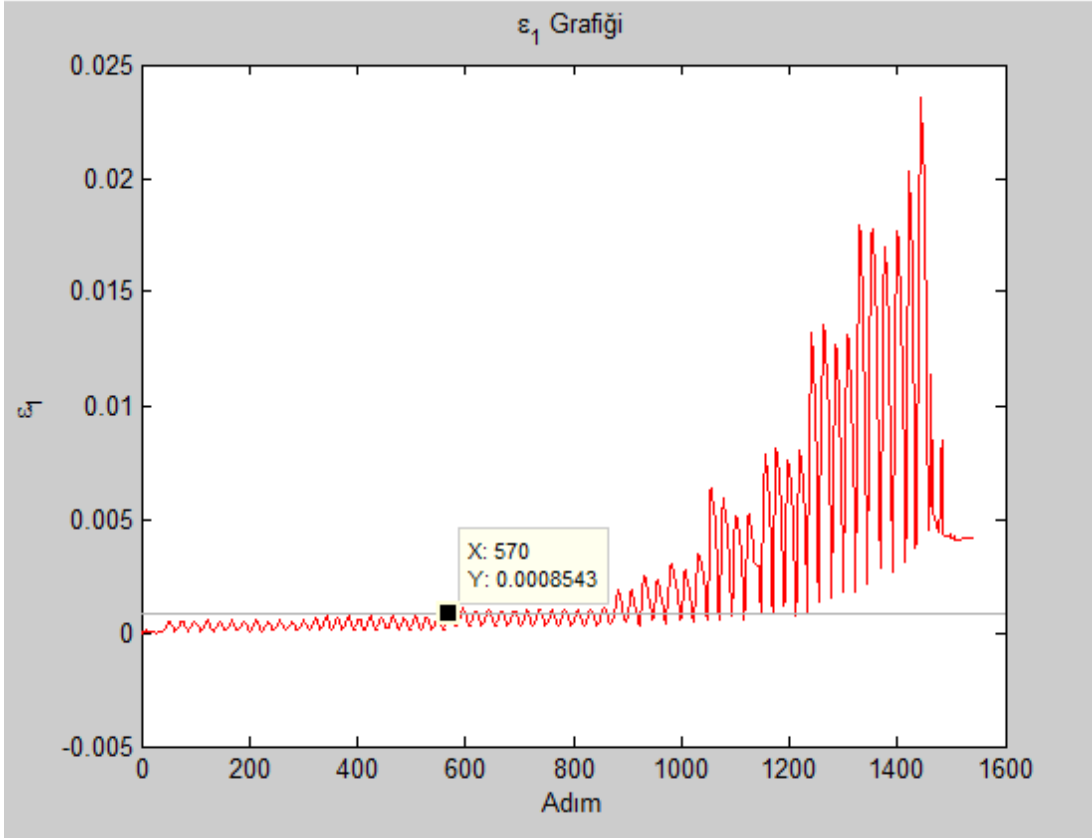
Bu değerler yazılım yardımıyla direkt olarak bulunmuştur. Şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösteriminde Çizelge 5.2’deki veriler kullanılmıştır. Bunun sonucunda Mohr dairesi yazılımı yardımıyla Şekil 5.5’teki Mohr dairesi çizilmiştir.



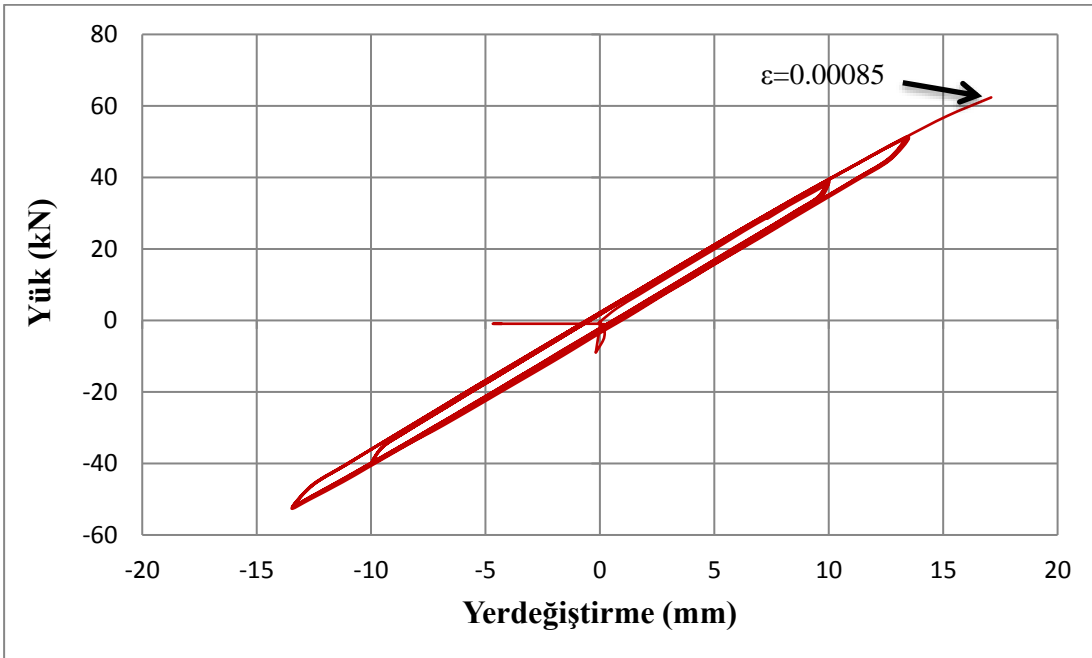
Şekil 5.5 : EEPC-H0 deneyi akma öncesi panel bölgesinde oluşan şekildeğişirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.1.4 Akma öncesi yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

Öngörülen şekildeğiştirmeye karşı gelen asal şekildeğiştirmenin olduğu adım Şekil 5.6'da belirlenmiştir. Bu adımdaki yük ve tepe yerdeğiştirmesinden elde edilen veriler ile başta bahsedilen akma öncesi şekildeğiştirme durumundaki yük-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.7'de gösterildiği gibi çizdirilmiştir. Bu eğriden izlenebildiği gibi, bu şekildeğiştirmeye 62.37 kN dayanım ve 17.1 mm tepe yerdeğiştirmesi karşı gelmektedir. Toplam görel kat ötelemesi açısı ise 0.0063 rad. olmuştur.



Şekil 5.6 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



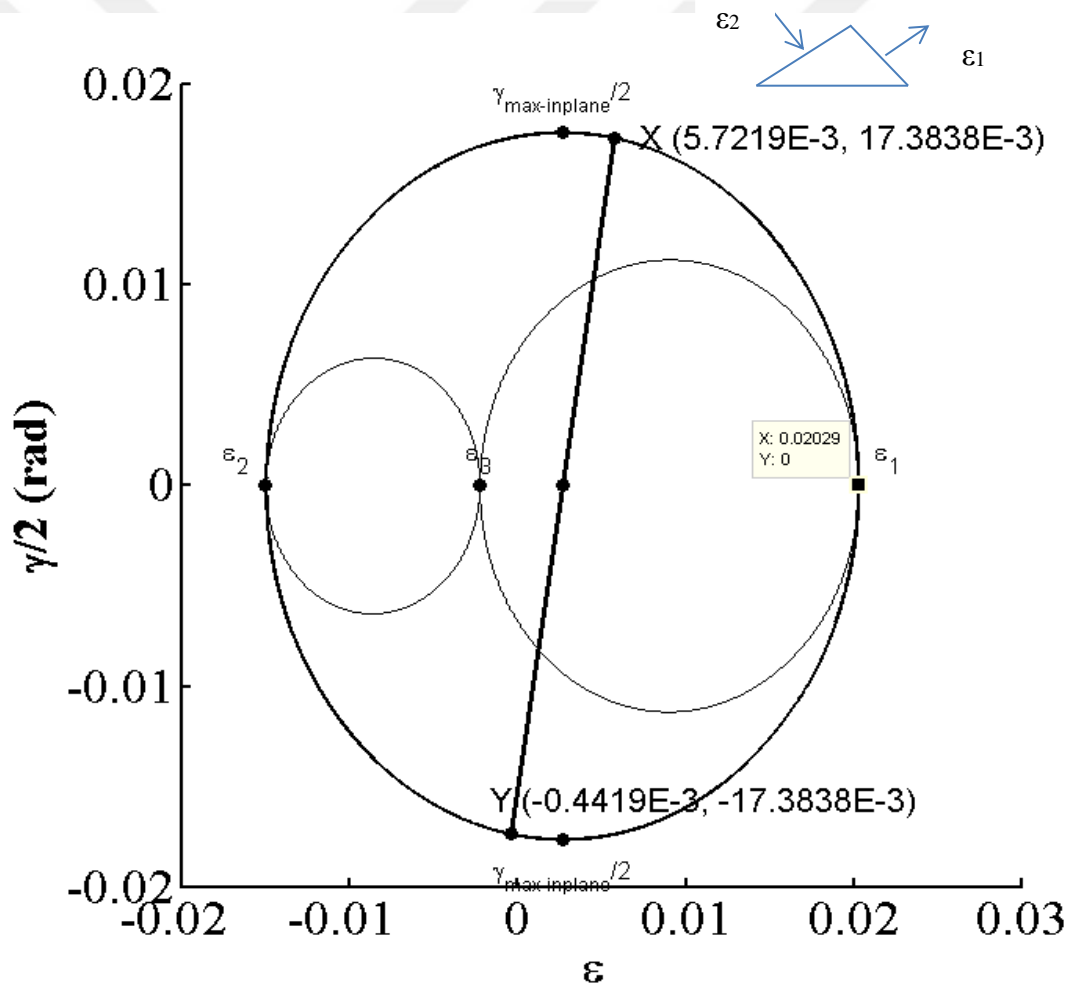
Şekil 5.7 : EEPC-H0 numunesi akma öncesi yük yerdeğiştirme grafiği.

5.1.5 Akma sonrası durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

Rozet şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen asal şekildeğiştirmelerin akma sonrası durum için belirlenen 0.02029 şekildeğiştirme değerine ulaştığı aşamadaki şekildeğiştirme bileşenleri dönüşüm bağıntıları yardımıyla hesaplanıp, Çizelge 5.3'de verilmiştir. Bu bileşenler yardımıyla Mohr dairesi yazılımı ile de Şekil 5.8'deki grafik elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 : Akma sonrası (0.02029) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

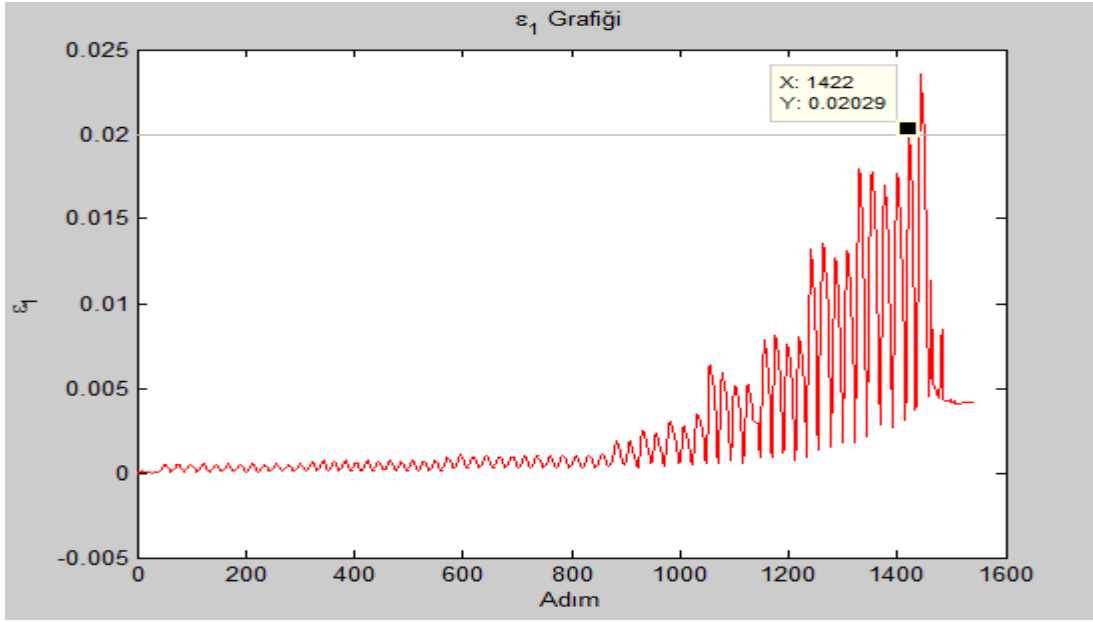
ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
5.7219E-3	-0.4419E-3	34.7676E-3	-2.2628E-3



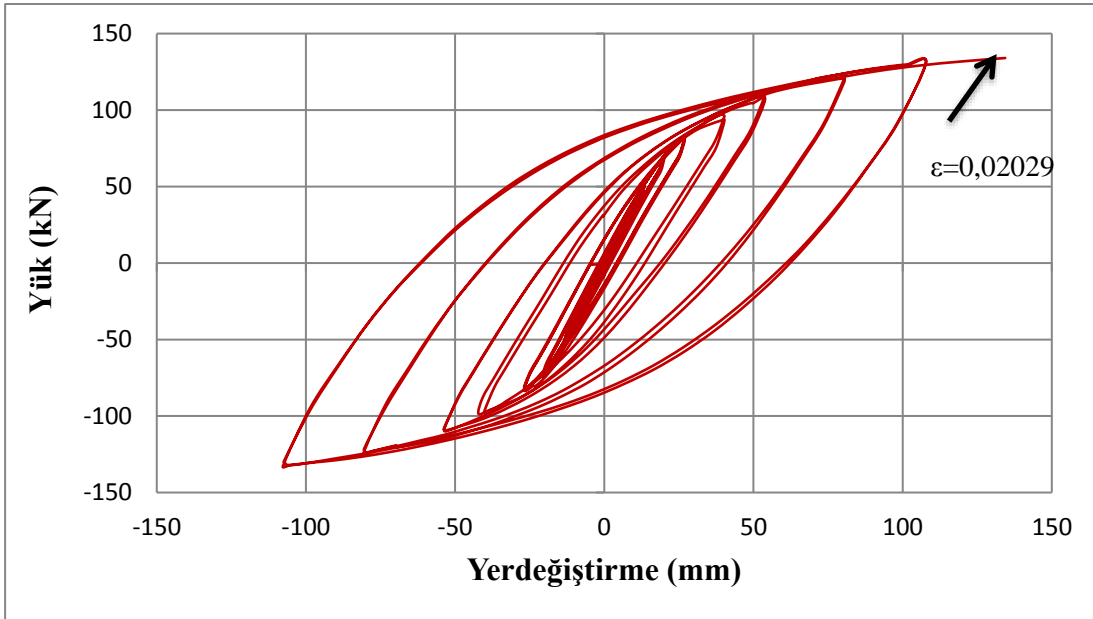
Şekil 5.8 : EEPC-H0 deneyi akma sonrası panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.1.6 Akma sonrası yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

Belirlenen şekildeğiştirme değeri için karşı gelen adım numarası Şekil 5.9'daki grafikte belirlenmiştir. Veri kayıt dosyasından sözkonusu adımdaki yerdeğiştirme ile ölçülen yük değeri de tespit edilmiştir. Bu aşamaya kadar oluşan tüm yük-yerdeğiştirme çevrimleri Şekil 5.10'daki gibi çizdirilmiştir. Bu eğriden anlaşılacağı üzere numune 134 kN altında 134.7 mm yerdeğiştirme yapmıştır. Toplam görel kat ötelemesi açısı 0.05 radyandır.



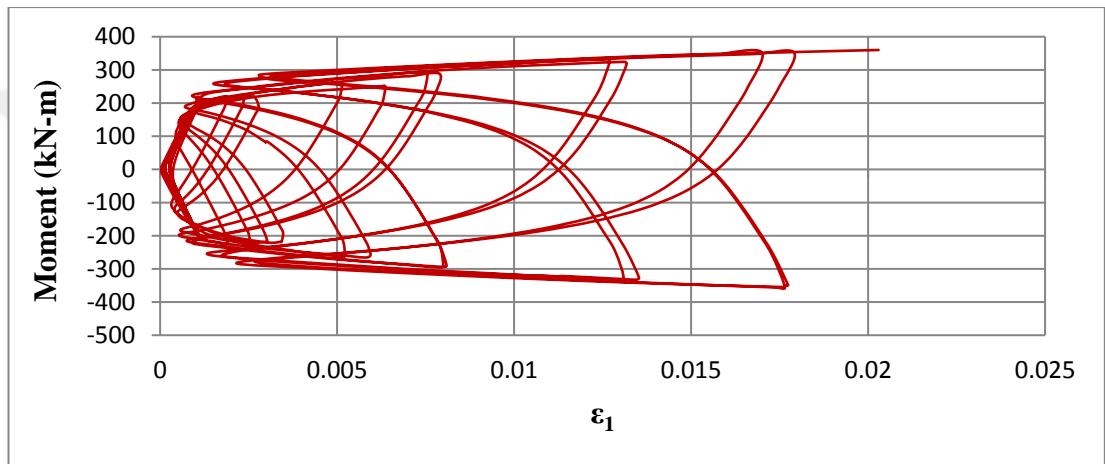
Şekil 5.9 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



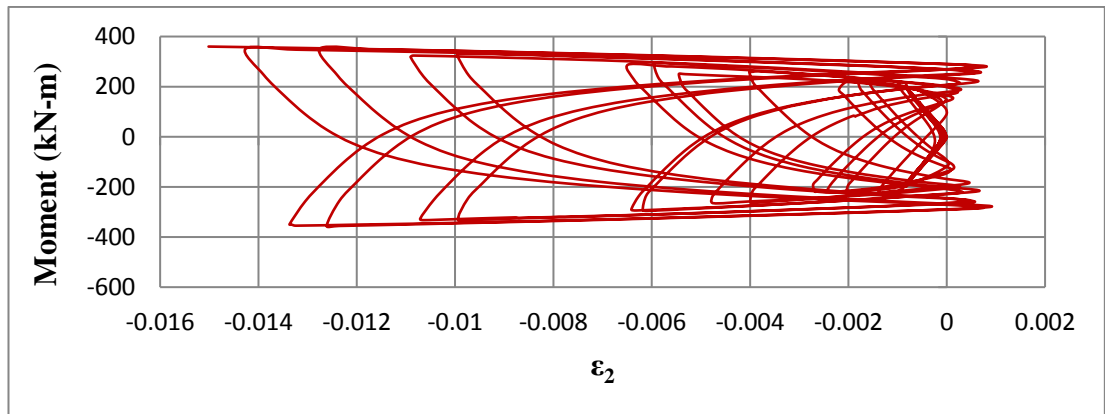
Şekil 5.10 : EEPC-H0 numunesi akma sonrası yük yerdeğiştirme grafiği.

5.1.7 Moment şekildeğiştirme grafiği

Moment şekildeğiştirme grafiğinde şekildeğiştirmeler panel bölgesinin merkezinde bulunan rozet tipi şekildeğiştirme ölçerden elde edilen verilerin işlenmesiyle elde edilmiştir. Moment ise şekildeğiştirme ölçerin merkezi ile yüklem kolu arasında oluşan manivela kolu ile yükün çarpımından elde edilmiştir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de 0.05 radyan görelî kat ötelemesi açısına kadarki moment-şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Şekil 5.11’de, en büyük asal şekildeğiştirme 0.02, en büyük moment de 360 kN-m düzeyindedir. Şekil 5.12’de ise asal şekildeğiştirmeler 0.014 momentler ise 360 kN-m düzeyindedir.

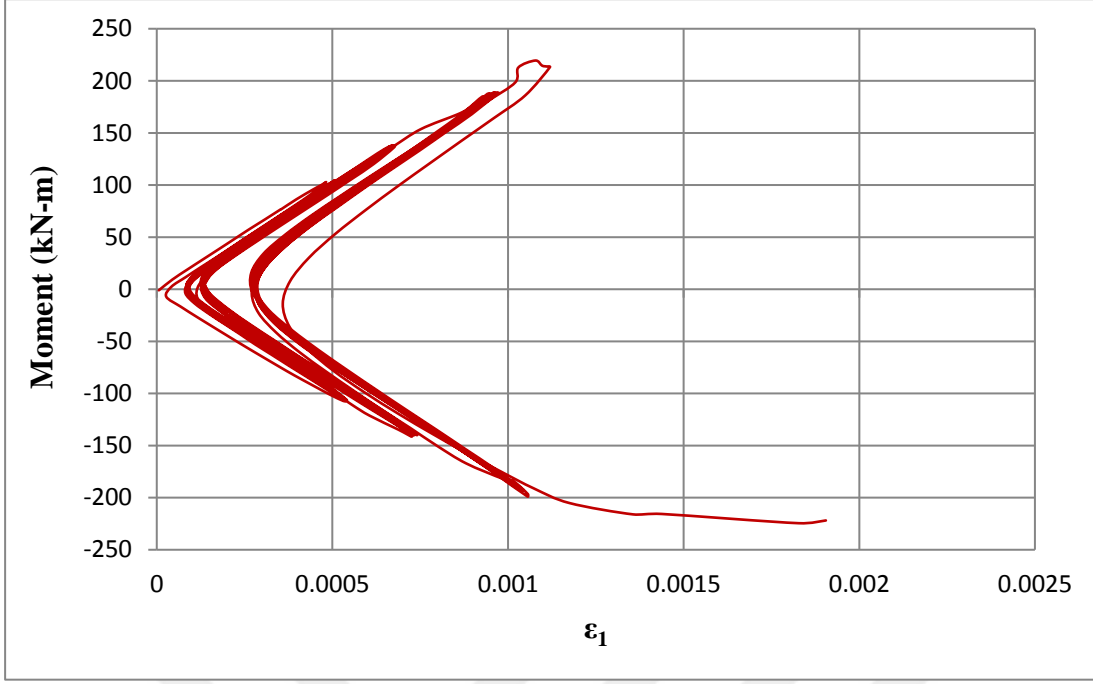


Şekil 5.11 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.

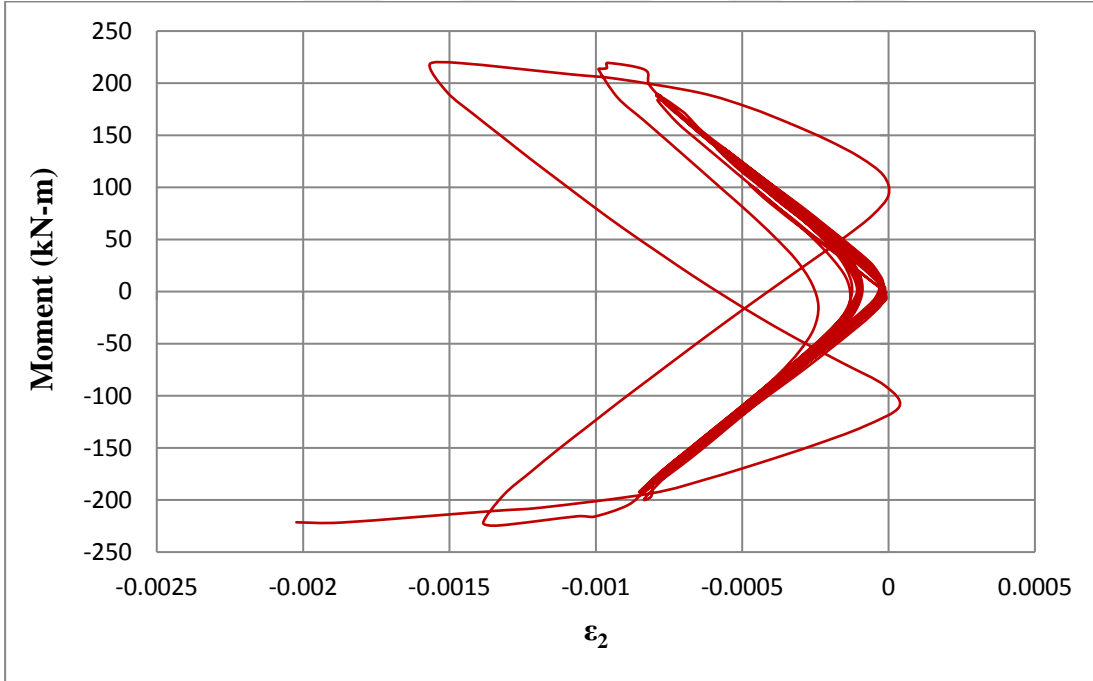


Şekil 5.12 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de görüldüğü gibi, malzeme elastik davranışın ötesine 0.001 şekildeğiştirme düzeyi geçildikten sonra geçmiştir. Elastik davranışın bittiği aşamada taşınan moment 200 kN-m civarında olmuştur.



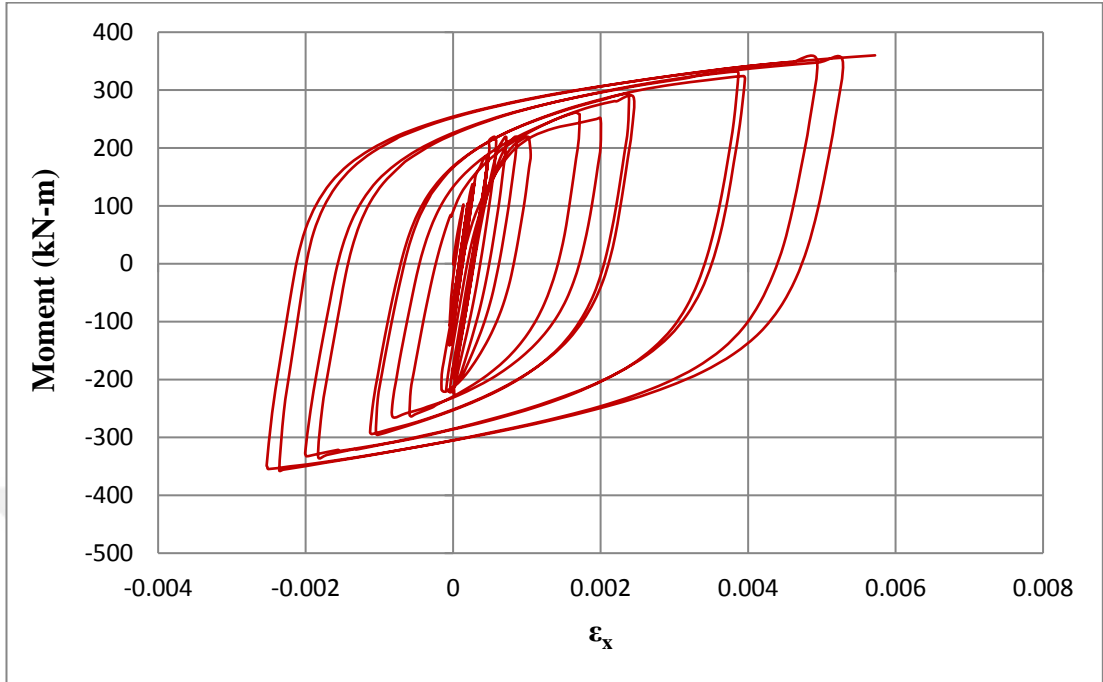
Şekil 5.13 : EEPc-H0 numunesi akma aşaması moment şekil değiştirme grafiği.



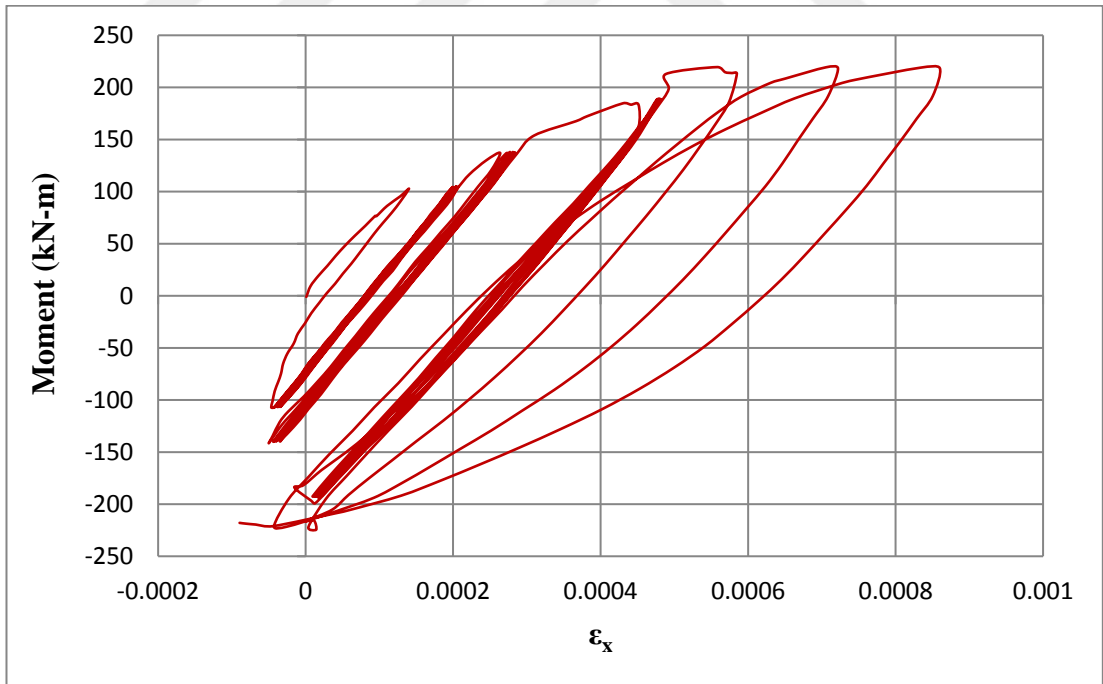
Şekil 5.14 : EEPc-H0 numunesi akma aşaması moment şekil değiştirme grafiği.

Şekil 5.15’de, rozet şekil değiştirme ölçerden elde edilen verilerin yazılım yardımıyla hesaplanmasıyla X doğrultusunda oluşan şekil değiştirme verilmiştir. Grafik 0.05 radyan görelî kat ötelemesi açısıyla sınırlandırılmıştır. En büyük şekil değiştirme

yaklaşık olarak 0.006 değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 5.16'da ise daha açık şekilde davranış süreci gözlemlenmektedir. Şekildeğiştirmeler yığılımlı şekilde ilerlemiştir.



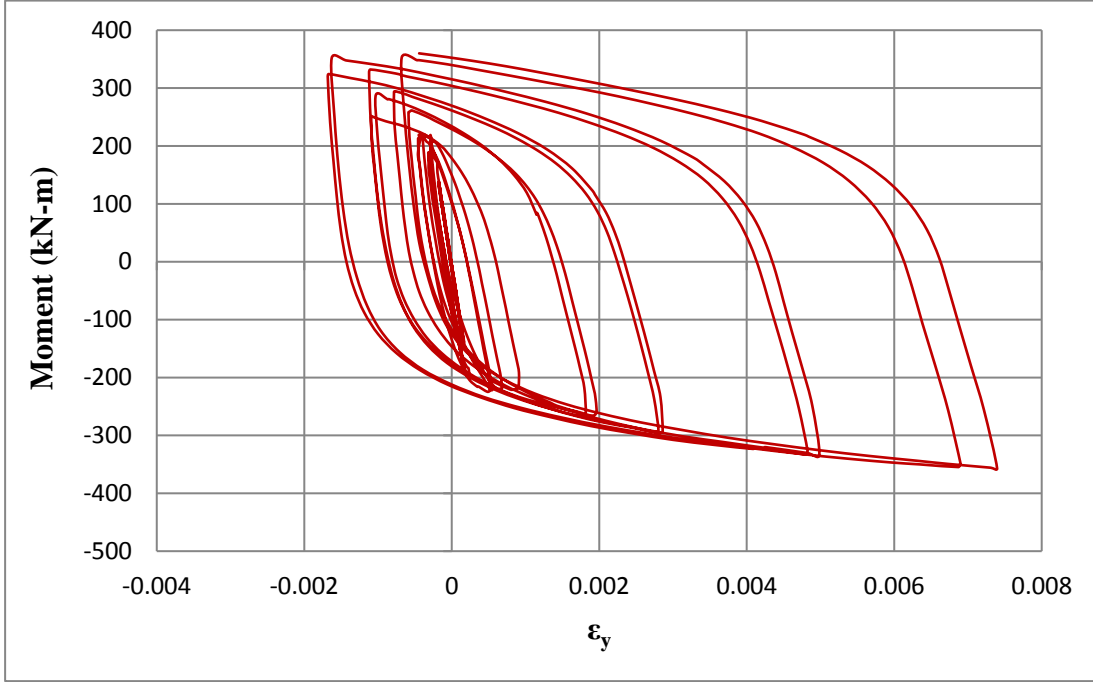
Şekil 5.15 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.



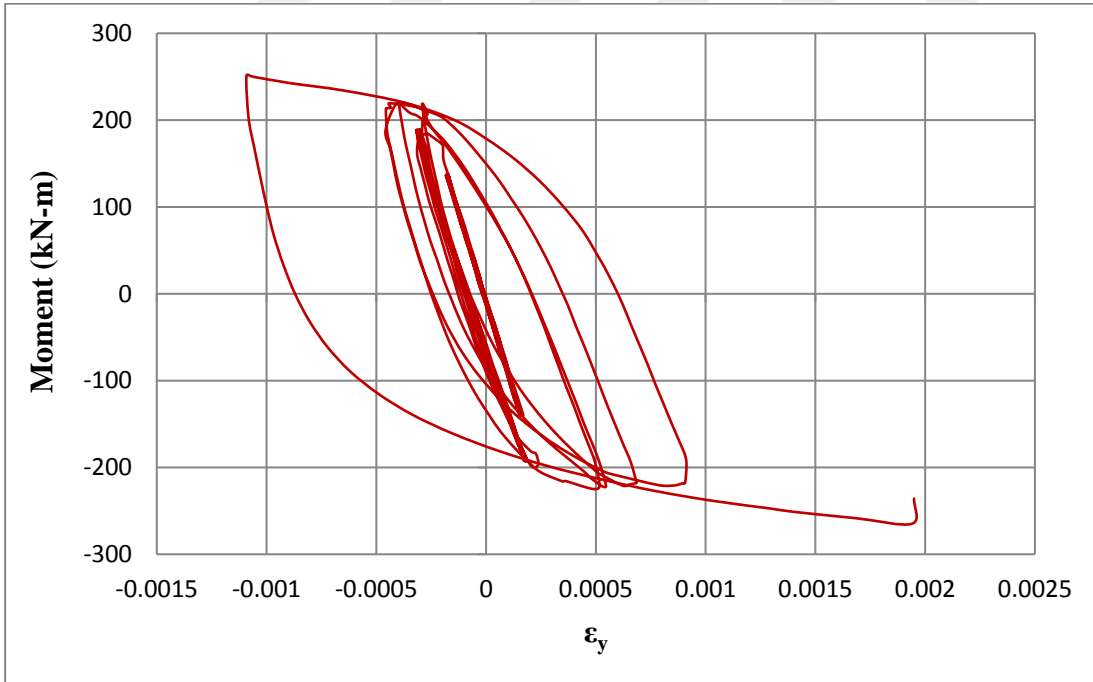
Şekil 5.16 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 5.17'de, rozet şekildeğiştirme ölçerden elde edilen verilerin yazılım yardımıyla hesaplanmasıyla Y doğrultusunda oluşan şekildeğiştirme verilmiştir. Grafik 0.05 radyan görelî kat ötelemesi açısıyla sınırlandırılmıştır. En büyük şekildeğiştirme pozitif moment yönünde yaklaşık -0.002 değerine, negatif moment yönünde ise

0.007 değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 5.18’de akma şekildeğiştirmesine kadarki davranış daha açık şekilde izlenebilmektedir.



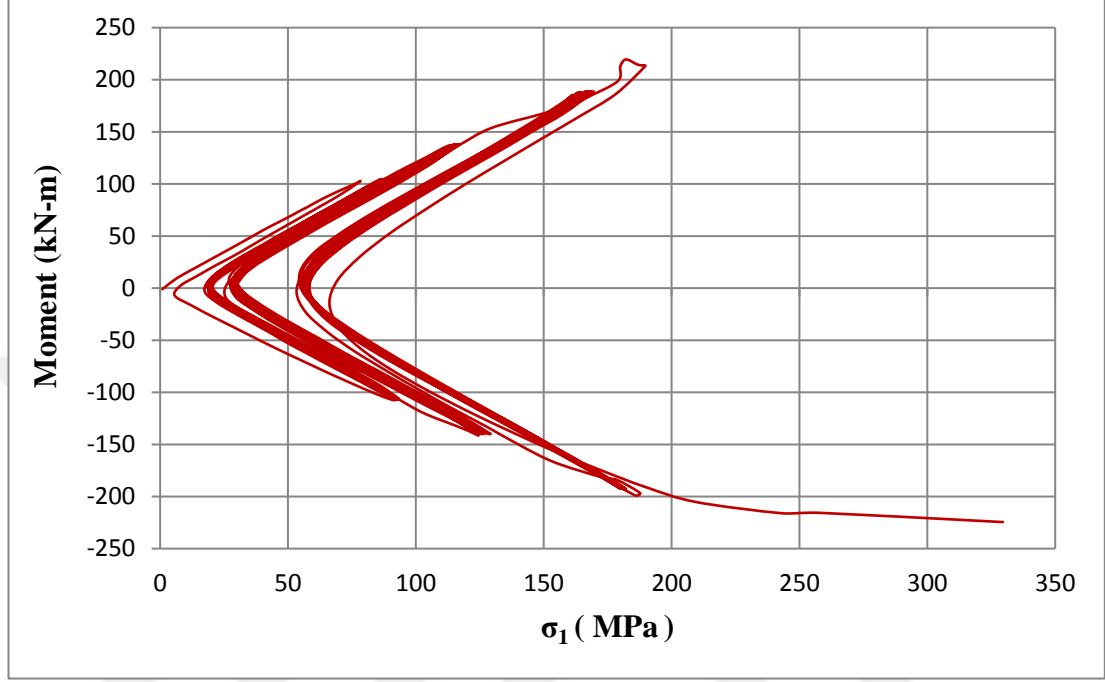
Şekil 5.17 : EEPC-H0 numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.



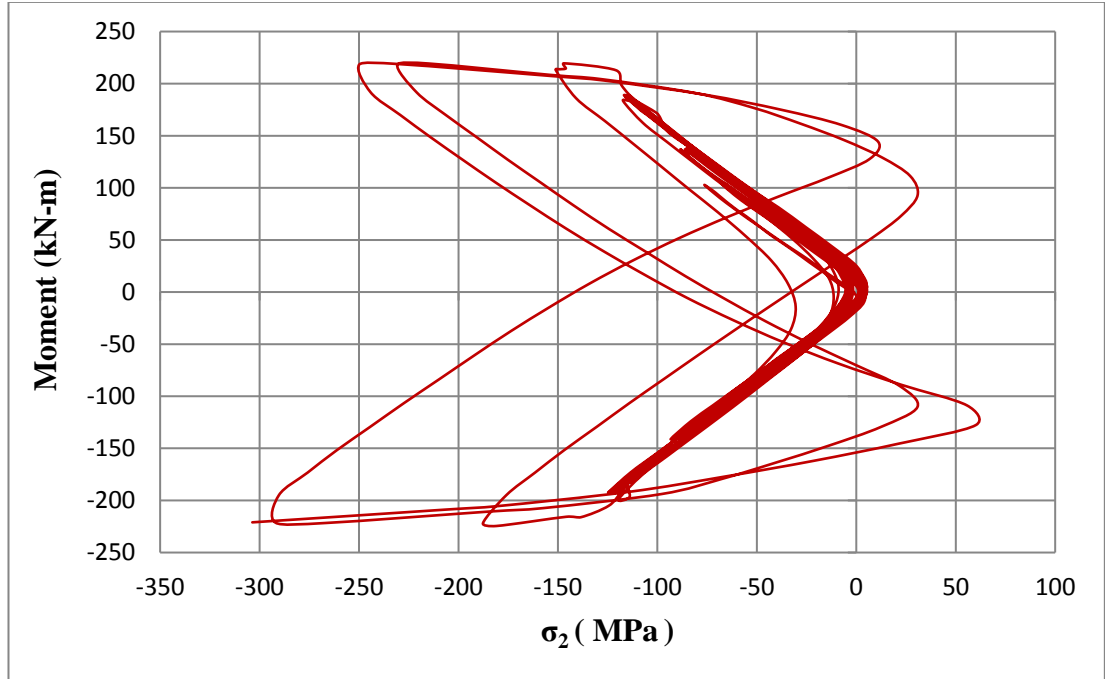
Şekil 5.18 : EEPC-H0 numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.

5.1.8 Moment asal gerilme grafiği

Moment asal gerilme grafiğinde gerilmeler malzeme deneyinden elde edilen akma gerilmeleri ile sınırlanılmıştır. şekil 5.19 ve şekil 5.20’de sadece akma gerilmesine kadar oluşan asal gerilmeler gözönüne alınmaktadır.



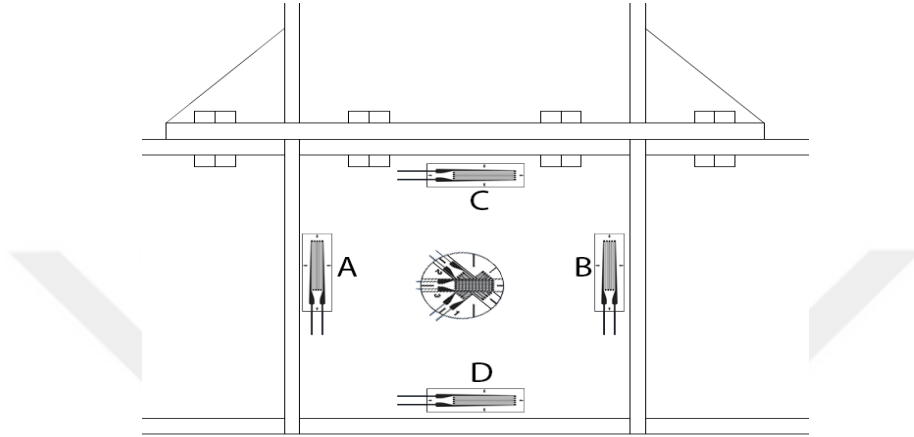
şekil 5.19 : EEPC-H0 numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.



şekil 5.20 : EEPC-H0 numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.

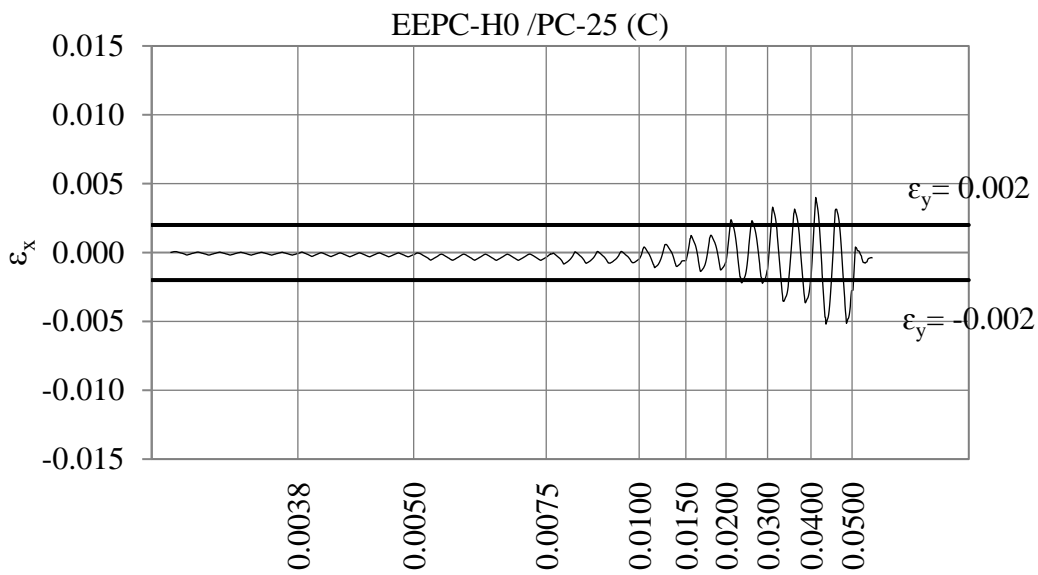
5.1.9 Panel bölgesi tek eksenli şekil değiştirme ölçer verilerinin işlenmesi

Kolon-kiriş birleşiminin gerçekleştiği panel bölgesinde rozet tipi şekil değiştirme ölçer dışında Şekil 5.21’de gösterildiği gibi dört adet de tek doğrultulu şekil değiştirme ölçerin yardımıyla şekil değiştirme ölçümü yapılmıştır. Bu şekil değiştirme ölçerlerden elde edilen veriler Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25’de adıma bağlı olarak verilmiştir.



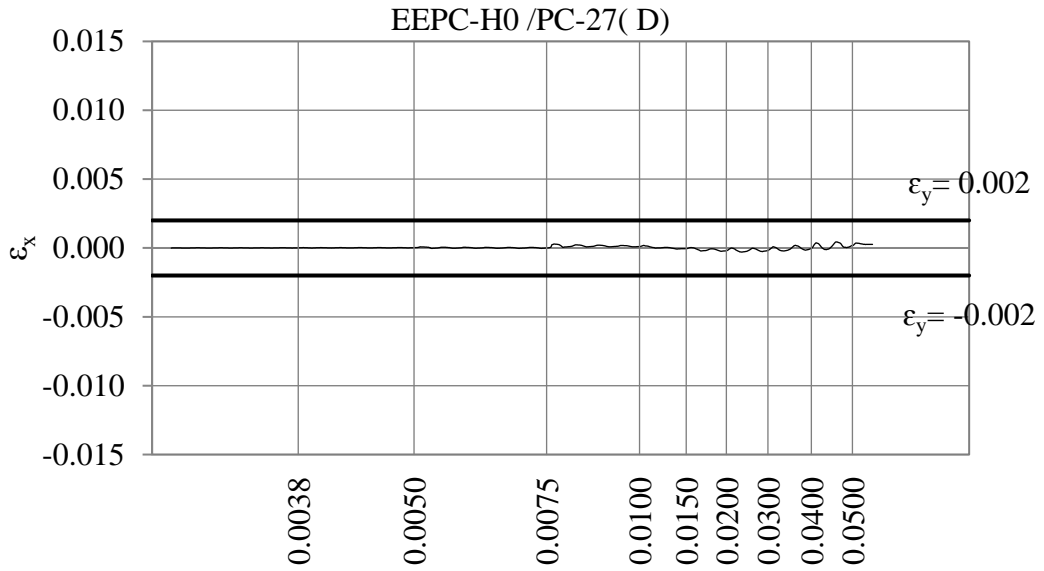
Şekil 5.21 : EEPC-H0 numunesi panel bölgesinde konumlandırılan şekil değiştirme ölçerlerin pozisyonu.

Şekil 5.22’de, C şekil değiştirme ölçeri 0.005 şekil değiştirme düzeyine kadar izlenmektedir. Şekil değiştirilmeler ilk aşamada eksi işaretle oluşmuştur. Sonrasında şekil değiştirilmeler simetrik olarak gerçekleşmeye başlamıştır. Yani eleman ilk bölümde eksenel yük etkisiyle kısalmıştır.



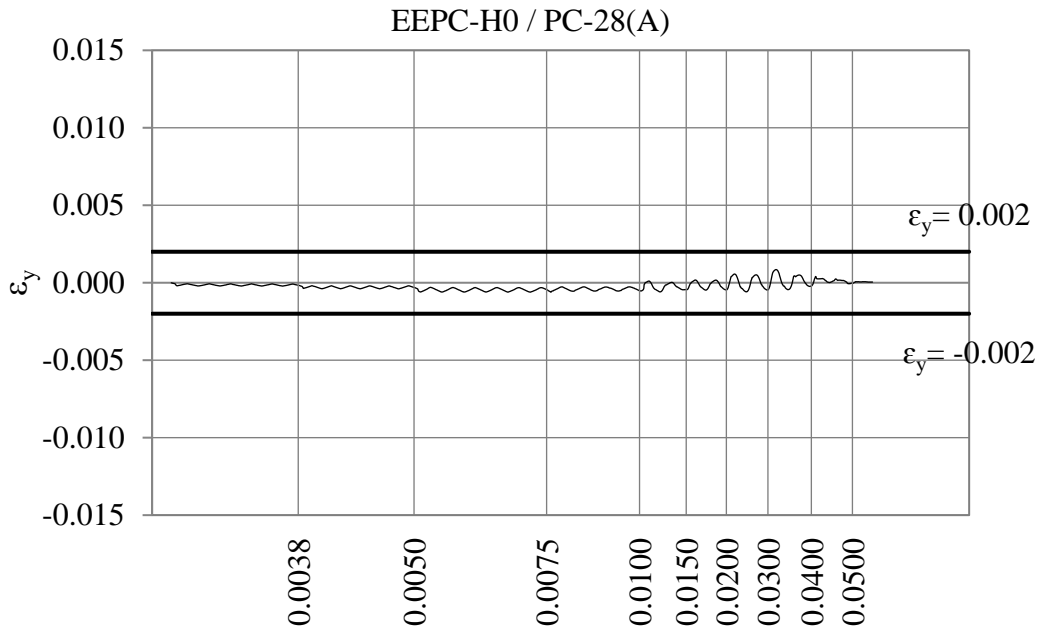
Şekil 5.22 : EEPC-H0 numunesi göreli kat ötelemesi açısına göre C şekil değiştirmesinin değişim grafiği.

Şekil 5.23’de D şekildeğiştirme ölçeri moment ve aksenal kuvvet etkisinde akma şekildeğiştirmesine ulaşacak seviyede şekildeğiştirme yapmamıştır.

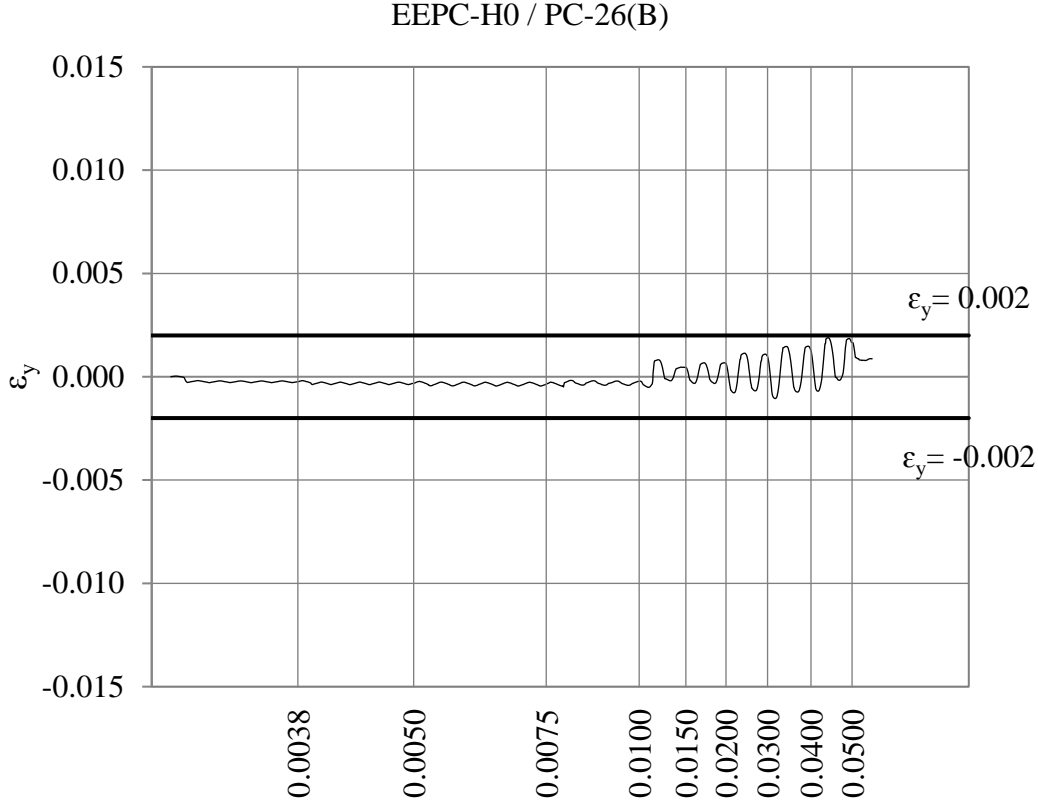


Şekil 5.23 : EEPC-H0 görel kat ötelemesi açısına göre D şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de ifade edilen A ve B şekildeğiştirme ölçerleri moment etkisinde C ve D’ye göre daha fazla zorlanmasına karşı berkitme levhalarından dolayı büyük şekildeğiştirmeler söz konusu olmamıştır.



Şekil 5.24 : EEPC-H0 numunesi görel kat ötelemesi açısına göre A şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.



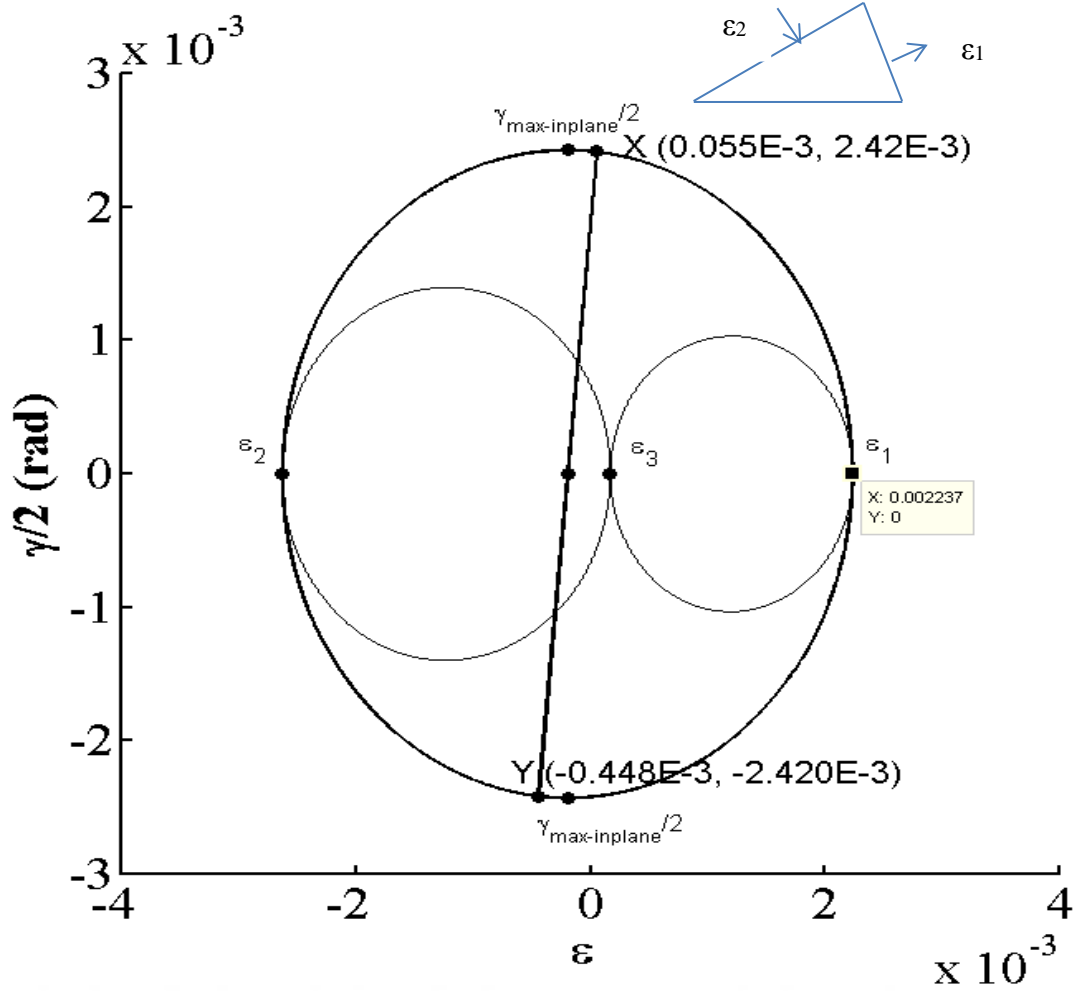
5.2 EEPC-HS Deneyi

5.2.1 Akma aşaması şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

Tez çalışmasında şekildeğiştirme ölçerlerden alınan ham verilerden geliştirilen yazılım yardımıyla asal şekildeğiştirmeler elde edilmiştir. Asal şekildeğiştirmelerin değeri akma şekildeğiştirmesine ulaştığında yazılımdan elde edilen şekildeğiştirme bileşenleri izelge 5.4'de verilmiştir. Bu değerler tekrar yazılım yardımıyla işlenmesiyle şekil 5.26'da ifade edilen Mohr dairesi çizdirilmiştir.

Çizelge 5.4 : Akma aşaması (0.0022) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

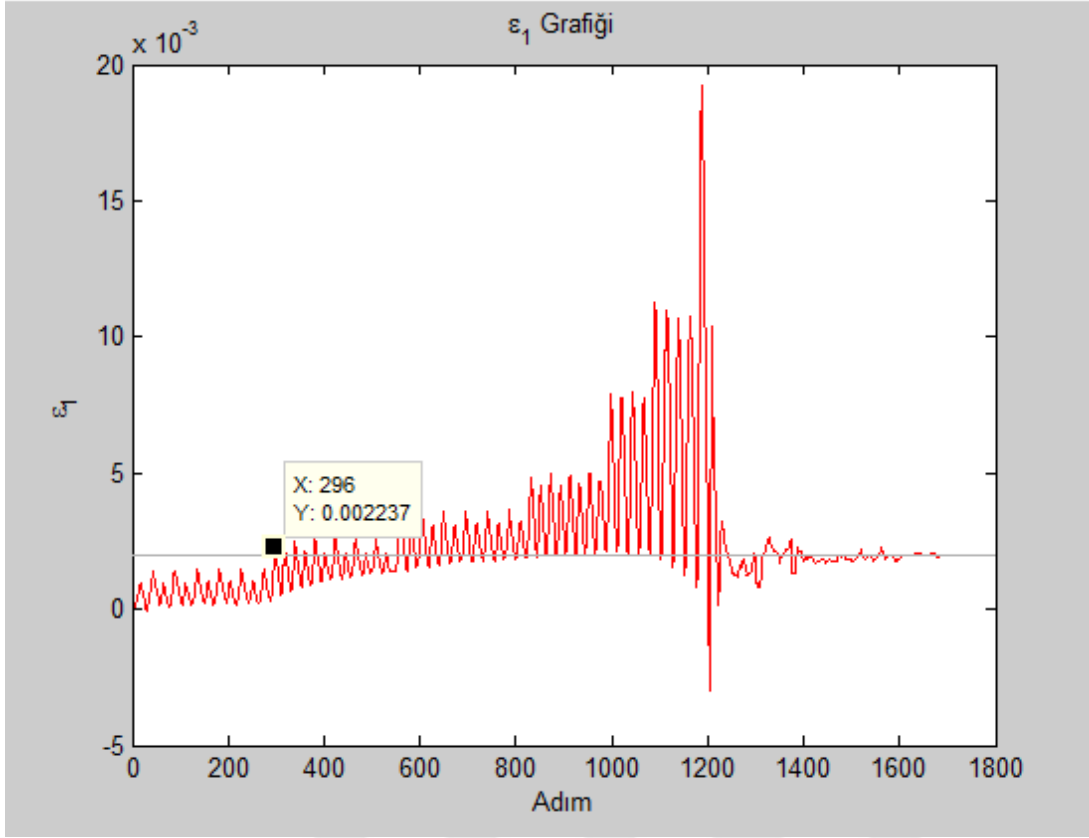
ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
0.055E-3	-0.449E-3	4.84E-3	0.169E-3



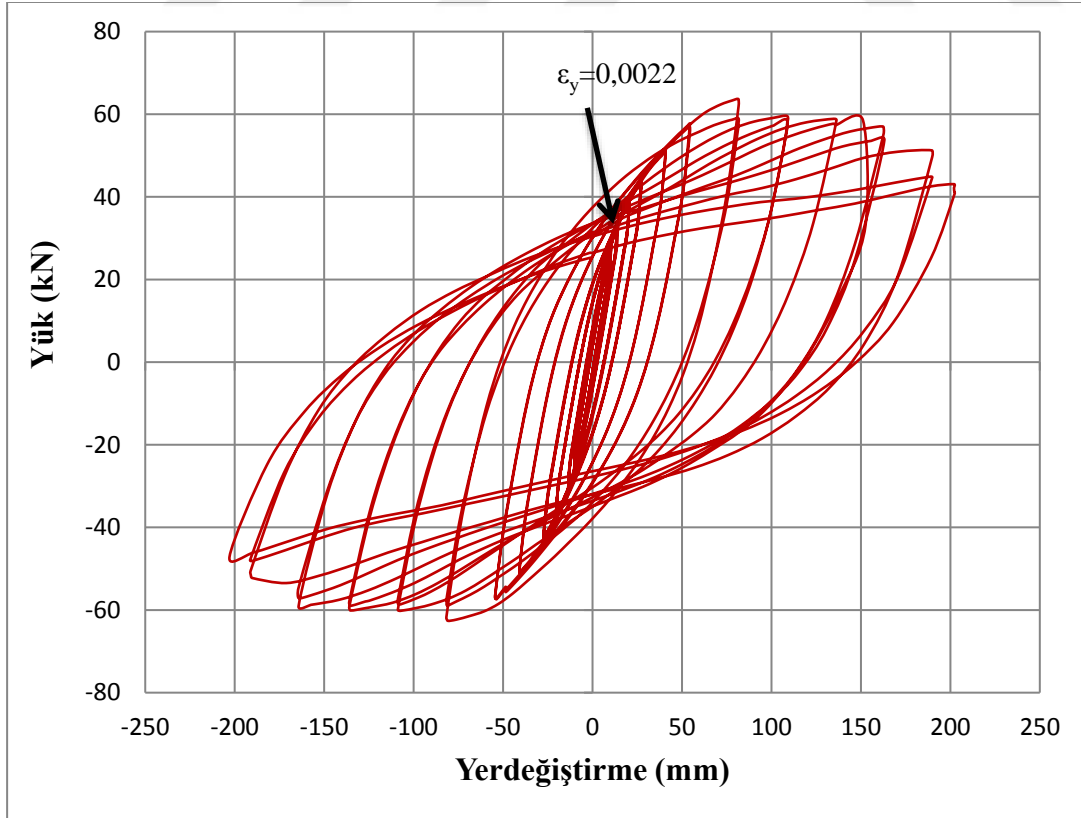
Şekil 5.26 : EEPc-HS deneyi akma aşaması panel bölgesinde oluşan şekildeğişirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.2.2 Akma aşaması yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

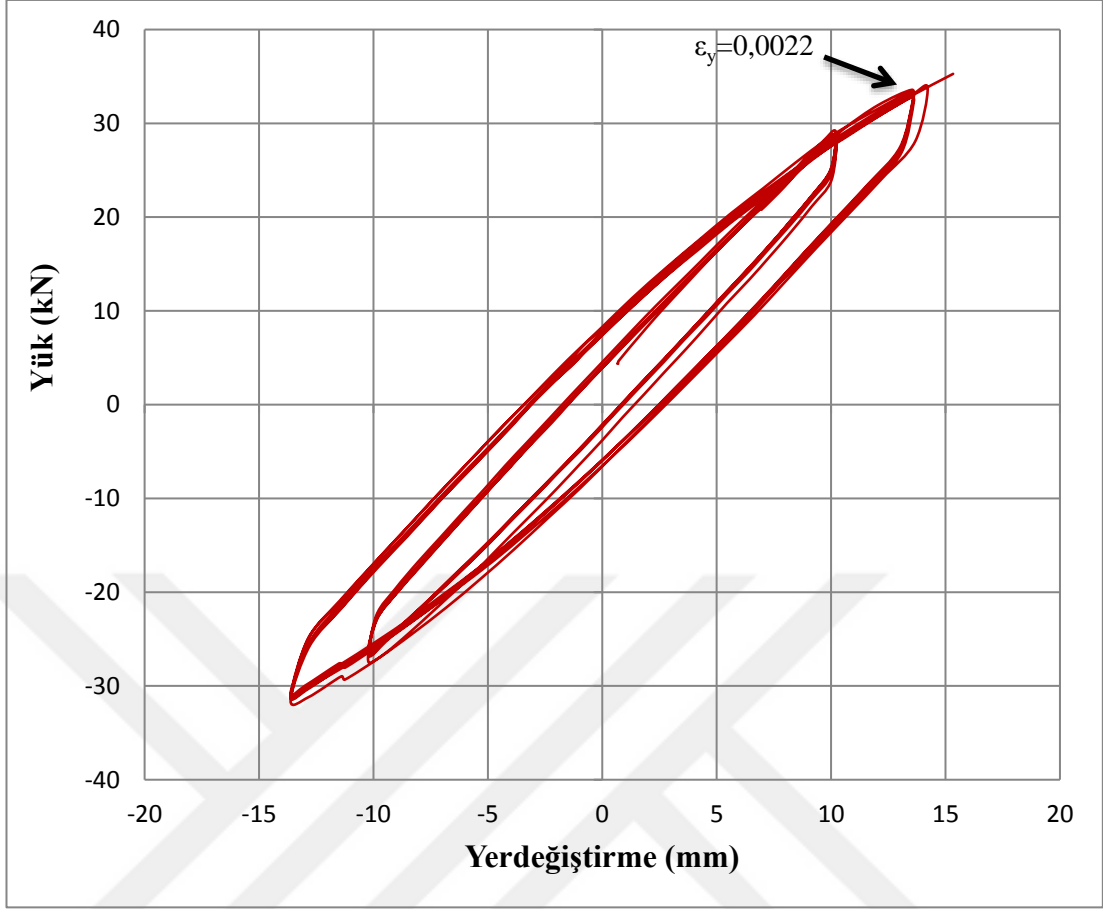
Geliştirilen yazılım kullanılarak elde edilen asal şekildeğiştirmelerinin hangi tepe yerdeğiştirmesi düzeyinde malzemenin akma şekildeğiştirmesine eriştiğini anlayabilmek için programın çıktısı olarak gelen Şekil 5.27'deki grafik kullanılmıştır. Çizilen grafikte x eksenine paralel olarak akma şekildeğiştirmesi (0.0022) değerinde bir sabit doğru daha çizilmiştir. Deney sonucu ile sabit akma çizgisinin kesiştiği nokta, malzemenin aktığı aşamayı tesbitte kullanılmıştır. Adım numarası belli olduktan sonra o noktada uygulanan yük veri kayıtlarından elde edilebilecektir. İlk önce datanın tamamı Şekil 5.28'de çizilerek genel davranış izlenmiş, sonrasında Şekil 5.27'de bahsedilen akma noktasına kadar olan bölge Şekil 5.29'da çizilmiştir. Şekil 5.29'dan görüldüğü üzere malzeme yaklaşık olarak 33.575 kN yük etkisinde 13.53 mm yerdeğiştirme, 0.005 radyan görelî kat ötelemesi açısıyla akma şekil değıştirmesine ulaşmıştır.



Şekil 5.27 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 5.28 : EEPC-HS numunesinin yük yerdeğiştirme grafiği.



Şekil 5.29 : EEPc-HS numunesi akma aşaması yük yerdeğiştirme grafiği.

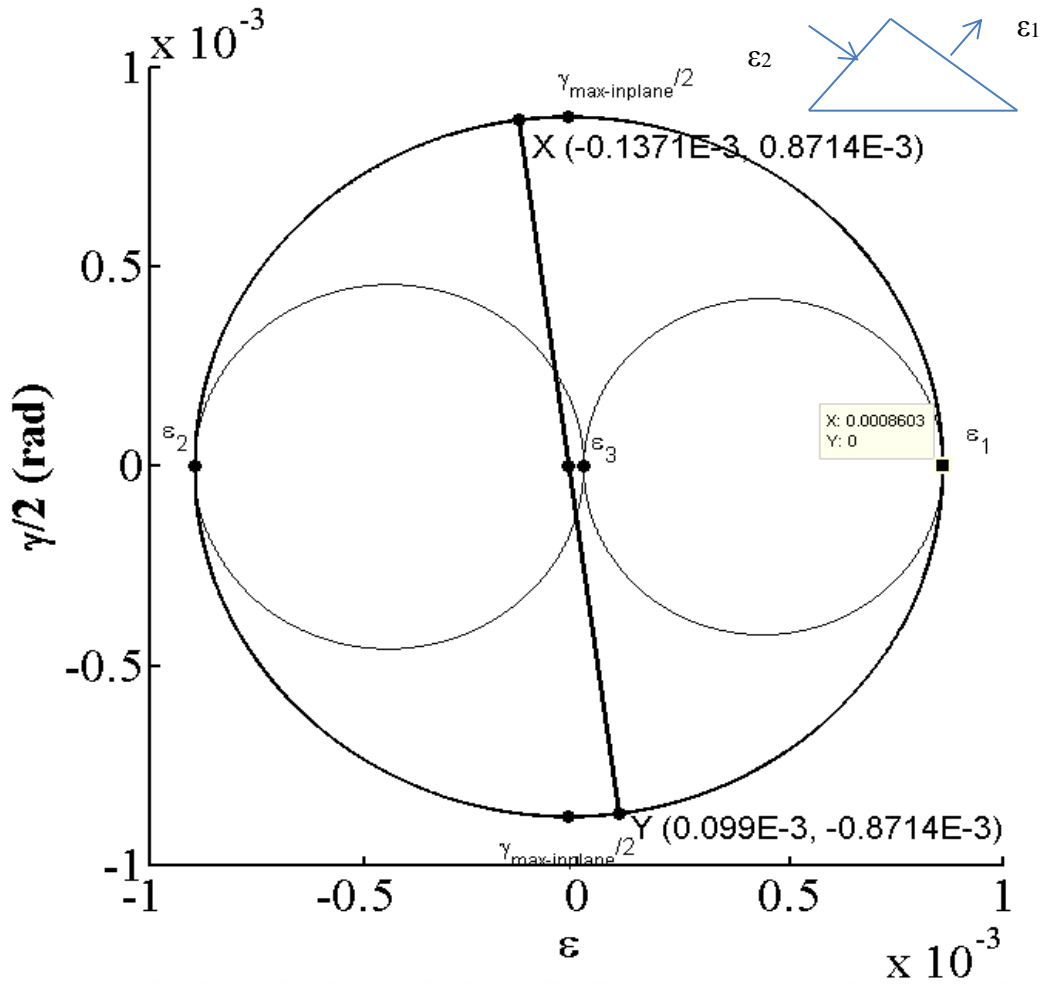
5.2.3 Akma öncesi durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

Malzemenin tam elastik alandaki davranışını belirlemek için malzeme çekme deneyinden elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alınarak bir şekildeğiştirme değeri belirlenmiştir. Çizelge 5.5’de rozet şekildeğiştirme ölçerden elde edilen asal şekil değiştirmenin bu değere ulaştığı durumdaki şekildeğiştirme bileşenleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Akma öncesi (0.00086) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
-0.1371E-3	0.099E-3	1.742E-3	0.0163E-3

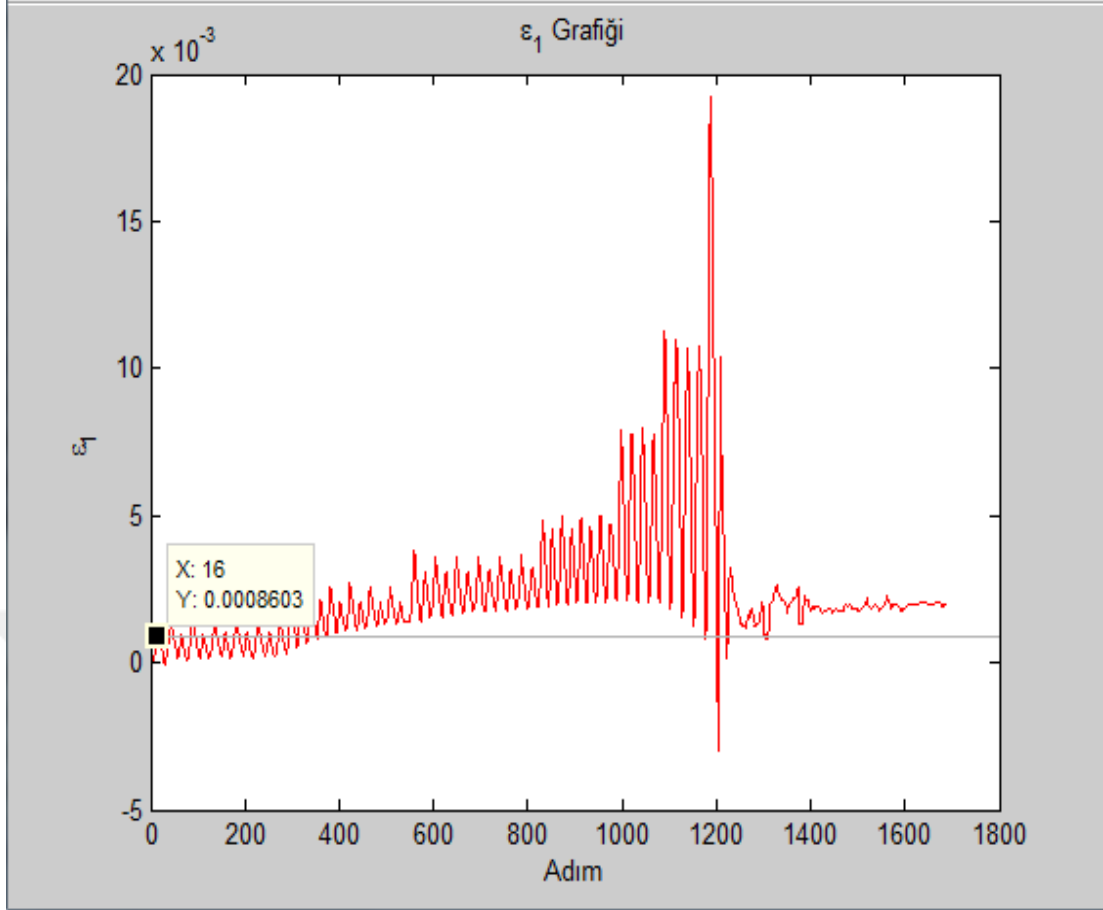
Bu değerler yazılım yardımıyla direkt olarak bulunulmuştur. Şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösteriminde için Çizelge 5.5’deki veriler kullanılmıştır. Bunun sonucunda Mohr dairesi yazılımı yardımıyla Şekil 5.30’daki Mohr dairesi çizilmiştir.



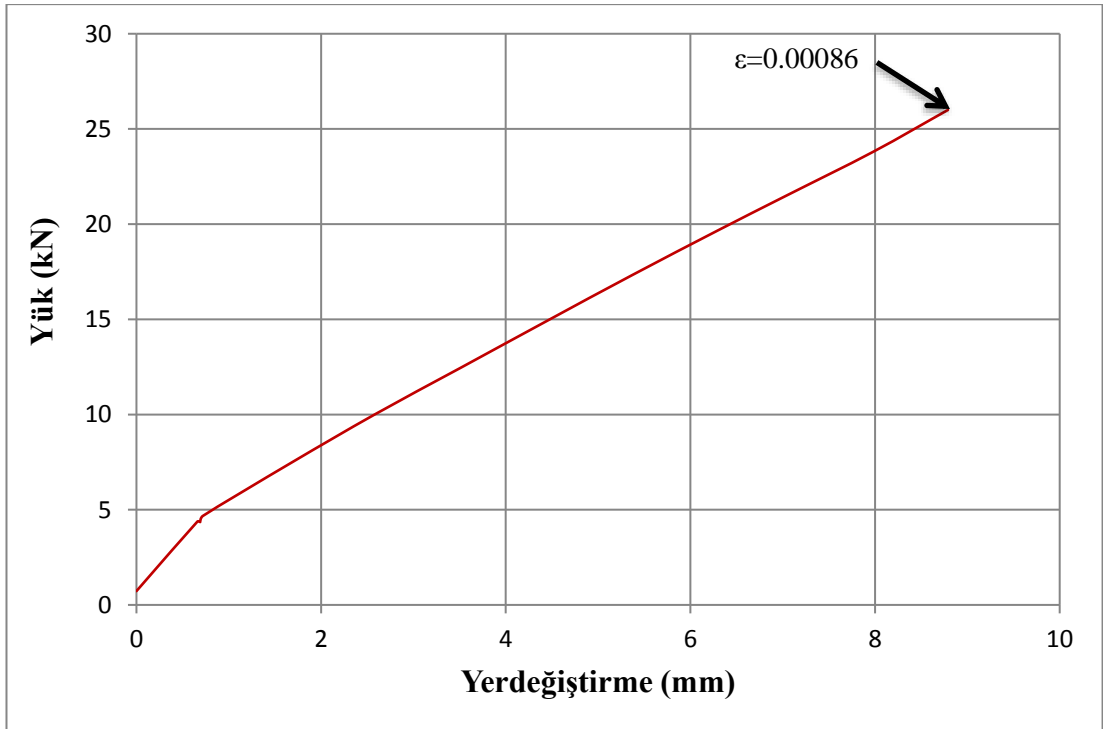
Şekil 5.30 : EEPC-HS deneyi akma öncesi panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.2.4 Akma öncesi yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

Öngörülen şekil değiştirmeye karşı gelen asal şekildeğiştirmenin olduğu adım Şekil 5.31'de belirlenmiştir. Bu adımdaki yük ve tepe yerdeğiştirmesinden elde edilen veriler ile başta bahsedilen akma öncesi şekildeğiştirme durumundaki yük-yerdeğiştirmesi eğrisi Şekil 5.32'de gösterildiği gibi çizilmiştir. Bu eğriden izlenebildiği gibi, bu şekildeğiştirmeye 26 kN dayanım ve 8.79 mm tepe yerdeğiştirmesi karşı gelmektedir. Toplam görelî kat ötelemesi açısı ise 0.0032 rad. olmuştur.



Şekil 5.31 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



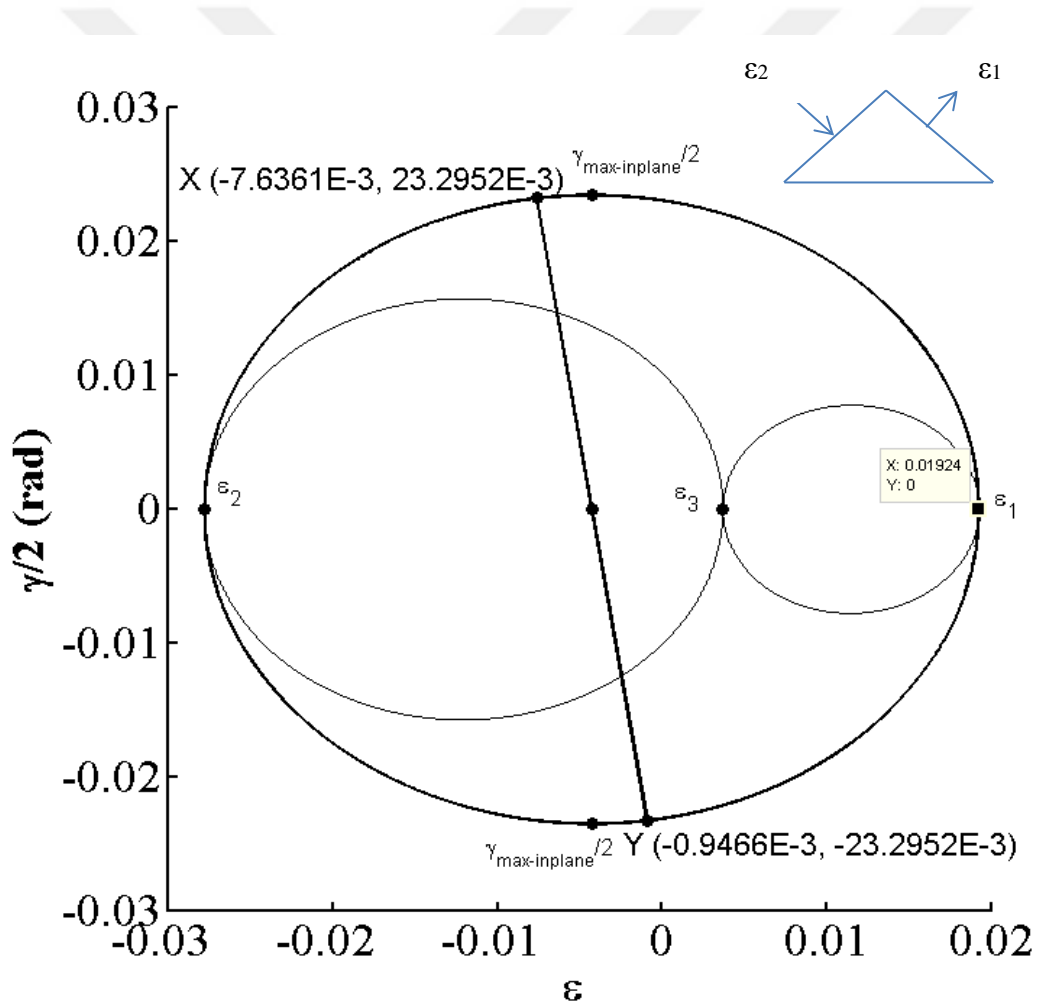
Şekil 5.32 : EEPC-HS numunesi akma öncesi yük yerdeğiştirme grafiği.

5.2.5 Akma sonrası durumda şekildeğiştirme Mohr dairesi ilişkileri

Rozet şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen asal şekildeğiştirmelerin akma sonrası durum için belirlenen 0.0192 şekildeğiştirme değerine ulaştığı aşamadaki şekildeğiştirme bileşenleri, dönüşüm bağıntıları yardımıyla hesaplanıp Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu bileşenler yardımıyla Mohr dairesi yazılımı ile de Şekil 5.33'deki grafik elde edilmiştir.

Çizelge 5.6 : Akma sonrası (0.0192) panel bölgesi şekildeğiştirme bileşenleri.

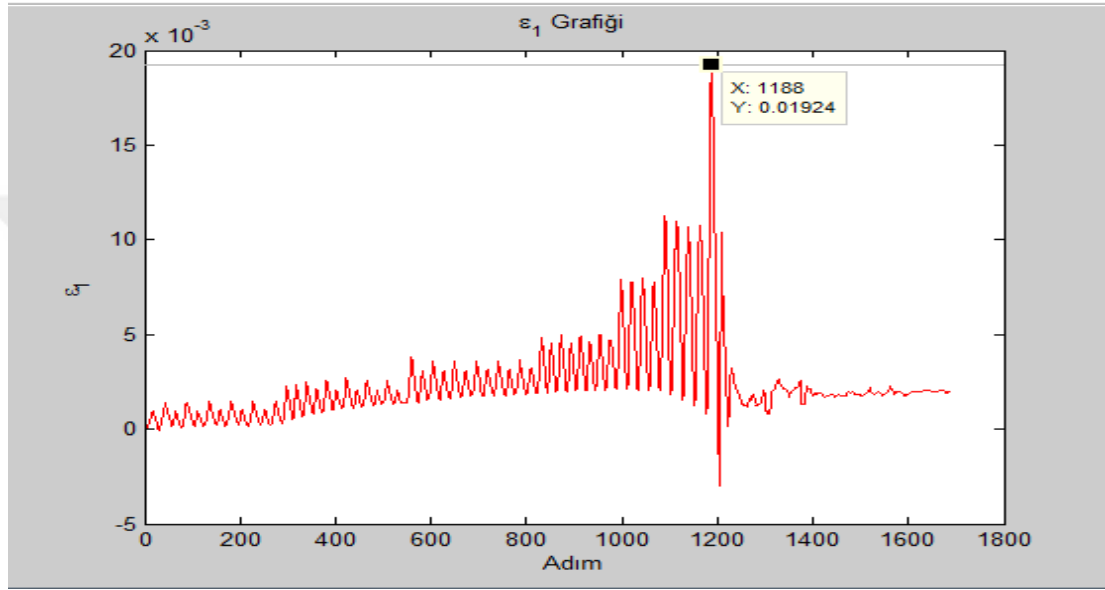
ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}	ϵ_3
7.6361E-3	-0.9466E-3	46.5904E-3	3.668E-3



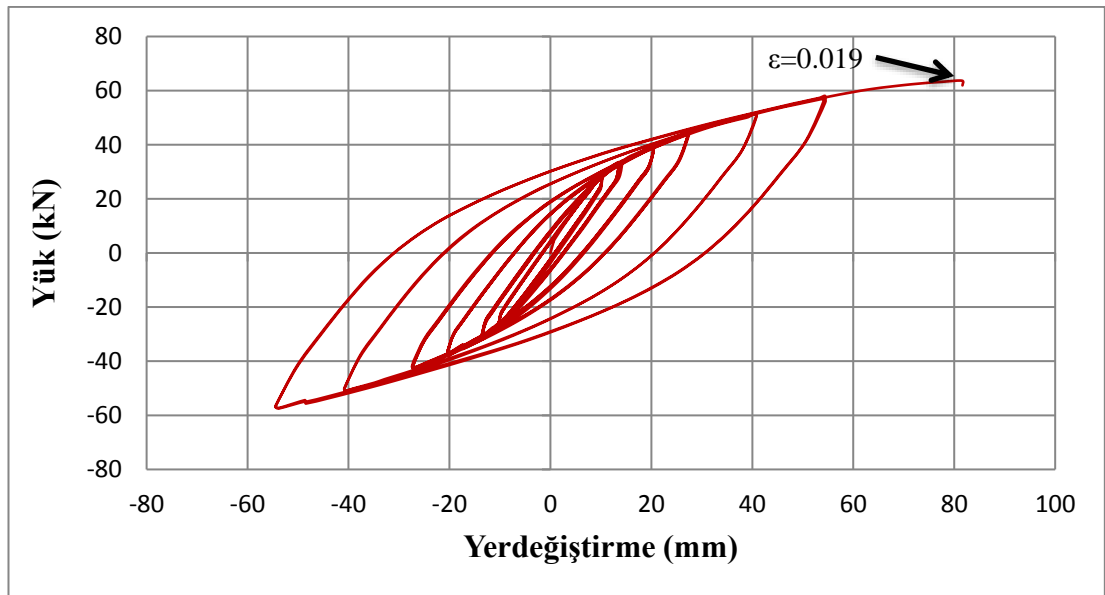
Şekil 5.33 : EEPc-HS deneyi akma sonrası panel bölgesinde oluşan şekildeğiştirmelerin Mohr dairesinde gösterimi.

5.2.6 Akma sonrası yük-yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ilişkileri

Belirlenen şekildeğiştirme değeri için karşı gelen adım numarası Şekil 5.34'deki grafikte belirlenmiştir. Veri kayıt dosyasından sözkonusu adımdaki yerdeğiştirme ve ölçülen yük değeri de tespit edilmiştir. Bu aşamaya kadar oluşan tüm yük-yerdeğiştirme çevrimleri Şekil 5.35'deki gibi çizdirilmiştir. Bu eğriden anlaşılacağı üzere numune 61.925 kN etkisinde 81.63 mm yerdeğiştirme yapmıştır. Toplam göreceli kat ötelemesi açısı 0.03 radyandır.



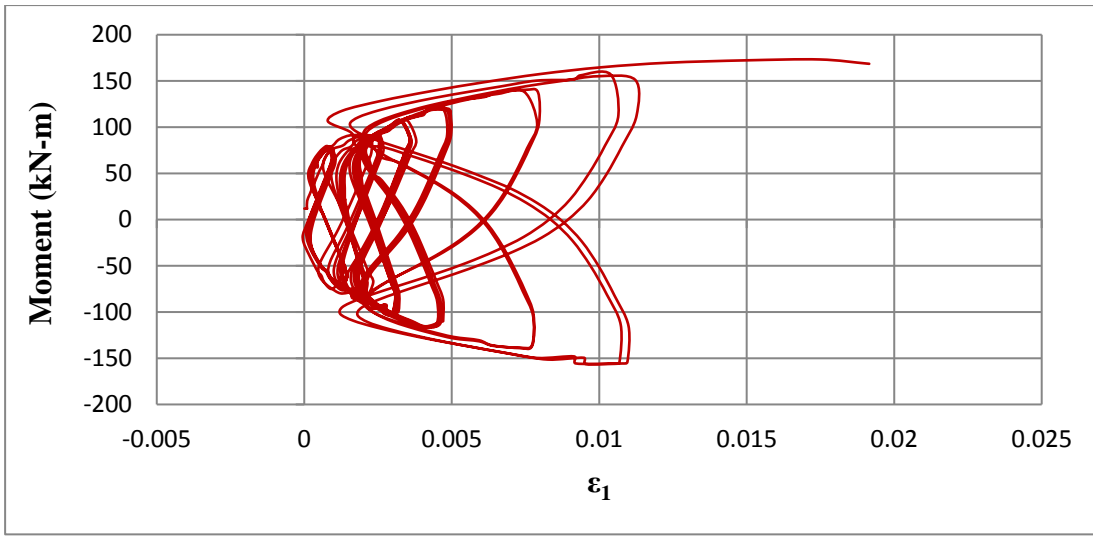
Şekil 5.34 : EEPC-HS numunesi panel bölgesi adıma bağlı şekildeğiştirme grafiği.



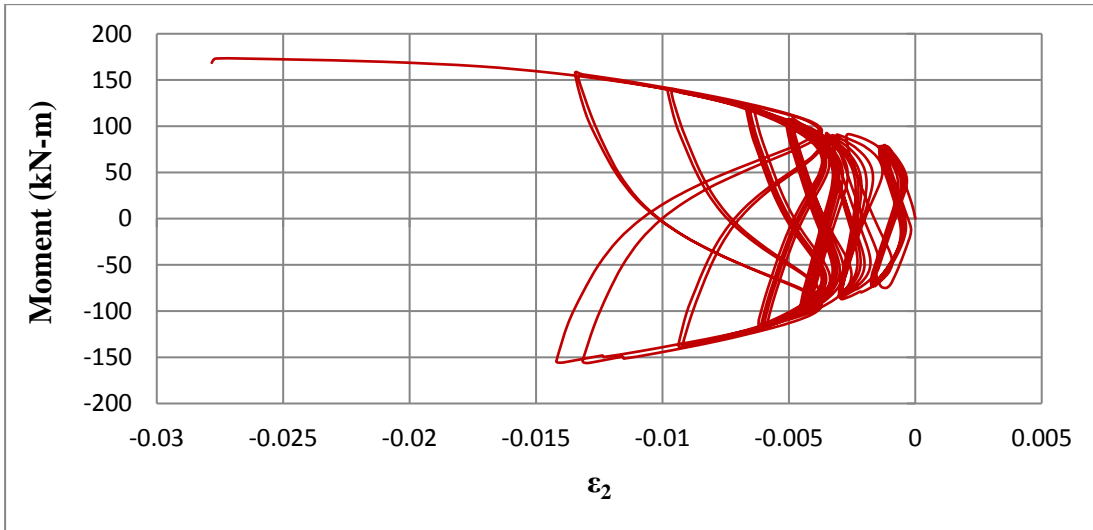
Şekil 5.35 : EEPC-HS numunesi akma sonrası yük yerdeğiştirme grafiği.

5.2.7 Moment şekildeğiştirme grafiği

Moment şekildeğiştirme grafiğinde şekildeğiştirmeler panel bölgesinin merkezinde bulunan rozet tipi şekildeğiştirme ölçerden elde edilen verilerin işlenmesiyle elde edilmiştir. Moment ise şekildeğiştirme ölçerin merkezi ile yükleme kolu arasındaki manivela kolu ile yükün çarpımından elde edilmiştir. Şekil 5.36 ve Şekil 5.37 de 0.03 radyan görelî kat ötelemesi açısına kadarki moment-şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Şekil 5.36'da en büyük asal şekildeğiştirme 0.02 değerinde ve en büyük moment de 173 kN-m düzeyindedir. Şekil 5.37'de ise asal şekildeğiştirmeler 0.027 momentler ise 173 kN-m civarındadır.

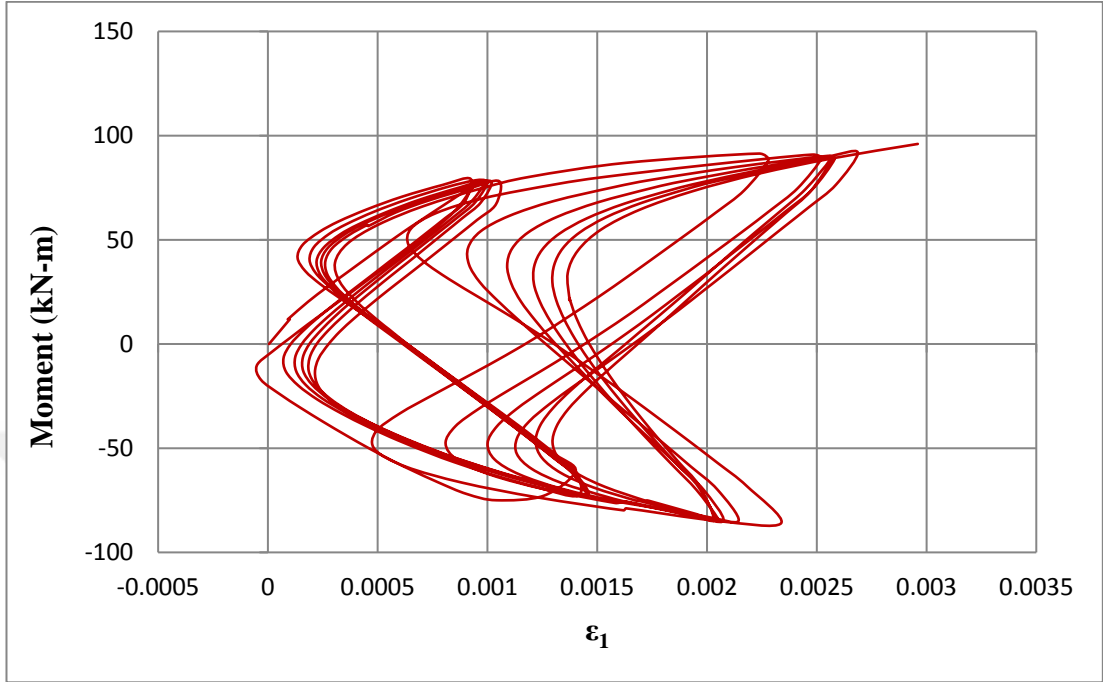


Şekil 5.36 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.

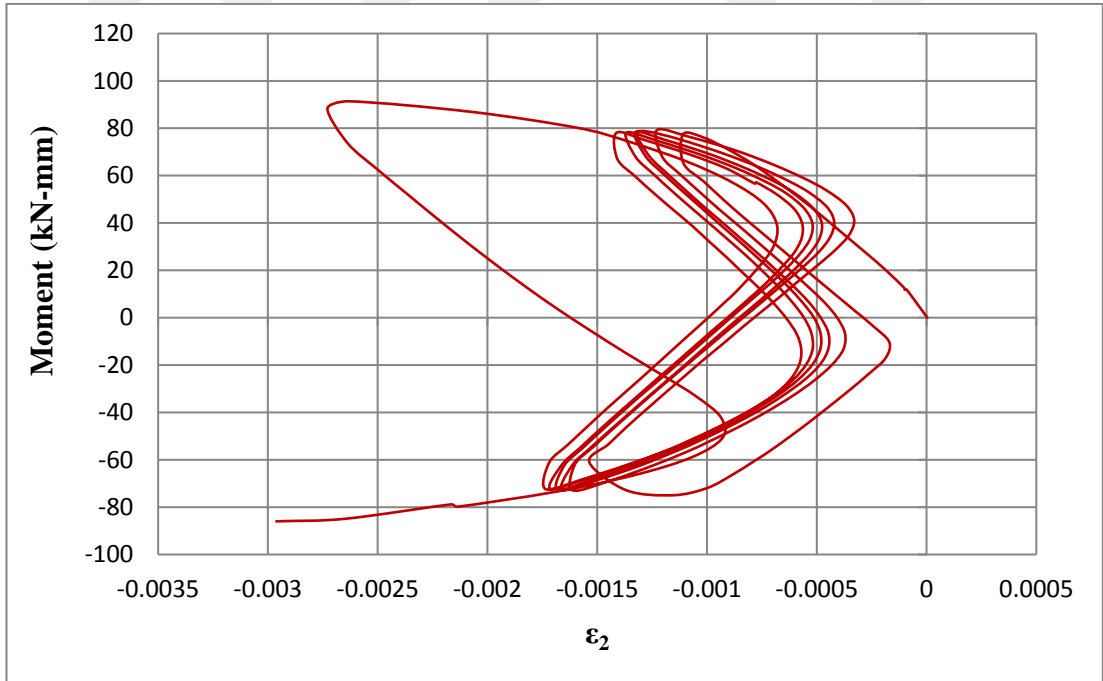


Şekil 5.37 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’da görüldüğü gibi, malzeme elastik davranışın ötesine 0.0012 şekildeğiştirme düzeyi geçildikten sonra geçmiştir. Elastik davranışın bittiği aşamada taşınan moment -72.8 kN-m civarında olmuştur.



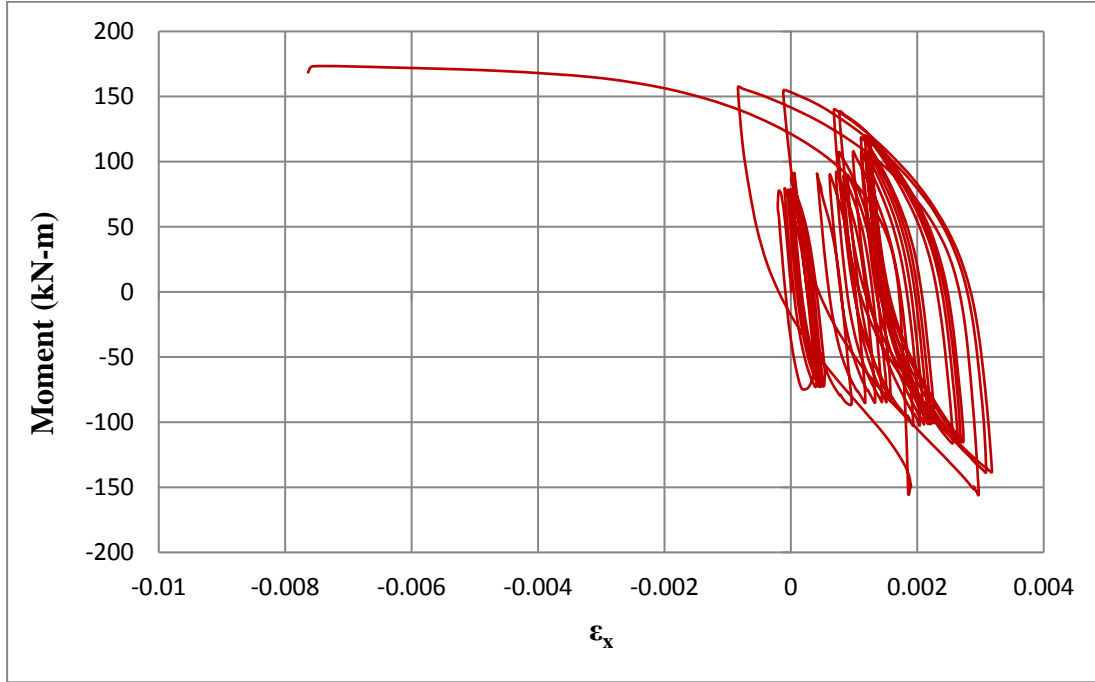
Şekil 5.38 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.



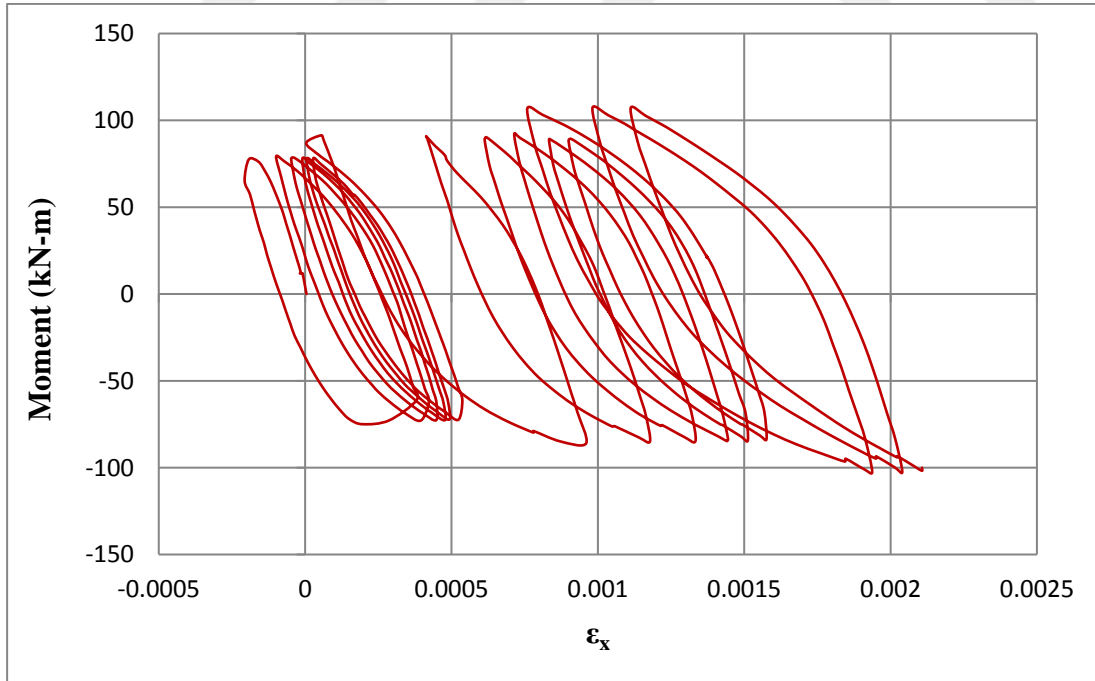
Şekil 5.39 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 5.40’da, rozet şekildeğiştirme ölçerden elde edilen veriden yazılım yardımıyla hesaplanmasıyla X doğrultusunda oluşan şekildeğiştirme verilmiştir. Grafik 0.03

radyan görelî kat ötelemesi açısıyla sınırlandırılmıştır. En büyük şekildeğiştirme yaklaşık olarak -0.008 değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 5.41’de ise daha açık şekilde davranış süreci gözlemlenmektedir. Şekildeğiştirmeler yığışımlı şekilde ilerlemiştir.



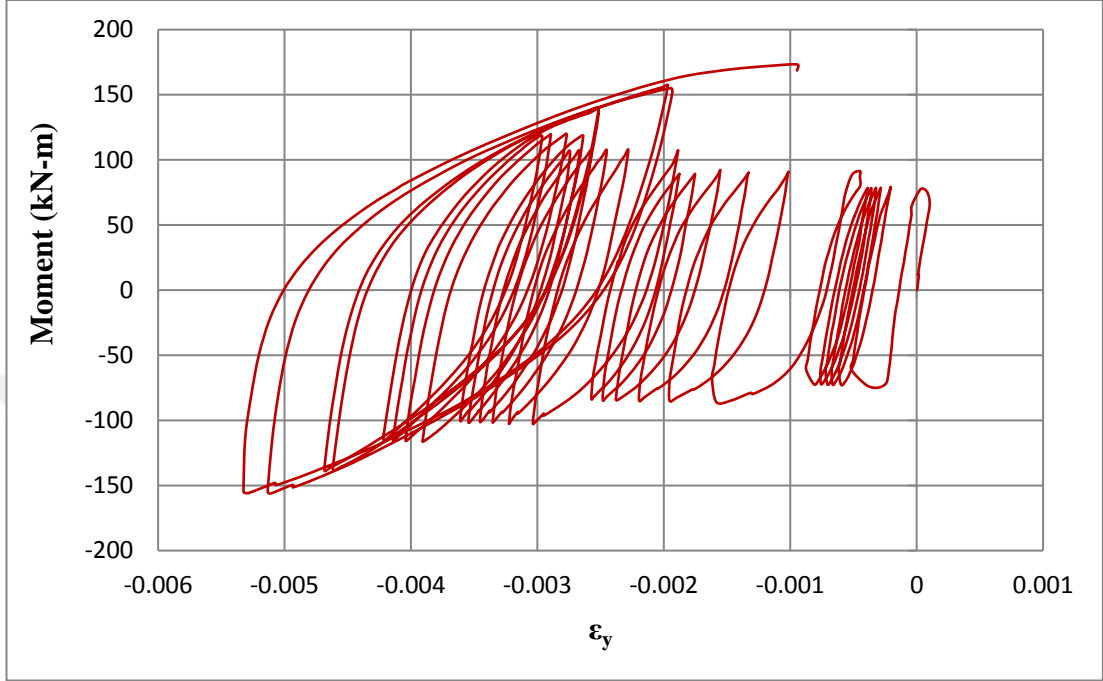
Şekil 5.40 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.



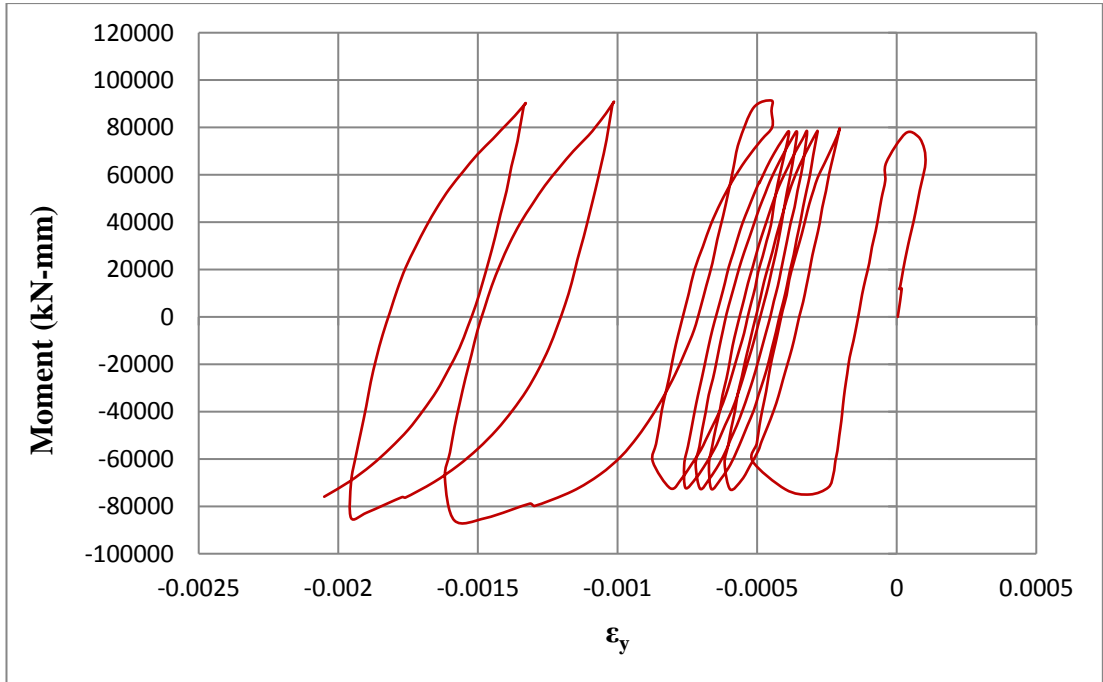
Şekil 5.41 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 5.42’de, rozet şekildeğiştirme ölçerden elde edilen veriden yazılım yardımıyla hesaplanmasıyla Y doğrultusunda oluşan şekildeğiştirme verilmiştir. Grafik 0.03

radyan görelî kat ötelemesi açısıyla sınırlanmıştır. En büyük şekildeğiştirme pozitif moment yönünde yaklaşık olarak -0.002 değerine ulaşmış, negatif moment yönünde ise 0.005 değerine kadar ulaşmıştır. Şekil 5.43’de akma şekildeğiştirmesine kadarki davranış daha açık şekilde izlenebilmektedir.



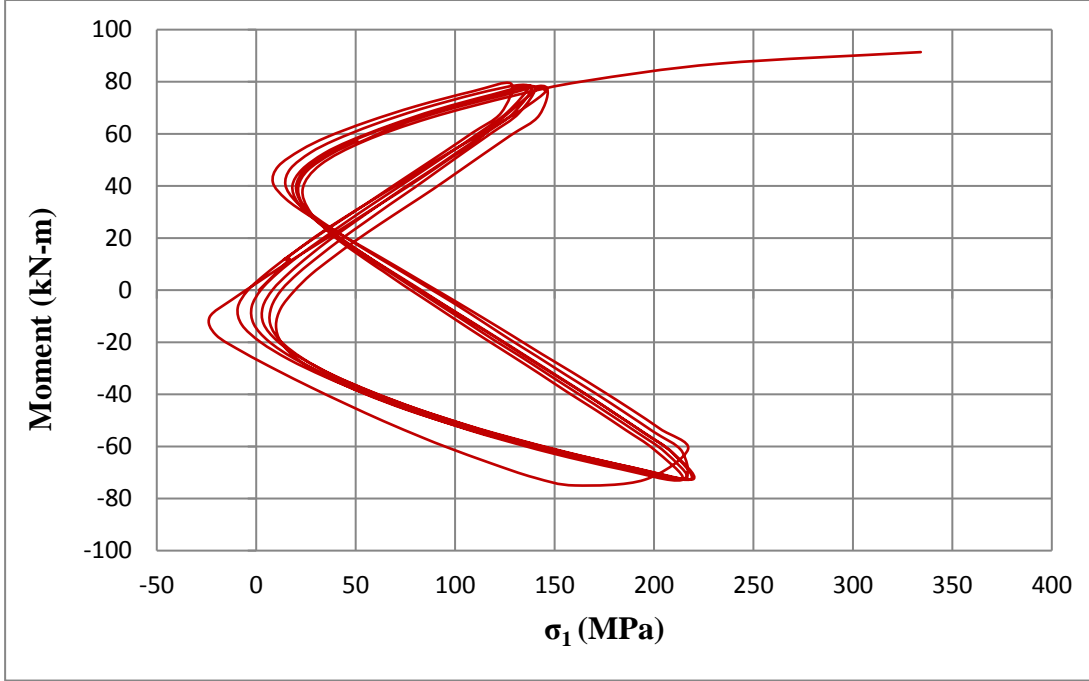
Şekil 5.42 : EEPC-HS numunesi moment şekildeğiştirme grafiği.



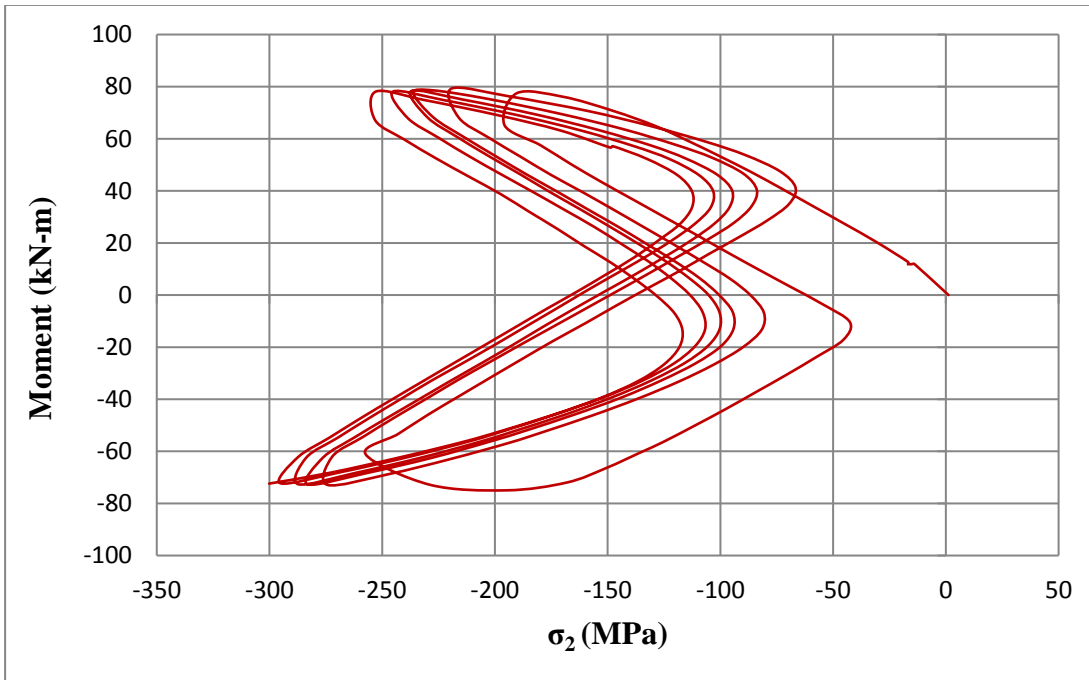
Şekil 5.43 : EEPC-HS numunesi akma aşaması moment şekildeğiştirme grafiği.

5.2.8 Moment asal gerilme grafiği

Moment asal gerilme grafiğinde gerilmeler malzeme deneyinden elde edilen akma gerilmeleri ile sınırlanılmıştır. şekil 5.44 ve şekil 5.45’de sadece akma gerilmesine kadar oluşan asal gerilmeler gözönüne alınmaktadır.



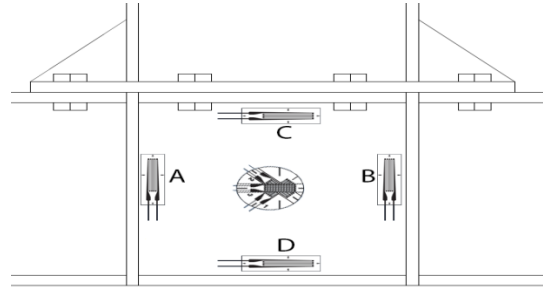
şekil 5.44 : EEPC-HS numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.



şekil 5.45 : EEPC-HS numunesi akma gerilmesi durumunda moment-asal gerilme grafiği.

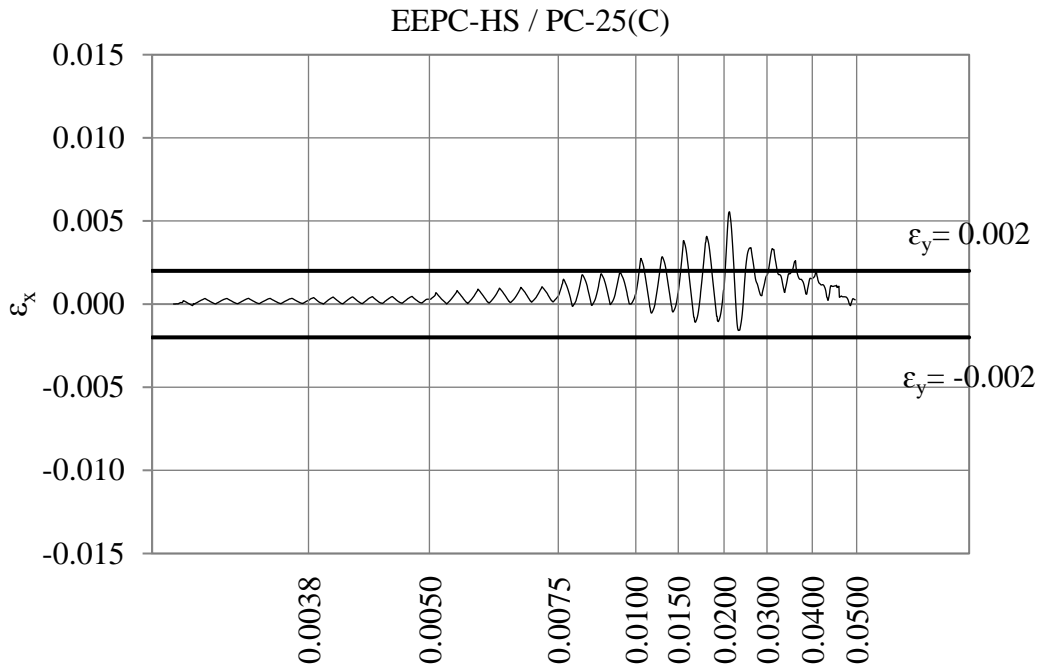
5.2.9 Panel bölgesi tek eksenli şekil değiştirme ölçer verilerinin işlenmesi

Kolon kiriş birleşiminin gerçekleştiği panel bölgesinde rozet tipi şekil değiştirme ölçer dışında Şekil 5.46'da gösterildiği gibi dört adet de tek doğrultulu şekil değiştirme ölçerin yardımıyla şekil değiştirme ölçümü yapılmıştır. Bu şekil değiştirme ölçerlerden elde edilen veriler Şekil 5.47, Şekil 5.48, Şekil 5.49, Şekil 5.50'de adıma bağlı olarak verilmiştir.



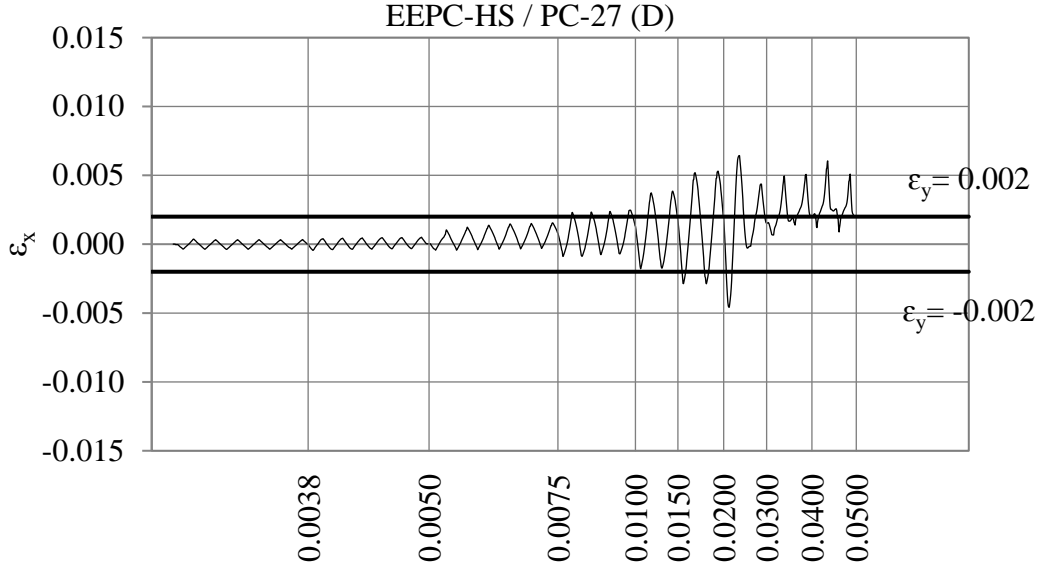
Şekil 5.46 : EEPC-HS numunesi panel bölgesinde konumlandırılan şekil değiştirme ölçerlerin pozisyonu.

Şekil 5.47'de, C şekil değiştirme ölçeri 0.006 şekil değiştirme düzeyine kadar izlenmektedir. Şekil değiştirmeler ilk aşamada artı işaretle oluşmuştur. Sonrasında şekil değiştirmeler simetrik olarak gerçekleşmeye başlamıştır. Yani eleman ilk bölümde eksenel yük etkisiyle uzamıştır.



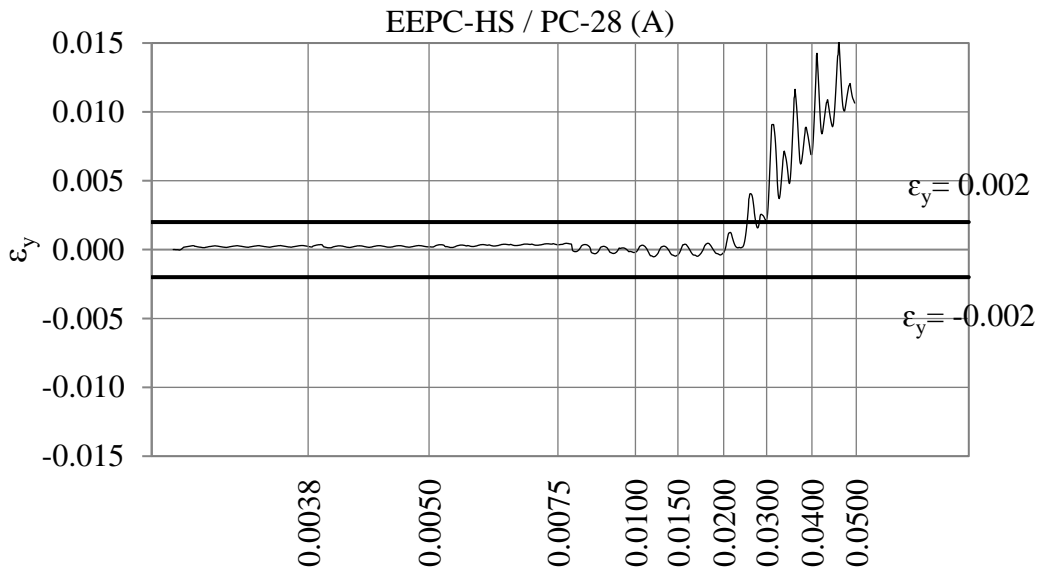
Şekil 5.47 : EEPC-HS numunesi görel kat ötelemesi açısına göre C şekil değiştirmesinin değişim grafiği.

Şekil 5.48’de D şekildeğiştirme ölçeri moment ve aksenal kuvvet etkisinde akma şekildeğiştirmesine ulaşacak seviyede şekildeğiştirme yapmıştır. En büyük şekil değiştirme 0.006 değerlerindedir.

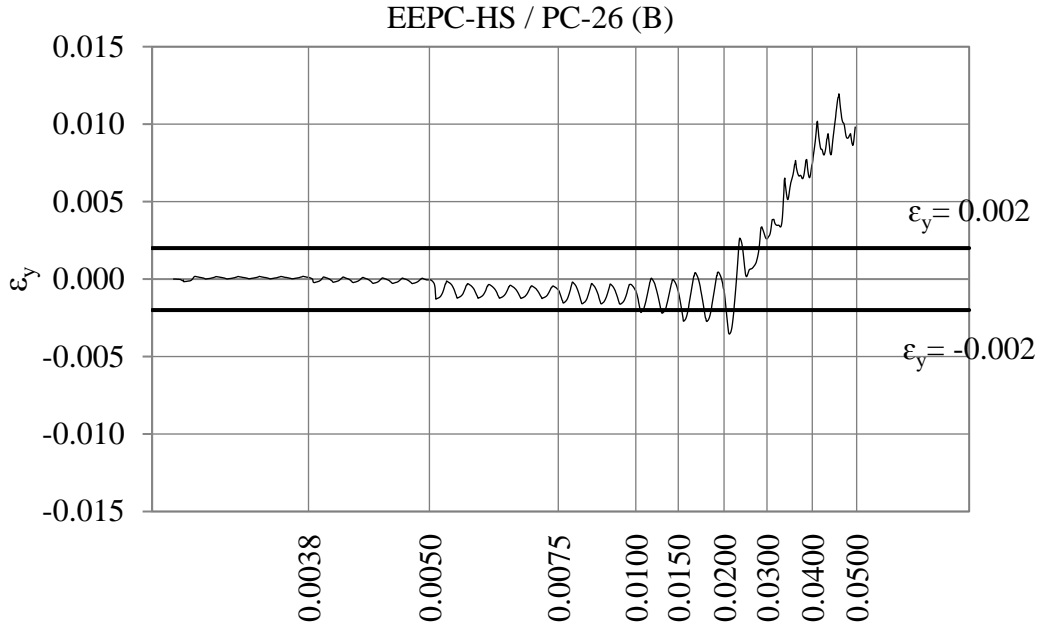


Şekil 5.48 : EEPC-HS numunesi görel kat ötelemesi açısına göre D şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.

Şekil 5.49 ve Şekil 5.50’de ifade edilen A ve B şekildeğiştirme ölçerleri moment etkisinde C ve D ye göre daha fazla zorlanmıştır. Ve berkitme levhalarının sinüs gövdeli profile kaynaklı olmamasından dolayı büyük şekildeğiştirmeler söz konusu olmuştur.



Şekil 5.49 : EEPC-HS numunesi görel kat ötelemesi açısına göre A şekildeğiştirmesinin değişim grafiği.



Şekil 5.50 : EEPC-HS numunesi görel kat ötelemesi açısına göre B şekildeğişirmesinin değişim grafiği.



6. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Beşinci bölümde deney numunelerinden alınan veriler sırasıyla karşılaştırma yapılmaksızın grafiksel olarak sunulmuştur. Bu bölümde ise EEPC-H0 ve EEPC-HS grafiklerinin aynı şartlar altında değerleri ve grafikleri karşılaştırılacaktır.

6.1 Şekildeğiştirme ve Yerdeğiştirme İlişkileri

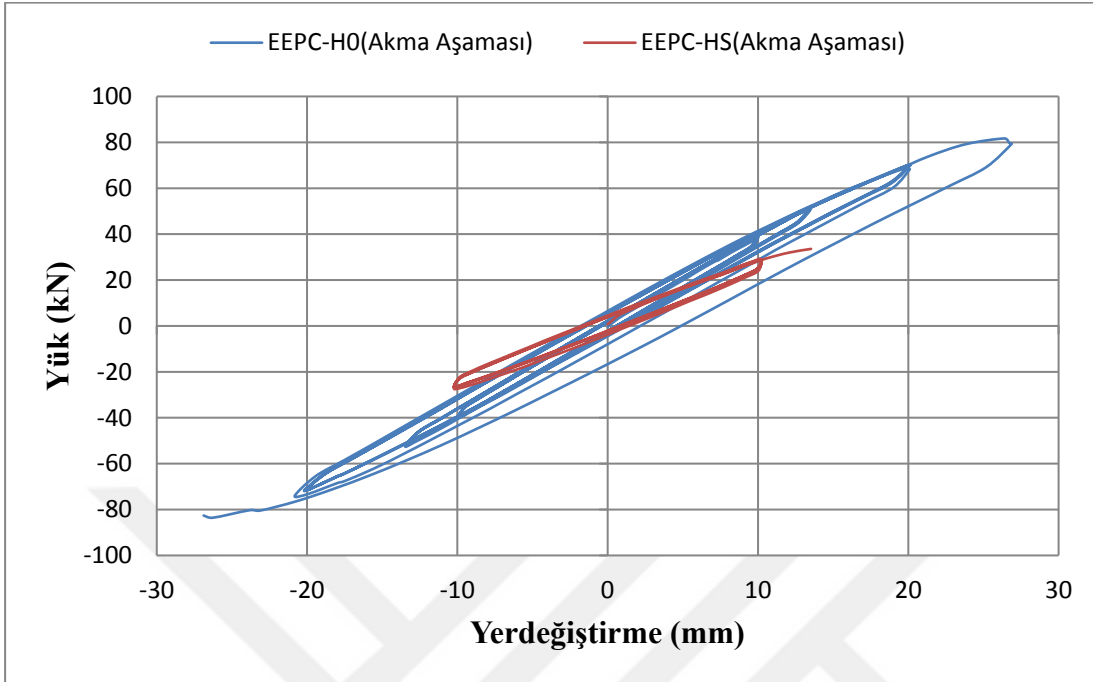
Her iki deney için panel bölgesinde elde edilen rozet şekildeğiştirme ölçer vasıtasıyla aynı şekildeğiştirme düzeyinde yük-yerdeğiştirme ve yük-şekildeğiştirme verileri çizilerek bir önceki bölümde sunulan değerlerin karşılaştırmaya yönelik tablosu Çizelge 6.1’de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere düz gövdeli birinci numune sinüs gövdeli ikinci numuneye göre aynı şekildeğiştirme düzeyinde daha fazla kuvvet talep etmektedir.

Çizelge 6.1 : Yük-Şekildeğiştirme-Yerdeğiştirme İlişkileri.

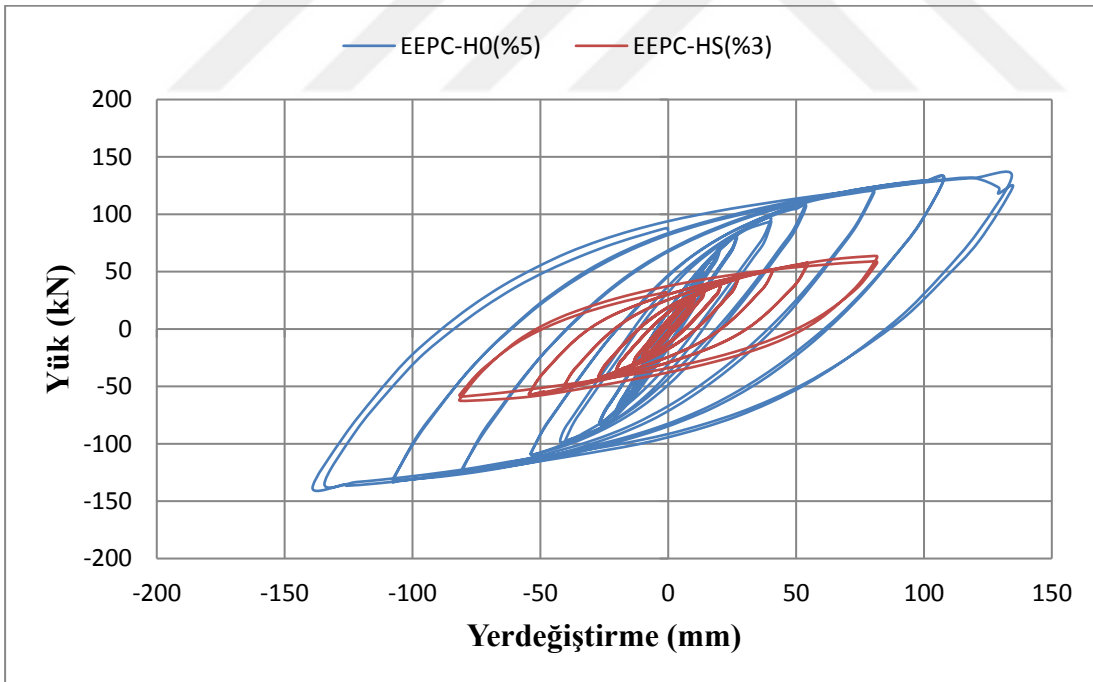
EEPC-H0 (Düz Gövdeli)	Şekildeğiştirme	Kuvvet (kN)	Yerdeğiştirme (mm)
Akma Aşaması	0.00190	-82.6	-26.9
Akma Öncesi	0.00085	62.4	17.1
Akma Sonrası	0.02029	134.0	134.4
EEPC-HS (Sinüs Gövdeli)			
Akma Aşaması	0.00200	33.6	13.5
Akma Öncesi	0.00086	26	8.8
Akma Sonrası	0.01920	61.9	81.6

Her iki deneyinde akma aşamasında grafikleri üst üste çizdirildiğinde birinci deney elemanı olan düz gövdeli EEPC-H0’ın sinüs gövdeli EEPC-HS’e göre ne kadar rijit olduğu Şekil 6.1’de gösterilen grafikte EEPC-H0 ifade eden mavi konturlu eğrinin eğiminin EEPC-HS ifade eden kahverengi konturlu eğriye göre eğiminin yüksek

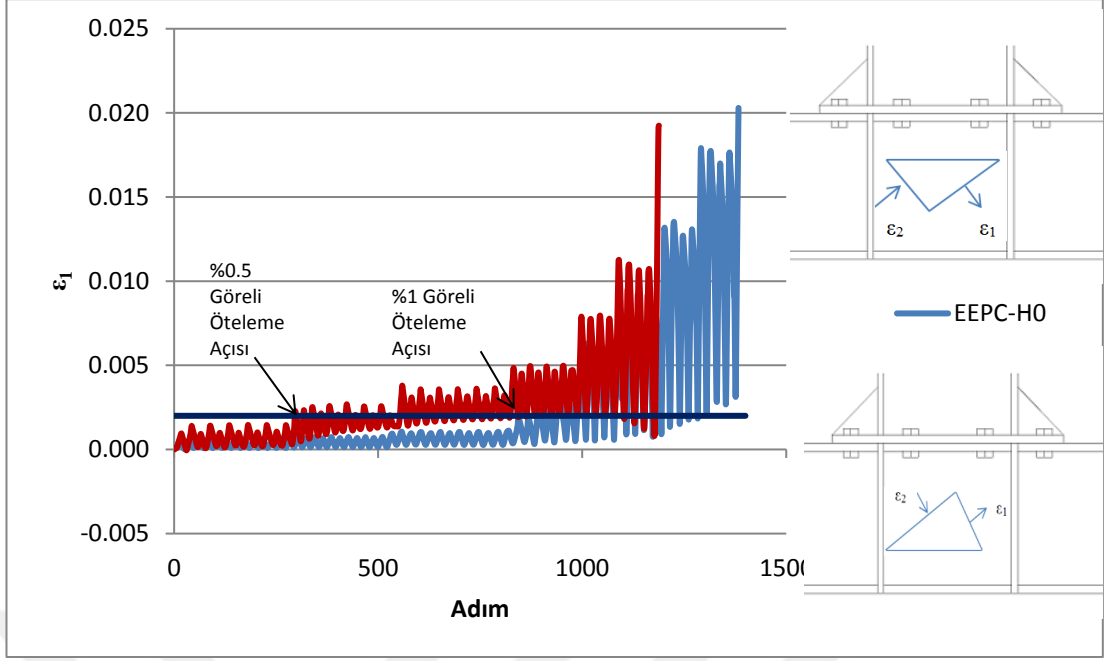
oluşuyla ifade edilebilmektedir. Deneyin bütünü için yük-yerdeğiştirme grafiği çizdirildiğinde ise Şekil 6.2'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 6.1 : Akma aşamasında EEPC-H0, EEPC-HS yük-yerdeğiştirme grafikleri.



Şekil 6.2 : Gövdeyi flanşlara bağlayan kaynaklarda ayrılma başladığında EEPC-H0, EEPC-HS yük-yerdeğiştirme grafikleri.



Şekil 6.3 : EEPC-H0 ve EEPC-HS'in adıma göre asal şekildeğiştirme grafikleri.

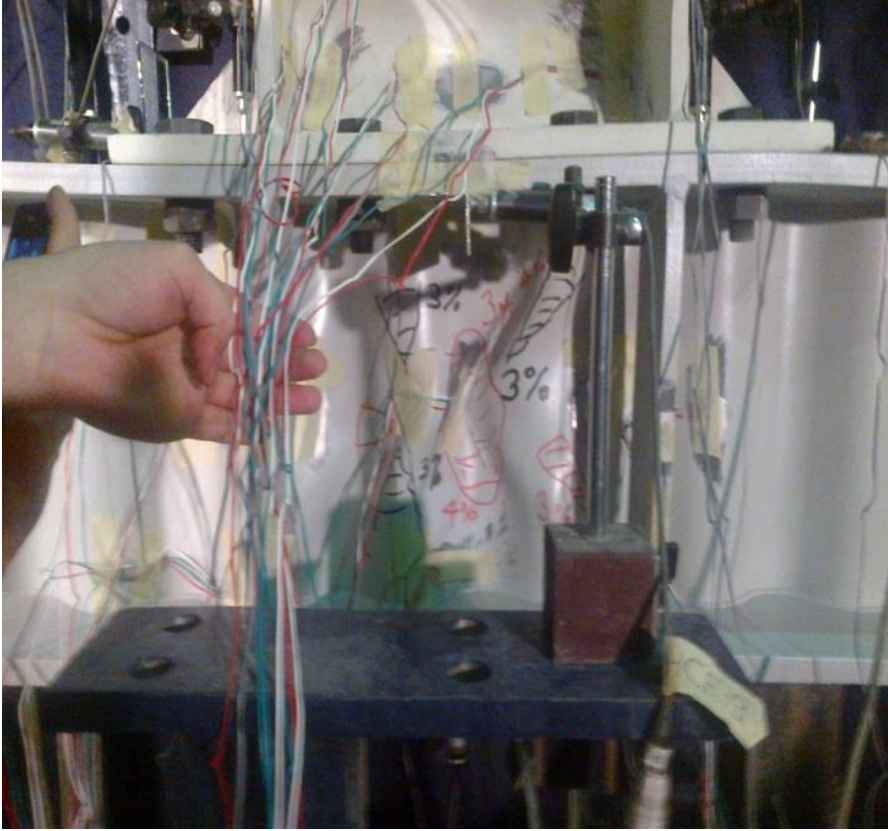
Panel bölgesinin rijitliği söz konusu olduğu için deneyler sonrasında panel bölgesinin durumu Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilen fotoğraflarla gösterilmiştir. Görüldüğü üzere EEPC-H0 numunesinin panel bölgesi EEPC-HS deney elemanının gövdesine göre çok daha rijit davranış sergilemiştir.



Şekil 6.4 : EEPC-H0 deneyi sonrası.

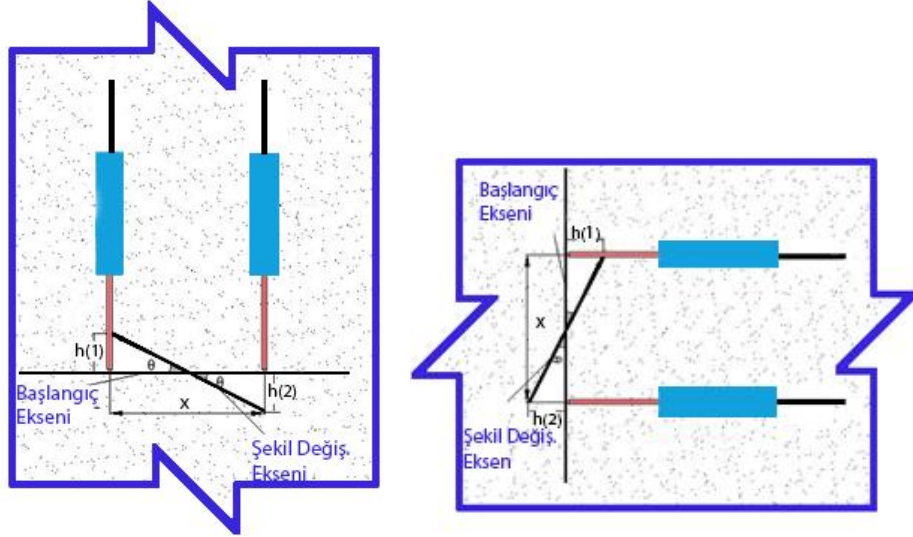
6.2 Moment-Dönme İlişkileri

Deney elemanlarının davranışını karşılaştırmak amacıyla numuneler üzerinde konumlandırılmış şekildeğiştirme ölçerler vasıtasıyla çizilen moment-dönme ilişkilerinden faydalanılarak her iki numune için çizilen moment-dönme grafikleri karşılaştırılmıştır. Moment dönme ilişkileri kiriş alın plakasından ve kolon başlıklarından ölçüm veren yerdeğiştirme ölçerler vasıtasıyla yapılmıştır.



Şekil 6.5 : EEPC-HS deneyi panel görüntüsü.

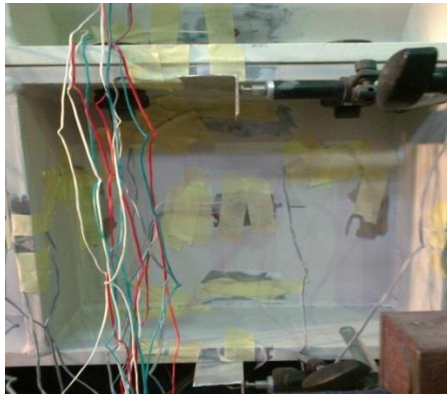
Bu grafikleri oluşturabilmek için kolon-kiriş birleşim bölgelerine yerleştirilen farklı eksenlerdeki yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler kullanılmıştır. Bir kesitteki dönmenin hesabı için, iki yerdeğiştirme ölçerden okunan değerlerin farkı ölçüm yapılan noktalar arasındaki mesafeye bölünmüştür. Her numunede toplam iki kesitte bu hesaplar ayrı ayrı yapılmıştır. Söz konusu hesaplar için Şekil 6.6 ve Denklem 6.1'e bakılmalıdır. Bu denklemlerde θ dönmeyi göstermektedir.



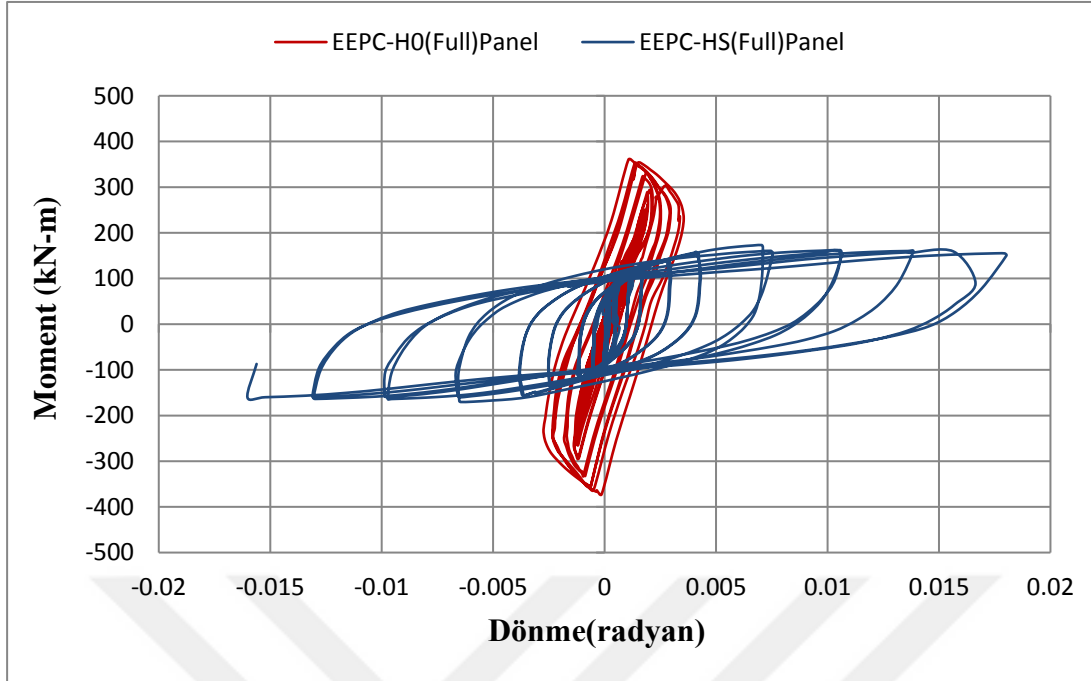
Şekil 6.6 : Kiriş alın plakasından ve kolon başlıklarından dönmenin tespitinin grafik olarak gösterimi.

$$\theta = \frac{h_1 - h_2}{x} \text{ (Radyan)} \quad (6.1)$$

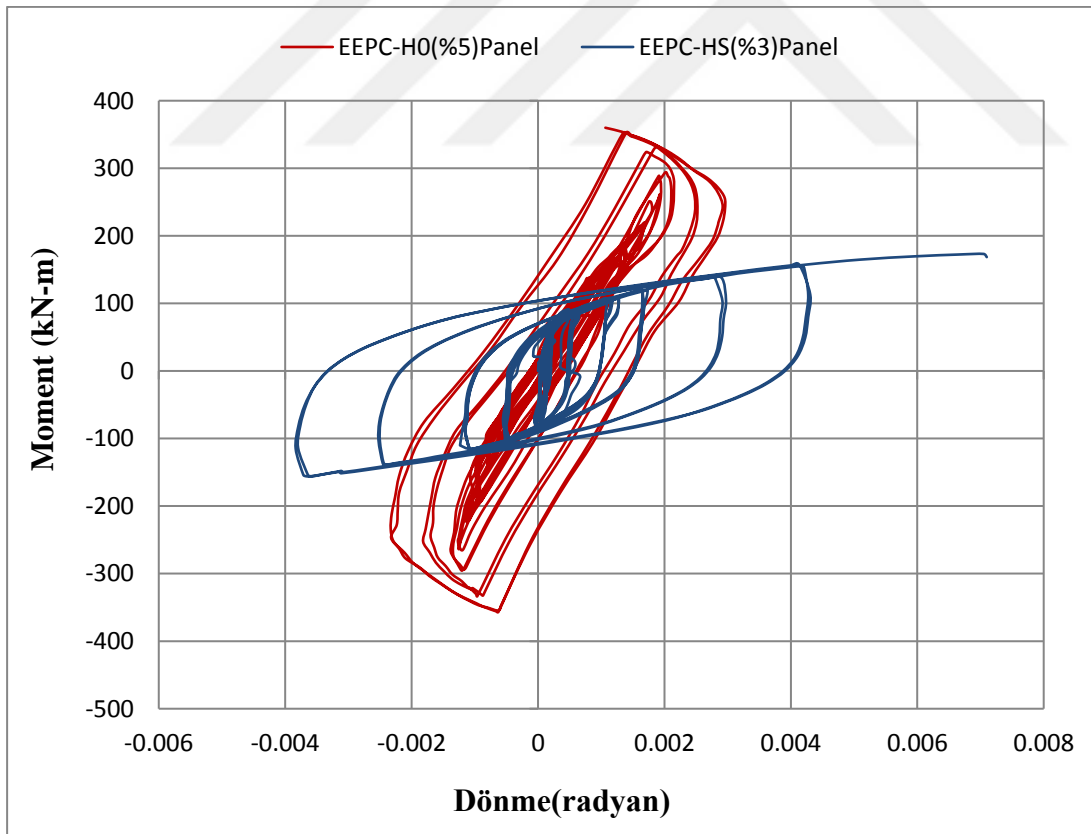
Tanımı yapılan moment-dönme ilişkisinin grafik olarak ilk gösterimi Şekil 6.7 de gösterilen noktalarda kolon başlıklarından alınan verilerle oluşturulmuş ve Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da sunulmuştur. Sırasıyla birinci şekil tüm çevrimleri içeren moment dönme grafiğidir. İkinci şekil sinüs gövdeli EEPC-HS numunesinin 0.03 radyan görelî kat ötelemesi düzeyinde kaynak çatlaklarından dolayı oluştuğu düşünölen anlamsız kısımların temizlenmesiyle ve EEPC-H0 numunesinin 0.05 radyan görelî kat ötelemesinden sonraki verilerinin temizlenmesiyle oluşturulmuş moment-dönme grafiğidir. Üçüncü şekil ise rozet şekildeğiştirme ölçerlerde oluşun asal şekildeğiştirmelerin akma şekil değıştirmesi düzeyini yakaladığı aşamadaki moment dönme grafiğidir.



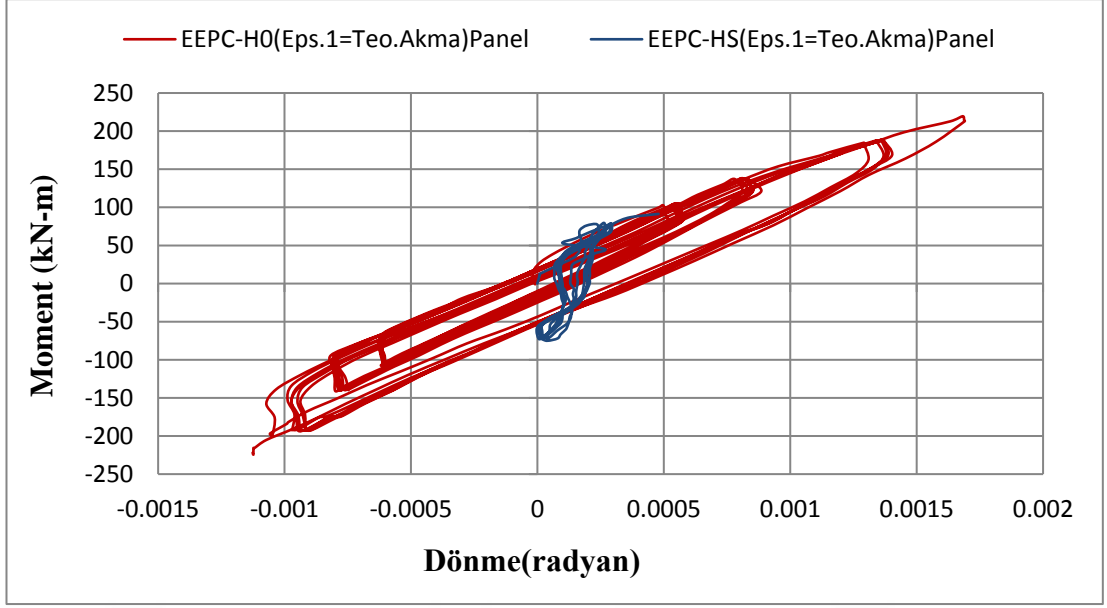
Şekil 6.7 : Kolon başlıklarına konulan yerdeğıştirme ölçerler.



Şekil 6.8 : Deney numunelerinin kolon üst ve alt başlığında elde edilen moment-dönme ilişkisi.



Şekil 6.9 : Deney numunelerinin kolon üst ve alt başlığında elde edilen moment-dönme ilişkisi.

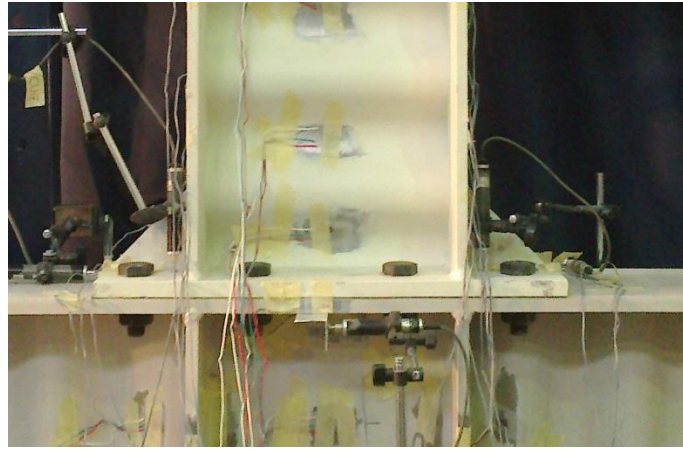


Şekil 6.10 : Deneysel numunelerin kolon üst ve alt başlığında elde edilen moment-dönme ilişkisi.

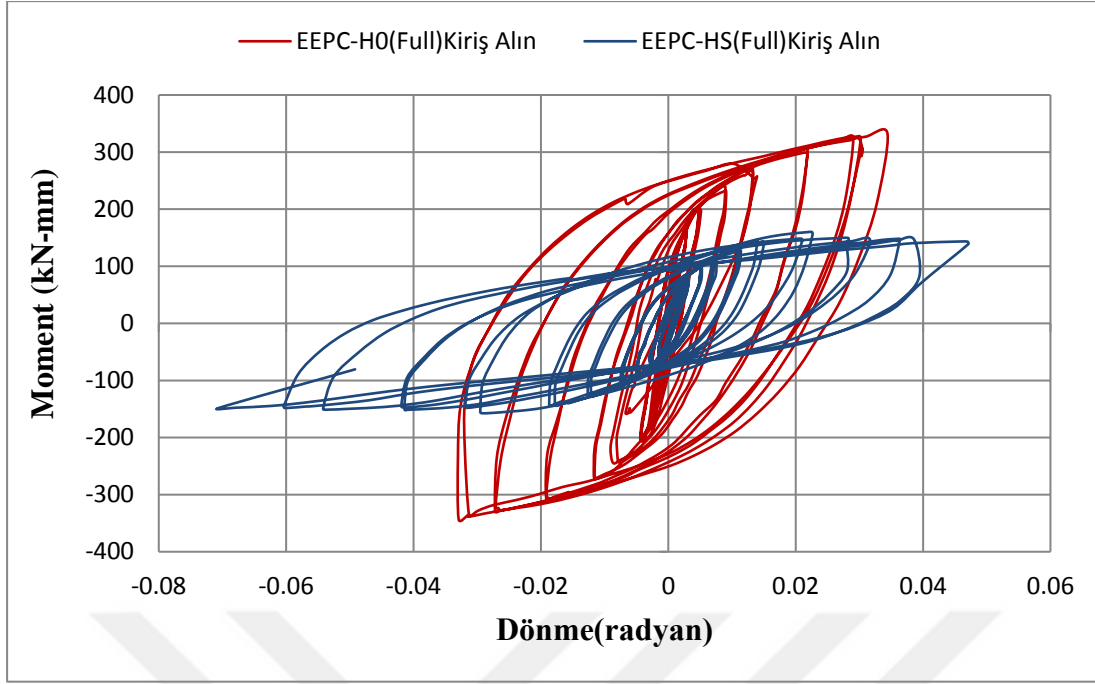
Birinci grafikte EEPC-H0 numunesinde 341 kN-m lik moment etkisinde 0.0016 radyanlık dönme oluşmuştur. EEPC-HS numunesinde ise 157 kN-mm lik moment etkisinde 0.017 radyanlık dönme meydana gelmiştir.

Her üç şekil içinde ortak sonuç sinüs gövdeli EEPC-HS deneyinde panel bölgeleri belli bir dönme için EEPC-H0 'a göre daha az moment talep etmektedir.

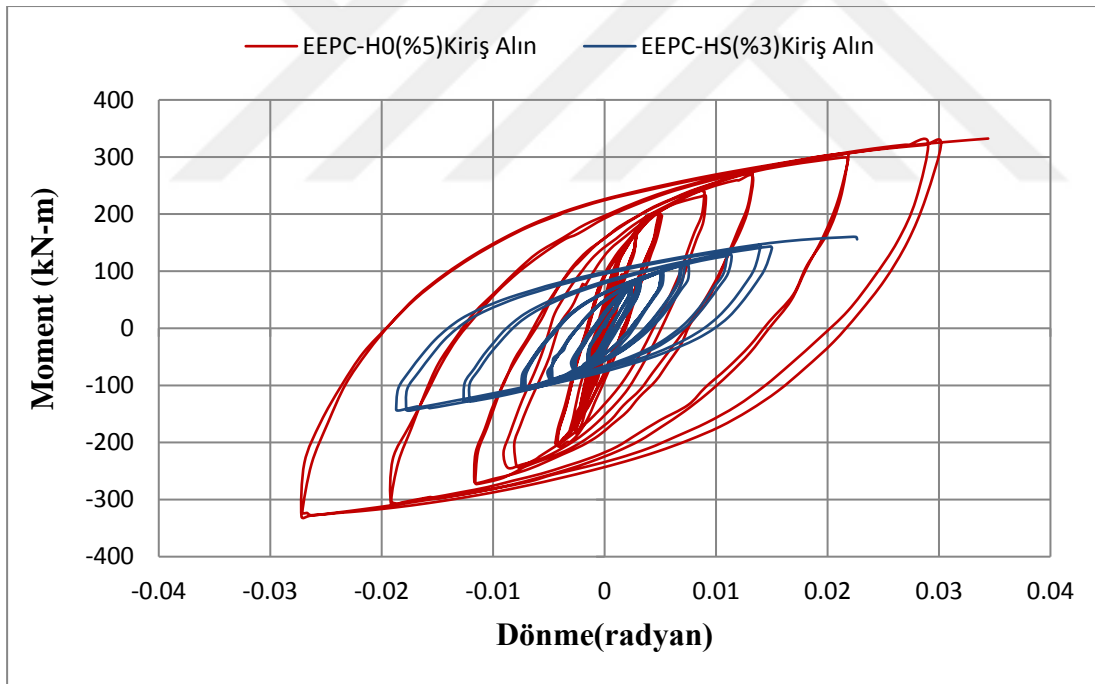
Kiriş alın plakalarında, Şekil 6.11 de gösterildiği gibi konumlandırılmış yerdeğiştirme ölçerler kullanılarak kolon-kiriş birleşim noktasından ikinci bir moment dönme grafiği elde edilmiştir. Farklı çevrim ve şekildeğiştirme durumları için sunulan grafikler Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14'de gösterilmiştir.



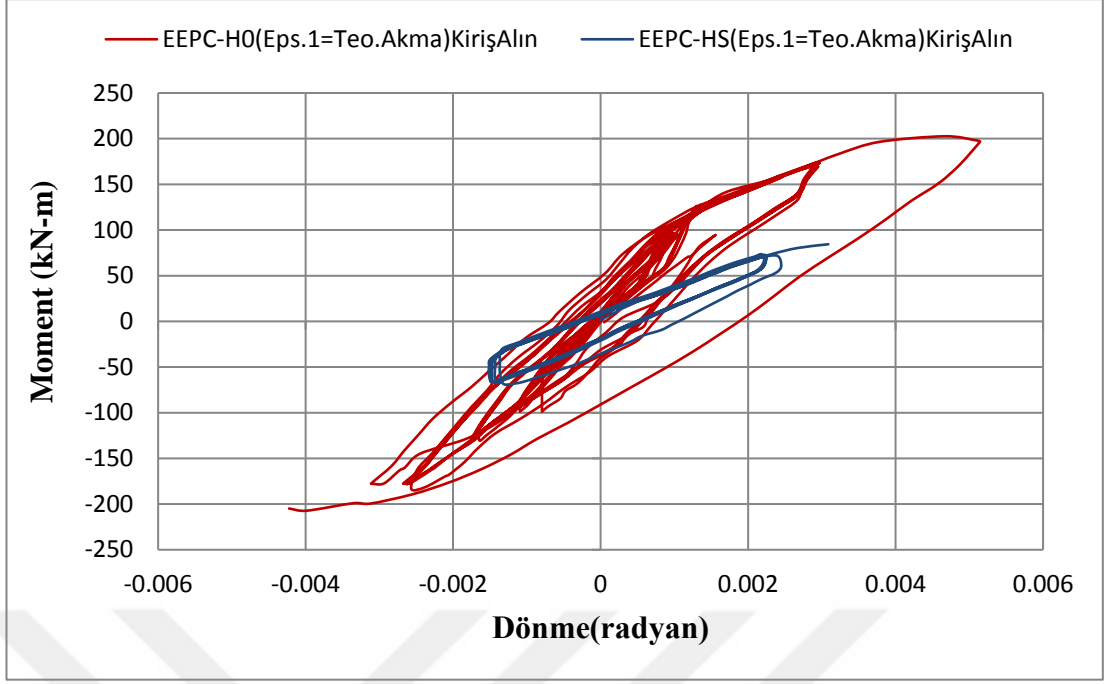
Şekil 6.11 : Kiriş alın plakasında konumlandırılmış yerdeğiştirme ölçerler.



Şekil 6.12 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.

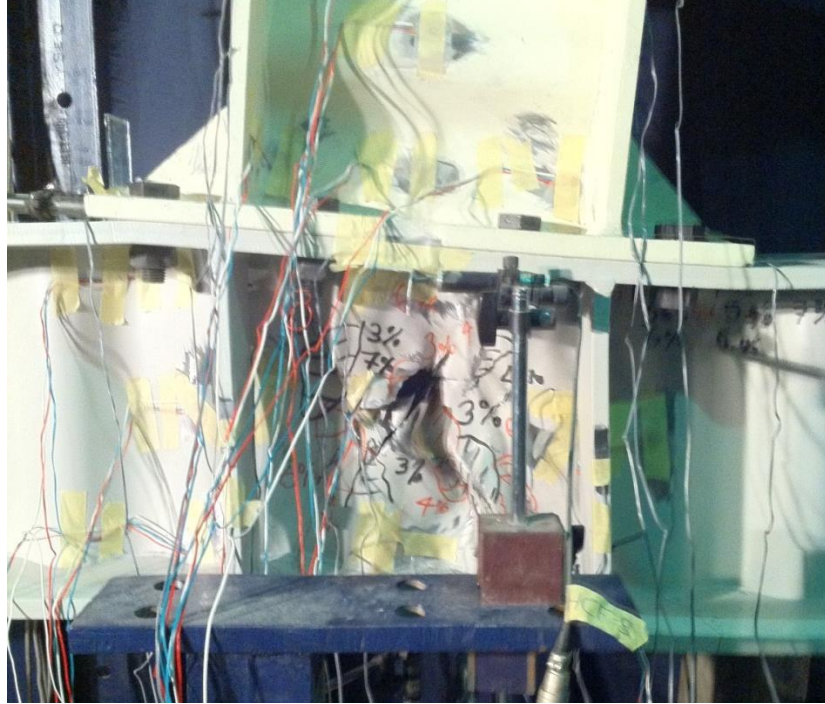


Şekil 6.13 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.



Şekil 6.14 : Deney numunelerinin kiriş alın plakasından ölçülen moment-dönme ilişkisi.

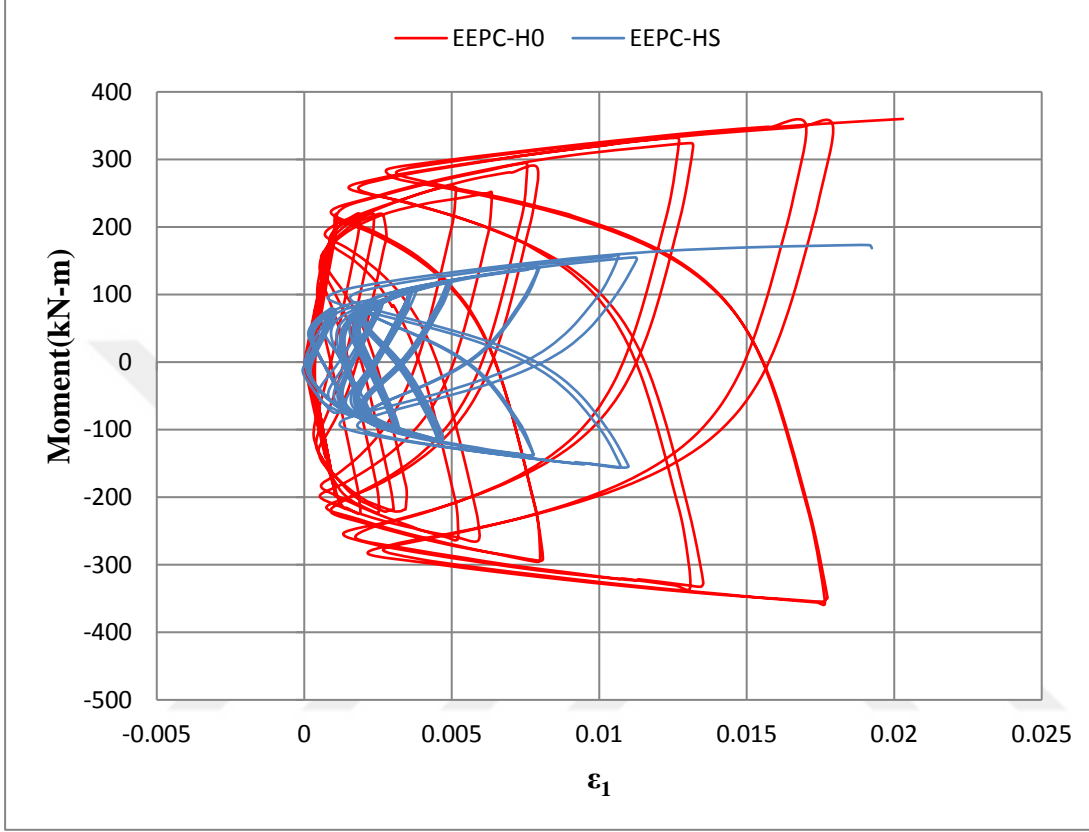
Elde edilen sonuçların kolon başlıklarından elde edilen ile benzer olduğu görülmektedir. Düz levhadan oluşturulmuş panel bölgesine sahip deney elemanının moment kapasitesinin sinüs gövdeli elemana göre daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15 : EEPC-HS deneyi son hali.

6.3 Moment Şekildeğiştirme İlişkisi

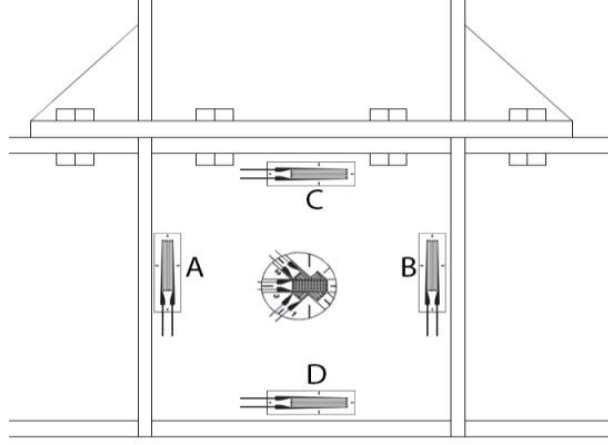
Panel bölgesinde moment şekildeğiştirme grafiği çizdirildiğinde düz gövdeli EEPC-H0 numunesinin sinüs gövdeli EEPC-HS numunesine göre moment kapasitesi bakımından daha büyük sonuçlar verdiği Şekil 6.16'dan görülmüştür.



Şekil 6.16 : Deney numunelerinin moment-şekildeğiştirme ilişkisi.

6.4 Panel Bölgesi Şekildeğiştirme Ölçerlerden Alınan Verilerin Karşılaştırılması

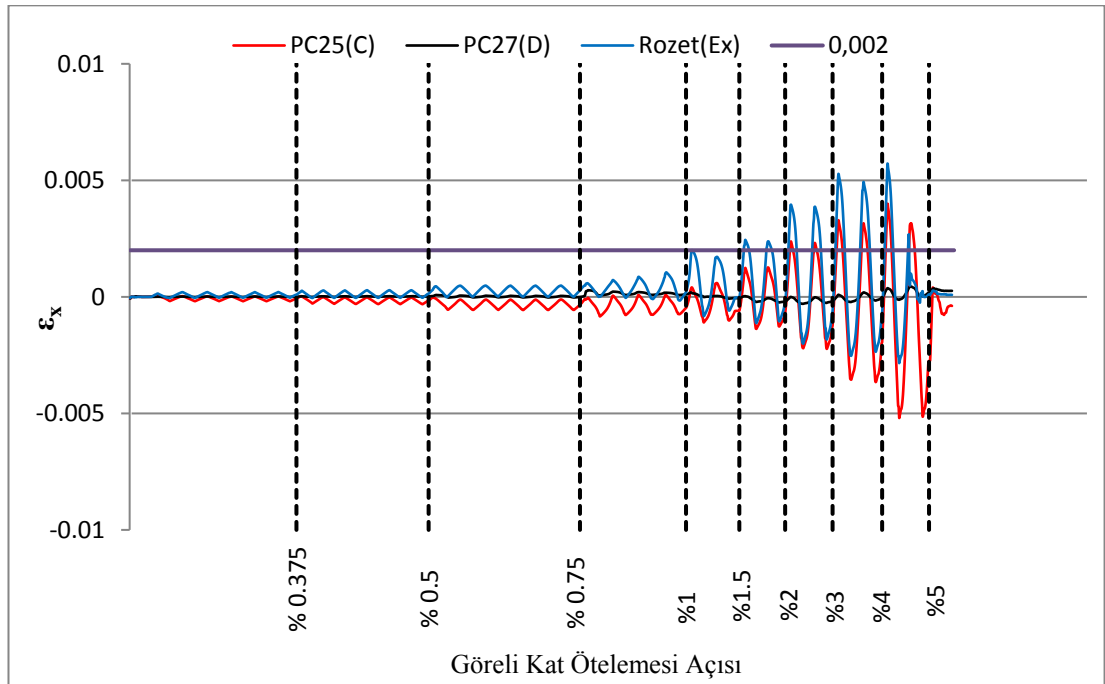
Her iki numune için panel bölgesine konumlandırılmış tek eksenli ve üç eksenli şekildeğiştirme ölçerler yardımıyla alınan verilerin karşılaştırılması bu bölümde yapılmıştır. Karşılaştırmalar aynı doğrultudaki şekildeğiştirme ölçerler arasında yapılmıştır. Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerden elde edilen veriler ise yazılım yardımıyla x ve y eksenindeki bileşenlerine ayrılarak karşılaştırmalara dahil edilmiştir. Panel bölgesindeki şekildeğiştirme ölçerlerin konumları Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17 : Şekildeğiştirme ölçerlerin konumları ve doğrultuları.

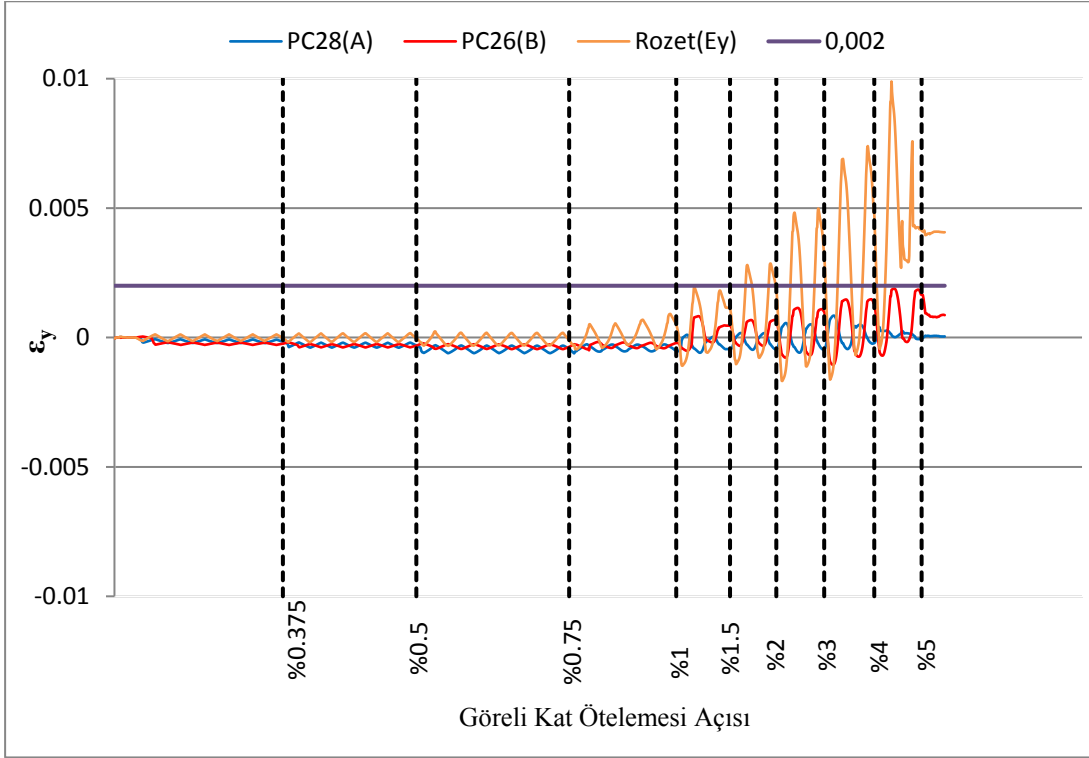
6.4.1 EEPC-H0 deneyi

Panel bölgesinde x doğrultusunda tek eksenli C ve D şekildeğiştirme ölçer ile üç eksenli rozet tipi şekildeğiştirme ölçerinin X doğrultusundaki bileşeni Şekil 6.18'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada elde edilen verilerde rozet tipi şekildeğiştirme ölçerden elde edilen büyüklük ile C şekildeğiştirme ölçerinin verdiği okumaların başlangıçta aynı, ilerleyen aşamalarda ise rozetten alınan değerlerin akma şekildeğiştirmesini 0.015 radyan görelî kat ötelemesi açısında yakaladığı görülmektedir.



Şekil 6.18 : C, D ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

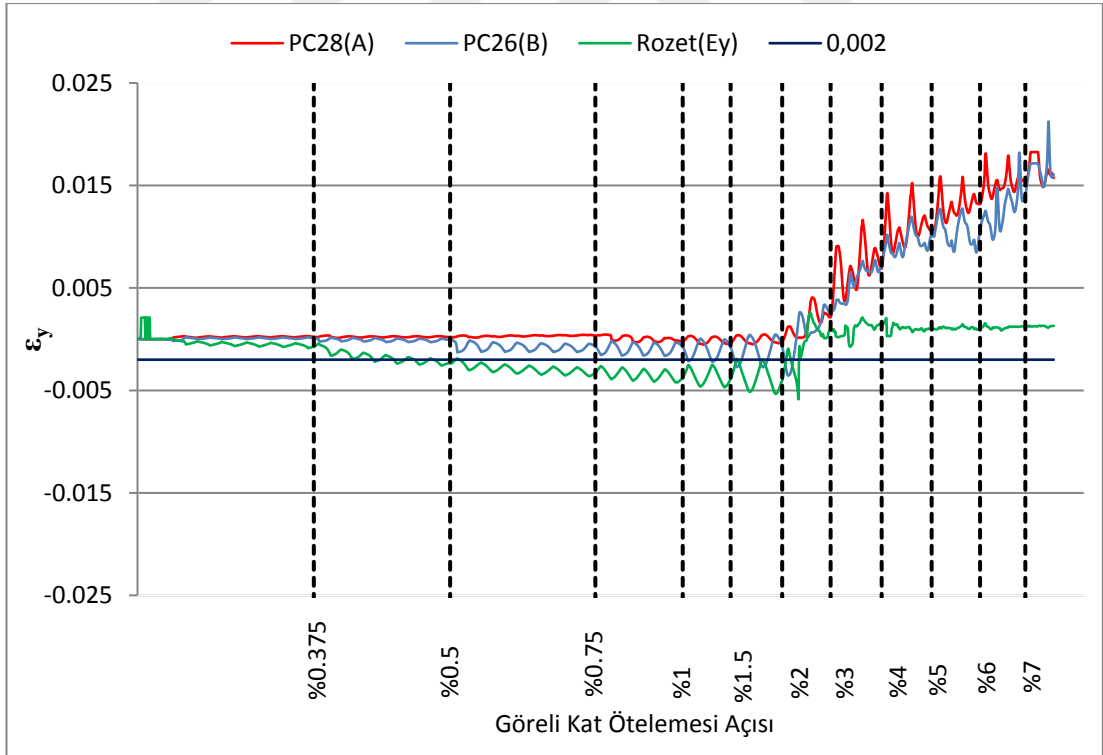
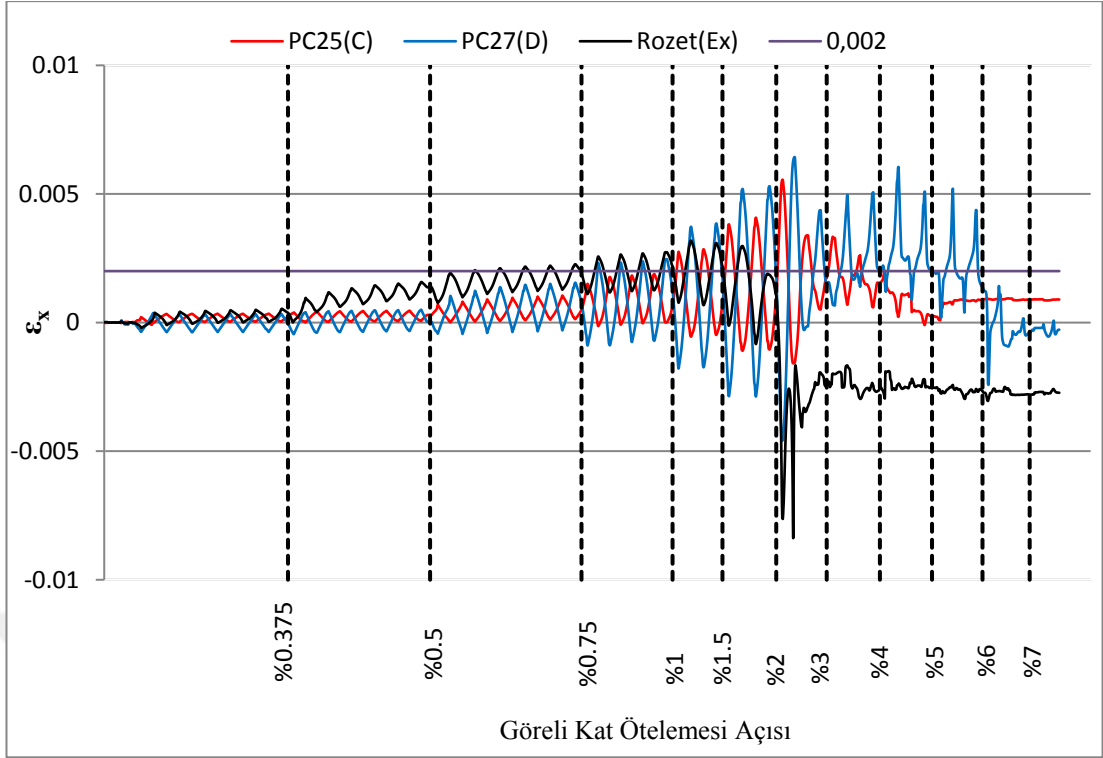
Şekil 6.19’da y ekseninde okuma yapan A, B ve Rozet şekildeğiştirme ölçerlerin verdiği sonuçlar karşılaştırıldığında, rozet tipi sensörün 0.015 radyan görelî kat ötelemesi açısında akmaya ulaştığı görülmektedir. EEPC-H0 numunesinde y ekseninde oluşan şekildeğiştirmelerin gövdeye kaynaklı berkitme levhaları tarafından sınırlandırıldığı görülmektedir. Bu sebeple y ekseninde berkitme levhalarına komşu kesitlerde oluşan şekildeğiştirmeler EEPC-HS’e göre sınırlı kalmıştır.



Şekil 6.19 : A, B ve Rozet tipi şekildeğiştirme ölçerlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

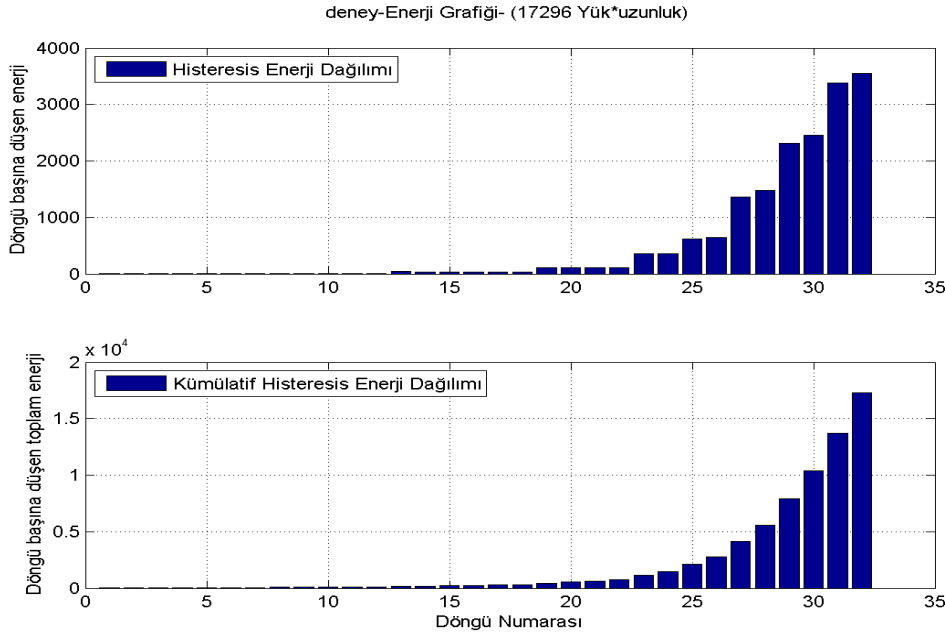
6.4.2 EEPC-HS deneyi

Şekil 6.20 de X doğrultusunda ölçüm alan şekildeğiştirme ölçerlerden ilk önce D ve rozet şekildeğiştirme ölçerinin x bileşeni 0.007 radyan görelî kat ötelemesi açısında akmaya ulaşmıştır. Şekil 6.21’de gösterilen A, B ve rozet şekildeğiştirme ölçerlerinin bileşenlerinden rozet şekildeğiştirme ölçerinin 0.004 radyan görelî kat ötelemesi açısında akmaya ulaştığı görülmektedir. Bu numunede panel bölgesinde bulunan berkitme levhaları gövdeye kaynaklı olmadığı için, panel bölgesinin y eksenindeki hareketini tam olarak sınırlandırmadığı görülmüştür. Bu sebeple panel bölgesinde y ekseninde oluşan şekildeğiştirmeler büyümüştür.

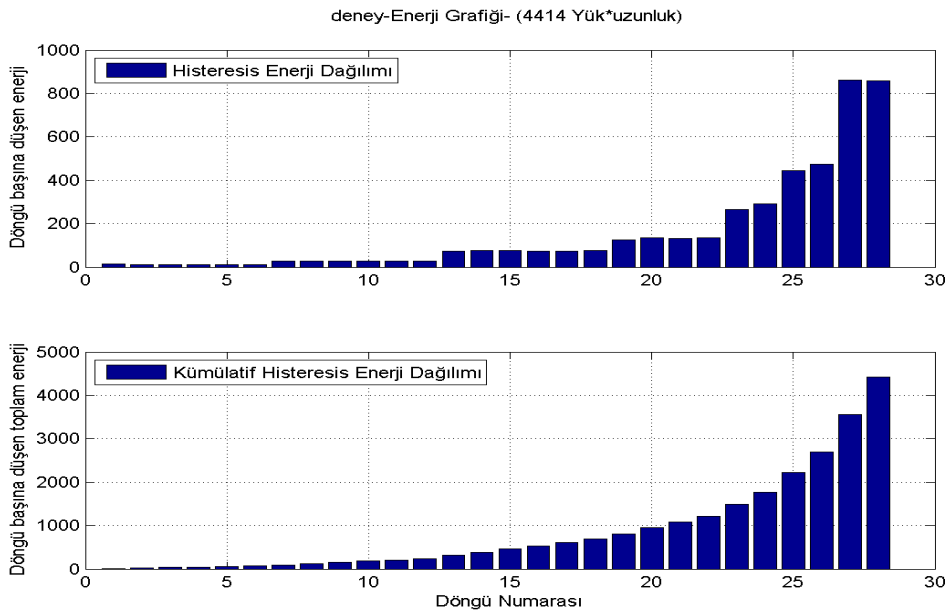


6.4.3 EEPC-HS ile EEPC-H0 deneyleri çevrimsel enerji sönümü

Yapılan deneylerden elde edilen yük yerdeğiştirme eğrilerinin altında kalan alanların toplamı ile her bir çevrimde sönümlenen enerji hesaplanabilmektedir, Şekil 6.22 ile Şekil 6.23’de elde edilen sonuçlar çerçevesinde düz gövdeli EEPC-H0 deney elemanı sinüs gövdeli EEPC-HS deney elemanına göre yaklaşık olarak 3.9 kat daha fazla enerji sönümlenmiştir.



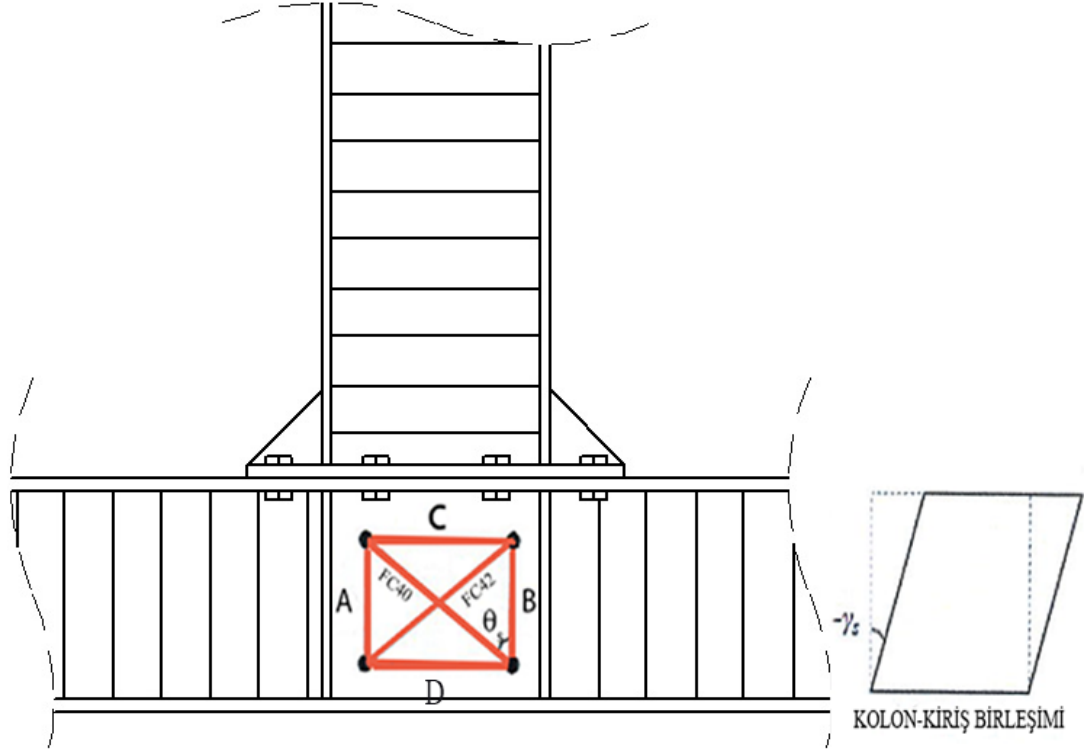
Şekil 6.22 : EEPC-H0 çevrimsel enerji sönümü.



Şekil 6.23 : EEPC-HS çevrimsel enerji sönümü.

6.4.4 Birleşim bölgesinin kesme şekildeğiştirmesi

Birleşim bölgesi yüzünde dört kesme şekildeğiştirmesi hesaplanabilir, Denklem 6.2. Birleşim bölgesi açısıl kesme şekildeğiştirmesi γ_s Denklem 6.2a ile Denklem 6.2d'nin ortalamasından bulunmaktadır. Deney elemanlarının birleşim bölgesindeki yük-kesme şekildeğiştirmesi ve kesme şekildeğiştirmesi-öteleme oranı grafikleri de Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28'de verilmiştir.



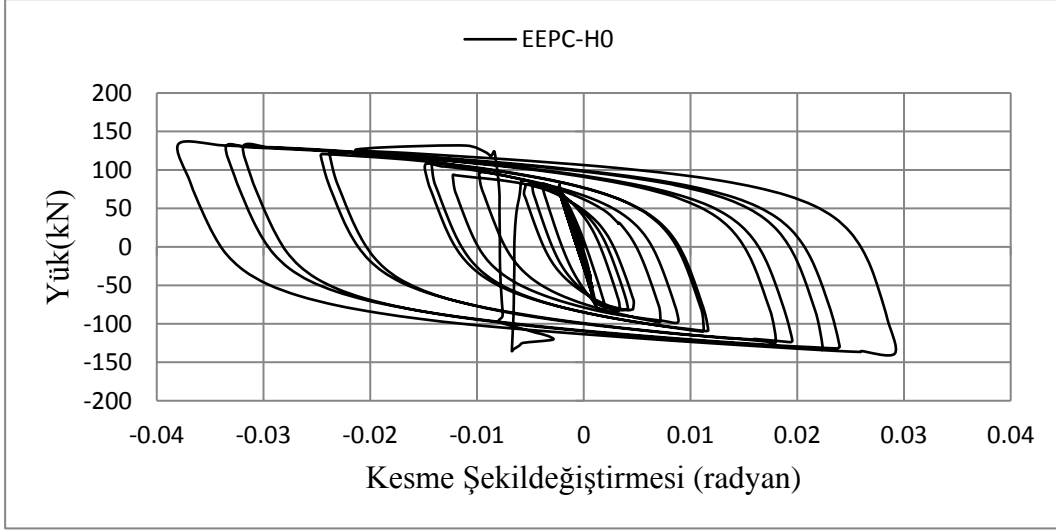
Şekil 6.24 : Birleşim bölgesinin kesme şekildeğiştirmesi ölçümü.

$$\gamma_{s,1} = \frac{\varepsilon_{FC42} - \varepsilon_B \cdot \cos^2 \theta_s - \varepsilon_D \cdot \sin^2 \theta_s}{-\sin \theta_s \cdot \cos \theta_s} \quad (6.2a)$$

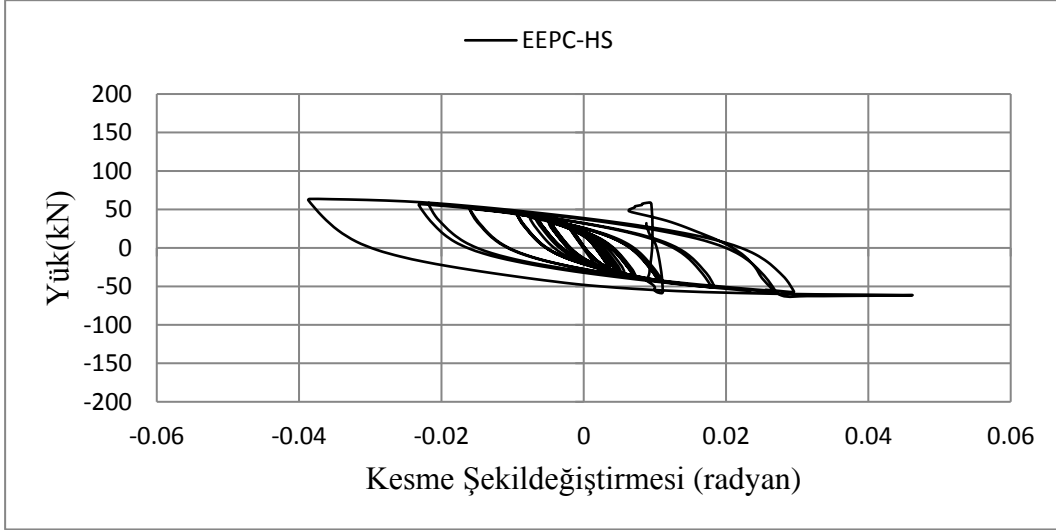
$$\gamma_{s,2} = \frac{\varepsilon_{FC40} - \varepsilon_B \cdot \cos^2 \theta_s - \varepsilon_C \cdot \sin^2 \theta_s}{\sin \theta_s \cdot \cos \theta_s} \quad (6.2b)$$

$$\gamma_{s,3} = \frac{\varepsilon_{FC40} - \varepsilon_A \cdot \cos^2 \theta_s - \varepsilon_D \cdot \sin^2 \theta_s}{\sin \theta_s \cdot \cos \theta_s} \quad (6.2c)$$

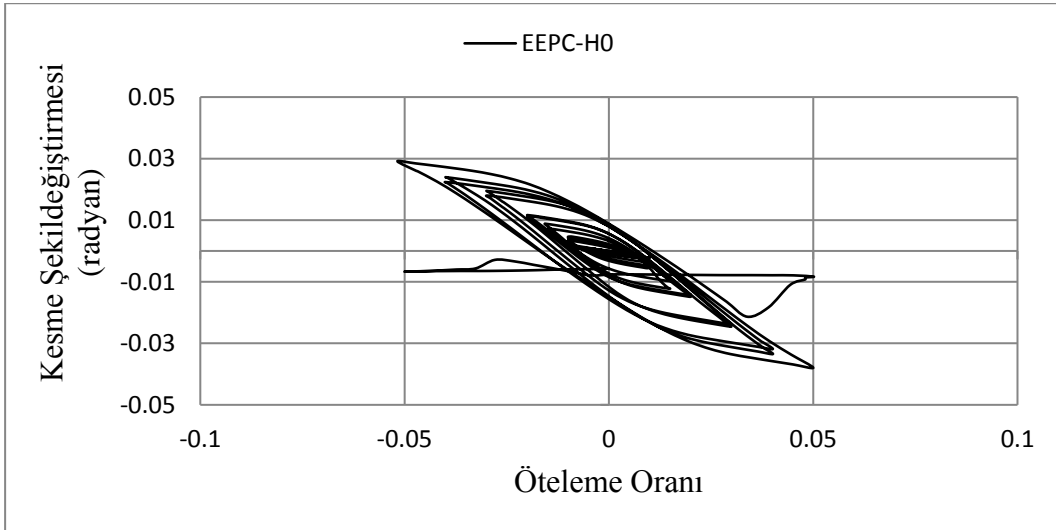
$$\gamma_{s,4} = \frac{\varepsilon_{FC42} - \varepsilon_A \cdot \cos^2 \theta_s - \varepsilon_C \cdot \sin^2 \theta_s}{-\sin \theta_s \cdot \cos \theta_s} \quad (6.2d)$$



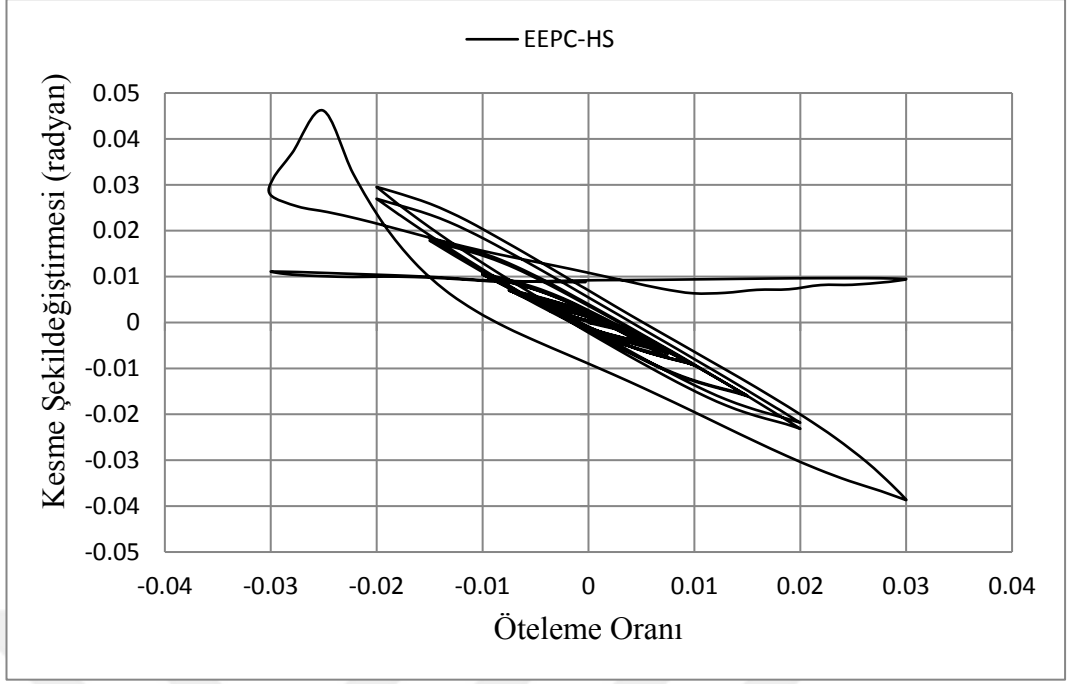
Şekil 6.25 : EEPC-H0 yük- kesme şekildeğiştirmesi grafiği.



Şekil 6.26 : EEPC-HS yük-kesme şekildeğiştirmesi grafiği.



Şekil 6.27 : EEPC-H0 kesme şekildeğiştirmesi-öteleme oranı grafiği.



Şekil 6.28 : EEPc-HS kesme şekildeğiştirmesi-öteleme oranı grafiği.



7. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen temel bulguları sıralarsak,

- Düz gövdeli deney elemanı sinüs gövdeli deney elemanına göre daha rijit davranış göstermiştir.
- Düz gövdeli deney elemanının moment kapasitesinin daha fazla olduğu görülmüştür.
- Panel bölgesinin şekildeğiştirmesinde panelde mevcut berkitmelerin gövdeye kaynaklı olup olmamasının etkin bir parametre olduğu görülmüştür.
- Panel bölgesi rijit olan düz gövdeli deney elemanı daha çok enerji sönümlemiştir.
- Her iki numunede panel bölgesinde oluşan baskın şekildeğiştirmeler tam orta noktada oluşmuştur.
- Düz gövdeli deney elemanı sinüs gövdeli elemana göre daha fazla dönme kapasitesine sahiptir.
- Sinüs gövdeli kolonun gövde kalınlığının panel bölgesinde artırılması ile genel sistem rijitliğinin artırılması bir araştırma konusu olabilir.
- Bu çalışma, panel bölgesinin görel olarak daha kalın levhadan yapılmasının düğüm noktası mekanizması riskinin ortadan kaldırılmasında kullanılabilecek önlemlerden biri olduğunu göstermiştir.
- Matlab ortamında geliştirilen yazılımlar; rozet şekildeğiştirme okumalarının yorumlanması, asal gerilme ve şekildeğiştirmelerin hesabı ve Mohr dairesi çiziminde etkin olarak kullanılmıştır. Diğer araştırmacıların kullanımı amacıyla bu yazılımların açık kodları EK B ve EK C de verilmiştir.



KAYNAKLAR

- Bakioğlu, M.**, (2001). Cisimlerin Mukavemeti, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 975-486-435-7
- Bakioğlu, M., Kadioğlu, N. ve Engin, H.**, (2000). Mukavemet Problemleri Cilt I, Beta Yayınevi, İstanbul, 975-486-192-7
- Beer, Ferdinand P., Johnston E. Russell., Dewolf John T., Mazurek David F.**, (2012). Mechanics of Materials – Sixth Edition, McGraw-Hill
- Chan, C.L., Khalid, Y.A., Sahari B.B., Hamouda A.M.S.**(2001). Finite element analysis of corrugated web beams under bending, Journal of Constructional Steel Research 58 (2002) 1391–1406
- Easley, J.T. ve McFarland, D.E.** (1969). Buckling of light-gage corrugated metal shear diaphragms, J. Struct. Div., ASCE, 95, 1497-516.
- Elgaaly, M., Hamilton, R., and Seshadri, A.** (1996). "Shear Strength of Beams with Corrugated Webs." J. Struct. Eng., 122(4), 390–398.
- Gazi, H.**, (2008). Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çalışan Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi ve Düzlem Gerilme – Düzlem Deformasyon Problemlerinin Analizi
- Girkmann, K.** (Çeviren: 12, S.S.), (1991). Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 1463
- İnan, M.**, (1969). Düzlemde Elastisite Teorisi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 750
- Khalid, Y.A., Chan, C.L., Sahari B.B., Hamouda A.M.S.**(2004). Bending behaviour of corrugated web beams, Journal of Materials Processing Technology 150 (2004) 242–254
- Omurtag, M.H.**, (2005). Mukavemet Cilt I, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul, 975-511-431-9
- Omurtag, M.H.**, (2012). Mukavemet Cilt 1, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul, 975-511-431-9
- Sherif, A.Ibrahim., El-Dakhkhni, Wael W., ve Elgaaly, Mohamed.**,(2006). Fatigue of Corrugated-Web Plate Girders: Experimental Study, Journal Of Structural Engineering
- Timoshenko, S.P. ve Goodier, J.N.** (Çevirenler: **Kayan, İ. ve Şhubi, E.**), (1969). Elastisite Teorisi, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 757
- Vable Madhukar.**, (2012). Mechanics of Material – Second edition, Michingan Technological University
- Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L.**, (2000). The Finite Element Method – Fifth Edition – Volume 1: The Basis, Butterworth – Heinemann (A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd.), Woburn, 0-7506-5049-4



EKLER

EK A: Malzeme Gerilme-Birim Şekildeğiştirme Eğrileri

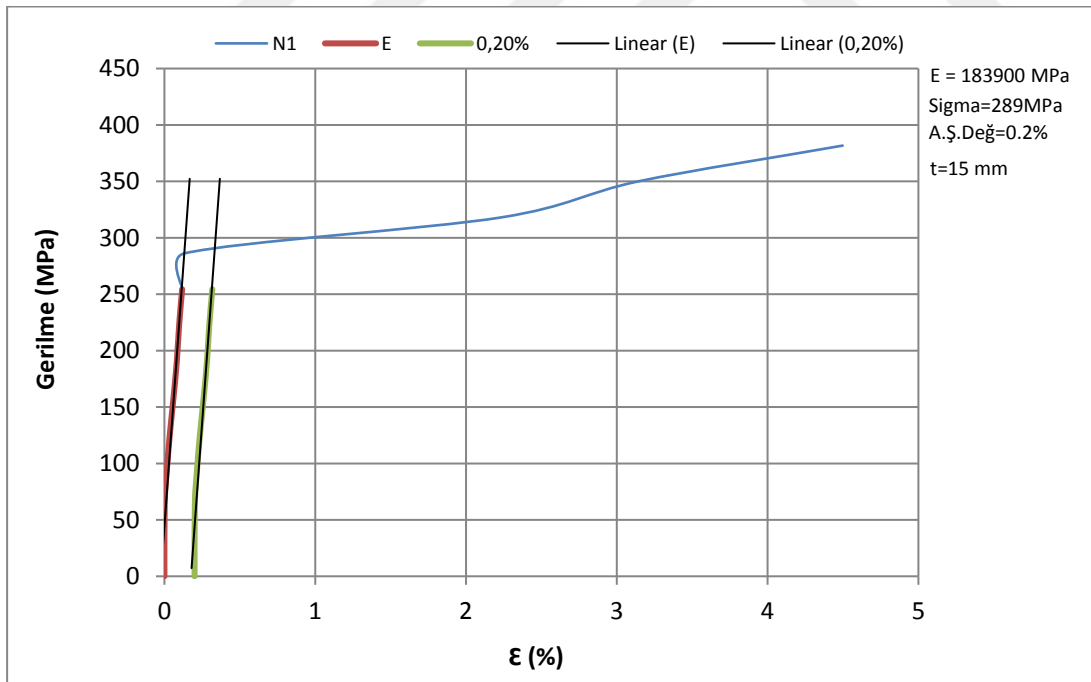
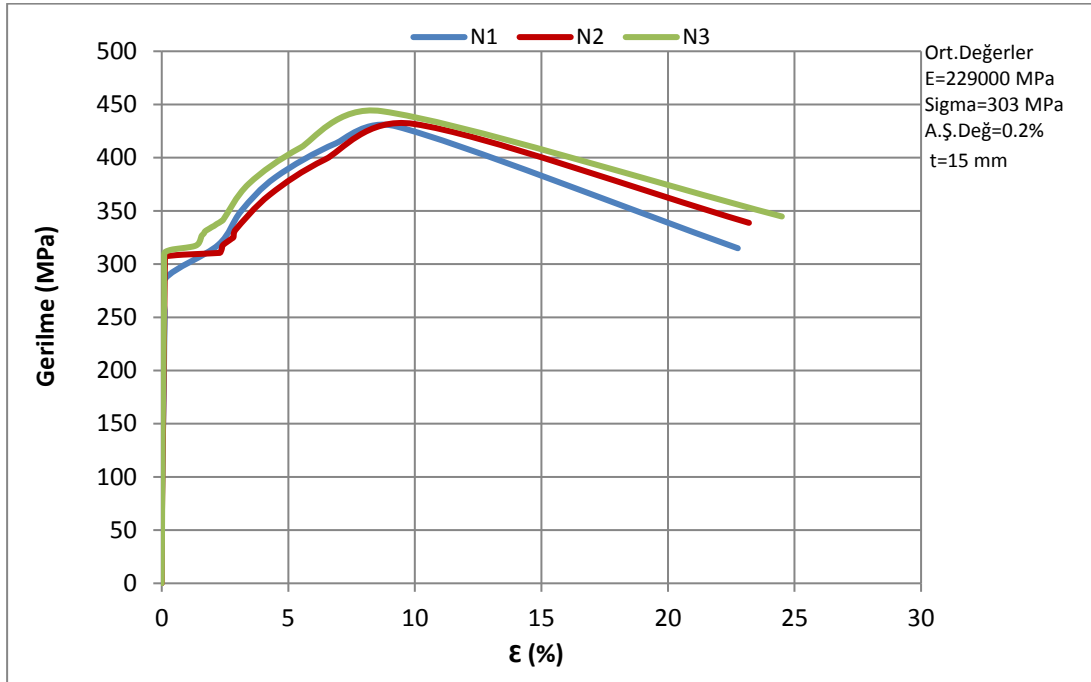
EK B: Düzlem Gerilme Durumu Matlab Programı

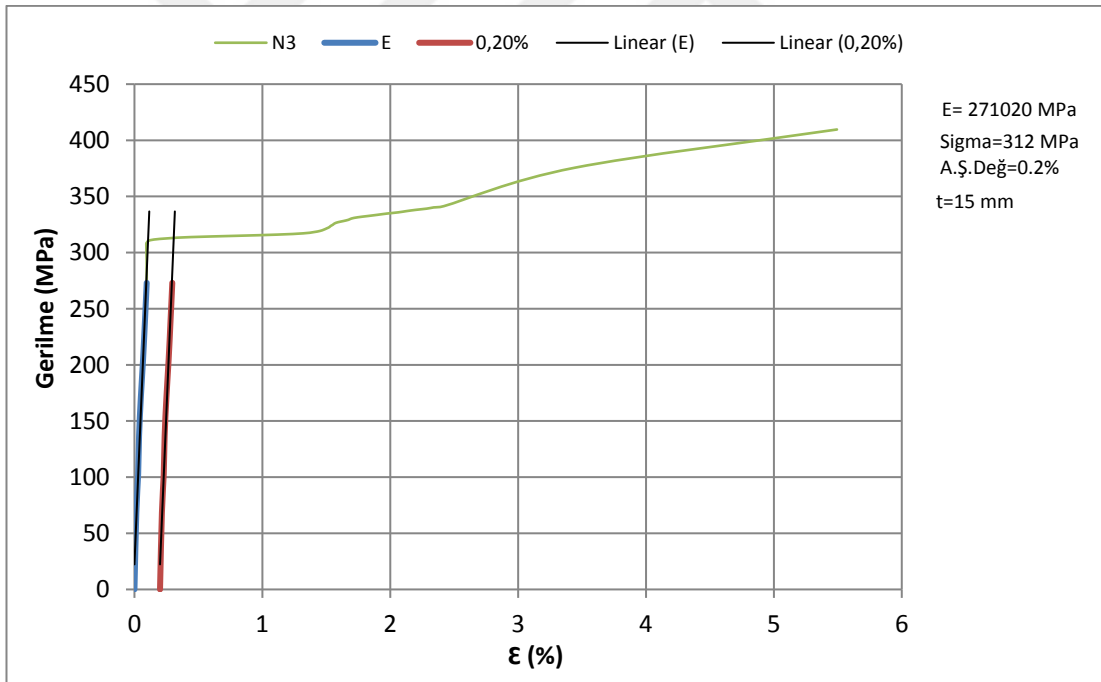
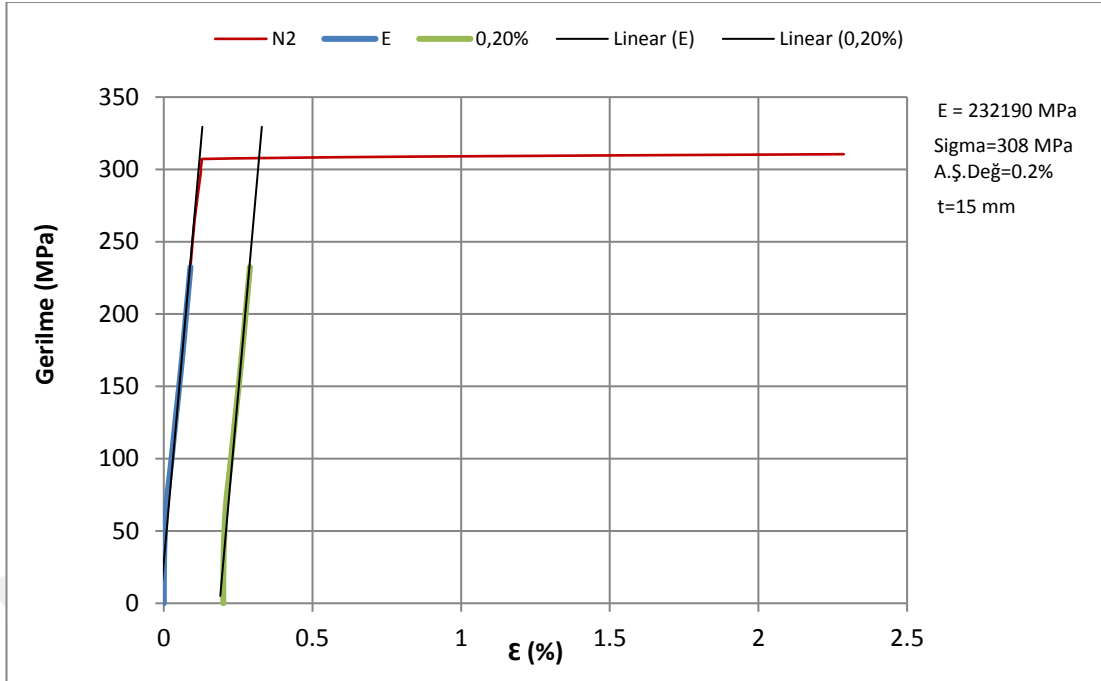
EK C: Düzlem Gerilme Durumu Matlab Mohr Dairesi Programı



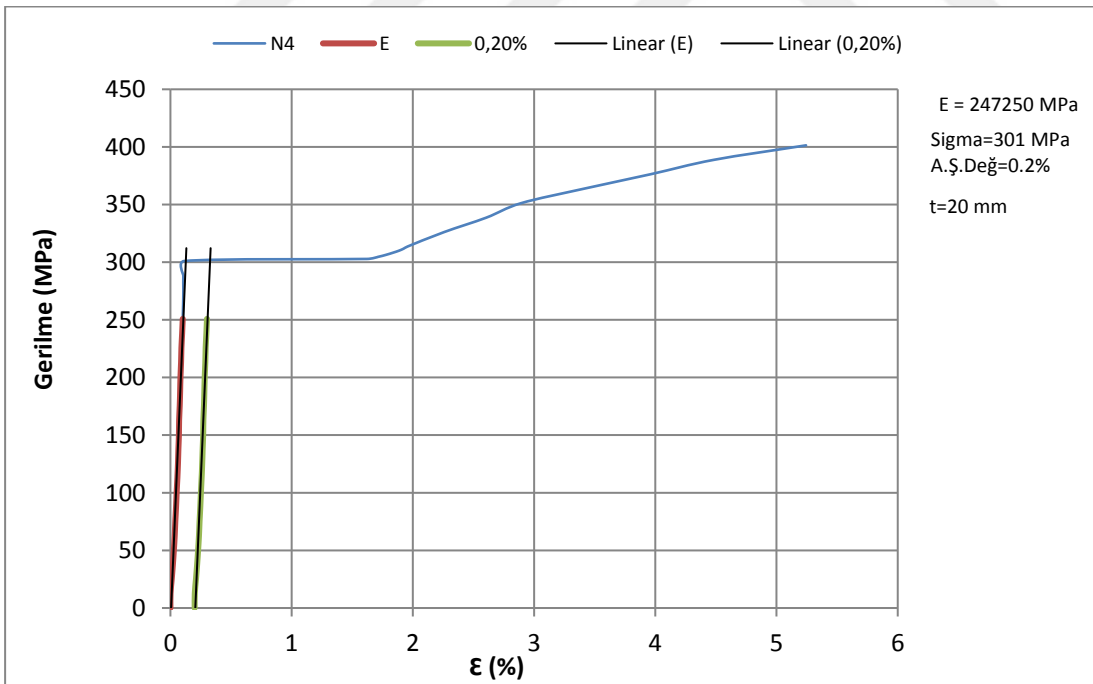
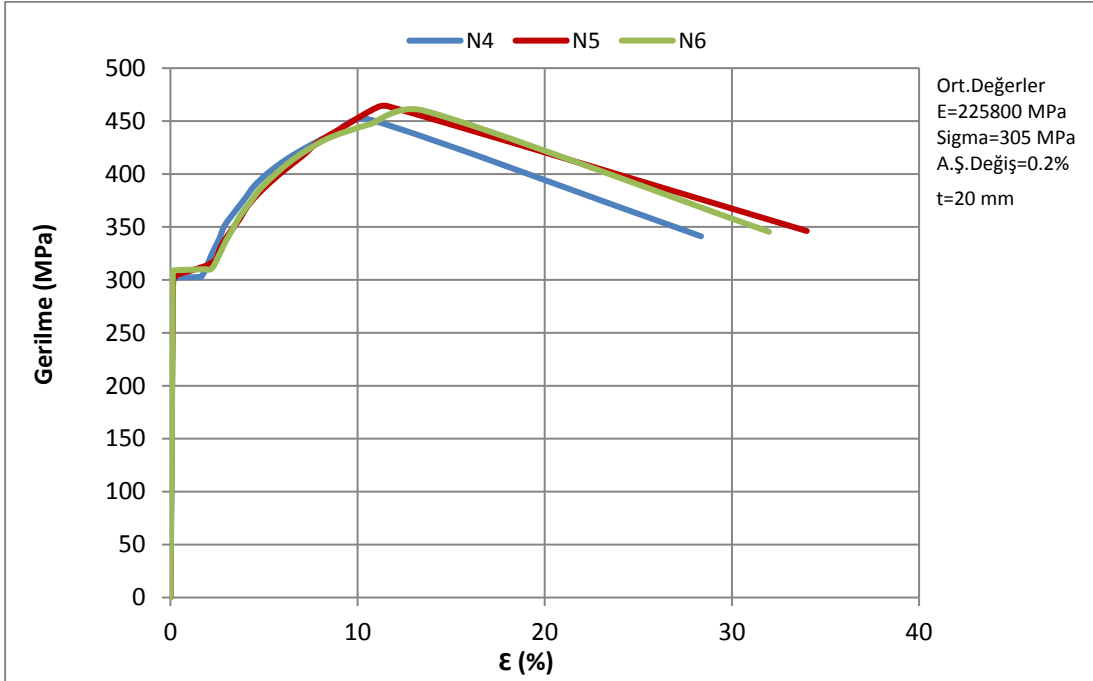
EK A

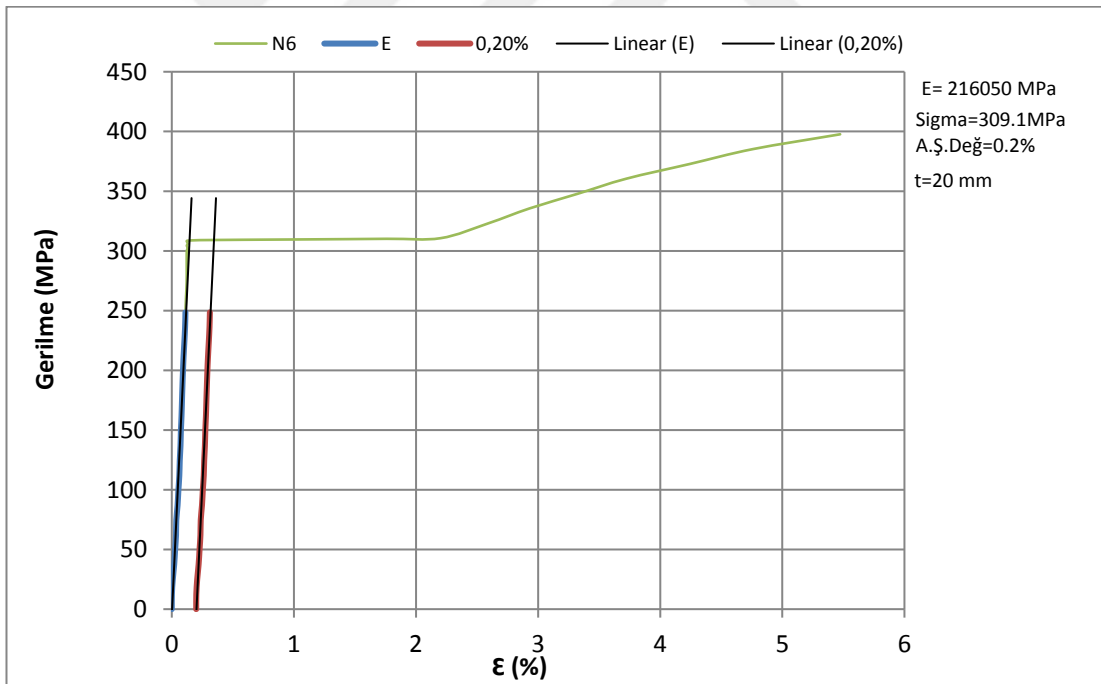
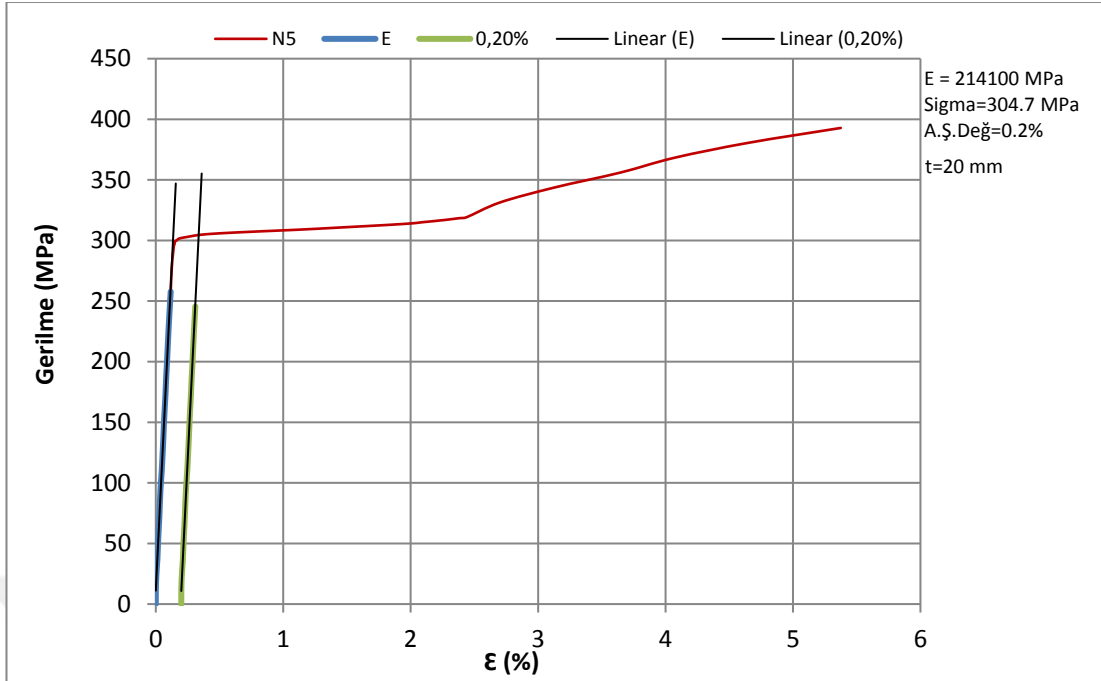
Çizelge A.1 : Gerilme – Birim Şekildeğiştirme Grafikleri(t=15mm).



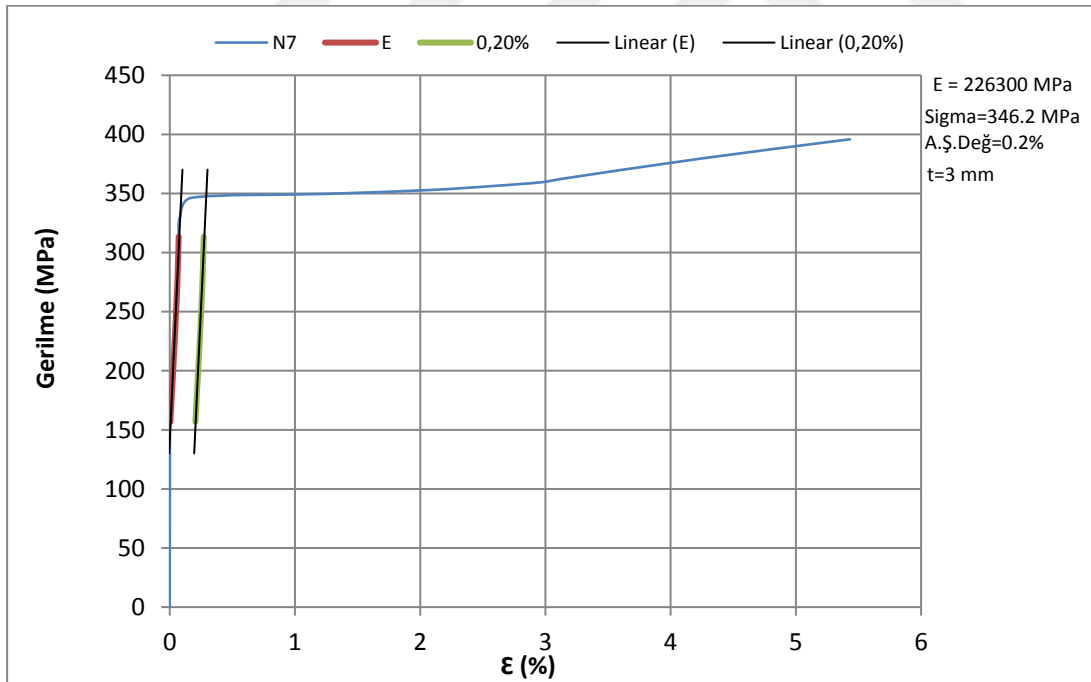
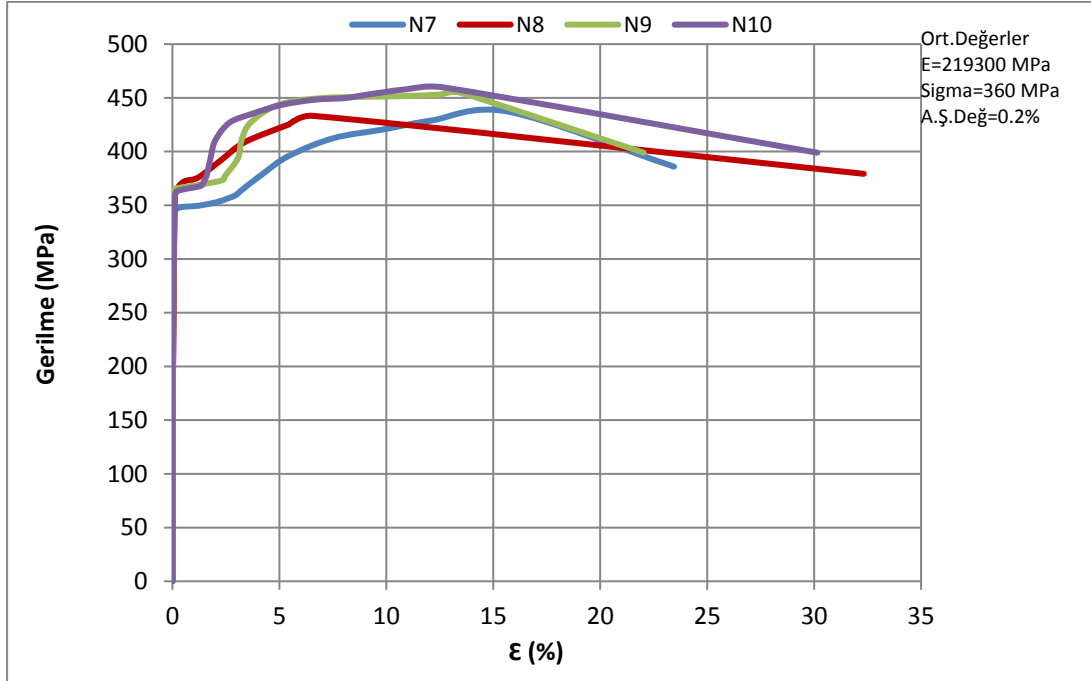


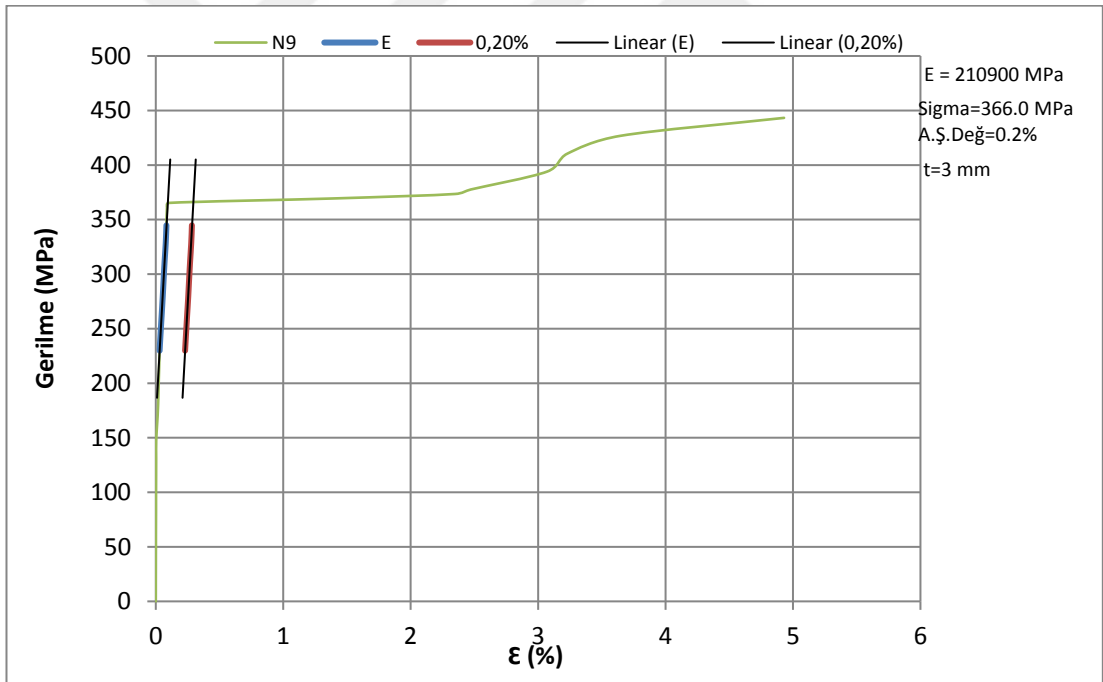
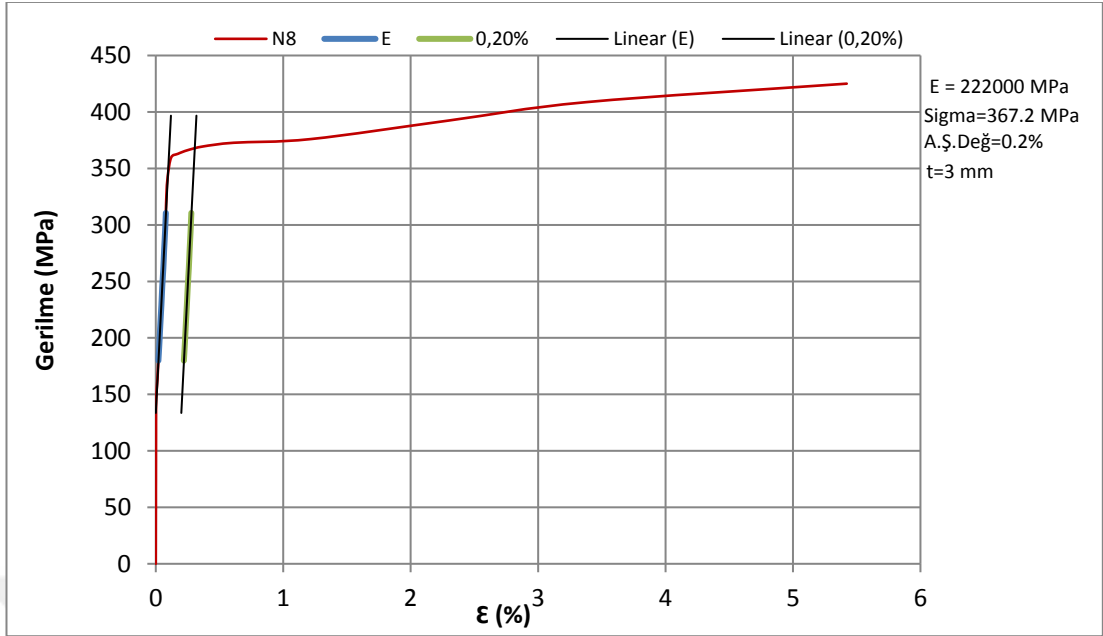
Çizelge A.2 : Gerilme – Birim Şekildeğiştirme Grafikleri(t=20mm).





Çizelge A.3 : Gerilme – Birim Şekildeğiştirme Grafikleri(t=3 mm).





EK B

Şekil A.1 : Düzlem Gerilme Durumu Matlab Programı.

```
% DÜZLEM GERİLME DURUMU ŞEKİL DEĞİŞTİRME PROGRAMI
% SON GÜNCELLEME 02052013
% Mehmet Haşim KISA (mhkisa@itu.edu.tr)
prompt={'\theta_1(\circ)', '\theta_2(\circ)', '\theta_3(\circ)', 'E(MPa)', '\epsilon'};
name='Uzama Ölçerlerin Açılırları, Elastisite Modülü, Poisson Oranı';
numlines=1;
defaultanswer={'315', '0', '45', '215000', '0.3'};
options.Resize='on';
options.WindowStyle='normal';
options.Interpreter='tex';
answer=inputdlg(prompt, name, numlines, defaultanswer, options);
S = [answer(1) answer(2) answer(3) answer(4) answer(5)];
%% Veri Dosyasının gösterilmesi
[filename, pathname]=uigetfile('*.txt', 'Veri dosyasını seç!');
epsilon=load ([pathname filename]);
Epsilona = epsilon(:,1);
Epsilonb = epsilon(:,2);
Epsilonc = epsilon(:,3);

theta1=str2double(S(1,1))*pi/180;
theta2=str2double(S(1,2))*pi/180;
theta3=str2double(S(1,3))*pi/180;
E=str2double(S(1,4));
poss =str2double(S(1,5));
%% Dönüşüm Matrisinin Oluşturulması

A=[cos(theta1)^2 sin(theta1)^2 cos(theta1)*sin(theta1); cos(theta2)^2 sin(theta2)^2 cos(theta2)*sin(theta2); cos(theta3)^2 sin(theta3)^2 cos(theta3)*sin(theta3)];
C=[1 -poss; -poss 1];
%% Kayma Modülü
G=E*(2*(1+poss))^-1;
%% Normal Gerilmeler
for i=1:length(Epsilona)
    B=[Epsilona(i,1); Epsilonb(i,1); Epsilonc(i,1)];
    EpsilonxEpsilyonGammaxy=inv(A)*B;

    Epsilonx(i,1)=EpsilonxEpsilyonGammaxy(1,1);
    Epsilyon(i,1)=EpsilonxEpsilyonGammaxy(2,1);
    Gammaxy(i,1)=EpsilonxEpsilyonGammaxy(3,1);
    Epsilonxy(i,1)=Gammaxy(i,1)/2;

    ExEpsilonxEpsilyon=E.*[Epsilonx(i,1); Epsilyon(i,1)];
    SigmaSigma=inv(C)*ExEpsilonxEpsilyon;

    Sigma(i,1)=SigmaSigma(1,1);
    Sigmay(i,1)=SigmaSigma(2,1);
    Sigmaz(i,1)=0;
    Epsilonz(i,1)=(-poss*(Sigma(i,1)+Sigmay(i,1)))/E;
    %% Kayma Gerilmeleri
    Tauxy(i,1)=G*Gammaxy(i,1);
    %% Asal Normal Gerilmeler
    Sigma1(i,1)=0.5*(Sigma(i,1)+Sigmay(i,1))+((0.5*(Sigma(i,1)-Sigmay(i,1)))^2+Tauxy(i,1)^2)^0.5;
```

```

        Sigma2(i,1)=0.5*(Sigmax(i,1)+Sigmay(i,1))-
        ((0.5*(Sigmax(i,1)-Sigmay(i,1)))^2+Tauxy(i,1)^2)^0.5;
        Sigma3(i,1)=0;
        %% Asal Uzama Oranları
Epsilon1(i,1)=0.5*(Epsilonx(i,1)+Epsilyon(i,1))+((0.5*(Epsilonx(i,1)
-Epsilyon(i,1)))^2+(Gammaxy(i,1)/2)^2)^0.5;
        Epsilon2(i,1)=0.5*(Epsilonx(i,1)+Epsilyon(i,1))-
        ((0.5*(Epsilonx(i,1)-Epsilyon(i,1)))^2+(Gammaxy(i,1)/2)^2)^0.5;
        Epsilon3(i,1)=-poss*(Sigma1(i,1)+Sigma2(i,1))/E;
        %% Düzlem İçi En Büyük Kayma Açısı (Mutlak Değer)
        a=Epsilon1(i,1);
        b=Epsilon2(i,1);
        Epsilonxymax(i,1)=abs(a-b)/2;
        Gammamaxinplane(i,1)=2*Epsilonxymax(i,1);
        %% Düzlem İçi En büyük Kayma Gerilmeleri (Mutlak Değer)
        Taumaxinplane(i,1)=G*Gammamaxinplane(i,1);
        %% Düzlem Dışı En büyük Kayma Açısı (Mutlak Değer)
        c=Epsilon3(i,1);
        t=max(a,b);
        l(i,1)=max(t,c);
        g=min(a,b);
        h(i,1)=min(g,c);
        Gammamax(i,1)=(l(i,1)-h(i,1));
        %% En büyük Kayma Gerilmesi (Mutlak Değer)
        Taumax(i,1)=G*Gammamax(i,1);
end
%% Grafiklerin Çizdirilmesi
figure
plot(Epsilonx,'r')
title('\epsilon_x Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_x')
figure
plot(Epsilyon,'r')
title('\epsilon_y Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_y')
figure
plot(Epsilonz,'r')
title('\epsilon_z Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_z')
figure
plot(Gammaxy,'r')
title('\gamma_{xy} Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\gamma_{xy}')
figure
plot(Sigmax,'r')
title('\sigma_x Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\sigma_x (MPa)')
figure
plot(Sigmay,'r')
title('\sigma_y Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\sigma_y (MPa)')
figure
plot(Sigmaz,'r')
title('\sigma_z Grafiği')
xlabel('Adım')

```

```

ylabel('\sigma_z (MPa)')
figure
plot(Tauxy, 'r')
title('\tau_{xy} Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\tau_{xy} (MPa)')
figure
plot(Sigma1, 'r')
title('\sigma_1 Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\sigma_1 (MPa)')
figure
plot(Sigma2, 'r')
title('\sigma_2 Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\sigma_2 (MPa)')
figure
plot(Epsilon1, 'r')
title('\epsilon_1 Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_1')
figure
plot(Epsilon2, 'r')
title('\epsilon_2 Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_2')
figure
plot(Epsilon3, 'r')
title('\epsilon_3 Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_3')
figure
plot(Epsilonxymax, 'r')
title('\epsilon_{xy}_{max} Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\epsilon_{xy}_{max}')
figure
plot(Gammamaxinplane, 'r')
title('\gamma_{max}_{inplane} Grafiği')
xlabel('Adım')
ylabel('\gamma_{max}_{inplane}')

figure
plot(Epsilon1, 'r')
hold on
plot(Epsilon2, 'b')
hold on
plot(Epsilon3, 'g')

```

Şekil A.2 : Düzlem Gerilme Durumu Matlab Mohr Dairesi Programı.

```
% 3D Mohr Dairesi
% Giriş Diyalog Kutusu
prompt={'\epsilon_x', '\epsilon_y', '\gamma_{xy}', '\epsilon_3'};
name='Uzama oranı bileşenlerinin girilmesi';
numlines=1;
defaultanswer={'80', '1080', '392.6', '70'};
options.Resize='on';
options.WindowStyle='normal';
options.Interpreter='tex';
answer=inputdlg(prompt, name, numlines, defaultanswer, options);

% Uzama oranı tansörü, Merkez ve Dairenin Yarıçapı
S = [str2double(answer(1)) str2double(answer(3));
str2double(answer(3)) str2double(answer(2)); str2double(answer(4))
0];
U = [S(1,1) (S(1,2)/2); (S(2,1)/-2) S(2,2); S(3,1) S(3,2)];
Center = (U(1,1)+U(2,2))/2;
R = sqrt(((U(1,1)-U(2,2))/2)^2+(U(1,2))^2);
if U(3,1)>(Center+R)
    R2=abs(U(3,1)-(Center+R))/2;
    Center2=((Center+R)+U(3,1))/2;
    R3=abs(U(3,1)-(Center-R))/2;
    Center3=(U(3,1)+(Center-R))/2;
end
if U(3,1)<(Center-R)
    R2=abs((Center-R)-U(3,1))/2;
    Center2=((Center-R)+U(3,1))/2;
    R3=abs((Center+R)-U(3,1))/2;
    Center3=((Center+R)+U(3,1))/2;
end
if (Center-R)<U(3,1)&&U(3,1)<(Center+R)
    R2=abs(U(3,1)-(Center-R))/2;
    Center2=(U(3,1)+(Center-R))/2;
    R3=abs((Center+R)-U(3,1))/2;
    Center3=((Center+R)+U(3,1))/2;
end
% Mohr Dairesinin Çizimi
hold on
Daire_1 = circle([Center,0],R,100000,'-k');
Daire_2 = circle([Center2,0],R2,100000,'-k');
Daire_3 = circle([Center3,0],R3,100000,'-k');
plot([U(1,1), U(2,2)], [U(1,2), U(2,1)], 'k-', 'LineWidth', 2) %X, Y
arasındaki doğru
plot(Center,0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Center
plot(U(1,1),U(1,2), 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') %X
plot(U(2,2),U(2,1), 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') %Y
plot(Center,R, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Gamma_max_inplane/2
plot(Center,-R, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Gamma_max_inplane/2
(negative)
plot(Center+R, 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_1
plot(Center-R, 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_2
plot(U(3,1), 0, 'ko', 'MarkerFaceColor', 'k') % Epsilon_3
% Çizim alanı seçenekleri
set(Daire_1, 'Color', 'k', 'LineWidth', 2) %Epsilon_1 ve Epsilon_2
arasındaki daire bolt.

% Koordinatlandırma
```

```

text(U(1,1)+R/12,U(1,2),sprintf('X (%d, %d)',U(1,1),U(1,2)),...
    'HorizontalAlignment','left','FontSize',16)
text(U(2,2)-R/12,U(2,1),sprintf('Y (%d, %d)',U(2,2),U(2,1)),...
    'HorizontalAlignment','right','FontSize',16)
text(Center,1.1*R,'\gamma_{max-inplane}/2',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',12)
text(Center,-1.1*R,'\gamma_{max-inplane}/2',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',12)
text(Center+1.1*R,R/12,'\epsilon_{1}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)
text(Center-1.1*R,R/12,'\epsilon_{2}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)
text(U(3,1),R/12,'\epsilon_{3}',...
    'HorizontalAlignment','center','FontSize',14)
% Çizdirme seçenekleri
set(gca,'LineWidth',2,'FontSize',24,'FontWeight','normal','FontName',
    'Times')
set(get(gca,'XLabel'),'String','\epsilon
','FontSize',24,'FontWeight','bold','FontName','Times')
set(get(gca,'YLabel'),'String','\gamma/2
(rad)','FontSize',24,'FontWeight','bold','FontName','Times')
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',scrsz)
set(gcf,'Position',[1 1 1000 1000])
hold off

```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet Haşim KISA

Doğum Yeri ve Tarihi: Selçuklu–1990

Adres: Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
KARABÜK

E-Posta: mhasimkisa@karabuk.edu.tr, mhasimkisa@gmail.com

Lisans: Aksaray Üniversitesi