



**BETONARME KOLONLARIN  
ŞEKİL DEĞİŞTİRME KAPASİTELERİNİN  
DEĐERLENDİRMEŐİ**

**Muhammed Alperen ÖZDEMİR**

**Doktora Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ**

**2019**

**Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**

**BETONARME KOLONLARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME KAPASİTELERİNİN**  
**DEĞERLENDİRMESİ**

**Muhammed Alperen ÖZDEMİR**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlker KAZAZ**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**

**Erzurum**

**2019**

**Her hakkı saklıdır**

T.C.  
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEZ ONAY FORMU

---

**BETONARME KOLONLARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME KAPASİTELERİNİN  
DEĞERLENDİRMESİ**

Prof. Dr. İlker KAZAZ danışmanlığında, Muhammed Alperen ÖZDEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 02 / 09 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **Oy birliği / Oy çokluğu ile (5/5)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ahmet YAKUT	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. İlker KAZAZ	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Barış BİNİCİ	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Fatih YILDIZ	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

**Doç. Dr. Arzu GÖRMEZ**  
**Enstitü Müdürü**

## **ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

02 / 09 / 2019

Muhammed Alperen ÖZDEMİR

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# BETONARME KOLONLARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME KAPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Muhammed Alperen ÖZDEMİR

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Son yıllarda deprem etkisi altındaki yapıların değerlendirilmesinde kuvvete dayalı tasarım yöntemlerinin yerine şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Binaların depreme dayanıklı tasarımı ve mevcut yapıların deprem etkisi altında performanslarının belirlenmesinde; Türkiye’de 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018), Avrupa’da Eurocode 8 (CEN 1998-3:2005), Amerika’da ise ASCE/SEI 41 esas alınmaktadır. Mevcut yönetmeliklerin dışında araştırmacıların da yapı elemanlarının performanslarını belirlemek için önerdikleri formüller bulunmaktadır. Ancak yönetmeliklerde öngörülen hasar sınırlarının betonarme kolonlar için çok genel olduğu, farklı kolon tasarım değişkenleri göz önünde bulundurulduğunda aşırı emniyetli tarafta kalırken, yüksek mukavemetli beton ile üretilmiş kolonlardaki gibi bazı durumlarda ise güvenilir sonuçlar vermediği araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Yönetmeliklerde verilen bu sınırlar dikkate alındığında deprem etkisi altında mevcut yapıların değerlendirilmesi ve tasarımında yanıtıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada sonlu eleman yöntemi kullanılarak iyi kalibre edilmiş bir model yardımıyla farklı tasarım değişkenlerine sahip dikdörtgen kesitli betonarme kolon modelleri analiz edilmiş, şekil değiştirme sınırları ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Parametrik çalışmayla elde edilen şekil değiştirme değerleri yönetmeliklerde verilen ve araştırmacılar tarafından önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda betonarme yapı elemanlarının sismik değerlendirmesinde daha etkin kullanılacak ve önemli kolon tasarım parametrelerinin de etkin olduğu bir bağıntı elde edilmiştir.

**2019, 378 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Kolon, Hasar Limitleri, Şekil Değiştirme Sınırları, Dönme Sınırları, Nihai Deformasyon, Performans Değerlendirmesi

## ABSTRACT

Ph.D

### EVALUATION OF DEFORMATION LIMITS FOR REINFORCED CONCRETE COLUMNS

Muhammed Alperen ÖZDEMİR

Erzurum Technical University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlker KAZAZ

In recent years, instead of force-based design methods, deformation-based design methods have been widely used in the evaluation of structures under earthquake attack. In Turkey Turkish Seismic Code (2018), in Europe, Eurocode 8 (2005) and in the USA ASCE/SEI 41 (2017) for structures are being used in regards to earthquake resistant design of buildings and evaluation of the performance of existing structures under seismic attack. In addition to the existing regulations, there are empirical formulas proposed by the researchers to determine the performance of the structural building elements. However, it is observed that the damage limits stipulated in the regulations are very general for reinforced concrete columns. When these limits given in the regulations are taken into consideration, misleading results can be obtained in the evaluation and design of existing structures under the influence of seismic loads. In this study, rectangular reinforced concrete column models with different design variables were analyzed by means of finely calibrated model by using finite element method and the relationships between deformation limits and design parameters were examined. Calculated deformation values with parametric study were compared with deformation limits in codes and proposed equations by researchers. As a result of this study, a correlation was obtained which could be used more effectively in seismic evaluation of reinforced concrete structural elements and important column design parameters were also effective.

**2019, 378 page**

**Keywords:** RC Column, Performance Limit, Strain Limit, Rotation Limit, Ultimate Deformation, Performance Assessment

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde; engin bilgisinden, aydınlatıcı ve ufuk açıcı deneyimlerinden yararlandığım, çalışma boyunca bana yüreklendirici ve yapıcı eleştiri atmosferi sağlayan danışman hocam Prof. Dr. İlker KAZAZ'a teşekkür ederim. Karşılaştığım problemlerin çözümünde çalışma boyunca olduğu gibi gelecekte de rehberliğine ihtiyaç duyacağım değerli hocamın danışmanlığında bu tezin hazırlanmış olması benim için büyük bir ayrıcalık ve fırsat olduğu kadar mutluluk vericidir.

Tezin hazırlanması ve sonuçlandırılmasında cömert katkılarını, sonsuz sabır ve desteklerini benden esirgemeyen tez izleme üyelerim Doç. Dr. Merve SAĞIROĞLU ve Doç. Dr. Fatih YILDIZ'a da teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bizleri kırmayıp savunma jürime katılan ve çalışmayı detaylı bir biçimde inceleyip, kusursuz tavsiyeler veren, tezin eksiklerinin giderilmesi hususunda faydalı geri bildirimlerde ve yorumlarda bulunan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ahmet YAKUT'a ve Prof. Dr. Barış BİNİCİ'ye de ayrıca minnettarım.

Doktora dersleri süresince bilgilerinin yanı sıra seçkin kişilikleriyle de bana örnek olan hocalarıma, gerek yurt içindeki gerekse yurt dışındaki tüm eğitim hayatım boyunca gelişimime katkı sağlayan eğitimcilere ve -burada isimlerini teker teker saymanın mümkün olmadığı- eğitim camiası içerisinde/dışarısında yer alan ve yollarımın keşiştiği tüm arkadaşlarıma da bu çalışma vesilesiyle teşekkür ederim.

Ve AİLEM... Beni yetiştiren anneme, kendisi de yıllarını eğitime adanmış babama, her ihtiyacım olduğunda yanımda bulduğum kardeşlerime ve çalışmanın yürütülmesi aşamasında zaman zaman kendilerinden ayrı kaldığım kıymetli yoldaşıma ve biricik çocuklarım Z. Özey ile Asya'ya gösterdikleri özveri, anlayış, sabır ve desteklerinden ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Muhammed Alperen ÖZDEMİR**  
**Eylül 2019**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>6</b>
2.1. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007).....	6
2.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018).....	8
2.3. ASCE/SEI 41-13 (2013) .....	12
2.4. ASCE/SEI-41 (2017) .....	18
2.5. Eurocode 8 Bölüm-3 (EN 1998-3: 2005).....	19
2.6. Araştırmacılar Tarafından Önerilen Hasar Sınır Değerleri.....	23
2.6.1. Panagiotakos ve Fardis (2001) .....	23
2.6.2. Grammatikou vd. (2016) .....	24
2.6.3. Elwood ve Moehle (2005) .....	24
2.6.4. Haselton vd. (2008) .....	25
2.6.5. Yakut ve Solmaz (2012) .....	25
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>30</b>
3.1. Deneysel Verilerin Derlenmesi.....	30
3.2. Materyal ve Yöntemin Belirlenmesi .....	34
3.3. Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması.....	38
3.4. Sonlu Eleman Modelinde Kullanılan Malzeme Modelleri .....	43
3.4.1. Beton ve donatı için kullanılan malzeme modelleri .....	43
3.4.2. Yay elemanı için kullanılan malzeme modelleri .....	46
3.5. Nihai Hasar Sınır Durumunun Belirlenmesi.....	52
3.6. Plastik Mafsallı Boyunun Belirlenmesi .....	53
3.7. Sonlu Eleman Analizinde Şekil Değiştirme Değerlerinin Elde Edilmesi.....	56
3.8. Akma Anının Belirlenmesi .....	60
3.9. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması.....	61
3.10. Sonlu Eleman Analizi ve Kesit Analizi İlişkisi .....	63
3.11. Farklı Tasarım Değişkenlerine Sahip Kolonların Analizleri.....	68



3.11.1.Eksenel yük oranı ve sargı donatısının şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	73
3.11.2.Kolon en-boy oranı ve beon basınç dayanımının hasar ölçütleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	74
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>	<b>75</b>
4.1. Hasar Sınırlarının Deneysel Çalışma ve SEA Sonuçlarıyla Karşılaştırılması .....	75
4.1.1. Plastik dönmeye bağlı hasar sınırları .....	75
4.1.1.1.ASCE/SEI 41 (2013) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması .....	78
4.1.1.2.ASCE/SEI 41 (2017) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması .....	81
4.1.1.3.Haselton vd. (2008) tarafından önerilen plastik dönme sınırının karşılaştırılması .....	83
4.1.1.4.Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması.....	84
4.1.2. Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırları.....	90
4.1.2.1.Eurocode 8 Bölüm-3 plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması.....	91
4.1.2.2.Panagiotakos ve Fardis (2001) .....	92
4.1.2.3.Elwood ve Moehle (2005).....	92
4.1.2.4.Yakut ve Solmaz (2012).....	93
4.1.3. Beton birim şekil değiştirme hasar sınırları.....	95
4.1.3.1.Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007).....	95
4.1.3.2.Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) .....	96
4.1.3.3.Eurocode 8 Bölüm-3 (2005).....	101
4.1.3.4.Grammatikou vd. (2016).....	101
4.1.4. Donatı çeliği birim şekil değiştirme hasar sınırları .....	102
4.1.4.1.Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007).....	102
4.1.4.2.Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018).....	103
4.2. Etkin Kesit Rijitliklerinin Karşılaştırılması .....	106
4.3. Tasarım Parametrelerinin Hasar Sınırları ile İlişkisi.....	109
4.3.1. Potansiyel etkin tasarım parametreleri .....	109
4.3.2. Sargı donatısının hacimsel oranının ( $\rho_s$ ) birim şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisi.....	112
4.3.3. Sargı donatısının hacimsel oranının ( $\rho_s$ ) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi .....	114
4.3.4. Eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) birim şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisi .....	119
4.3.5. Eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi.....	122
4.3.6. Kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) birim şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisi.....	122
4.3.7. Kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi.....	123

4.4. Hasar Sınırları İçin Yeni Bağntı Önerilmesi.....	124
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>130</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>133</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>138</b>
EK-1 .....	138
EK-2 .....	212
EK-3 .....	215
EK-4 .....	227
EK-5 .....	230
EK-6 .....	244
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>378</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$A_c$	Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı [mm <sup>2</sup> ]
$A_{ck}$	Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı [mm <sup>2</sup> ]
$A_g$	Kolonun kesit alanı [mm <sup>2</sup> ]
$A_{sh}$	Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit) [mm <sup>2</sup> ]
$A_v$	Enine donatı alanı [mm <sup>2</sup> ]
$(EI)_e$	Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
$L$	Kolon boyu [m]
$L_p$	Plastik mafsallık boyu [m]
$L_{pz}$	Plastik bölge boyu [m]
$L_s$	Kesme açıklığı [m]
$M_y$	Etkin akma momenti [kNm]
$N_{UD}$	Eksenel kuvvet (ASCE/SEI-41) [kN]
$P$	Eksenel yük [kN]
$Q$	Hareketli yük etkisi
$Q_e$	Etkin hareketli yük
$V$	Kolonda oluşan kesme kuvveti
$V_y$	Kolon, Kiriş ve perdelerde esas alınan tasarım kesme kuvveti
$V_{Col0E}$	Betonarme kolonun kesme mukavemeti
$V_p$	Kolonun eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlayan kesme kuvveti
$V_0$	Kolonda hesaplanan kesme mukavemeti
$V_y$	Gözönünde bulundurulmuş doğrultuda binanın etkili akma dayanımı
$V_{yE}$	Beklenen akma mukavemeti
$a_i$	Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$b_o$	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu

$b_k$	Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
$b_w$	Kolonun genişliği
$cc$	Beton örtüsü
$d$	Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_b$	Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) [m]
$f'_c$	Betonun karakteristik basınç dayanımı [Mpa]
$f_{cc}$	Sargılı beton basınç dayanımı [Mpa]
$f_{ce}$	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [Mpa]
$f_{cE}$	Betonun beklenen basınç dayanımı [Mpa]
$f_{ck}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı [Mpa]
$f_{ctm}$	Mevcut betonun çekme dayanımı [Mpa]
$f_{ye}$	Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [Mpa]
$f_{yw}$	Enine donatının karakteristik akma dayanımı [Mpa]
$f_{ywe}$	Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı [Mpa]
$f_{yIE}$	Boyuna donatının beklenen akma mukavemeti [Mpa]
$f_{ytE}$	Enine donatının beklenen akma mukavemeti [Mpa]
$h$	Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
$h_o$	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
$s$	Sargı donatısı aralığı [m]
$\Delta$	Yanal öteleme
$\Delta_c$	Plastik mafsal boyunda çekirdek betonu en dış lifi düğüm noktasında ki kısalma
$\Delta_{cu,Cover}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda basınç bölgesi beton en dış lifi düğüm noktasında ki kısalma
$\Delta_{cu,Core}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda basınç bölgesi çekirdek betonu en dış lifi düğüm noktasında ki kısalma
$\Delta_t$	Plastik mafsal boyunda çekme donatısı düğüm noktasında ki uzama
$\Delta_{tu}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda çekme donatısı düğüm noktasında ki uzama
$\alpha_{se}$	Sargı donatısı etkinlik katsayısı

$\beta_c$	Kapalı çatlaklar için kesme kuvveti aktarım katsayısı
$\beta_t$	Açık çatlaklar için kesme kuvveti aktarım katsayısı
$\delta$	Yanal öteleme oranı
$\theta$	Dönme açısı [rad]
$\theta_p$	Plastik dönme açısı [rad]
$\theta_{u,ave}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda beton ve donatı çeliği ortalama birim şekil değiştirmeleri kullanılarak hesap edilen dönme [rad]
$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_y$	Akma durumu için yer değiştirmiş eksen dönmesi [rad]
$\theta_{y,EXP}$	Deneysel rapor edilen akma dönmesi [rad]
$\varepsilon$	Birim şekil değiştirme
$\varepsilon_{cu,ave}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda basınç bölgesi çekirdek betonunun ortalama birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_{cu,ave,Cover}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda basınç bölgesi betonunun ortalama birim şekil değiştirmesi
$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$(\varepsilon_{cu})_{MN}$	2007 TBDY yönetmeliğine göre Minimum hasar sınırı için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
$(\varepsilon_{cg})_{GV}$	2007 TBDY'ine göre Güvenli hasar sınırı için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi

$(\epsilon_s)_{GV}$	2007 TBDY'ine göre Güvenli hasar sınırı için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$(\epsilon_s)_{MN}$	2007 TBDY'ine göre Minimum hasar sınırı için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s^{(GO)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_{su}$	Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\epsilon_{su,ave}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda çekme donatısının ortalama birim şekil değiştirmesi
$\rho_s$	Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh}$	Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$	İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
$\rho_{sm}$	Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
$\rho_l$	Boyuna donatı oranı
$\rho_t$	Enine donatı oranı
$\phi_{u,ave}$	Plastik mafsal boyunda kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda beton ve donatı çeliği ortalama birim şekil değiştirmeleri kullanılarak hesap edilen eğrilik [ $m^{-1}$ ]
$\phi_y$	Akma eğriliği [ $m^{-1}$ ]
$\phi_u$	Göçme öncesi eğrilik [ $m^{-1}$ ]
$\omega_{we}$	Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı

## **Kısaltmalar**

ASCE/SEI 41	Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings
CEN	European Committee for Standardization
CP	Collapse Prevention
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DL	Damage Limit
EC8-3	Eurocode 8 Part 3
EN	Euro Norm
GÇ	Göçme Sınırı
GÖ	Göçme Öncesi
GV	Güvenlik Hasar Sınırı
IO	Immediate Occupancy
KH	Kontrollü Hasar
LS	Life Safety
LVDT	Bağımsız Doğrusal Pozisyon Sensörü
MN	Minimum Hasar Sınırı
NC	Near Collapse
SD	Significant Damage
SEA	Sonlu Eleman Analizi
SH	Sınırlı Hasar
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
3B	3 Boyutlu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Yük-Şekil değiştirme ilişkisi ve hasar seviyeleri. ....	6
Şekil 2.2 Kesit hasar bölgeleri ve sınır değerleri. (TBDY, 2018).....	9
Şekil 2.3 Kesme kuvveti oranına göre azaltma katsayısının hesaplanması.....	11
Şekil 2.4 ASCE/SEI 41 (2013) Kuvvet-Deformasyon ilişkisi (Backbone) modeli.....	13
Şekil 2.5 Kuvvet-Şekil Değiştirme ilişkisi ve hasar sınırları (ASCE/SEI 41, 2013).....	14
Şekil 2.6 Çift eğrilikli eğilme altındaki tipik bir eğilme elemanının şekil değiştirme özellikleri. ....	20
Şekil 2.7 Moment-Yer değiştirmiş eksen dönmesi ilişkisi ve performans sınırları (Acun ve Sucuoğlu, 2010) .....	28
Şekil 3.1 Yükleme protokolleri.....	30
Şekil 3.2 Yükleme protokollerine bağlı yapı elemanlarının kuvvet-ötelenme oranı grafikleri.....	31
Şekil 3.3 Kolon deney düzeneği (Mo, Y. L., and Wang, S. J., 2000).....	36
Şekil 3.4 Kolon sonlu eleman modeli.....	36
Şekil 3.5 Katı eleman modelinde sonlu elemanlar ve düğüm noktaları .....	40
Şekil 3.6 SOLID65 ve LINK180 elemanları düğüm noktalarının COMBIN39 elemanı ile birleştirilmesi.....	41
Şekil 3.7 Saatçioğlu ve Razvi (1992) beton modeli.....	45
Şekil 3.8 Sonlu eleman analizinde beton ve çelik için kullanılan malzeme modelleri (Kazaz ve Gülkan, 2012).....	46
Şekil 3.9 Lowes (2002) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılma modeli .....	47
Şekil 3.10 Bağ gerilmesi-sıyrılma modellerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.11 COMBIN39 yay elemanı malzeme modeli için kullanılan Eligehausen vd. (1983) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılma modeli.....	51
Şekil 3.12 Sonlu eleman analizinde kullanılan bağ gerilmesi-sıyrılma modellerinin karşılaştırılması .....	52
Şekil 3.13 Plastik mafsal uzunluğunun belirlenmesi .....	54
Şekil 3.14 Hesap edilen plastik mafsal uzunlukları ile sekiz farklı plastik mafsal formülünden elde edilen plastik mafsal uzunluklarının karşılaştırılması .....	55
Şekil 3.15 Plastik mafsal mesafesinde ve eleman seviyelerinde birim şekil değiştirmeler, dönme açısı ve eğriliğin hesaplanması.....	57



<b>Şekil 3.16</b> Kolon en kesitinde yer değiştirmelerin alındığı düğüm noktaları .....	58
<b>Şekil 3.17</b> (a) Birim şekil değiştirme, (b) eğrilik ve (c) dönme profilleri.....	59
<b>Şekil 3.18</b> Plastik mafsal boyunda ve birim şekil değiştirme profillerinden elde edilen değerlerinin karşılaştırılması.....	59
<b>Şekil 3.19</b> Kuvvet-Ötelenme grafiğinin iki doğrulu hale getirilmesi .....	61
<b>Şekil 3.20</b> Deneysel ve Sonlu eleman analiz sonuçlarının karşılaştırılması: (a) yanal ötelenme; (b) akma anında yanal ötelenme; (c) kesme kuvveti; (d) plastik dönme.....	62
<b>Şekil 3.21</b> (a)Kuvvet-Yanal ötelenme grafiklerinin karşılaştırılması, (b) Moment-yer değiştirmiş eksen Dönmesi grafiklerinin karşılaştırılması.....	63
<b>Şekil 3.22</b> SEA ve kesit analizinden elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması; (a) beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme ve (b) çelikte meydana gelen birim şekil değiştirme.....	66
<b>Şekil 3.23</b> Kesit analizi ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen Moment-Eğrilik değerleri .....	67
<b>Şekil 3.24</b> Akma ve nihai kolon şekil değiştirme kapasitelerinde sonlu eleman analizi ve kesit analizinde hesaplanan eğrilik değerlerinin karşılaştırılması.....	67
<b>Şekil 3.25</b> 69 adet kolonun sonlu eleman analizi sonucu elde edilen tasarım değişkenleri-hasar ölçütleri arasındaki ilişki.....	71
<b>Şekil 3.26</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan kolonların enine donatının hacimsel oranını TBDY (2018)'de verilen minimum oranı ile karşılaştırılması.....	72
<b>Şekil 3.27</b> (a) Sargı donatısı oranının beton birim şekil değiştirmeye etkisi; (b) Denklem (3.10) ve SEA ile hesaplanan beton birim şekil değiştirmelerin karşılaştırılması .....	73
<b>Şekil 4.1</b> Deneysel çalışmalarda rapor edilen dönme miktarları ve SEA ile hesap edilen dönme değerlerinin karşılaştırılması.....	76
<b>Şekil 4.2</b> Kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığında hesap edilen kesit dönmelerinin karşılaştırılması .....	77
<b>Şekil 4.3 Çizelge 2-3</b> 'te verilen tasarım parametreleri ile SEA yardımıyla hesap edilen plastik dönmelerin karşılaştırılması .....	78
<b>Şekil 4.4</b> ASCE/SEI 41 (2013)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	80
<b>Şekil 4.5 Çizelge 2-5</b> 'te verilen tasarım parametreleri ile SEA yardımıyla hesap edilen plastik dönmelerin karşılaştırılması .....	81
<b>Şekil 4.6</b> ASCE/SEI 41 (2017)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	82

<b>Şekil 4.7</b> ASCE/SEI 41 (2017) ve (2013) yönetmeliklerinde verilen hasar sınırlarının karşılaştırılması .....	82
<b>Şekil 4.8</b> Haselton vd. (2008) tarafından önerilen kolon plastik dönme kapasitesinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	83
<b>Şekil 4.9</b> TBDY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	87
<b>Şekil 4.10</b> Sonlu eleman analiziyle elde edilen akma eğriliği ( $\phi_{y,SEA}$ ) ve göçme öncesi toplam eğrilik ( $\phi_{i,SEA}$ ) değerleri kullanılarak hesap edilen plastik dönme sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	88
<b>Şekil 4.11</b> Moment eğrilik analiziyle elde edilen akma eğriliği ( $\phi_{y,SA}$ ) ve göçme öncesi toplam eğrilik ( $\phi_{i,SA}$ ) değerleri kullanılarak hesap edilen plastik dönme sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	89
<b>Şekil 4.12</b> Plastik dönmeye bağlı verilen farklı hasar sınırlarının karşılaştırılması .....	90
<b>Şekil 4.13</b> EN 1998-3 (2005)'te önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	91
<b>Şekil 4.14</b> Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	92
<b>Şekil 4.15</b> Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen yanal ötelenme oranına bağlı hasar sınır değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	93
<b>Şekil 4.16</b> Yakut ve Solmaz (2012) tarafından önerilen yanal ötelenme oranına bağlı hasar sınır değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	94
<b>Şekil 4.17</b> Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırlarının önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırılması .....	95
<b>Şekil 4.18</b> DBYBHY (2007) beton birim şekil değiştirmesine bağlı hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	96
<b>Şekil 4.19</b> TBDY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile hesap edilen sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerleriyle karşılaştırılması .....	99
<b>Şekil 4.20</b> TBDY(2018) yönetmeliğinde sargılı beton en dış lifi için göçme öncesi birim şekil değiştirme sınırı için önerilen 0.018 limiti kaldırılarak yapılan karşılaştırma .....	100
<b>Şekil 4.21</b> Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'te önerilen beton birim şekil değiştirme sınırının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması .....	101

<b>Şekil 4.22</b> Gramatikou vd. (2016) tarafından önerilen hasar sınırı ile SEA ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	102
<b>Şekil 4.23</b> DBYBHY (2007) yönetmeliğinde verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırlarının SEA ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması .....	103
<b>Şekil 4.24</b> TBDY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile hesap edilen donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerleriyle karşılaştırılması .....	105
<b>Şekil 4.25</b> Donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı $\varepsilon_{su}=0.06$ 'ya çıkarılarak oluşturulan hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması. ....	106
<b>Şekil 4.26</b> Kolon kesit rijitlikleri .....	106
<b>Şekil 4.27</b> Denklem (4.5) kullanılarak hesaplanan kolon eğilme rijitlikleri.....	108
<b>Şekil 4.28</b> SEA ve Kesit analiziyle hesap edilen eğilme rijitliklerinin TBDY (2018)'de önerilen etkin eğilme rijitliği değerleriyle karşılaştırılması.....	109
<b>Şekil 4.29</b> Hasar ölçütleriyle farklı tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiler .....	111
<b>Şekil 4.30</b> Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	116
<b>Şekil 4.31</b> Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve kolon boy-en oranının ( $L/h$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	117
<b>Şekil 4.32</b> Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	118
<b>Şekil 4.33</b> Eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve kolon boy-en oranının ( $L/h$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	120
<b>Şekil 4.34</b> Eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	121
<b>Şekil 4.35</b> Kolon boy-en oranı ( $L/h$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi .....	124
<b>Şekil 4.36</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.9) kullanılarak hesap edilen sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	127
<b>Şekil 4.37</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.10) kullanılarak hesap edilen donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	127
<b>Şekil 4.38</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.11) kullanılarak hesap edilen plastik dönme miktarının SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	128

<b>Şekil 4.39</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.12) kullanılarak hesap edilen akma dönmesinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	128
<b>Şekil 4.40</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.13) kullanılarak hesap edilen toplam dönme miktarının SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	129
<b>Şekil 4.41</b> Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.14) kullanılarak hesap edilen nihai eğrilik değerinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	129



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2-1</b> Sargı donatısı detayına bağlı göçme tipleri .....	13
<b>Çizelge 2-2</b> Betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütleri.....	16
<b>Çizelge 2-3 (a)</b> değerinin hesaplanması için kullanılan denklemler.....	17
<b>Çizelge 2-4 (b)</b> değerinin hesaplanması için kullanılan denklemler .....	17
<b>Çizelge 2-5</b> Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütleri.....	19
<b>Çizelge 2-6</b> Yakut ve Solmaz (2012) tarafından parametrik çalışmalarda kullanılan kolonlara ait tasarım değişkenleri ve değer aralıkları .....	26
<b>Çizelge 3-1</b> Deney elemanları ve boyutları .....	33
<b>Çizelge 3-2</b> Denklem (3.2)'da verilen parametrelerin Lettow (2007) tarafından sonlu eleman analizinde kullanması için önerilen değerleri.....	48
<b>Çizelge 3-3</b> Lettow (2007) tarafından önerilen donatı çaplarına bağlı geometrik parametreler.....	48
<b>Çizelge 3-4</b> Juan vd. (2007) tarafından önerilen donatı çaplarına bağlı geometrik parametreler.....	49
<b>Çizelge 3-5</b> Plastik Mafsal Bağıntıları.....	54
<b>Çizelge 3-6</b> Kesit analizinde hasar sınırlarının belirlenmesi .....	65
<b>Çizelge 3-7</b> Sargı donatısı oranı 0.007'den büyük kolonlara ait özellikler, ortalama ve standart sapma ( $\mu \pm \sigma$ ) değerleri .....	70
<b>Çizelge 4-1</b> Performans Düzeylerine bağlı donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırları .....	104

### 1. GİRİŞ

İnsanoğlu, varoluşundan geçirdiğimiz süreye kadar sürekli toplu olarak hareket etme isteği içinde bulunmuştur. Toplu hareket etme isteği insanlarda barınma ihtiyaçlarının doğmasına neden olmuştur. İlk başlarda mağara gibi doğal ortamlarda barınan insanoğlu daha sonrasında kerpiç, taş ve ahşap gibi yapı elamanları kullanarak barınma alanları inşa etmiştir. Zamanın ilerlemesi, teknolojinin gelişmesi ve bağlayıcı malzemelerin kullanılmasıyla modern yapılarının ilk örnekleri oluşmaya başlamıştır.

Teknolojinin ilerlemesi ve nüfusun sürekli artmasıyla insanlar göç eylemi içerisinde olmuşlardır. Nitekim kırsal nüfus kentsel nüfusun oransal olarak altına düşmüş ve kent nüfusları sürekli artış içerisinde olmuştur. Dünya genelinde özellikle de gelişmiş ülkelerde sanayileşme ile birlikte kentleşme hareketleri hızlanmıştır. Kentleşme hareketleri çok eskilere dayanmakla birlikte, son 150 yıldaki hızlı kentleşme, daha ziyade sanayileşmenin ürünüdür. Sanayileşen ülkelerde kırsal nüfus hızla azalmaya, kentsel nüfus ise artmaya başlamıştır fakat bu durum bütün ülkelerde eş zamanlı olarak meydana gelmemiştir (Yılmaz 2015).

Artan kent nüfusu beraberinde ister istemez daha güçlü taşıma kapasitesine sahip geniş açıklıklı yapıların oluşmasını tetiklemiştir. Nitekim 1840'lı yıllarda Fransız çiftçi Lois LAMBOT beton ve demir tel ağı birlikte kullanarak betonarmenin temellerini atmıştır. İlerleyen yıllarda Fransız bahçıvan Joseph MONIER 1850 yılında beton çiçek saksılarına tel donatı koyarak 1867 yılında patent almıştır (Topçu 2012). Sonraki yıllarda Fransız bahçıvan 130 m<sup>3</sup> hacimli betonarme su deposunu, 1875-1877 yılları arasında ise betonarme köprü inşası gerçekleştirmiştir (Topçu 2012). Patent hakları 1879'dan sonra Almanya'da önemsenerek MONIER ismi Almanya'da betonarmenin babası olarak kabul edilmiştir.

1850-1900 yılları arasında İngiltere ve Amerika'da ilk betonarme evler inşa edilmiştir. Yapılan bu inşaatlardan sonra gelişen teknolojiye ayak uyduran yapılaşma sektörü beraberinde yeni inşa yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır.

## 1. GİRİŞ

---

Betonarme çerçevesel yapı sistemleri birçok ülkede yapıların tasarlanmasında kullanılmaktadır. Betonarme kolonlar ise yerçekiminden dolayı oluşan yüklerin yanı sıra depremlerden dolayı oluşan kuvvetler, darbe ve diğer yanal yük etkilerini taşıyarak yapı temeline aktaran yapı sistemlerinin deprem davranışını belirleyen en önemli yapı elemanlarıdır. Yapılarda meydana gelen göçmelerin büyük çoğunluğunda kolonların yükler altında taşıma kapasitelerinin yetersiz kaldığı görülmektedir.

Son yıllarda betonarme çerçevesel yapılarda kuvvet esaslı tasarım yöntemleri yerine yapı sistemlerini oluşturan elemanların şekil değiştirme kapasitelerini esas alan tasarım yöntemlerinin önemi artmıştır. Yeni yaklaşımlarda yapı elemanlarının değerlendirme kriterleri şekil değiştirmeleriyle ilgilidir. Mevcut ve yapılması planlanan binaların sismik değerlendirmesi, tasarımı veya güçlendirilmesi için betonarme kiriş, kolon ve perdelerin deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi performans dayalı deprem mühendisliği açısından önemlidir. Deprem yükleri altında betonarme yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesi kaybına uğramadan ayakta kalması can güvenliği açısından önemli bir kriterdir. Bu sebeple betonarme yapıların birincil bileşeni olan kolonların davranışının anlaşılması tüm yapı sisteminin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Yıllar boyunca betonarme kolonların davranışları araştırılmış olsa da sismik kuvvetler altında betonarme kolonların hasar kapasitesinin belirlenmesi tam anlamıyla çözülebilmemiş bir problem değildir.

Literatürde eleman şekil değiştirme kapasitelerinin tahmininde analitik, yarı analitik ve ampirik modeller bulunmaktadır. Betonarme kolonların hasar kapasitelerinin hesaplanması için yönetmeliklerde bağıntılar verildiği gibi ve araştırmacılar tarafından önerilmiş performans dayalı formüller de bulunmaktadır. Yönetmeliklerde ve daha önce yapılmış çalışmalarda betonarme kolonların hasar sınırları ve bağıntılar, dönme açlarına ( $\theta_p$  ve  $\theta$ ) (CEN 2005; ASCE/SEI 41; Panagiotakos ve Fardis 2001; Haselton vd. 2008), birim şekil değiştirme ( $\varepsilon$ ) (DBYBHY 2007; TBDY 2018; Grammatikou vd. 2016) ve kesit göçmesi anında ki yanal ötelenme oranı ( $\delta$ ) (Elwood ve Moehlo 2005) olarak verilmiştir. Ancak verilen bu bağıntıları ve hasar sınırlarını özellikle birim deformasyona bağlı olanları doğrulamak için gerçek ölçekli az sayıda kolon test sonucu kullanılmıştır. Performans limitlerini değerlendirmek için Acun ve Sucuoğlu (2010) tarafından yapılan tam boyutlu 12 adet kolon deneyi sonucunda EC8-3 (CEN 2005) ve

## 1. GİRİŞ

---

ASCE/SEI 41-13 limitlerinin aşırı güvenli olduğu belirlenmiştir. Bae ve Bayrak (2009) tarafından yapılan çalışmalar sonucu kolon en-boy oranı ( $L/h$ ) 2 ve eksenel yük oranı 0.4'den küçük olan betonarme kolonların yanal ötelenme kapasiteleri için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmalara dayalı olarak geliştirilen bağıntılar farklı tasarım parametrelerine sahip başka bir eleman için uygulandığında farklı sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla betonarme elemanların şekil değiştirme kapasitelerinin tahmin aralığı çok geniştir. Araştırmacılar tarafından çok sayıda betonarme kolon deneyi gerçekleştirilmiş olmasına rağmen deney kurulumlarındaki sınırlamalar, harcanan zaman gibi olumsuzluklardan dolayı birim şekil değiştirme değerlerinin tam olarak ölçüldüğü, sargı donatı oranı yönetmelik sınırlarında olan, beton dayanımı, boyuna donatı oranı, eksenel yük oranı ve en kesit boyutu gibi tasarım parametrelerinin çeşitlilik gösterdiği tam ölçekli betonarme kolon deney sayısı sınırlıdır. Ayrıca mevcut yapılmış deneylerin sonuçlarına bakıldığında aynı özelliklere sahip betonarme kolonların farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneylerinde raporlanan yanal ötelenme kapasiteleri arasında farkların olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalarla raporlanan sonuçların dağılımları ve tutarsızlıklar betonarme elemanların şekil değiştirme kapasitelerinin tahminini zorlaştırdığından, analitik yöntemlerle güvenilir modeller kullanılarak çok sayıda analizle yapılacak bir çalışmayla betonarme kolonların şekil değiştirme kapasitesinin hesaplanması daha tutarlı sonuçlar verebilecektir.

Günümüz bilgisayar teknolojisi sayesinde betonarme kolonların hasar sınırlarının belirlenmesi için önerilen formül ve yönetmelik sınırlarının iyi kalibre edilmiş sonlu eleman modeliyle deneysel sonuçlar ışığında değerlendirilmesi, geniş ve kapsamlı deneysel çalışma yapmaktan hem daha kolay hem de zaman faktörü göz önünde bulundurulduğunda deneysel çalışmalara göre daha uygulanabilir. Son yıllarda, modelleme alanındaki gelişmeler sayesinde modellemelerin hassasiyeti konusundaki problemler azalmıştır. Daha önce Kazaz vd. (2012a, 2012b, 2013) betonarme taşıyıcı perdelerin hasar sınırlarının değerlendirilmesi için doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Kazaz vd. kullandıkları yöntemle betonarme taşıyıcı perdelerin hasar kapasitelerinin tahmini için daha güvenilir ve gelişmiş denklemler önermişlerdir. Bu çalışmada betonarme perdeler için kullanılan analitik yöntemlere benzer yöntemler kullanılarak mevcut deney sonuçlarıyla doğrulanmış betonarme kolonlar için sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu



## 1. GİRİŞ

---

modelle dikdörtgen kesitli betonarme kolonların plastik dönme, eğrilik, sargılı ve sargısız beton en dış lifi ve donatı birim şekil değiştirme gibi şekil değiştirme ölçütlerinin değerleri hesap edilmiştir. Geniş ve tutarlı kolon verisi kullanılarak hesap edilen şekil değiştirme değerleri betonarme kolonların sismik davranışları için önerilen formüller ve kabul kriterleri ile karşılaştırılmış ve dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için hasar sınırları tekrar düzenlenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında sonlu eleman programı olarak güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilen ANSYS programı yardımıyla, PEER Structural Performance Database User's Manual (Berry et al. 2004)'den (69 adet) ve araştırmacıların yayınlanmış makalelerinden (3 adet) derlenmiş toplam 72 adet deneysel çalışma sonuçları kullanılarak, bu kolonlara ait sayısal modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde beton örtüsünün dökülmesi, betonun ezilmesi, donatı sıyırılması, basınç bölgesindeki donatının burkulması, tekrarlı yükler altında kolon taşıma kapasitesindeki azalma gibi geleneksel kesit analizlerinde hesaba katılmayan durumlar da göz önünde bulundurulmuştur. Deneysel çalışmalarda olduğu gibi kolonlar temelde ötelenme ve dönme yapmayacak şekilde mesnetlenmiş ve kolon üstünden eksenel yük ile yüklenerek kolon taşıma kapasitesine ulaşana kadar yanal ötelenme artımsal olarak (monotonik yükleme) verilmiştir. Sonlu eleman hesap yöntemiyle elde edilen yanal ötelenme-kesme kuvveti verileri deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak sonlu eleman modeli kalibre edilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modeli ile deneysel çalışılan kolonların boyutları değiştirilmeden tasarım değişkenlerinin kolon taşıma kapasitelerine etkilerini belirleyebilmek için sargı donatısı oranı ve eksenel yük değerleri değiştirilerek 123 adet ilave kolon analizi tamamlanmıştır. Benzer şekilde aynı kolonların en-boy oranları (L/h), beton basınç dayanımları ve enine sargı donatısı oranları tekrar düzenlenerek 144 adet kolonun analizi de yapılmıştır. Yanal yükler altında betonarme kolon davranışını belirleyebilmek ve kapsamlı bir çalışma yürütebilmek için toplamda 339 adet (72+123+144) dikdörtgen kesitli betonarme kolonun sonlu eleman analizi sonucu kullanılarak akma anında ve kolon taşıma kapasitesine ulaştığı andaki plastik dönme-moment, eğrilik-moment, yanal kuvvet-yanal ötelenme ilişkileri, donatı ve sargılı ve sargısız beton en dış lifindeki birim şekil değiştirmeler hesap edilmiş kolon boyunca birim şekil değiştirme profilleri oluşturulmuştur. Çalışmanın sonraki aşamasında ise doğrusal olmayan sonlu eleman yöntemi kullanılarak analizleri tamamlanan kolonların

## 1. GİRİŞ

---

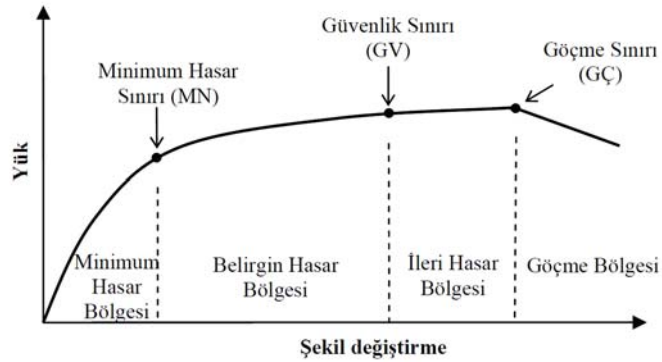
araştırmacı ve mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılan kesit analizleri yapılmıştır. Kesit analizi için Montejo L.A., ve Kowalsky M.J. (2007) tarafından Matlab kodları kullanılarak geliştirilen CUMBIA adlı hesaplama aracı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi yöntemiyle akma anında ve kolon taşıma kapasitesine ulaştığı andaki eğrilik değerleri kesit analizi yapılarak elde edilen moment-eğrilik grafiğinde belirlenerek kesit analizinde bu eğriliklere karşılık gelen birim Şekil değiştirmeler ve dönme değerleri hasar sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde verilen ve ayrıca araştırmacılar tarafından önerilen hasar sınırları ile karşılaştırılarak mevcut hasar sınırlarının yeterliliği değerlendirilmiştir. Ayrıca kolon tasarım değerkenlerinin hasar sınırları üzerindeki etkileri tek tek incelenerek çoklu regresyon analizi yardımıyla bu değerkenlere bağlı yeni bağıntılar önerilerek çalışma tamamlanmıştır.

### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelmesi beklenen hasarları tanımlamak üzere tasarım yönetmeliklerinde farklı performans seviyeleri belirlenmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007), Türkiye Deprem Yönetmeliği, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), ASCE/SEI 41 (2013 ve 2017), Eurocode 8 Part-3 (EN 1998-3: 2005) gibi yönetmeliklerin yanı sıra araştırmacılar tarafından yapı elemanlılarına ait maksimum hasar değerlerinin hesabı için bağıntılar önerilmiştir. Bu bölümde yönetmelikler ve araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır.

#### 2.1. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007)

Türkiye’de 2019’un Ocak ayında yürürlükten kaldırılan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliğin (DBYBHY 2007) yedinci bölümünde binaların performansının doğrusal elastik olmayan yöntemlerle belirlenmesinde yapı elemanının şekil değiştirme miktarına bağlı olarak sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yük-Şekil değiştirme ilişkisi ve hasar seviyeleri.

**Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN)** için kesitin en dış lifindeki beton basınç şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (2.1)$$

**Kesit Güvenlik Sınırı (GV)** için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135 ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2.2)$$

**Kesit Göçme Sınırı (GC)** için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018 ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (2.3)$$

(2.1)-(2.2)-(2.3) bağıntılarında,  $\varepsilon_{cu}$  kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  $\varepsilon_{cg}$  etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  $\varepsilon_s$  donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ve  $(\rho_s/\rho_{sm})$  kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranının, kesitte yönetmeliğe göre bulunması gereken enine donatının hacimsel oranına oranıdır.

Kesit düzeyinde taşıyıcı sistemin performans değerlendirmesi yapılırken kesitte olması gereken enine donatının hacimsel oranı DBYBHY (2007)'de tanımlanan (2.4) numaralı bağıntıdaki elverişsiz duruma göre hesaplanmıştır.

Eksenel yük oranının 0.2'den büyük olduğu durumlarda;

$$\rho_{sm} \geq 0.3 \left[ \left( \frac{A_c}{A_{ck}} \right) - 1 \right] \left( \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \right) \quad (2.4)$$

$$\rho_{sm} \geq 0.075 (f_{ck}/f_{ywk})$$

Denklem (2.4)'te  $A_c$  kolon brüt kesit alanı,  $A_{ck}$  sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı,  $f_{ck}$  betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı,  $f_{ywk}$  enine donatının karakteristik akma dayanımıdır.

Eksenel yük oranının 0.2'den büyük olduğu durumlarda;

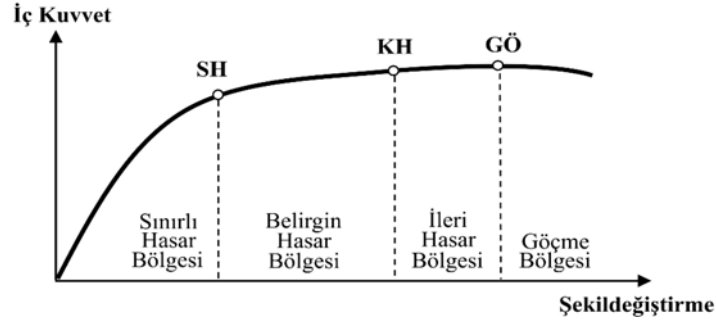
Kolon sarılma bölgelerinde Denklem (2.4) ile verilen enine donatıların en az 2/3'ü, minimum enine donatı olarak kullanılacaktır.

DBYBHY (2007) kesitte olması gereken enine donatının hacimsel oranının minimum değerini belirlediği gibi kullanılacak olan etriye ve çirozların çapları, düşey ve yatay aralıkları için aşağıdaki minimum şartlar sunmuştur:

- Kolonlarda  $\emptyset 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır.
- Sarılma bölgesinde, boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun 1/3'ünden ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az, kolon orta bölgelerinde en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır.
- Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, etriye çapının 25 katından fazla olmayacaktır.

### 2.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)

1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) Bölüm 5'te Deprem Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı İçin Hesap Esasları verilmiştir. Ayrıca bu bölümde verilen performans hedefleri Bölüm 15'te açıklanan Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi için uygulanmaktadır. TBDY (2018)'de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve sınırı belirlenmiştir. Hasar durumları Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) ve bunların sınır değerleridir. Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kesit hasar bölgeleri ve sınır değerleri. (TBDY, 2018)

Betonarme ve ön üretilmiş betonarme kiriş, perde ve kolon elemanlarında kesit birim şekil değıştirme ve plastik dönme üst sınırları:

**Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi:**

Beton birim kısalması:

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.5)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.6)$$

(2.5) ve (2.6) Denklemlerindeki  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir ve Denklem (2.7)'de verilen bağıntıyla hesap edilmektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'de yer alan  $\alpha_{se}$  sargı donatısı etkinlik katsayısını,  $\rho_{sh,min}$  dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını,  $f_{ywe}$  enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir.  $\alpha_{se}$  ve  $\rho_{sh,min}$  Denklem (2.8)'de verilen bağıntılarla hesap edilmektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de  $A_{sh}$  ve  $\rho_{sh}$  gözönüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını,  $b_k$  dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık),  $s$  enine donatı aralığını,  $b_0$  ve  $h_0$  sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını,  $a_i$  bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Donatı çeliği birim kısalması:

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'da  $\varepsilon_{su}$  çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir.

Plastik dönme üst sınırı:

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'da kullanılan  $\phi_u$  Denklem (2.5) ve (2.9) da verilen beton ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri ve kesite etkiyen aksenal kuvvet dikkate alınarak yapılan analiz sonucu hesap edilen göçme öncesi toplam eğriliği göstermektedir.

***Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi:***

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (2.11)$$

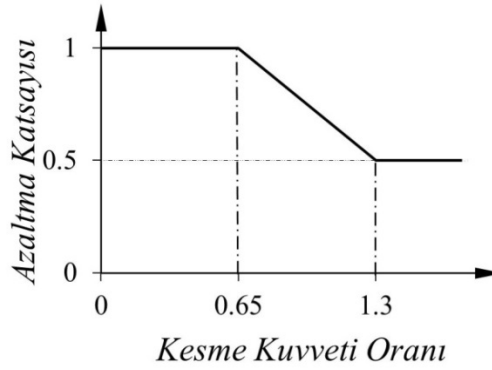
$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (2.12)$$

**Sınırlı Hasar (KH) Performans Düzeyi:**

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (2.13)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.14)$$

TBDY (2018) Bölüm 15'te deprem etkisi altındaki mevcut binaların değerlendirilmesi yapılırken şekil değiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin maruz kaldığı kesme kuvveti oranına ( $V_e / (b_w d f_{cm})$ ) bağlı olarak şekil değiştirme üst sınırlarının bir azaltma katsayısı ile çarpılarak kullanılması önerilmektedir. Kesme kuvveti oranının hesaplanmasında kullanılan değişkenler  $V_e$  tasarım kesme kuvveti,  $b_w$  gövde genişliği,  $d$  faydalı yükseklik,  $f_{cm}$  mevcut betonun çekme dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'te görüleceği gibi kesme kuvveti oranı 0.65 den küçük ise bağıntılardan elde edilen üst sınırlar geçerlidir. 1.30'dan büyük ise hesaplanan şekil değiştirme üst sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılacaktır. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.



**Şekil 2.3** Kesme kuvveti oranına göre azaltma katsayısının hesaplanması

TBDY (2018) doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemin modellenmesine ilişkin kurallar başlığı altında yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem (2.15)'e göre belirlenecektir demektedir.



$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (2.15)$$

Burada  $M_y$  ve  $\theta_y$  çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir.  $L_s$  ise kesme açıklığı (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı)'dır; kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınabilir. Denklem (5.2)'de yer alan plastik mafsal akma dönmesi  $\theta_y$  Denklem (5.3) ile hesaplanacaktır:

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y + d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.16)$$

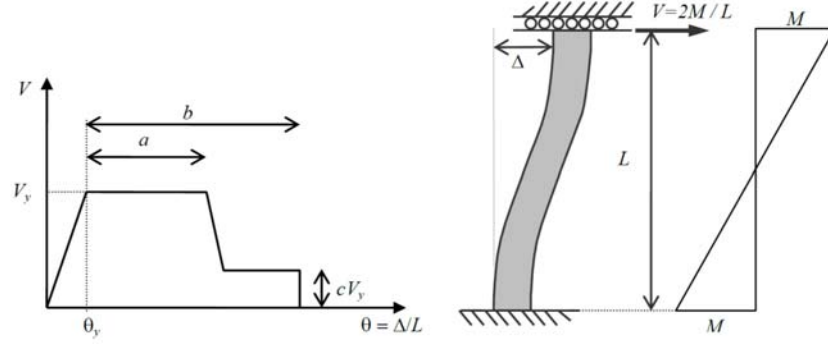
Burada  $\phi_y$  plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini göstermektedir. Kiriş ve kolonlarda  $\eta = 1$ , perdelerde ise  $\eta = 0.5$  alınacaktır.  $h$  kesit yüksekliğidir. Akma durumu için donatı sıyrılması dönmelerini ifade eden son terimde yer alan  $d_b$  mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını,  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir.

### 2.3.ASCE/SEI 41-13 (2013)

Mevcut yapıların sismik değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde ASCE/SEI 41 (2013) Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılmaktadır. 2007 yılında yarı-statik tekrarlı laboratuvar testleri ile betonarme bileşenlerin performansları gözlemlenerek ASCE/SEI 41 güncellenmiştir (Elwood vd., 2007). En son yayınlanan sismik iyileştirme standartlarına bu güncelleme dahil edilerek ASCE/SEI 41-13 2013 yılında yayınlanmıştır.

Betonarme kolonlar da dâhil olmak üzere ASCE/SEI 41 ötelenme-kontrolü bileşenler için geliştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi (ya da backbone) modeli önermektedir (Şekil 2.4). ASCE/SEI 41 tarafından önerilen Kuvvet-Deformasyon

ilişkisi modeline göre kolonun efektif akma dayanımının altında kesme kuvvetine ( $V_y$ ) kadar kolonun elastik kaldığı varsayılır ki bu kuvvet minimum plastik kesme kuvveti kapasitesidir.



**Şekil 2.4** ASCE/SEI 41 (2013) Kuvvet-Deformasyon ilişkisi (Backbone) modeli

Dönme miktarı akma dönmesini ( $\theta_y$ ) aştığı anda kolon plastik deformasyon yapmaya başlar ve ASCE/SEI 41 bu uzunluğu plastik bölge olarak tanımlar ( $a$ ). Plastik dönme miktarı  $a$  mesafesini aştığında kolonun kesme mukavemeti  $cV_y$  ye kadar düşer. Bu bölge göçme öncesi plastik dönme miktarına kadar sabit kalır ( $b$ ).  $b$  ve  $c$ 'nin değerleri ASCE/SEI 41'de göçme tiplerine bağlı olarak verilmiştir.

Göçme Tipleri;

1. Tip I: Eğilme Göçmesi
2. Tip II: Eğilme-Kesme Göçmesi (akma durumu kesme göçmesinden önce beklenir)
3. Tip III: Kesme Göçmesi

**Çizelge 2-1** Sargı donatısı detayına bağlı göçme tipleri

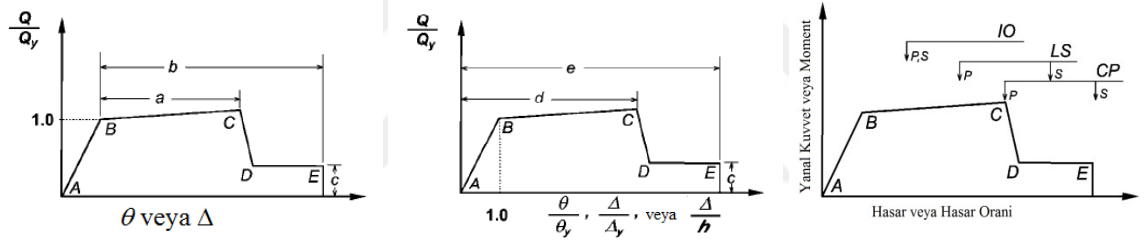
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sargı Donatısı Detayı			
Kesme Kuvveti Kapasitesi Oranı	ACI 318'e göre detaylandırılmış 135-derece kancalı	Kapalı kancalı 90-Derece Kancalı	Diğer
$V_p/V_0 \leq 0.6$	I <sup>a</sup>	II	II
$1.0 \geq V_p/V_0 > 0.6$	II	II	III
$V_p/V_0 > 1.0$	III	III	III

Not: <sup>a</sup>Durum i'yi sağlayabilmesi için, kolon  $A_v/b_w s \geq 0.002$  ve  $s/d \leq 0.5$  değerlerine sahip olmalı aksi takdirde kolon Durum ii olarak kabul edilecektir.

Göçme Tipi Çizelge 2-2'de verilen tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (ASCE/SEI 41 (say.195)).

ASCE/SEI 41-13 (2013) de belirtilen kabul şartlarına göre birincil ve ikincil olmak üzere iki tip yapı bileşeni bulunmaktadır. Bu çalışmanın konusu olan kolonlar yanal yüklemelere karşın yanal deformasyon yapmaları ve sismik yüklerin taşınmasında önemli rol aldıklarından dolayı birincil yapı bileşenleri içinde sıralanmaktadırlar.



(a) Şekil Değişirme

(b) Şekil Değişirme Oranı

(c) Şekil Değişirme Sınırları

**Şekil 2.5** Kuvvet-Şekil Değişirme ilişkisi ve hasar sınırları (ASCE/SEI 41, 2013)

İdealize edilmiş kuvvet-deformasyon eğrileri **Şekil 2.5(a)** ve (b) de görülmektedir. Şekil 2.5(a) da kuvvetin ( $Q/Q_y$ ) hasar ile ilişkisi dönme veya yanal ötelenme ( $\theta$  veya  $\Delta$ ) hasar sınırları olan  $a$ ,  $b$  ve  $c$  gösterilmektedir. Benzer şekilde Şekil 2.5(b)'de kuvvetin ( $Q/Q_y$ ) hasar oranıyla ilişkisi dönme oranı ( $\theta/\theta_y$ ), yanal ötelenme oranı ( $\Delta/\Delta_y$ ) veya yanal ötelenmenin yapısal elemanın yüksekliğine oranı ( $\Delta/h$ ) ile ilişkisi gösterilmiş olup hasar sınırları olan  $d$ ,  $e$  ve  $c$  gösterilmektedir.  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  ve  $e$  parametrelerine ait değerler Çizelge 2-2'de verilmektedir. Şekil 2.5(c) de ise kuvvet-hasar grafiği üzerinde ASCE/SEI 41 (2013)'ün belirlemiş olduğu hasar sınırları olan sınırlı hasar (Immediate Occupancy, IO), kontrollü hasar sınırı (Life Safety, LS) ve göçme öncesi hasar sınırı (Collapse Prevention, CP) gösterilmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

Deneysel çalışmalarla hasar sınırlarının belirlenmesinde izlenecek yol ASCE/SEI 41 (2013) Bölüm 7’de deneysel verilere dayalı analiz parametreleri ve kabul kriterleri başlığı altında verilmiştir. Buna göre doğrusal olmayan yöntemlerde kullanılmak üzere hasar kontrollü deneyler için Şekil 2.5(c)’de verilen kabul ölçütleri eğrisinde noktalarının belirlenmesi şöyledir;

***Sınırlı Hasar Sınırı (IO):*** Hasarın kalıcı olduğu, deney sırasında meydana gelen hasarın gözle görüldüğü anda meydana gelen hasar fakat bu hasar miktarı can güvenliği hasar sınırının 0.67’sinden büyük olamaz.

***Kontrollü Hasar Sınırı (LS):*** Şekil 2.5(c)’de E noktasına karşılık gelen değer 0.75’i.

***Göçme Öncesi Hasar Sınırı (CP):*** Şekil 2.5(c)’de E noktasına karşılık gelen değer olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2-2’de görüldüğü gibi Plastik dönme açısına (rad.) bağlı performans düzeyleri aksenal yük oranı ( $P/A_g f_c$ ), sargı donatısının hacimsel oranı ( $\rho_s$ ) ve kesme kuvveti oranına ( $V/(b_w d \sqrt{f_c'})$ ) bağlı olarak verilmiştir. Tanımlanan hasar sınırlarının daha kolay hesaplanabilmesi için regresyon analizi yapılarak elde edilen denklemlerle (a) ve (b) değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 2-3 ve Çizelge 2-4 bu değerler için kullanılan formüller gösterilmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2-2** Betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütleri

		Tasarım Parametreleri			Kabul Ölçütleri			
		Plastik Dönme Açısı (rad)		Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısına (rad.) Bağlı Performans Düzeyleri			
		a	b	c	IO	LS	CP	
<b>Durum i</b>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060	
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010	
$\leq 0.1$	$= 0.002$	0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034	
$\geq 0.6$	$= 0.002$	0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005	
<b>Durum ii</b>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$						
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\leq 3(0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\geq 6(0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\leq 3(0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\geq 6(0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\leq 3(0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\geq 6(0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\leq 3(0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\geq 6(0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Durum iii</b>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Durum iv</b>								
Kolon serbest yüksekliği boyunca yetersiz ekli veya bindirme boylu boyuna donatılı kolonlarda								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.4	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.4	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.2	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2-3** (a) değerinin hesaplanması için kullanılan denklemler

Göçme Tipi	Plastik Dönme Açısı (rad)
Durum I: Eğilme Göçmesi	$0.0292 - 0.047 \left( \frac{P}{A_g f'_c} \right) + 1.625(\rho_s)$
Durum II: Eğilme-Kesme Göçmesi	$0.016 + 2.8626\rho - (4.5455\rho_s + 0.00117) \left( \frac{P}{A_g f'_c} \right) + (0.3636\rho - 0.00202) \left( \frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}} \right)$
Durum III: Kesme Göçmesi	0

**Çizelge 2-4** (b) değerinin hesaplanması için kullanılan denklemler

Göçme Tipi	Plastik Dönme Açısı (rad)
Durum i: Eğilme Göçmesi	$0.0394 - 0.075 \left( \frac{P}{A_g f'_c} \right) + 3.875(\rho_s)$
Durum ii: Eğilme-Kesme Göçmesi	$0.013 + 9.7818\rho - (16\rho_s + 0.006) \left( \frac{P}{A_g f'_c} \right) + (2.9091\rho - 0.0215) \left( \frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}} \right)$
Durum iii: Kesme Göçmesi	$0.00678 - 0.013 \left( \frac{P}{A_g f'_c} \right) + 1.5454\rho_s$

### 2.4. ASCE/SEI-41 (2017)

2017 yılında yayınlanan bu yönetmelik, ASCE/SEI 41-17 (2013) baskısının bir revizyonu olarak yayınlanmıştır. Yeni yönetmelikte analiz yöntemleri ve kabul kriterlerinde fazla bir değişiklik olmamasına rağmen hasar sınırlarının hesabında önemli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişikliklerin içinde doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde kullanılmak üzere betonarme kolonlar için modelleme parametreleri ve sayısal kabul kriterlerinin hesabı mevcut ve depreme dayanıklı yapı tasarımı için çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 2-5). Her iki yönetmelikte de betonarme kolonlar için kabul kriterleri aynı kalmıştır.

ASCE/SEI 41 (2017) yönetmeliğinde kabul kriterleri kesme kuvveti oranına, eksenel yük oranına, beton basınç dayanımına, sargı donatısının akma dayanımına ve boyuna donatı oranına göre verilmiştir. Önceki yönetmelikten farklı olarak kolonların göçme kriterleri hasar sınırlarının belirlenmesinde etkili değildir. Ancak, ASCE/SEI 41-17'de betonarme kolonlar için kabul kriterleri kolonların boyuna donatılarının serbest yüksekliği boyunca yeterli bindirme boylu veya ekli olması durumuna göre ikiye ayrılmıştır. Plastik dönmeye bağlı performans düzeyleri tasarım parametreleri  $a$  ve  $b$  ye bağlı olarak verilmiştir. ASCE/SEI 41-17'de Şekil 2.5 değiştirilmeden 2013 yönetmeliğinden olduğu gibi aktarılmıştır.

ASCE/SEI-41 (2017) nervürlü, kancalı ve bindirmeli olarak eklenmiş donatıların birleşimi ve birleşim boylarının ACI 318 Bölüm 25'te verilen kurallara uygun olarak yapılması gerektiğine vurgu yapmaktadır. Donatıların uygun bir şekilde yerleştirilmesi ve eklenmesi çekme gerilmelerinin aktarılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Donatılarda oluşan gerilmelerin aktarılması yapı elemanlarının taşıma kapasitesini doğrudan etkilediği için bu durum Çizelge 2-5'te görüldüğü gibi dikkate alınarak performans düzeyleri belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan deneysel verilerde bağ kaymasının meydana geldiği kolonların hasar sınırları karşılaştırılırken kolon serbest yüksekliği boyunca yetersiz ekli veya bindirme boylu boyuna donatılı durum kullanılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2-5** Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütleri

Tasarım Parametreleri	Kabul Ölçütleri		
Plastik Dönme Açısı (rad), $a$ ve $b$ (rad) Dayanım Oranı, $c$	Plastik Dönme Açısına (rad.) Bağlı Performans Düzeyleri IO    LS    CP		
Kolon serbest yüksekliği boyunca yeterli ekli veya bindirme boylu boyuna donatılı kolonlarda			
$a = \left( 0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{ColOE}} \right) \geq 0.0$			
$\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \leq 0.5 \text{ için } \left\{ \begin{array}{l} b = \frac{0.5}{5 + \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f'_{cE}} \frac{1}{\rho_t} \frac{f'_{cE}}{f_{ytE}}} - 0.01 \geq a \\ \leq 0.005 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 0.15a \\ \leq 0.005 \end{array} \quad \begin{array}{l} 0.05b \\ 0.7b \end{array}$			
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0.0$			
Kolon serbest yüksekliği boyunca yetersiz ekli veya bindirme boylu boyuna donatılı kolonlarda			
$a = \left( \frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{ytE}}{\rho_f f_{ytE}} \right) \geq 0.0$			
$a = \left( \frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{ytE}}{\rho_f f_{ytE}} \right) \leq 0.025$			
$b = \left( \begin{array}{l} \geq 0.0 \\ 0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 12 \rho_t \\ \leq 0.06 \end{array} \right) \geq a$			
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$			

### 2.5.Eurocode 8 Bölüm-3 (EN 1998-3: 2005)

EN 1998-3 (2005) deprem bölgelerinde yapılacak yapıların tasarımında kullanılmak üzere Avrupa'da 1998 yılında yürürlüğe girmiş olan standarttır. Bu standartın 2005 yılında yayınlanan 3. Bölümü deprem bölgelerindeki yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesiyle ilgilidir.

EN 1998-3 (2005)'te mevcut yapıların değerlendirilmesi için yapının hasar seviyesinin belirlenmesinde Göçme Öncesi (Near Collapse, NC), Belirgin Hasar (Significant Damage, SD) ve Hasar Başlangıcı (Damage Limitation, DL) olmak üzere üç sınır bölgesi belirlenmiştir. Yönetmelikte verilen bu hasar seviyeleri hem birincil



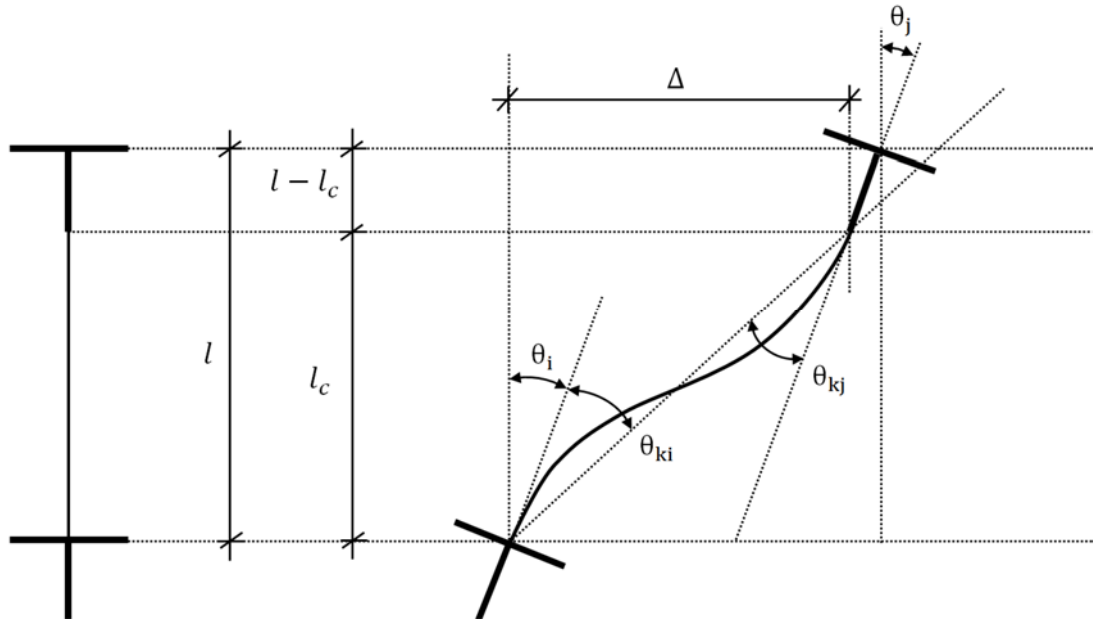
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

hem de ikincil yapı elemanları içindir. Söz konusu yapı elemanlarının sınıflandırılması aşağıdaki gibi verilmiştir:

Birincil Yapı Elemanları (Sünek): aksenal yüklü veya yüksüz eğilmeye maruz kirişler, kolonlar ve taşıyıcı duvarlar,

İkincil Yapı Elemanları (Gevrek): kesme kuvvetine maruz kirişler, kolonlar, taşıyıcı duvarlar ve bağlantılar.

Sünek yapı elemanlarında hasar limitleri tanımlanırken yapı elemanında meydana gelen yer değiştirmiş eksen dönmesi ( $\theta$ ) değeri kullanılmıştır. Yapı elemanının eksenini ile yer değiştirmeden sonra düğüm noktalarından geçen doğru arasında kalan açı yer değiştirmiş eksen dönmesi olarak tanımlanmıştır. En basit şekliyle yer değiştirmiş eksen dönmesi yapı elemanının yapmış olduğu ötelenmenin eleman net açıklığına bölünmesiyle elde edilmektedir. Şekil 2.6'da görüleceği gibi  $\theta_{ki}$  Burada  $l$  elemanın toplam boyunu,  $l_c$  net açıklığını,  $\Delta$  kat arası ötelenmeyi,  $\theta_i$  ve  $\theta_j$  sırasıyla i ve j düğüm noktalarının dönmelerini  $\theta_{ki}$  ve  $\theta_{kj}$  sırasıyla i ve j uçlarındaki yer değiştirmiş eksen dönmelerini göstermektedir. Şekil 2.6'daki elemanın yer değiştirmiş eksen dönmesinin değeri  $\Delta / l_c = (\theta_i + \theta_{ki})$  bağıntısıyla hesap edilebilir.



Şekil 2.6 Çift eğrilikli eğilme altındaki tipik bir eğilme elemanının şekil değiştirme özellikleri.

**Göçme Öncesi Sınır Durumu (NC):** Tekrarlı yükler altındaki betonarme yapı elemanlarının göçmeden hemen önce toplam yer değiştirmiş eksen dönmesi kapasitesinin değeri,  $\theta_u$ , Denklem (2.17) kullanılarak elde edilebilir.

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 (0.3^v) \left[ \frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left( \min \left( 9; \frac{L_v}{h} \right) \right)^{0.35} 25^{\left( \alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d}) \quad (2.17)$$

Denklem (2.17)'de verilen  $\gamma_{el}$  parametresinin değeri birincil yapı elemanları için 1,5; ikincil yapı elemanları için ise 1,0 olarak alınması gerektiği yönetmelikte belirtilmiştir.  $h$  kolon etkin genişliği,  $L_v=M/V$  moment-kesme kuvveti,  $v$  kesme kuvveti oranı,  $\omega'$ ,  $\omega$  basınç ve çekme bölgesindeki boyuna donatı oranları,  $f_c$  beton basınç dayanımı,  $f_{yw}$  sargı donatısı akma dayanımı,  $\omega \rho_{sx}$  diyagonal donatı oranı (varsa), Denklem (2.18) bağıntısı kullanılarak hesap edilen  $\alpha$  sargı faktörü olarak tanımlanmaktadır.

$$\alpha = \left( 1 - \frac{s_h}{2b_0} \right) \left( 1 - \frac{s_h}{2h_0} \right) \left( 1 - \frac{\sum b_i^2}{6h_0 b_0} \right) \quad (2.18)$$

Denklem (2.18)'deki parametreler  $s_h$  donatı adım aralığı,  $b_0$  ve  $h_0$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu,  $b_i$  boyuna donatıların merkezleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

Çevrimli yükler altındaki betonarme yapı elemanlarının plastik dönme miktarları Denklem (2.19) yardımıyla hesaplanabileceği ayrıca yönetmelikte belirtilmiştir.

$$\theta_{u,pl} = \theta_u - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.0145 (0.25^v) \left[ \frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} \right]^{0.3} f_c^{0.2} \left( \min \left( 9; \frac{L_v}{h} \right) \right)^{0.35} 25^{\left( \alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100 \rho_d}) \quad (2.19)$$

Denklem (2.19)'da  $\gamma_{el}$  birincil yapı elemanları için 1.8, ikincil yapı elemanları için ise 1.0 değerini almaktadır.

**Belirgin Hasar Sınır Durumu (SD):** Hasar bölgesinde yer değiştirmiş eksen dönmesi kapasitesi,  $\theta_{SD}$ ,  $\theta_u$ 'nun  $\frac{3}{4}$ 'ünün alınmasıyla elde edilebilir.

$$\theta_{SD} = \frac{3}{4}\theta_u \quad (2.20)$$

**Hasar Başlangıcı Sınır Durumu (DL):** Bu hasar sınır durumunda yer değiştirmiş eksen dönmesi akma anında meydana gelen dönme,  $\theta_y$ , miktarına eşittir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + a_v z}{3} + 0.0014 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bL} f_y}{6\sqrt{f_c}} \quad (2.21)$$

Denklem (2.21)'e alternatif olarak (2.22) bağıntısının kullanılabileceği EN 1998-3 (2005)'te belirtilmiştir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + a_v z}{3} + 0.0014 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + \phi_y \frac{d_{bL} f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (2.22)$$

EN 1998-3 (2005)'te mevcut yapıların performans değerlendirmesi için verilen yer değiştirmiş eksen dönmesi miktarlarının yanı sıra, betonarme yapı elemanının basınç bölgesindeki en dış beton lifinin birim şekil değiştirmesi göz önüne alan (2.23) denklemi de önerilmiştir. Denklem (2.23)'te  $f_{cc}$  sargılı beton basınç dayanımını tanımlamaktadır ve EN 1998-3 (2005)'te tanımlanan Denklem (2.24) ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{\alpha \rho_s f_{ywe}}{f_{cc}} \quad (2.23)$$

$$f_{cc} = f_{ck} \left( 1 + 3.7 \frac{\alpha \rho_s f_{ywe}}{f_{ck}} \right)^{0.86} \quad (2.24)$$

Denklem (2.17)'ye alternatif olarak toplam yer değiştirmiş eksen dönmesi kapasitesinin belirlenmesi için Denklem (2.25) EN 1998-3 (2005)'te verilmiştir.

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left( \theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left( 1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \quad (2.25)$$

### 2.6. Araştırmacılar Tarafından Önerilen Hasar Sınır Değerleri

Kullanımda olan yönetmeliklere ilaveten betonarme kolonların performans limitlerinin veya kuvvet-deformasyon ilişkilerinin belirlenmesine yönelik araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yürütölmüştür. Panagiotakos ve Fardis (2001) Eurocode 8 Bölüm 3 (EN 1998-3 2005)'te sunulan ampirik denklemi temel almışlardır. Elwood ve Moehle (2006) yaptıkları çalışmayla kolonların kesme ve normal kuvvet etkisi altındayken yapabilecekleri yanal ötelenme oranını hesaplayabilmek için bir formöl önermişlerdir. Haselton vd. (2008) 255 yarı-statik kolon testini temel alarak betonarme kolonlar için plastik dönme kapasitelerini belirleyen bir formöl geliştirmişlerdir. Son olarak Gammatikou vd. (2016) 168 deneysel veriyi kullanarak betonarme kolonların en diş lifinde meydana gelen birim Şekil değiştirmeye bağlı olarak hasar sınırlarını belirleyen bir formöl geliştirmişlerdir. Bu araştırmacıların dişında Priestley ve Kowalsky (1998) betonarme perdelerde akma, kullanabilirlik ve hasar-kontrolü sınır durumları için boyutsuz eğrilik bağıntıları geliştirmişlerdir. Kowalsky (2000) dairesel kesitli betonarme köprü ayaklarının Şekil değiştirme kapasitelerini iki farklı sınır durumu için incelemiş ve bir eğrilik bağıntısı önermiştir. Berry ve Eberhard (2003) betonarme kolonlarda plastik dönmeyi ve diğer hasar parametrelerinin hesap edebilmesi için modeller önermiştir. Aydemir vd. (2011) tarafından yapılan çalışma eğrilik-eksenel yük ilişkileri için bağıntılar geliştirilmiş ve DBYBH 2007'de verilen eğrilik sınır değerleri belirlenebilmesi için bağıntılar geliştirmiştir.

#### 2.6.1. Panagiotakos ve Fardis (2001)

Panagiotakos ve Fardis (2001) 878 betonarme yapı elemanı üzerinde yaptıkları deneysel çalışma sonuçlarını kullanarak betonarme yapı elemanlarının hasar davranışlarını ortaya çıkarmak için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu

çalışma sonucu kolonlar için toplam yer değiştirmiş eksen dönme kapasitesini belirlemek amacıyla (2.26) denklemini geliştirmişlerdir. EN 1998-3 (2005)'te Denklem (2.26)'e benzer bir bağıntı önermiştir.

$$\theta_{um} = a_{st} a_{cyc} \left( 1 + \frac{a_{sl}}{2.3} \right) a_{wall} (0.2^v) \left[ \frac{\max(0.01; \omega_2)}{\max(0.01; \omega_1)} f'_c \right]^{0.275} \left( \frac{L_s}{h} \right)^{0.45} (1.1^{100\alpha\omega_{wx}}) (1.3^{\rho_d}) \quad (2.26)$$

### 2.6.2. Grammatikou vd. (2016)

Grammatikou vd. (2016) yaptıkları çalışmalar sonunda mevcut yönetmelik sınırlarının genel olduğu ve güvenli olmadığı sonucuna varmışlardır. Donatı ve beton en dış lifinde birim şekil değiştirmeyi tahmin edebilmek için moment ve eğrilik arasında analitik bir ilişki olup olmadığını konusunda bir araştırma yapmışlardır. Yapılan bu araştırma sonucunda beton en dış lifinde ve donatıda meydana gelen birim şekil değiştirmeyi Eurocode 8-3'te önerilen (2.23) bağıntısını kullanarak (2.27)'de verilen denklemi önermişlerdir. Çalışmalarının sonucunda birim şekil değiştirme miktarının kolon en kesit özelliklerine ve donatı sayısı bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\alpha \rho_w \frac{f_{yw}}{f'_c}} \quad (2.27)$$

### 2.6.3. Elwood ve Moehle (2005)

Elwood ve Moehle (2005) sargı donatısı yetersiz ( $\rho'' < 0.007$ ) betonarme kolonlar üzerinde yapılmış 50 adet laboratuvar test sonucunu çalışmalarında değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucu olarak kolonlarda tepe noktasının yer değiştirme kapasitesi modelini geliştirmişlerdir. Kesme göçmesi durumunda yer değiştirme oranını hesap eden (2.28)'de verilen denklemi önermişlerdir.

$$\delta_s = \frac{3}{100} + 4\rho_s - \frac{1}{40} \frac{v}{\sqrt{f'_c}} - \frac{1}{40} \frac{P}{A_g f'_c} \geq \frac{1}{100} \quad (2.28)$$

Önerilen denklemi  $\rho_s$  sargı donatısı oranı,  $v$  kesme kuvveti oranı ( $v=V/(bd)$ ),  $f_c$  beton basınç dayanımı, aksenal yük oranı ( $P/A_g f_c$ ) değişkenlerine bağlı olarak tanımlanmıştır.

### 2.6.4. Haselton vd. (2008)

Haselton vd. (2008) 255 kolon deney sonucunu kullanarak dikdörtgen kesitli betonarme kolonların nihai hasar kapasitesini belirlemek için ampirik bir denklem tanımlamışlardır. Yaptıkları çalışmayla istatistiksel olarak etkin tasarım değişkenlerini belirlemişlerdir ve bu değişkenlerle plastik dönme arasında ilişkiyi tanımlayarak (2.29) 'da gösterilen denklemi önermişlerdir.

$$\theta_{cap,pl} = 0.12(1 + 0.55a_{sl})(0.16)^v (0.02 + 40\rho_{sh})^{0.43} \cdot (0.54)^{0.01c_{unis}f'_c} (0.66)^{0.1s_n} (2.27)^{10.0\rho} \quad (2.29)$$

### 2.6.5. Yakut ve Solmaz (2012)

Yakut ve Solmaz (2012) eğilme göçmesinin etkin olduğu dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar üzerinde yaptıkları parametrik çalışmayla yönetmeliklerde verilen ötelenme hasar sınırlarını değerlendirmişlerdir. Kolon geometrisi, beton basınç dayanımı, aksenal yük oranı, sargı donatısı oranı, boyuna donatının akma dayanımı gibi Çizelge 2-6'da gösterilen farklı tasarım parametrelerine sahip, eğilme göçmesinin etkin olduğu 144 adet kolonu OpenSees yazılımı yardımıyla analiz etmişlerdir. Analizler sonucu elde edilen ötelenme oranları yönetmeliklerde verilen sınır şartlarıyla karşılaştırmışlardır. Hesap edilen ve yönetmeliklerde verilen hasar sınırlarının karşılaştırılması sonucunda TBDY (2007), FEMA 356 ve Eurocode 8 (2003) tarafından önerilen hasar sınırlarının verilen tutucu kaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

**Çizelge 2-6** Yakut ve Solmaz (2012) tarafından parametrik çalışmalarda kullanılan kolonlara ait tasarım değişkenleri ve değer aralıkları

Boyutlar (mm)	$f_{ck}$ (MPa)	$N/N_0$	$\rho$	$f_{yk}$ (MPa)	$\rho_s$	$f_{ywk}$ (MPa)
400x400	10	0.10	0.01	220	0.0075	420
500x500	14	0.25		420	0.02	
300x500	20	0.40				
300x600						

Çizelge 2-6'da değer aralıkları verilen tasarım değişkenleri  $f_{ck}$  beton basınç dayanımı,  $N/N_0$  aksenal yük oranı,  $\rho$  boyuna donatı oranı,  $f_{yk}$  boyuna donatı akma dayanımı,  $\rho_s$  sargı donatısı oranı ve  $f_{ywk}$  ise enine donatı akma dayanımı olarak tanımlanmıştır.

Betonarme dikdörtgen kolonların sınırlı hasar (IO), kontrollü hasar sınırı (LS) ve göçme öncesi hasar sınırı (CP) performans bölgelerini belirlemek için Yakut ve Solmaz (2012) yaptıkları parametrik çalışmanın sonuçlarını kullanarak doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemiyle yanal ötelenme oranına bağlı tasarım değişkenlerini içeren (2.30), (2.31) ve (2.32) denklemleri önermişlerdir.

### **Göçme Öncesi Hasar Sınırı (CP):**

$$\delta_{CP} = -1.42 + 70.212\rho_s + 5.324(0.01)^{N/N_0} + 0.0074 \left( \frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}} \right)^{-0.818} + 0.00142 f_{yk} + 0.822 \left( \frac{L}{H} \right) - 0.077 f_c \quad (2.30)$$

### ***Kontrollü Hasar Sınırı (LS):***

$$\delta_{LS} = 0.75\delta_{CP} \quad (2.31)$$

### ***Sınırlı Hasar (IO):***

$$\delta_{IO} = -0.30 + 0.001f_{yk} + 0.16\left(\frac{L}{H}\right) \quad (2.32)$$

Denklem (2.30), (2.31) ve (2.32)'de verilen tasarım değişkenleri  $\rho_s$  sargı donatısının hacimsel oranı,  $N/N_0$  aksenal yük oranı,  $V$  kesme kuvveti,  $b_w$  etkin kesit genişliği,  $d$  kesit derinliği,  $f_c$  beton basınç dayanımı,  $f_{yk}$  boyuna donatı akma dayanımı,  $L/H$  kolon en boy oranı olarak tanımlanmıştır.

Aydemir vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada hasar sınırları belirlenirken donatı için en dış çekme donatısının birim şekil değiştirmesine bakılırken, beton için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi veya etriye içindeki bölgenin en dış lifinde ki beton basınç birim şekil değiştirmesine bakmışlardır. Betonun ve donatının sınır şartlarına ulaşmasında üç durum belirtmişlerdir. Bunlar;

1. Donatı çeliğinin betondan önce birim şekil değiştirme sınırına ulaşması,
2. Betonun donatı çeliğinden önce birim şekil değiştirme sınırına ulaşması,
3. Beton ve donatının aynı anda birim şekil değiştirme sınır değerlerine ulaşması.

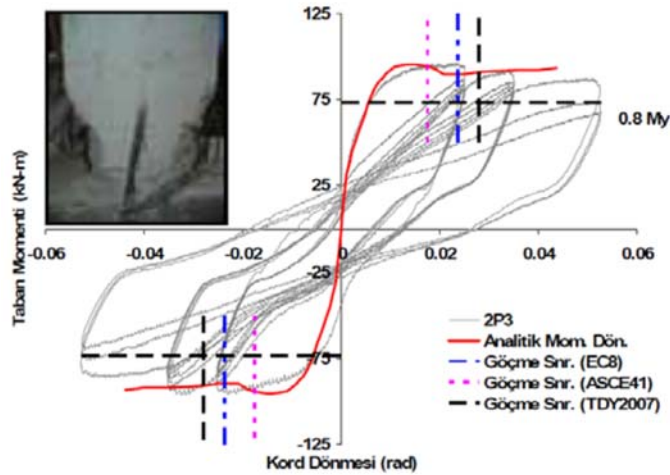
Aydemir vd (2011) yaptıkları bu çalışmada betonun ve/veya çeliğin birim şekil değiştirme sınırlarına ulaşma durumlarını *donatı kontrollü hasar sınır durumu*, *beton kontrollü hasar sınır durumu* ve *dengeli durum* olarak adlandırmışlardır. Sargılı/sargısız beton ve donatı çeliğine ait malzeme modellerini DBYBHY 2007 (Bilgilendirme eki 7B)'den alarak kesit eğrilik hesaplaması için program akış diyagramı vermişlerdir. Ancak bu çalışmada sonlu eleman yöntemi kullanılacağı için verilen bilgisayarlı program akış şeması geçerli değildir. Aydemir vd. (2011) yaptıkları çalışmada tarafsız eksenin bulunması için bir bağıntı önermişlerdir ve bu bağıntıya göre oluşturdukları şeritli (lifli) modelleme yönteminin kullanıldığı analitik program yardımıyla kolonlara



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

ait moment eğrilik grafikleri elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmayı Bae S., ve Bayrak O. (2008)'nin çalışmalarındaki deneysel verilerle karşılaştırmışlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir. 1428 adet farklı özelliklere sahip kolon üzerinde kesit analizi yapmışlardır. Bunlara ek olarak 13 adet dikdörtgen kesitli ve 5 adet dairesel kesitli deneysel çalışması yapılmış kolonun analitik analizi yapılmıştır. Analitik hesap sonucu elde edilen hasar sınırları deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında analitik yöntemle hesap edilen sınır dönme değerlerinin deneysel sonuçlardan küçük olduğu görülmüştür.

Acun ve Sucuoğlu (2010) on iki adet betonarme kolon üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda Eurocode 8, ASCE/SEI 41 ve Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY 2007) tarafından önerilen şekil değiştirme esaslı performans sınırlarının yönetmeliklerle uyumsuz kolonlar için tutucu kaldığı görülmüştür (Şekil 2.7). Diğer yandan yönetmeliklerle uyumlu kolonlar için yapılan deneylerin sonuçlarına göre, Eurocode 8 ve DBYBHY-07 tarafından önerilen performans sınırlarının makul düzeylerde olduğun gözlemlemişlerdir. Işıltan (2010) ve Ekici (2011) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da benzer bulgular elde edilmiştir.



**Şekil 2.7** Moment-Yer değiştirmiş eksen dönmesi ilişkisi ve performans sınırları (Acun ve Sucuoğlu, 2010)

Kazaz (2016) tarafından yürütülen 113M442 numaralı TÜBİTAK projesinde betonarme kolonlar için hasar sınırları analitik çalışmalarla belirlenmiştir. Elde edilen

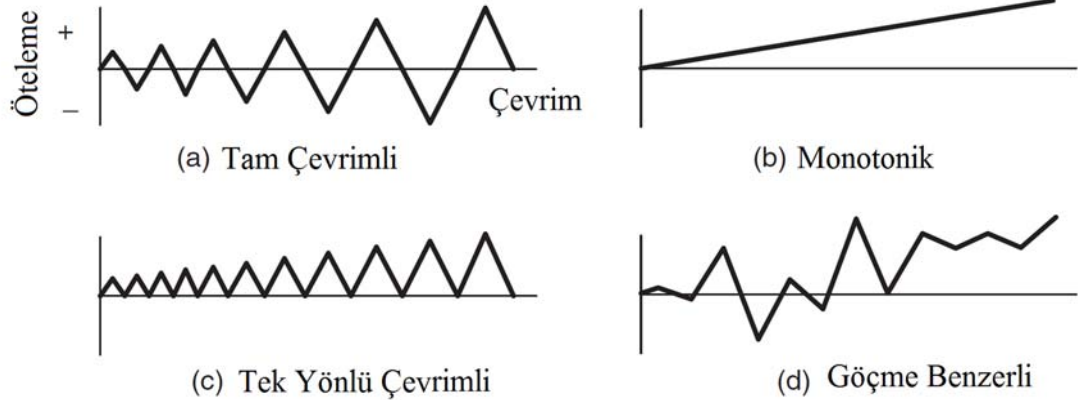
sonuçlar mevcut yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Taslak halindeki Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2016) ile karşılaştırılmıştır. Yönetmeliklerde verilen sınır değerlerinin sargı etkisine bağlı olduğu ancak yapılan çalışma sonucunda hasar sınırlarını belirlemede farklı kolon tasarım parametrelerinin etkin olduğu görülmüştür. Taslak olarak sunulan yönetmelikte yapılan iyileştirme çalışmasının da yeterli olmadığı, bu nedenle mevcut yönetmeliğe göre yapılacak performans analizlerinin yanıtıcı sonuçlar vereceği anlaşılmıştır.

Yapılan alışmalar incelendiğinde betonarme kolonların hasar sınırlarının belirlenmesi için standart bir yöntemin geliştirilemediği görülmektedir. Mevcut yönetmeliklerde ve araştırmacılar tarafından sunulan performans limitleri kısıtlı imkânlarla üzerinden ölçüm alınan deneysel çalışmaların sonuçları temel alınarak istatistiksel yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca bu deneysel çalışmaların belirli leklemelerde olmamasından dolayı önerilen performans limitleri farklılıklar gösterdiği gibi mevcut binaların performans analizinde yanıtıcı sonuçlar vermektedir. Deneysel sonuçlarla kalibre edilmiş güvenilir bir analitik modelle farklı tasarım parametreleri kullanılarak elde edilecek veriler sonucunda hasar sınırlarının analitik olarak belirlenmesinin daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deneysel Verilerin Derlenmesi

ASCE/SEI-41 (2017) Bölüm 7’de deneysel çalışmalar için modelleme parametreleri ve kabul kriterlerini açıklamaktadır. Bölüm 7’de deneysel çalışmalarda kullanılacak test örneklerinin gerçek binalardaki yapı elemanlarının geometrik özelliklerini ve sınır koşullarını olabildiğince temsil etmesi gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca gerçekte oluşabilecek yatay ve düşey yükler test elemanına uygun bir şekilde aktarılmalıdır. Aynı yükleme protokolüyle en az iki testin yapılması gerektiği belirtilmektedir. Belirli bir yükleme protokolü öngörülen göçme modları ve test elemanlarının farklı özelliklerde olmasından dolayı yönetmelikte önerilmemiştir. Dört farklı yükleme protokolü Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

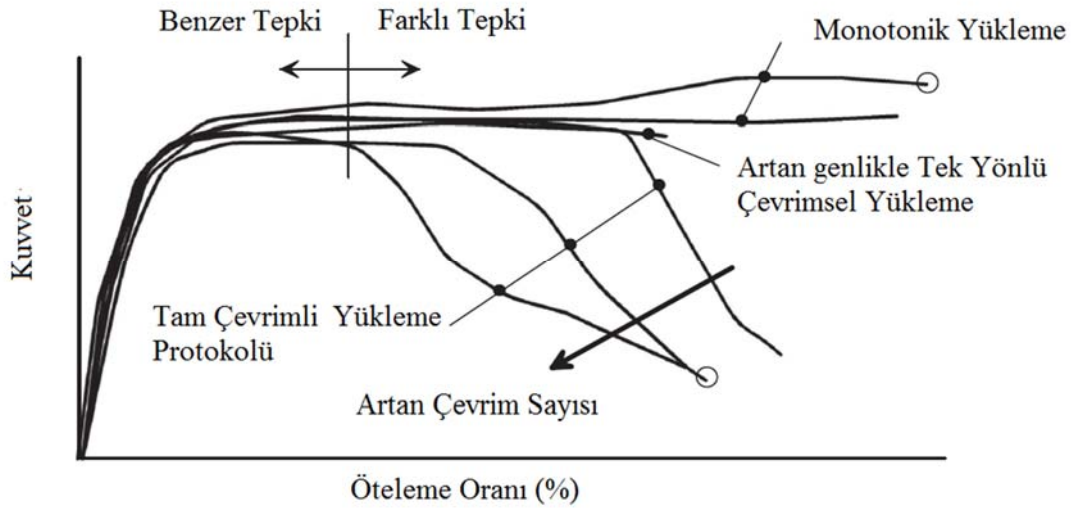


**Şekil 3.1** Yükleme protokolleri

Göçme benzeri yükleme protokolü gerçek düzensiz deprem tepkisini taklit eder ve tek yönlü çevrimsel yükleme olarak kabul edilebilir. Yükleme protokolleri kuvvet-öteleme grafiklerinin oluşturulmasında Şekil 3.2’de görüldüğü gibi önemli bir etkiye sahiptir. Yükleme protokollerine bağlı olarak test elemanının yapacağı ötelenme değişmektedir. Tam çevrimli yükleme protokolüyle test edilecek numunelerin ötelenme kapasiteleri diğerlerine göre düşük olmasına rağmen en çok tercih edilen yükleme protokolüdür. Ancak yapılan son araştırmalar göstermektedir ki tam çevrimli yükleme protokolüyle elde edilen kuvvet-öteleme grafikleri oldukça tutucu kalmaktadır. Monotonik yükleme protokolüyle elde edilen kuvvet-öteleme grafikleri yapı

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

elemanın gerçek davranışını göçme benzeri yükleme protokolü gibi daha iyi temsil etmektedir. Monotonik yükleme protokolünün avantajları olmasına rağmen yönetmelik tek başına monotonik protokolün uygulanmaması gerektiğini çevrimsel yüklemelerden dolayı oluşacak dayanım ve rijitlik azalmasının anlaşılabilmesi için çevrimsel yüklemelerde deney elemanına uygulanması gerektiğini belirtmektedir.



**Şekil 3.2** Yükleme protokollerine bağlı yapı elemanlarının kuvvet-öteleme oranı grafikleri

Analitik modeller oluşturularak yapı elemanlarının davranışları belirlenirken deneysel verilerin kullanılması ve gerçekte yapı elemanında oluşabilecek dayanım ve rijitlik azalmasını temsil edebilecek şekilde kalibrasyonlar yapılması ASCE/SEI- 41'de önerilmektedir. Bu çalışmada kullanılan nümerik modeller yönetmelikte önerildiği gibi deneysel çalışma sonuçları kullanılarak kalibre edilmiştir.

Deneysel çalışmaların seçiminde uygun örnekleme yapabilmek ve hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırabilmek için deney verilerinin tam olması, farklı kolon özellikleri ve göçme tipleri göz önünde tutulmuştur. Bu çalışmada kullanılmak üzere 1984-2004 yılları arasında deneysel verileri tam ve farklı tasarım parametrelerine sahip 72 adet dikdörtgen kesitli betonarme kolon seçilerek sonlu elemanlar yöntemiyle analitik olarak modellenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan deneysel veri seti PEER Structural Performance Database User's Manual (Berry vd. 2004)'ten ve araştırmacıların yayınlanmış makalelerinden derlenmiştir. Deneysel olarak değerlendirilmiş her bir dikdörtgen betonarme kolona ait mekanik ve geometrik özellikler, deney sonucu elde edilmiş akma anındaki yatay yer değiştirme ( $\Delta_y$ ), oluşan maksimum kesme kuvveti ( $V_{max}$ ), maksimum yer deriştirme ( $\Delta_u$ ) gibi değerler, çevrimsel yükleme durumu ve deneylerle ilgili diğer bilgiler yayınlarda rapor edilmiştir. Yer değiştirmiş eksen dönmesi ( $\theta_x = \Delta_u/L$ ) ve akma anındaki yer değiştirmiş eksen dönmesi ( $\theta_y = \Delta_y/L$ ) gibi değerler ise rapor edilen deney verileri kullanılarak hesap edilmiştir. Bu çalışmada ele alınan dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar boyut ve tasarım değişkenleri bakımından farklı ancak yükleme durumu bakımından benzer özellikler göstermektedirler. Farklı araştırmacılar tarafından; aksenal yük oranı ( $P/f_cbh$ ), beton basınç dayanımı ( $f_c$ ), boyuna donatı oranı ( $\rho$ ) ve sargı donatı aralığı ( $s$ ) gibi tasarım değişkenlerinin betonarme kolonların yanal yük altında davranışına etkisini araştırmak için yapılan deneylere ait elemanlar, yapılış tarihi ve özellikleri Çizelge 3-1'de verilmiştir. Seçilen deney elemanlarının çoğu eğilmeden dolayı taşıma kapasitesini kaybetmekte iken sadece 12 adet kolon eğilmede kesme durumunda geçmiştir. Seçilen kolon setinde kesmeden dolayı göçen herhangi bir kolon rapor edilmemiştir. Deneysel çalışmalara ait detaylı bilgiler bahsi geçen çalışmalarda mevcuttur. Seçilen bu deneylerdeki kolonların en-boy oranı  $1.65 < L/h < 7.63$ ; beton basınç dayanımı  $13 < f_c < 102$  MPa; boyuna ve sargı donatılarının akma dayanımı  $300-580$  MPa; boyuna donatı oranı  $0.01 < \rho < 0.036$ ; sargı donatısı oranı  $0.00082 < \rho_s < 0.032$  ve aksenal yük oranı  $0 < P/f_cbh < 0.6$  değerleri arasında değişmektedir. Deney setindeki kolon özelliklerine bakıldığında çok sayıda farklı özelliklere sahip ve büyük çoğunluğunun eğilme nedeniyle göçtüğü görülmektedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

**Çizelge 3-1** Deneysel elemanları ve boyutları

Deneysel yapan Araştırmacılar ve Yapılış Tarihi	Deneysel Elemanın Adı	h (mm)	b (mm)	L (mm)	$f_c$ (MPa)	$f_{yt}$ (Mpa)	P/P <sub>0</sub>	$\Delta_y$ (mm)	$\rho_s$	V <sub>max</sub> (kN)	*FT
Ohno and Nishioka, 1984	L1	400	400	1600	24.8	325	0.3	9.49	0.0038	119	F
	L2	400	400	1600	24.8	325	0.3	9.05	0.0038	111	F
Imai and Yamamoto, 1986	No.1	500	400	825	27.1	336	0.07	4.20	0.0030	471	SF
Saatcioglu and Ozcebe, 1989	U1	350	350	1000	43.6	470	0.00	14.00	0.0034	295	F
	U3	350	350	1000	34.8	470	0.14	20.78	0.0069	267	F
	U4	350	350	1000	32	470	0.15	13.08	0.0103	325	F
	U6	350	350	1000	37.3	425	0.13	13.56	0.0066	342	F
	U7	350	350	1000	39	425	0.13	13.61	0.0066	341	F
Tanaka and Park, 1990	No.5	550	550	1650	32	325	0.10	13.55	0.0088	385	F
	No.6	550	550	1650	32	325	0.10	11.96	0.0088	409	F
	No.7	550	550	1650	32.1	325	0.06	9.68	0.0107	588	F
Park and Paulay, 1990	No.9	600	400	1784	26.9	305	0.10	10.71	0.0107	393	F
Nosho et al., 1996	No.1	280	280	2134	40.6	351	0.34	11.30	0.0013	54	F
Bayrak and Sheikh, 1996	ES-1HT	305	305	1842	72.1	463	0.50	9.50	0.0168	136	F
	AS-2HT	305	305	1842	71.7	542	0.36	11.30	0.0133	149	F
	AS-3HT	305	305	1842	71.8	542	0.50	9.30	0.0133	144	F
	AS-4HT	305	305	1842	71.9	463	0.50	14.00	0.0240	139	F
	AS-5HT	305	305	1842	101.8	463	0.45	5.67	0.0266	182	F
	AS-6HT	305	305	1842	101.9	463	0.46	14.20	0.0315	170	F
	AS-7HT	305	305	1842	102	542	0.45	14.60	0.0127	159	F
	ES-8HT	305	305	1842	102.2	463	0.47	9.60	0.0228	178	F
Wehbe et al., 1998	A1	610	380	2335	27.2	428	0.10	23.60	0.0032	368	F
	A2	610	380	2335	27.2	428	0.24	22.00	0.0032	400	F
	B1	610	380	2335	28.1	428	0.09	27.30	0.0043	379	F
	B2	610	380	2335	28.1	428	0.23	26.86	0.0043	424	F
Lynn et al., 1998	3CLH18	457	457	1473	27	400	0.09	9.47	0.0008	277	SF
	2CLH18	457	457	1473	33.1	400	0.07	8.40	0.0008	241	SF
	2CMH18	457	457	1473	25.5	400	0.28	4.48	0.0008	306	SF
	3CMH18	457	457	1473	27.6	400	0.26	7.90	0.0008	328	SF
	3CMD12	457	457	1473	27.6	400	0.26	6.39	0.0018	355	SF
	3SLH18	457	457	1473	26.9	400	0.09	7.90	0.0012	270	SF
	2SLH18	457	457	1473	33.1	400	0.07	7.18	0.0012	229	SF
	3SMD12	457	457	1473	25.5	400	0.28	7.84	0.0018	367	SF
Xiao and Martirosyan, 1998	L19-0.1P	254	254	508	76	510	0.10	6.20	0.0074	324	F
	L19-0.2P	254	254	508	76	510	0.20	5.30	0.0074	378	F
	L16-0.1P	254	254	508	86	510	0.10	5.20	0.0084	275	F
	L16-0.2P	254	254	508	86	510	0.19	6.20	0.0084	319	F
Saatcioglu and Grira, 1999	BG-1	350	350	1645	34	570	0.43	9.99	0.0032	194	F
	BG-2	350	350	1645	34	570	0.43	9.64	0.0096	186	F
	BG-3	350	350	1645	34	570	0.20	15.40	0.0096	164	F
	BG-4	350	350	1645	34	570	0.46	11.01	0.0064	203	F
	BG-5	350	350	1645	34	570	0.46	13.76	0.0129	204	F
	BG-6	350	350	1645	34	570	0.46	11.31	0.0129	221	F
	BG-7	350	350	1645	34	570	0.46	11.97	0.0062	209	F

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

**Çizelge 3-2** Deney elemanları ve boyutları (devam)

Deneyi yapan Araştırmacılar ve Yapılış Tarihi	Deney Elemanının Adı	h (mm)	b (mm)	L (mm)	$f_c$ (MPa)	$f_{yt}$ (Mpa)	P/P <sub>0</sub>	$\Delta_y$ (mm)	$\rho_s$	V <sub>max</sub> (kN)	*FT
Saatcioglu and Grira, 1999	BG-8	350	350	1645	34	570	0.23	20.66	0.0062	198	F
Mo and Wang, 2000	C1-1	400	400	1400	24.9	460	0.11	14.95	0.0073	250	F
	C1-2	400	400	1400	26.7	460	0.16	14.79	0.0073	267	F
	C1-3	400	400	1400	26.1	460	0.22	14.87	0.0073	305	F
	C2-1	400	400	1400	25.3	460	0.11	16.71	0.0070	248	F
	C2-2	400	400	1400	27.1	460	0.16	15.62	0.0070	260	F
	C2-3	400	400	1400	26.8	460	0.21	13.45	0.0070	309	F
	C3-1	400	400	1400	26.38	460	0.11	17.91	0.0067	234	F
	C3-2	400	400	1400	27.48	460	0.15	17.89	0.0067	259	F
	C3-3	400	400	1400	26.9	460	0.21	15.43	0.0067	299	F
Bechtoula, Kono, Arai and Watanabe, 2002	L1D60	600	600	1200	39.2	524	0.57	4.50	0.0094	123	F
	L1N60	600	600	1200	39.2	524	0.57	3.50	0.0094	133	F
	L1N6B	560	560	1200	32.2	524	0.59	2.88	0.0102	1200	F
Takemura and Kawashima, 1997	Test3	400	400	1245	34.3	368	0.03	5.80	0.0046	153	F
	Test6	400	400	1245	35.9	368	0.03	6.40	0.0049	170	F
Xiao & Yun, 2002	FHC1-0.2	510	510	1778	64.1	445	0.20	14.80	0.0072	724	F
	FHC2-0.34	510	510	1778	62.1	445	0.33	11.10	0.0104	804	F
	FHC3-0.22	510	510	1778	62.1	524	0.23	13.80	0.0089	724	F
	FHC4-0.33	510	510	1778	62.1	525	0.32	11.40	0.0089	796	F
	FHC5-0.2	510	510	1778	64.1	445	0.20	14.10	0.0072	711	F
	FHC6-0.2	510	510	1778	64.1	524	0.20	16.00	0.0061	704	F
Bayrak and Sheikh, 2002	RS-11HT	350	250	1842	70.8	542	0.51	9.25	0.0098	190	F
Sezen and Moehle, 2004	No.1	457	457	1473	21.1	476	0.15	12.80	0.0020	302	SF
	No.2	457	457	1473	21.1	476	0.61	7.44	0.0020	300	SF
	No.4	457	457	1473	21	476	0.15	14.00	0.0020	294	SF
Acun and Sucuoglu, 2010	2P3	350	350	1650	13	368	0.2	105.0	0.0029	60	F
	3P3	350	350	1650	13	368	0.4	70.00	0.0029	68	F
	2D3	350	350	1650	25	469	0.2	105.0	0.0069	95	F

\*Göçme Tipi (FT); F Eğilme Göçmesi, SF Kesmede Eğilme Göçmesi

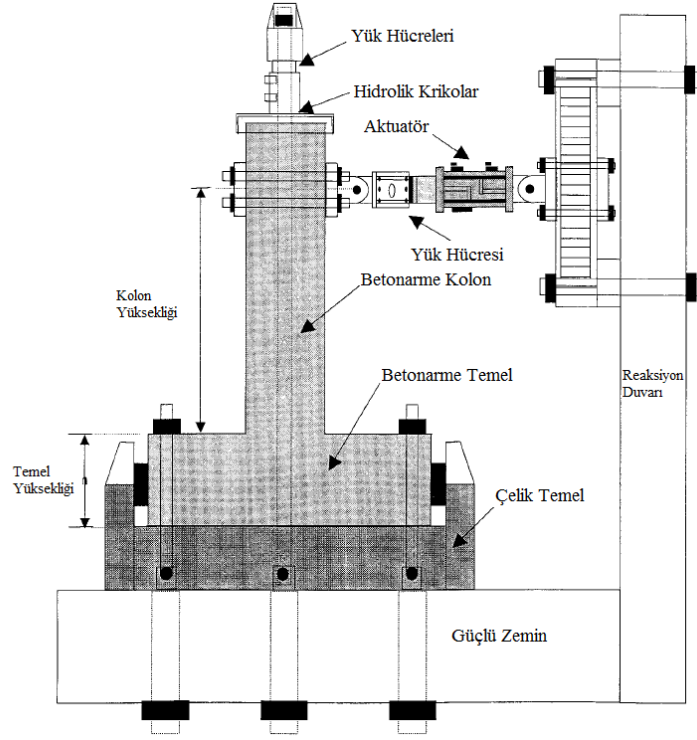
### 3.2. Materyal ve Yöntemin Belirlenmesi

Betonarme dikdörtgen kolonlar üzerinde daha önce yapılmış deneysel çalışmalara ait veriler derlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Sayısal model oluşturulurken kolon boyutları ve parametrik özellikleri deneysel çalışmalarda rapor edildiği gibi alınmıştır, malzeme modelleri ise kullanılan sonlu eleman programında ki eleman tipleriyle uyumlu olarak tanımlanmıştır. Sınır şartları deney düzeneğini temsil edecek şekilde sonlu eleman modeline atanmıştır.

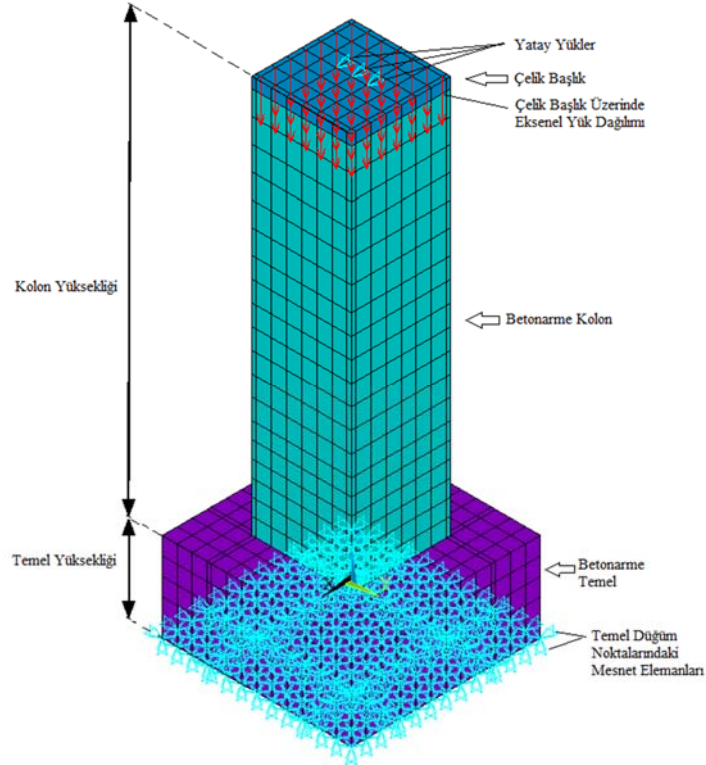
Laboratuvar ortamında test edilen kolonlara ait örnek bir deney düzeneğinin şematik çizimi Şekil 3.3'te görüldüğü gibidir. Betonarme kolonun temelinin yanal hareketini kısıtlamak amacıyla çelik bir temel içine monte edilmiş ve güçlü zemine art gerilmeli çubuklarla sabitlenmiştir. Böylece kolon davranışını temsil edecek eleman, tabanda dönmeye ve ötelenmeye karşı tutulmuş ve üst noktada serbest bırakılmıştır. Kolon yüksekliği hizasından yatay yük reaksiyon duvarına monte edilmiş iki ucu mafsallı bir piston ile uygulanmıştır. Kolon üstünden yükleme yönüne dik olarak bağlanan yükleme hücresi ve hidrolik kriko yardımıyla aksenal yük kolona aktarılmıştır. Düşey ve yatay yükler yük hücreleriyle, yatay ötelenmeler ise LVDT'ler ile ölçülmüştür. Kurulan bu deney düzeneği ile konsol kiriş şeklinde test edilmiş betonarme kolonların davranışı düşey ve tekrarlı yanal yükler altında gözlemlenmiştir.

Her bir deney elemanını temsil eden sonlu eleman modeli Şekil 3.4'de gösterildiği gibi oluşturulmuş ve dikdörtgen kesitli betonarme kolonların doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Sonlu eleman modeli betonarme temel, betonarme kolon ve çelik başlık olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Betonarme temel altında bulunan düğüm noktalarından kolon sabitlenerek tabanda dönme ve yer değiştirme yapmasının önüne geçilmiştir. Deney düzeneklerinin çoğunda olduğu gibi betonarme kolonun üstüne çelik bir katman tanımlanmış ve düşey yükler bu plakanın düğüm noktalarına yayılı olarak uygulanmıştır. Yatay yükler ise kolon en üstünde ortada bulunan en az üç düğüm noktasına eşit büyüklükte etkiyecek şekilde tanımlanmıştır. Düşey ve yatay yükler deney düzeneklerinde olduğu gibi modellere aktarılmıştır. Betonarme kolonu oluşturan boyuna donatılar temel alt noktasından kolon üstüne kadar ayrıca tanımlanmıştır.





Şekil 3.3 Kolon deney düzeneği (Mo, Y. L., and Wang, S. J., 2000)



Şekil 3.4 Kolon sonlu eleman modeli

Sıyırılma etkisindeki elemanlar için iki ayrı model oluşturulmuştur. Bu modeller; beton ve donatı çeliği arasında bağ çözülmesinin olmadığı varsayılarak yapılan

modelleme ile beton ve donatı çeliği arasında sıyrılmamanın olduğu, donatı sıyrılmamasının kuvvet-kayma eğrisiyle yay elemanlarına tanımlandığı modellerdir. Bu iki farklı modelleme tekniği ile bağ çözülmesinin etkin olduğu deney elemanlarının analizleri yapılarak, donatı sıyrılmamasının kolon taşıma kapasitesine etkisi gözlemlenmiştir. Modellemelerde eleman ağı yoğunluğu, analiz süresi ve eleman boyut etkisi göz önünde bulundurularak sonuçların daha hassas ve kullanılabilirliği için kalibre edilmiştir. En uygun eleman ağ yoğunluğu elde edildikten sonra analizler tekrarlanarak bu çalışmada kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarından elde edilecek kuvvet değerleri yatay yüklerin uygulandığı düğüm noktalarındaki reaksiyon kuvvetlerinin toplamından elde edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen yanal kuvvet-yanal ötelenme oranı ilişkisi sonlu eleman modeliyle elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve hesap deformasyon kapasitelerinin güvenilirliği değerlendirilmiştir. Bu şekilde sonlu eleman modelinin deneysel elemanı temsil edebileceği sınırlanmıştır.

Deneysel elemanın moment-eğrilik veya moment-dönme ilişkisi mevcut olmadığından, kolonların moment-dönme ilişkisi sonlu eleman modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi etkin kesit boyutunun yarısı kadar yükseklik ( $0.5h$ ) plastik mafsallın olduğu boy ( $L_p$ ) olarak kabul edilip plastik mafsall boyundaki kolon kesitinin basınç bölgesinde çekirdek betonu en dış lifindeki kısalma ve çekme bölgesinde donatı çeliğinin uzama miktarları alınarak kolon kesitinde meydana gelen dönme hesap edilmiştir. Hesaplanan değerler ile yönetmeliklerde verilen ve araştırmacılar tarafından önerilen hasar sınır şartları bu çalışmada karşılaştırılmıştır. Bu şekilde önerilen hasar sınır değerlerinin geçerliliği değerlendirilmiştir.

Ayrıca dairesel veya dikdörtgen kesitli betonarme elemanların farklı parametreleri üzerinden moment-dönme ve kuvvet-yanal şekil değiştirme hesabı yapan CUMBIA betonarme kesit analizi yazılımıyla (Montejo ve Kowalsky 2007) deney elemanlarının kesit hesaplamaları yapılarak ANSYS çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen veriler kullanılarak istatistiki yöntemlerle betonarme kolonların performans değerlerini belirlemek için tasarım değişkenlerine bağlı yeni hasar sınır bağıntıları önerilmiştir.

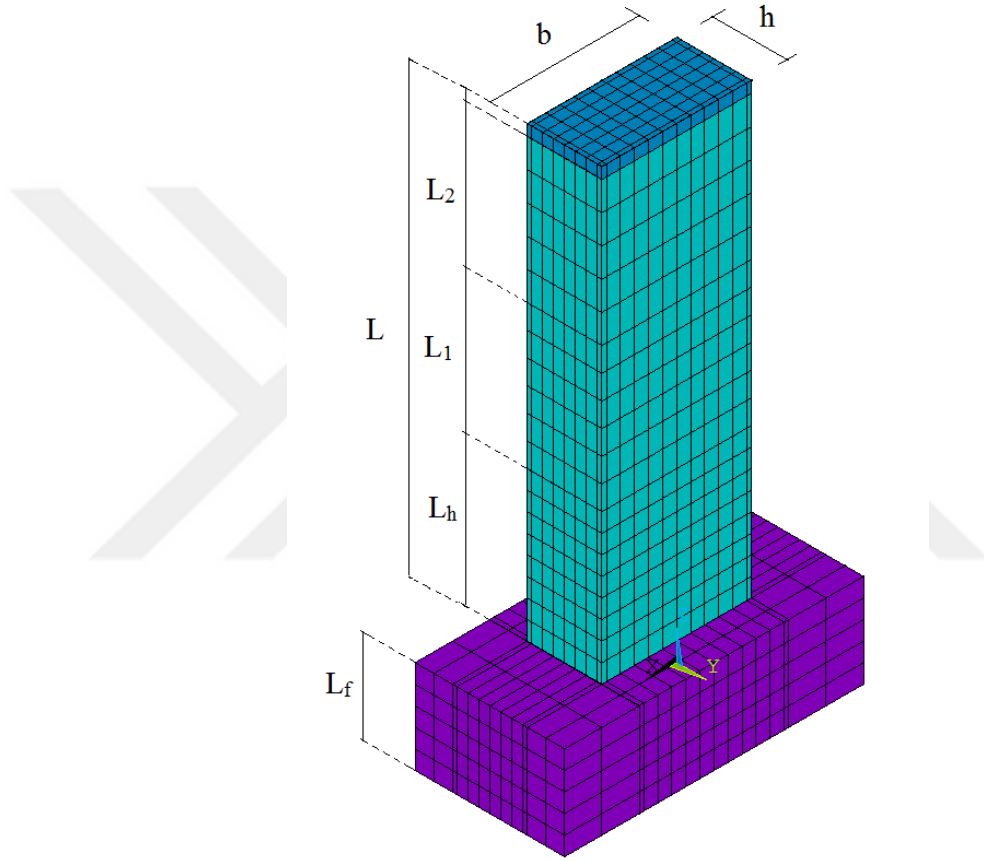
#### 3.3. Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan sonlu eleman modeli kolonların kesme veya eğilme davranışını kontrol etmek için özel bir işlem gerektirmeden deneysel davranışını doğru bir şekilde hesaplayabilmektedir. Bu çalışmada sonlu eleman yönteminin kullanılmasındaki amaç gerçek bir deneysel çalışmada elde edilen tüm davranışları birebir elde ederek veya deney sırasında meydana gelen paspayı dökülmesi, betonun ezilmesi veya donatı burkulması gibi bütün fiziksel durumları incelemek değil kabul edilen hata sınırları içerisinde gözlemlenen kolon davranışını taklit ederek deneysel çalışma sonuçlarına benzer kolon davranışları elde etmektir.

Hesap yöntemiyle hasar sınırlarının karşılaştırması yapılacak dikdörtgen kesitli kolonların modellenmesinde ANSYS v14.0 doğrusal olmayan sonlu eleman programı kullanılmıştır. Deneysel çalışmaları ve kolon test kurulumunu temsil etmek üzere Şekil 3.5'te örnek olarak gösterildiği gibi her bir kolon elemanı için sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Betonarme yapıyı oluşturan beton (sargılı ve sargısız) ve betonarme çeliği için (çekmede ve burkulmada) doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanılmıştır. Sonlu eleman modelinin oluşturulması, beton ve çelik için kullanılan malzeme modelleri ve geçerliliğinin test edilmesi için izlenen yol Kazaz vd. (2010, 2012a, 2012b, 2013) tarafından yapılan çalışmalardakine benzerdir. Bu çalışmalar dinamik ve çevrimsel yükler altında test edilen betonarme elemanların sonlu elemanlar analiziyle oluşturulan ve doğrulanan çok sayıda modellerini içermektedir. Deneysel çalışmalardaki çevrimsel yüklemelerin kolon taşıma kapasitesinin azalmasına neden olan etkileri malzeme modellerinde yapılan değişikliklerle sonlu eleman modeline aktarılmıştır. Böylece oluşturulan sonlu eleman modeli tek yönlü itme (monotonic) yöntemiyle analiz edilerek, çevrimsel yüklemeye (cyclic) maruz bırakılmış kolon deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir.

Sonlu eleman analizlerinde kullanılmak üzere betonu modellemek için sekiz düğüm noktası olan ve her düğüm noktası  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri etrafında ötelenme serbestlik derecesine sahip katı SOLID65 hacimsel elemanı kullanılmıştır. Beton yüzeyi ve donatı arasında bağ çözümlerini ve kolon basınç bölgesinde donatının burkulma etkisini sayısal modele aktarabilmek için boyuna donatı betondan ayrı (discrete) olarak ve LINK180 çubuk elemanı kullanılarak modellenmiştir. Sonlu eleman ağı oluşturulurken donatıların deneylerdeki gerçek yerlerini ve miktarlarını uygun olarak ayrı modellerden elde edilmesi için eleman boyutları ve düğüm noktalarının yerleri özellikle belirlenmiştir. LINK180 iki düğüm noktasına ve her düğüm noktasında  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerinde ötelenme serbestlik derecesine sahiptir. Etriye donatıları için ayrıca model hazırlanmamıştır ve beton hacmi içerisinde yayılı olarak modellenmiştir. Beton ve donatı çeliği arasında sıyrılmamanın etken parametre olduğu durumları temsil etmek için katı ve çubuk eleman düğüm noktaları arasında bağ temsil eden COMBIN39 yay elemanları tanımlanmıştır. Kolon temelinde bulunan donatılar betondan ayrı modellenmek yerine, beton içinde karşılık bulan katı elemanın hacmi içine yayılı (smeared) olarak modellenmiştir. Donatı çeliği, yay elemanı, sargılı ve sargısız beton için malzeme özellikleri doğrudan tanımlanarak sonlu eleman modeline eklenmiştir. Yanal ve eksenel yükler deney kurulumunda verildiği gibi SE modeline aktarılmıştır. Deney elemanlarının oluşturulan sonlu eleman modellerinin her biri monotonik statik yüklemeye analiz edilmiştir. Sonlu eleman analizinde tek eksenli yüklemeye altında beton basınç gerilme değerleri için Saatçioğlu ve Razvi (1992) tarafından önerilen sargılı ve sargısız betonun gerilme-birim şekil değiştirme modeli kullanılmıştır. Willam-Warke (1975) beton göçme yüzeyi modeli multilineer kinematik pekleşme plastisitesi modeliyle birlikte kullanılarak betonun çok eksenli gerilme davranışı modellenmiştir. Boyuna donatılarının modellenmesinde ise TBDY (2018)'de önerilen gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Basınç bölgesindeki boyuna donatıların burkulmasını modellemek için Dhakal ve Maekawa (2002) tarafından önerilen model kullanılmıştır. Donatı sıyrılmamasının meydana geldiği rapor edilen deneylerin sonlu eleman modellerinde kullanılmak üzere Eligehausen vd. (1983) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılmama modeli kullanılmıştır. Sonlu eleman analizinde kullanılan malzeme modelleriyle ilgili detaylar **Sonlu Eleman Modelinde Kullanılan Malzeme Modelleri** başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir.

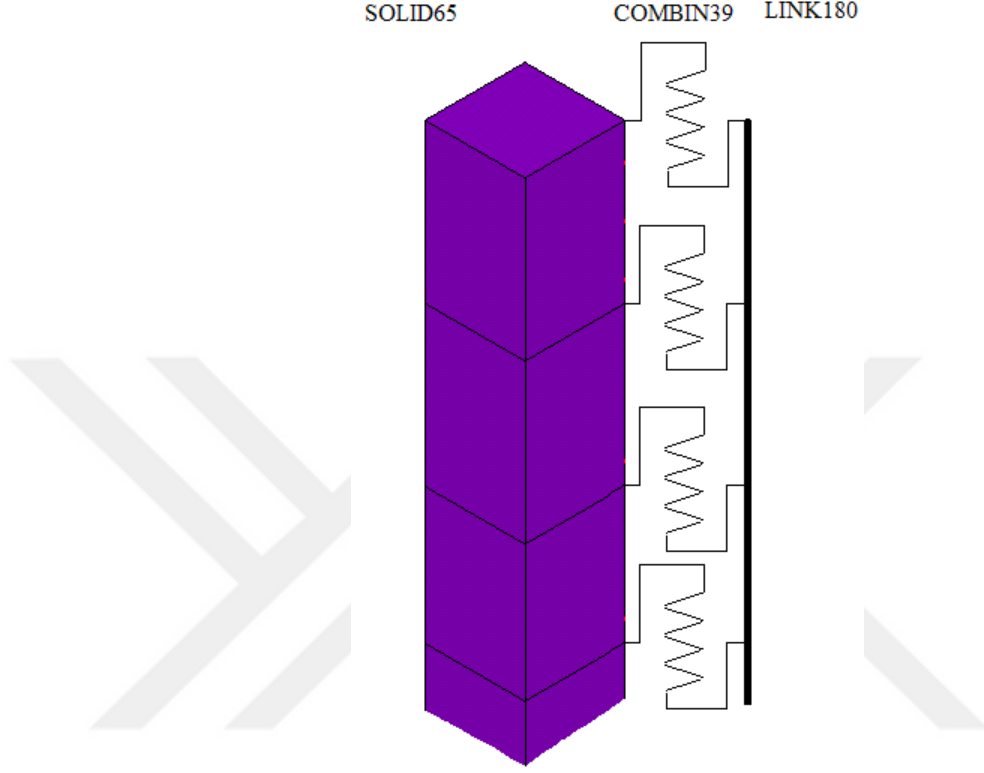
Betonarme elemanların doğrusal olmayan analizlerinde kesme kuvveti aktarım katsayısı mutlaka dikkate alınmalıdır. Kapalı çatlaklar ( $\beta_c$ ) için bu katsayı 0.8 kabul edilebilir, açık çatlaklar ( $\beta_t$ ) için kesme kuvveti aktarım katsayısı sayısal zorluklardan kaçınmak için 0.0'dan farklı olarak 0.05-0.5 değerleri arasında alınabilmektedir. Bu çalışmada kabul edilebilir doğru bir tahmin için açık çatlaklar ( $\beta$ ) için kesme kuvveti aktarım katsayısı 0.05 olarak kullanılmıştır.



**Şekil 3.5** Katı eleman modelinde sonlu elemanlar ve düğüm noktaları

Bağ çözülmesinin kolon taşıma kapasitesini etkili bir şekilde azalttığı rapor edilen deneysel çalışmalarda kolonlarda beton ile donatı çeliği arasında meydana gelen sıyrılma etkisini modelleyebilmek için çubuk LINK180 elemanlarının düğüm noktaları ile katı SOLID65 elemanlarının düğüm noktaları çakışık (coincident node) olarak ayrı ayrı tanımlanmış ve bu düğüm noktaları arasına Şekil 3.6'da gösterildiği gibi sonlu eleman uygulamalarında kullanılagelen boyutsuz yay COMBIN39 elemanları tanımlanmıştır. COMBIN39 elemanlarıyla birleştirilen düğüm noktaları CP (Couple) komutu kullanılarak yatay X ve Y yönlerinde serbestlik dereceleri eşleştirilmiş ve bu

yönlerde yanal yükler altında eşit ötelenmeler yapmaya zorlanmıştır. Düşey Z yönünde ise düğüm noktalarının birbirinden bağımsız fakat COMBIN39 elemanına tanımlanan gerilme-sıyrılma modeline göre ötelenmeler yapmaları sağlanmıştır.



**Şekil 3.6** SOLID65 ve LINK180 elemanları düğüm noktalarının COMBIN39 elemanı ile birleştirilmesi

Beton için SOLID65 katı elemanları donatılı veya donatısız olarak 3 boyutlu modellemesinde kullanılmaktadır. Bu katı eleman çekme gerilmelerinde çatlama, basınç gerilmelerinde ise ezilme yeteneğine sahiptir. Betonarme uygulamalarında farklı yönlerde donatı özellikleri tanımlanarak donatılı beton davranışı gösterebilmektedir. Katı eleman her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahip sekiz düğüm noktası tarafından tanımlanır. En fazla üç yönde donatı tanımlanabilmektedir. Beton elemanı 3 boyutlu yapısal katı elemanlarla benzerlik gösterdiği gibi çatlama ve ezilme gibi özelliklere de sahiptir. Bu elemanın en önemli özelliği doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin tanımlanabilmesidir. Ayrıca çatlama (üç ortogonal yöne), ezilme, plastik deformasyon ve sünme yeteneğine sahiptir. Donatı çekme ve basınç gerilmelerini karşılayabilmekte fakat kesme gerilmelerini karşılamamaktadır. Kolon sargılı ve

sargısız beton elemanları tanımlanırken betonarme özelliklerinin tanımlanabilmesinden dolayı SOLID65 elemanı katı model oluşturulurken kullanılmıştır.

LINK180 çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılabilen 3 boyutlu bir çubuk elemandır. Bu eleman gergi çubukları, kabloları, bağlantı elemanlarını ve yayları modellemek için kullanılabilir. Her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahip tek eksenli bir çekme-basınç elemanıdır. Her düğüm noktası x, y ve z eksenlerinde serbestçe dönebilmektedir. Sadece çekme veya sadece basınca çalışabilmektedir. Pimli bağlantısı olan yapı elemanlarında ise eğilmeyi göz önünde bulundurmamaktadır. Plastisite, sünme, dönme, değiştirme ve gerilme kapasitelerine sahiptir. Başlangıçta büyük yer değiştirmelerin olduğu analizler de dahil her analiz için LINK180 elemanı gerilme-rijitlik koşullarını içerir. Elastisite, izotropik pekleşme plastisitesi, kinematik pekleşme plastisitesi, Hill anizotropik plastisitesi, Chaboche doğrusal olmayan pekleşme plastisitesi ve sünme özellikleri tanımlanabilmektedir.

COMBIN39 doğrusal olmayan kuvvet-deformasyon ilişkilerinin tanımlanabildiği her türlü analizde kullanılabilen tek yönlü bir yay elemanıdır. İki düğüm noktasıyla ve doğrusal olmayan kuvvet-deplasman eğrisiyle tanımlanabilen COMBIN39 elemanına basınçta ve çekmede farklı özellikler tanımlanabildiği gibi simetrik özellik de atanabilmektedir. Bu yay elemanı 1, 2 ve 3 boyutlu uygulamalarda boyuna uzama veya burulmaya çalışabilmektedir. Boyuna uzama seçeneğinde tek eksenli çekme-basınç elemanı her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahiptir ve düğüm noktaları x, y ve z eksenlerinde serbestçe uzayabilmektedir. Boyuna uzama seçeneğinde burulma ve burkulmanın yay elemanında meydana gelmediği kabul edilmektedir. Burulma seçeneğinde ise düğüm noktaları her üç eksen etrafında dönebilmektedir. Burkulma veya eksenel yükleme göz önüne alınmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılacak kolon eleman modelleri oluşturulurken model girdisi olarak kolon en (h), boy (b), yükseklik (L) bilgileri, temel boyu ( $L_f$ ), eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ), boyuna donatının ve sargı donatısının akma ( $f_y$ , ve  $f_{ys}$ ) ve nihai dayanımları ( $f_{su}$ , ve  $f_{ssu}$ ), sargı donatısı çapı, etriye bacak sayısı ve adım aralığı (s), beton basınç dayanımı ( $f_c$ ), boyuna donatının hacimsel oranı ( $\rho_l$ ), kesitte X ve Y yönündeki

boyuna donatı adeti, beton örtüsü kalınlığı (cc) veri dosyasına yazdırılarak sonlu eleman modeli oluşturulmaktadır.

#### 3.4.Sonlu Eleman Modelinde Kullanılan Malzeme Modelleri

##### 3.4.1. Beton ve donatı için kullanılan malzeme modelleri

Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi tipik olarak bir pekleşme gerilme-şekil değiştirme bölgesi ve ardından bir yumuşama bölgesi sergiler. Negatif eğim, sargısız beton için dik olabilirken, sargılı beton nispeten büyük gerilmelere karşı çok kararlı bir tepki gösterebilir. Betonun tek eksenli davranışını modellemek için kullanılabilecek çok sayıda model vardır (örneğin, Popovics 1973; Mander vd. 1988; ve Chang 1994). Aşağıda gerilme-şekil değiştirme modellerinde kullanılan önemli parametrelerin bir özeti verilmiştir:

- Maksimum basınç dayanımı ve ilgili gerilmenin tanımlanması
- Yük altında beton mikro çatlakları nedeniyle etkili modülde değişimi yakalamak için doğrusal olmayan yükselen bölge
- Enine donatı oranına bağlı tepe sonrası iniş kısmı
- En büyük çekme gerilmesi ve birim şekil değiştirmesi
- Çevrimsel yükleme altında davranışı güvenilir şekilde modellenmesi

Beton gerilme-şekil değiştirme modelini belirlemek için kullanılan sargısız beton dayanımı, beklenen beton basınç dayanımı olarak alınmalıdır. Mander vd. (1988) ve diğer çalışmalar (örneğin, Park vd. 1982; Sheikh ve Uzumeri 1982; Ahmad ve Shah 1982; Kappos 1991; Saatçioğlu ve Razvi 1992), en büyük sargılı beton gerilmesi, en büyük sargılı ve sargısız beton birim şekil değiştirmeleri,  $\epsilon_{co}$ ,  $\epsilon_{cc}$  ve  $\epsilon_{cu}$  gibi anahtar parametrelerin değerlerinin tahmini için sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini veren denklemler önermişlerdir. Sargısız beton için tipik  $\epsilon_{co}$  değerleri 0.002 ile 0.003 arasında değişmektedir ve genellikle 0.002 olarak alınmaktadır.  $\epsilon_{cc}$  ve  $\epsilon_{cu}$  değerleri sargılama seviyesine bağlıdır.  $\epsilon_{cc}$ 'nin tipik değerleri

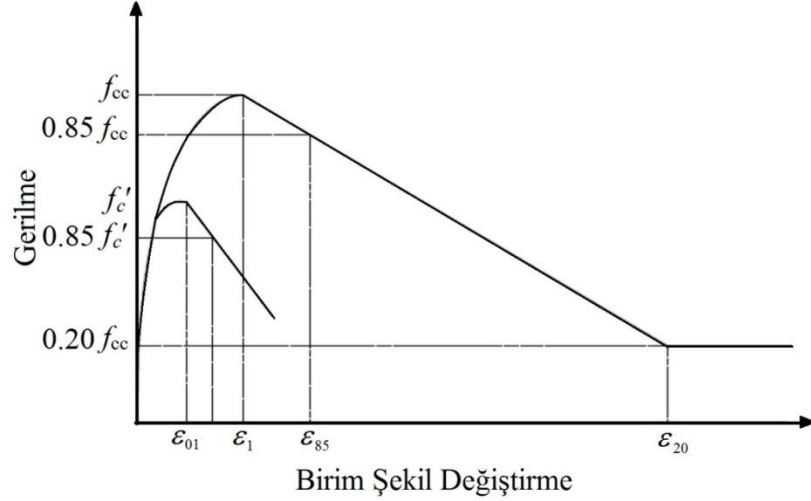


genellikle 0.004 ile 0.01 arasındadır; ancak çok sınırlı kolonlar için 0.05 kadar yükselebilir.

Sonlu eleman modelinde betonu temsil eden SOLID65 elemanı için sargılı ve sargısız beton modelleri incelenmiştir. Bu modeller;

- Geliştirilmiş Hognestad Modeli (Hognestad 1951),
- Sargılı beton için geliştirilen Mander Beton Modelinde sargı gerilme değerinin sıfır alınmasıyla bu modelin sargısız beton modeli olarak kullanılmasıyla oluşturulan model (Mander vd. 1988),
- Sargısız beton için geliştirilen Kent & Park Modeli (Kent ve Park 1971),
- Geliştirilmiş Kent&Park Modeli (Scott vd. 1982),
- Sheikh & Uzumeri modeli (Sheikh ve Uzumeri 1982)
- Mander Modeli (Mander vd. 1988) ve
- Saatçioğlu & Razvi Modeli (Saatçioğlu ve Razvi 1992) modelleridir.

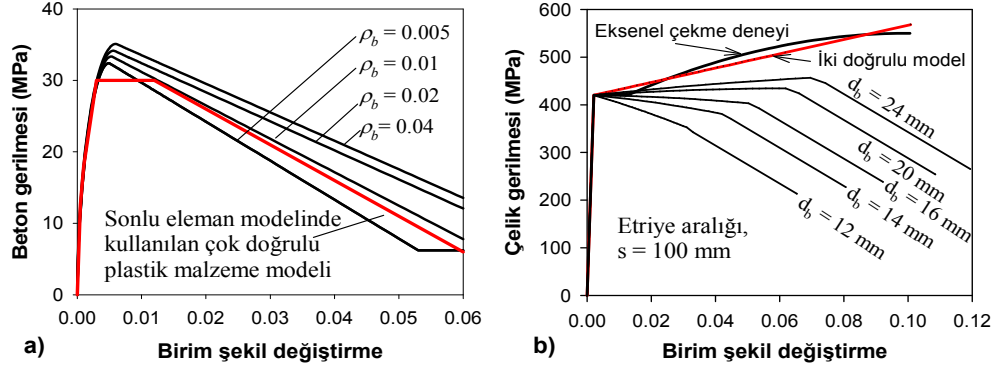
Sargılı betonun gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Saatçioğlu ve Razvi (1992) tarafından önerilen model kullanılarak sonlu elemanlar programına aktarılmıştır. Bu model enine donatı yakınında maksimuma ulaşan ve donatılar arasında azalan yanıl basıncın ortalama değerinin hesaplanması esasına dayanır. Artan ilk bölüm bir parabol, düşen kol bir doğrudan oluşur (Şekil 3.7). Kent ve Park (1971) ve Sheikh ve Uzumeri (1982) modelleri gibi içsel sürtünme nedeniyle beton gerilme değerinin dayanımın belirli bir oranının altına düşmediği varsayılır ( $0.20f_{cc}$ ). Model denklemleri aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 3.7 Saatçioğlu ve Razvi (1992) beton modeli

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= f_{cc} \left[ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} & \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \\
 \sigma_c &= f_{cc} \left[ 1 - \frac{0.15(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc})}{\varepsilon_{85} - \varepsilon_{cc}} \right] & \varepsilon_{20} > \varepsilon_c > \varepsilon_{cc} \\
 \sigma_c &= 0.2f_{cc} & \varepsilon_c > \varepsilon_{20}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Beton ve donatı çeliğine ait gerilme-birim şekil değiştirme ve yay elemanına ait kuvvet-sıyrılma eğrileri çok parçalı doğru olarak idealize edilerek kullanılmıştır. Donatı çeliği elastisite modülü 200.000 MPa alınarak deney elemanında kullanılan donatının mekanik özelliklerine göre gerilme-birim uzama eğrisi iki doğrulu duruma getirilmiştir (Şekil 3.8 (a)). Kolon basınç bölgesinde donatının burkulma etkisi dikkate alınarak basınç bölgesindeki donatılar için ayrıca malzeme modeli tanımlanmıştır. Basınç bölgesinde kalan donatılar için gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Dhakal ve Maekawa (2002) tarafından geliştirilen etriye aralığının ve donatı çapının esas alındığı burkulma modeline göre oluşturulmuştur (Şekil 3.8 (b)).



Şekil 3.8 Sonlu eleman analizinde beton ve çelik için kullanılan malzeme modelleri (Kazaz ve Gülkan 2012)

### 3.4.2. Yay elemanı için kullanılan malzeme modelleri

Beton ve donatı arasında meydana gelen bağ çözülmesini tanımlamak için kullanılan COMBIN39 yay elemanı için bağ gerilmesi-donatı sıyrılması (bond-slip) modelleri incelenmiştir. Bu modeller;

- Eligehausen Bond-Slip Modeli, (Eligehausen, Popov ve Bertero 1983)
- Lowes Bond-Slip Modeli, (Lowes 2002)
- Juan-Stavridis Bond-Slip Modeli, (Murcia-Delso, Stavridis ve Shing 2011)

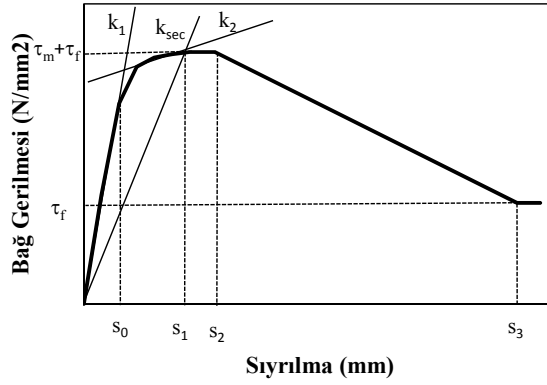
Lowes (2002), tez çalışmasında kolon ve kiriş birleşim noktalarında meydana gelen hasar nedenlerini incelemiş ve statik ve tekrarlı yükler altında beton ve donatı arasında meydana gelen bağ gerilmesi-sıyrılma ilişkisi için yeni bir model önermiştir. Lowes (2002), modelini oluştururken Eligehausen vd. (1983) tarafından önerilen modeli temel olarak almış ve deneysel çalışmalarla kalibre etmiştir. Ayrıca bağ gerilmesini mekanik ( $\tau_m$ ) ve sürtünme ( $\tau_f$ ) olmak üzere iki bileşene ayırmıştır. Lowes (2002) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılma modeli Şekil 3.9'de gösterilmiştir.

$$\tau = \left( \frac{s}{s_0} \right) \left[ \left( \frac{k_2}{k_1} \right) + \left( 1 - \left( \frac{k_2}{k_1} \right) \right) \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{s}{s_0} \right)^R} \right)^{\frac{1}{R}} \right] \quad s \leq s_1 \quad (3.2)$$

$$\tau = \tau_m + \tau_f \quad s_1 \leq s \leq s_2$$

$$\tau = \tau_m \left( \frac{s_3 - s}{s_3 - s_2} \right) + \tau_f \quad s_2 \leq s \leq s_3$$

$$\tau = \tau_f \quad s_3 \leq s$$



**Şekil 3.9** Lowes (2002) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyırılma modeli

Lettow (2007), yaptığı bağ elemanlarının doğrusal olmayan sonlu eleman analizi çalışmasında Lowes (2002) tarafından önerilen Denklem (3.2)'de verilen parametreleri Çizelge 3-3'de gösterildiği gibi almıştır. Bu çalışmada da Lowes (2002) tarafından önerilen model kullanılırken Lettow (2007) tarafından önerilen parametre değerleri kullanılarak sonlu eleman modeline aktarılmıştır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

**Çizelge 3-3** Denklem (3.2)'de verilen parametrelerin Lettow (2007) tarafından sonlu eleman analizinde kullanması için önerilen değerleri

Parametreler	Değer	Birimi
$\tau_f$	$0.4(20f_R^{0.8} f_c^{0.5})$	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_m$	$0.6(20f_R^{0.8} f_c^{0.5})$	N/mm <sup>2</sup>
S1	$(20f_R^{0.8} f_c^{0.5})/k_{sec}$	mm
S2	$0.8+(20f_R^{0.8} f_c^{0.5})/k_{sec}$	mm
S3	c	mm
$k_{sec}$	$120f_R+0.23f_c$	(N/mm <sup>2</sup> )/mm
k1	$(0.8+20f_R)k_{sec}$	(N/mm <sup>2</sup> )/mm
k2	$(0.22-2f_R)k_{sec}$	(N/mm <sup>2</sup> )/mm
R	5.0	

Parametrelere ait Çizelge 3-3'de verilen değerler beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) ve donatıların geometrik özelliklerine göre tanımlanmıştır. Bu özellikler nervür yüksekliğine (a) bağlı nervür alanı ( $f_R$ ) ve nervürler arası mesafedir (c). Lettow (2007), çalışmasında farklı donatı çapları için donatı geometrik parametreleri için değerleri Çizelge 3-4'te vermiştir.

**Çizelge 3-4** Lettow (2007) tarafından önerilen donatı çaplarına bağlı geometrik parametreler

$\phi$	mm	6	10	12	16	20	25
$f_R$	-	0.050	0.060	0.070	0.080	0.085	0.090
a	mm	0.25	0.42	0.60	0.80	1.02	1.26
c	mm	5.0	7.0	8.5	10.0	12.0	14.0

Juan vd. (2013), iyi sargılanmış ve 25mm den büyük çaplı donatılara sahip kolonlarda monotonik ve tekrarlı yükler altında meydana gelen bağ gerilmesi ve donatı sıyrılması arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla deneyler yapmıştır. Araştırmacılar elde ettikleri deneysel sonuçları Eligehausen vd. (1983) tarafından önerilen bağıntıyla karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma büyük çaplı donatıların ve 25mm ve daha küçük çaplı donatıların bağ gerilmesi-sıyrılma ilişkisinin monotonik ve çevirimli yükler altında benzer olduğunu göstermiştir. Ayrıca test sonuçları göstermiştir ki donatı çapının ve beton mukavemetinin artması donatı ve beton arasında meydana gelen bağ dayanımının dikkate değer bir şekilde artmasına neden olmaktadır. Araştırmacılar deneyler sonucu elde ettikleri sonuçlar ışığında Eligehausen vd. (1983) ve Lowes (2002) tarafından önerilen analitik bağıntıları kalibre ederek yeni ve daha kapsamlı bir bağıntı

önermişlerdir (Denklem (3.3)). Beton dayanımının 35MPa'dan farklı olması durumunda Çizelge 3-5'te verilen bağ mukavemeti ( $\tau_{\max}$ )  $f_c^{0.75}$  değeriyle orantılanacaktır.

$$\tau(s) \begin{cases} 4 \frac{\tau_{\max}}{s_{peak}} s & s < 0.1s_{peak} \\ \tau_{\max} \left[ 1 - 0.6 \left( \frac{s - s_{peak}}{0.9s_{peak}} \right)^4 \right] & 0.1s_{peak} \leq s < s_{peak} \\ \tau_{\max} & s_{peak} \leq s < 1.1s_{peak} \\ \tau_{\max} \left[ 1 - 0.75 \frac{s - 1.1s_{peak}}{s_R - s_{peak}} \right] & 1.1s_{peak} \leq s < s_R \\ 0.25\tau_{\max} & s \geq s_R \end{cases} \quad (3.3)$$

**Çizelge 3-5** Juan vd. (2007) tarafından önerilen donatı çaplarına bağlı geometrik parametreler

$\phi$	mm	16	25	36	43	57
SR	mm	8	11.5	19.0	25.0	24.5
$\tau_{\max}$	MPa	20.9	13.9	15.2	16.2	17.6
$s_{peak}$	mm	1.2	1.5	3.0	3.0	3.0

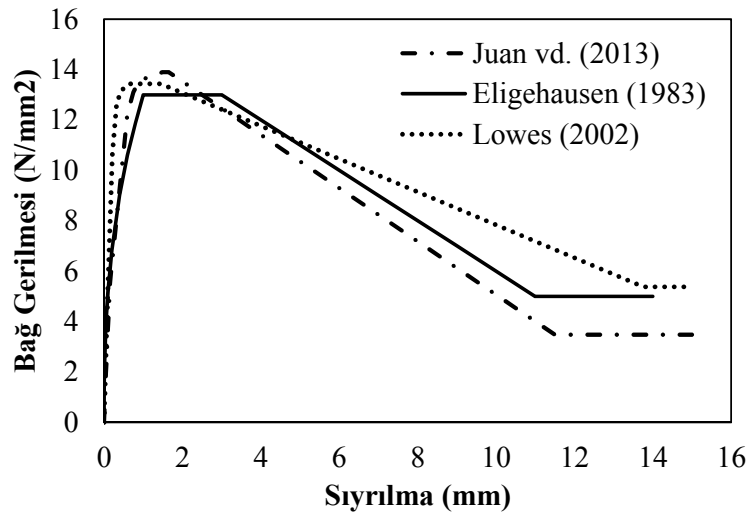
Eligehausen vd. (1983), sargılı beton içine gömülü nervürlü donatıların monotonik ve tekrarlı yükler altında bağ gerilmesi sıyrılma ilişkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri deneysel sonuçlarla nervürlü donatı ve beton arasındaki bağ davranışını analitik bir modelle açıklamışlardır. Eligehausen vd. (1983), tarafından önerilen bağ gerilmesi ve sıyrılma ilişkisi Denklem (3.4)' de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \tau(s) &= \tau_1 \left( \frac{s}{s_1} \right)^\alpha & 0 \leq s \leq s_1 \\ \tau(s) &= \tau_1 & s_1 \leq s \leq s_2 \\ \tau(s) &= \tau_1 - (\tau_1 - \tau_f) \frac{s - s_2}{s_3 - s_2} & s_2 \leq s \leq s_3 \\ \tau(s) &= \tau_f & s \geq s_3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'de  $\tau_1$  maksimum bağ gerilmesi,  $\tau_f$  sürtünme bağ gerilmesi,  $s_1$  maksimum bağ gerilmesine karşılık gelen sıyrılma,  $s_2$  bağ gerilmesinin azalmaya başladığı andaki sıyrılma,  $s_3$  bağ gerilmesinin çözüldüğü andaki sıyrılma olarak tarif edilmiştir. Eligehausen vd. (1983), yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda  $s_1=1.0\text{mm}$ ,  $s_2=3.0\text{mm}$ ,  $s_3=3.0\text{mm}$ ,  $\tau_1=13.5\text{N/mm}^2$ ,  $\tau_f=5.0\text{N/mm}^2$  ve  $\alpha=0.4$  alınabileceğini, yapılan deneysel sonuçlarla bu değerler sonucu elde edilen bağ gerilmesi-sıyrılma ilişkilerinin arasında iyi bir uyum ilişkisi olduğunu belirtmişlerdir.

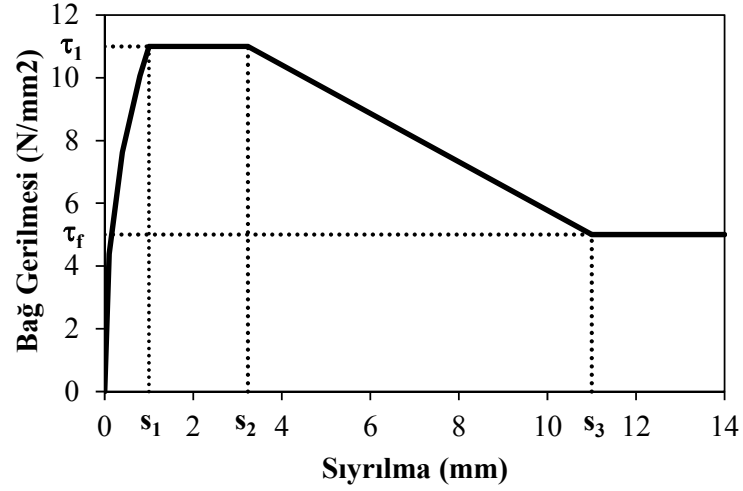
Eligehausen vd. (1983), tekrarlı yükler altında maksimum bağ mukavemetinin %80 oranında azaldığını belirtmiştir. Lettow vd. (2002), Eligehausen tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılma modelini kullanarak betonarme yapı elemanlarının 3 boyutlu sonlu eleman analizini yapmak için kullanmışlardır. Lettow vd. (2002), bu azalma miktarını  $\Omega_{yc}$  faktörü olarak 3B sonlu elemanlar analizine aktararak bağ çözülmesi etkisini göstermişlerdir.

Donatı çapı ve beton mukavemeti aynı olan benzer özelliklere sahip iyi sargılanmış bir beton içine gömülen donatının monotonik yükleme halinde araştırmacılar tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyrılma modellerinin karşılaştırması Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Bağ gerilmesi-sıyrılma modellerinin karşılaştırılması

Şekil 3.10'da Lettow (2007) tarafından belirlenen donatı çaplarına bağlı geometrik parametreler Lowes (2002) tarafından önerilen modelde kullanılmıştır.

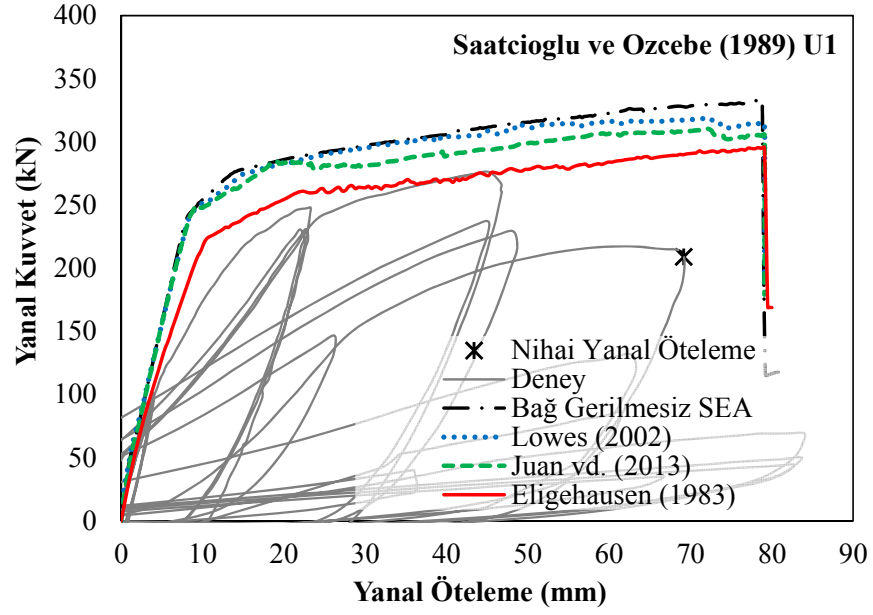


**Şekil 3.11** COMBIN39 yay elemanı malzeme modeli için kullanılan Eligehausen vd. (1983) tarafından önerilen bağ gerilmesi-sıyırılma modeli

COMBIN39 elemanının malzeme özellikleri tanımlanırken Eligehausen vd. (1983) tarafından geliştirilen bağ gerilmesi-sıyırılma modeli bağ gerilmesi kullanılmıştır (Şekil 3.11). Bu modelden elde edilen gerilme değerleri, donatının yüzey alanı ile çarpılarak kuvvet-yer değiştirme eğrisine dönüştürülmüş ve yay elemanına tanımlanarak sonlu eleman analizlerinde kullanılmıştır.

Şekil 3.12’de donatı sıyırılmasının meydana geldiği ve kolon taşıma kapasitesine etki ettiği deneysel çalışmada rapor edilen, Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından gerçekleştirilen deney sonuçları bağ gerilmesiz oluşturulan sonlu eleman analizi ve araştırmacıların önerdikleri bağ gerilmesi-sıyırılma modelleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi donatı sıyırılması sonlu eleman analizi sonucu elde edilen kolonun nihai yanal ötelenme kapasitesine fazla etkisi olmamasına rağmen yanal kuvvet taşıma kapasitesini dikkate değer bir şekilde etkilemektedir.





**Şekil 3.12** Sonlu eleman analizinde kullanılan bağ gerilmesi-sıyrılma modellerinin karşılaştırılması

Yay elemanı ile birleştirilen donatı ve beton düğüm noktaları düşey ekseninde yay elemanına tanımlanan kuvvet-yer değiştirme eğrisine bağlı olarak hareket etmesi sağlanırken aynı düğüm noktaları yatay eksenlerde beraber hareket etmelerini sağlamak için Couple (CP) komutuyla eşleştirilmişlerdir. Böylece kolona etkiyen yanıl kuvvetlerden dolayı donatı ile beton arasında meydana gelecek olan sıyrılma etkisi sonlu eleman modeline aktarılmıştır. Donatı sıyrılmasının etkin olarak kolon taşıma kapasitesine etki ettiği Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından gerçekleştirilen beş adet deneysel çalışmanın sonlu eleman analizi yapılırken bağ kaymalı sonlu eleman modeli kullanılmıştır.

### 3.5. Nihai Hasar Sınır Durumunun Belirlenmesi

Sonlu eleman yöntemiyle hesapları gerçekleştirilen kolon elemanlarının nihai taşıma kapasitesinin yani göçme sınırına ulaşmasının belirlenmesinde kabul edilen ilkeler şöyledir;

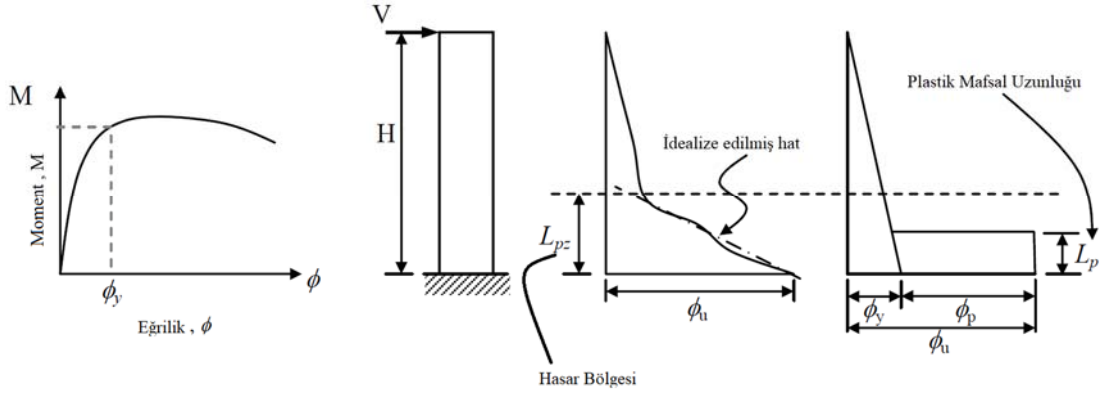
- Çekme bölgesindeki donatıların birim şekil değiştirme kapasitesinin  $\epsilon_s=0.1$ 'i aşması veya basınç bölgesindeki donatılarda burkulma meydana gelmesiyle

- Kolon basınç bölgesindeki sargılı beton en dış lifin malzeme modelinde ki birim şekil değiştirme kapasitesinin aşılmasıyla betonun ezilmesi,
- Kolon yanal kuvvet taşıma kapasitesinde belirgin bir düşüşün gerçekleşmesi veya %20'sini kaybetmesi

Sonlu eleman analizlerinin tamamlanmasının ardından kolon kesitinde oluşan şekil değiştirmelerin hesaplanması için plastik mafsalsal mesafesinde ve kolon boyunca düğüm noktalarında meydana gelen yer değiştirmeler sonlu eleman programından elde edilmiştir.

#### 3.6. Plastik Mafsalsal Boyunun Belirlenmesi

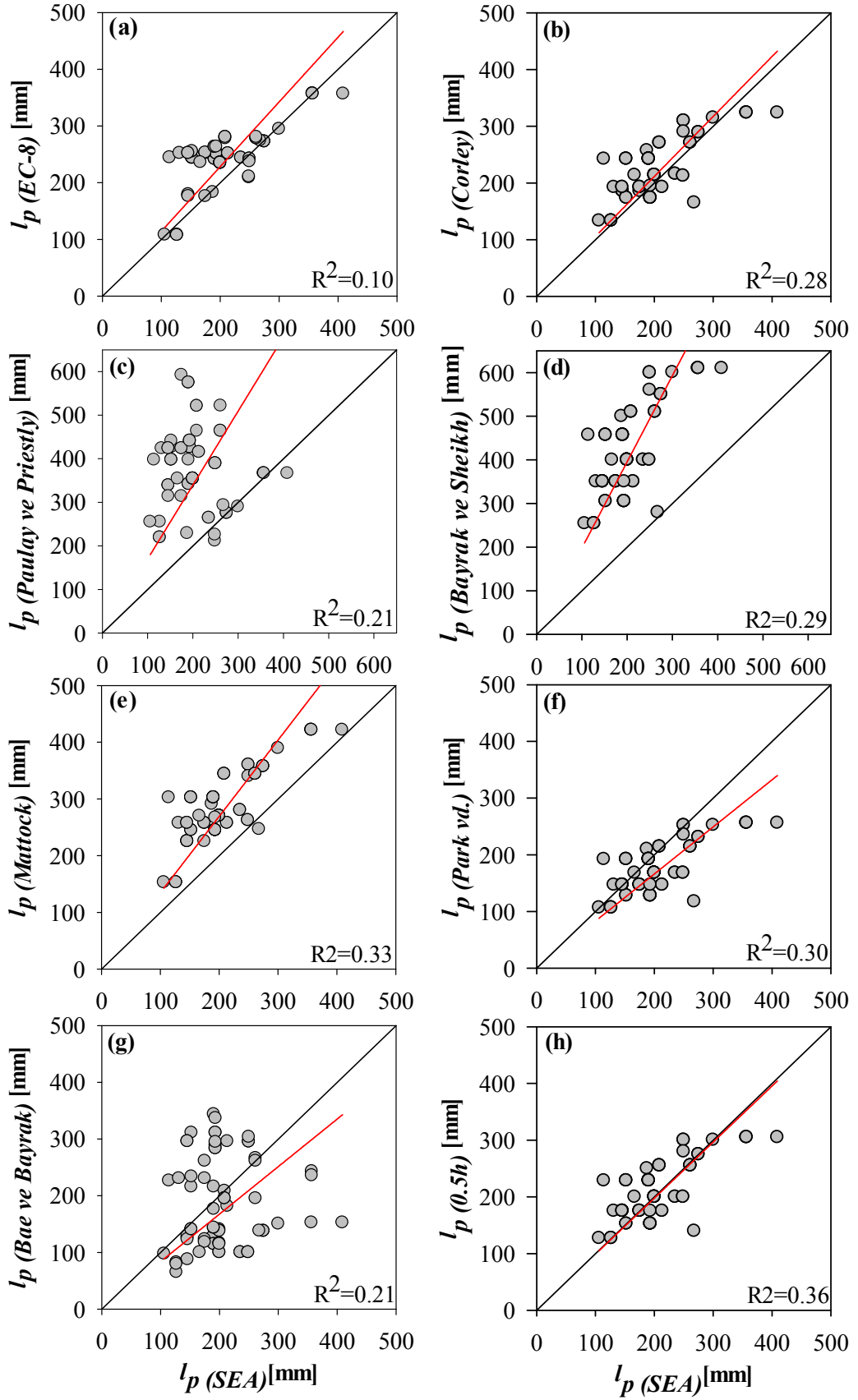
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kolon katı modeli deneysel çalışmalardaki gibi  $L_f$  mesafesinde bir temel ve  $L$  yüksekliğinde bir kolondan oluşmaktadır. Kolon yüksekliği istenilen noktalarda şekil değiştirme değerlerinin alınabilmesi ve mesh yoğunluğunun optimum olabilmesi için  $L_h$ ,  $L_1$  ve  $L_2$  olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerden  $L_h$  kolon etkin genişliği ile aynı mesafededir.  $L_h$  boyunca eleman sayısı iki eşit parçaya ayrılabilen ve böylece plastik mafsalsal boyu ( $L_p$ ) olarak kabul edilen etkin kesit boyutunun yarısı kadar yükseklikte ( $h/2$ ) birim şekil değiştirme değerleri elde edilebilmektedir. Plastik mafsalsal uzunluğu  $L_p$  gerçekte kolonun taban dönmesinin meydana geldiği mesafeyi göstermektedir. Fakat modellenen her kolonun plastik mafsalsal mesafesi ( $L_p$ ) kolonlarda kullanılan çelik birim şekil değiştirme modeline göre değişmektedir. Genel bir plastik mafsalsal uzunluğunun belirlenebilmesi için Şekil 3.17(b)'de görüldüğü gibi sonlu eleman analiziyle elde edilen eğrilik profillerinden her bir kolon için hasar bölgesi ( $L_{pz}$ ) belirlenmiştir. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi plastik mafsalsal uzunluğu belirlenirken hasar bölgesinde eğrilik dağılımının doğrusal olduğu kabul edilmiş ve plastik mafsalsal uzunluğu kolonlarda ağır hasarın meydana geldiği bölge olan plastik hasar bölgesinin orta noktası olarak alınmıştır ( $L_p=L_{pz}/2$ ). Hesap edilen plastik mafsalsal boyları Çizelge 3-6'te verilen genel kabul görmüş yedi farklı plastik mafsalsal hesaplama bağıntısı ve genel kabullerden olan  $L_p=0.5h$  ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.13 Plastik mafsal uzunluğunun belirlenmesi

Çizelge 3-6 Plastik Mafsal Bağlıntıları

Plastik Mafsal Bağlıntıları	
Eurocode-8 (CEN 2005)	$L_p = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_b f_{sy}}{\sqrt{f_c}}$
Corley (1966)	$L_p = 0.5d + 0.2\sqrt{d} \left(\frac{L}{d}\right)$
Mattock (1965)	$L_p = 0.5d + 0.05L$
Park vd.(1982)	$L_p = 0.42h$
Paulay ve Priestley (1992)	$L_p = 0.08L + 0.022d_b f_{sy}$ or $l_p \approx 0.5h$
Bayrak ve Sheikh (2002)	$L_p = h$
Bae ve Bayrak (2008)	$L_p = \left[0.3 \left(\frac{P}{P_0}\right) + 3 \left(\frac{A_s}{A_g}\right) - 0.1\right] (L) + 0.25h \geq 0.25h$



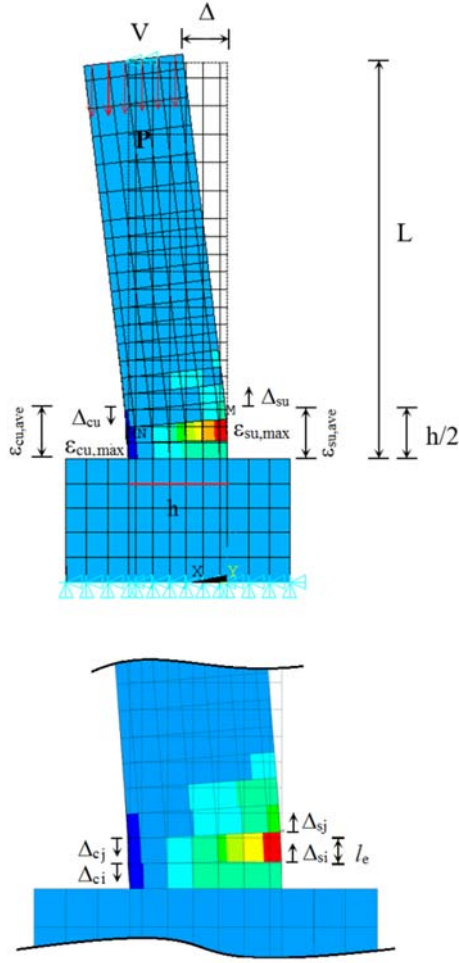
Şekil 3.14 Hesap edilen plastik mafsall uzunlukları ile sekiz farklı plastik mafsall formülünden elde edilen plastik mafsall uzunluklarının karşılaştırılması

Sonlu eleman analiz yöntemiyle birim şekil değiştirme profilleri oluşturularak kolonlarda oluşan plastik mafsallı boylarının hesap edilen değerleri ile araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarla elde edilen sonuçların karşılaştırmaları Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırma grafiğinde görülmektedir ki plastik mafsallı uzunluğunun hesaplanırken basitçe 0.5h alınması yeterli olacaktır. Mevcut haliyle karmaşık olan analiz sürecini olabildiğince basitleştirmek için kolonlarda meydana gelen birim şekil değiştirme değerlerinin 0.5h mesafesinde oluşan ortalama değerleri hesap edilerek karşılaştırmaların yapılmasına karar verilmiştir.

#### 3.7. Sonlu Eleman Analizinde Şekil Değiştirme Değerlerinin Elde Edilmesi

Kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı anda belirlenen plastik mafsallı ( $h/2$ ) boyu üzerinde kolon en dış lifi, sargılı beton en dış lifi ve donatılarda meydana gelen yer değiştirmeler ( $\Delta_{cu,Cover}$ ,  $\Delta_{cu,Core}$  ve  $\Delta_{su}$ ) Denklem (3.5)'de verilen bağıntılarda yerlerine konularak birim şekil değiştirmeler ( $\epsilon_{cu,ave}$ ,  $\epsilon_{cu,ave,Cover}$ ,  $\epsilon_{su,ave}$ ), dönme ( $\theta_{u,ave}$ ) ve eğrilik ( $\phi_{u,ave}$ ) değerleri hesap edilmiştir.

Farklı deneysel çalışma sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırılması yapılırken birim şekil değiştirme, eğrilik ve dönme değerlerinin ölçülme yöntemleri önemli bir faktördür. Birim şekil değiştirme değerlerinin ölçülmesi için kullanılan strain gagelerin yerleşim yerleri veya ötelenmelerin hesap edilmesinde kullanılan LVDT lerin uzunlukları deney sonuç raporlarını belirgin bir şekilde etkilemektedir. Bu problemin sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için sonlu eleman modelinde kolon yüksekliği boyunca her bir elemanda gerçekleşen şekil değiştirmeler ile plastik mafsallı olduğu mesafede meydana gelen şekil değiştirmeler sonlu eleman yöntemiyle hesap edilerek karşılaştırılmıştır.



$$\varepsilon_{cu,ave,Cover} = \frac{\Delta_{cu,Cover}}{0.5h}$$

$$\varepsilon_{cu,ave} = \frac{\Delta_{cu,Core}}{0.5h}$$

$$\varepsilon_{su,ave} = \frac{\Delta_{su}}{0.5h}$$

$$\theta_{u,ave} = \frac{\Delta_{su} - \Delta_{cu,Core}}{h - 2cc}$$

$$\theta_u = \frac{\Delta_u}{L}$$

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\Delta_{ci} - \Delta_{cj}}{l_e}$$

$$\varepsilon_{se} = \frac{\Delta_{si} - \Delta_{sj}}{l_e}$$

$$\phi_e = \frac{\varepsilon_{ce} + \varepsilon_{se}}{b - 2cc}$$

$$\theta_e = \phi_e \times l_i$$

$$\theta_{u,e} = \sum_i^j \theta_{ei}$$

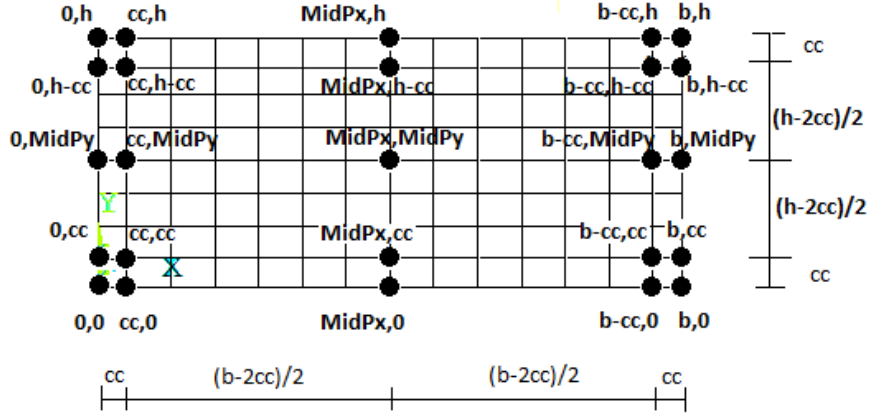
**Şekil 3.15** Plastik mafsıl mesafesinde ve eleman seviyelerinde birim şekil değiştirmeler, dönme açısı ve eğriliğin hesaplanması

$$\varepsilon_{cu,ave,Cover} = \frac{\Delta_{cu,Cover}}{0.5h} \quad , \quad \varepsilon_{cu,ave} = \frac{\Delta_{cu,Core}}{0.5h} \quad , \quad \varepsilon_{su,ave} = \frac{\Delta_{su}}{0.5h} \quad , \quad \theta_{u,ave} = \frac{\Delta_{su} - \Delta_{cu,Core}}{h - 2cc} \quad (3.5)$$

Kolon yüksekliği boyunca elemanlarda meydana gelen birim şekil değiştirme, eğrilik ve dönme profillerini oluşturabilmek için temel alt noktasından kolon en üst noktasına kadar Şekil 3.16'da işaretlenen kolon en kesitindeki düğüm noktalarından yer değiştirmeler ( $\Delta_i$ ,  $\Delta_j$ ) okunmuştur. Her bir elemanın alt ve üst noktasındaki yer değiştirme farkı o elemanın yüksekliğine ( $l_i$ ) bölünerek her bir elemanda meydana gelen birim şekil değiştirmeler ( $\varepsilon_e$ ) hesap edilmiştir. Kolon basınç ve çekme bölgelerindeki elemanların birim şekil değiştirmelerinin toplamı bu elemanlar arasındaki mesafeye bölünerek eleman seviyesinde eğrilikler ( $\phi_e$ ) elde edilmiştir. Bu eğrilikler eleman

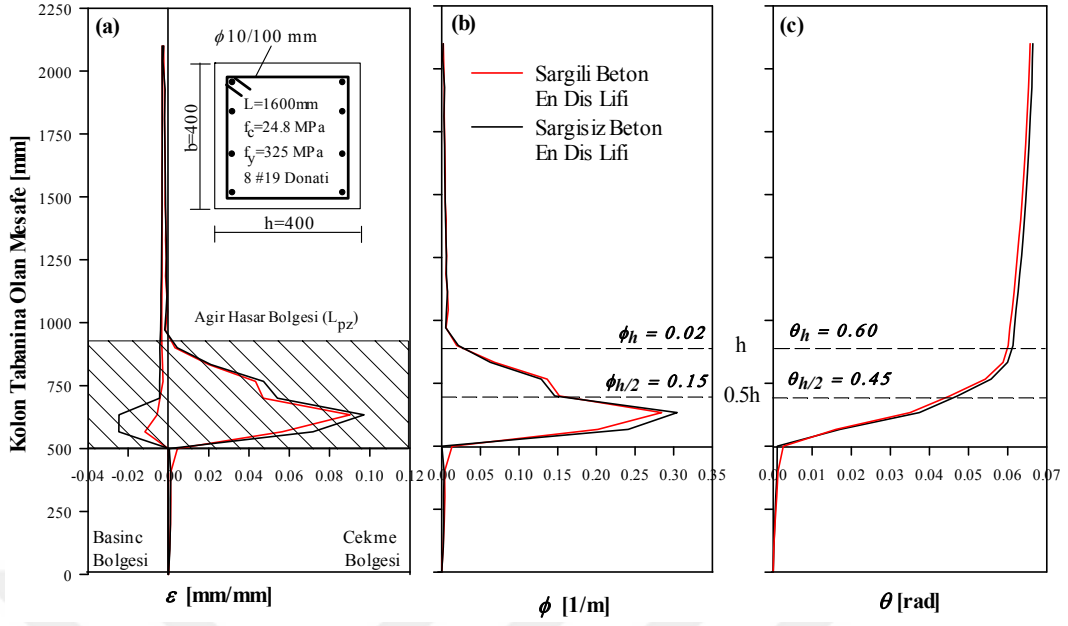
boyuyla çarpılarak eleman seviyesinde oluşan dönme ( $\theta_e$ ) elde edilmiştir (Denklem(3.6)). Eleman seviyelerindeki dönmelerin toplamı kolonun yer değiştirmiş eksen dönmesini vermektedir ( $\theta_{u,e}$ ).

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\Delta_{ci} - \Delta_{cj}}{l_e}, \quad \varepsilon_{se} = \frac{\Delta_{si} - \Delta_{sj}}{l_e}, \quad \phi_e = \frac{\varepsilon_{ce} + \varepsilon_{se}}{b - 2cc}, \quad \theta_e = \phi_e \times l_i, \quad \theta_{u,e} = \sum_i^j \theta_{ei} \quad (3.6)$$

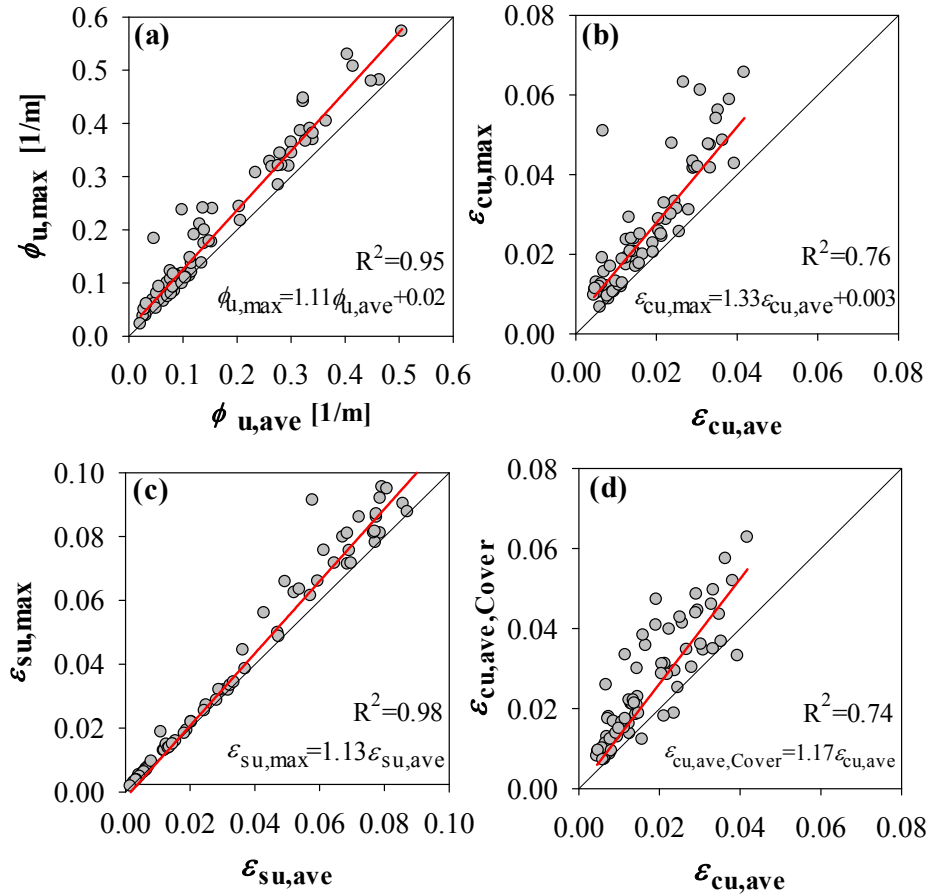


Şekil 3.16 Kolon en kesitinde yer değiştirmelerin alındığı düğüm noktaları

Deneysel çalışmalardan elde edilemeyecek veya elde edilmesi zor olan lokal değerler SEA yardımıyla hesaplanabilmektedir. Örneğin Şekil 3.17’de Ohno ve Nishioka (1984) tarafından dikdörtgen kesitli betonarme kolon ile yapılan deneyin, sonlu eleman analizinden elde edilen birim şekil değiştirme, eğrilik ve dönme profilleri gösterilmiştir. Bu örnekte şekil değiştirme değerleri kolon taşıma kapasitesine ulaştığı anda hesap edilmiştir. Lokal birim şekil değiştirmeler kolon boyunca her bir elemanın düğüm noktalarının yaptığı yer değiştirmelerden hesap edilmiştir. Eğrilik ve dönme profilleri birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak hesap edilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan en büyük lokal birim şekil değiştirmeler ( $\varepsilon_{su,max}$ ,  $\varepsilon_{cu,max}$ ) ve dönmeler ( $\phi_{max}$ ) deformasyon profillerinden elde edilmiştir. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi plastik deformasyon bölgesi temel üstünden yaklaşık h kadar mesafe uzanmaktadır. Ayrıca çekme bölgesinde donatı birim şekil değiştirmeleri kolon temeline doğru nüfuz etmektedir (strain penetration).



Şekil 3.17 (a) Birim şekil değıştirme, (b) eğrilik ve (c) dönme profilleri



Şekil 3.18 Plastik mafsal boyunda ve birim şekil değıştirme profillerinden elde edilen değerlerinin karşılaştırılması

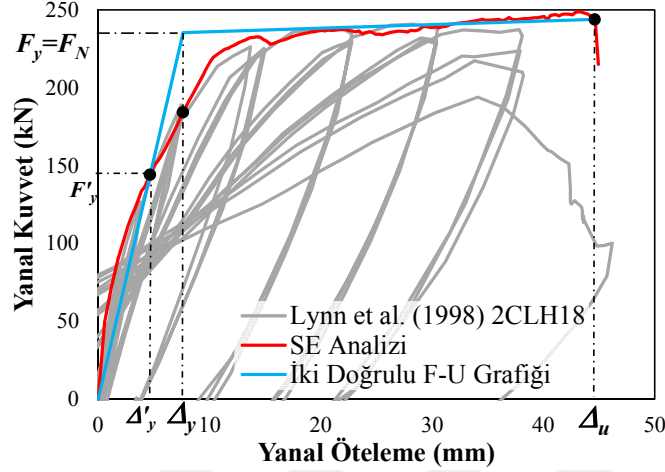


Şekil 3.18(a) ve (c)'de görüldüğü gibi kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığında plastik mafsal boyunda ölçülen ortalama eğrilik ( $\phi_{u, ave}$ ) ve donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri ( $\epsilon_{su, ave}$ ) ile bu bölgede oluşan maksimum eğrilik ( $\phi_{u, max}$ ) ve maksimum donatı birim şekil değiştirmeleri ( $\epsilon_{su, max}$ ) arasında az bir fark oluşmaktadır. Ancak sargılı beton en dış lifinde oluşan plastik mafsal boyunda hesaplanan ortalama ve maksimum beton birim şekil değiştirmeleri arasında belirgin bir farklılık olduğu Şekil 3.18(b)'de görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 3.18(d)'de görüldüğü gibi kolon basınç bölgesinde plastik mafsal boyunda hesaplanan sargısız beton en dış lifi ortalama birim şekil değiştirme değerleri ( $\epsilon_{cu, Cover, ave}$ ) sargılı beton en dış lifinde oluşan ortalama beton birim şekil değiştirme değerlerinden ( $\epsilon_{cu, ave}$ ) oldukça fazladır.

#### 3.8. Akma Anının Belirlenmesi

Akma anında meydana gelen eğrilik, yatay ötelenme, dönme ve moment değerlerinin belirlenmesinde ise Priestley vd. (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde göre çekme bölgesinde bulunan donatının malzeme modeline göre akma birim şekil değiştirmesi ( $\epsilon_{s, ave}$ ) ve beton basınç birim şekil değiştirmesinin ( $\epsilon_{c, ave}$ ) 0.002 değerlerinden herhangi birinin ilk olarak aşıldığı nokta kesitin ilk akma noktası olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu noktada meydana gelen yatay kesme kuvveti ve yatay ötelenme değerleri ( $F'_y$  ve  $\Delta'_y$ ) alınarak ilk akma noktası oluşturulmuştur. Çekme bölgesinde bulunan donatıların birim şekil değiştirmesinin 0.015 veya beton basınç birim şekil değiştirmesinin 0.004 değerlerine ilk olarak ulaştığı andaki yatay kesme kuvveti ( $F_N$ ) değeri belirlenmiştir. Akma anında meydana gelen yanal ötelenme  $\Delta_y$  Denklem (3.7) kullanılarak hesap edilmiştir. İki doğrulu hale getirilen yanal kuvvet-ötelenme grafiğinde ilk nokta orijin kabul edilmiş ve akmanın meydana geldiği nokta ile birleştirilerek ilk doğru çizilmiştir. İkinci doğru ise akma anını temsil eden nokta ve kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığında meydana gelen yanal kuvvet ve ötelenme değerlerinin çakıştığı nokta birleştirilerek yanal kuvvet-yanal ötelenme grafiği iki doğrulu hale getirilmiştir. İki doğrulu hale getirme işlemi Lynn et al. (1998) tarafından deneysel çalışması yapılan 2CLH18 deney elemanın yanal kuvvet-ötelenme grafiği üzerinde Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

$$\Delta_y = \frac{F_N}{F_y} \times \Delta'_y \quad (3.7)$$



**Şekil 3.19** Kuvvet-Ötelenme grafiğinin iki doğrulu hale getirilmesi

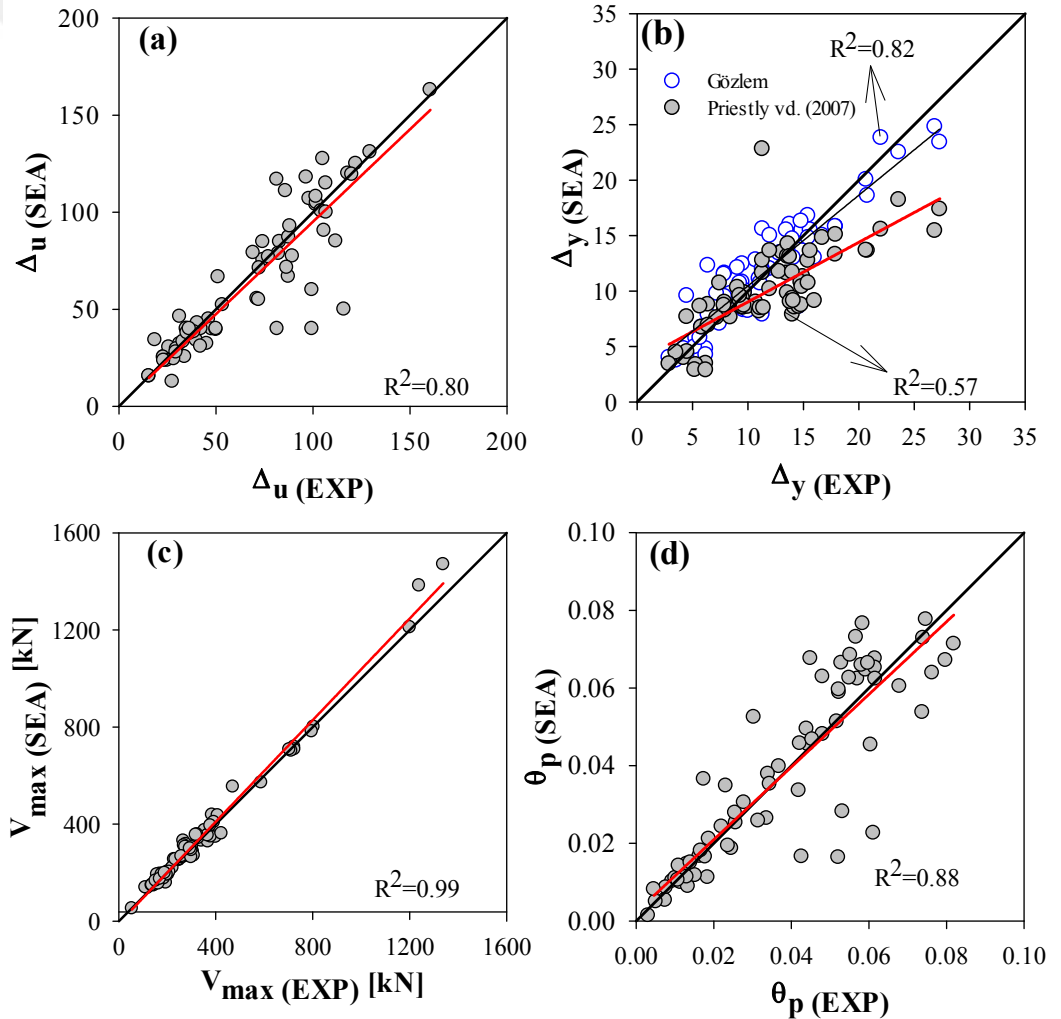
Kolonun akma ve nihai şekil değiştirme kapasitesine ulaştığı anlarda sonlu eleman analizinden elde edilen plastik mafsallarda ortalama birim şekil değiştirme değerleri Denklem (3.8)'de yerine konularak kolon akma ve nihai şekil değiştirme kapasitesine ulaştığı anda meydana gelen kesit eğrilikleri hesap edilmiştir.

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c,ave,Core} + \varepsilon_{s,ave}}{h_0} \quad (3.8)$$

### 3.9. Sonlu Eleman Modelinin Doğrulanması

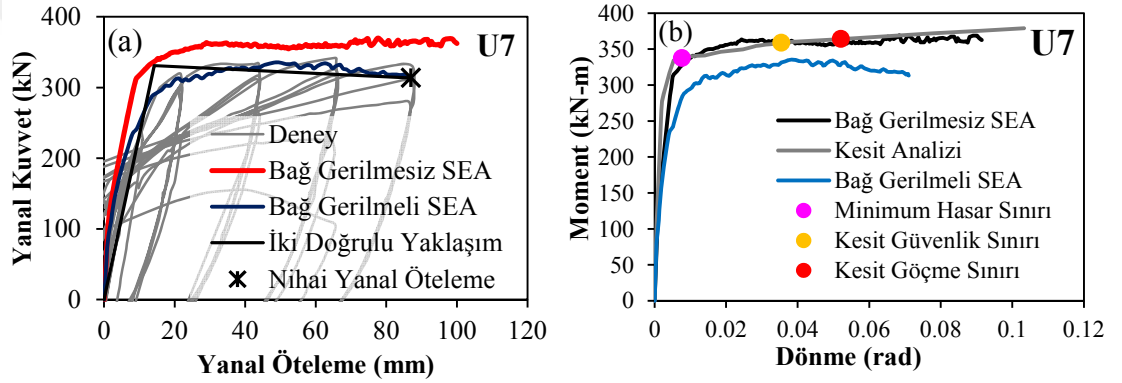
Sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra yapılan analiz sonuçlarından elde ettiğimiz kuvvet deformasyon grafikleri deneysel çalışmalarda edilen grafikler karşılaştırılmıştır. Şekil 3.20'de 72 kolon modelinin sonlu eleman analizleri ile elde edilen nihai ( $\Delta_u$ ) ve akma anındaki ( $\Delta_y$ ) yanıl ötelenme, maksimum yanıl kuvvet ( $V_{max}$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) değerleri deneylerde rapor edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 3.20(a) ve (c)'de verilen grafikler dikkatle incelendiğinde hesap edilen nihai yanıl ötelenme ( $\Delta_u$ ) ve oluşan maksimum kesme kuvveti ( $V_{max}$ ) değerlerinin deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Ancak akma anındaki yanıl ötelenme ( $\Delta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p = (\Delta_u - \Delta_y)/L$ ) miktarları arasında az da olsa farklılıkların olduğu görülmektedir (Şekil 3.20(b) ve (d)). Şekil 3.20(b)'de ayrıca kuvvet-ötelenme

grafiklerinden gözlem sonucu elde edilmiş akma anındaki yanal ötelenmelerin deneysel raporlarda verilmiş değerlerle karşılaştırması mavi daireler halinde verilmiştir. Gözlem yoluyla elde edilen değerlerin deneysel verilerle daha iyi uyum içinde olduğu görülmektedir. Deneysel ve sonlu eleman analizlerinin arasında oluşan farklılıkların bir nedeni de deneysel çalışmalarda kolon tabanının ötelenmelere karşı tam olarak tutulmadığı, donatı sıyrılmalarının ve kolon tabanlarında dönmelerin meydana gelmesi vb. nedenler olarak açıklanabilir. Ek-1’de her bir deney elemanı için sonlu eleman analizleriyle oluşturulmuş yanal kuvvet-yanal ötelenme grafikleri ve deneysel sonuçların karşılaştırılmaları görülmektedir. Şekil 3.20’de verilen karşılaştırma grafikler incelendiğinde sonlu eleman analiz ve deney sonuçları arasında kabul edilebilir oranda benzerlik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



**Şekil 3.20** Deneysel ve Sonlu eleman analiz sonuçlarının karşılaştırılması: (a) yanal ötelenme; (b) akma anında yanal ötelenme; (c) kesme kuvveti; (d) plastik dönme

Şekil 3.21(a)'da Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından gerçekleştirilen deney sonucu ile aynı deney elemanın sonlu eleman analizi sonucunda elde edilen grafikler karşılaştırılmıştır. Şekil 3.21(a) incelendiğinde bağ çözülmesinin elemanın eğilme rijitliğinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Aynı deney elemanı geleneksel kesit hesabı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuç bize kesit analizinin bağ çözülmesini hesaba katmadığını göstermiştir. Bağ gerilmesi dikkate alınmadan oluşturulan sonlu eleman modelinden elde edilen moment-dönme grafiğinin kesit analiziyle elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Kesit analizi sonucu dönmeye bağlı elde edilen kesit hasar sınırları Şekil 3.21(b)'de grafik üzerine işaretlenmiştir.



Şekil 3.21 (a)Kuvvet-Yanal ötelenme grafiklerinin karşılaştırılması, (b) Moment-yer değiştirmiş eksen Dönmesi grafiklerinin karşılaştırılması

Deneysel ve hesap sonuçları arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda sonlu eleman modelinin deneysel örnekleri ve yapılan deneyleri temsil edebileceği doğrulanmıştır.

### 3.10. Sonlu Eleman Analizi ve Kesit Analizi İlişkisi

Doğrusal olmayan sonlu eleman analiziyle betonarme elemanların aksel ve yatay yükler altındaki davranışlarını belirlemek için model oluşturmak ve analizlerini tamamlamak karmaşık işlemler gerektirdiğinden pratikte mühendisler tarafından pek tercih edilen bir yöntem değildir. Sonlu eleman metodu kullanmak yerine geleneksel kesit analizi tasarımcı ve araştırmacı mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak geleneksel kesit analiziyle lokal bazda eleman davranışları

ölçülemediği gibi bağ çözülmesi ve donatı burkulması gibi durumlarda hesaplamalar yapılırken göz ardı edilmektedir. Ayrıca kesit analizi yapılırken betonarme elemanın kesitinde oluşan birim deformasyon dağılımının doğrusal olduğu varsayılarak çözüm yapılmaktadır.

Sonlu eleman metodu kullanılarak analizi yapılan tüm deneylerin benzer şekilde kesit analizleri de yapılmıştır. Doğrusal olmayan sonlu eleman yöntemi kullanılarak analizleri tamamlanan deneysel örneklerin geleneksel yöntemlerle kesit analizlerini yapmak ve hasar sınırlarını belirlemek için Montejo L.A., ve Kowalsky M.J. (2007) tarafından Matlab kodları kullanılarak geliştirilen CUMBIA adlı hesaplama aracı kullanılmıştır. CUMBIA dikdörtgen veya dairesel kesitli betonarme yapı elemanlarının monotonik moment-eğrilik analizini ve kuvvet-yanal ötelenme ilişkisini hesaplayan bir dizi Matlab kodundan oluşmaktadır. Eksenel yük-moment etki diyagramı analizi de bu kodlar yardımıyla yapılabilmektedir. Kesit analizi yapılırken beton en dış lifinde meydana gelen birim kısalma için bir değer alınmakta ve kesitin tarafsız ekseninde kuvvet dengesi sağlanıncaya kadar beton birim şekil değiştirmesi arttırılmaktadır.

Matlab kodu içerisinde oluşturulan beton ve donatı çeliğine ait malzeme modelleri kullanıcılar tarafından kolayca oluşturulabilmektedir. Bununla beraber mevcut kod önceden tanımlanmış malzeme modelleri içermektedir. Bu modeller sargılı ve sargısız beton için Mander beton modeli (Mander vd. 1988) ve donatı çeliği için 1986 yılında King vd., (King, Priestley ve Park 1986) tarafından kullanılan model ile Raynor vd., tarafından önerilen modellerdir. (Raynor, Lehman ve Stanton 2002). Mevcut kod eksenel yük (Basınç ya da çekme) ve tek veya çift burkulma etkisi altındaki elemanların analizini yapabilmektedir.

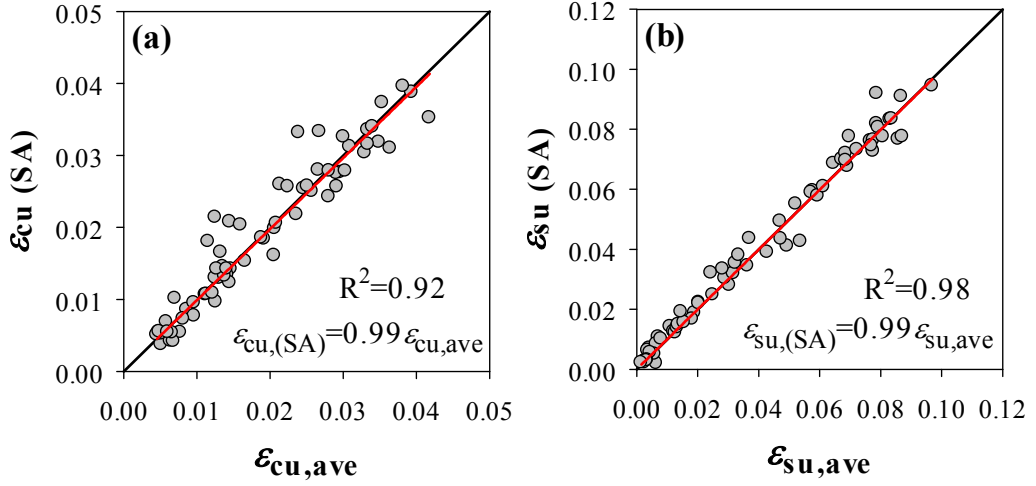
Hasar sınır durumları malzeme modellerine bağlı olarak hesaplanabildiği gibi kullanıcı tarafından da belirlenebilmektedir. Programda varsayılan sınır durumları Çizelge 3-7'da verilmiştir. Çizelge 3-7'da verilen  $\epsilon_{cu}$  Denklem (3.9) kullanılarak hesap edilmektedir.

**Çizelge 3-7** Kesit analizinde hasar sınırlarının belirlenmesi

Hasar Sınırı	Beton Birim Şekil Değişirme Sınırı (Basınç)	Donatı Birim Şekil Değişirme Sınırı (Çekme)
Sınırlı Hasar	0.004	0.015
Kontrollü Hasar	$2/3 \varepsilon_{cu}$	0.06
Göçme Öncesi	$\varepsilon_{cu}$	0.12-0.08

$$\varepsilon_{cu} = 1.4 \left( 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yh} \varepsilon_{su}}{f'_{cc}} \right) \quad (3.9)$$

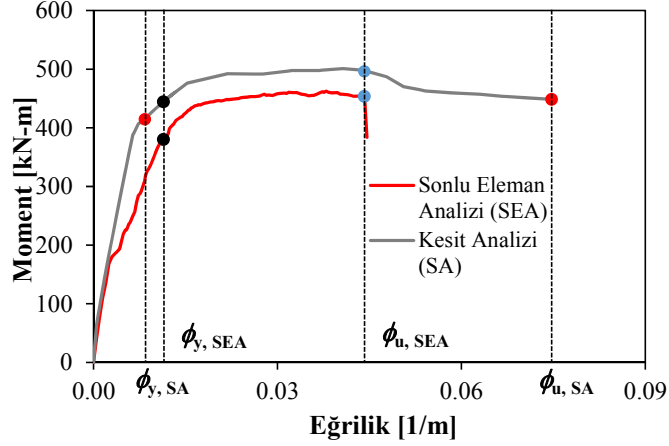
Sonlu eleman analizi yöntemi kullanılarak birim şekil değiştirme sınırları hesap edilen Çizelge 3-1'deki deneysel çalışmaları yapılmış 72 adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonun benzer şekilde geleneksel yöntemlerle kesit analizi yapılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.22'de kesit göçme sınırına ulaştığında SE analizinde plastik mafsal boyunda meydana gelen ortalama birim şekil değiştirmeler ile kesit analizinde aynı eğrilikte meydana gelen birim şekil değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Şekil 3.22(a) plastik mafsal boyunda meydana gelen ortalama beton en dış lifi birim şekil değiştirme ve Şekil 3.22(b) plastik mafsal boyunda çelikte meydana gelen ortalama birim şekil değiştirme değerlerinin kesit analiziyle elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını göstermektedir. Kesit analiziyle plastik mafsal boyunda SEA elde edilen birim şekil değiştirme sonuçları arasında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kolon h/2 mesafesinde beton ve donatıda meydana gelen birim şekil değiştirmeler kullanılarak kolonda meydana gelen hasarlar değerlendirilebilmektedir ancak Şekil 3.18(a), (b) ve (c)'de görüldüğü gibi kolonda oluşan maksimum şekil değiştirmeler plastik mafsal boyunda hesap edilenlerden farklıdır. Yapılan karşılaştırmalar göstermektedir ki oluşturulan sonlu eleman modeli yardımıyla kesit analiziyle elde edilemeyecek veriler SEA ile doğru bir şekilde elde edebilmektedir.



**Şekil 3.22** SEA ve kesit analizinden elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması; (a) beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme ve (b) çelikte meydana gelen birim şekil değiştirme

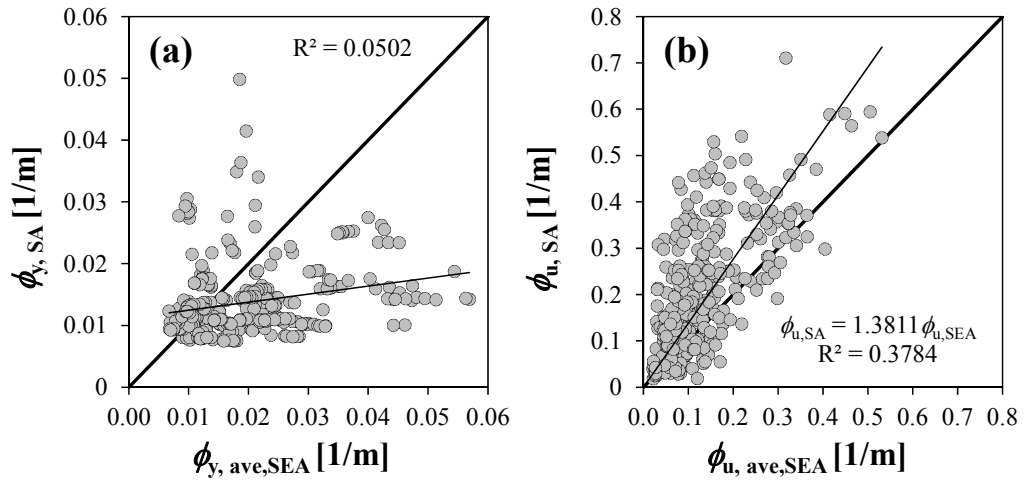
Sonlu eleman analiziyle elde ettiğimiz eğrilik değerleri kesit analizinden elde edilen moment-eğrilik grafiğinden işaretlenerek bu noktada basınç bölgesinde kolon en dış lifi, sargılı betonunun en dış lifi ve çekme bölgesinde donatı çeliğinde oluşan birim şekil değiştirmeler hesap edilmiştir. Örneğin Lynn vd. (1998) tarafından yapılan deneysel çalışmada kullanılan 3CLH18 deney elemanının sonlu elemanlar analizi metoduyla moment-eğrilik grafiği oluşturulmuş ve akma ( $\phi_y$ ) ve kolon nihai şekil değiştirme kapasitesinde ( $\phi_u$ ) eğrilikler belirlenmiştir. Benzer şekilde kesit analizi yapılarak oluşturulan moment-eğrilik grafiğinde Şekil 3.23'te gösterildiği gibi bu eğrilikler belirlenerek kesit analizinde bu eğriliklere karşılık gelen birim şekil değiştirmeler ve dönme değerleri hasar sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Hesap edilen birim deformasyon değerleri yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdikleri bağıntılar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu önerilen yeni bağıntılar kullanılarak hasar sınır değerlerini hesap edebilmek için sonlu eleman analizi gibi karmaşık analizler yapmaya gerek kalmayacaktır.

Akma noktasını belirlemek üzere kesit analizinde moment-eğrilik grafiğinin iki doğrulu hale getirilmesinde Priestley vd. (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılmış olup nominal moment değeri betonun 0.04 ve donatı çeliğinin 0.015 birim şekil değiştirme değerinin ilk ulaştığı anda meydana gelen moment olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 3.23** Kesit analizi ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen Moment-Eğrilik değerleri

Şekil 3.23'te görüldüğü üzere sonlu eleman analizi ve kesit analizinden elde edilen nihai eğrilik değerleri arasında büyük farklıklar görülebilmektedir. Kesit analizinde nihai şekil değiştirme sınırı Çizelge 3-7 ve Denklem (3.9)'da verilen birim şekil değiştirme sınırları kullanılarak belirlenmiştir. Sonlu eleman analizinde ise nihai şekil değiştirme Bölüm 3.5'te verilen kriterler kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 3.24'te sonlu eleman ve kesit analizleriyle hesaplanan eğrilik değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. Akma anında SEA ile hesap edilen eğrilik değerlerinin büyük bir kısmı kesit analiziyle elde edilen değerlerden fazla olmasına karşın kesit analiziyle elde edilen nihai eğrilik değerlerinin sonlu eleman analizinden elde edilenlerden yaklaşık %40 oranında daha fazla olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.24** Akma ve nihai kolon şekil değiştirme kapasitelerinde sonlu eleman analizi ve kesit analizinde hesaplanan eğrilik değerlerinin karşılaştırılması



#### 3.11. Farklı Tasarım Değişkenlerine Sahip Kolonların Analizleri

Çizelge 3-1’de listelenen 72 adet deneysel çalışmanın sonlu eleman analizi tamamlandıktan sonra elde edilen yanal kuvvet-yanal ötelenme grafikleri deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış çevrimsel yükün oluşturduğu taşıma kapasitesi kaybı, donatı sıyrılması, donatı burkulması vb. durumlar için sonlu eleman modelinde gerekli kalibrasyonlar yapılarak oluşturulan modelinin kabul edilebilir hata sınırları içerisinde deneysel çalışmaları temsil edebileceği kanıtlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda deneysel elemanların sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ), kolon boyu-etkin kesit boyu oranı ( $L/h$ ), eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ), beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) gibi tasarım değişkenlerinin çeşitli hasar ölçütleriyle olan ilişkisi grafikler halinde belirlenmiş ve Şekil 3.25’te gösterilmiştir. Bu tasarım değişkenler kolon hasar sınırlarının hesaplanması için yönetmeliklerde ve araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarda kullanılmaktadır. Şekil 3.25 incelendiğinde sargı donatısı oranı, kolon basınç dayanımı ve eksenel yük oranı arttıkça betonarme kolonların şekil değiştirme kapasitelerinde de azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Tasarım değişkenleri ve şekil değiştirme kapasiteleri arasında gözlemlenen en iyi korelasyon kolon boyu-etkin kesit boyu oranı ve eksenel yük oranlarıyla oluşmaktadır. Sargı donatısı oranı ile hasar ölçütleri arasındaki ilişkiye bakıldığında analizleri tamamlanan kolonların sargı donatı oranlarının yüksek olmasından dolayı beklenen korelasyon ilişkisi ortaya çıkmamıştır. Şekil 3.25’te görüldüğü gibi eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve kolon boyu-etkin kesit boyu oranı ( $L/h$ ) ile şekil değiştirme ölçütleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır.

Sargı etkisinin betonarme kolonların hasar kapasitesinin belirlenmesinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Şekil 3.25’in ilk sütununa bakıldığında sargı donatısı oranının 0.007’den küçük olduğu durumlarda birim şekil değiştirme kapasiteleri üzerinde etkili olduğu ancak bu oranın üstünde bir değere sahip kolonlarda sargı donatısı oranının birim şekil değiştirme kapasiteleri üzerinde etkisinin azaldığı görülmektedir. Örneğin dört bacaklı ve 10mm çaplı etriyeler ile 100mm arayla sargılanmış, eksenel yük oranı 0.20’den büyük, beton mukavemeti 35MPa, 500x500mm kesitli ve 25mm beton örtüsü kalınlığına sahip betonarme bir kolonun sargı donatısı oranı 0.007’dir. Bu kolon TDBY (2018)’e göre Denklem (2.4) ile yapılan hesapla karşılaştırıldığında iyi sargılanmış kolon olarak değerlendirilebilir. 73 adet deneyin 50

adedinde göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı TBDY (2018)'de verilen minimum oranın üstündedir (Şekil 3.26).

Kolon boyu-etkin kesit boyu oranı ( $L/h$ ) ve eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ile kolon hasar ölçütleri arasında negatif etki oluşmaktadır. Genel olarak Şekil 3.25'e bakıldığında deneysel çalışması yapılan kolonlar için kolon boyu-etkin kesit boyu oranı ( $L/h$ ), eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve enine sargı donatısının hacimsel oranı ( $\rho_s$ ), kolon hasar ölçütleriyle en iyi korelasyonu veren kolon tasarım değişkenleri olarak gözlemlenmiştir.

Özdemir vd. (2017) betonarme kolonların hasar sınırlarının karşılaştırılması ve değerlendirmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada tasarım parametreleri ve şekil değiştirme ölçütleri üzerine regresyon analizi yapmışlardır. Kolon taşıma kapasitesine ulaştığı anda basınç bölgesi sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmenin tahmini için sargı donatısı oranına bağlı bağıntı önermişlerdir. Beton birim şekil değiştirme kapasitesinin sargı donatısı oranıyla arttığı ancak sargı donatısı oranının 0.007'ye ulaştıktan sonra birim şekil değiştirme kapasitesinin diğer parametrelere bağlı olarak değiştiğini gözlemlenmiştir. Bu nedenle analizleri tamamlanan kolonlar sargı donatısı oranının 0.007'den az ve çok olması durumuna göre gruplandırmışlardır.

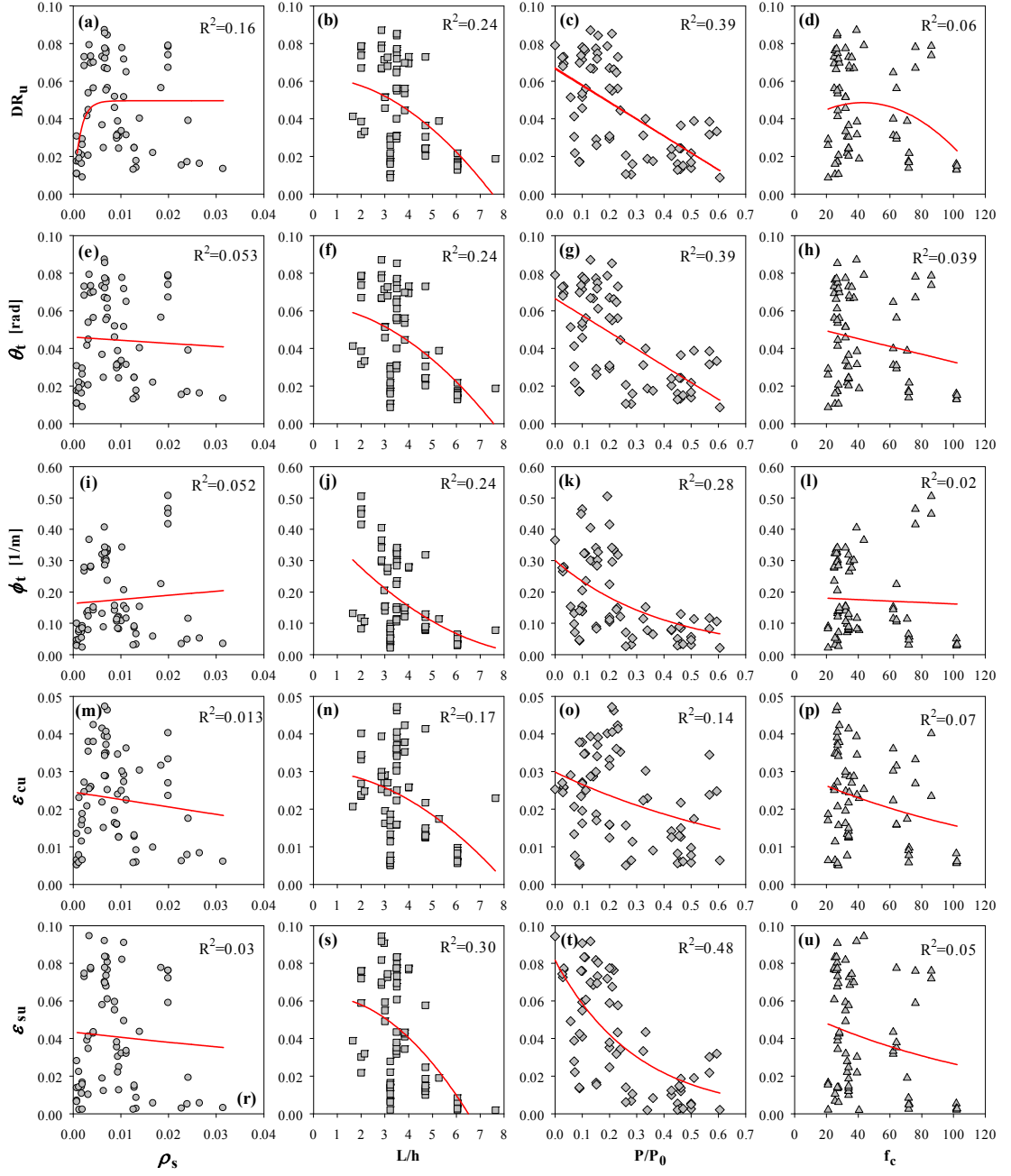
36 kolonun sargı donatısı oranı 0.007'den az, ortalama beton basınç dayanımları 29.5 ile 43.6MPa aralığında, kolon en-boy oranının ortalama 3.58 ve bir adet kolonun ise 7.64 ve ortalama eksenel yük oranlarının 0.18 olduğunu belirtmişlerdir. Bu gruptaki kolonların özellikleri dikkate alındığında normal beton basınç dayanımına sahip, düşük eksenel yüklü ve ortalama en-boy oranına sahip oldukları görülmektedir.

Sargı donatısı oranı 0,007'den büyük olan kolonlar kendi aralarında eksenel yük oranı, ortalama beton basınç dayanımları, kolon en-boy oranları ve sonlu eleman analizi sonuçlarından elde edilen beton birim şekil değiştirme değerlerine göre üç gruba ayrılmıştır. Oluşturulan gruplandırma ve kolon adetleri Çizelge 3-8'de verilmiştir. Sargı donatısı oranı 0,007'den büyük olan kolonların tasarım parametrelerine bakıldığında ortalama beton basınç dayanımlarının, eksenel yük oranlarının ve kolon en-boy oranlarının yüksek olduğu ve bu oranlar yükseldikçe şekil değiştirme kapasitelerinin

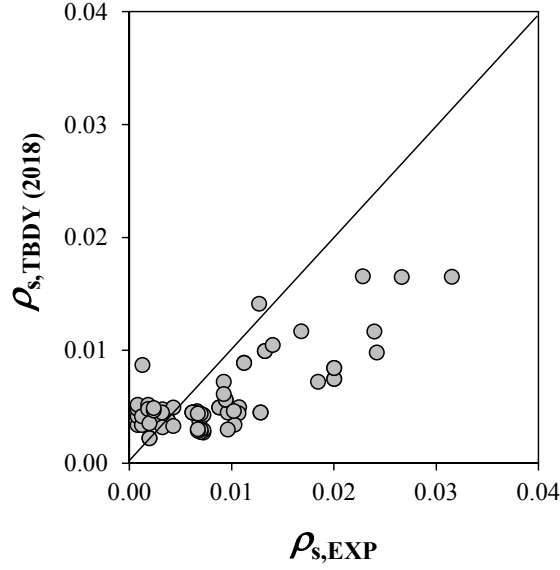
düştüğü görülmektedir. I. Grup kolonların aksel yük ve beton basınç dayanımları sargı donatısı oranı 0,007'den küçük kolonlardan büyük olmasına rağmen benzer şekil değiştirme kapasitelerine sahip oldukları ancak beton birim şekil değiştirme değerlerinin yaklaşık 0.03 ile limitlendiği görülmektedir. Birim şekil değiştirme kapasitelerinin I. ve II. Grup kolonlarda azalmasının birincil nedeni beton ortalama basınç dayanımlarının yüksek olduğu söylenebilir. II. ve III. Grup kolonlar kendi aralarında karşılaştırıldığında hem kolon en-boy hem de aksel yük oranının artması birim şekil değiştirme kapasitesinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Kolon tasarım parametreleri içinde sadece kolon en-boy oranının birim şekil değiştirme ile uyum içinde eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır.

**Çizelge 3-8** Sargı donatısı oranı 0.007'den büyük kolonlara ait özellikler, ortalama ve standart sapma ( $\mu \pm \sigma$ ) değerleri

Grup No	Kolon Adeti	$L/h$	$P/P_0$	$f_c$ (MPa)	$\epsilon_{cu}$
I. Grup	13	2.8±0.65	0.27±0.18	46.5±19.9	0.0293±0.0052
II. Grup	7	3.25±1.0	0.22±0.14	65±15.5	0.0170±0.003
III. Grup	13	5.45±0.92	0.44±0.12	66±18.5	0.0084±0.0029



Şekil 3.25 69 adet kolonun sonlu eleman analizi sonucu elde edilen tasarım değişkenleri-hasar ölçütleri arasındaki ilişki



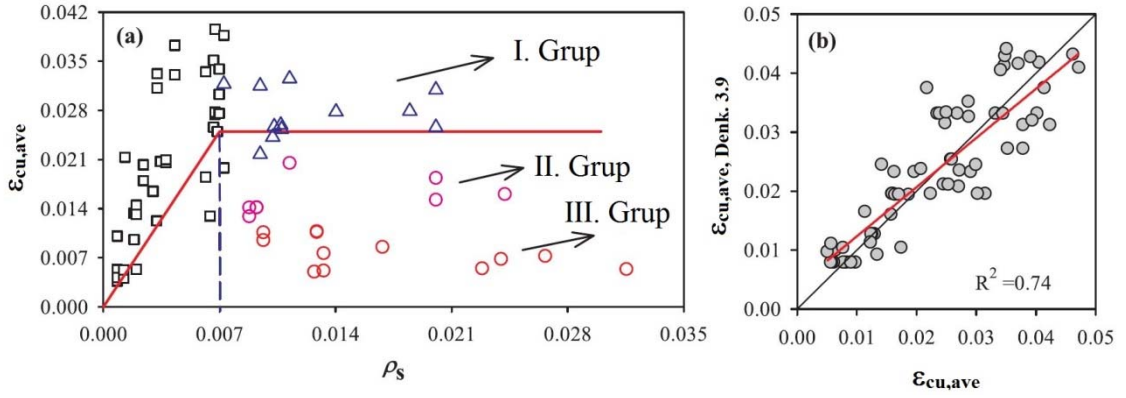
**Şekil 3.26** Deneysel çalışmalarda kullanılan kolonların enine donatının hacimsel oranının TBDY (2018)'de verilen minimum oranı ile karşılaştırılması

Özdemir vd. (2017) tarafından önerilen sargılı beton en dış lifinde kolon nihai şekil değiştirme kapasitesine ulaştığında meydana gelen birim şekil değiştirme ( $\varepsilon_{cu}$ ) bağıntısı Denklem (3.10)'da verilmiştir. Sargı donatısı oranı 0.007'den küçük kolonlar için önerilen bağıntı Denklem (2.27) temel alınarak beton birim şekil değiştirmesi üzerinde etkili olan tasarım parametrelerinin eğilimlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Sargı donatısı oranı 0.007'den büyük kolonlarda ise beton birim şekil değiştirme kapasitesi üzerine kolon en-boy oranının en etkin parametre olmasından dolayı önerilen bağıntı kolon en-boy oranına dayalı olarak geliştirilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = \left\{ \begin{array}{ll} C_c \left( 0.0035 + 0.11 \sqrt{\frac{\alpha \rho_s f_{yw}}{f_c}} \right) & \text{for } \rho_s \leq 0.007 \\ C_c \left( 0.0675 e^{-0.355 L/h} \right) & \text{for } \rho_s > 0.007 \end{array} \right\} < 0.035 \quad (3.10)$$

Denklem (3.10) kullanılarak hesap edilen sargılı beton en dış lifi birim şekil değiştirme değerinin sonlu eleman analizi ile elde edilen değerlerle karşılaştırma grafiği Şekil 3.27'de gösterilmektedir. Şekil 3.27(b)'de görüldüğü gibi Denklem (3.10) kullanılarak hesap edilen değerler ile SEA ile elde edilen değerler arasındaki ilişki ortalama değerler arasında dağılım göstermektedir. Özdemir vd. (2017) önerdikleri denklemden elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin  $C_c=0.80$  değeriyle çarpılarak

azaltılmasıyla performans değerlendirme hasar sınırı olarak kullanılabileceğini çalışmalarında ifade etmişlerdir.



**Şekil 3.27** (a) Sargı donatısı oranının beton birim şekil değiştirmeye etkisi; (b) Denklem (3.10) ve SEA ile hesaplanan beton birim şekil değiştirmelerin karşılaştırması

### 3.11.1. Eksenel yük oranı ve sargı donatısının şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisinin incelenmesi

Şekil 3.25'te gösterilen ilişkiler göz önünde bulundurularak tasarım değişkenlerinden eksenel yük oranının şekil değiştirme ölçütleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için analiz seti genişletilmiştir. Yeni oluşturulan analiz setinde deneysel çalışmalarda kullanılan kolonların boyutlarında değişiklik yapılmadan sadece tasarım değişkenlerinden eksenel yük ve sargı donatısı oranları belirli bir standartta olacak şekilde değiştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan farklı tasarım değişkenine sahip 122 adet dikdörtgen kesitli yeni Analiz Seti 1 oluşturulmuştur. Analiz Seti 1'e ait kolonların özellikleri EK-2'de verilmiştir. Oluşturulan yeni analiz setinde eksenel yük oranları 0.1, 0.25 ve 0.45, sargı donatısı oranı ise 0.002 ile 0.007 aralığında tutulmuştur. Oluşturulan yeni analiz setiyle hasar ölçütlerinin tasarım parametreleriyle olan ilişkisinin daha iyi anlaşılabilmesi ayrıca çalışılan kolonlar belirli bir standartta getirilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan yeni analiz setinin sonlu eleman analizi ve kesit analizleri tamamlanarak akma anında ve nihai kolon taşıma kapasitesinde şekil değiştirme değerleri hesap edilmiştir.

#### **3.11.2. Kolon en-boy oranı ve beton basınç dayanımının hasar ölçütleri üzerine etkisinin incelenmesi**

Tasarım değişkenlerinden kolon boyu-etkin kesit boyutu oranının (L/h) şekil değiştirme ölçütleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek ve analiz setinin genişletilmesi amacıyla ikinci Analiz Seti 2 oluşturulmuştur. Analiz Seti 2 ye ait kolonların özellikleri EK-4'de verilmiştir. Bu analiz seti ise ikinci analiz setinde ki kolonların L/h oranı (3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6), beton basınç dayanımı (30~45 MPa) ve sargı donatısı oranları değiştirilerek hazırlanan 144 adet kolondan oluşmaktadır. Sargı donatısı oranı değiştirilirken TBDY (2018)'de verilen göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranının alt sınırı dikkate alınarak hem bu sınırdaki hem de bu sınırın alt ve üst miktarlarında belirlenerek oluşturulmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada 72 adet deneysel ve 266 adet deneysel elemanlardan türetilen olmak üzere toplam 338 adet kolon elemanı analiz edilmiştir. Analizi tamamlanan kolonlara ait Moment-Dönme grafikleri EK-3 ve EK-5'te verilmiştir. Analizlere ait kolon profilleri ise EK-6'da verilmiştir.

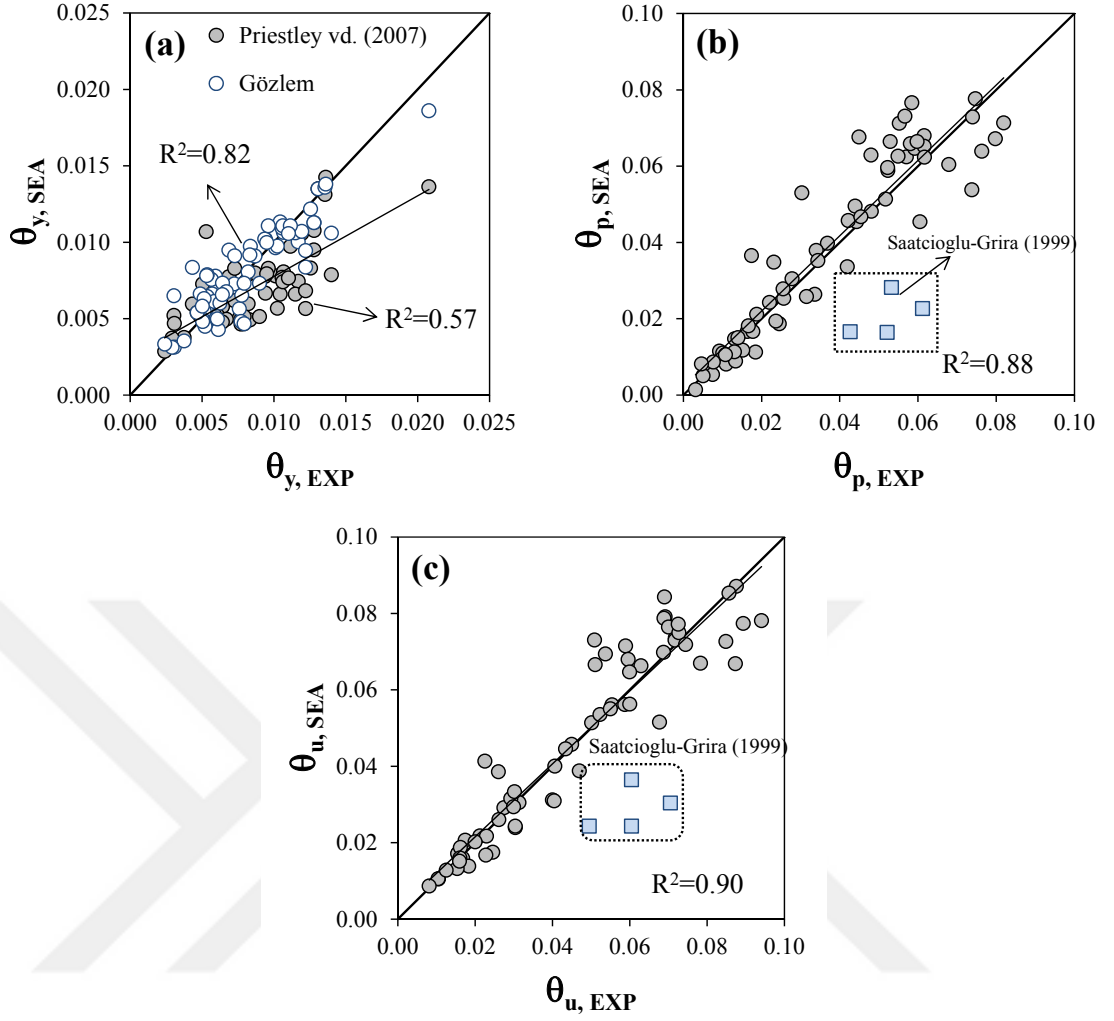
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

##### 4.1. Hasar Sınırlarının Deneysel Çalışma ve SEA Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

###### 4.1.1. Plastik dönmeye bağlı hasar sınırları

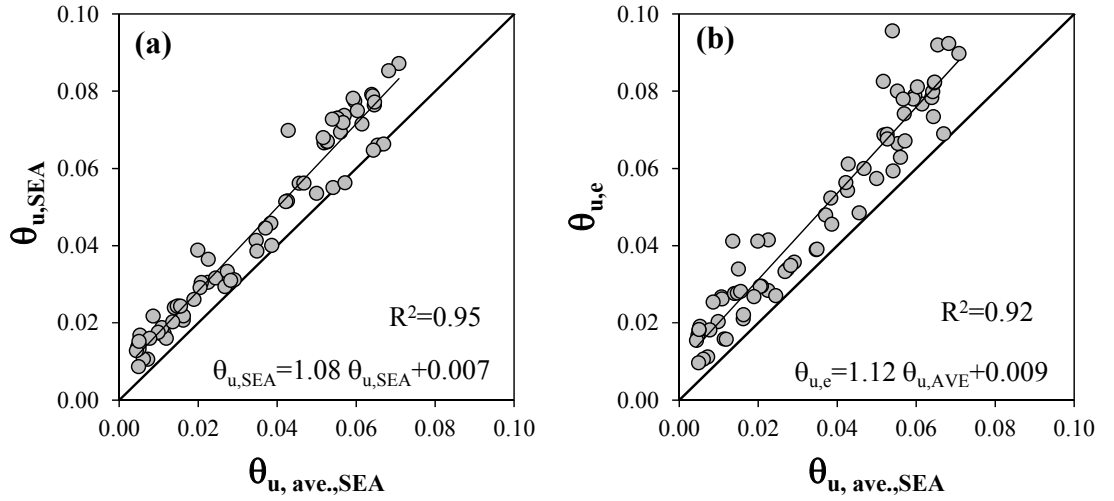
Deneysel çalışma raporlarında verilen akma anındaki ve kolon taşıma kapasitesini kaybettiği andaki kolon yanal ötelenme değerleri kolon etkin yüksekliğine bölünerek elde edilen dönmeler, sonlu eleman analiziyle bölüm 3.5 ve 3.8’de anlatılan yöntemlerle elde edilen dönme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekil 4.1(a)’da deneysel çalışmalarda rapor edilen akma anında meydana gelen dönmeler ( $\theta_{y,EXP}$ ), ile Priestley vd. (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılarak SEA ile hesap edilen ( $\theta_{y,SEA}$ ) sonuçlar arasındaki ilişki görülmektedir. Ayrıca SEA ile elde edilen moment-dönme grafiklerinden gözlem sonucu elde edilmiş akma anındaki dönmelerin deneysel raporlarda verilmiş değerlerle karşılaştırması beyaz daireler halinde verilmiştir. Gözlem yoluyla elde edilen değerlerin deneysel verilerle daha iyi uyum içinde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde SEA yönteminden elde edilen sonuçlar kullanılarak hesap edilen kesit plastik dönmeler ( $\theta_{p,SEA}$ ) ve kolon taşıma kapasitesine ulaştığında meydana gelen yer değiştirmiş eksen dönmeleri ( $\theta_{u,SEA}$ ) de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Mavi kareler şeklinde gösterilen sonuçlar Saatcioğlu-Grira (1999) tarafından sargı donatılarının kaynakla boyuna donatılara birleştirilmiş tam boyutlu 8 adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonların deneysel çalışmalardan eksenel yük oranı (0.46), boyuna (0.0294) ve sargı donatısı oranları (0.0266) olan dört adet kolona ait olanlardır. Bu deneylerde akma anında meydana gelen yanal ötelenme miktarlarının deneysel çalışmalar ve SEA ile elde edilen değerleri benzer sonuçlar verirken sonlu eleman analiziyle elde edilen nihai kolon ötelenmesiyle deneylerde rapor edilenler arasında fark oluşmaktadır. Bu nedenle plastik dönmeler arasında da büyük farklılıklar oluşmaktadır. Bu deneyler analiz kümesinden çıkarıldığında SEA ve deney sonuçlarının iyi bir korelasyon oluşturduğu görülmektedir.





**Şekil 4.1** Deneysel çalışmalarda rapor edilen dönme miktarları ve SEA ile hesap edilen dönme değerlerinin karşılaştırılması

Kolon taşıma kapasitesini kaybettiği anda  $h/2$  mesafesinde basınç bölgesinde sargılı beton en dış lifinde ve çekme bölgesindeki donatı düğüm noktalarında meydana gelen yer değiştirmeler Denklem (4.1)'de yerine konularak kolon ortalama yer değiştirmiş eksen dönme değerleri ( $\theta_{u,ave}$ ) hesap edilmiştir. Kolonun taşıma kapasitesini kaybettiği andaki yanal ötelenmesi kullanılarak hesap edilen dönme ( $\theta_{u,SEA}$ ) ve sonlu eleman modelinde her bir eleman seviyesindeki dönmelerin toplamıyla Denklem (4.1) kullanılarak hesap edilen dönmeler ( $\theta_{u,e}$ ) Şekil 4.2'de  $\theta_{u,ave}$  ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 4.2** Kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığında hesap edilen kesit dönmelerinin karşılaştırılması

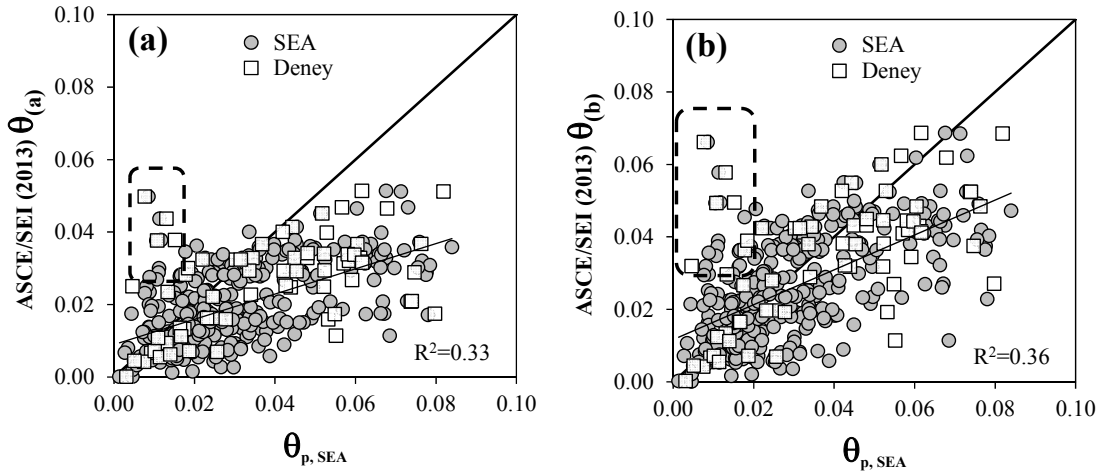
$$\theta_{u,ave,SEA} = \frac{\Delta_{tu} - \Delta_{cu,Core}}{h - 2cc}, \quad \theta_{u,SEA} = \frac{\Delta_{u,SEA}}{L}, \quad \theta_{u,e} = \sum_i^j \theta_{ei} \quad (4.1)$$

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kolon plastik mafsalsız boyunda ( $L_p=0.5h$ ) hesap edilen ortalama dönme değeri yanıl ötelenme miktarı ve eleman seviyelerinden elde edilen dönme değerlerinden bir miktar fazladır. Kolonda meydana gelen en büyük dönme değerini temsil etmese de sonlu eleman analiziyle kolon taşıma kapasitesini kaybettiği ve akma anında plastik mafsalsız boyunda hesap edilen ortalama yer değıştirmiş eksen dönme değerleriyle kolonların plastik dönmeleri ( $\theta_{p,SEA}$ ) belirlenmiştir. Elde edilen plastik dönme değerleri yönetmeliklerde verilen hasar sınırları ve araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılarla karşılaştırılmıştır.

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için ASCE/SEI 41 (2013 ve 2017) ile TBDY (2018) yönetmeliklerinde plastik dönmeye bağılı olarak hasar sınırları verildiği gibi Haselton vd. (2008)’de yaptıkları çalışmalar sonucu plastik dönmeye bağılı kolon hasar kapasitesini belirlemek için Denklem (2.29)’i önermişlerdir.

## 4.1.1.1. ASCE/SEI 41 (2013) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması

ASCE/SEI 41 (2013) betonarme yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için plastik dönme limitleri kolonda meydana gelen göçme tipine göre belirlemiştir. ASCE/SEI 41 (2013)'de betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütlerini içeren Çizelge 2-2 ve Şekil 2.5(a)'da verilen a ve b değerlerinin SEA ile kolon taşıma kapasitesini kaybettiği anda hesap edilen plastik dönme değerleri ( $\theta_{p,SEA}$ ) ile karşılaştırmaları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



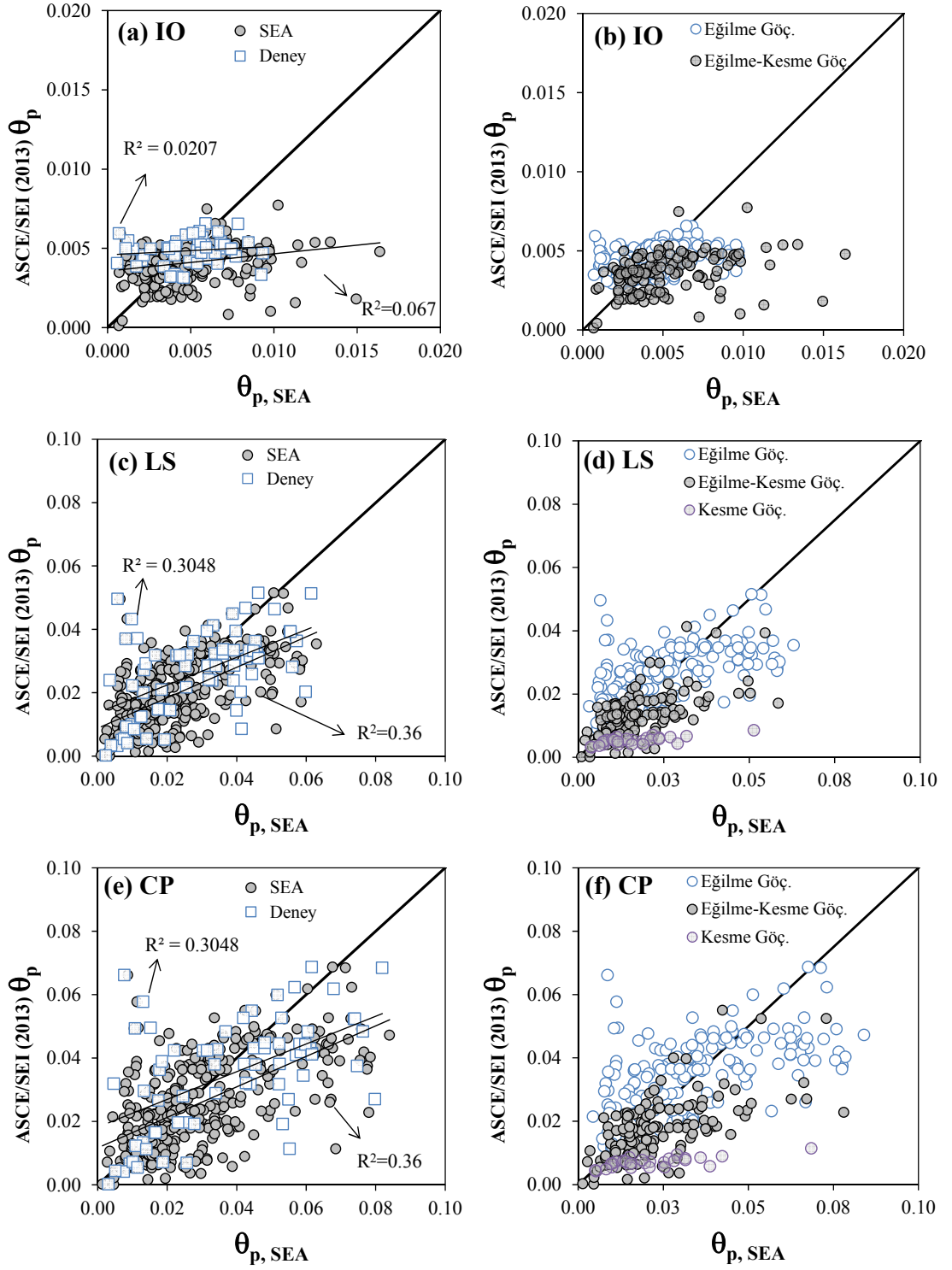
Şekil 4.3 Çizelge 2-3'te verilen tasarım parametreleri ile SEA yardımıyla hesap edilen plastik dönmelerin karşılaştırılması

Şekil 4.3(a) ve (b)'de beyaz kareler şeklinde gösterilen değerler deneysel çalışmalarda raporlanan yanal ötelenmelerden hesap edilen dönme miktarlarını göstermektedir. Şekil 4.3(a)'da görüldüğü gibi yönetmeliğe göre yanal kuvvet taşıma kapasitesinin belirgin bir şekilde azaldığında meydana gelen plastik dönme miktarının (Şekil 2.5(a)'da verilen a değeri) ve betonarme kolon plastik dönme kapasitesi (Şekil 2.5(a)'da verilen b değeri) yönetmelikte verilen değeri kolon taşıma kapasitesine ulaştığı anda SEA yöntemiyle hesap edilen plastik dönmelere göre daha küçük değerler almaktadır. Ludovico vd.(2014) ile Acun ve Sucuoğlu (2010) yaptıkları çalışmalar sonucunda ASCE/SEI 41 yönetmeliğinde verilen hasar sınırlarının tutucu kaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Şekil 4.3'te sınırlandırılarak gösterilen değerler Bayrak ve Sheikh (2002) tarafından yüksek dayanımlı beton (70-102 MPa) kullanılarak

oluşturulan betonarme kolonların 0.45 oranında eksenel yükü test edilmesiyle elde edilen deney verilerine aittir. Şekil 4.3 (a) (b) ve (c)'de verilen grafiklere bakıldığında ASCE/SEI 41 (2013) hasar sınırlarına göre güvensiz tarafta kalan diğer deneylerin tasarım parametrelerinden beton basınç dayanımlarının 45MPa'dan büyük ve eksenel yük oranlarının 0.25-0.45 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.4'te yönetmelik hasar sınırları ile SEA ile elde edilen hasar sınırlarının karşılaştırılması görülmektedir. İlk sütunda beyaz kareler ile işaretlenen değerler deneysel raporlardan elde edilen yanal ötelenme miktarlarından hesap edilen plastik dönme miktarlarının yönetmelik sınırlarıyla karşılaştırmalarını göstermektedir. ASCE/SEI 41 (2013) yönetmeliğinde verilen sınırlı hasar (IO) ve göçme öncesi hasar (CP) sınırları arasındaki oran kullanılarak SEA ile kolon nihai şekil değiştirme kapasitesine ulaştığında hesaplanmış plastik dönme değerleri azaltılmış ve sınırlı hasar performans düzeyi için plastik dönme miktarları belirlenmiştir. Sınırlı hasar (IO) için SEA ile elde edilen değerler ve ASCE/SEI 41 (2013) yönetmeliğine göre hesap edilen plastik dönme miktarları Şekil 4.4(a)'da karşılaştırılmıştır. Kontrollü hasar (LS) ve göçme öncesi hasar (CP) sınırları içinde hesaplanan ve yönetmelik değerleri Şekil 4.4(c) ve (e)'de karşılaştırılmıştır.

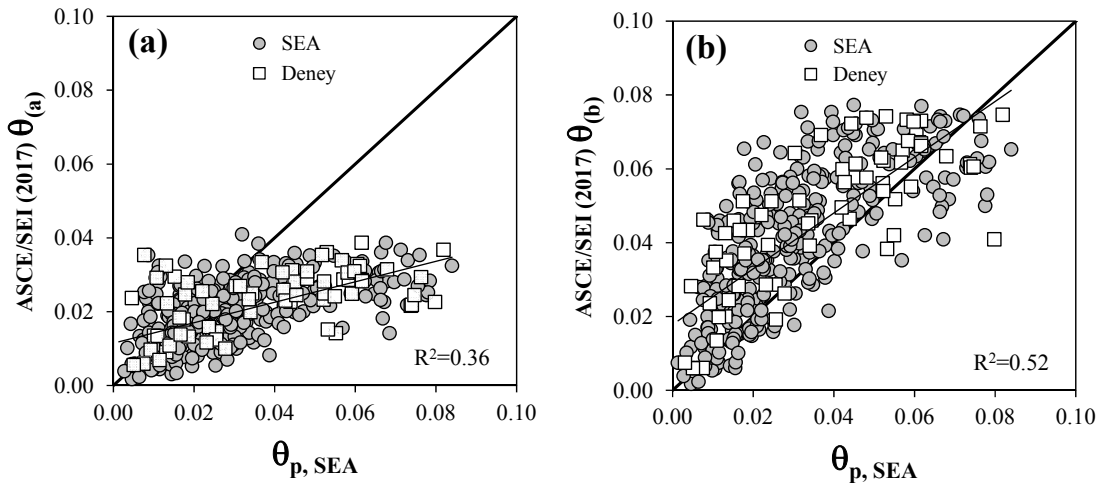
İkinci sütunda ise kolonlar göçme tiplerine göre gruplandırılarak grafikler oluşturulmuştur. Kesme kuvveti oranlarına göre 173 adet kolon Durum I: Eğilme, 136 tanesi Durum II: Eğilme-Kesme, 27 tanesi Durum III: Kesmeden dolayı hasar sınırına ulaşmıştır.



Şekil 4.4 ASCE/SEI 41 (2013)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

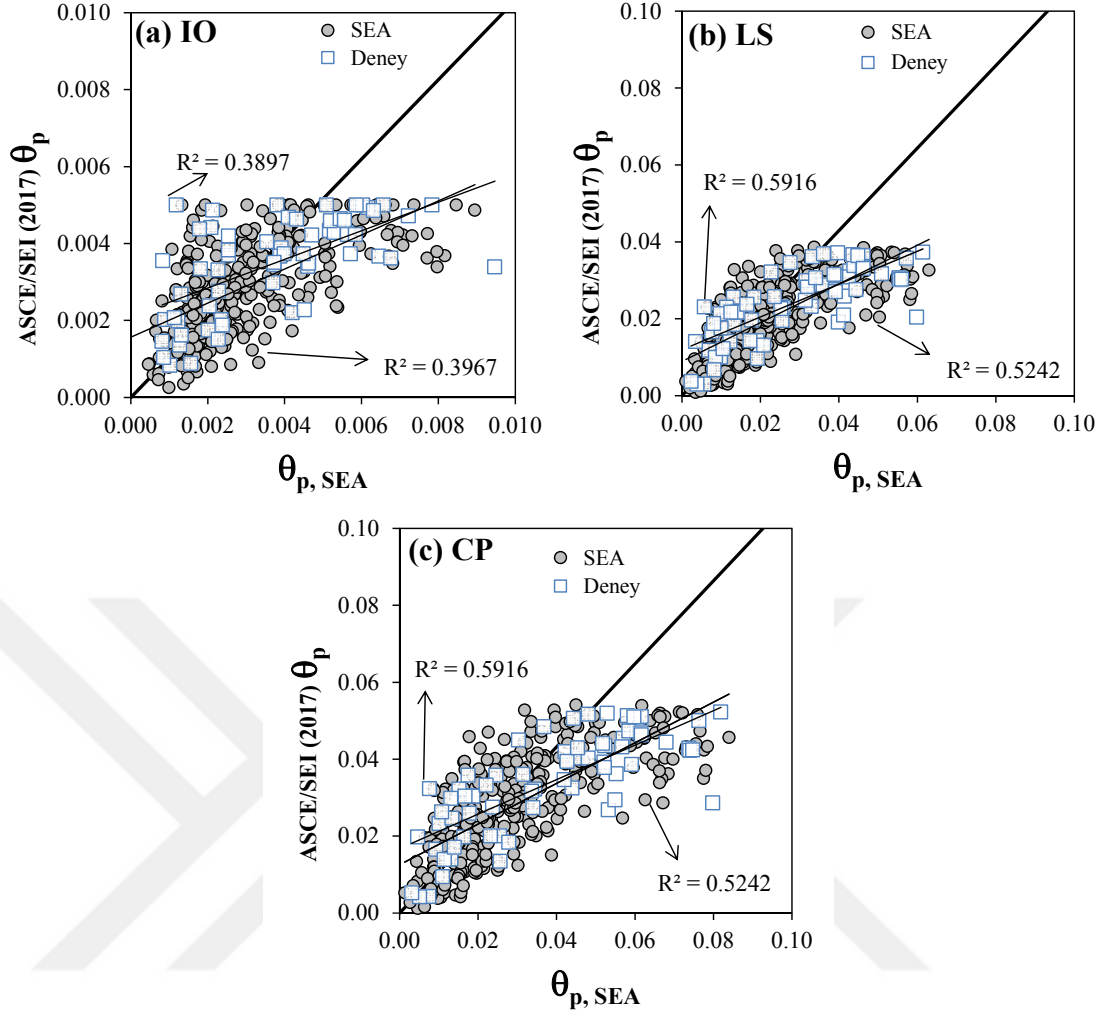
## 4.1.1.2. ASCE/SEI 41 (2017) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması

ASCE/SEI 41 (2017) 2013 yılında yayımlanan yönetmelikte olduğu gibi betonarme kolonların hasar sınırlarının belirlenmesi için plastik dönme limitleri belirlemiştir. 2017 yönetmeliği eski yönetmelikten farklı olarak kolonları kesme kuvveti oranına göre ayırmamıştır. Yönetmelik tasarım parametreleri olan a ve b değerlerinin hesaplanması için eksenel yük oranı, kesme kuvveti oranı, boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı ve sargı donatısı akma dayanımına bağlı formül verilmiştir. Hasar sınırlarının hesaplanmaları ise tasarım parametrelerine bağlı belirlenmiştir. ASCE/SEI 41 (2017)'de betonarme kolonlar için hasar sınırları ve doğrusal olmayan yöntemler için sayısal kabul ölçütleri Çizelge 2-5'te verilmiştir. Şekil 2.5(a)'da verilen a ve b değerlerinin SEA ile kolon taşıma kapasitesini kaybettiği anda hesap edilen plastik dönme değerleri ( $\theta_{p,SEA}$ ) ile karşılaştırmaları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

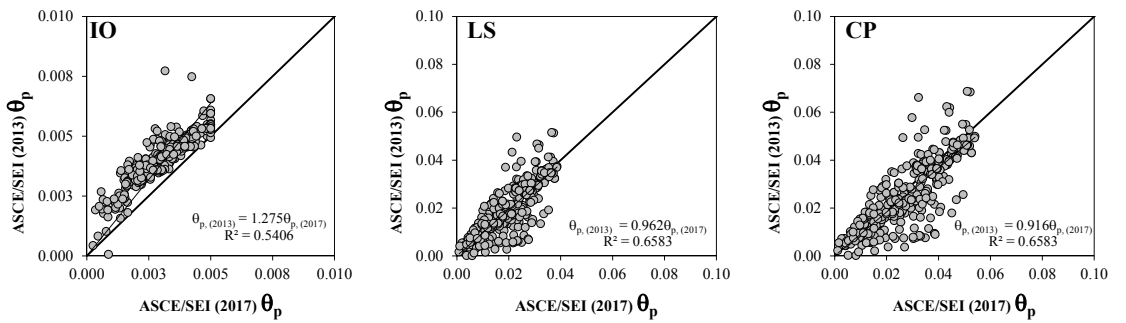


Şekil 4.5 Çizelge 2-5'te verilen tasarım parametreleri ile SEA yardımıyla hesap edilen plastik dönmelerin karşılaştırılması

Şekil 4.6'da ASCE/SEI 41 (2017) yönetmeliğine göre hesap edilmiş plastik dönmeye bağlı hasar sınırları SEA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yeni yönetmeliğin hasar sınırlarının anlamlılık düzeylerinde bir iyileşme olduğu gibi eksenel yük oranı ve beton basınç dayanımı yüksek olan kolonların plastik dönme miktarları SEA ile elde edilen değerleriyle yakın sonuçlar vermiştir.



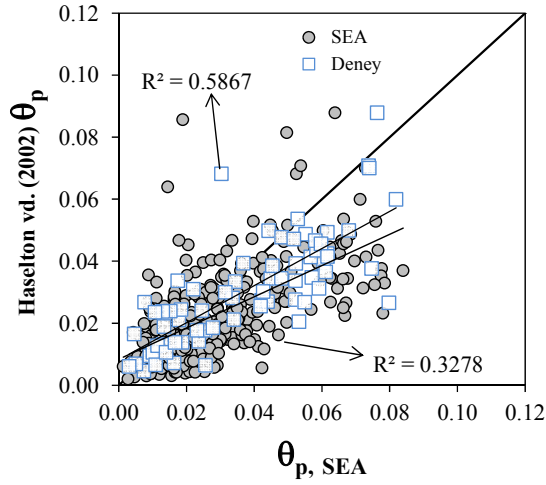
Şekil 4.6 ASCE/SEI 41 (2017)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.7 ASCE/SEI 41 (2017) ve (2013) yönetmeliklerinde verilen hasar sınırlarının karşılaştırılması

#### 4.1.1.3. Haselton vd. (2008) tarafından önerilen plastik dönme sınırının karşılaştırılması

Haselton vd. (2008) betonarme kolonların hasar kapasitelerinin belirlenebilmesi için plastik dönmeye bağlı Denklem (2.29) bağıntısını önermişlerdir. Şekil 4.8’de Haselton vd. (2008) tarafından önerilen bağıntıdan hesap edilen kolon plastik dönme kapasitesi ile SEA ile hesaplanan plastik dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Beyaz kareler şeklinde işaretlenen değerler deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırmasını göstermektedir.



**Şekil 4.8** Haselton vd. (2008) tarafından önerilen kolon plastik dönme kapasitesinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

Haselton vd. (2008) tarafından önerilen plastik şekil değiştirmeye bağlı betonarme kolon hasar kapasitesini belirleyen bağıntıyla elde edilen karşılaştırma grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde yüksek mukavemetli betonlar ile üretilen, kolon en boy oranı altıdan, sargı donatısı çapının 15mm’den ve eksenel yük oranı 0.45 den büyük kolonlar için önerilen bağıntıyla elde edilen değerler parametrik çalışmayla elde edilen değerlerden büyük olduğu görülmektedir.



##### 4.1.1.4. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması

TBDY (2018) yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesi için sargılı beton en dış lifinde ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirmelerinin yanı sıra yapı elemanında meydana gelen plastik dönmeye bağlı hasar sınırları da önermiştir. Parametrik çalışmayla kolon yanal öteleme miktarının kolon boyuna bölünmesiyle hesaplanan plastik dönme miktarları ile TBDY (2018)'de hasar sınırları için önerilen plastik dönmeler Şekil 4.9'da karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'da ikinci sütunda verilen karşılaştırmalar (Şekil 4.9 (b), (d), (f)) hesap edilen plastik dönmelerin azaltma katsayısı ile çarpılmış değerlerinin yönetmelik değerleriyle karşılaştırmalarını göstermektedir.

TBDY (2018)'e göre yapı elemanı Sınırlı Hasar (SH) bölgesine kadar plastik dönme yapmayacaktır denilmektedir. Sınırlı hasar düzeyi için karşılaştırma yapılırken Denklem (4.2) bağıntısıyla hesap edilen akma anında meydana gelen dönme miktarları kullanılmıştır. Akma durumu için yer değiştirmiş eksen dönmesinin hesaplanması için kullanılan (4.2) bağıntısında akma eğriliği ( $\phi_y$ ) Denklem (4.4) kullanılarak hesap edilmiştir. Şekil 4.9(e) ve (f)'de sınırlı hasar bölgesi için akma anında meydana gelen dönme değerlerinin karşılaştırması görülmektedir.

Akma anında meydana gelen dönme değerlerinin hesaplanmasında kullanılan akma eğriliğinin ( $\phi_y$ ) değerleri moment eğrilik analizi yapılarak da elde edilmiştir. Hesap edilen dönme değerinin SEA yardımıyla hesap edilen değeriyle karşılaştırması Şekil 4.11(e) ve (f)'de görülmektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y + d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.2)$$

Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumunda TBDY (2018)'de verilen plastik dönme sınırının hesaplanması için kullanılan (4.3) bağıntısında akma eğriliği ( $\phi_y$ ) ve göçme öncesi toplam eğrilik ( $\phi_u$ ) Denklem (4.4) kullanılarak hesap edilmiştir.  $b_0$  göbek

betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.9(a) ve (b)'de göçme öncesi hasar sınırı için plastik dönme değerlerinin karşılaştırması görülmektedir.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (4.3)$$

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_c^{(SH)} + \varepsilon_s^{(SH)}}{b_0} \quad , \quad \phi_u = \frac{\varepsilon_c^{(GÖ)} + \varepsilon_s^{(GÖ)}}{b_0} \quad (4.4)$$

Kontrollü Hasar Sınırının (KH) belirlenmesinde kullanılan plastik dönme miktarları TBDY (2018)'de önerildiği gibi Göçme Öncesi Hasar (GÖ) için kullanılan değerlerin 0.75 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

Şekil 4.9'da ilk sütunda önerilen yönetmelik hasar sınırları azaltma katsayısı ile çarpılarak parametrik çalışmayla hesap edilen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci sütunda ise azaltma katsayısı ile çarpılmadan hesap edilen yönetmelik sınır değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde azaltma katsayısının zaten aşırı güvenli olan plastik dönmeye bağlı yönetmelik sınır değerleri üzerinde fazla etkisi olmadığı görülmektedir.

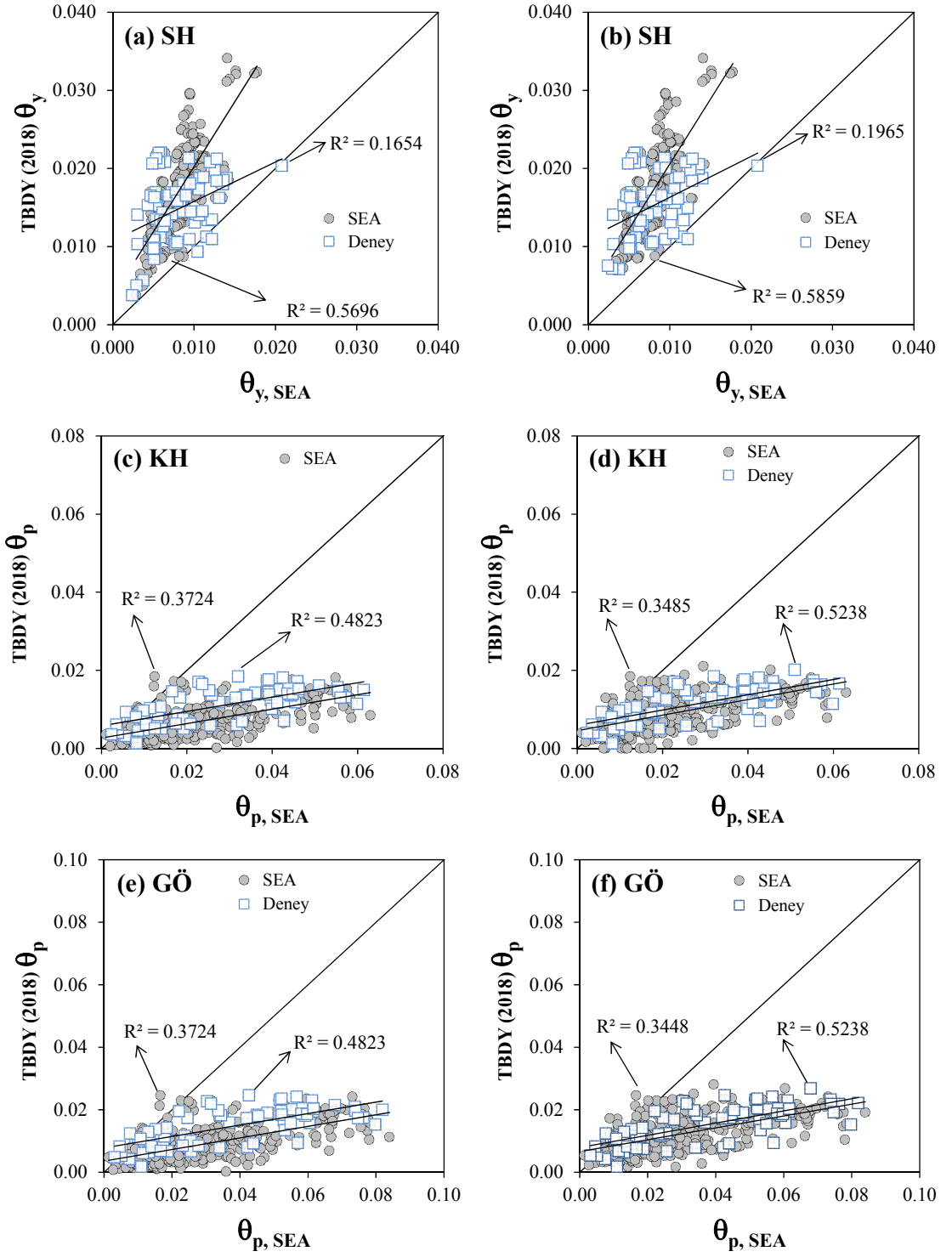
Sonlu eleman analizinden akma ve kolon nihai şekil değiştirme kapasitelerinde meydana gelen ortalama birim şekil değiştirmeler kullanılarak eğrilik değerleri ( $\phi_{y,SEA}$ ,  $\phi_{u,SEA}$ ) hesap edilmiştir. Elde edilen eğrilik değerlerinin (4.2) ve (4.3) denklemlerine yerlerine konularak hasar sınırları için hesap edilen dönme değerlerinin kolon yanal öteleme miktarının kolon etkin yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen dönme değerleriyle karşılaştırması Şekil 4.10'da verilmiştir.

Ayrıca TBDY (2018)'de göçme öncesi hasar (GÖ) sınırında plastik dönme miktarının Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanması için gereken akma eğriliği ve göçme öncesi toplam eğrilik değerleri moment eğrilik analizinden beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirme sınırları gözönünde bulundurularak hesap edilmiştir

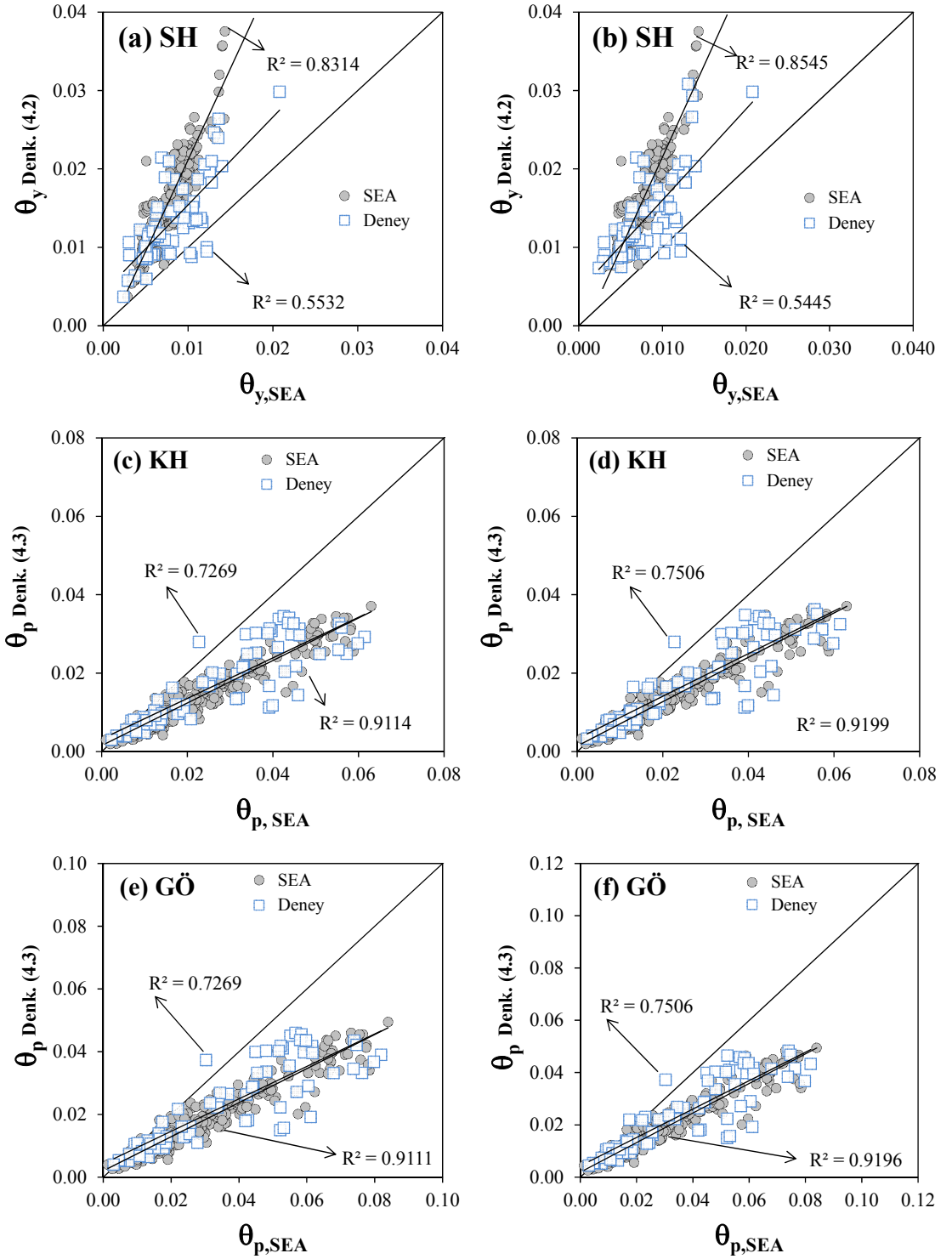
$(\phi_{y,SA}, \phi_{i,SA})$ . Hesaplanan bu plastik dönme sınırının parametrik çalışmayla elde edilen değerlerle karşılaştırması Şekil 4.11’de görülmektedir.

Yapılan karşılaştırmalar göstermektedir ki TBDY (2018)’de verilen hasar sınırları kullanılarak hesap edilen eğrilikler ve bu eğriliklere bağlı dönme değerleri aksenal yük oranı 0.45 olan ve yüksek beton basınç dayanımına sahip (70-102 MPa) kolonlarda bile SEA ile elde edilen sınırların çok altında kalmıştır.

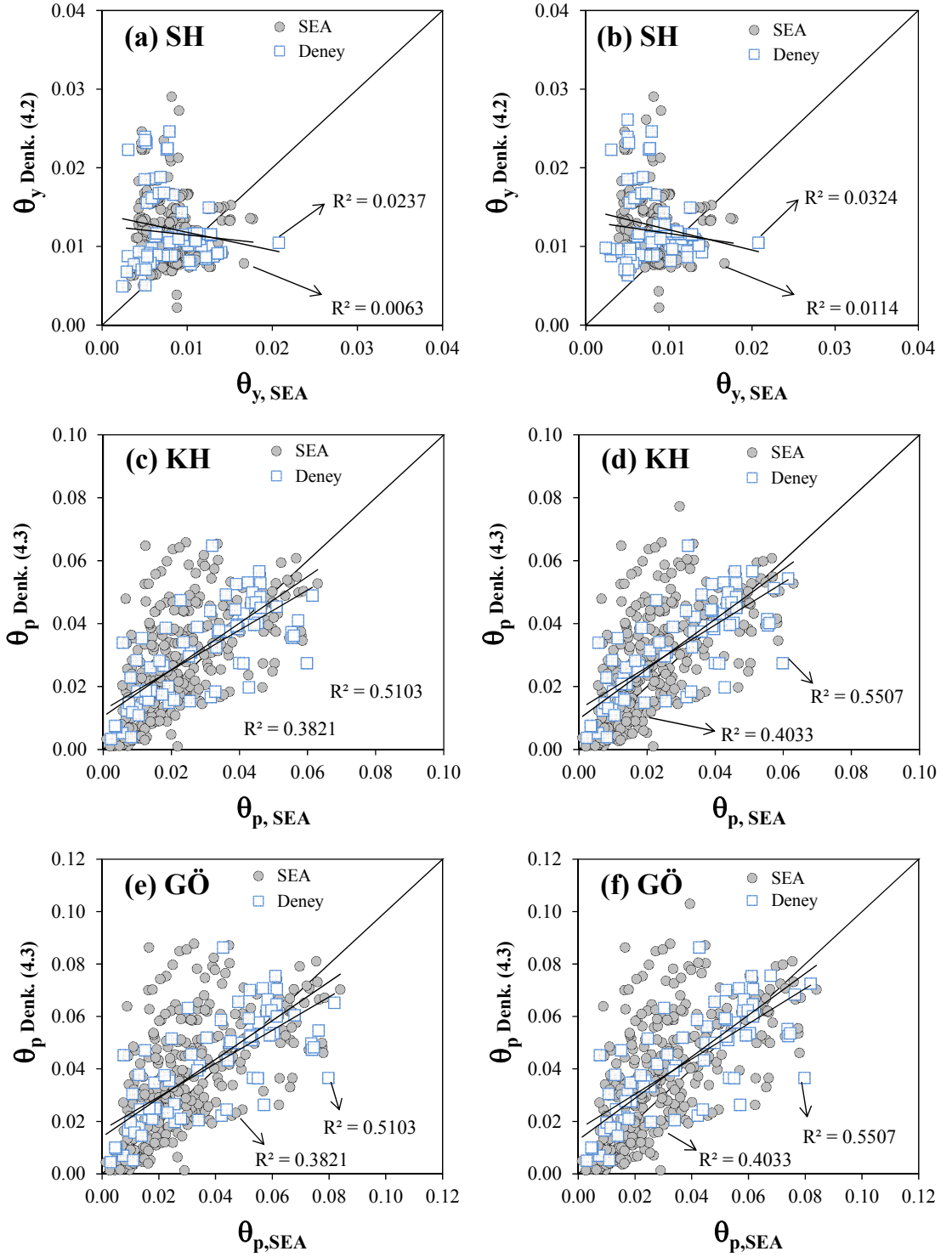




Şekil 4.9 TB DY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması



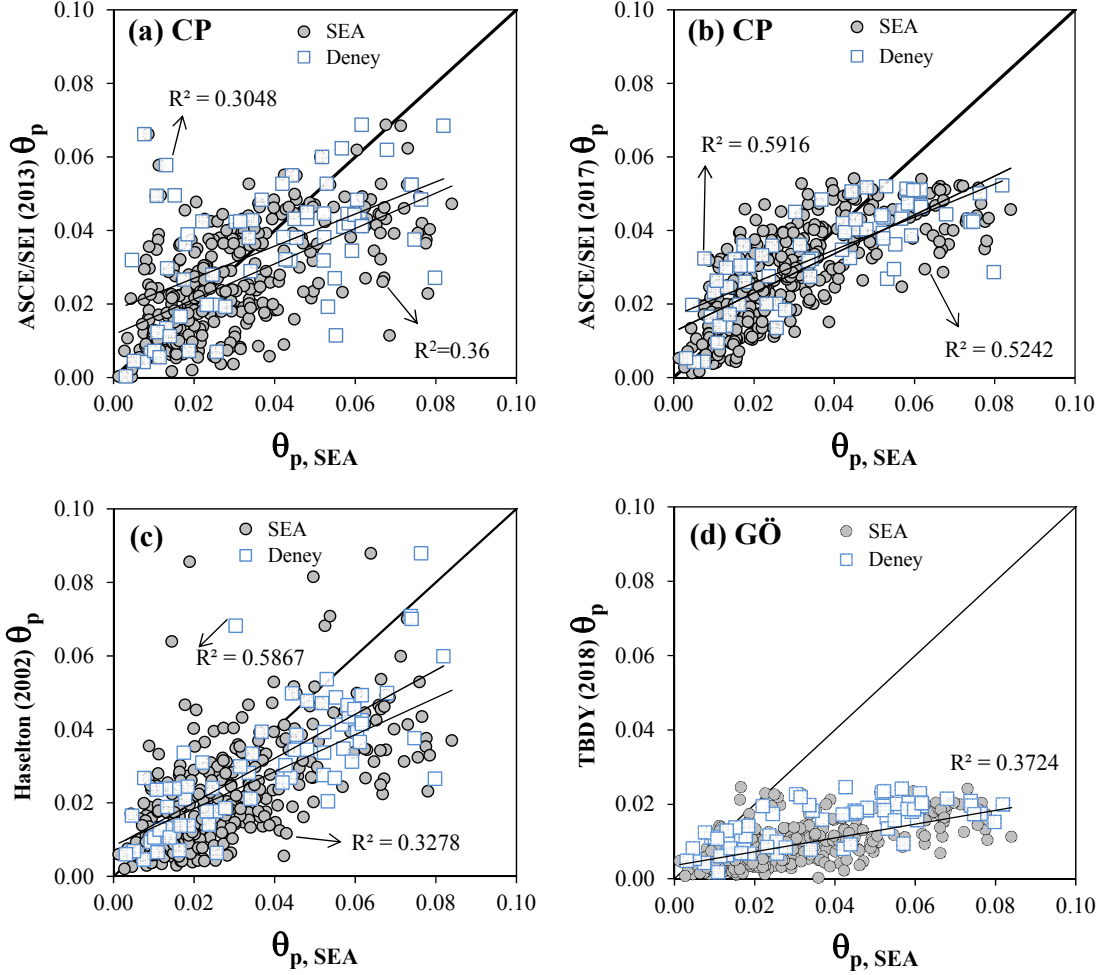
**Şekil 4.10** Sonlu eleman analiziyle elde edilen akma eğriliği ( $\phi_{y,SEA}$ ) ve göçme öncesi toplam eğrilik ( $\phi_{u,SEA}$ ) değerleri kullanılarak hesap edilen plastik dönme sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması



**Şekil 4.11** Moment eğrilik analiziyle elde edilen akma eğriliği ( $\phi_{y,SEA}$ ) ve göçme öncesi toplam eğrilik ( $\phi_{t,SEA}$ ) değerleri kullanılarak hesap edilen plastik dönme sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

Kolon taşıma kapasitesine ulaştığı anda meydana gelen plastik dönme değerlerinin yönetmeliklerde ve araştırmacılar tarafından önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırması Şekil 4.12’de verilmiştir. SEA ile elde edilen kolon plastik dönme

kapasiteleri ASCE/SEI 41 (2017)'de önerilen göçme öncesi plastik dönme hasar sınırıyla olan ilişkisi diğer önerilen hasar sınırlarından daha iyi uyum içinde olduğu görülmektedir.



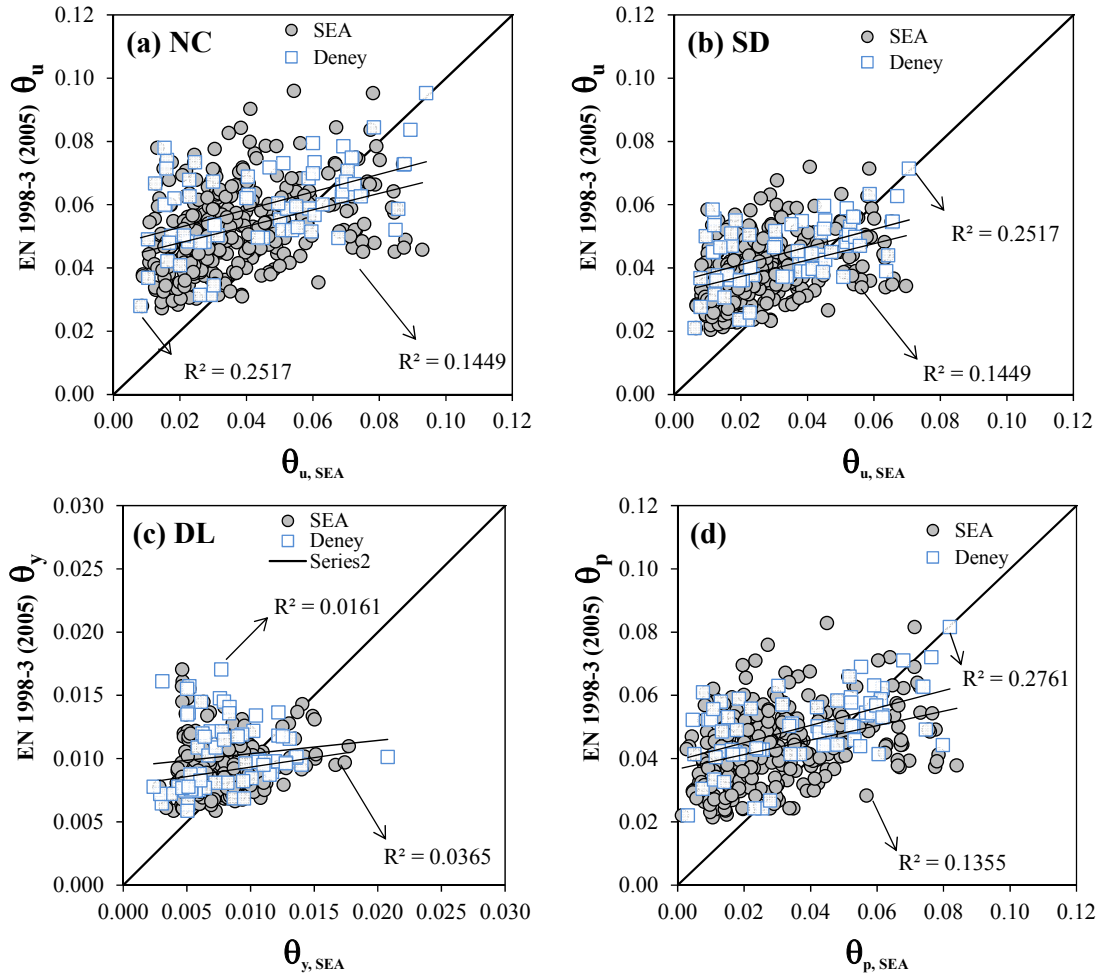
Şekil 4.12 Plastik dönmeyle ilgili verilen farklı hasar sınırlarının karşılaştırılması

#### 4.1.2. Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırları

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlarda plastik dönmeyle ilgili olarak verilen performans düzeylerinin yansıma kolonda meydana gelen toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı olarak Eurocode 8 Bölüm-3 (EN 1998-3: 2005)'te ve Panagiotakos ve Fardis (2001) tarafından önerilen bağıntılar bulunmaktadır.

## 4.1.2.1. Eurocode 8 Bölüm-3 plastik dönme sınırlarının karşılaştırılması

EN 1998-3 (2005) birincil yapı elemanların olan kolonlar için Göçme Öncesi (Near Collapse, NC), Belirgin Hasar (Significant Damage, SD) ve Hasar Başlangıcı (Damage Limitation, DL) olmak üzere toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine ( $\theta_u$ ) Bağlı üç sınır bölgesi belirlenmiştir. Yönetmelikte verilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.13(d)'de Denklem (2.19) kullanılarak hesap edilen kolonlara ait plastik dönme değerleri SEA ile elde edilen plastik dönme miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiğinde (a) ve (d) kolonların %83'ünün EN 1998-3 (2005)'de önerilen bağıntıyla hesap edilen dönme miktarları SEA ile elde edilen değerlerden büyüktür.

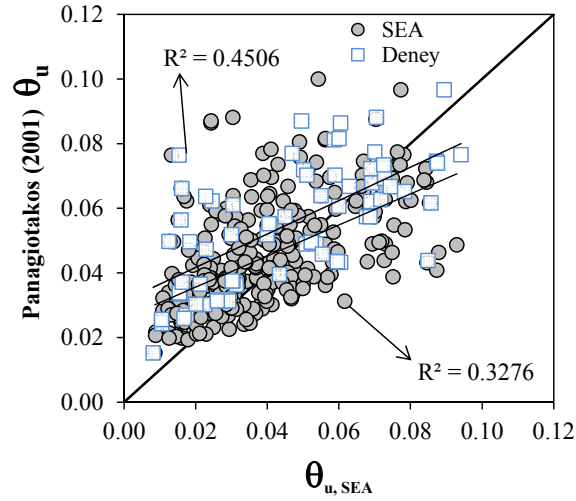


Şekil 4.13 EN 1998-3 (2005)'te önerilen hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması



#### 4.1.2.2. Panagiotakos ve Fardis (2001)

Panagiotakos ve Fardis (2001) betonarme yapısal elemanlar üzerinde yaptıkları deneyler sonucu toplam yer değiştirmiş eksene bağlı EN 1998-3 (2005)'te önerilen denkleme benzer Denklem (2.26)'i önermişlerdir. Şekil 4.14'te beyaz kareler şeklinde işaretlenen değerler deneysel çalışmalarda verilen dönme miktarlarının önerilen denklem ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 4.14'te verilen karşılaştırma grafikleri incelendiğinde Panagiotakos ve Fardis (2001) tarafından önerilen bağıntıyla hesap edilen değerlerin %72'si SEA ile elde edilen değerlerden büyük çıkmaktadır.

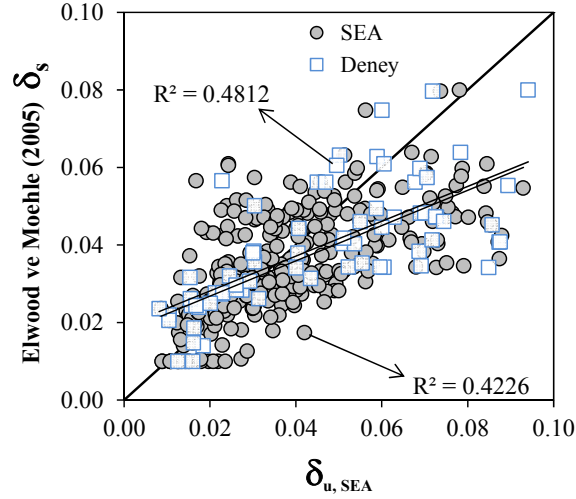


**Şekil 4.14** Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

#### 4.1.2.3. Elwood ve Moehle (2005)

Elwood ve Moehle (2005) betonarme kolonlar üzerinde yapılmış deneysel çalışmalardan elde ettikleri tepe noktası yer değiştirme miktarlarını kullanarak sargı donatısı oranı, eksene yük oranı, kesme kuvveti oranı ve beton basınç dayanımına bağlı kolon ötelenme oranına veren Denklem (2.28)'yi önermişlerdir. Tepe noktasının yükler altında yapmış olduğu yanal ötelenme miktarının kolon yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen yanal ötelenme oranı aynı zamanda EN 1998-3 (2005)'te tanımlanan yer değiştirmiş eksen dönmesine eşittir. Bu nedenle Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen yanal ötelenme oranına bağlı hasar sınır değerleri EN 1998-3 (2005) ve

Panagiotakos ve Fardis (2001) tarafından önerilen hasar sınırlarıyla birlikte değerlendirilmiştir.

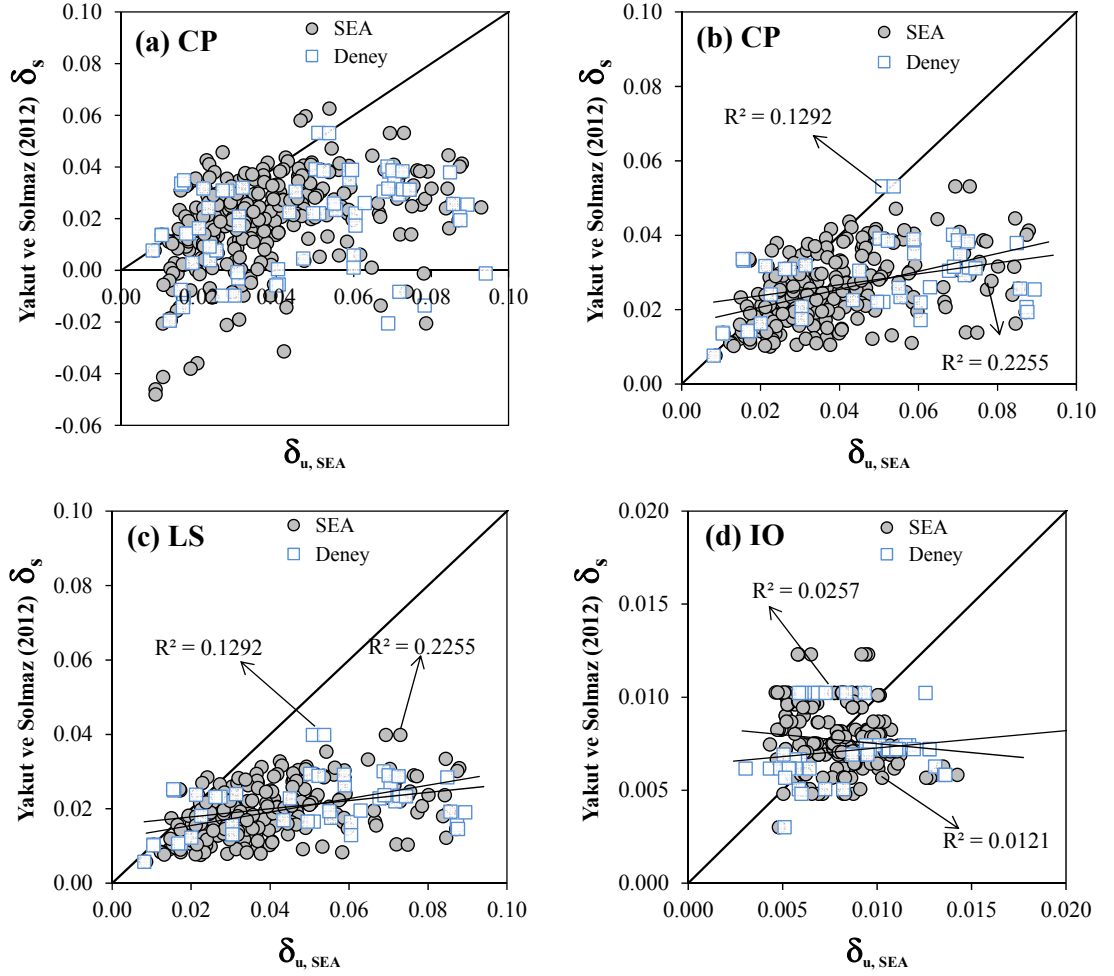


**Şekil 4.15** Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen yanıl ötelenme oranına bağlı hasar sınır değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

#### 4.1.2.4. Yakut ve Solmaz (2012)

Yakut ve Solmaz (2012) farklı geometrik ve malzeme özelliklerine sahip eğilme göçmesinin etkin olduğu 144 adet kolonu OpenSees programını kullanarak ötelenme kontrollü doğrusal olmayan statik analiz ile değerlendirerek ötelenme oranına bağlı hasar sınırları belirlemişlerdir.

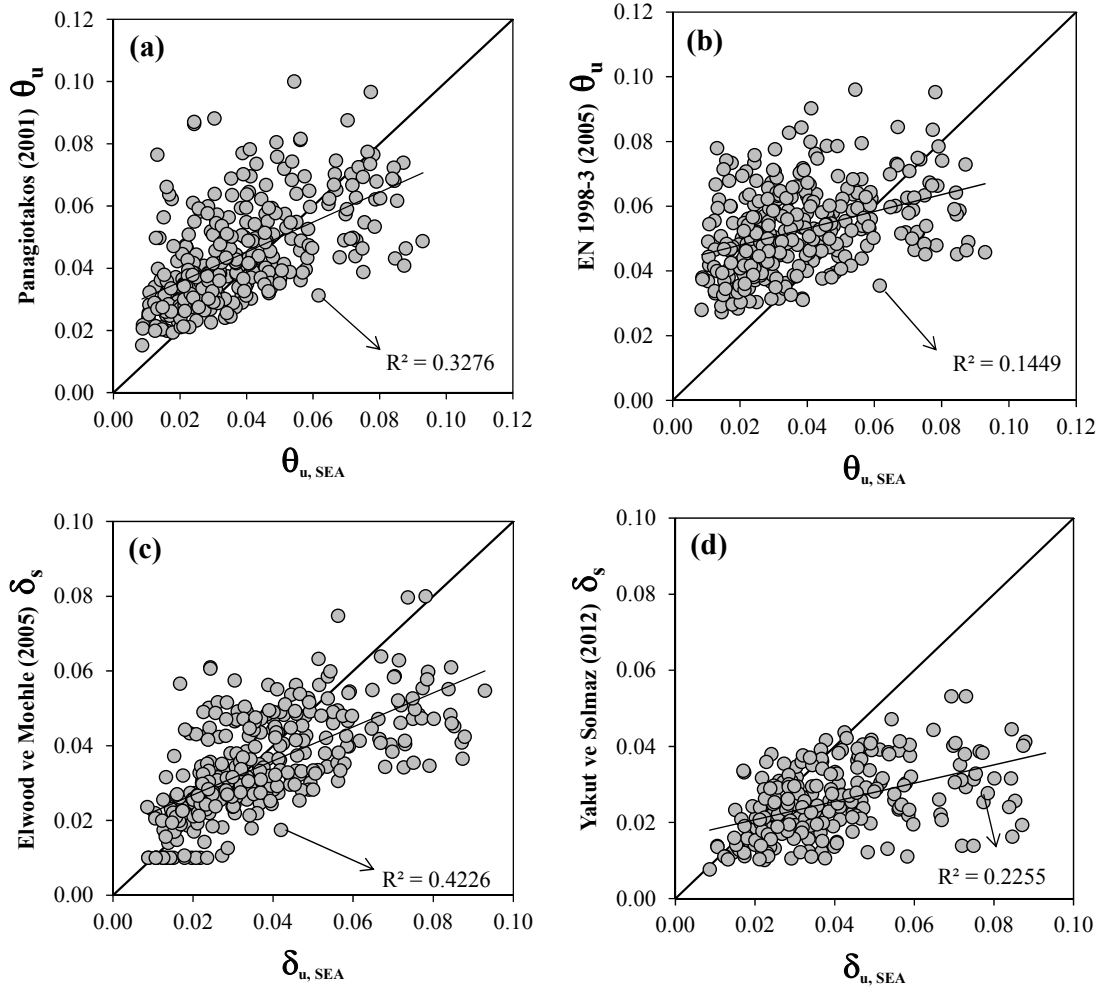
Yakut ve Solmaz (2012) tarafından analiz edilen kolonların beton basınç dayanımları 20MPa ile 10MPa arasında değişmekteyken eksenel yük oranları ise 0.10, 0.25 ve 0.40 aralığındadır. SEA yöntemiyle nihai ötelenme oranları hesap edilen kolonların Yakut ve Solmaz (2012) tarafından önerilen hasar sınırıyla karşılaştırılması Şekil 4.16(a)'da görülmektedir. Bu kümeden eksenel yük oranı 0.40 ve beton basınç dayanımı 35MPa'ın üstünde olan kolonlar çıkarıldığında Şekil 4.16(b) elde edilmektedir.



**Şekil 4.16** Yakut ve Solmaz (2012) tarafından önerilen yanal ötelenme oranına bağlı hasar sınır değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

Kolon taşıma kapasitesine ulaştığı anda hesap edilen toplam eksen dönme miktarları ve yanal ötelenme oranlarının önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırması Şekil 4.17’de verilmektedir. Hesap edilen değerlerle en iyi korelasyonun Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen bağıntıyla hesap edilen değerlerle olduğu görülmektedir.

Panagiotakos ve Fardis (2001) ve EN 1998-3 (2005)’te önerilen hasar sınırlarıyla hesap edilen değerlerin sonucunda kolonların büyük bir kısmının güvensiz tarafta kalmaktadır. Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen bağıntı güvensiz tarafta kalan kolonların sayısını azaltsa da halen daha önemli sayıda kolon özellikle yüksek dayanımlı betonla üretilen ve eksenel yük oranı 0.45’ten fazla olan kolonlar güvensiz tarafta kalmaya devam etmektedir.



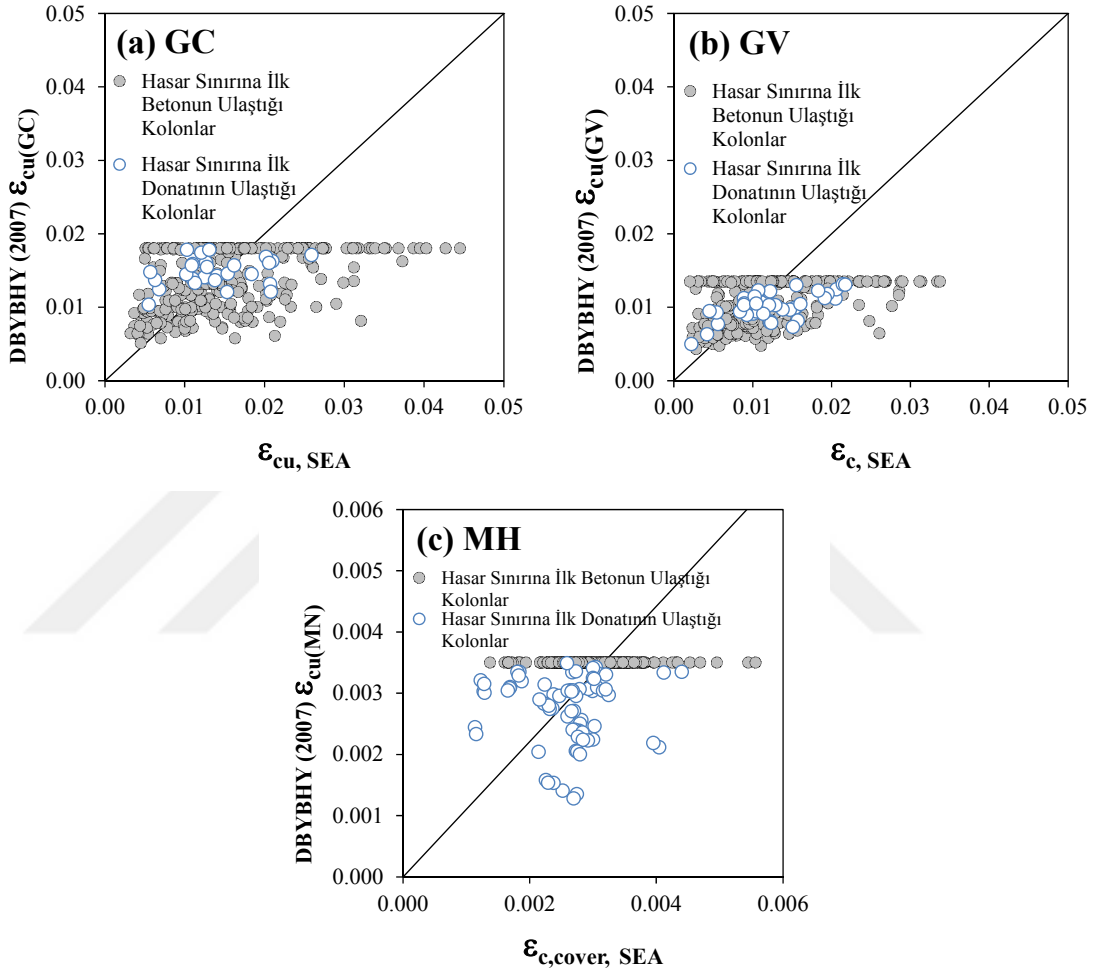
Şekil 4.17 Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı hasar sınırlarının önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırılması

#### 4.1.3. Beton birim şekil değiştirme hasar sınırları

##### 4.1.3.1. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007)

DBYBHY (2007)'de betonarme elemanların hasar sınırlarının belirlenmesi için beton ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme kapasitelerine bağlı olarak bağıntılar önerilmiştir. Bu bağıntılar kullanılarak SEA ile analizleri tamamlanan kolonların hasar sınırlarındaki beton birim şekil değiştirme sınırları karşılaştırılmıştır. SEA ile hasar sınırları belirlenirken Minimum Hasar Sınırı (MN) için akma anında, Güvenlik Sınırı (GV) için kolon nihai taşıma kapasitesinin 0.75'ine ulaştığı ve Göçme Sınırı (GÇ) için kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığı durumlar kabul edilmiştir. SEA ile elde edilen sonuçlar ve DBYBHY (2007)'nin belirlediği hasar sınırlarının

karşılaştırılması Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda kolon performans değerlerinin belirlenmesi için donatı çeliği ve betona ait birim şekil değiştirme değerleri rapor edilmediğinden birim şekil değiştirmeye bağlı önerilen hasar sınırlarıyla karşılaştırmalar yapılırken sadece parametrik çalışmayla hesap edilen değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.18 DBYBHY (2007) beton birim şekil değiştirmesine bağlı hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

#### 4.1.3.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018)

Betonarme dikdörtgen kesitli kolonlar için TBDY (2018) yayımlı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) performans düzeylerine göre izin verilen hasar sınırları Denklem (2.5)-(2.9)-(2.11) ve (2.13)’te tanımlanmıştır. TBDY (2018)’de her bir performans düzeyinde kullanılmak üzere hem

donatı çeliği hem de beton için birim şekil değiştirme üst sınırı önerilmiştir. Kolonun hasar sınırına ulaşmasını birim şekil değiştirme sınırına ilk ulaşan donatı çeliği veya beton belirlemektedir. 2007-2018 yılları arasında yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde kesit minimum hasar sınır için beton en dış lifinde diğer hasar sınırları için sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme kullanılırken; 2018 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte tüm hasar sınırları için sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmelere bağlı denklemler önerilmiştir.

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyinde donatıda ve betonda meydana gelen birim şekil değiştirmeler karşılaştırılırken aşağıda belirtilen yöntem kullanılmıştır.

1. Parametrik çalışmayla ve Priestley vd. (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılarak hesap edilen akma anındaki eğrilik ( $\phi_y$ ) değerine kesit analizinde karşılık gelen birim şekil değiştirmeler yönetmelikte sınırlı hasar durumu için önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılmak için kullanılmıştır. İzin verilen birim şekil değiştirme sınırına hangi malzemenin ilk önce ulaştığını belirlemek için yönetmelikte verilen sınır değerlerinin oranı ( $\epsilon_s^{(SH)} / \epsilon_c^{(SH)}$ ) sonlu eleman analiziyle elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin oranı ( $\epsilon_{s,ave} / \epsilon_{c,ave}$ ) ile karşılaştırılmıştır.

2.  $\left( \epsilon_s^{(SH)} / \epsilon_c^{(SH)} \right) < \left( \epsilon_{s,ave} / \epsilon_{c,ave} \right)$  olduğu durumlarda ilk önce betonun birim şekil değiştirme sınırına ulaştığı kabul edilip hesap edilen beton birim şekil değiştirme değeri yönetmelik sınırıyla karşılaştırılmıştır. Yönetmelikte verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı aynı oranda değiştirilerek hesap edilen donatı birim şekil değiştirme sınırı ile karşılaştırılmıştır. Böylece betonun ilk olarak hasar sınırına ulaştığı anda donatıda meydana gelen birim şekil değiştirmeleri de değerlendirilmiştir.

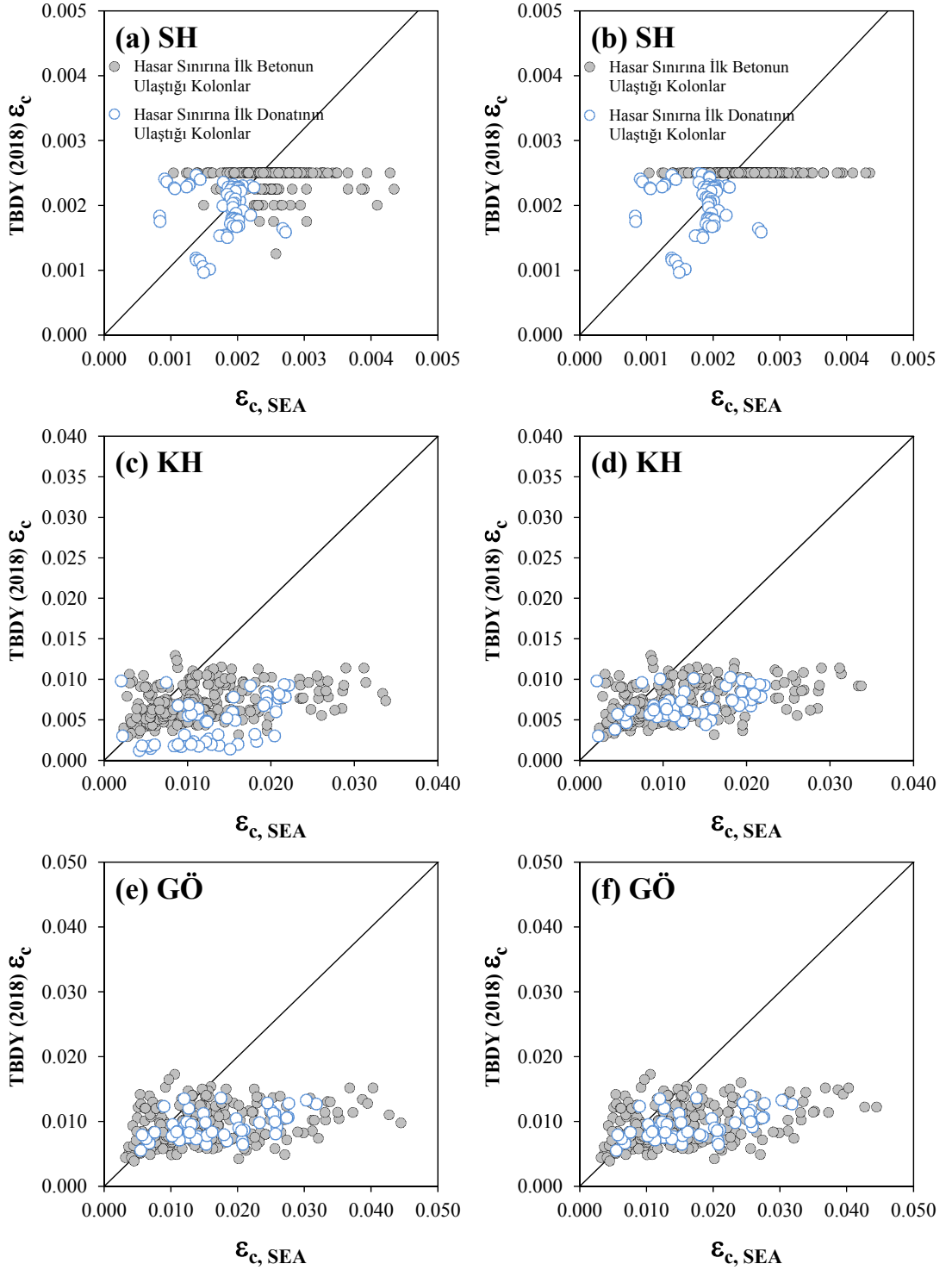
3.  $\left( \epsilon_s^{(SH)} / \epsilon_c^{(SH)} \right) > \left( \epsilon_{s,ave} / \epsilon_{c,ave} \right)$  olduğu durumda ise donatının ilk olarak hasar sınırına ulaştığı kabul edilmiş ve ikinci durumda olduğu gibi hesap edilen değerlerle yönetmelik sınırları karşılaştırılmıştır.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyinde yönetmeliğin önerdiği gibi göçme öncesi hasar düzeyinde belirlenen birim şekil değiştirme sınırları 0.75 ile çarpılarak hesap edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi birim şekil değiştirme sınır değerleri Denklem (2.5) ve (2.9) kullanılarak hesap edilmiştir. Birim şekil değiştirme sınırına ilk ulaşan donatı çeliği veya beton belirlemek için sınırlı hasar (SH) performans düzeyinde açıklanan birim şekil değiştirme oranlarına bağlı yöntem kullanılmıştır. Yönetmelik hasar sınırları ile hesap edilen birim şekil değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Denklem (2.5) verilen beton birim şekil değiştirme üst sınırı ( $\epsilon_c^{(GÖ)} \leq 0.018$ ) kaldırılarak ve donatı birim şekil değiştirme sınırı ise 0.06 ile sınırlandırılarak yönetmelik hasar sınırları tekrar belirlenmiş ve hesap edilen değerler ile tekrar karşılaştırılmıştır.

Her bir hasar sınır durumunda hesaplanan sınır değerleri TBDY (2018) yönetmeliğinde belirtilen azaltma katsayısı ile çarpılarak yeniden hesaplanmış ve parametrik çalışmayla elde edilen değerlerle karşılaştırması Şekil 4.19'daki ilk sütun grafiklerinde gösterilmiştir.

Sınırlı hasar (SH) performans noktası için TBDY (2018)'in önerdiği sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeye bağlı hasar sınırıyla parametrik çalışmayla elde edilen birim şekil değiştirme değerleri Şekil 4.19(a) ve (b)'de karşılaştırılmıştır. Sınırlı hasar (SH) performans noktasında kolonların %80'inde ilk önce beton hasar sınırına ulaşmaktadır. Şekil 4.19'de beyaz daireler şeklinde işaretlenen kolonlarda ilk önce donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırına ulaşmıştır. Şekil 4.19(a) yönetmelik hasar sınırlarının azaltma katsayısı ile çarpılarak elde edilen sonuçların karşılaştırmasını göstermekteyken Şekil 4.19(b)' de azaltma katsayısı ihmal edilmiştir. Azaltma katsayısı ilk önce donatı çeliğinin hasar sınırına ulaştığı durumlarda çok az etkili olurken, sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmenin değerinin ilk olarak hasar sınırına ulaştığı kolonlarda az da olsa iyileştirme etkisine sahip olduğu görülmektedir.

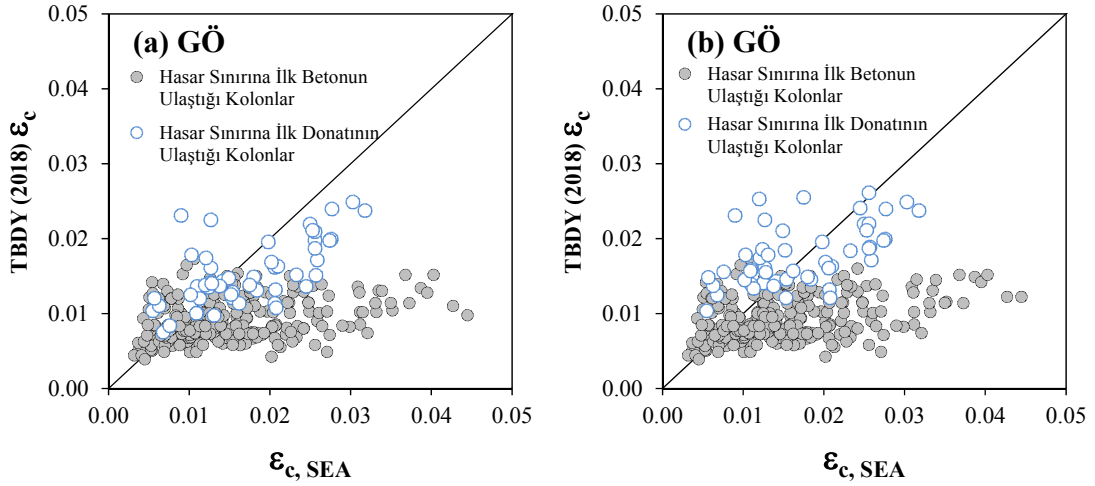


**Şekil 4.19** TB DY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile hesap edilen sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değıştirme değerleriyle karşılaştırılması

Göçme öncesi hasar sınırı (GÖ) performans noktasında kolonların %80'inde önce sargılı beton en dış lifi hasar sınırına ulaşmaktadır. 326 adet kolonun 68 adeti güvensiz tarafta kalmaktadır. Güvensiz tarafta kalan 68 adet kolondan 6'sında ilk önce donatı çeliği birim şekil değıştirme sınırına ulaşmaktadır. Güvensiz tarafta kalan



kolonlar incelendiğinde bu kolonların aksenal yük oranının 0.45, beton basınç dayanımının ise 50MPa değerlerinin üstünde olduğu görülmüştür. Göçme öncesi hasar sınırında emniyetsiz tarafta kalan kolonların olmasına rağmen TBDY (2018) tarafından önerilen sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeye bağlı hasar sınır değerleri kolonların gerçek performans değerlerinin altında kalmaktadır.

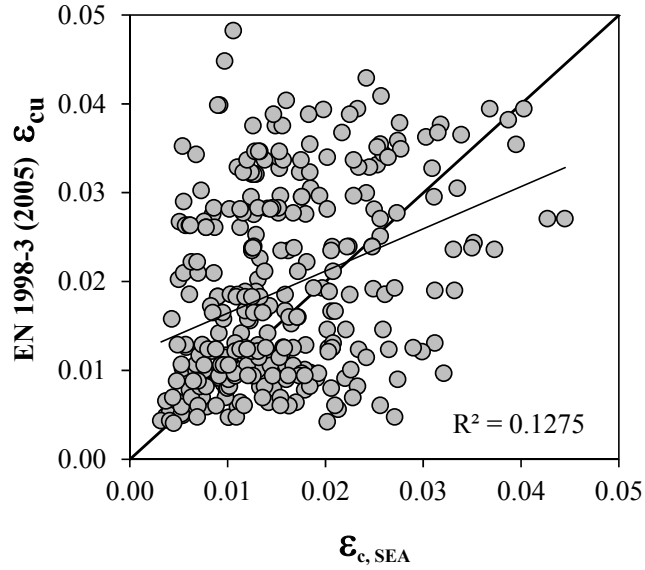


**Şekil 4.20** TBDY(2018) yönetmeliğinde sargılı beton en dış lifi için göçme öncesi birim şekil değiştirme sınırı için önerilen 0.018 limiti kaldırılarak yapılan karşılaştırma

TBDY (2018)'de göçme öncesi hasar sınırı performans noktasının sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme sınırının belirlenmesinde kullanılan Denklem (2.5)'te verilen 0.018 sınır kaldırılarak yönetmelik hasar sınırı tekrar hesap edilmiştir. 0.018 sınırlandırması kaldırılmış yeni hasar sınır değerleri ile SEA ile elde edilen birim şekil değiştirme değerleri Şekil 4.20'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiğinde görülen beyaz daireler ilk önce hasar sınırına donatı çeliğinin ulaştığı kolonları temsil etmektedir. Şekil 4.20(a) yönetmelik hasar sınırı azaltma katsayısı ile çarpılarak elde edilen değerleri, Şekil 4.20(b) ise azaltma katsayısı kullanılmadan hesap edilen yönetmelik değerlerinin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırmasını göstermektedir. Azaltma katsayısının ilk önce beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmenin hasar sınırına ulaştığı kolonlarda etkisini ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde beton hasar sınırının 0.018 ile sınırlandırılmasının ilk önce betonun hasar sınırına ulaştığı durumlarda etkisinin olmadığı görülmektedir.

#### 4.1.3.3. Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)

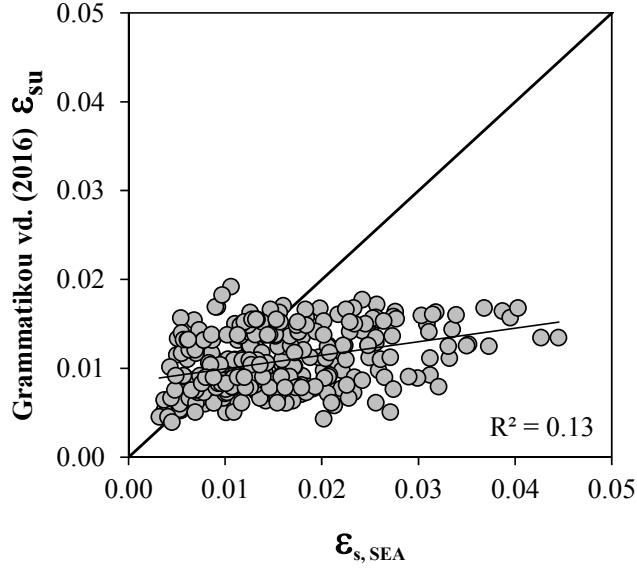
Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'te sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeye bağlı Denklem (2.23) ile hesap edilen değerlerin parametrik çalışmayla elde edilenlerle karşılaştırılması Şekil 4.21'de görülmektedir. Hesap edilen ile yönetmelikte önerilen değerler arasında büyük bir dağılım olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.21** Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'te önerilen beton birim şekil değiştirme sınırının SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırılması

#### 4.1.3.4. Grammatikou vd. (2016)

Sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeye bağlı Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'te önerilen hasar sınırını temel alarak Grammatikou vd. (2016) Denklem (2.27)'i önermişlerdir. Denklem (2.27) ile birim şekil değiştirme sınırı hesaplanırken Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'ten farklı olarak  $\varepsilon_{cc}=0.0035$  kabul etmişlerdir, betonun beklenen basınç dayanımını kullanmışlar ve bu terimin olduğu kısmı kök içerisine alarak 0.04 ile çarpmışlardır.



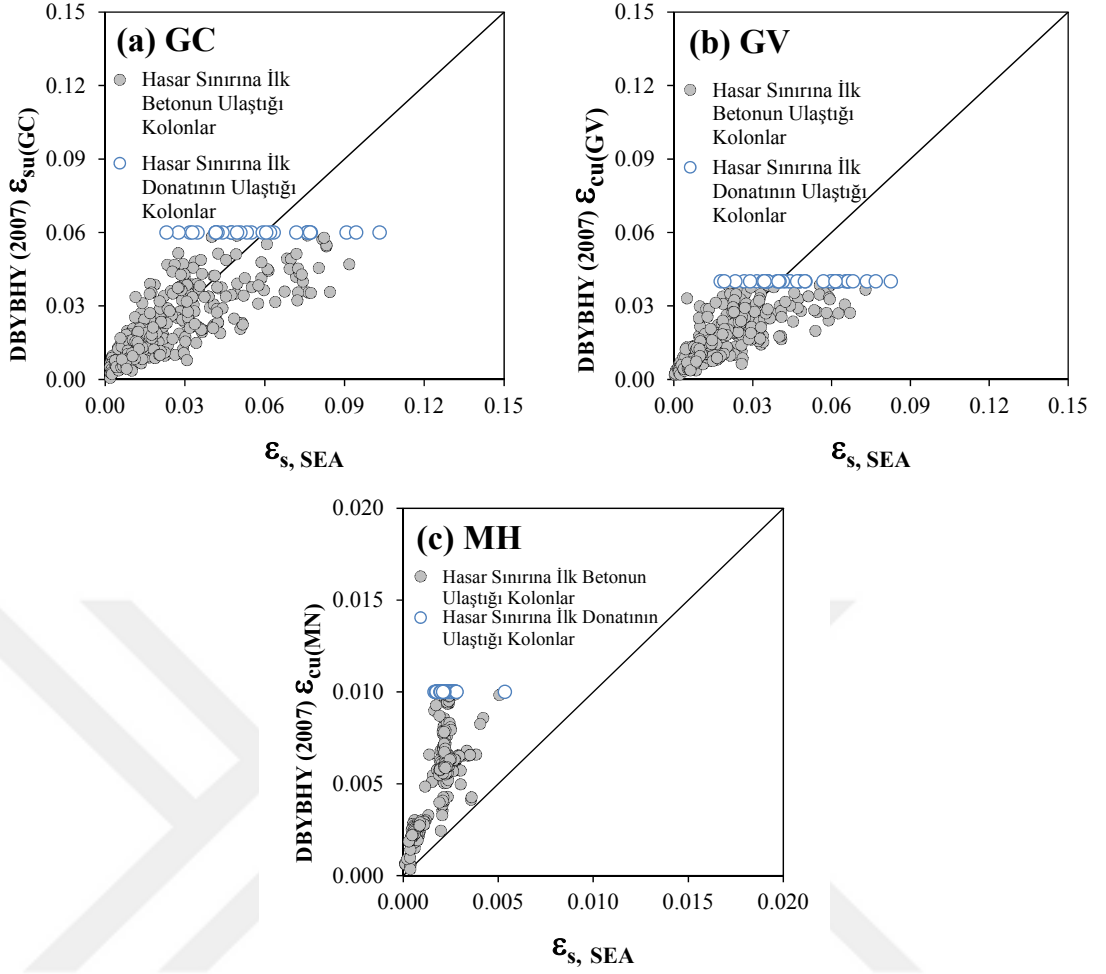
**Şekil 4.22** Grammatikou vd. (2016) tarafından önerilen hasar sınırı ile SEA ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Eurocode 8 Bölüm-3 (2005)'te verilen bağıntı Grammatikou vd. (2016) tarafından değiştirilmiş ve önerilen hasar sınırı SEA ile elde edilen değerlerle daha az sayıda kolonun güvensiz tarafta kalmasından dolayı daha iyi bir dağılım sergilemiştir.

#### 4.1.4. Donatı çeliği birim şekil değiştirme hasar sınırları

##### 4.1.4.1. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007)

DBYBHY (2007) yönetmeliğinde donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme sınır değerleri parametrik çalışmayla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiği Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Üç hasar sınır durumu içinde kolonlarda meydana gelen donatı çeliği birim şekil değiştirme değerlerinin yönetmelik sınır değerlerine göre emniyetsiz tarafta kaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.23** DBYBHY (2007) yönetmeliğinde verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırlarının SEA ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

#### 4.1.4.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)

TBDY (2018) sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmelere bağlı betonarme kolonlar için hasar sınır performans değerleri belirlediği gibi donatı çeliğinde oluşan birim şekil değiştirme sınırları önermiştir. Kolon çekme bölgesinde bulunan donatı çeliğinde oluşan birim şekil değiştirmeye bağlı hasar sınırlarının hesaplanması için kullanılan bağıntılar Çizelge 4-1’de verilmiştir.  $\epsilon_{su}$  maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması olarak TBDY (2018)’de tanımlanmıştır.

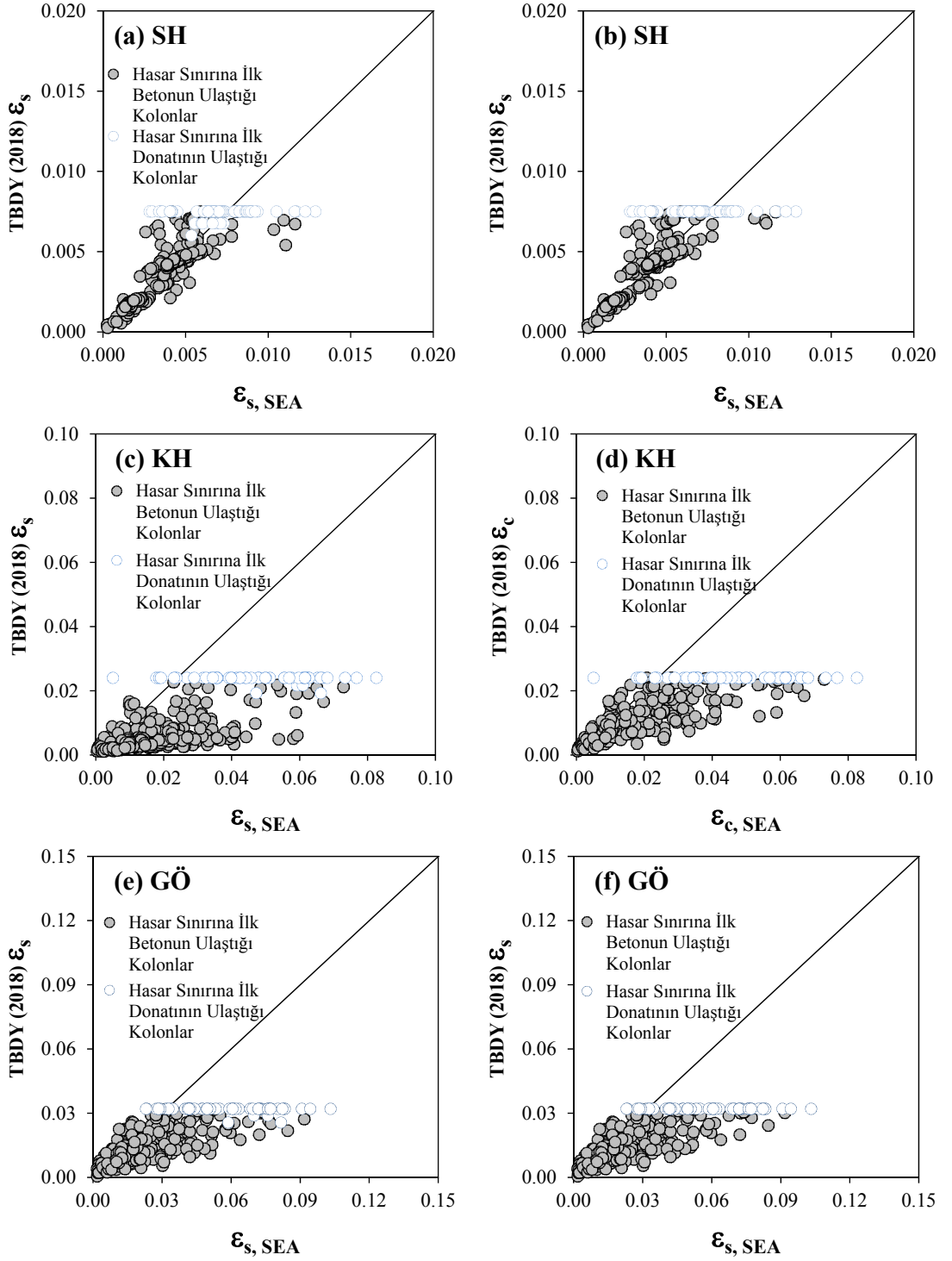
**Çizelge 4-1** Performans Düzeylerine bağlı donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırları

Performans Düzeyi	Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirme Sınırı
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su}$
Kontrollü Hasar (KH)	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$
Sınırlı Hasar (KH)	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$

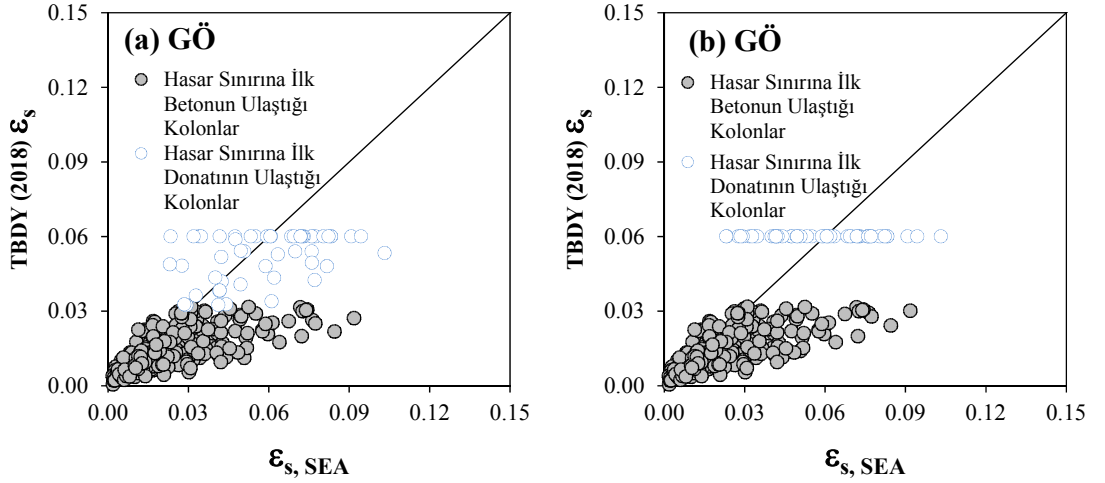
Kolon kesitinde ilk önce donatının birim şekil değiştirme sınırına ulaştığı kolonların parametrik çalışmayla elde edilen hasar sınır değerleri yönetmelikte önerilen hasar sınırları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafikleri üzerine betonun ilk önce hasar sınır değerine ulaştığında donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerleri de eklenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar Şekil 4.24'te gösterilmektedir. Şekil 4.24'te ilk sütunda yönetmelik hasar sınırları azaltma katsayısı ile çarpılmıştır.

Sınırlı hasar düzeyi için yönetmelik hasar sınırlarına göre ilk önce donatının hasar sınırına ulaşan 66 kolondan 28 adeti güvensiz tarafta kalmaktadır. Diğer hasar sınırları için kolonların neredeyse tamamı güvenli tarafta kalırken, yönetmelik hasar sınırları parametrik çalışmayla hesap edilen birim şekil değiştirme kapasitelerinin altında kalmaktadır.

DBYBHY (2007) yönetmeliğinde göçme öncesi performans sınırında donatı çeliği için verilen üst sınır (0.06) kullanılarak yönetmelik hasar sınırları tekrar hesaplanmış ve elde edilen yeni yönetmelik sınırları parametrik çalışmayla elde edilen değerlerle karşılaştırılarak Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.25(a) hasar sınırları azaltma katsayısı ile çarpılarak elde edilen değerlerin karşılaştırmasını göstermektedir. Göçme öncesi performans düzeyinde ilk önce betonun hasar sınırına ulaştığı kolonların donatı birim şekil değiştirmeleri hesaplanan yeni hasar sınırlarından etkilenmemekle beraber diğer kolonlarda donatı için uygulanan 0.06 sınırıyla güvensiz tarafta kalan kolon sayısı artmıştır.



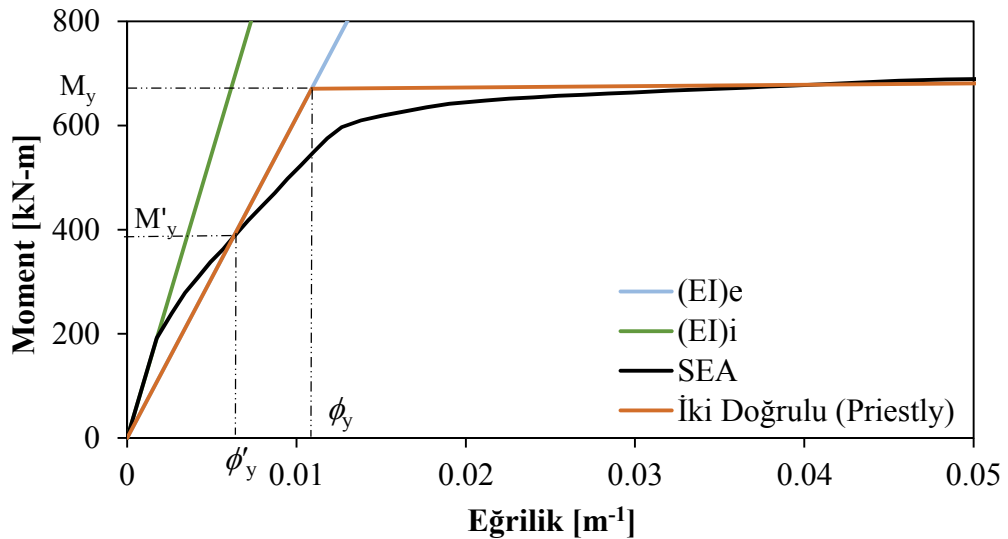
Şekil 4.24 TB DY (2018)'de önerilen hasar sınırlarının SEA ile hesap edilen donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değıştirme değeriyle karşılaştırılması



**Şekil 4.25** Donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı  $\epsilon_{su}=0.06$ 'ya çıkarılarak oluşturulan hasar sınırlarının SEA ile elde edilen değerler ile karşılaştırılması.

#### 4.2.Etkin Kesit Rijitliklerinin Karşılaştırılması

Sonlu eleman analiziyle plastik mafsal boyunda donatı çeliği ve sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeler Denklem (3.8)'de yerine konularak hesap edilen kesit eğrilikleri kullanılarak Moment-Eğrilik grafiği oluşturulmuştur. Elde edilen grafik üzerine Priestley vd. (2007) tarafından önerilen yöntemle moment eğrilik grafiği iki doğrulu hale getirilmiştir (Şekil 4.26).



**Şekil 4.26** Kolon kesit rijitlikleri

Priesly vd. (2007) tarafından önerilen yöntemle elde edilen akma dönmesi ve eğriliğinden geleneksel olarak kullanılan kesit rijitlik hesabı Denklem (4.5) bağıntısıyla hesap edilmiştir.

$$(EI) = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (4.5)$$

TBDY (2018) yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesinde Denklem (4.6)'in kullanılmasını önermektedir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{L_s}{3} \quad (4.6)$$

TBDY (2018)'de verilen Denklem (4.6)'da  $M_y$  ve  $\theta_y$  çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir.  $L_s$  ise kesme açıklığı (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı)'dır. Yönetmelikte Denklem (4.6)'te yer alan plastik mafsal akma dönmesi  $\theta_y$  Denklem (4.7) ile hesaplanacaktır denmektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y + d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.7)$$

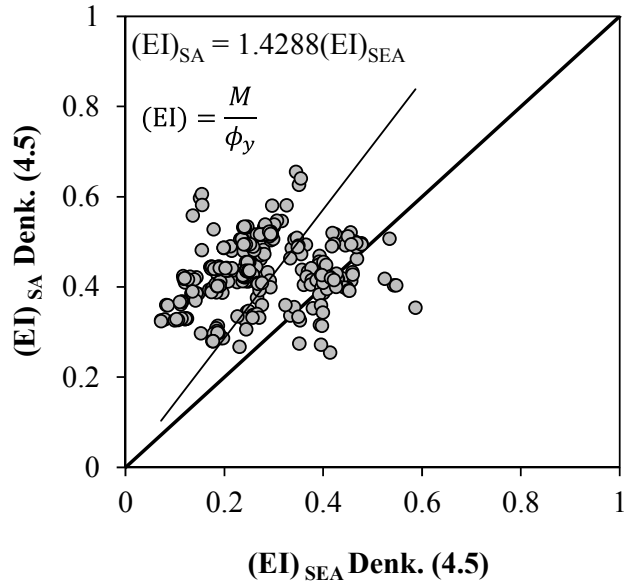
Denklem (4.7)'de  $\phi_y$  plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini göstermektedir. Kiriş ve kolonlarda  $\eta = 1$ , perdelerde ise  $\eta = 0.5$  alınacaktır.  $h$  kesit yüksekliğidir. Akma durumu için donatı sıyrılması dönmesini ifade eden son terimde yer alan  $d_b$  mesnede (düğüm noktasına veya teme) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını,  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  ise betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir.



Sonlu eleman analizi sonucu akma anında elde edilen moment ( $M_y$ ) ve akma anında meydana gelen ötelenme miktarı kullanılarak Denklem (4.8)'den elde edilen dönme değerleri kullanılarak TBDY (2018)'de önerilen Denklem (4.6) ile ayrıca etkin kesit rijitlikleri hesap edilmiştir.

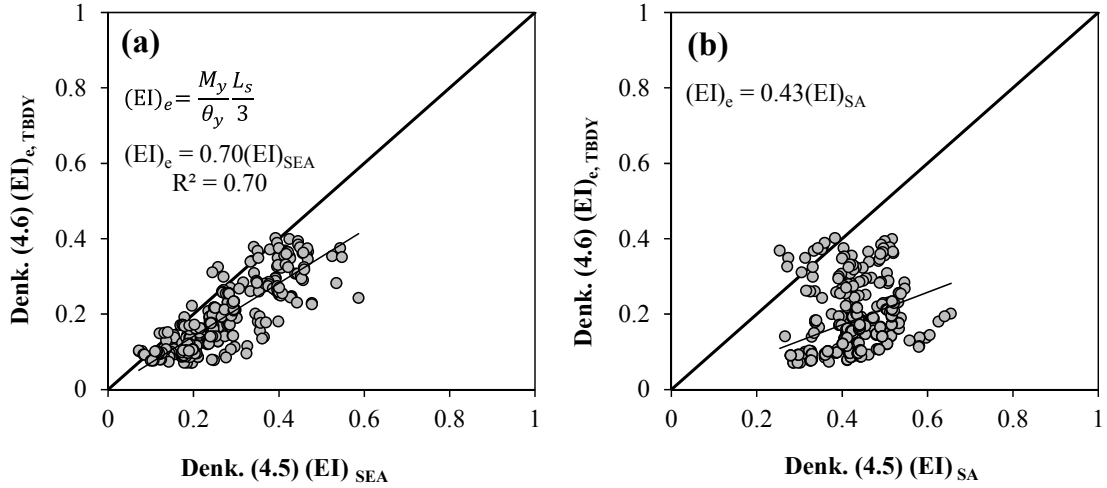
$$\theta_y = \frac{\Delta_y}{L} \quad (4.8)$$

Kesit analiziyle elde edilen moment, eğrilik ve dönme değerleri kullanılarak Denklem (4.5) ve Denklem (4.6) ile etkin kesit rijitlik değerleri de hesaplanmıştır. Sonlu eleman analizi, kesit analizi ve TBDY (2018)'e göre hesaplanan etkin kesit rijitlikleri  $((EI)_e)$  kolon eğilme rijitliklerine  $((EI)_i)$  bölünerek normalize edilmiş ve kendi aralarında karşılaştırmalar bu şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.27 Denklem (4.5) kullanılarak hesaplanan kolon eğilme rijitlikleri

Kesit analizi ile hesaplanan kolon eğilme rijitlikleri, sonlu eleman analiziyle hesaplanan değerlerden ortalama %42 daha fazla olmaktadır.



**Şekil 4.28** SEA ve Kesit analiziyle hesap edilen eğilme rijitliklerinin TBDY (2018)'de önerilen etkin eğilme rijitliği değerleriyle karşılaştırılması

TBDY (2018)'de önerilen etkin kesit rijitlik bağıntısıyla hesaplanan değerler SEA ile hesaplanan eğilme rijitlikleri ve yönetmelikte önerilen etkin kesit rijitliği Şekil 4.28'de karşılaştırılmıştır. TBDY (2018)'de verilen bağıntıyla hesap edilen kesit etkin rijitliğinin kesit analiziyle hesap edilen eğilme rijitliğinin ortalama 0.43'ü, SEA ile hesap edilenin ise 0.70'i kadar olduğu görülmektedir.

### 4.3.Tasarım Parametrelerinin Hasar Sınırları ile İlişkisi

#### 4.3.1. Potansiyel etkin tasarım parametreleri

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonların şekil değiştirme kapasitelerini belirlemek için üretilecek ampirik denklemlerin geliştirilmesinde önceki çalışmalar (özellikle Fardis et al.) ve deneysel testlerden yapılan gözlemler, plastik dönme kapasitesinin ve donatı çeliği ile beton birim şekil değiştirmelerinin tahmin edilmesinde en önemli kolon tasarım parametrelerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu parametreler aşağıda listelenmiştir:

- Eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ): Bu iki önemli tasarım parametresi, Fardis vd. tarafından önerilen bağıntılara dahil edilmiştir. Bu iki parametreyle birlikte kesme kuvveti oranının da kullanılması şekil değiştirme

kapasitesinin tahmin edilmesi için oluşturulacak denklemde kullanılacak bir parametre olacaktır.

- Beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) şekil değiştirme kapasiteleriyle doğrusal ilişki içinde olduğu Panagiotakos ve Fardis (2001) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Ancak tasarım parametrelerinin şekil değiştirme kapasiteleri ile ilişkilerini gösteren Şekil 4.29'da görüldüğü gibi beton basınç dayanımının artması şekil değiştirme kapasitesini azaltmaktadır.

- Kolon yüksekliği/etkin kesit genişliği oranı ( $L/h$ ) Panagiotakos ve Fardis (2001) tarafından yapılan çalışmada bu parametrenin şekil değiştirme kapasitesi üzerinde etkin bir parametre olduğunu göstermektedir. SEA ile elde ettiğimiz sonuçlarla tasarım parametreleri arasındaki ilişki Panagiotakos ve Fardis (2001) benzer sonuçlar elde ettiğimizi göstermektedir.

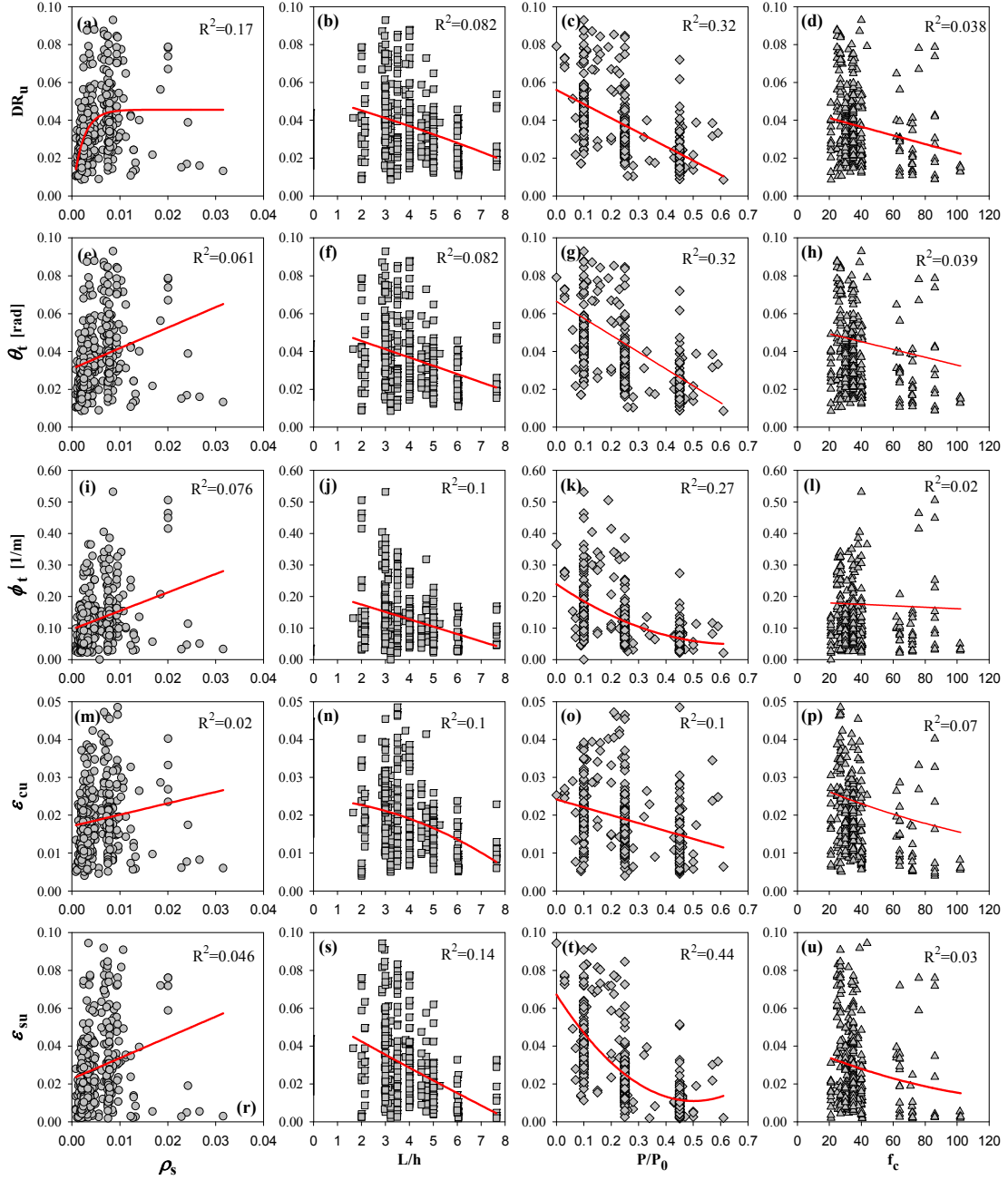
- Kolon kesme dayanımı, ASCE/SEI 41-13'te kolon kesme dayanımına bağlı olarak kolon göçme tipleri belirlenerek plastik dönme kapasitesinin hesaplanması yapılırken ASCE/SEI 41-17'de bu terim doğrudan plastik dönme kapasitesi hesap bağıntısının içine konulmuştur. Yapılan karşılaştırmalar (Şekil 4.12) göstermektedir ki bu parametrenin etkisi şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesinde oldukça önemlidir.

- Boyuna donatı oranı veya çapı, Xiao vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada etriye aralıkları ve sargı donatısı oranı sabit tutularak boyuna donatı oranları değiştirilmiş yüksek mukavemetli betonlu betonarme kolonlar üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda boyuna donatı oranının artmasıyla kolonların yanal ötelenme ve kesme kuvveti dayanımlarının arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Parametrik çalışmayla analizleri tamamlanan dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar ASCE/SEI 41 (2013)'te olduğu gibi kesme kuvveti kapasite oranına ( $V_p/V_0$ ) göre  $0.6 \geq V_p/V_0$ ,  $1.0 \geq V_p/V_0 > 0.6$  ve  $V_p/V_0 > 1.0$  olmak üzere üç gruba ayrılmış ve tasarım parametrelerinin akma dönmesi ( $\theta_y$ ), plastik dönme ( $\theta_p$ ), toplam ötelenme oranı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

(DR<sub>u</sub>) sargılı ve sargısız beton en dış lifi ( $\epsilon_{c,core}$ ,  $\epsilon_{c,cover}$ ) ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirmeler ( $\epsilon_s$ ) üzerindeki etkisi grafiksel olarak incelenmiştir.



**Şekil 4.29** Hasar ölçütleriyle farklı tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiler

Önceki çalışmalarda ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar göstermektedir ki dönme ve eğrilik hasar ölçütü olarak birim şekil değiştirmeye göre daha kararlı parametrelerdir. Kolon en-boy oranı ve aksenal yük oranı hasar kapasiteleri üzerinde

negatif bir etkiye sahiptir. Şekil 4.29'da görüldüğü gibi kolon aksenal yük oranı, sargı donatısı oranı ve kolon en-boy oranı hasar ölçütleriyle iyi bir ilişki içindedir.

Tasarım parametrelerinin şekil değiştirme kapasitelerinin üzerindeki etkisini gözlemek için oluşturulan grafiklerde kolonlara ait özelliklerine göre gruplandırılarak işaretlenmiştir. Bu yöntemle ilgili tasarım parametresinin şekil değiştirme ölçütleri üzerinde etkisi gözlemlenirken diğer kolon özelliklerinin ilişkisi de gözlemlenmiştir. Bu şekilde betonarme dikdörtgen kolon davranışı üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır.

#### 4.3.2. Sargı donatısının hacimsel oranının ( $\rho_s$ ) birim şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisi

1. Kesme kuvveti kapasite oranının  $V_p/V_0 \leq 0.6$  olduğu kolonlar

Eksenal yük oranının ( $P/P_0$ ) 0.25'ten küçük olduğu kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerinin arttığı fakat  $P/P_0$  oranının 0.45'den büyük olduğu kolonlarda sargı donatısının  $\epsilon_s$  ve  $\epsilon_{c,core}$  üzerinde etkisinin olmadığı,  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerinin ise sargı donatısı oranının artmasıyla azaldığı Şekil 4.30(a), (d) ve (g)'de görülmektedir.

Şekil 4.31(a)'da görüldüğü gibi kolon en-boy oranının ( $L/h$ )<5 olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\epsilon_s$ 'nin değerinde az da olsa artış görülmekte ve  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerleri ( $L/h$ ) oranının artmasıyla azalmaktadır (Şekil 4.31(d)(g)).

Kolon beton basınç dayanımının  $f_c < 40\text{MPa}$  olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\epsilon_s$ 'nin değeri azalırken beton basınç dayanımı 40MPa'dan büyük olan kolonlarda  $\epsilon_s$ 'nin değeri sargı donatısı oranından ( $\rho_s$ ) etkilenmediği Şekil 4.32(a)'da görülmektedir. Şekil 4.32(d) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı 30MPa'dan az olan kolonlarda  $\epsilon_{c,core}$ 'un değerini sargı donatısı oranından ( $\rho_s$ ) etkilemezken 30MPa'dan büyük olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,core}$ 'un değerinde az da olsa artış olduğu gözlemlenmektedir. Kolon beton basınç

dayanımı  $35\text{MPa} \leq f_c \leq 40\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerinin bariz bir şekilde artmasına neden olduğu Şekil 4.32(g)'de görülmektedir.

#### 2. Kesme kuvveti kapasite oranının $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.30(b), (e) ve (h) incelendiğinde eksenel yük oranının ( $P/P_0$ )  $< 0.45$  olduğu kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\varepsilon_s$ 'nin değerinin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Eksenel yük oranının  $0.1 < P/P_0 \leq 0.25$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,cover}$  ve  $\varepsilon_{c,core}$ 'un değerinin bariz bir şekilde artmasına neden olduğu diğer durumlarda beton birim şekil değiştirme değerinde az da olsa artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.31(b), (e) ve (h)'da görüldüğü gibi kolon en-boy oranı  $3 \leq (L/h) < 4$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,cover}$  ve  $\varepsilon_{c,core}$ 'un değerlerini artırırken  $6 \leq L/h < 7.4$  aralığında olan kolonlarda  $\varepsilon_{c,cover}$  ve  $\varepsilon_{c,core}$ 'un değerleri sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) oranının artmasıyla azalmıştır. Donatı çeliğinde meydana gelen değer değişimleri kesme kuvveti kapasite oranının  $V_p/V_0 \leq 0.6$  olduğu kolonlarla benzer eğilimde olmuştur.

Şekil 4.32(b), (e) ve (h) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı  $20\text{MPa} \leq f_c \leq 30\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerini bariz bir şekilde artırırken diğer birim şekil değiştirme değerleri sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) oranının artmasıyla az da olsa artmıştır.

#### 3. Kesme kuvveti kapasite oranının $1.0 < V_p/V_0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.30(c), (f) ve (i) incelendiğinde eksenel yük oranının ( $P/P_0$ )  $0.25$ 'den küçük olduğu kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenirken diğer durumlarda eksenel yük oranının ve sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Şekil 4.31(c), (f) ve (i)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ ) ve sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerini artırırken,  $4 \leq (L/h) < 5$  aralığında olan kolonlarda  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değeri sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) oranının artmasıyla azalmıştır.

Şekil 4.32(c), (f) ve (i) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) 40MPa'dan az olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\varepsilon_s$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerleri artarken beton basınç dayanımı 40MPa'dan büyük kolonlarda  $\varepsilon_s$ 'nin değeri sargı donatısı oranından ( $\rho_s$ ) etkilenmemiştir. Kolon beton basınç dayanımı  $60\text{MPa} \leq f_c \leq 102\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerini azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca  $20\text{MPa} \leq f_c \leq 30\text{MPa}$  aralığında sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.3.3. Sargı donatısının hacimsel oranının ( $\rho_s$ ) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi

##### 1. Kesme kuvveti kapasite oranının $V_p/V_0 \leq 0.6$ olduğu kolonlar

Şekil 4.30(j) ve (m) incelendiğinde eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) 0.25'ten küçük olduğu kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla plastik dönme kapasitesi ( $\theta_p$ ) değeri artarken akma anında meydana gelen dönme ( $\theta_y$ ) değeri azalmıştır fakat  $P/P_0$  oranının 0.45'ten büyük olduğu kolonlarda sargı donatısı oranının  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  üzerinde etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.31(j) ve (m)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ )  $< 3$  ve  $5 \leq (L/h) < 6$  olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_p$  değerini artırırken diğer kolon en-boy oranlarında  $\theta_p$  değeri azalmıştır.  $\theta_y$ 'nin değeri ise sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla azalmıştır.

Şekil 4.32(j) ve (m) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) 40MPa'dan az olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\theta_p$  değeri artarken  $\theta_y$  üzerinde etkisinin olmadığı görülmektedir.  $60\text{MPa} \leq f_c \leq 120\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda sargı

donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_p$  değeri üzerinde bir etki oluşturmamışken  $\theta_y$ 'nin değeri ise sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla azalmıştır.

##### 2. Kesme kuvveti kapasite oranının $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.30(k) ve (n) incelendiğinde eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) 0.1'den küçük ve 0.45'den büyük olan kolonlarda sargı donatısının  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  üzerinde etkisi olmamıştır ancak  $0.1 < P/P_0 \leq 0.25$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısının artmasıyla  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  değerleri de artmıştır.

Şekil 4.31(k) ve (n)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ )  $< 3$  olan kolonlarda sargı donatısının  $\theta_p$  üzerinde etkisi olmamıştır.  $3 \leq (L/h) < 4$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_p$  değerinde az artışa neden olurken  $(L/h) \geq 4$  olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_p$  değerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür.  $(L/h) < 4$  ve  $6 \leq (L/h) < 7.4$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\theta_p$  değeri de artmıştır.

Şekil 4.32(k) ve (n) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) ve sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  değerleri artarken  $60 \text{MPa} \leq f_c \leq 102 \text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_y$  değerleri üzerinde etkisi olmamıştır.

##### 3. Kesme kuvveti kapasite oranının $1.0 < V_p/V_0$ olduğu kolonlar

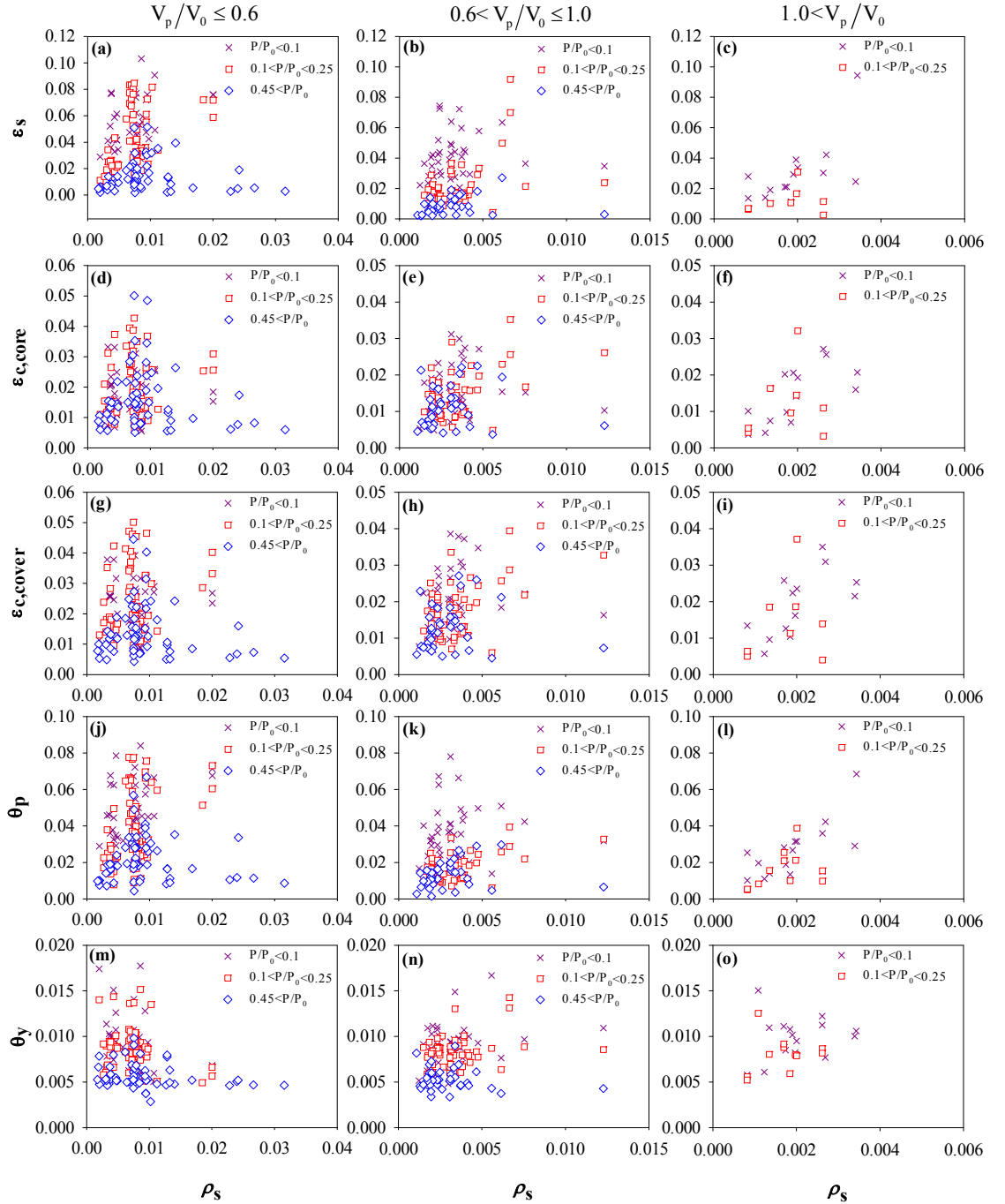
Şekil 4.30(l) ve (o) incelendiğinde eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) ve sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.31(l) ve (o)'da görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ )  $< 3$  olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_p$  değerini azaltırken  $3 \leq (L/h) < 4$  aralığında olan kolonlarda  $\theta_p$  değeri sargı donatısı oranıyla beraber artış göstermiştir.  $(L/h) < 4$  olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artması  $\theta_y$  değerini artarken  $4 \leq (L/h) < 5$  aralığında  $\theta_y$  değeri sargı donatısı oranı artarken azalmıştır.



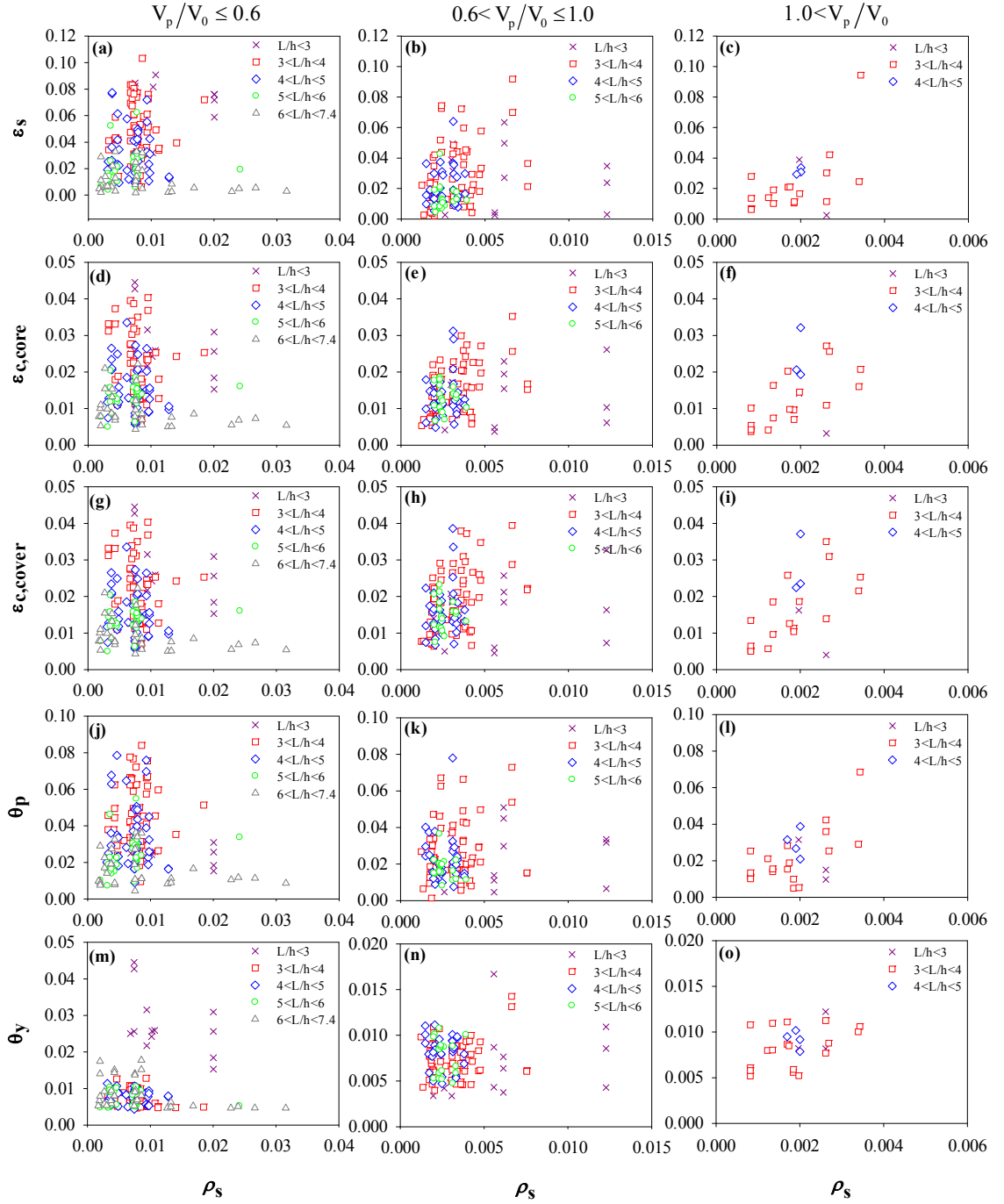
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.32(l) ve (o) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımı ( $f_c$ )<40MPa olan kolonlarda sargı donatısı oranının ( $\rho_s$ ) artmasıyla  $\theta_p$  ve  $\theta_y$  değerleri artarken diğer aralıklarda beton basınç dayanımının artması dönme kapasiteleri üzerinde etkisiz kalmıştır.



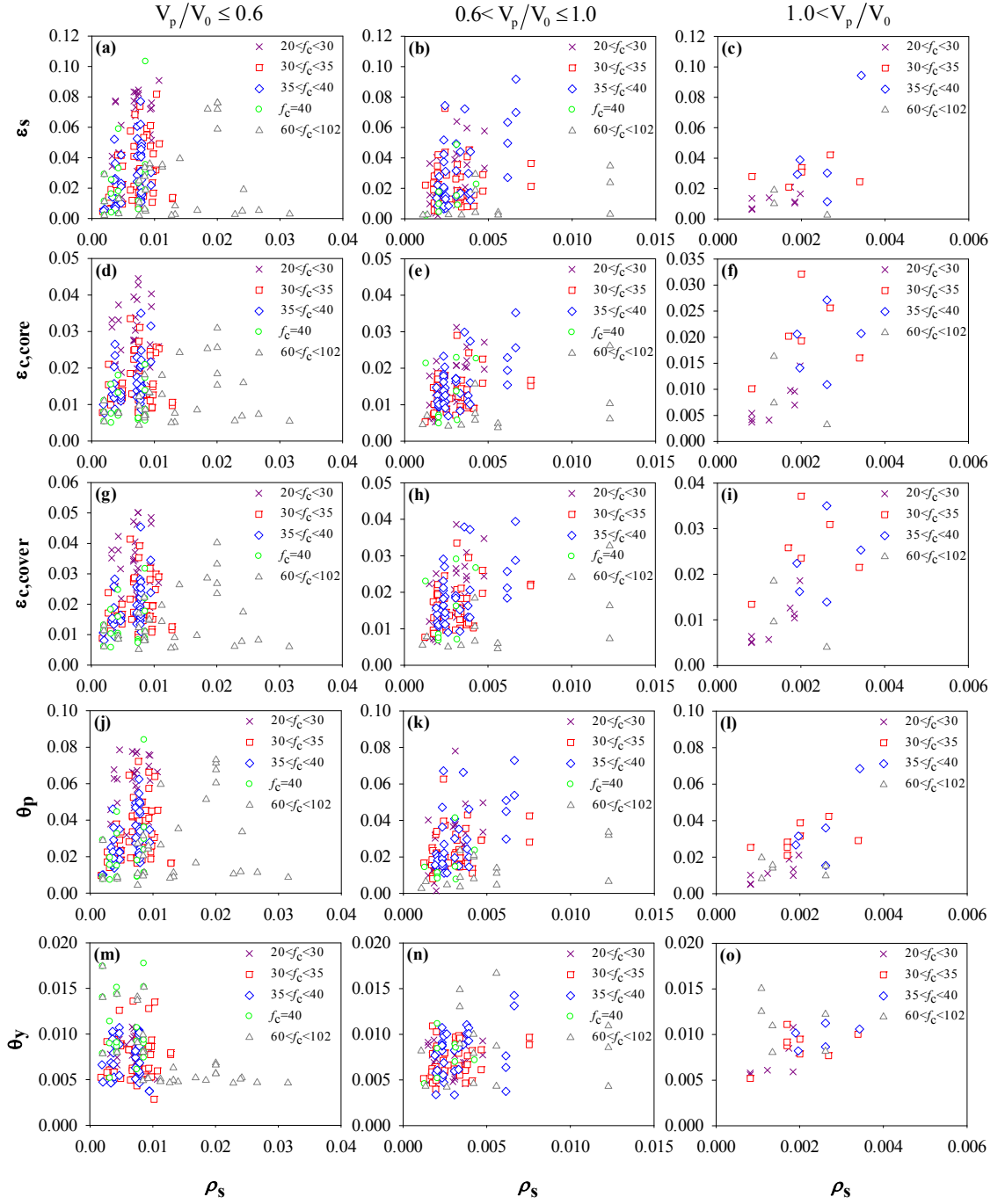
Şekil 4.30 Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.31 Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve kolon boy-en oranının ( $L/h$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.32 Sargı donatısı oranı ( $\rho_s$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

##### 4.3.4. Eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) birim şekil değıştirme ölçütleri üzerine etkisi

###### 1. Kesme kuvveti kapasite oranının $V_p/V_0 \leq 0.6$ olduğu kolonlar

Şekil 4.33(a), (d) ve (g)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değıştirmelerin ( $\epsilon_s$ ) azaldığı görülmektedir. Kolon en-boy oranı ( $L/h$ )  $<4$  olan kolonlarda eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artması  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'in değerleri üzerinde bir etkiye sahip olmazken  $4 \leq L/h$  olan kolonlarda eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'in değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.34(a), (d) ve (g) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değıştirmelerin ( $\epsilon_s$ ) azaldığı görülmektedir.  $f_c < 30\text{MPa}$  olan kolonlarda ( $P/P_0$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,cover}$ 'in değeri azalırken  $\epsilon_{c,core}$ 'un değerinde bir değışme olmadığı,  $f_c > 30\text{MPa}$  olan kolonlarda eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'in değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

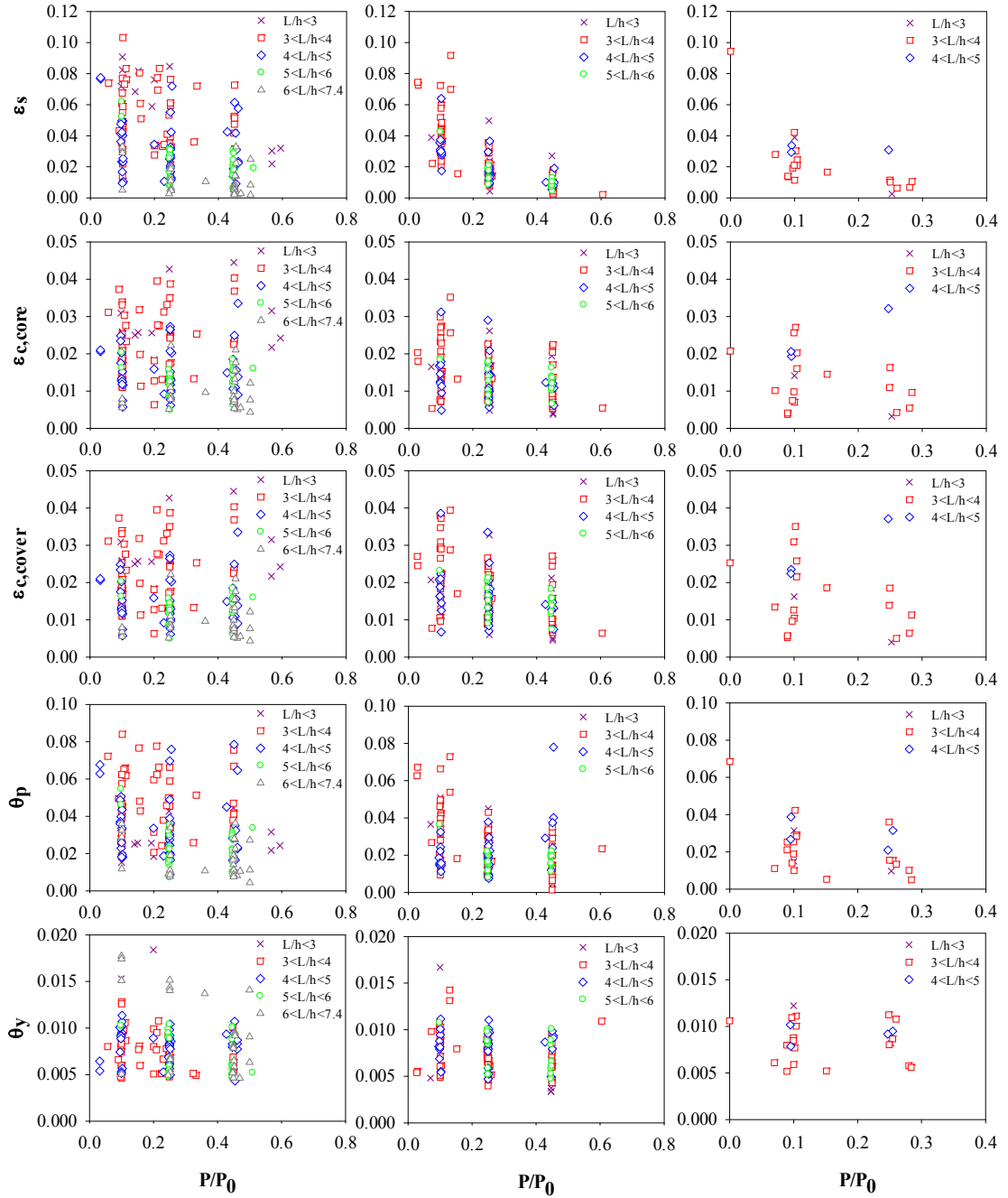
###### 2. Kesme kuvveti kapasite oranının $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.33(b), (e) ve (h)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla donatı çeliğinde ( $\epsilon_s$ ) ve sargılı beton en dış lifinde ( $\epsilon_{c,core}$ ) meydana gelen birim şekil değıştirmelerinin azaldığı, kolon en dış lifinde ki ( $\epsilon_{c,cover}$ ) birim şekil değıştirmelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.34(b), (e) ve (h) incelendiğinde kolon beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla donatı çeliğinde ( $\epsilon_s$ ) ve sargılı beton en dış lifinde ( $\epsilon_{c,cover}$ ) meydana gelen birim şekil değıştirmeler azalırken, kolon beton basınç dayanımı  $f_c \leq 30\text{MPa}$  ve  $60\text{MPa} \leq f_c \leq 102\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,core}$ 'un değeri azalmaktadır.

3. Kesme kuvveti kapasite oranının  $1.0 < V_p/V_0$  olduğu kolonlar

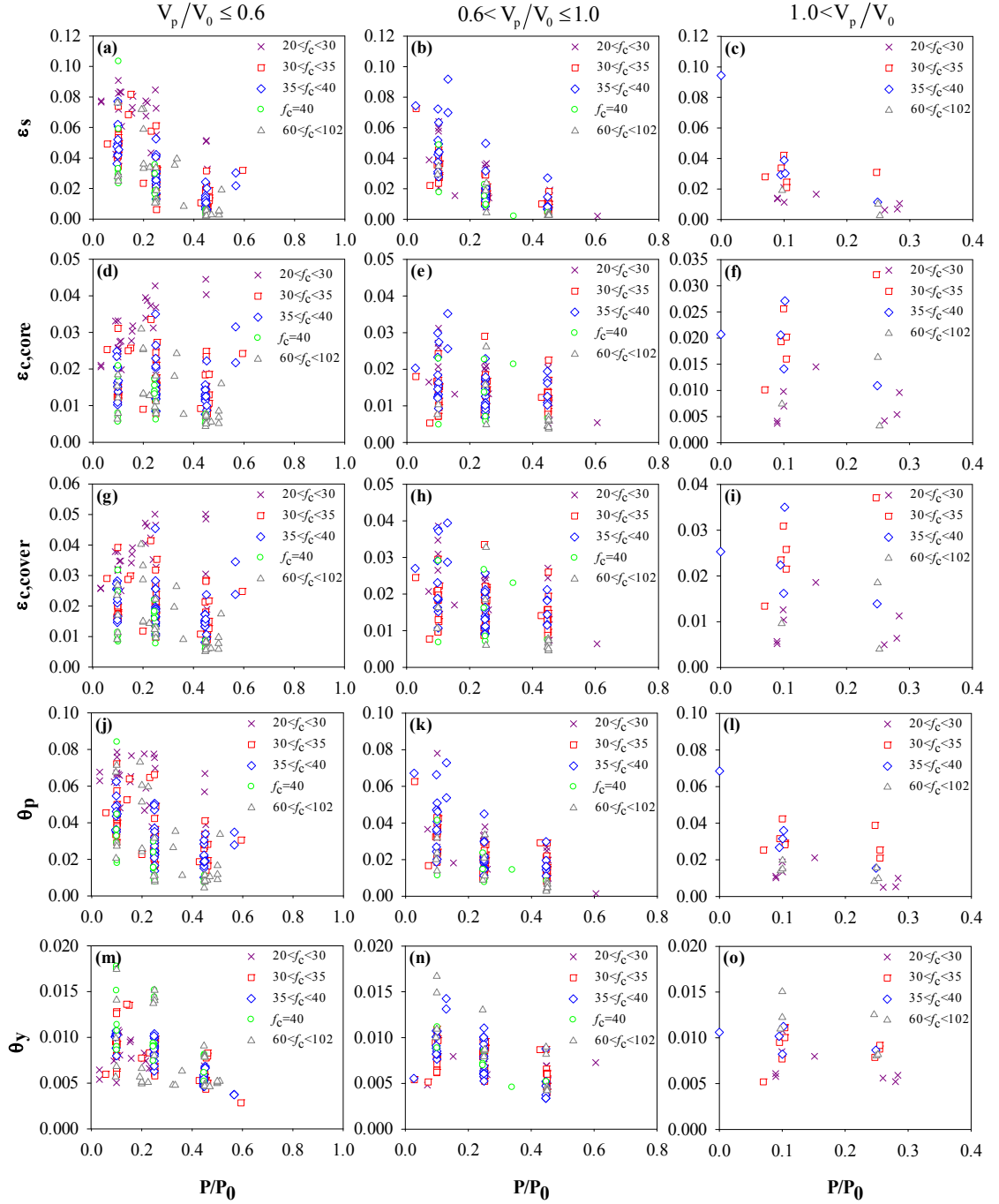
Şekil 4.33(c), (f) ve (i)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı  $(L/h) < 4$  olan kolonlarda aksenal yük oranının  $(P/P_0)$  artmasıyla  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerinin azaldığı,  $4 \leq (L/h)$  olan kolonlarda  $\epsilon_s$ 'nin değerinde bir değişme olmazken  $\epsilon_{c,core}$  ve  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.33 Aksenal yük oranı  $(P/P_0)$  ve kolon boy-en oranının  $(L/h)$  hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.34(c), (f) ve (i) incelendiğinde Kolon beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) ve eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirmelerin ( $\epsilon_s$ ) azaldığı görülmektedir.  $f_c < 30\text{MPa}$  ve  $60\text{MPa} \leq f_c \leq 102\text{MPa}$  aralığında olan kolonlarda eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) artmasıyla  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerinde bir değişme olmadığı,  $30\text{MPa} \leq f_c \leq 35\text{MPa}$  aralığında  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değeri arttığı,  $35\text{MPa} \leq f_c \leq 40\text{MPa}$  aralığında ise  $\epsilon_{c,cover}$ 'ın değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.34 Eksenel yük oranı ( $P/P_0$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

##### 4.3.5. Eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te görüldüğü gibi kesme kapasitesi oranının her üç durumunda da kolon en-boy oranı ( $L/h$ ), eksenel yük oranının ( $P/P_0$ ) ve kolon beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) artması hem plastik dönme kapasitesi ( $\theta_p$ ) değerini hem de akma anında meydana gelen dönme ( $\theta_y$ ) değerini azaltmıştır.

##### 4.3.6. Kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) birim şekil değiştirme ölçütleri üzerine etkisi

###### 1. Kesme kuvveti kapasite oranının $V_p/V_0 \leq 0.6$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(a), (d) ve (g)'de görüldüğü gibi kolon en-boy oranı ( $L/h$ ) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) artmasıyla  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'in değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

###### 2. Kesme kuvveti kapasite oranının $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(b) incelendiğinde kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) artması beton basınç dayanımı ( $f_c < 30\text{MPa}$  ve  $60 < f_c < 102\text{MPa}$  aralığında olan kolonların  $\varepsilon_s$  değeri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmektedir. Ancak  $30 < f_c < 60\text{MPa}$  aralığında beton basınç dayanımına sahip kolonların kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) artması donatı birim şekil değiştirme kapasitesini azaltmıştır. Şekil 4.35(e) ve (h)'de görüldüğü gibi kesme kuvveti kapasite oranının  $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$  olduğu kolonlarda kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) artması  $\varepsilon_{c,core}$  ve  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip değildir.

###### 3. Kesme kuvveti kapasite oranının $1.0 < V_p/V_0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(c) incelendiğinde kolon en-boy oranının ( $L/h$ ) artması beton basınç dayanımı ( $f_c < 30\text{MPa}$ ) olan kolonlarda donatı birim şekil değiştirme kapasitesini azaltırken ( $f_c > 30\text{MPa}$ ) olan kolonlarda  $\varepsilon_s$  değeri artmıştır. Şekil 4.35(f) ve (i)'de

görüldüğü gibi ( $f_c$ )<30MPa olan kolonlarda kolon en-boy oranının (L/h) artması  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın değerleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip değilken beton basınç dayanımı ( $f_c$ )>30MPa olan kolonlarda kolon en-boy oranının (L/h) artması hem  $\varepsilon_{c,cover}$ 'ın hem de  $\varepsilon_{c,core}$ 'un değerini artırmıştır.

#### 4.3.7. Kolon en-boy oranının (L/h) kesit akma ( $\theta_y$ ) ve plastik dönme ( $\theta_p$ ) kapasiteleri üzerine etkisi

##### 1. Kesme kuvveti kapasite oranının $V_p/V_0 \leq 0.6$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(j) ve (m) incelendiğinde kesme kuvveti kapasite oranının  $V_p/V_0 \leq 0.6$  olduğu kolonlarda beton basınç dayanımı ve kolon en-boy oranının (L/h) artmasıyla  $\theta_p$  değerinin belirgin bir şekilde azaldığı gözlemlenirken  $\theta_y$  değeri sadece  $f_c=40$ MPa olan kolonlarda kolon en-boy oranının (L/h) artmasıyla artarken  $f_c < 40$ MPa ve  $60$ MPa  $\leq f_c \leq 102$ MPa aralığında beton mukavemetine sahip kolonların  $\theta_y$  değeri kolon en-boy oranının (L/h) artmasıyla değişmemektedir.

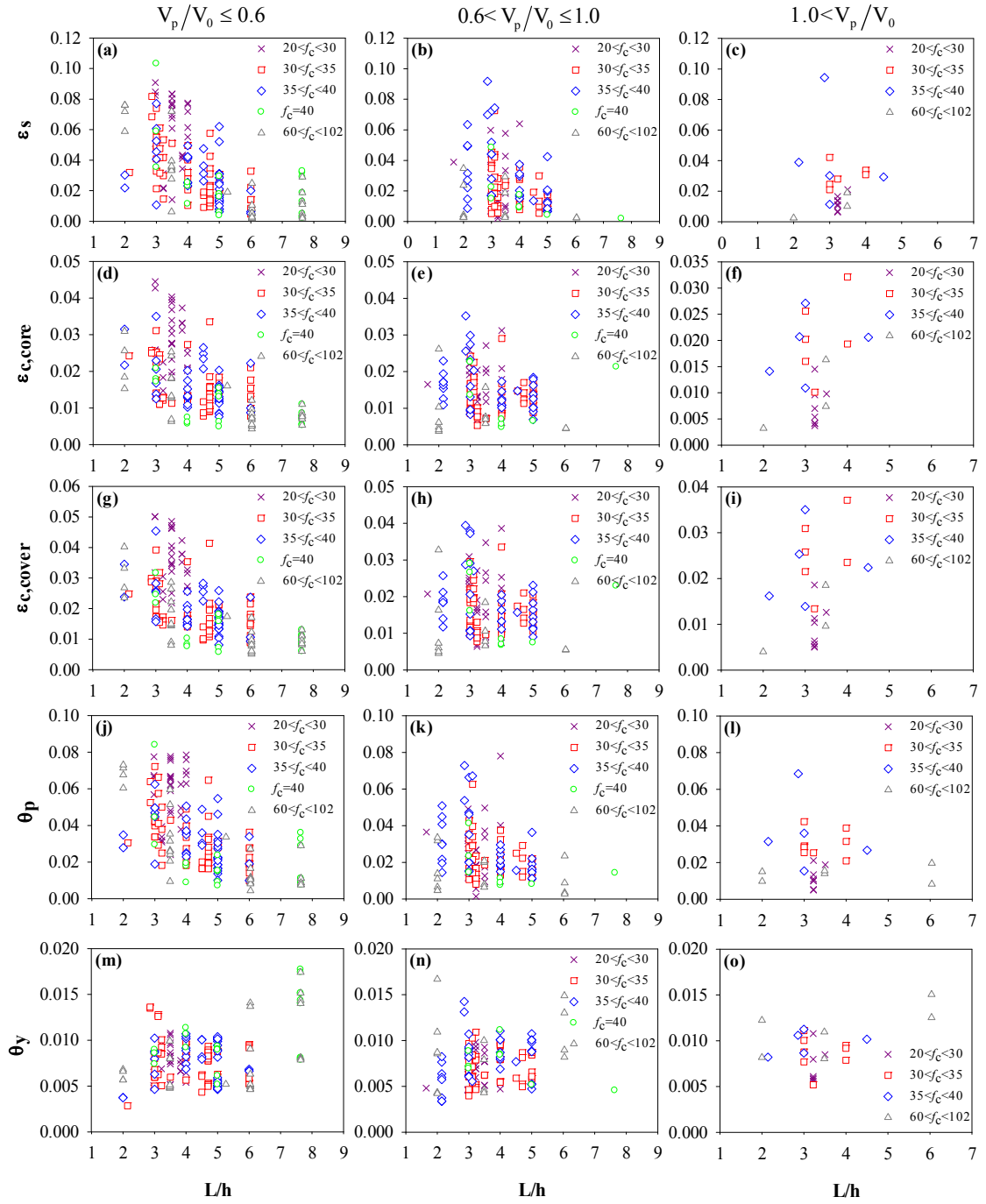
##### 2. Kesme kuvveti kapasite oranının $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(k) ve (n) incelendiğinde kesme kuvveti kapasite oranının  $0.6 < V_p/V_0 \leq 1.0$  olduğu kolonlarda  $\theta_y$  ve  $\theta_p$  değerlerinin kolon en-boy oranının (L/h) artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.

##### 3. Kesme kuvveti kapasite oranının $1.0 < V_p/V_0$ olduğu kolonlar

Şekil 4.35(l) ve (o) incelendiğinde kesme kuvveti kapasite oranının  $1.0 < V_p/V_0$  olduğu kolonlarda  $\theta_y$  değerlerinin kolon en-boy oranının (L/h) artmasıyla arttığı gözlemlenirken,  $\theta_p$  değerinin çok az azaldığı görülmüştür.





Şekil 4.35 Kolon boy-en oranı (L/h) ve beton basınç dayanımının ( $f_c$ ) hasar ölçütleri üzerindeki etkisi

#### 4.4. Hasar Sınırları İçin Yeni Bağntı Önerilmesi

Sonlu eleman analizleri sonucu kolon taşıma kapasitesine ulaştığında elde edilen şekil değiştirme değerleri ve bu değerler üzerinde tasarım parametrelerin etkileri incelendikten sonra bu parametrelere bağlı bir dizi regresyon analizi yapılarak

dikdörtgen kesitli betonarme kolonların nihai şekil değiştirme ölçütlerinin tahmini için bağıntılar önerilmiştir.

Regresyon analizi yapılırken Sertkaya (2018) tarafından betonarme perdelerde hasar sınır değerlerinin tahmini için yapılan çalışmada ki yöntem kullanılmıştır. Regresyon analiziyle hasar sınırları belirlenirken her bir şekil değiştirme ölçütünün bağımlı olduğu tasarım parametreleri ile arasındaki ilişkiler grafikler halinde çizdirilmiştir. Aralarında en iyi korelasyonun olduğu tasarım parametresinden başlamak üzere şekil değiştirmenin logaritmik değeriyle tekrar grafik oluşturulmuş ve aralarındaki ilişkinin sayısal denklemi elde edilmiştir. Bu denklemde tasarım parametresinin değeri yazılarak yeni değerler hesaplanmıştır. Elde edilen değerler şekil değiştirmenin logaritmik değerinden çıkartılarak hata miktarı her bir kolon için hesaplanmıştır. Hesap edilen hata değerleri ile bir sonraki tasarım parametresinin arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için tekrar grafik oluşturulmuş ve determinasyon katsayısının ( $R^2$ ) en yüksek olduğu denklem türü belirlenmiştir böylece hata değeri ile tasarım parametresi arasındaki ilişkinin sayısal denklemi elde edilmiştir. Bu denklemde tasarım parametresi yerine konularak yeni değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin bir önceki hata değerlerinden çıkartılarak yeni hata değerleri hesap edilmiştir. Bu yöntemle tahmin bağıntısının hata oranı minimize edilmiştir. Bu işlemler şekil değiştirme ölçütünün bağımlı olduğu tüm tasarım parametreleri ile tekrar edilmiştir. Son olarak elde edilen sayısal denklemler bir araya üstel fonksiyon haline getirilerek şekil değiştirme ölçütü için tahmin bağıntısı oluşturulmuştur. Parametrik çalışma sırasında insan kaynaklı, sayıların yuvarlamasıyla oluşan ve kullanılan bilgisayar programlarının neden olduğu hatalardan dolayı parametrik çalışmayla hesap edilen şekil değiştirme değerleri tekrar gözden geçirilerek regresyon analizine tabi tutulmuştur. Oluşturulan tahmin bağıntısıyla elde edilen değerler parametrik çalışmayla elde edilen değerlerden çıkarılarak aradaki hata farkı bulunmuştur. İki değer arasındaki hata farkı 0.30 ile çarpılarak parametrik çalışmayla elde edilen değerlerden çıkarılmış ve yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanarak şekil değiştirmeye bağlı hasar ölçütleri için bağıntılar önerilmiştir.

Regresyon analizi sonucu elde edilen bağıntılar ve bu bağıntılarla hesap edilen değerlerin SEA ile elde edilen değerlerle karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{c,core} = 0.07 \left( \sqrt{\omega_{we}} \right)^{0.36} \left( \frac{L}{h} \right)^{-0.45} (1 - 0.0075 f_c) \left( 1 - 0.53 \frac{P}{P_0} \right) \quad (4.9)$$

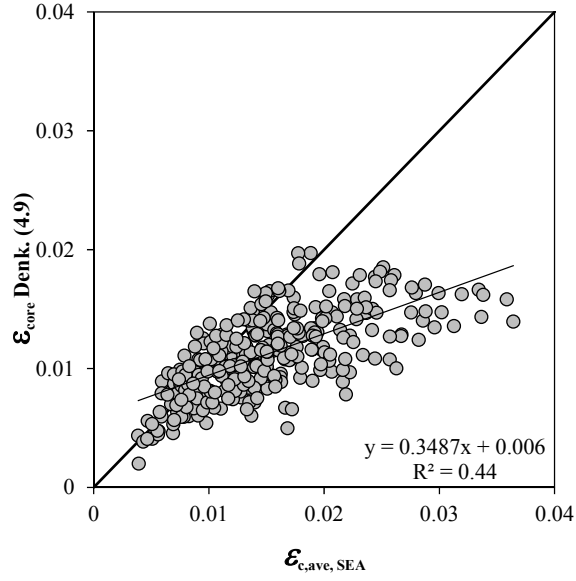
$$\varepsilon_s = 0.75 \left( 0.95 - 0.08 \frac{L}{h} \right) (0.883 - 14.15 \rho_l) \left( e^{-4.4 \frac{P}{P_0}} \right) \left( \rho_s \frac{f_{ys}}{f_c} \right)^{0.553} \quad (4.10)$$

$$\theta_p = 0.25 \left( 1 - 0.045 \frac{L}{h} \right) (0.97 - 8.5 \rho_l) \left( 0.9 - 1.3 \frac{P}{P_0} \right) \left( \rho_s \frac{f_{ys}}{f_c} \right)^{0.5} \quad (4.11)$$

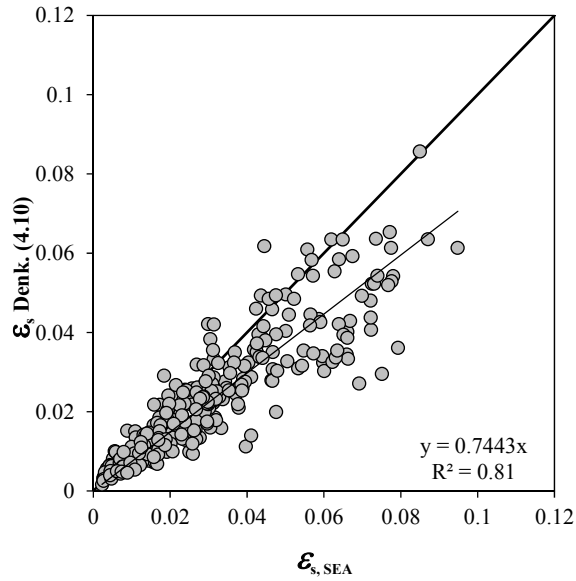
$$\theta_y = 0.005 \left( 0.95 + 0.13 \frac{L}{h} \right) (1 + 5.25 \rho_l) \left( 1 - 0.97 \frac{P}{P_0} \right) \left( \rho_s \frac{f_{ys}}{f_c} \right)^{0.008} \quad (4.12)$$

$$\theta_t = 0.17 \left( 1 - 0.032 \frac{L}{h} \right) (1 - 8.76 \rho_l) \left( 0.93 - 1.24 \frac{P}{P_0} \right) \left( \rho_s \frac{f_{ys}}{f_c} \right)^{0.36} \quad (4.13)$$

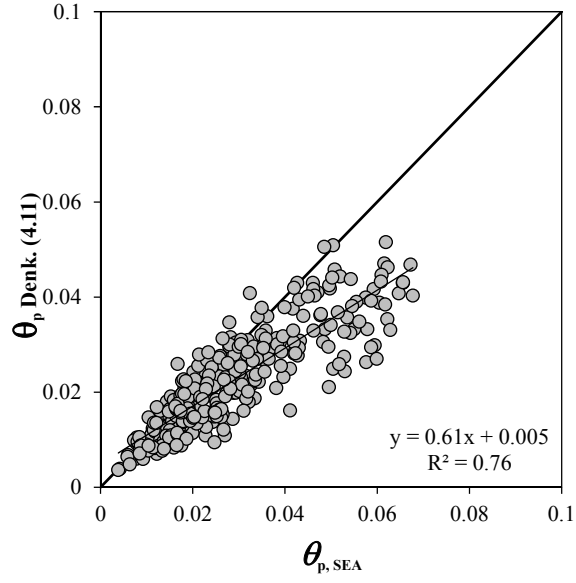
$$\phi_u = 0.35 \left( \frac{L}{h} \right)^{-0.263} (\rho_l)^{0.2} \left( e^{-2.93 \frac{P}{P_0}} \right) \left( \rho_s \frac{f_{ys}}{f_c} \right)^{0.44} \quad (4.14)$$



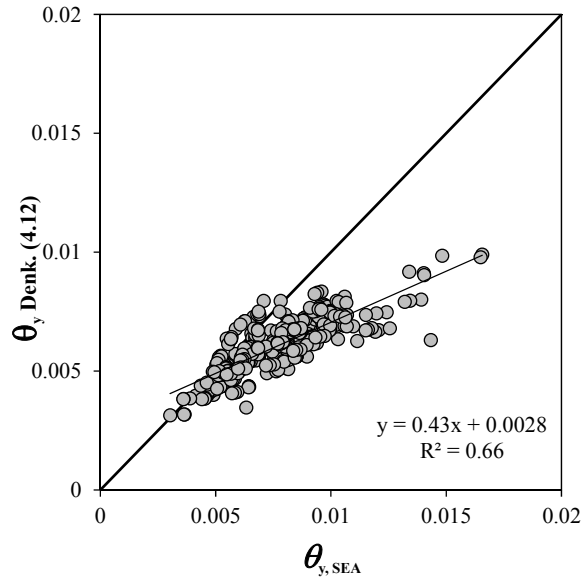
**Şekil 4.36** Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.9) kullanılarak hesap edilen sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değıştirme değerin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması



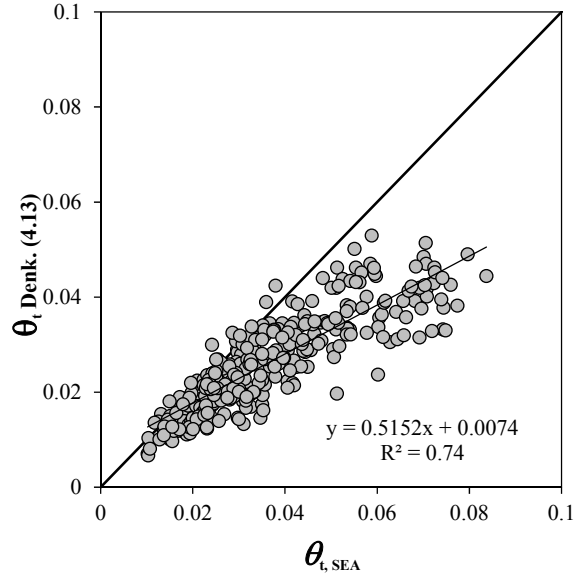
**Şekil 4.37** Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.10) kullanılarak hesap edilen donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değıştirme değerin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması



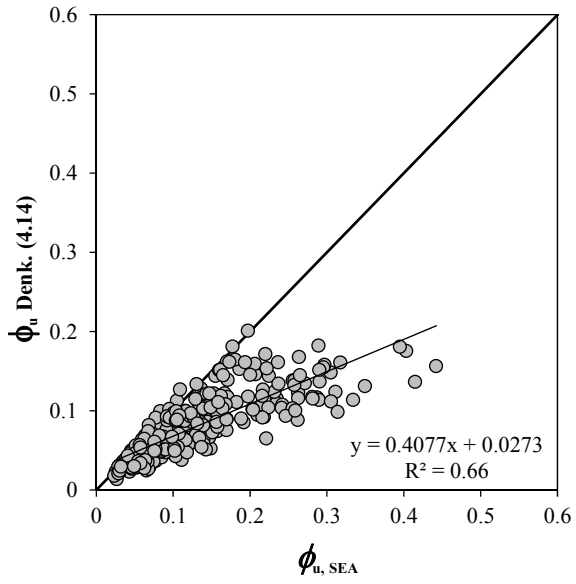
Şekil 4.38 Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.11) kullanılarak hesap edilen plastik dönme miktarının SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması



Şekil 4.39 Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.12) kullanılarak hesap edilen akma dönmesinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması



Şekil 4.40 Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.13) kullanılarak hesap edilen toplam dönme miktarının SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması



Şekil 4.41 Regresyon analizi sonucu oluşturulan Denklem (4.14) kullanılarak hesap edilen nihai eğrilik değerinin SEA sonuçlarıyla karşılaştırılması

### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapıların deprem gibi yanal yükler altındaki davranışının belirlenmesi yapı sistemini oluşturan taşıyıcı elemanların davranışının anlaşılmasıyla mümkündür. Betonarme yapıların birincil elemanı olan kolonların deprem yükleri altında taşıma gücünü kaybetmeden kolon hasar kapasitelerinin belirlenmesi can güvenliği açısından oldukça önemlidir.

Kolonların yükler altında şekil değiştirme kapasitelerinin tahmini için yönetmeliklerde ve araştırmacılar tarafından önerilmiş bağıntılar bulunmaktadır. Betonarme kolon hasar sınırlarını belirleyen bu bağıntılar donatı çeliği ve betonun birim şekil değiştirme kapasitelerine bağlı önerildiği gibi kolonda oluşacak yanal ötelenme oranı veya plastik dönmeye bağlı da verilmektedir. Deneysel çalışmaların istatistiksel değerlendirmeleri sonucu ortaya çıkan bu bağıntıların öngörülebilirliği ve güvenilirliği araştırmacılar tarafından sürekli irdelenmektedir. Aynı kolon özelliklerine sahip farklı deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerde farklılıkların oluşu ve deneysel çalışmalarda kullanılan kolon tasarım değişkenlerinin kolon performansını tamamen açıklayamamasından dolayı deneysel çalışmaların ışığında oluşturulan sayısal modellerle farklı tasarım parametrelerini içeren çok sayıda analizle yapılan bir araştırmanın sonuçlarıyla elde edilecek hasar sınırları daha tutarlı olacaktır. Bu çalışma kapsamında sayısal model oluşturularak deneysel çalışma sonuçlarıyla kalibre edilmiş 339 adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonun analizi tamamlanmıştır. Parametrik çalışmayla elde edilen sonuçlar yönetmelik hasar sınırları ve araştırmacılar tarafından önerilen şekil değiştirmelere bağlı kolon taşıma kapasitesini belirleyen bağıntılar değerlendirilmiştir. Ayrıca kolon tasarım parametrelerinin hasar ölçütleriyle ilişkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak hasar ölçütlerinin belirlenmesi için uygun tasarım parametrelerini içeren ve daha güvenilir bağıntılar önerilmiştir. Yapılan bu çalışmaya bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Bu çalışmada kullanılan sonlu eleman modelli deneysel çalışmaları temsil edebilecek şekilde deneysel çalışmalarda raporlanan sonuçlara benzer sonuçlar vermektedir. Deneysel çalışmalarda rapor edilmiş betonarme kolon yanal yük taşıma kapasiteleriyle sonlu eleman analiziyle elde edilen sonuçlar %99 oranında benzerlik

göstermektedir. Yanal ötme oranının deneysel ve parametrik çalışmalarla elde edilen değerleri arasında %90, plastik dönme kapasiteleri ise %88 oranında benzerlik göstermiştir.

Yanal yükler altında kolonda ağır hasarın meydana geldiği plastik hasar bölgesi kolon tabanından  $h$  mesafesinin bir miktar üstüne çıkmaktadır. Plastik mafsal boyunun  $h/2$  olarak alınması plastik dönme ve tepe noktası yanal ötelenme miktarının hesaplanmasında kabul edilir bir mesafe olmaktadır.

Bu çalışmayla elde edilen en önemli sonuçlardan biride deneysel ve analitik çalışmalarda birim şekil değiştirme değerlerinin belirli bir nokta ya da kısıtlı bölgede hesaplanması sonucu elde edilen ortalama birim şekil değiştirme değerlerinin kolonda gerçekte oluşan birim şekil değiştirme değerlerinin altında kalmasıdır. Sargılı beton ortalama birim şekil değiştirme değerleri lokal bazda hesaplanan birim şekil değiştirme değerlerinden 1.33, beton örtüsü en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerlerinde 1.17 ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme değerlerinden ise 1.13 kat daha fazla olmaktadır.

Plastik mafsal boyunda ( $h/2$ ) kesit hesabından ve sonlu eleman analizinden elde edilen donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri arasında %98 oranında benzerlik oluşurken, sargılı beton birim şekil değiştirme değerleri %92 oranında benzerlik göstermiştir.

Genel olarak kolon nihai taşıma kapasitesinde plastik dönmeye bağlı hasar sınırları birim şekil değiştirmeye bağlı olanlardan daha kararlı ve öngörülebilir olmaktadır. Hesap edilen ASCE/SEI-41 (2013)'de önerilen bağıntılarla hesap edilen plastik dönme değerleri kolonların çoğunda daha tutucu kalırken yüksek dayanımlı betonlardan üretilmiş ve eksenel yük oranı 0.45'in üstünde olan kolonlarda güvenilir sonuçlar vermemektedir. Haselton vd. (2008) tarafından önerilen plastik dönme hasar sınırı ASCE/SEI-41 (2013)'de önerilen bağıntıyı belirgin bir şekilde geliştirmiştir ancak önerdikleri bağıntı benzer şekilde yüksek mukavemetli betonlarla üretilen kolonları ve eksenel yük oranı 0.45'ten büyük olanları kapsamamaktadır. ASCE/SEI-41 (2017)'de önerilen plastik dönme hasar sınırı parametrik çalışmayla hesap edilen değerlerle en iyi



uyum içinde olmaktadır. TBDY (2018) ise ASCE/SEI-41 (2013) ve Haselton vd. (2008) tarafından önerilen bağıntılara göre kolon gerçek davranışına daha yakın sonuçlar verse de güvensiz tarafta kalan kolon sayısının ihmal edilebilecek düzeyin çok üstünde kalmaktadır.

Toplam yer değiştirmiş eksen dönmesine bağlı verilen bağıntılardan Panagiotakos ve Fardis (2001) ve EN 1998-3 (2005)'in önerdikleri kullanılabilirlikten çok uzak kalmaktadır. Kolon nihai taşıma kapasitesine ulaştığında oluşan ötelenme oranına bağlı verilen bağıntılardan Elwood ve Moehle (2005) tarafından önerilen bağıntı kullanılabilir değildir. Yakut ve Solmaz (2012) tarafından önerilen bağıntı ise eksenel yük oranı 0.40'ın, beton basınç dayanımı ise 35MPa'ın üstünde olan kolonlarda doğru sonuçlar vermemektedir.

DBYBHY (2007), EN 1998-3 (2005), Grammatikou vd. (2016) ve TBDY (2018) beton birim şekil değiştirmelerine bağlı betonarme kolonlar için hasar sınır bağıntıları önermektedir. DBYBHY (2007)'de önerilen hasar sınırları bazı kolonlar için güvensiz sonuçlar verirken birçok kolonun ise taşıma kapasitesinin çok altında sonuçlar vermektedir. TBDY (2018)'de önceki versiyonuna göre daha az kolonun güvensiz tarafta kalmasını sağlarken gerçek kolon şekil değiştirme kapasitesini yansıtmamaktadır. EN 1998-3 (2005) ise oluşturduğu dağılım nedeniyle kullanılabilir değildir. TBDY (2018)'de önerilen ve Grammatikou vd. (2016)'nin önerdiği bağıntıyla benzer olan sargılı beton en dış lifinde meydana gelen birim şekil değiştirmeye bağlı göçme öncesi hasar sınırı kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda güvensiz tarafta kalan kolon sayısının diğer bağıntılara göre daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dikdörtgen kesitli betonarme kolonların taşıma kapasitelerine ulaştıklarında parametrik çalışmayla hesap edilen şekil değiştirme değerleri regresyon analizleri sonucunda önerilen bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda yönetmeliklerde verilen ve araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılara göre bu çalışmada sunulan denklemlerin daha iyi ilişki içinde oldukları gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Acun, B., ve Sucuoglu H. 2010. Performance of reinforced concrete columns designed for flexure under severe displacement cycles. *Structural Journal*, 107(3), 364-371.
- ANSYS 14.5 [Computer software]. Canonsburg, PA, Ansys
- Arai, Y., Hakim, B., Kono, S., and Watanabe, F. 2006. Damage assessment of reinforced concrete columns under high axial loading. *ACI Special Publication*, 237, 165-176.
- ASCE. (2013). *Seismic rehabilitation of existing buildings*. ASCE/SEI 41-13, Reston, VA.
- Aydemir, C., Kircil, M. S., Hancioglu, B., ve Zorbozan, M. (2011). Betonarme kolonların hasar sınır eğriliklerinin belirlenmesi. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*.
- Bae, S., ve Bayrak, O. 2009. Drift capacity of reinforced concrete columns. *Structural Journal*, 106(4), 405-415.
- Bayrak, O., ve Sheikh, S. 1996. Confinement steel requirements for high strength concrete columns, Proc., 11th World Conf. on Earthquake Engineering (WCEE-11), 23-28 Haziran, 463, Acapulco, Mexico.
- Bayrak, O., ve Sheikh, S. A. 2002. Confinement Reinforcement Design Considerations for Ductile HSC Columns. *Journal of Structural Engineering*, 124(9), 1092-1100. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1998\)124:9\(999\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1998)124:9(999))
- Bayrak, O., ve Sheikh, S. 2002. Design of rectangular HSC columns for ductility. *Univ. of Toronto*, 13(4), 651-664, Toronto, Canada.
- Berry, M., Parrish, M., ve Eberhard, M. 2004. PEER structural performance database user's manual, Pacific Engineering Research Center, Univ. of California, 43, Berkeley, CA.
- CEN (European Committee for Standardization). 2005. Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. Eurocode 8, EN 1998-3:2005, Comite European de Normalisation, Brussels, Belgium.
- Corley, W. G. 1966. Rotational capacity of reinforced concrete beams. *Journal of the Structural Division*, 93(5), 121-146.
- Dhakal R.P., Maekawa K. 2002. Modeling for postyield buckling of reinforcement. *Journal of Structural Engineering*, (ASCE), 128(9), 1139-47.
- Eligehausen, R., Popov, E. P., and Bertero, V. V. 1983. Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations. Rep. No.

UCB/EERC 83-23, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, CA.

- Elwood, K. J., ve Moehle, J. P. 2005. Drift capacity of reinforced concrete columns with light transverse reinforcement. *Earthquake Spectra*, 21(1), 71-89.
- Elwood, K. J., ve Moehle, J. P. 2006. Idealized backbone model for existing reinforced concrete columns and comparasions with FEMA 356 criteria. *The structural Design of Tall and Special Buildings*, 15(5), 553-569.
- Elwood, K. J., Matamoros, A. B., Wallace, J. W., Lehman, D. E., Heintz, J. A., Mitchell, A. D., Moore, M. A., Valley, M. T., Lowes, L. N., Comartin, C. D., Moehle J. P. 2007. Update to ASCE/SE 41 concrete provisions. *Earthquake Spectra*, 23(3), 493-523. doi.org/10.1193/1.2757714
- Grammatikou, S., Biskinis, D., ve Fardis, M.N. 2016. Ultimate strain criteria for RC members in monotonic or cyclic flexure. *J. Struct. Eng.*, 421(9), 1-13. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541x.0001501.
- Haselton, C. B., Liel, A. B., Taylor Lange, S., ve Deierlein, G. G. 2008. Beam-column element model calibrated for predicting flexural response leading to global collapse of RC frame buildings. PEER Rep. No. 2007/03, Pacific Engineering Research Center, 101, Univ. of California, Berkeley, CA.
- Hognestad, E., 1951. A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members Bulletin Series No. 399, Doktora Tezi, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 118, Illinois, Urbana.
- Imai, H., ve Yamamoto, Y. 1986. A study on causes of earthquake damage of Izumi high school due to miyagi-ken-oki earthquake in 1978. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, 8, 405-418.
- Juan, M.D., Stavridis, A., Shing, P.B., 2013. Bond strength and cyclic bond deterioration of large-diameter bars. *ACI Struct J*, 110 (4), 659-670.
- Kazaz, I. 2010. Dynamic characteristics and performance assessment of reinforced concrete structural walls. Doktora Tezi, Middle East Technical University, Civil Engineering Dept., Ankara.
- Kazaz, I. (2013). Analytical study on plastic hinge length of structural walls. *J. Struct. Eng.*, 13(4), 651-664. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000770.
- Kazaz, I., Gulkan, P., ve Yakut, A. 2012a. Deformation limits for structural walls with confined boundaries. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1019-1046.
- Kazaz, I., Gulkan, P., ve Yakut, A. 2012b. Performance limits for structural walls: an analytical perspective. *Engineering Structures*, 43, 105-119.
- Kent, D.C. ve Park, R. 1971. Flexural members with confined concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 97 (7), 1969-1990.

- King D. J., Priestley M. J. N., ve Park R. 1986. Computer Programs for Concrete Column Design. Research Report 86/12, Department of Civil Engineering, University Canterbury, New Zealand.
- Lettow, S. 2007. Ein Verbundelement für nichtlineare Finite Elemente Analysen – Anwendung auf Übergreifungsstößen (A bond element for non-linear finite element analysis – Applied on splices). Dissertation, University of Stuttgart, Faculty of Civil and Environmental Engineering, 206, Stuttgart, German.
- Lettow, S.; Eligehausen, R.; Ožbolt, J. 2004. The simulation of bond between concrete and reinforcement in nonlinear three dimensional finite element analysis. Proceedings of the 5th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Stuttgart.
- Lowes N.L., Moehle J.P. ve Govindjee, S. 2002. A concrete-steel bond model for use in finite element modeling of reinforced concrete structures. To be published in the ACI Special Publication.
- Ludovico, D. M., Verderame, G., Prota, A., Manfredi, G., ve Cosenza, E. 2014. Cyclic behavior of nonconforming full-scale RC columns. *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000891.
- Lynn, A. C., Moehle, J. P., Mahin, S. A., ve Holmes, W. T. 1996. Seismic evaluation of existing reinforced concrete building columns. *Earthq. Spec.*, 12(4), 715-739.
- Mander, J.B., Priestley M.J.N., ve Park R., 1988. Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826.
- Mattock, A. H. 1965. Rotational Capacity of Hinging Regions in Reinforced Concrete Beams. ACI Special Publication. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mirza, S.M. ve Houde, J. 1979. Study of bond stress-slip relationships in reinforced concrete, *ACI Journal*, 76(1), 19-46.
- Mo, Y. L., ve Wang, S. J. 2000. Seismic behavior of RC columns with various tie configurations. *J. Struct. Eng.*, 126(10). 10.1061/(ASCE)0733-9445 (2000)126:10(1122), 1122–1130.
- Montejo, L. A. 2007. Set of codes for the analysis of reinforced concrete members. Doktora Tezi, North Carolina State Univ, Dept. of Civil, Construction and Environmental Engineering, Raleigh, NC.
- Montejo, L. A., ve Kowalsky, M. J. 2007. CUMBIA Set of codes for the analysis of reinforced concrete members. CFL Technical Rep. No.IS-07-01. Raleigh, North Carolina. <https://doi.org/Tachnical Report IS-07-01>
- Murcia-Delso, J., Stavridis, A., ve Shing, B. 2011. Modeling the Bond-Slip Behavior of Confined Large- Diameter Reinforcing Bars. III ECCOMAS Thematic

Conference on Computation Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 1-14 Mayıs, Corfu, Greece.

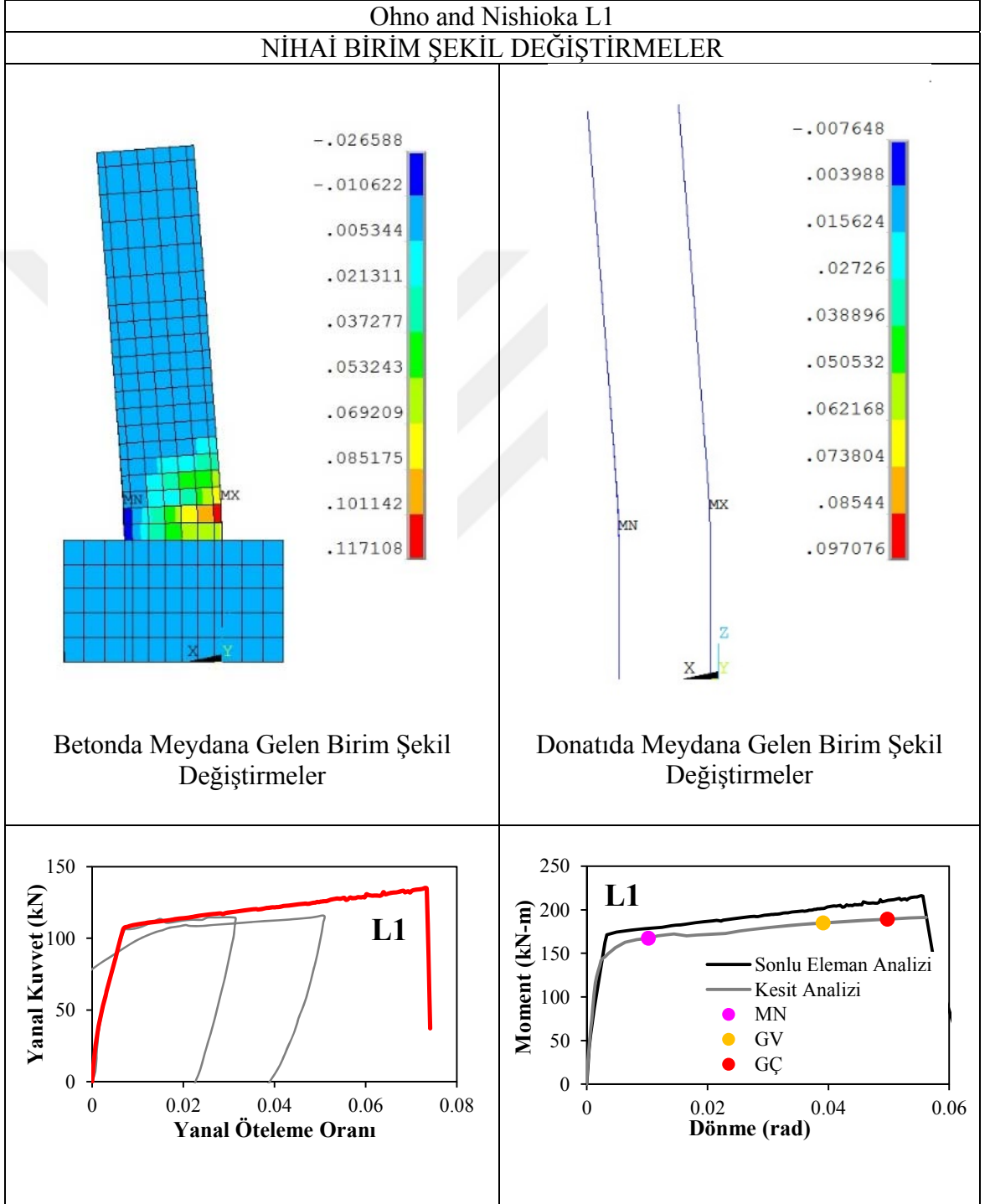
- Nosho, K., Stanton, J., ve MacRae, G. 1996. Retrofit of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Tonen Forca Tow Sheet Carbon Fiber Wrapping. Rep. No. SGEM 96-2, Washington: Department of Civil Engineering, Univ. of Washington, SE.
- Ohno, T., ve Nishioka, T. 1984. An experimental study on energy absorption capacity of columns in reinforced concrete structures. Proc. of JSCE, Struct. Engrg./Earthquake Engrg., JSCE, 1(2), 23-33.
- Ozbolt J, Lettow S, Kozar I 2002. Discrete bond element for 3D finite element analysis of reinforced concrete structures, Proceedings of Bond in concrete from research to standards, University of Technology and Economics, Budapest.
- Özdemir M. A., Kazaz İ., Ozkaya G. S. 2017. Evaluation and comparison of ultimate deformation limits for RC columns. Engineering Structures; 153, 569-581.
- Panagiotakos, T. B., ve Fardis, M. N. 2001. Deformations of RC members at yielding and ultimate. ACI Struct. J., 98(2), 135-148.
- Park, R., ve Paulay, T. 1990. Use of interlocking spirals for transverse reinforcement in bridge columns. Strength and ductility of concrete substructures of bridges, RRU (Road Research Unit) Bulletin 84(1), 77-92.
- Park, R., Priestley, M. J. N., ve Gill, W. D. 1982. Ductility of Square-Confined Concrete Columns. Journal of the Structural Division, 108(4), 929-950.
- Paulay, T., ve Priestley, M. J. N. 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. A Wiley Interscience Publication, 764, Canada. ISBN: 978-0-471-54915-4. In John Wiley & Sons Inc.: New York. <https://doi.org/10.1002/9780470172841.fmatter>
- Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. ve Kowalsky M.J. 2007. Displacement-Based Seismic Design of Structure. IUSS Press, 670, Pavia, Italy.
- Raynor, D. J., Lehman, D. E., ve Stanton, J. F. 2002. Bond-slip response of reinforcing bars grouted in ducts. ACI Structural Journal, 99(5), 568-576.
- Saatcioglu, M. ve Razvi, S.R. 1992. Strength and ductility of confined concrete. ASCE Journal of Structural Engineering, 118(6), 1590-1607.
- Saatcioglu, M., ve Grira, M. 1999. Confinement of reinforced concrete columns with welded reinforcement grids. ACI Struct. J., 96(1), 29-39.
- Saatcioglu, M., ve Ozcebe, G. 1989. Response of reinforced concrete columns to simulated seismic loading. ACI Struct. J., 86(1), 3-12.

- Sertkaya, M. 2018. Betonarme perdelerde hasar sınır değerlerinin analitik olarak belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,149, Erzurum.
- Sezen, H., ve Moehle, J. 2004. Strength and deformation capacity of RC columns with limited ductility. Proc., 13th WCEE, 1-6 Ağustos, Bildiri Kitabı, 279, Vancouver, Canada.
- Sheikh, S.A. ve Uzumeri, S.M. 1982. Analytical model for concrete confinement in tied columns. ASCE Journal of the Structural Division, 108 (12), 2703-2722.
- Takemura, H., ve Kawashima, K. 1997. Effect of loading hysteresis on ductility capacity of bridge piers. J. Struct. Eng., Jpn., 43A, 849-858.
- Tanaka, H., ve Park, R. 1990. Effect of lateral confining reinforcement on the ductile behavior of reinforced concrete columns. Rep. 90-2, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 458.
- Topçu, A. 2014. Tarihçe: Çimento/Beton/Betonarme/Betonarme Yapılar/İnşaat Mühendisliği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 43, Eskişehir. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>
- TSC. 2007. Turkish seismic design code for buildings: Specification for structures to be built in disaster areas. Ministry Public Works and Resettlement, Ankara, Turkey.
- TSC-Draft. 2016. Turkish seismic design code for buildings (Draft) Ministry Public Works and Resettlement, Ankara, Turkey.
- Wehbe, N., Saiidi, M. S., ve Sanders, D. 1998. Confinement of rectangular bridge columns for moderate seismic areas. National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) Bulletin, 12(1).
- Xiao, Y., ve Martirosyan, A. 1998. Seismic performance of highstrength concrete columns. J. Struct. Eng., 133(1), 241-251. 10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:3(241), 241-251.
- Xiao, Y., ve Yun, H. W. 2002. Experimental studies on full-scale high-strength concrete columns. ACI Struct. J., 99(2), 199-207.
- Yakut A., Solmaz T. 2012. Performance based Displacement Limits for Reinforced Concrete Columns under Flexure. 15WCEE, 24-28 Eylül, Vol 1(38), 16465, Lisboa.

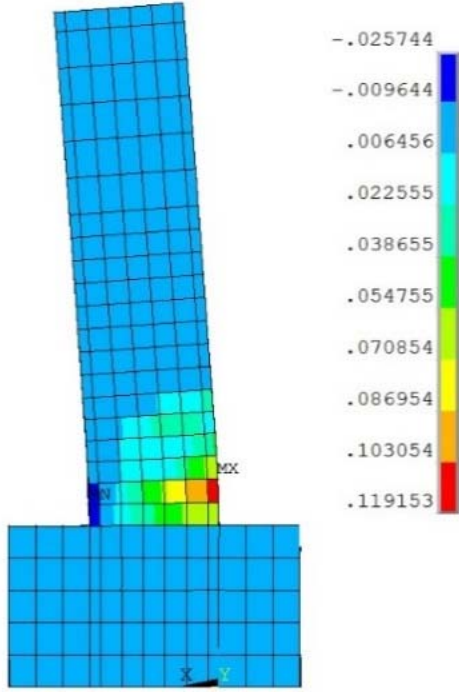
## EKLER

### EK-1

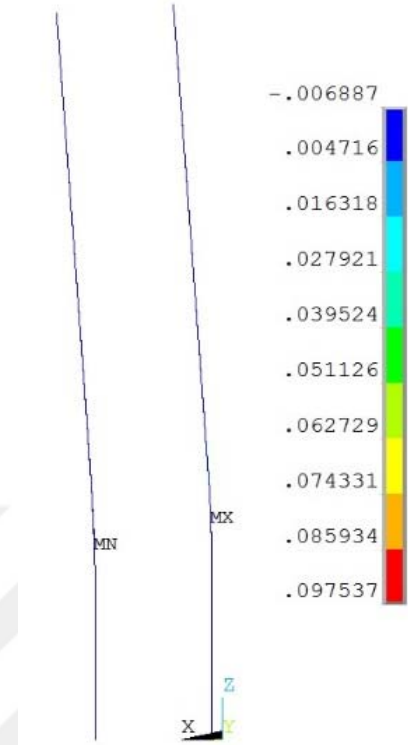
#### Deneysel Çalışmaların SEA Sonuçları



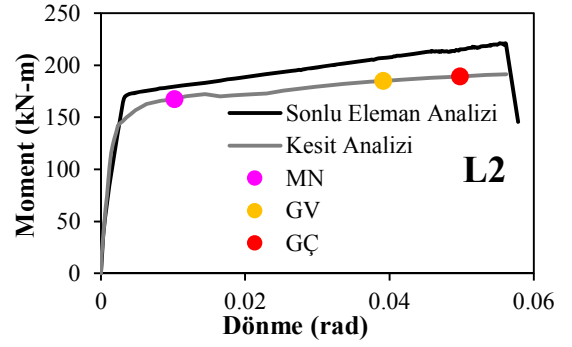
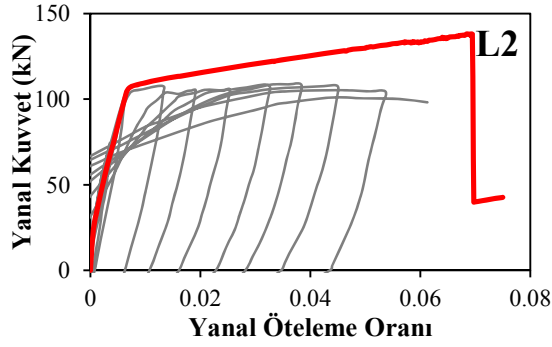
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

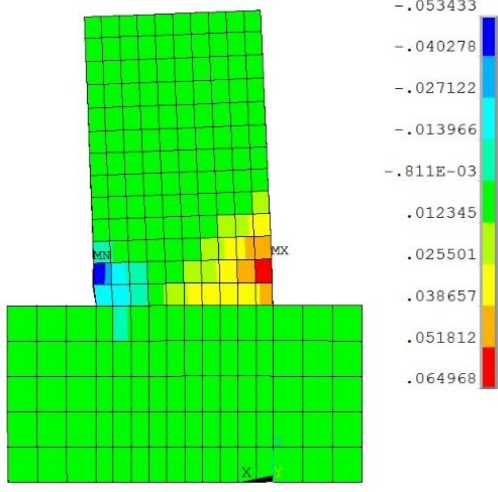


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

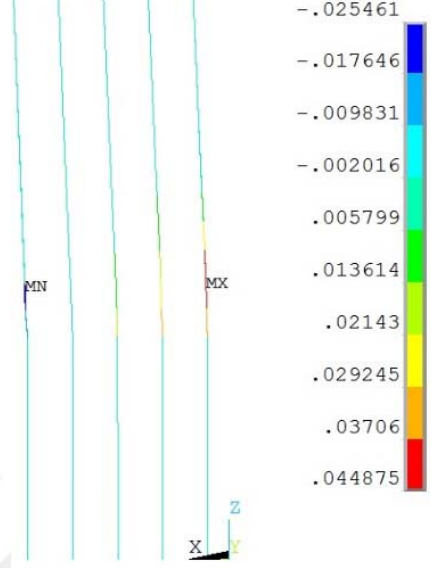




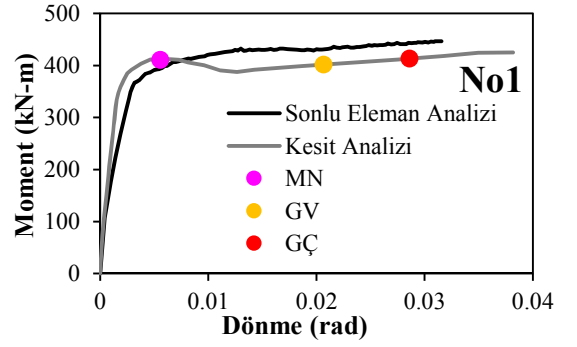
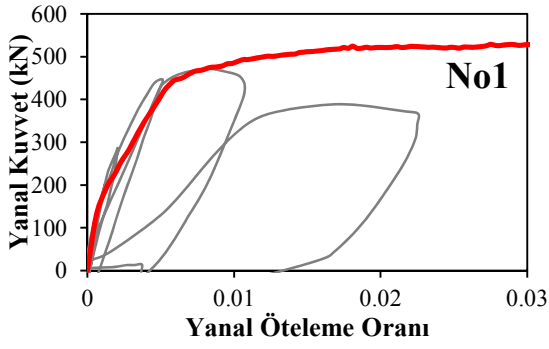
Imai and Yamamoto No1  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



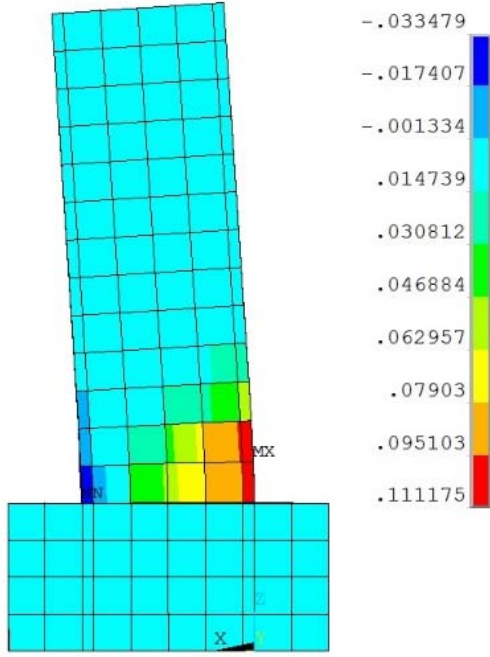
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



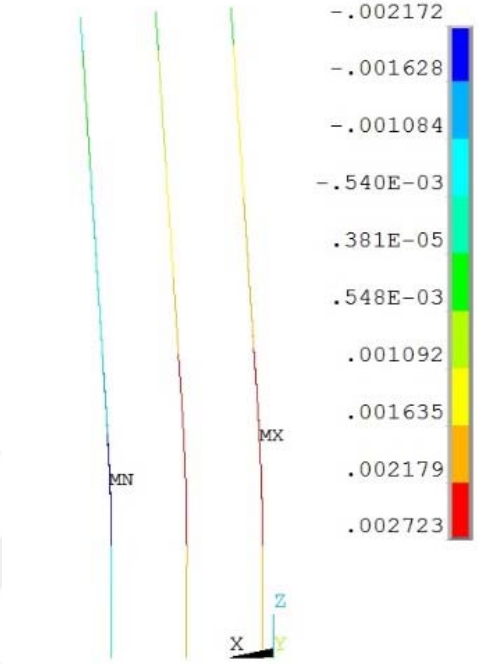
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



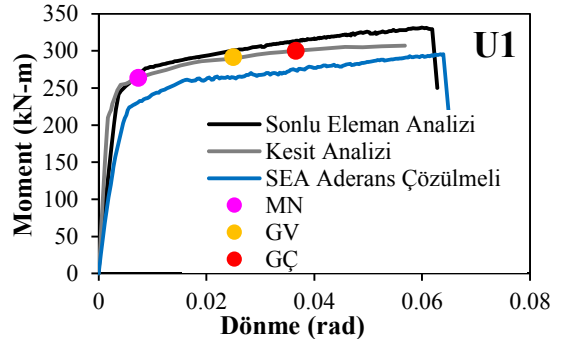
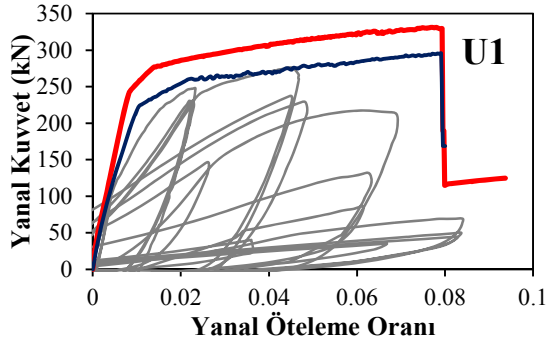
Saatcioglu and Ozcebe U1  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



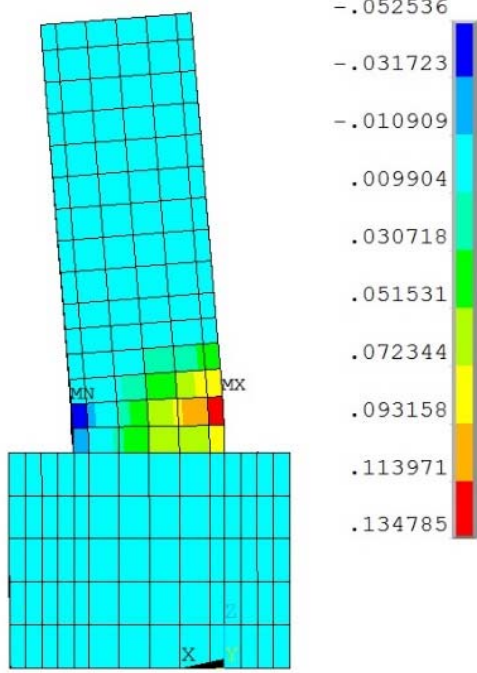
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



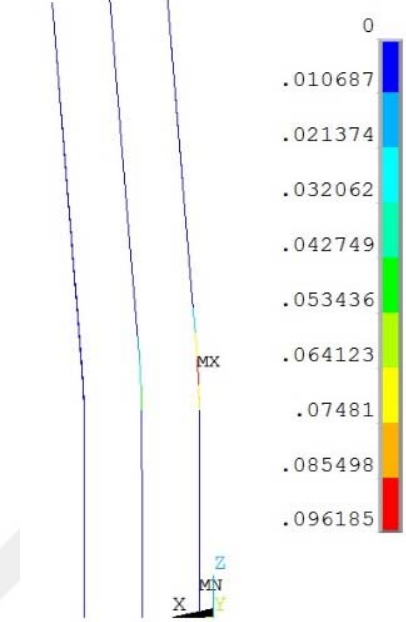
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



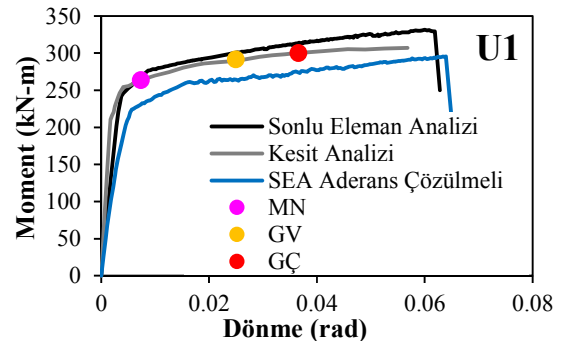
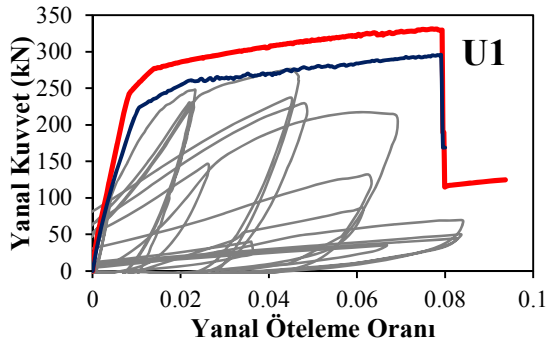
Saatcioglu and Ozcebe U1 Bağ Gerilmeli  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEğİŞTİRMELER



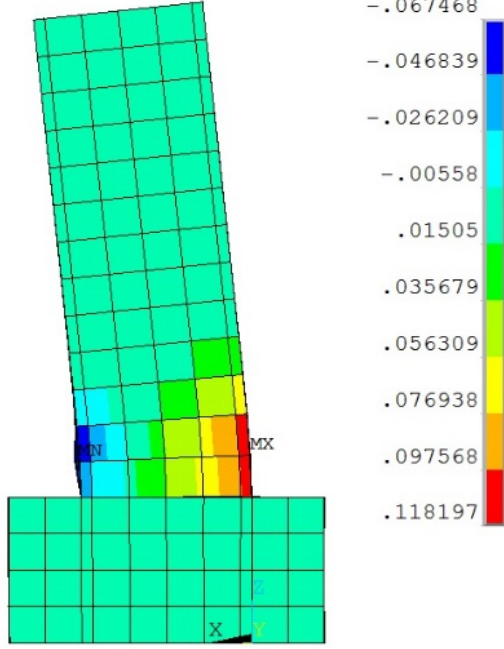
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



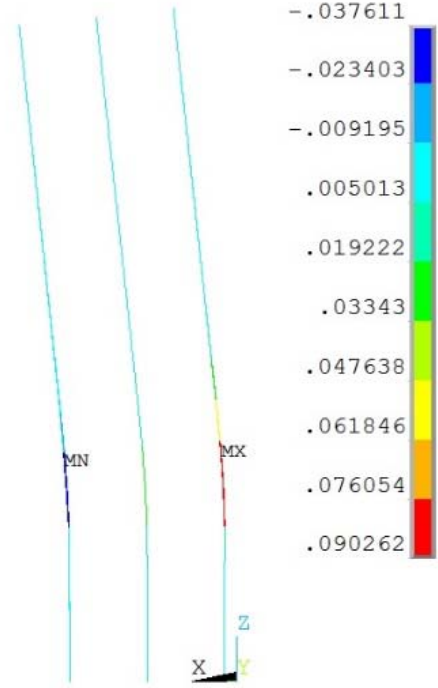
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



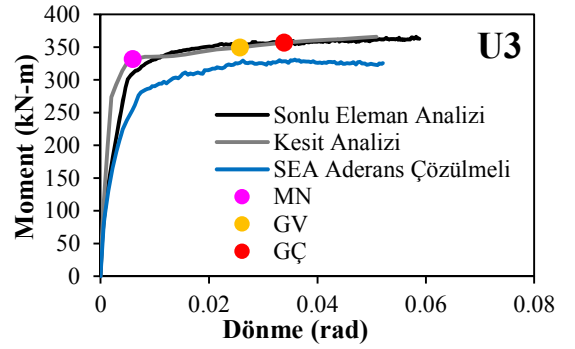
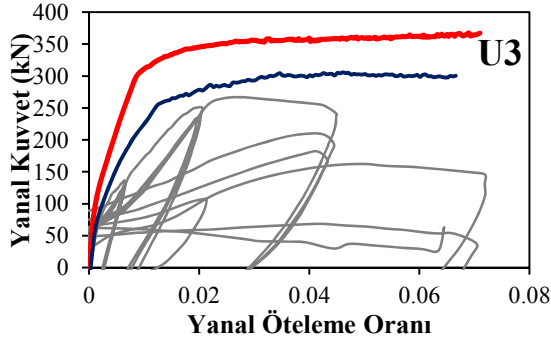
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



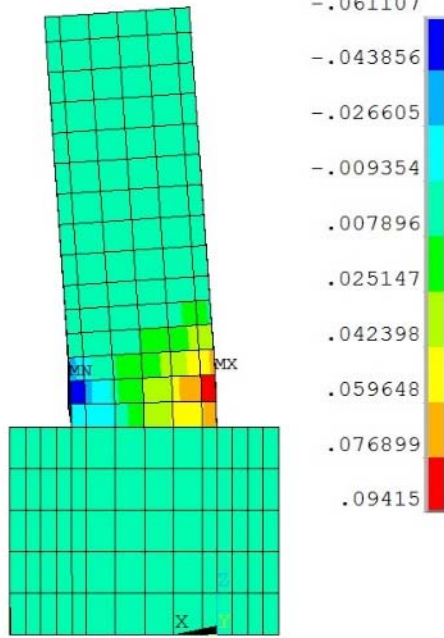
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



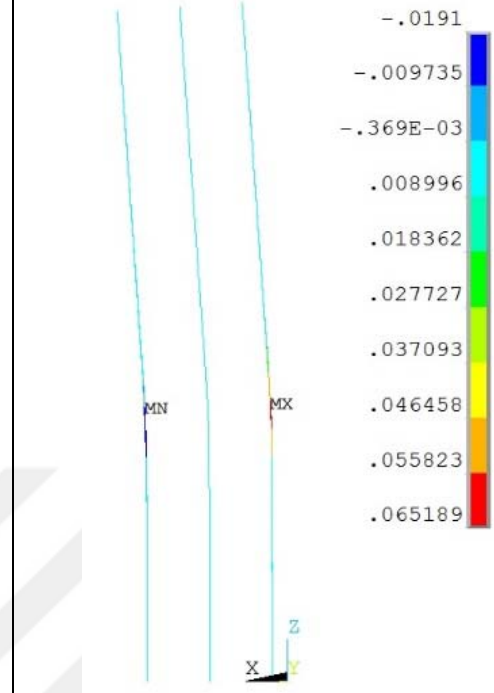
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



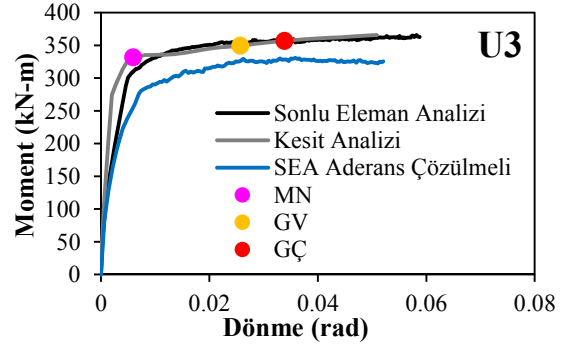
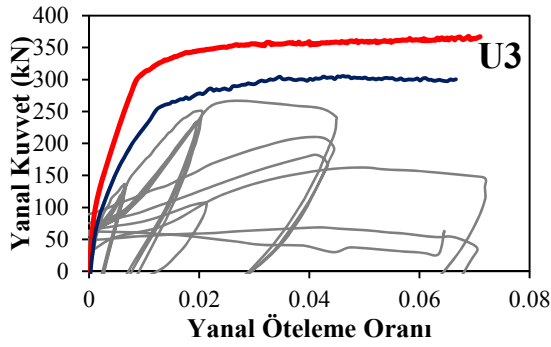
Saatcioglu and Ozcebe U3 Bağ Gerilmeli  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEğİŞTİRMELER



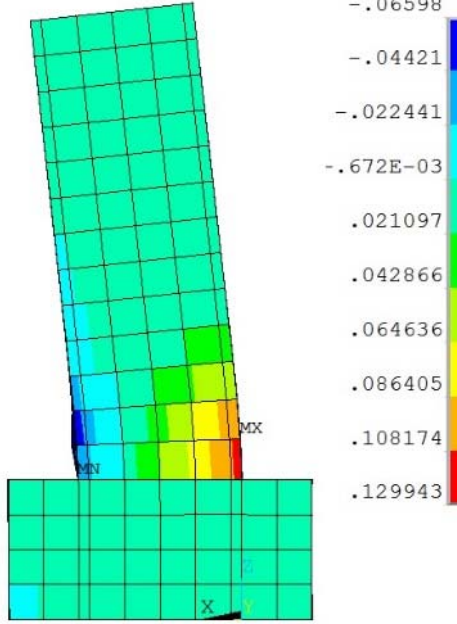
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



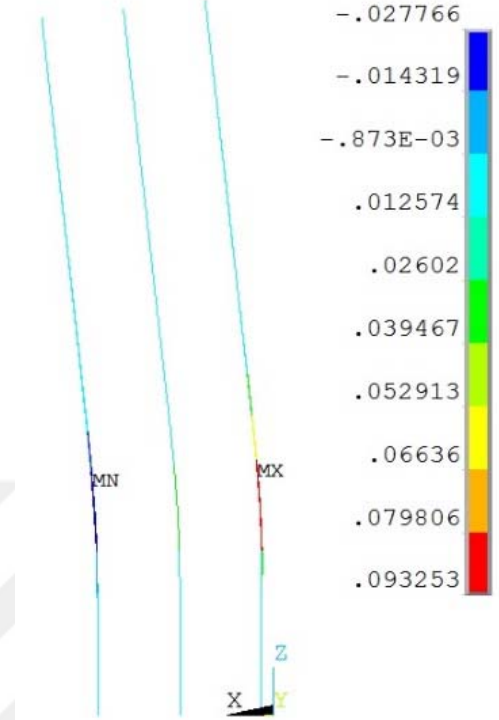
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



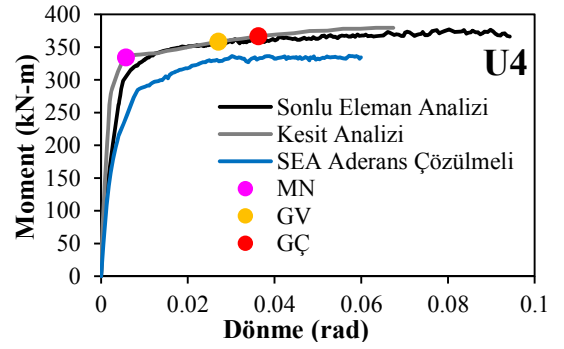
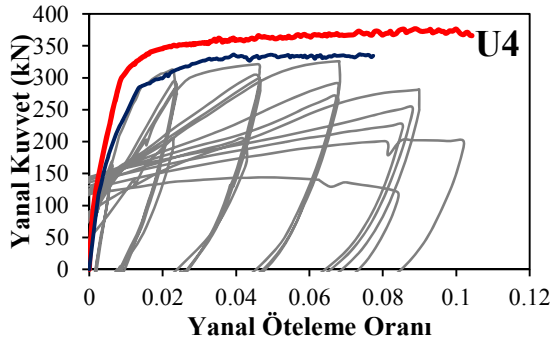
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



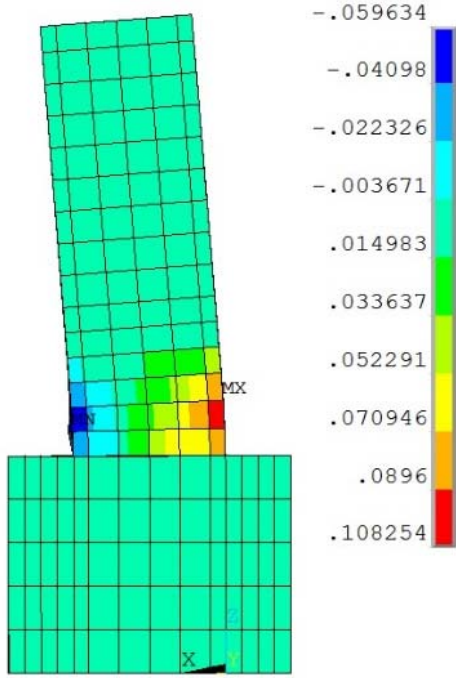
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



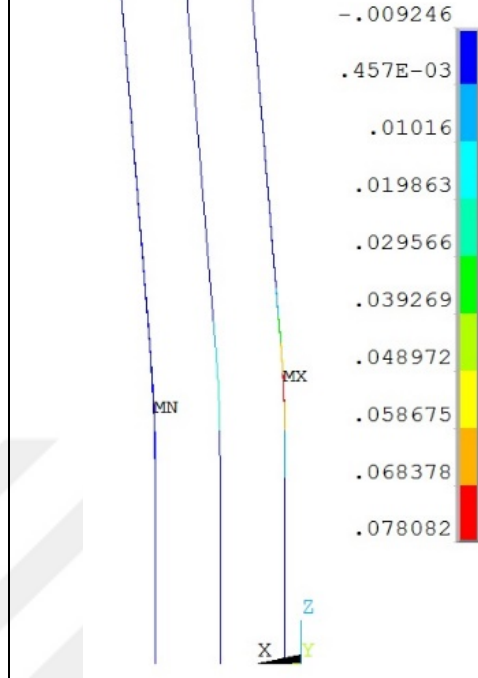
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



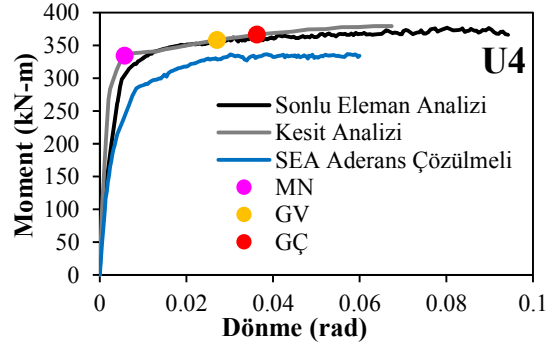
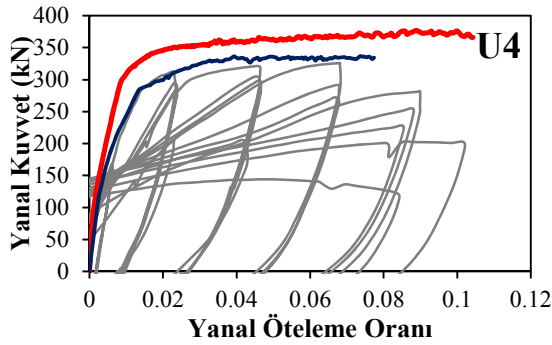
Saatcioglu and Ozcebe U4 Bağ Gerilmeli  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEğİŞTİRMELER



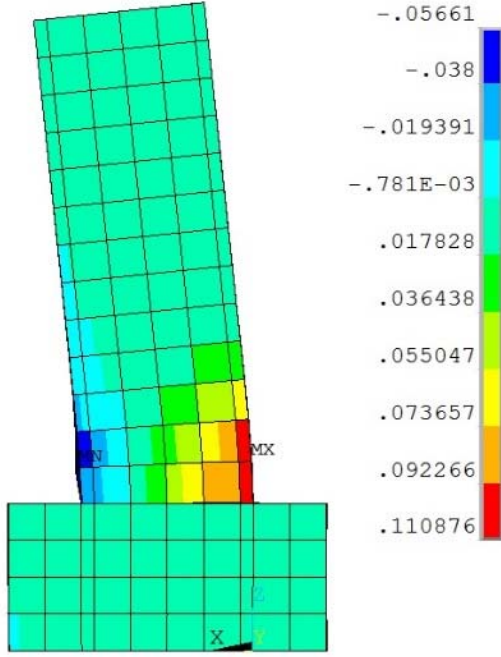
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



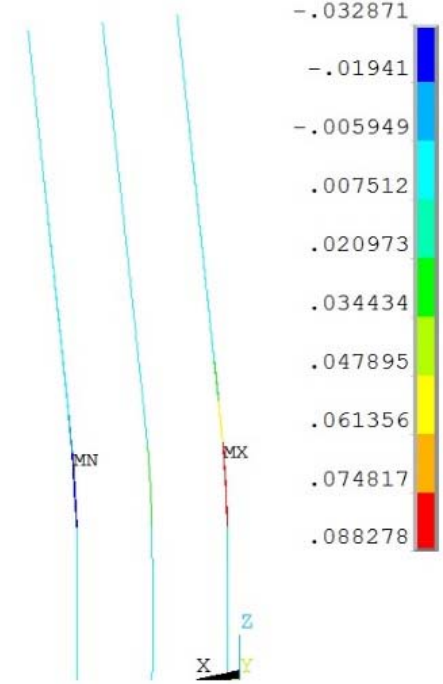
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



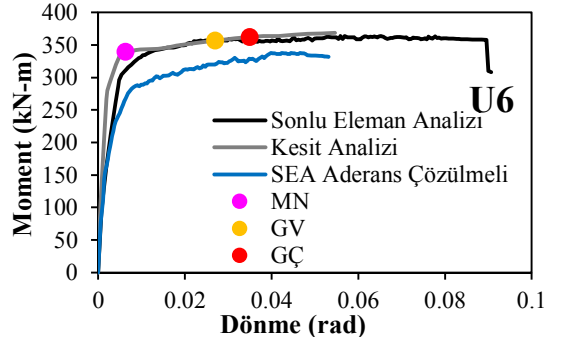
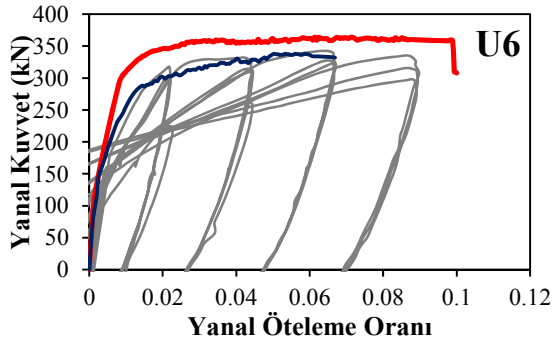
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

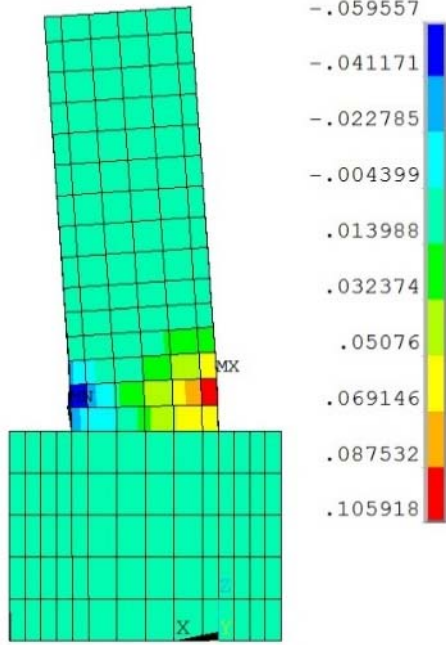


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

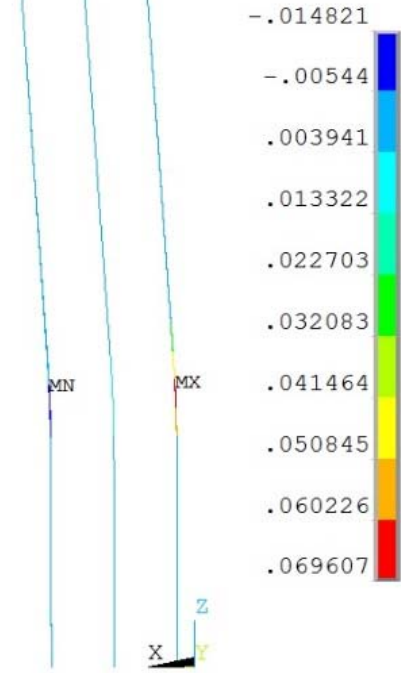




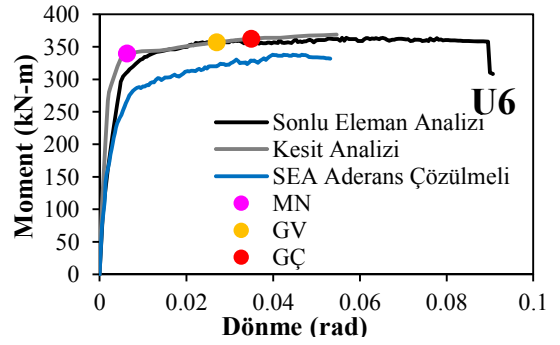
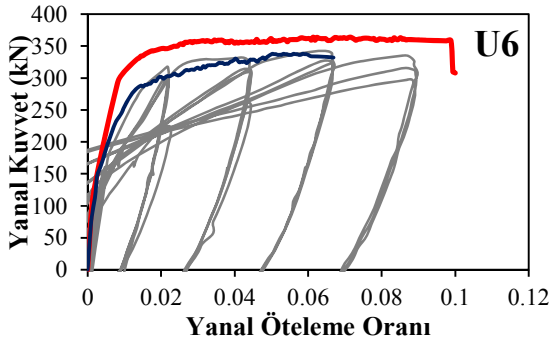
Saatcioglu and Ozcebe U6 Bağ Gerilmeli  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEğİŞTİRMELER



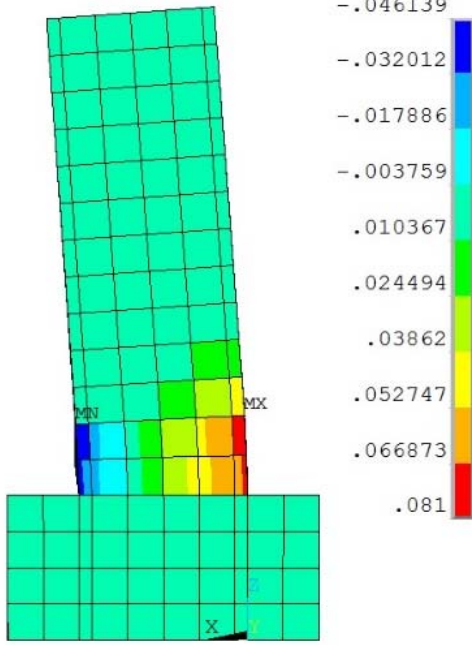
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



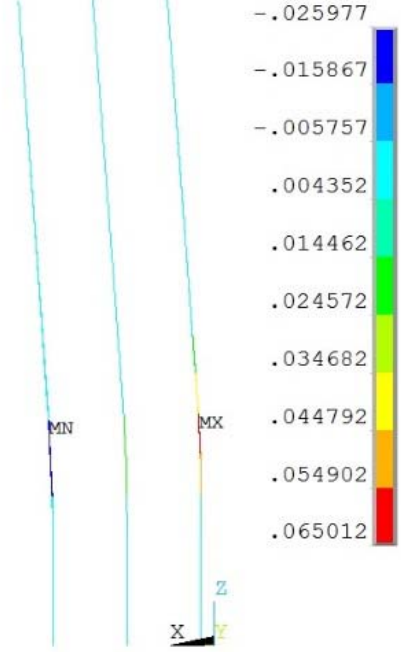
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



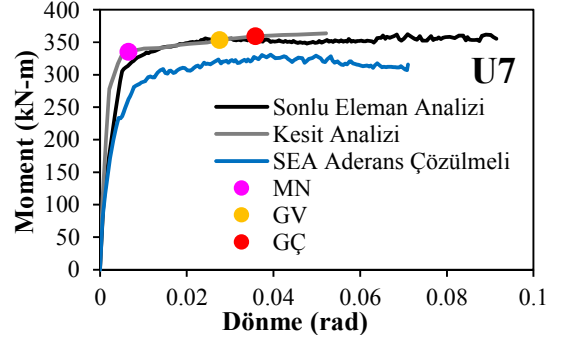
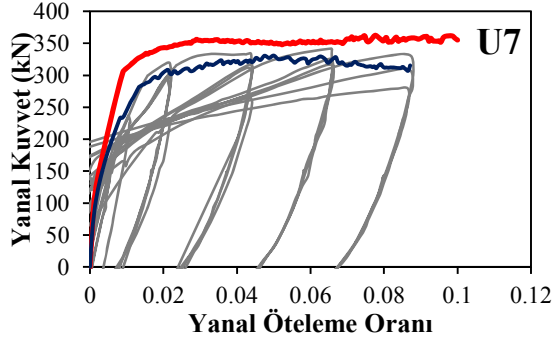
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



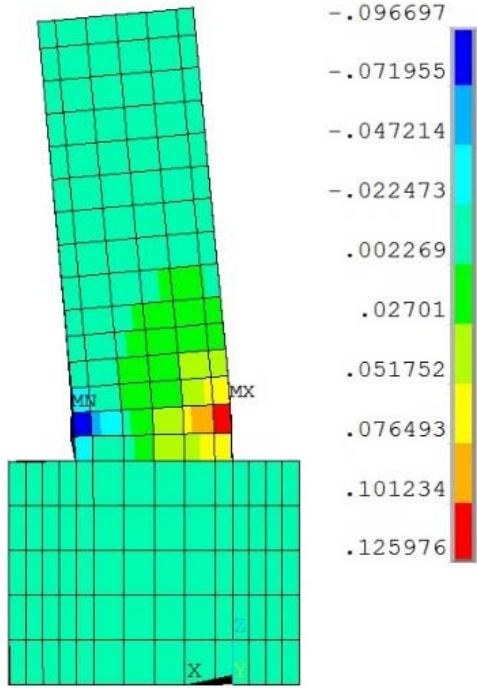
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



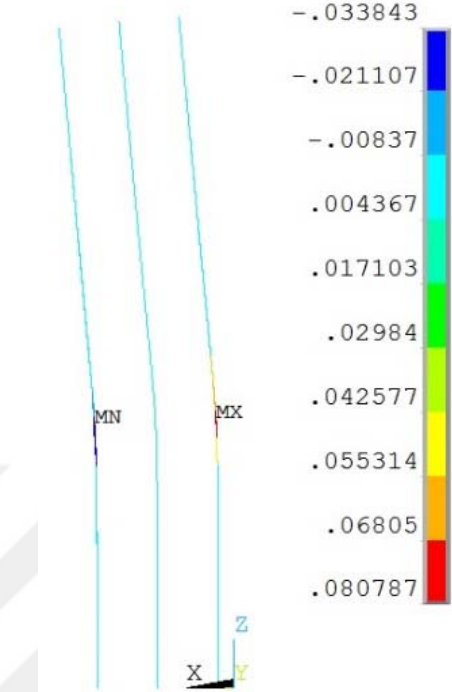
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



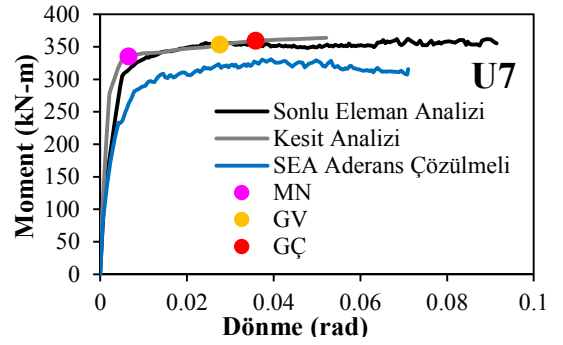
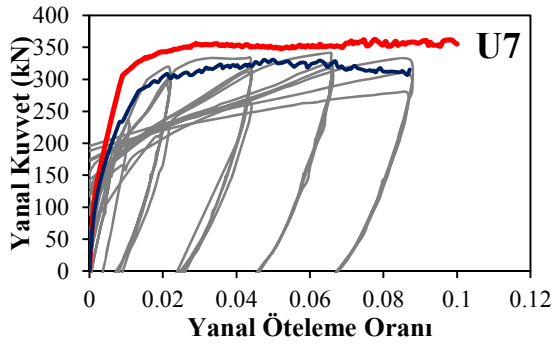
Saatcioglu and Ozcebe U7 Bağ Gerilmeli  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEğİŞTİRMELER



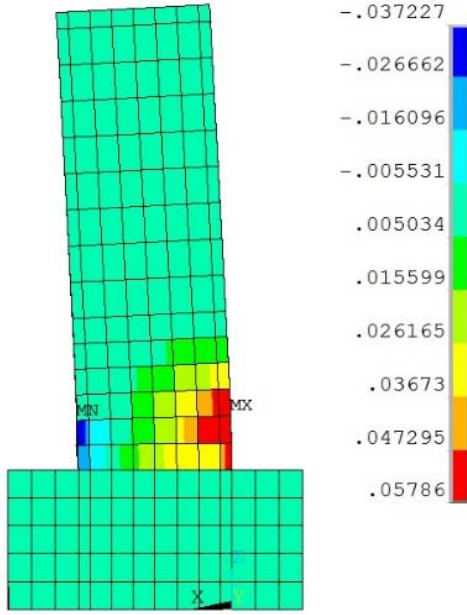
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



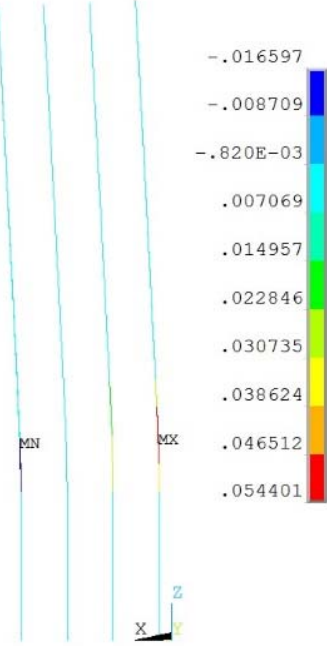
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiştirmeler



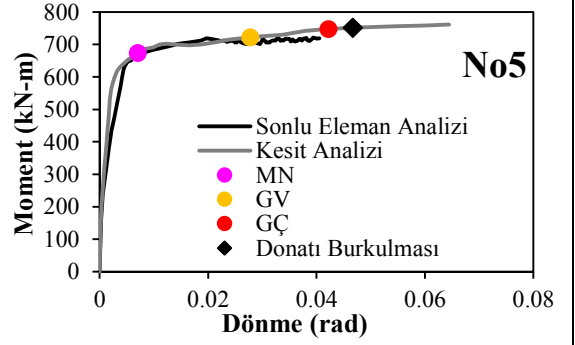
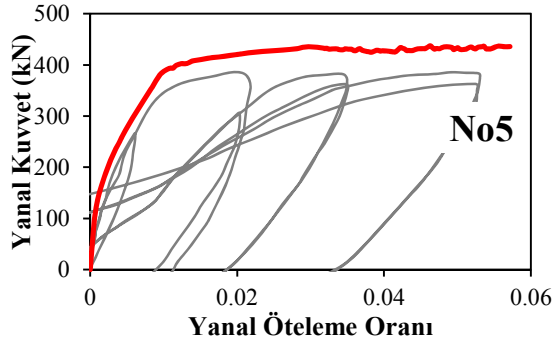
Tanaka and Park No5  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



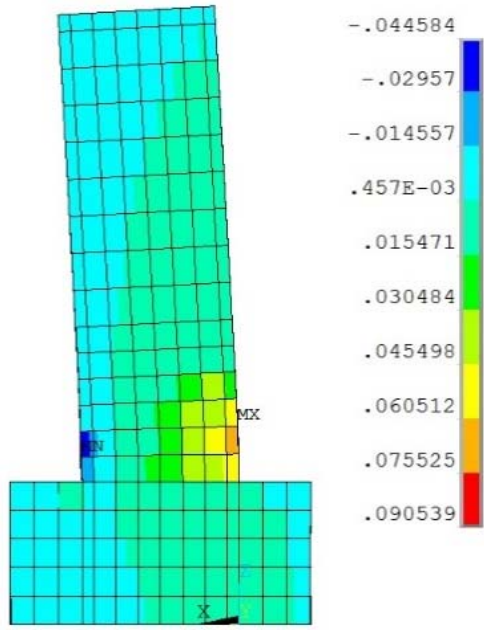
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



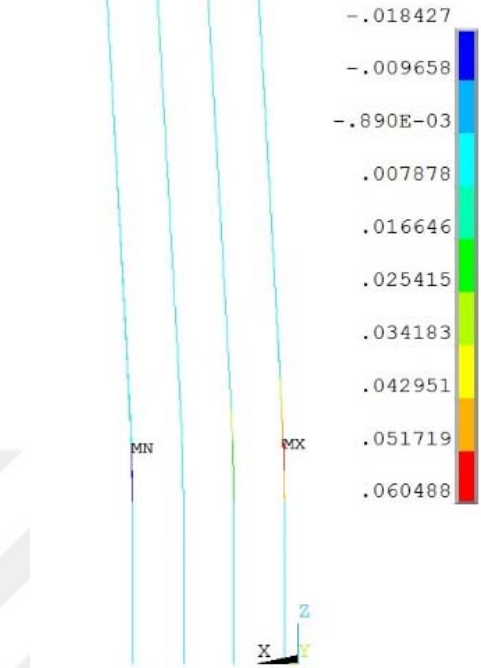
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



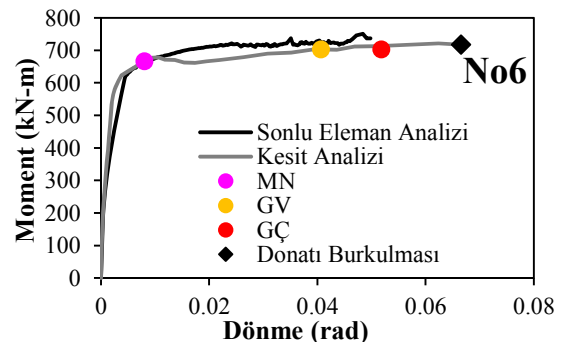
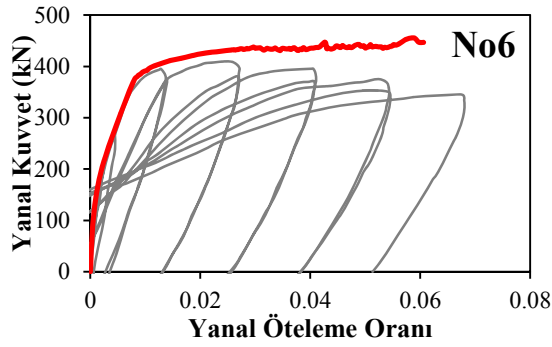
Tanaka and Park No6  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



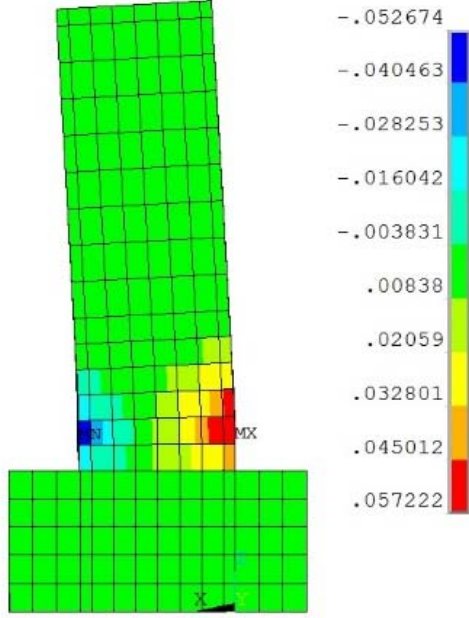
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



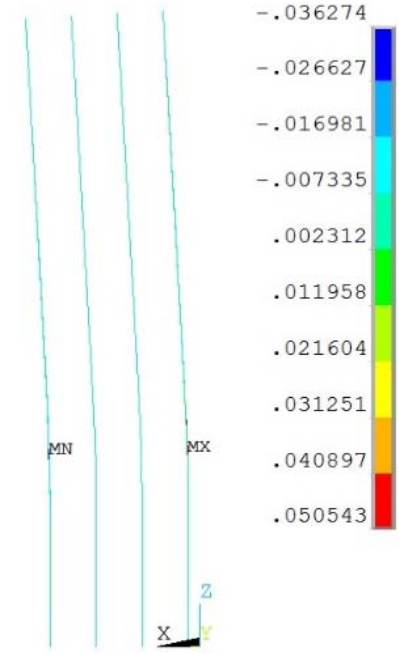
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



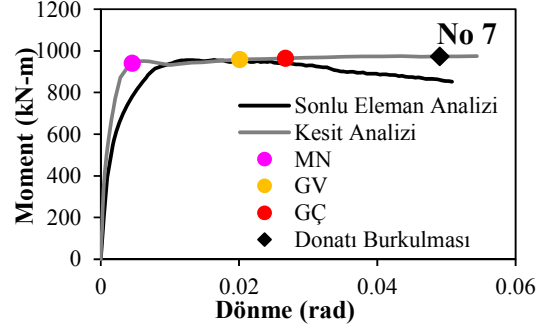
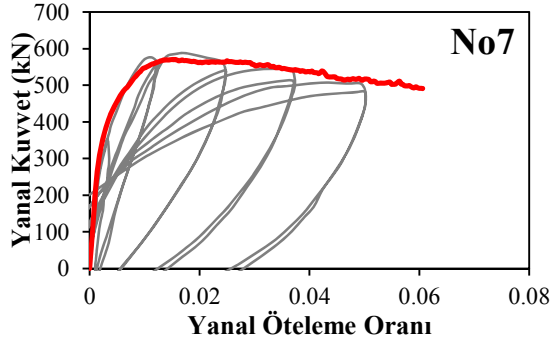
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



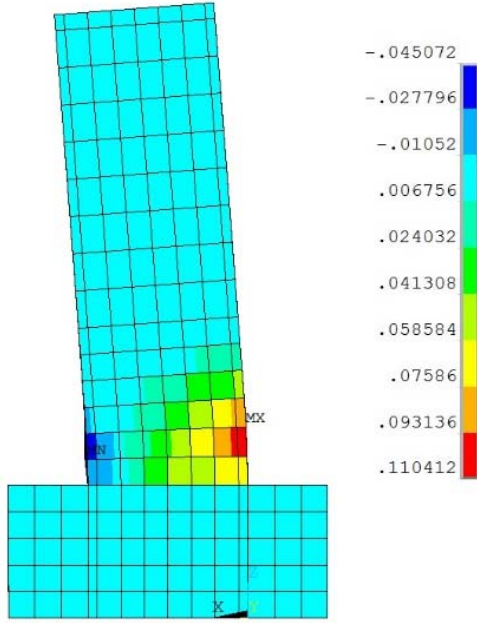
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



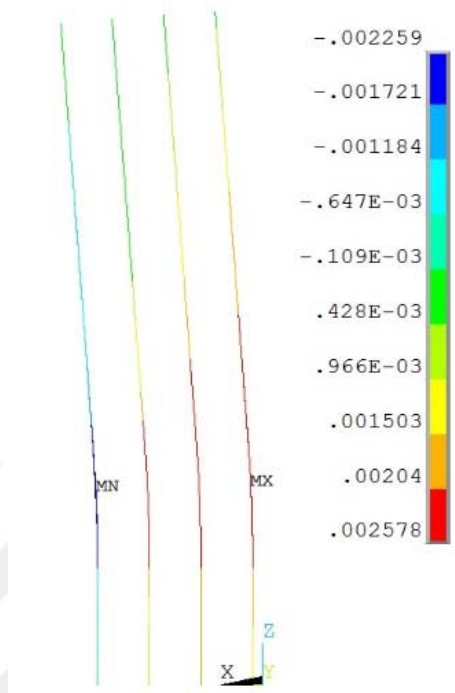
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



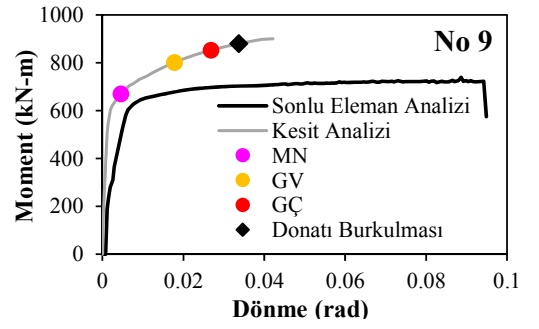
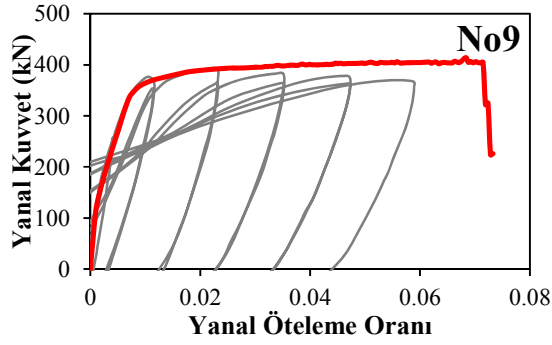
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



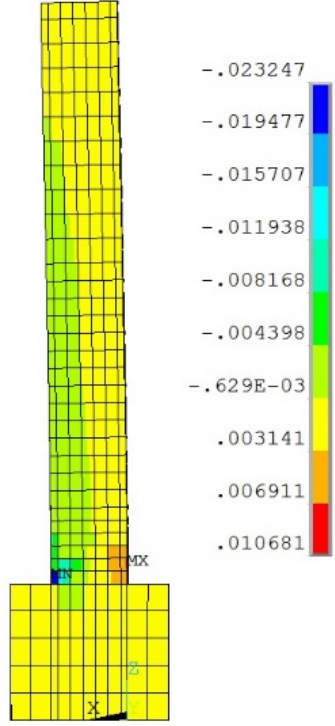
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



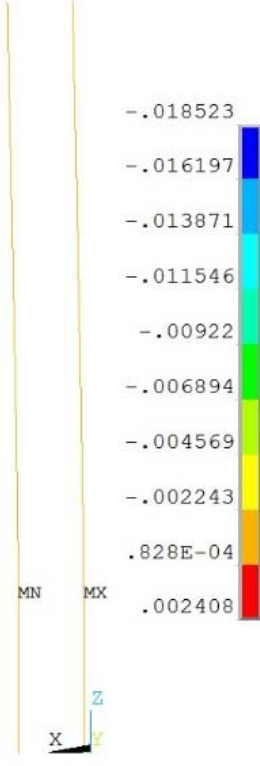
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



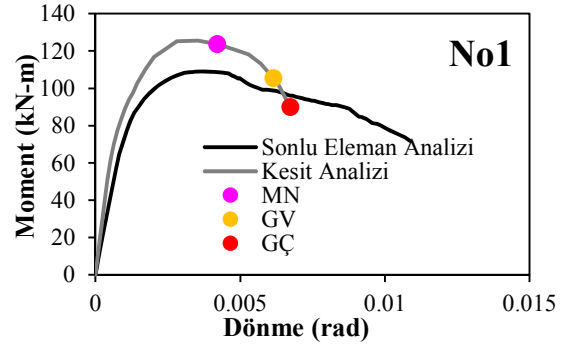
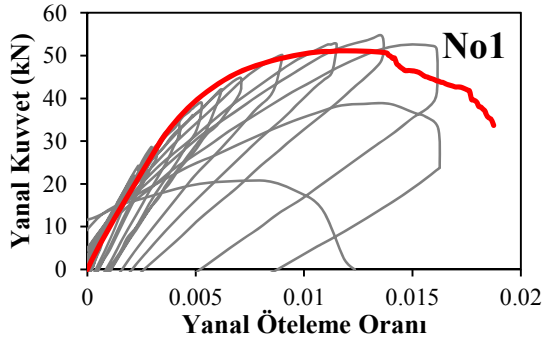
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



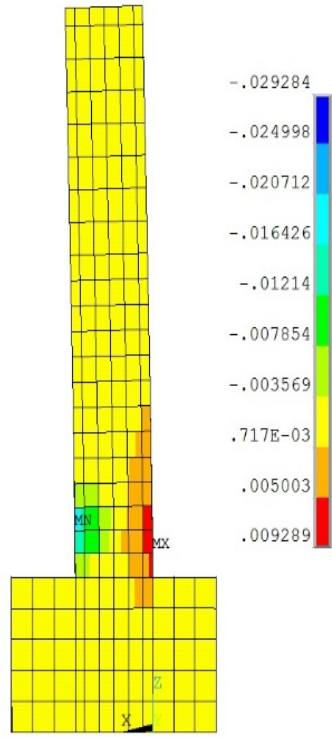
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



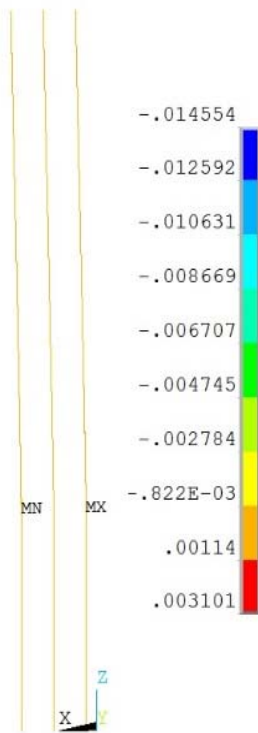


Bayrak and Sheikh ES-1HT

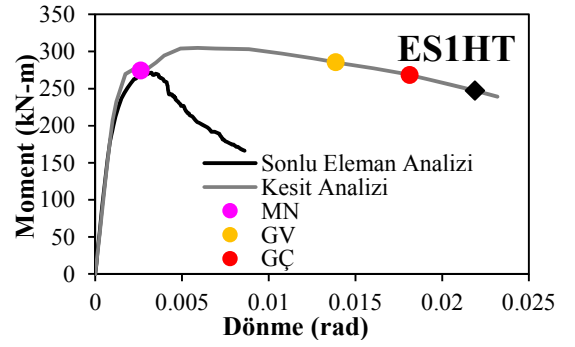
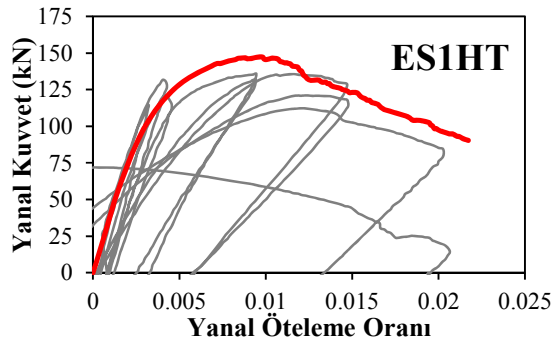
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler

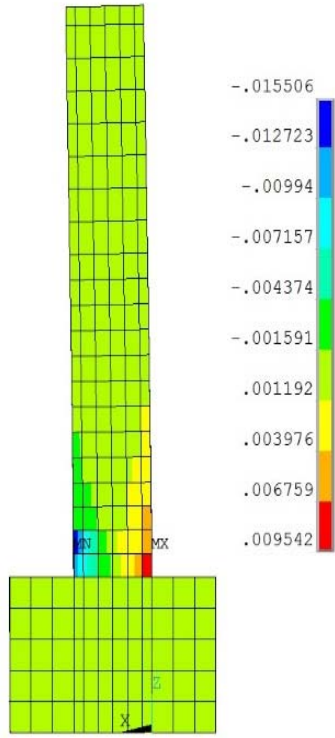


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler

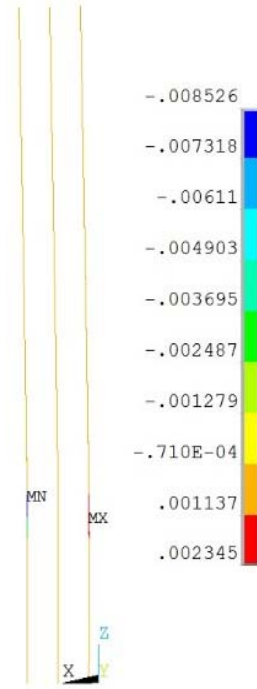


Bayrak and Sheikh AS-2HT

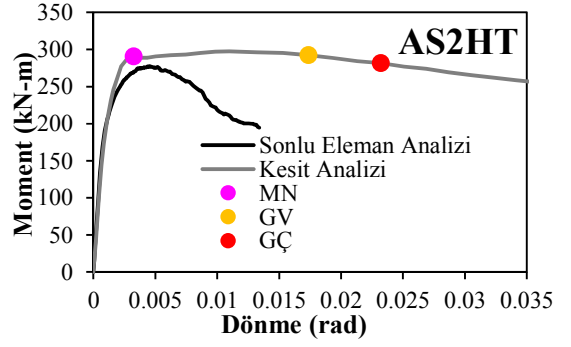
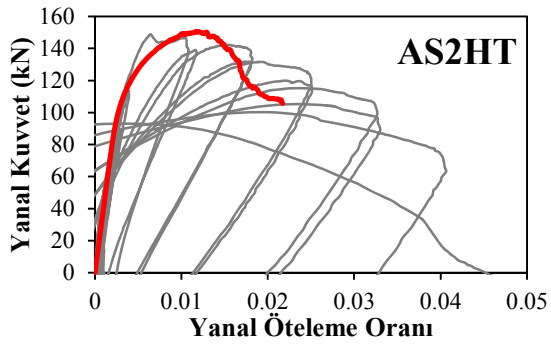
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

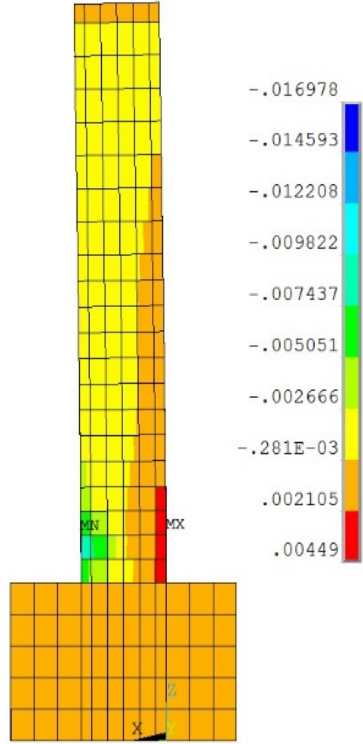


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

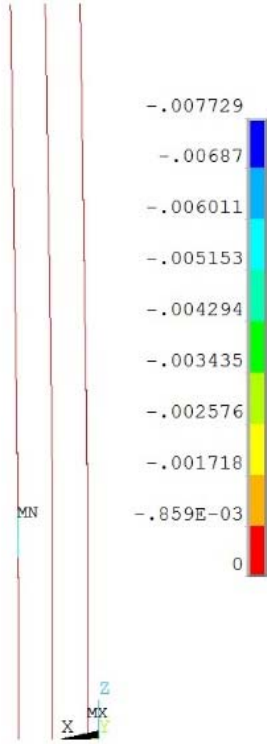


Bayrak and Sheikh AS-3HT

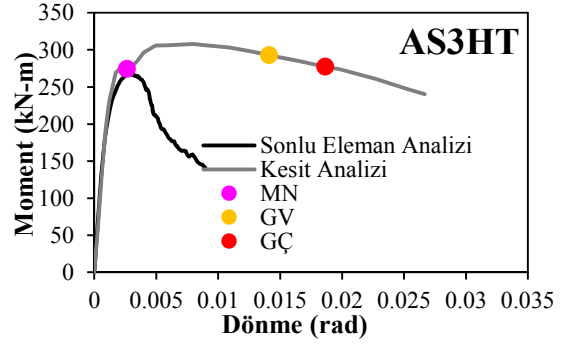
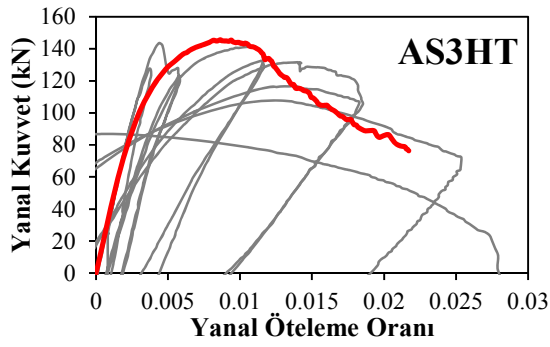
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



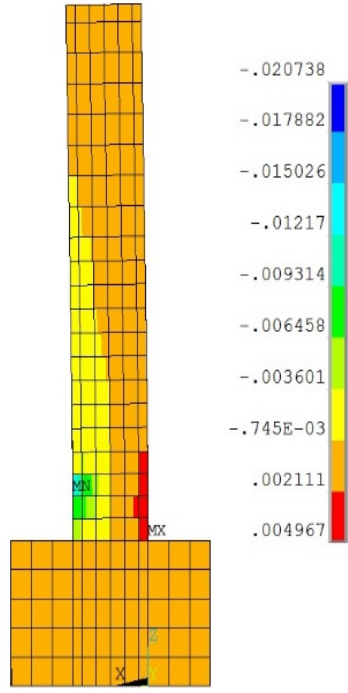
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



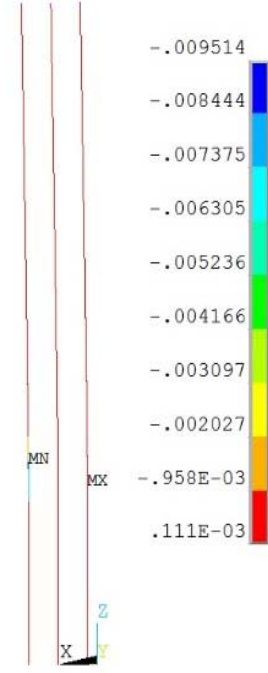
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



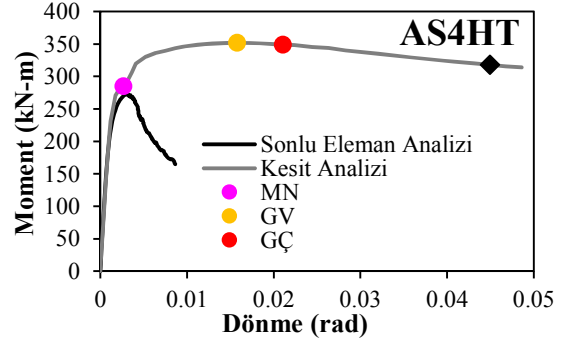
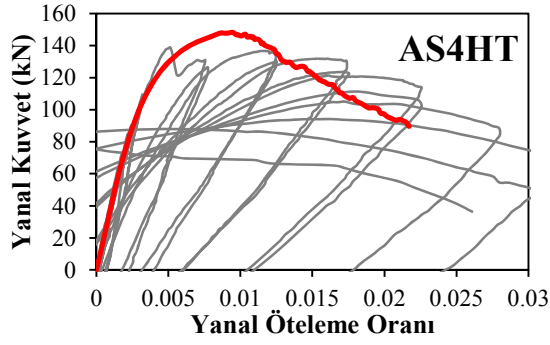
Bayrak and Sheikh AS-4HT  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

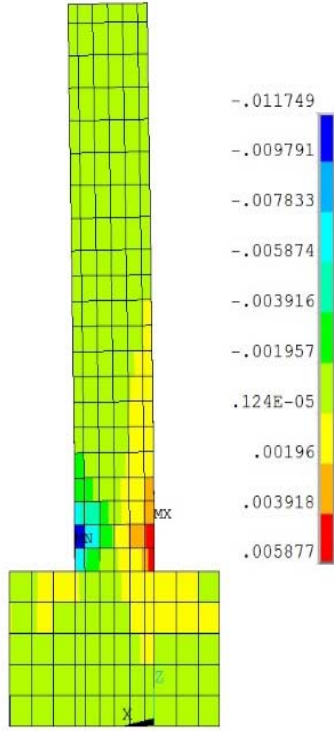


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

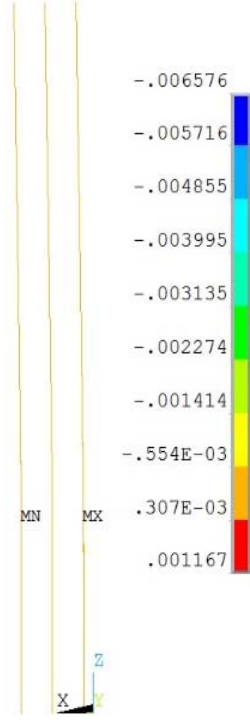


Bayrak and Sheikh AS-5HT

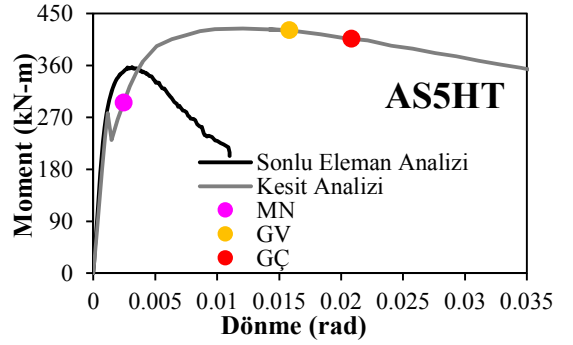
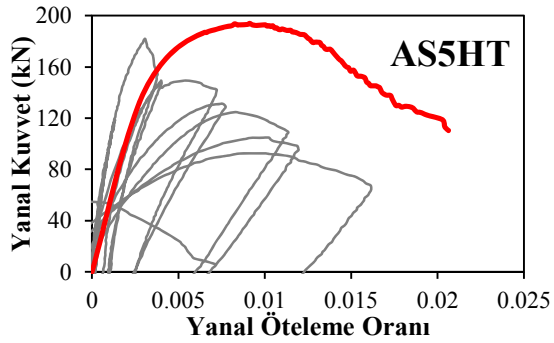
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

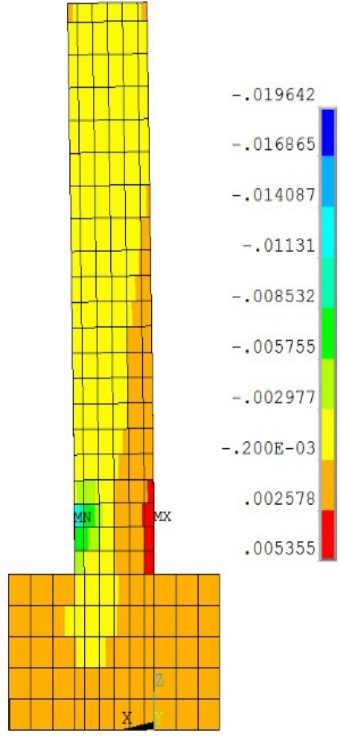


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

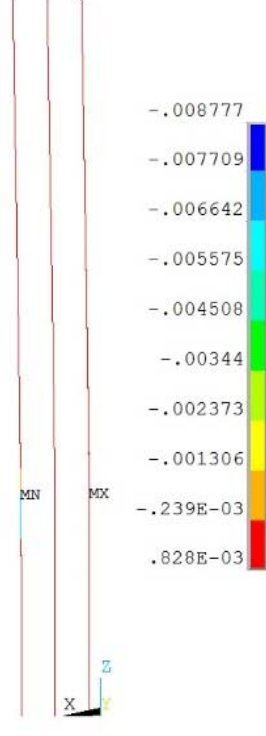


Bayrak and Sheikh AS-6HT

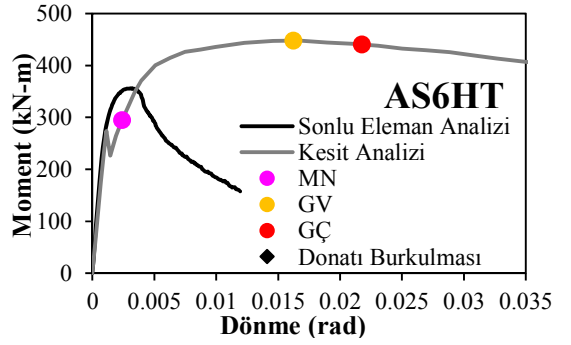
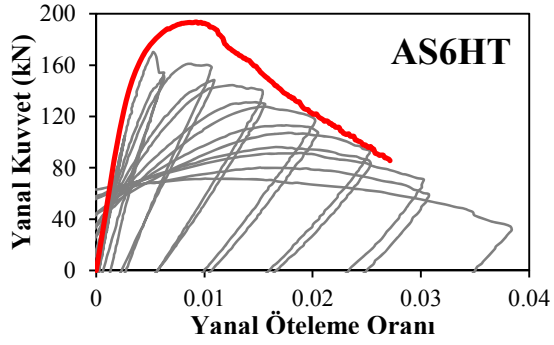
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

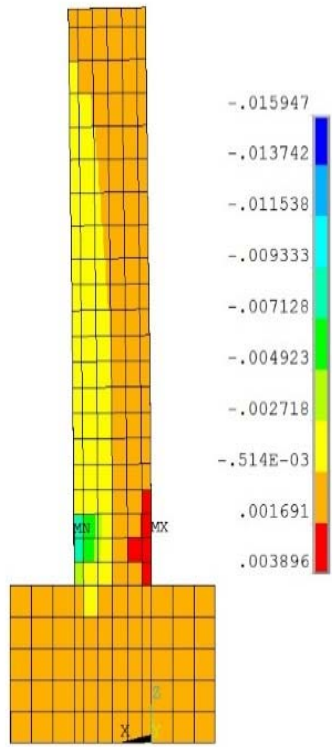


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

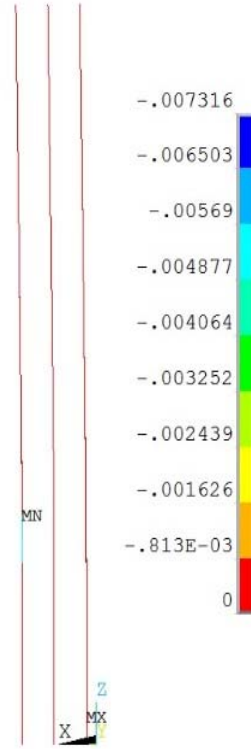


Bayrak and Sheikh AS-7HT

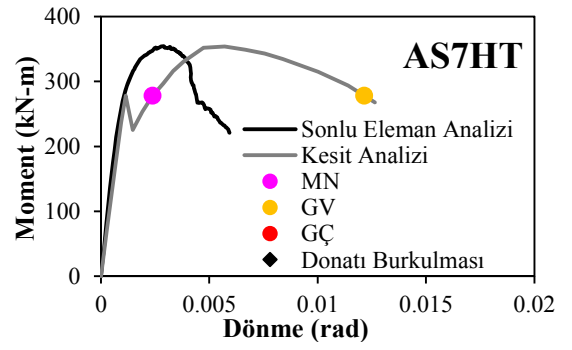
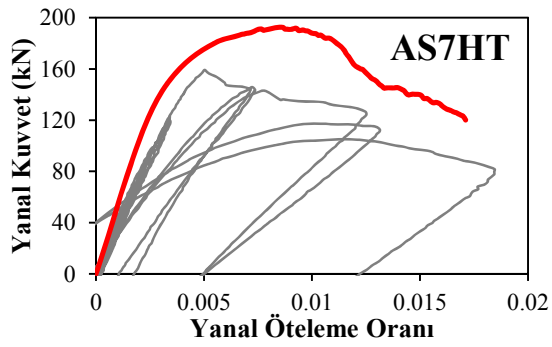
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

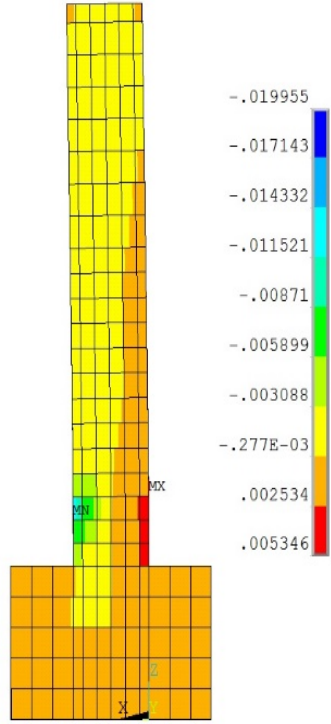


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

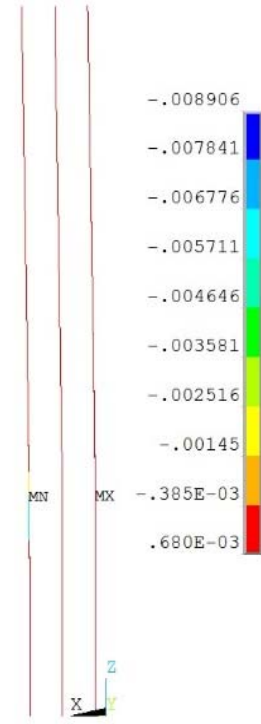


Bayrak and Sheikh ES-8HT

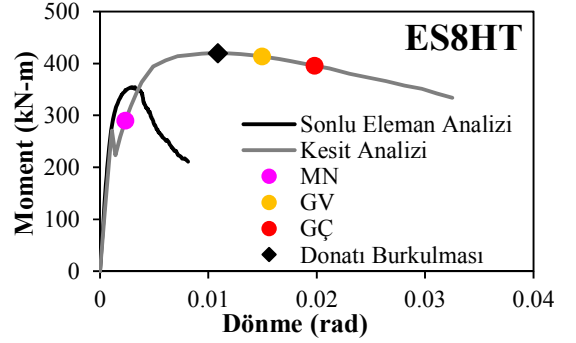
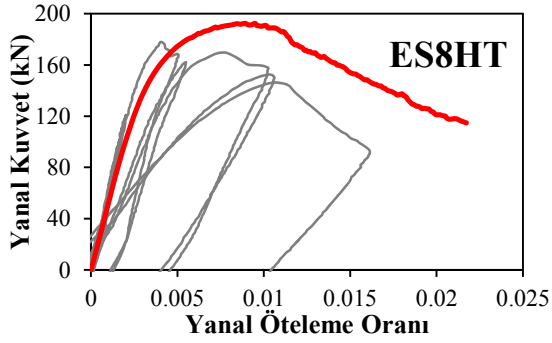
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

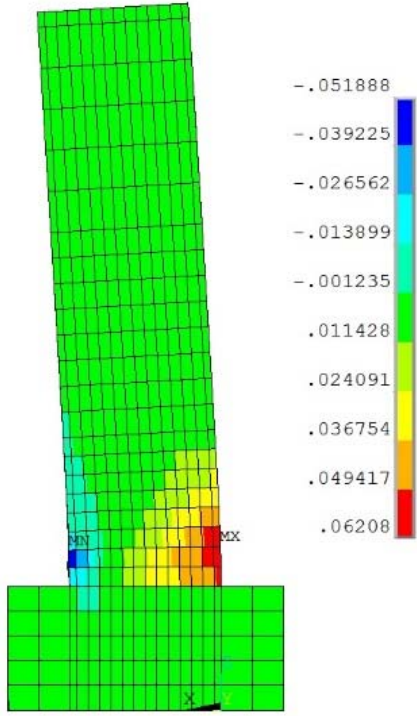


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

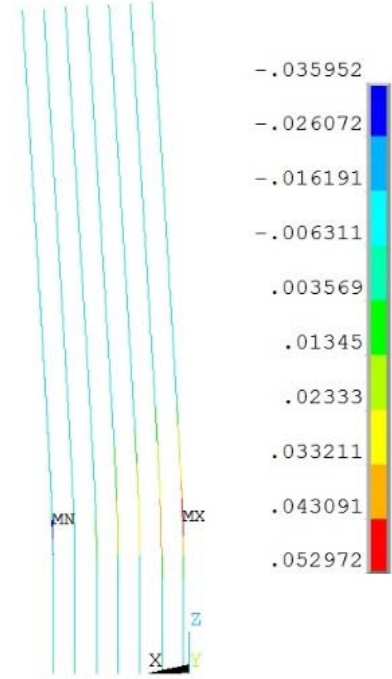




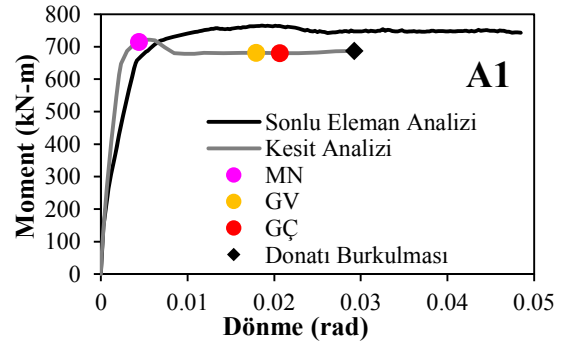
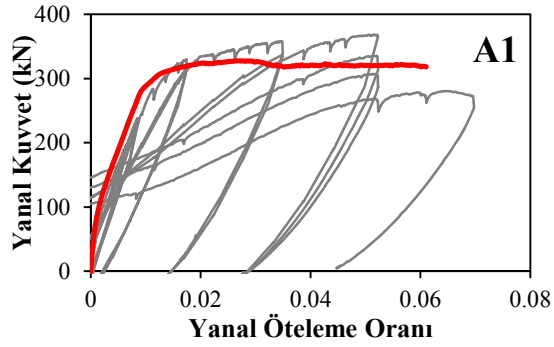
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



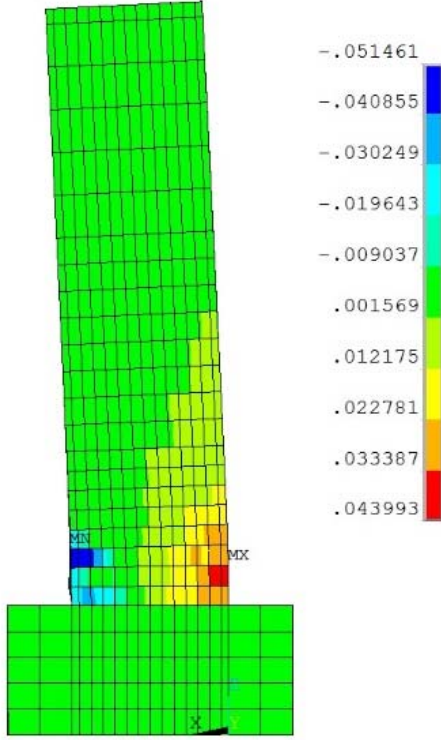
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



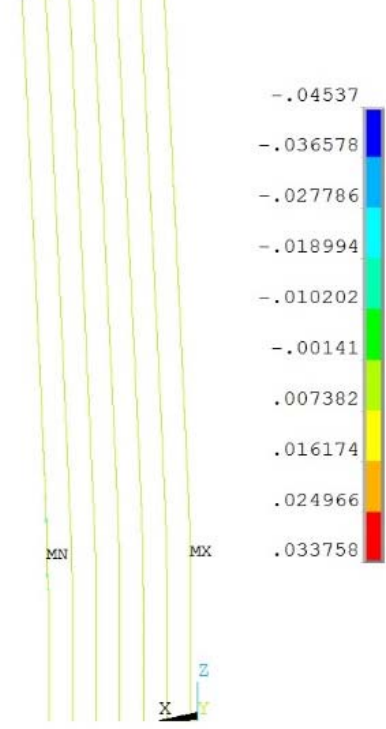
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



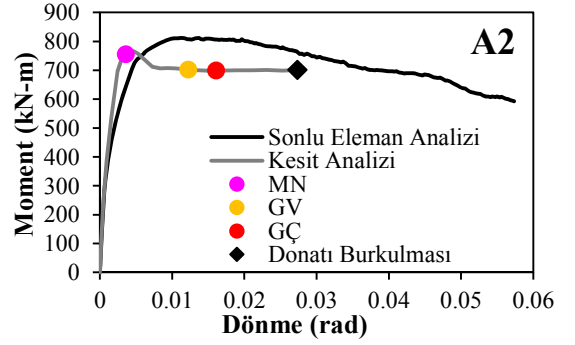
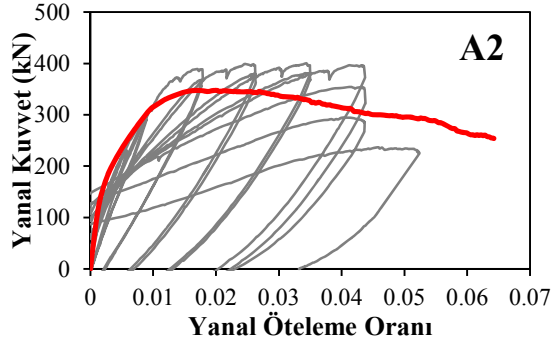
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



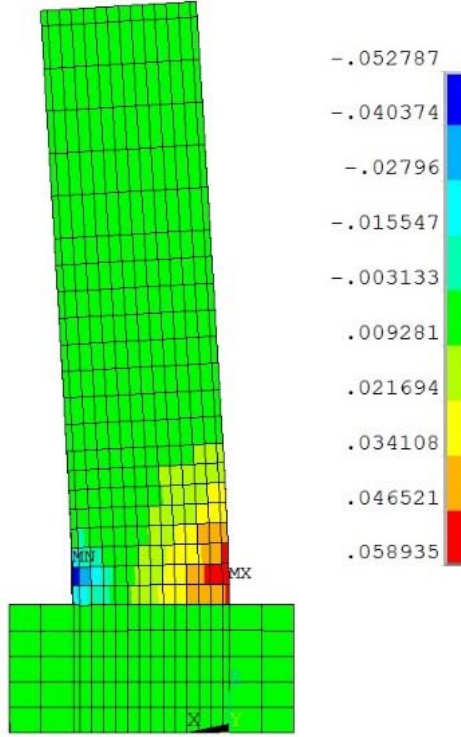
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



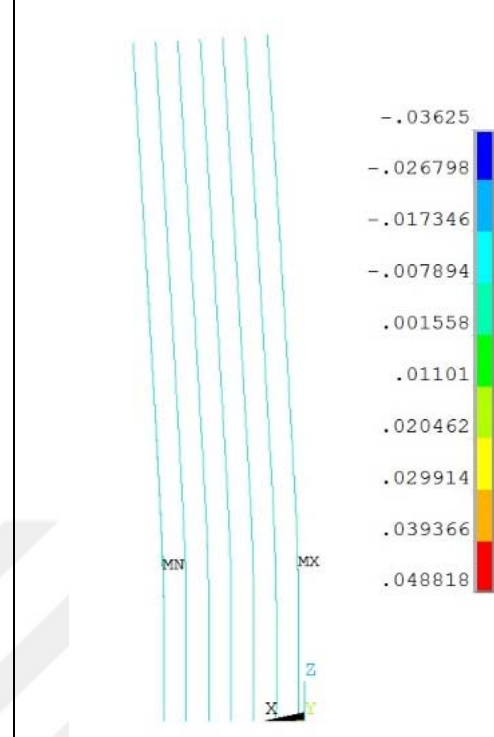
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



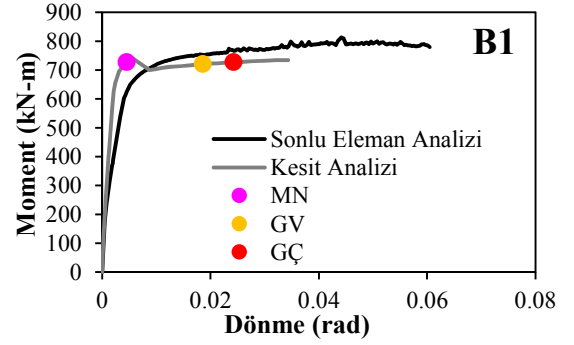
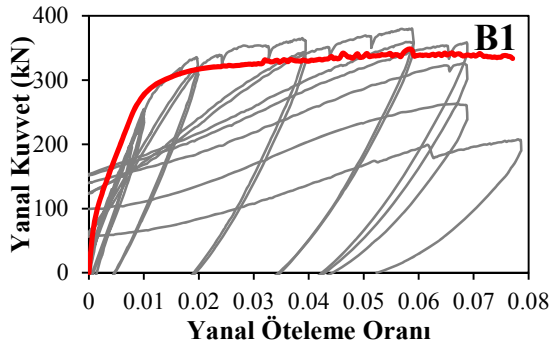
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



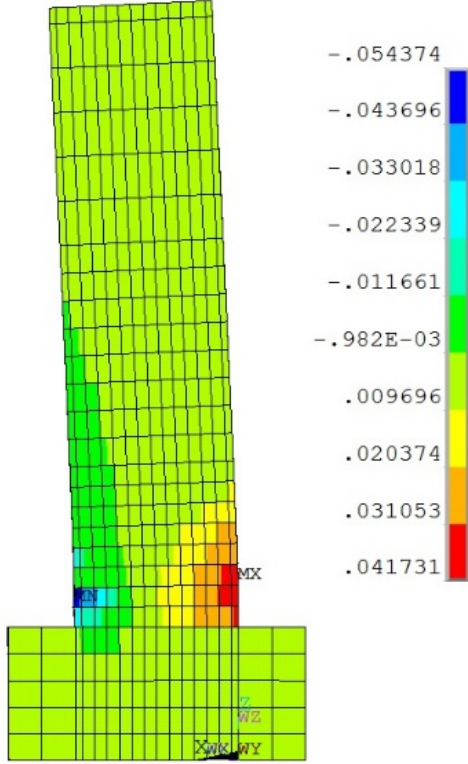
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



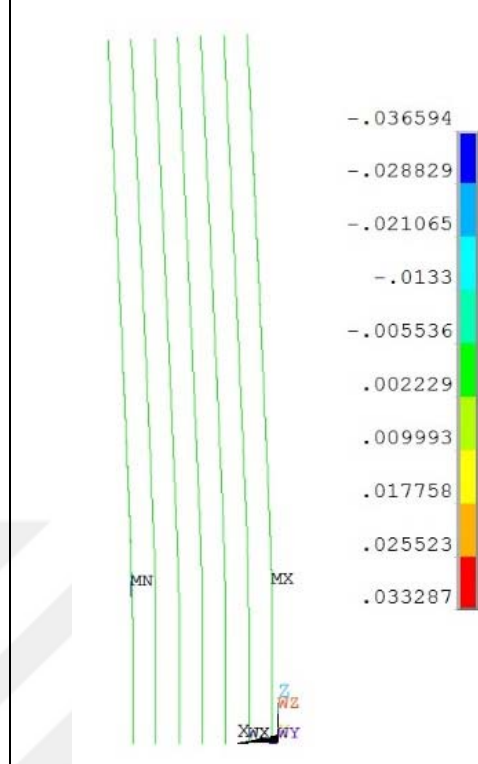
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



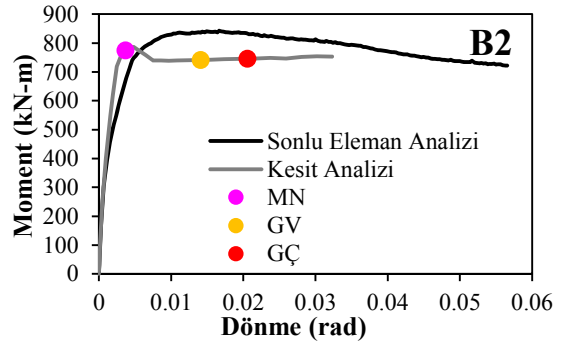
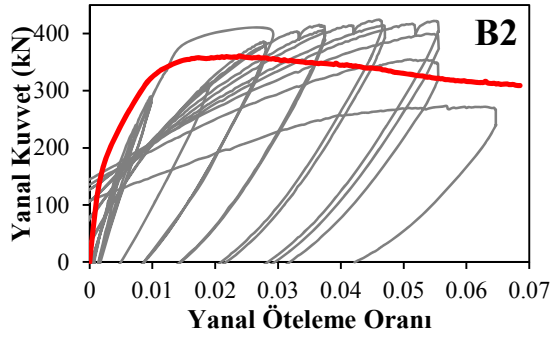
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



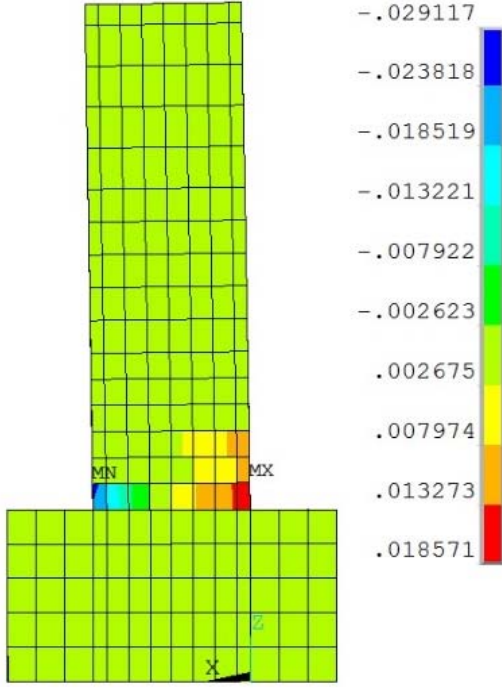
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



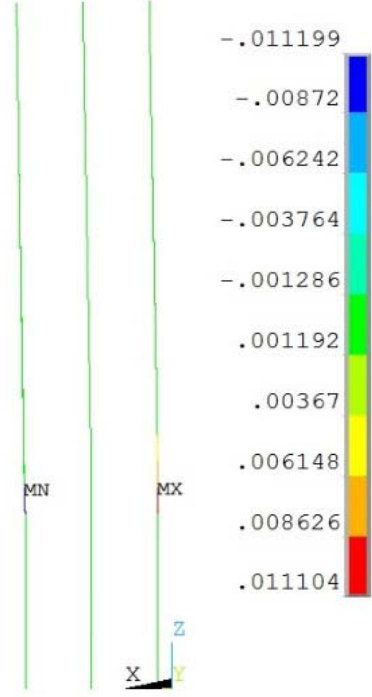
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



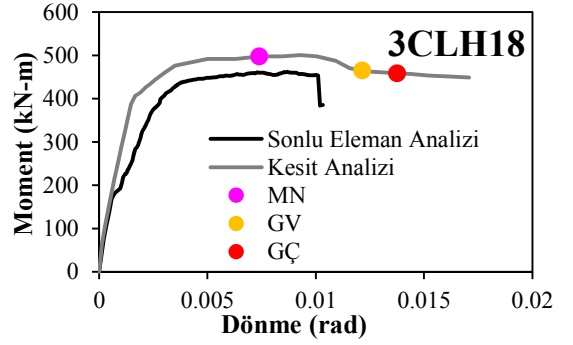
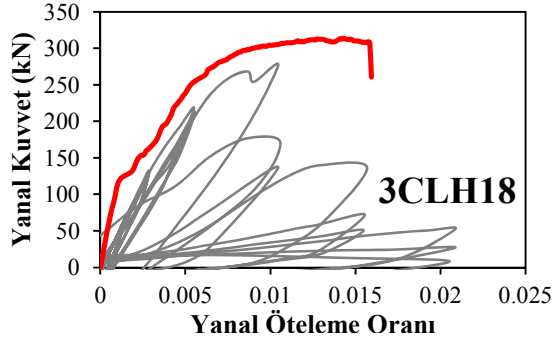
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



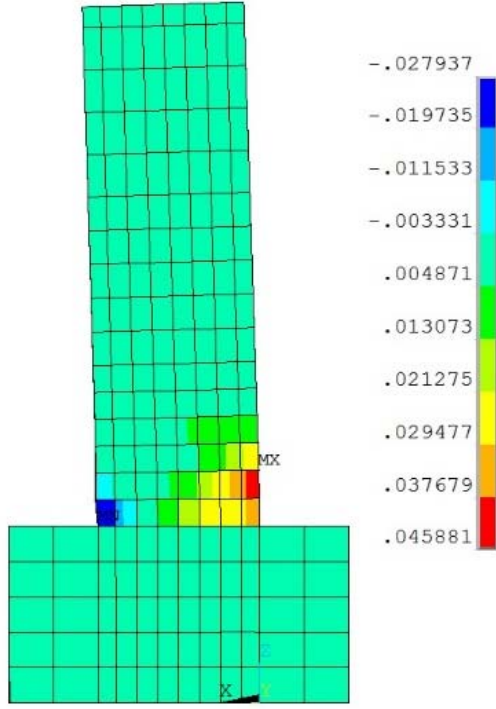
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



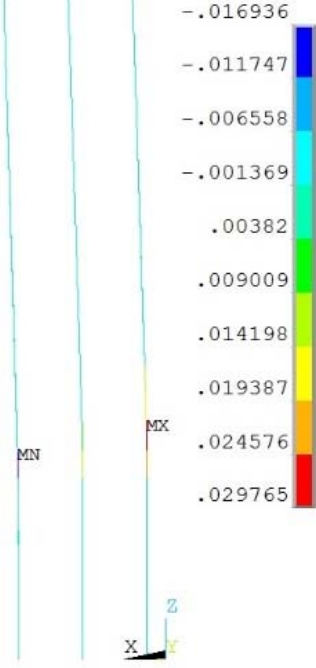
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



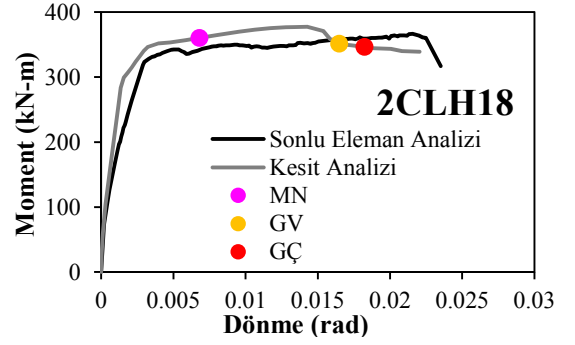
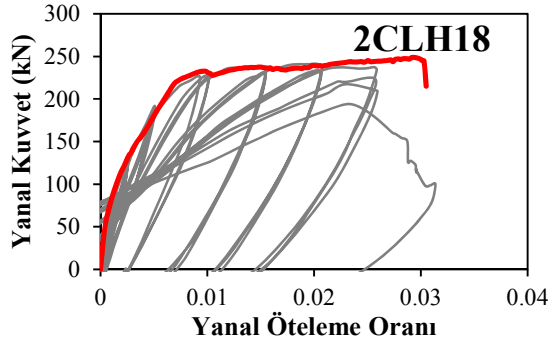
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



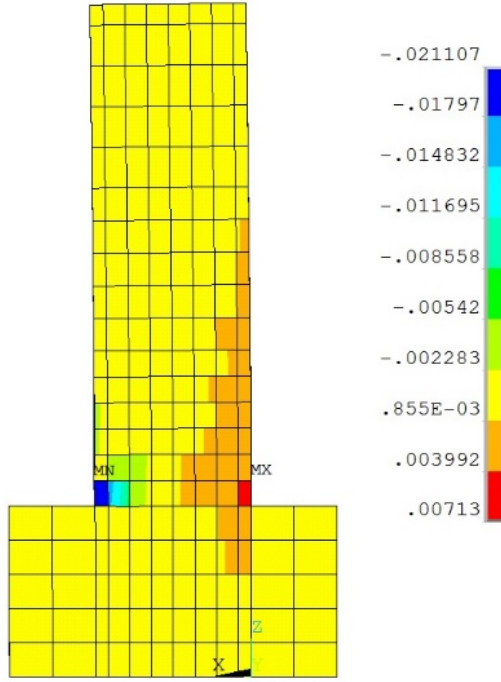
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler



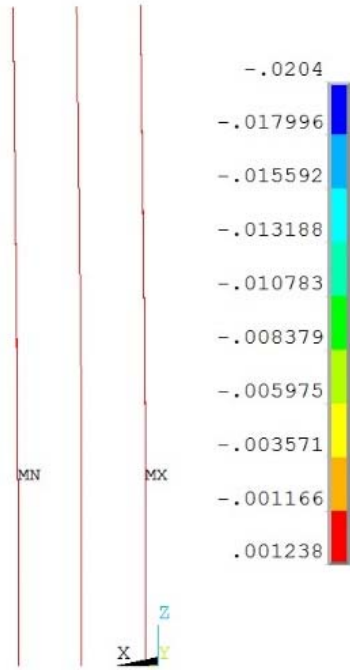
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler



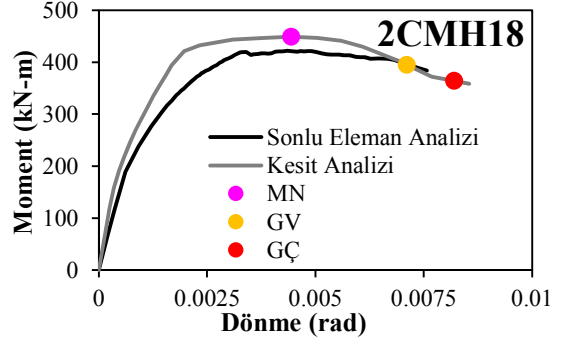
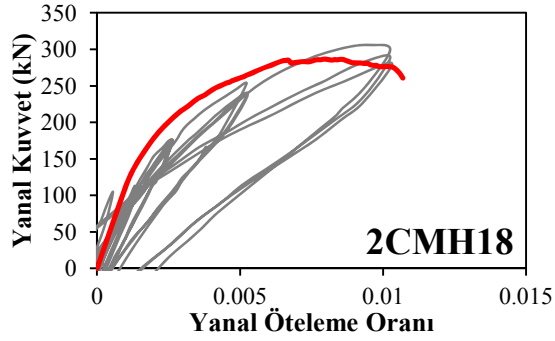
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



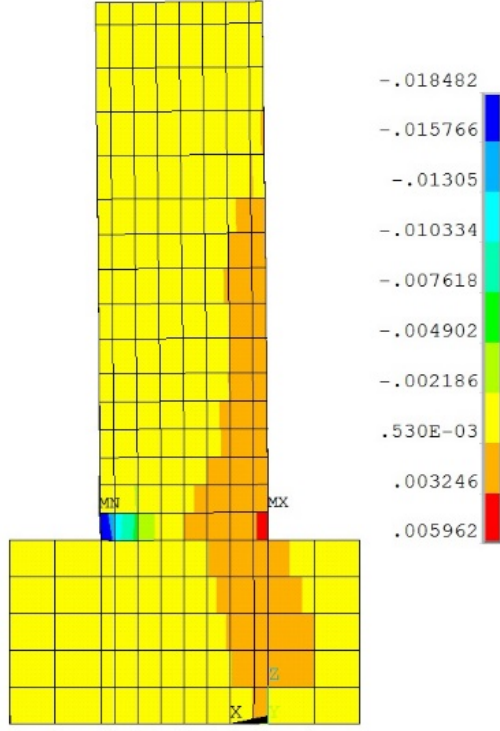
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



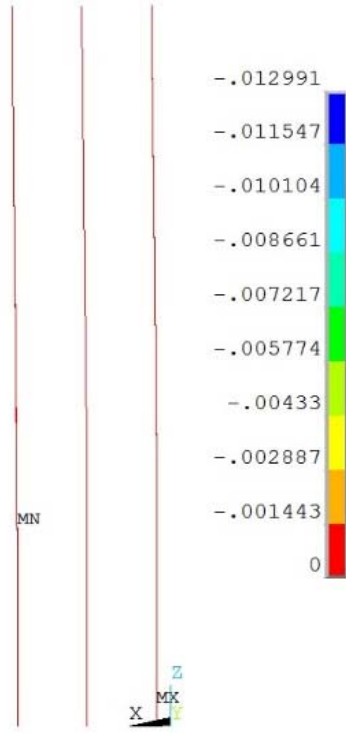
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



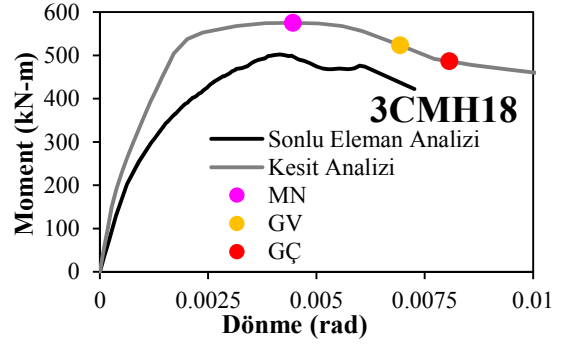
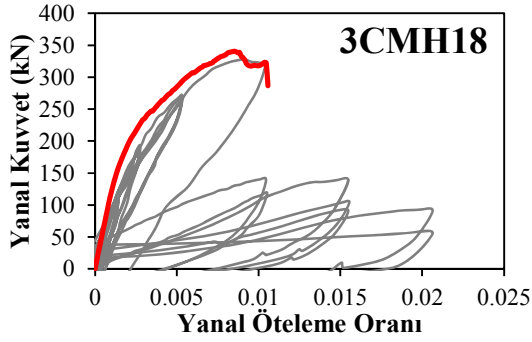
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

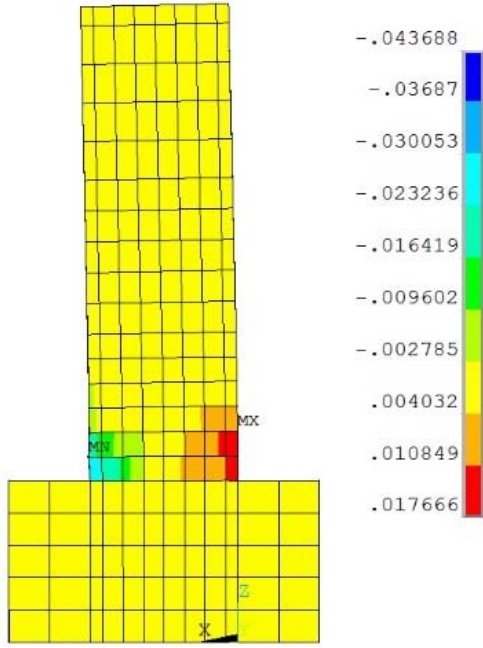


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

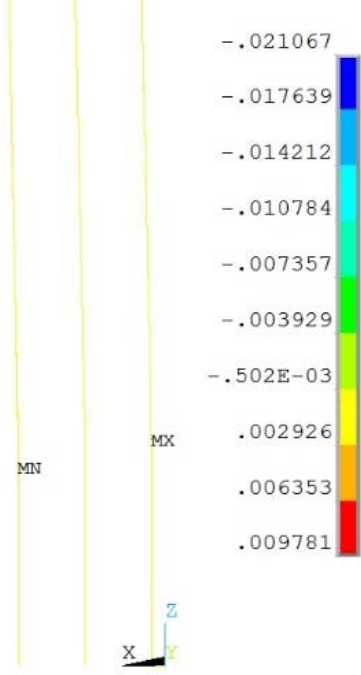




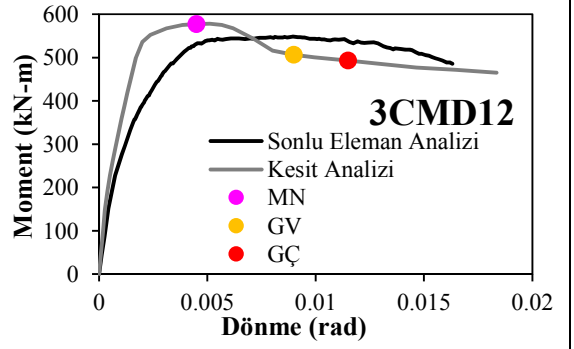
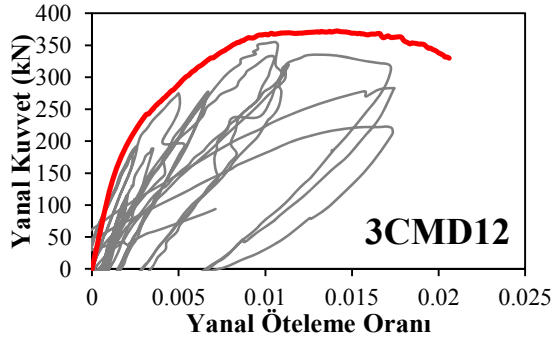
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



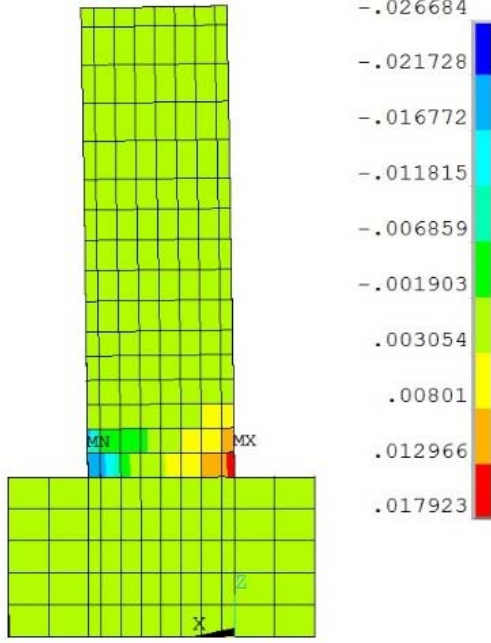
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



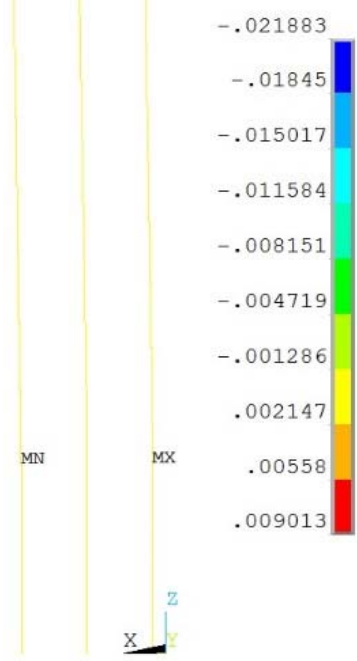
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



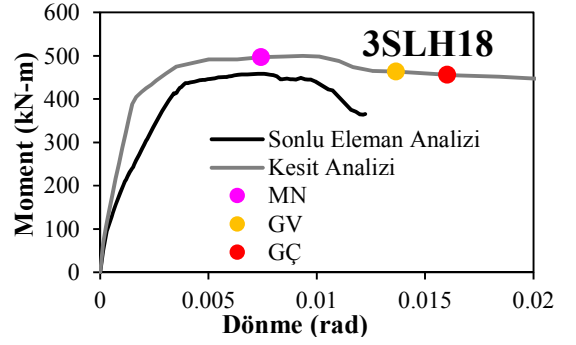
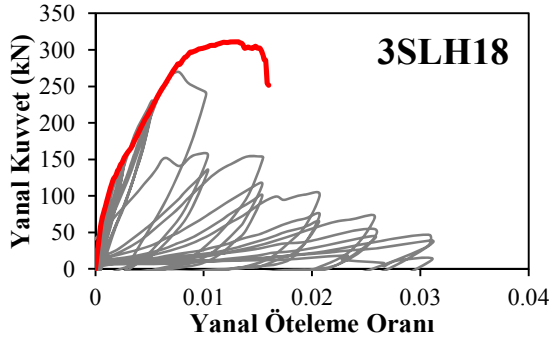
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



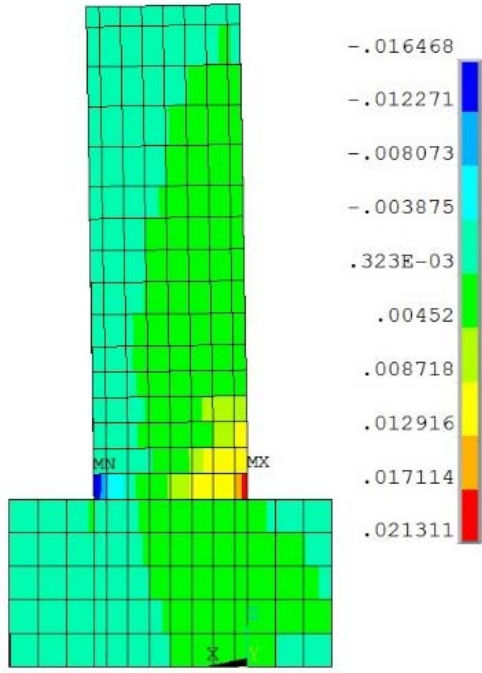
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



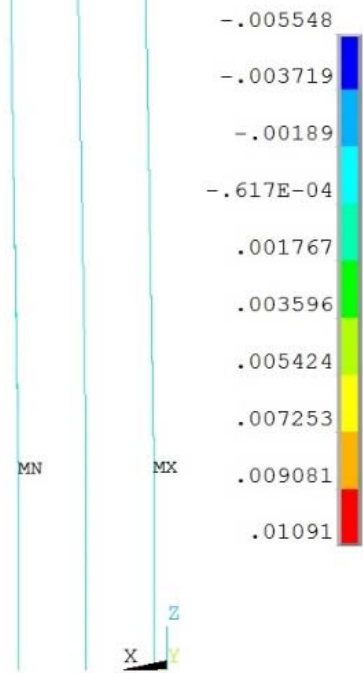
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



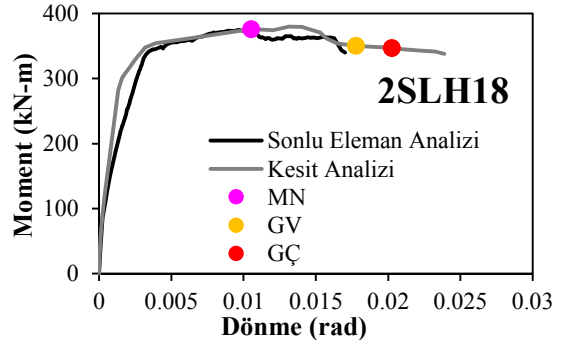
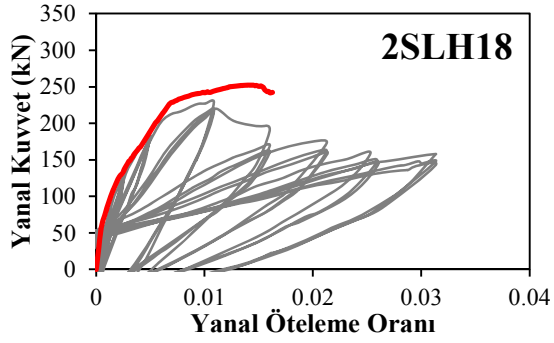
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



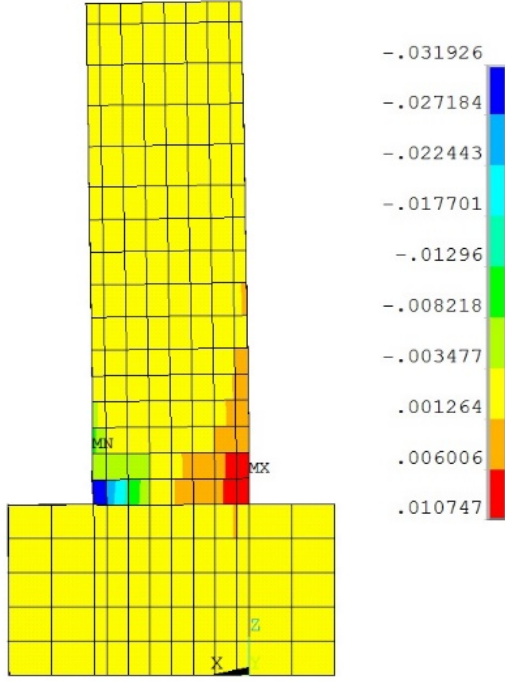
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



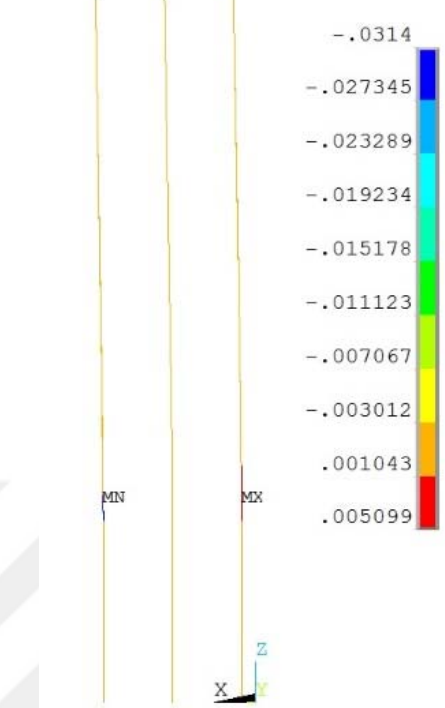
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



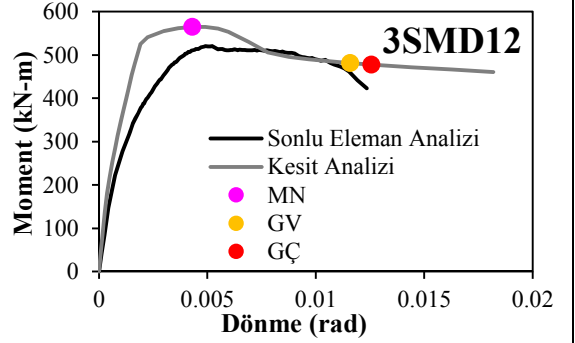
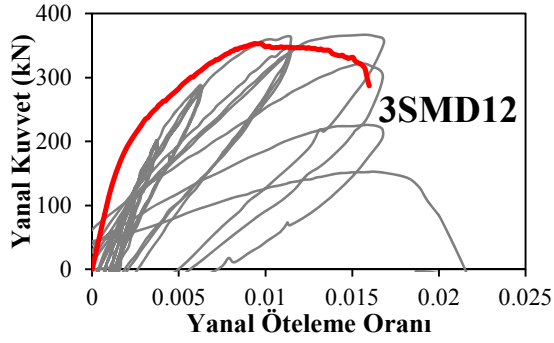
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



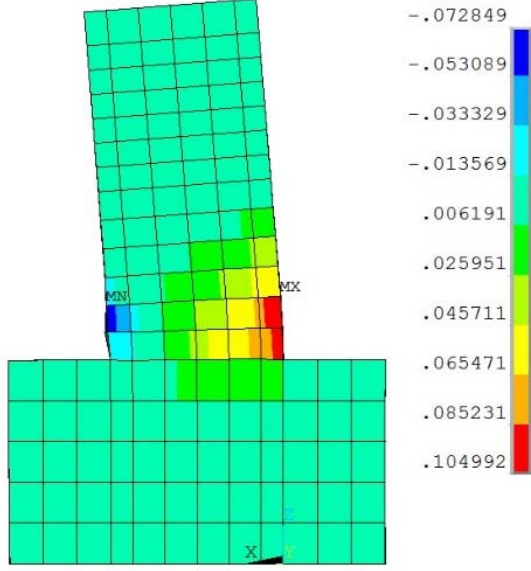
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



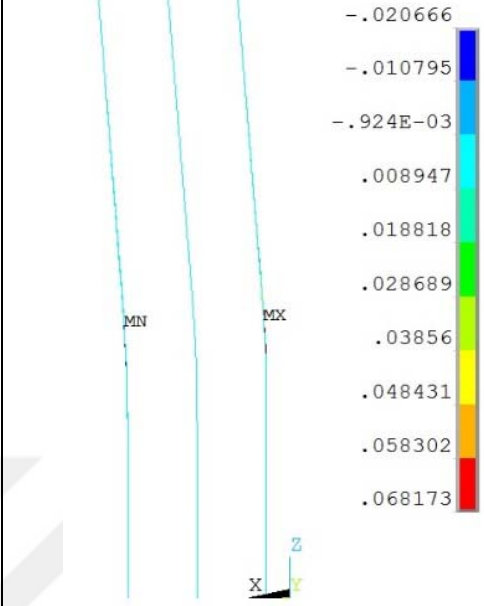
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



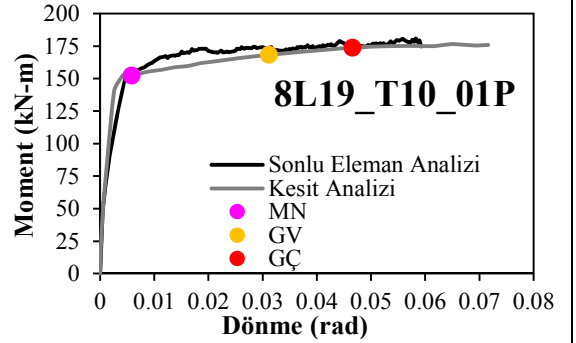
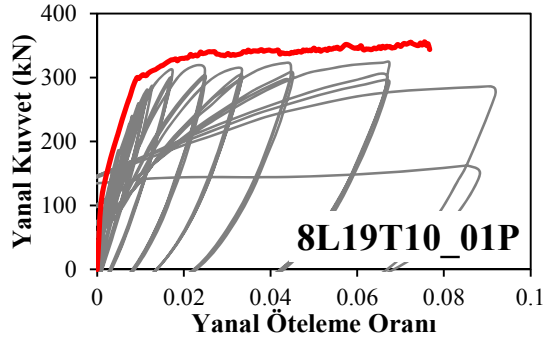
Xiao and Martirosyan\_8L19\_T10\_01P  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



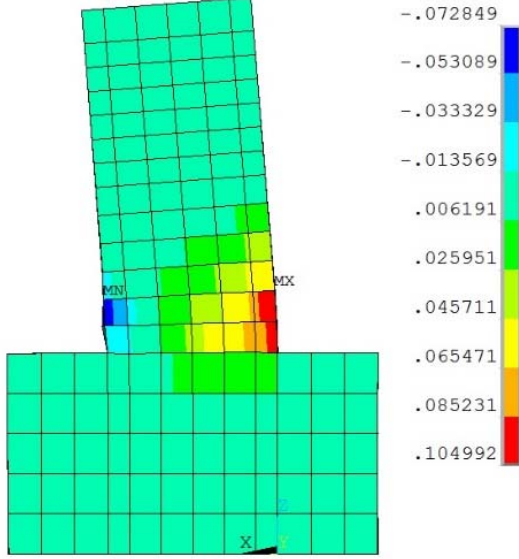
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



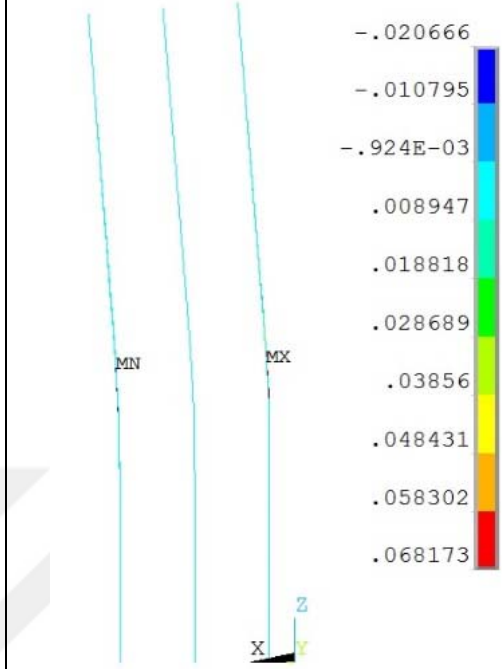
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



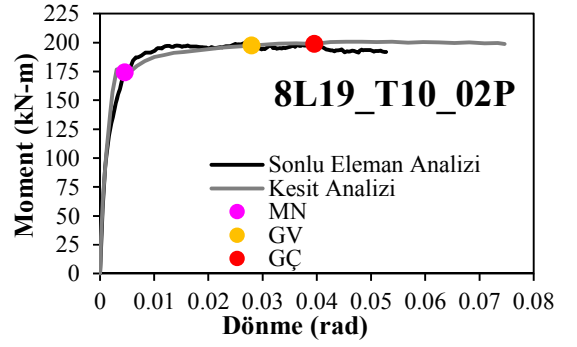
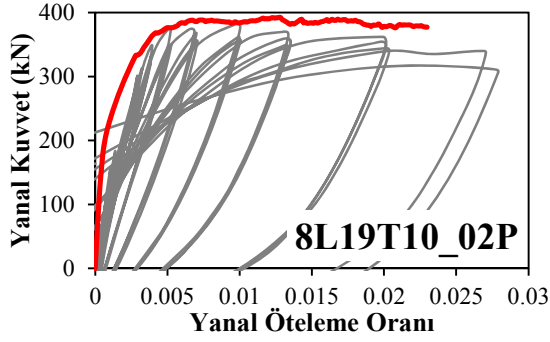
Xiao and Martirosyan\_8L19\_T10\_02P  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



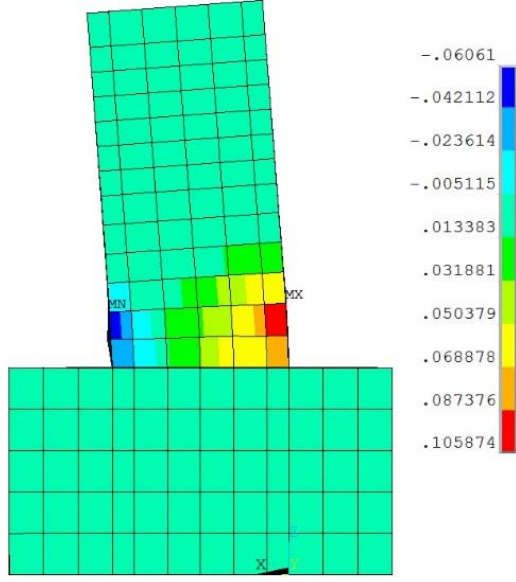
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



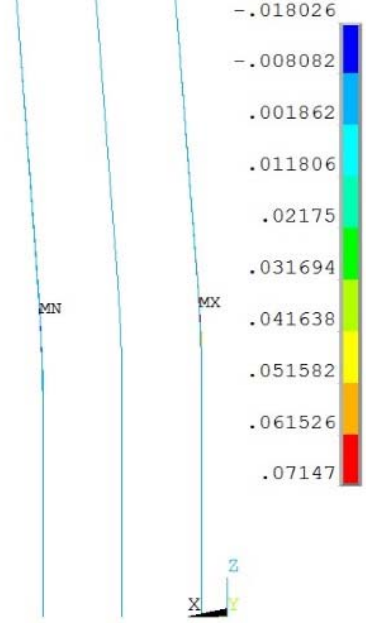
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



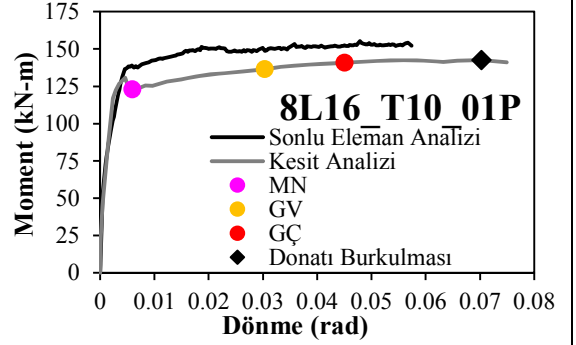
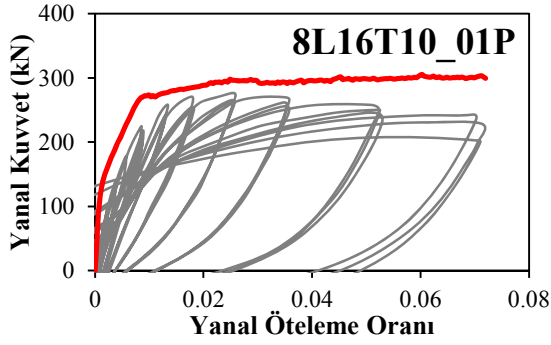
Xiao and Martirosyan\_8L16\_T10\_01P  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



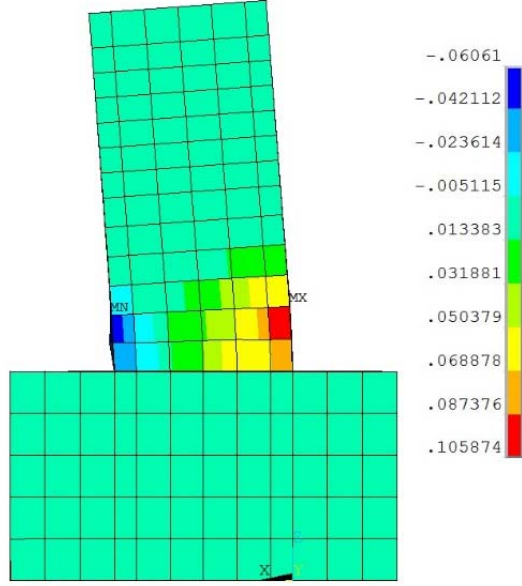
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



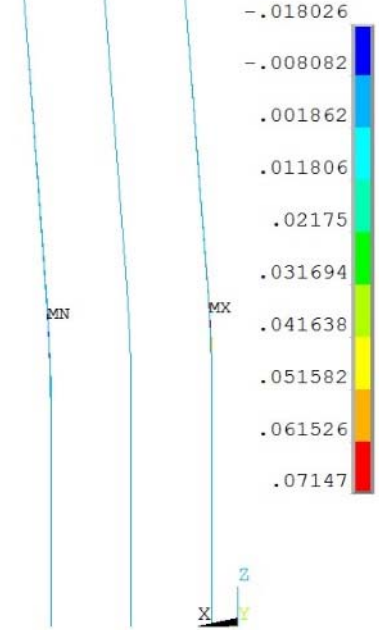
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



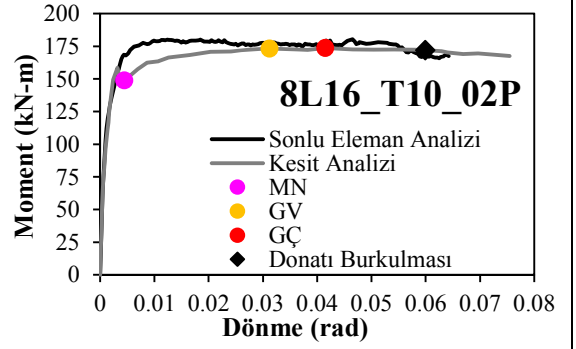
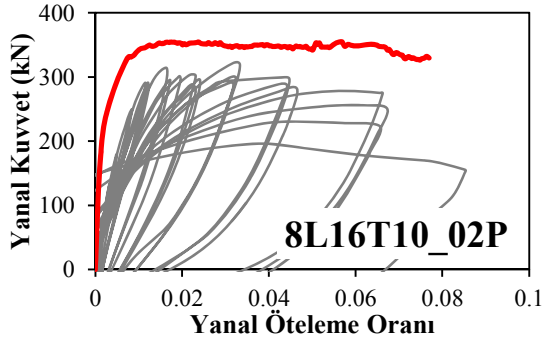
Xiao and Martirosyan\_8L16\_T10\_02P  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

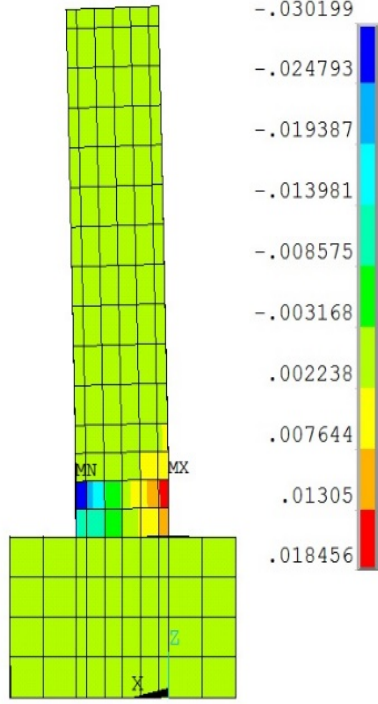


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

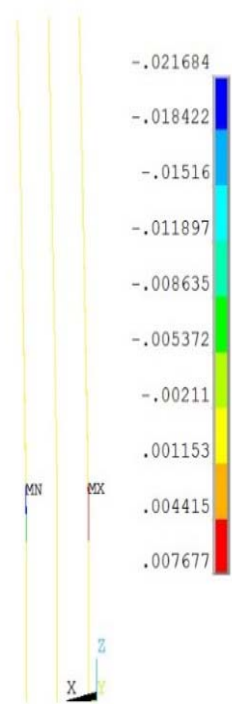




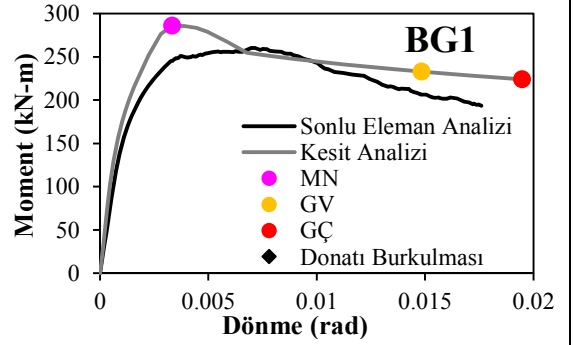
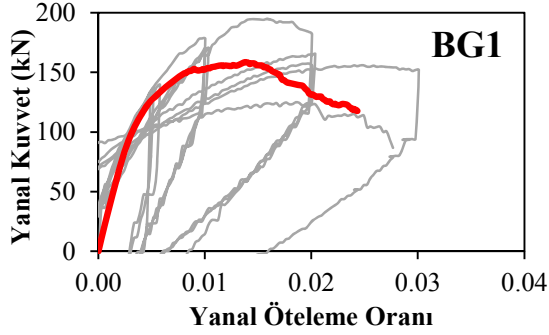
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



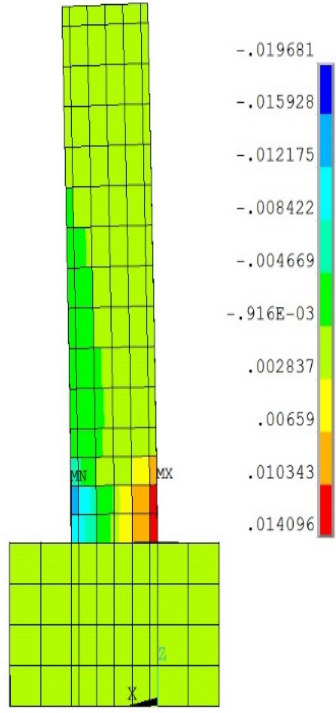
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



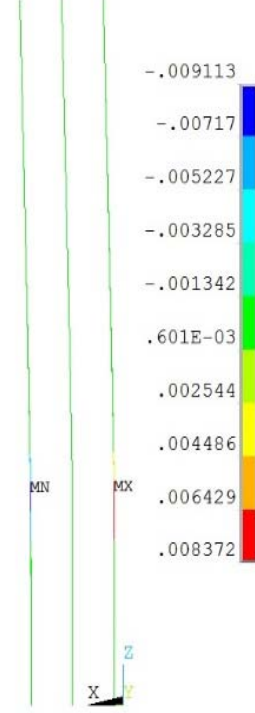
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



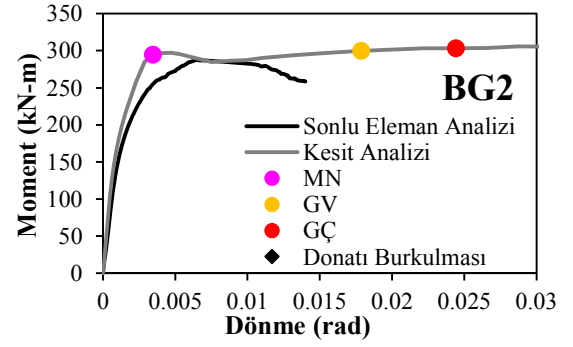
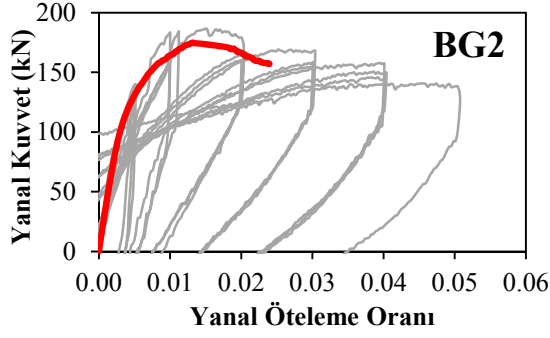
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



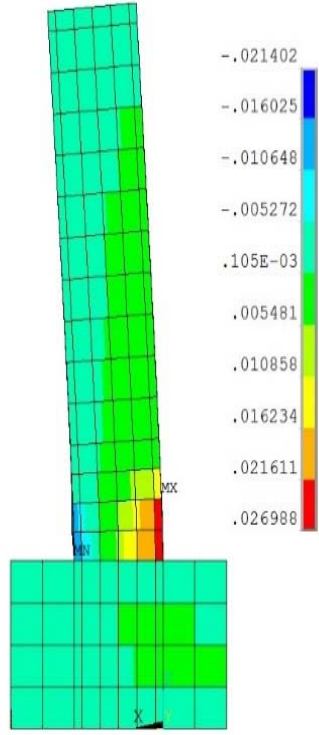
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



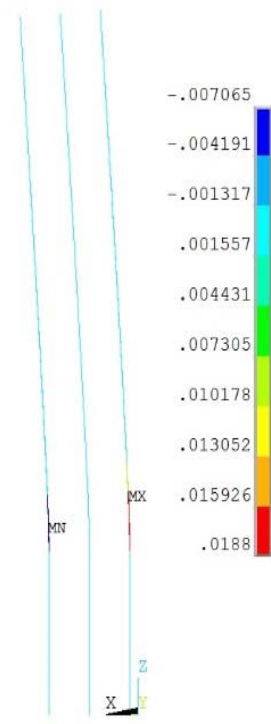
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



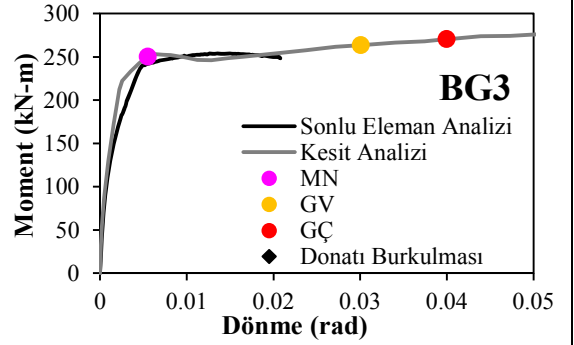
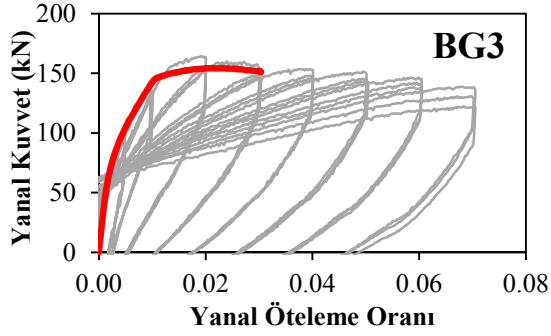
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



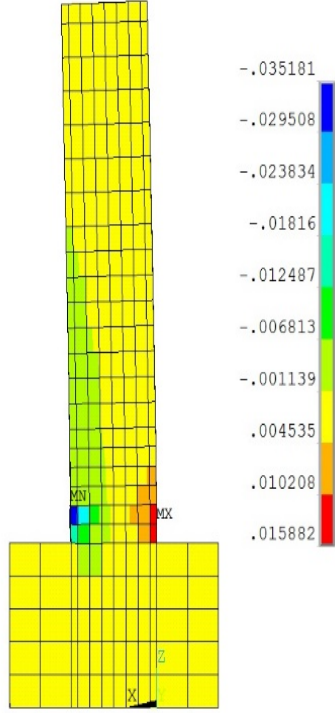
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



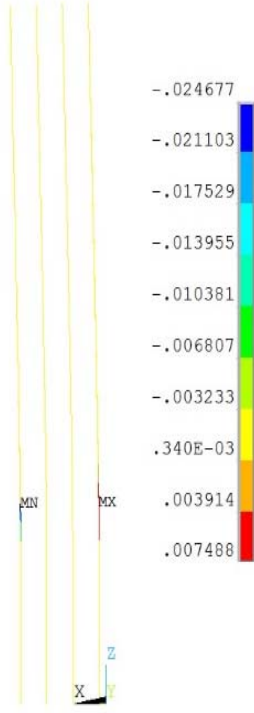
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



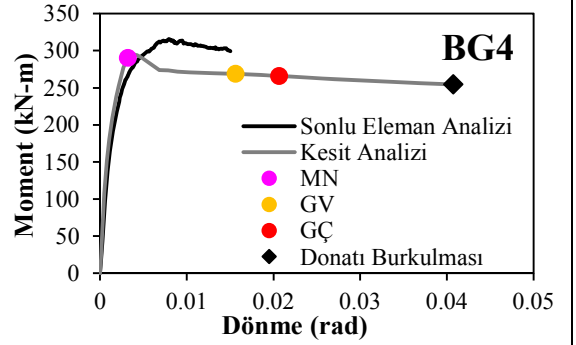
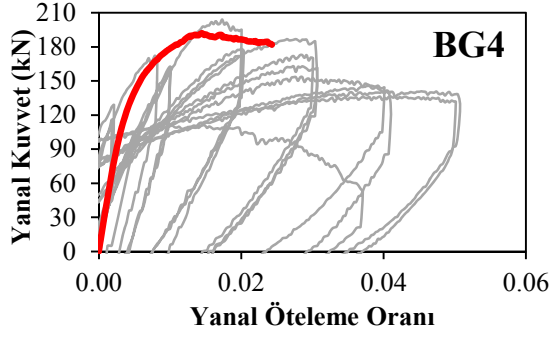
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



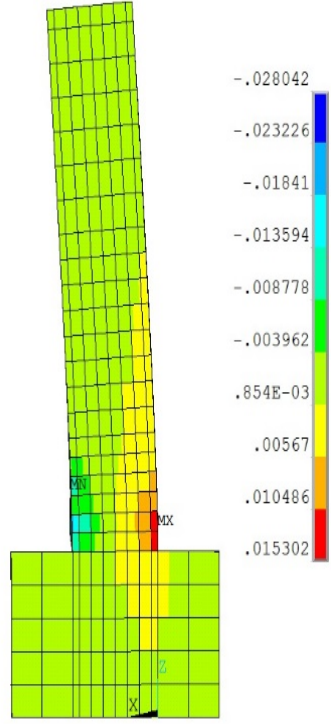
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler



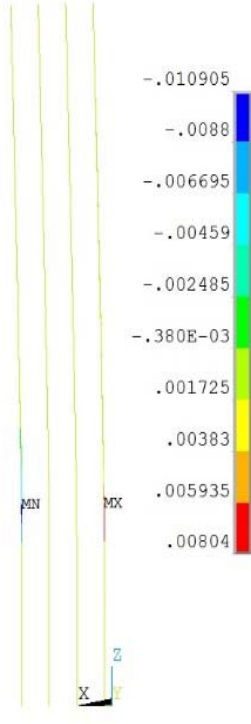
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişirmeler



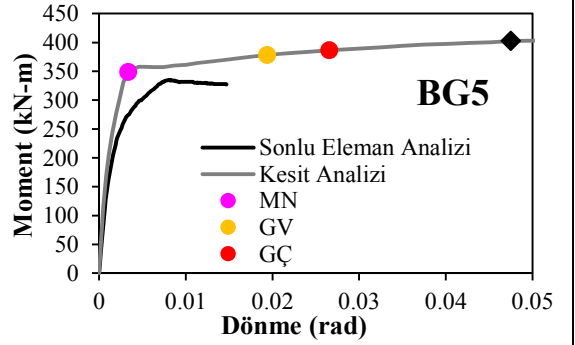
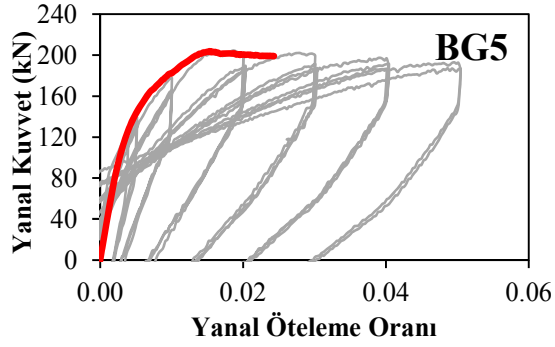
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



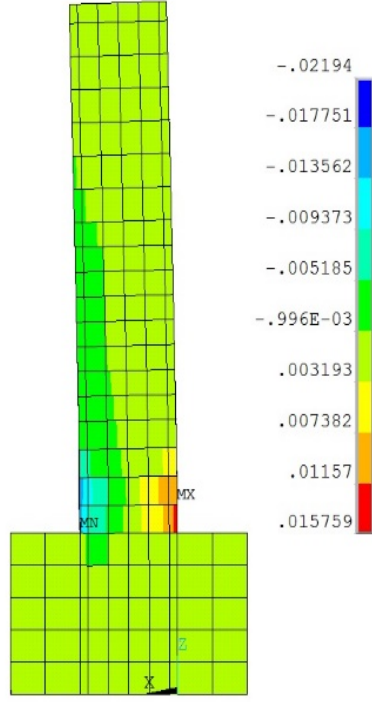
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



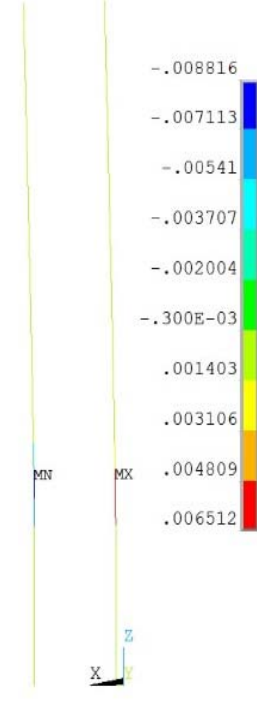
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



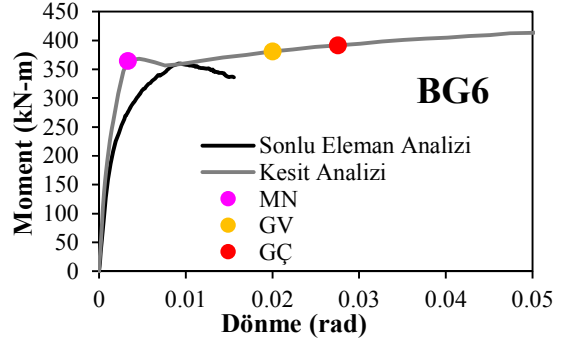
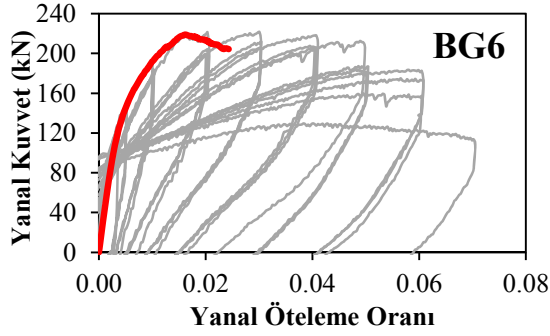
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



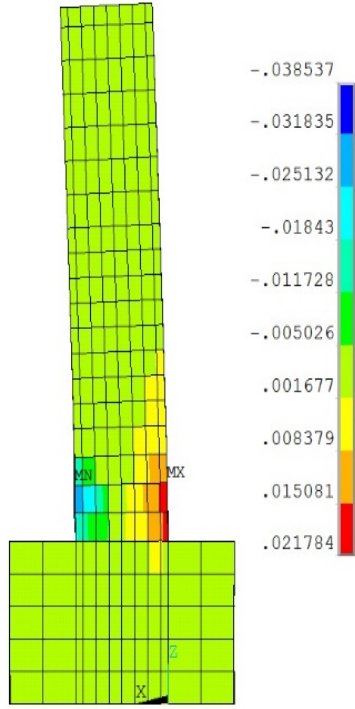
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



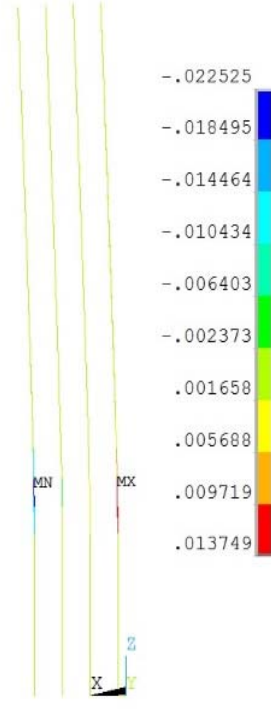
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



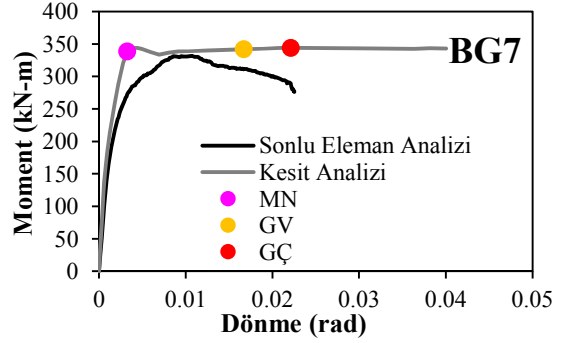
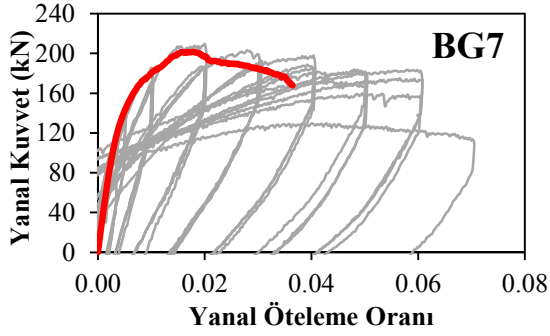
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



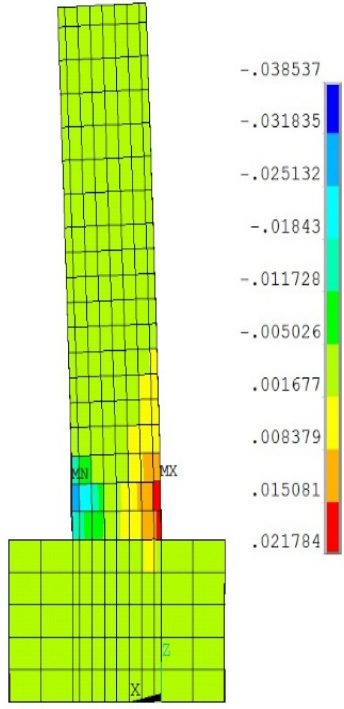
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



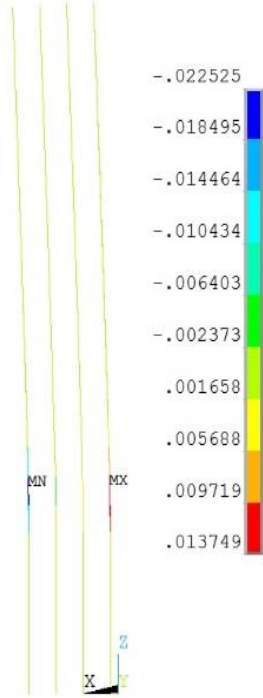
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



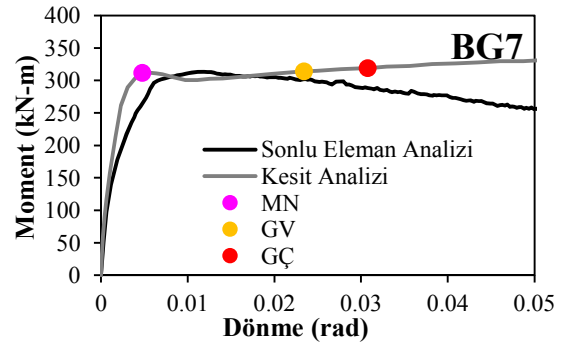
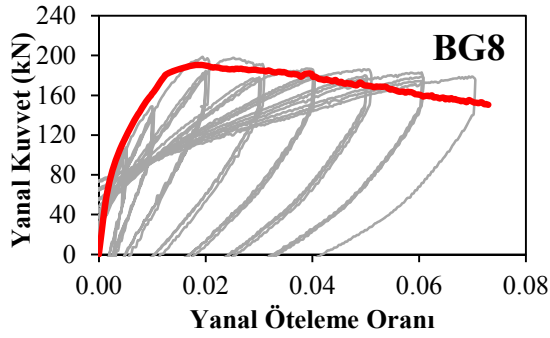
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



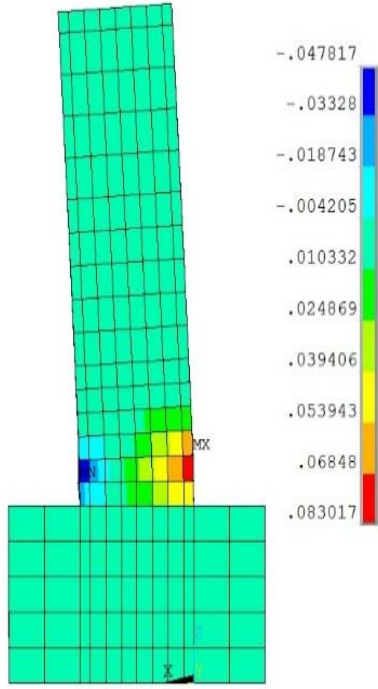
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



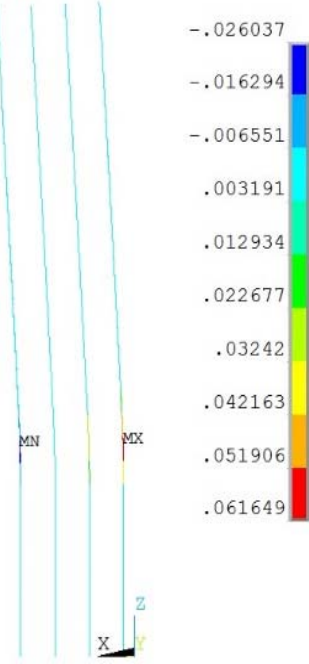


MO and WANG C1-1

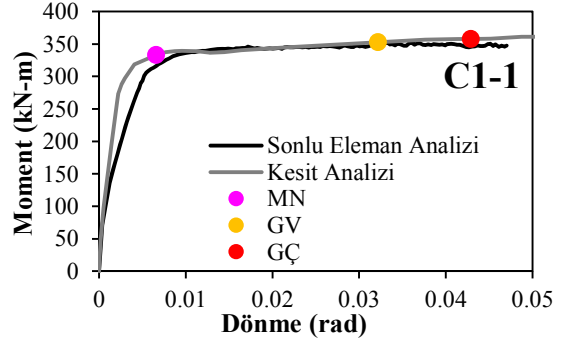
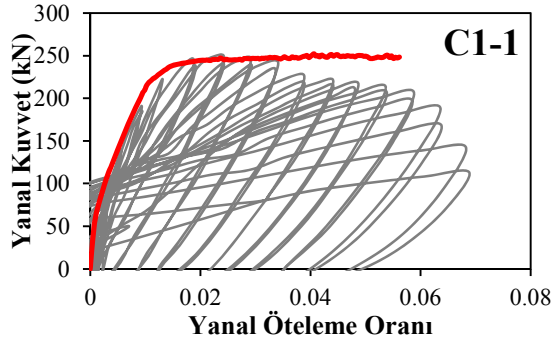
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



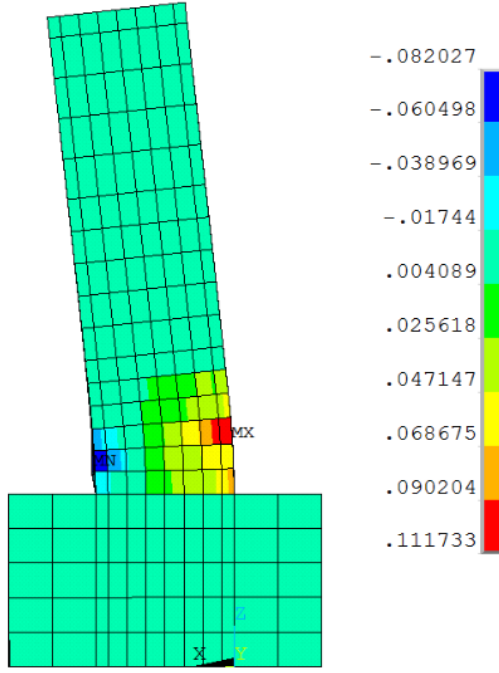
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



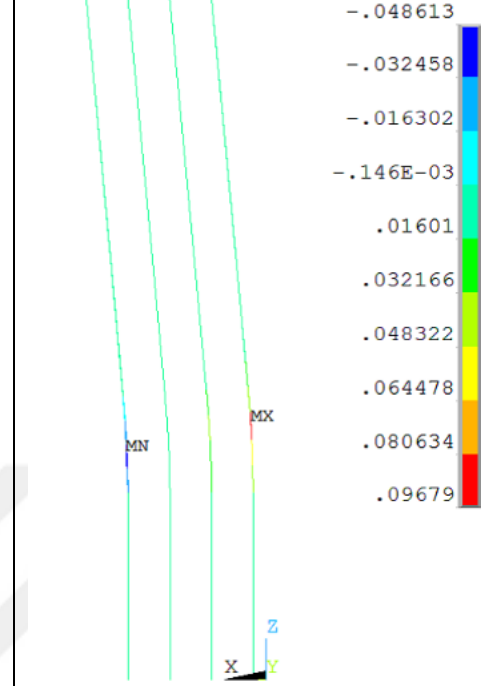
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



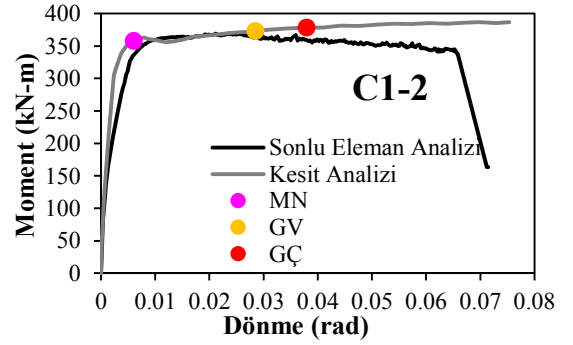
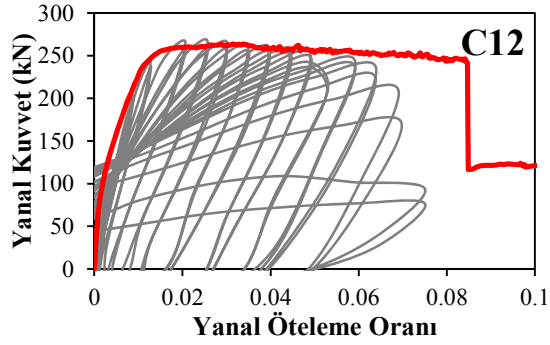
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

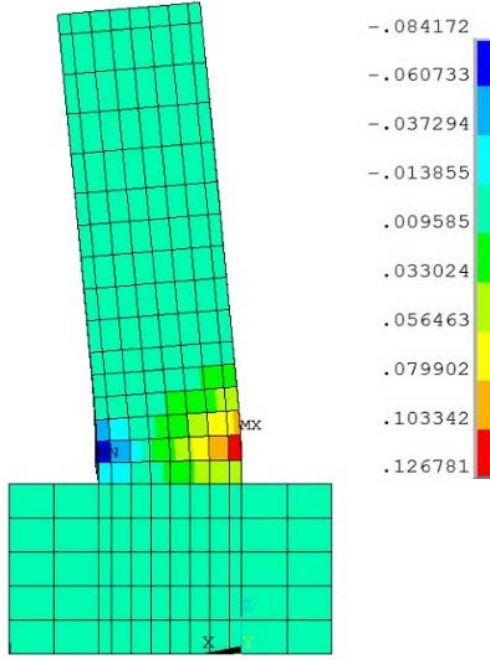


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

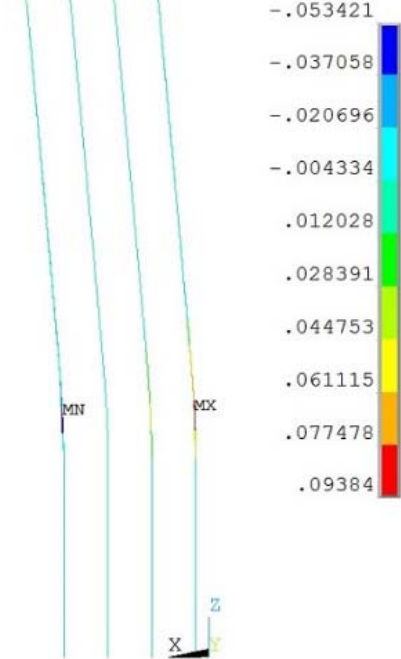


MO and WANG C1-3

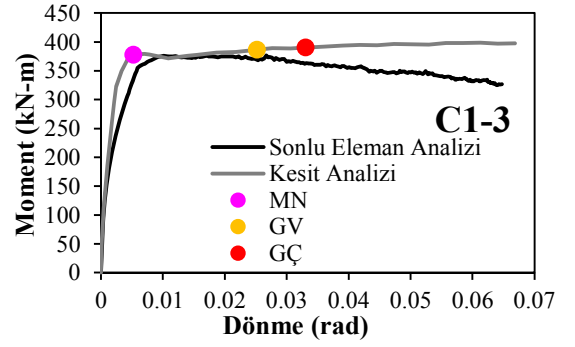
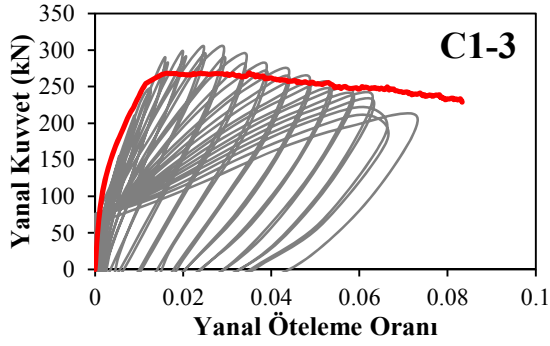
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

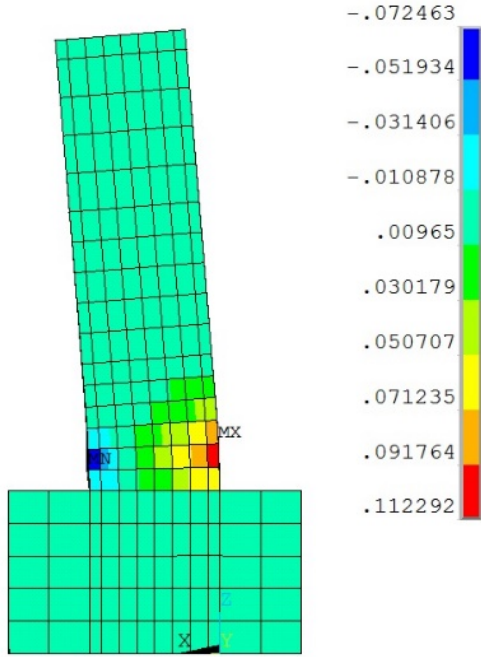


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

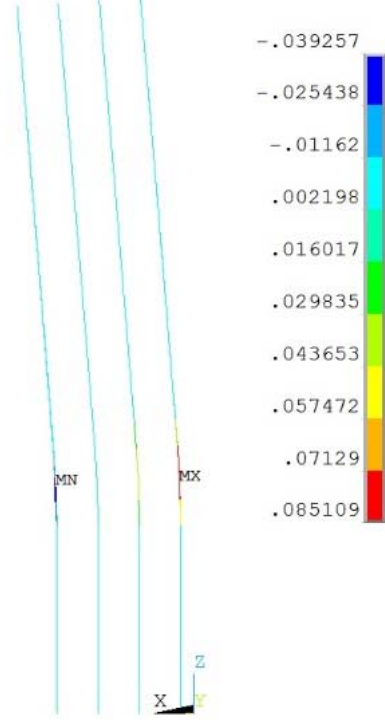


MO and WANG C2-1

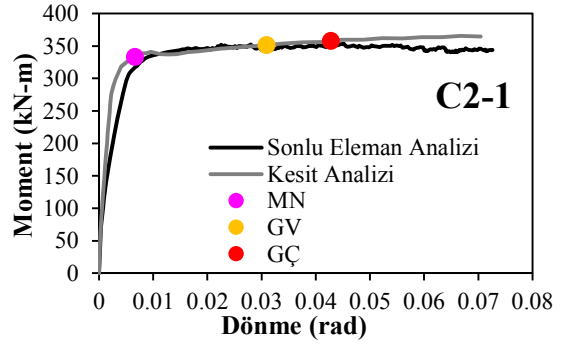
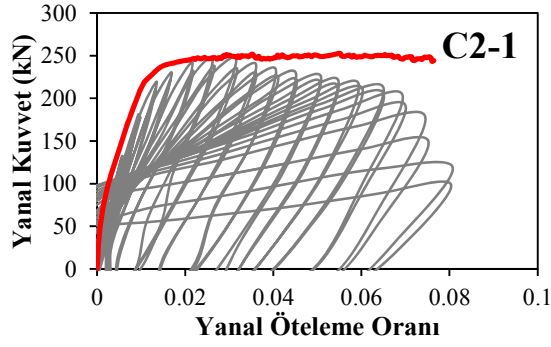
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



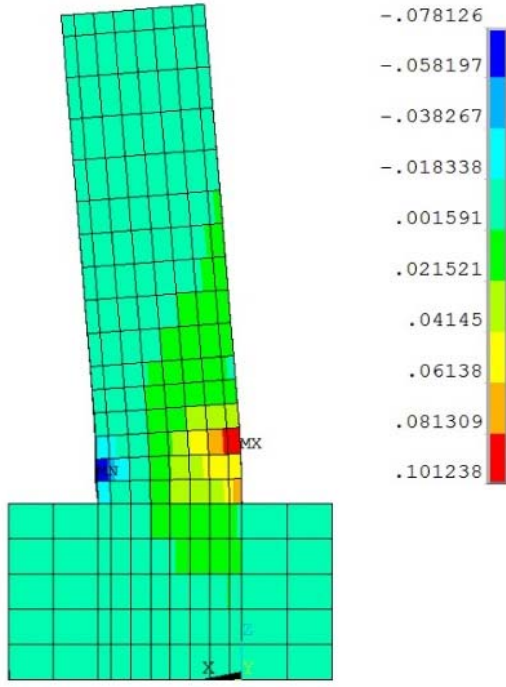
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



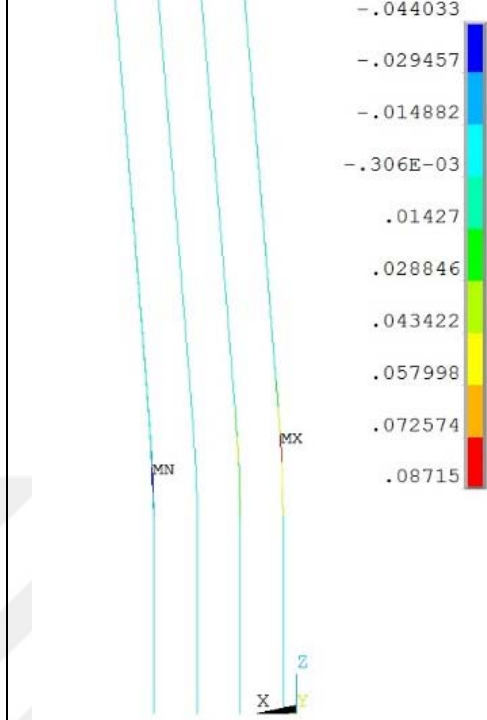
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değiş-tirmeler



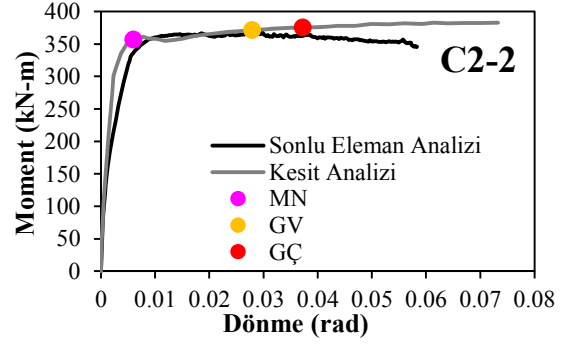
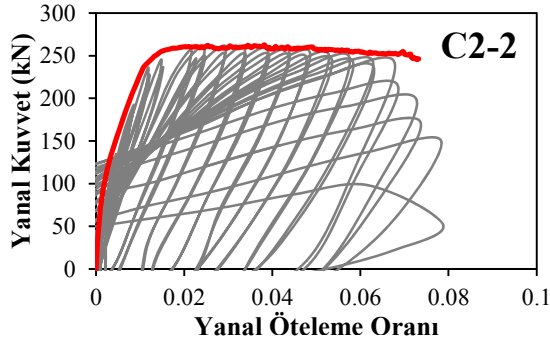
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



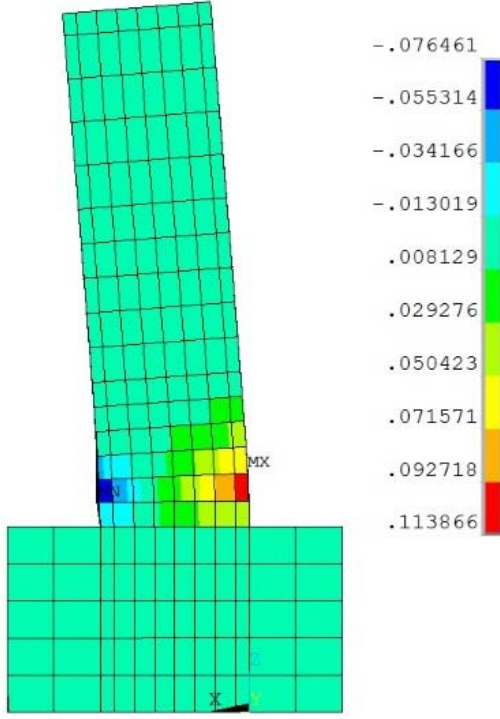
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



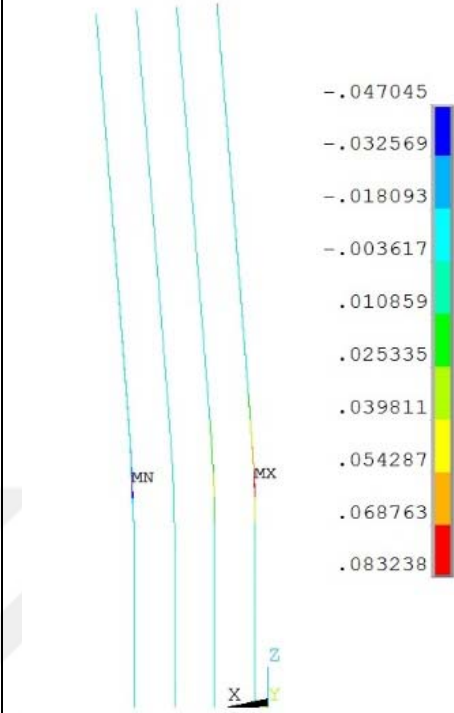
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



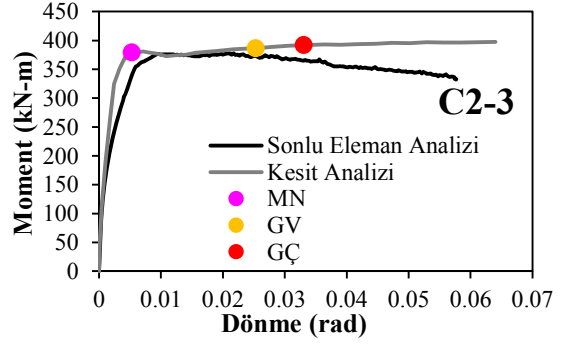
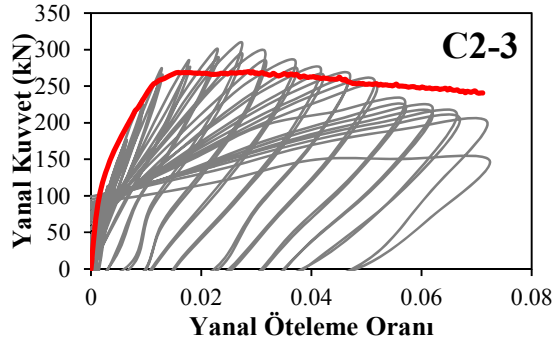
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



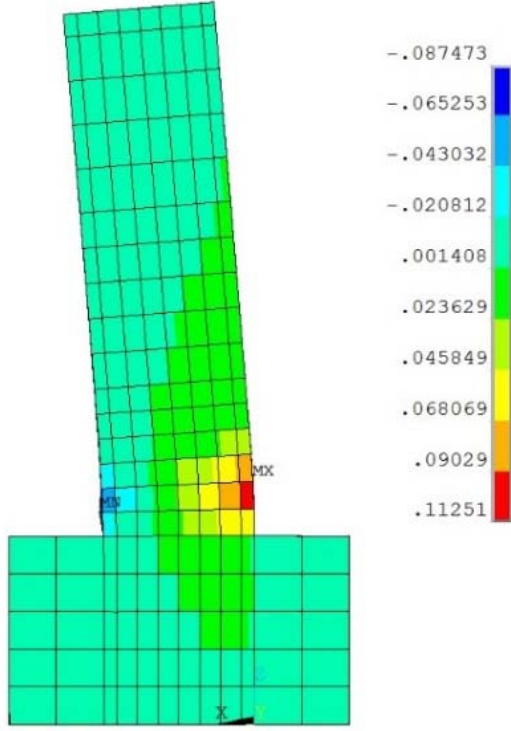
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



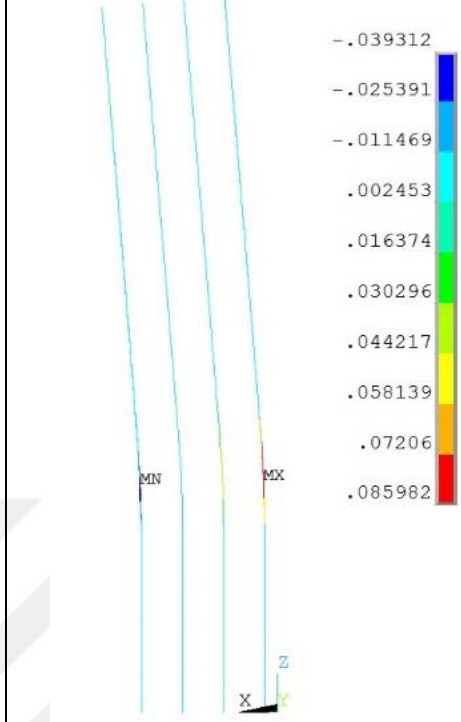
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



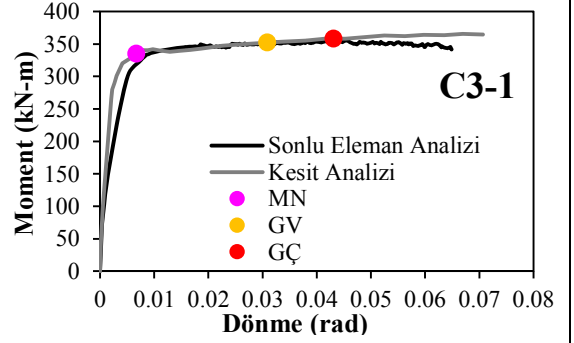
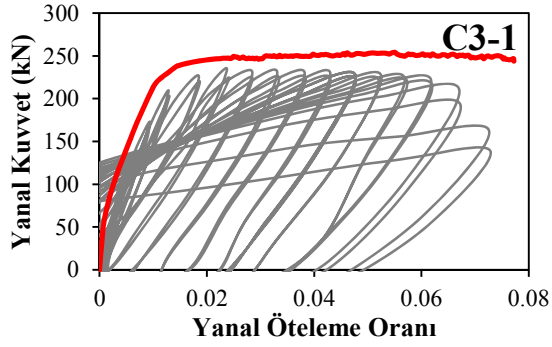
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



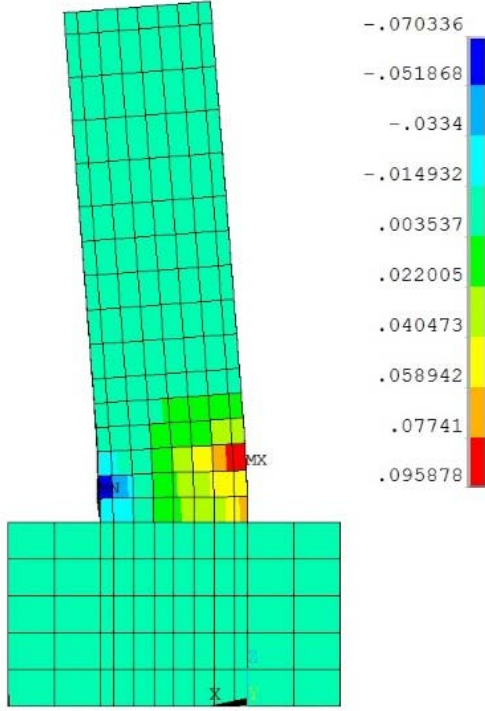
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



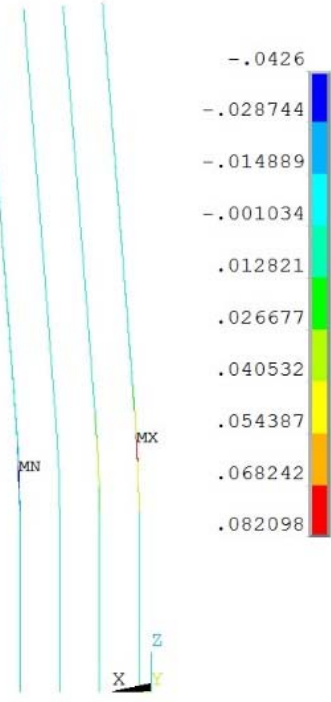
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



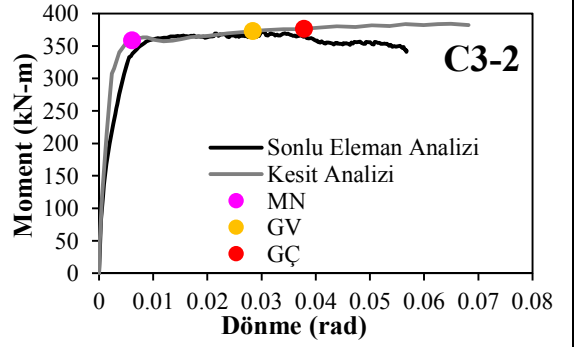
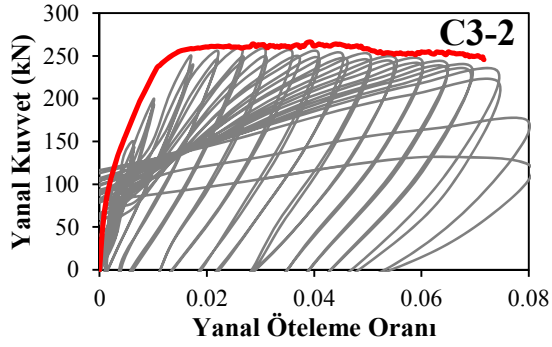
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

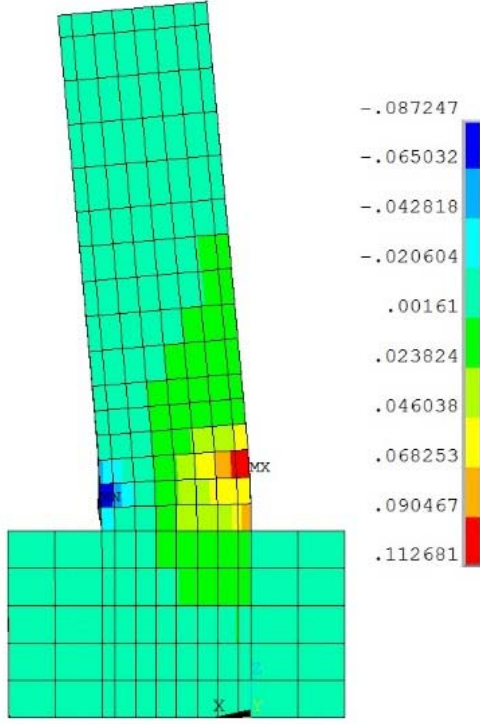


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

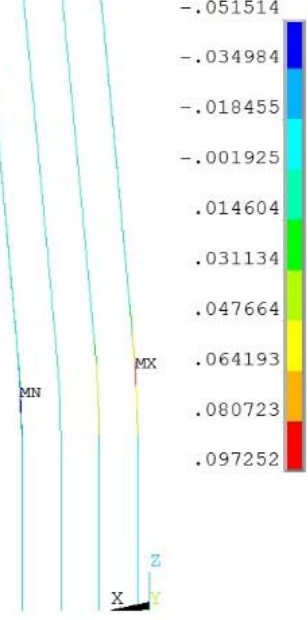




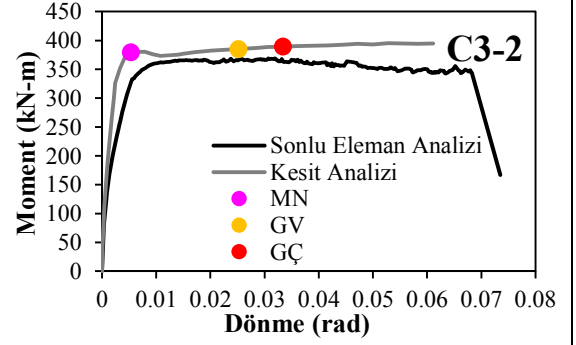
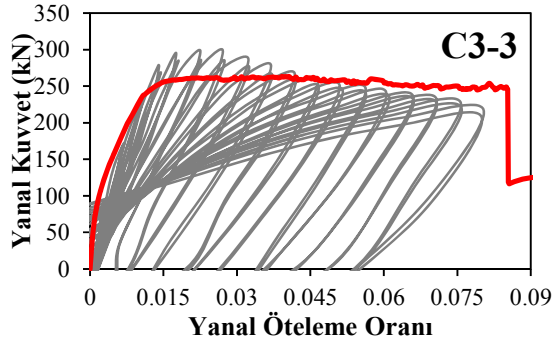
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



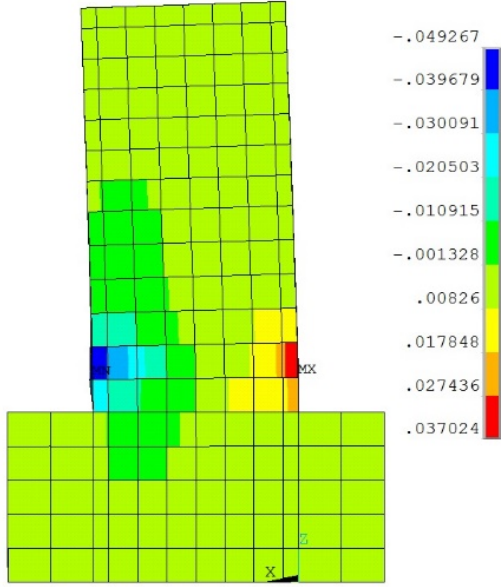
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



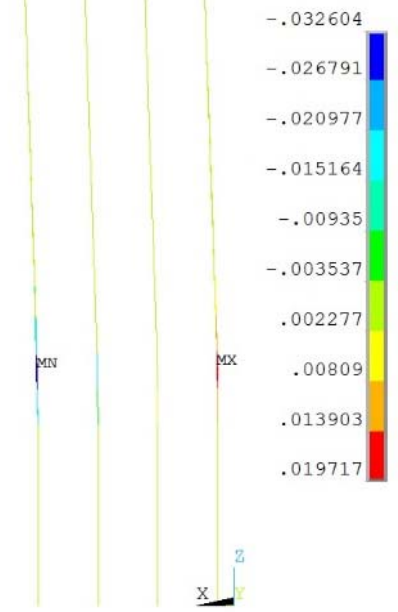
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



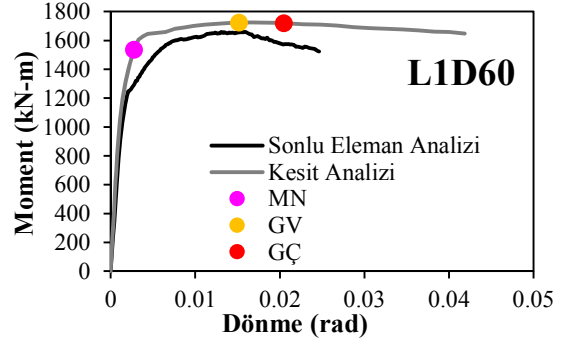
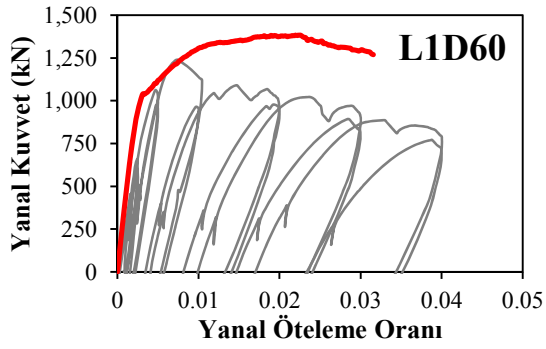
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER Kullanılmayacak L1N60 ile aynı özellikler



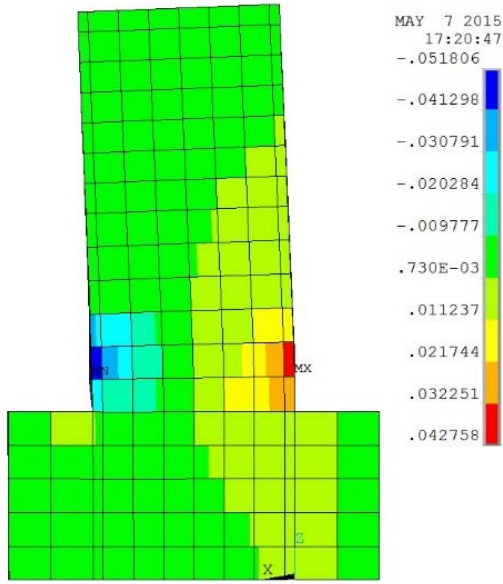
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



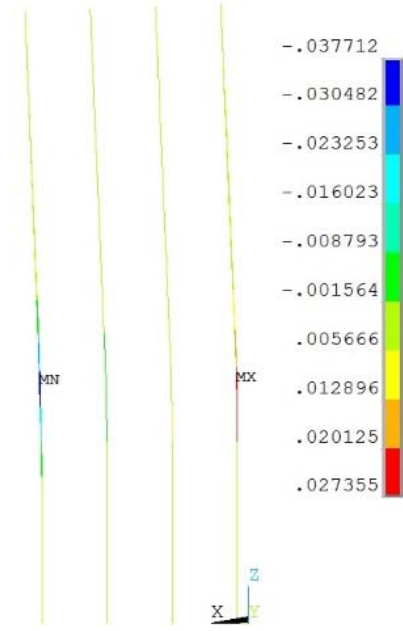
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



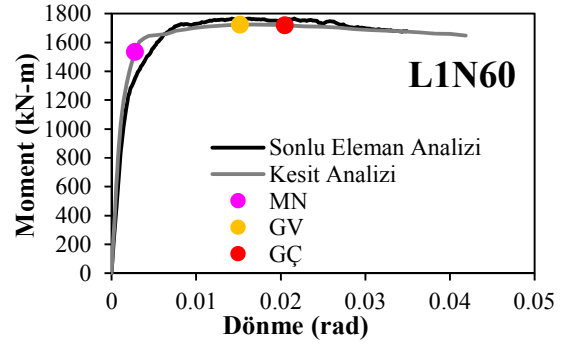
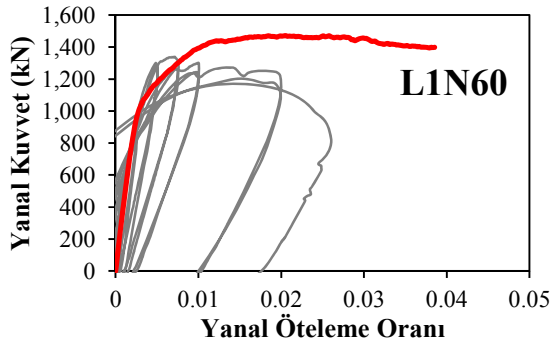
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



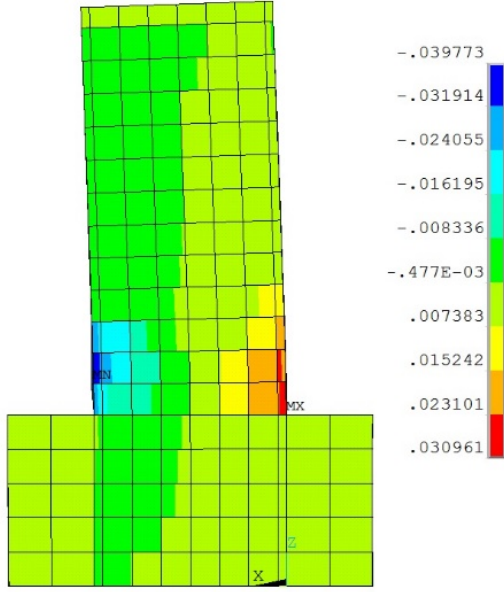
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



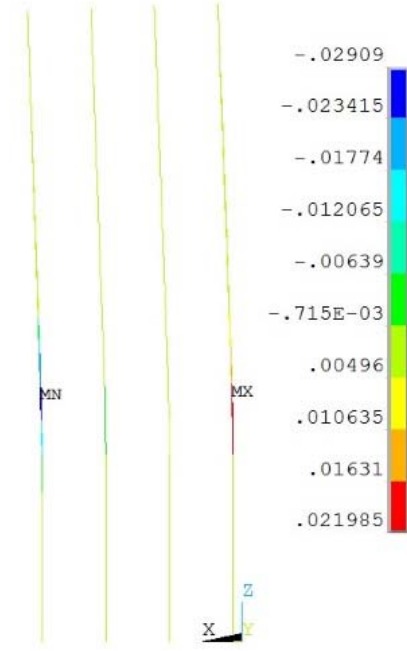
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



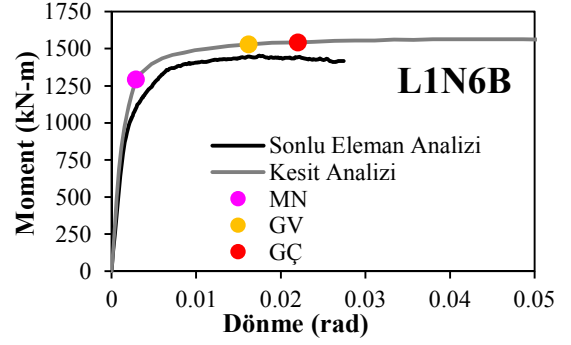
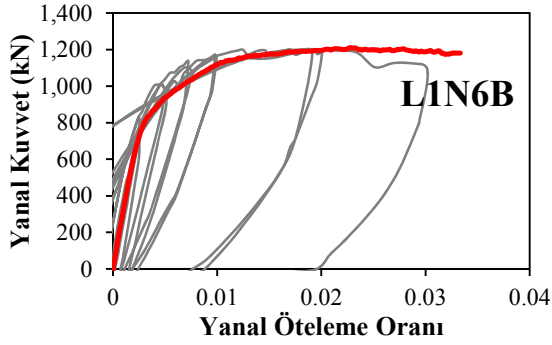
NIHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



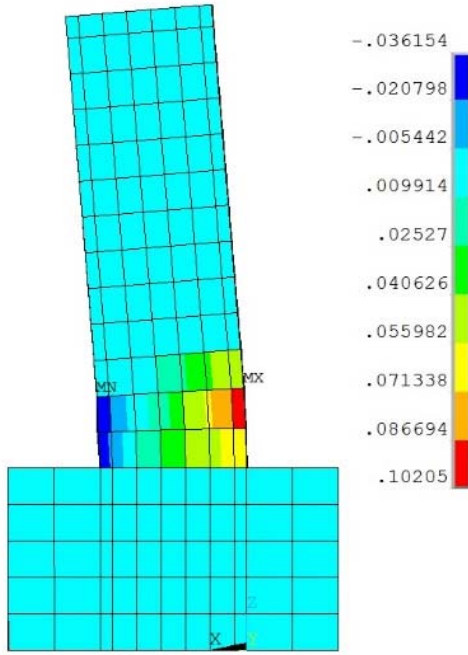
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



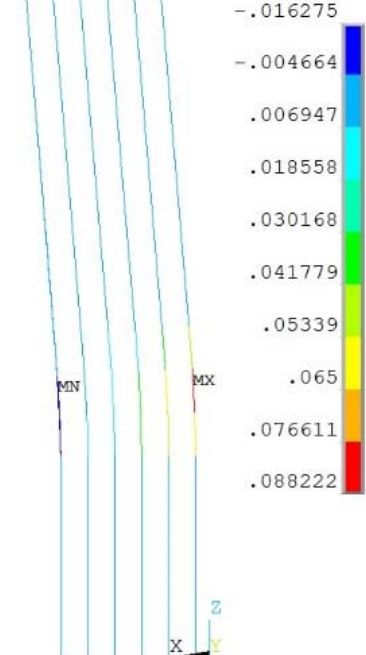
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



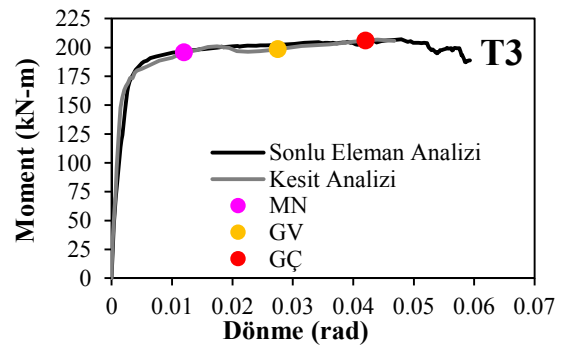
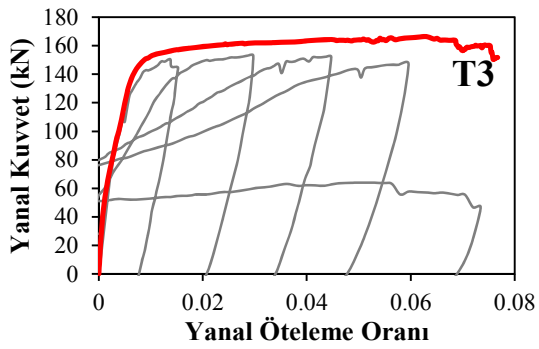
Takemura and Kawashima Test3  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



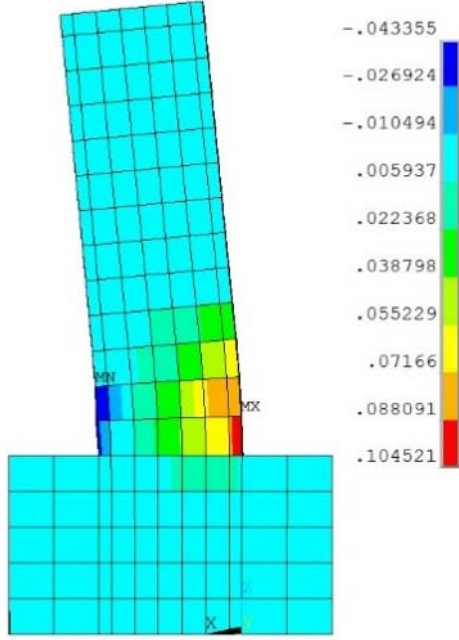
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



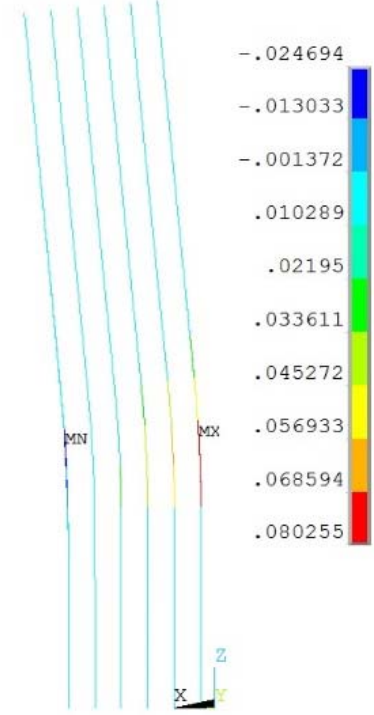
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



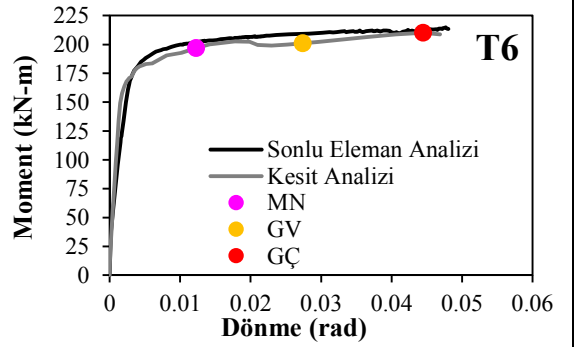
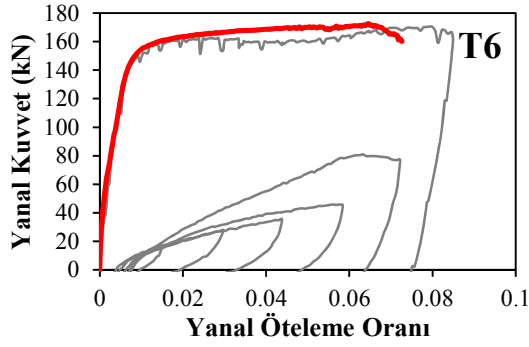
Takemura and Kawashima Test6  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



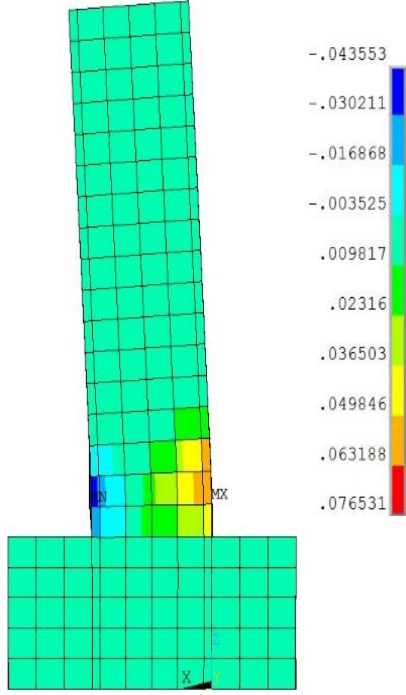
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



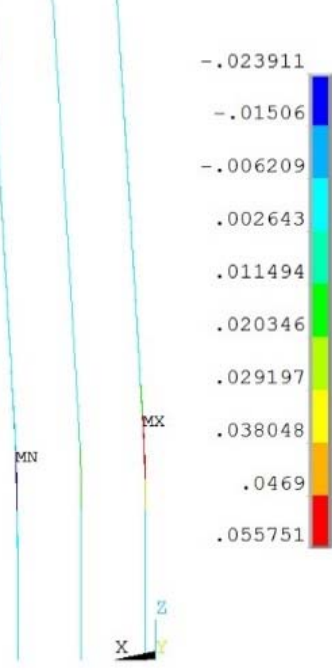
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



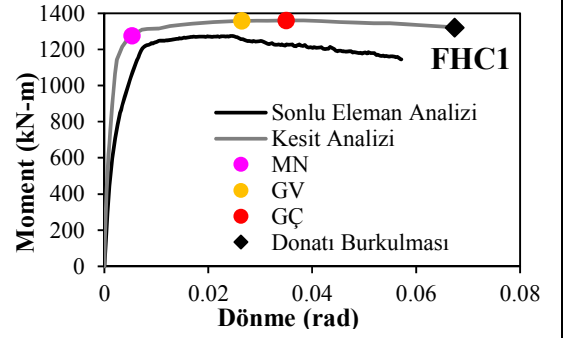
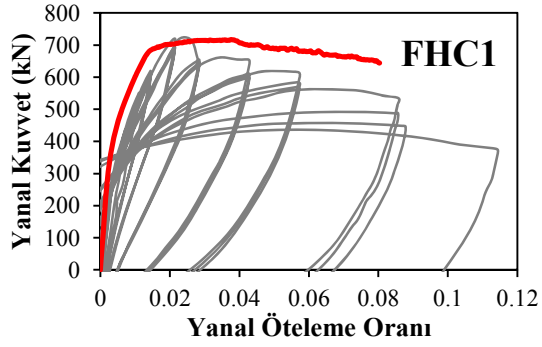
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



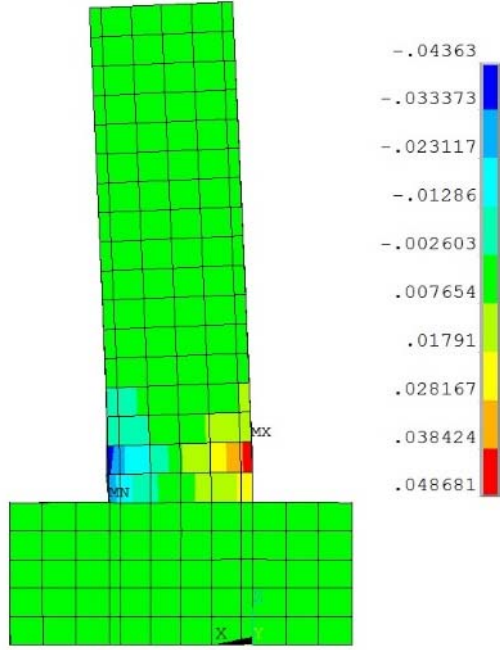
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



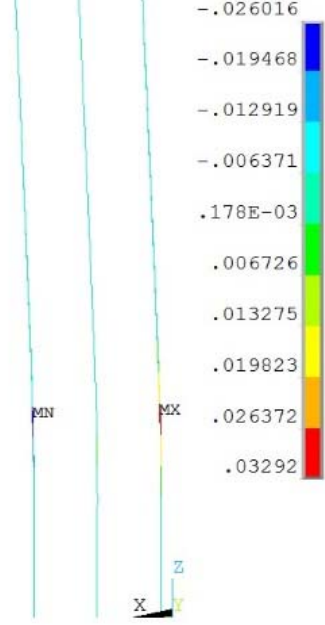
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



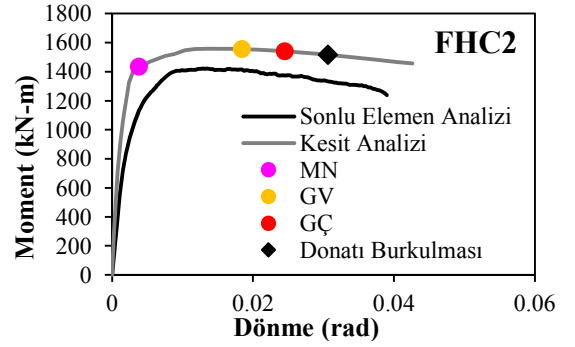
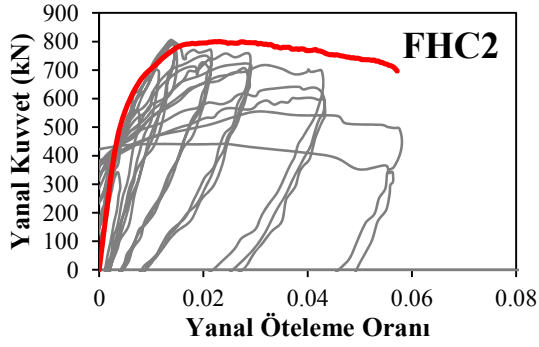
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

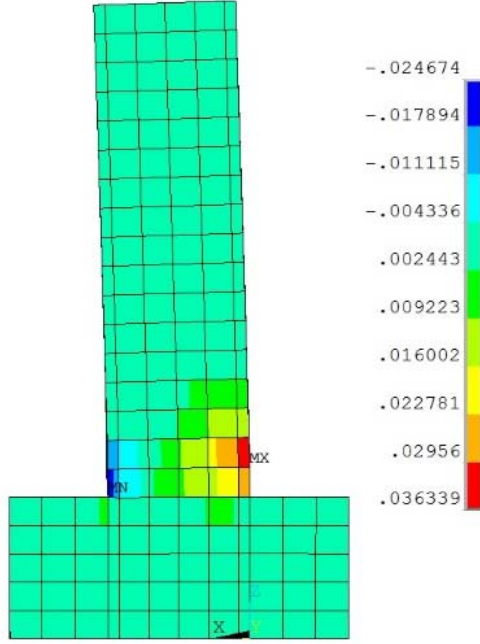


Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri

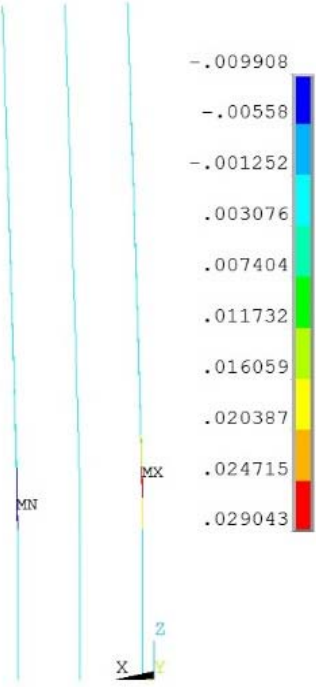




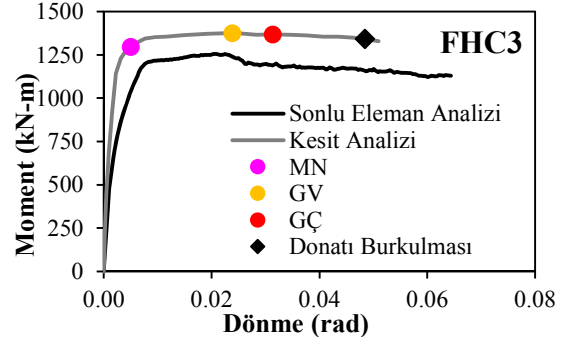
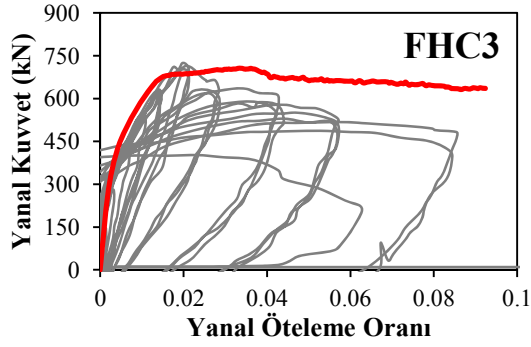
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



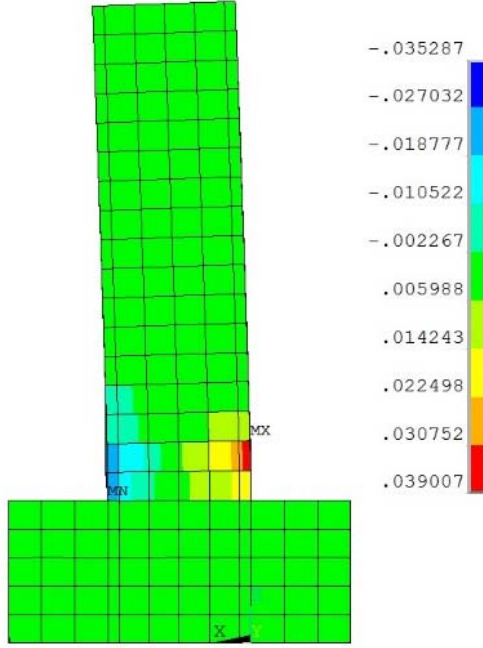
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



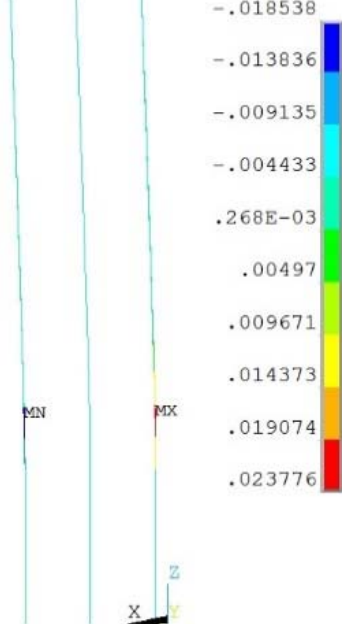
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



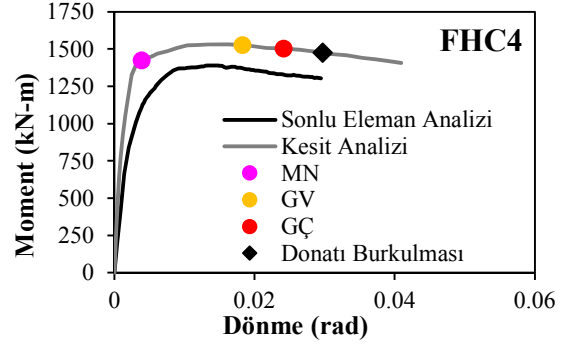
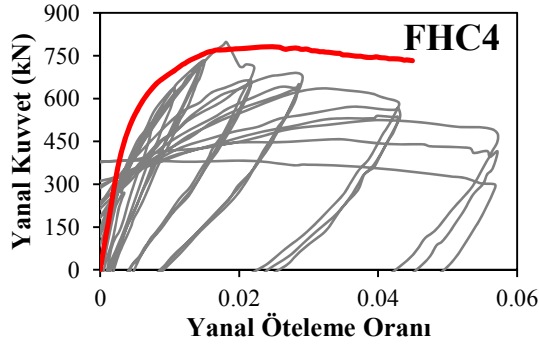
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



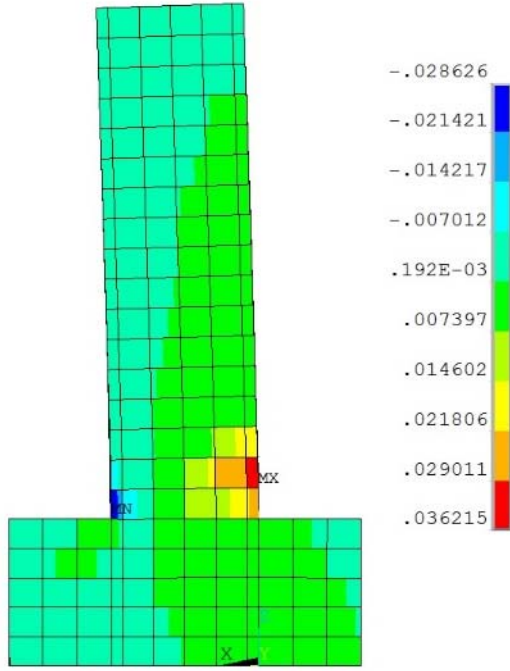
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



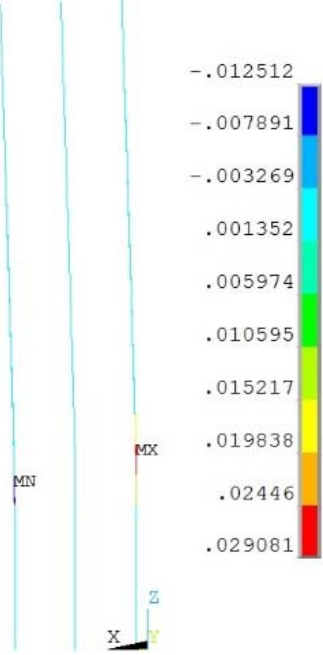
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



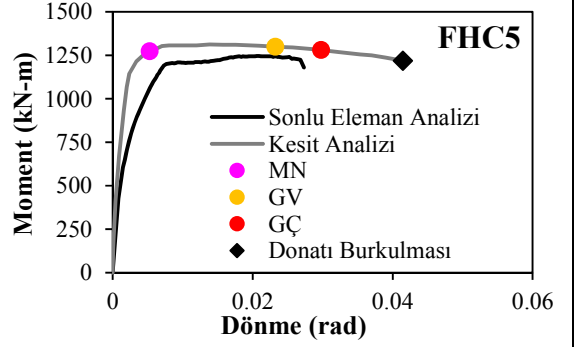
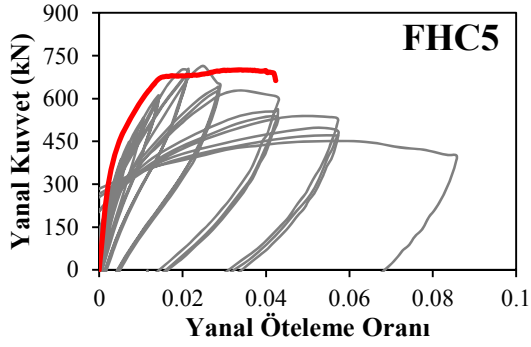
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



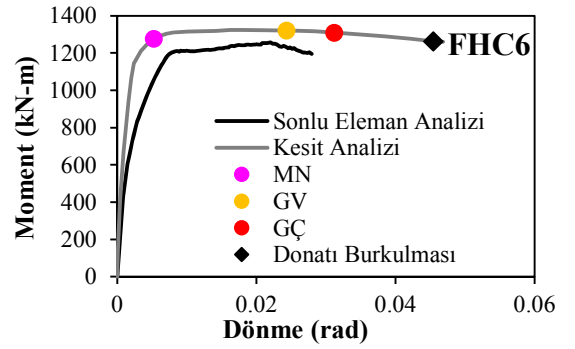
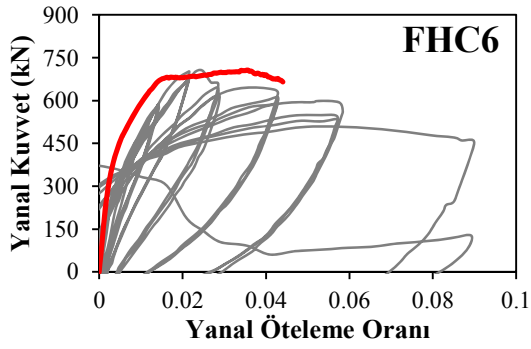
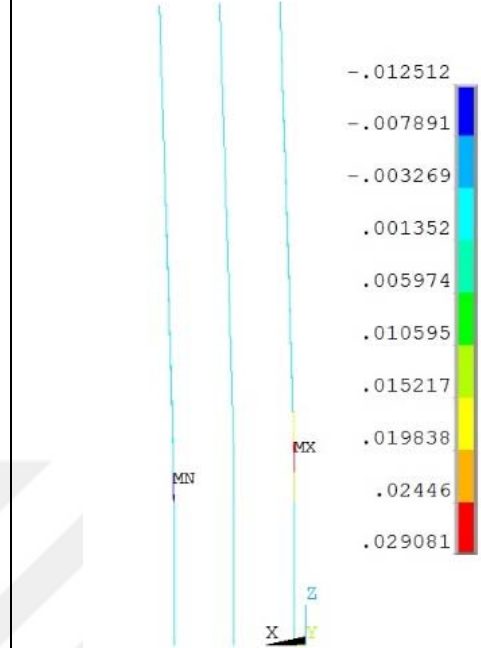
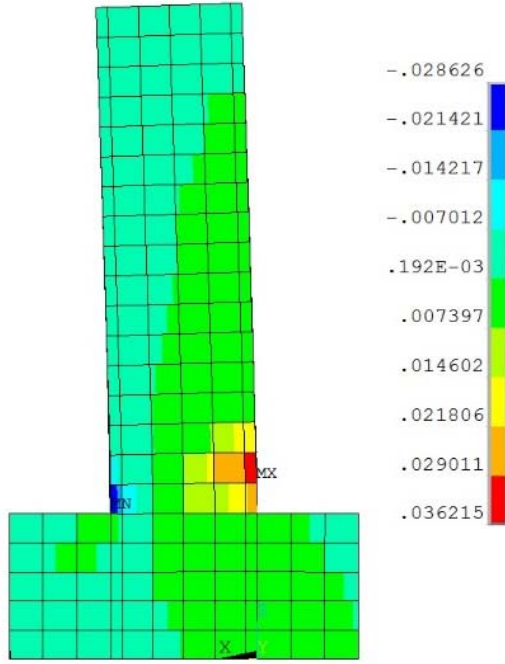
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



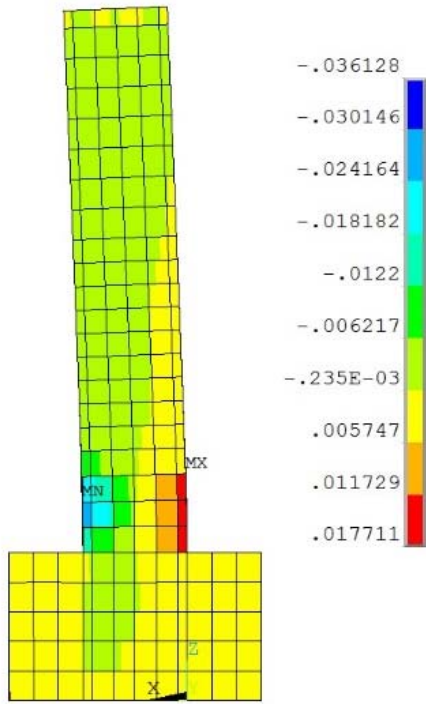
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



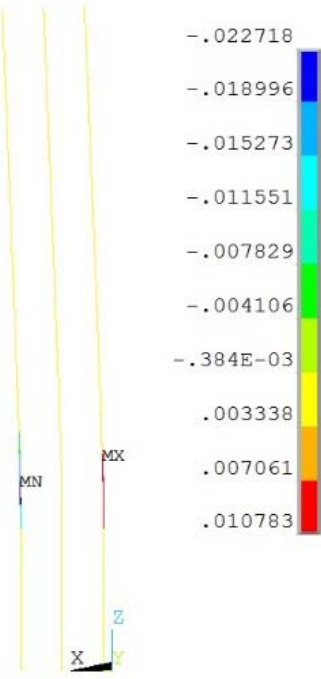
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



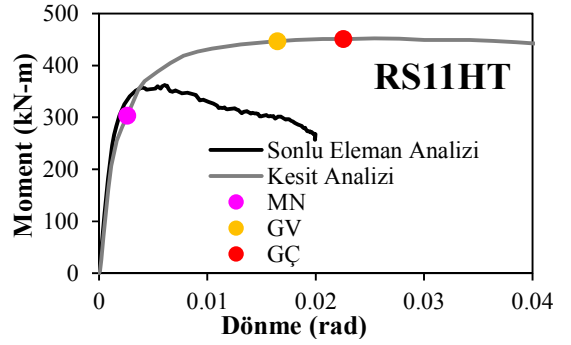
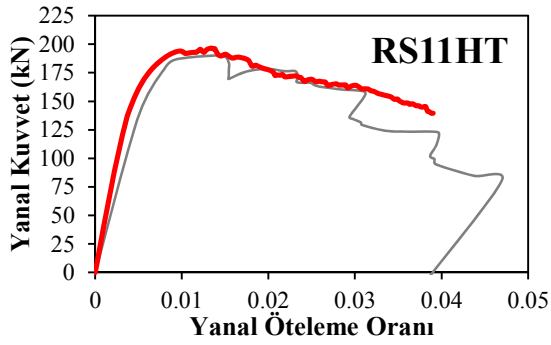
Bayrak and Sheikh RS-11HT  
NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



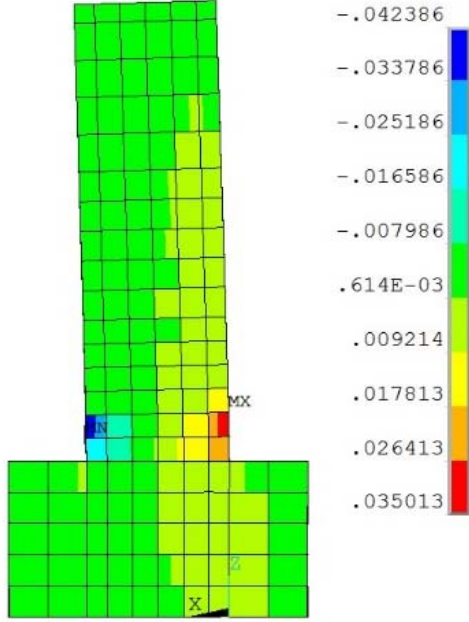
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



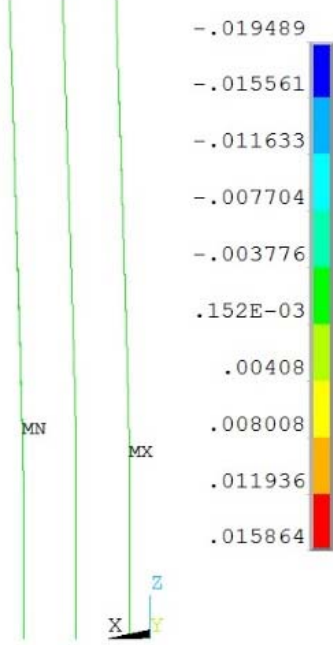
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



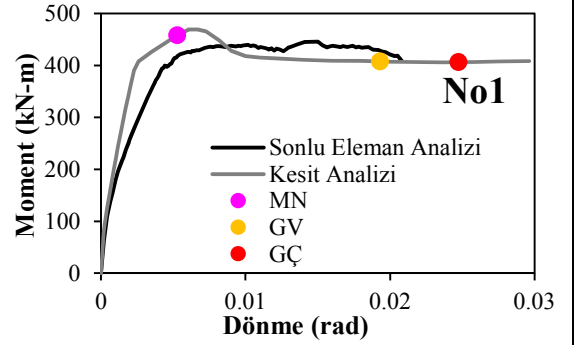
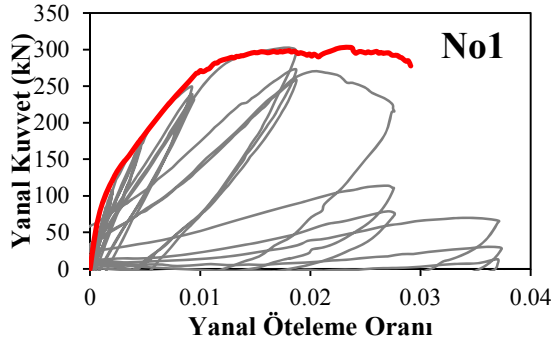
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



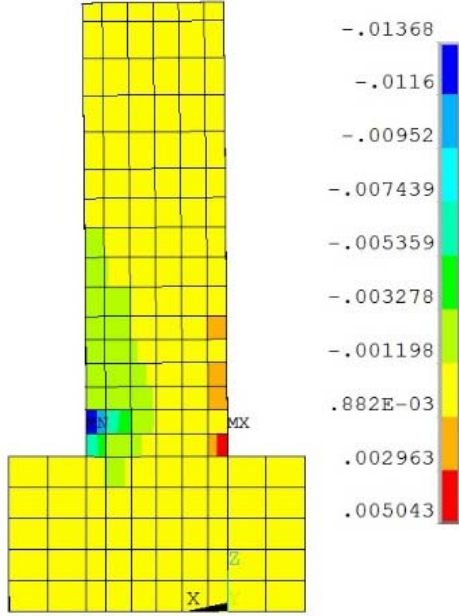
Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



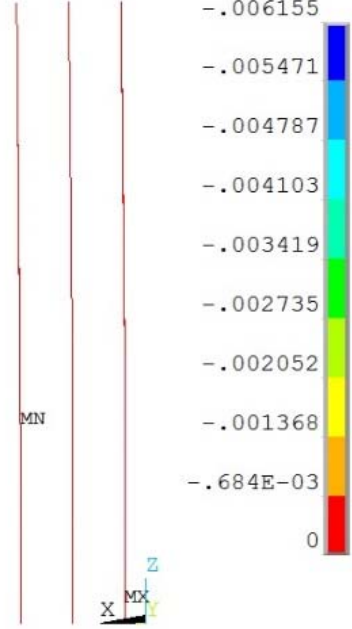
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



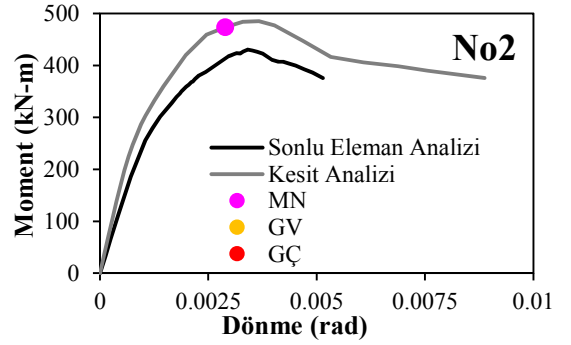
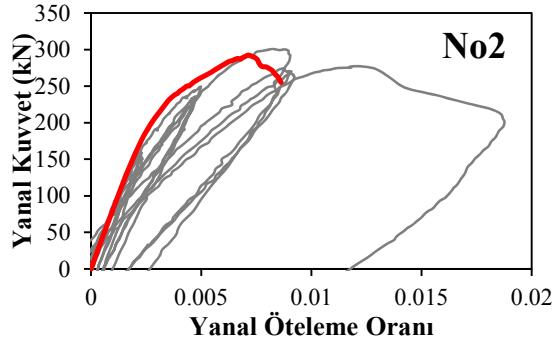
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



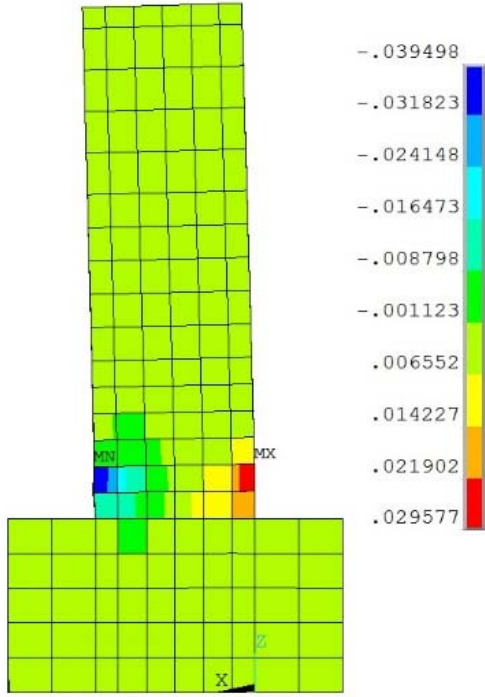
Beton'da Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



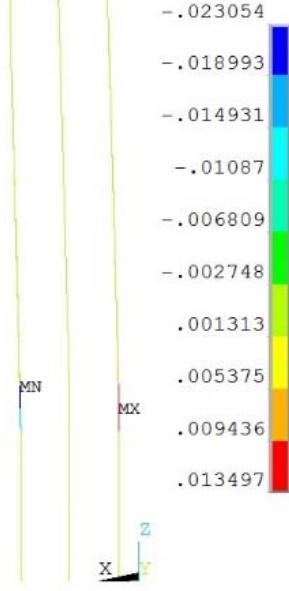
Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



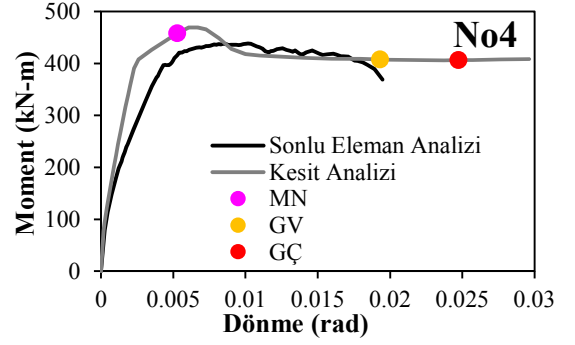
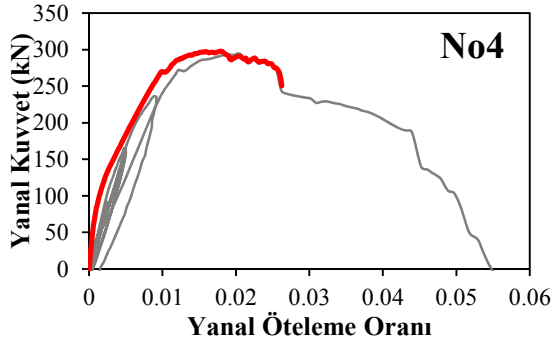
## NİHAİ BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER



Betonda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri



Donatıda Meydana Gelen Birim Şekil Değişimleri





## EK-2

### Analizi Seti 1

Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Tanaka and Park 1990, No. 5	1.1	550	550	1650	100	41	32	0.10	325	0.0125	0.0067
	1.2	550	550	1650	180	41	32	0.10	325	0.0125	0.0037
	1.3	550	550	1650	220	41	32	0.10	325	0.0125	0.0019
	1.4	550	550	1650	100	41	32	0.25	325	0.0125	0.0067
	1.5	550	550	1650	180	41	32	0.25	325	0.0125	0.0037
	1.6	550	550	1650	220	41	32	0.25	325	0.0125	0.0019
	1.7	550	550	1650	100	41	32	0.45	325	0.0125	0.0067
	1.8	550	550	1650	180	41	32	0.45	325	0.0125	0.0037
	1.9	550	550	1650	220	41	32	0.45	325	0.0125	0.0019
Park and Paulay 1990, No. 9	2.1	601	400	1784	80	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0074
	2.2	601	400	1784	160	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0037
	2.3	601	400	1784	200	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0019
	2.4	601	400	1784	80	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0074
	2.5	601	400	1784	160	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0037
	2.6	601	400	1784	200	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0019
	2.7	601	400	1784	80	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0074
	2.8	601	400	1784	160	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0037
	2.9	601	400	1784	200	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0019
Ohno and Nishioka 1984, L1	3.1	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0093
	3.2	400	400	1600	100	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0046
	3.3	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0031
	3.4	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0014
	3.5	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0093
	3.6	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0031
	3.7	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0014
	3.8	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0093
	3.9	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0031
	3.10	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0014
Lynn et al. 1998, 2CLH18	4.1	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0082
	4.2	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0041
	4.3	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0017
	4.4	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0082
	4.5	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0041
	4.6	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0017
	4.7	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0082
	4.8	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0041
	4.9	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0017
Xiao and Martirosyan 1998, HC4-8L19-T10-	5.1	254	254	508	100	31	86	0.10	510	0.0246	0.0122
	5.2	254	254	508	220	31	86	0.10	510	0.0246	0.0055
	5.3	254	254	508	300	31	86	0.10	510	0.0246	0.0026
	5.4	254	254	508	100	31	86	0.25	510	0.0246	0.0012
	5.5	254	254	508	220	31	86	0.25	510	0.0246	0.0055
	5.6	254	254	508	300	31	86	0.25	510	0.0246	0.0026
	5.7	254	254	508	100	31	86	0.45	510	0.0246	0.0122
	5.8	254	254	508	220	31	86	0.45	510	0.0246	0.0055
	5.9	254	254	508	300	31	86	0.45	510	0.0246	0.0026

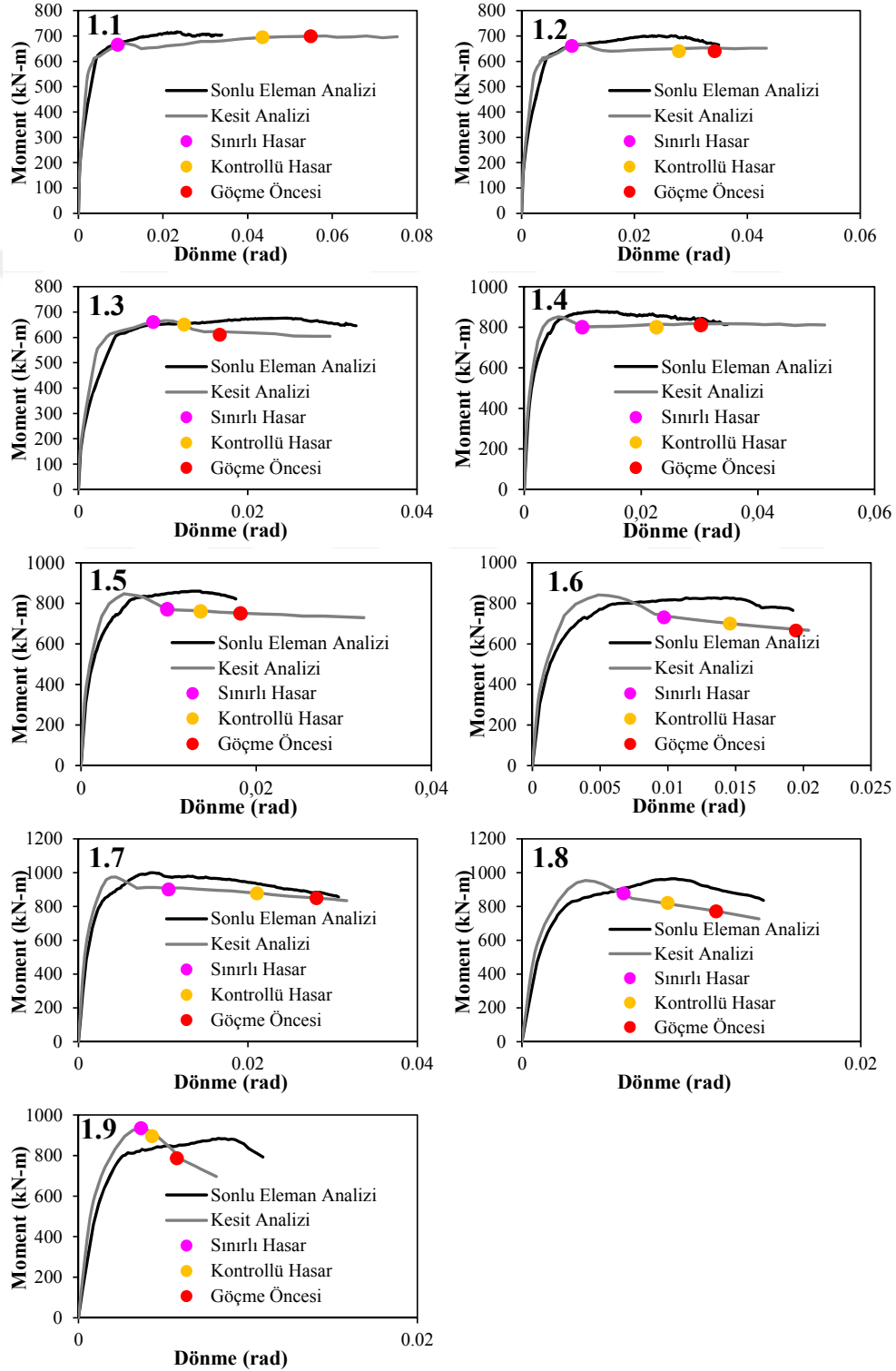
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Nosho et al. 1996, No. 1	6.1	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0085
	6.2	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0042
	6.3	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0019
	6.4	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0085
	6.5	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0042
	6.6	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0019
	6.7	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0085
	6.8	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0042
	6.9	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0019
Bayrak and Sheikh 1996, ES-IHT	7.1	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0075
	7.2	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0033
	7.3	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0010
	7.4	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0075
	7.5	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0033
	7.6	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0010
	7.7	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0075
	7.8	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0033
	7.9	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0010
Saaticioglu and Griira 1999, BG-5	8.1	350	350	1645	110	29	34	0.10	570	0.0293	0.0097
	8.2	350	350	1645	220	29	34	0.10	570	0.0293	0.0048
	8.3	350	350	1645	350	29	34	0.10	570	0.0293	0.0019
	8.4	350	350	1645	110	29	34	0.25	570	0.0293	0.0097
	8.5	350	350	1645	220	29	34	0.25	570	0.0293	0.0048
	8.6	350	350	1645	350	29	34	0.25	570	0.0293	0.0019
	8.7	350	350	1645	110	29	34	0.45	570	0.0293	0.0097
	8.8	350	350	1645	220	29	34	0.45	570	0.0293	0.0048
	8.9	350	350	1645	350	29	34	0.45	570	0.0293	0.0019
Mo and Wang 2000, C2-2	9.1	400	400	1400	100	35	27	0.10	460	0.0214	0.0095
	9.2	400	400	1400	200	35	27	0.10	460	0.0214	0.0047
	9.3	400	400	1400	250	35	27	0.10	460	0.0214	0.0030
	9.4	400	400	1400	350	35	27	0.10	460	0.0214	0.0017
	9.5	400	400	1400	100	35	27	0.25	460	0.0214	0.0095
	9.6	400	400	1400	200	35	27	0.25	460	0.0214	0.0047
	9.7	400	400	1400	250	35	27	0.25	460	0.0214	0.0030
	9.8	400	400	1400	350	35	27	0.25	460	0.0214	0.0017
	9.9	400	400	1400	100	35	27	0.45	460	0.0214	0.0095
	9.10	400	400	1400	200	35	27	0.45	460	0.0214	0.0047
	9.11	400	400	1400	250	35	27	0.45	460	0.0214	0.0030
	9.12	400	400	1400	350	35	27	0.45	460	0.0214	0.0017
Sezen and Moehle 2004 No. 4	10.1	457	457	1473	100	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0072
	10.2	457	457	1473	200	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0036
	10.3	457	457	1473	250	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0018
	10.4	457	457	1473	100	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0072
	10.5	457	457	1473	200	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0036
	10.6	457	457	1473	250	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0018
	10.7	457	457	1473	100	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0072
	10.8	457	457	1473	200	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0036
	10.9	457	457	1473	250	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0018
Bechtoula. Kono. Arai and Watanabe 2002, LIN6B	11.1	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.2	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0030
	11.3	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019
	11.4	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.5	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0030
	11.6	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019
	11.7	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.9	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019

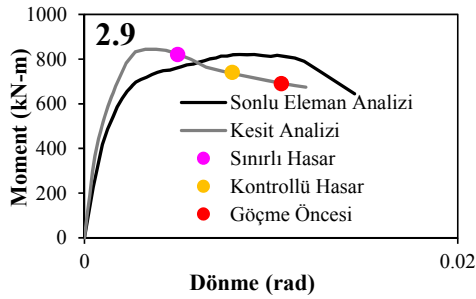
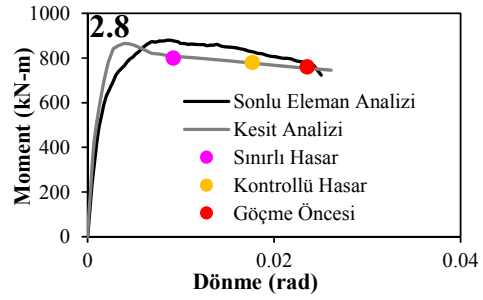
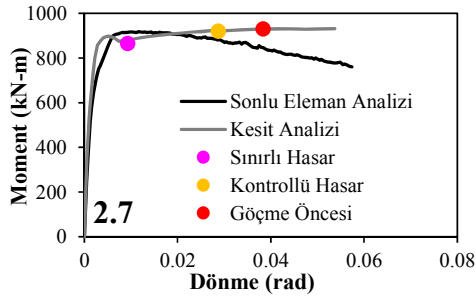
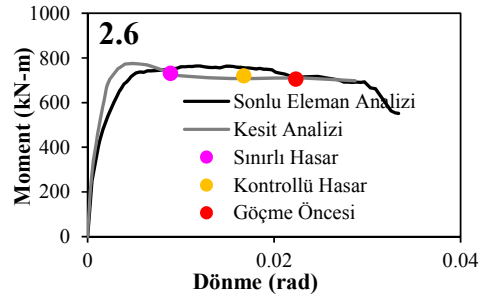
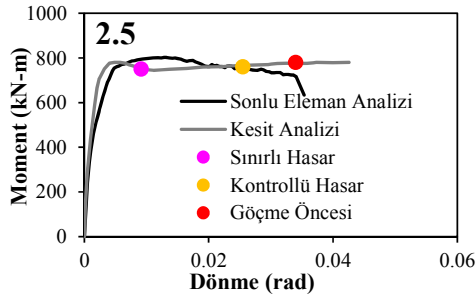
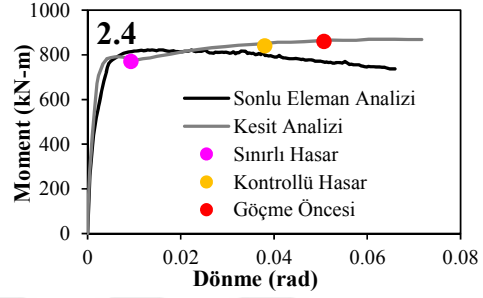
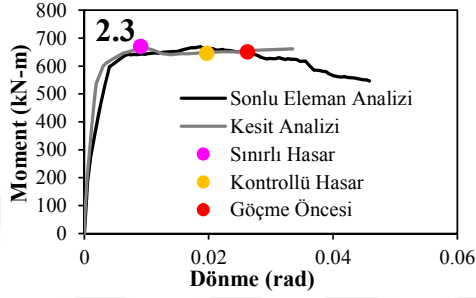
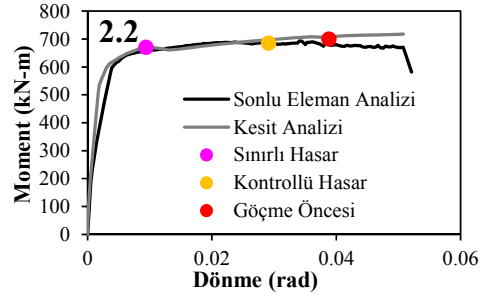
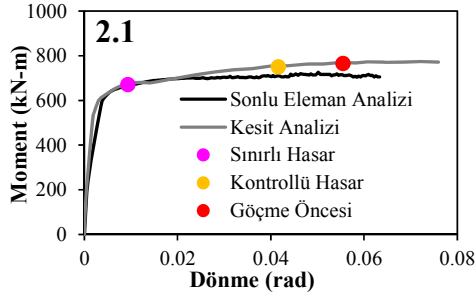
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Takemura and Kawashima. 1997, Test 3 (JSCE-6)	12.1	400	400	1245	70	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0024
	12.2	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0093
	12.3	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0046
	12.4	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0019
	12.5	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0093
	12.6	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0046
	12.7	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0019
	12.8	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0093
	12.9	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0046
	12.10	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0019
Xiao & Yun 2002, No. FHC2-0.34	13.1	510	510	1778	65	40	64	0.10	445	0.026	0.0084
	13.2	510	510	1778	130	40	64	0.10	445	0.026	0.0042
	13.3	510	510	1778	260	40	64	0.10	445	0.026	0.0013
	13.4	510	510	1778	65	40	64	0.25	445	0.026	0.0084
	13.5	510	510	1778	130	40	64	0.25	445	0.026	0.0042
	13.6	510	510	1778	260	40	64	0.25	445	0.026	0.0013
	13.7	510	510	1778	65	40	64	0.45	445	0.026	0.0084
	13.8	510	510	1778	130	40	64	0.45	445	0.026	0.0042
	13.9	510	510	1778	260	40	64	0.45	445	0.026	0.0013

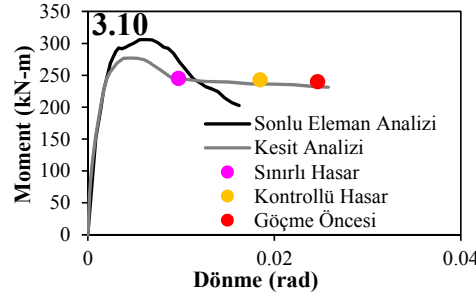
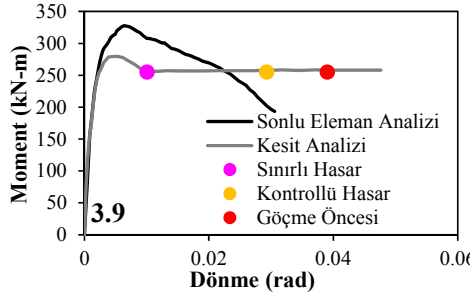
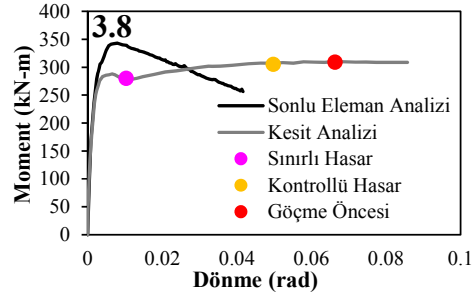
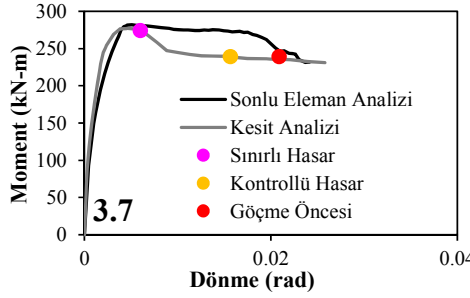
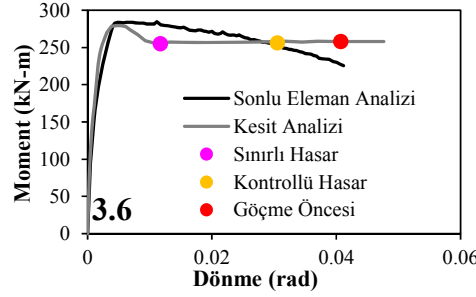
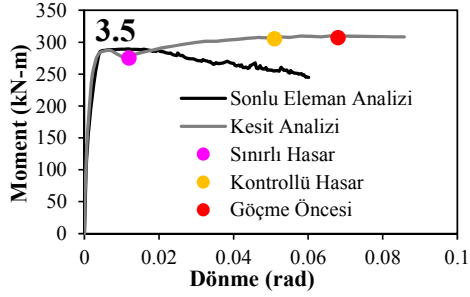
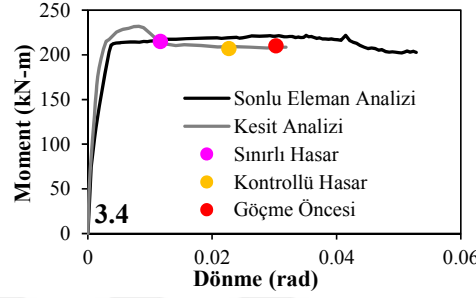
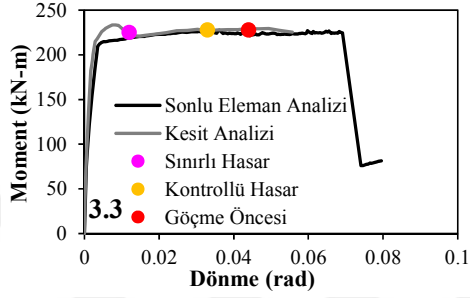
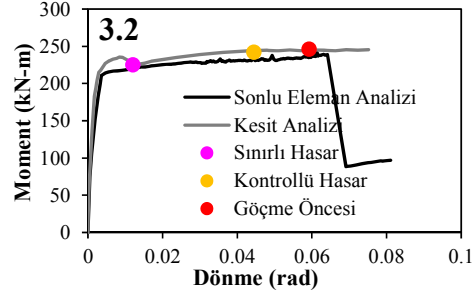
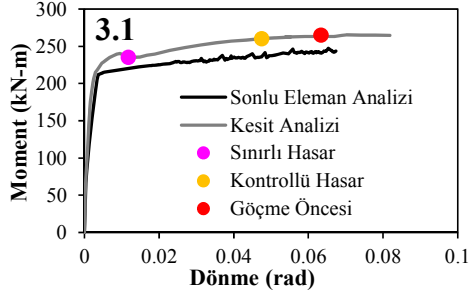
## EK-3

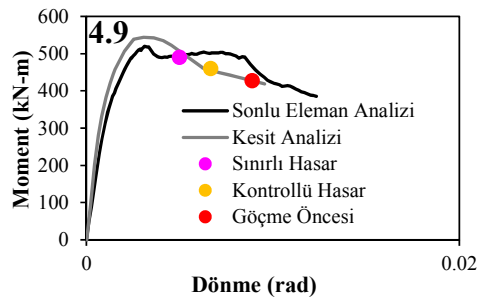
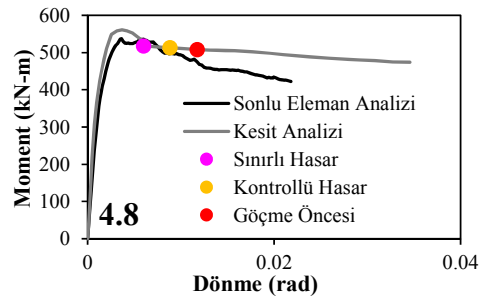
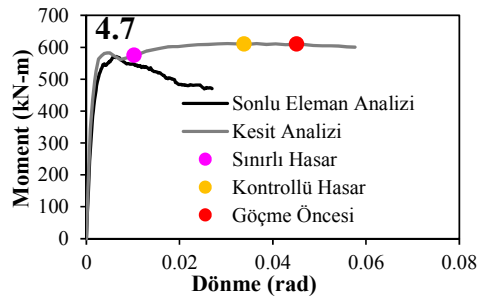
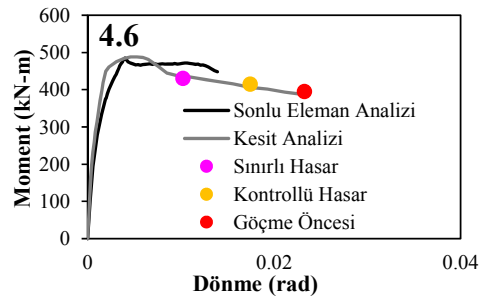
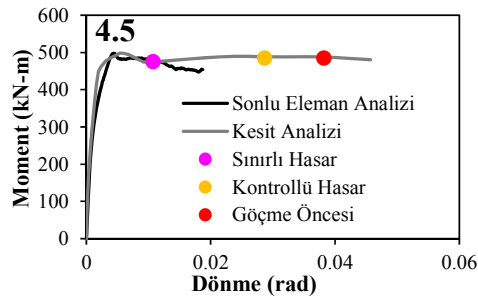
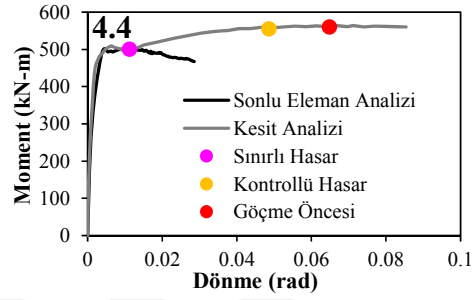
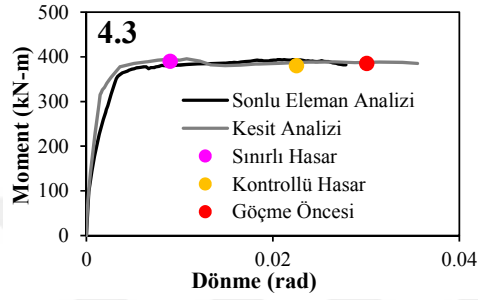
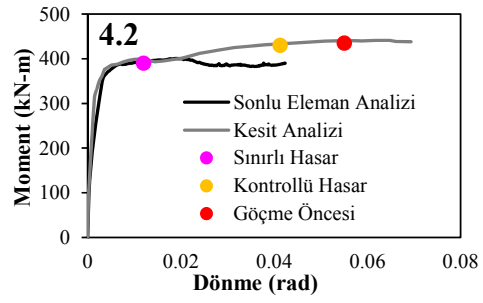
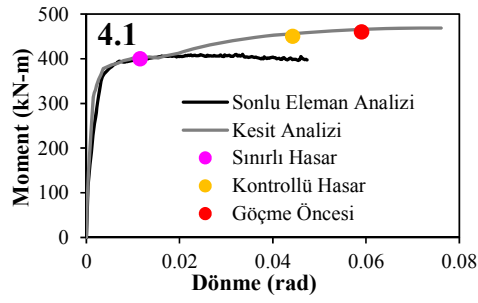
### Analiz Seti 1 Moment Dönme Grafikleri

Tanaka and Park 1990

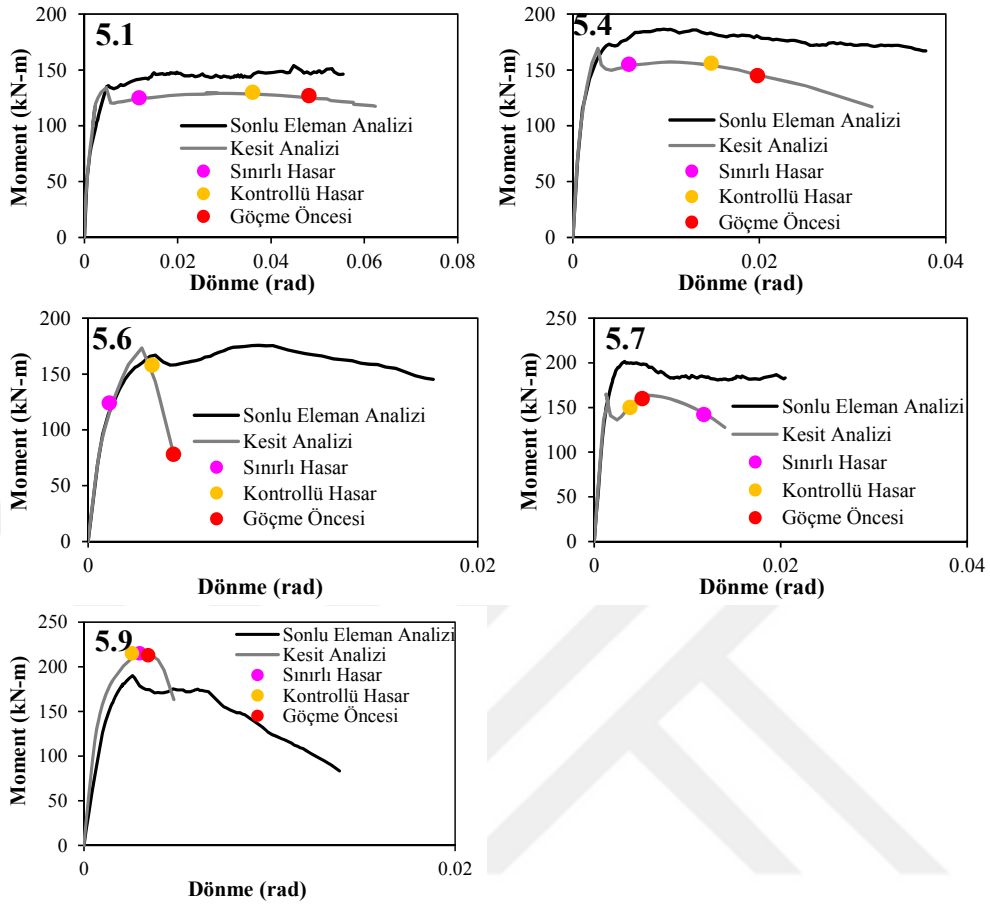




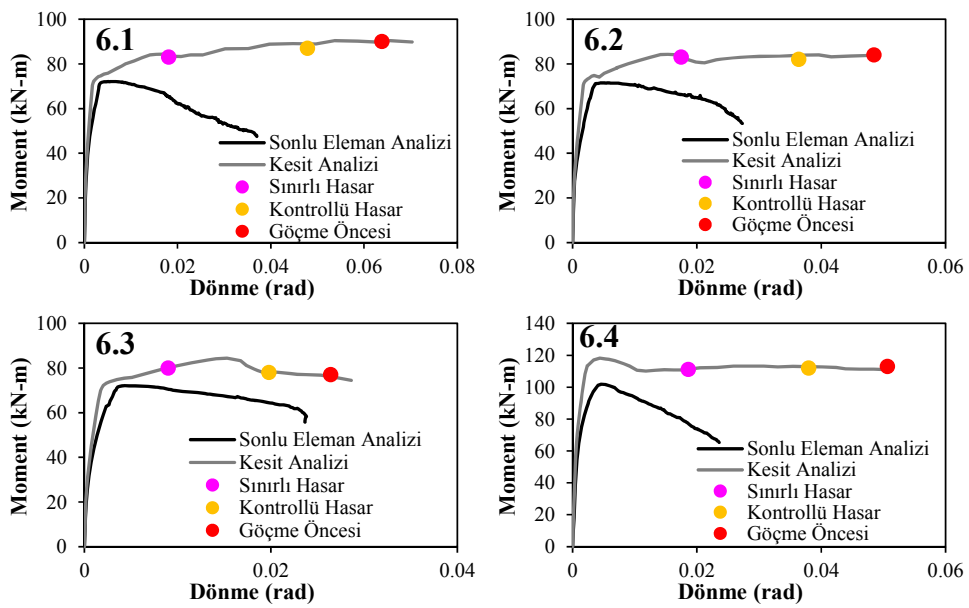




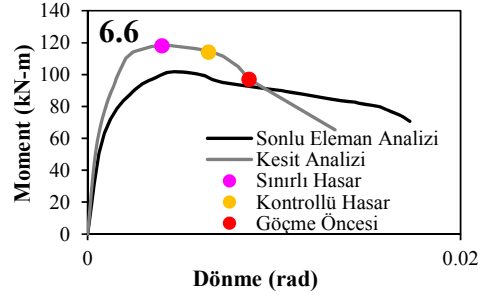
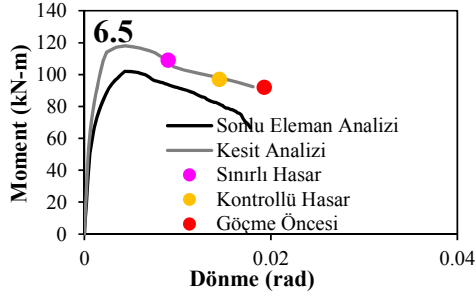
Xiao and Martirosyan 1998



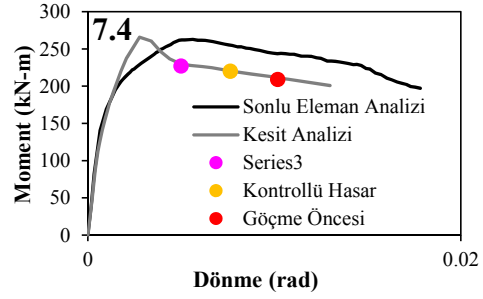
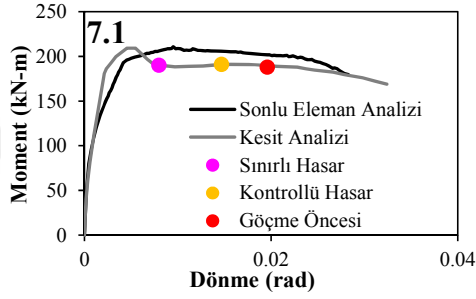
Nosho et al. 1996



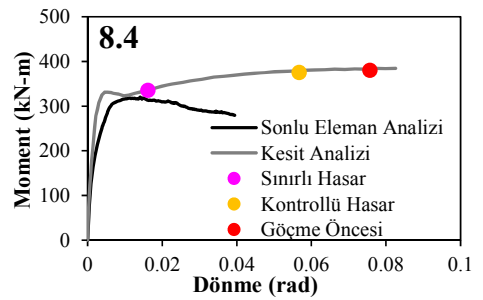
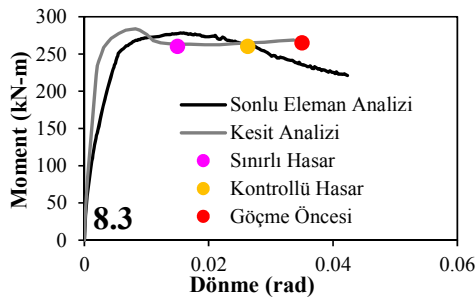
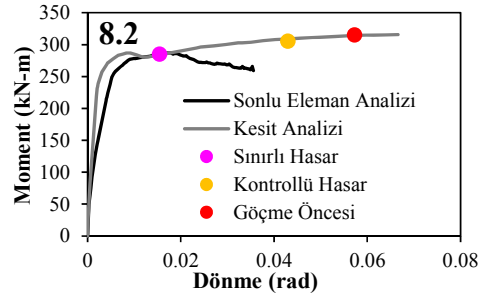
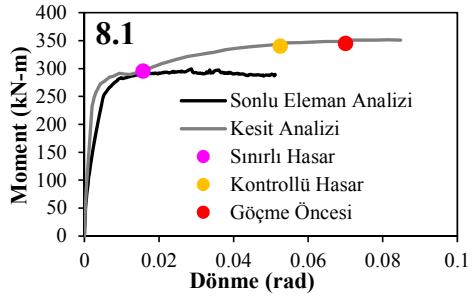


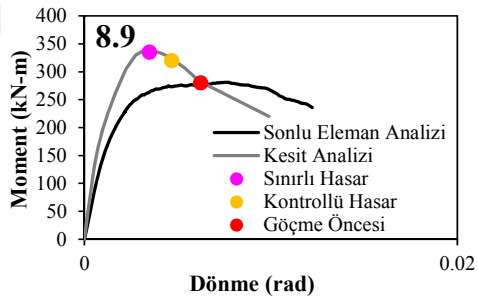
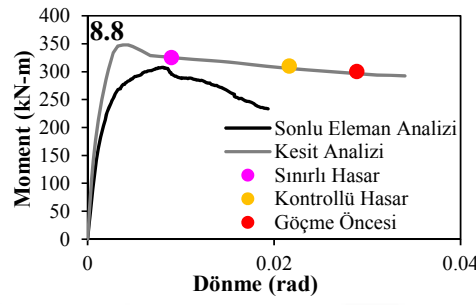
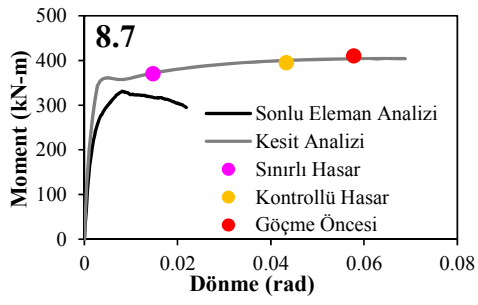
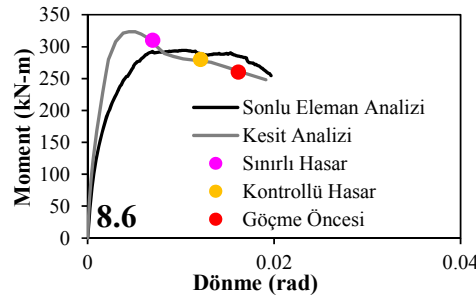
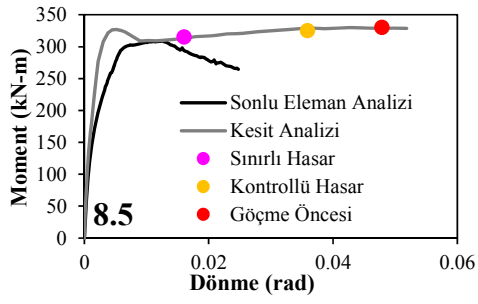


Bayrak and Sheikh 1996

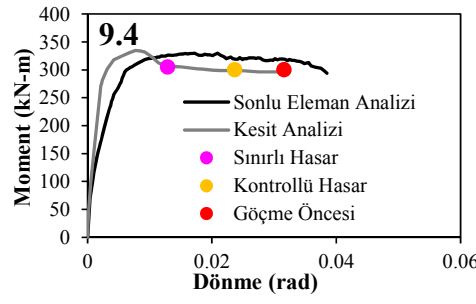
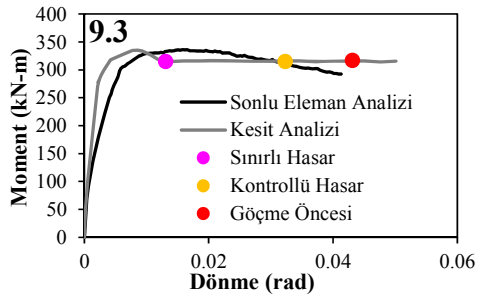
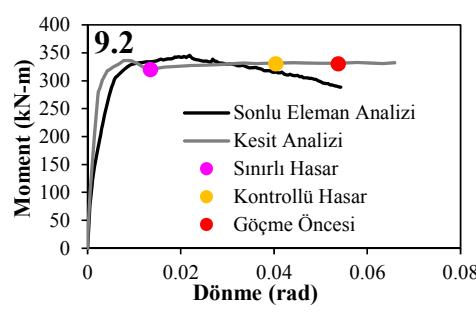
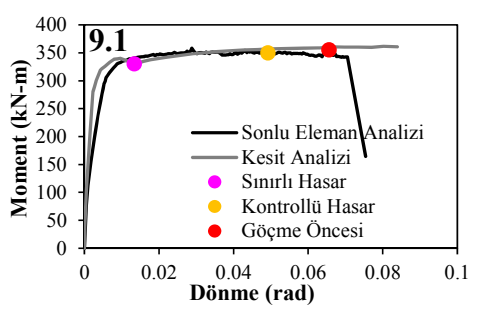


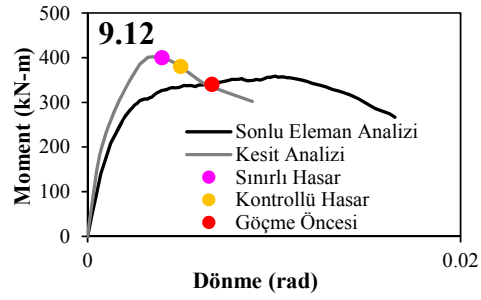
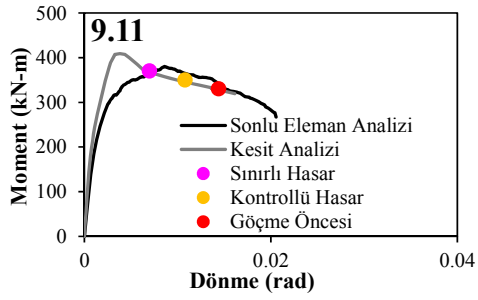
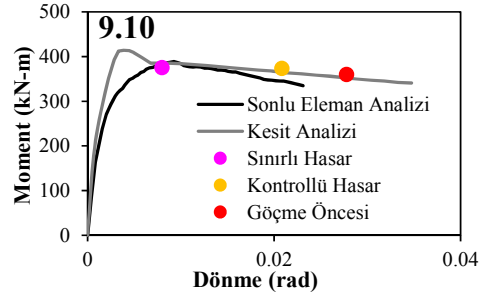
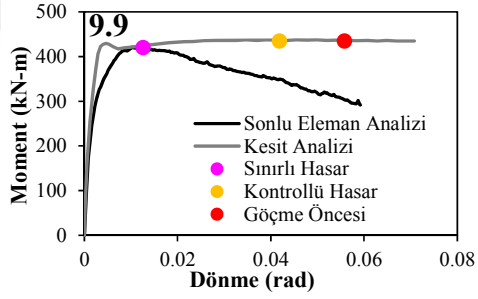
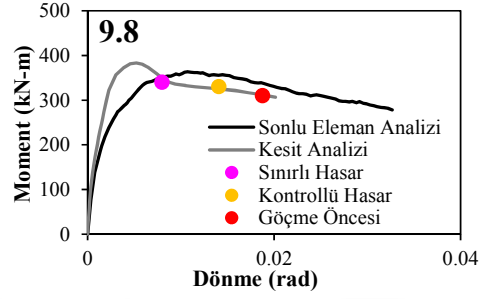
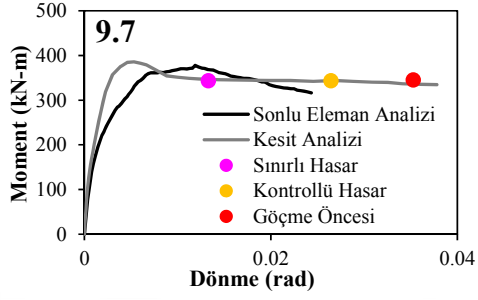
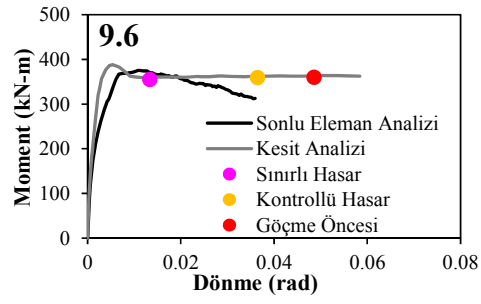
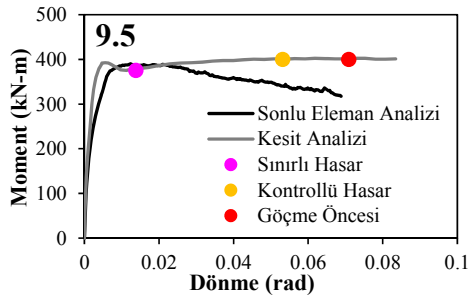
Saatcioglu and Grira 1999



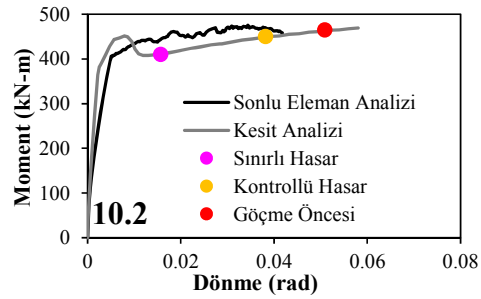
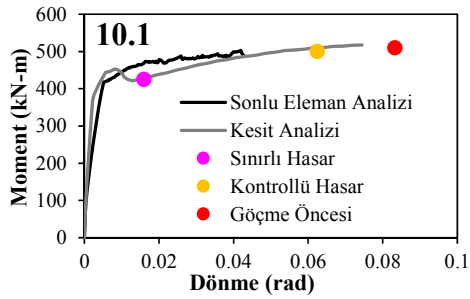


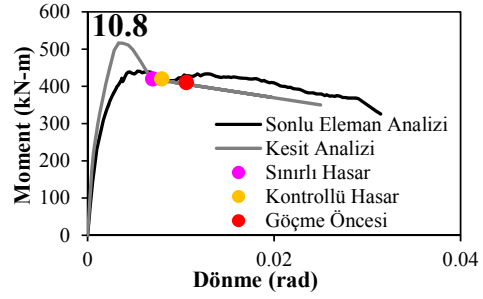
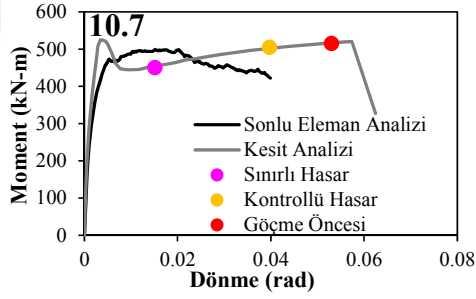
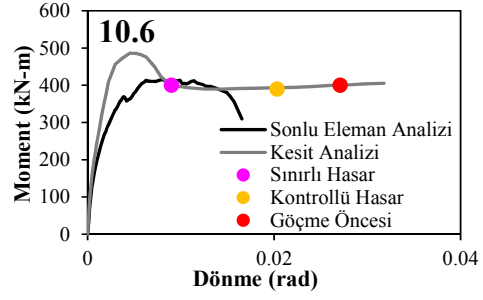
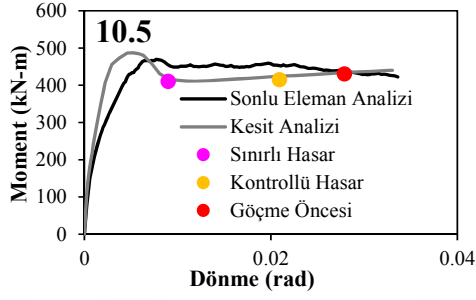
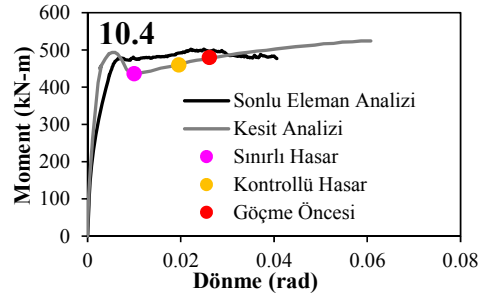
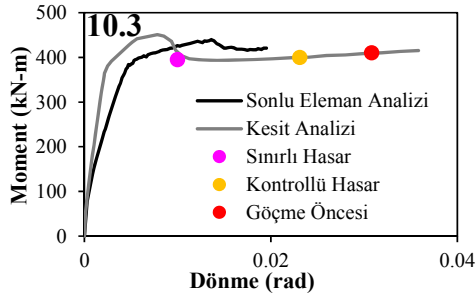
Mo and Wang 2000



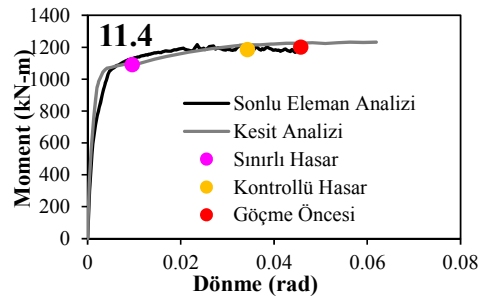
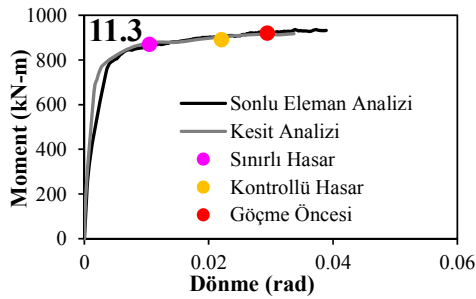
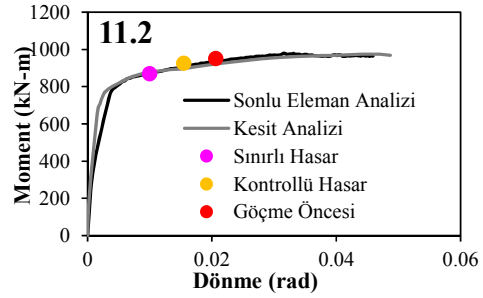
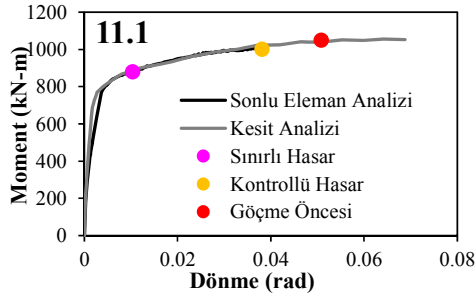


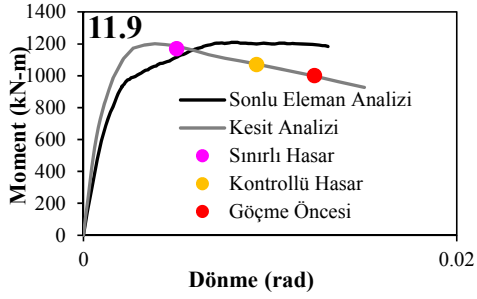
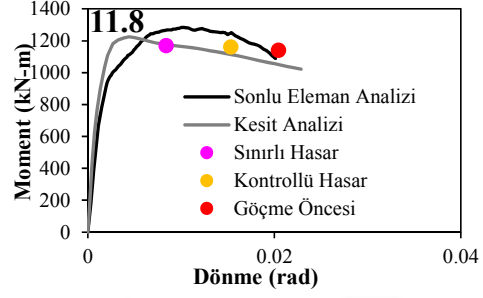
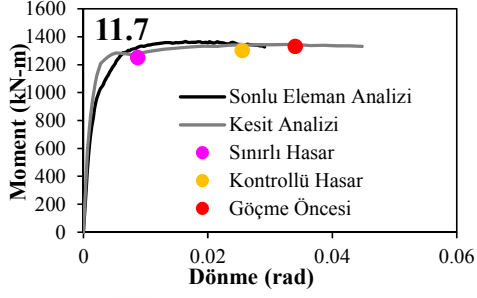
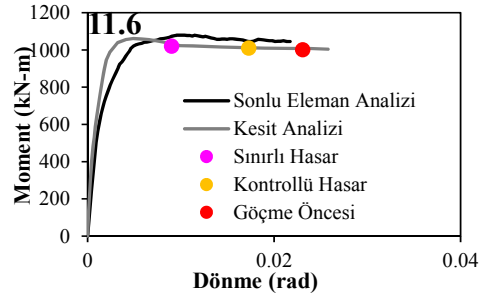
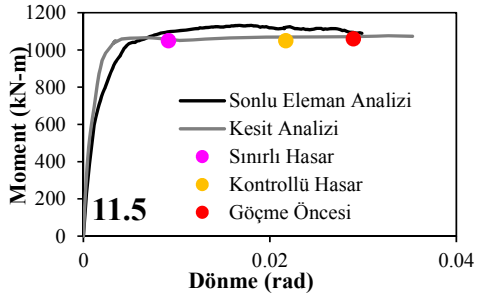
Sezen and Moehle 2004



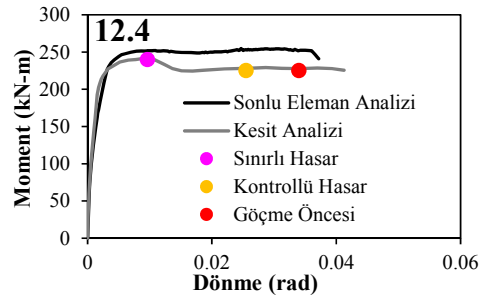
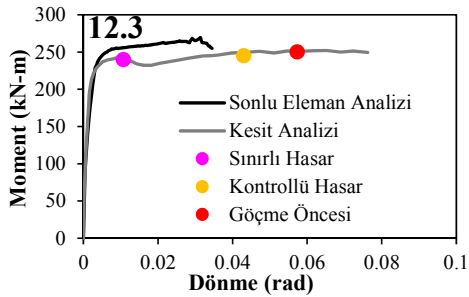
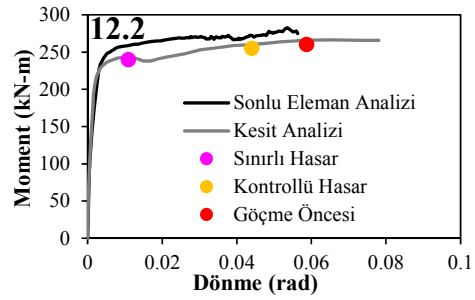
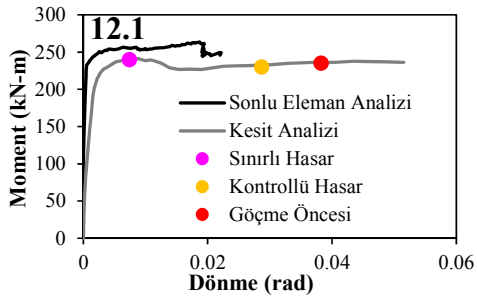


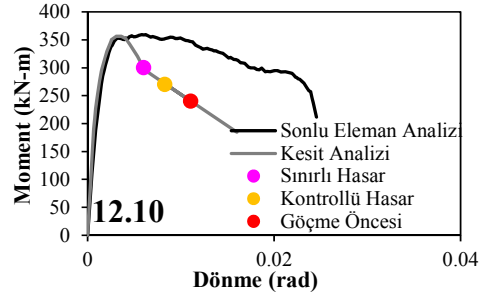
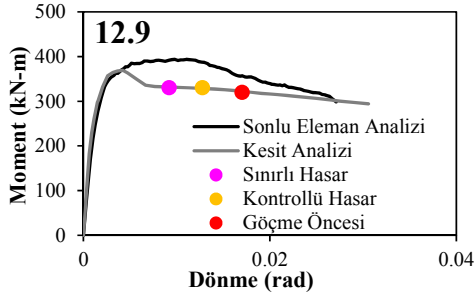
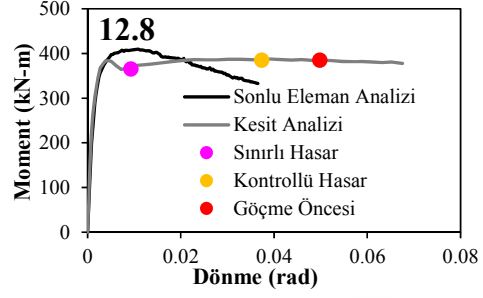
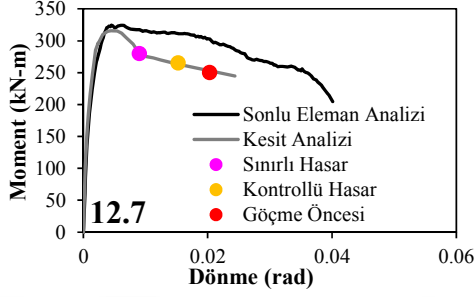
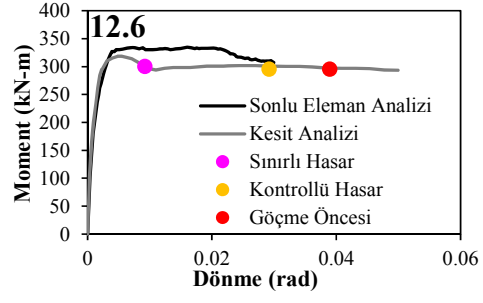
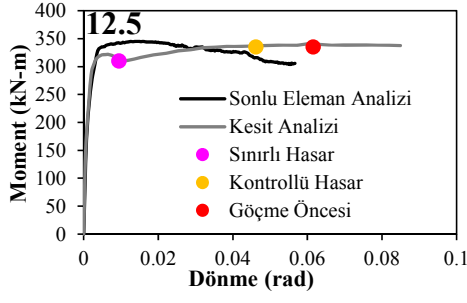
Bectoula. Kono. Arai and Watanabe 2002



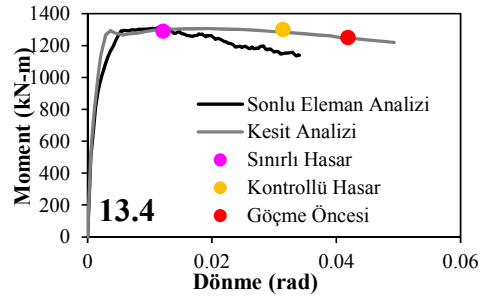
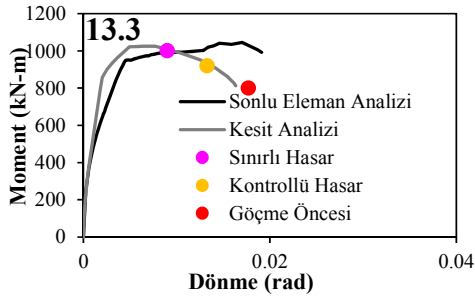
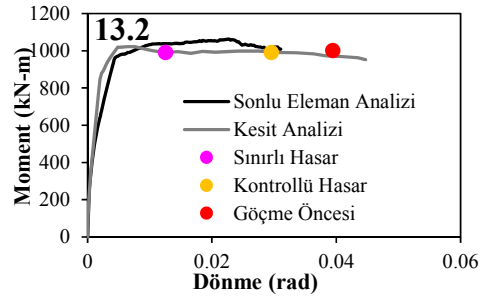
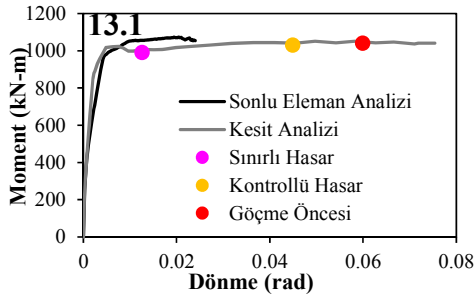


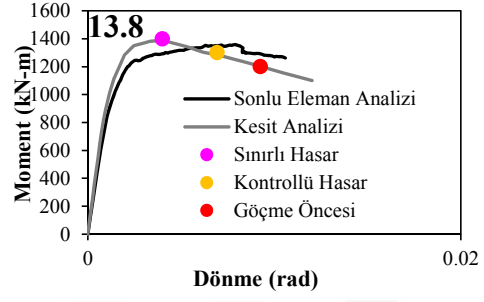
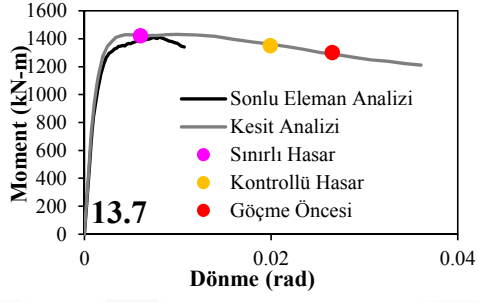
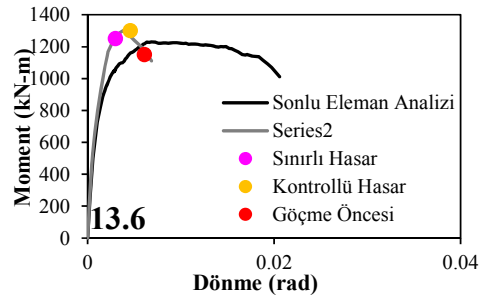
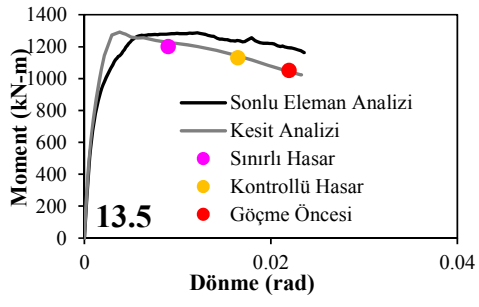
Takemura and Kawashima. 1997





Xiao & Yun 2002





## EK-4

### Analizi Seti 2

Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Tanaka and Park 1990, No. 5	1.1	550	550	1925	90	41	32	0.10	325	0.0101	0.0074
	1.2	550	550	1925	220	41	32	0.10	325	0.0101	0.0030
	1.3	550	550	1925	250	41	32	0.10	325	0.0101	0.0017
	1.4	550	550	1925	90	41	32	0.25	325	0.0101	0.0074
	1.5	550	550	1925	220	41	32	0.25	325	0.0101	0.0030
	1.6	550	550	1925	250	41	32	0.25	325	0.0101	0.0017
	1.7	550	550	1925	90	41	32	0.45	325	0.0101	0.0074
	1.8	550	550	1925	90	41	32	0.45	325	0.0101	0.0074
	1.9	550	550	1925	220	41	32	0.45	325	0.0101	0.0030
	1.10	550	550	1925	250	41	32	0.45	325	0.0101	0.0017
Park and Paulay 1990, No. 9	2.1	601	400	2703	75	36	35	0.10	305	0.0188	0.0079
	2.2	601	400	2703	160	36	35	0.10	305	0.0188	0.0037
	2.3	601	400	2703	200	36	35	0.10	305	0.0188	0.0019
	2.4	601	400	2703	75	36	35	0.25	305	0.0188	0.0079
	2.5	601	400	2703	160	36	35	0.25	305	0.0188	0.0037
	2.6	601	400	2703	200	36	35	0.25	305	0.0188	0.0019
	2.7	601	400	2703	75	36	35	0.45	305	0.0188	0.0079
	2.8	601	400	2703	160	36	35	0.45	305	0.0188	0.0037
	2.9	601	400	2703	200	36	35	0.45	305	0.0188	0.0019
Ohno and Nishioka 1984, L1	3.1	400	400	1200	60	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0077
	3.2	400	400	1200	130	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0035
	3.3	400	400	1200	200	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0023
	3.4	400	400	1200	60	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0077
	3.5	400	400	1200	130	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0035
	3.6	400	400	1200	200	31.5	35	0.10	325	0.0142	0.0023
	3.7	400	400	1200	60	31.5	35	0.25	325	0.0142	0.0077
	3.8	400	400	1200	130	31.5	35	0.25	325	0.0142	0.0035
	3.9	400	400	1200	200	31.5	35	0.25	325	0.0142	0.0023
	3.10	400	400	1200	60	31.5	35	0.45	325	0.0142	0.0077
	3.11	400	400	1200	130	31.5	35	0.45	325	0.0142	0.0035
	3.12	400	400	1200	200	31.5	35	0.45	325	0.0142	0.0023
Lynn et al. 1998, 2CLH18	4.1	457	457	1829	55	38.1	40	0.10	400	0.0194	0.0074
	4.2	457	457	1829	130	38.1	40	0.10	400	0.0194	0.0031
	4.3	457	457	1829	200	38.1	40	0.10	400	0.0194	0.0020
	4.4	457	457	1829	55	38.1	40	0.25	400	0.0194	0.0074
	4.5	457	457	1829	130	38.1	40	0.25	400	0.0194	0.0031
	4.6	457	457	1829	200	38.1	40	0.25	400	0.0194	0.0020
	4.7	457	457	1829	55	38.1	40	0.45	400	0.0194	0.0074
	4.8	457	457	1829	130	38.1	40	0.45	400	0.0194	0.0031
	4.9	457	457	1829	200	38.1	40	0.45	400	0.0194	0.0020
Xiao and Martirosyan 1998, HC4-8L19-T10-0.1P	5.1	254	254	762	100	31	38	0.10	510	0.0246	0.0078
	5.2	254	254	762	200	31	38	0.10	510	0.0246	0.0039
	5.3	254	254	762	300	31	38	0.10	510	0.0246	0.0026
	5.4	254	254	762	100	31	38	0.25	510	0.0246	0.0078
	5.5	254	254	762	200	31	38	0.25	510	0.0246	0.0039
	5.6	254	254	762	300	31	38	0.25	510	0.0246	0.0026
	5.7	254	254	762	100	31	38	0.45	510	0.0246	0.0078
	5.8	254	254	1270	100	31	38	0.25	510	0.0246	0.0078
	5.9	254	254	1270	200	31	38	0.25	510	0.0246	0.0039
	5.10	254	254	1270	300	31	38	0.25	510	0.0246	0.0026



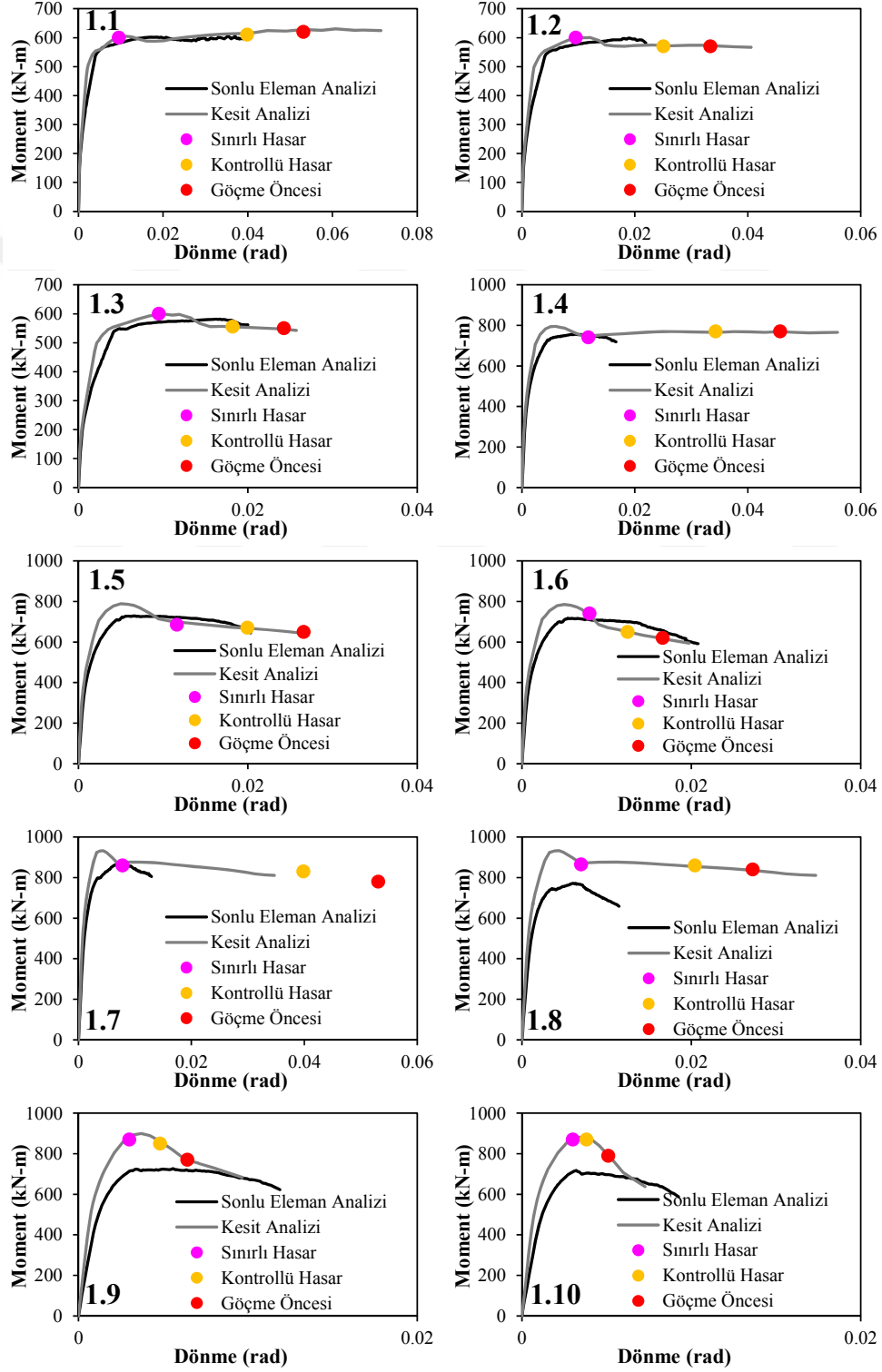
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Nosho et al. 1996, No. 1	6.1	279	279	838.2	80	25.4	40	0.10	351	0.0101	0.0085
	6.2	279	279	838.2	160	25.4	40	0.10	351	0.0101	0.0042
	6.3	279	279	838.2	220	25.4	40	0.10	351	0.0101	0.0031
	6.4	279	279	838.2	80	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0085
	6.5	279	279	838.2	160	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0042
	6.6	279	279	838.2	220	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0031
	6.7	279	279	838.2	80	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0085
	6.8	279	279	838.2	160	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0042
	6.9	279	279	838.2	220	25.4	40	0.25	351	0.0101	0.0031
Bayrak and Sheikh 1996, ES-IHT	7.1	305	305	915	90	36.8	31	0.10	463	0.0258	0.0075
	7.2	305	305	915	200	36.8	31	0.10	463	0.0258	0.0033
	7.3	305	305	915	400	36.8	31	0.10	463	0.0258	0.0016
	7.4	305	305	915	90	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0075
	7.5	305	305	915	200	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0033
	7.6	305	305	915	400	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0016
	7.7	305	305	915	90	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0075
	7.8	305	305	915	200	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0033
	7.9	305	305	915	400	36.8	31	0.25	463	0.0258	0.0016
	7.10	305	305	915	90	36.8	31	0.45	463	0.0258	0.0075
	7.11	305	305	915	200	36.8	31	0.45	463	0.0258	0.0033
	7.12	305	305	915	400	36.8	31	0.45	463	0.0258	0.0016
Saatcioglu and Grira 1999, BG-5	8.1	350	350	1050	140	29	34	0.10	570	0.0293	0.0076
	8.2	350	350	1050	280	29	34	0.10	570	0.0293	0.0038
	8.3	350	350	1050	400	29	34	0.10	570	0.0293	0.0026
	8.4	350	350	1050	140	29	34	0.25	570	0.0293	0.0076
	8.5	350	350	1050	280	29	34	0.25	570	0.0293	0.0038
	8.6	350	350	1050	400	29	34	0.25	570	0.0293	0.0026
	8.7	350	350	1050	140	29	34	0.25	570	0.0293	0.0076
	8.8	350	350	1050	280	29	34	0.25	570	0.0293	0.0038
	8.9	350	350	1050	400	29	34	0.25	570	0.0293	0.0026
	8.10	350	350	1050	140	29	34	0.45	570	0.0293	0.0076
	8.11	350	350	1050	280	29	34	0.45	570	0.0293	0.0038
	8.12	350	350	1050	400	29	34	0.45	570	0.0293	0.0026
Mo and Wang 2000.C2-2	9.1	400	400	1600	120	35	35	0.10	460	0.0214	0.0079
	9.2	400	400	1600	250	35	35	0.10	460	0.0214	0.0038
	9.3	400	400	1600	250	35	35	0.10	460	0.0214	0.0024
	9.4	400	400	1600	120	35	35	0.25	460	0.0214	0.0079
	9.5	400	400	1600	250	35	35	0.25	460	0.0214	0.0038
	9.6	400	400	1600	250	35	35	0.25	460	0.0214	0.0024
	9.7	400	400	1600	120	35	35	0.25	460	0.0214	0.0079
	9.8	400	400	1600	250	35	35	0.25	460	0.0214	0.0038
	9.9	400	400	1600	250	35	35	0.25	460	0.0214	0.0024
	9.10	400	400	1600	120	35	35	0.45	460	0.0214	0.0079
	9.11	400	400	1600	250	35	35	0.45	460	0.0214	0.0038
	9.12	400	400	1600	250	35	35	0.45	460	0.0214	0.0024
Sezen and Moehle 2004 No. 4	10.1	457	457	1829	95	65.1	30	0.10	476	0.0247	0.0075
	10.2	457	457	1829	230	65.1	30	0.10	476	0.0247	0.0031
	10.3	457	457	1829	230	65.1	30	0.10	476	0.0247	0.0020
	10.4	457	457	1829	95	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0075
	10.5	457	457	1829	230	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0031
	10.6	457	457	1829	230	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0020
	10.7	457	457	1829	95	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0075
	10.8	457	457	1829	230	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0031
	10.9	457	457	1829	230	65.1	30	0.25	476	0.0247	0.0020
	10.10	457	457	1829	95	65.1	30	0.45	476	0.0247	0.0075
	10.11	457	457	1829	230	65.1	30	0.45	476	0.0247	0.0031
	10.12	457	457	1829	230	65.1	30	0.45	476	0.0247	0.0020

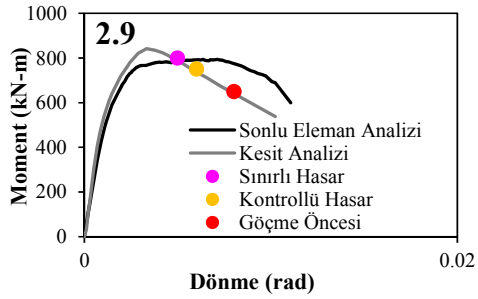
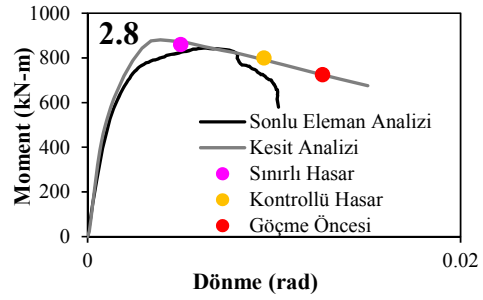
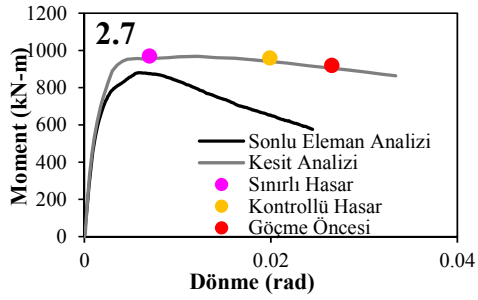
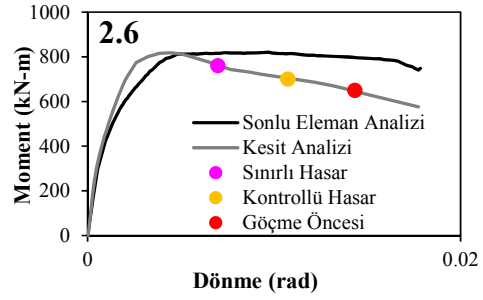
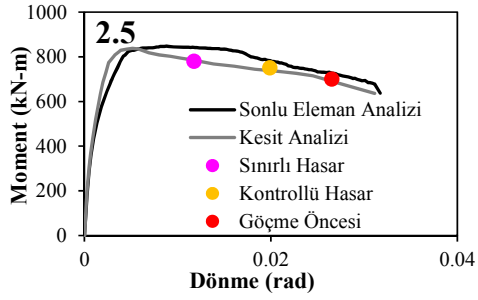
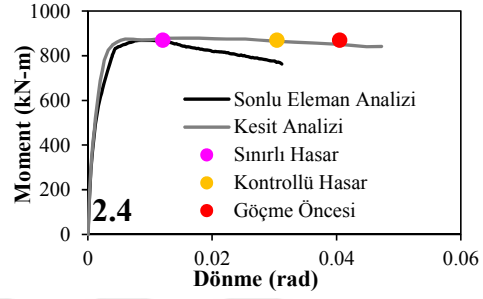
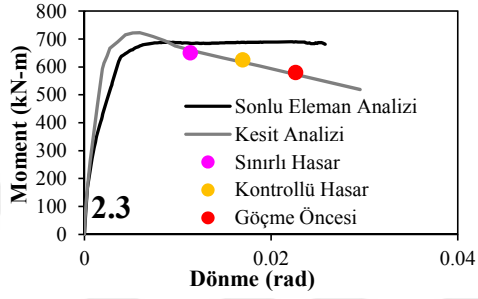
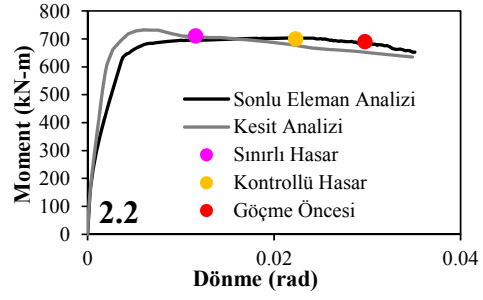
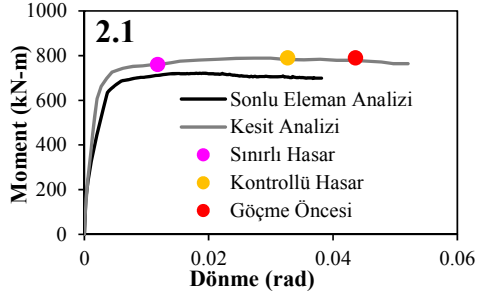
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_l$	$\rho_s$
Bechtoula. Kono. Arai and Watanabe, 2002. LIN6B	11.1	560	560	1680	85	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0072
	11.2	560	560	1680	185	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0033
	11.3	560	560	1680	300	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0020
	11.4	560	560	1680	85	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0072
	11.5	560	560	1680	185	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0033
	11.6	560	560	1680	300	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0020
	11.7	560	560	1680	85	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0072
	11.8	560	560	1680	185	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0033
	11.9	560	560	1680	300	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0020
	11.10	560	560	1680	85	24.5	35	0.25	524	0.0194	0.0072
	11.11	560	560	1680	85	24.5	35	0.45	524	0.0194	0.0072
	11.12	560	560	1680	185	24.5	35	0.45	524	0.0194	0.0033
	11.13	560	560	1680	300	24.5	35	0.45	524	0.0194	0.0020
Takemura and Kawashima. 1997, Test 3 (JSCE-6)	12.1	400	400	1600	60	31.8	35	0.10	368	0.0158	0.0077
	12.2	400	400	1600	100	31.8	35	0.10	368	0.0158	0.0046
	12.3	400	400	1600	200	31.8	35	0.10	368	0.0158	0.0023
	12.4	400	400	1600	60	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0077
	12.5	400	400	1600	100	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0046
	12.6	400	400	1600	200	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0023
	12.7	400	400	2000	60	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0077
	12.8	400	400	2000	100	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0046
	12.9	400	400	2000	200	31.8	35	0.25	368	0.0158	0.0023
	12.10	400	400	2000	60	31.8	35	0.45	368	0.0158	0.0077
	12.11	400	400	2000	100	31.8	35	0.45	368	0.0158	0.0046
	12.12	400	400	2000	200	31.8	35	0.45	368	0.0158	0.0023
Xiao & Yun 2002, No. FHC2-0.34	13.1	510	510	2040	70	40	30	0.10	445	0.026	0.0078
	13.2	510	510	2040	165	40	30	0.10	445	0.026	0.0033
	13.3	510	510	2040	220	40	30	0.10	445	0.026	0.0024
	13.4	510	510	2040	70	40	30	0.25	445	0.026	0.0078
	13.5	510	510	2040	165	40	30	0.25	445	0.026	0.0033
	13.6	510	510	2040	220	40	30	0.25	445	0.026	0.0024
	13.7	510	510	2550	70	40	30	0.25	445	0.026	0.0078
	13.8	510	510	2550	165	40	30	0.25	445	0.026	0.0033
	13.9	510	510	2550	220	40	30	0.25	445	0.026	0.0024
	13.10	510	510	2550	70	40	30	0.45	445	0.026	0.0078
	13.11	510	510	2550	165	40	30	0.45	445	0.026	0.0033
	13.12	510	510	2550	220	40	30	0.45	445	0.026	0.0024

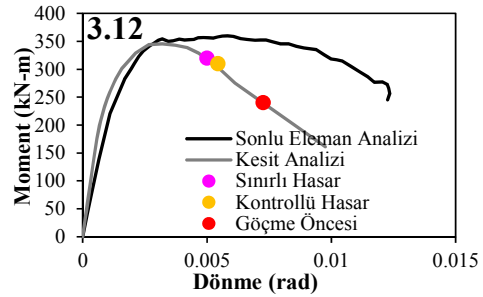
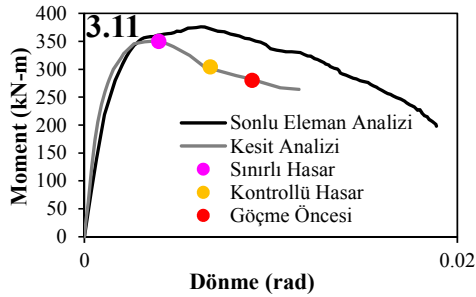
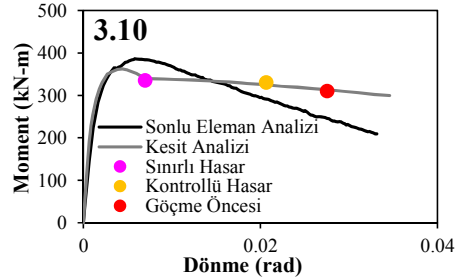
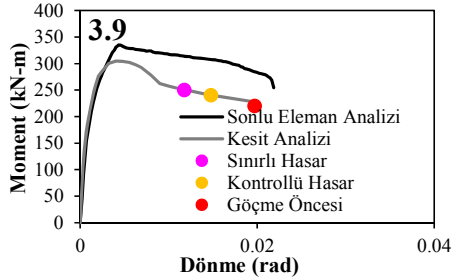
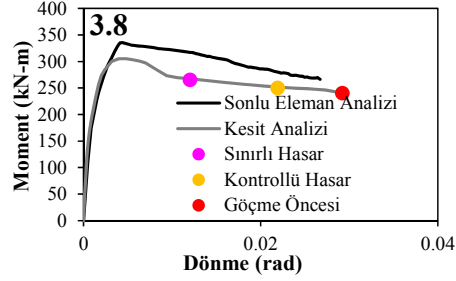
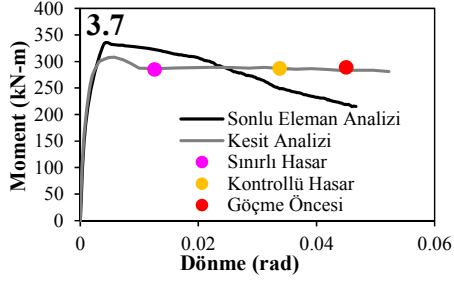
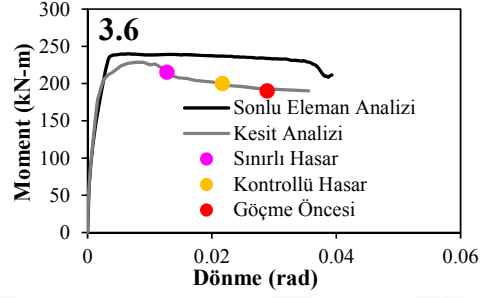
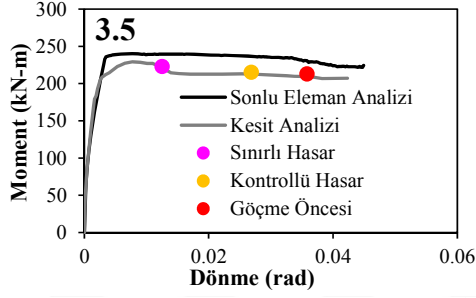
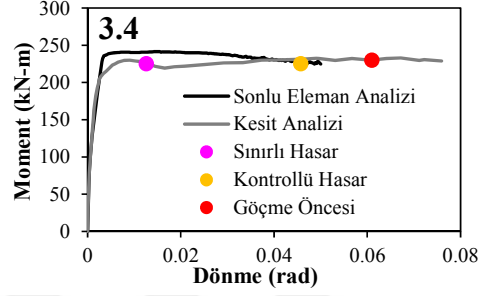
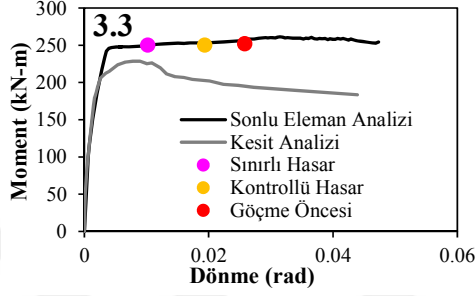
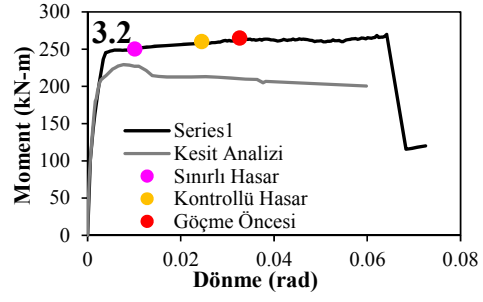
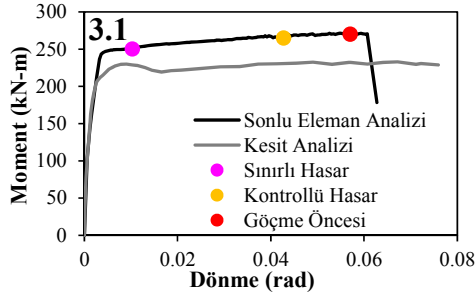
## EK-5

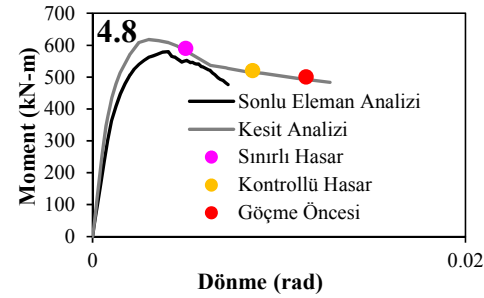
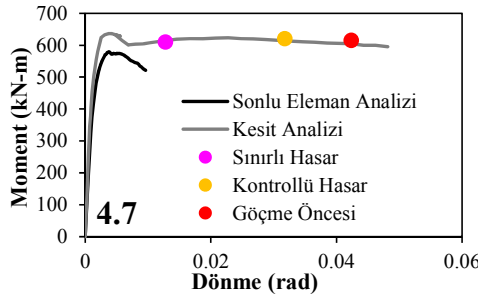
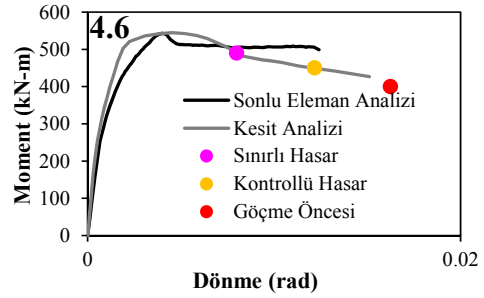
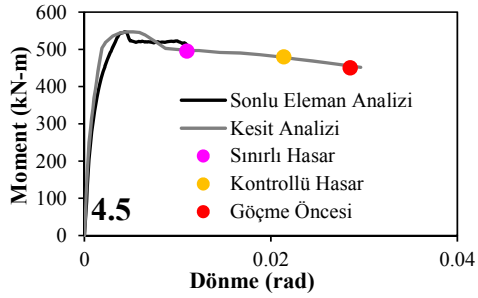
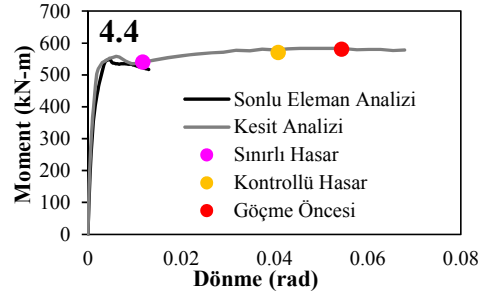
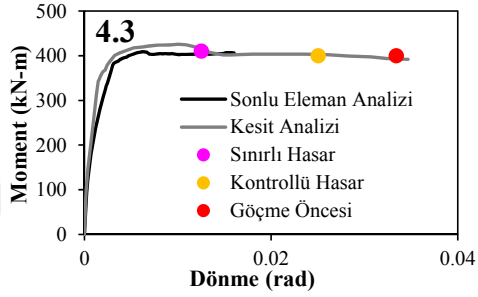
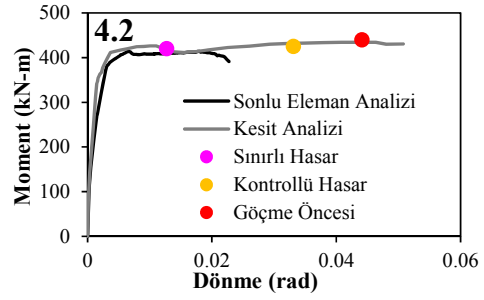
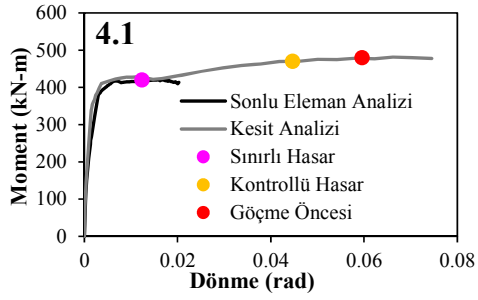
### Analizi Seti 2 Moment Dönme Grafikleri

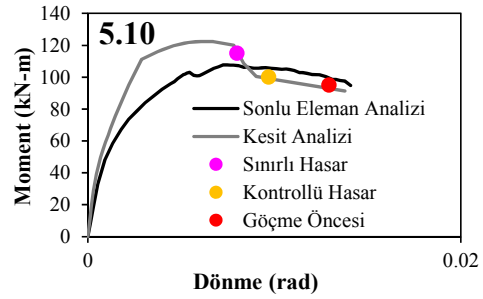
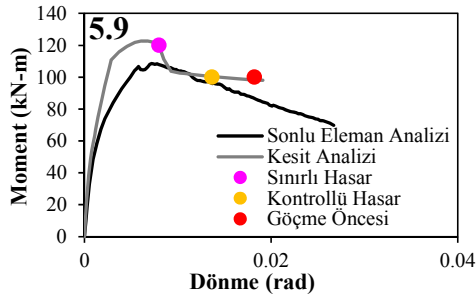
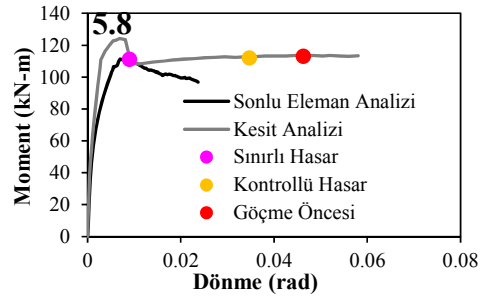
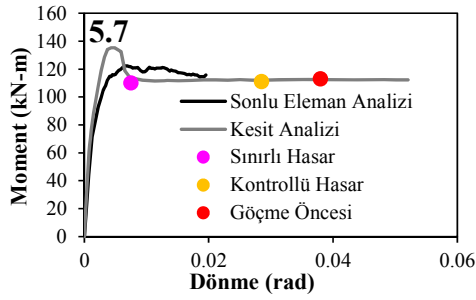
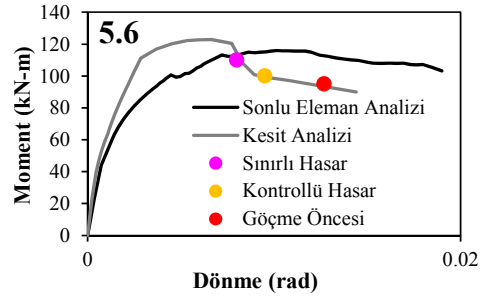
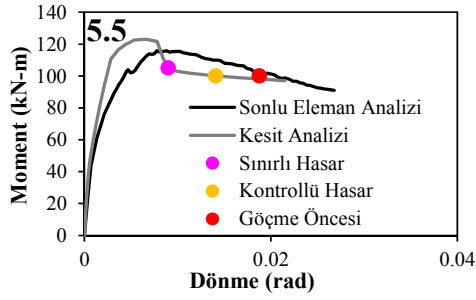
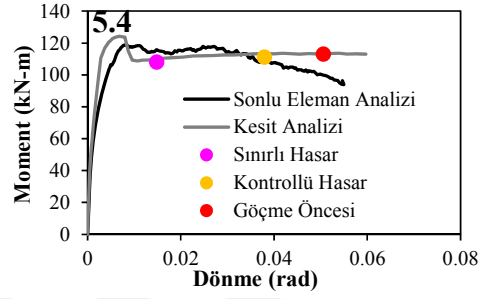
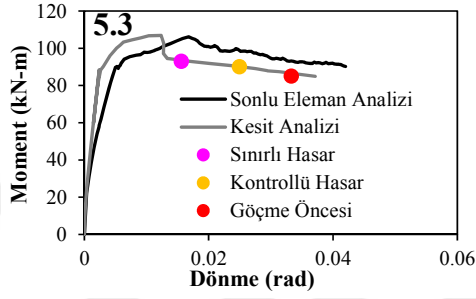
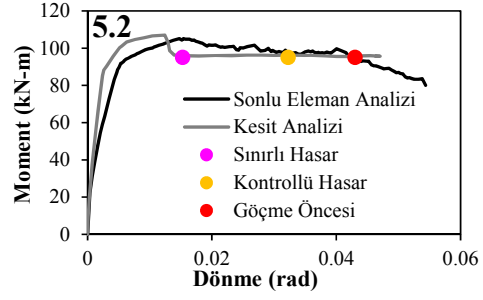
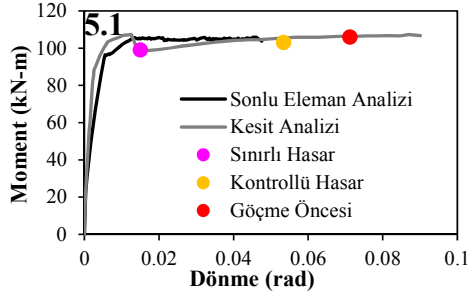
Tanaka and Park 1990

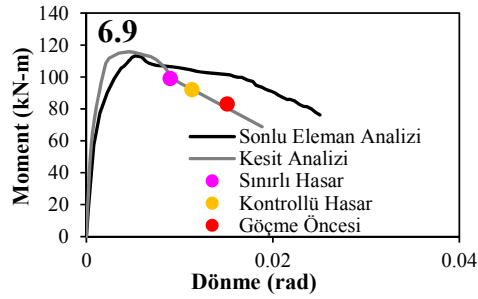
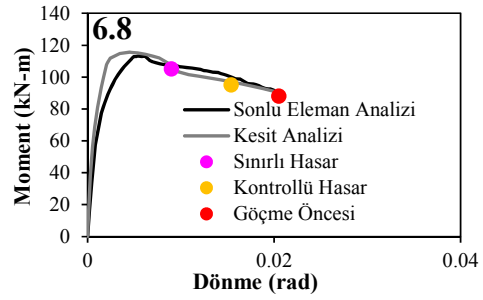
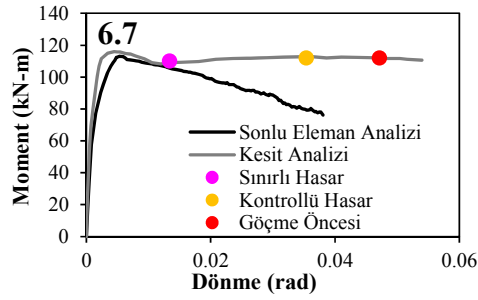
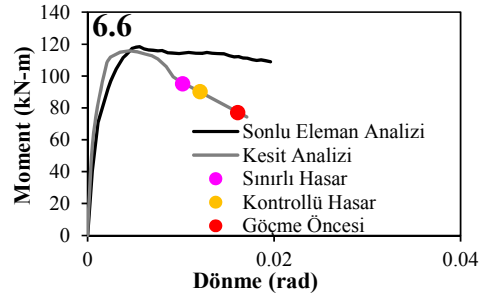
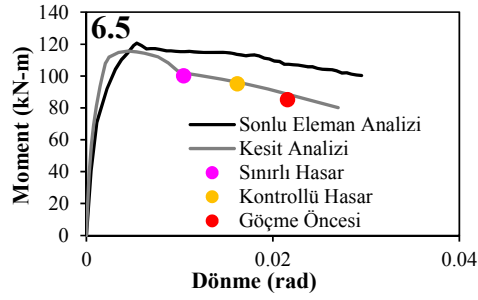
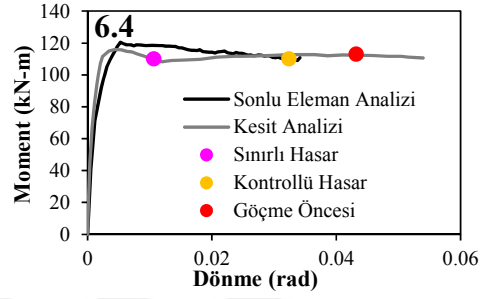
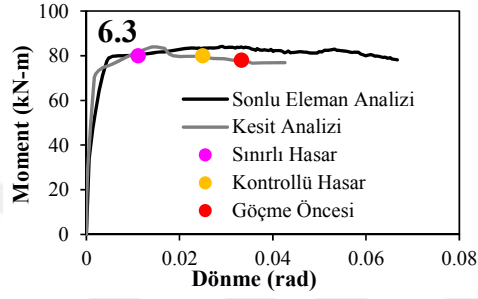
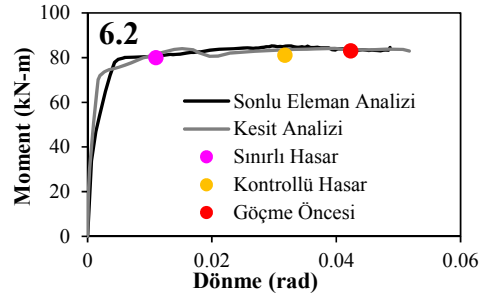
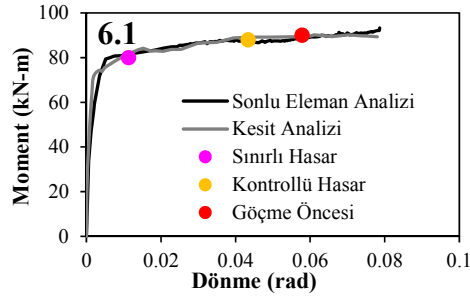




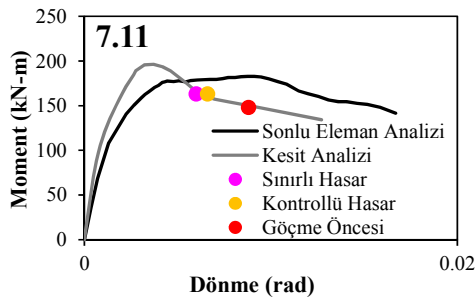
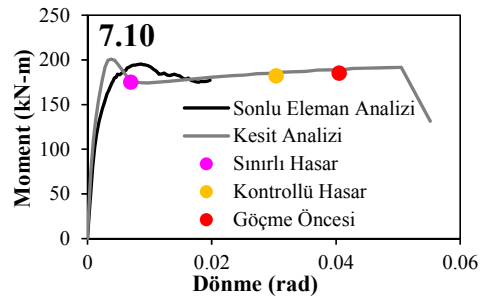
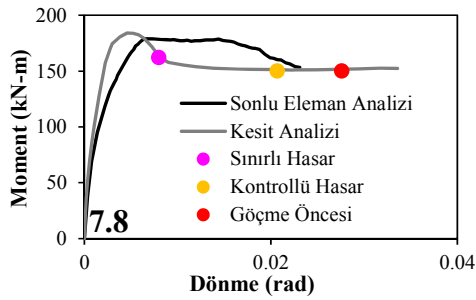
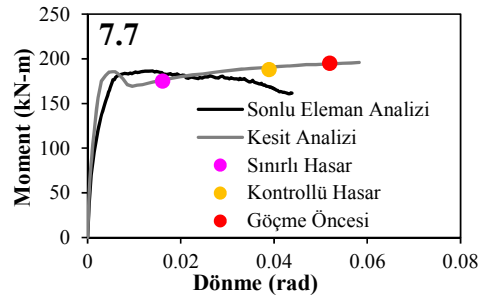
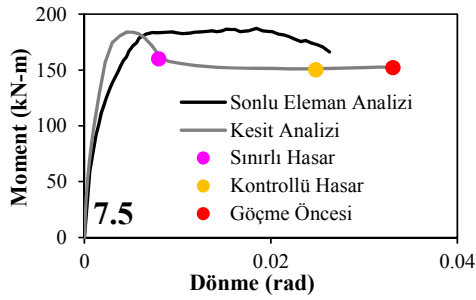
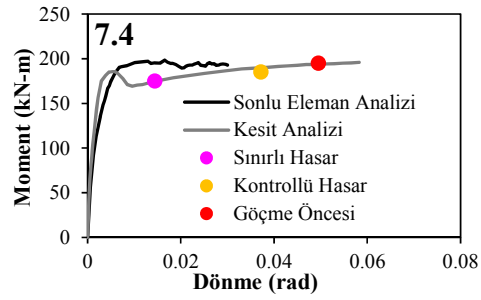
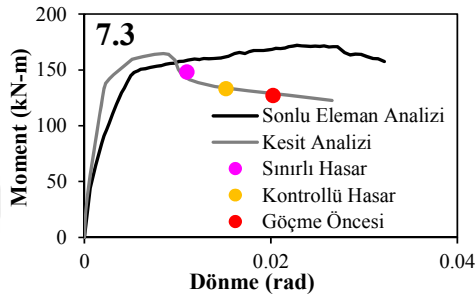
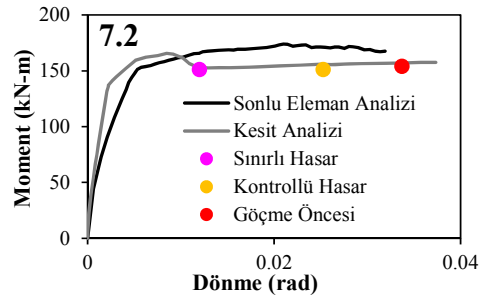
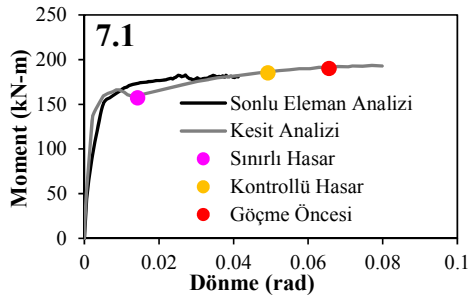


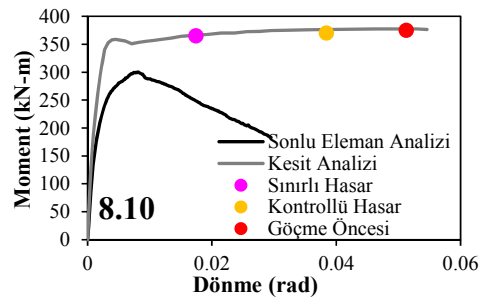
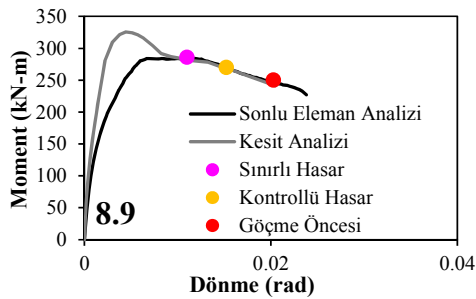
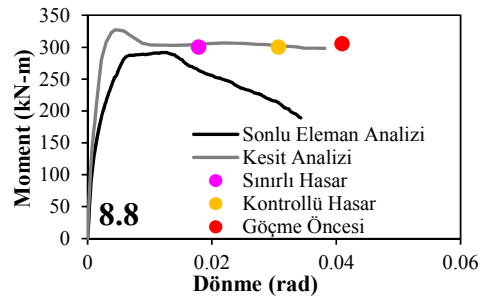
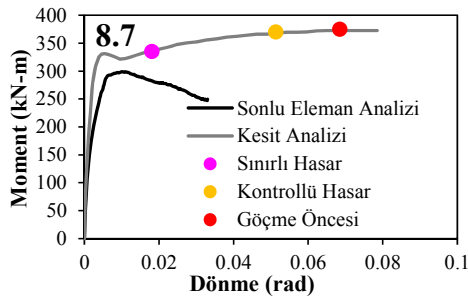
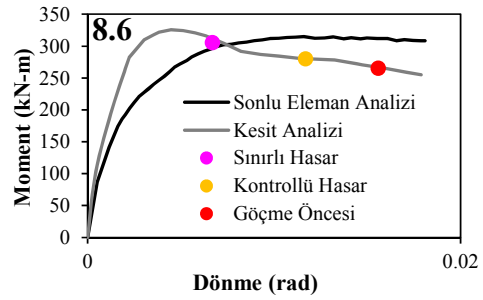
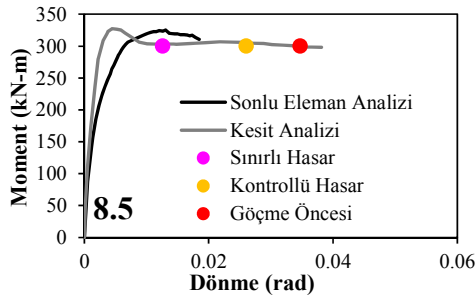
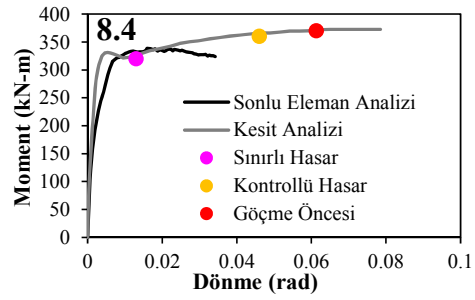
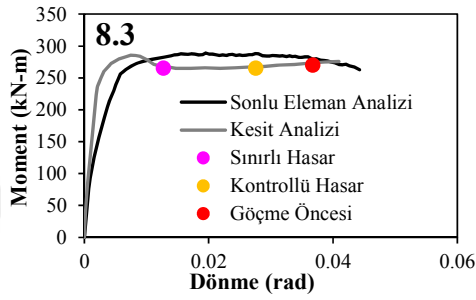
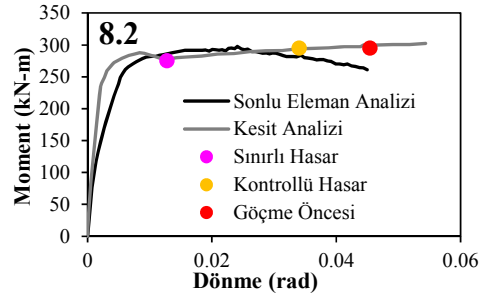
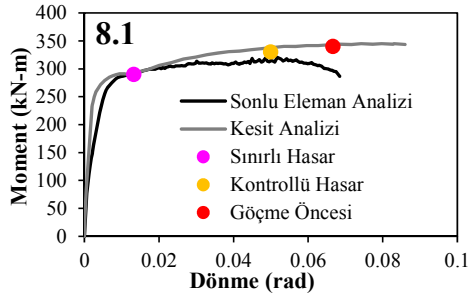


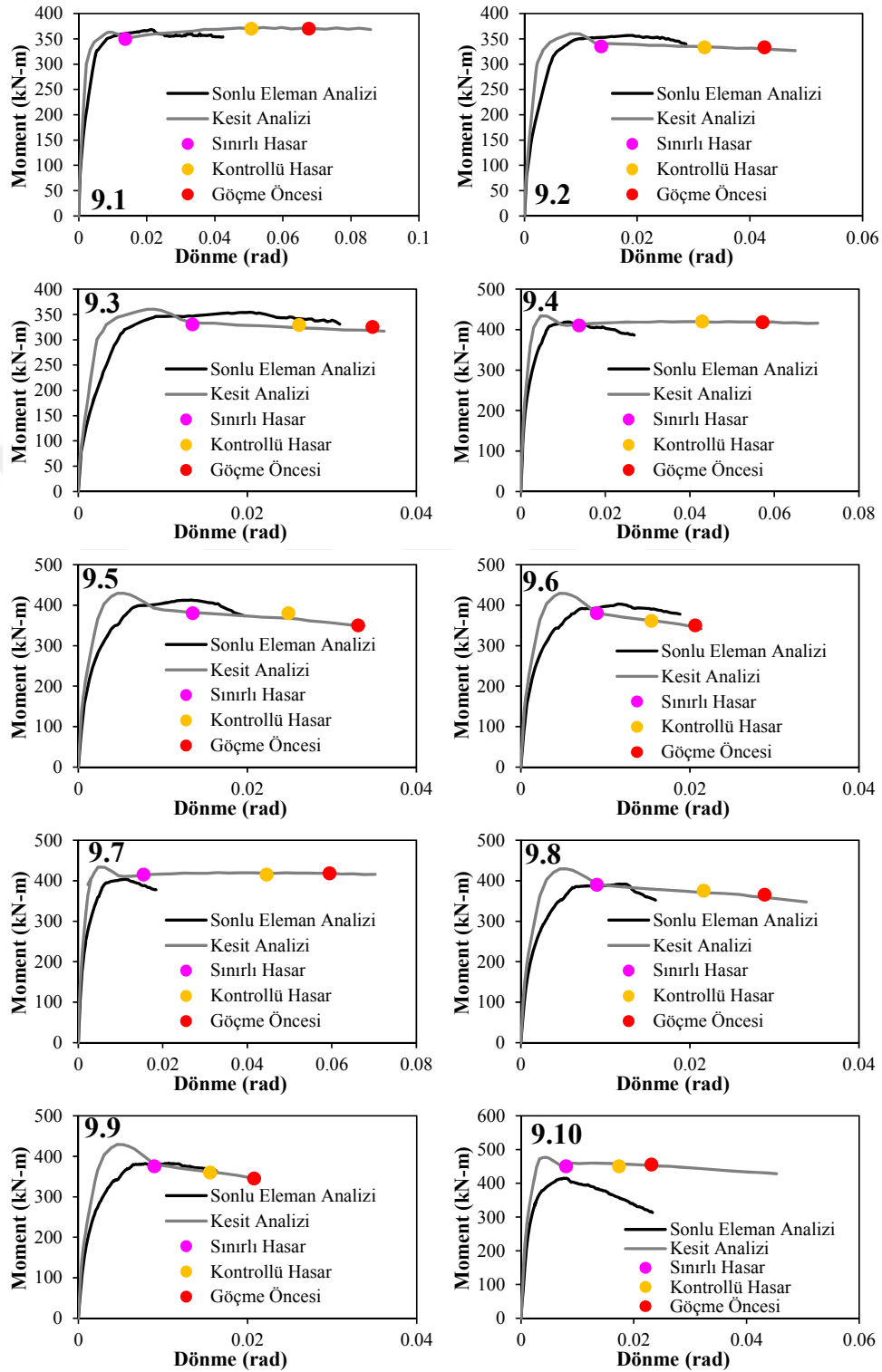


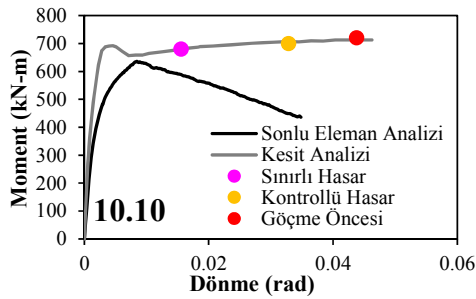
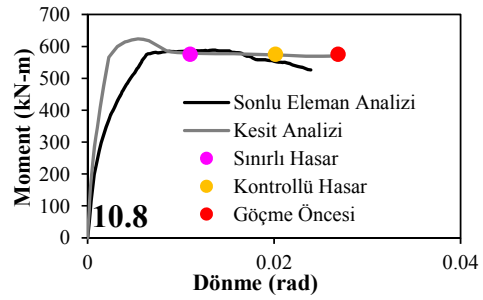
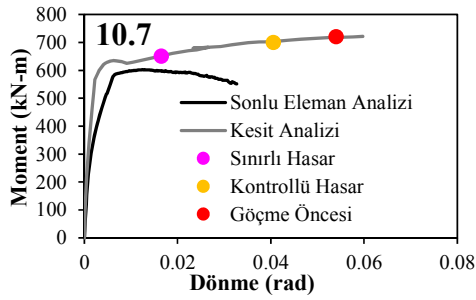
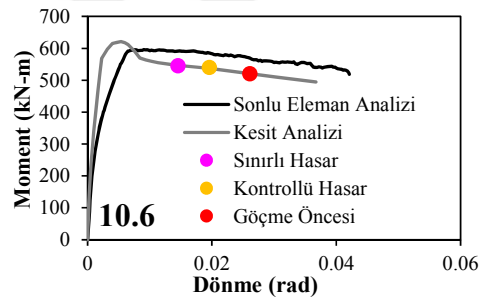
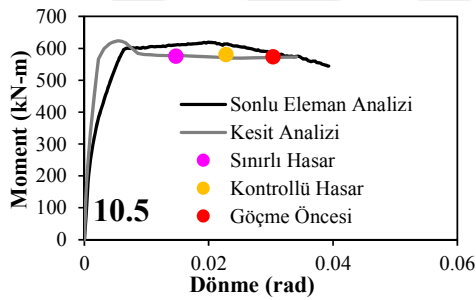
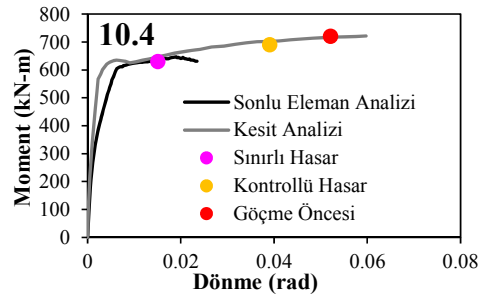
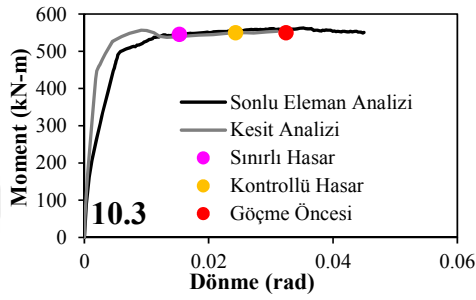
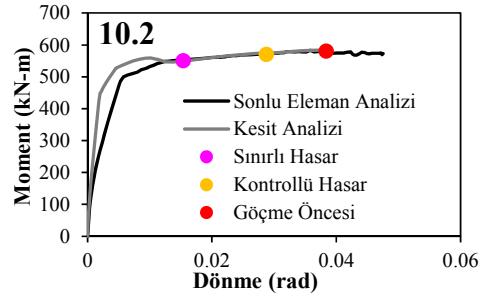
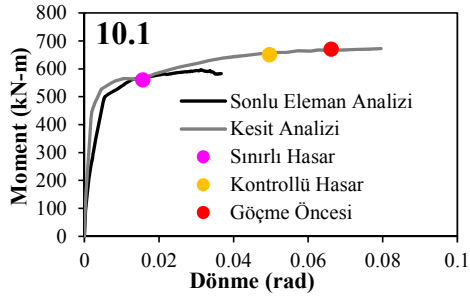


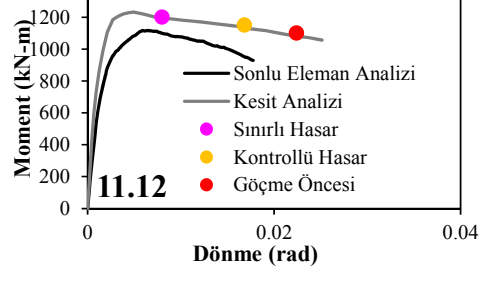
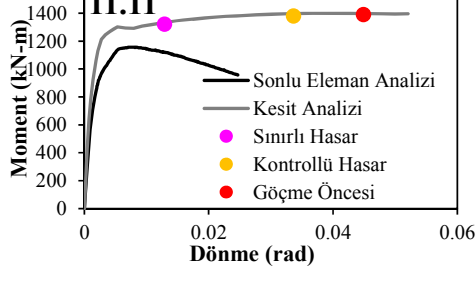
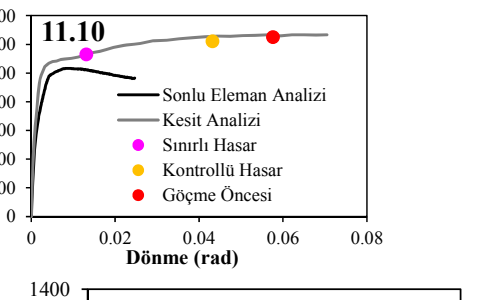
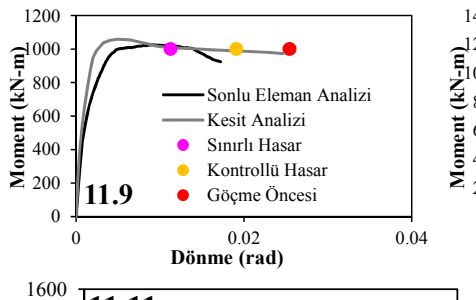
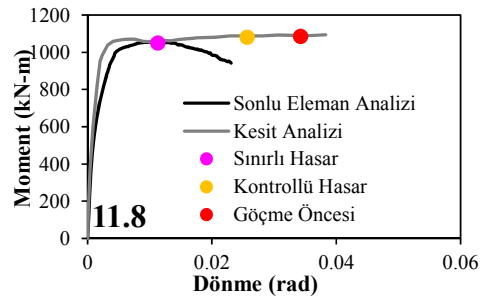
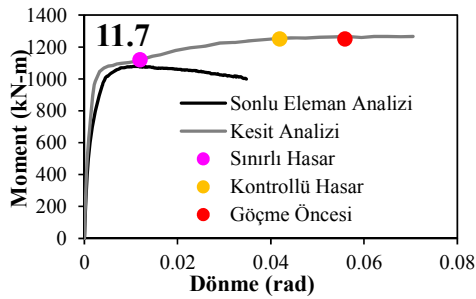
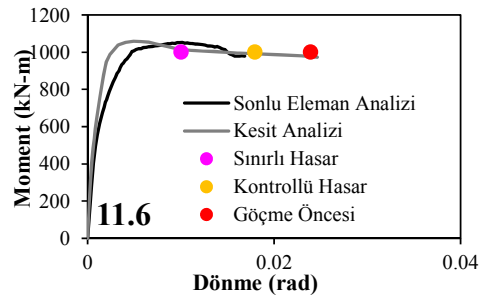
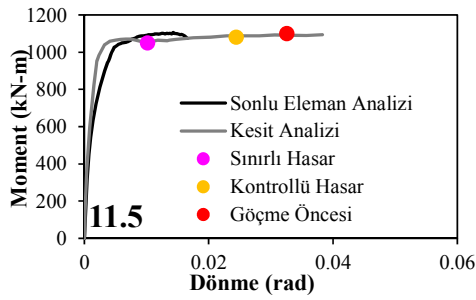
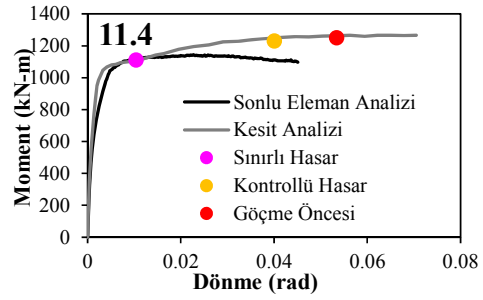
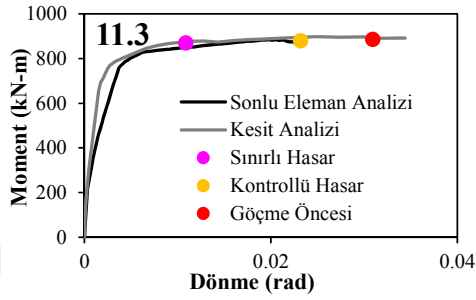
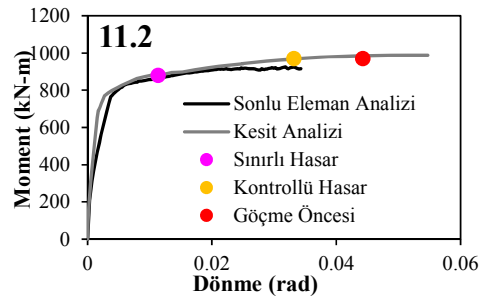
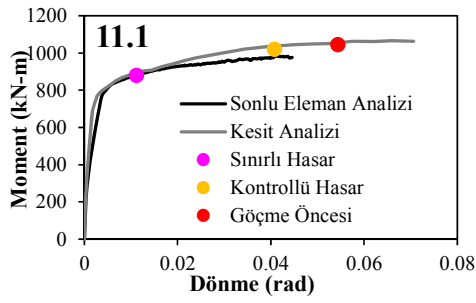


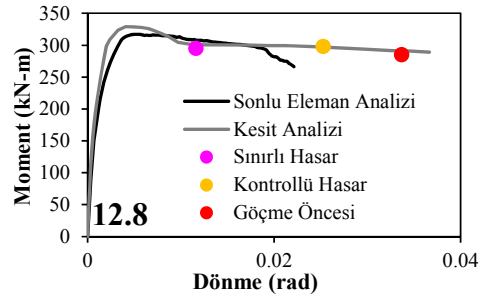
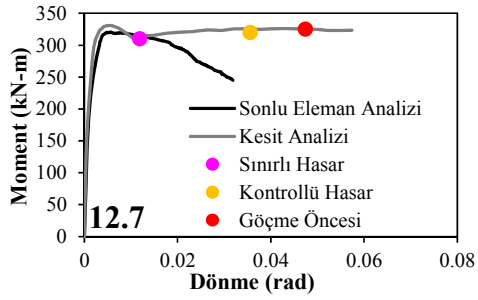
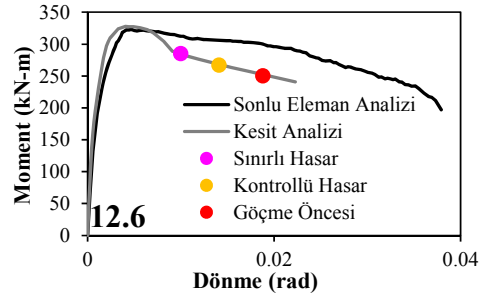
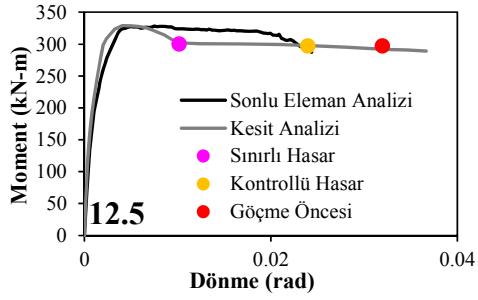
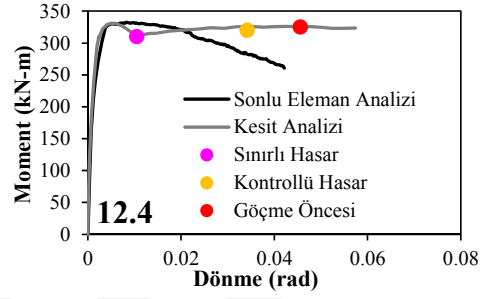
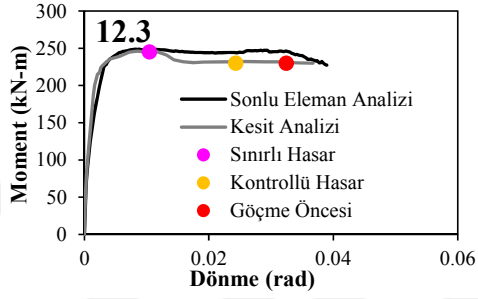
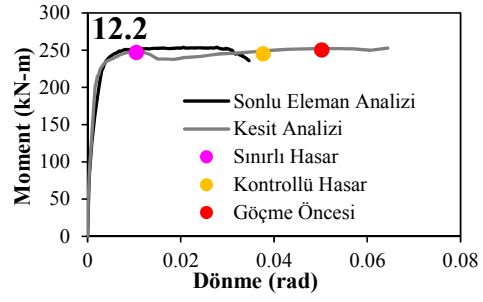
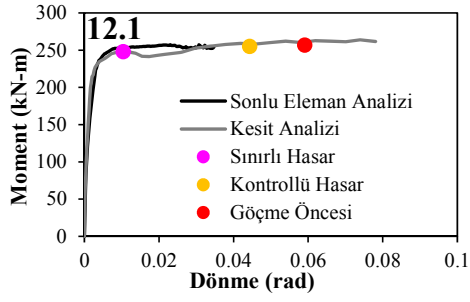


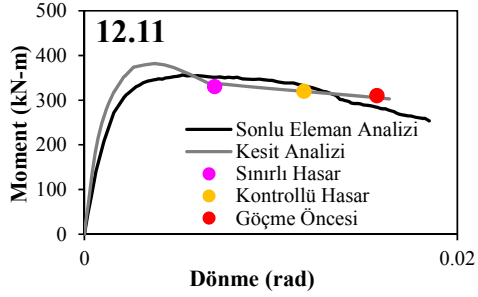
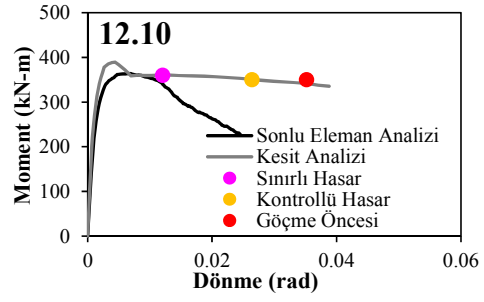
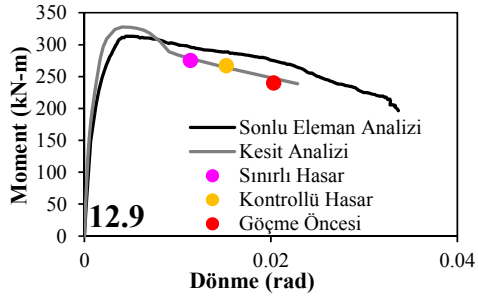




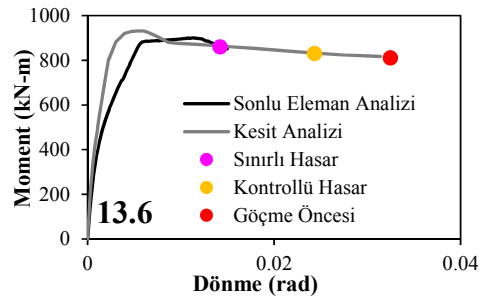
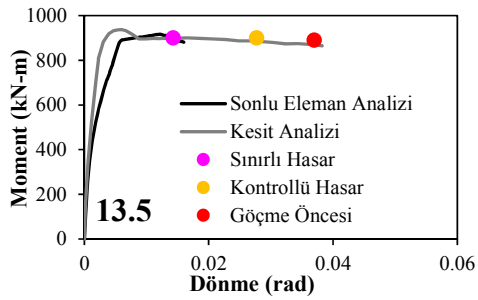
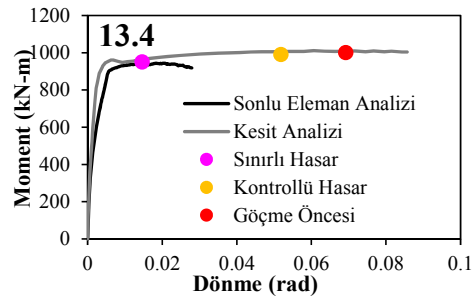
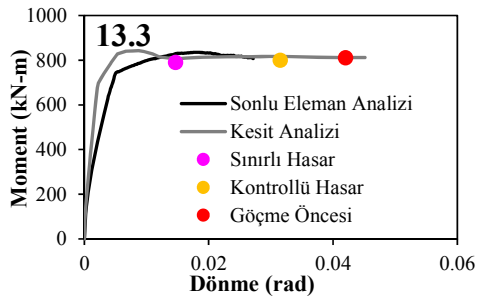
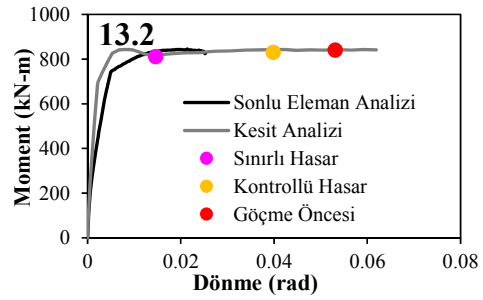
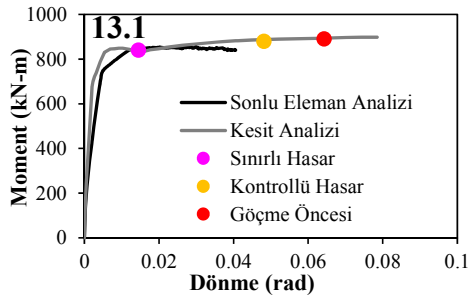


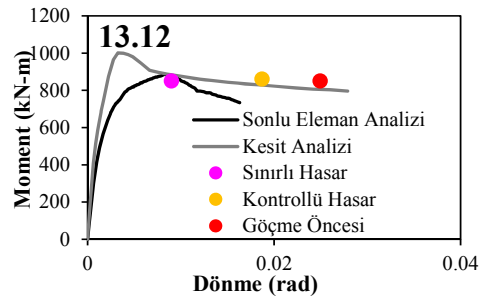
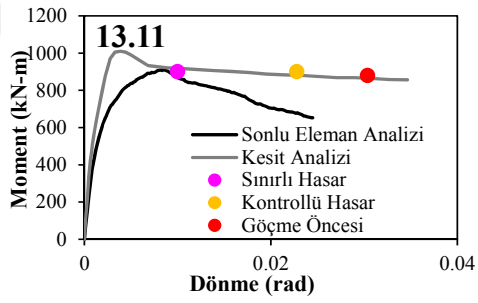
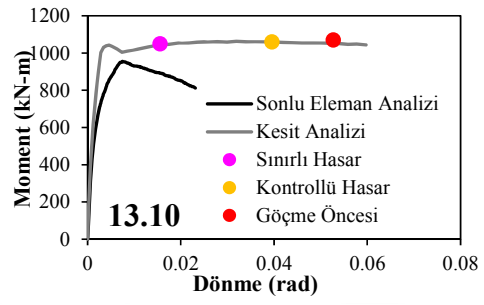
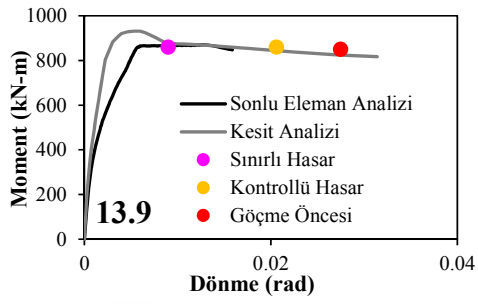
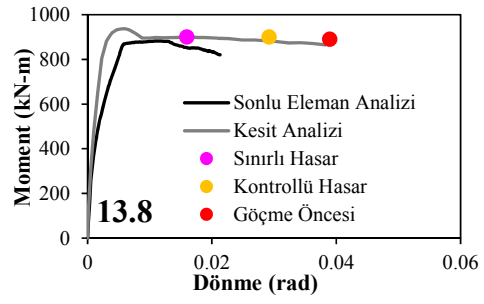
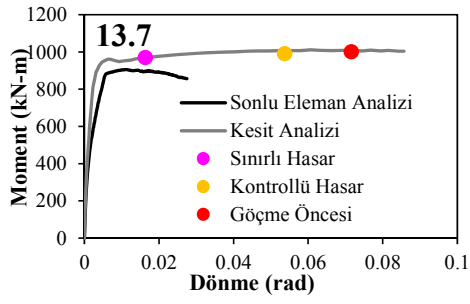






Xiao & Yun 2002



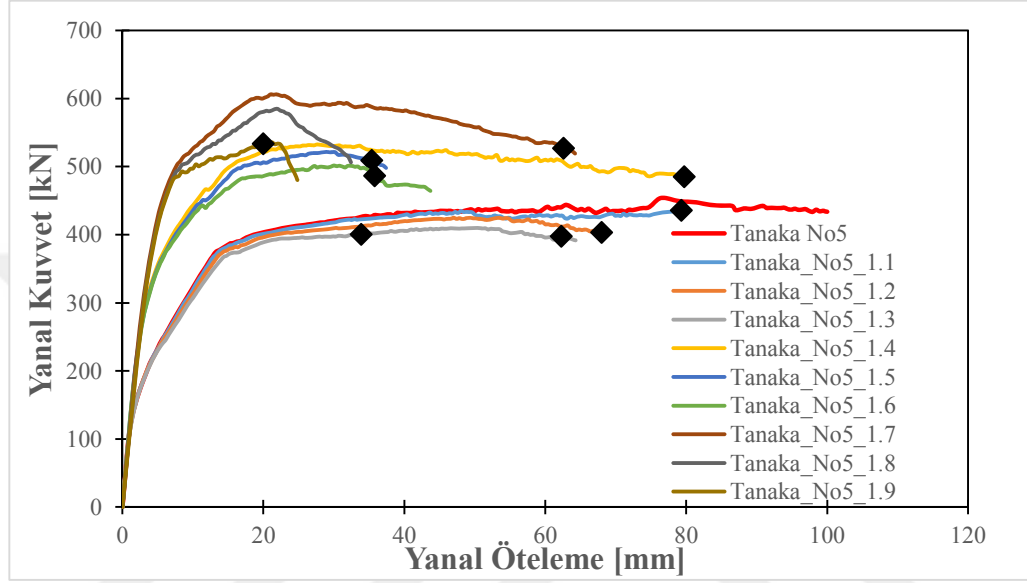




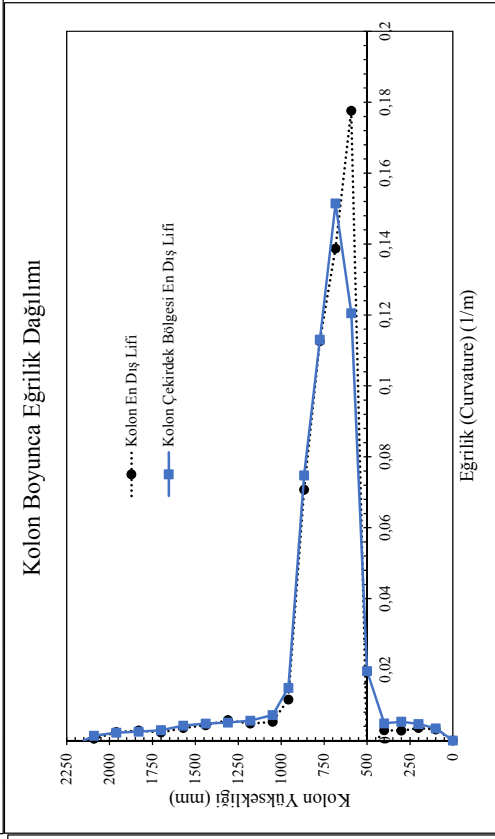
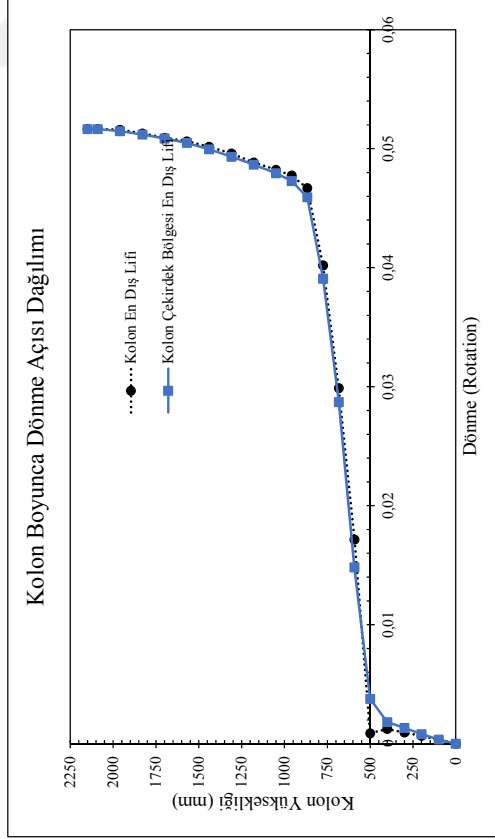
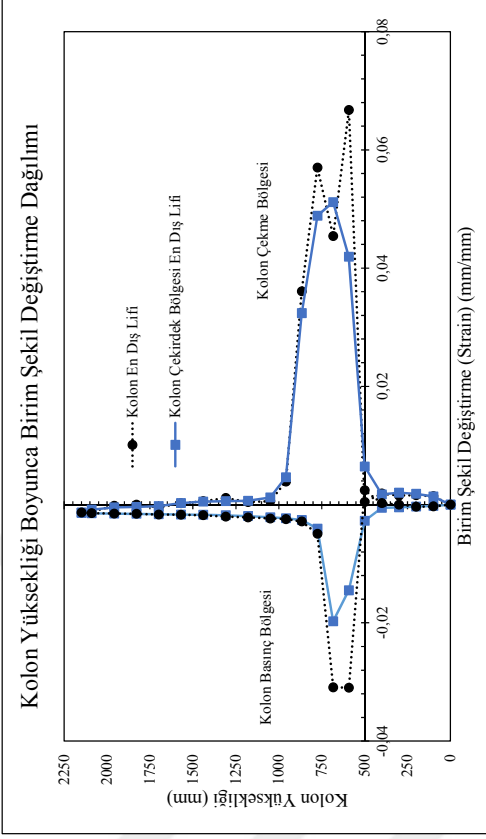
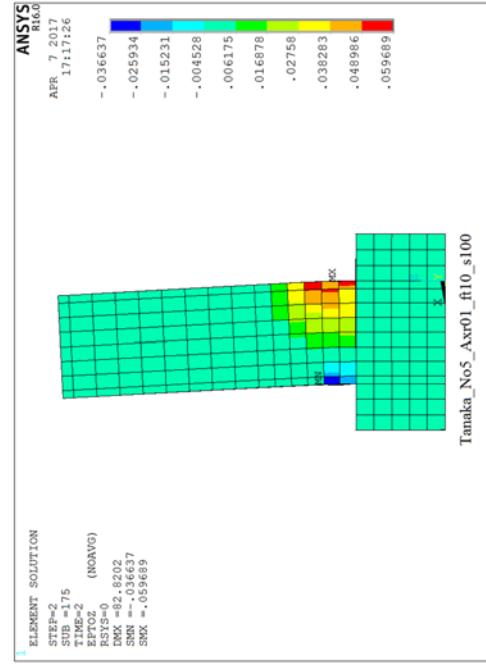
## EK-6

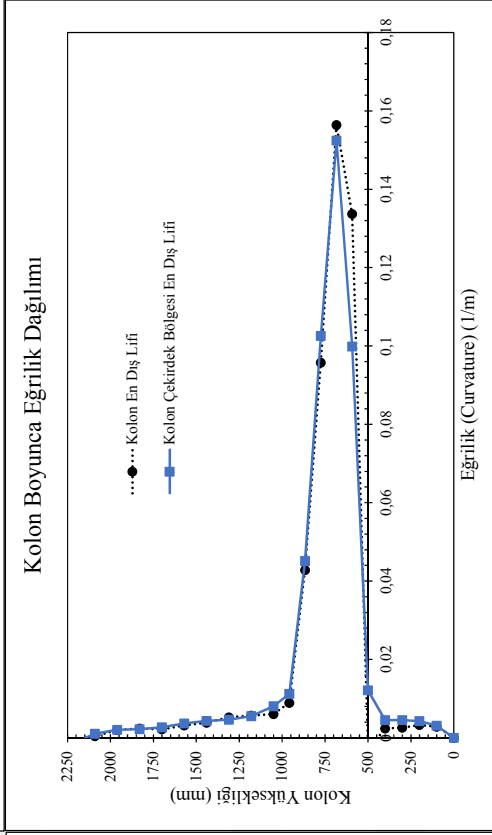
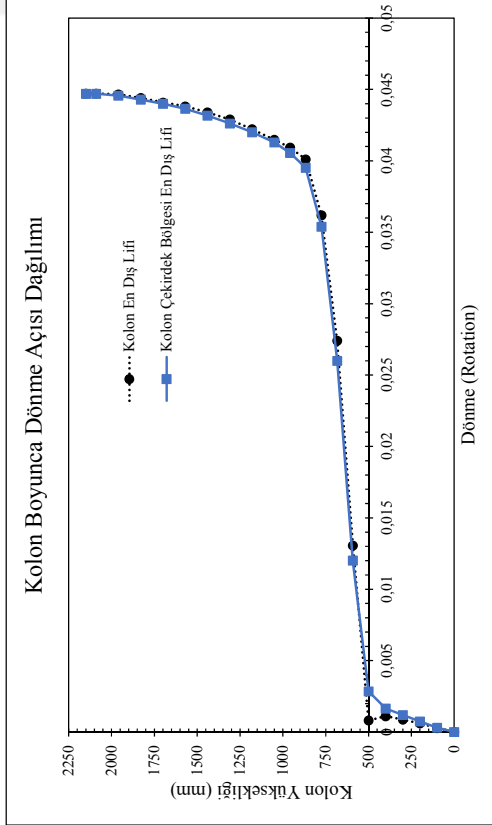
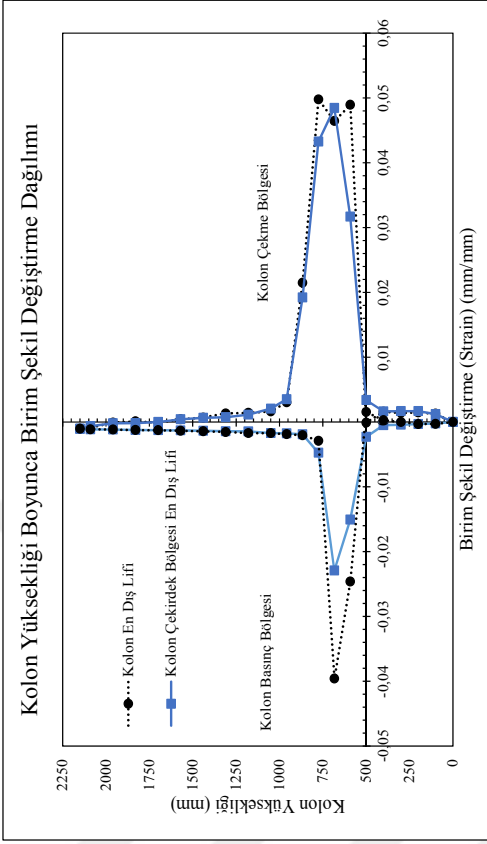
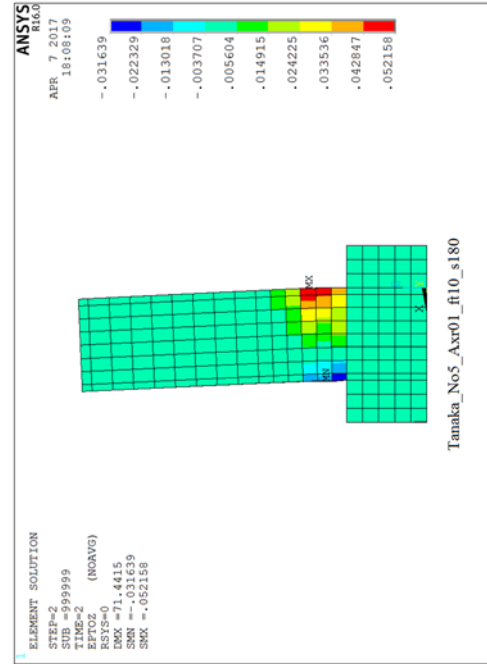
### Kolon Şekil Değiştirme Profilleri

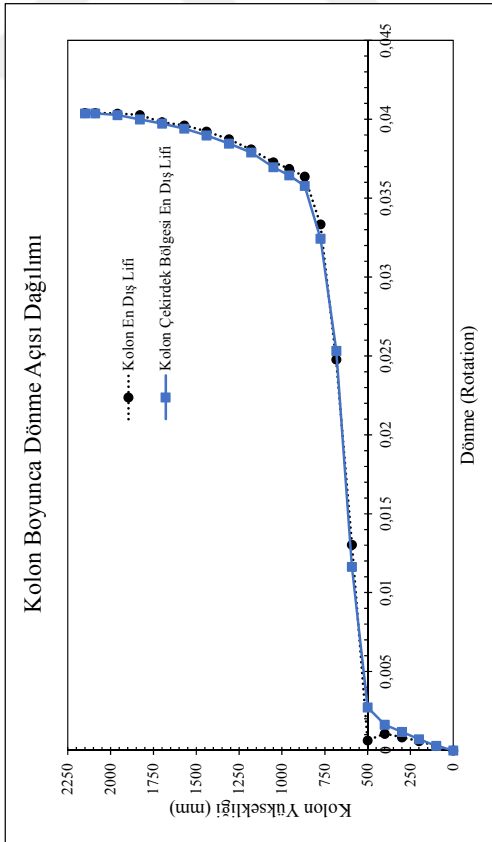
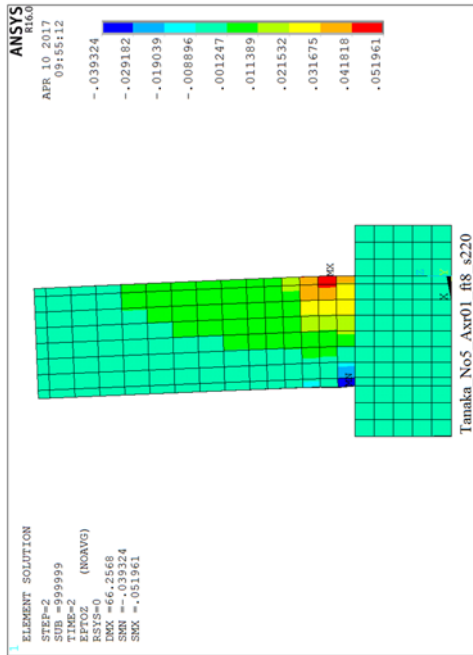
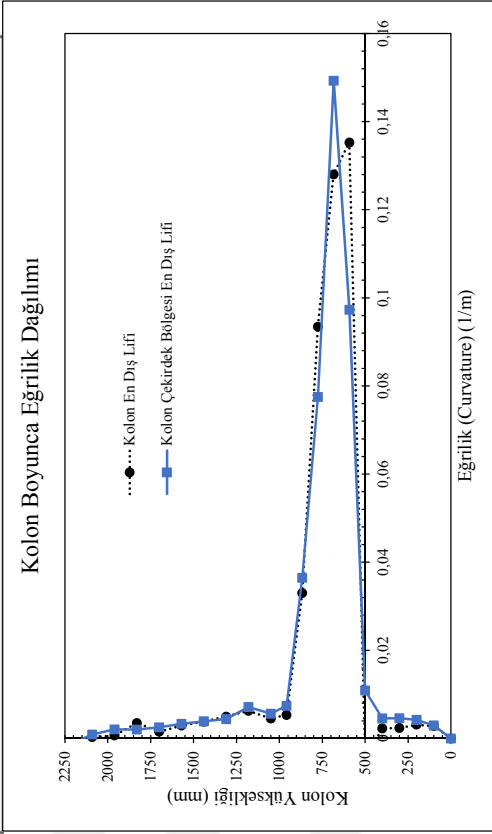
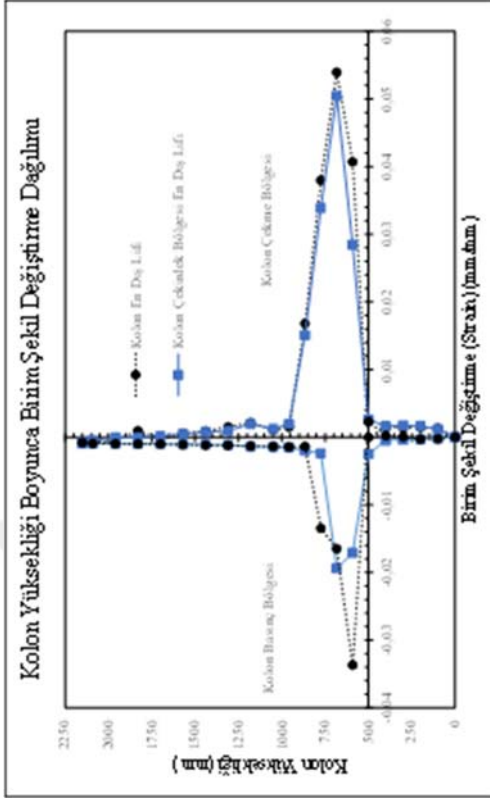
Tanaka and Park 1990

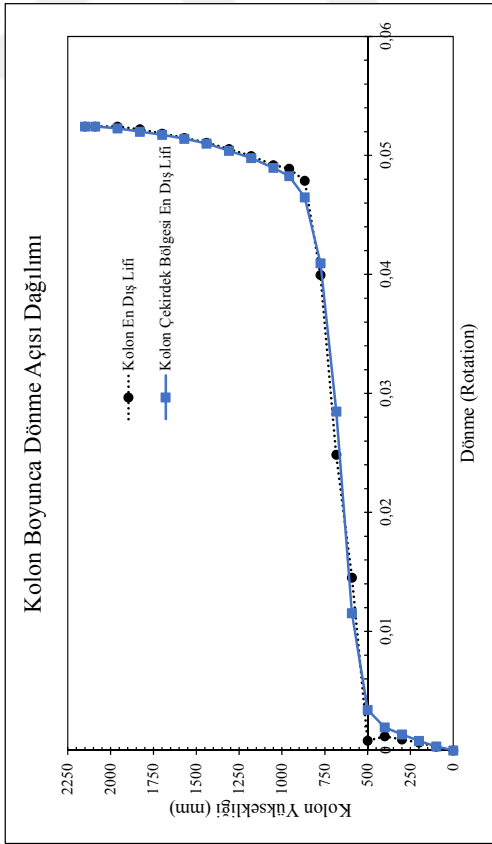
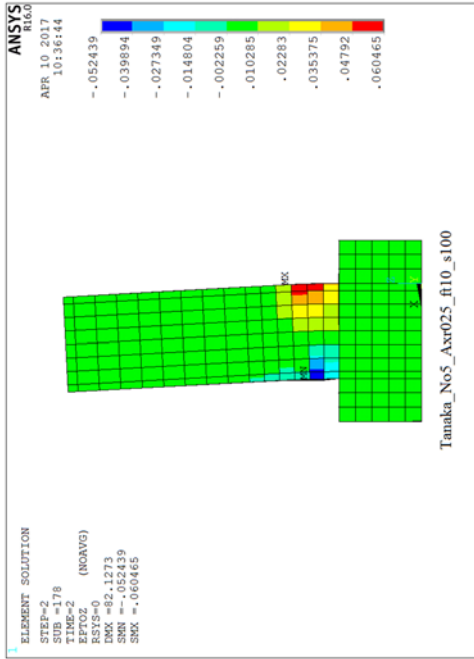
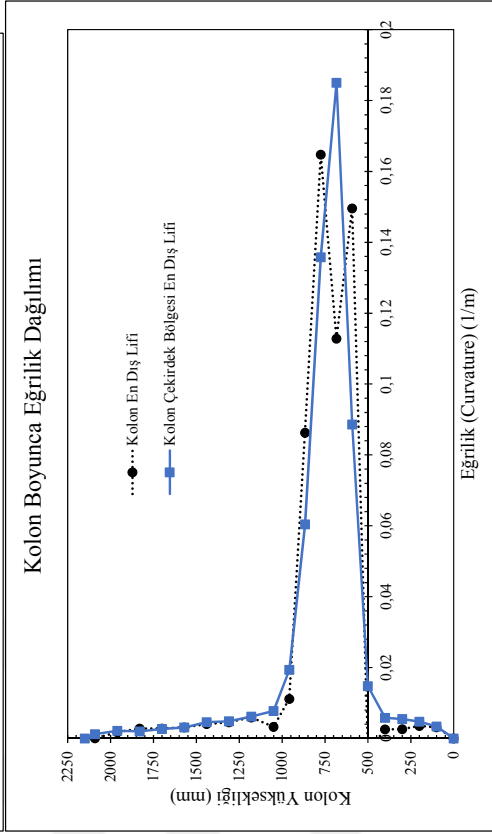
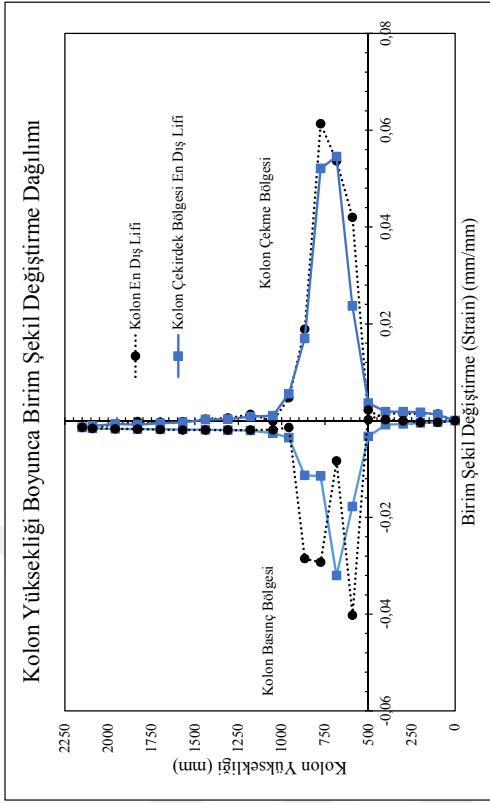


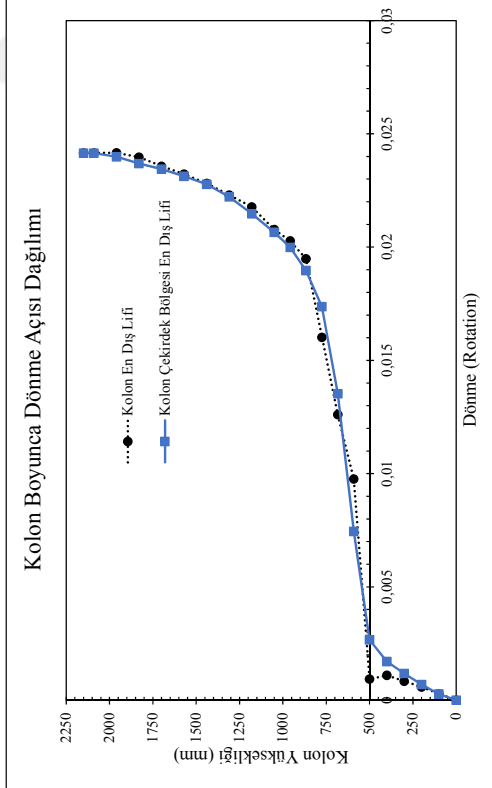
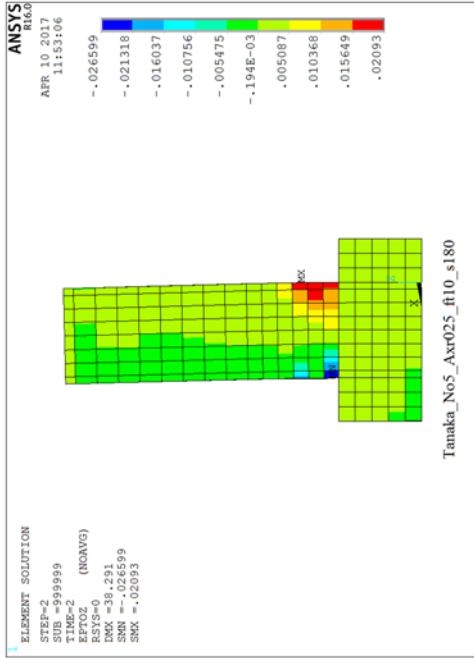
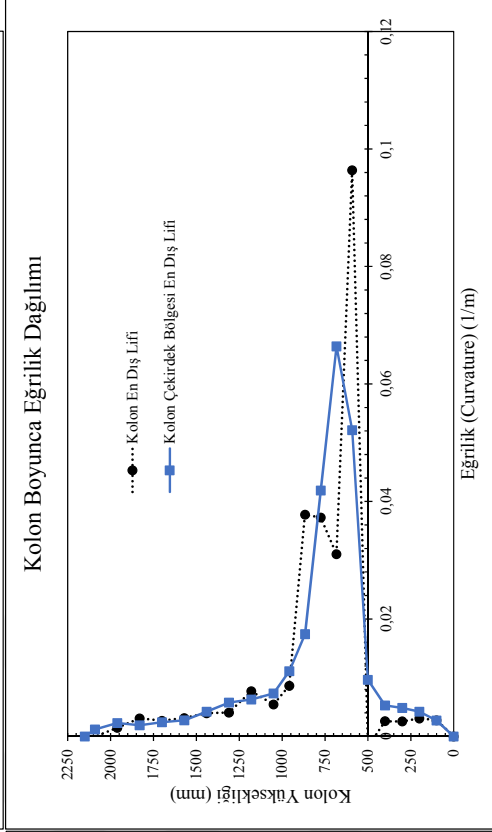
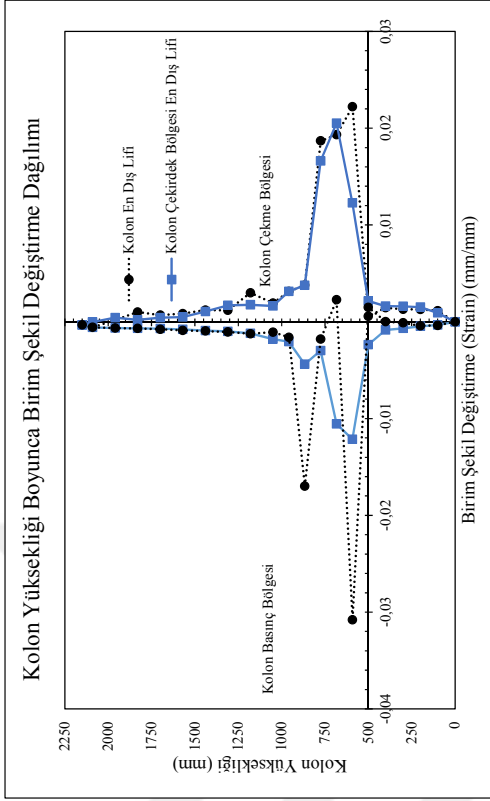
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Tanaka and Park 1990. No. 5		550	550	1650	110	41	32	0.10	325	0.0125	0.0087
	1.1	550	550	1650	100	41	32	0.10	325	0.0125	0.0067
	1.2	550	550	1650	180	41	32	0.10	325	0.0125	0.0037
	1.3	550	550	1650	220	41	32	0.10	325	0.0125	0.0019
	1.4	550	550	1650	100	41	32	0.25	325	0.0125	0.0067
	1.5	550	550	1650	180	41	32	0.25	325	0.0125	0.0037
	1.6	550	550	1650	220	41	32	0.25	325	0.0125	0.0019
	1.7	550	550	1650	100	41	32	0.45	325	0.0125	0.0067
	1.8	550	550	1650	180	41	32	0.45	325	0.0125	0.0037
	1.9	550	550	1650	220	41	32	0.45	325	0.0125	0.0019

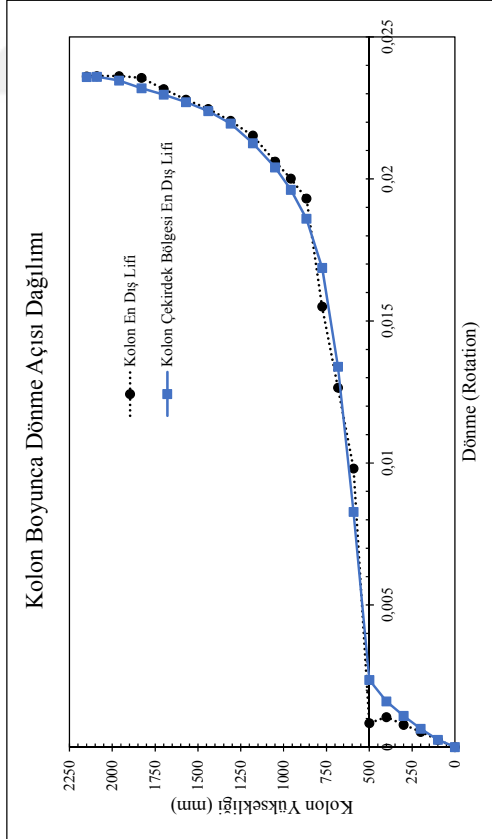
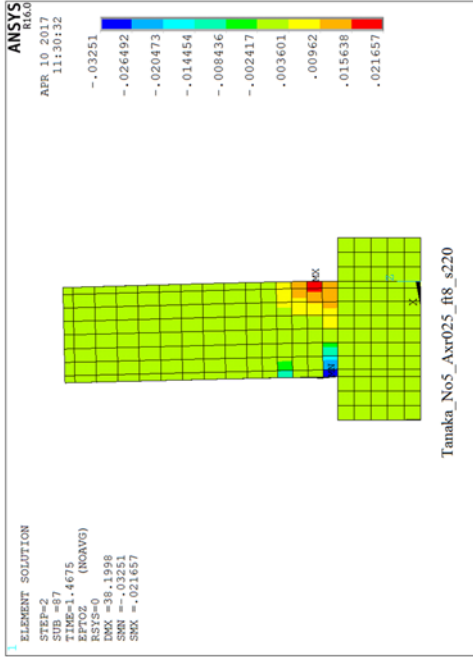
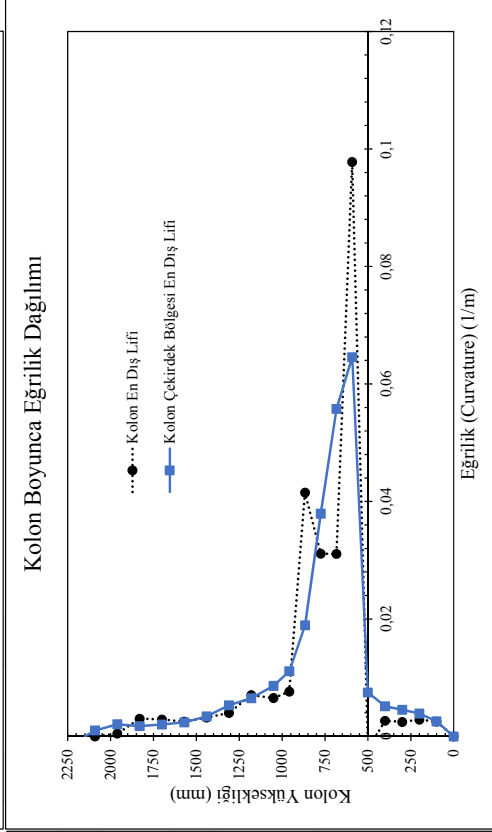
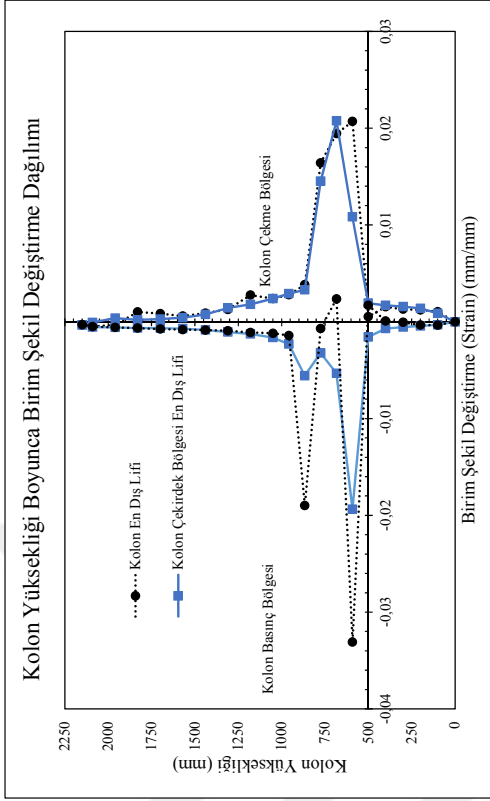


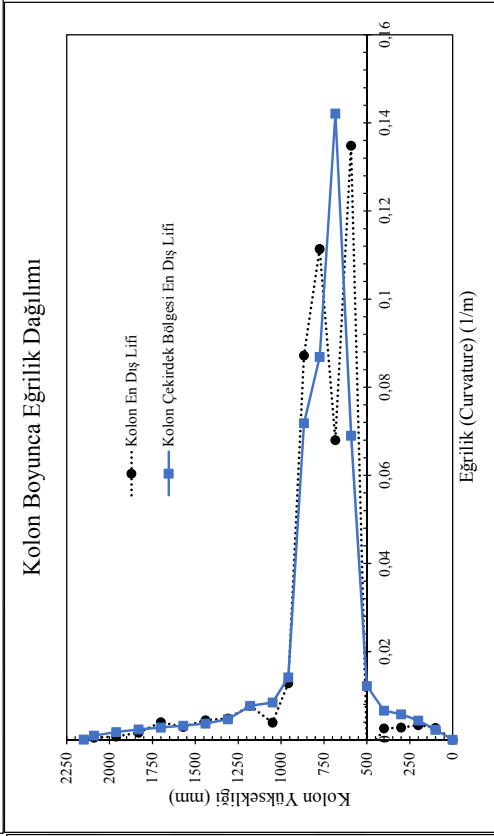
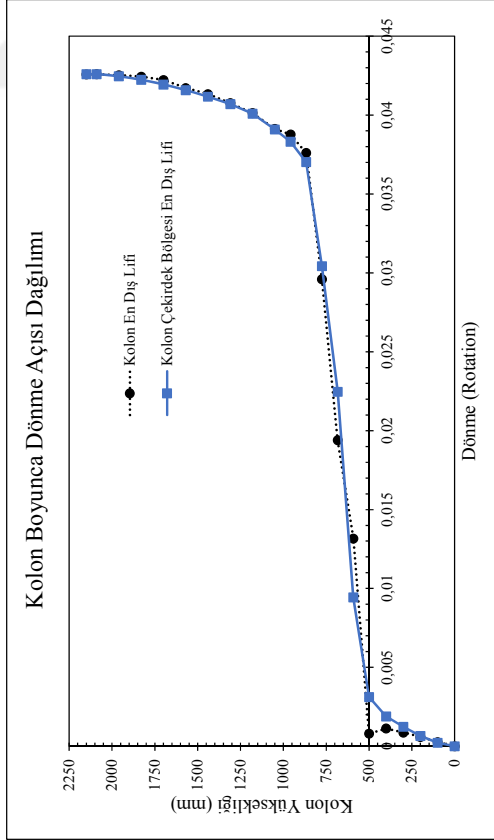
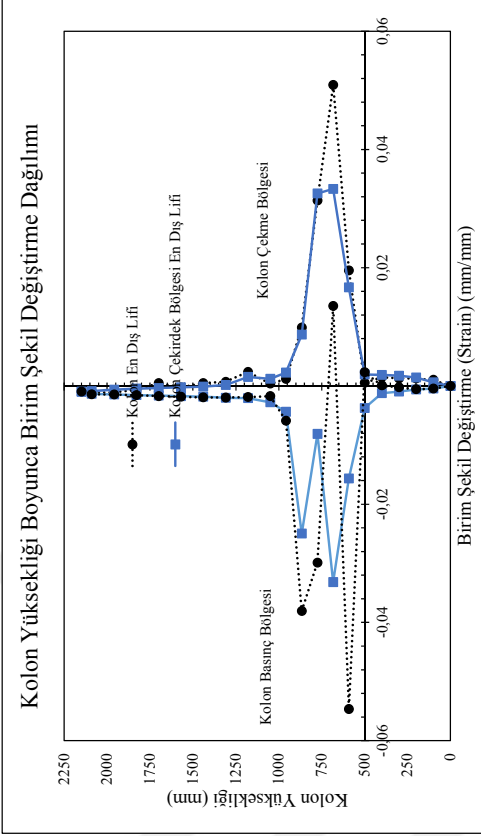
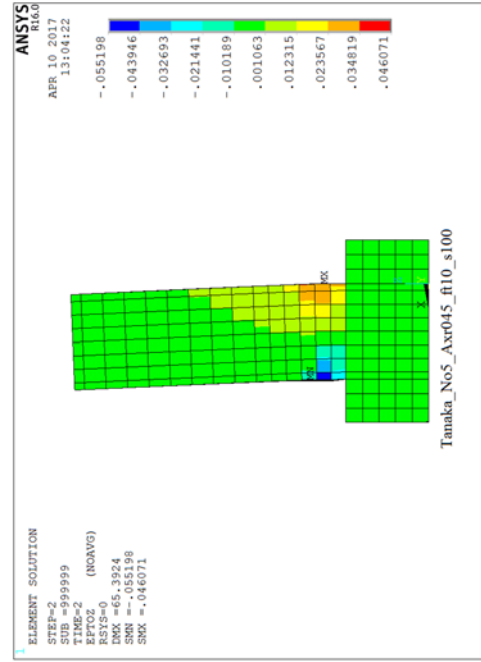




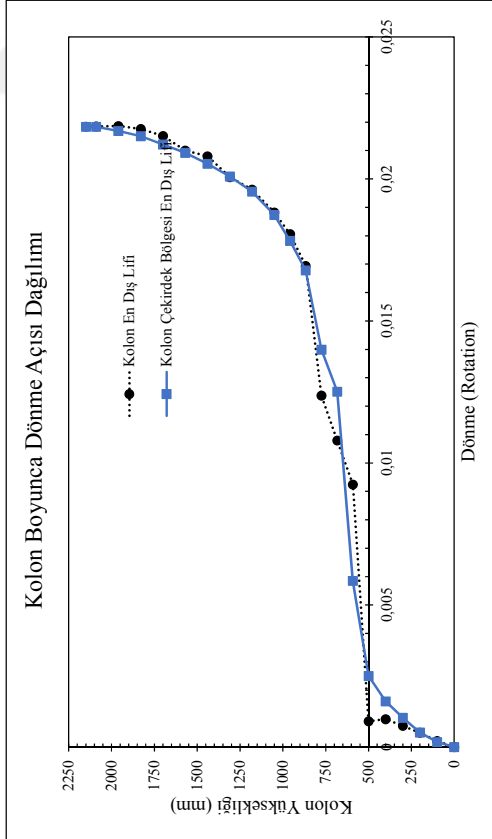
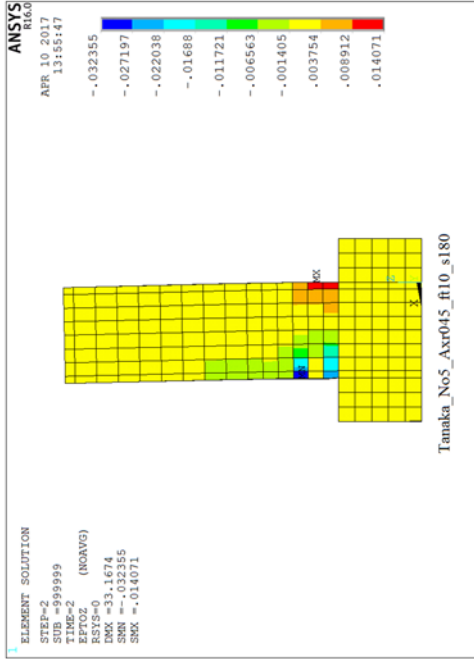
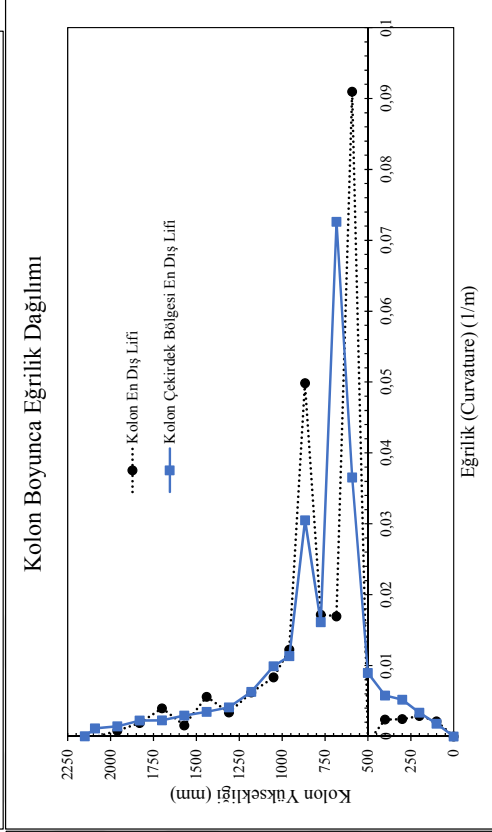
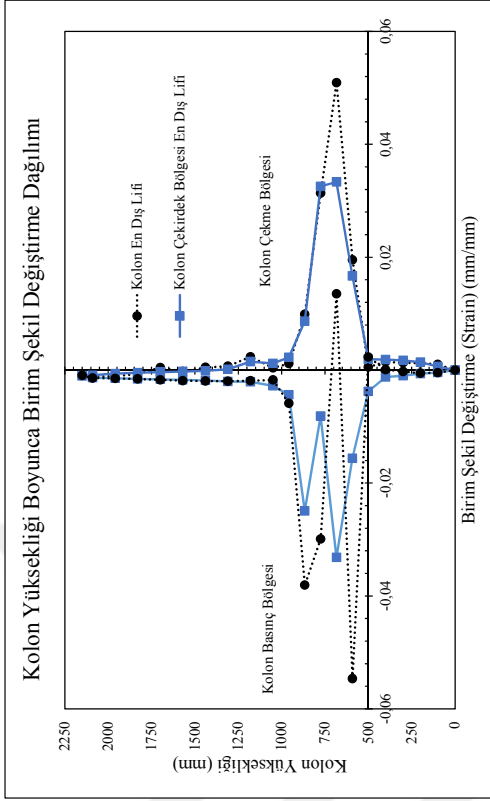


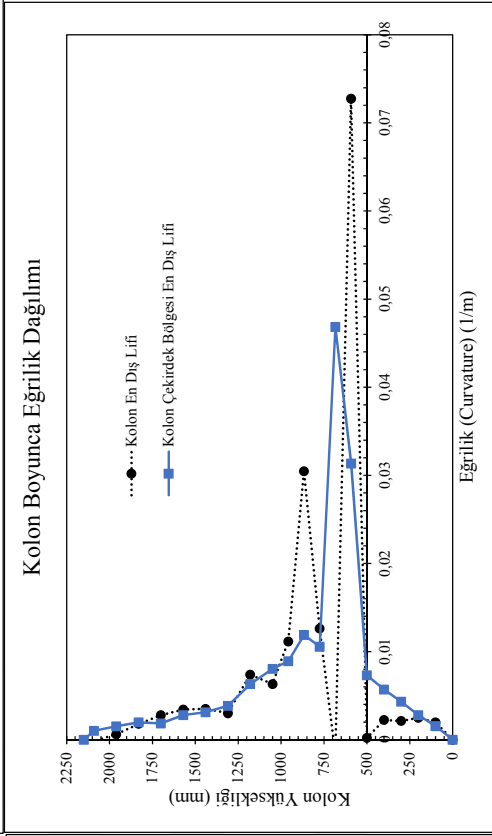
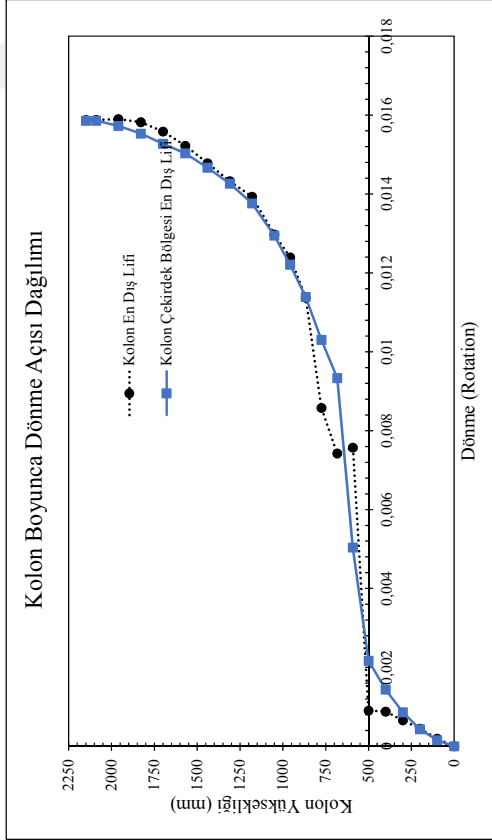
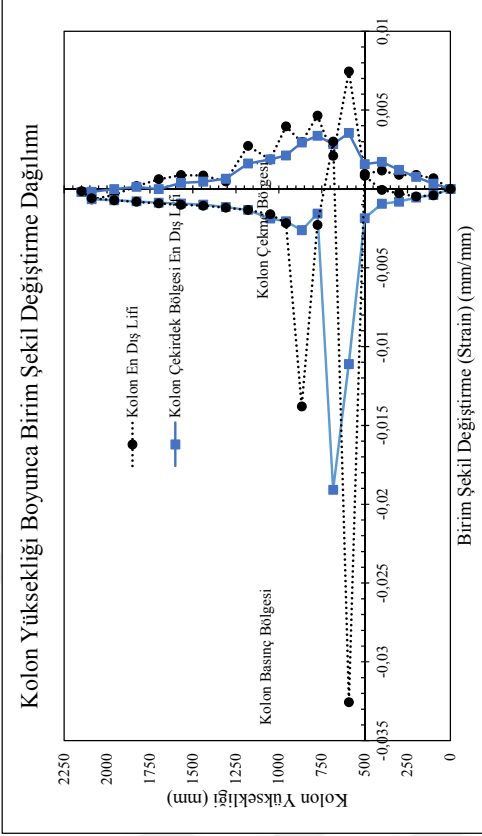
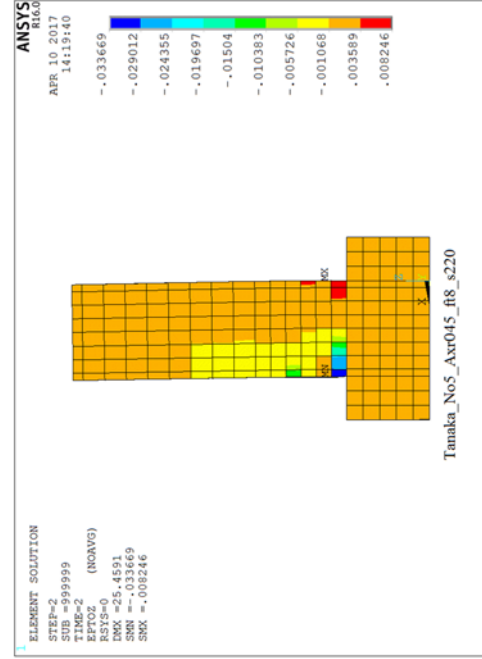




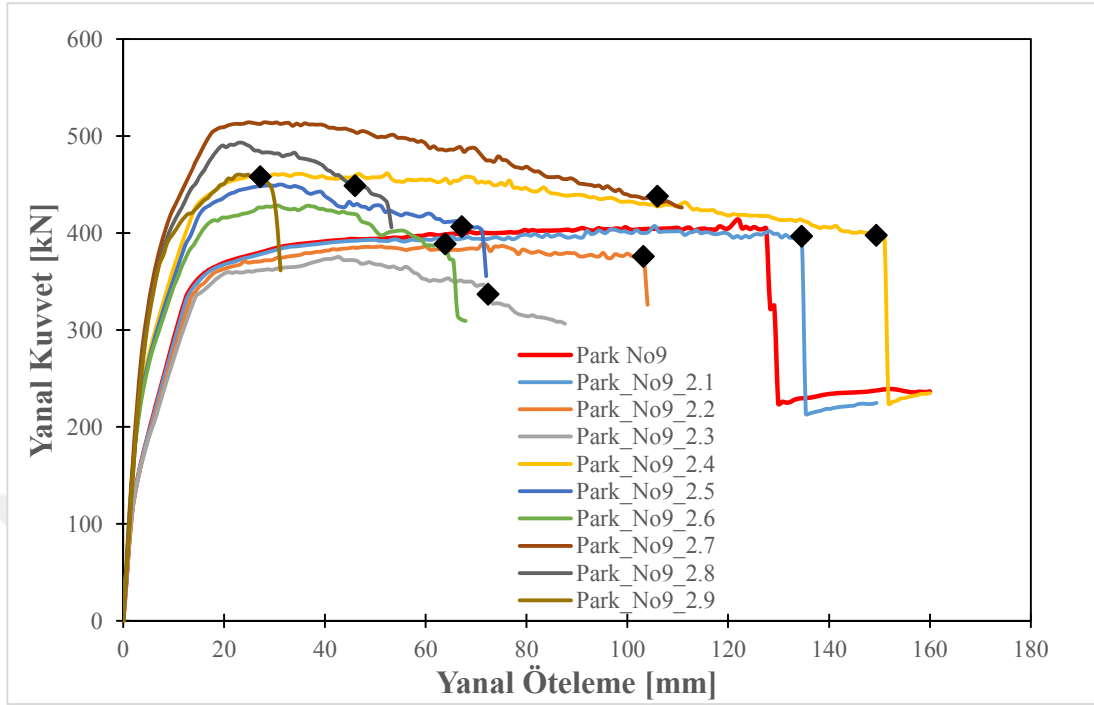




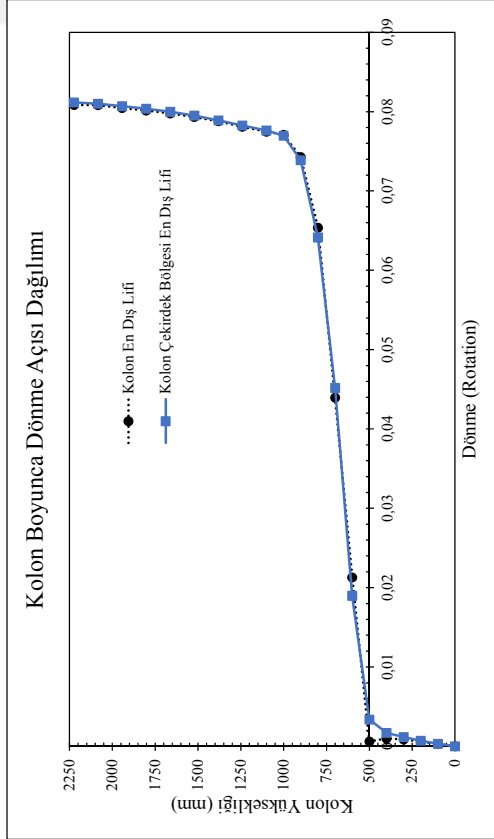
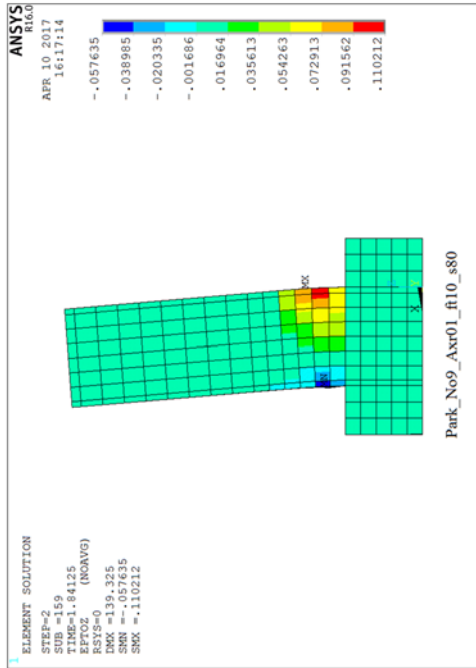
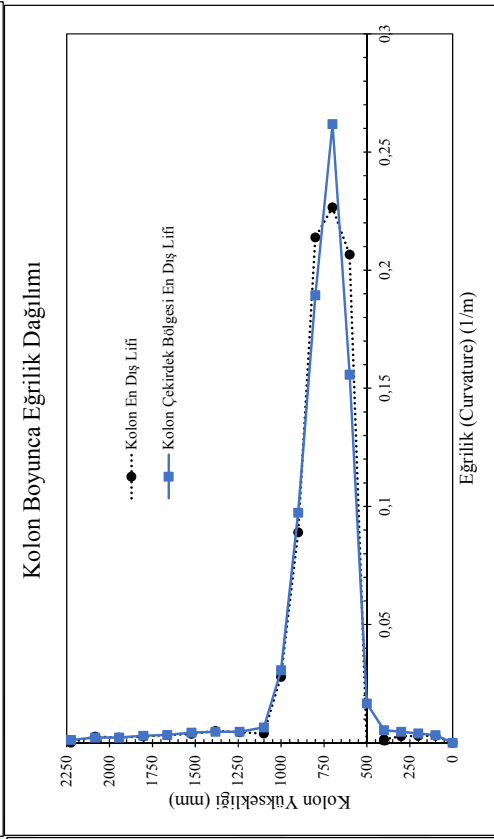
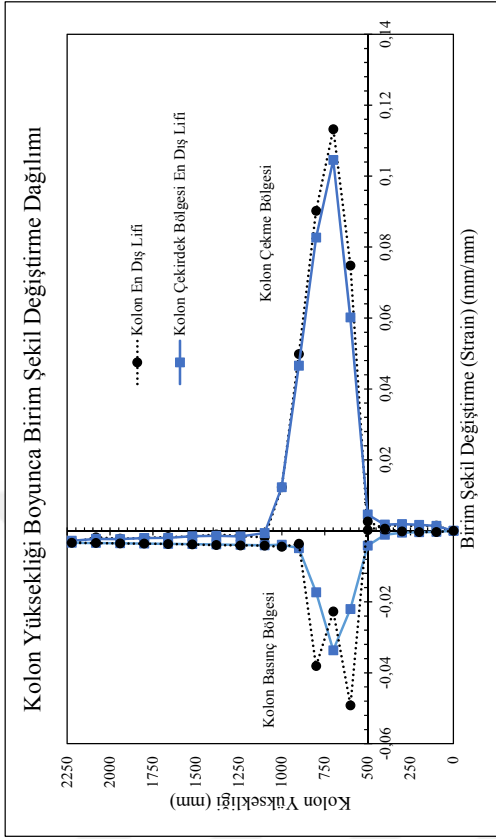


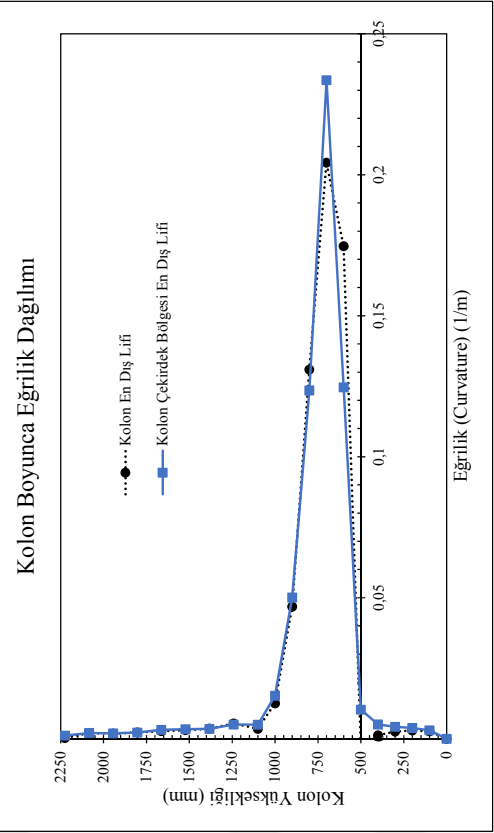
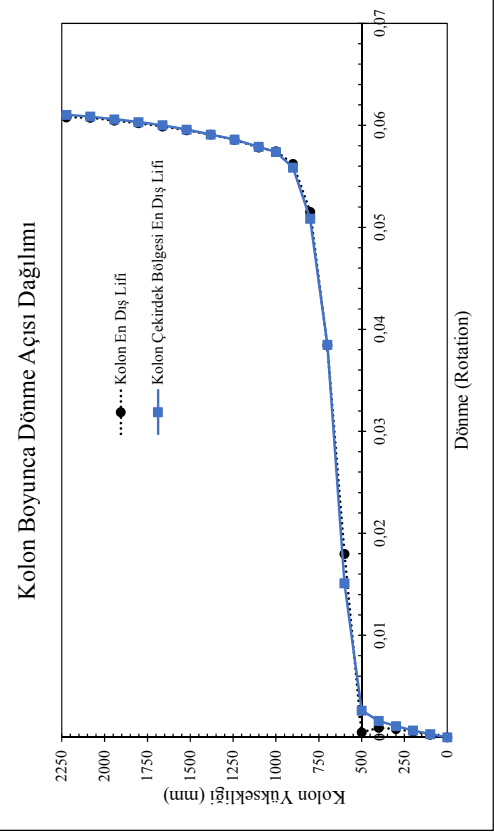
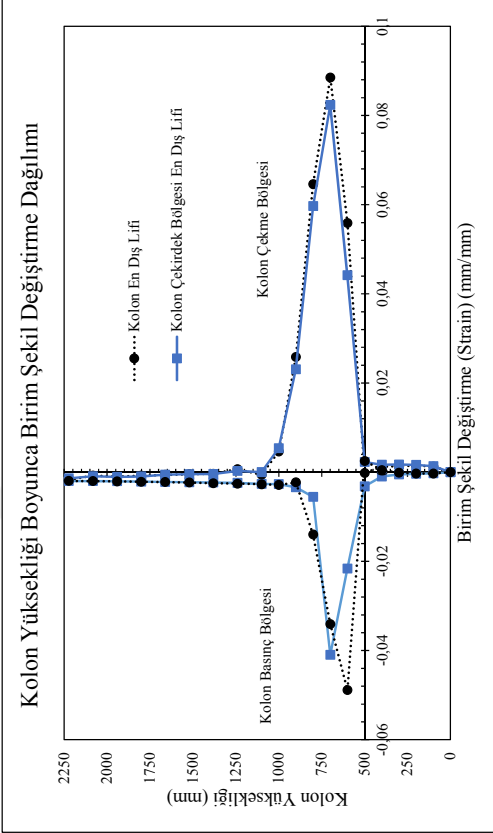
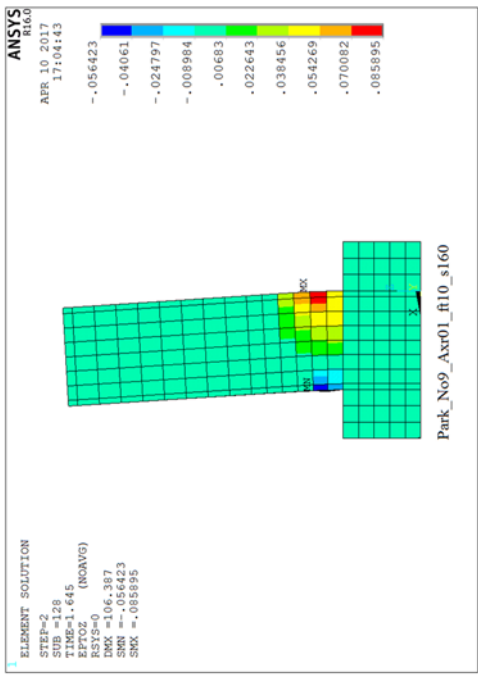


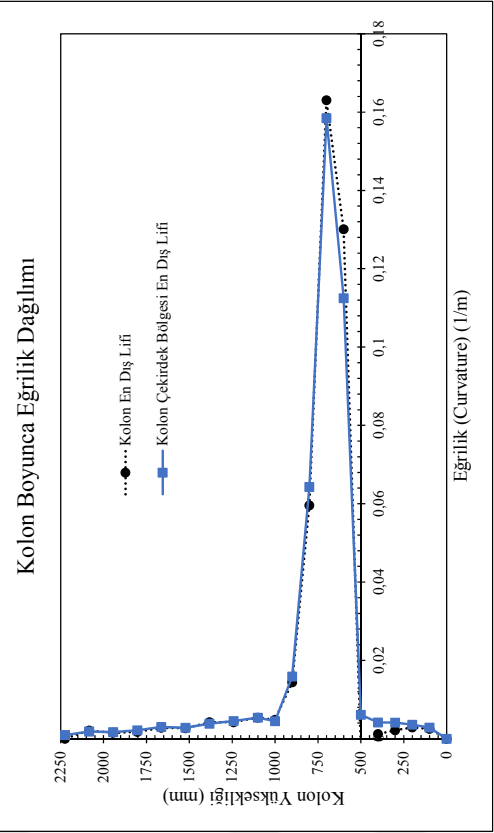
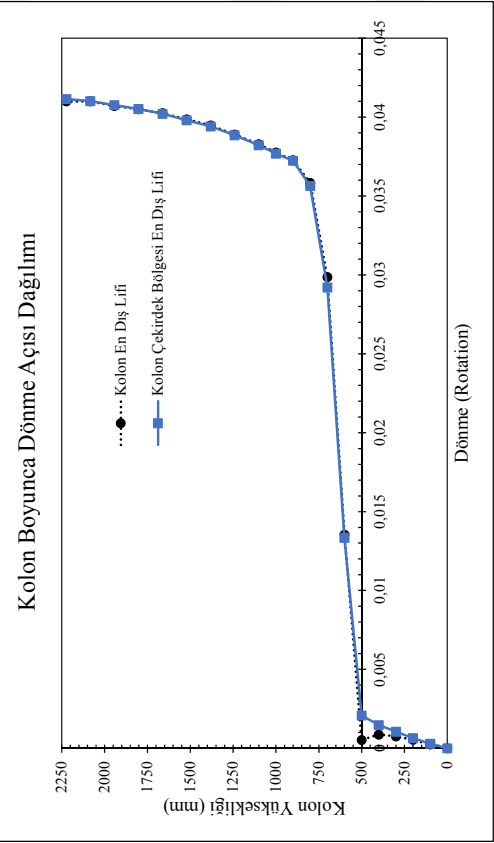
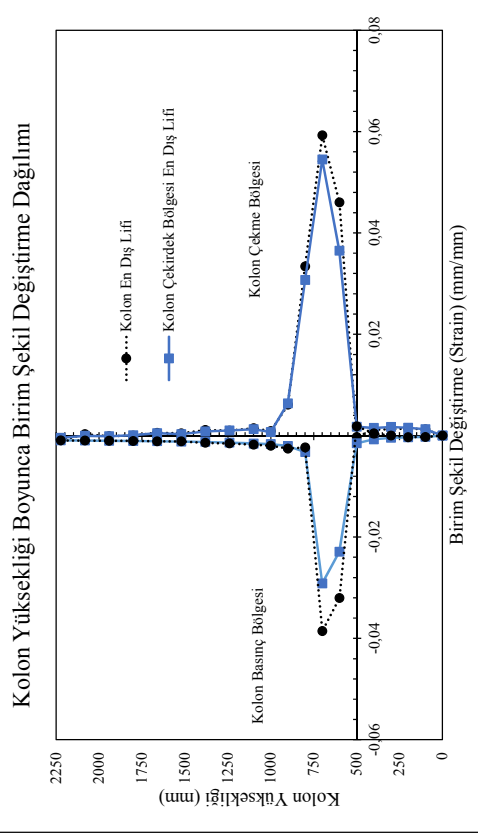
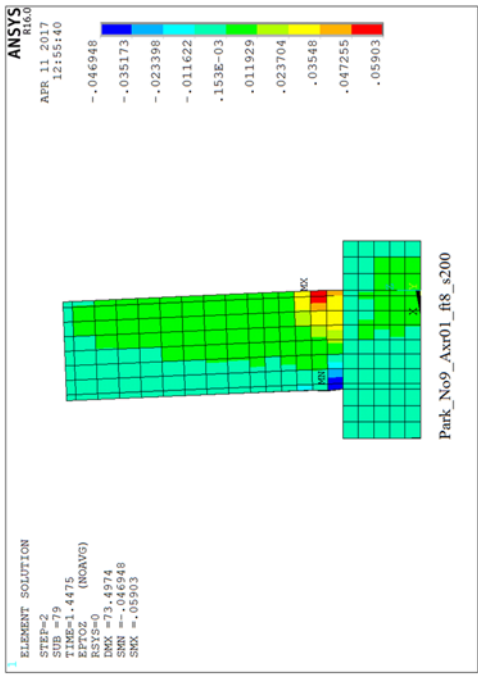
Park and Paulay 1990

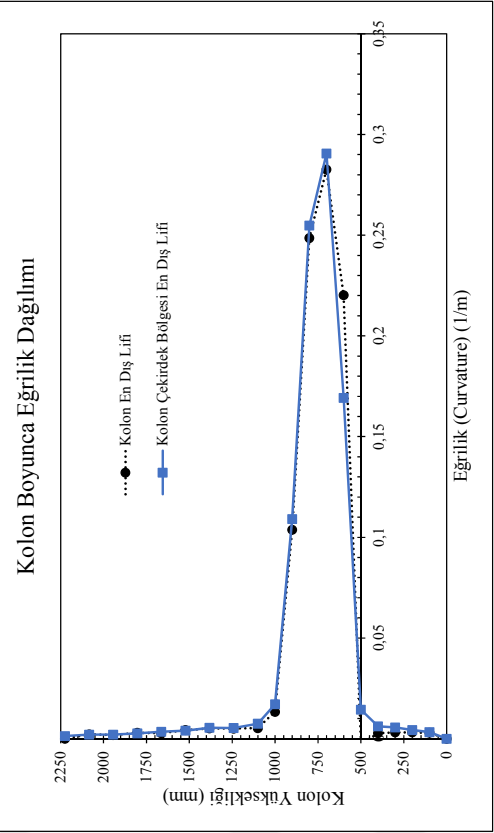
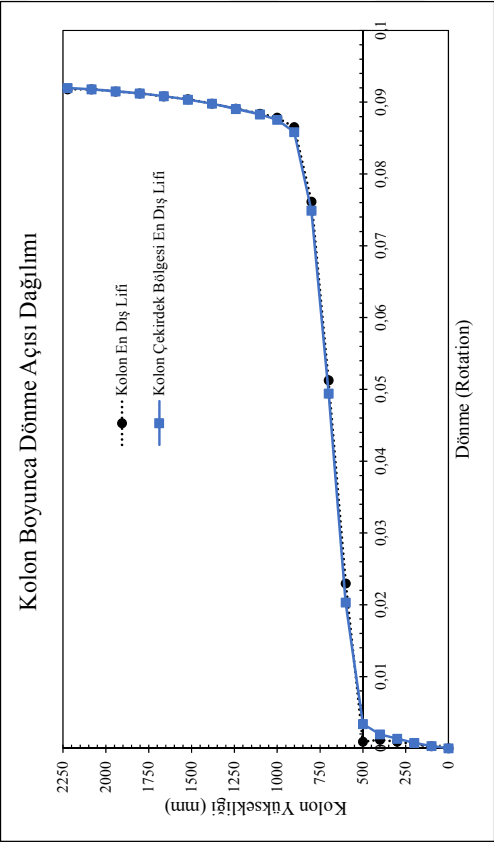
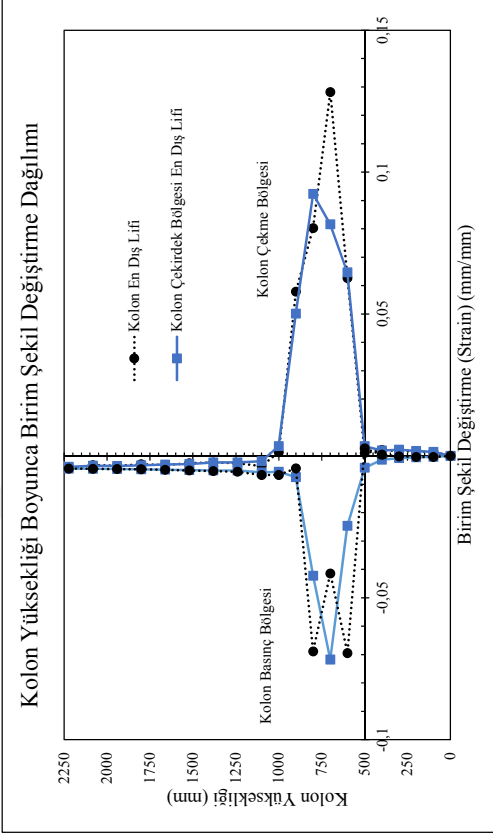
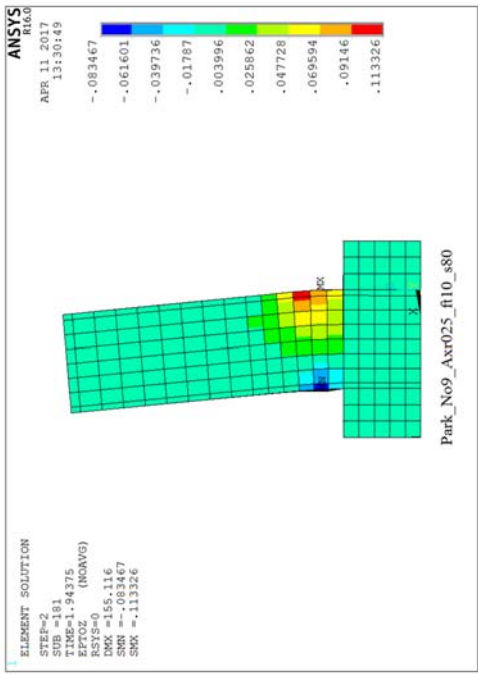


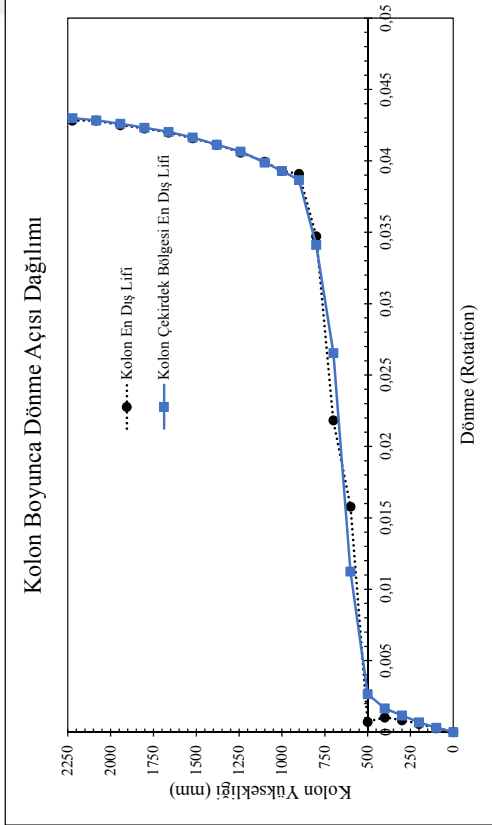
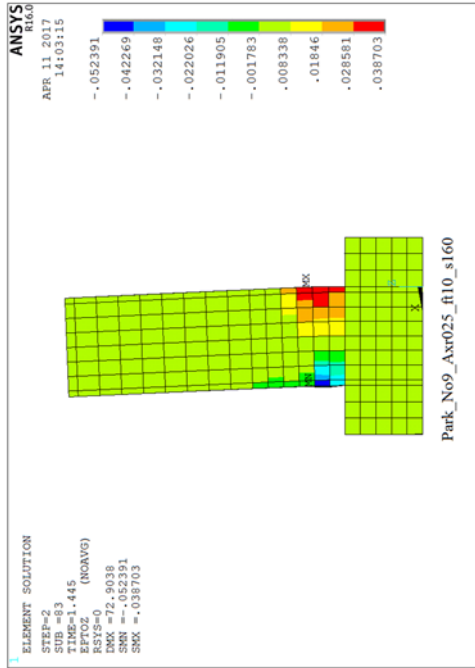
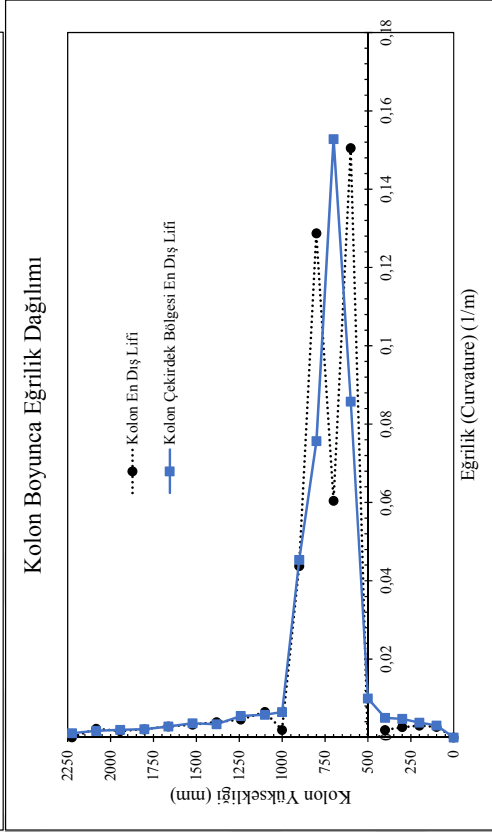
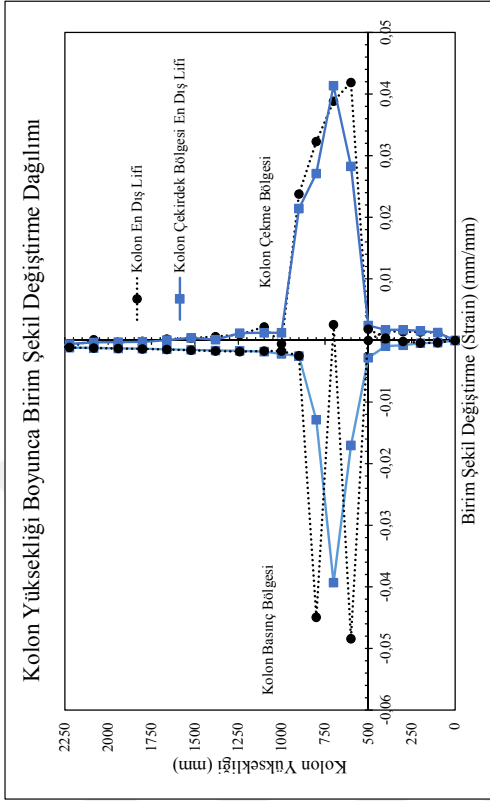
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Park and Paulay 1990. No. 9		601	400	1784	80	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0106
	2.1	601	400	1784	80	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0074
	2.2	601	400	1784	160	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0037
	2.3	601	400	1784	200	36	26.9	0.10	305	0.0188	0.0019
	2.4	601	400	1784	80	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0074
	2.5	601	400	1784	160	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0037
	2.6	601	400	1784	200	36	26.9	0.25	305	0.0188	0.0019
	2.7	601	400	1784	80	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0074
	2.8	601	400	1784	160	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0037
2.9	601	400	1784	200	36	26.9	0.45	305	0.0188	0.0019	



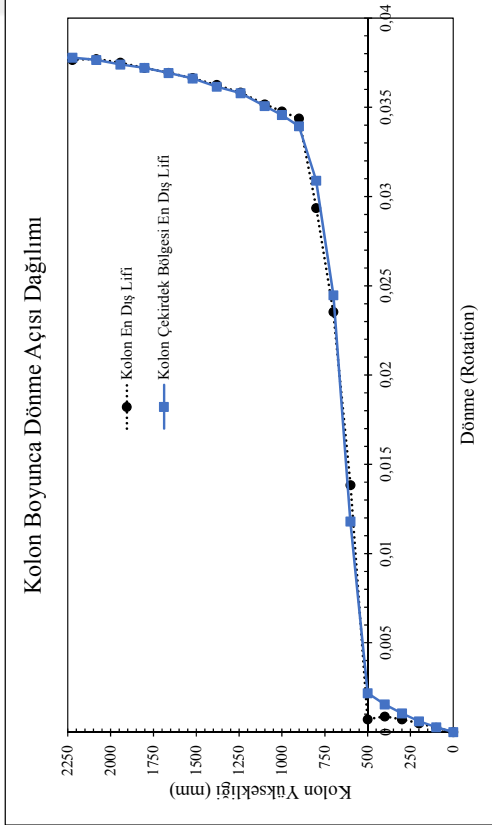
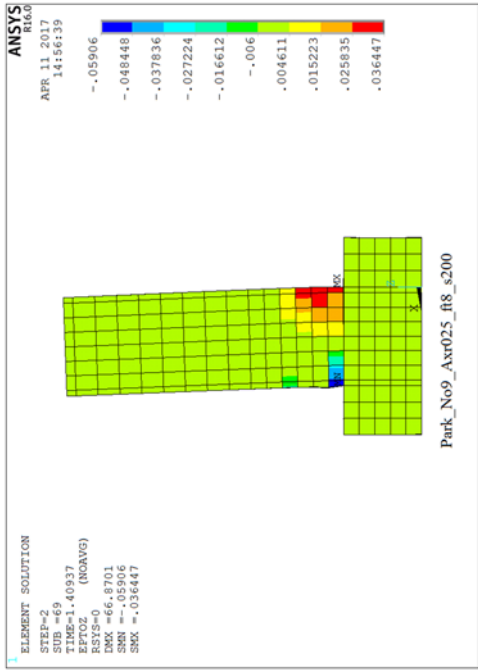
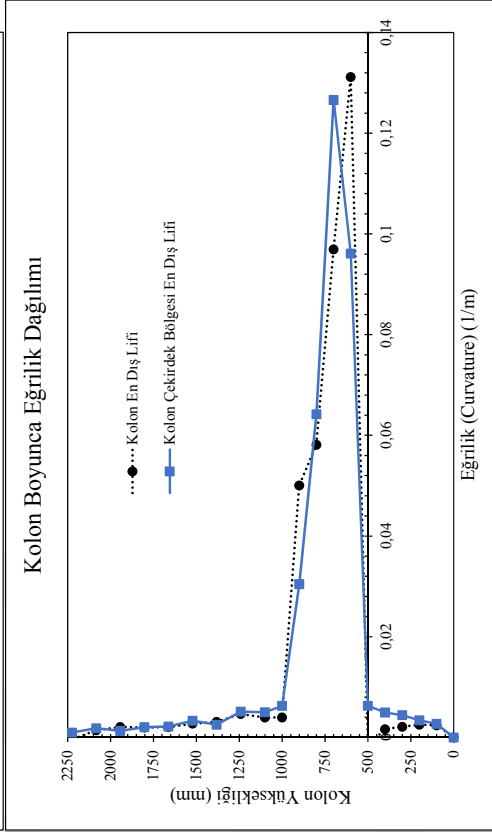
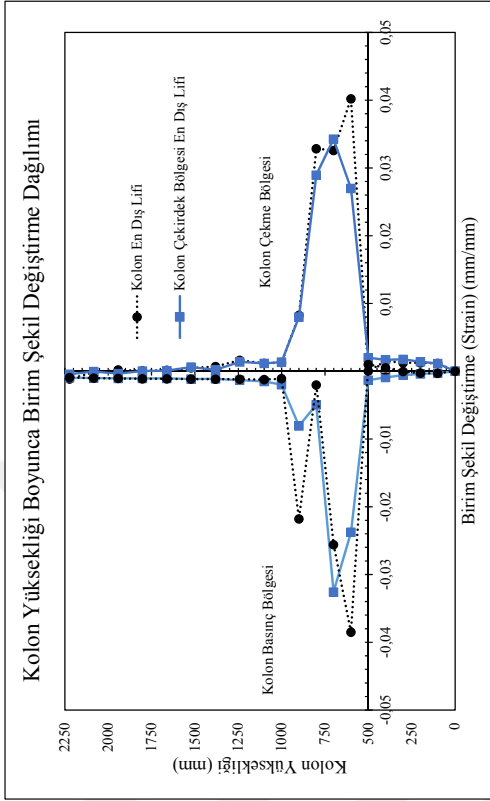


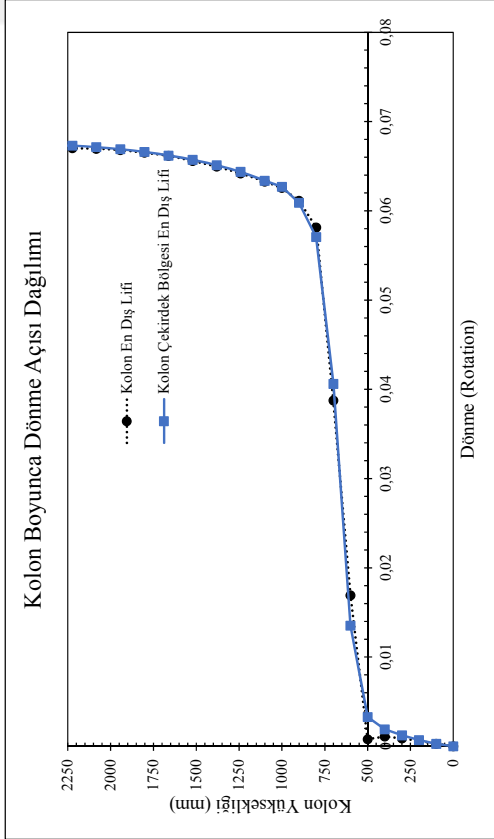
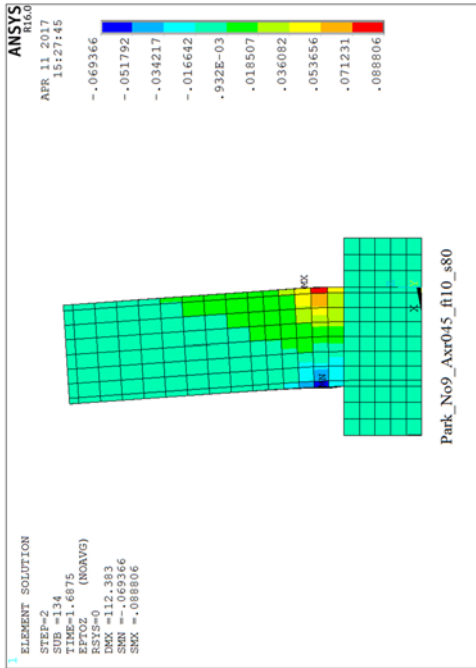
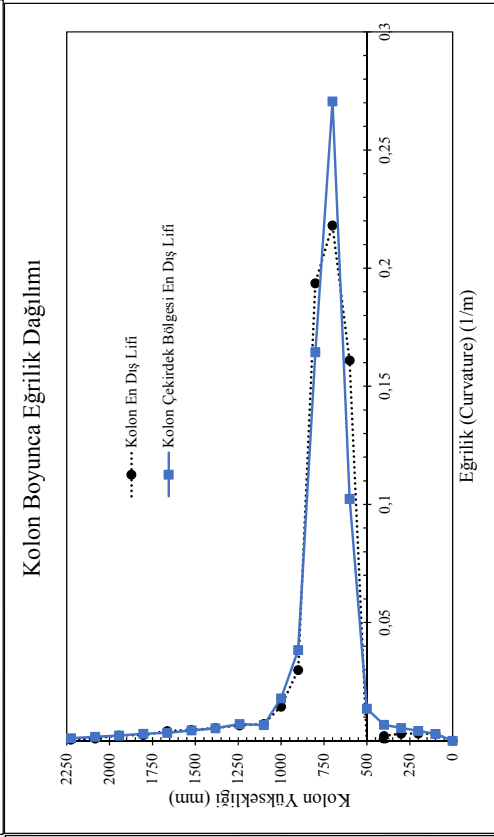
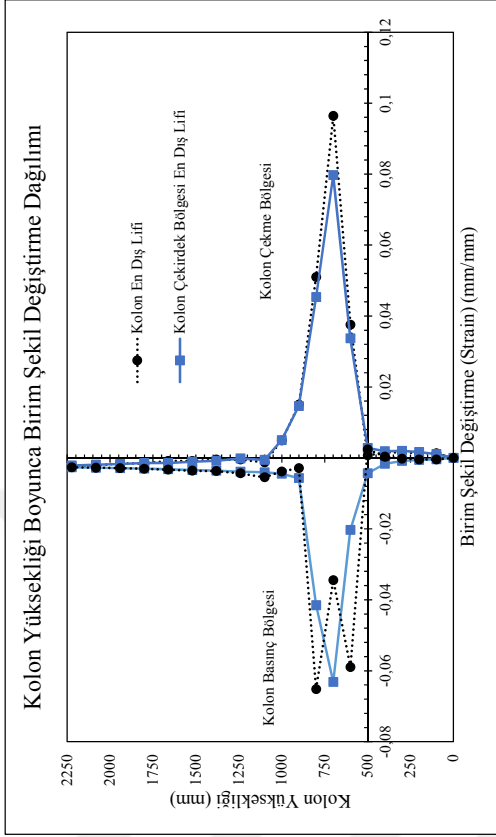


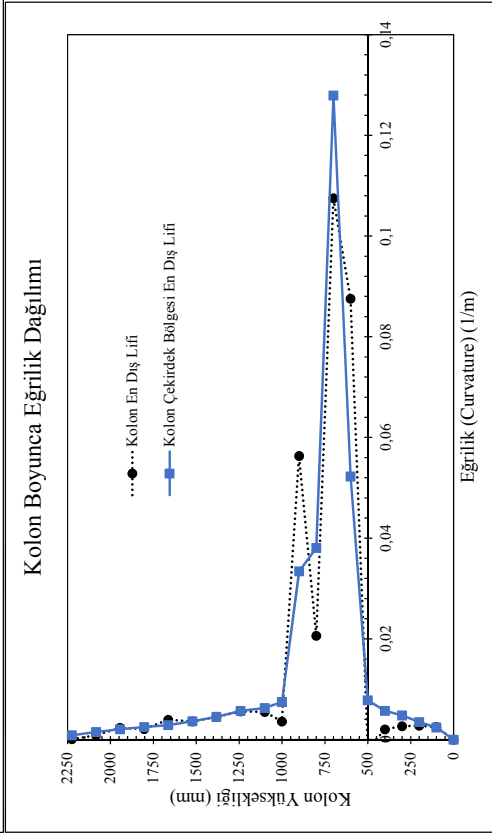
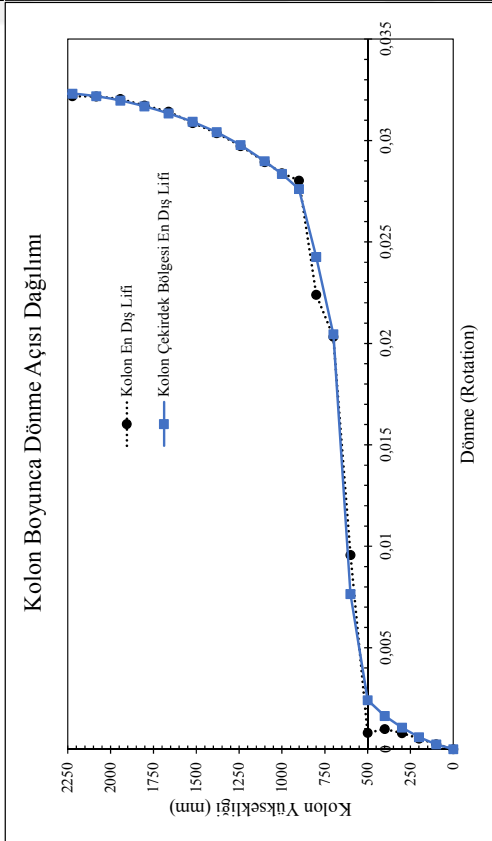
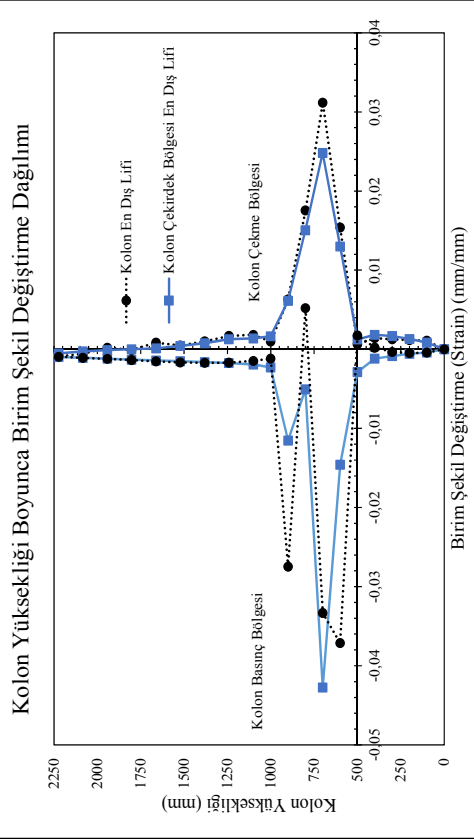
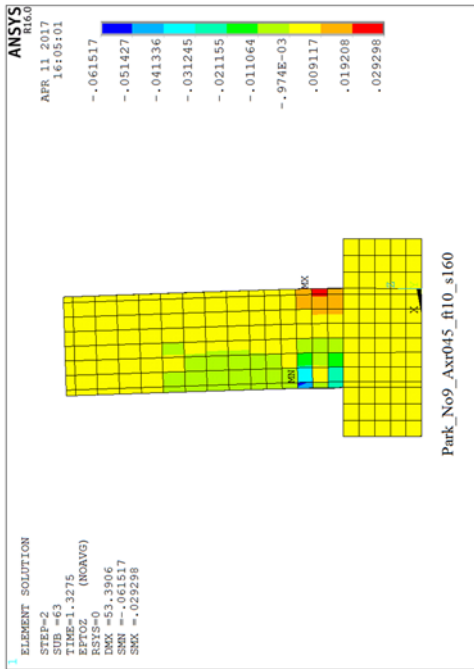


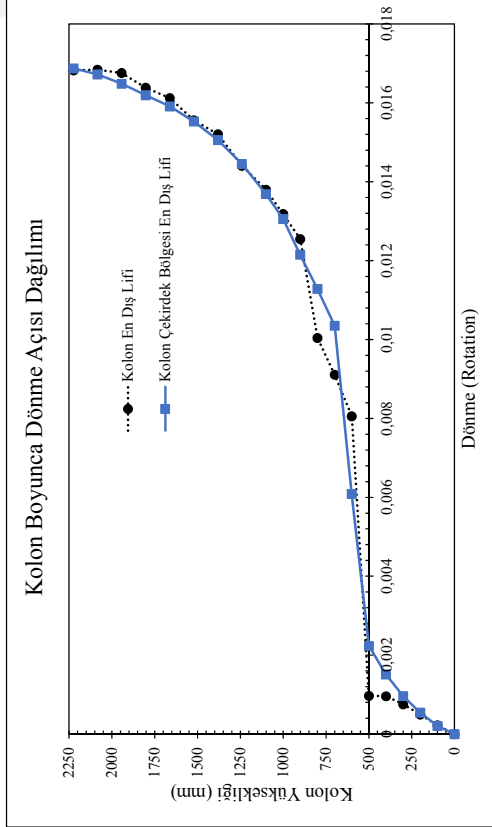
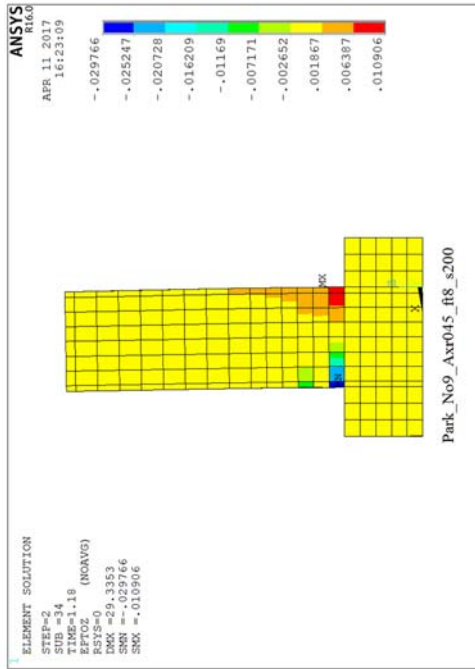
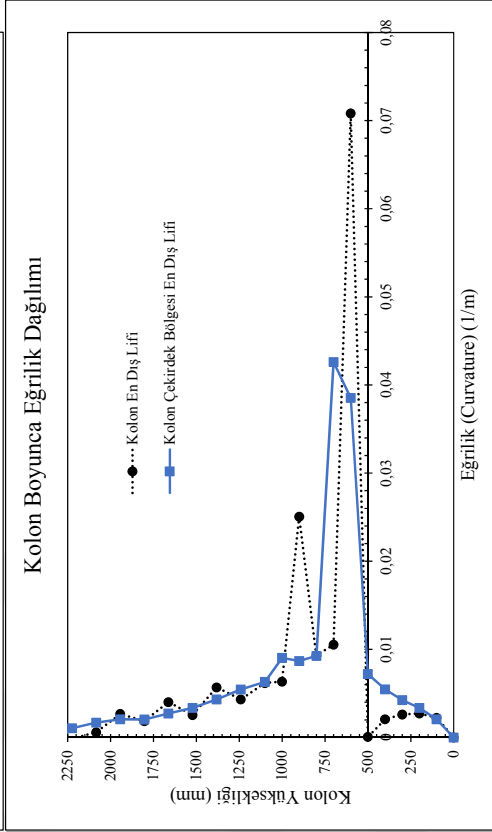
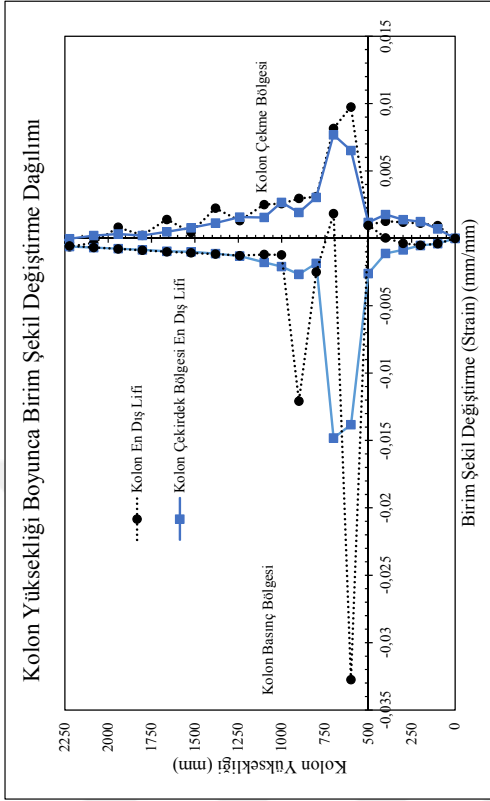




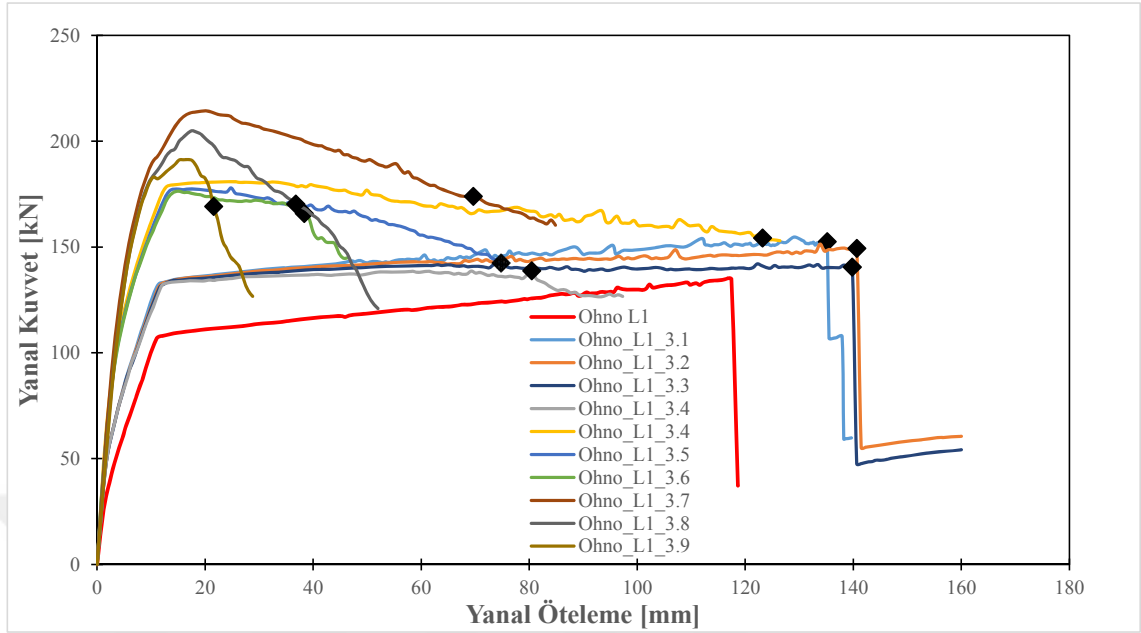




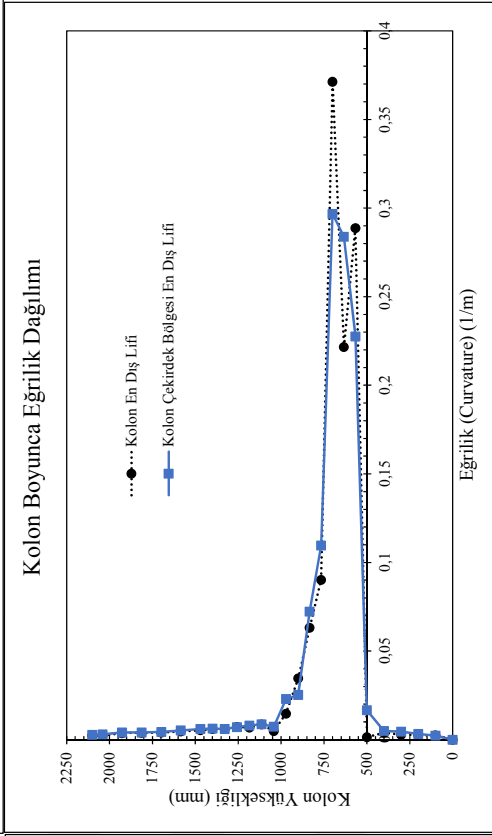
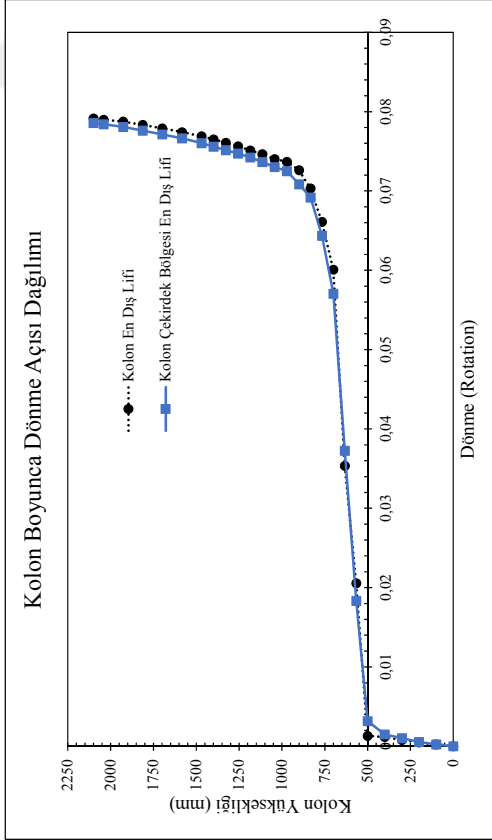
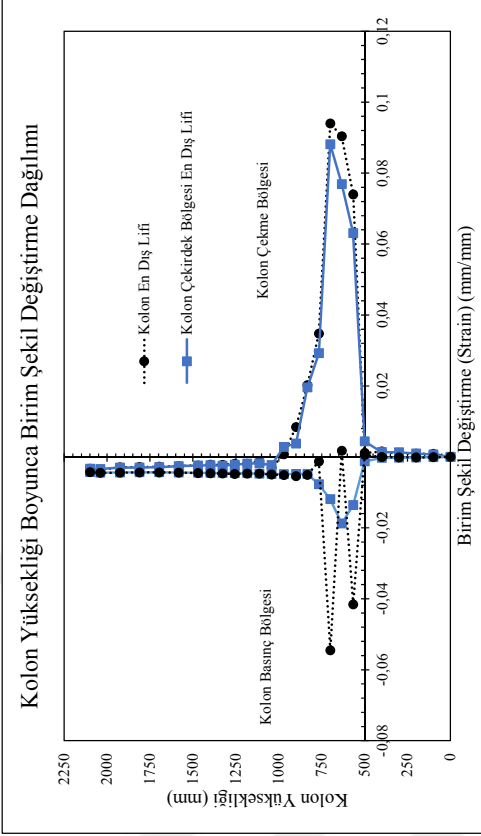
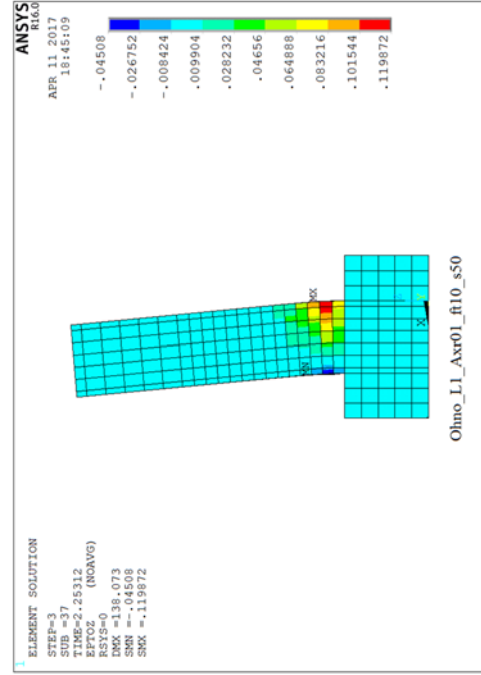


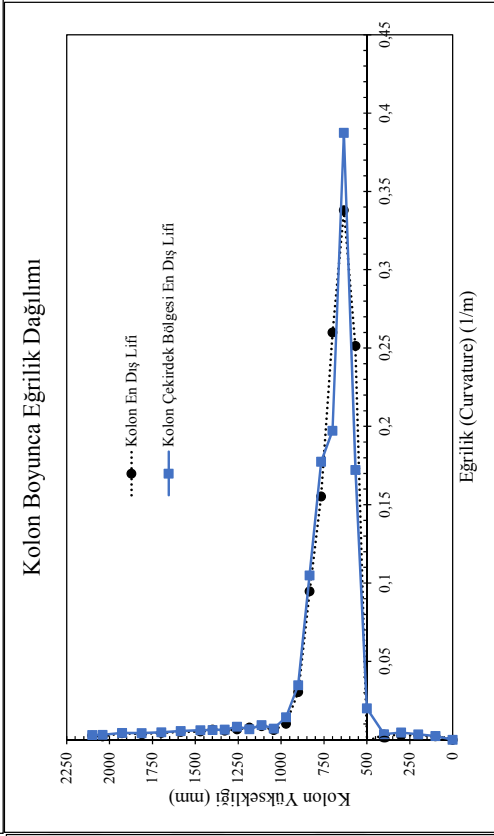
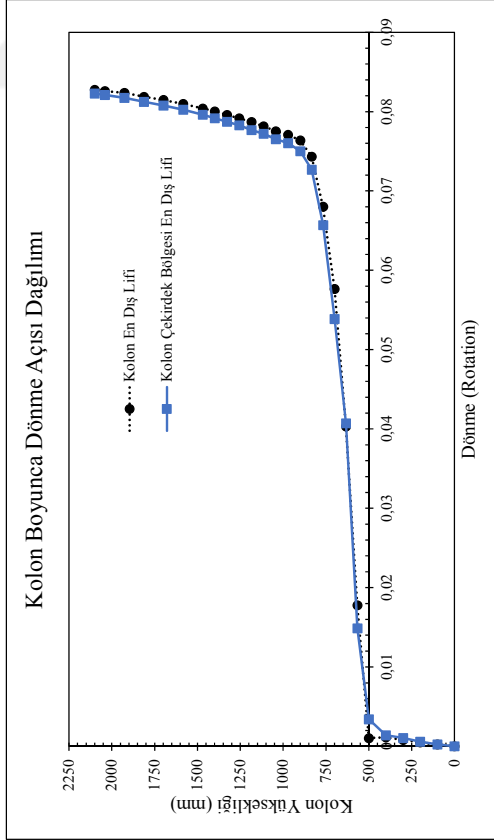
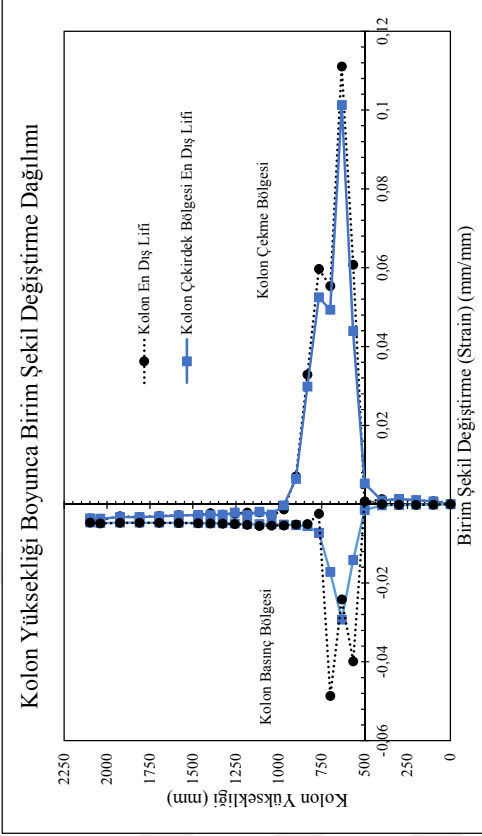
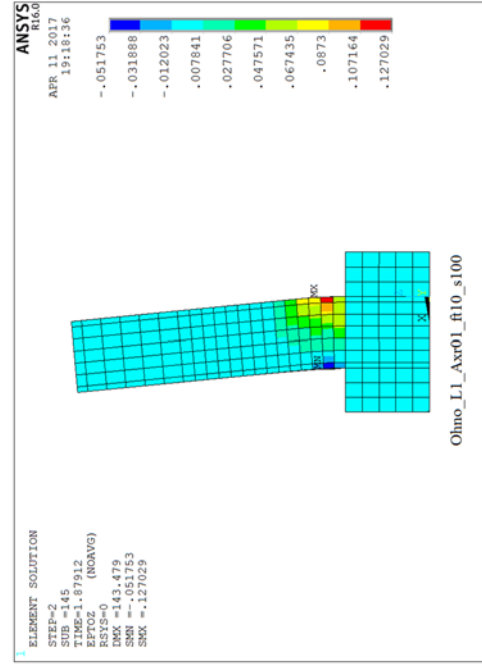


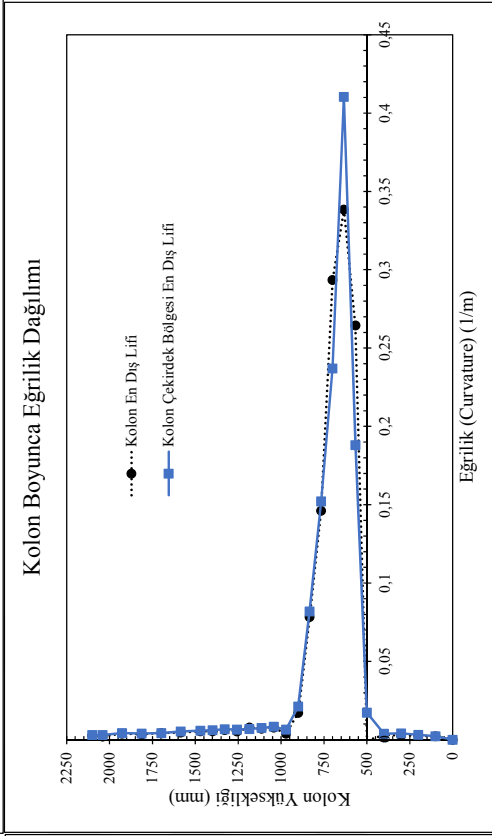
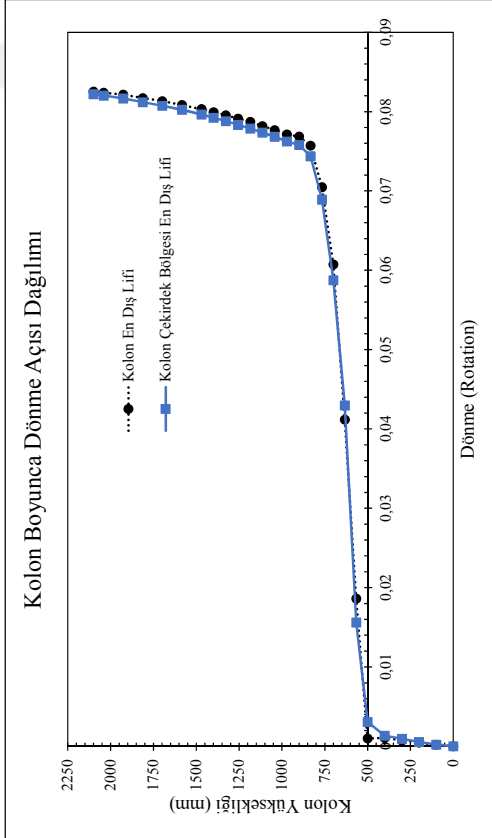
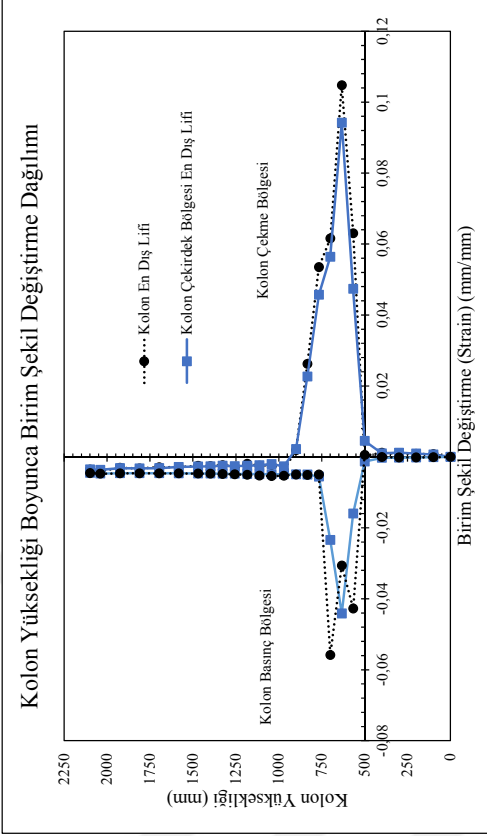
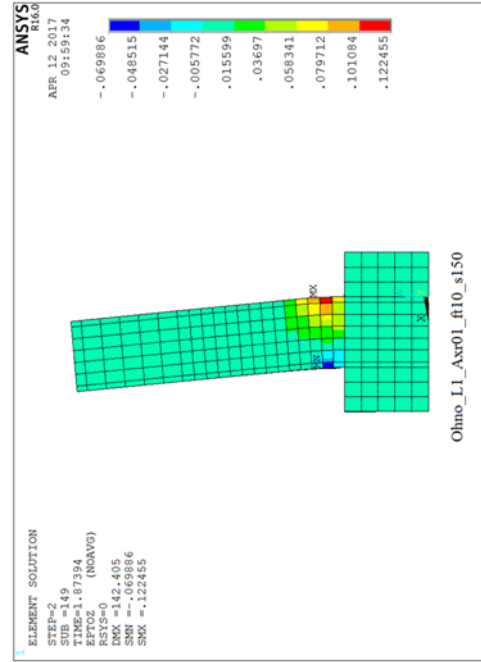
Ohno and Nishioka 1984



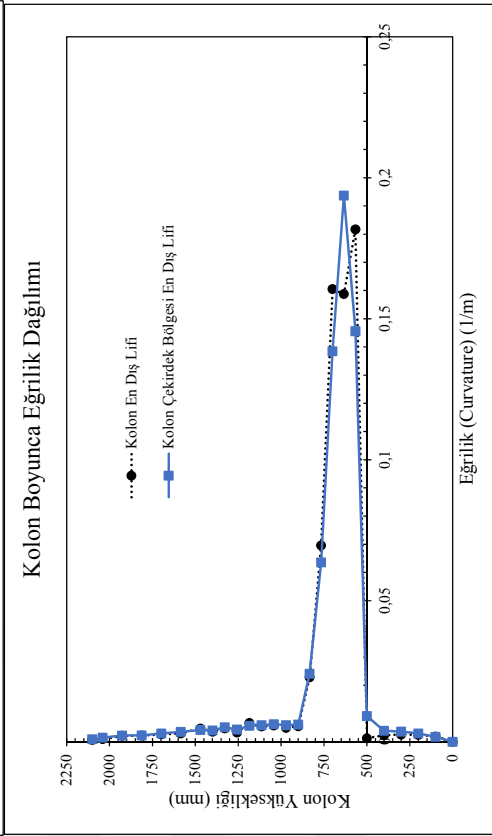
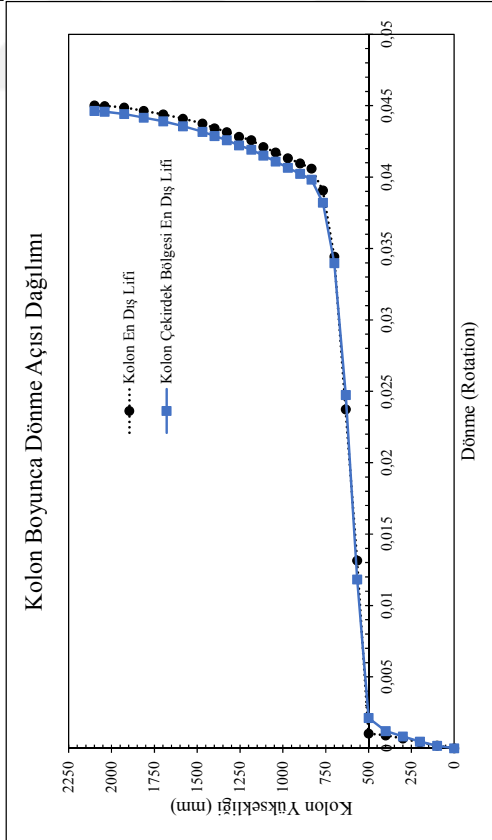
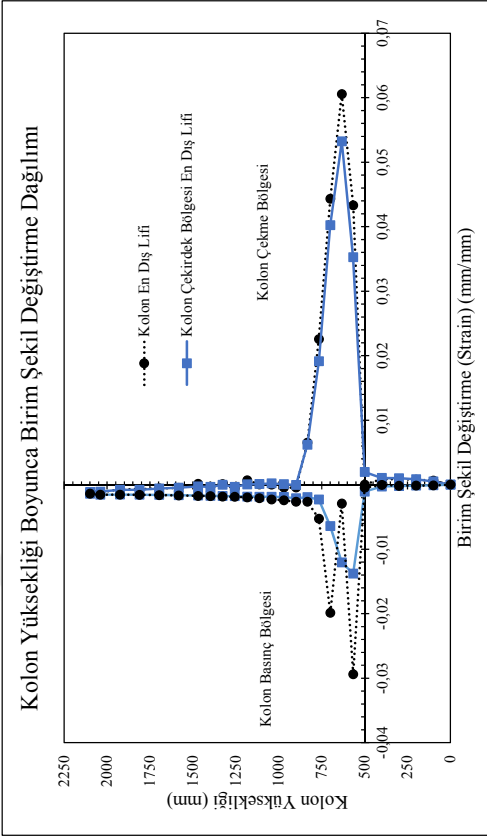
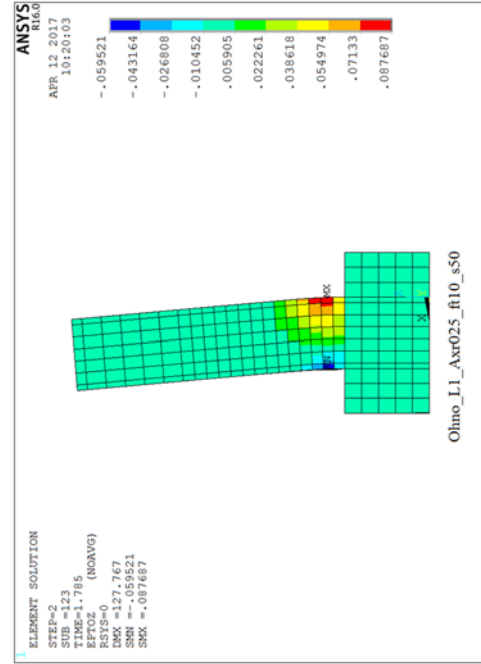
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Ohno and Nishioka 1984. L1		400	400	1600	100	31.5	24.8	0.03	325	0.0142	0.0037
	3.1	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0093
	3.2	400	400	1600	100	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0046
	3.3	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0031
	3.4	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.10	325	0.0142	0.0014
	3.5	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0093
	3.6	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0031
	3.7	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.25	325	0.0142	0.0014
	3.8	400	400	1600	50	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0093
	3.9	400	400	1600	150	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0031
3.10	400	400	1600	200	31.5	24.8	0.45	325	0.0142	0.0014	

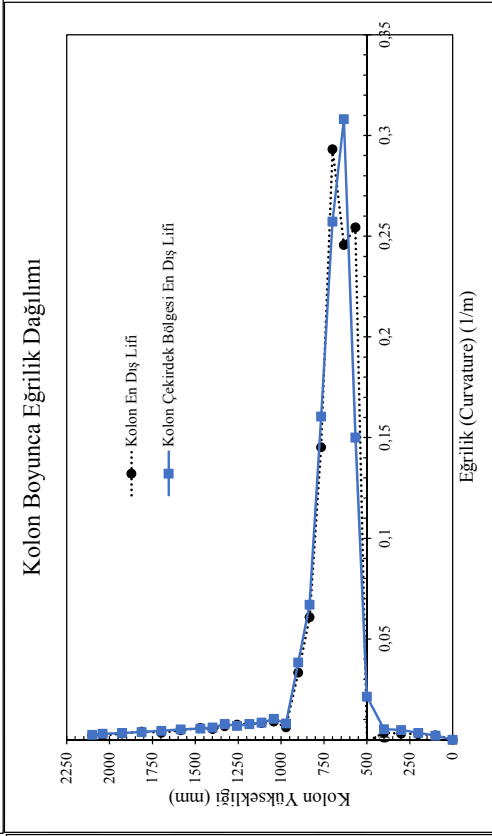
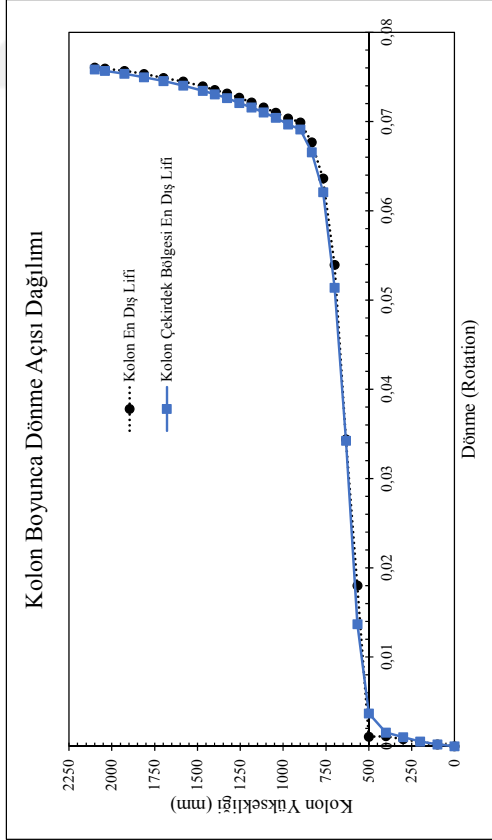
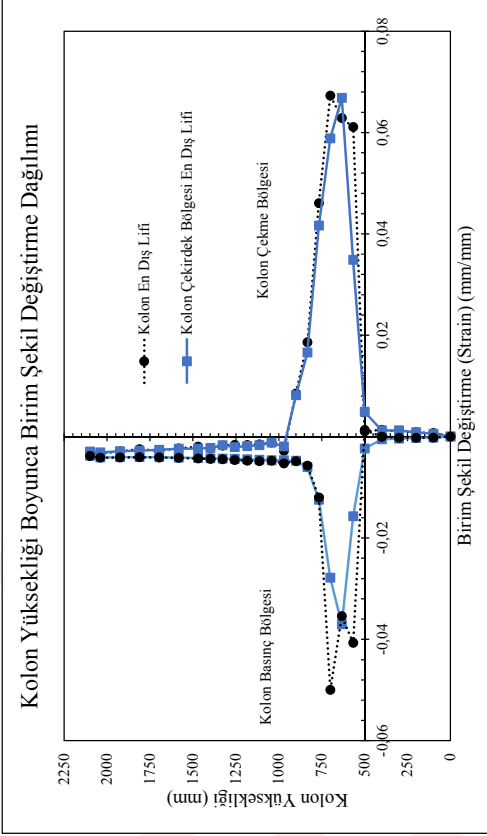
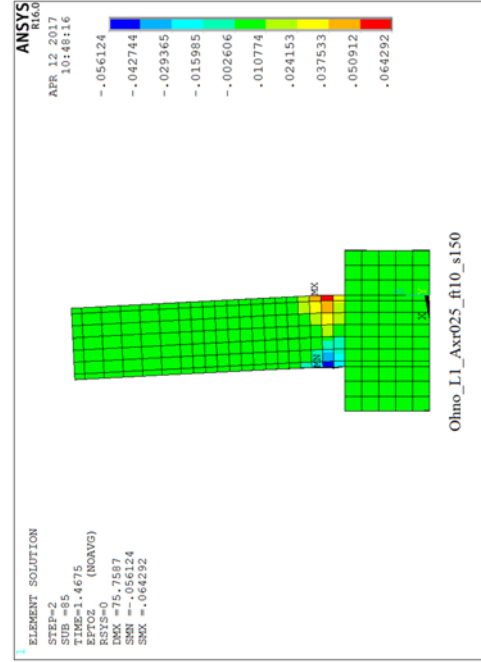


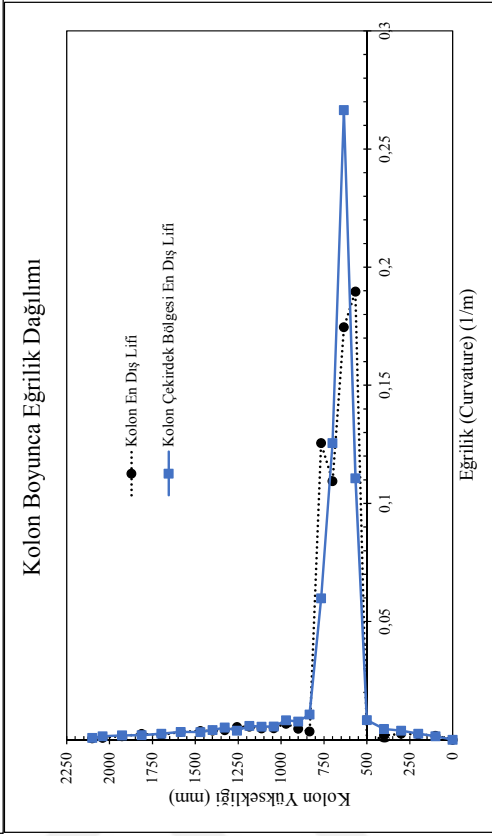
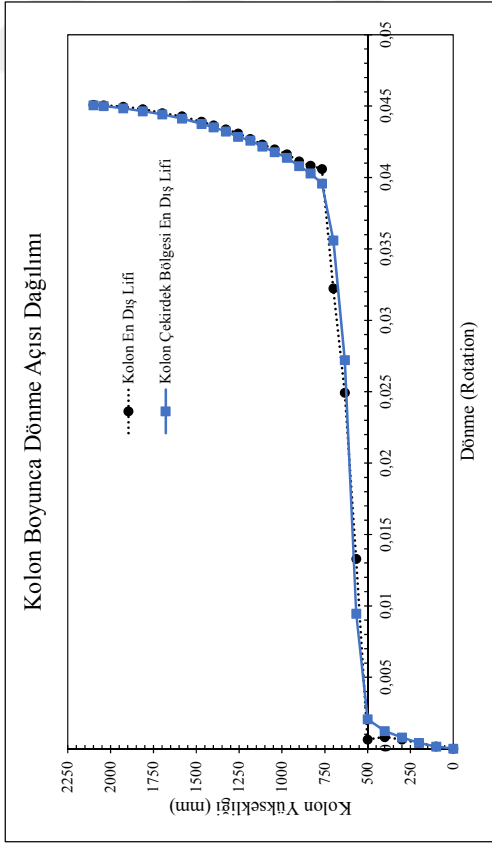
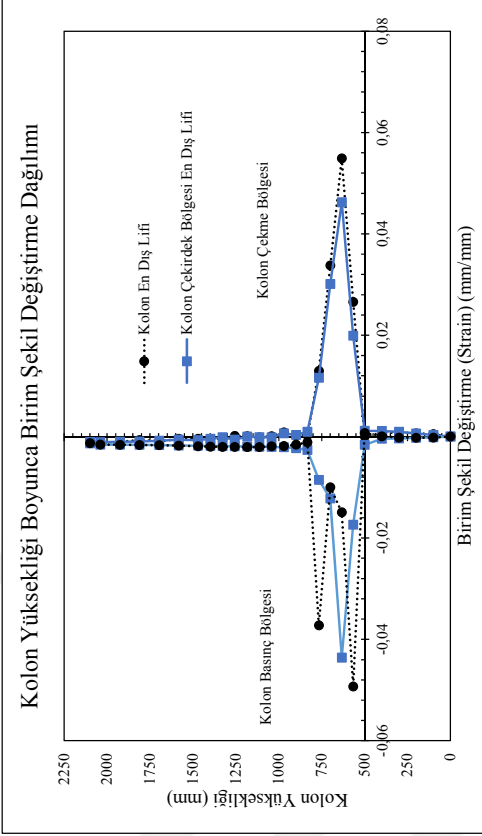
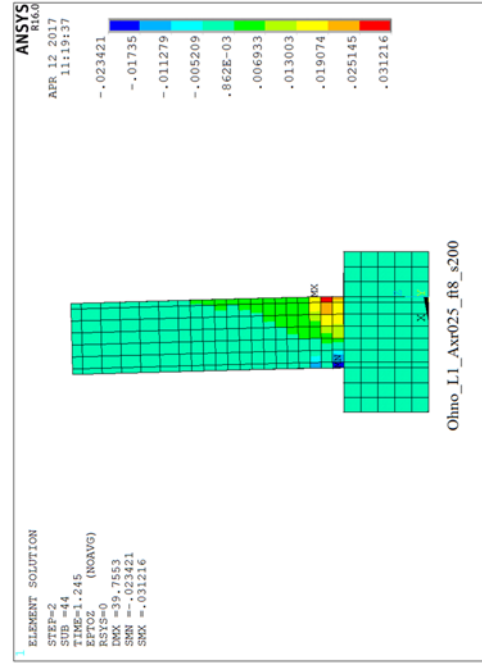


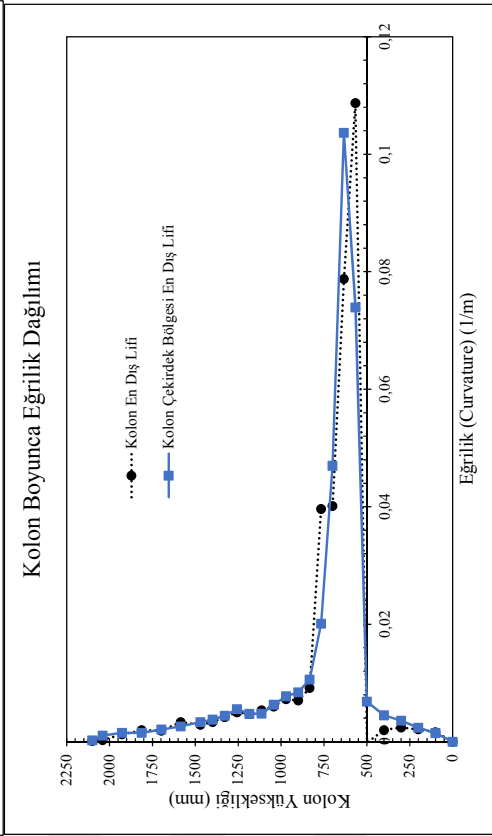
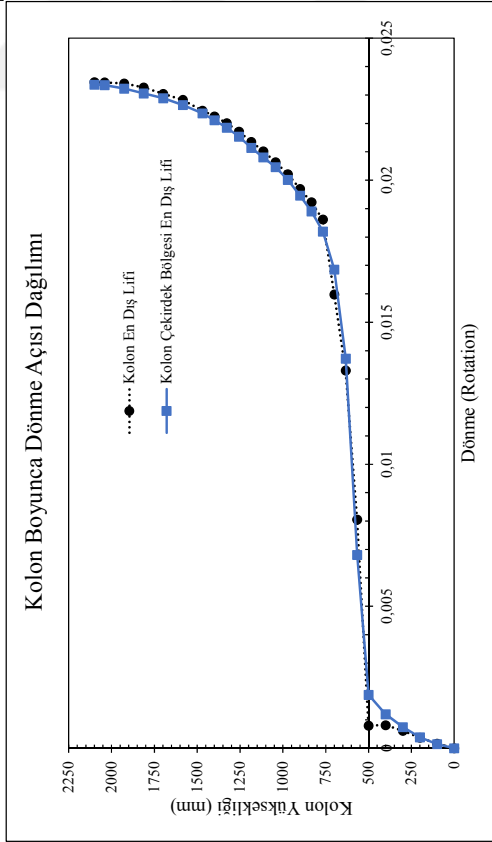
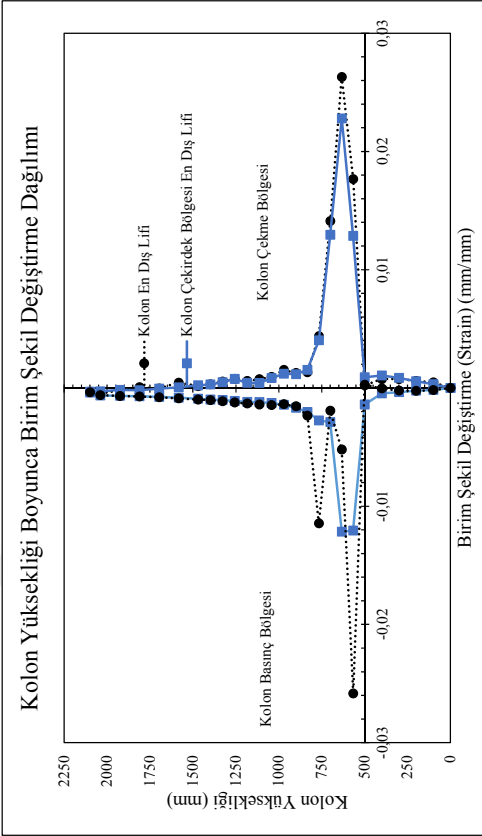
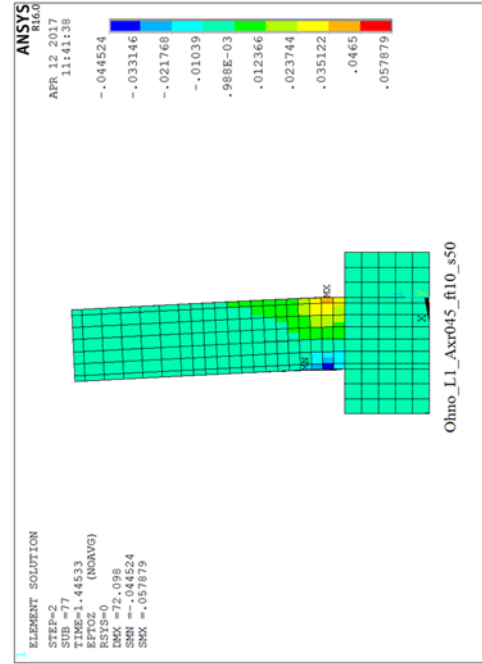


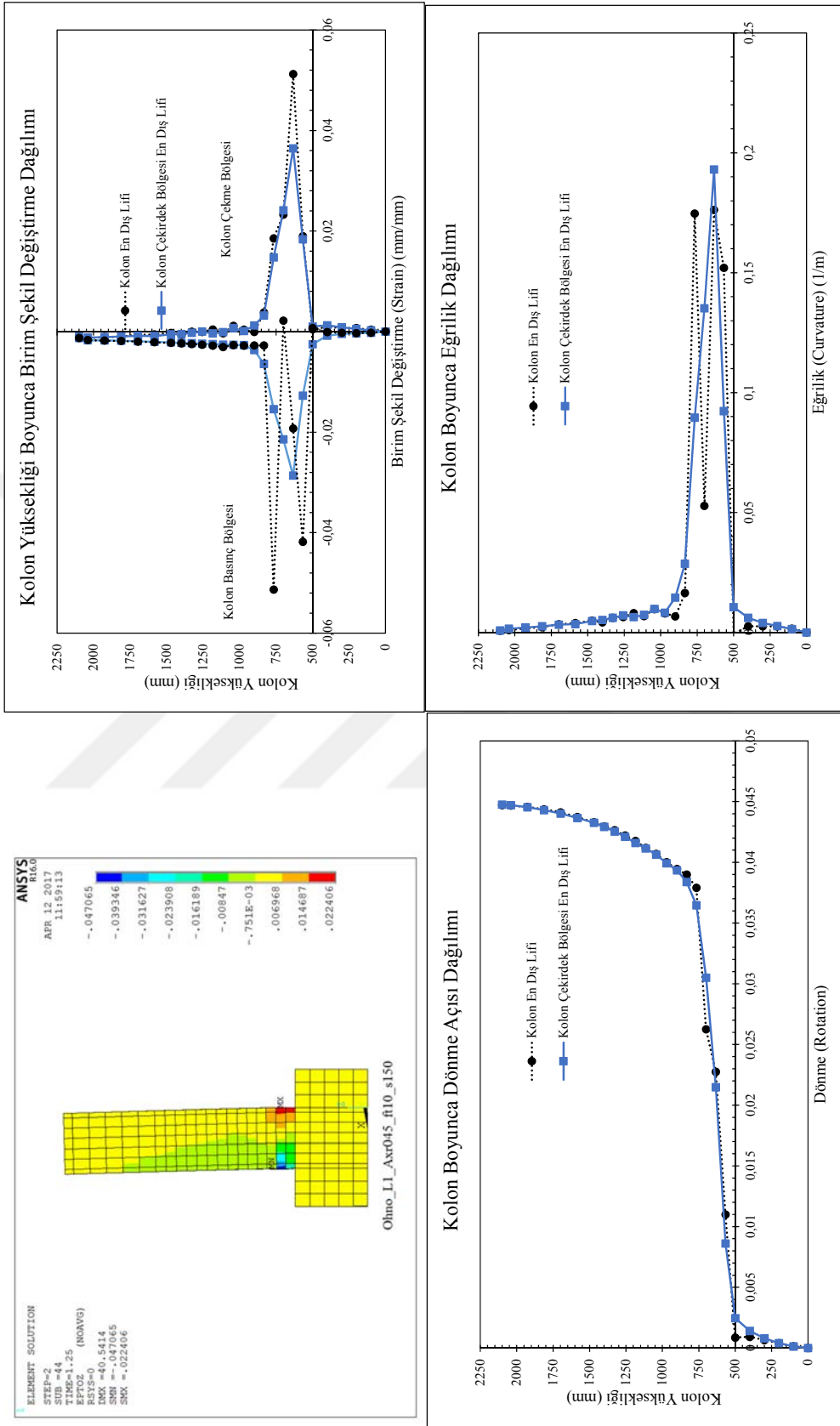


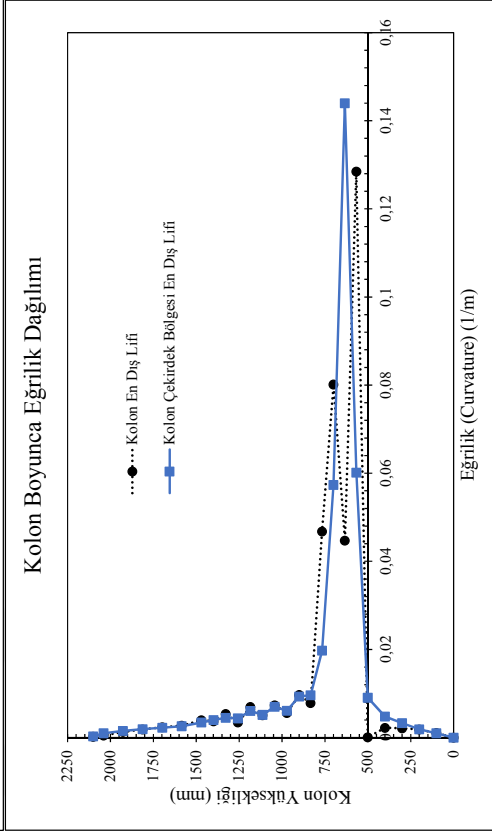
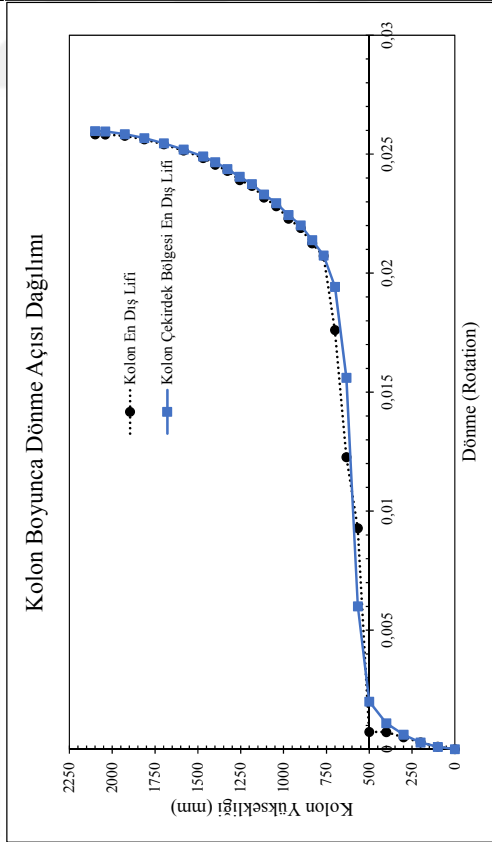
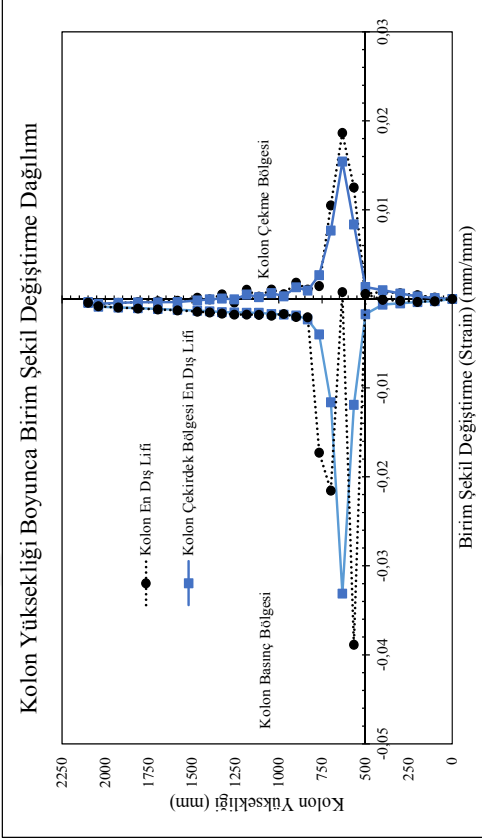
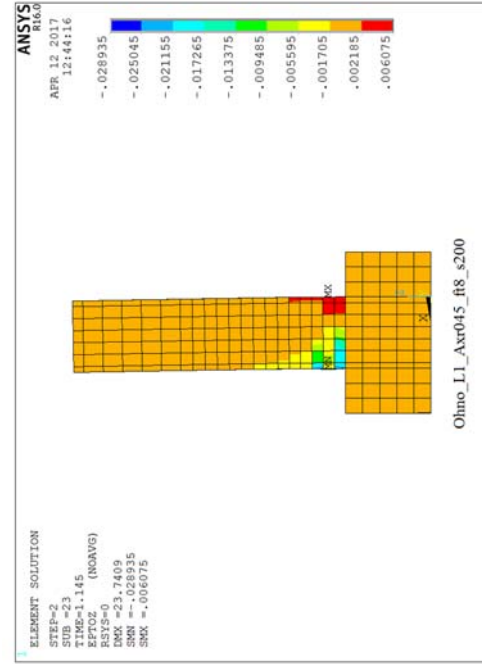




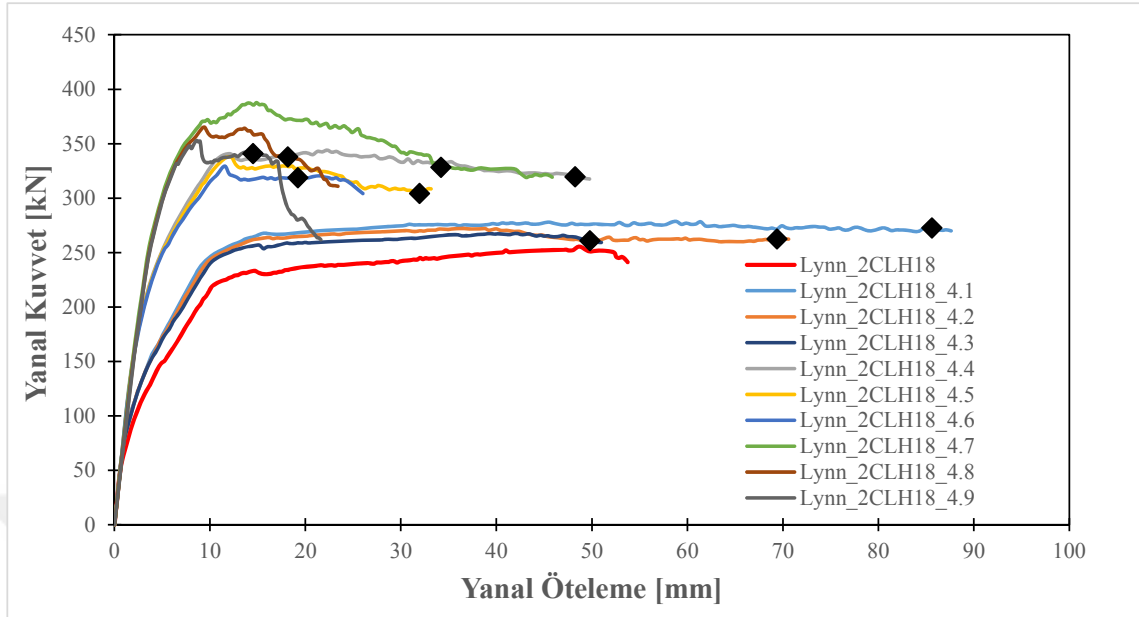




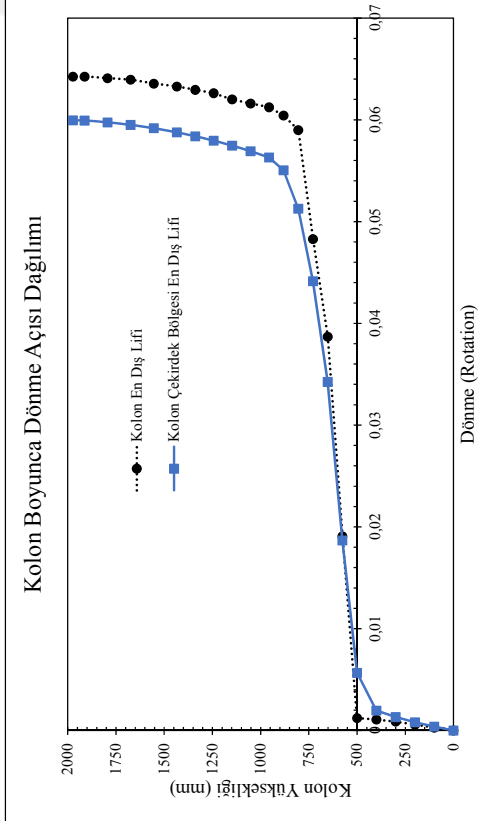
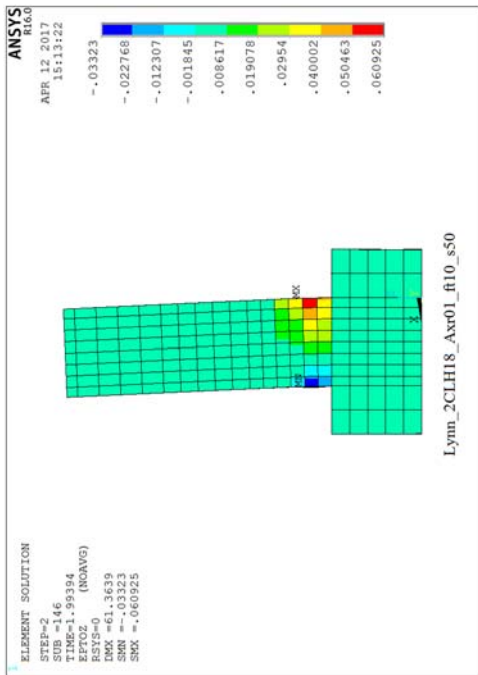
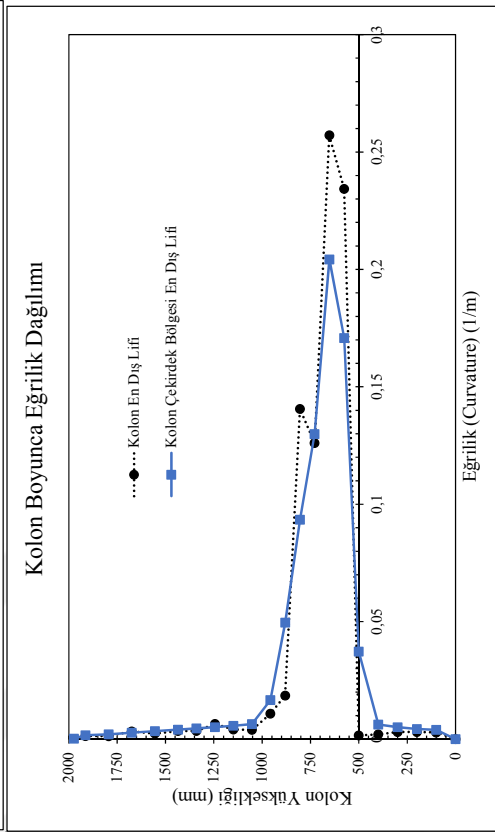
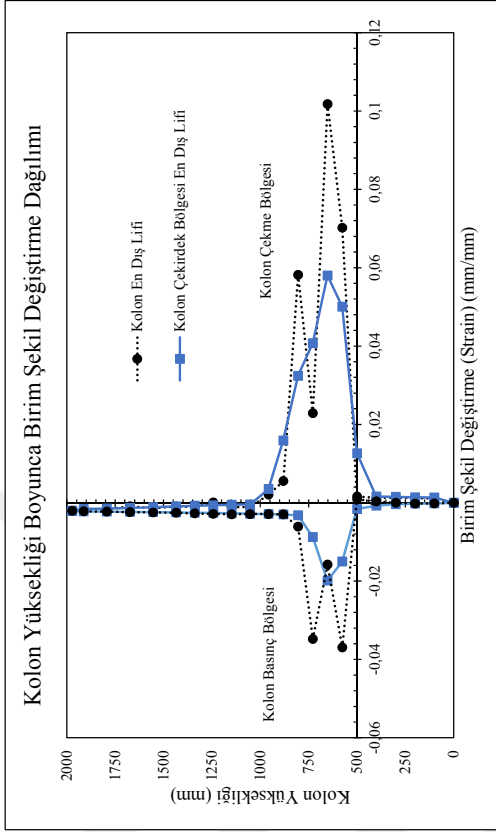




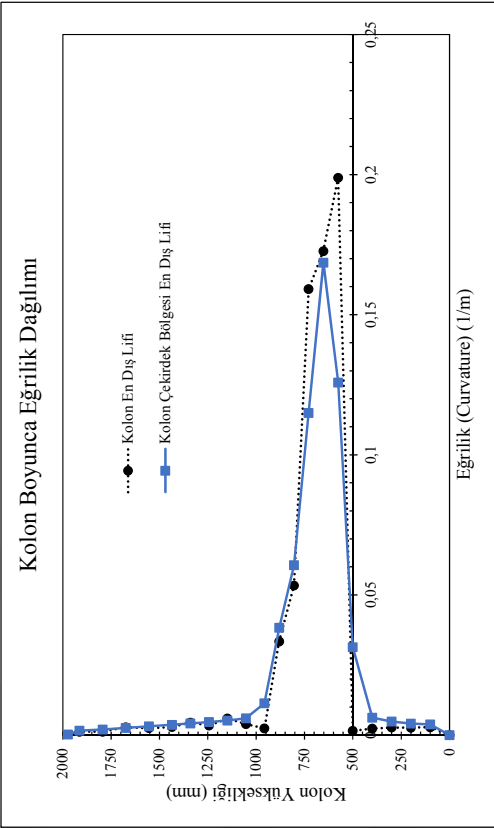
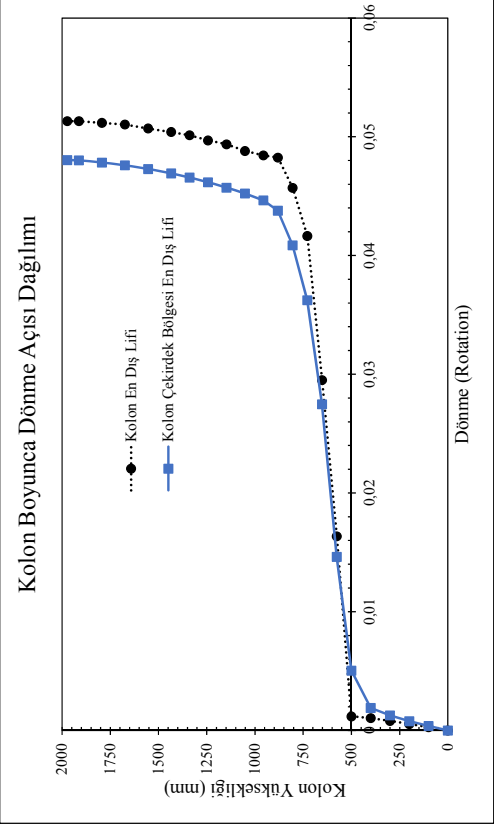
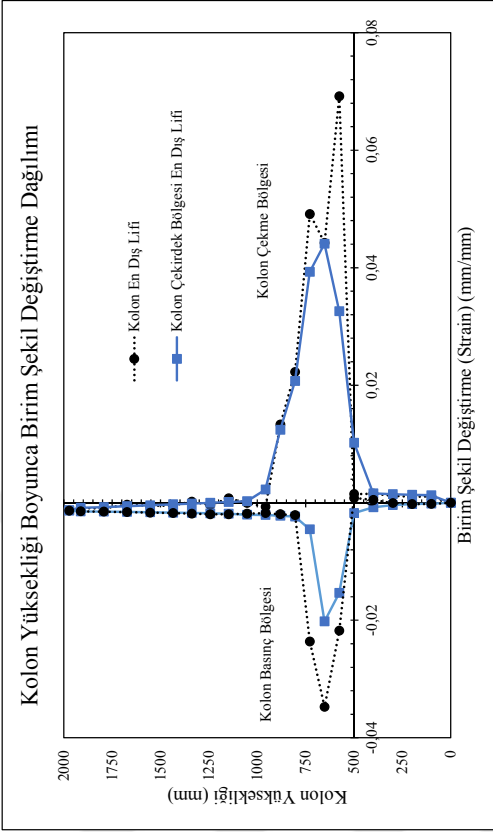
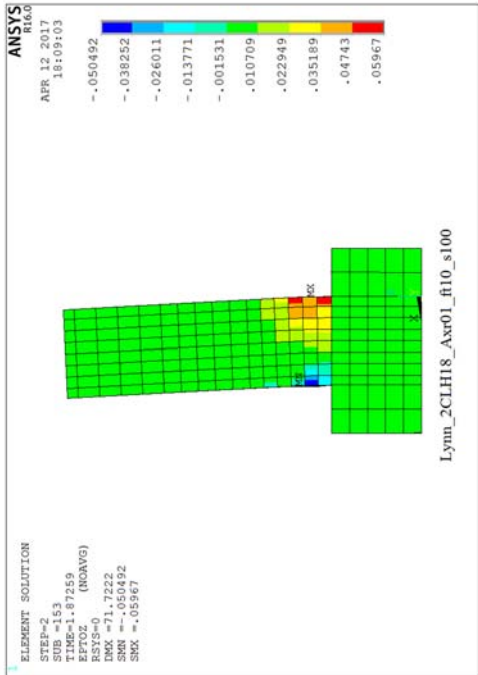
Lynn et al. 1998

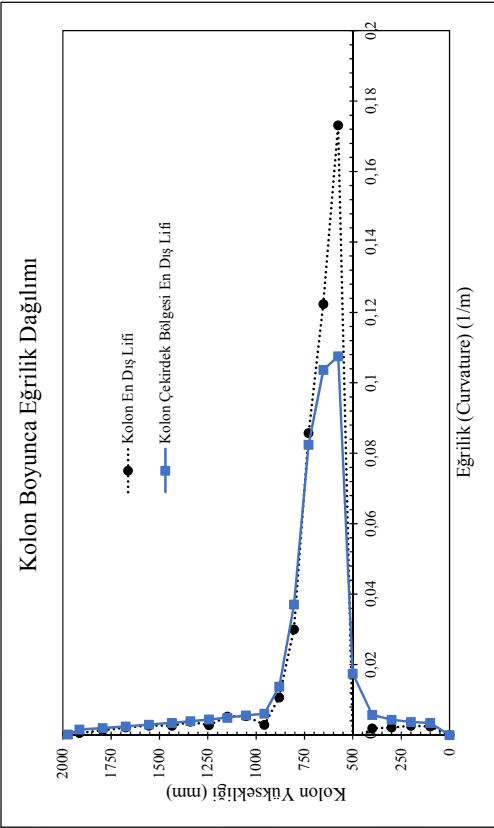
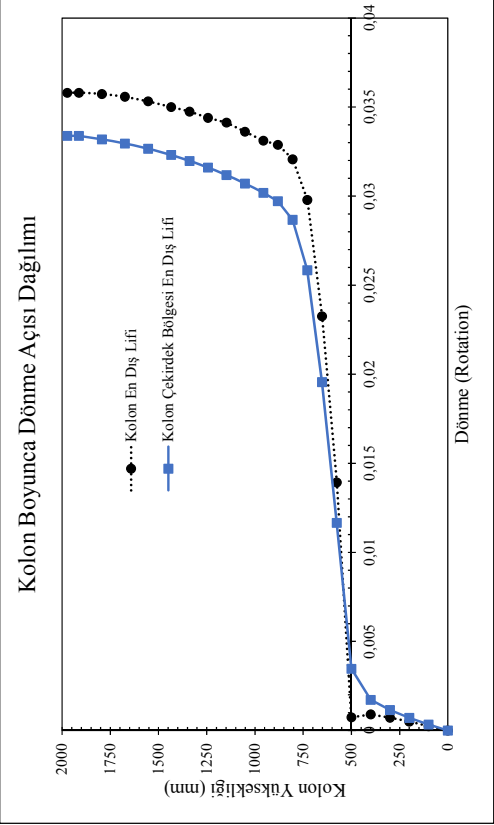
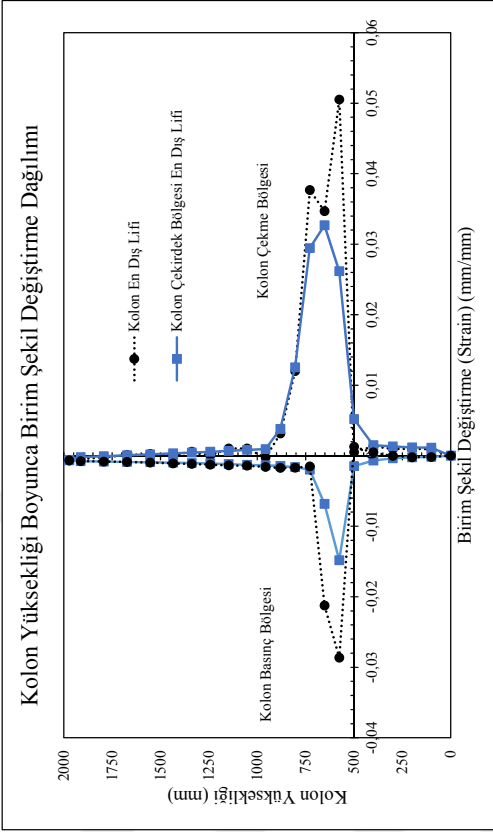
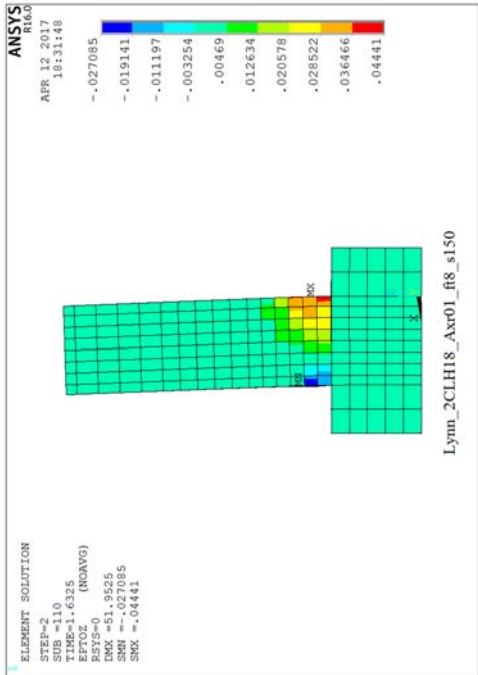


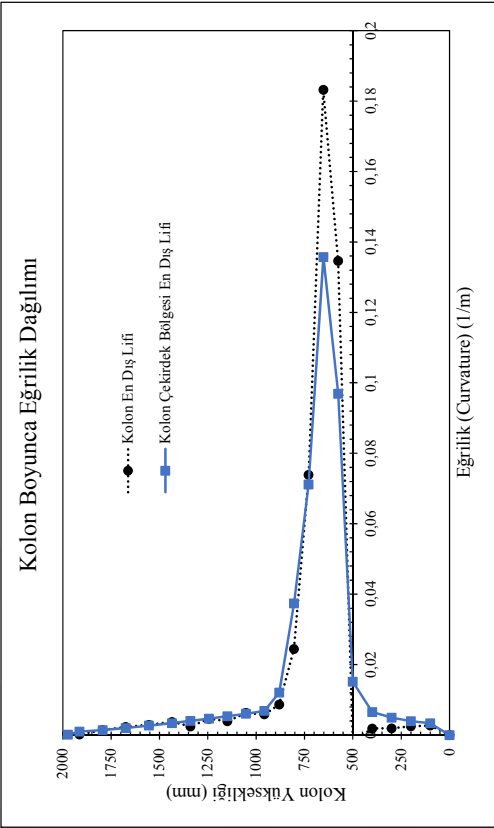
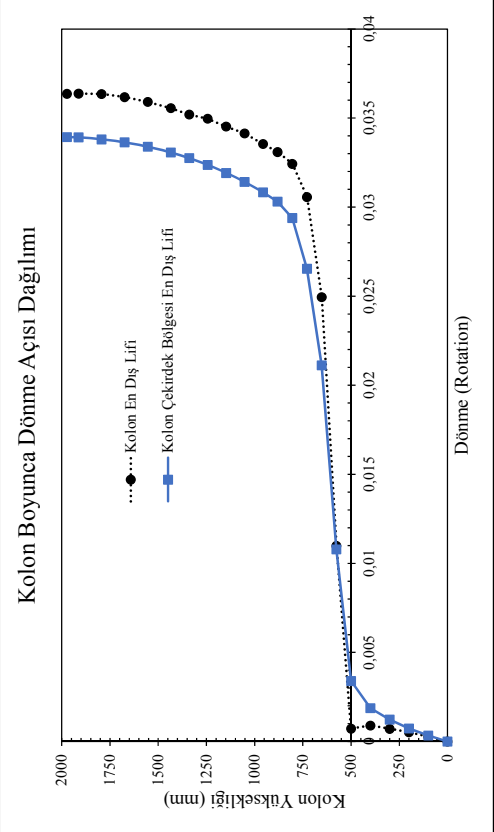
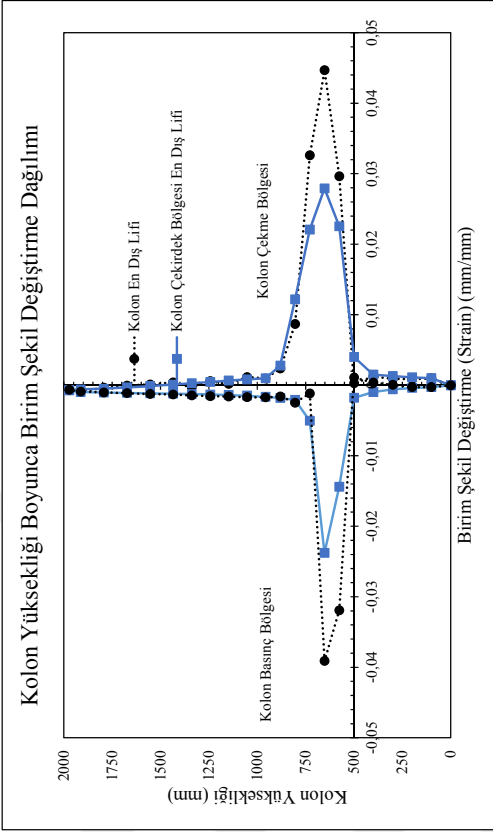
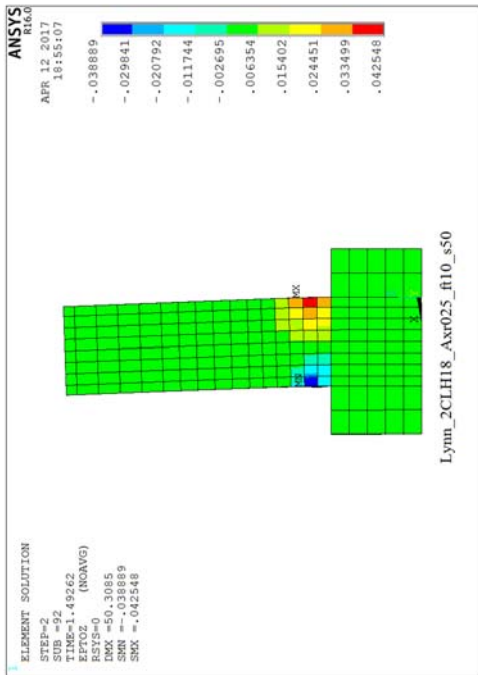
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (m m)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Lynn et al. 1998. 2CLH18		457	457	1473	457.2	38.1	33.1	0.07	400	0.0194	0.0008
	4.1	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0082
	4.2	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0041
	4.3	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.10	400	0.0194	0.0017
	4.4	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0082
	4.5	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0041
	4.6	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.25	400	0.0194	0.0017
	4.7	457	457	1473	50	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0082
	4.8	457	457	1473	100	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0041
4.9	457	457	1473	150	38.1	33.1	0.45	400	0.0194	0.0017	

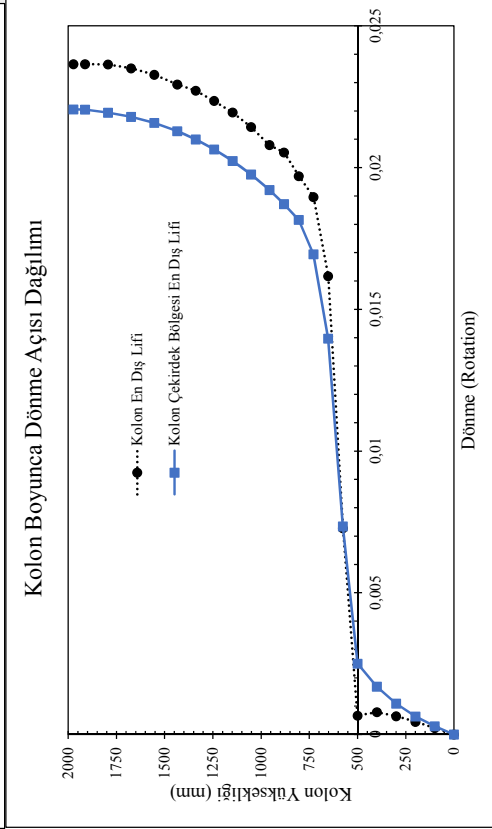
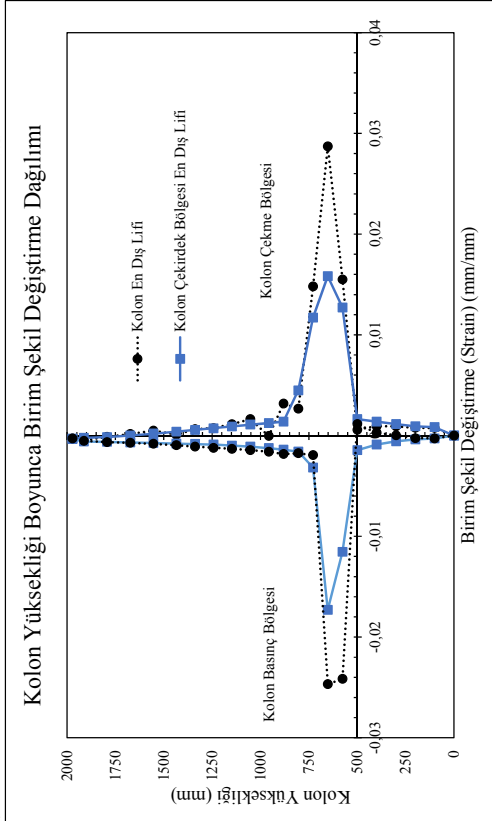
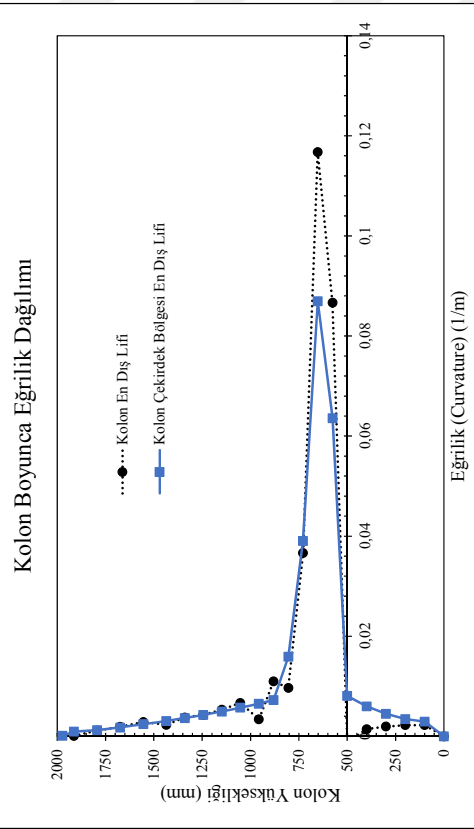
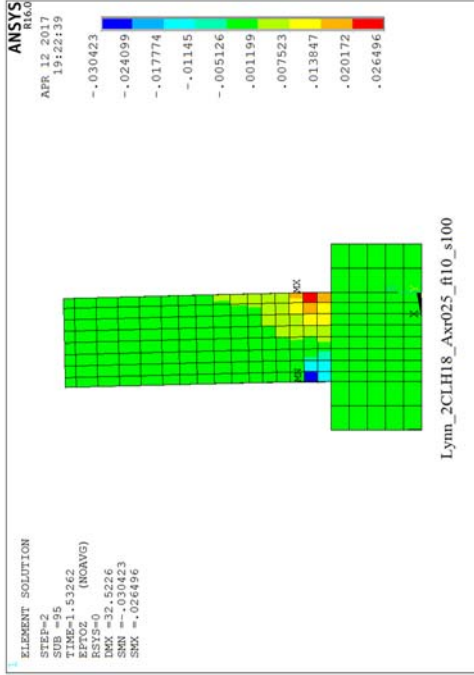


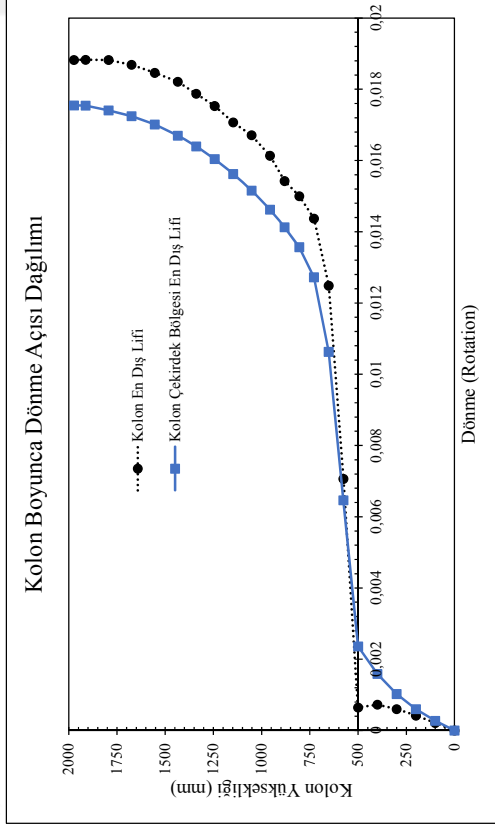
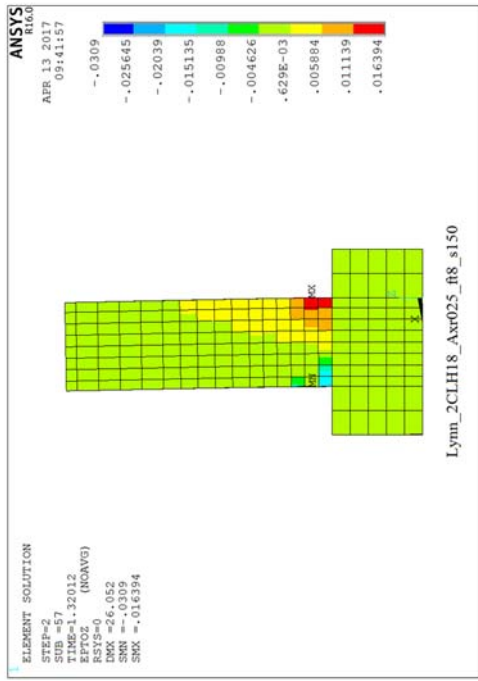
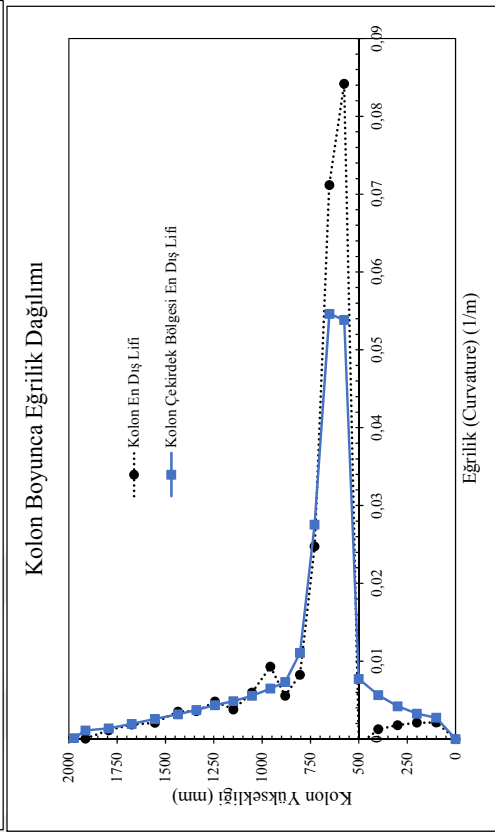
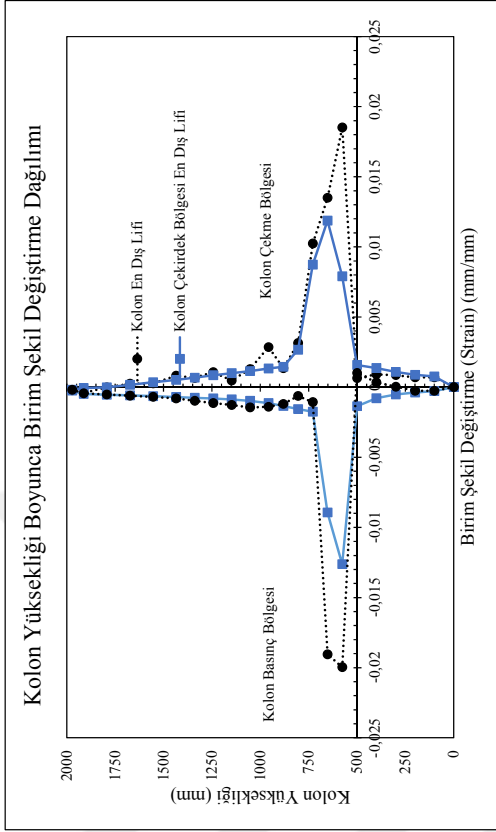


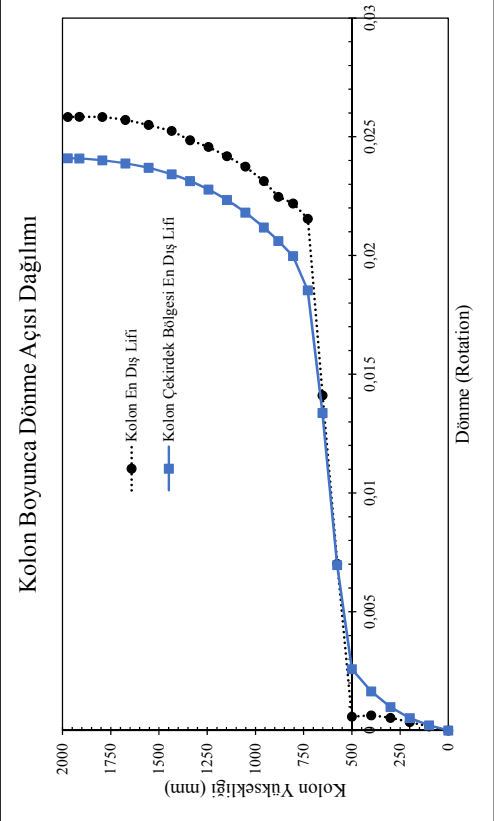
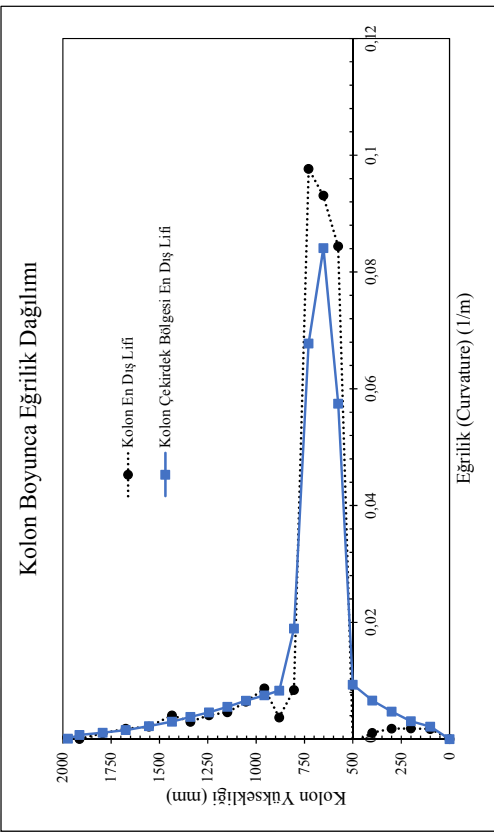
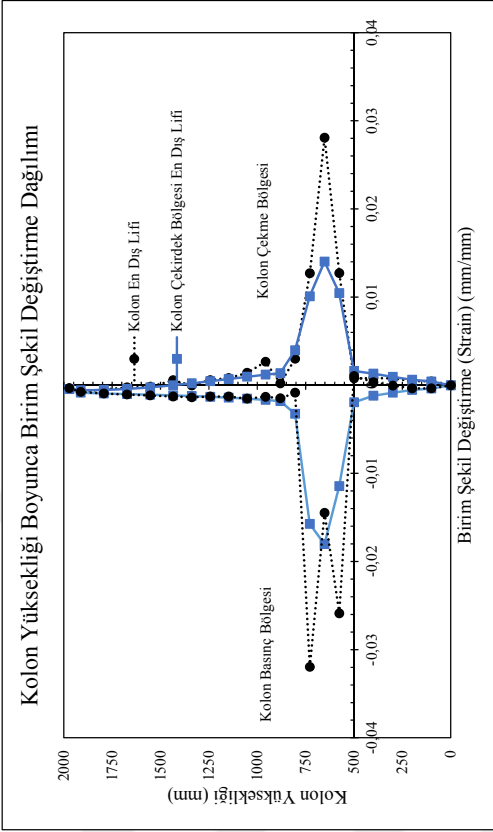
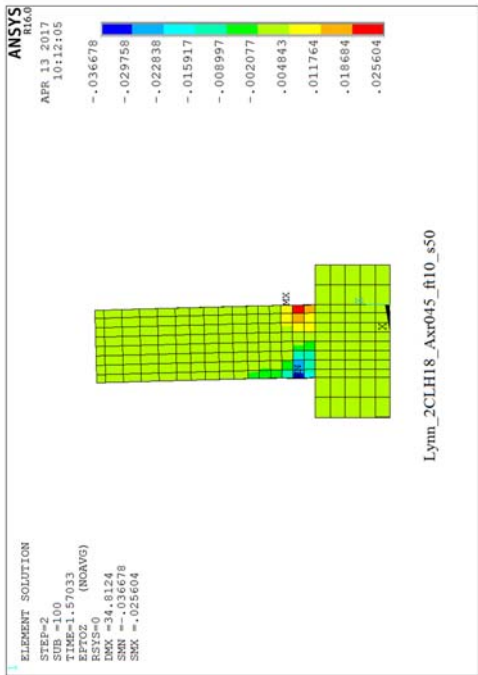


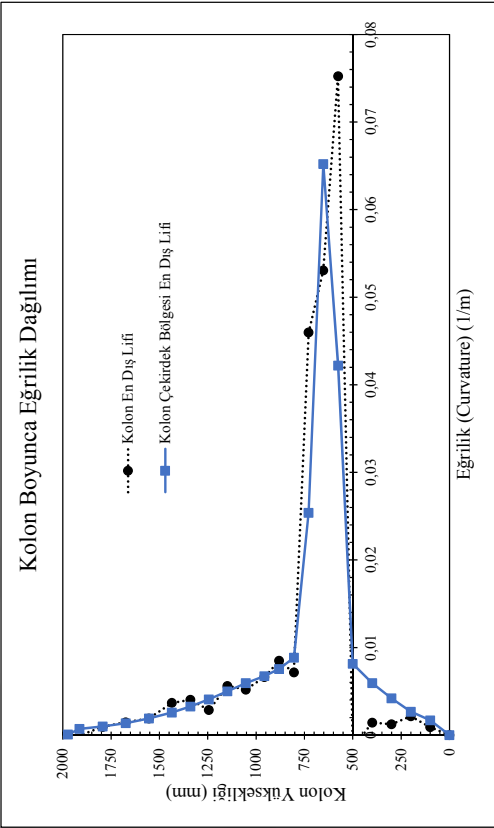
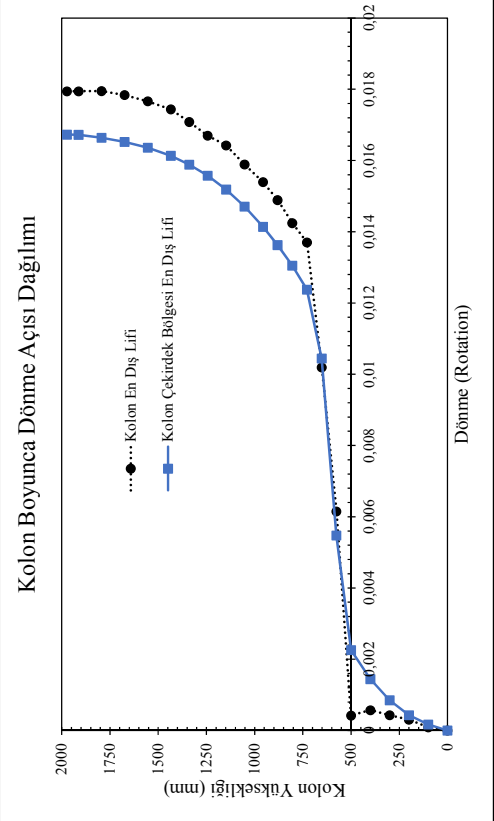
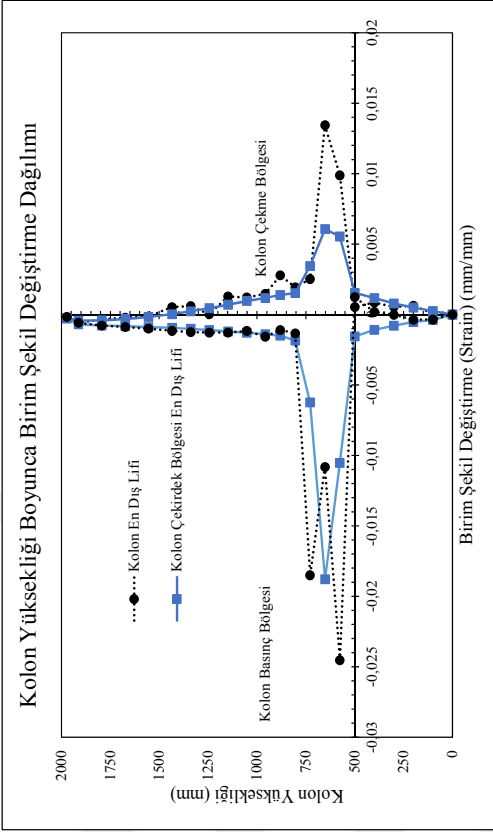
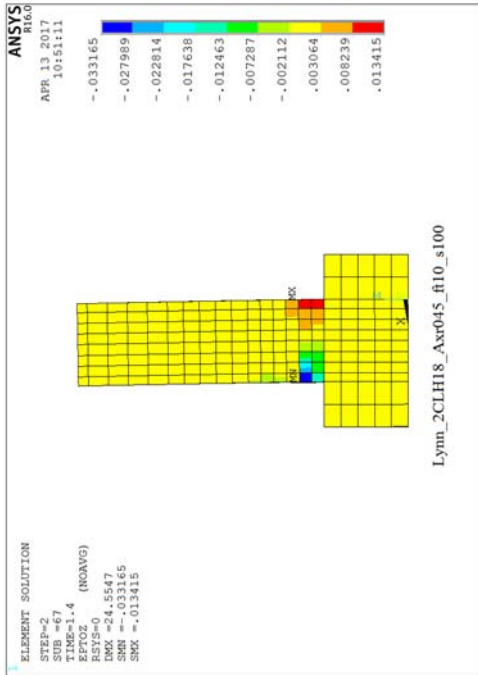


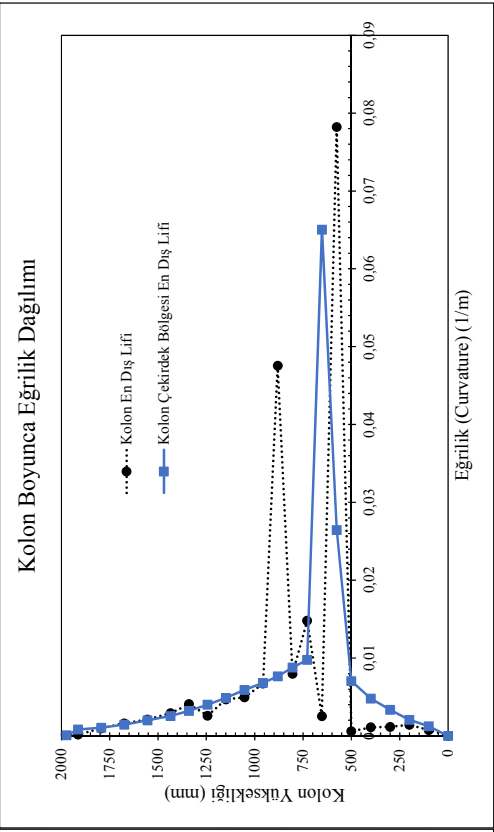
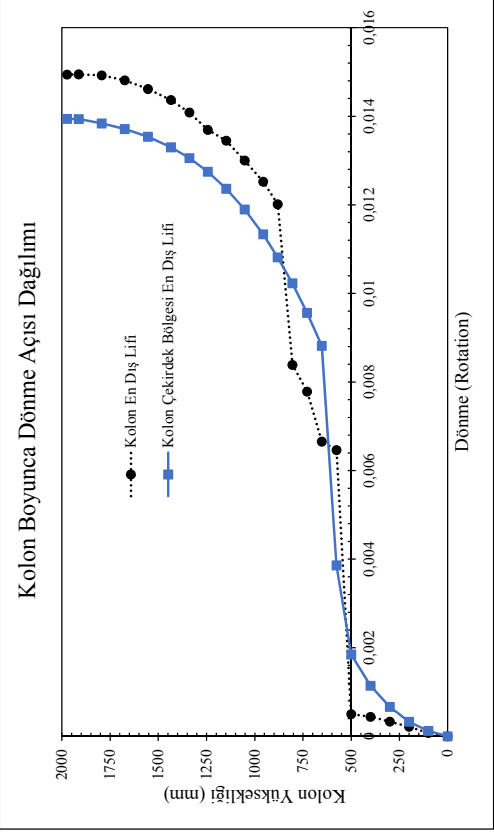
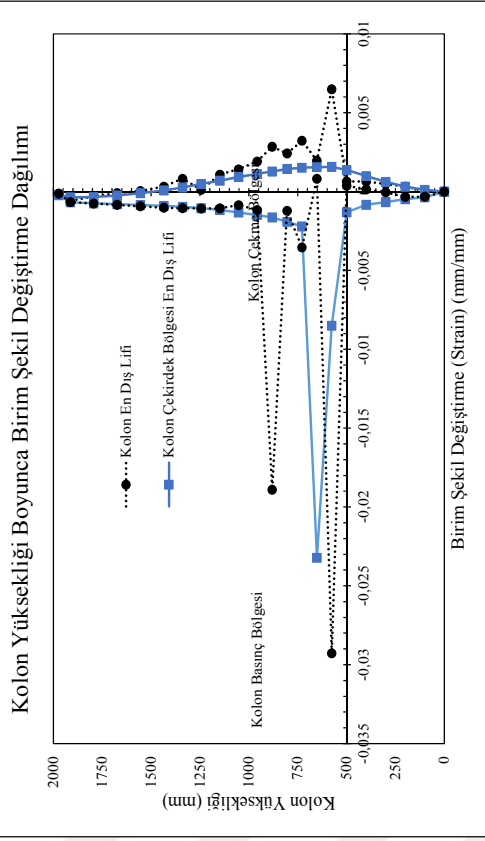
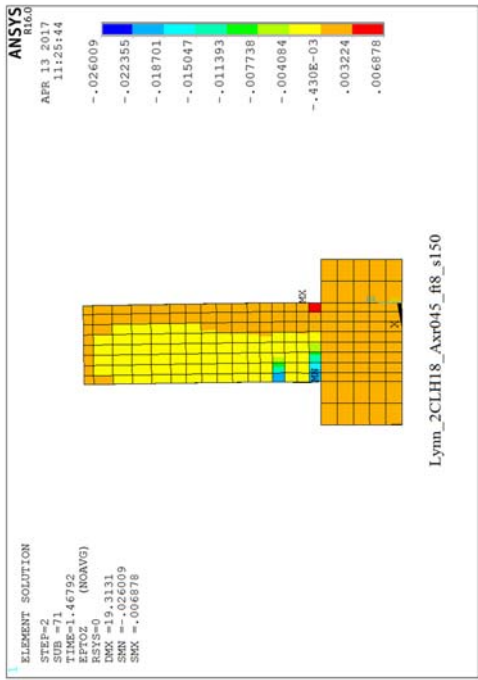






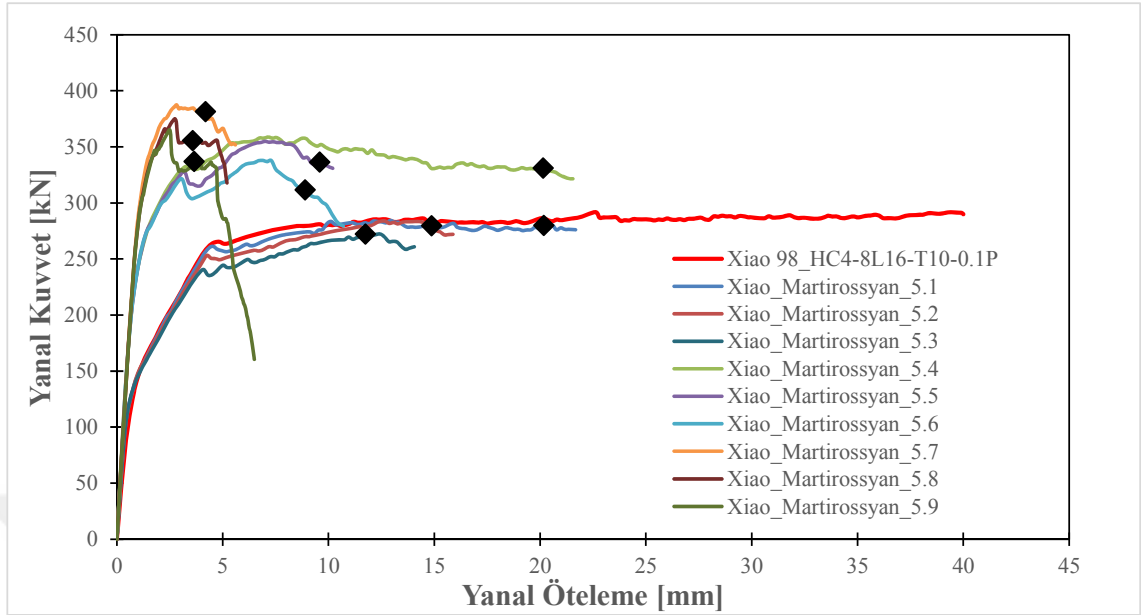




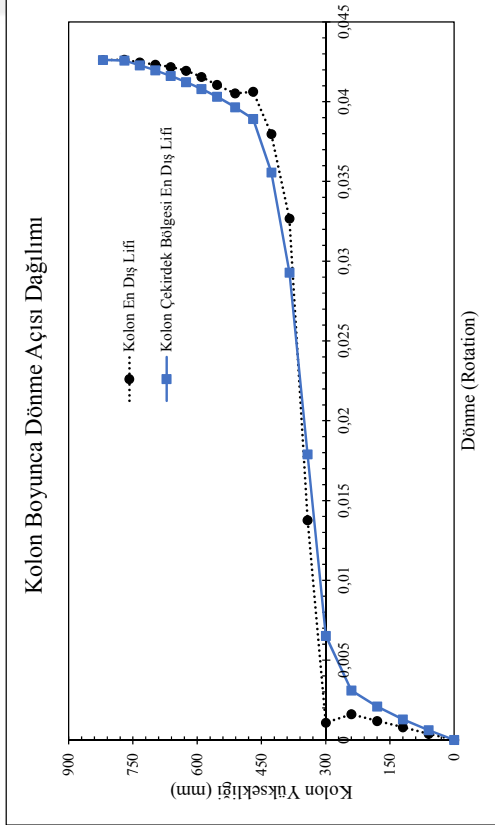
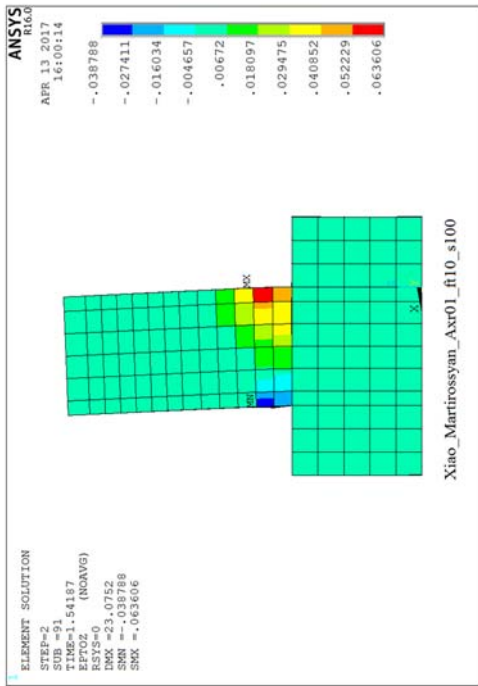
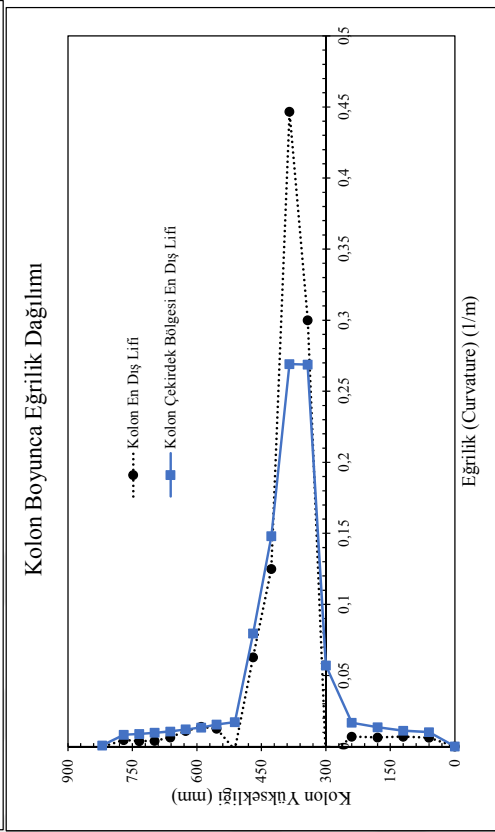
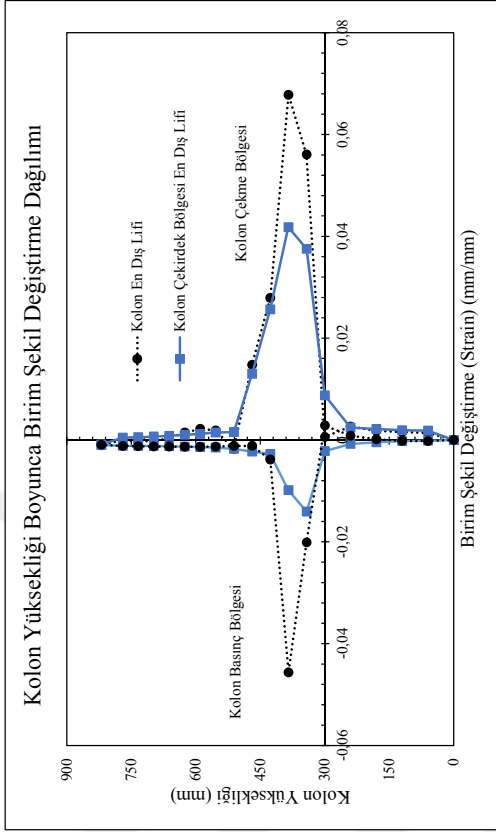


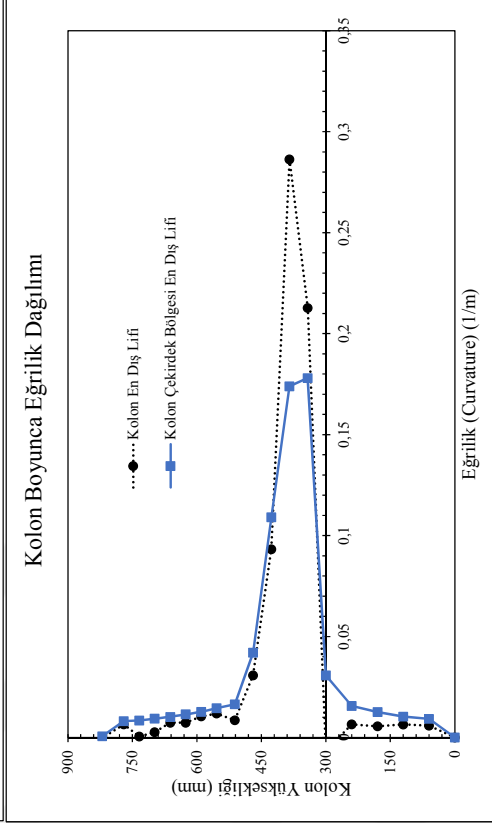
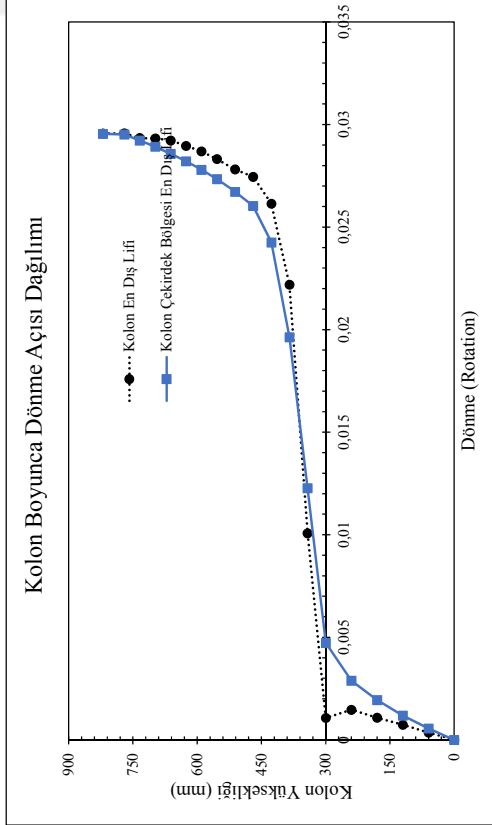
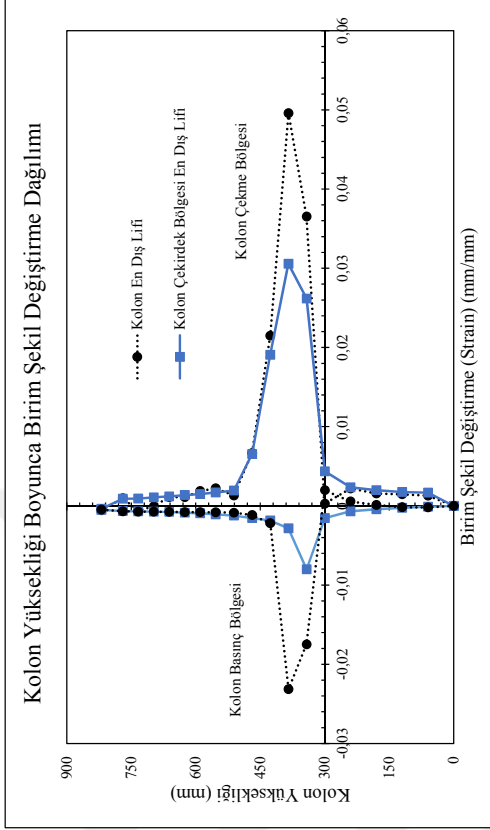
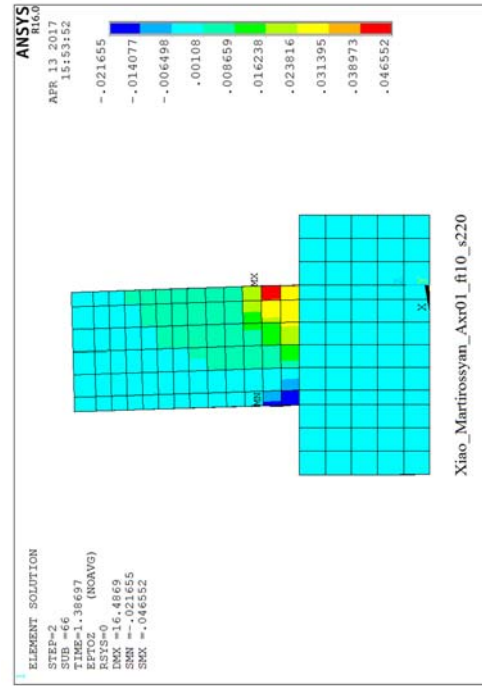


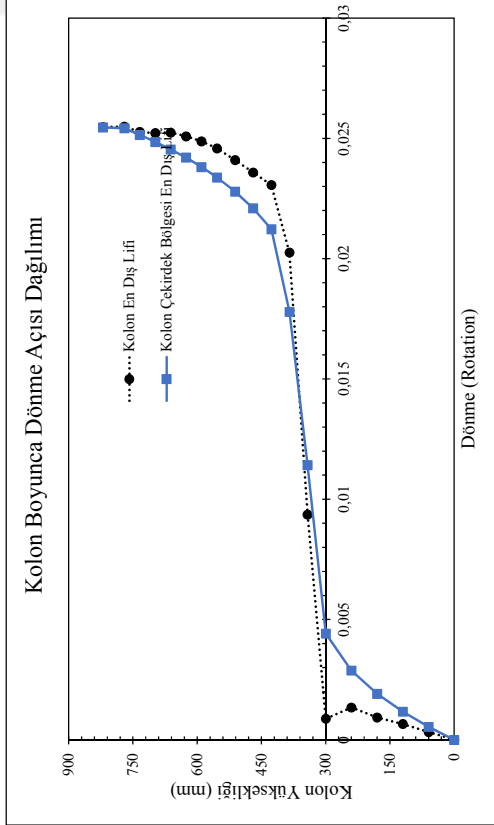
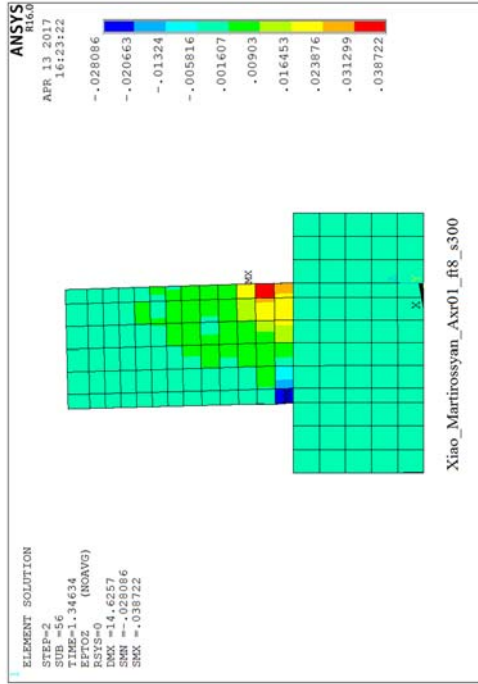
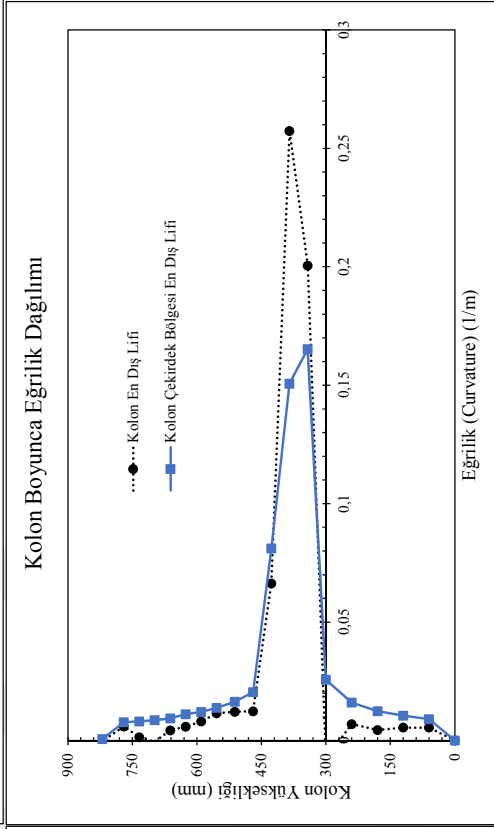
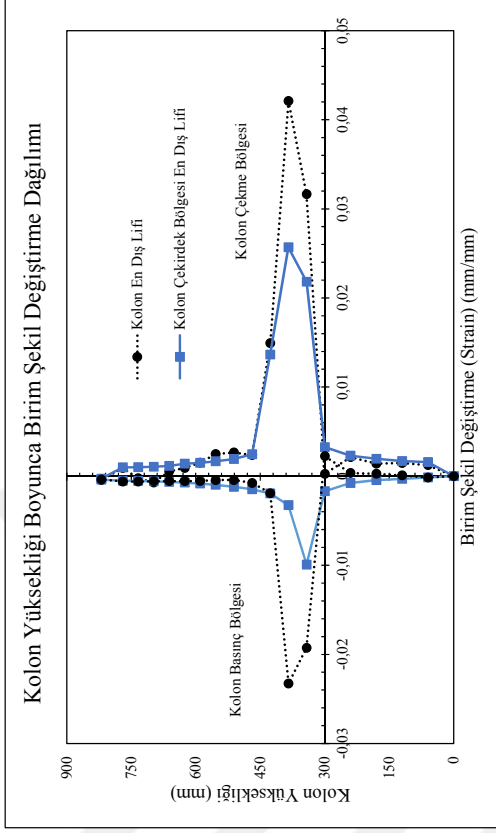
Xiao and Martirosyan 1998

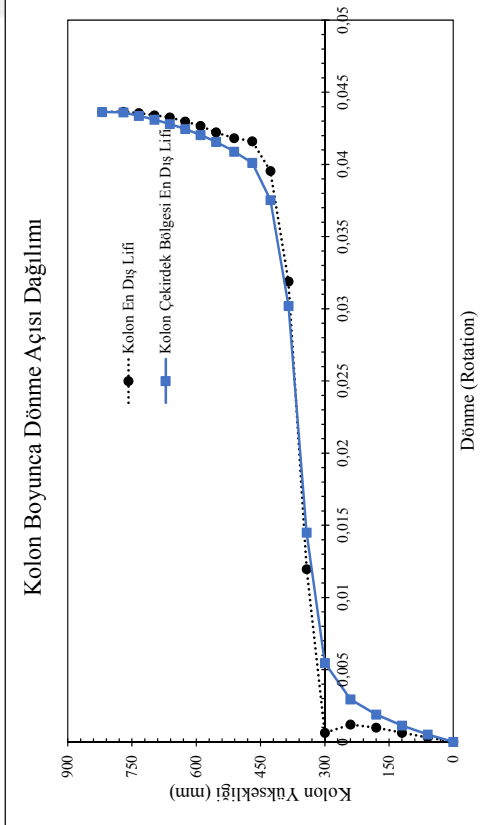
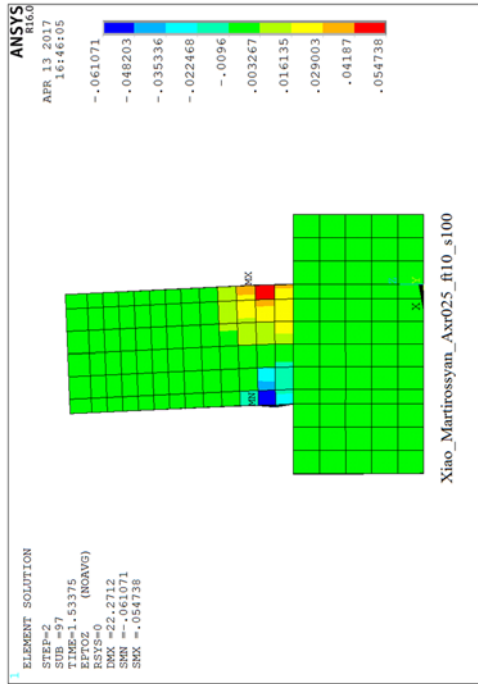
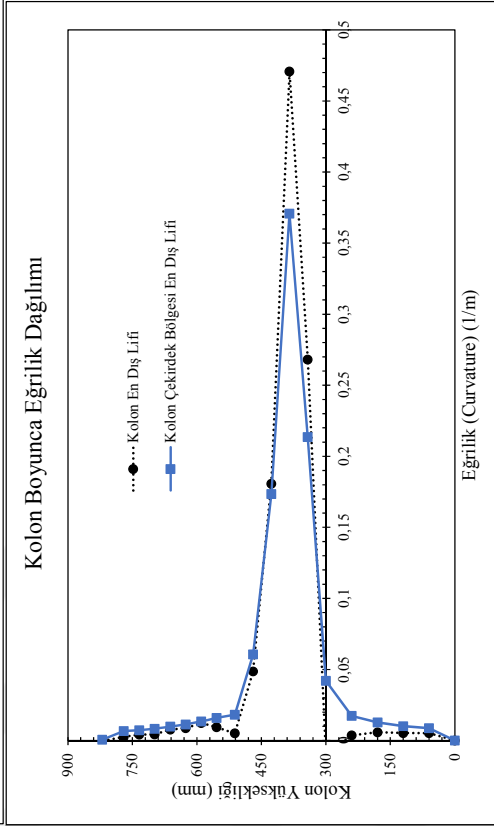
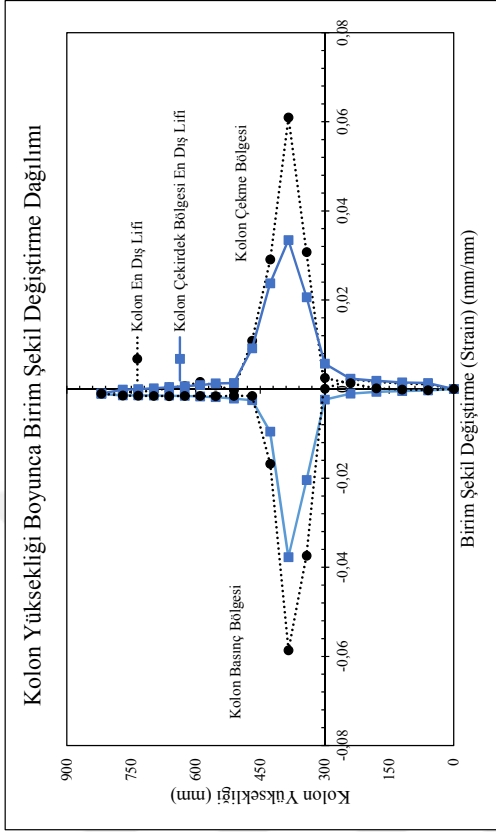


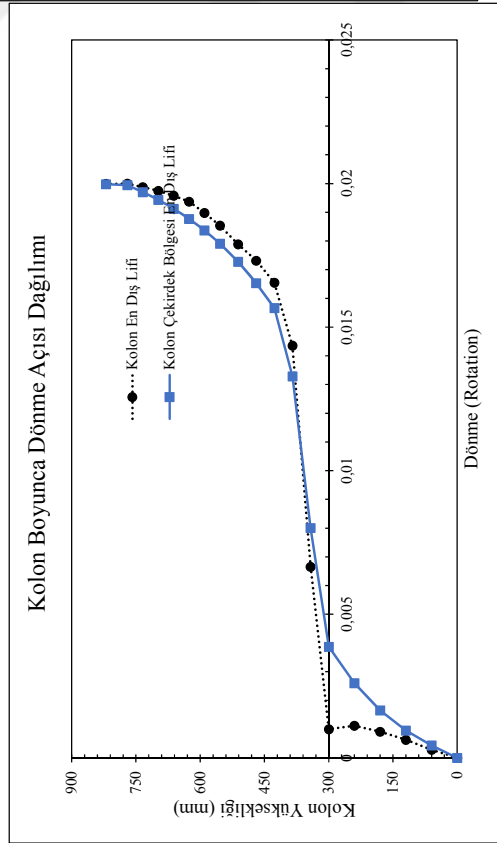
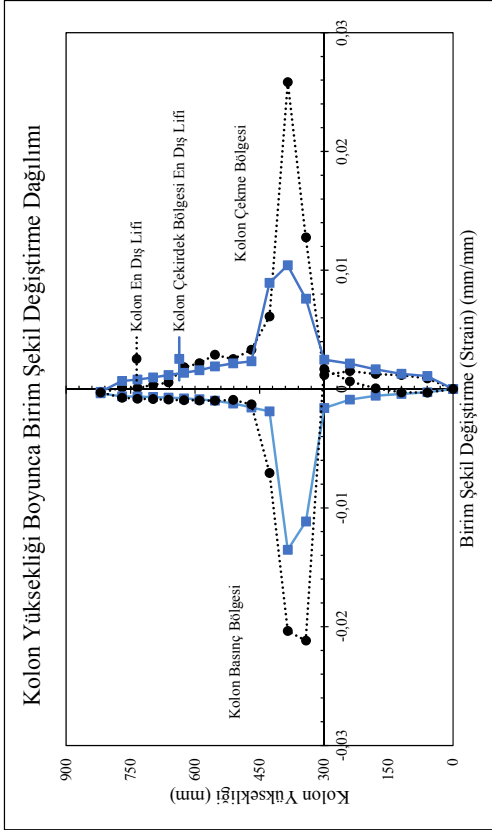
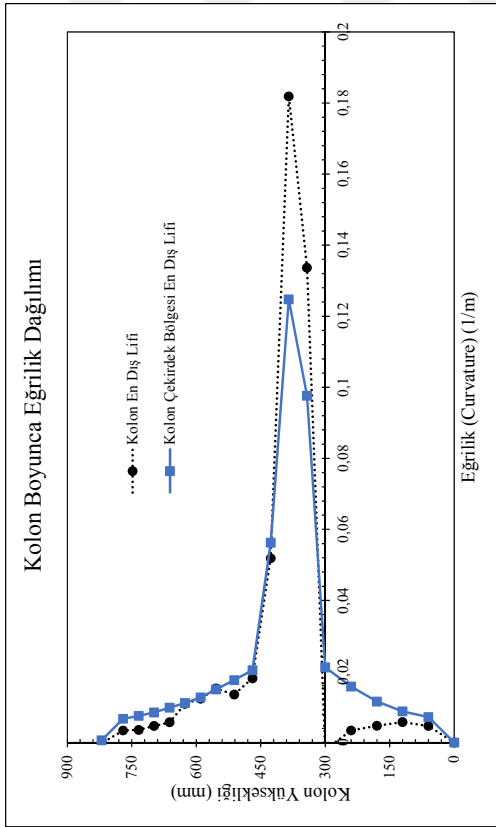
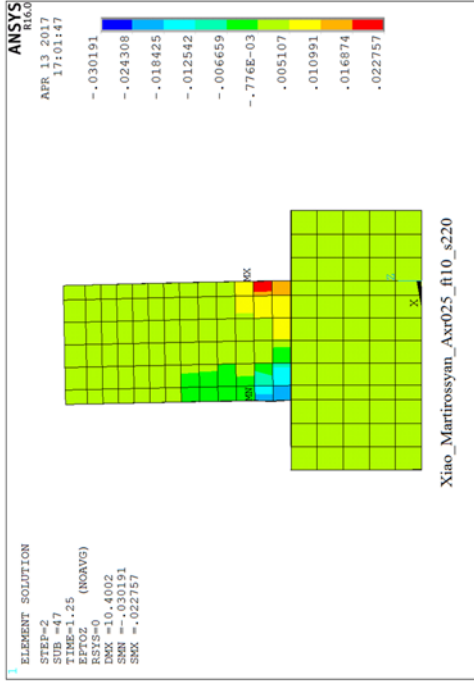
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	f <sub>ys</sub> (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Xiao and Martirosyan 1998. HC4-8L19-T10-0.1P		254	254	508	51	23	76	0.10	510	0.0355	0.0200
	5.1	254	254	508	100	31	86	0.10	510	0.0246	0.0122
	5.2	254	254	508	220	31	86	0.10	510	0.0246	0.0055
	5.3	254	254	508	300	31	86	0.10	510	0.0246	0.0026
	5.4	254	254	508	100	31	86	0.25	510	0.0246	0.0012
	5.5	254	254	508	220	31	86	0.25	510	0.0246	0.0055
	5.6	254	254	508	300	31	86	0.25	510	0.0246	0.0026
	5.7	254	254	508	100	31	86	0.45	510	0.0246	0.0122
	5.8	254	254	508	220	31	86	0.45	510	0.0246	0.0055
5.9	254	254	508	300	31	86	0.45	510	0.0246	0.0026	

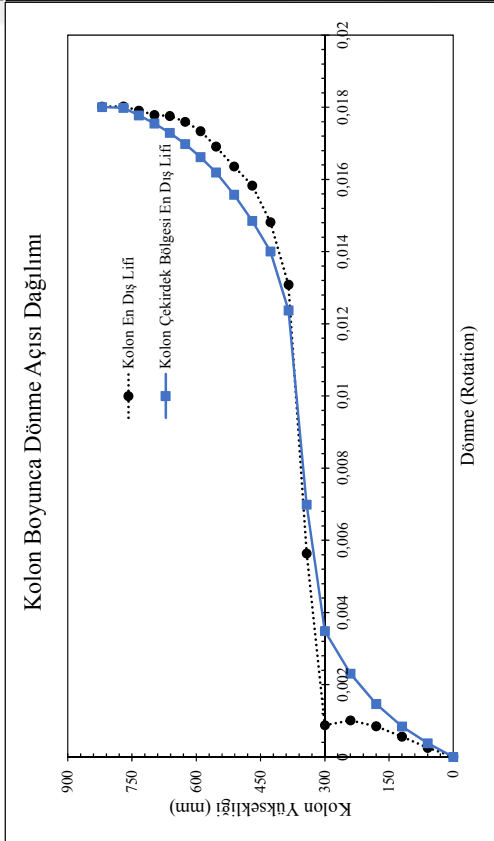
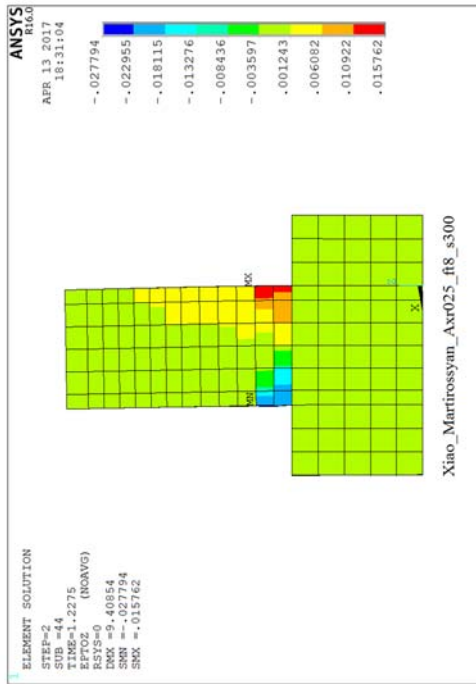
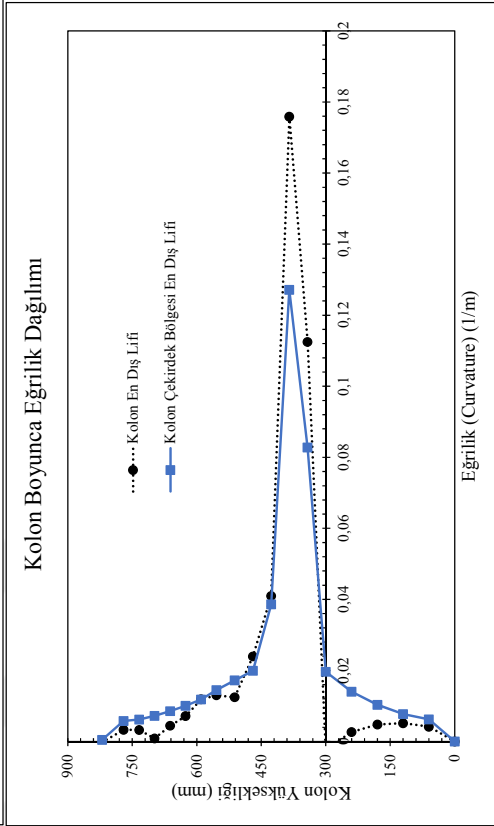
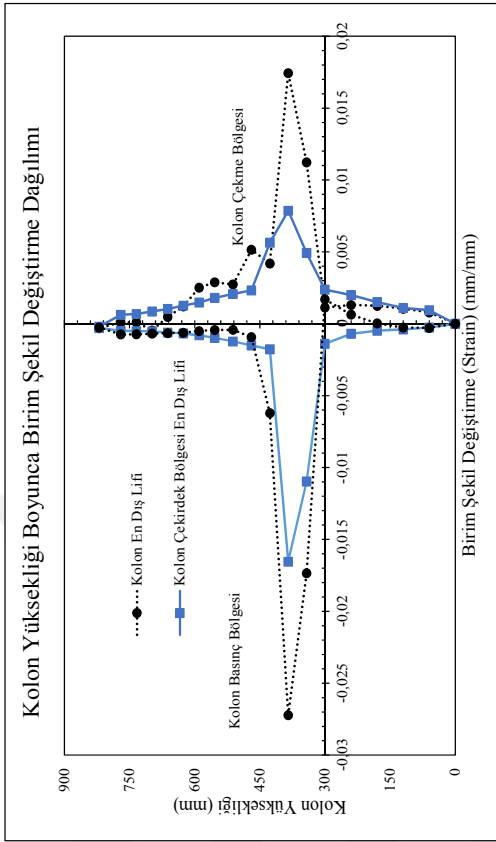


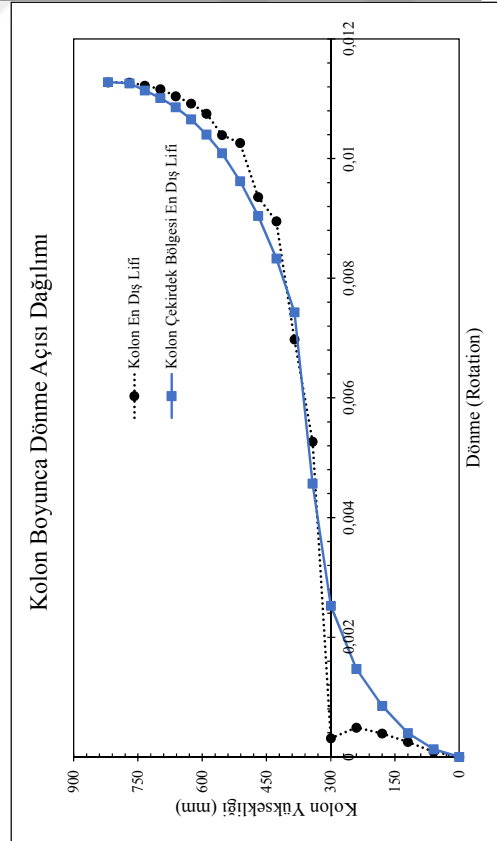
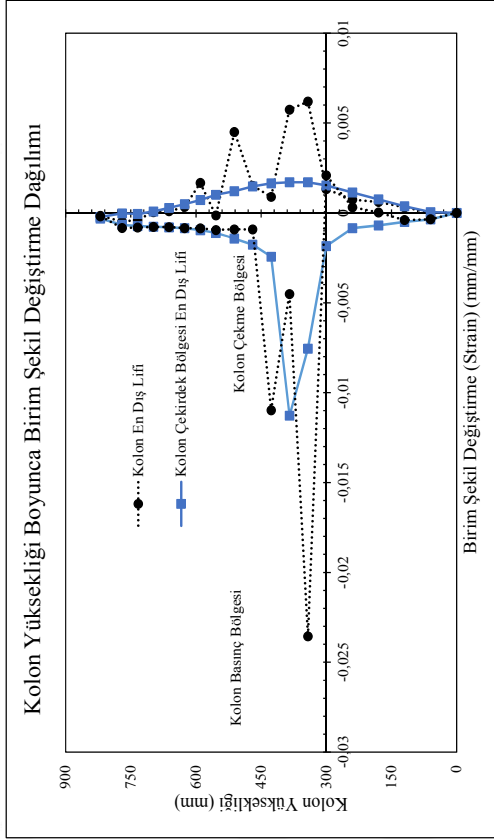
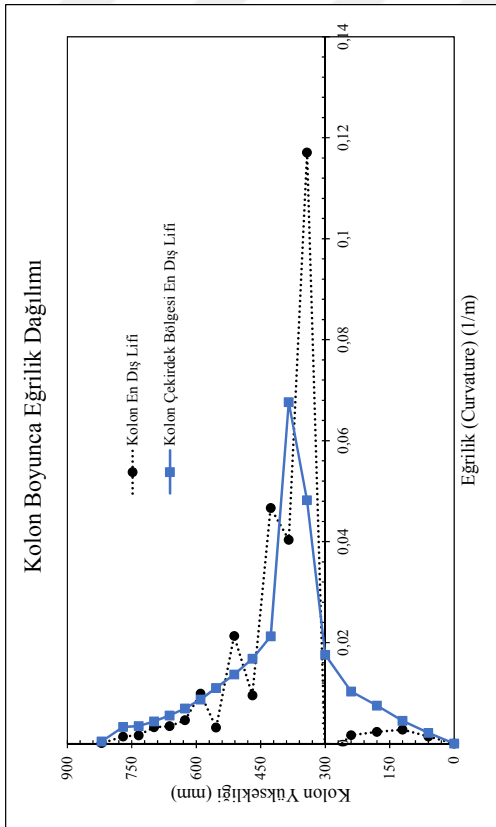
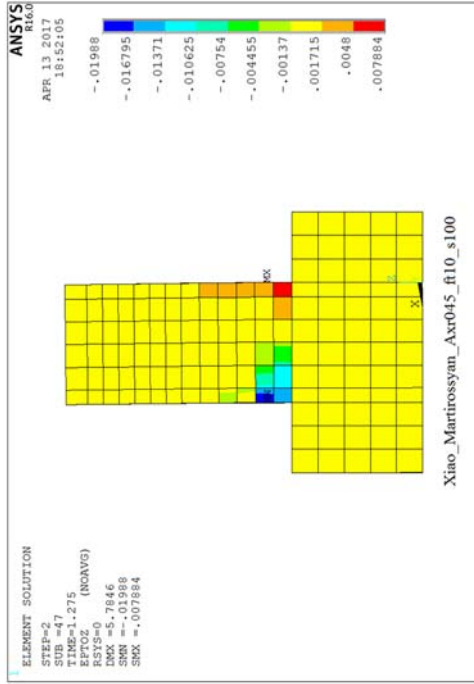




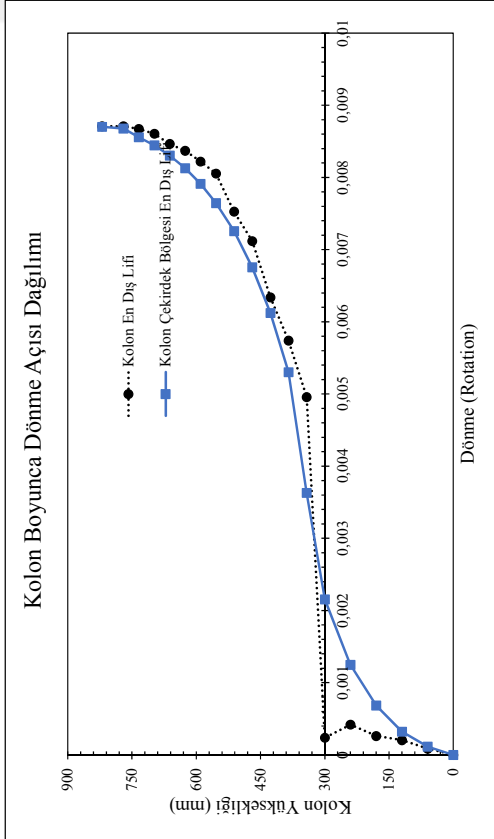
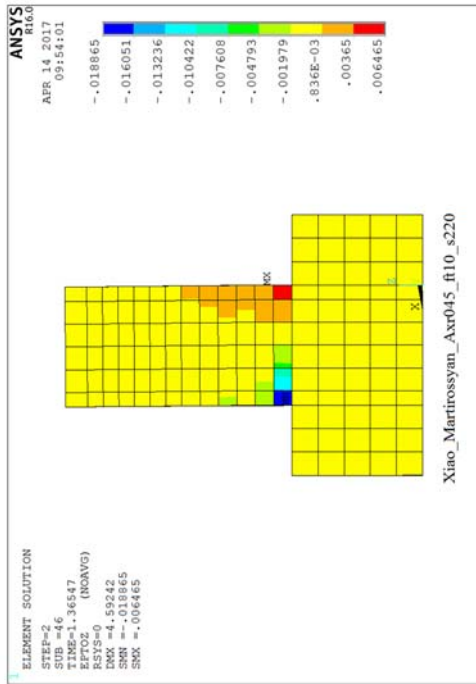
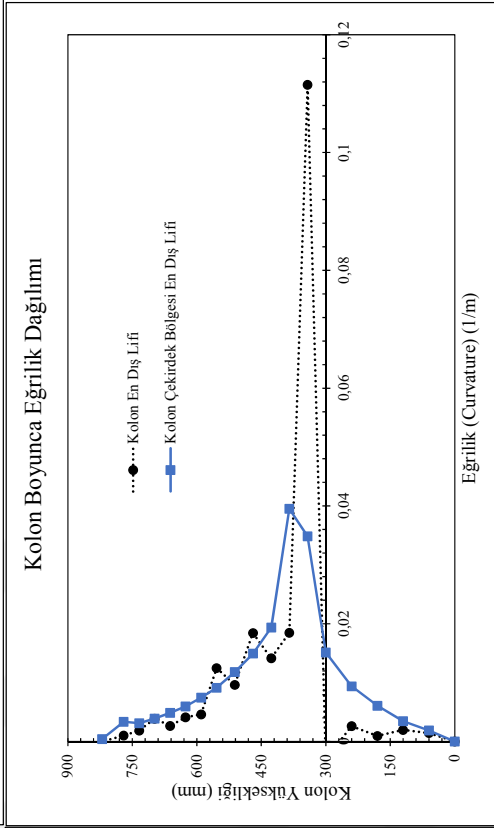
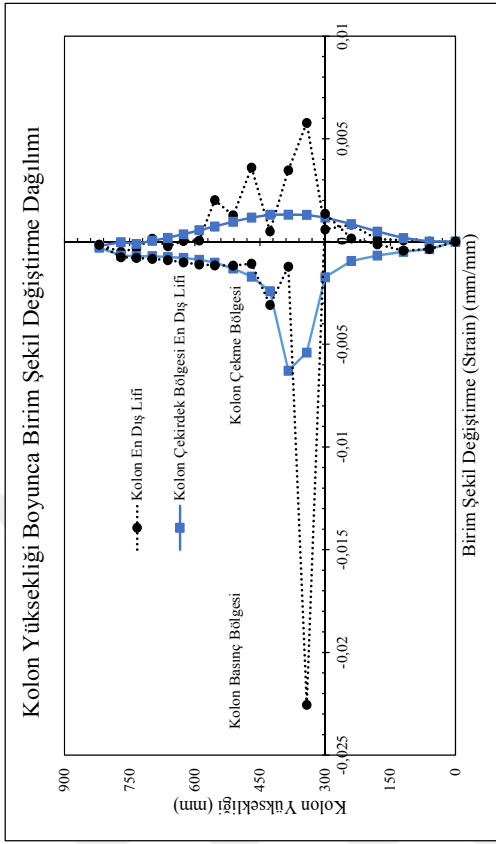


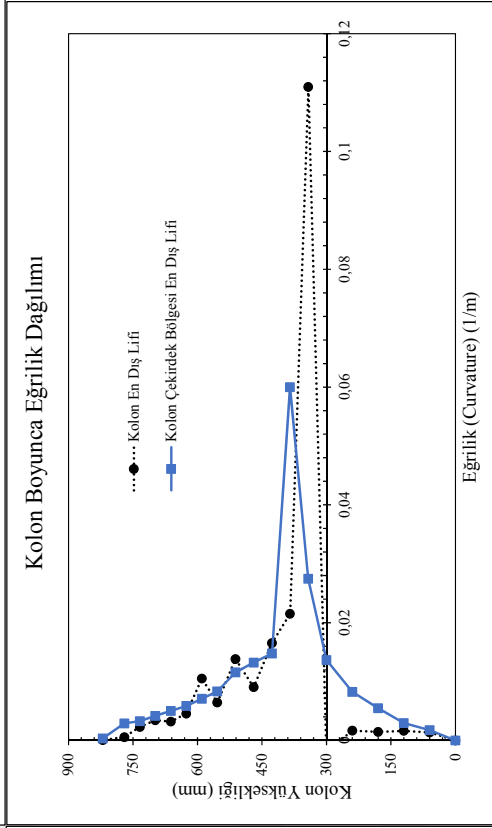
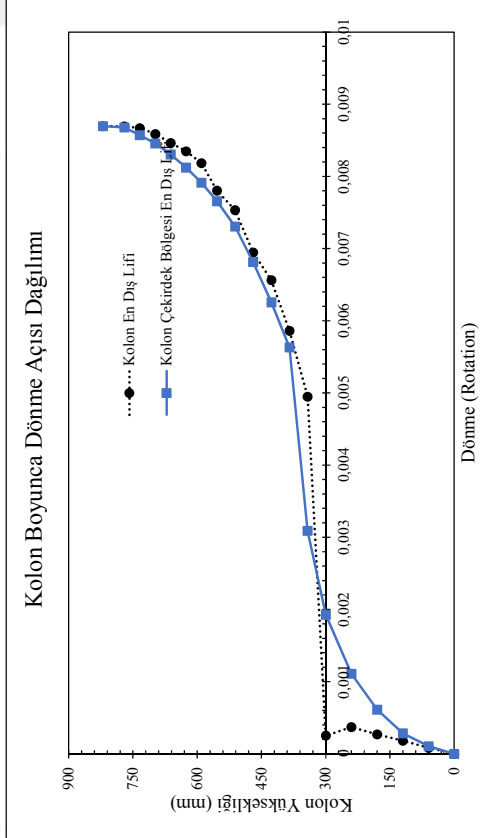
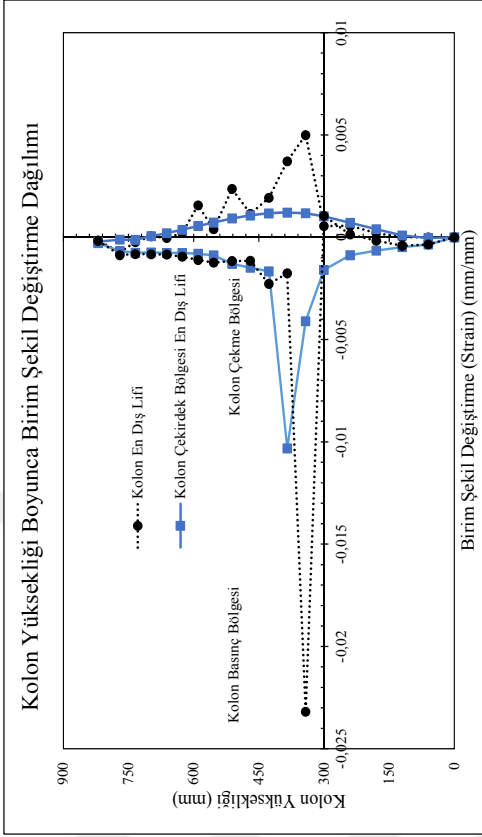
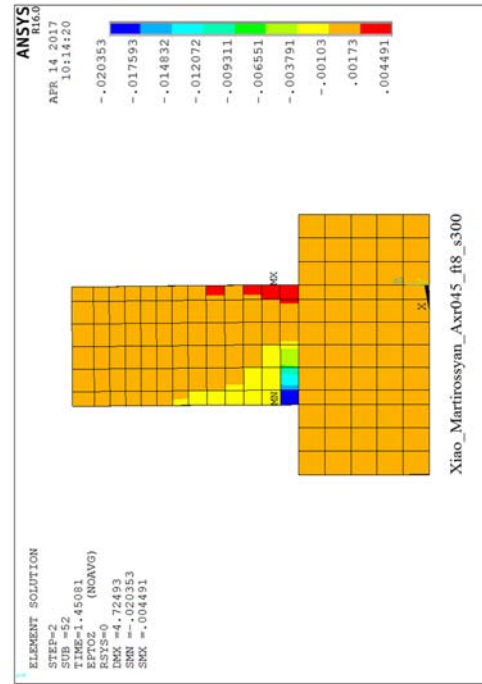


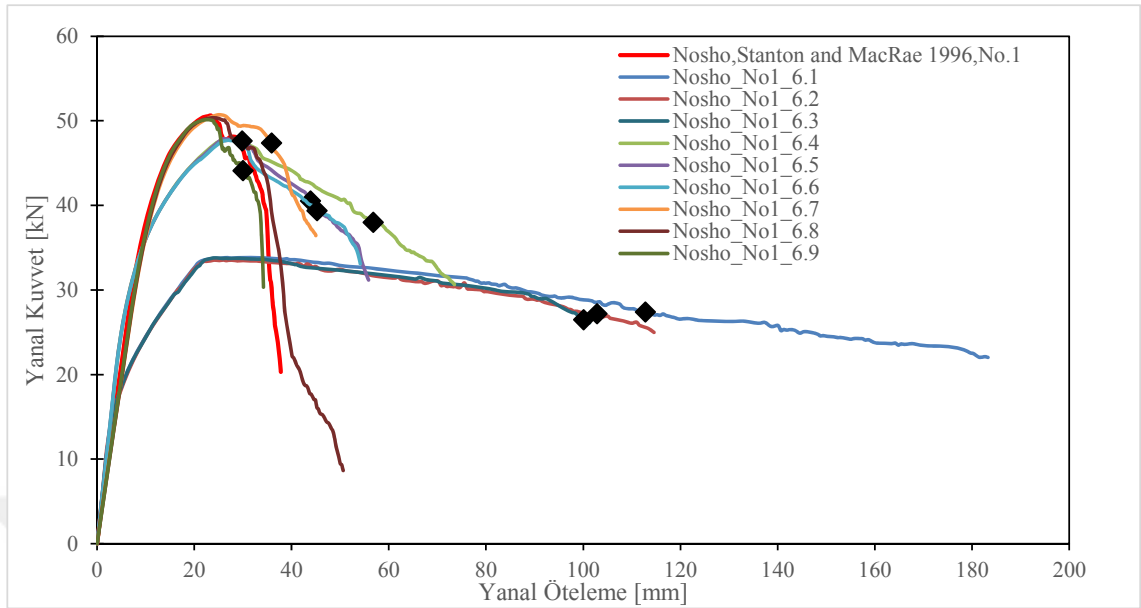




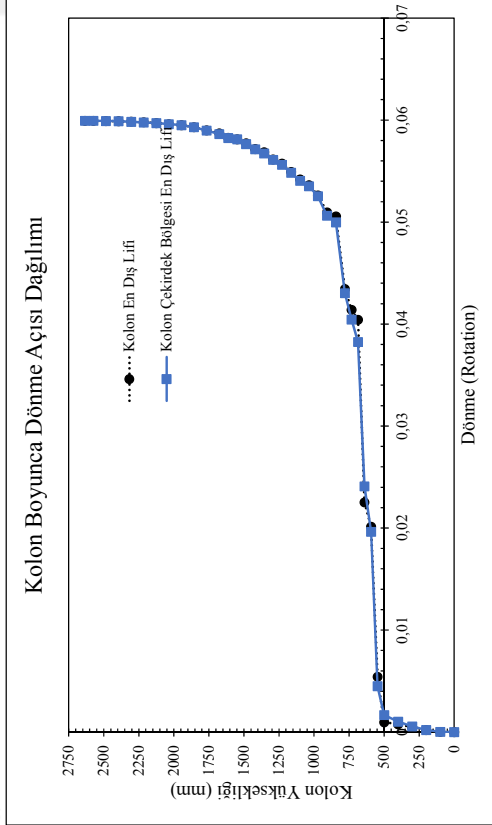
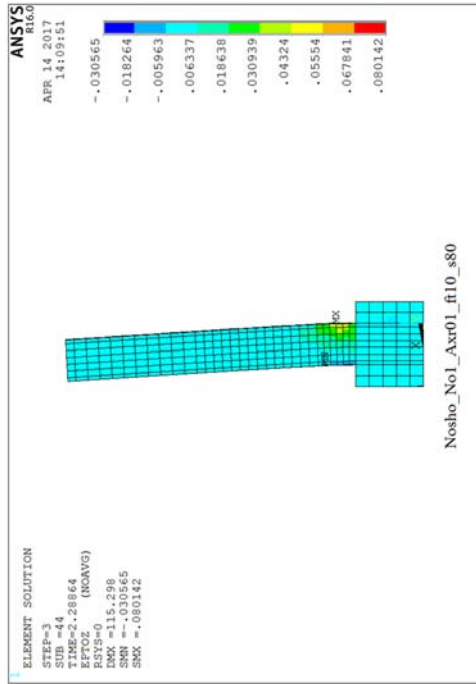
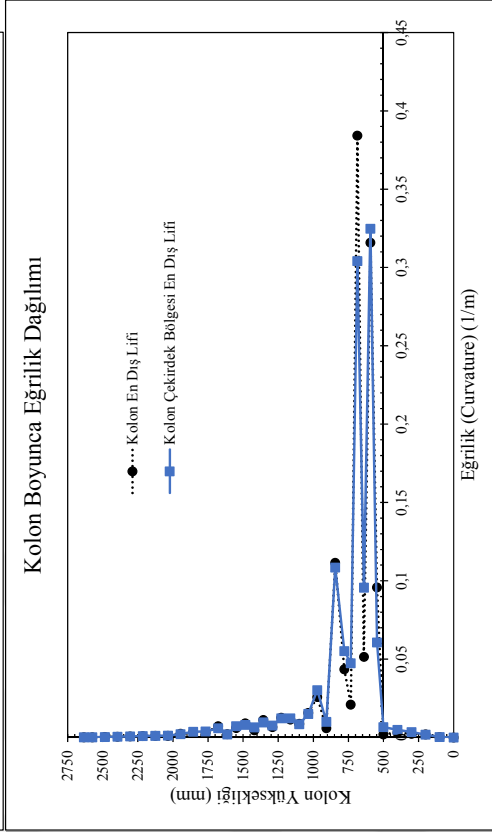
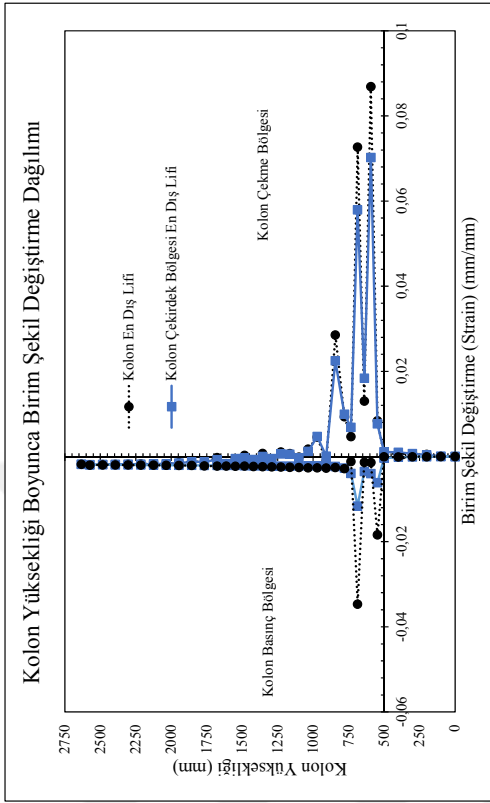


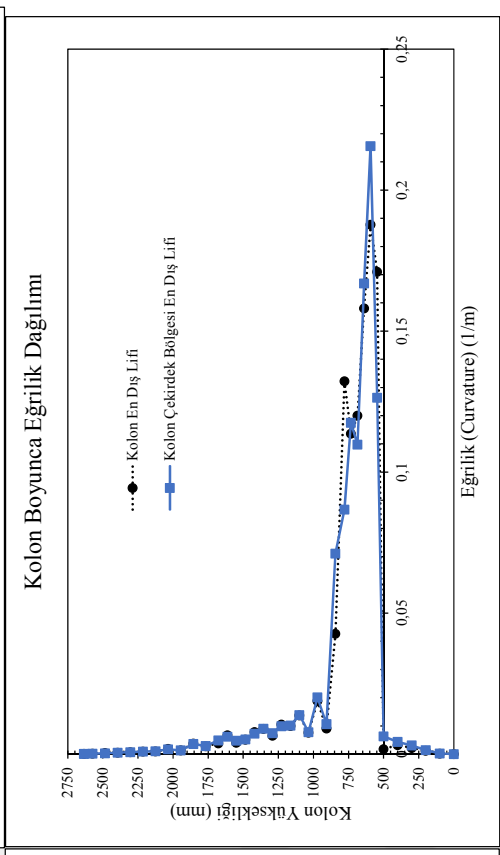
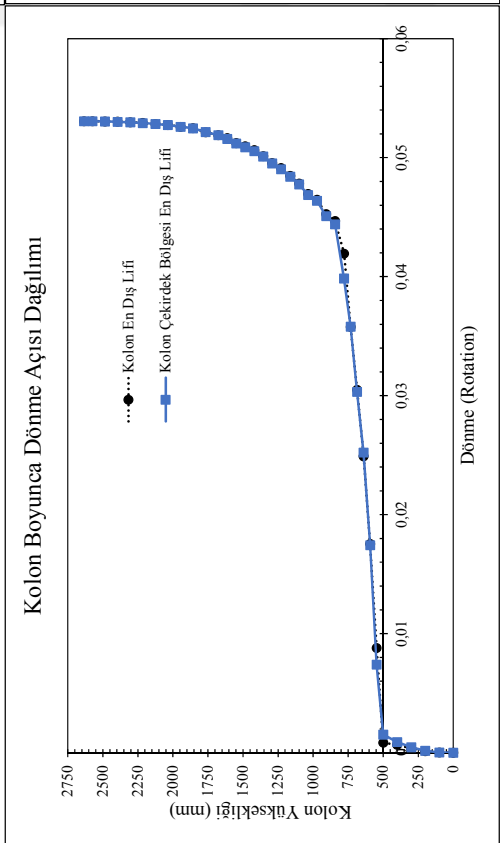
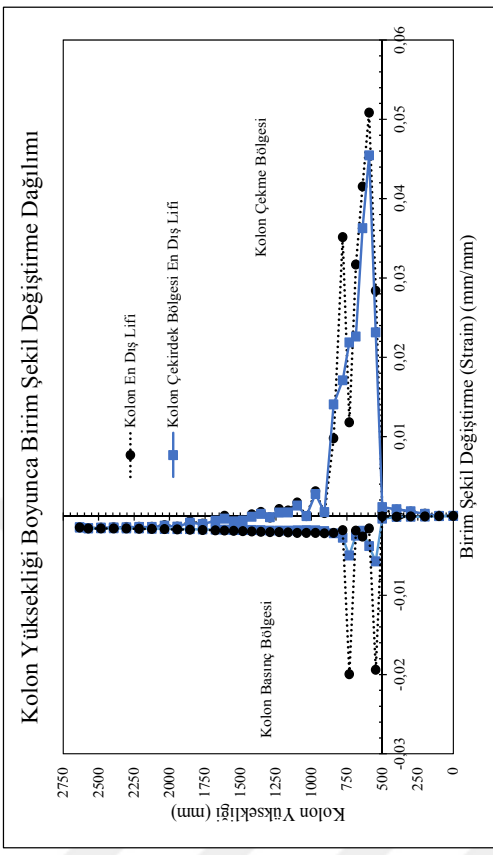
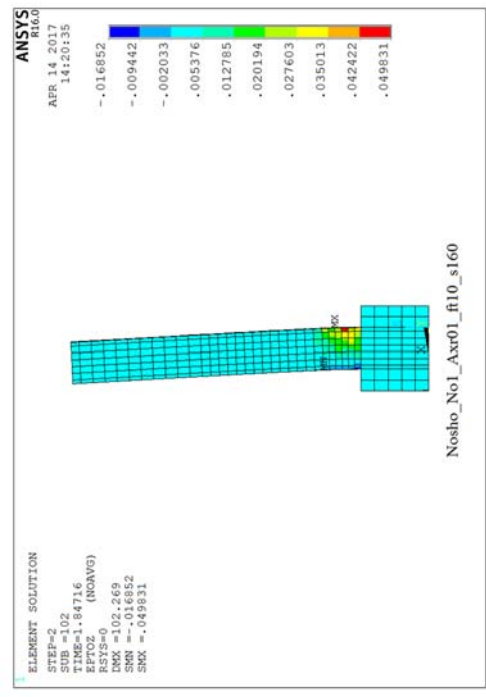


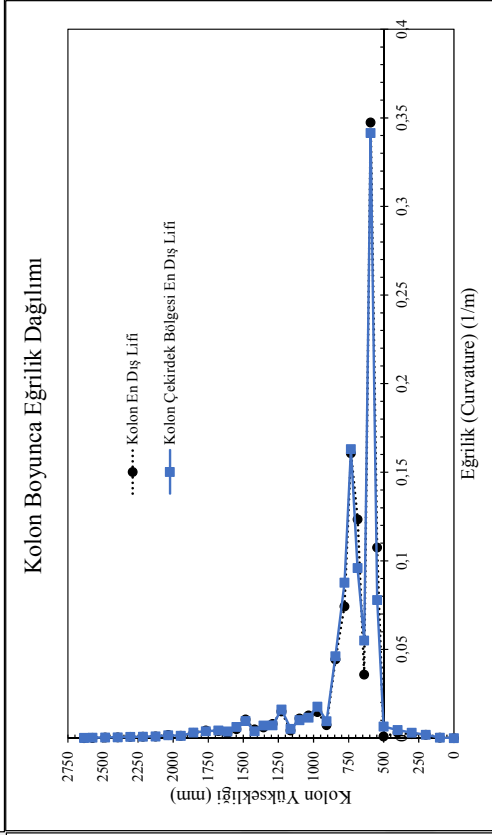
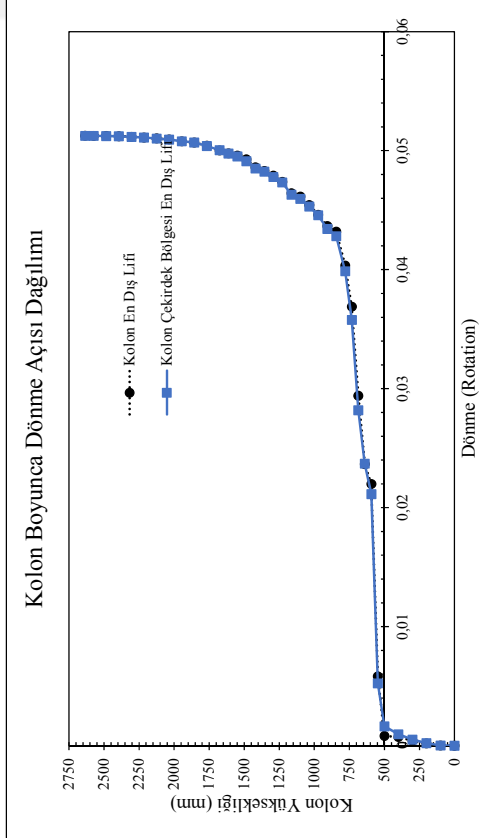
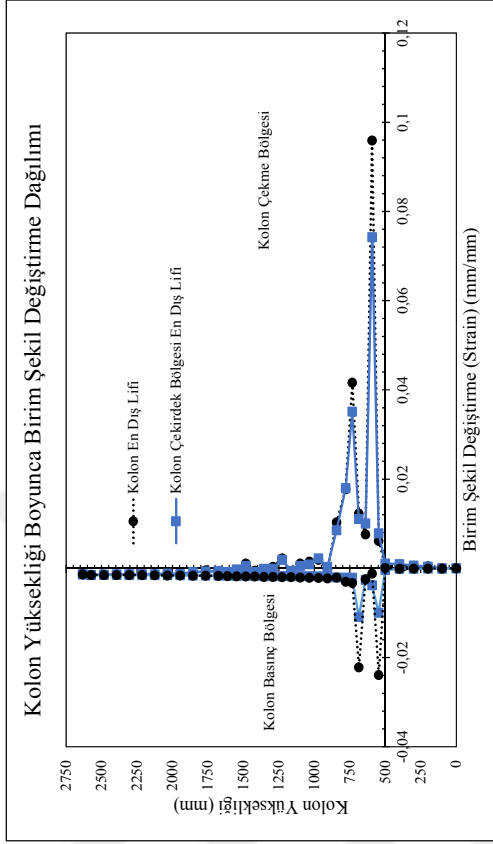
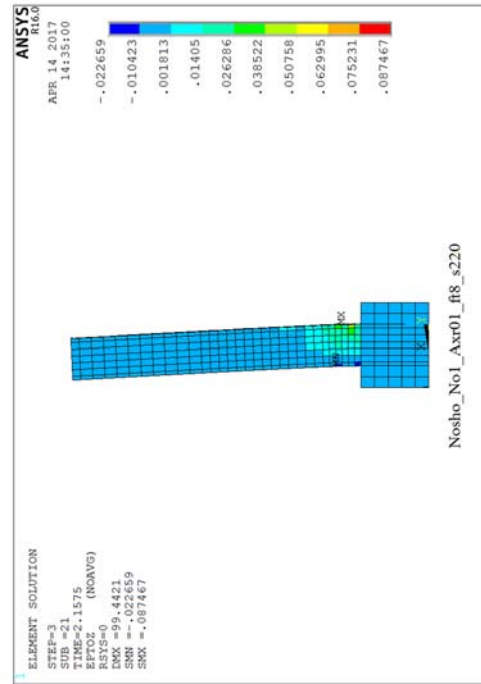


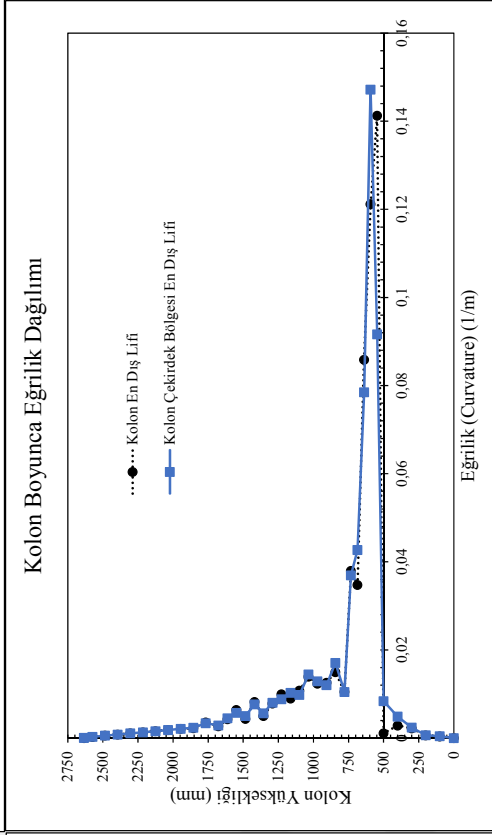
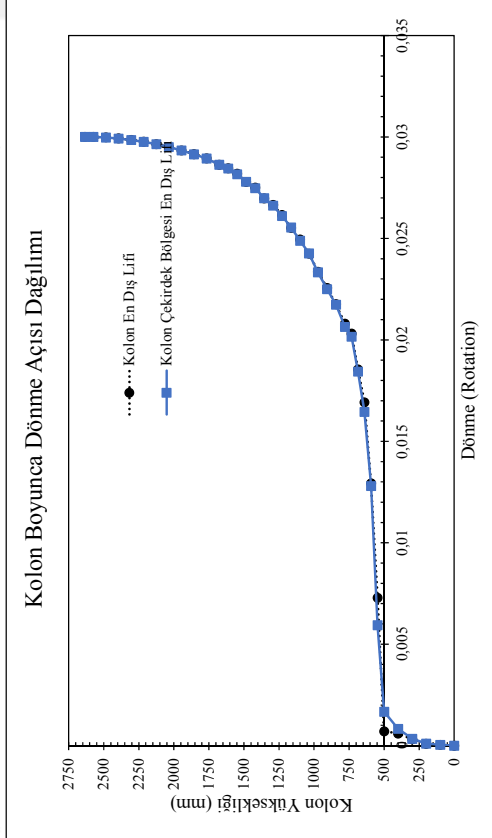
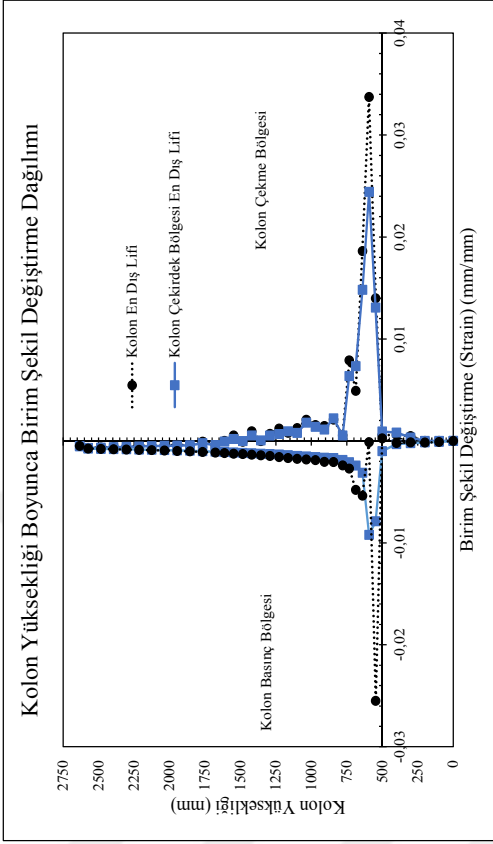
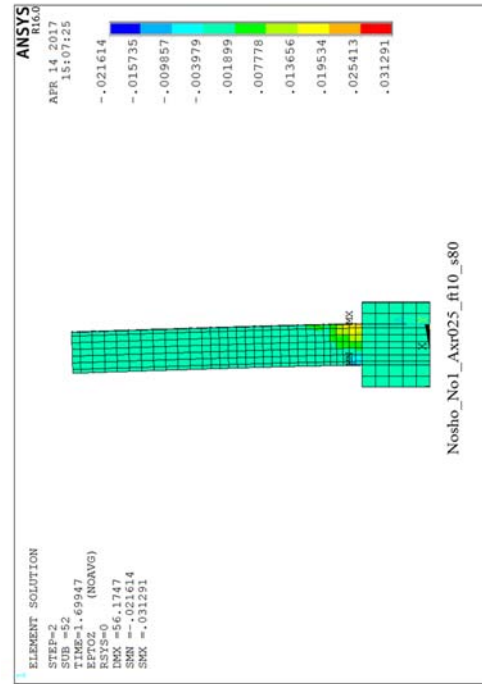


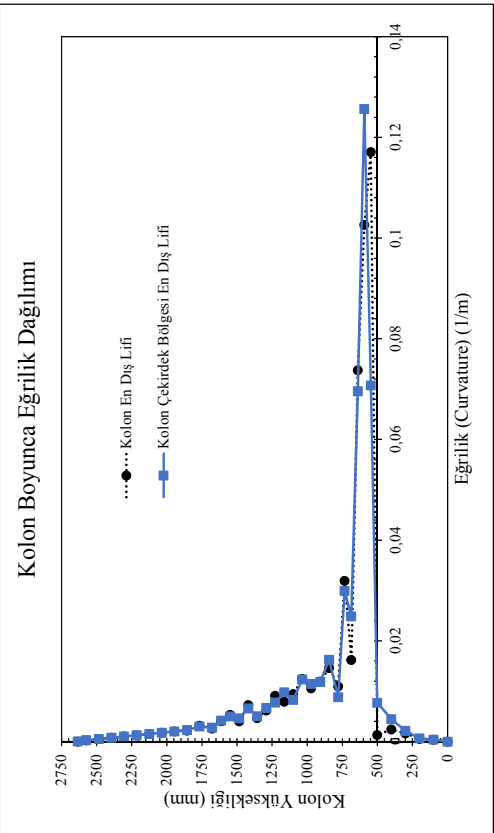
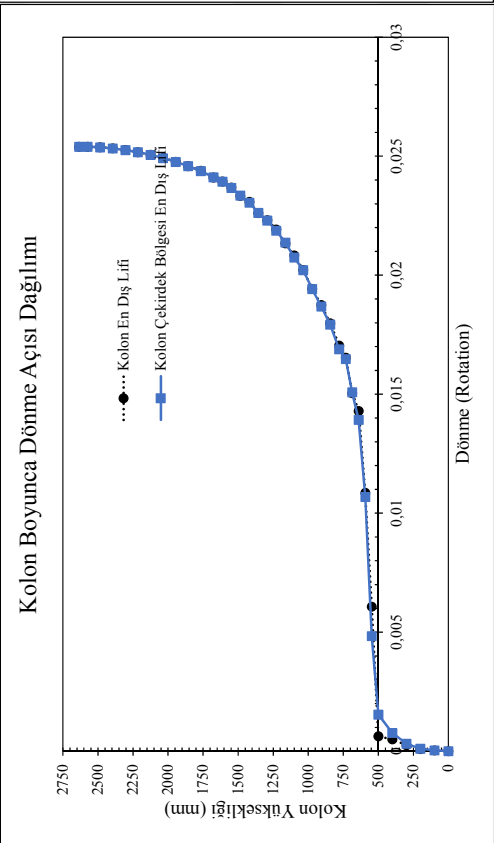
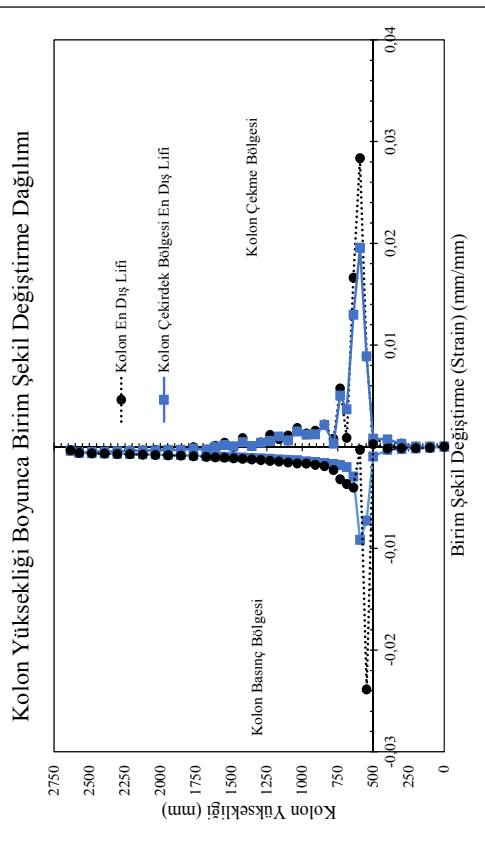
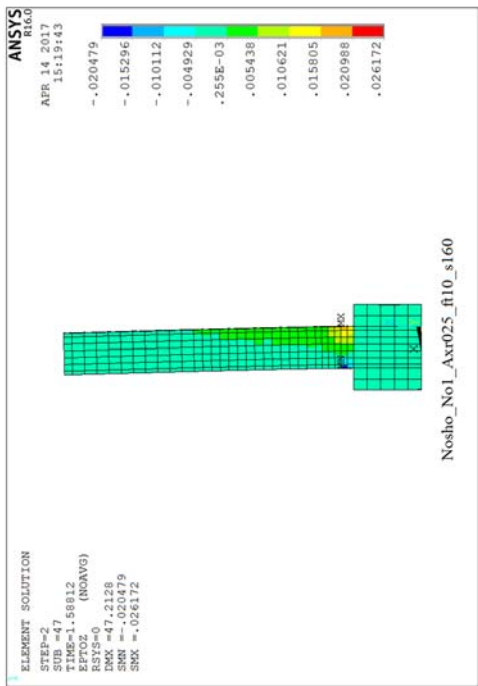
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Nosho et al. 1996. No. 1		279	279	2134	200	17.5	40.6	0.34	351	0.0101	0.0012
	6.1	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0085
	6.2	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0042
	6.3	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.10	351	0.0101	0.0019
	6.4	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0085
	6.5	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0042
	6.6	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.25	351	0.0101	0.0019
	6.7	279	279	2134	80	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0085
	6.8	279	279	2134	160	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0042
6.9	279	279	2134	220	25.4	40.6	0.45	351	0.0101	0.0019	



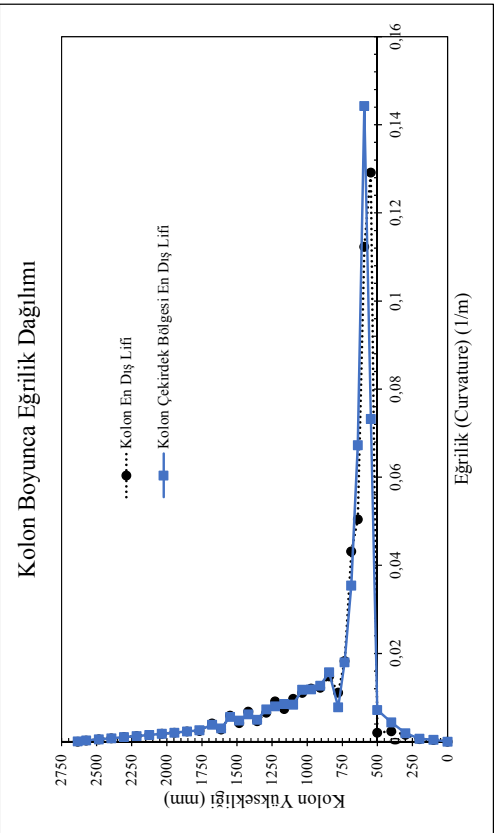
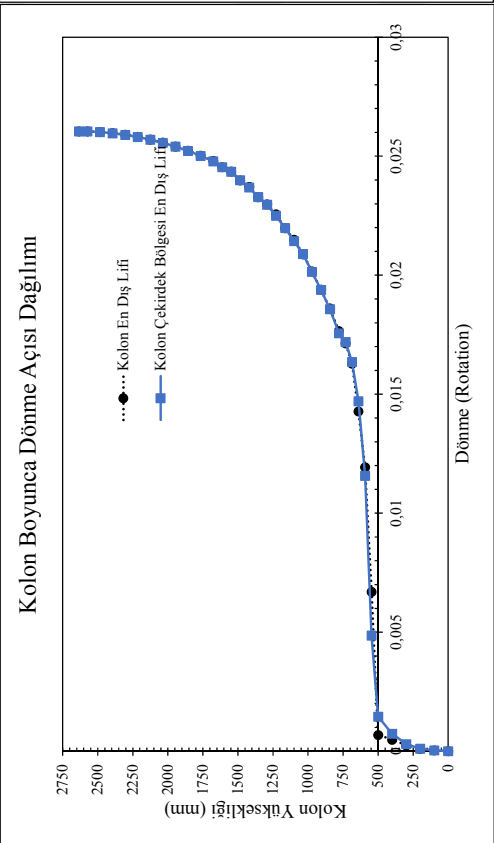
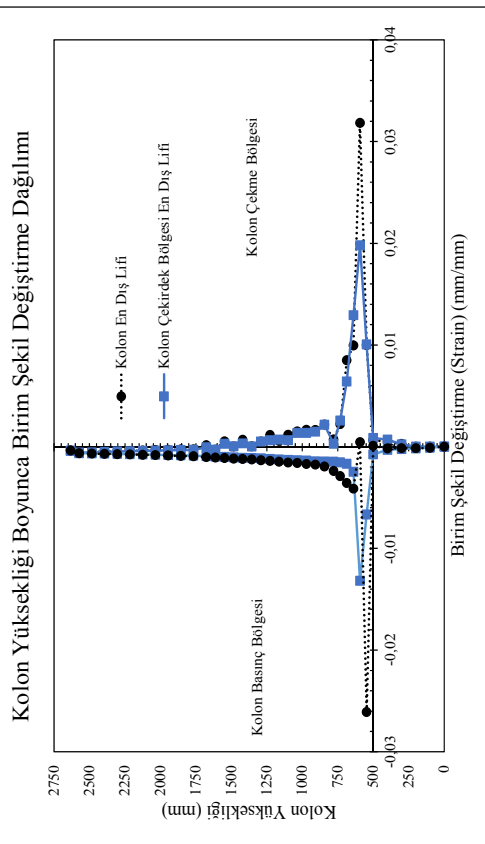
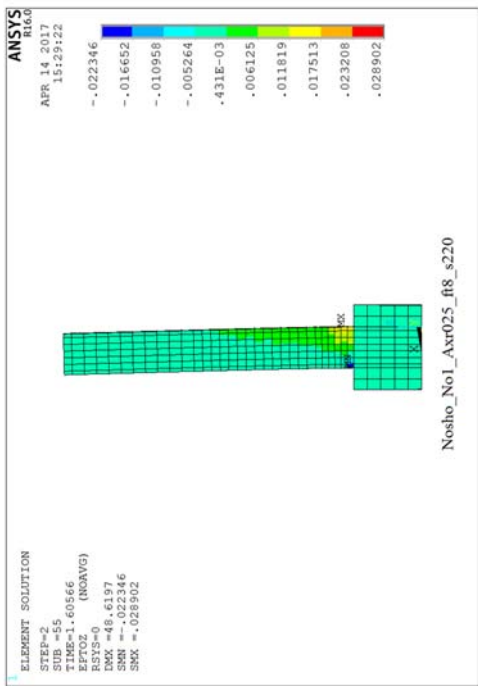


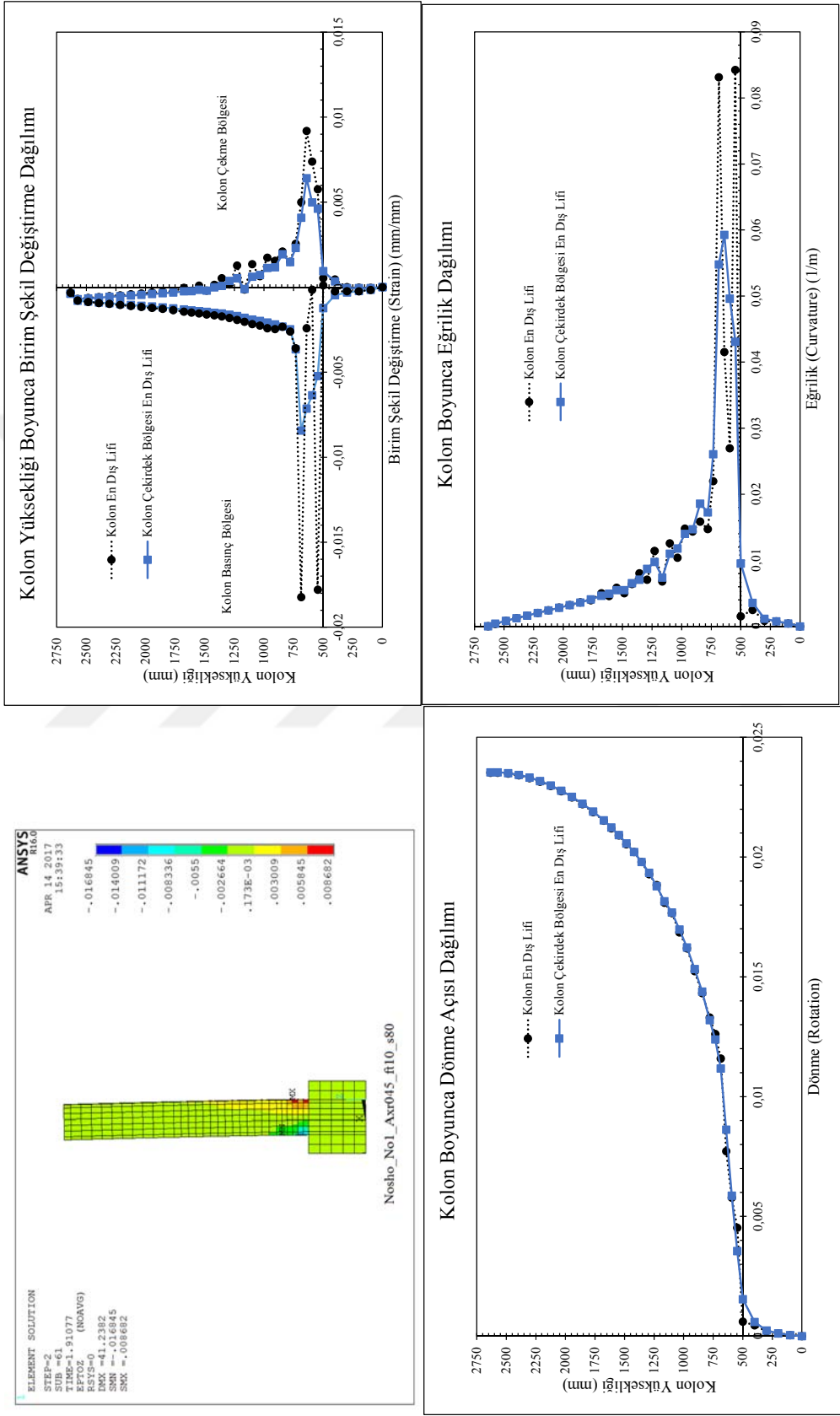


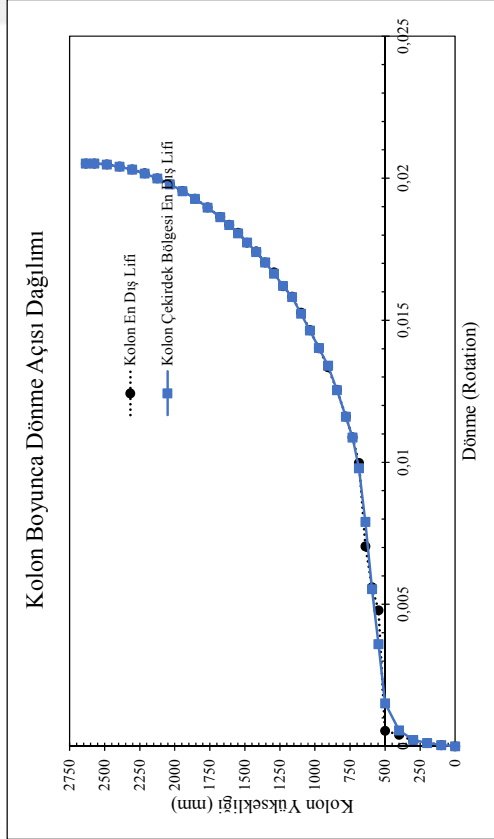
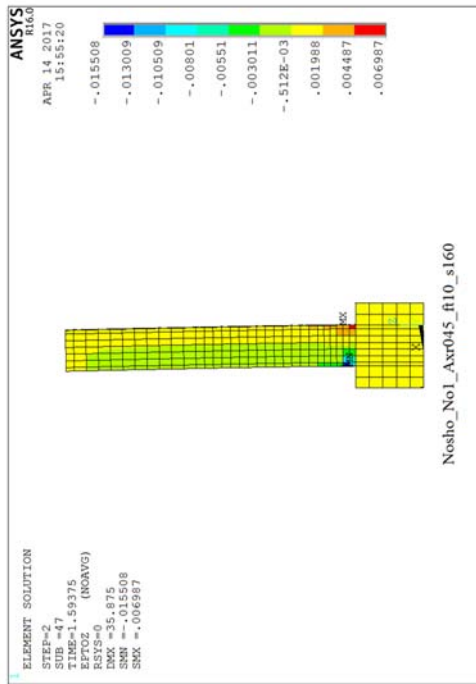
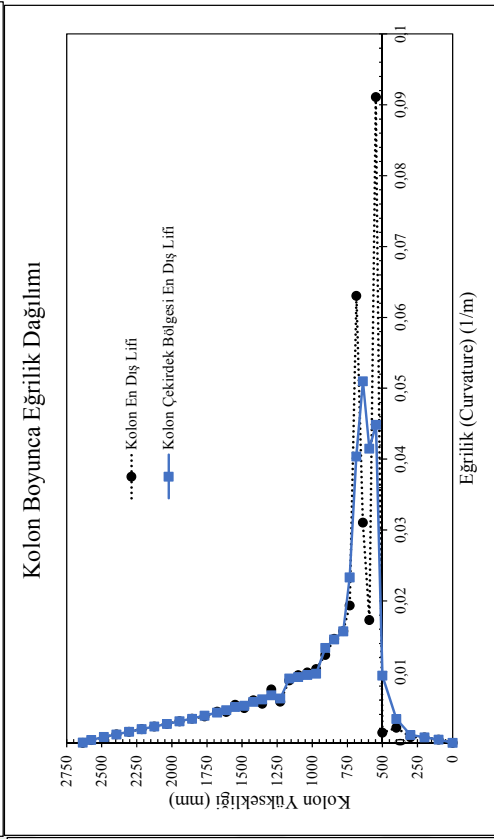
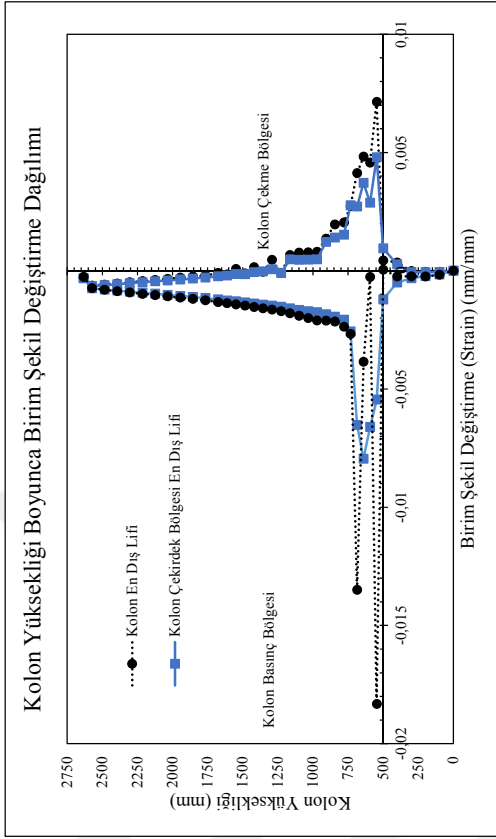


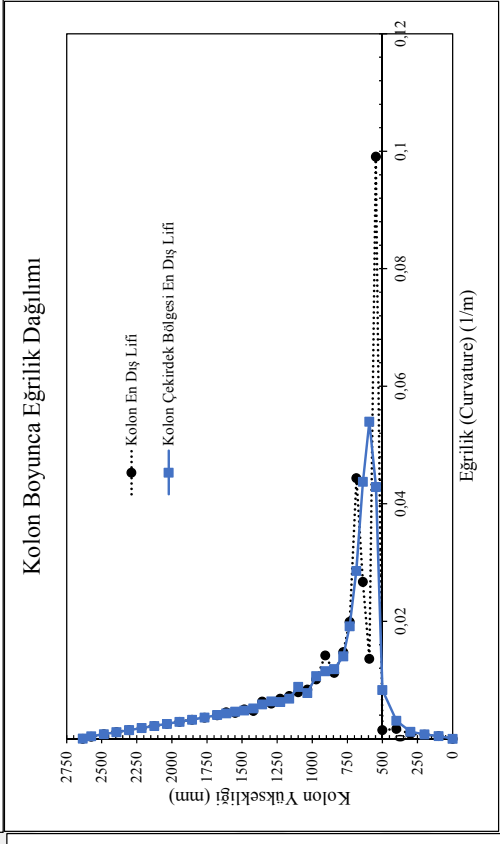
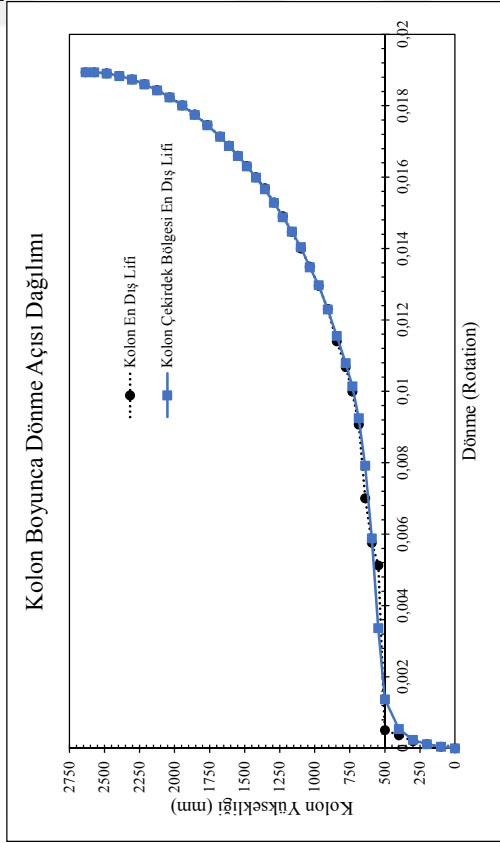
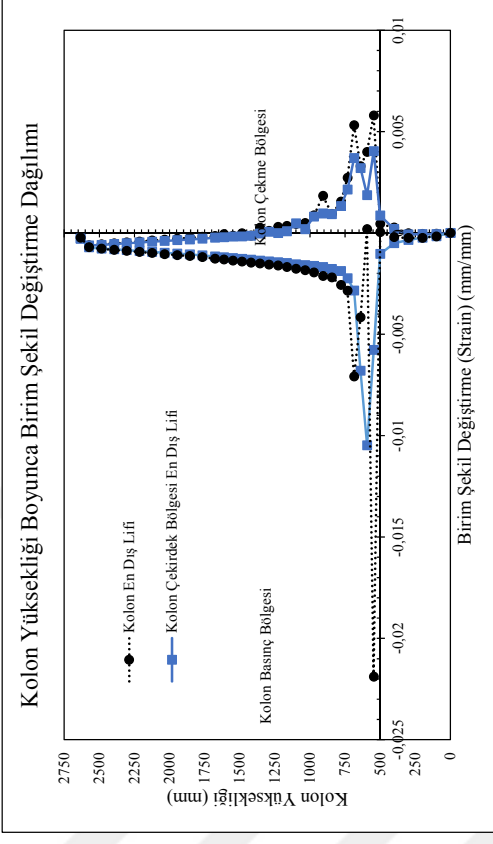
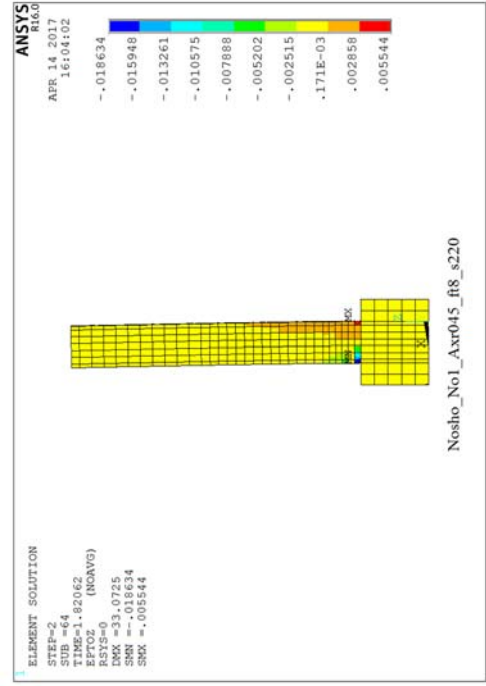


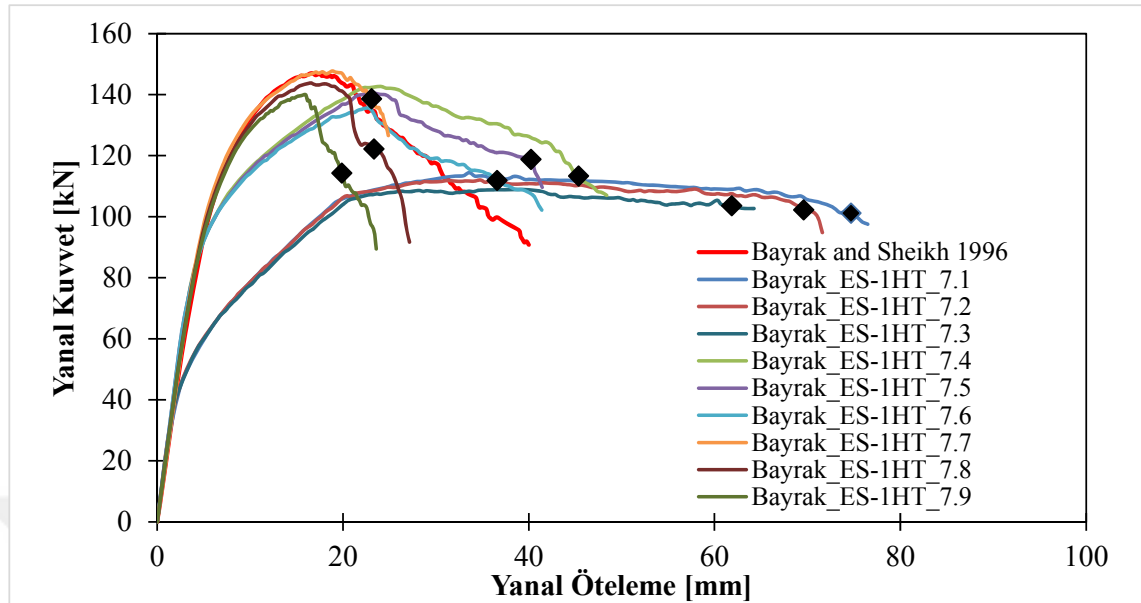




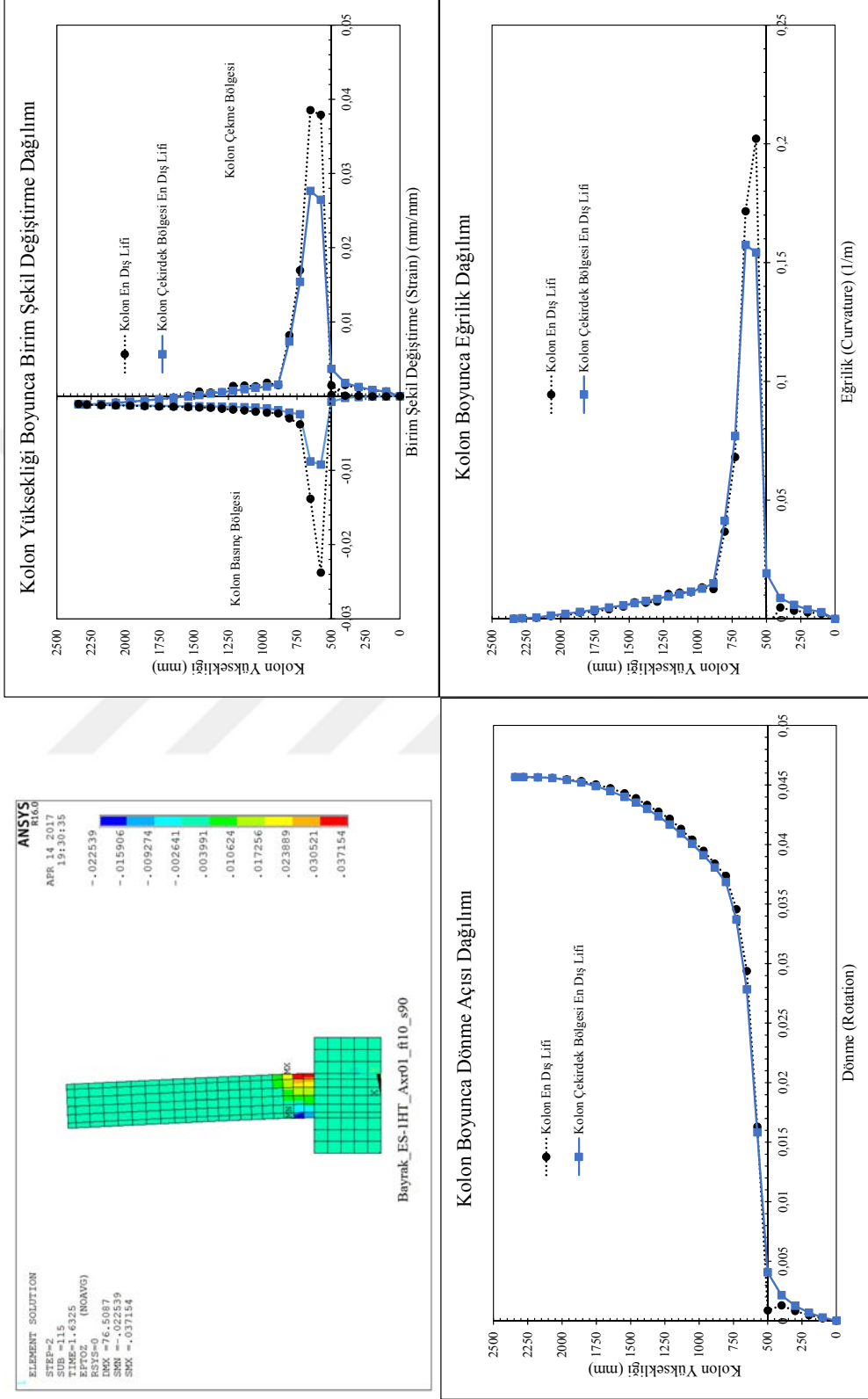


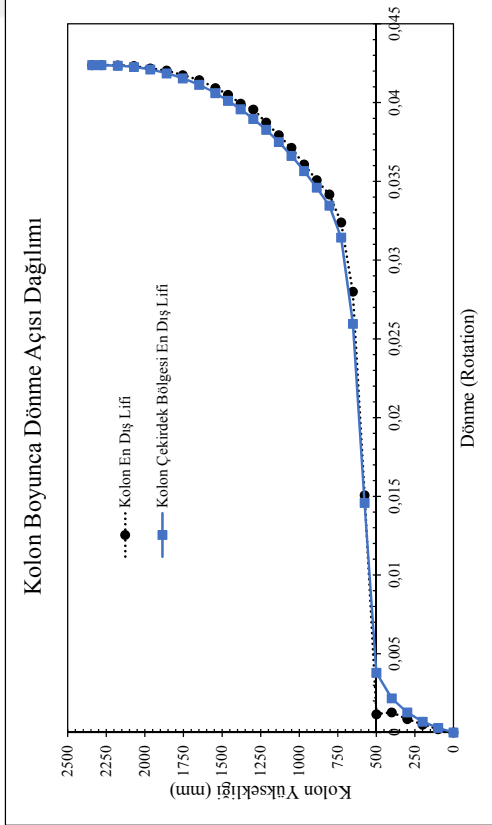
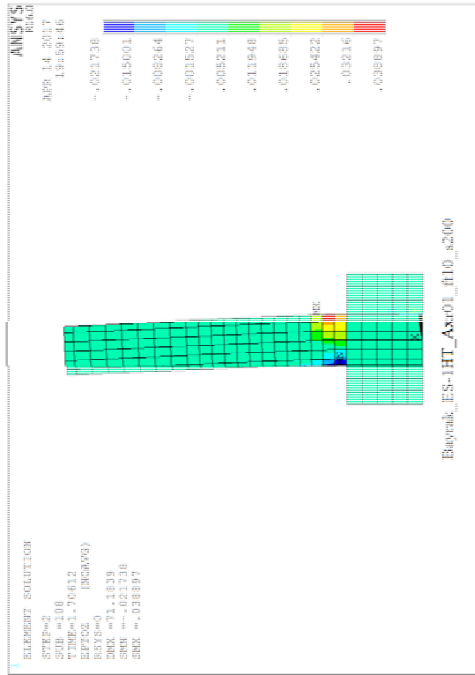
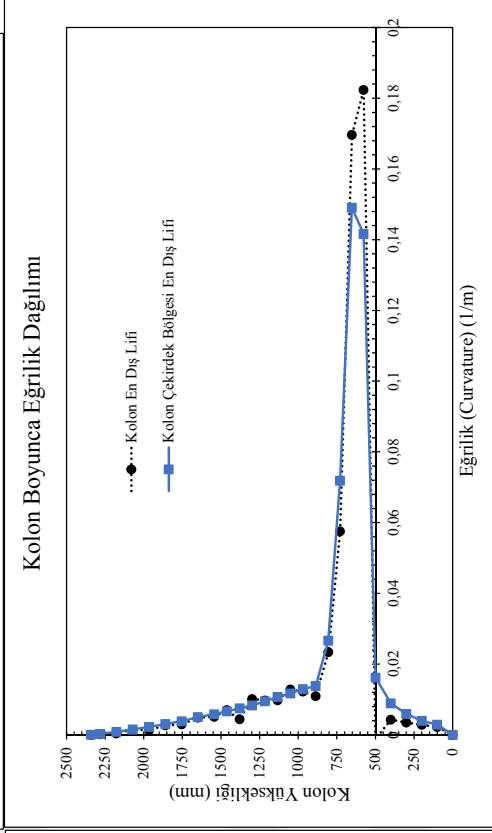
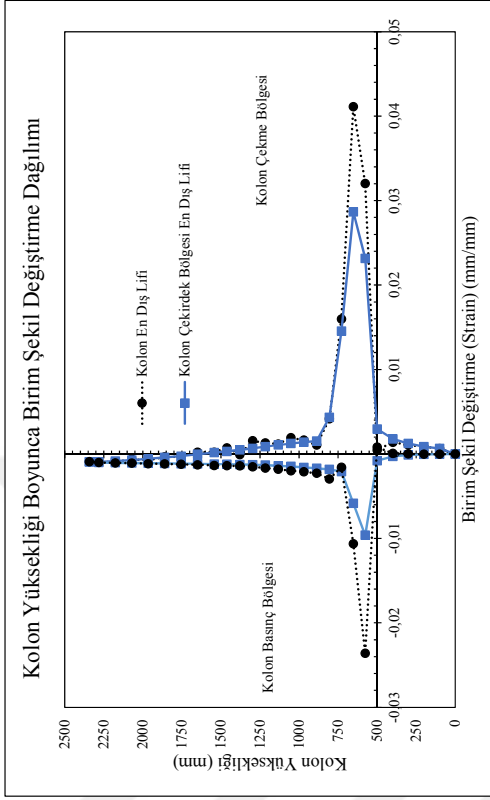


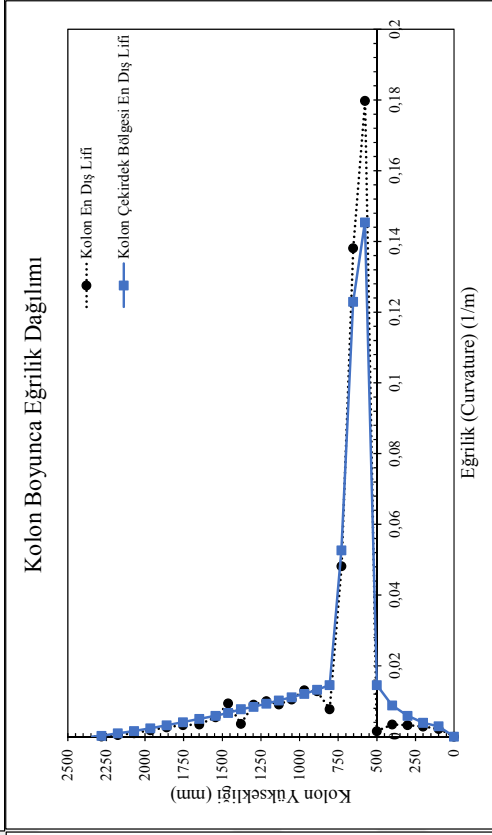
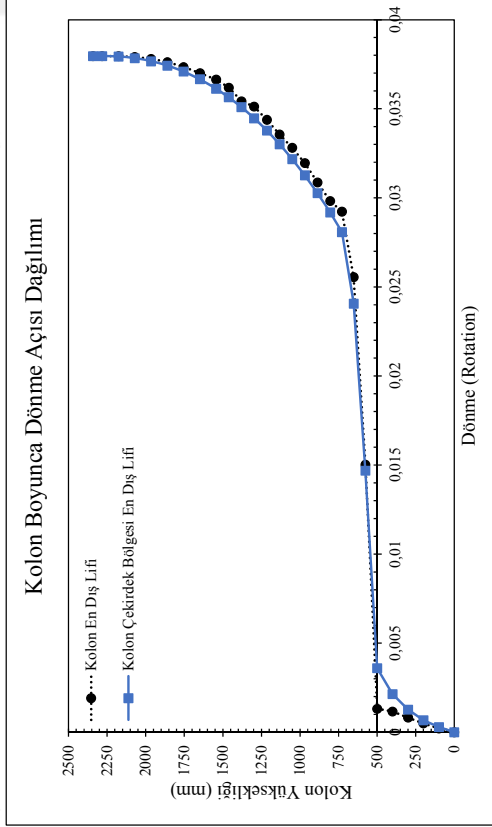
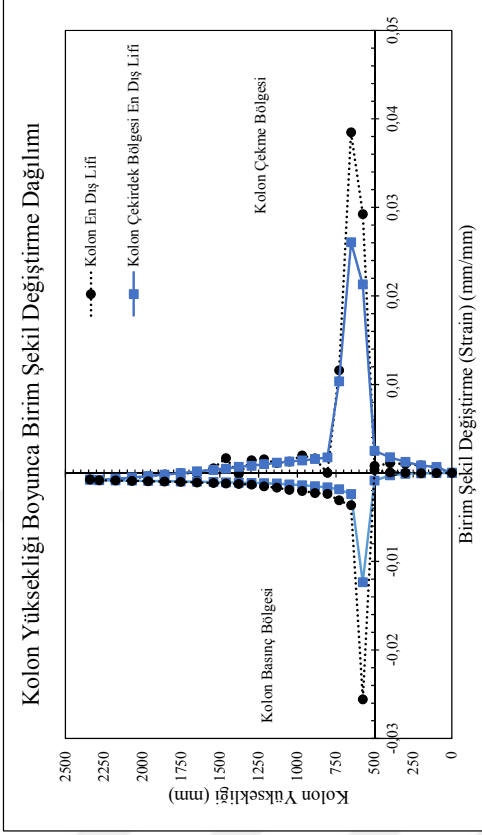
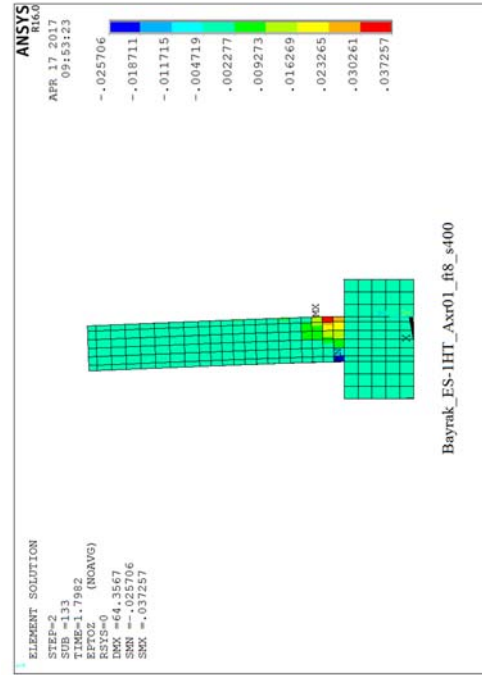




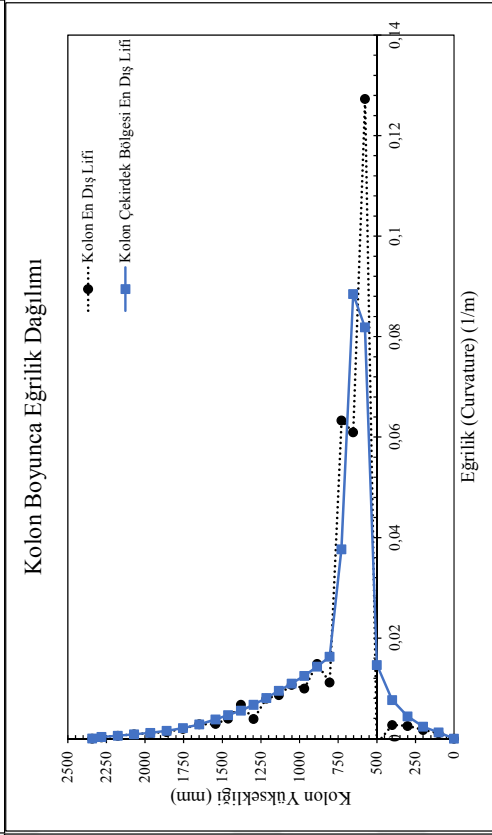
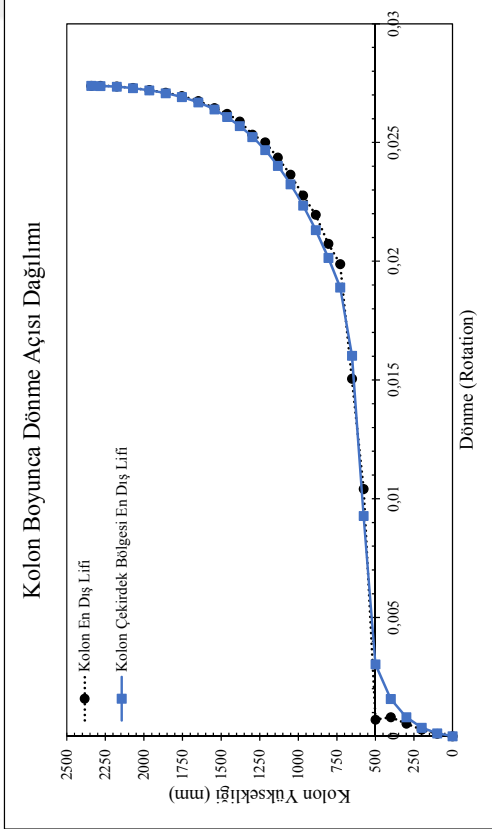
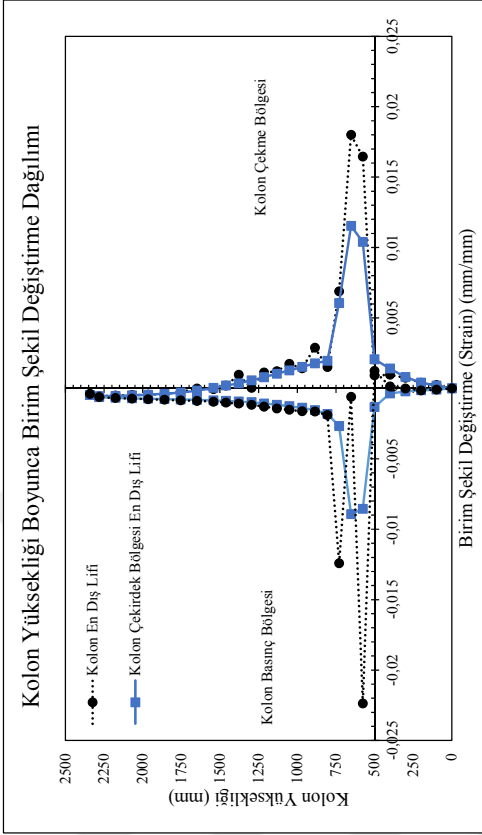
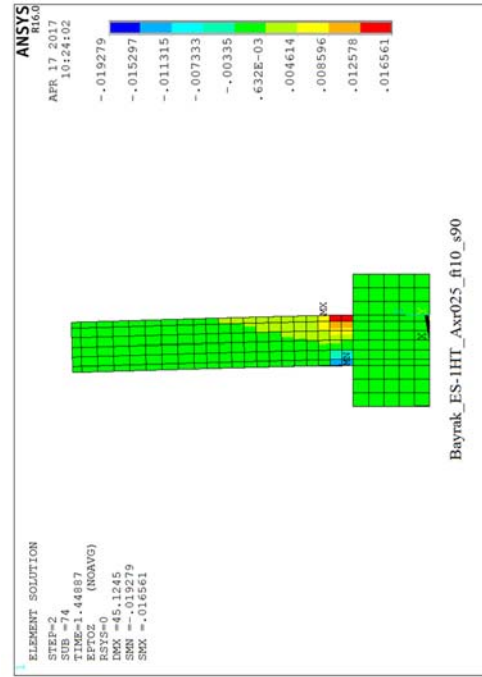
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	f <sub>ys</sub> (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Bayrak and Sheikh 1996. ES-1HT		305	305	1842	95	27	72.1	0.50	463	0.0258	0.0168
	7.1	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0075
	7.2	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0033
	7.3	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.10	463	0.0258	0.0010
	7.4	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0075
	7.5	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0033
	7.6	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.25	463	0.0258	0.0010
	7.7	305	305	1842	90	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0075
	7.8	305	305	1842	200	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0033
	7.9	305	305	1842	400	36.8	72.1	0.45	463	0.0258	0.0010

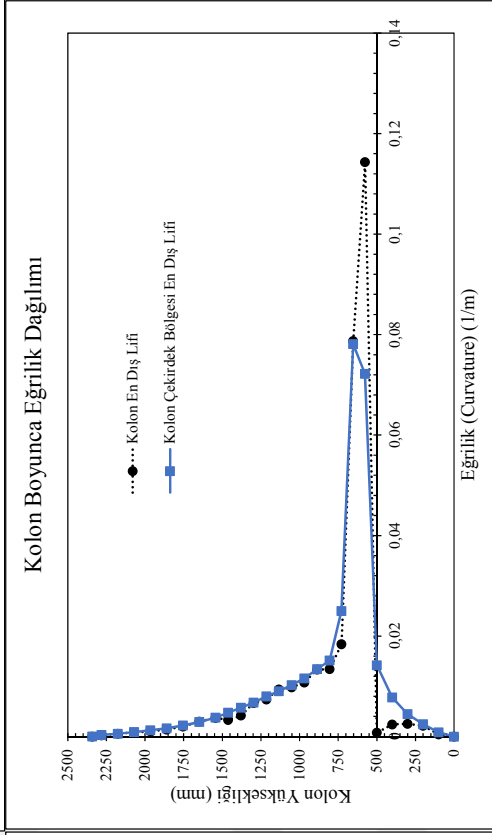
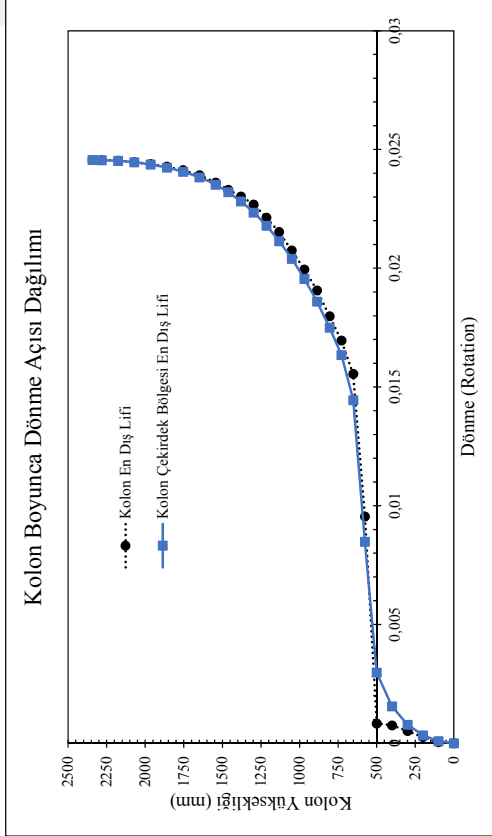
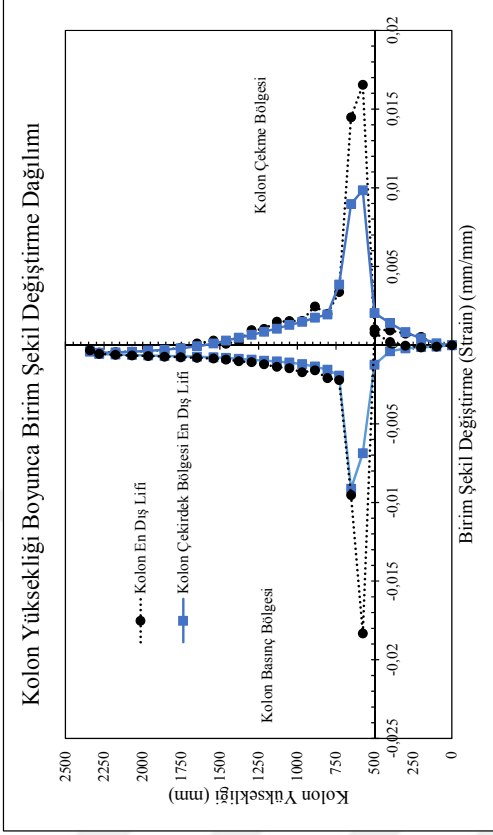
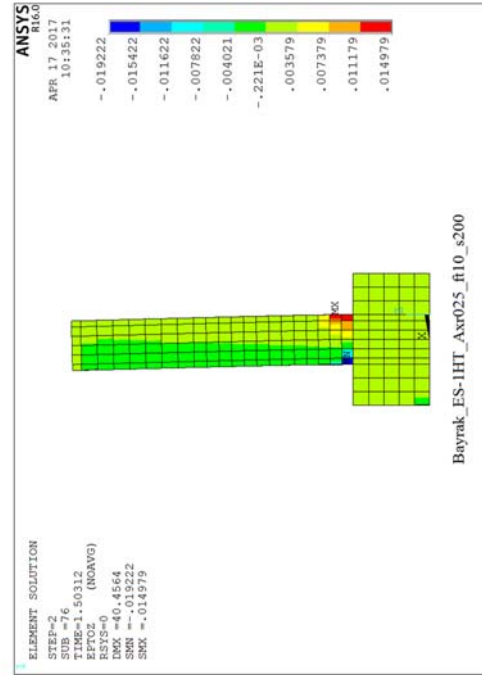


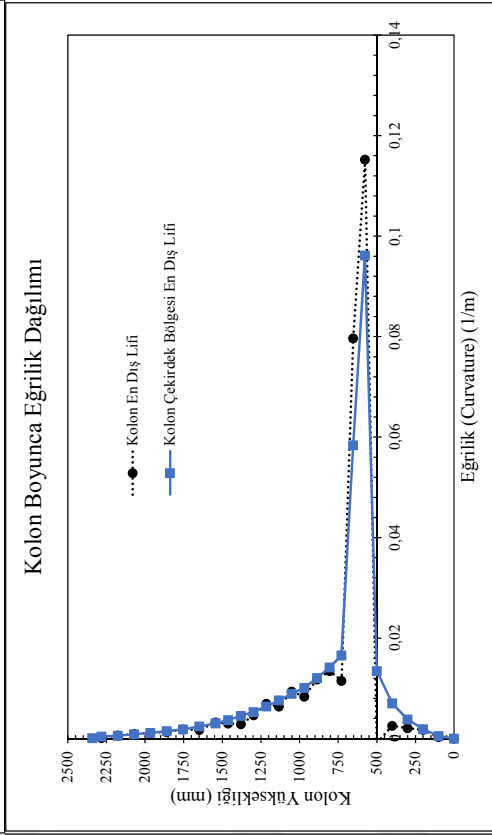
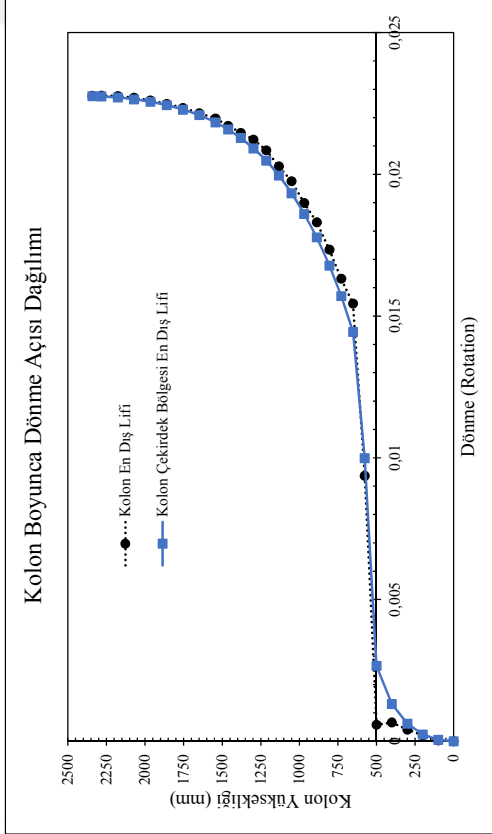
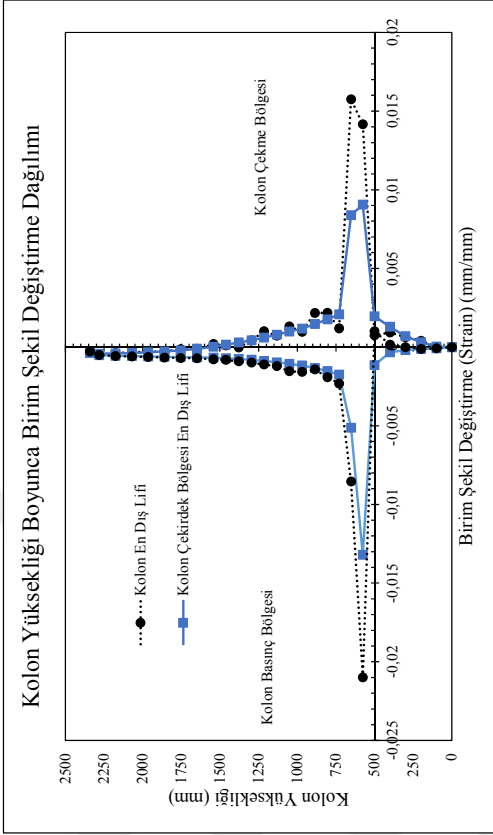
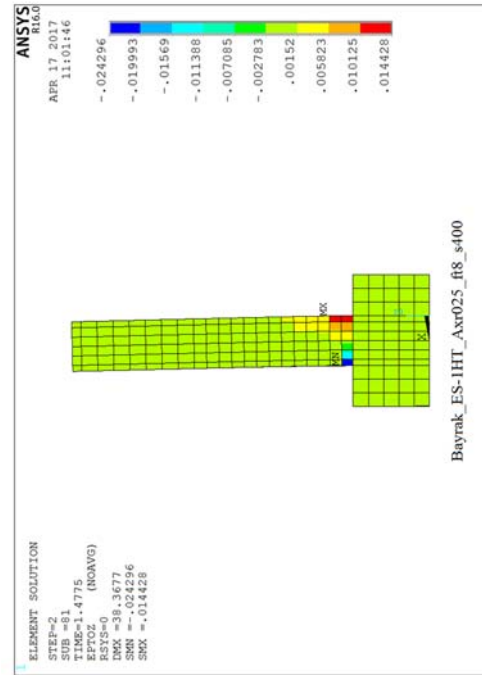


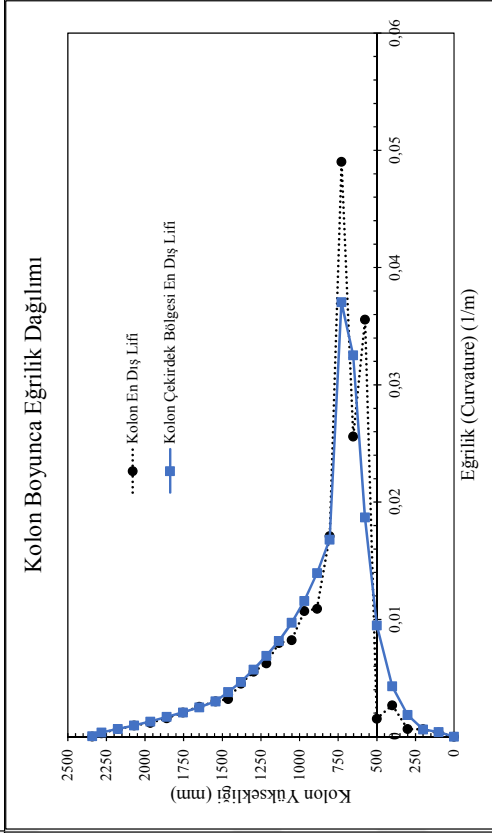
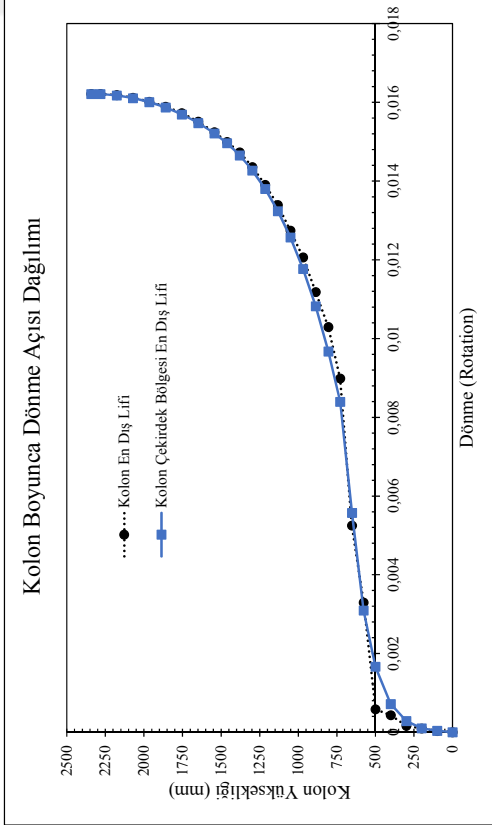
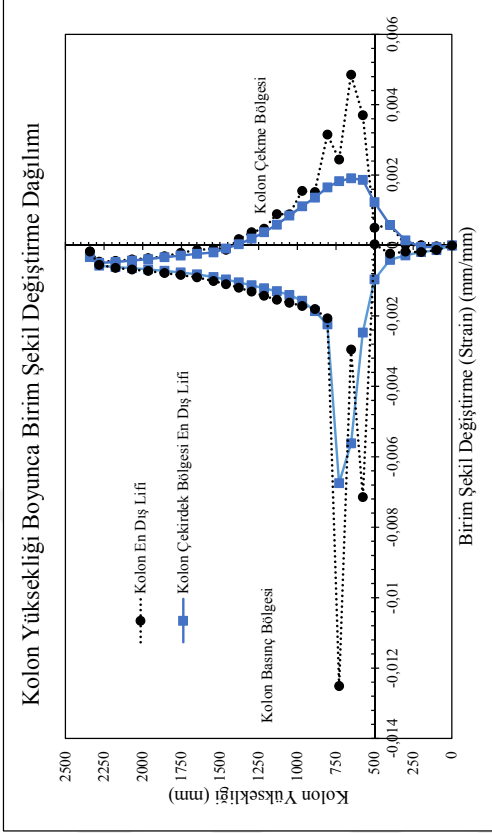
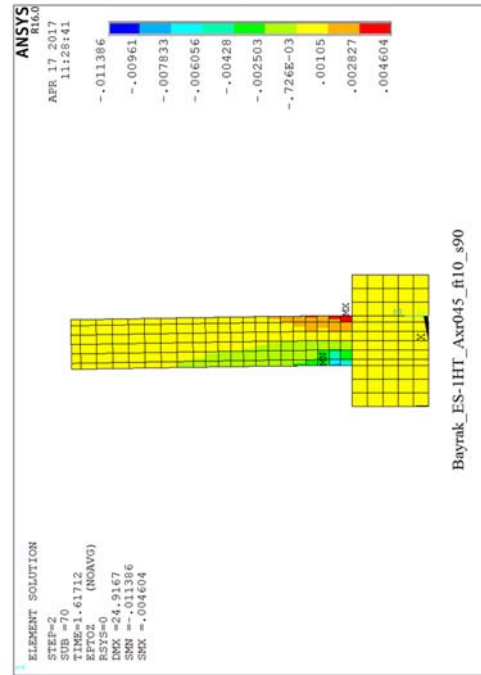


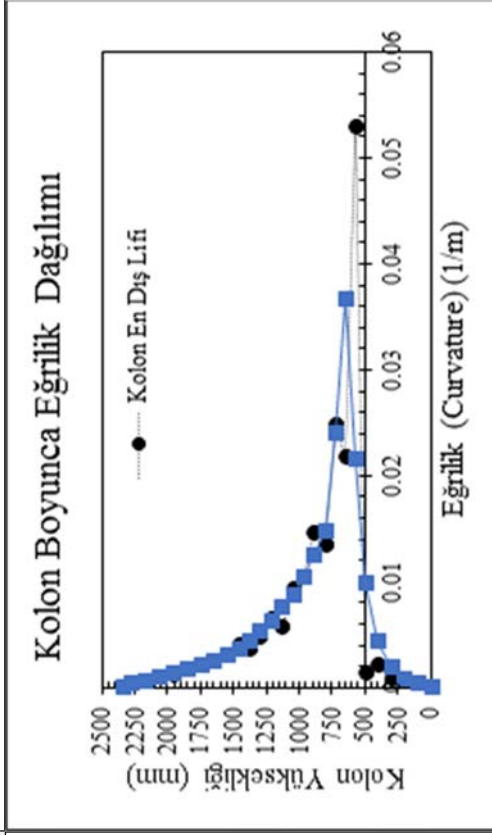
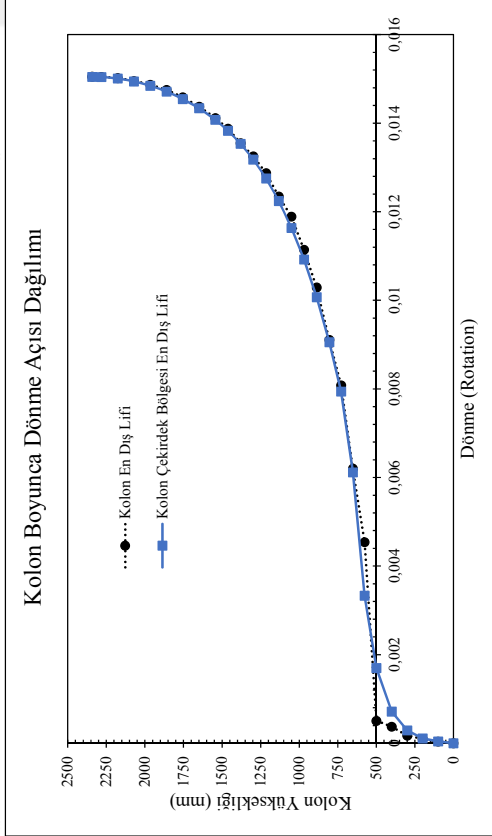
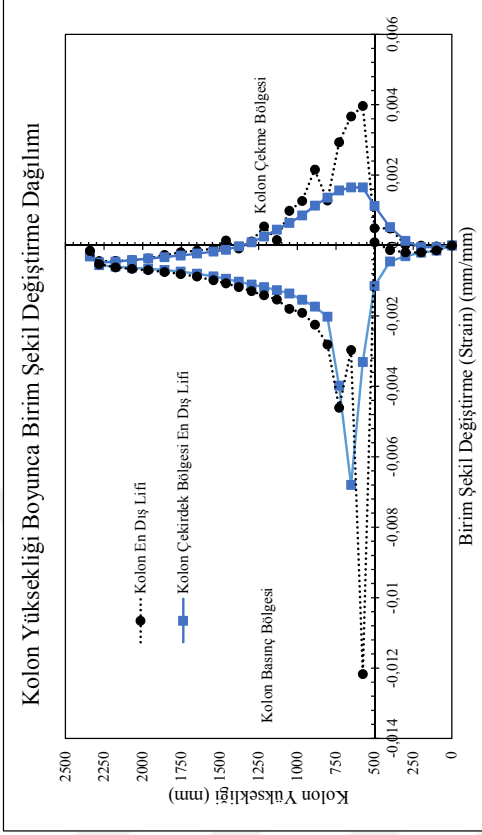
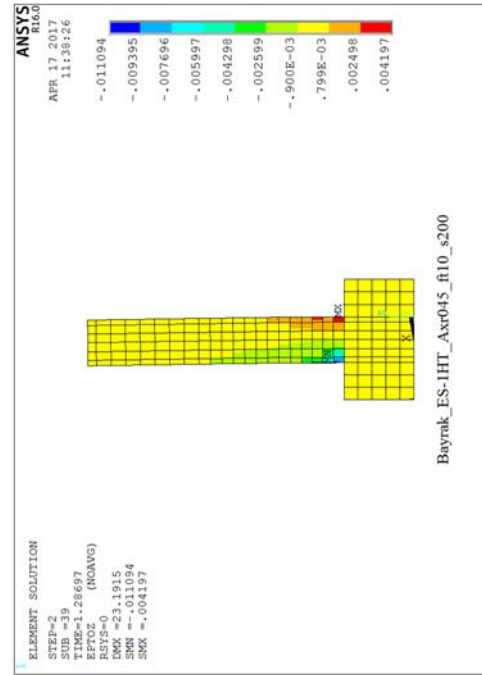


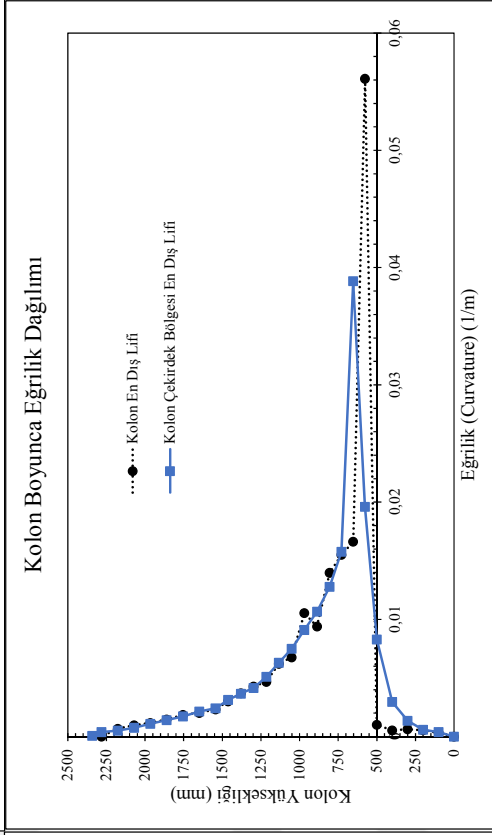
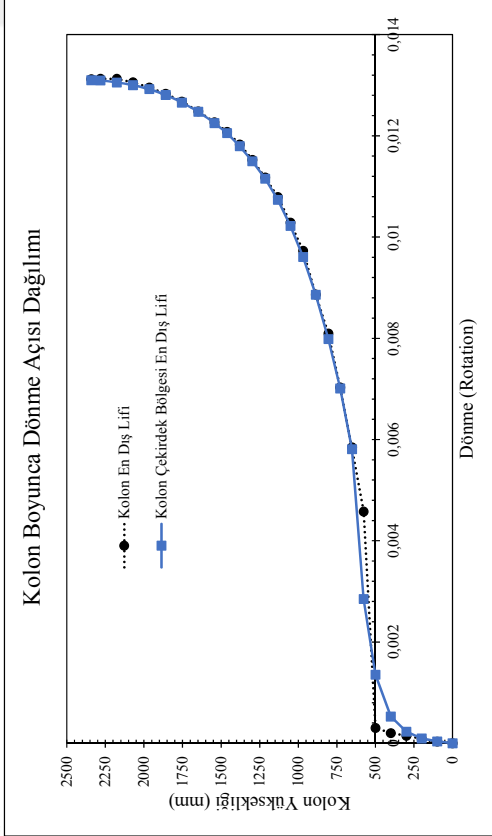
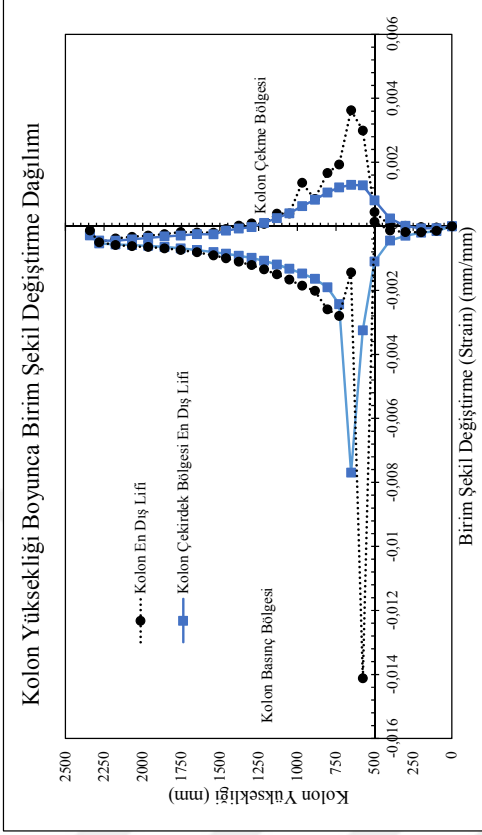
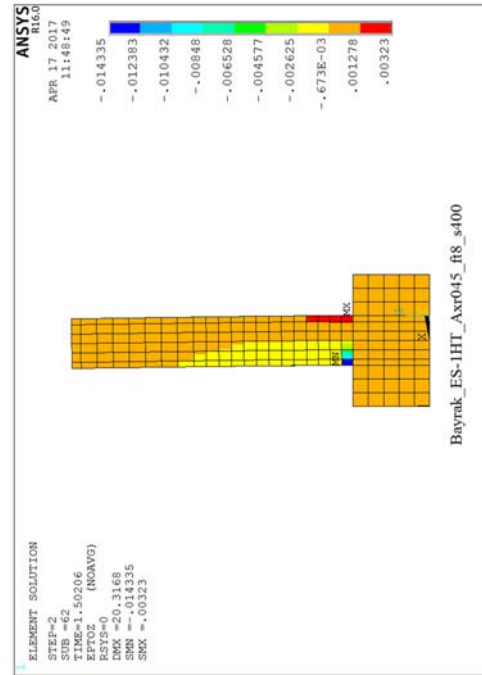




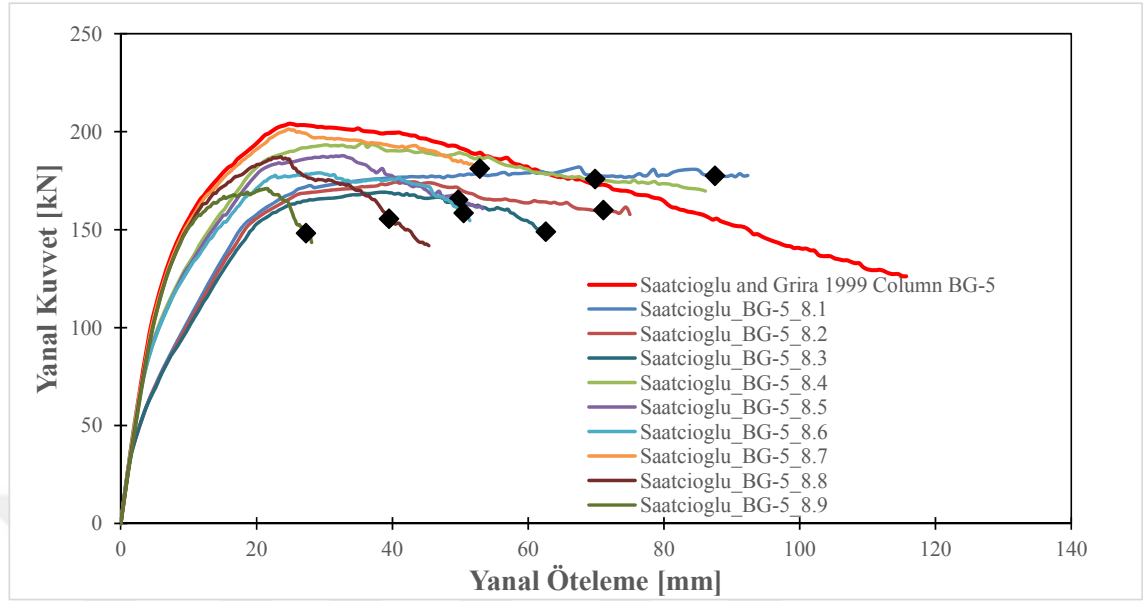




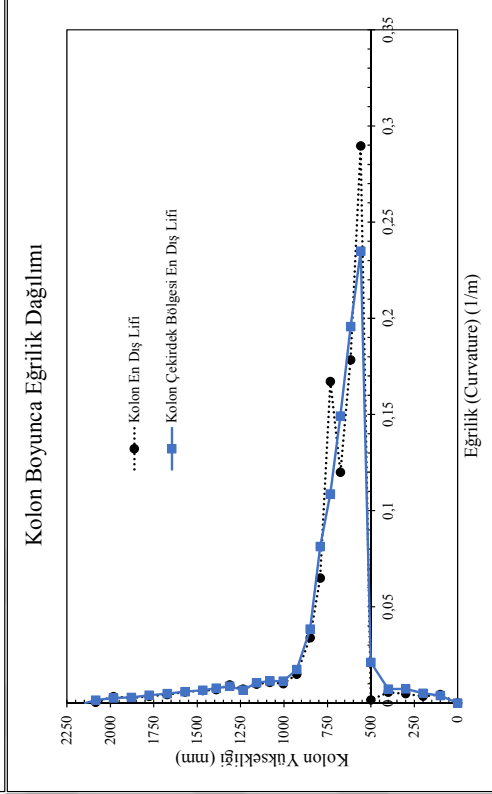
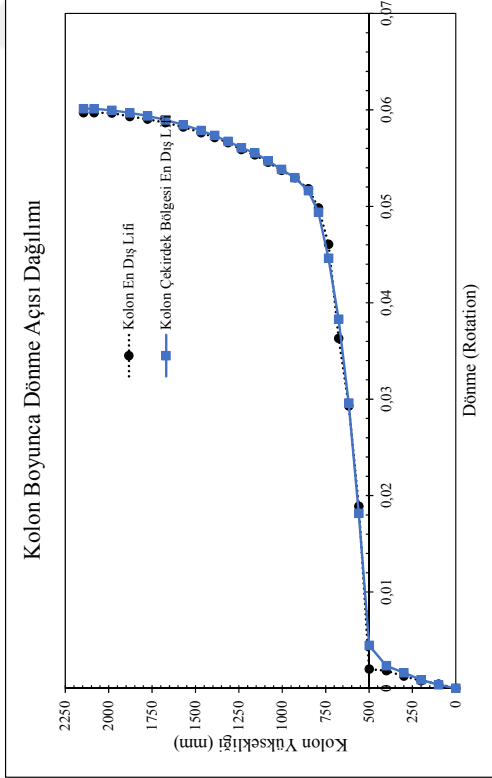
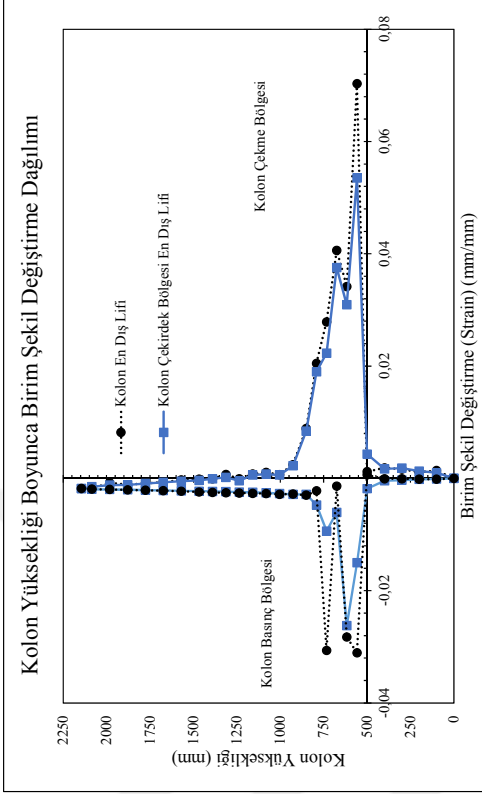
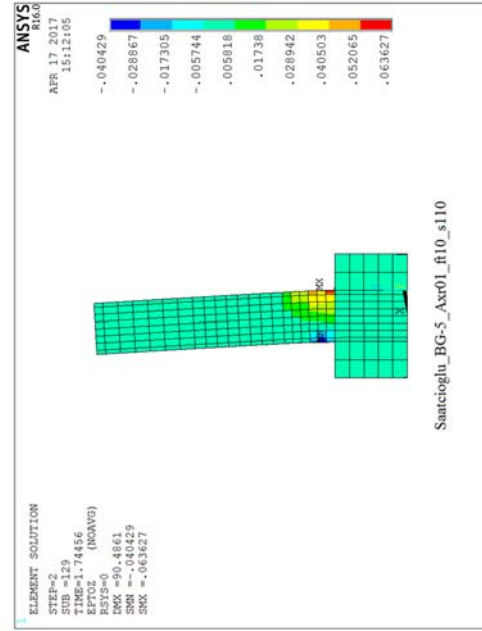




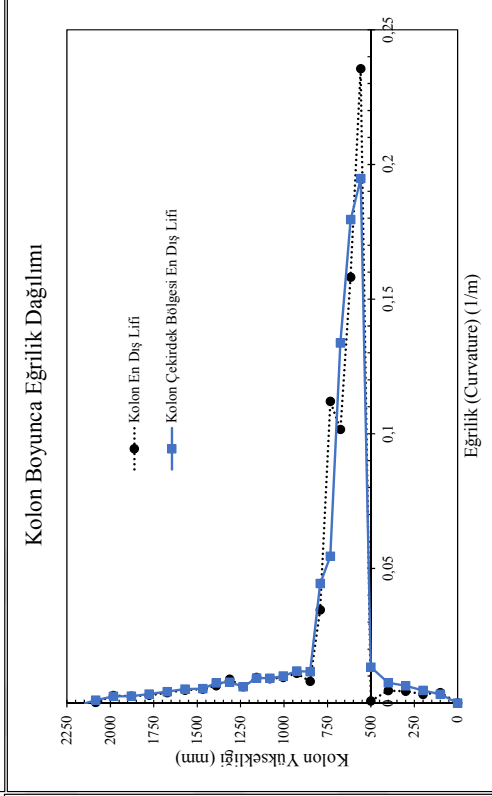
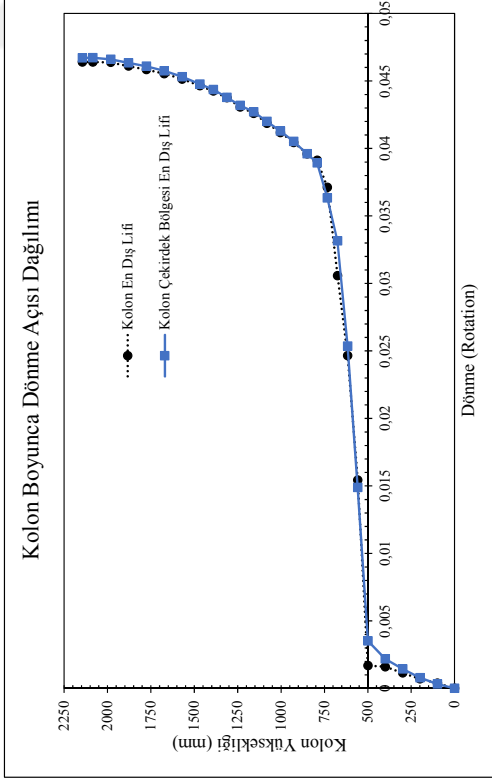
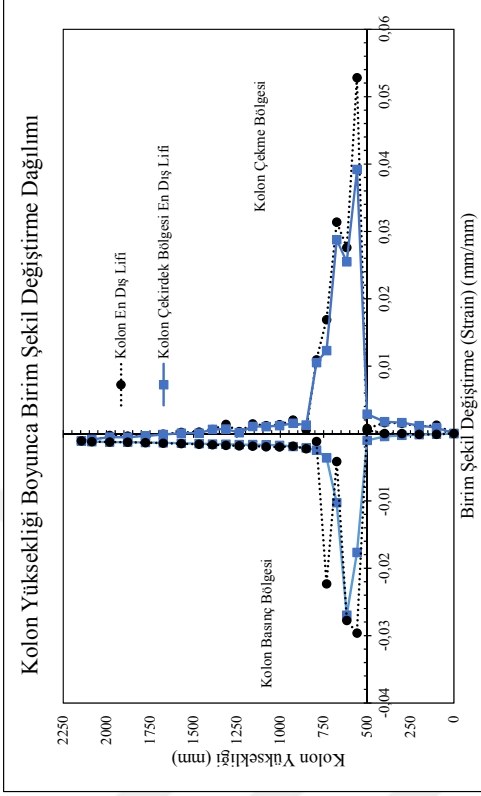
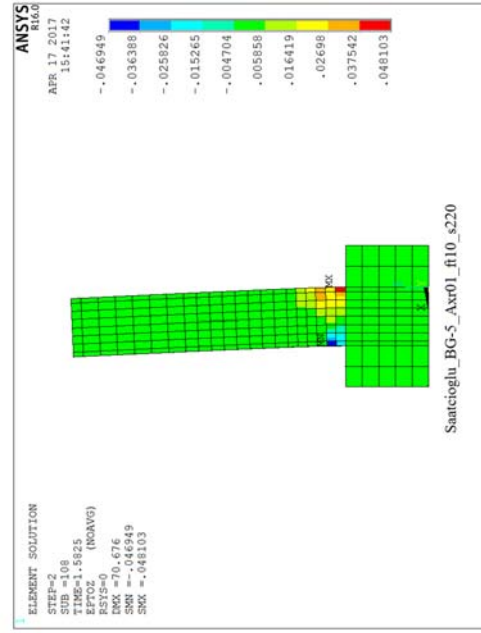
Saatcioglu and Grira 1999

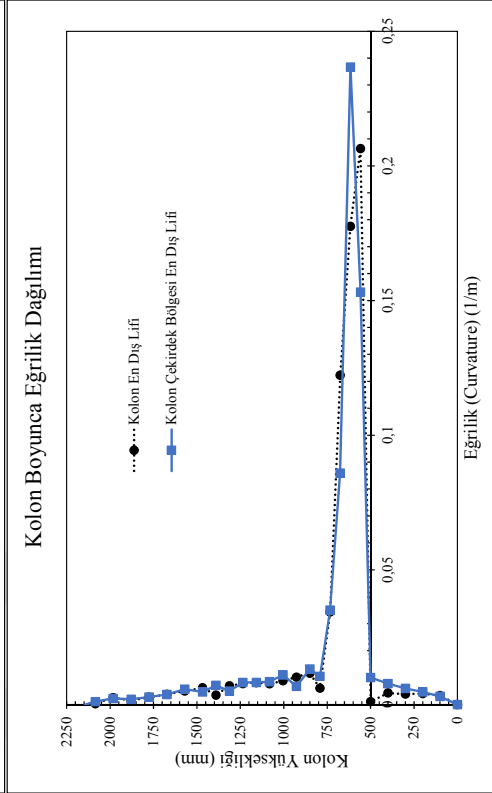
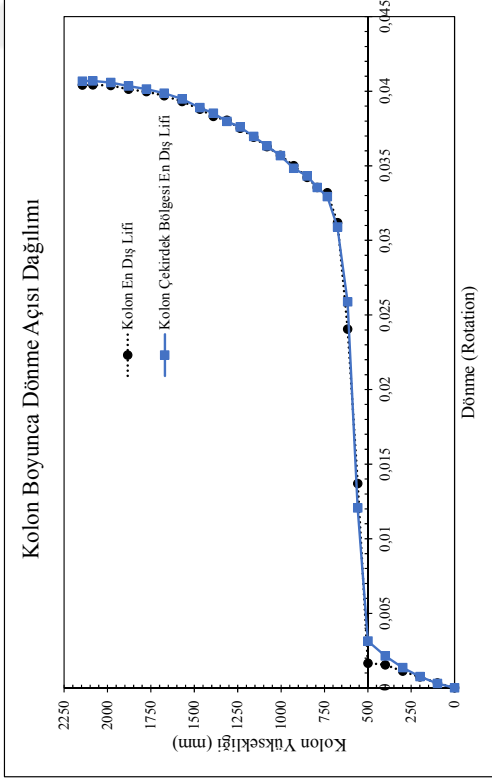
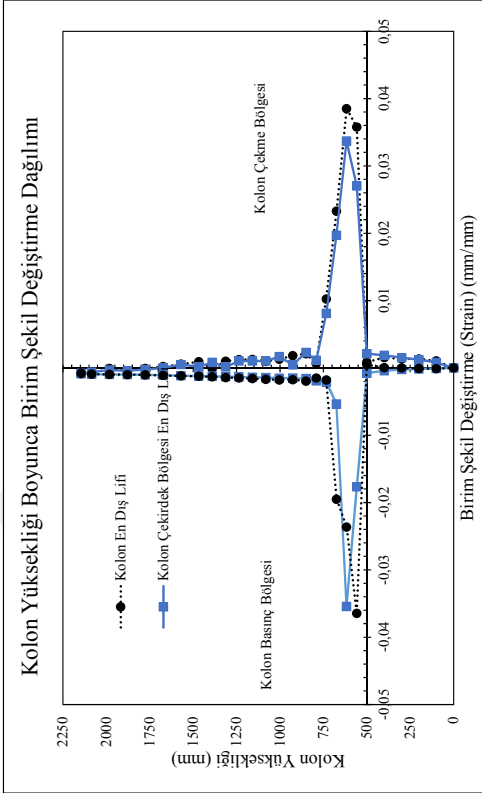
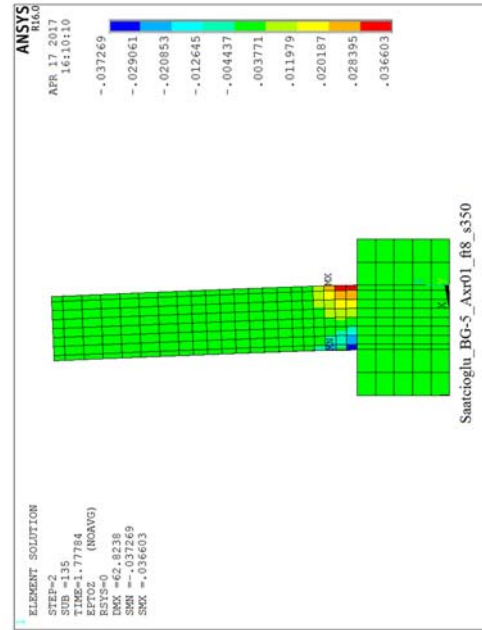


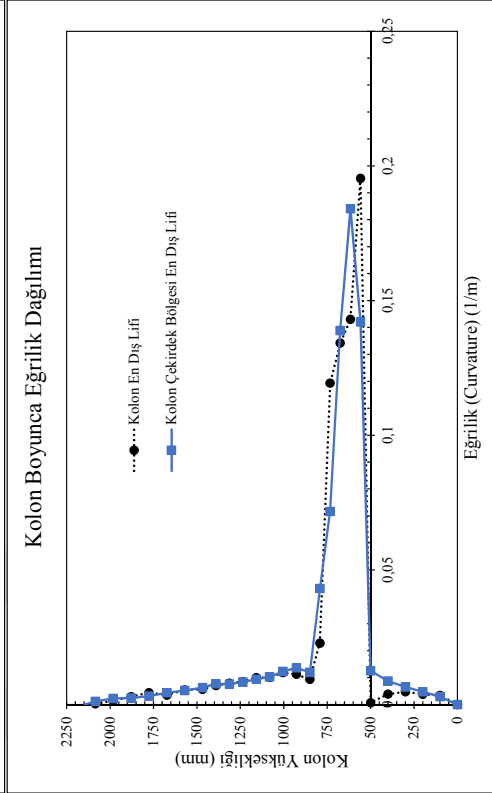
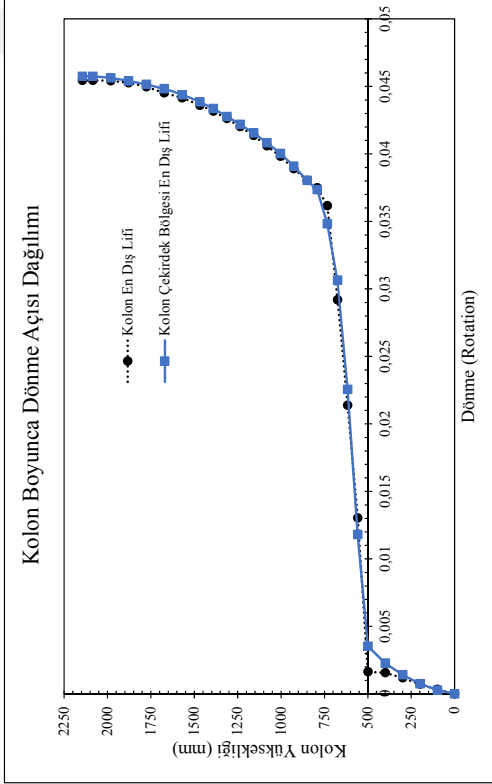
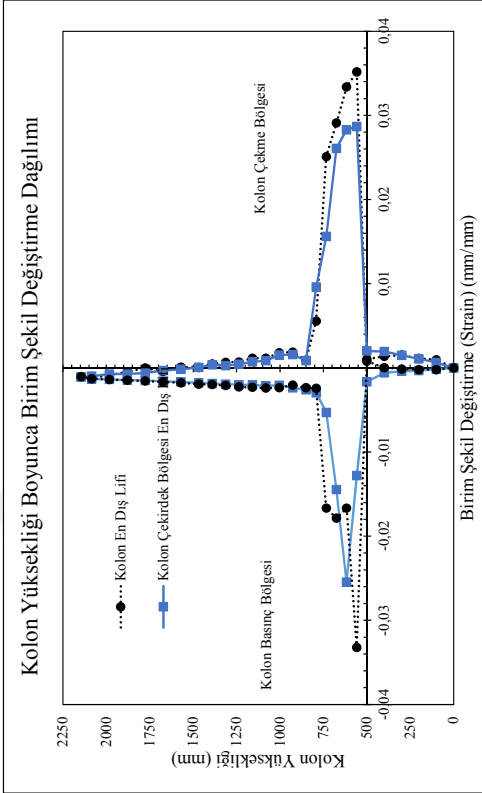
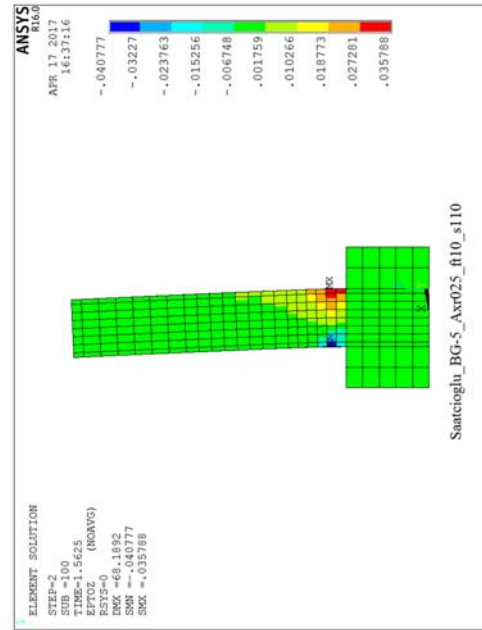
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	f <sub>ys</sub> (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Saatcioglu and Grira 1999. BG-5	8.1	350	350	1645	76	29	34	0.46	570	0.0293	0.0128
	8.2	350	350	1645	110	29	34	0.10	570	0.0293	0.0097
	8.3	350	350	1645	220	29	34	0.10	570	0.0293	0.0048
	8.4	350	350	1645	350	29	34	0.10	570	0.0293	0.0019
	8.5	350	350	1645	110	29	34	0.25	570	0.0293	0.0097
	8.6	350	350	1645	220	29	34	0.25	570	0.0293	0.0048
	8.7	350	350	1645	350	29	34	0.25	570	0.0293	0.0019
	8.8	350	350	1645	110	29	34	0.45	570	0.0293	0.0097
	8.9	350	350	1645	220	29	34	0.45	570	0.0293	0.0048

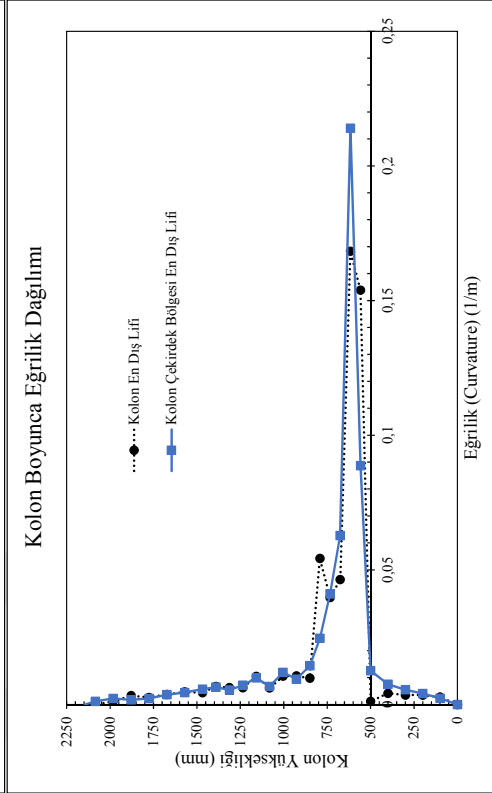
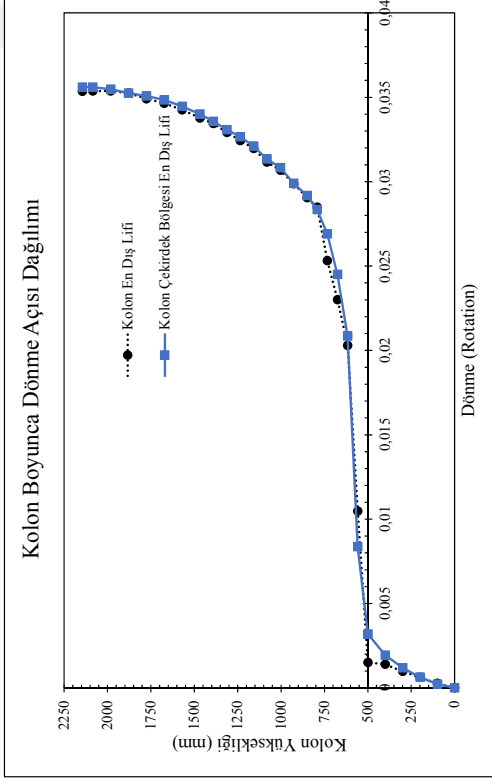
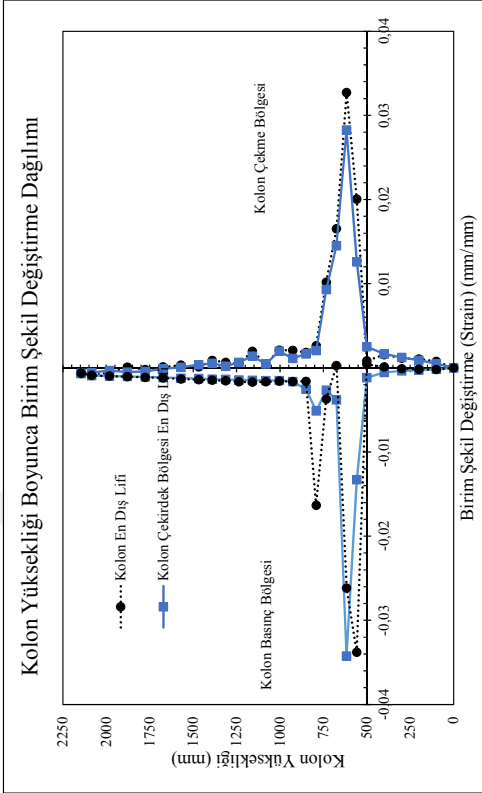
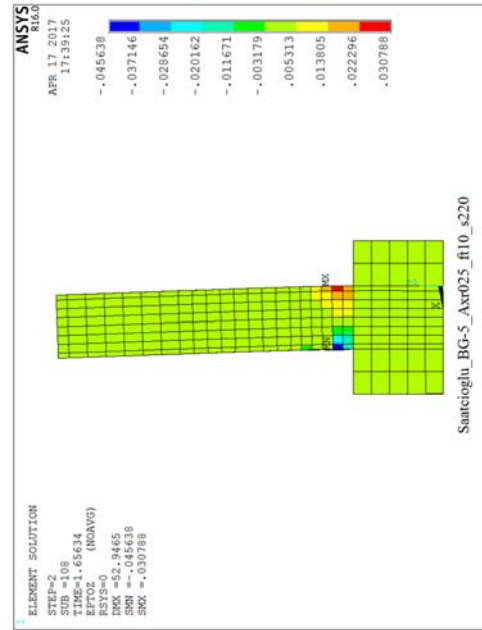


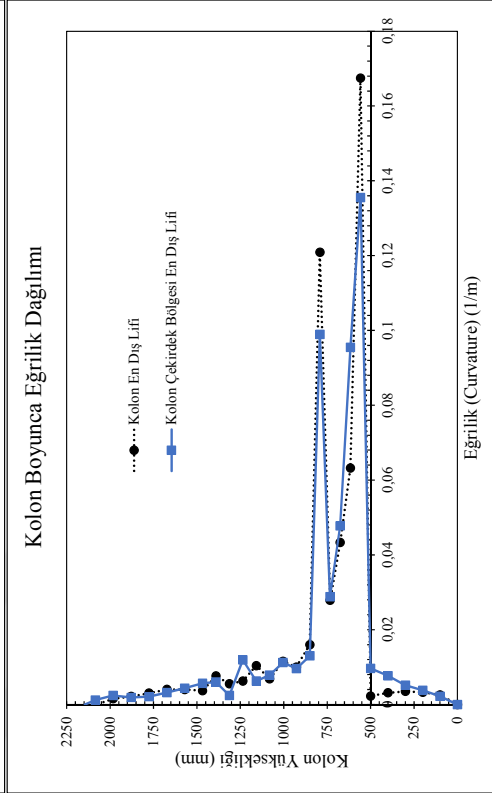
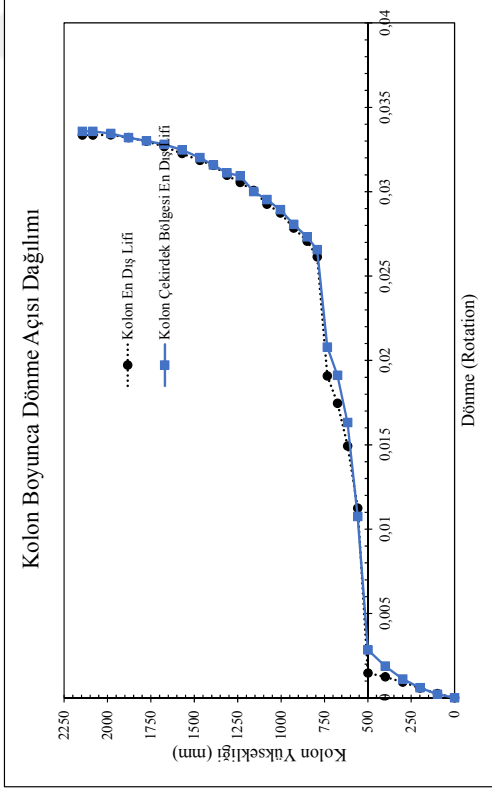
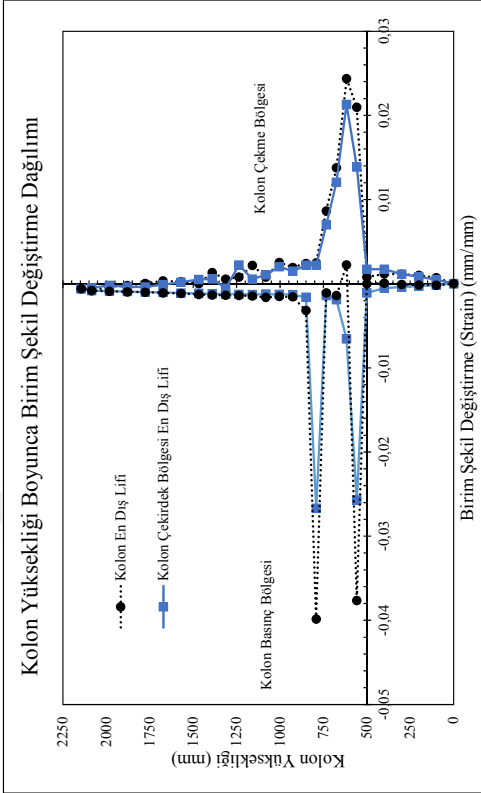
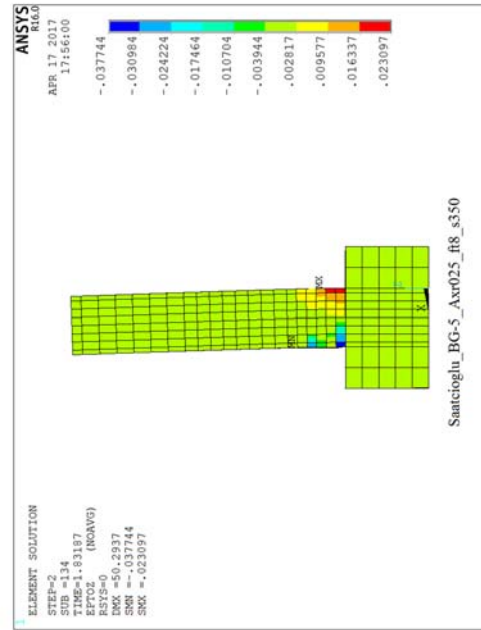


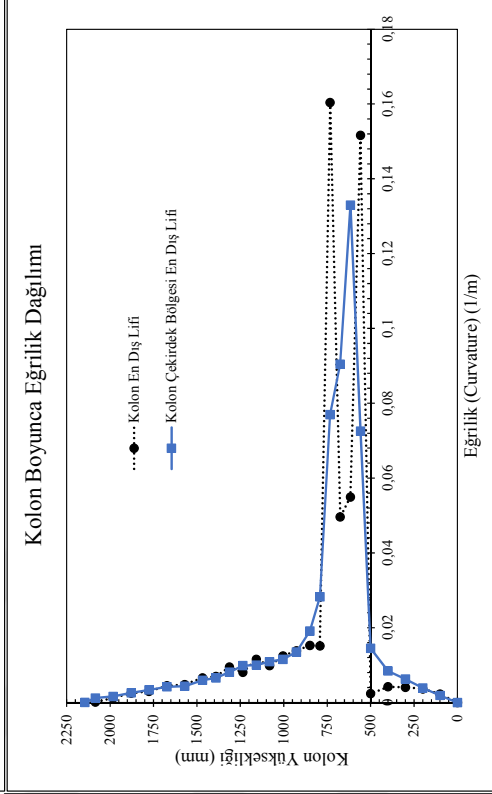
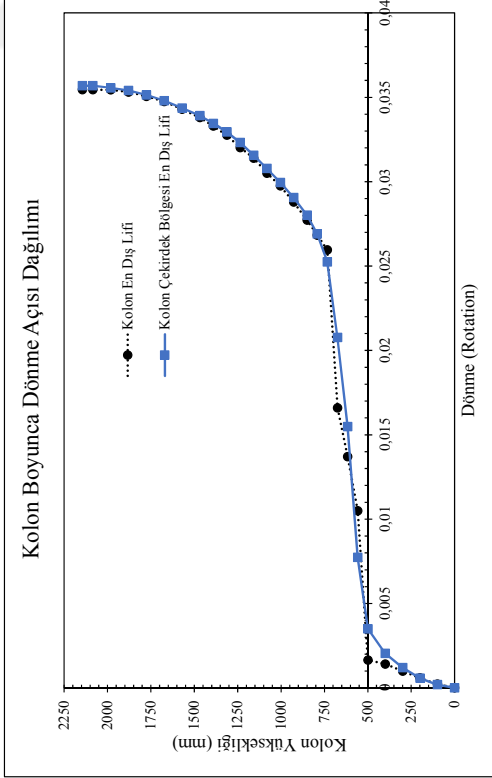
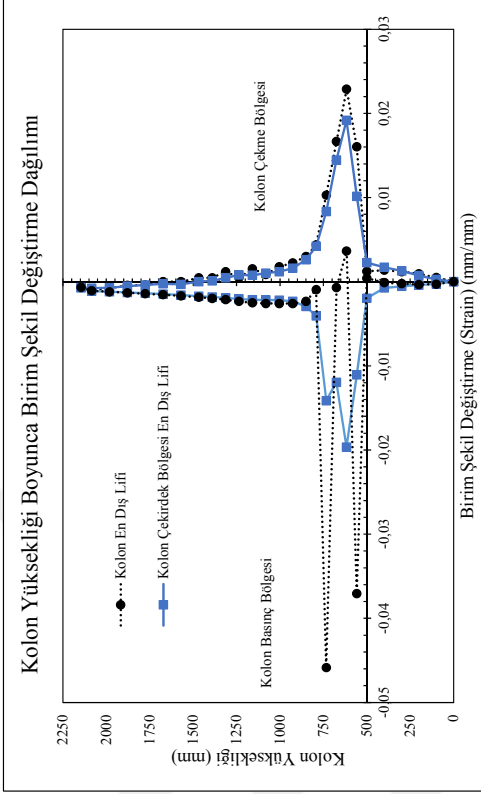
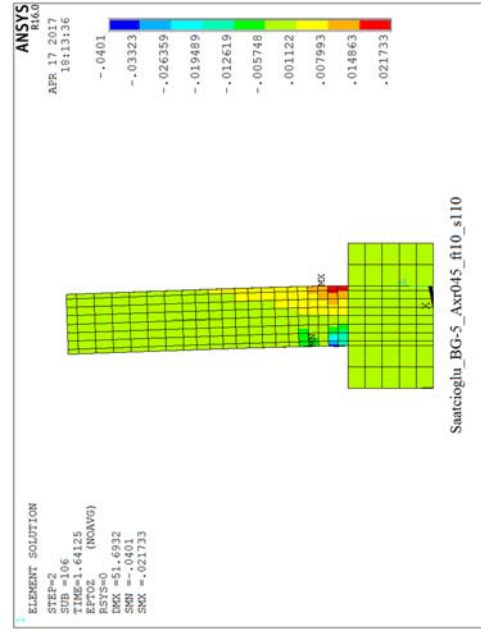


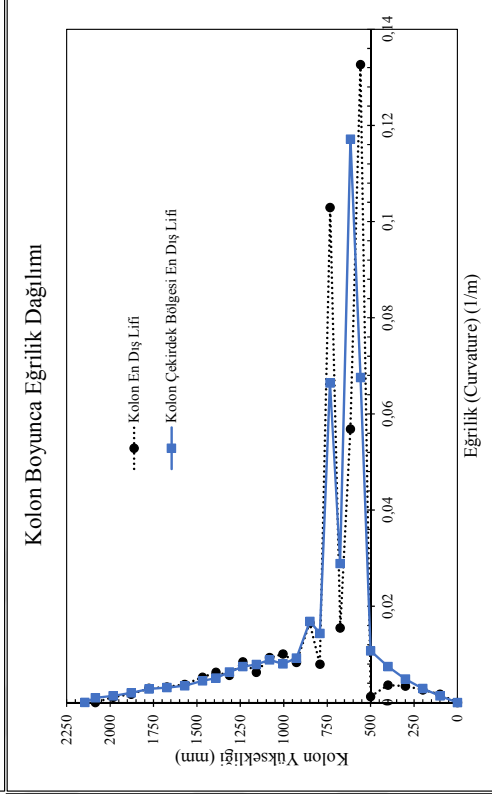
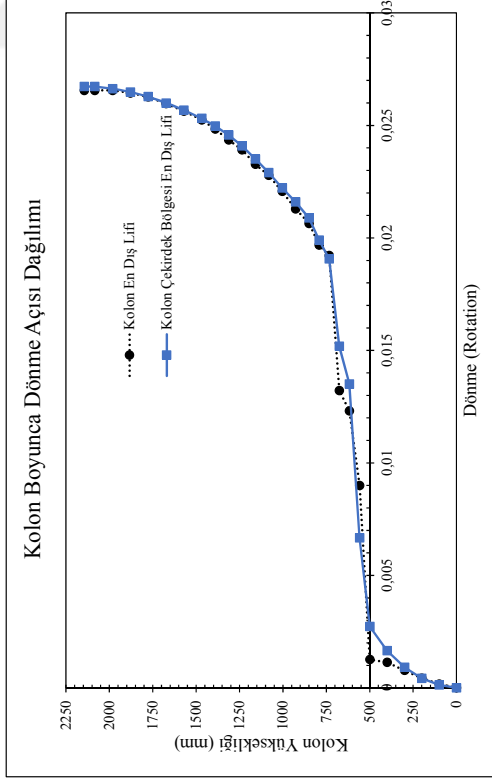
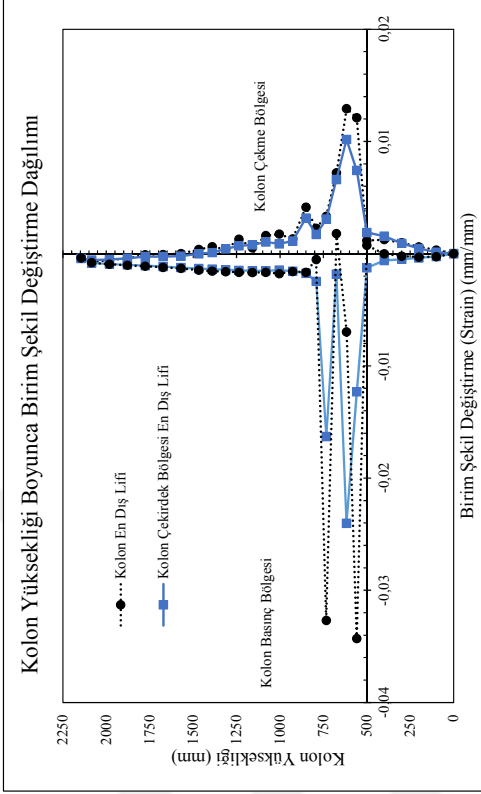
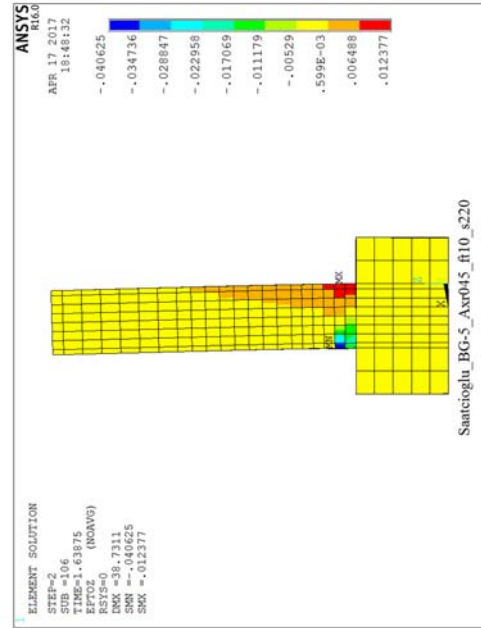


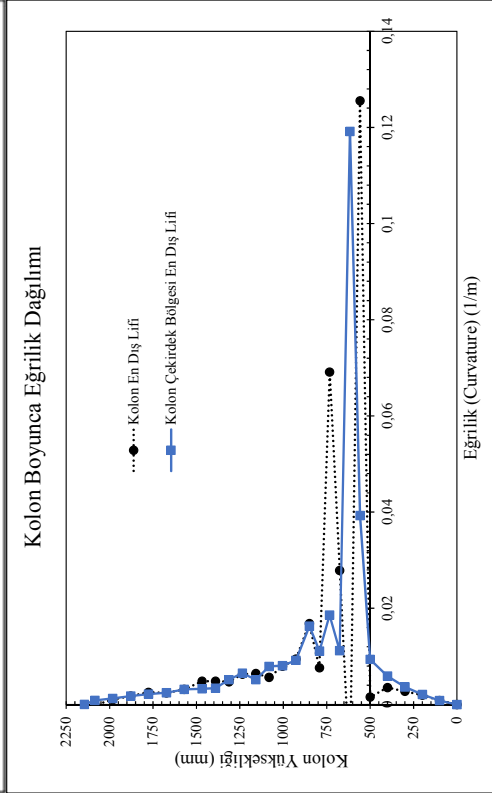
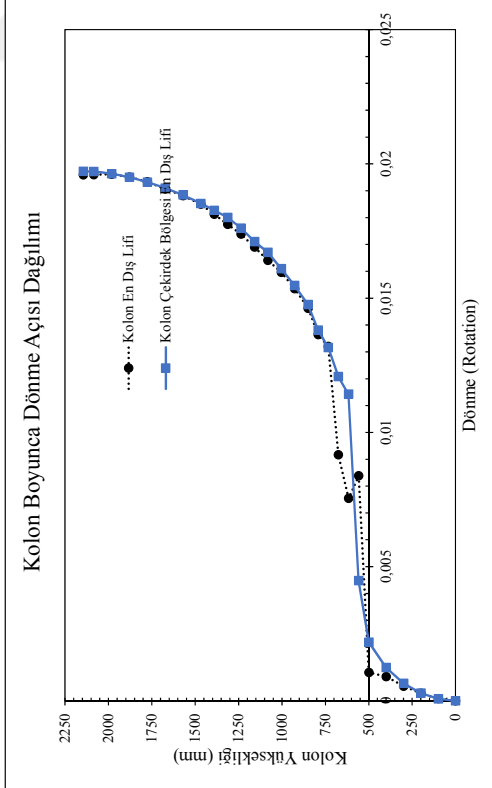
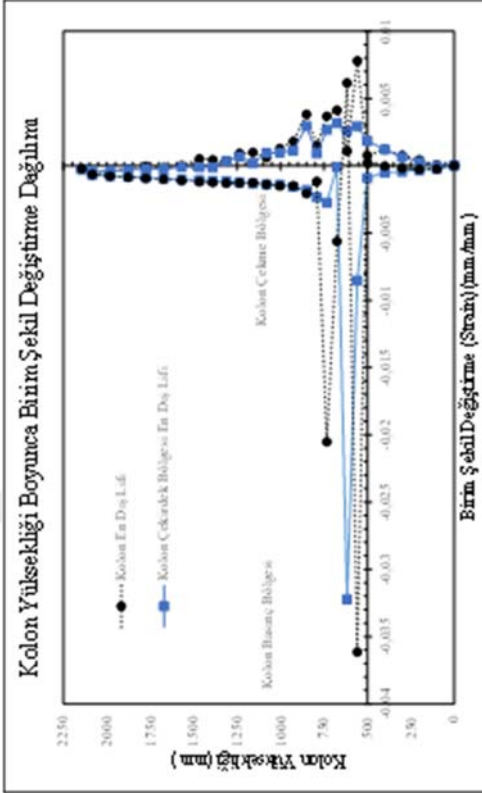
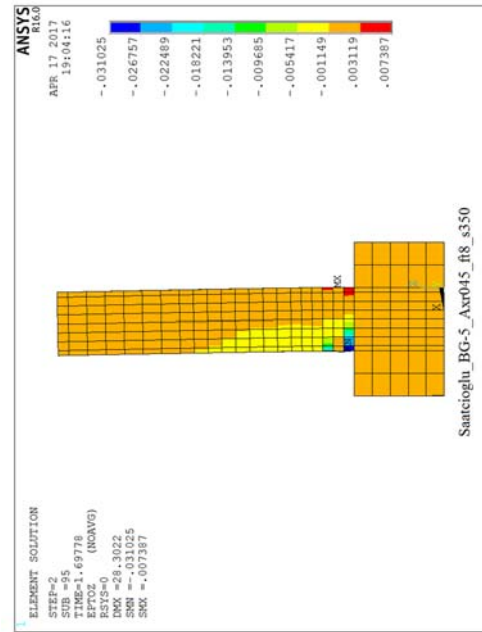






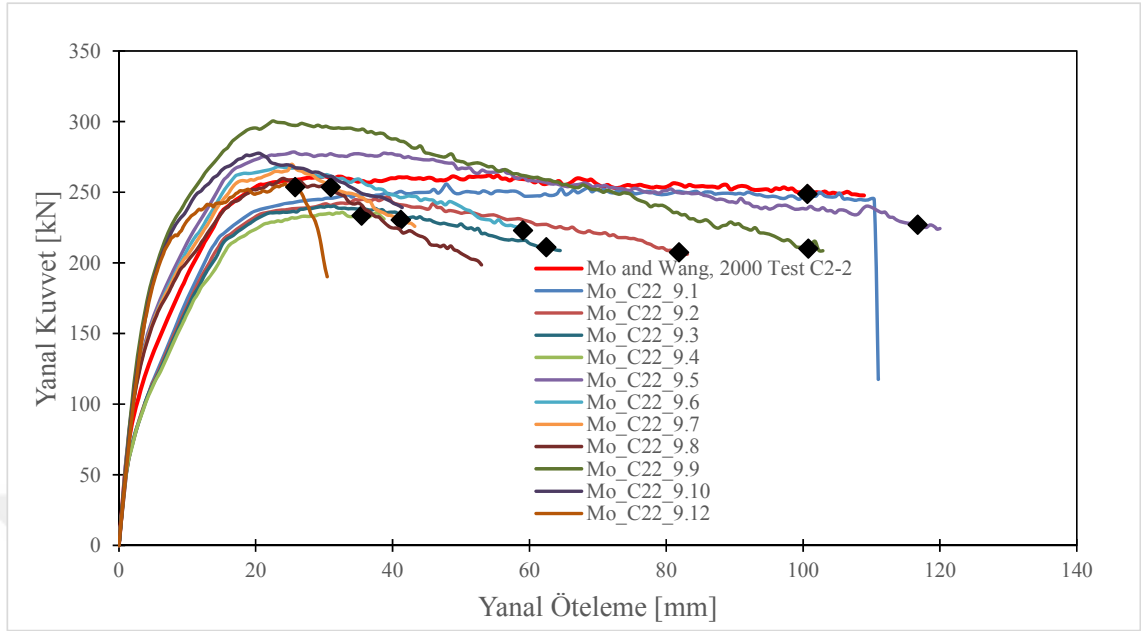




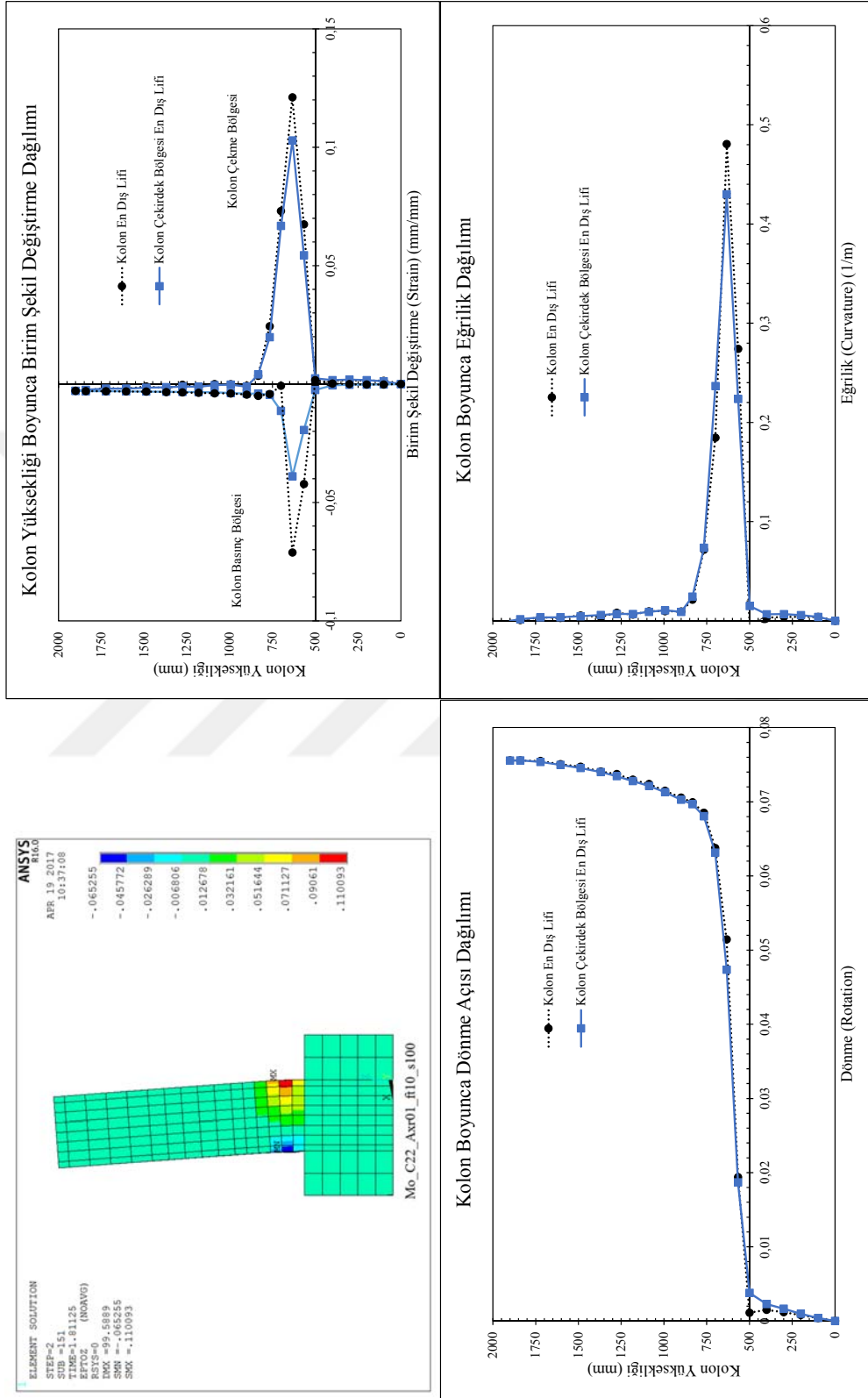


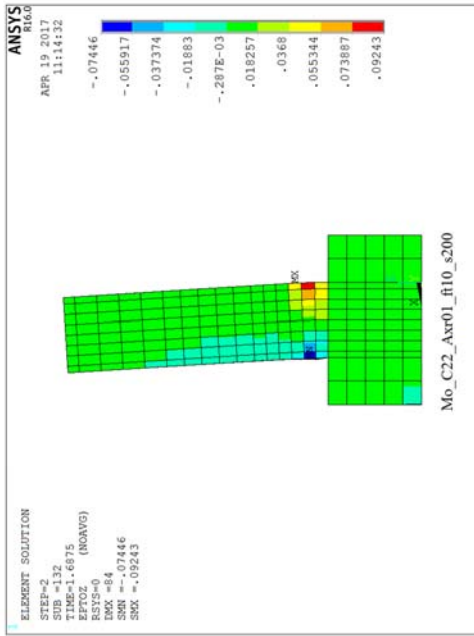


Mo and Wang 2000

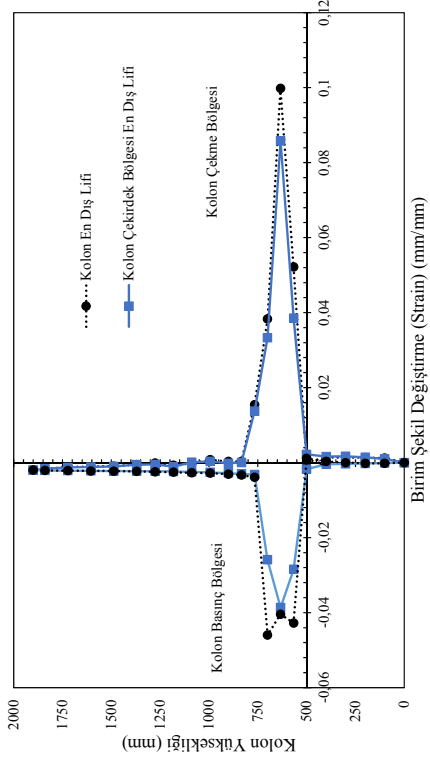


Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Mo and Wang 2000.C2-2		400	400	1400	52	25.5	27.1	0.16	460	0.0214	0.0069
	9.1	400	400	1400	100	35	27	0.10	460	0.0214	0.0095
	9.2	400	400	1400	200	35	27	0.10	460	0.0214	0.0047
	9.3	400	400	1400	250	35	27	0.10	460	0.0214	0.0030
	9.4	400	400	1400	350	35	27	0.10	460	0.0214	0.0017
	9.5	400	400	1400	100	35	27	0.25	460	0.0214	0.0095
	9.6	400	400	1400	200	35	27	0.25	460	0.0214	0.0047
	9.7	400	400	1400	250	35	27	0.25	460	0.0214	0.0030
	9.8	400	400	1400	350	35	27	0.25	460	0.0214	0.0017
	9.9	400	400	1400	100	35	27	0.45	460	0.0214	0.0095
	9.10	400	400	1400	200	35	27	0.45	460	0.0214	0.0047
	9.11	400	400	1400	250	35	27	0.45	460	0.0214	0.0030
9.12	400	400	1400	350	35	27	0.45	460	0.0214	0.0017	

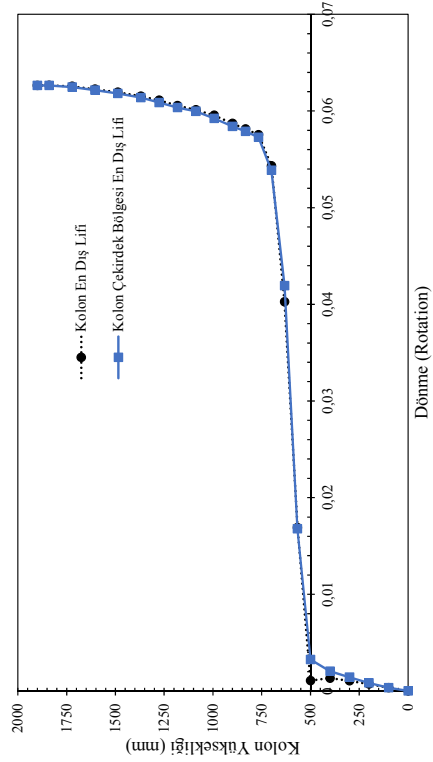




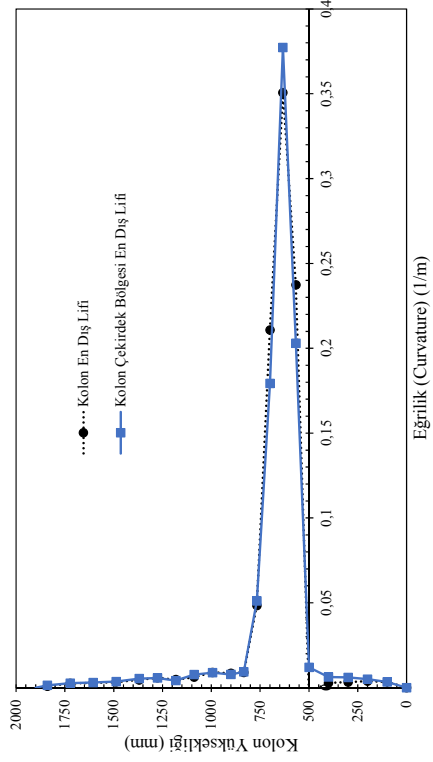
Kolon Yüksekliği Boyunca Birim Şekil Değişirme Dağılımı

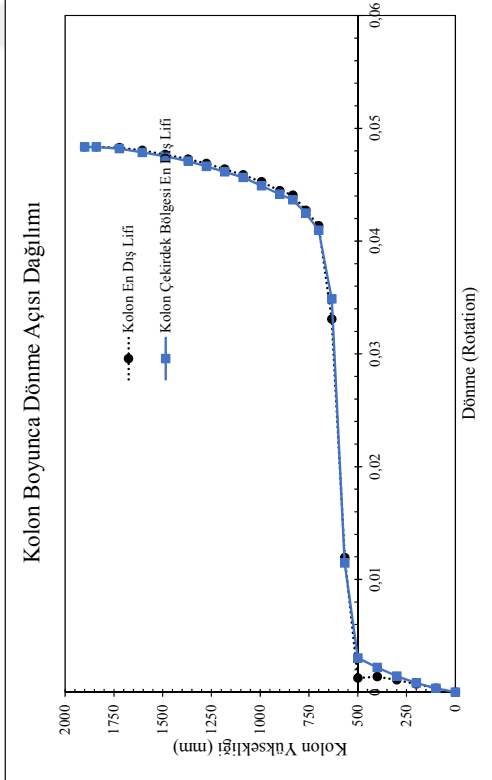
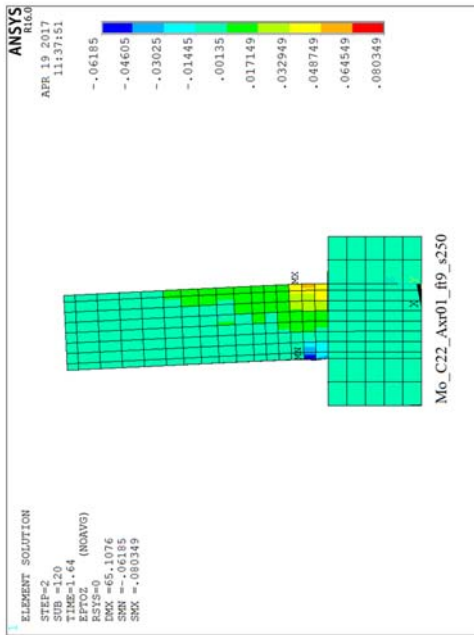
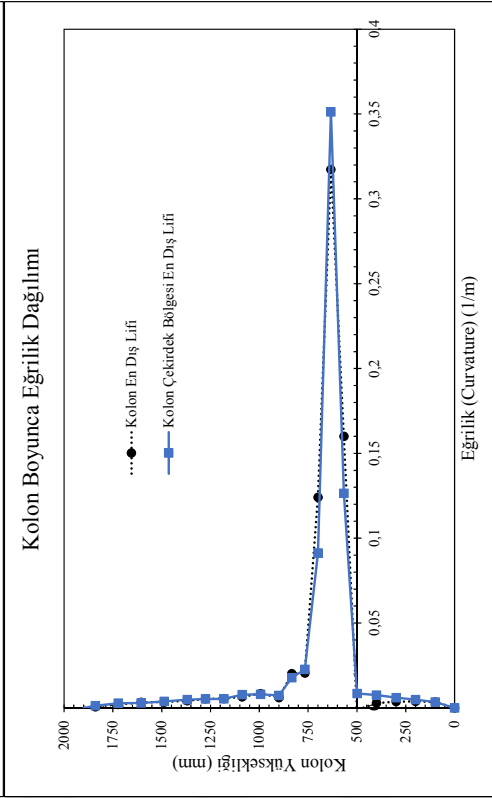
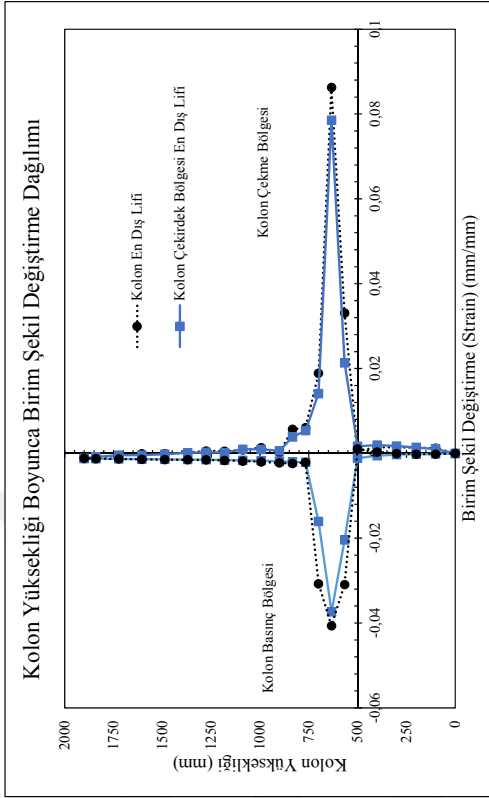


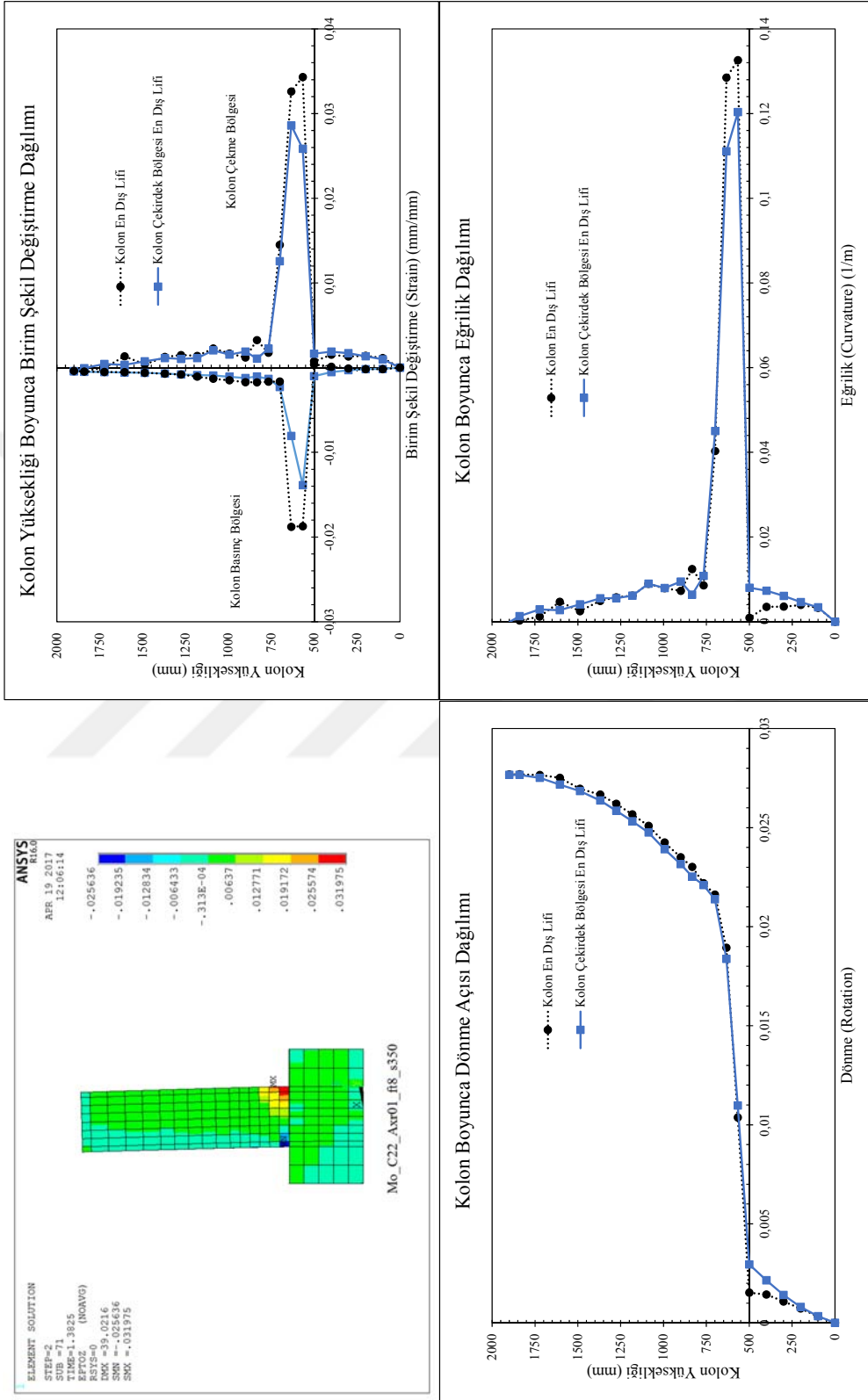
Kolon Boyunca Dönme Açısı Değişimi

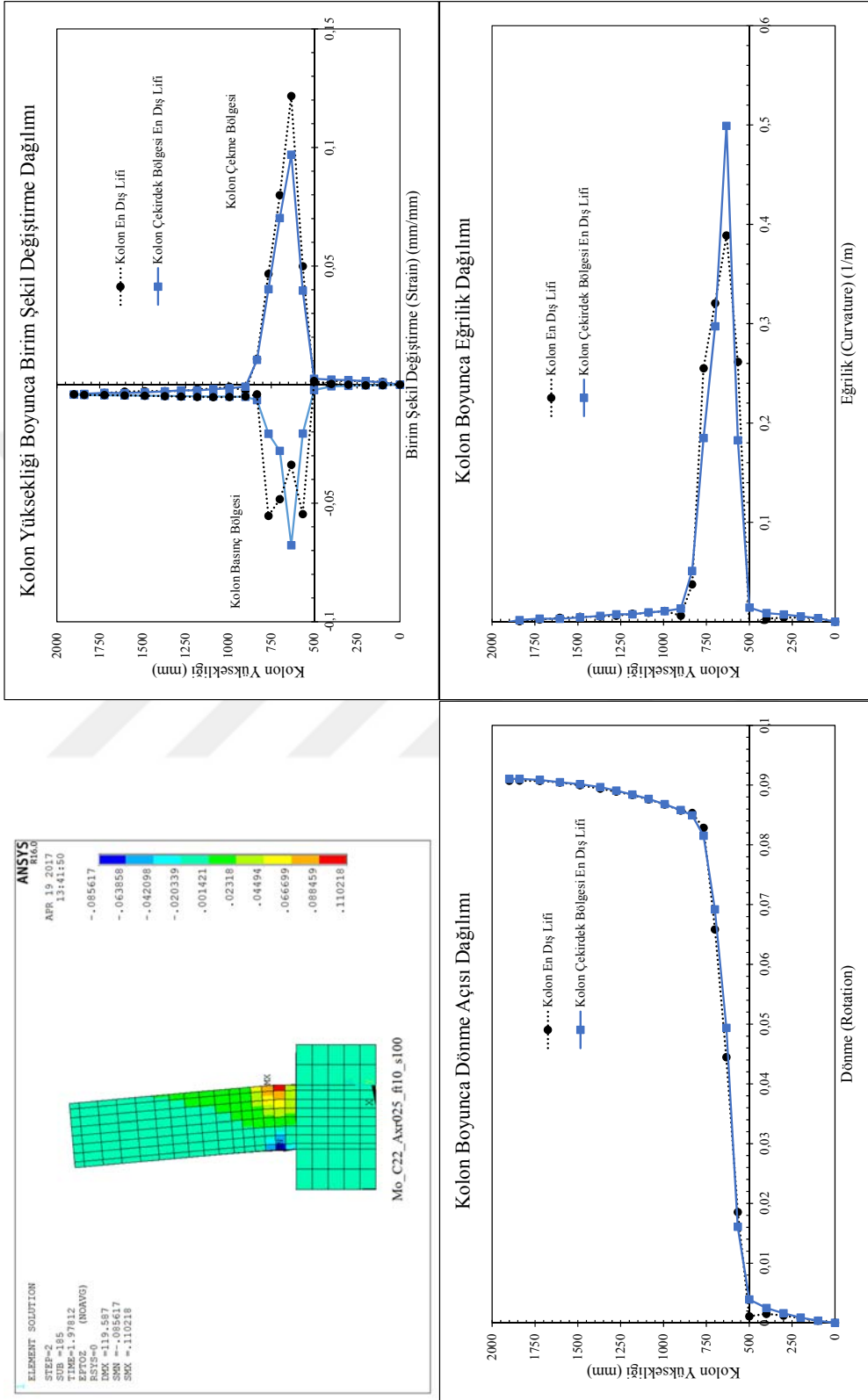


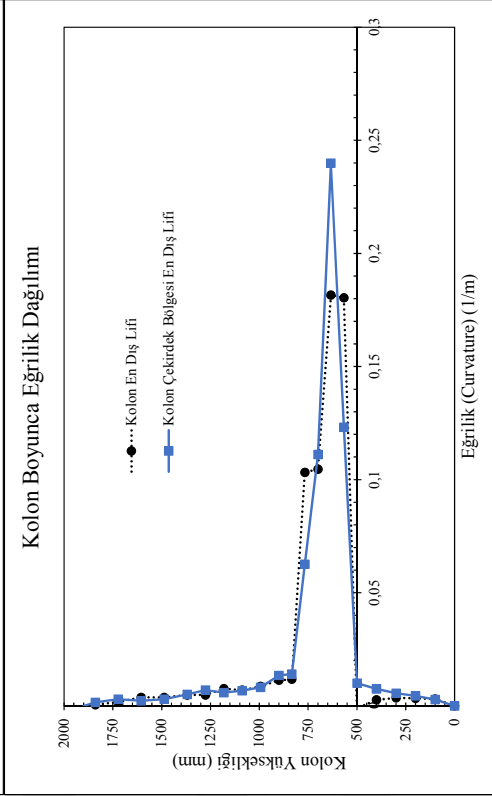
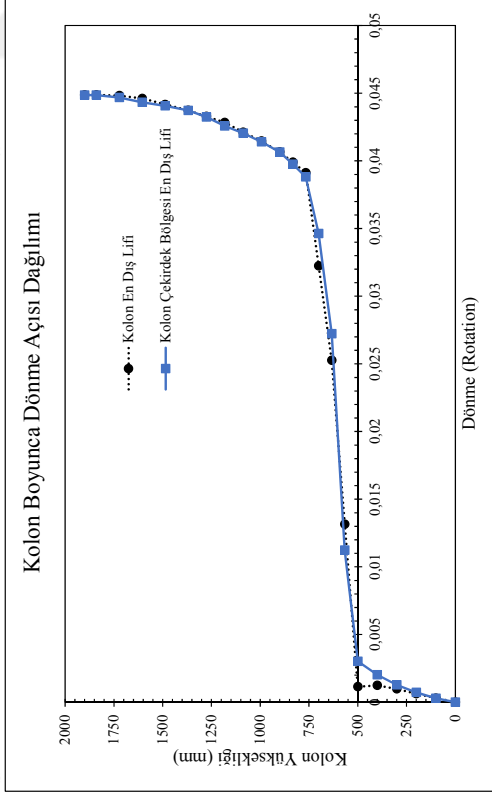
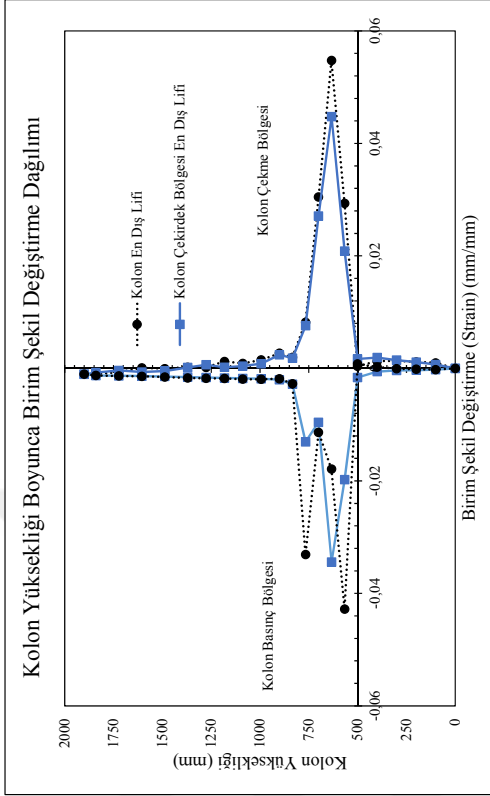
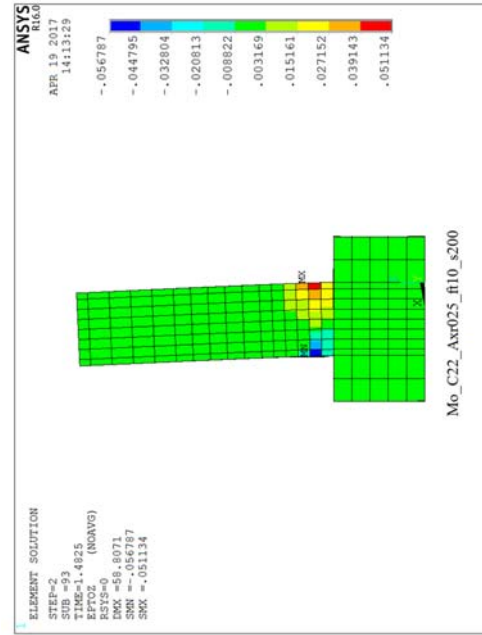
Kolon Boyunca Eğrilik Dağılımı

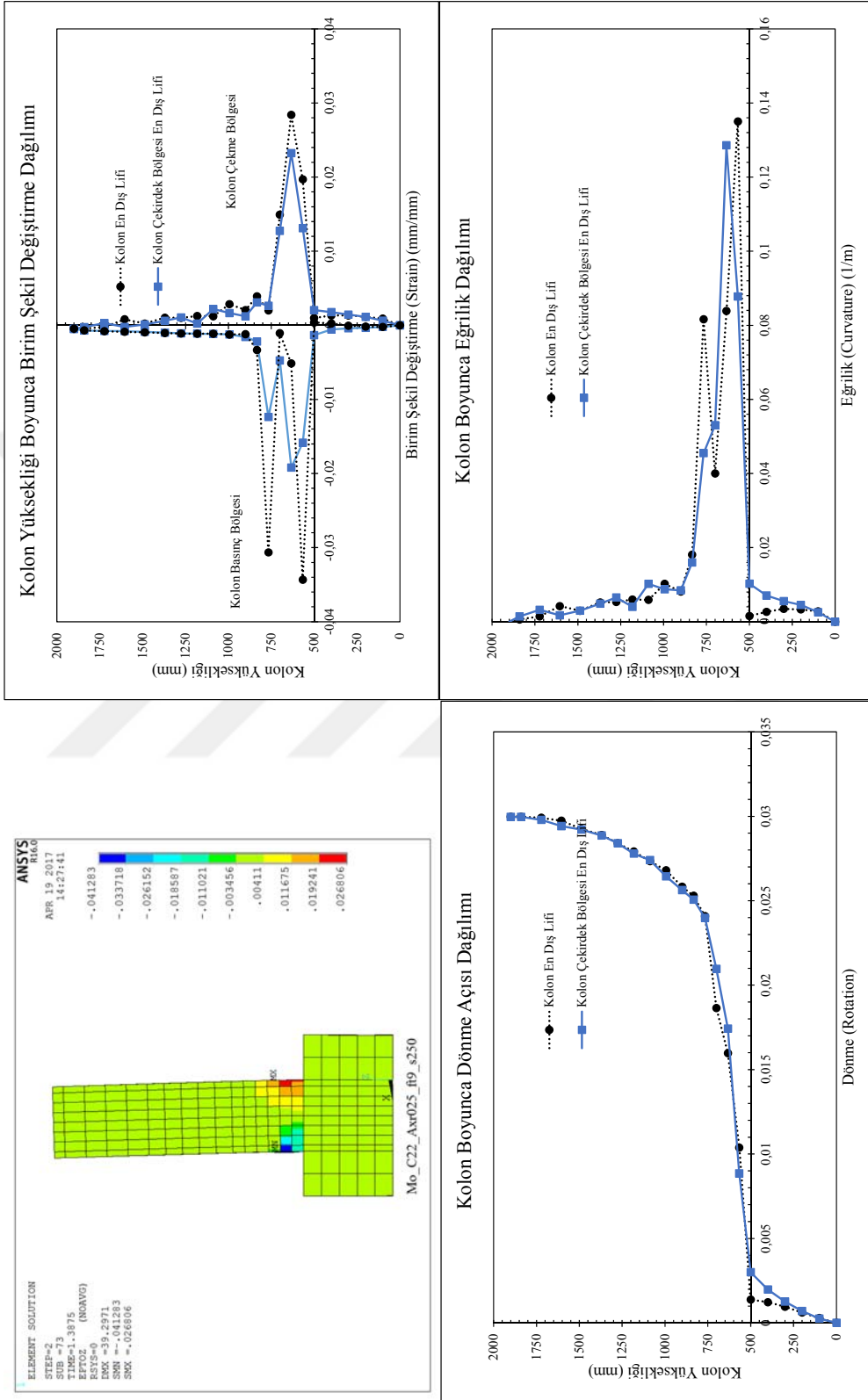




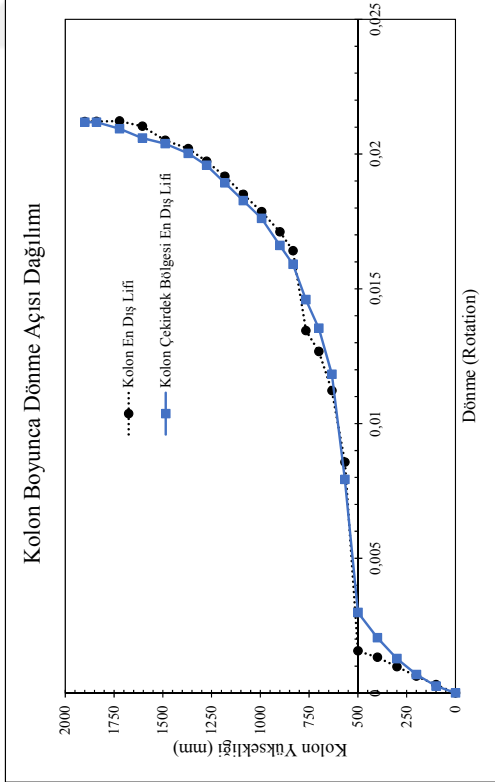
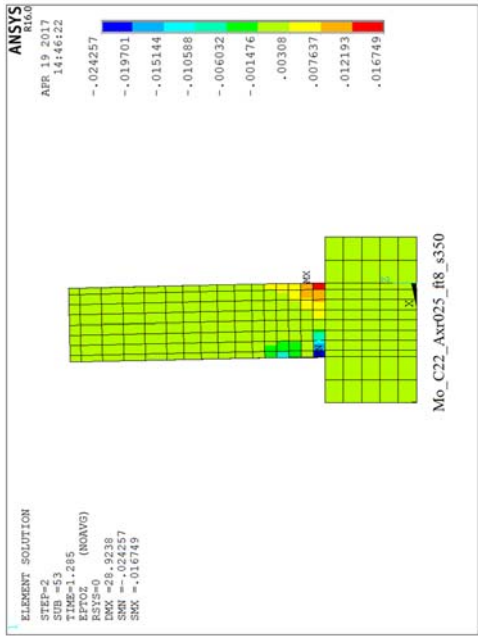
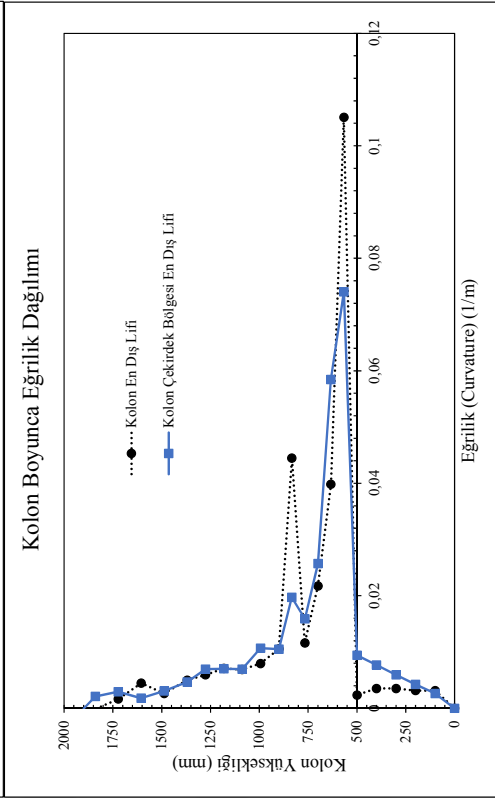
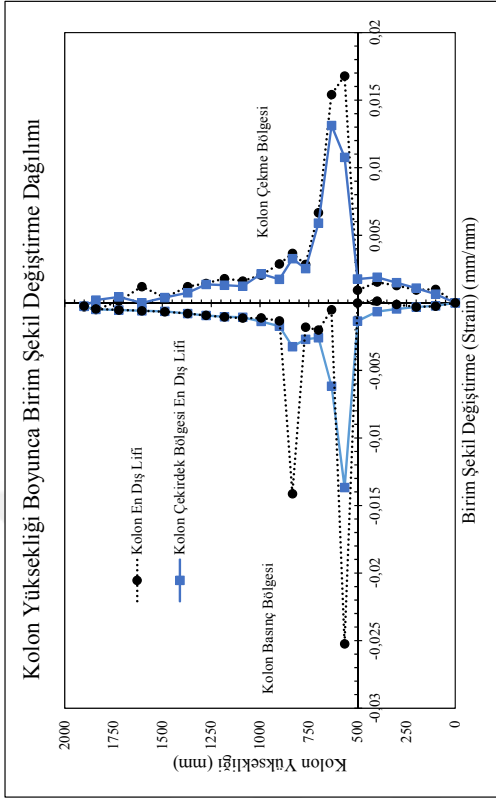


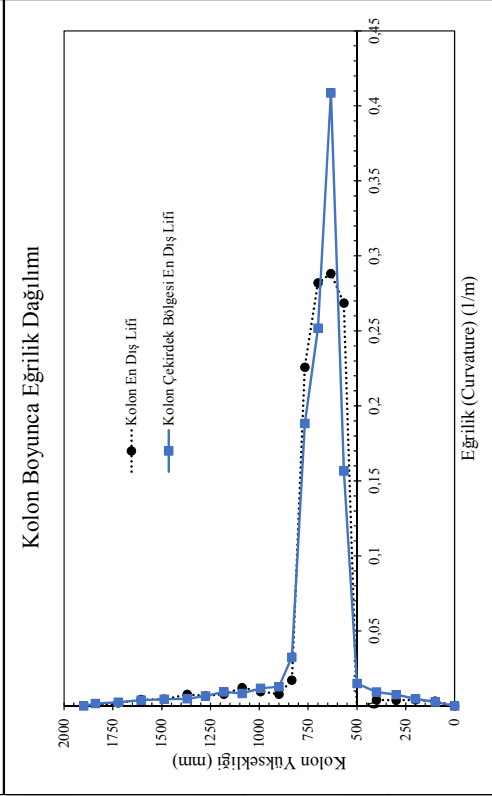
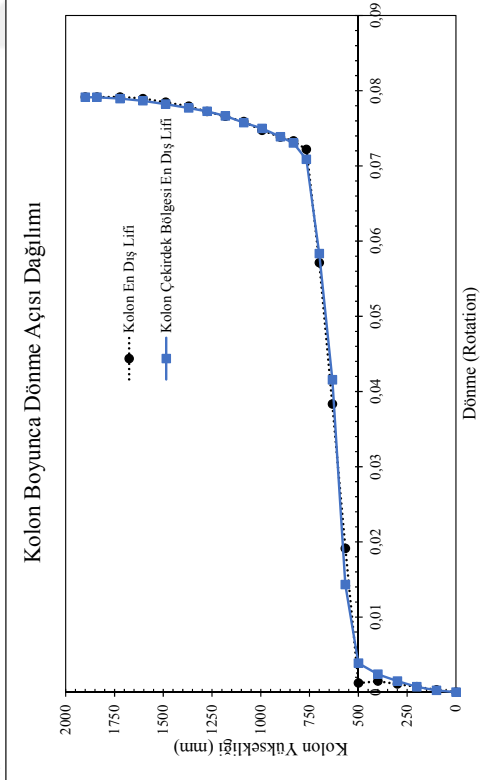
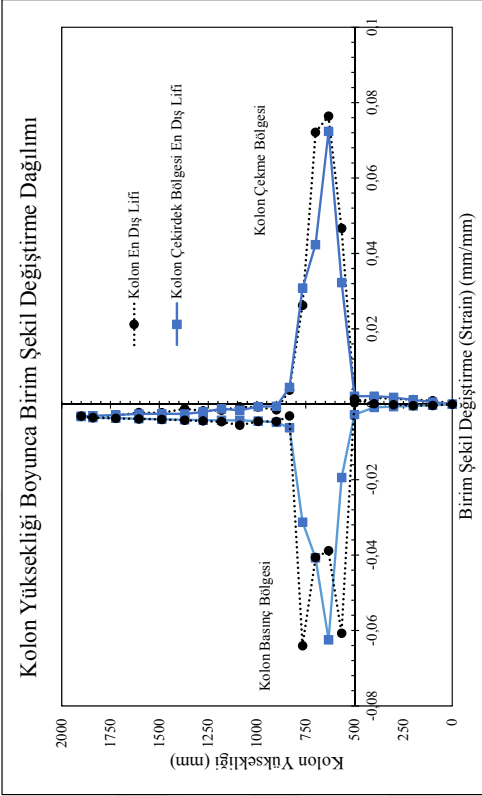
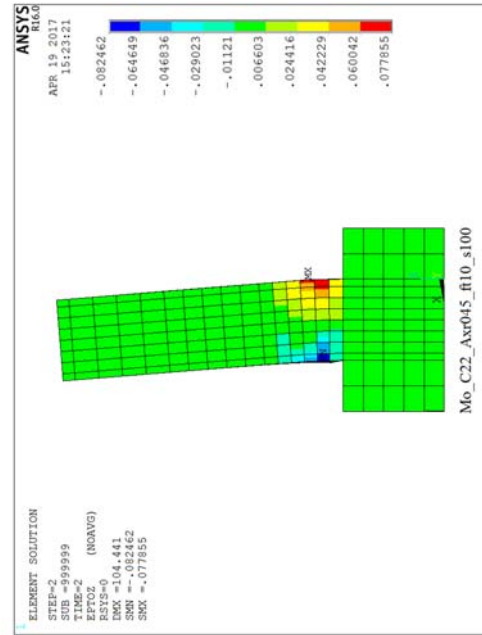


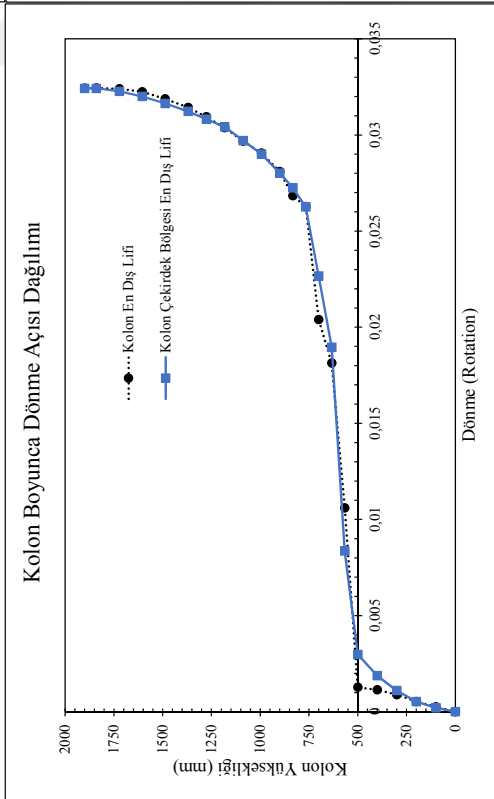
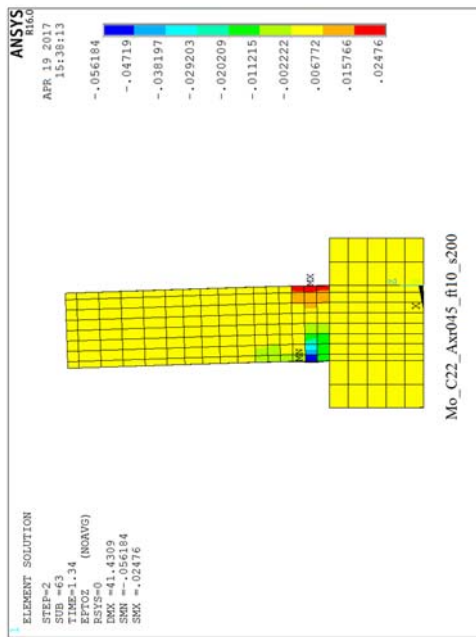
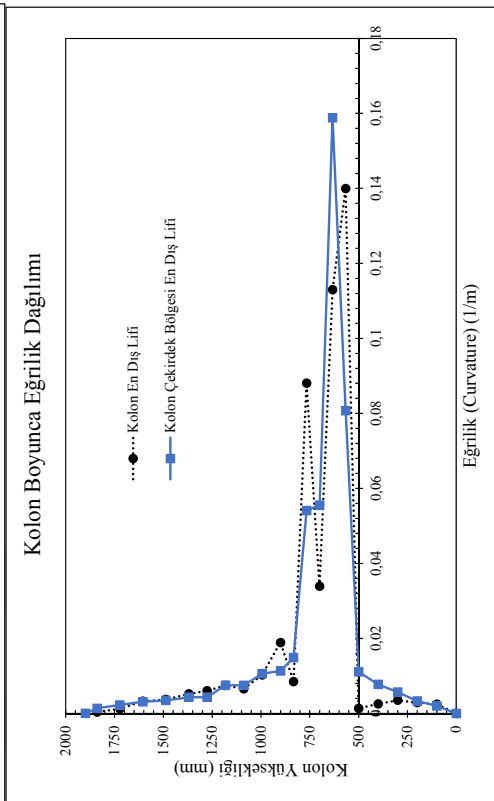
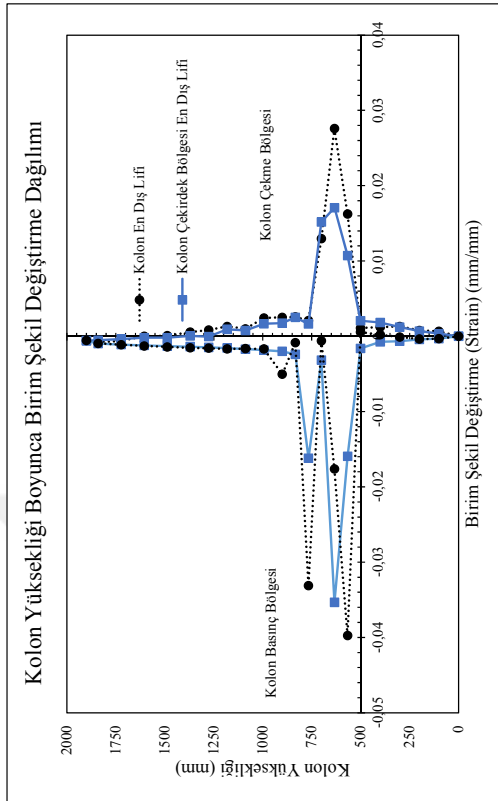


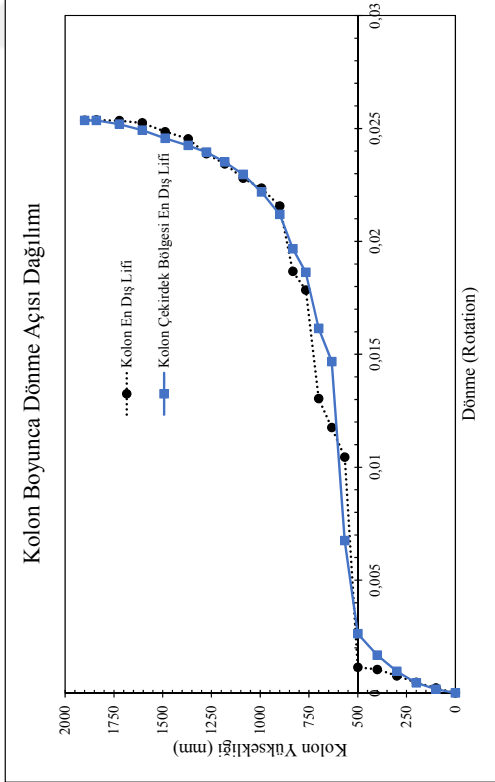
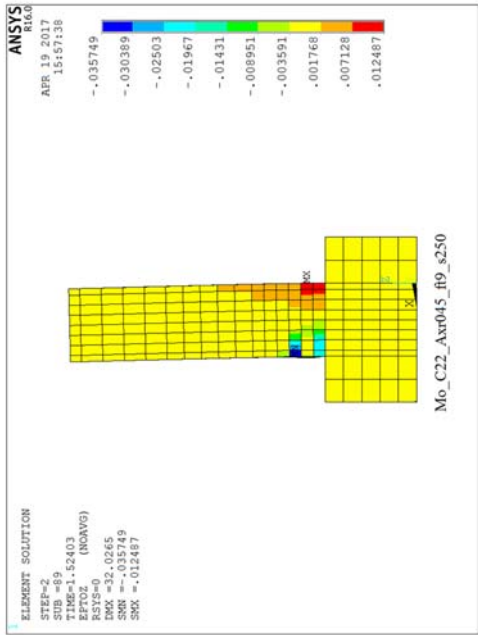
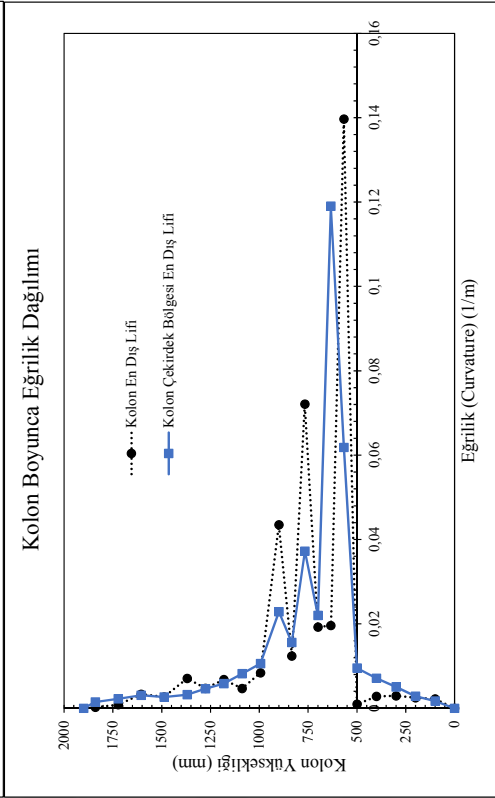
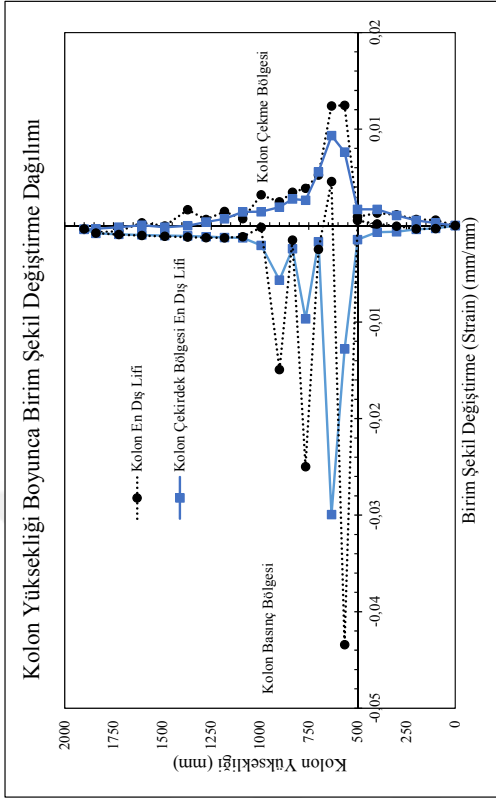


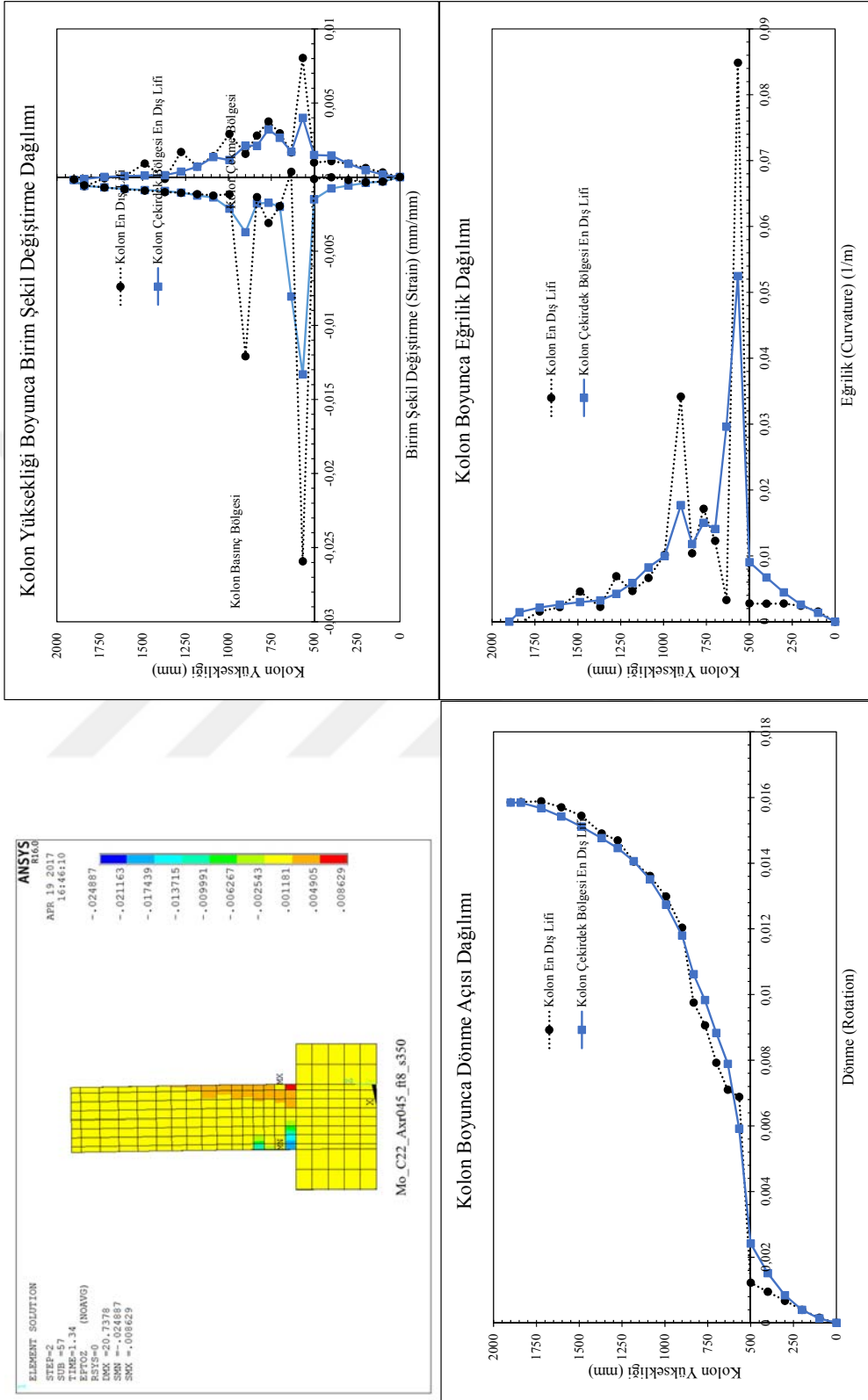




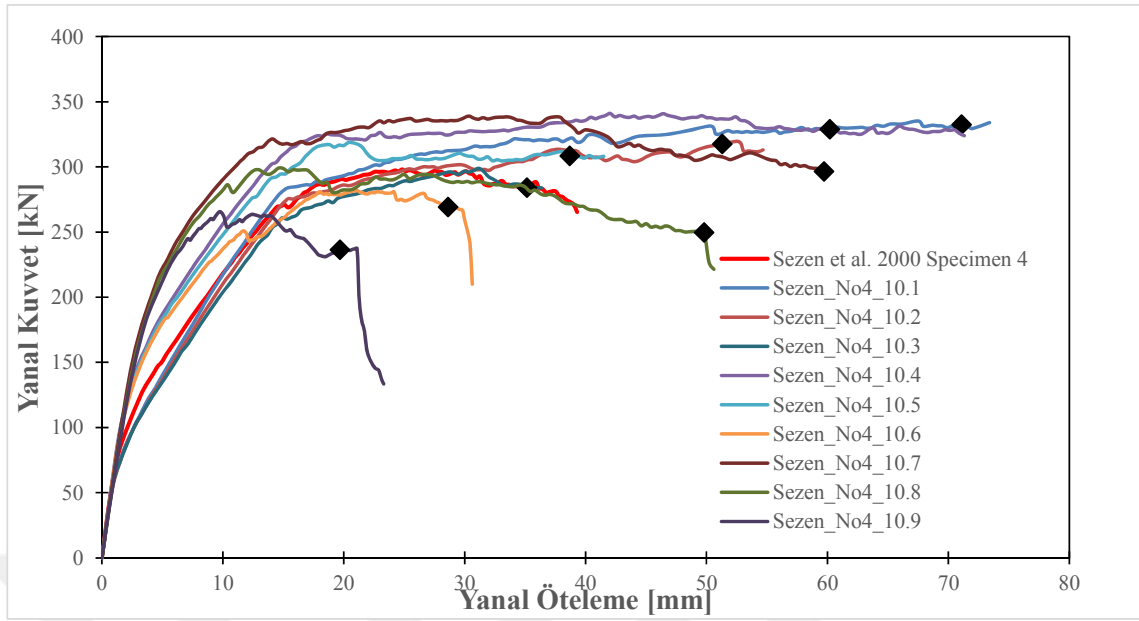




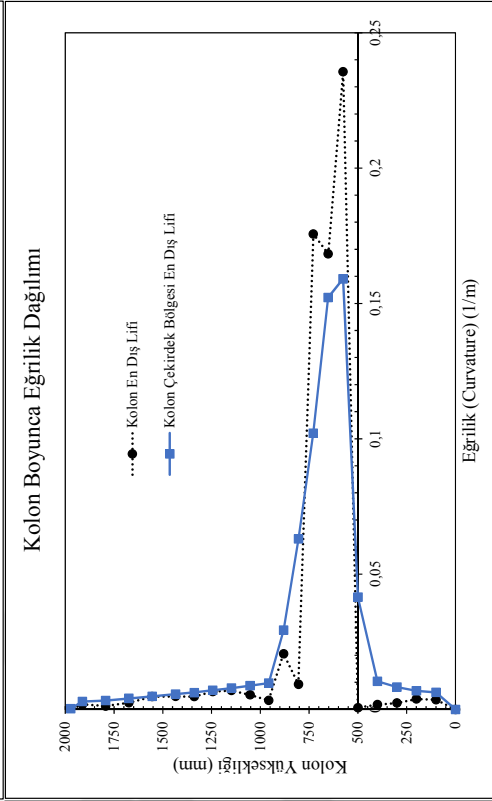
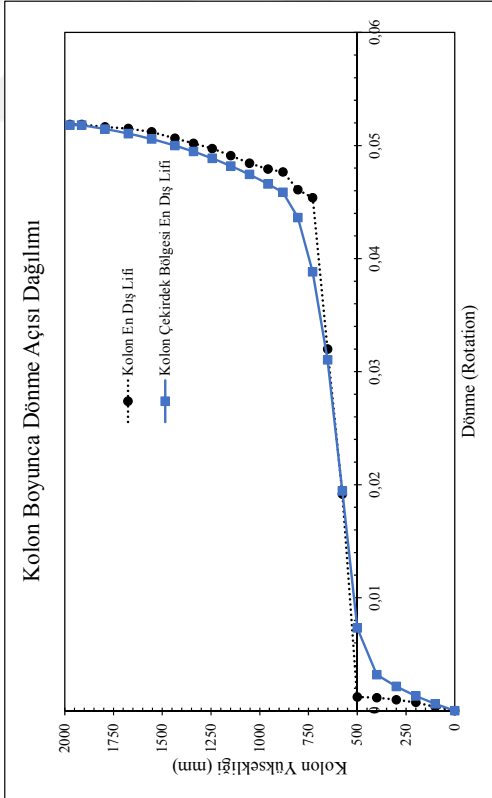
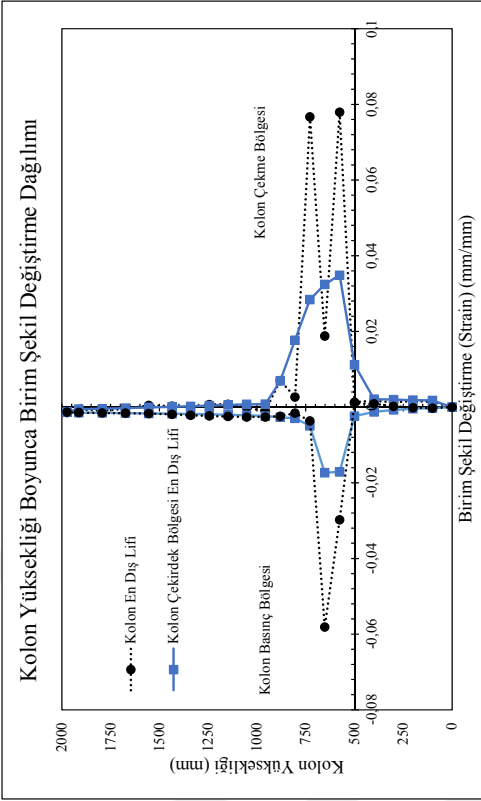
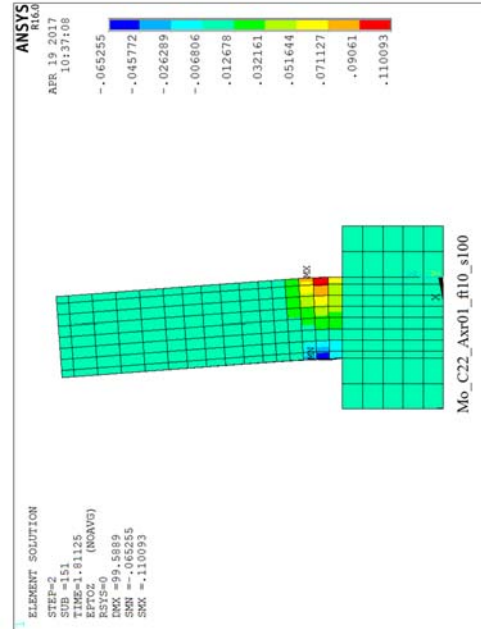


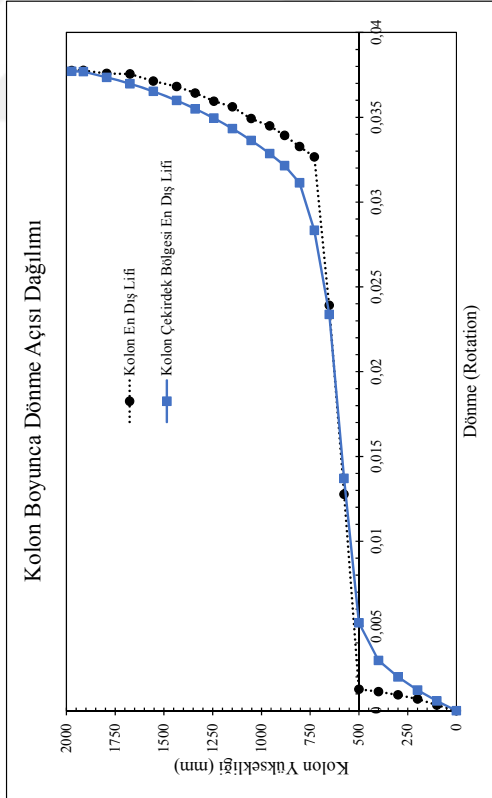
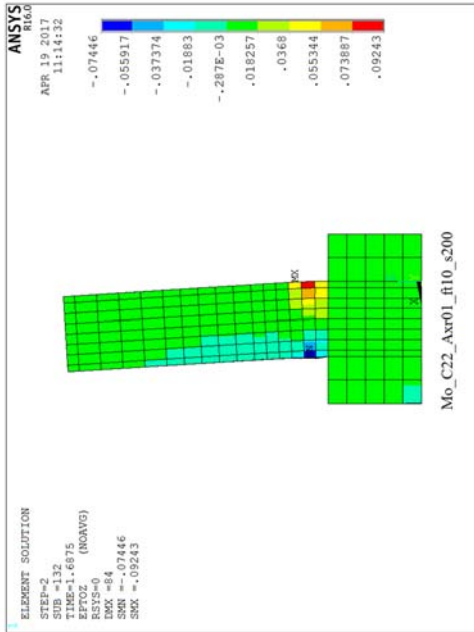
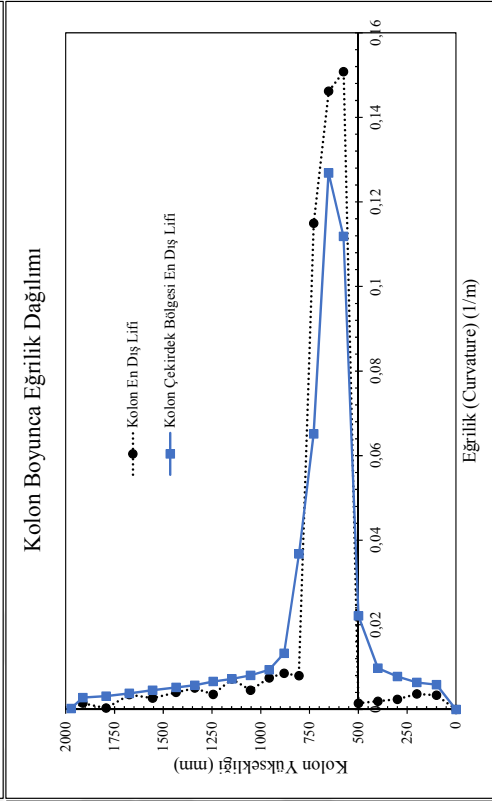
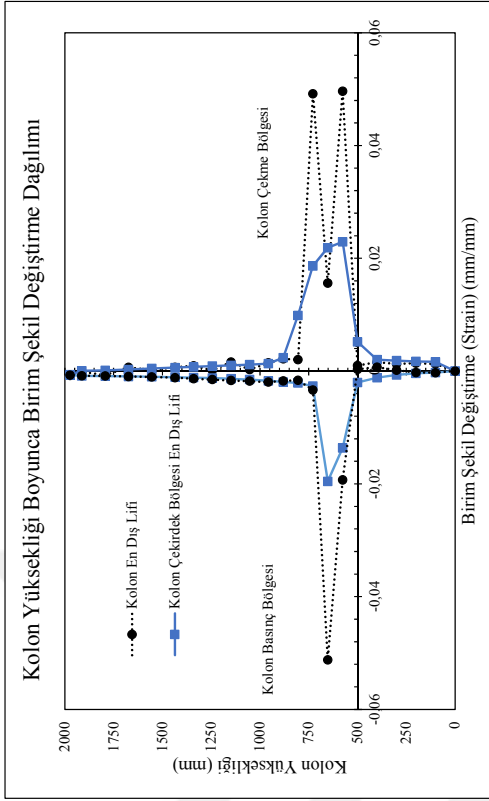


Sezen and Moehle 2004

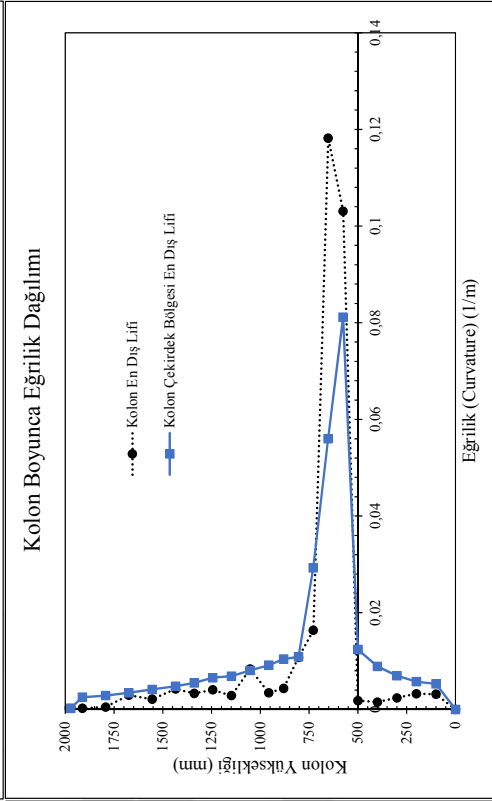
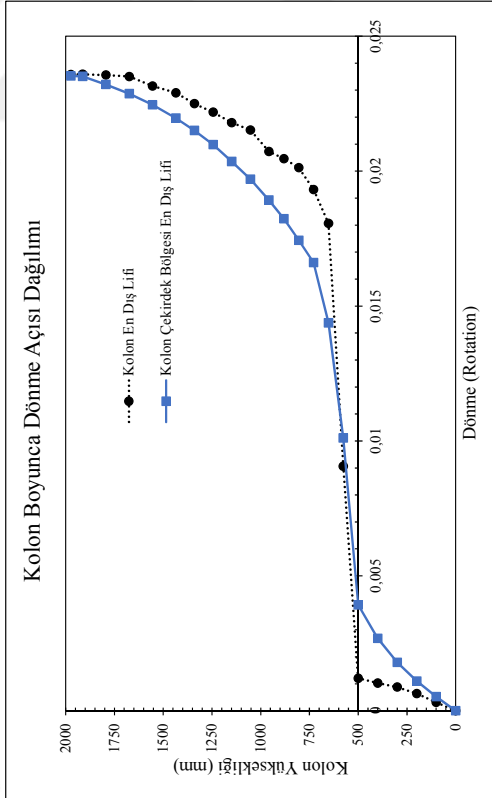
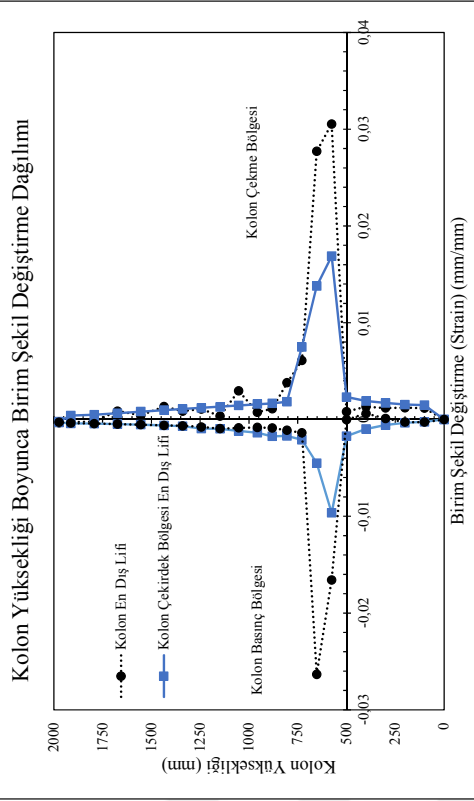
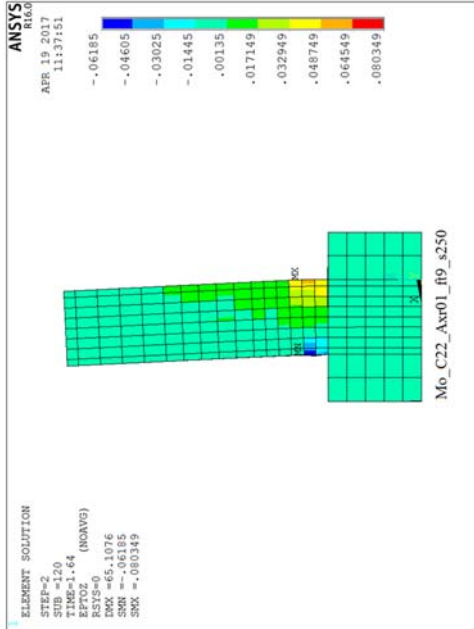


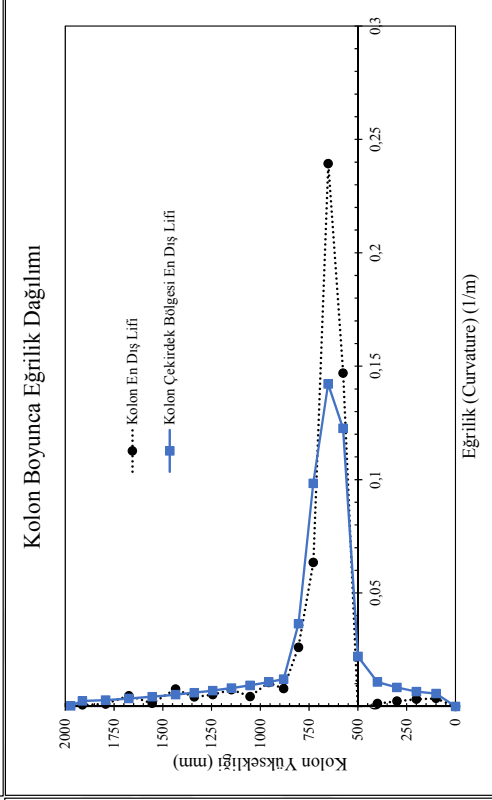
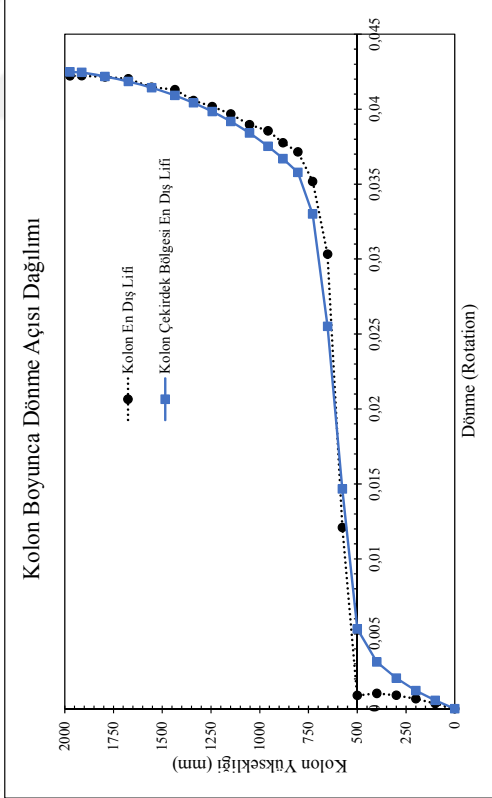
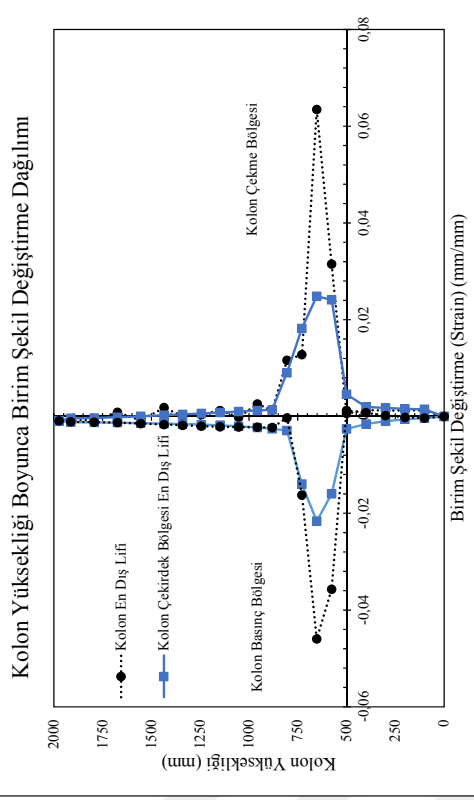
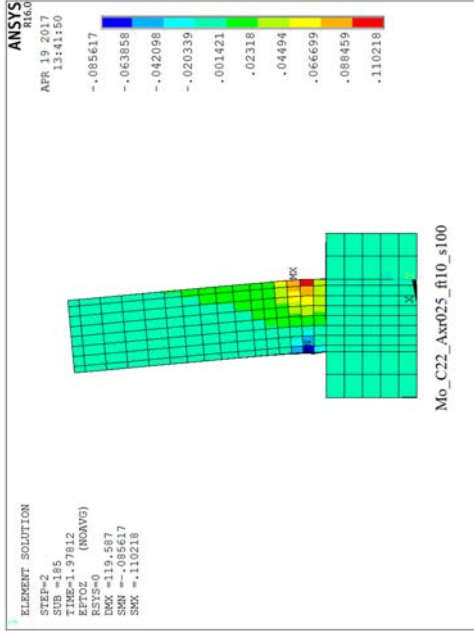
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Sezen and Moehle 2004 No. 4		457	457	1473	304.8	50.8	21	0.15	476	0.0247	0.0019
	10.1	457	457	1473	100	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0072
	10.2	457	457	1473	200	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0036
	10.3	457	457	1473	250	65.1	21	0.10	476	0.0247	0.0018
	10.4	457	457	1473	100	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0072
	10.5	457	457	1473	200	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0036
	10.6	457	457	1473	250	65.1	21	0.25	476	0.0247	0.0018
	10.7	457	457	1473	100	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0072
	10.8	457	457	1473	200	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0036
	10.9	457	457	1473	250	65.1	21	0.45	476	0.0247	0.0018

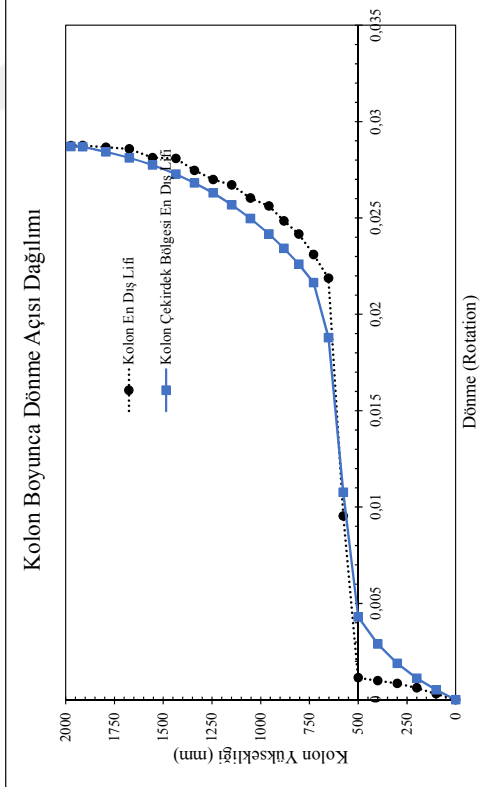
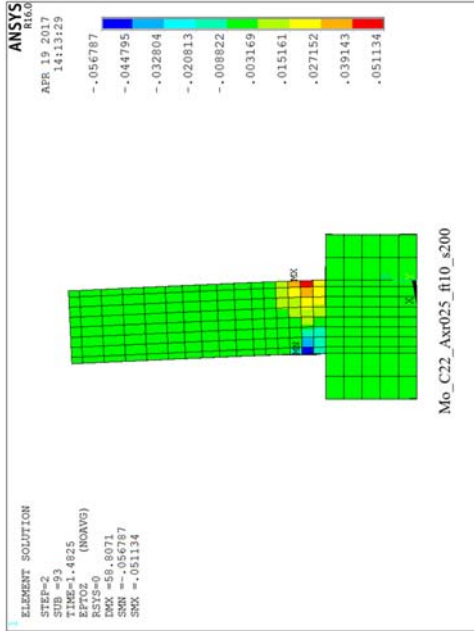
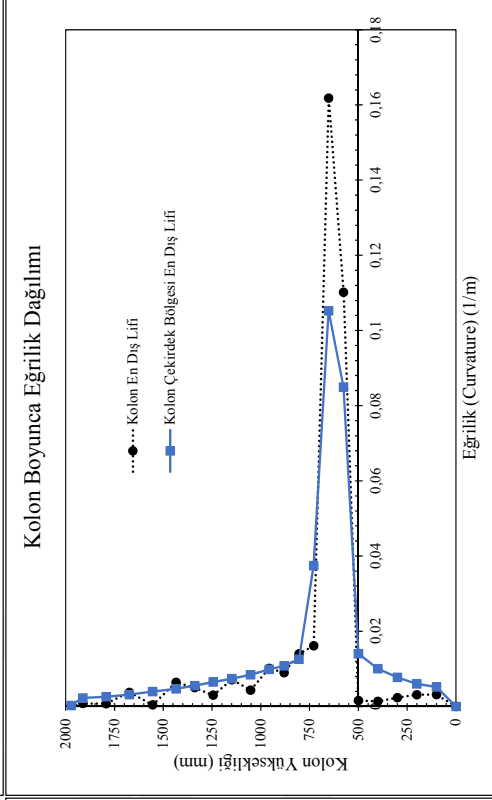
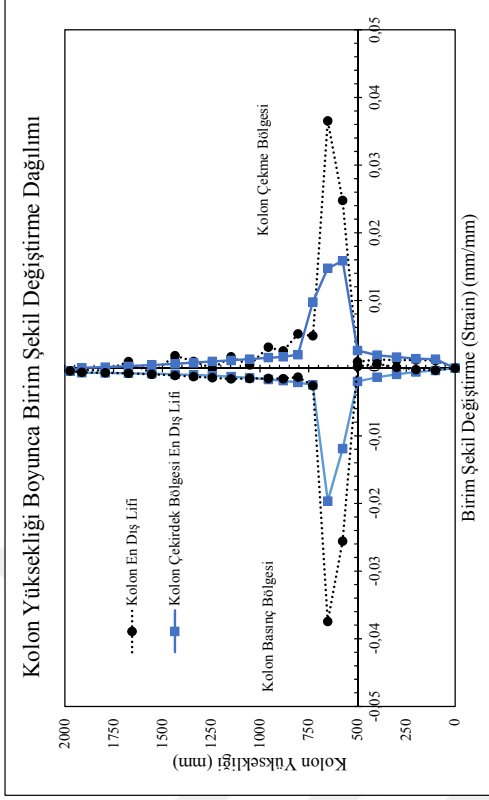


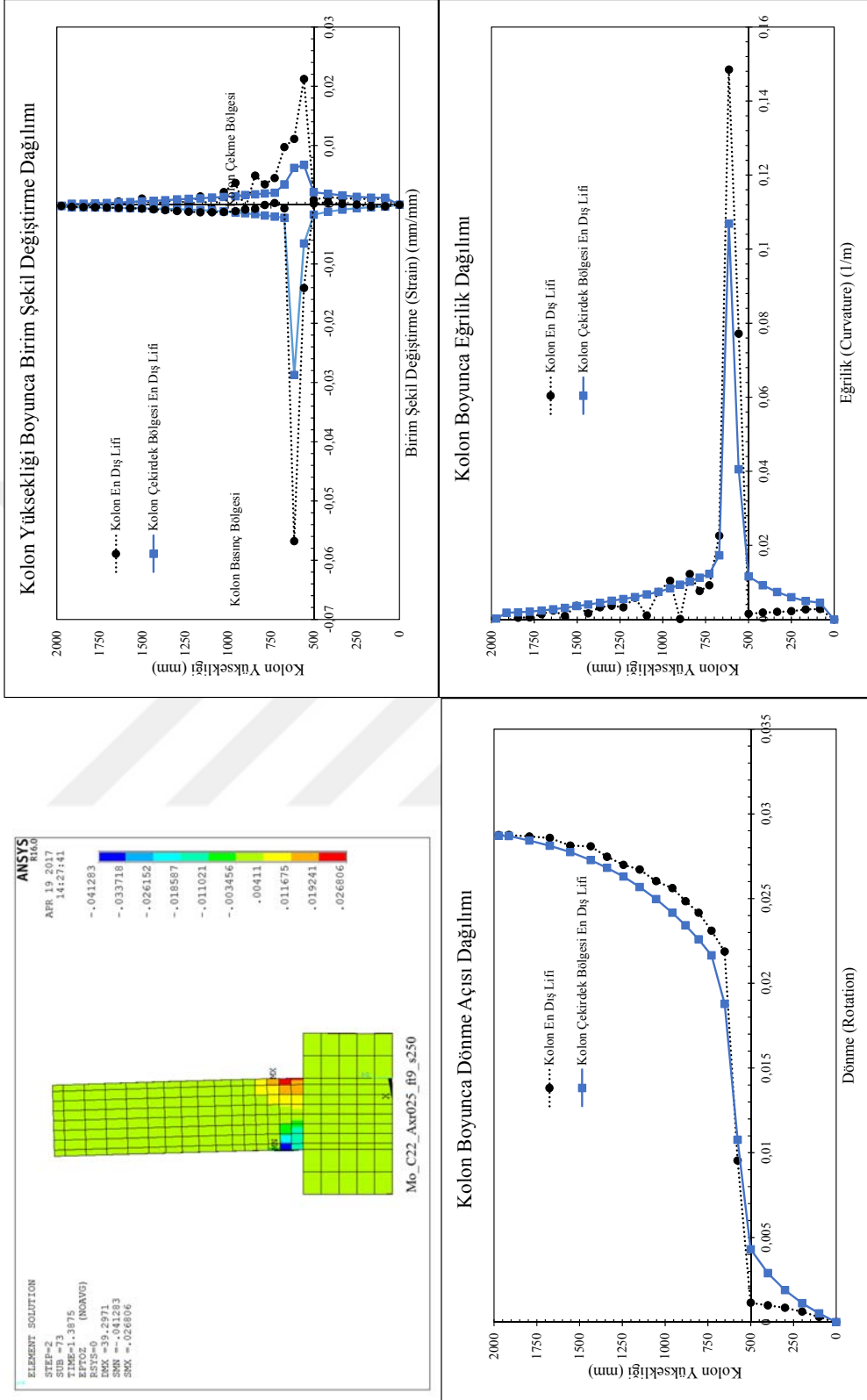


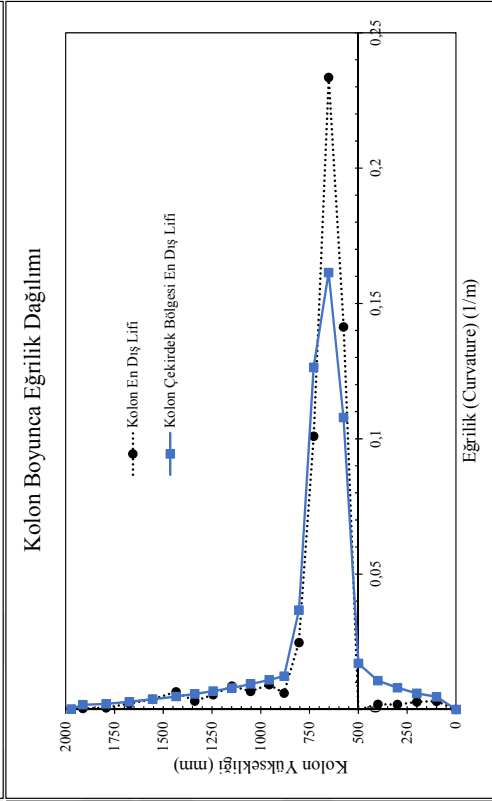
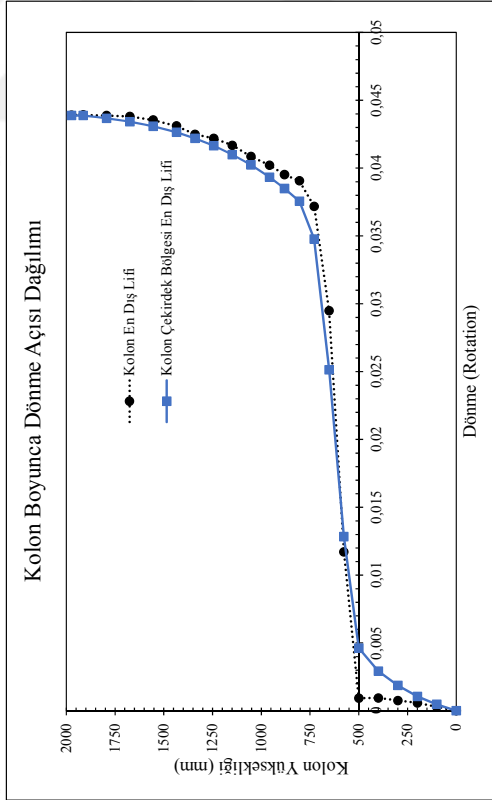
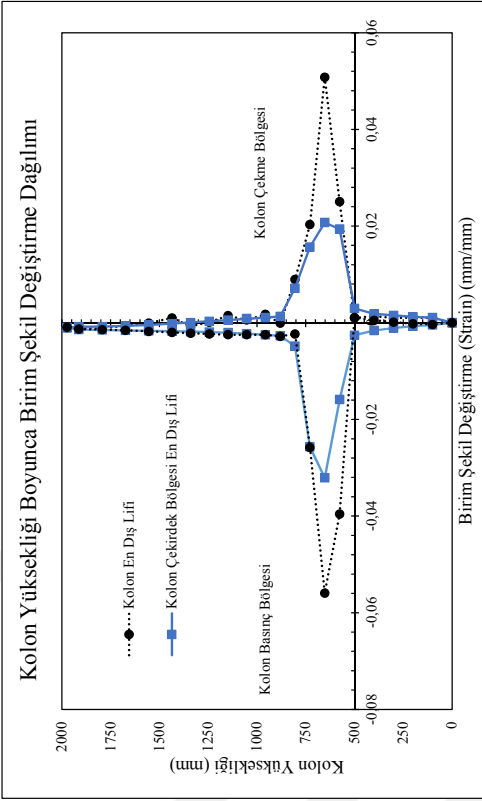
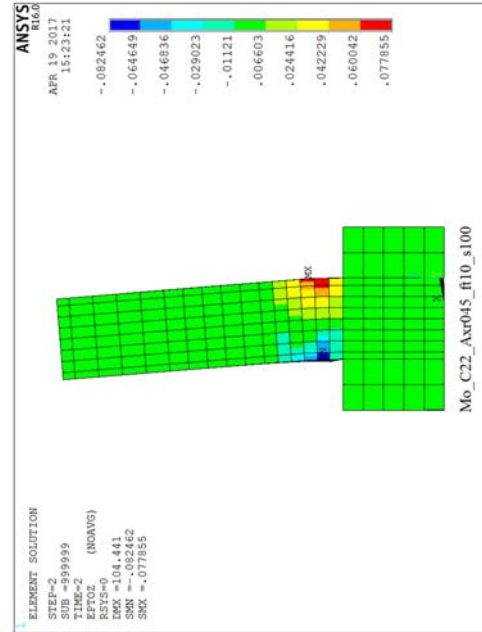


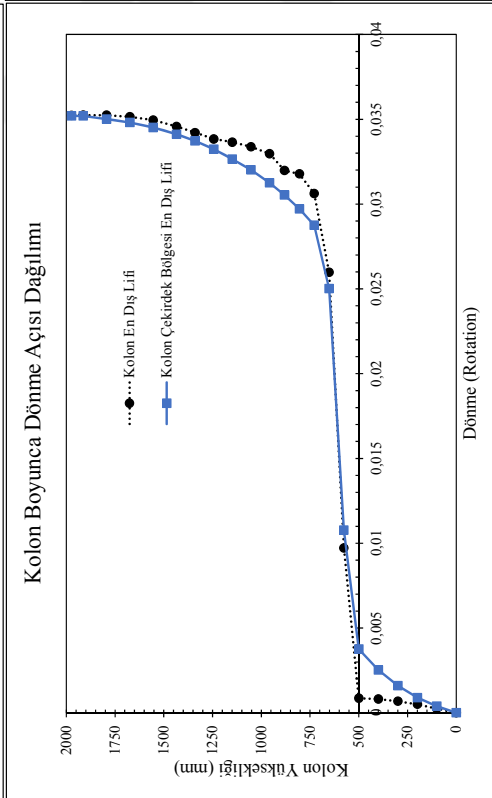
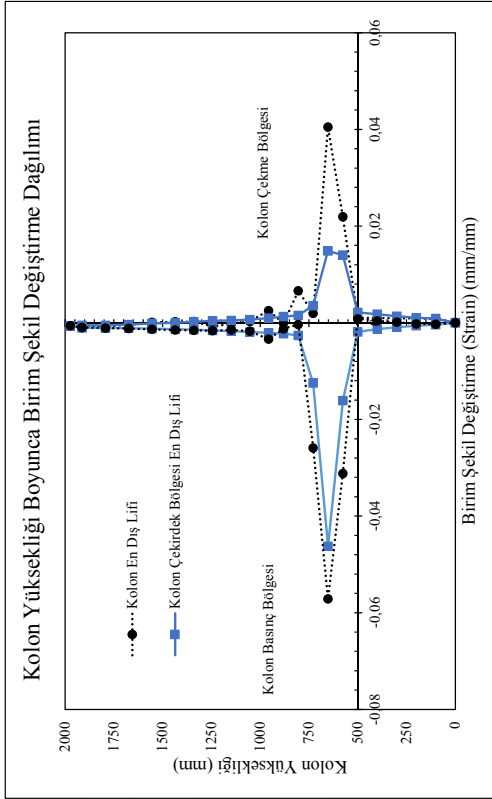
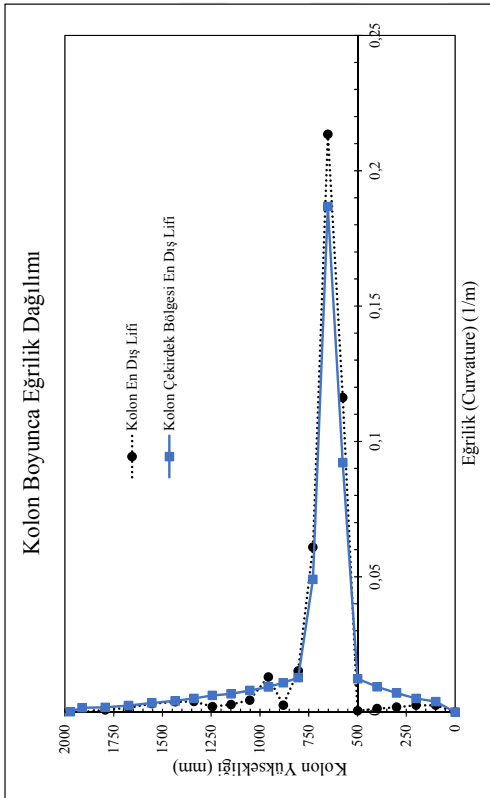
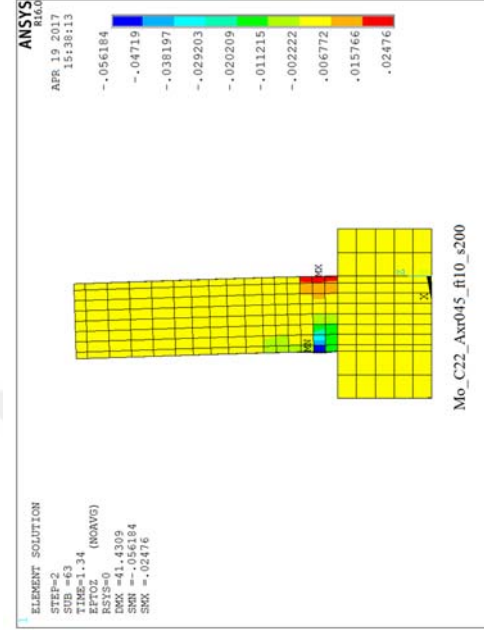


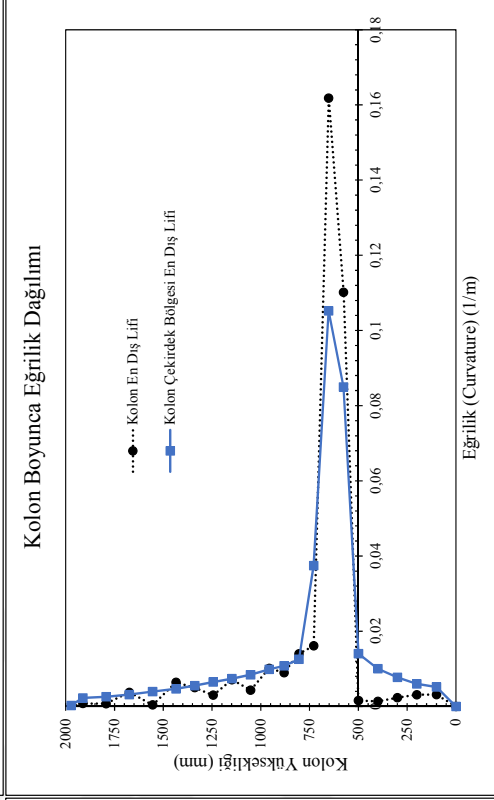
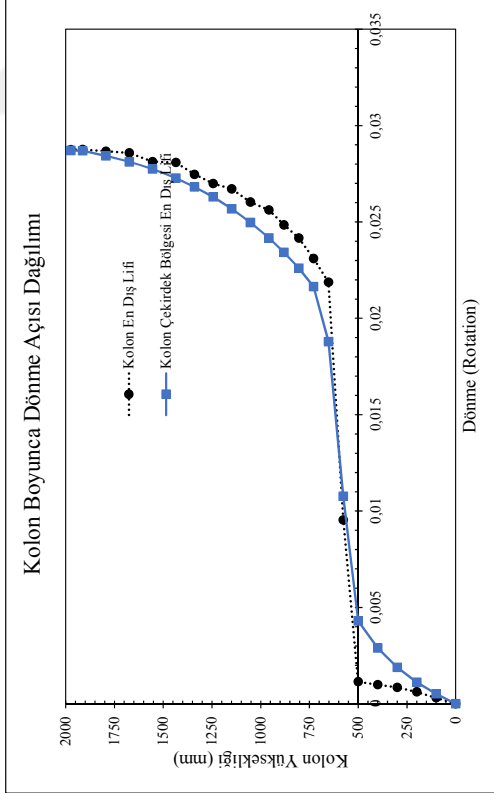
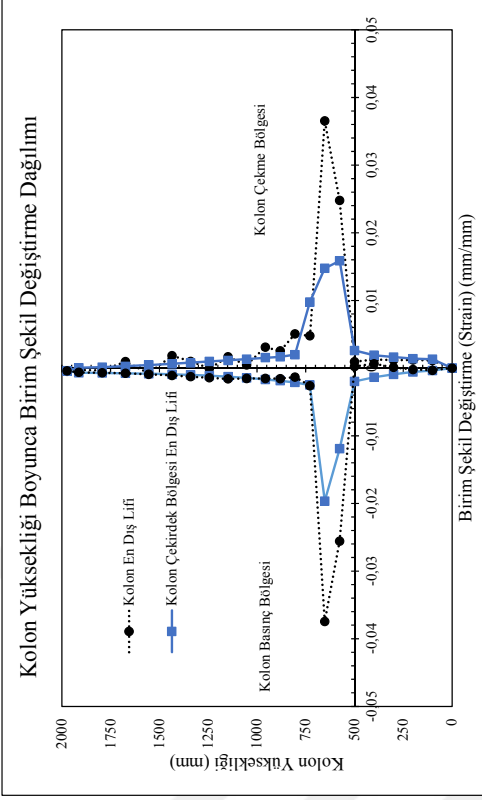
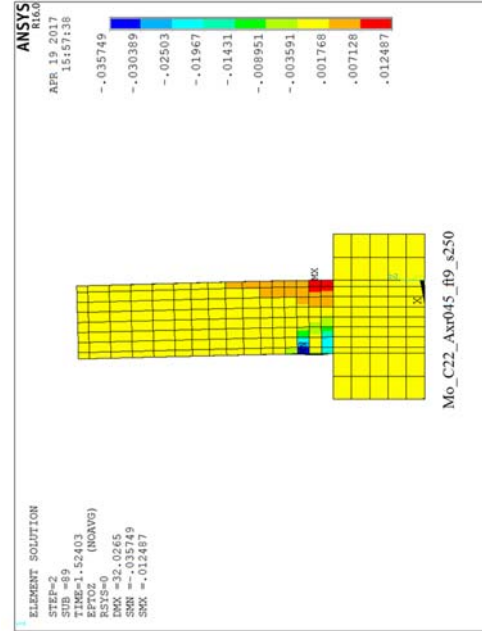


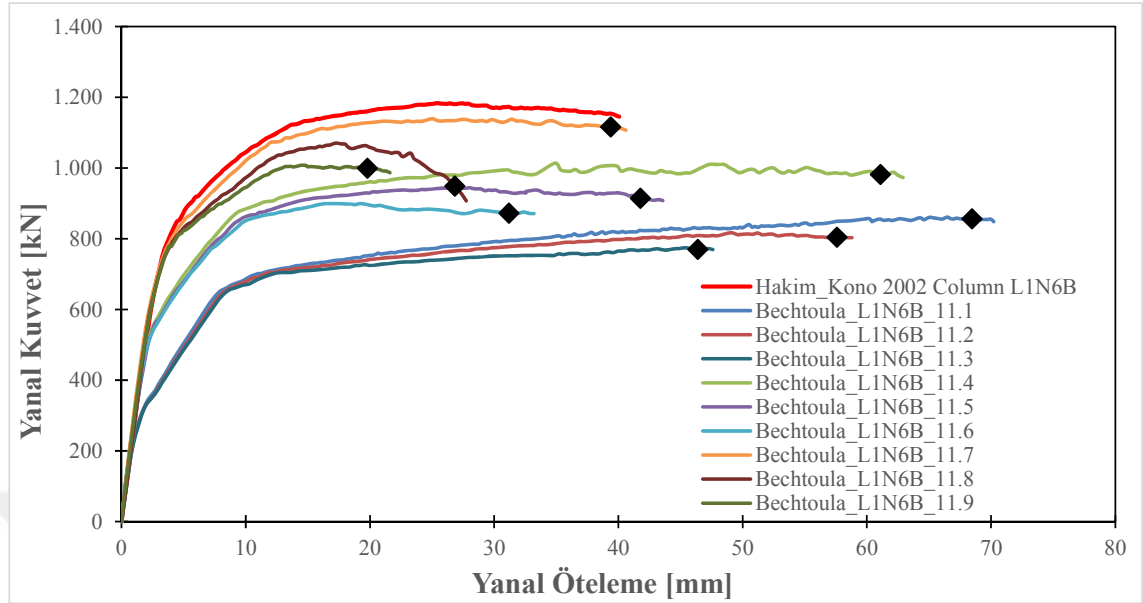






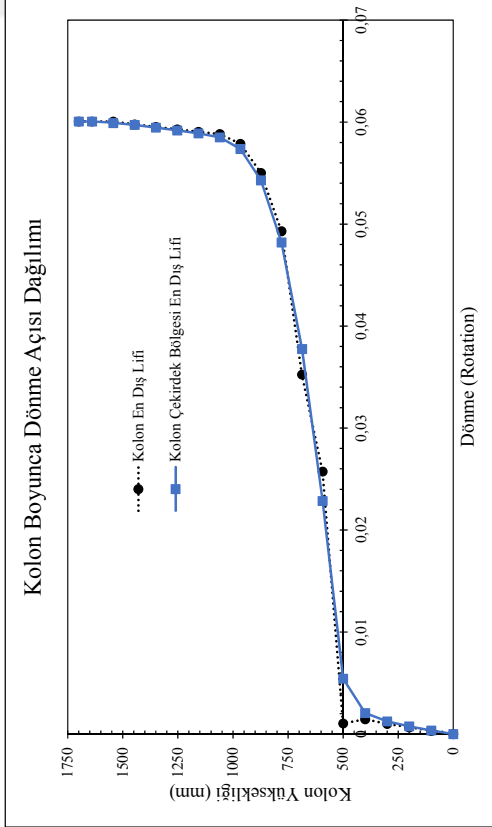
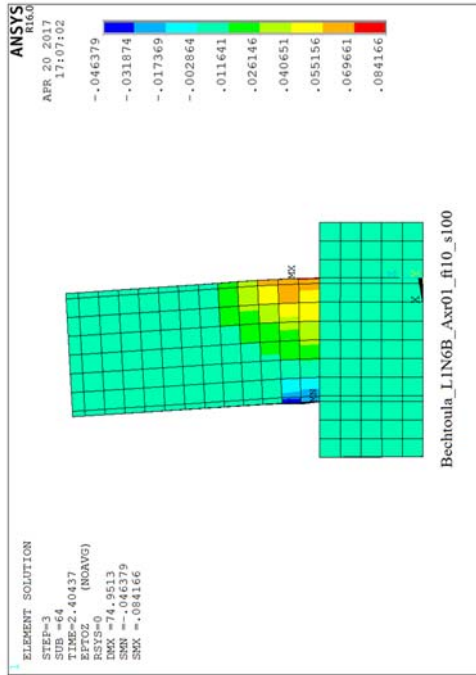
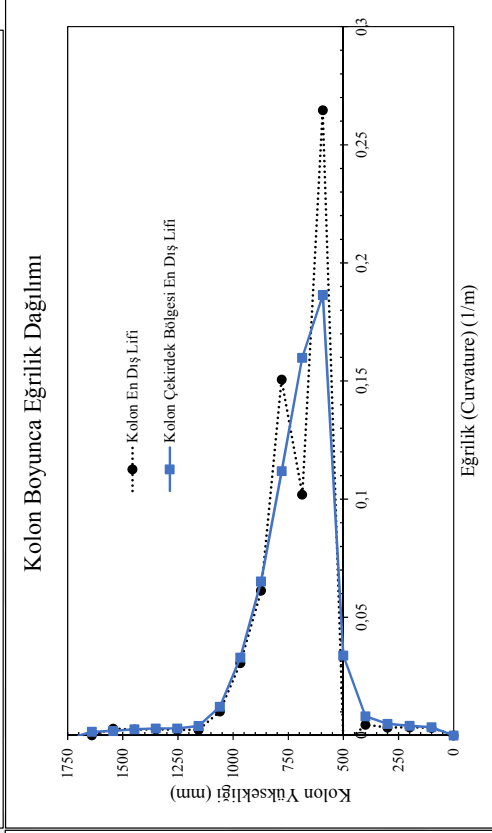
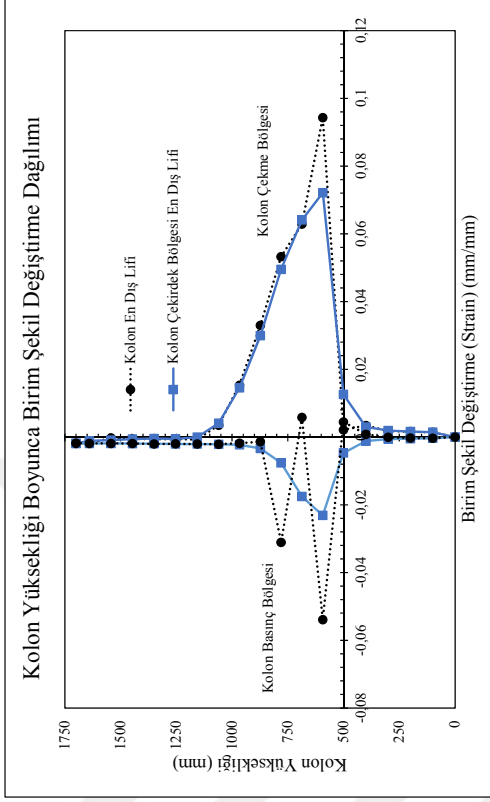


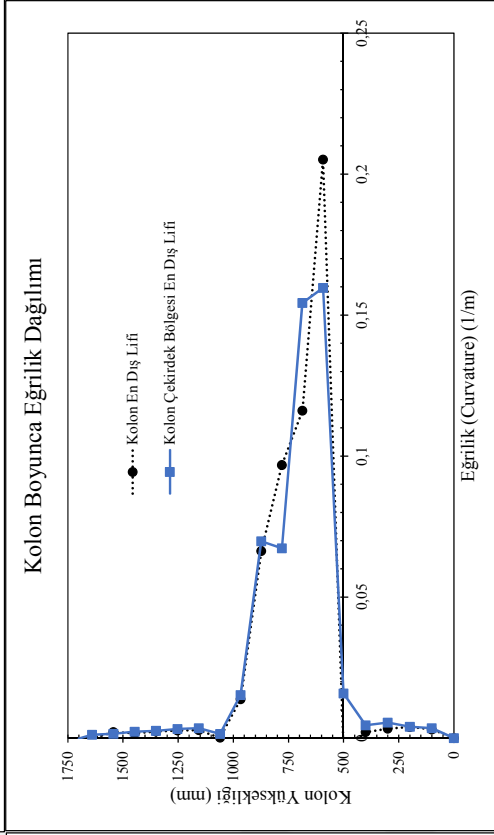
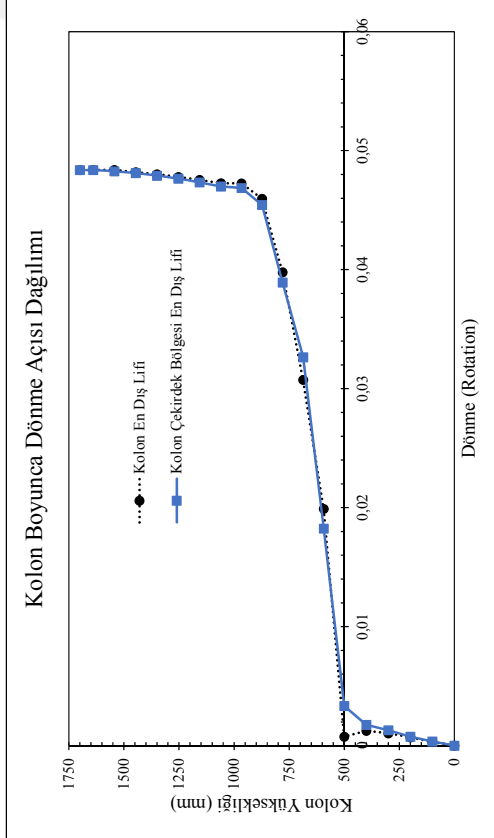
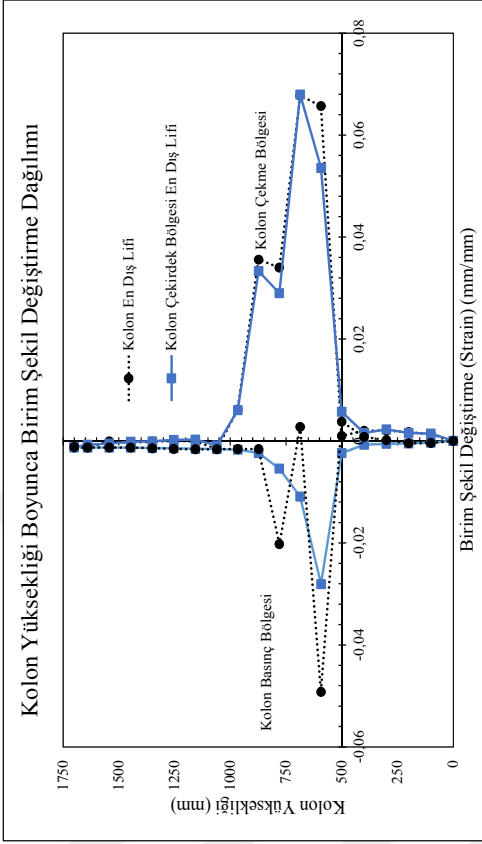
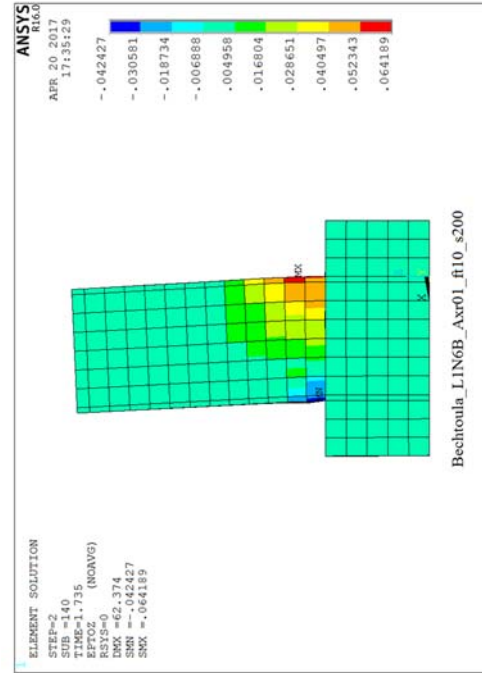


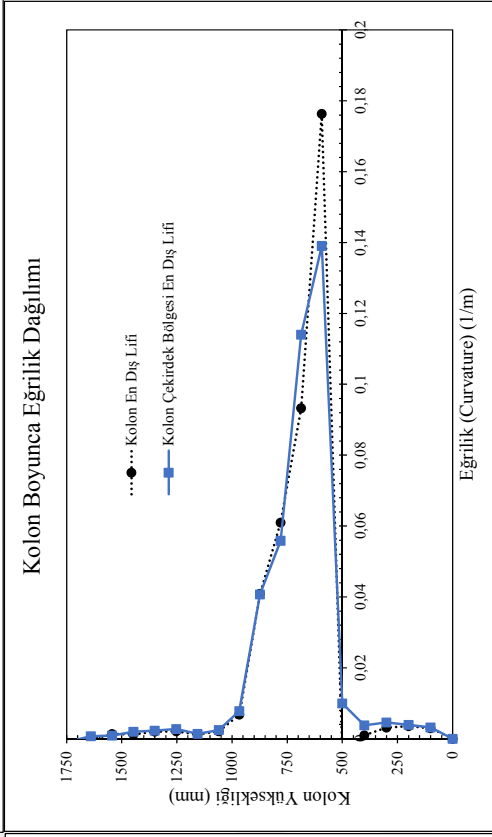
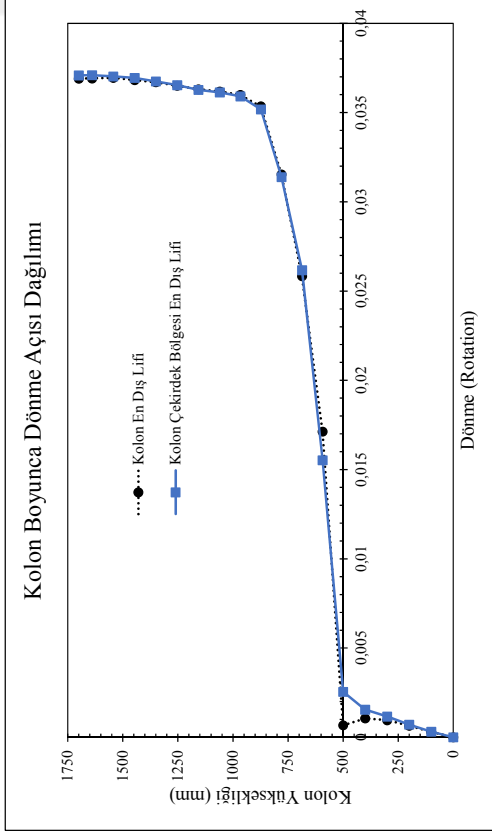
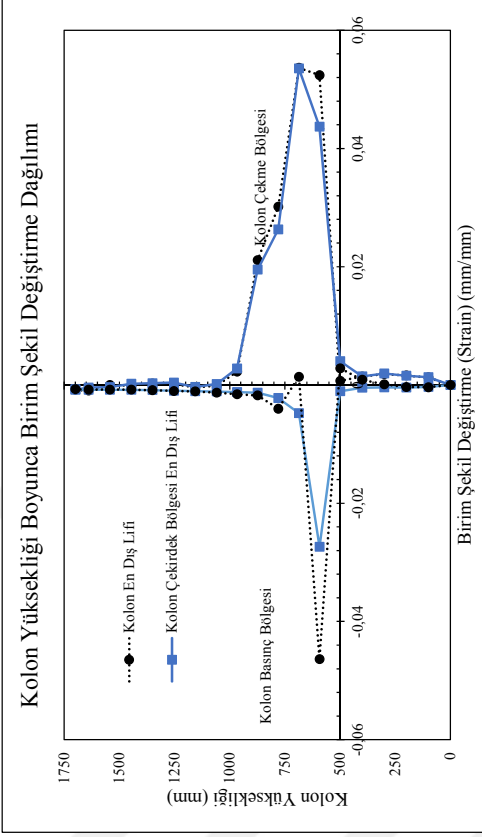
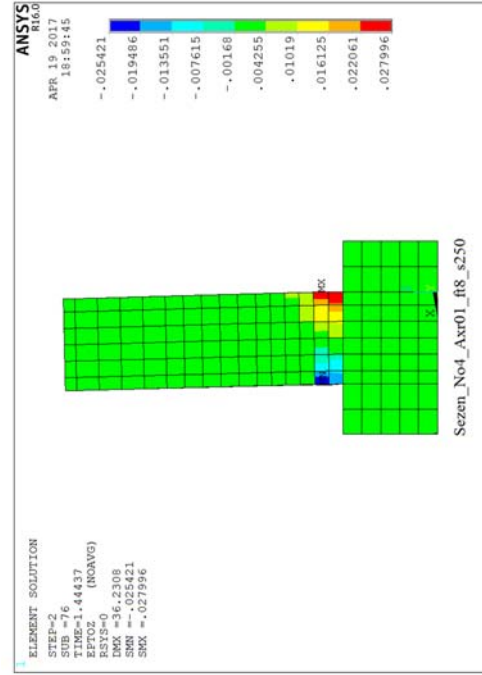


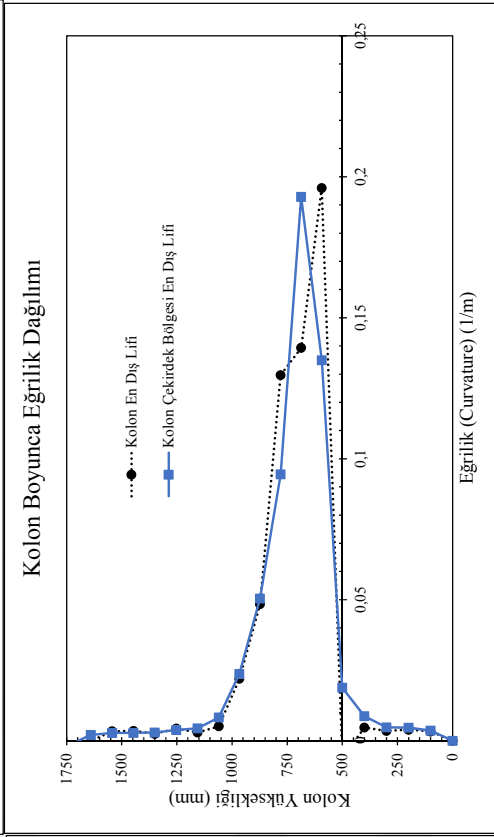
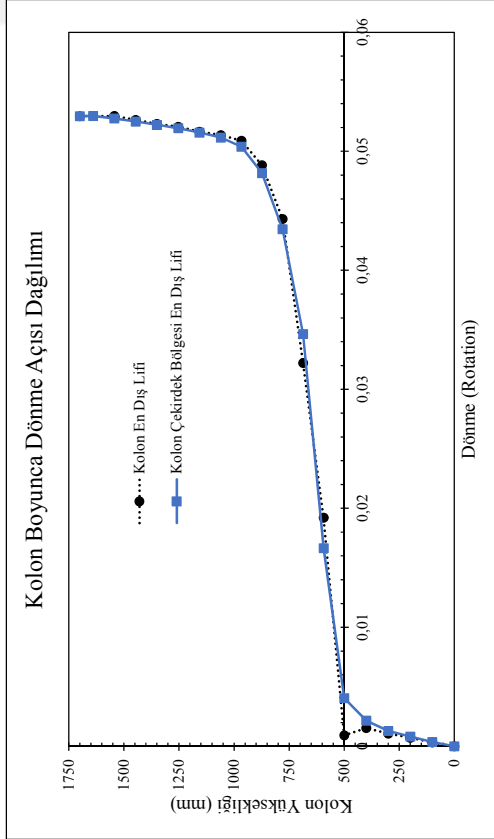
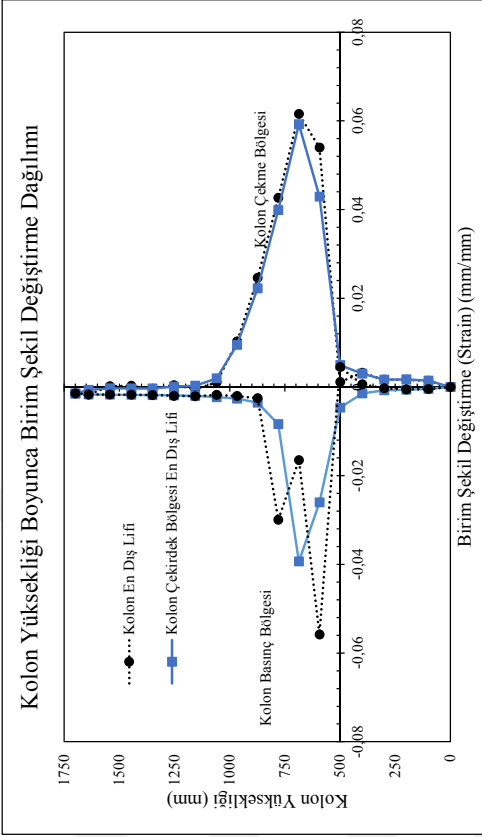
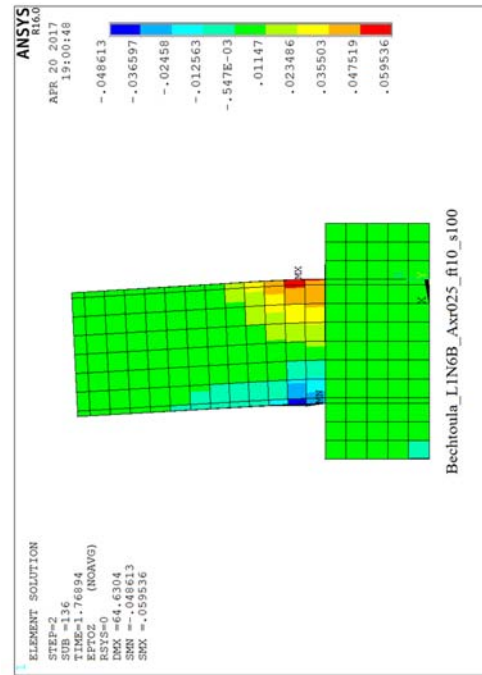
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Bechtoula. Kono. Arai and Watanabe. 2002. L1N6B	11.1	560	560	1200	100	31.8	32.2	0.59	524	0.0194	0.0102
	11.2	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.3	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0030
	11.4	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019
	11.5	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.6	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0030
	11.7	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019
	11.8	560	560	1200	100	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0061
	11.9	560	560	1200	200	24.5	35	0.10	524	0.0194	0.0019

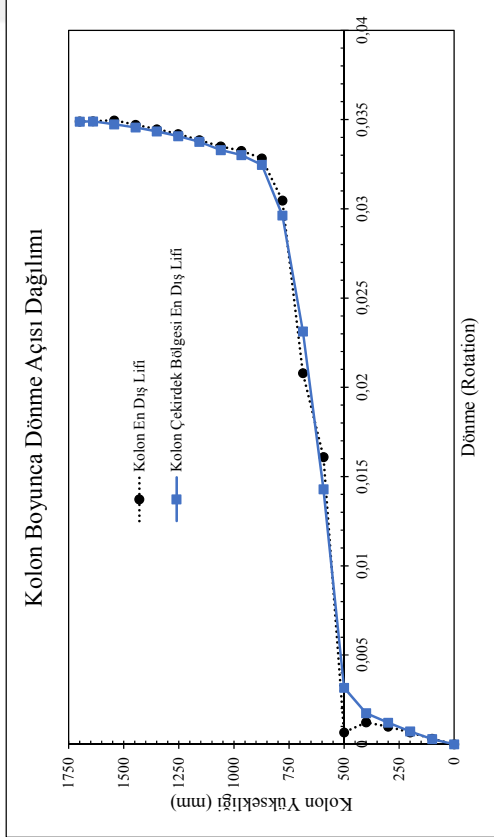
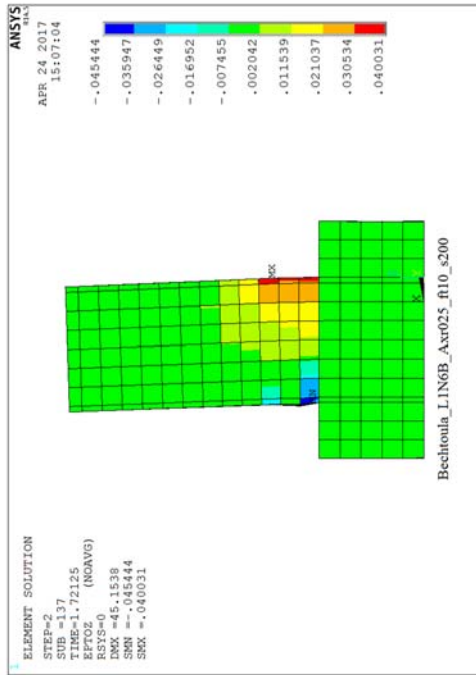
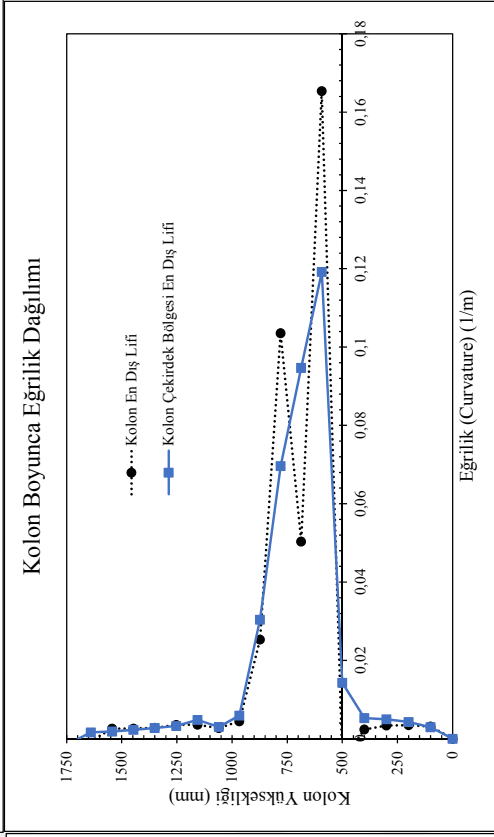
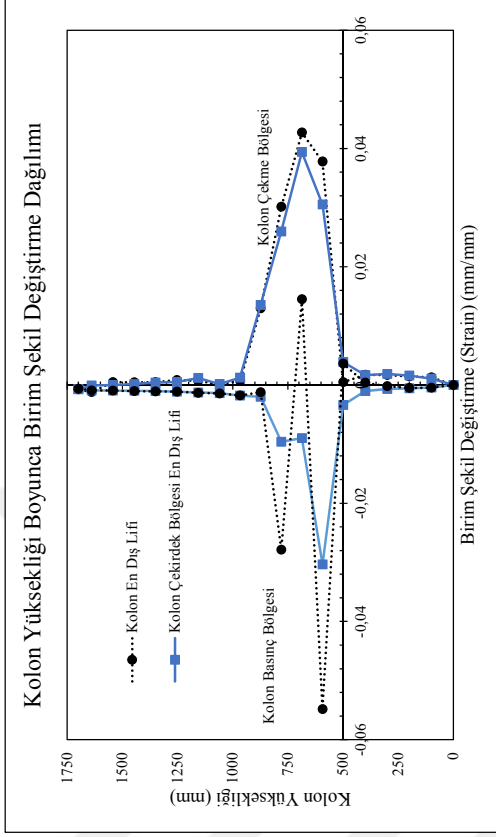


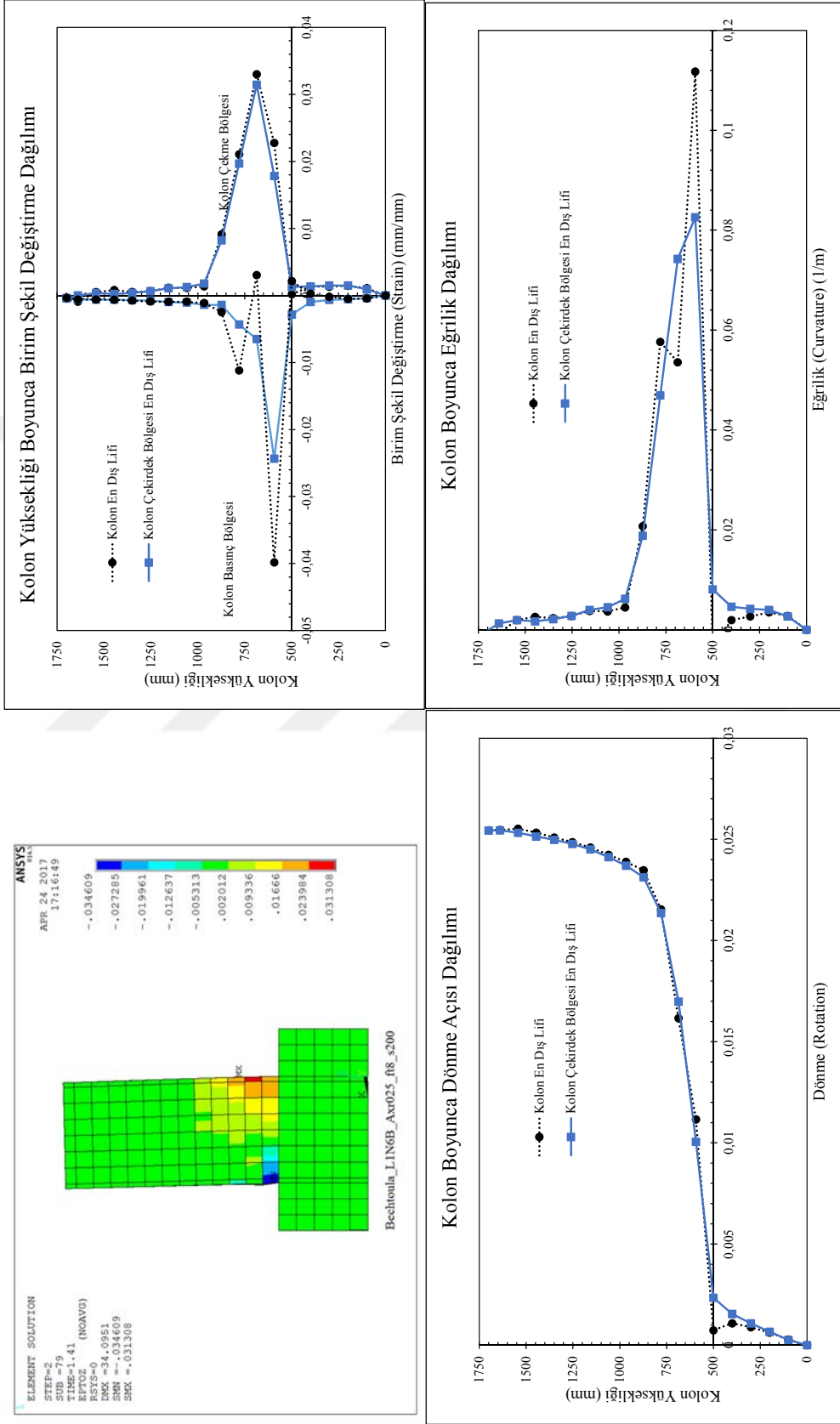


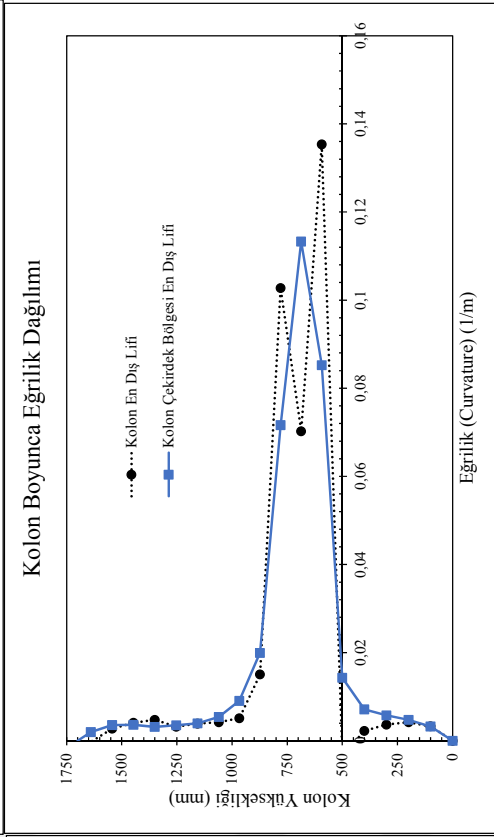
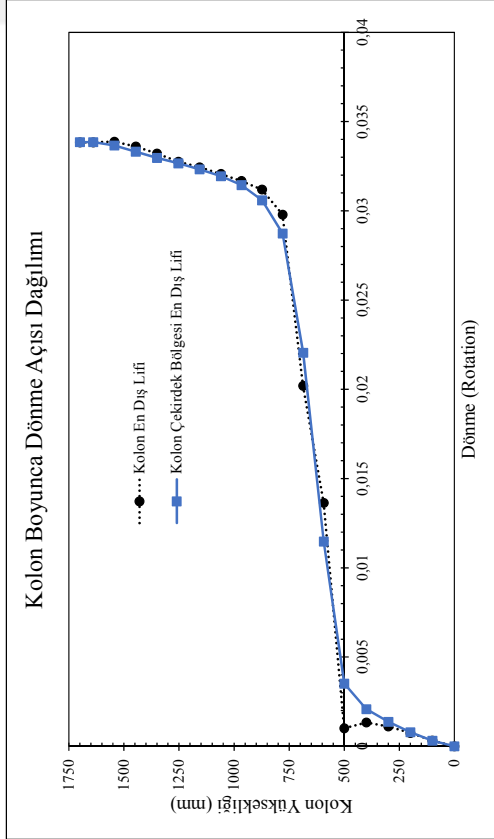
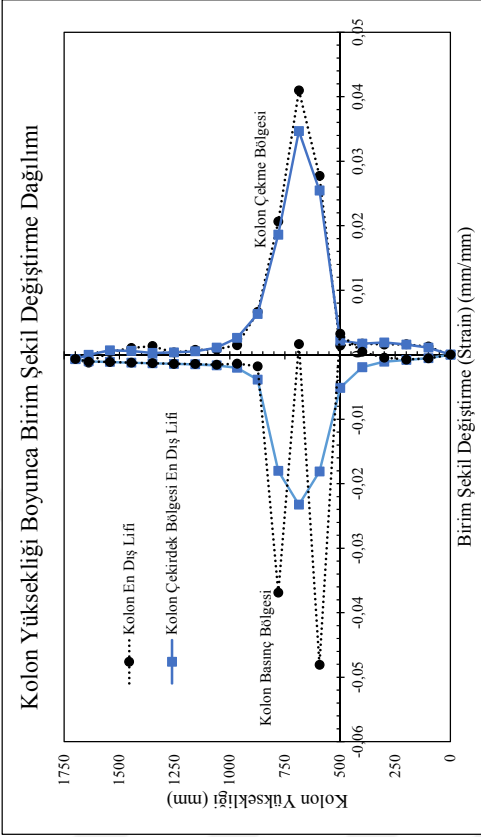
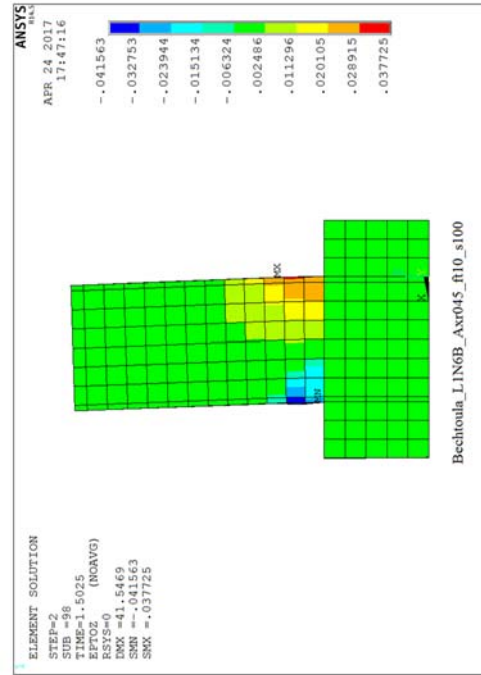


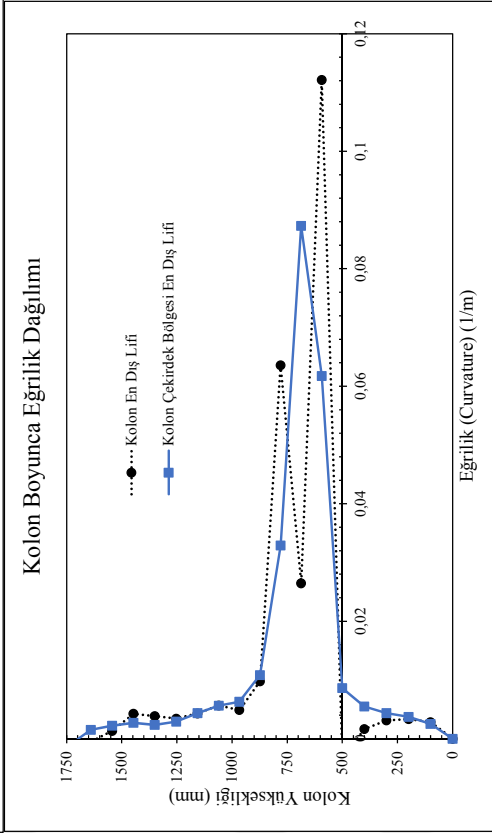
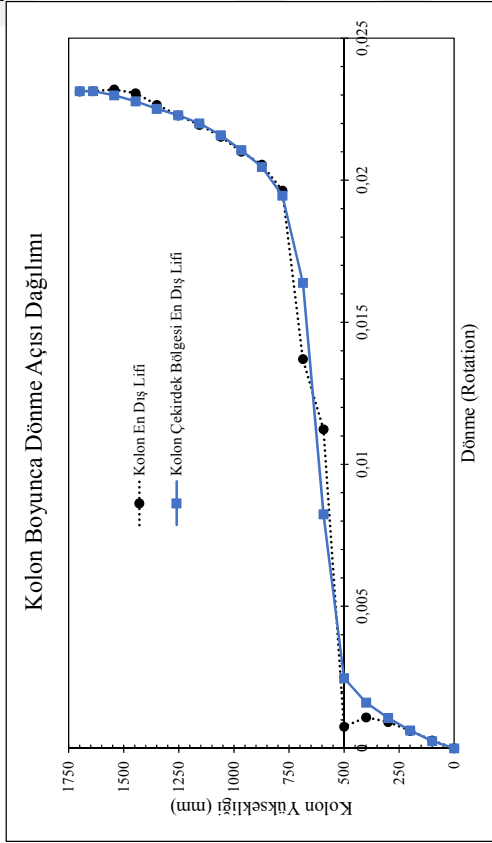
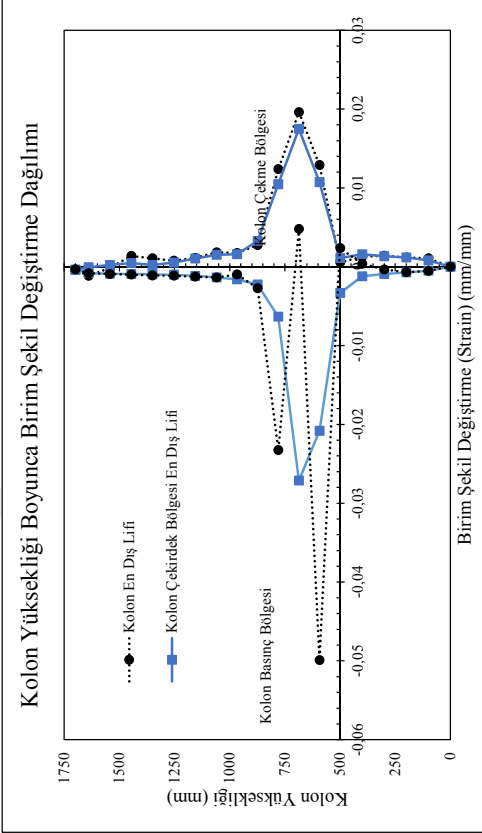
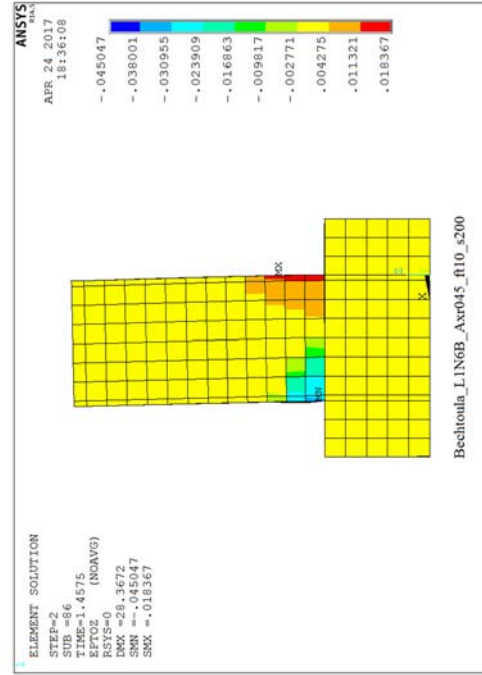




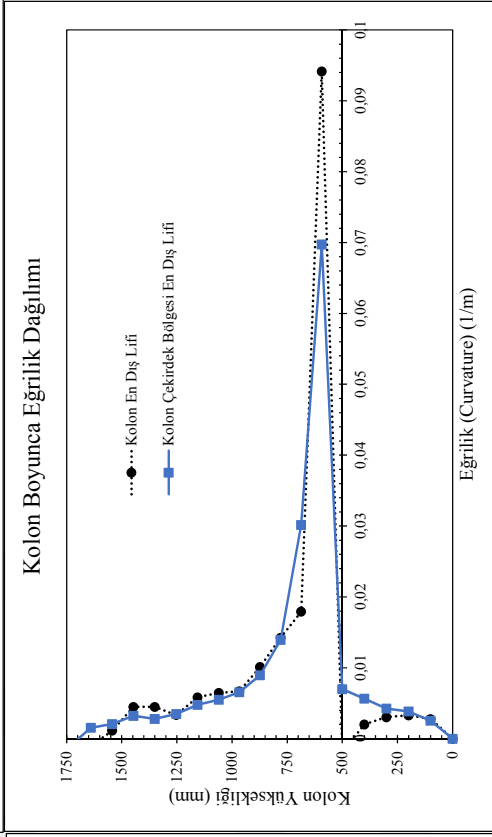
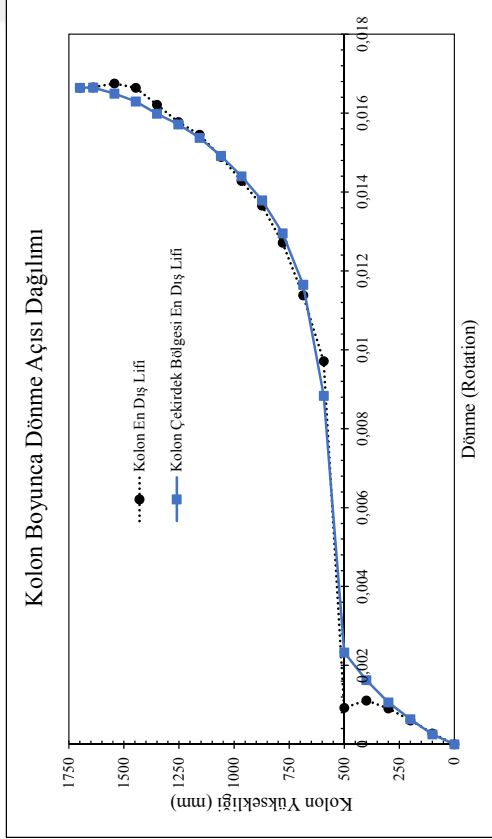
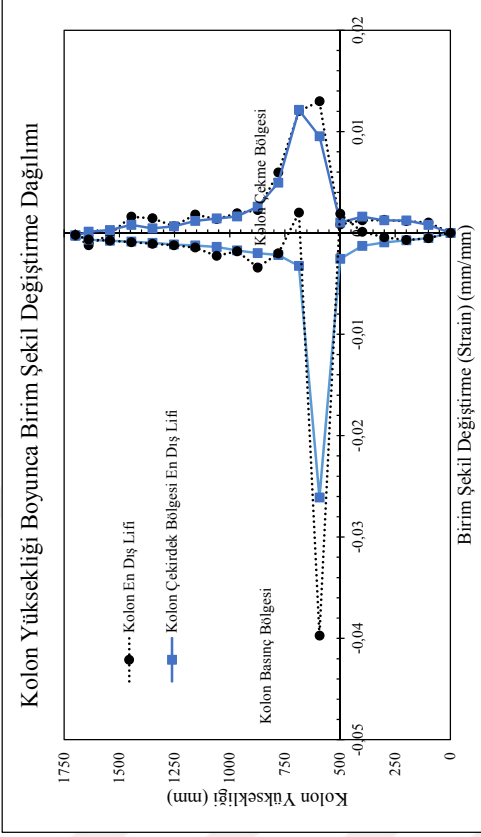
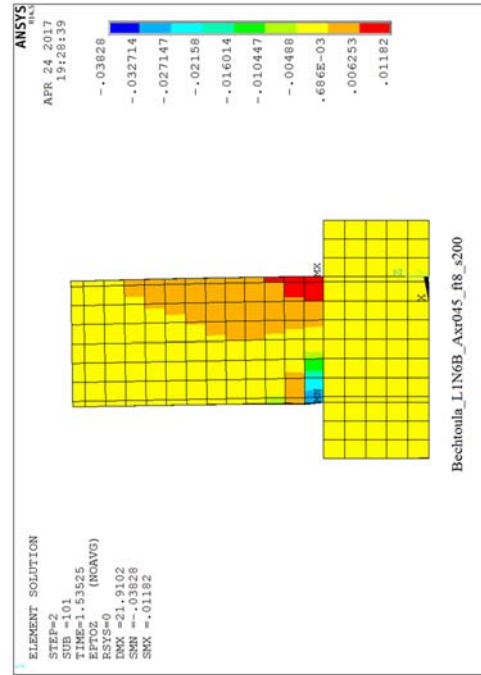


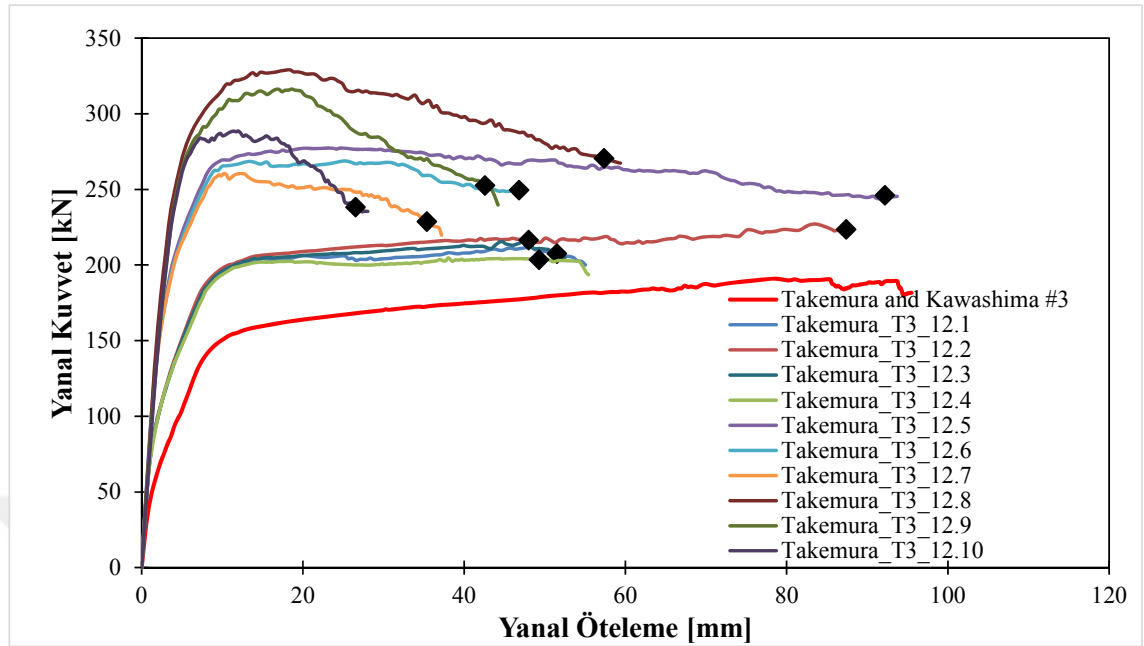




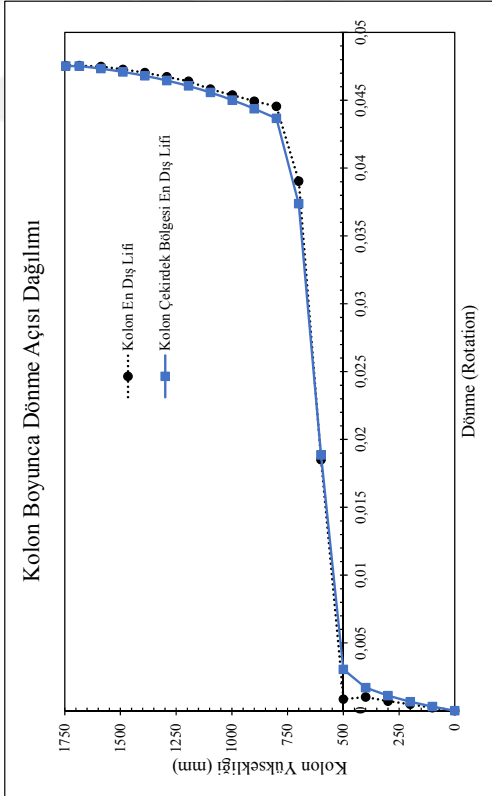
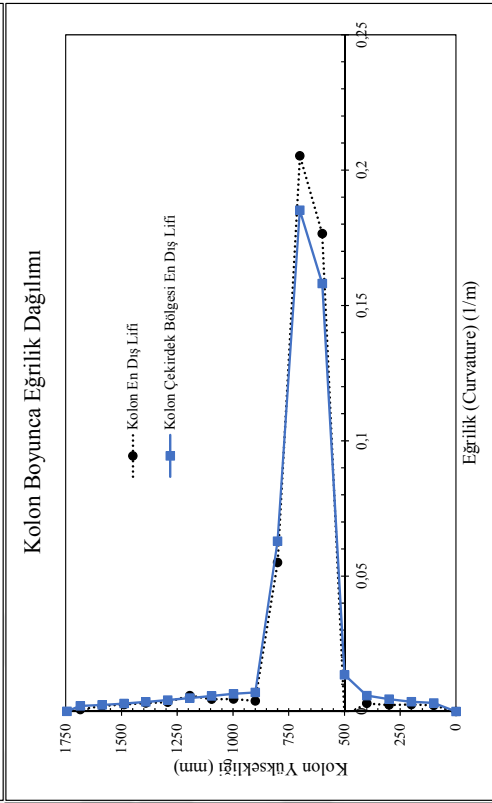
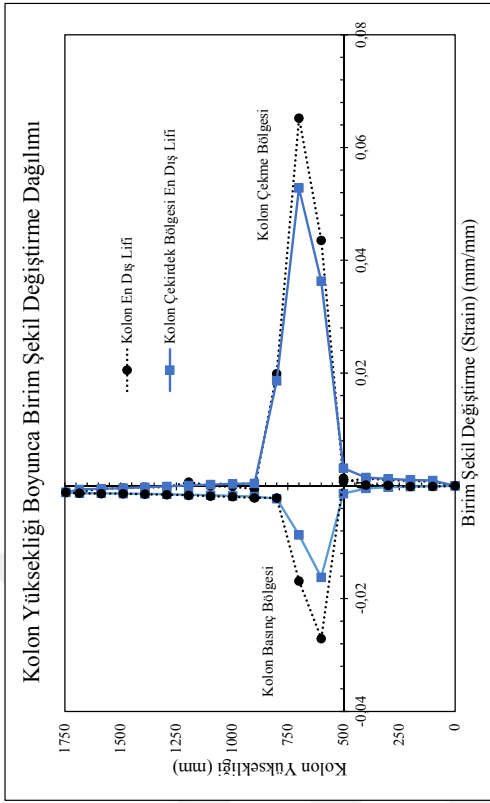
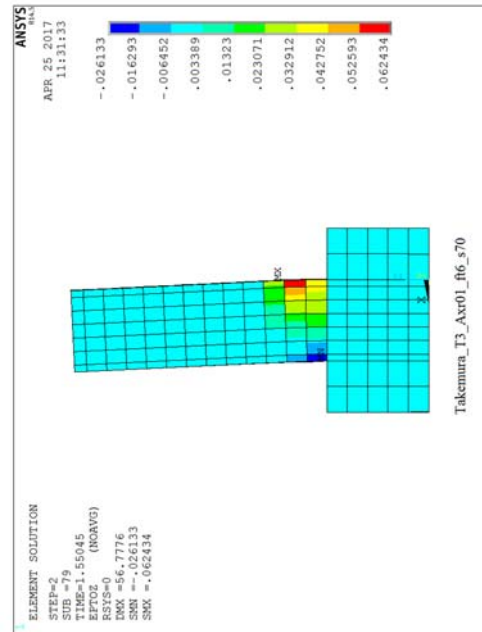


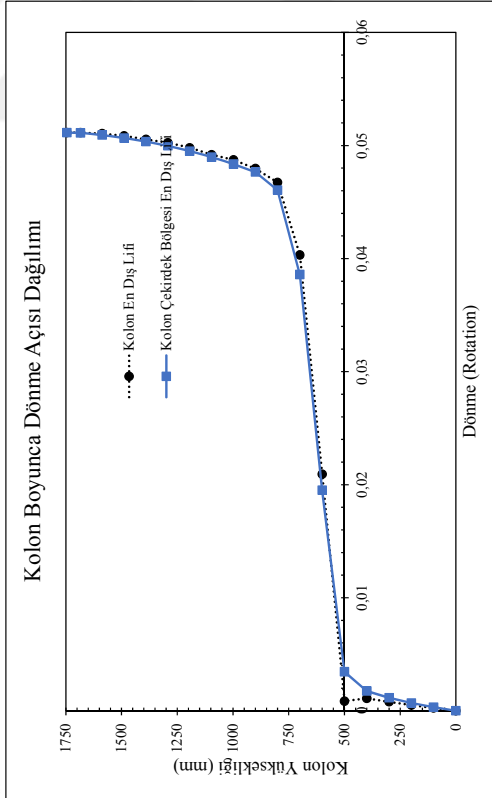
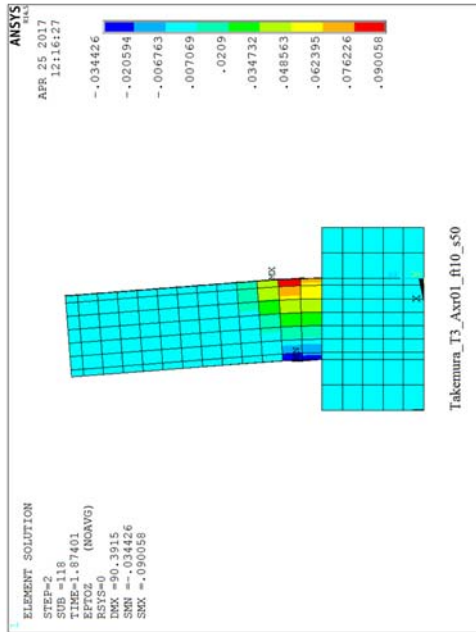
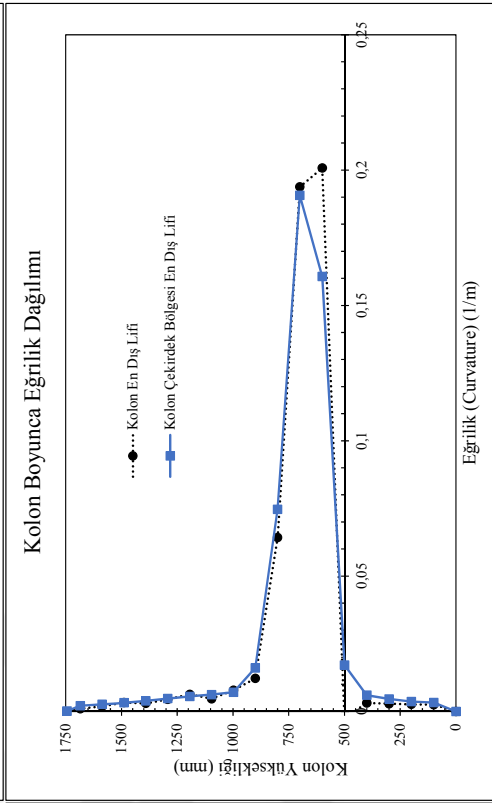
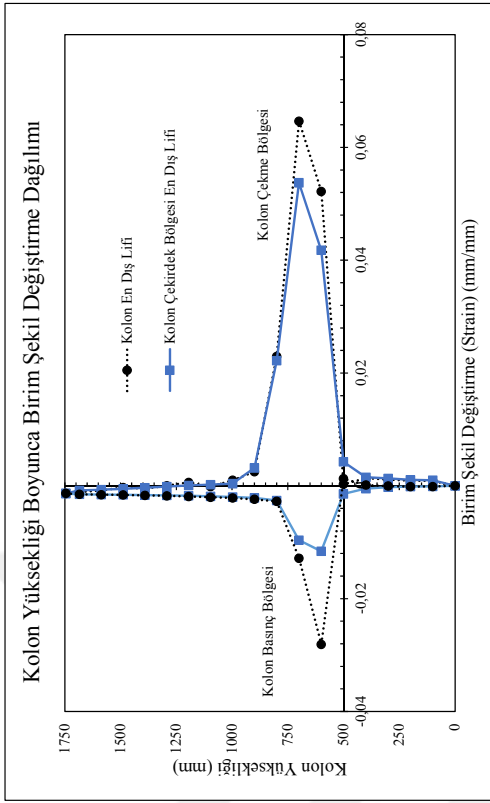


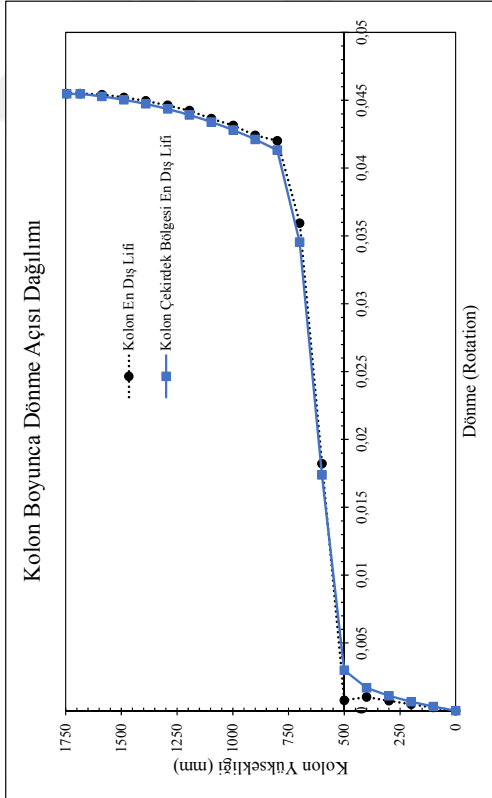
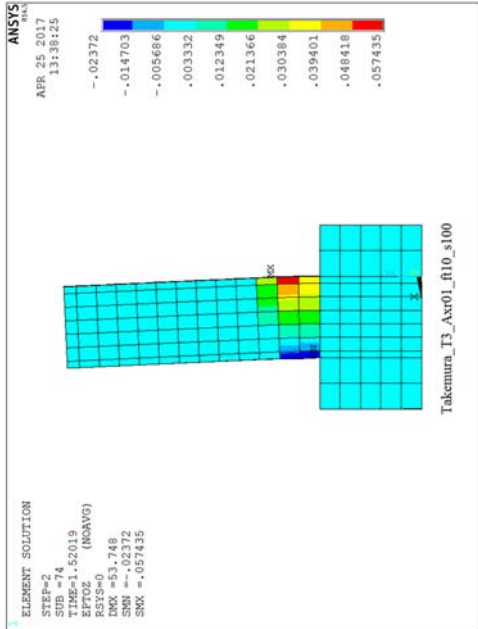
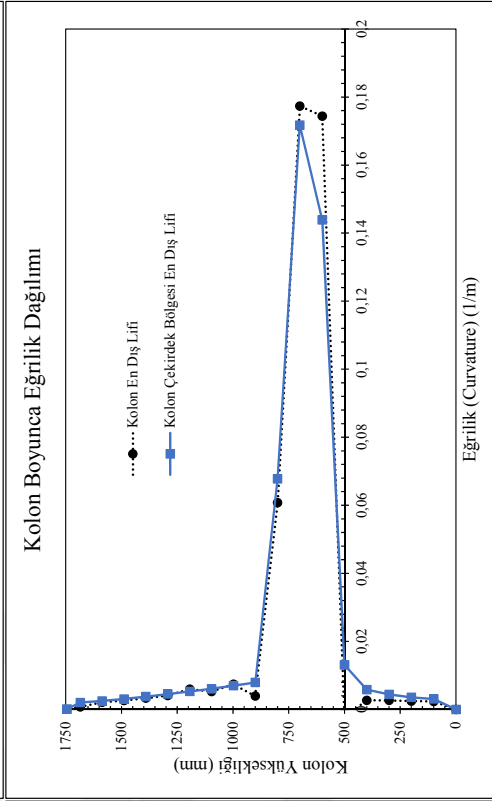
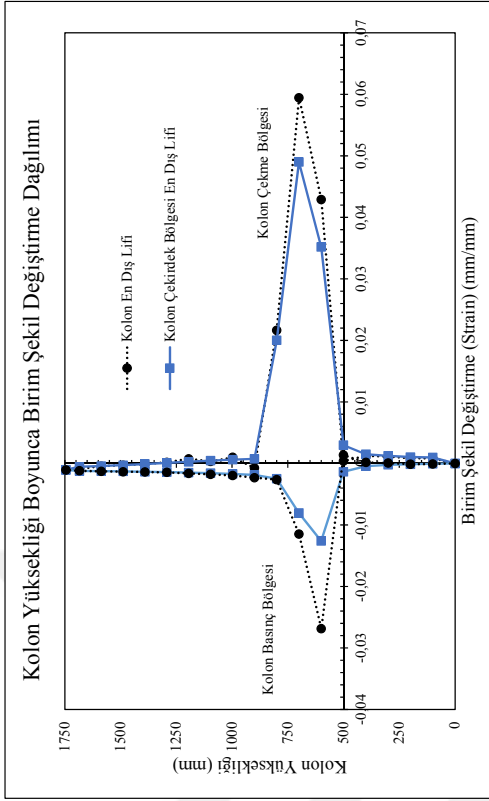


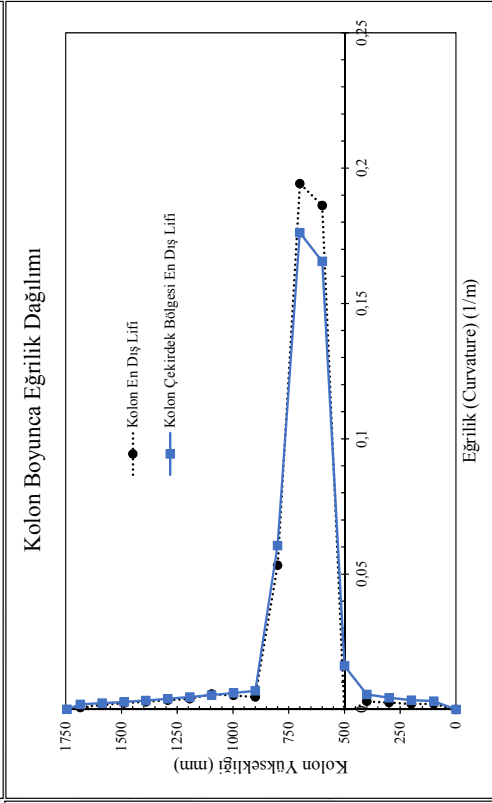
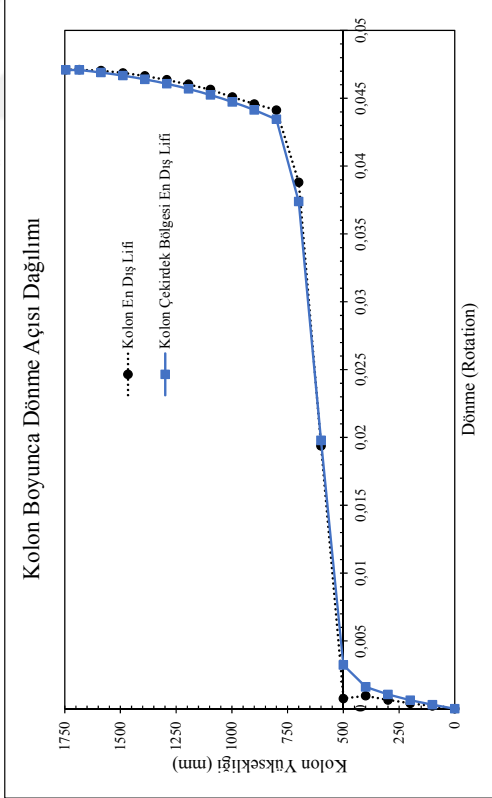
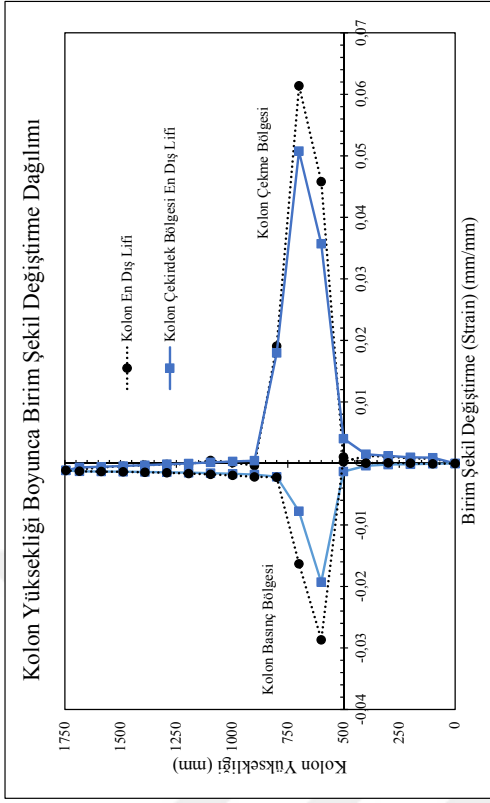
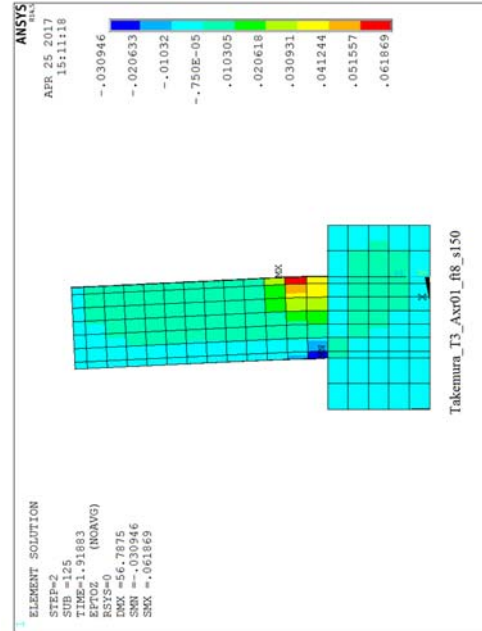


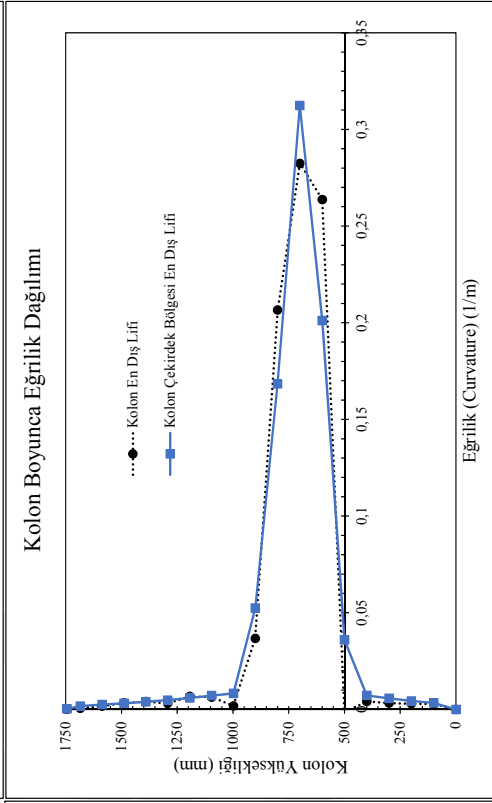
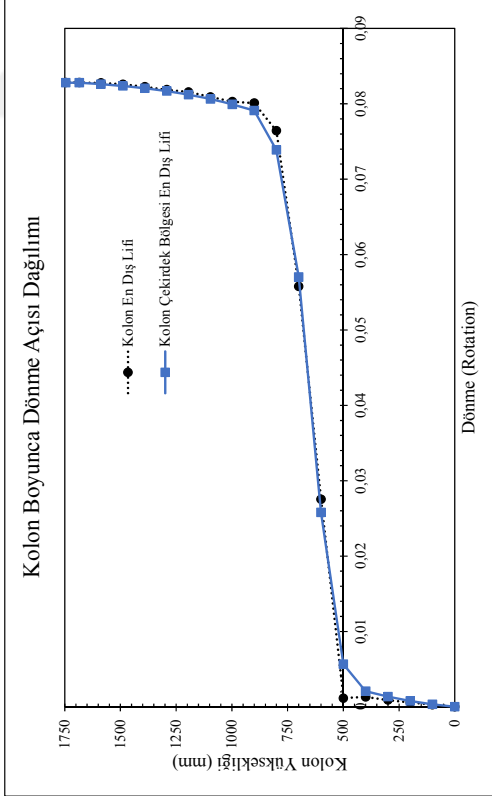
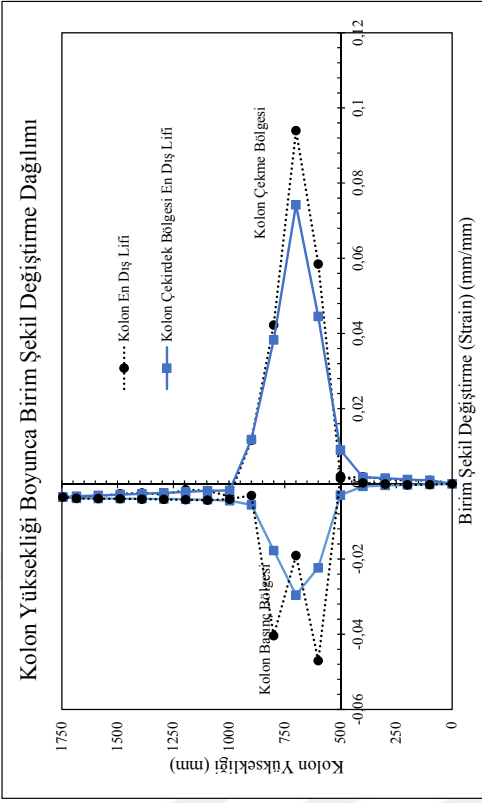
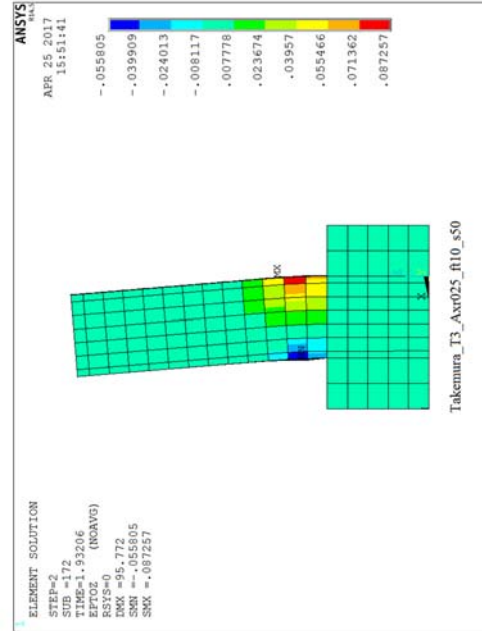
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Takemura and Kawashima. 1997. Test 3 (JSCE-6)	12.1	400	400	1245	70	31.8	34.3	0.03	368	0.0158	0.0024
	12.2	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0093
	12.3	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0046
	12.4	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.10	368	0.0158	0.0019
	12.5	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0093
	12.6	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0046
	12.7	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.25	368	0.0158	0.0019
	12.8	400	400	1245	50	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0093
	12.9	400	400	1245	100	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0046
	12.10	400	400	1245	150	31.8	34.3	0.45	368	0.0158	0.0019

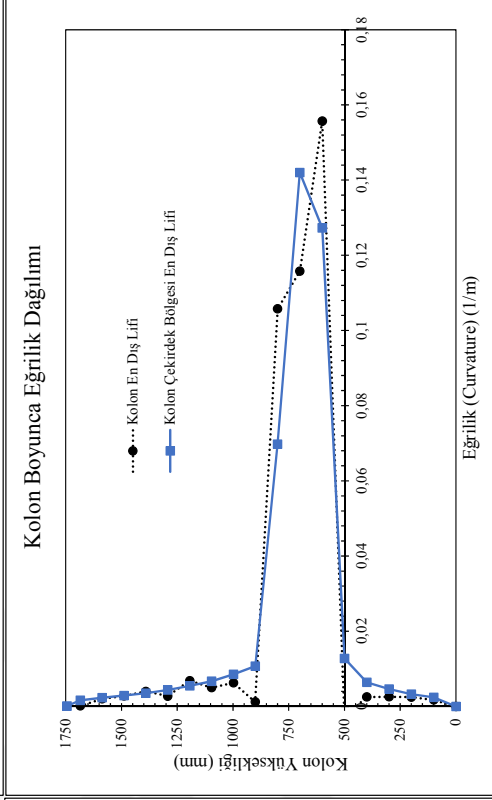
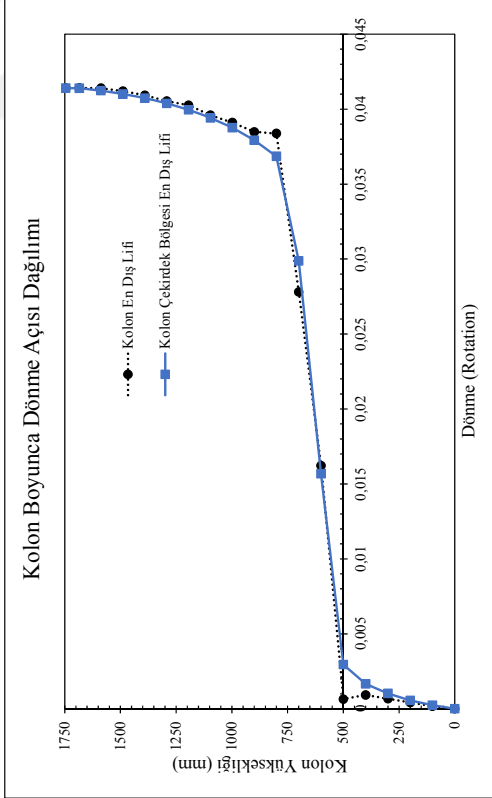
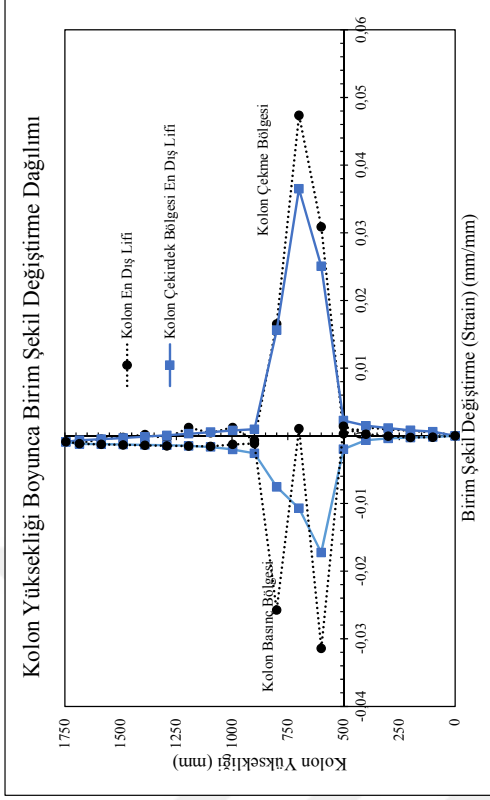
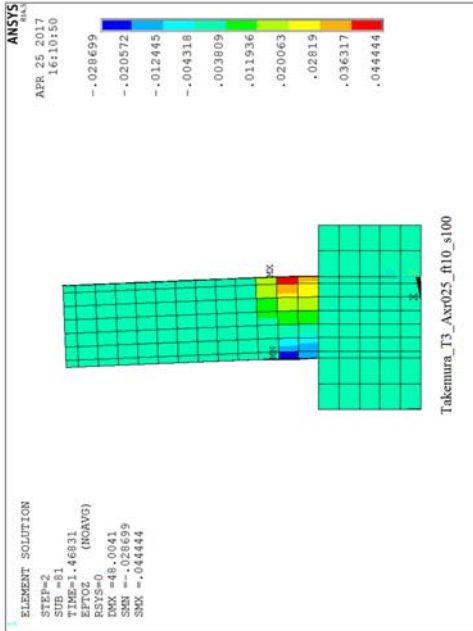




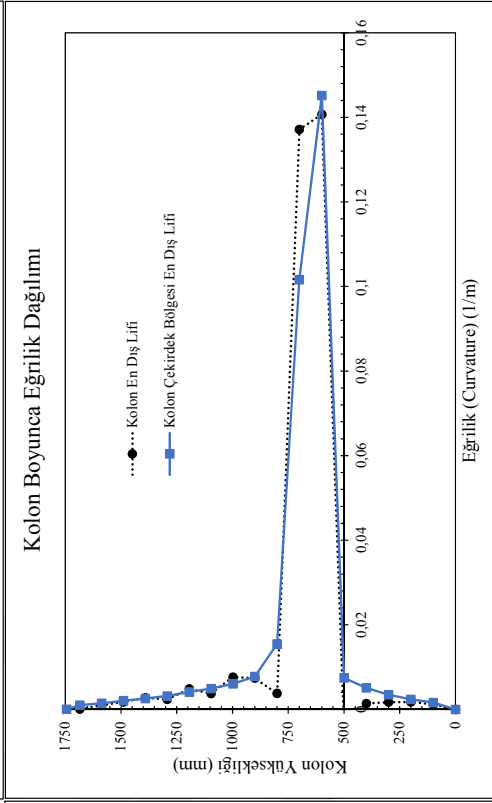
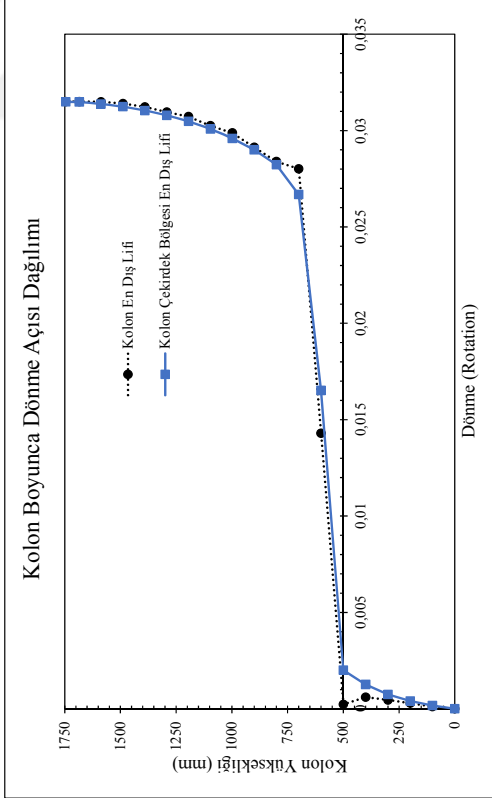
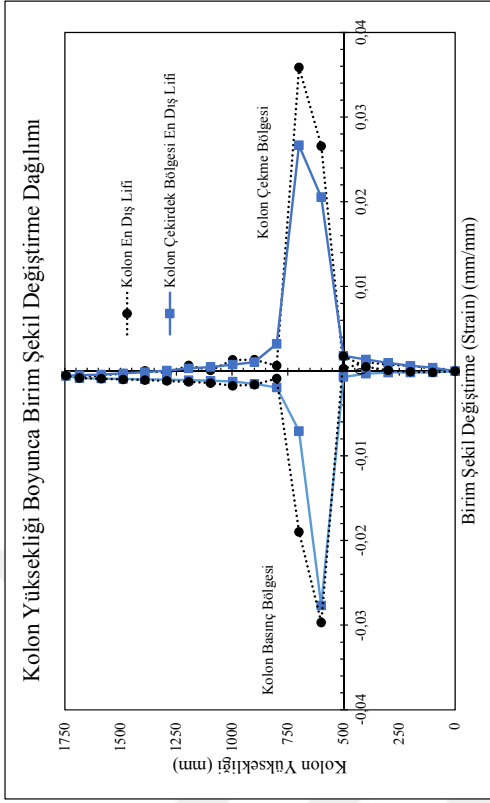
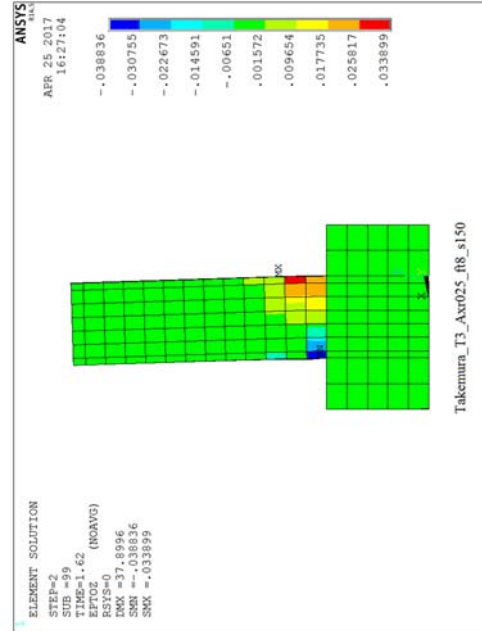


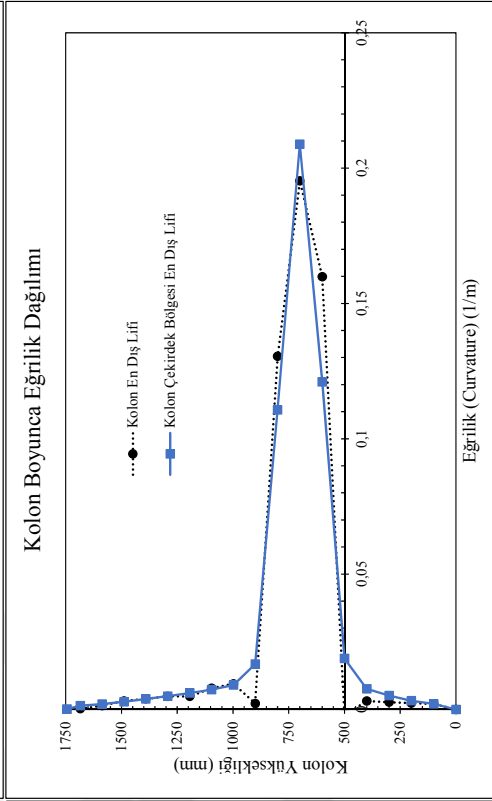
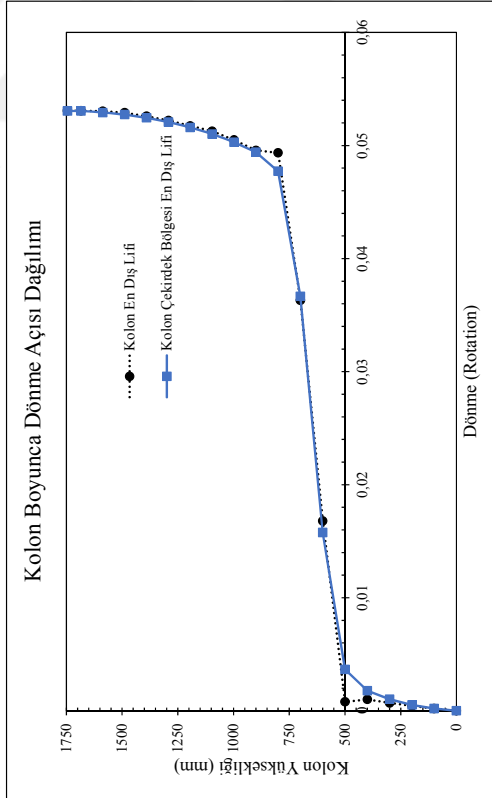
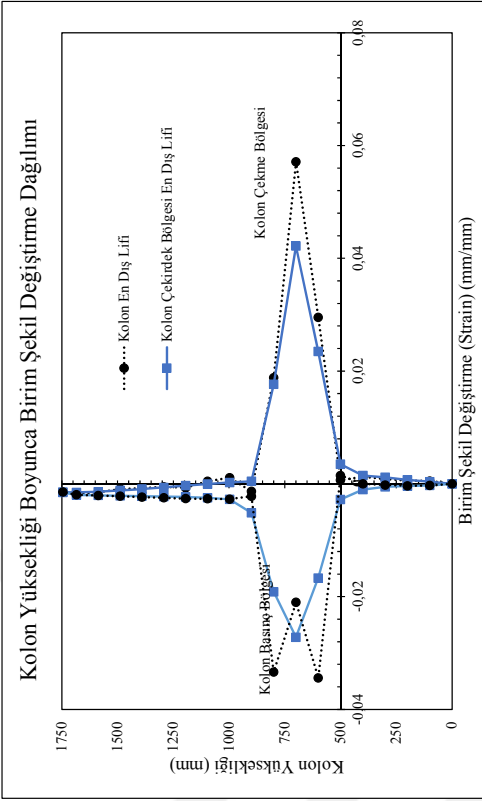
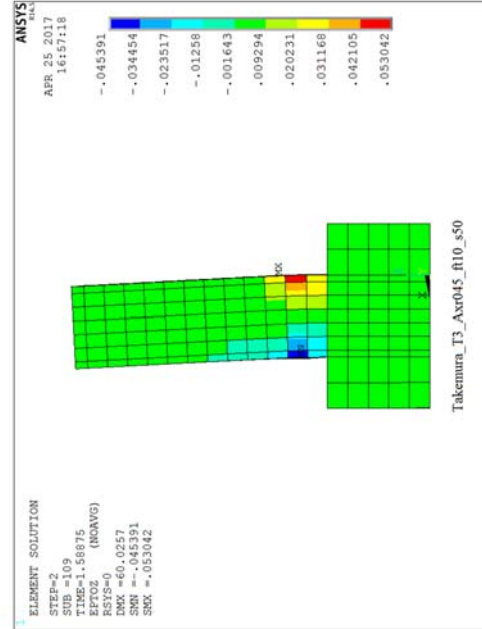


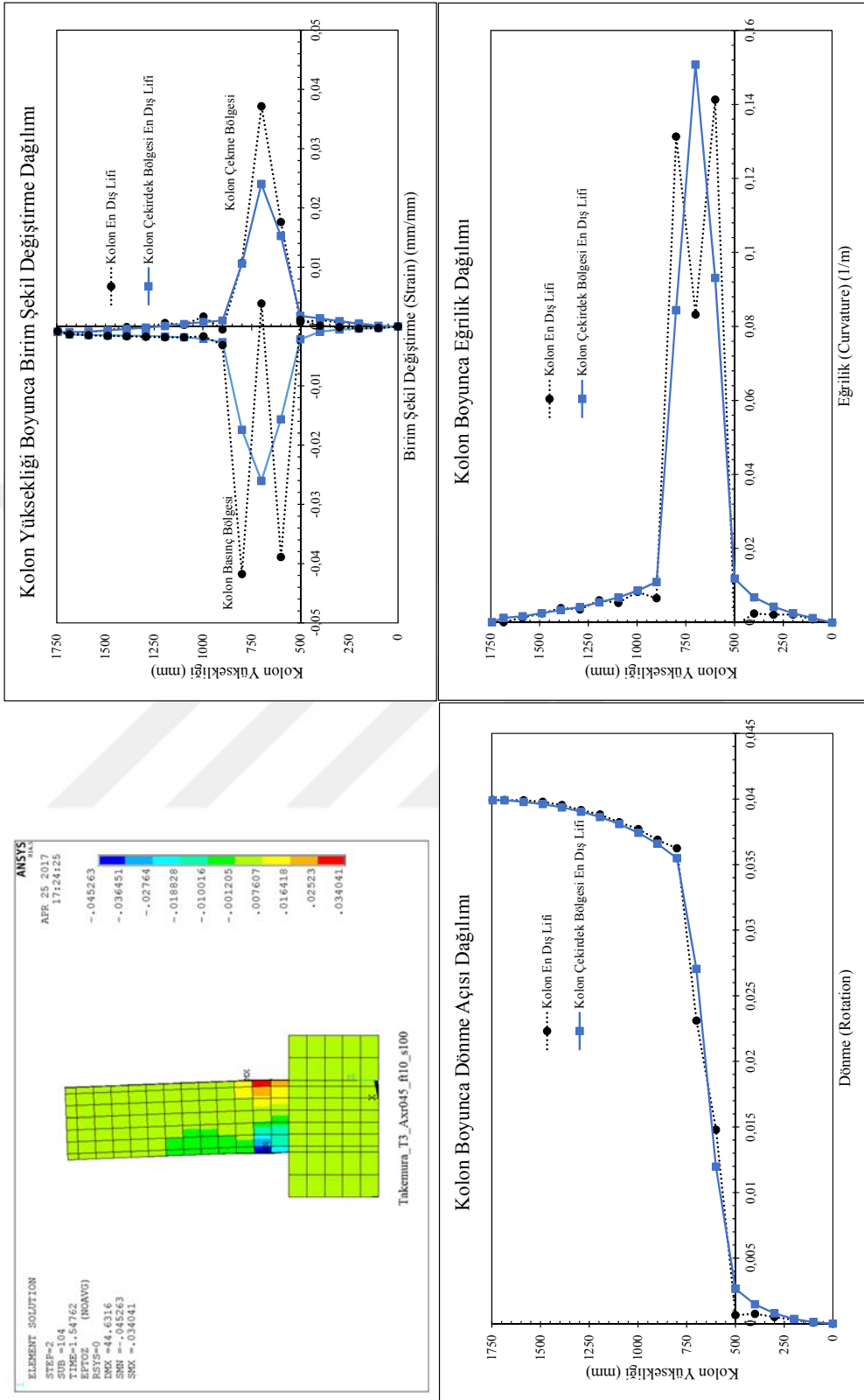


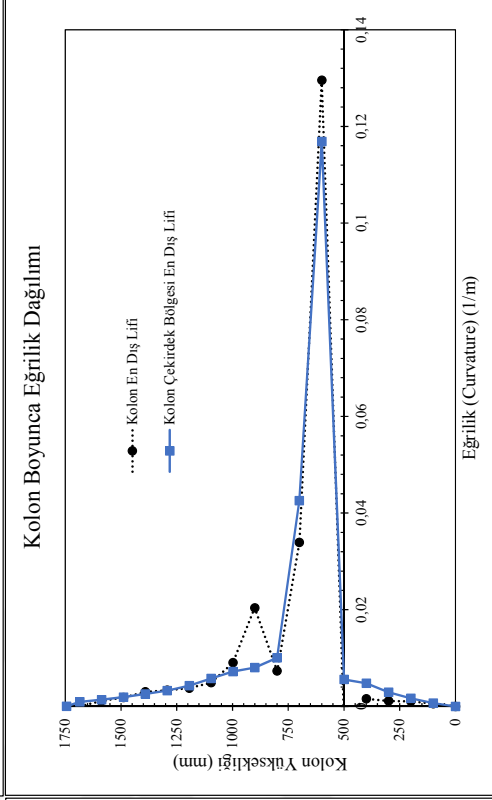
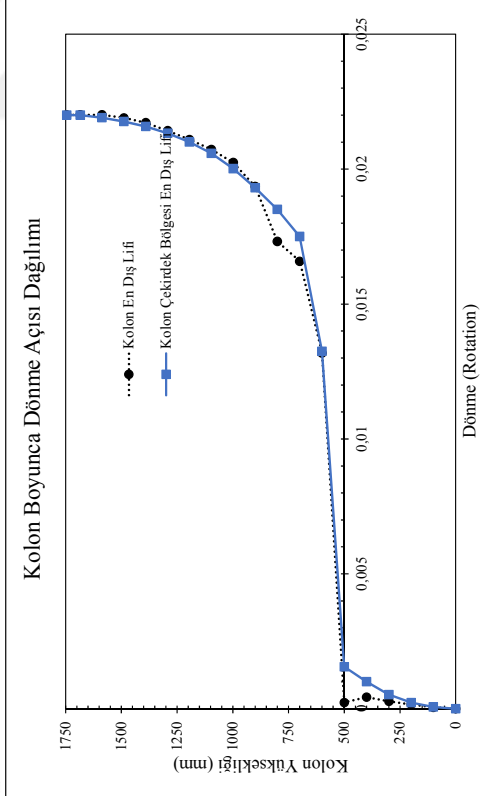
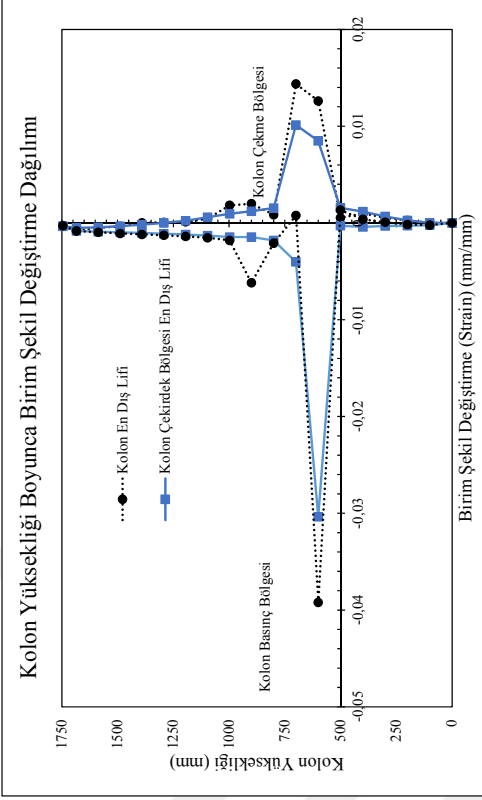
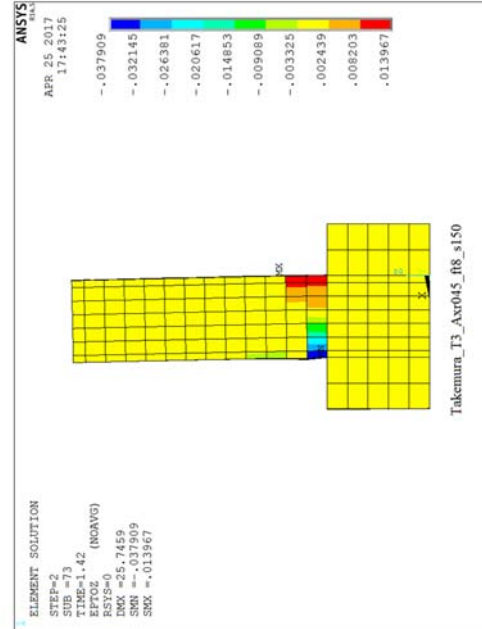


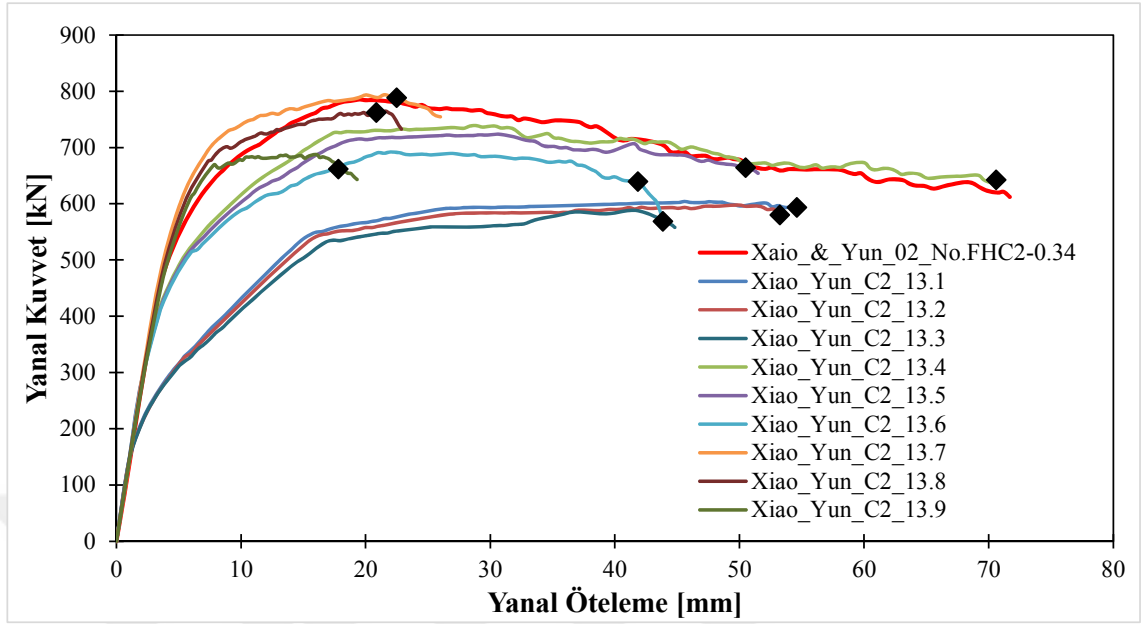




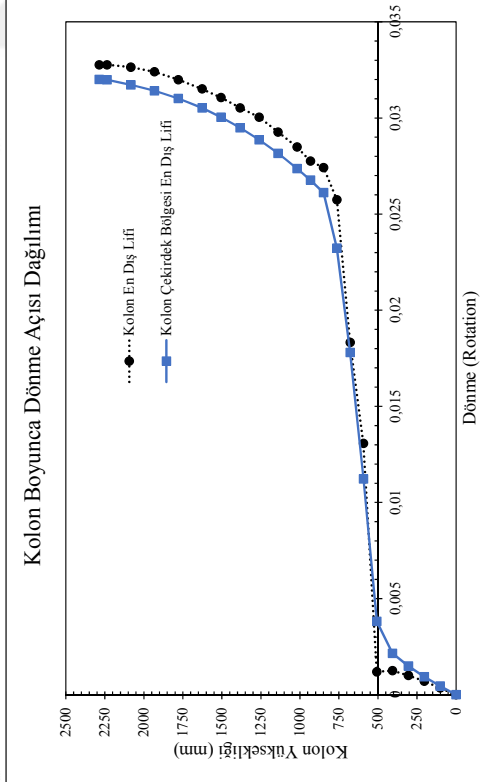
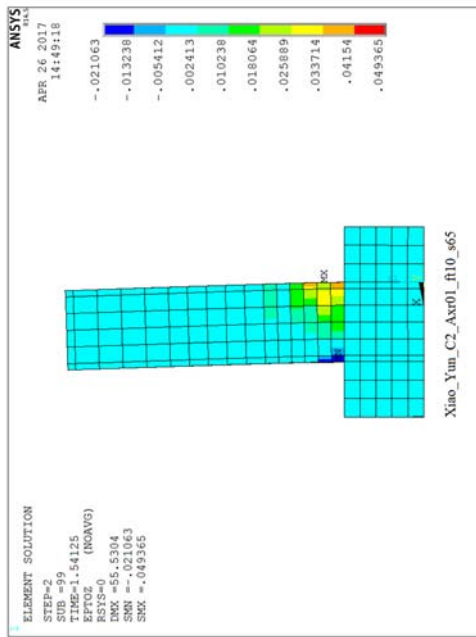
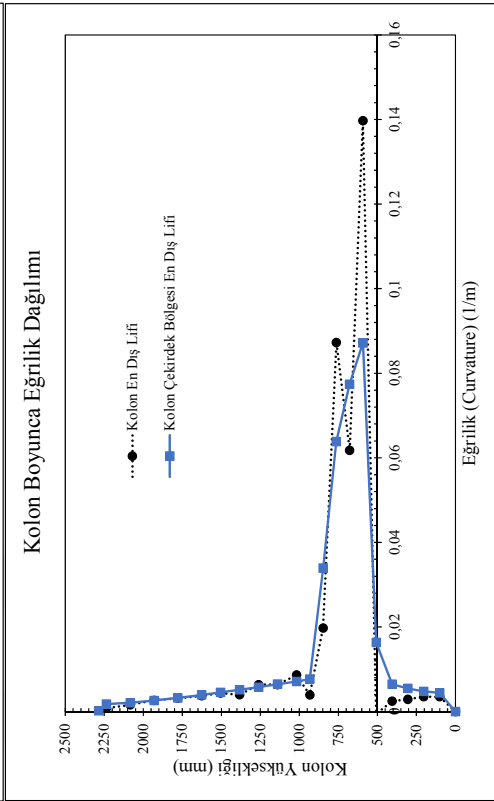
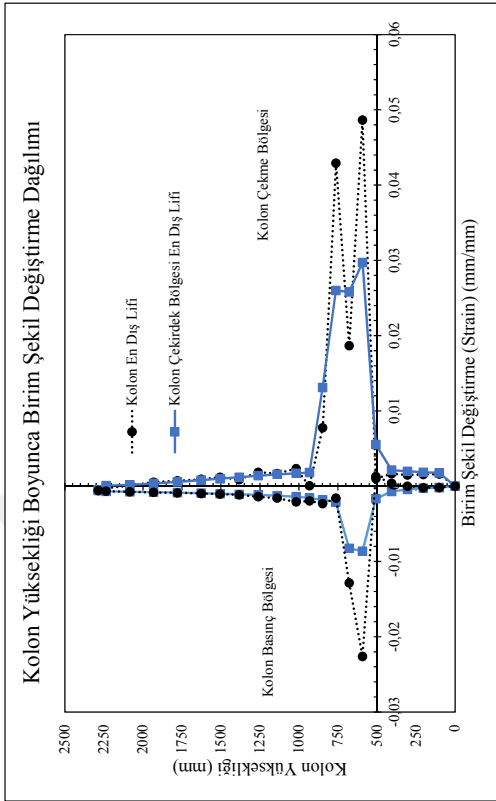


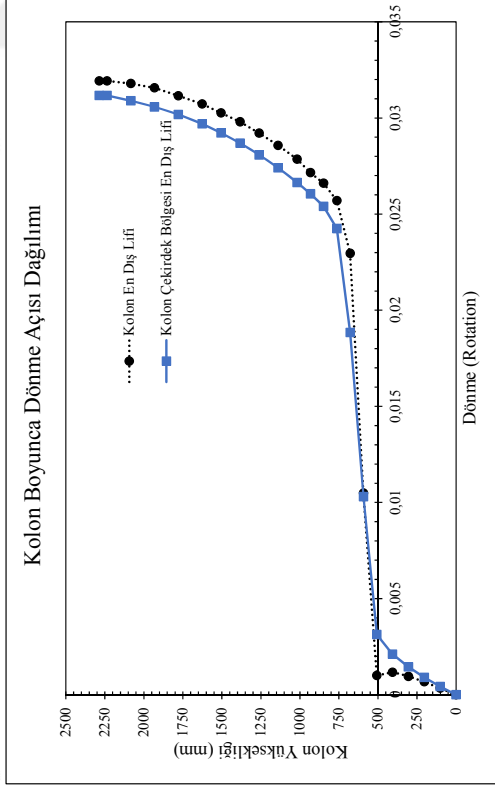
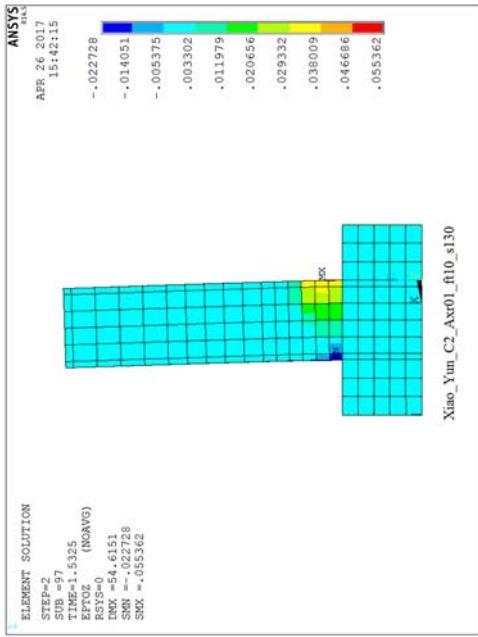
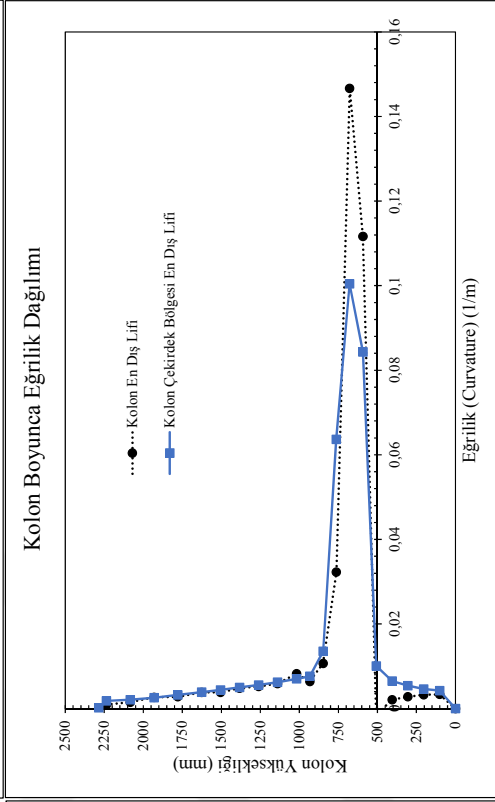
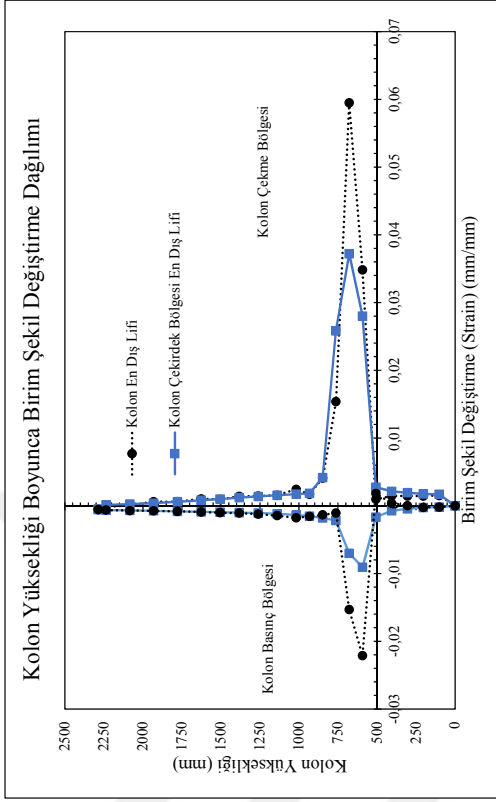


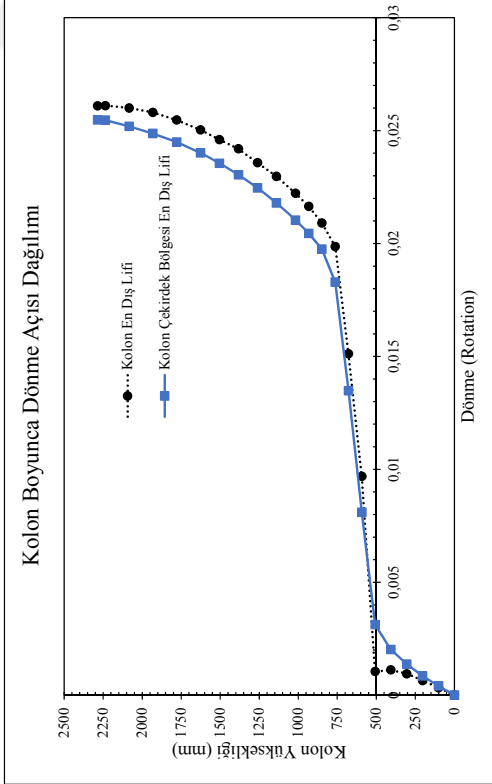
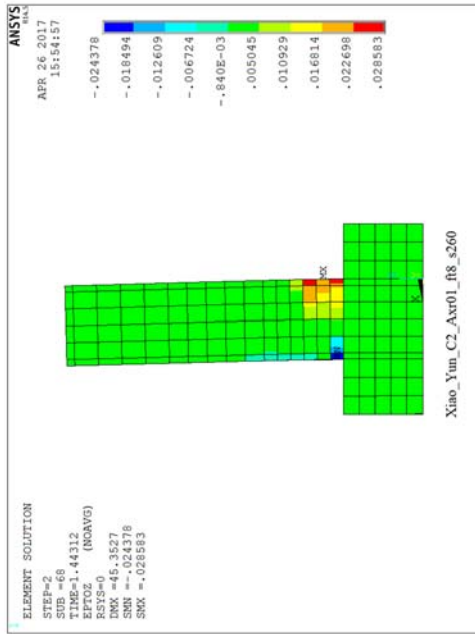
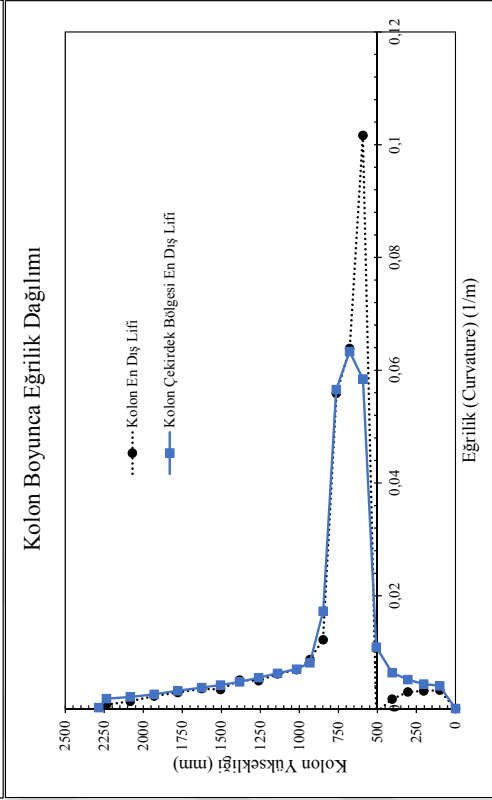
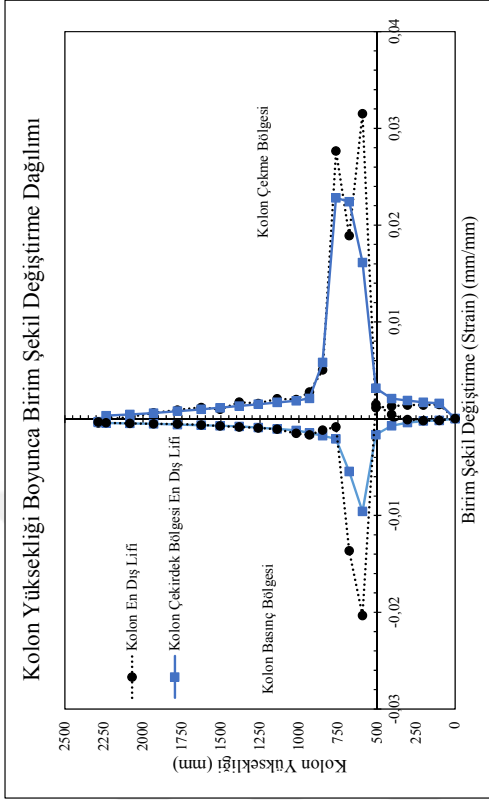




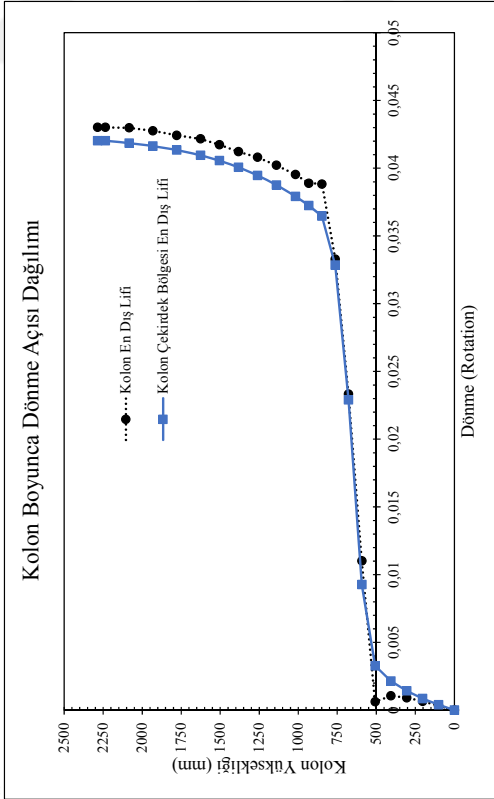
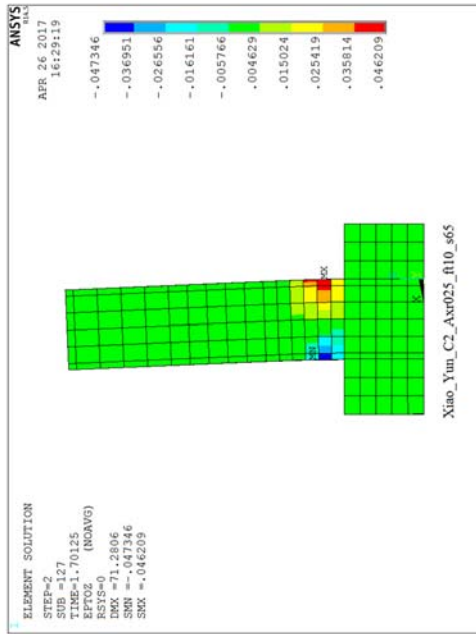
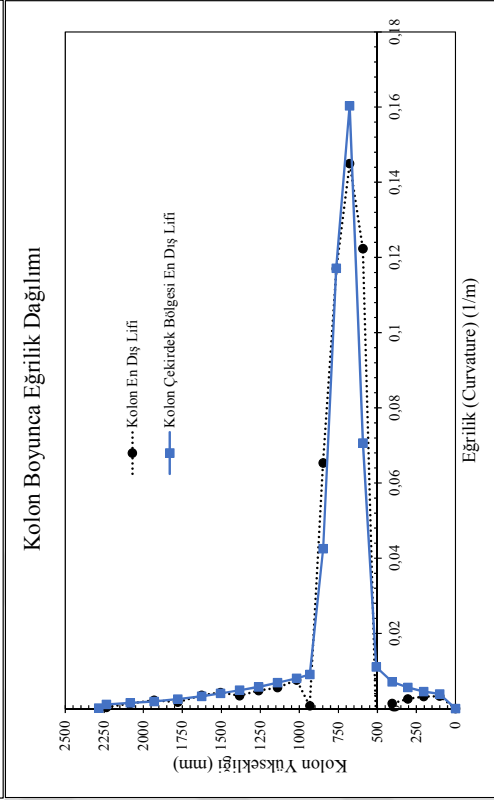
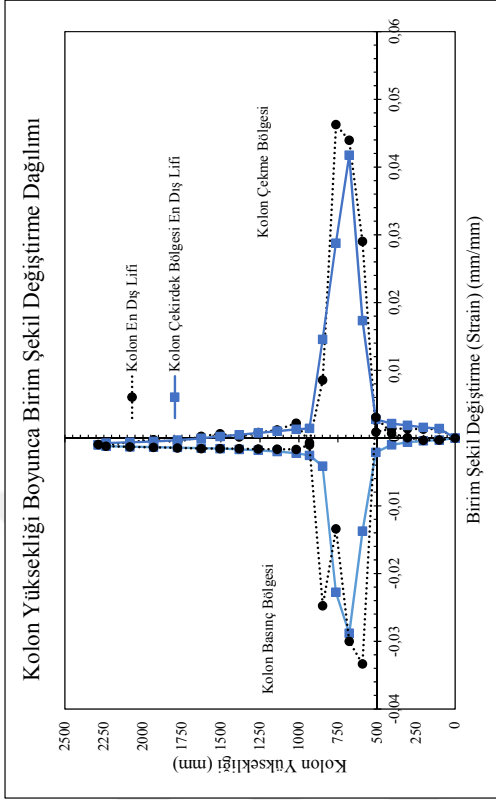
Analiz Elemanı	No	h (mm)	b (mm)	L (mm)	s (mm)	cc (mm)	fc (MPa)	P/P <sub>0</sub>	fys (MPa)	$\rho_t$	$\rho_s$
Xiao & Yun 2002. No. FHC2-0.34		510	510	1778	100	40	62.1	0.33	445	0.026	0.0140
	13.1	510	510	1778	65	40	64	0.10	445	0.026	0.0084
	13.2	510	510	1778	130	40	64	0.10	445	0.026	0.0042
	13.3	510	510	1778	260	40	64	0.10	445	0.026	0.0013
	13.4	510	510	1778	65	40	64	0.25	445	0.026	0.0084
	13.5	510	510	1778	130	40	64	0.25	445	0.026	0.0042
	13.6	510	510	1778	260	40	64	0.25	445	0.026	0.0013
	13.7	510	510	1778	65	40	64	0.45	445	0.026	0.0084
	13.8	510	510	1778	130	40	64	0.45	445	0.026	0.0042
	13.9	510	510	1778	260	40	64	0.45	445	0.026	0.0013

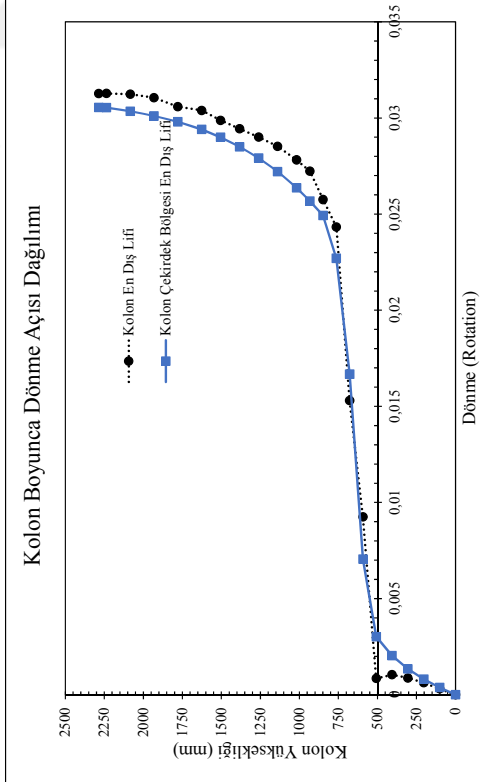
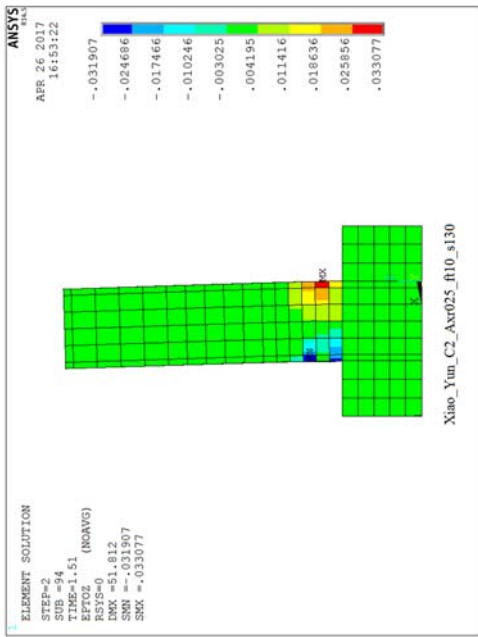
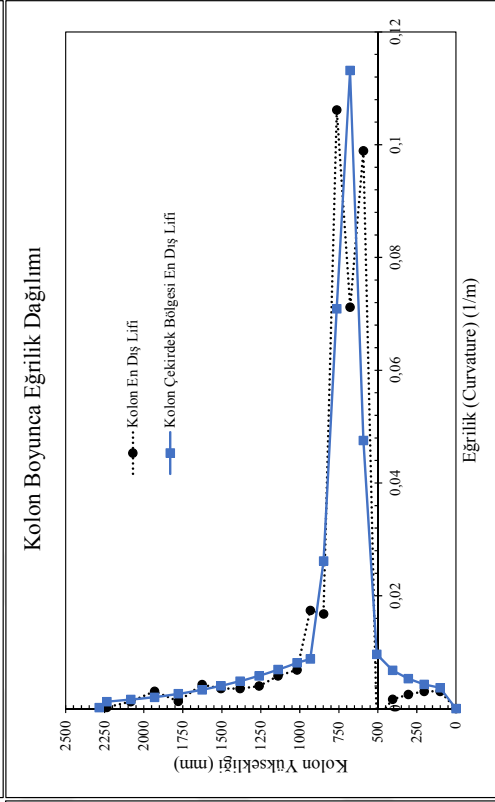
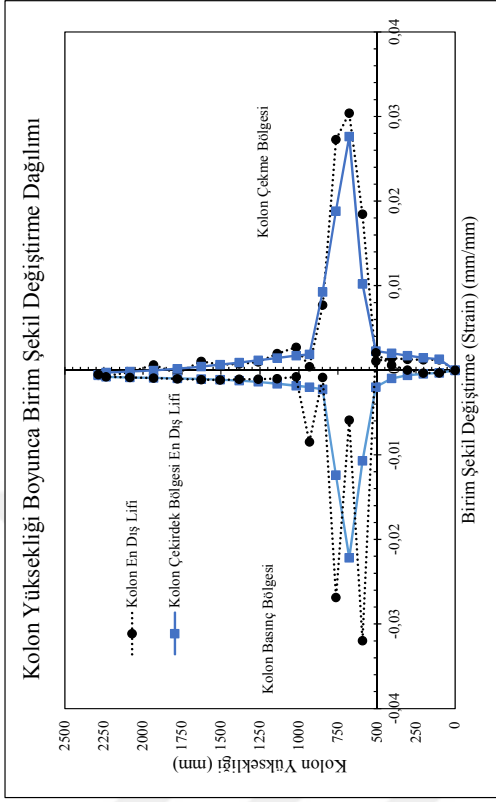


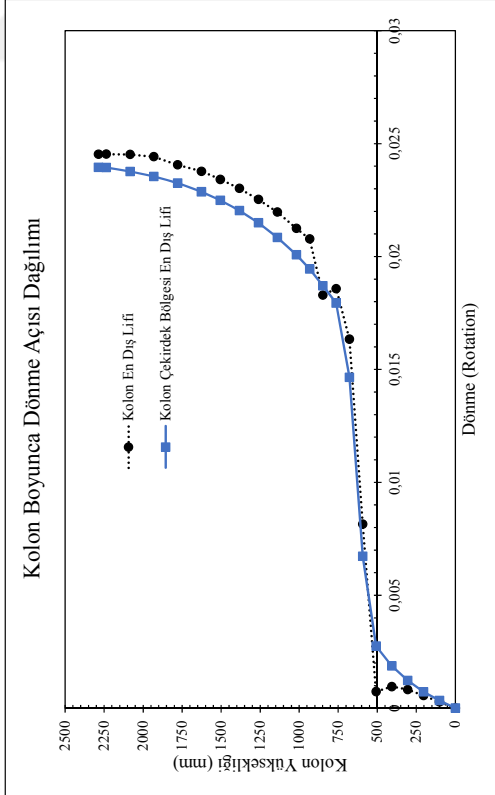
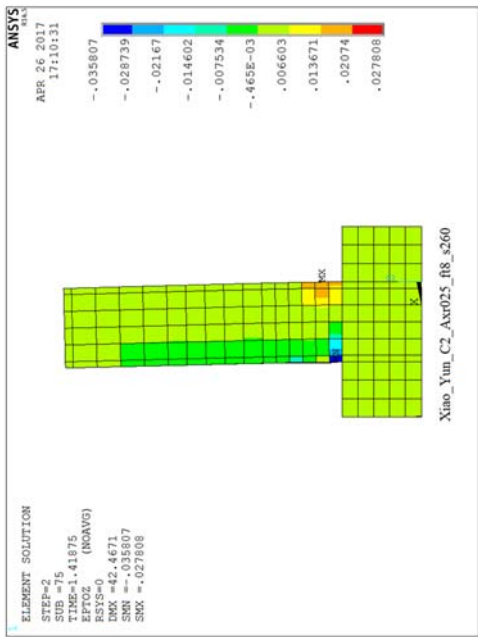
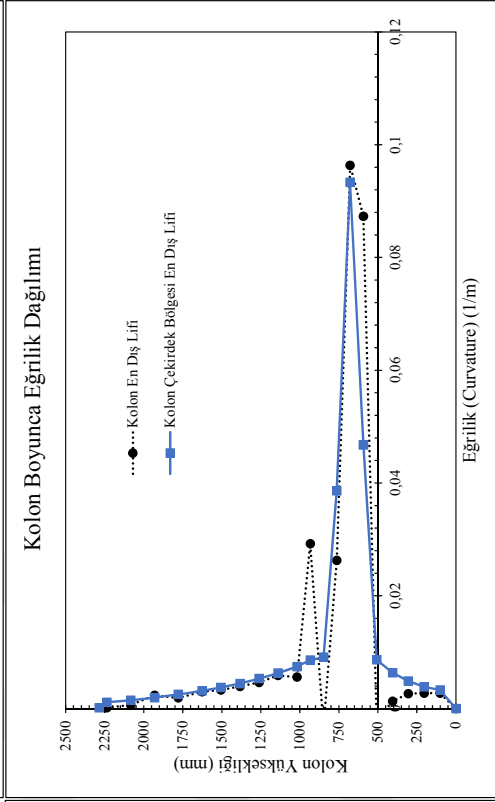
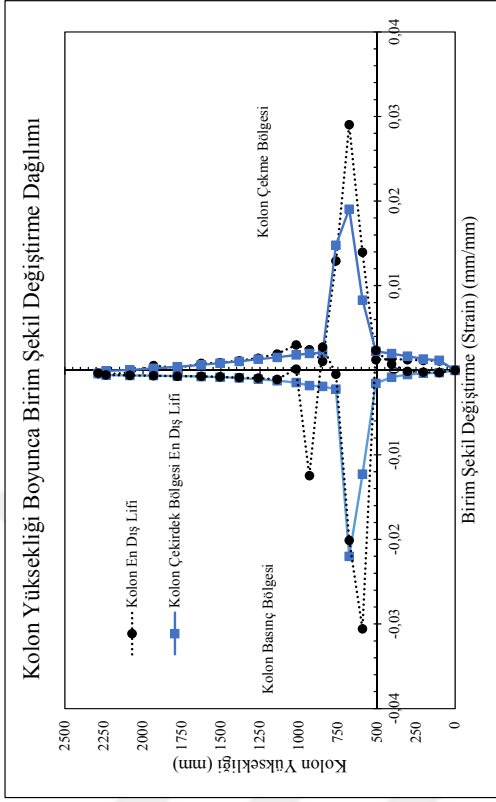


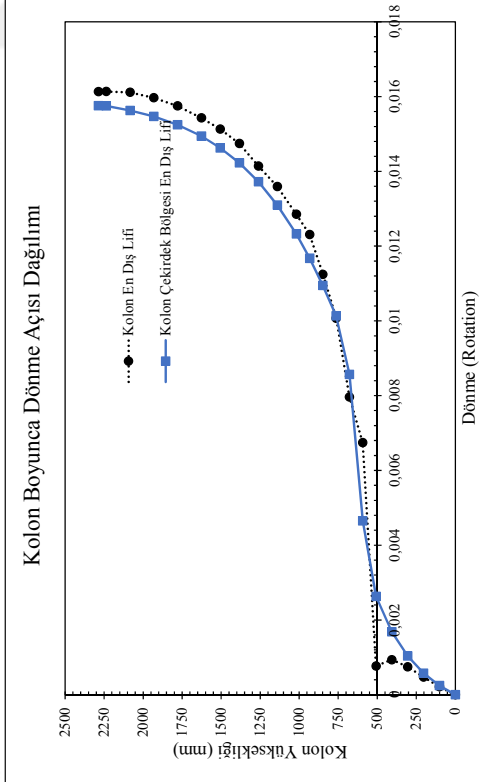
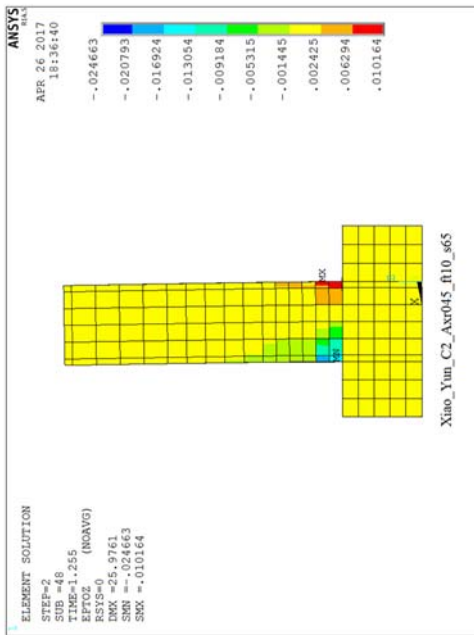
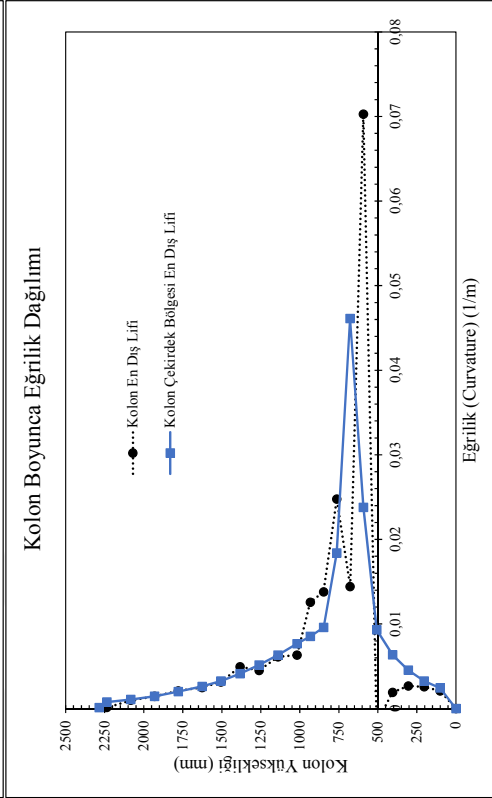
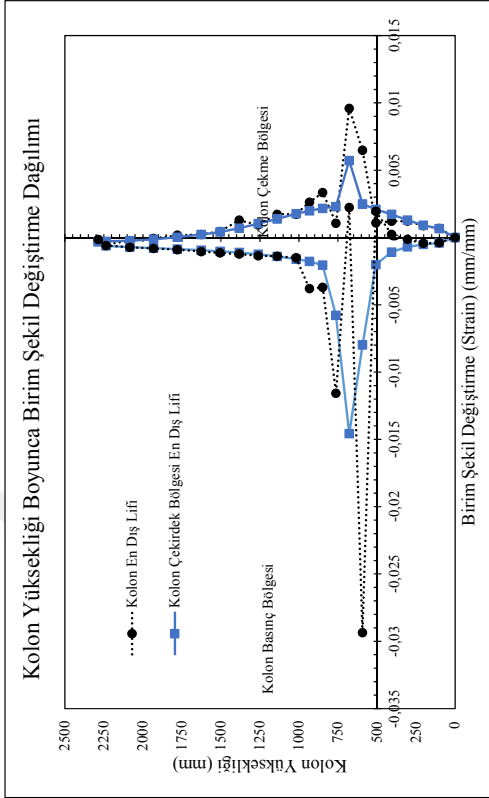


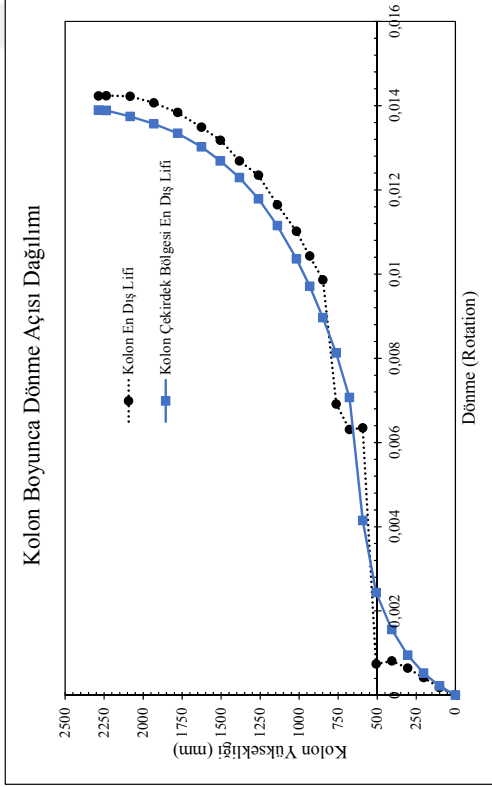
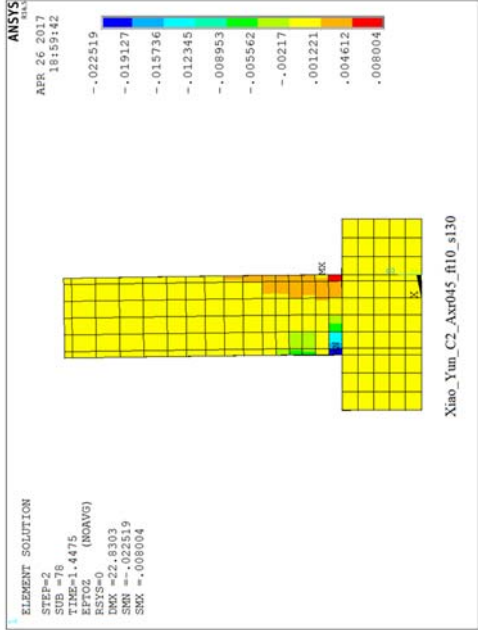
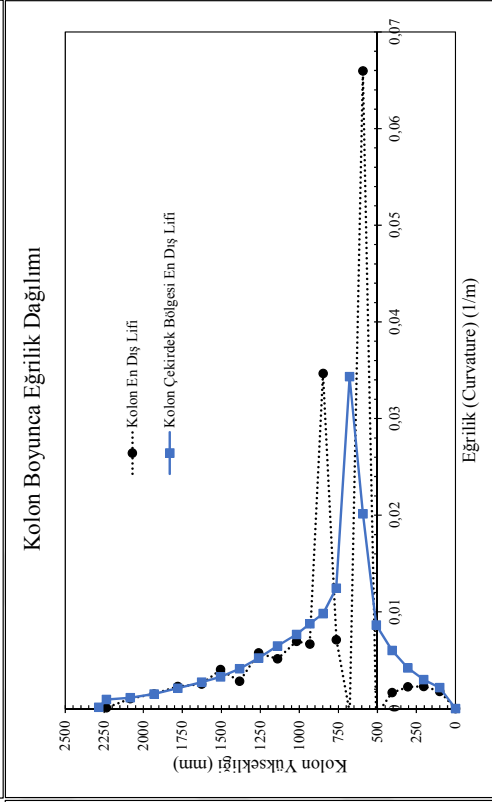
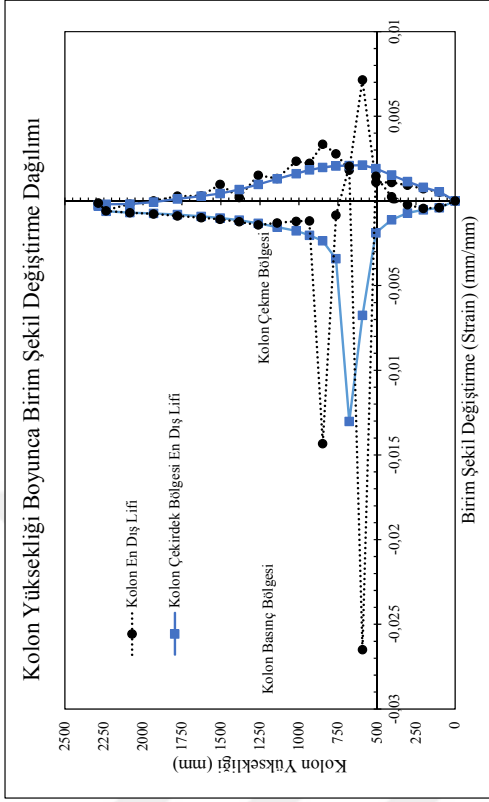


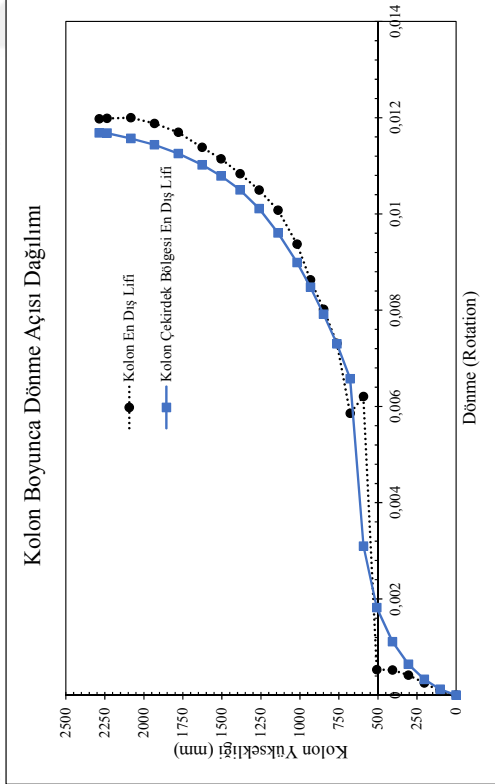
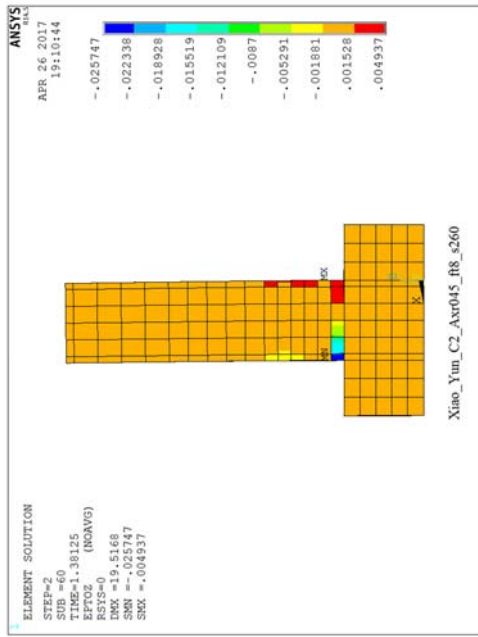
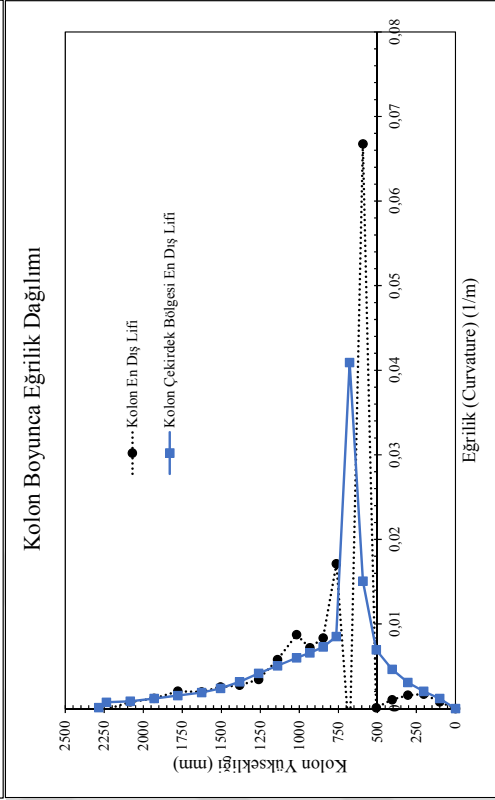
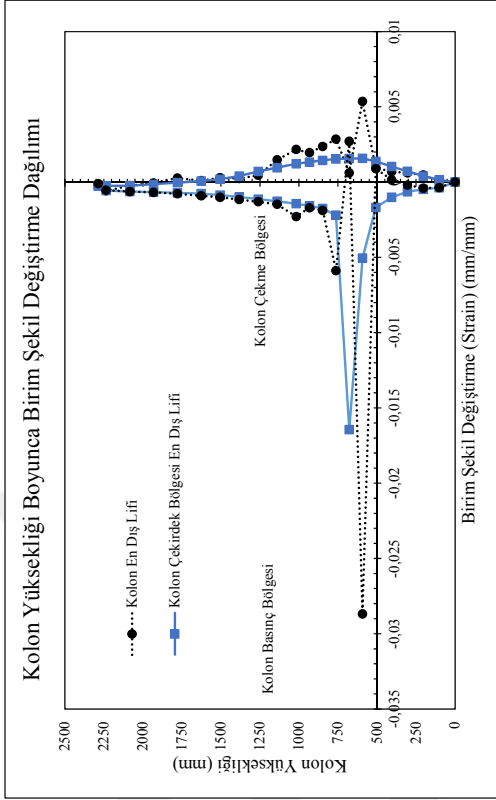












## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Muhammed Alperen ÖZDEMİR  
Uyruğu : Türk (TC)  
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.08.1982- Erzurum  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : +90 (534) 016 4238  
e-mail : m.alperen.ozdemir@gmail.com

### Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	University of Dayton	2012
Lisans	Atatürk Üniversitesi	2006
Lise	Erzurum Lisesi	2000

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Paldet A.Ş.	2006
Gordion Group A.Ş.	2008
Koçak Metal A. Ş.	2009
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	2010
Iğdır Üniversitesi	Devam Ediyor

### Yayınlar (SCI, SCI-Expanded) (Yayın yılları dikkate alınmalıdır) \*

KORKMAZ MUSTAFA, **ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN**, KAVALI EVREN, ÇAKIR FERİT (2018). Performance-based assessment of multi-story unreinforced masonry buildings: The case of historical Khatib School in Erzurum, Turkey. Engineering Failure Analysis, 94(null), 195-213., Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.08.002> (Yayın No: 4345161) (SCI-Expanded)

\***ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN**, KAZAZ İLKER, ÖZKAYA SUAT GÖKHAN (2017). Evaluation and comparison of ultimate deformation limits for RC columns. Engineering Structures, 153(null), 569-581., Doi: [10.1016/j.engstruct.2017.10.050](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.050) (Yayın No: 3878149) (SCI)

**ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAYA ERCAN ŞERİF, AKSAR BORA, ŞEKER BURÇİN ŞENOL, ÇAKIR FERİT, UÇKAN MUHİTTİN EREN, AKBAŞ BÜLENT** (2017). Seismic vulnerability of masonry Jack arch slabs. Engineering Failure Analysis, 77(null), 146-159., Doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.02.008 (Yayın No: 3519850) (SCI-Expanded)

**Hakemli Dergiler** (Yayın yılları dikkate alınmalıdır)

\***ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER** (2018). Evaluation Of Deformation Limits in Codes For Reinforced Concrete Columns. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi- B Teorik Bilimler, 6, 225-233., Doi: 10.20290/aubtdb.489023 (Yayın No: 4643749)

**ÖZKAYA SUAT GÖKHAN, BAYĞIN MEHMET, ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER** (2017). Image Processing Based Analysis of the Compressive Strength for the Stones Used in Historical Masonry Structures. International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE), 6(10), 216-222. (Yayın No: 3878153)

**BAYĞIN MEHMET, ÖZKAYA SUAT GÖKHAN, ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER** (2017). A New Approach Based on Image Processing for Measuring Compressive Strength of Structures. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering (SpecialIssue), 21-25., Doi: 10.18201/ijisae.2018SpecialIssue31419 (Yayın No: 3878150)

**Ulusal Kongre Sunum** (Sunum tarihleri dikkate alınmalıdır)

\***ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER** (2015). Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Deneysel ve Hesap Deformasyon Kapasitelerinin Karşılaştırılması. 8. ULUSAL DEPREM MUHENDISLIGI KONFERANSI (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:1664459)

**Uluslararası Kongre Sunum** (Sunum tarihleri dikkate alınmalıdır)

**ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KOÇ AHMET, ARSLANNUR BİRCAN** (2018). Assesment Of Settlement Suitability Analysis for Urban Area: The Case Of Iğdir Province. EURASIAN GIS 2018 CONGRESS, 62-62. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4692172)

**KORKMAZ MUSTAFA, ÇIRAGOĞLU DEVLET, ARSLANNUR BİRCAN, ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, GÜZEL FİDAN** (2017). Premature Deformation of Low-rise Buildings due to Stress Components of High-rise Buildings Adjacent to Them. 2. International Iğdir Symposium, 202-202. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3878155)

**KORKMAZ MUSTAFA, ARSLANNUR BİRCAN, ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN** (2017). Evaluation of Turkish Seismic Codes on Alteration of Intended Use: The case of Aralık Vocational School. 2. International Iğdir Symposium, 204-204. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3878157)



**\*ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER, ÖZKAYA SUAT GÖKHAN (2017).** Evaluation of Deformation Limits in Codes For Reinforced Concrete (RC) Columns. 4rd International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (4ICEES), 89-89. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3878158)

BAYĞIN MEHMET, ÖZKAYA SUAT GÖKHAN, **ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER (2017).** A New Approach Based on Image Processing for Measuring Compressive Strength of Structures. 5th International Conference on Advanced Technology Sciences (ICAT'xx17) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4067669)

**ÖZDEMİR MUHAMMED ALPEREN, KAZAZ İLKER, ÖZKAYA SUAT GÖKHAN (2016).** An Analytical Investigation on Plastic Hinge Length of Rectangular Reinforced Concrete Columns. AERS 2016 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:2888180)

\*Tezle ilgilidir.