

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GENİŞ BETONARME KİRİŞLERDE PLASTİK ŞEKİL
DEĞİŞTİRMENİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERKAN TÖRE

BALIKESİR, NİSAN 2013

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GENİŞ BETONARME KİRİŞLERDE PLASTİK ŞEKİL
DEĞİŞTİRMENİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERKAN TÖRE

BALIKESİR, NİSAN 2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Erkan TÖRE tarafından hazırlanan “GENİŞ BETONARME KİRİŞLERDE PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞTİRMENİN DENEYSEL İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26.04.2013 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

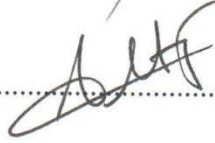
Danışman
Prof. Dr. Şerif SAYLAN


.....

Üye
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN


.....

Üye
Yrd. Doc. Dr. Altuğ YAVAŞ


.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Hilmi NAMLI

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2011/39 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**GENİŞ BETONARME KİRİŞLERDE PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞTİRMENİN
DENEYSEL İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERKAN TÖRE
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞERİF SAYLAN)
BALIKESİR, NİSAN - 2013**

Bu deneysel çalışma dişli döşeme sisteminin kullanıldığı betonarme çerçevelerde oluşturulan geniş betonarme kirişlerin plastik şekildeğiştirme özelliklerini ve çevrimsel davranışını inceleme amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada geniş kirişlerin yatay yük dayanımındaki azalma, çatlak gelişimi, göçme şekilleri ve süneklikleri değerlendirilmiştir.

Bu amaçla farklı donatı düzenlemesine sahip dört adet konsol kiriş (genişlik yükseklik oranı 2) numunesi artan tersinir tekrarlı yatay yükleme altında test edilmiştir. Deney programının ana değişkenleri üst ve alt boyuna donatıların birbirine oranı (1-0.37) ve enine donatı türüdür (tek yada çift etriye). Bütün numuneler mevcut binalarda sıkça karşılaşılan olumsuz durumu temsil etmek amacıyla yetersiz sargılıdır. Yatay yük numunenin konsol ucuna çevrimsel yerdeğiştirme geçmişi olarak uygulanmıştır. Deney verilerinden numunelerin kuvvet yerdeğiştirme ve moment eğrilik ilişkileri elde edilmiş ve bu ilişkiler kullanılarak numunelerin çevrimsel davranışları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca TDY (2007)'de belirtilen beton ve çelik şekildeğiştirmesine bağlı hasar sınırları ve bölgeleri deney numuneleri için gerçekleştirilen analizlerle elde edilmiş ve deney sonuçları ile değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmadan ve analizlerden; yetersiz sargı ve alt-üst boyuna donatı oranı farkının büyük olması durumunda eğilme-kesme göçme şeklinin yaşandığı, çift etriye kullanılmasının çevrimsel davranışa etkisinin sınırlı kaldığı, TDY (2007)'de belirtilen hasar sınırlarının ve bölgelerinin deneysel gözlemlerle büyük oranda uyumlu olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: sığ ve geniş kiriş, plastik şekildeğiştirme, hasar sınırları

ABSTRACT

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PLASTIC DEFORMATION OF RC
WIDE BEAMS
MSC THESIS
ERKAN TÖRE
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. ŞERİF SAYLAN)
BALIKESİR, JANUARY 2013**

This experimental study carried out for investigating the plastic deformation characteristic and cyclic behaviour of RC wide beams which are formed on one way joist slab system used reinforced concrete frames. Degradation of lateral load strength, crack development, failure modes and ductility of weak-axis bending beams were evaluated.

For this purpose four cantilever wide beam specimen (width to height ratio is two) with different reinforcement configuration were tested under increasing cyclic lateral loading. The main parameters of experimental program are top to bottom longitudinal reinforcement ratio (1-0.37) and transverse reinforcement type (single or double hoop). All of the specimens were poorly confined to represent the adverse situation is frequently encountered in existing buildings. Lateral load were applied at the top of specimen as a cyclic displacement history. Force displacement and moment curvature relationships of specimens were obtained from experimental data. These relations is used for comparing cyclic behaviour of specimens. In addition TEC (2007) damage limits and regions related to concrete and steel strains were obtained by analysis and evaluated with experimental results.

Consequently, the following results were determined from experimental program and analysis; poorly confinement and large top to bottom longitudinal reinforcement ratio were caused flexural-shear failure mode, the use of double hoop as a transverse reinforcement had limited effect on cyclic behaviour of specimens, damage limits and regions specified in TEC (2007) were highly consistent with experimental observations.

KEYWORDS: narrow and wide beam, plastic deformation, damage limits

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Özeti	5
2. Deneysel Çalışma	10
2.1 Deney Numunelerinin Tasarımı	10
2.1.1 Beton	14
2.1.2 Donatı Çeliği	15
2.2 Deney Numunelerinin Üretimi	15
2.3 Deney Düzeneği	18
2.4 Ölçüm ve Veri Toplama Sistemi	21
2.5 Yükleme Geçmişi	24
2.6 Deney Sonuçları ve Gözlemler.....	26
2.6.1 GK-1-T Numunesi.....	26
2.6.1 GK-1-Ç Numunesi	32
2.6.1 GK-0.37-T Numunesi.....	38
2.6.1 GK-0.37-Ç Numunesi	45
2.7 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	53
3. TDY (2007) Hasar Sınırlarının Değerlendirilmesi	57
3.1 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme	57
3.1.1 TDY (2007) ‘ye göre Mevcut Binaların Değerlendirilmesi.....	58
3.1.2 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri.....	60
3.2 Deney Numunelerinde Hasar Sınırlarının ve Bölgelerinin Belirlenmesi.....	61
3.2.1 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	61
3.2.2 Hasar Sınır Yerdeğiştirme Değerlerinin Elde Edilmesi.....	63
3.2.3 Malzeme Modelleri.....	64
3.2.3.1 Beton Modeli	65
3.2.3.1 Çelik Modeli	68
3.2.4 Deney Numunelerinin Analizi	70
3.2.4.1 GK-1-T Numunesi	71
3.2.4.1 GK-1-Ç Numunesi.....	73
3.2.4.1 GK-0.37-T Numunesi	75
3.2.4.1 GK-0.37-Ç Numunesi.....	79
3.2.5 Deney Numunelerinin Kesme Kapasitesi Kontrolü.....	83
3.3 Hasar Sınırlarının Deney sonuçları İle Değerlendirilmesi	84
3.3.1 GK-1-T numunesi	85
3.3.1 GK-1-Ç numunesi.....	87

3.3.1 GK-0.37-T numunesi	89
3.3.2 GK-0.37-Ç numunesi	92
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
5. KAYNAKLAR.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Dişli (asmolen) döşeme sistemi [2]	1
Şekil 1.2: Adana-Ceyhan depreminde yıkılmış dişli döşeme sistemli bina [8] ..	2
Şekil 1.3: Dişli döşemeli sistemde sığ ve geniş (yastık) kiriş [2]	3
Şekil 2.1: a) Yatay yük altında model çerçeve ve eğilme momenti diyagramı b) Kolon kiriş birleşimi	10
Şekil 2.2: Deney numunesi	12
Şekil 2.3: Numune Donatı Düzeni	13
Şekil 2.4: Numunelerin kesit boyutları ve donatı yerleşimi	14
Şekil 2.5: Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kalıp sistemi	16
Şekil 2.6: a) Numune donatı iskeleti b) Donatının kalıba yerleştirilmesi	17
Şekil 2.7: Numune betonunun dökülmesi ve yerleştirilmesi	18
Şekil 2.8: Deney düzeneğinin üç boyutlu modeli	19
Şekil 2.9: Deney Düzeneği	20
Şekil 2.10: Deney numunelerinde ortalama eğrilik ölçümü	22
Şekil 2.11: Ölçüm aletleri ve yerleşimi	23
Şekil 2.12: Deney öncesi deney düzeneğinin görünümü	23
Şekil 2.13: Simetrik donatılı numuneler için yükleme geçmişi	25
Şekil 2.14: Asimetrik donatılı numuneler için yükleme geçmişi	25
Şekil 2.15: GK-1-T numunesi a) İtmede ilk çatlak oluşumu b) Çekmede ilk çatlak oluşumu	27
Şekil 2.16: a) %1.1 ötelenme oranında hasar durumu b) %6.0 ötelenme oranında hasar durumu	28
Şekil 2.17: a) %6.0 ötelenme oranında köşe ve orta donatılarda burkulma	29
Şekil 2.18: a) Deney sonu hasar durumu b) Orta donatılarda burkulma ve beton hasarı	30
Şekil 2.19: GK-1-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	31
Şekil 2.20: GK-1-T 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	32
Şekil 2.21: GK-1-T 100-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	32
Şekil 2.22: a) %0.41 ötelenme oranında b) %1.1 ötelenme oranında hasar durumu	33
Şekil 2.23: a) %4.3 ötelenme oranında b) %6.0 ötelenme oranında hasar durumu	34
Şekil 2.24: %8.4 ötelenme oranında hasar durumu	35
Şekil 2.25: %11 ötelenme oranında boyuna donatıda kopma	36
Şekil 2.26: Deney sonunda numunenin görünümü	36
Şekil 2.27: GK-1-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	37
Şekil 2.28: GK-1-Ç 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	38
Şekil 2.29: GK-1-Ç 100-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	38
Şekil 2.30: a) %0.19 çekme ötelenme oranında hasar durumu b) %0.375 itme ötelenme oranında hasar durumu	39
Şekil 2.31: a) %1.21 çekme ötelenme oranında b) %1.44 itme ötelenme oranında hasar durumu	40
Şekil 2.32: a) %2.0 itme ötelenme oranında b) %2.83 itme ötelenme oranında hasar durumu	41
Şekil 2.33: a) Donatılarda burkulma b) Kabuk betonunda dağılma	42

Şekil 2.34: a) Donatı burkulmasında ilerleme b) Etriyede şekildeğiştirme.....	42
Şekil 2.35: a) Boyuna donatıda kopma	
b) Deney sonu numunenin görünümü	43
Şekil 2.36: GK-0.37-T numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi.....	44
Şekil 2.37: GK-0.37-T 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	45
Şekil 2.38: GK-0.37-T 0-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi	45
Şekil 2.39: a) %0.44 çekme ötelenme oranında ilk çatlak oluşumu	
b) %0.86 çekme ötelenme oranında hasar durumu	46
Şekil 2.40: a) %1.21 çekme ötelenme oranında	
b) %1.03 itme ötelenme oranında hasar durumu.....	47
Şekil 2.41: a) %3.32 çekme ötelenme oranında	
b) %2.02 itme ötelenme oranında	48
Şekil 2.42: a) %2.83 itme ötelenme oranında	
b) %3.96 itme ötelenme oranında hasar durumu.....	49
Şekil 2.43: a) İlerleyen donatı burkulması ve beton hasarı	
b) Deney sonunda numunenin durumu	50
Şekil 2.44: a) Kabuk betonunda dağılma b) Boyuna donatılarda kopma	51
Şekil 2.45: GK-0.37-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi.....	52
Şekil 2.46: GK-0.37-Ç numunesinin 0-100 mm	
moment ortalama eğrilik ilişkisi.....	53
Şekil 2.47: GK-0.37-Ç numunesinin 100-200 mm	
moment ortalama eğrilik ilişkisi.....	53
Şekil 2.48: GK-1-T ve GK-1-Ç numuneleri	
kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri	54
Şekil 2.49: GK-0.37-T ve GK-0.37-Ç numuneleri	
kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri	55
Şekil 2.50: Dütün numunelerin çekmede kuvvet yerdeğiştirme ilişkilerinin	
karşılaştırılması	56
Şekil 3.1: Performans Düzeyleri ve Bölgeleri [10]	58
Şekil 3.2: TDY (2007) kesit hasar sınırları ve bölgeleri [10].....	60
Şekil 3.3: Konsol elemanda doğrusal elastik olmayan davranış	
moment-eğrilik-yerdeğiştirme ilişkisi [28]	62
Şekil 3.4: Mander modeli sargılı ve sargısız beton	
gerilme şekildeğiştirme ilişkisi[10].....	67
Şekil 3.5: Tek donatılı numunelerde sargılı ve sargısız beton	
gerilme şekildeğiştirme ilişkisi.....	67
Şekil 3.6: Çift etriyeli numunelere ait sargılı ve sargısız beton	
gerilme şekildeğiştirme ilişkisi.....	68
Şekil 3.7: Donatı çeliği gerilme şekildeğiştirme ilişkisi [10]	69
Şekil 3.8: Ø12 donatıların gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	70
Şekil 3.9: Ø16 donatıların gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	70
Şekil 3.10: GK-1-T numunesi enkesiti	71
Şekil 3.11: GK-1-T numunesi moment eğrilik ilişkisi	72
Şekil 3.12: GK-1-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve	
TDY (2007) hasar sınırları	73
Şekil 3.13: GK-1-Ç numunesinin enkesiti.....	73
Şekil 3.14: GK-1-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi	74
Şekil 3.15: GK-1-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve	
TDY (2007) hasar sınırları	75
Şekil 3.16: GK-0.37-T numunesi enkesiti	75

Şekil 3.17: GK-0.37-T numunesi moment eğrilik ilişkisi (pozitif)	76
Şekil 3.18: GK-0.37-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (pozitif)	77
Şekil 3.19: GK-0.37-T numunesi moment eğrilik ilişkisi (negatif)	78
Şekil 3.20: GK-0.37-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (negatif)	79
Şekil 3.21: GK-0.37-Ç numunesi enkesiti	79
Şekil 3.22: GK-0.37-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi (pozitif)	80
Şekil 3.23: GK-0.37-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (pozitif)	81
Şekil 3.24: GK-0.37-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi (negatif)	82
Şekil 3.25: GK-0.37-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (negatif)	83
Şekil 3.26: GK-1-T numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	85
Şekil 3.27: GK-1-T numunesi a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	87
Şekil 3.28: GK-1-Ç numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	87
Şekil 3.29: ŞeGK-1-T numunesi a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	89
Şekil 3.30: GK-0.37-T numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	89
Şekil 3.31: GK-0.37-T numunesi çekmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	91
Şekil 3.32: GK-0.37-T numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	92
Şekil 3.33: GK-0.37-Ç numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi	93
Şekil 3.34: GK-0.37-Ç numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	95
Şekil 3.35: GK-0.37-Ç numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu	95

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Numune Özellikleri	13
Tablo 2.2: Beton Basınç Dayanımları	15
Tablo 2.3: Donatı çelikleri akma ve kopma dayanımları	15
Tablo 3.1: Kullanım amacı ve türü farklı binalar için öngörülen performans hedefleri [10].....	59
Tablo 3.2: TDY (2007) betonarme eleman hasar sınırları [27].....	61
Tablo 3.3: GK-1-T numunesi kesit analizi sonuçları	72
Tablo 3.4: GK-1-Ç numunesi kesit analizi sonuçları	74
Tablo 3.5: GK-0.37-T numunesi kesit analizi sonuçları (pozitif)	76
Tablo 3.6: GK-0.37-T numunesi kesit analizi sonuçları (negatif)	77
Tablo 3.7: GK-0.37-Ç numunesi kesit analizi sonuçları (pozitif).....	80
Tablo 3.8: GK-0.37-Ç numunesi kesit analizi sonuçları (negatif)	81
Tablo 3.9: Numunelerin kesme dayanımı ve istemleri	84

SEMBOL LİSTESİ

a :	Kesme açıklığı
A_{sw} :	Enine donatı alanı
b :	Kesit genişliği
d :	Faydalı yükseklik
E_s :	Donatı çeliği elastisite modülü
f_c :	Betonun hedef basınç dayanımı
f_{cm} :	Ortalama beton basınç dayanımı
f_{ctm} :	Ortalama beton çekme dayanımı
f_y :	Donatı çeliği akma dayanımı
f_u :	Donatı çeliği kopma dayanımı
h :	Kesit yüksekliği
L :	Konsol eleman boyu
l_{ilk} :	İlgili potnsiyometrik cetvelin ilk ölçüm boyu
L_p :	Plastik mafsal boyu
M :	Eğilme momenti
s :	Enine donatı aralığı
V_c :	Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d :	Betonarme kesitin kesme istemi
V_r :	Betonarme kesitin kesme dayanımı
V_w :	Enine donatının kesme dayanımına katkısı
x_{i-j} :	İlgili potnsiyometrik cetveler arası mesafe
Δ_{i-j} :	İlgili potnsiyometrik cetvelden ölçülen yerdeğiştirme
Δ :	Konsol eleman uç yerdeğiştirmesi
Δ_y :	Konsol eleman akma durumunda uç yerdeğiştirmesi
Δ_p :	Konsol eleman plastik uç yerdeğiştirmesi
ε_{ck} :	Kabuk betonu birim şekildeğiştirmesi
ε_{cg} :	Gövde betonu birim şekildeğiştirmesi
ε_{cs} :	Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
θ :	İlgili kesitin açısal yerdeğiştirmesi
μφ :	İlgili kesitin eğrilik sünekliği
μΔ :	İlgili kesitin yerdeğiştirme sünekliği
ρ :	Kesitin üst bölgesinde bulunan boyuna donatı oranı
ρ' :	Kesitin alt bölgesinde bulunan boyuna donatı oranı
ρ_b :	Dengeli donatı donatı oranı
ρ_w :	Hacımsal enine donatı oranı
φ_o :	İlgili kesitler arasındaki dilime ait ortalama eğrilik
ρ_s :	Kesitte mevcut enine donatının hacımsal oranı
ρ_{sm} :	TDY(2007)'ye göre bulunması gerekli enine donatının hacımsal oranı
φ :	İlgili kesitin eğriliği
φ_y :	İlgili kesitin akma eğriliği
φ_p :	İlgili kesitte plastik eğrilik
Ø :	Donatı çapı

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam süresince desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Şerif SAYLAN'a en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmasının her bir adımında maddi ve manevi olarak bana yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ'a, konu hakkındaki bilgi ve deneyimleri ile katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER'e, deneysel çalışmaların tamamında büyük katkısı bulunan Sayın Cihan POLAT'a, çalışmayı maddi olarak destekleyen A.G. Mühendislik çalışanlarına, deneysel çalışmaların bütün aşamalarında laboratuvarda beni yalnız bırakmayan ve çok büyük emeği bulunan başta Mehmet OĞUZ, İrfan AKKÖSE, Cumali Ogün GÖKER ve Mesut KÜÇÜK olmak üzere bütün dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunar ve onlar olmadan bu çalışmanın gerçekleşmeyeceğini belirtmek isterim.

Bu günlere gelmemde sonsuz emeği bulunan değerli annem E. Birsen TÖRE'ye ve değerli abim Serkan TÖRE'ye tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Dişli ya da asmolen döşeme sistemi düşey yükler altında daha büyük açıklıklar geçilebilmesi, tavanda diş oluşmaması dolayısıyla düz bir tavan elde edilmesi, kullanılan dolgu malzemesinin etkin ısı ve ses yalıtımı sağlaması ve düz bir kalıp kullanılarak yapıldığı için işçiliğinin kolay, hızlı ve ekonomik olması gibi sağladığı avantajlar nedeni ile geçmişten günümüze betonarme binalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Daha çok deprem tehlikesinin az olduğu Akdeniz ve Ortadoğu ülkelerinde tercih edilen bu döşeme sisteminin bir deprem ülkesi olan ülkemizde tercih edilmesi geçmişte tartışma konusu olmuş, hatta ABYYHY 1968'de birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yapılması yasaklanmıştır [1]. Daha sonraki deprem yönetmeliklerinde belirli kısıtlamalar ile izin verilmişse de şuanda yürürlükte olan TDY (2007)'de bu döşeme sistemlerinin kullanımı için sadece taşıyıcı elemanların ve birleşim bölgelerinin yüksek süneklikli olarak tasarlanması koşulu yer almaktadır [10].



Şekil 1.1: Dişli (asmolen) döşeme sistemi [2]

Ülkemizde yaşanan depremlerde dişli (asmolen) döşeme sisteminin kullanıldığı yapılar incelendiğinde yaşanan tartışmaların gereği ortaya çıkmaktadır. 1967 Adapazarı depreminde yıkılan çoğu binada dişli döşeme sistemi bulunmaktadır. 1998 Adana Ceyhan depreminde kiriş derinlikleri sığ olan dolgulu dişli döşeme sistemli yapılarda büyük hasar ve yıkım yaşanmıştır [3]. 1999 Marmara depreminde bu döşeme sistemine sahip birçok yapıda büyük hasar ve göçme durumu gözlenmiş,

1968 yönetmeliğinde bu sistemlerin kullanımının yasaklanmasına rağmen ilgili yönetmelik döneminde asmolen döşeme sistemi kullanılarak yapılan Yüksel Sitesi 300 den fazla can kaybına neden olmuştur [4]. En son yaşanan 2011 Van depremi sonrası üniversiteler ve Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan raporlarda asmolen döşeme sisteminin kullanıldığı yapılarda önemli derecede hasar meydana geldiği belirtilmiştir [5-7].



Şekil 1.2: Adana-Ceyhan depreminde yıkılmış dişli döşeme sistemli bina [8]

Dişli döşemeli yapı sistemlerinin deprem davranışlarının olumsuz olmasının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenlerden bir tanesi asmolen döşemenin kullanılması nedeniyle bu yapıların taşıyıcı sistemlerindeki ana kiriş yüksekliklerinin döşeme dış yüksekliğinde oluşturulmasıdır. Yüksekliği küçük olan bu kirişlerin eğilme ve kesme dayanımlarının artırılması amacıyla kiriş genişliği arttırılmaktadır. Bu şekilde genişliği yüksekliğine oranla daha büyük olarak tasarlanan kirişler düşey ve yatay yükler etkisi altında zayıf eksenleri etrafında eğilmeye maruz kalmaktadırlar. Kirişli döşemenin tercih edildiği yapılardaki alışlagelmiş taşıyıcı kirişlere göre bu tür kirişlerin düşük yükseklikleri nedeniyle eğilme rijitlikleri de çok küçüktür. Kirişlerin dış yüksekliğinde sığ ve geniş yapılması nedeniyle çerçevelerin eğilme ve yatay ötelenme rijitliği çok zayıftır. Bu nedenle deprem etkisi altında yapı büyük yerdeğiştirmeler yapar ve taşıyıcı elemanlar aşırı zorlanarak büyük şekildeğiştirmeler meydana gelir. Taşıyıcı sistemleri bu tür kirişlerden meydana gelen yapılar hafif ve orta şiddetli deprem etkilerinde bile normal kirişli yapılara oranla daha büyük yerdeğiştirmeler yapabilmektedir. Düşük yerdeğiştirme rijitliğine sahip bu yapılarda şiddetli deprem etkilerinde meydana gelen büyük

şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmeler nedeni ile ikinci merteye etkilerin artmasıyla beraber büyük hasar oluşmakta, hatta yapıda kısmi veya tamamen göçme durumu gözlenmektedir. Bu dezavantajı nedeni ile ABYYHY (1975)'nde asmolon döşeme sisteminin kullanıldığı yapıların yükseklikleri deprem bölgelerine göre sınırlandırılmış ve bu sınırlardan daha yüksek yapılarda perde duvar kullanım zorunluluğu getirilmiştir [9].



Şekil 1.3: Dişli döşemeli sistemde sığ ve geniş (yastık) kiriş [2]

Son yirmi yılda depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı ön plana çıkmaktadır. Deprem etkisi altında taşıyıcı elemanların ve bu elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınarak yapının deprem performansını belirlemeye dayanan bu kavram çağdaş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yerini almıştır. TDY (2007)'de ise mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmektedir. Bir binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekildeğiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılması ile yapılır. Bir taşıyıcı sistem elemanının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek yapılır [11].

Literatürde genellikle geniş kiriş olarak isimlendirilen kirişlerin kullanıldığı yapılarda, şiddetli deprem etkisi altında en çok kirişlerin zorlanması ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin bu kirişlerin uç bölgelerinde yoğunlaşması

beklenmektedir. Zayıf eksenini etrafında eğilen geniş betonarme kirişlerin deprem performanslarının belirlenebilmesi için plastik şekildeğiştirme özelliklerinin irdelenmesi ve mevcut deprem yönetmeliklerinde kirişler için belirtilen hasar sınırlarının uygunluğunun incelenmesi gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Betonarme kirişler üzerine çok sayıda önemli çalışma gerçekleştirilmesine rağmen deprem bölgelerinde tercih edilmemesi nedeniyle geniş kirişler üzerine sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde sahip olduğu avantajlar nedeniyle asmolen döşemeli, kirişleri sığ ve geniş şekilde oluşturulmuş çok sayıda mevcut yapı bulunmakla birlikte, 1. Derece deprem bölgeleri de dahil olmak üzere bir çok yeni yapı bu şekilde yapılmaktadır. Deprem etkisi altında bu yapılarda doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin yoğunlaşacağı kirişlerin davranışlarının iyi bilinmesi, plastik şekildeğiştirme özelliklerinin irdelenmesi gerekmektedir.

Zayıf eksenini etrafında eğilen geniş betonarme kirişlerde yapılan araştırmalar sonucu tek etriyenin kullanıldığı kirişlerin kesme kuvveti kapasitesi yönetmelik ifadelerine göre hesaplanmış değerlerden daha düşük olabileceğini göstermiştir [22]. Yönetmelikler kiriş genişliği boyunca herhangi bir kısıtlama içermediğinden sığ ve geniş kirişlerde kesme kapasitesinin yeterli olması durumunda uygulamada tek etriyeli olarak yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada ayrıca tek ve çift etriye kullanılmasının sığ ve geniş kiriş davranışlarına etkisi incelenecektir.

Ülkemizde sadece mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılan yerdeğiştirmeyi göz önüne alan performansa dayalı değerlendirme kavramı yakın zaman içinde yeni yapıların tasarımında da tercih edilerek performansa dayalı tasarım yapılacağı öngörülmektedir. Yapıların deprem etkisi altında performansı taşıyıcı eleman performanslarının bir bütünüdür ve plastik şekildeğiştirmelerin çoğunlukla meydana geldiği kirişlerdeki hasar durumu, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yaklaşımının önemli parametrelerindedir. Kirişler için yönetmeliklerde verilen hasar sınırlarının sığ ve geniş kirişler için uyumunun araştırılması bu çalışmanın amaçlarından birini oluşturmaktadır.

Bu bölümde belirtilen amaçlara ulaşabilmek için boyuna ve enine donatı düzeni birbirinden farklı dört adet konsol betonarme sığ ve geniş kiriş numunesi tersinir tekrarlı yükler altında Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında test edilmiştir. Elde edilen sonuçların bu tür kirişlerin doğrusal olmayan davranışlarının değerlendirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Betonarme sığ ve geniş kirişlerin bulunduğu taşıyıcı sistemler daha çok deprem tehlikesinin az olduğu ülkelerde kullanılması ve genellikle yatay yük taşıyıcı sistemlerde tercih edilmemesi nedeniyle bu tür kirişler üzerine sınırlı sayıda çalışma yapılmış, yapılan çalışmalarda daha çok bu tür kirişlerin kolonlar ile birleşimi birlikte incelenmiştir. Bu nedenle bu bölümde daha çok genel olarak betonarme kirişler ve geniş kiriş-kolon birleşimleri üzerine yapılan deneysel çalışmalar ile beraber hasar sınırları ile ilgili çalışmalara yer verilecektir.

Celebi ve Penzien [12] gerçekleştirdikleri deneysel araştırmada betonarme iç kirişlerin davranışını araştırmışlardır. Etriye aralığı ve kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı (a/d) değişken olarak belirlemiş, 12 adet kiriş numunesi test edilerek, bu değişkenlerin kirişlerin enerji sönümlene kapasitesine ve rijitlik azalımına etkisi araştırılmıştır.

Araştırma sonucunda düşük nominal kayma gerilmesinin söz konusu olduğu durumlarda etriye aralığı için yönetmelik koşullarının hafifletebileceği belirtilmiştir. Deneysel dinamik yüklemenin numunelerin akma dayanımını arttırması dışında her hangi bir önemli etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Yüksek nominal kayma gerilmesinin mevcut olduğu durumlarda enerji sönümlene ve rijitlik özelliklerinin ciddi oranda etkilendiği ve bu nedenle matematiksel modellerde göz önüne alınmasının gerekliliği belirtilmiştir.

Betonarme kirişlerin doğrusal olmayan davranışı üzerine yapılan en önemli çalışmalardan biri Ma. ve diğerleri [13] tarafından gerçekleştirilmiştir. Şiddetli deprem etkisindeki betonarme üç boyutlu sünek çerçevelerde plastik şekildeğiştirmelerin yoğunlaşmasının beklendiği kritik bölgeler olan kirişlerin kolon

yüzüne yakın uç bölgelerinin doğrusal olmayan davranışını deneysel ve analitik çalışmalarla incelemiştir. Araştırmanın deneysel kısmında 20 katlı bir ofis binasının alt katlarındaki kirişlerin ½ ölçekli modeli olan 9 adet konsol kiriş numunesi tersinir ve tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Deney numunelerinin tasarımı tablanın, basınç ve çekme donatılarının birbirlerine göre oranının, enine donatıların, kesme açıklığına göre değişen büyük kesme etkisinin, kademeli artan ve sabit maksimum genlikli yükleme geçmişinin doğrusal olmayan davranışa etkisini inceleyecek şekilde yapılmıştır.

Sonuçlar tabla için de bulunan donatılar nedeniyle kirişlerin moment kapasitesinin bir doğrultuda arttığını göstermiştir. Basınç donatısının çekme donatısına eşit olması durumunda enerji sönümlenme kapasitesinin %27 ila %54 arasında arttığı, etriye tarafından tutulu olmayan basınç donatılarında ek çiroz kullanılmasının enerji sönümlenme kapasitesini %74 e kadar çıkardığı belirtilmiştir. Yüksek nominal kayma gerilmesinin olduğu kısa kirişlerin enerji sönümlenme kapasitelerinin benzer, ama daha uzun kirişlerin enerji sönümlenme kapasitelerine göre yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Kademeli olarak artan yük çevrimine maruz kirişlerin, maksimum genlikle sabit yük çevrimine maruz kirişlerden daha büyük miktarlarda enerji sönümlendiği belirtilmiştir. Deney numunelerinin eriştiği en büyük plastik dönme değerlerinin 0.026 ila 0.058 arasında olduğu ve bu değerlerin sünek çerçeve elemanları için yeterli olduğunu belirtilmiştir.

Hafif donatılı betonarme kirişlerin tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışı Nmai ve Darwin [14] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada incelenmiştir. Boyuna donatı oranı 0.0069 ve 0.0103 olan, etriye aralığı faydalı yüksekliğin 0.10 u ila 0.25 i arasında değişen ve basınç bölgesindeki donatının çekme bölgesindeki donatıya oranı 0.5 ve 0.75 olan yedi adet betonarme konsol kiriş test edilmiştir. Kirişlerin performansı toplam sönümlenen enerji ve eleman enerji sönümlenme indeksi göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışma donatı oranının azalması ile elemanların tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışının iyileştiğini açıkça göstermiştir. Etriye aralığının azaltılması ve çekme donatısının basınç donatısına oranının artışı ile doğrusal olmayan çevrim sayısının arttığını ve dolayısı ile toplam sönümlenen enerji miktarının da arttığını belirtilmişlerdir.

Popov ve diğeri [15], geniş ve sığ kirişler ile döşeme ve kolonların iç birleşim bölgesinin, sismik yükler altındaki davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar kiriş genişliğinin kolon genişliğinden daha büyük olması nedeniyle kolonun dışından geçen kiriş boyuna donatılarının davranışa ve yük aktarımına etkisi üzerine yoğunlaşmışlardır. Deneylerden elde edilen sonuçlarda geniş kirişlerin donatılarının kolon dışından geçmesi durumunun herhangi bir olumsuzluk meydana getirmediği, yatay dayanım ve rijitliğe katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir.

Benavent-Climent [16] düşey yükler göz önüne alınarak tasarlanan betonarme geniş kiriş-kolon birleşimlerinin sismik davranışını deneysel incelemiştir. 2/3 ölçekli bir iç ve bir dış birleşim numunesi üretilmiş ve numunelerde göçme durumu gerçekleşinceye kadar sarsma tablasında sismik etki altında test edilmiştir.

Deneylerde iç birleşimin zayıf kiriş-güçlü kolon mekanizması, dış birleşimlerin ise güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizması şeklinde davrandığı gözlemlenmiştir. İç ve dış birleşimlerde akma ötelenmeleri sırasıyla %1.5 ve %3 olarak elde edilmiş ve bu sonuçlar numunelerin çok düşük yatay rijitlik sergilediğini göstermiştir. Ayrıca bu değerlerin yönetmeliklerdeki hasar sınır değerlerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Deney sonucunda elde edilen 2.5 yerdeğiştirme sünekliği oranı güncel deprem yönetmeliklerinde sünek çerçeveler için belirtilen değerlerden önemli oranda küçüktür. Numunelerin enerji sönmeme kapasiteleri çevrimsel yükleme etkisinde, yeterli performansı sağlamak için önerilen değerlerin yaklaşık üçte biri seviyesindedir.

Li ve Kulkarni [17] deprem yüküne maruz geniş kiriş-kolon birleşimi üzerine deneysel ve nümerik araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında üç adet tam ölçekli dış geniş kiriş-kolon bileşimi yarı statik deprem yükü etkisinde test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile bu tip bileşimlerin sismik performansını değerlendirmişlerdir. Oluşturdukları üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar modelini deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Kolon eksenel yük seviyesi, sargı donatısı gibi önemli faktörlerin bileşimin davranışına etkisi gerçekleştirilen parametrik çalışma ile analiz edilmiştir.

Deneysel ve nümerik çalışmaların sonucunda uygun şekilde tasarlanan geniş kiriş-kolon bileşimlerinin yatay yükler altında dayanım ve deformasyon

kapasitelerine herhangi bir olumsuzluk oluşmadan ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Geniş kirişlerinin burulma davranışının bileşimin deprem davranışına hakim olduğu, kirişlerin burulma kapasitelerine ulaşması ile numunelerin dayanım kapasitesine eriştiği belirtilmiştir. Bu sebeple kirişlerin tasarımı ve enine donatı detaylandırılmasında bu durumun dikkate alınmasının gerektiği çalışmada vurgulanmaktadır. Kiriş kesit boyutlarının büyük olması nedeniyle kiriş etriyelerindeki kayma gerilmelerinin küçük seviyelerde kaldığı gözlemlenmiş ve bu nedenle kirişlerde kayma donatısının rahatlatılabileceği öngörülmüştür.

Elmanshawi ve diğerleri [18, 19] kirişlerde plastik mafsal oluşumunu ve plastik mafsal boyunu etkileyen faktörleri, gerçekleştirdikleri deneysel çalışma ile incelemiştir. Farklı beton dayanımına, basınç/çekme donatısı oranına, kesme donatısı oranına ve kesme açıklığına sahip betonarme konsol kirişler tersinir ve tekrarlı yük altında test edilmiştir. Kiriş numuneleri kolonu temsil eden taban elemanları ile birlikte üretilmişler ve plastik şekildeğiştirmelerin kiriş uçlarında oluşmasını sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır. Deneysel çalışmada araştırmacılar çatlama ve kabuk betonunun dökülmesi, doğrusal olmayan eğrilik dağılımı ve plastik mafsal oluşumu olmak üzere üç aşama üzerine yoğunlaşmışlardır.

Çalışma, beton basınç dayanımının (sınıfının) kabuk betonunun dağılmasını ve eğrilik dağılımını etkilemesine rağmen plastik mafsal uzunluğunu etkilemediğini göstermiştir. Kesme dayanımının kesme istemine oranı 2.0 dan az olan elemanlarda, kesme etkisinin yayılmasından dolayı plastik mafsal uzunluğunun kiriş yüksekliğinin %40 ı civarında arttığı ve bu artışın göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir. Asimetrik donatı yerleşimi nedeniyle deformasyonların daha çok zayıf tarafta olduğu ve plastik mafsal uzunluğunun önemli derecede azaldığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar kesme yayılımından kaynaklanan plastik mafsal uzunluğundaki artışını öngören bir bağıntı önermişlerdir.

Acun ve Sucuoğlu [20,21] tarafından yapılan deneysel çalışmada 12 adet konsol betonarme kolon farklı yükleme geçmişleri uygulanarak, tersinir tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Deneysel numuneleri deprem yönetmeliği ile uyumsuz ve uyumlu olarak iki tip şeklinde tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlar Eurocode 8, ASCE/SEI 41 ve TDY-2007 tarafından önerilen betonarme elemanlar için hasar sınırları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Deney sonuçları göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede deprem yönetmeliği ile uyumsuz olarak tasarlanmış kolonlarda yönetmeliklerin önerdiği şekildeğiştirme esaslı performans sınırlarının tutucu kaldığı görülmüştür. Bu nedenle araştırmacılar yönetmelik sınırlarının mevcut binaların deprem risklerinin değerlendirilmesinde yanıltıcı sonuçlar verebileceğini düşünmektedirler. Deprem yönetmeliği ile uyumlu olarak tasarlanan numunelerden elde edilen sonuçlar ise yönetmelikler tarafından önerilen sınırların makul düzeyde olduğunu göstermiştir.

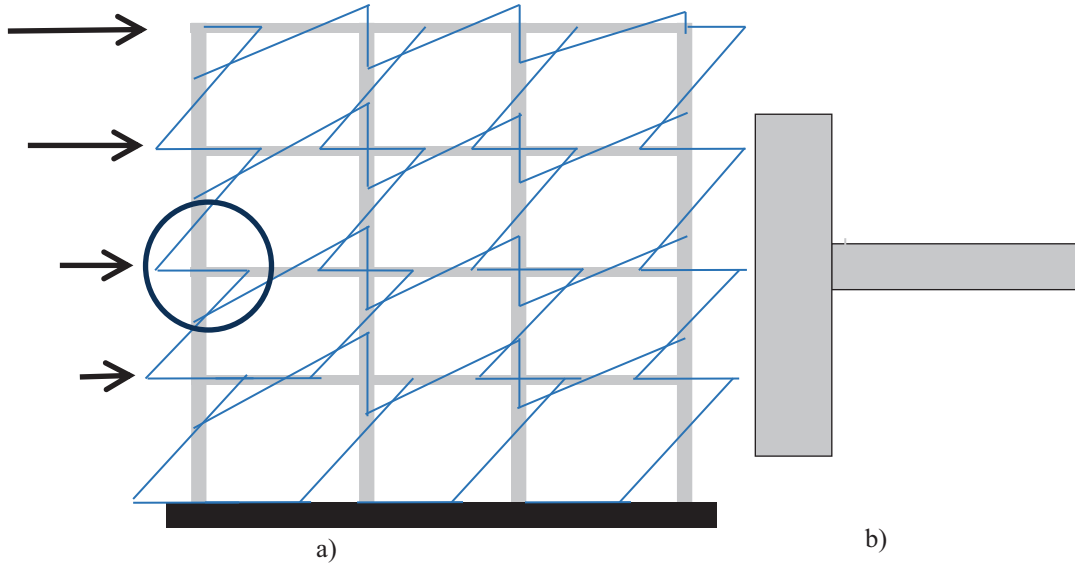
Lubell ve diğerleri [22] yönetmeliklerde enine donatı düzenlemesi için verilen ifadelerin geniş kirişler için uyumluluğunu araştırmak amacıyla 13 adet geniş kiriş numunesi tekil yükleme altında basit kiriş olarak test etmişlerdir. Deney sonuçları kesit içine iyi yayılmış enine donatı düzeni tercih edilmesi halinde yönetmeliklerin kesit kesme kapasitesini güvenli olarak belirleyebildiğini göstermiştir. Enine donatı olarak sadece iki kollu donatıların kullanılması durumunda numunelerin kesme kapasitesinin yönetmelik tarafından belirlenen değerden daha küçük olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucu geniş kirişlerde yönetmeliğe uygun kesme kapasitesinin sağlanabilmesi için kiriş genişliğince enine donatı kolları aralığının kesit faydalı yüksekliğinden veya 600 mm'den büyük olmaması gerektiği önerilmiş, yüksek nominal kesme gerilmesi durumunda bu değerlerin yarı yarıya azaltılması gerektiği belirtilmiştir.

2. Deneysel Çalışma

Bu bölümde geniş betonarme kirişlerin plastik şekildeğiştirme özelliklerinin incelemesi amacıyla gerçekleştirilecek deneylerde numunelerinin üretimi ve tasarımı, deney düzeneği, yükleme sistemi ve ölçüm düzeneği ilgili detaylar sunulmuştur.

2.1 Deney Numunelerinin Tasarımı

Geniş betonarme kiriş deneylerinde test edilecek deney numuneleri Şekil 2.1.a'da gösterildiği üzere yatay yük etkisi altında zorlanan bir betonarme çerçeve sistemin kolon kiriş birleşimini temsil edecek şekilde tasarlanmıştır. Deney numuneleri, kolon kiriş birleşiminin kolonunu temsil eden betonarme eleman ve esas olarak incelenecek konsol kiriş eleman kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 3.1.b). Deney numuneleri konsol kirişin ucuna uygulanacak tersinir tekrarlı yatay yük altında düşey olarak test edilmiştir.



Şekil 2.1: a) Yatay yük altında model çerçeve ve eğilme momenti diyagramı

b) Kolon kiriş birleşimi

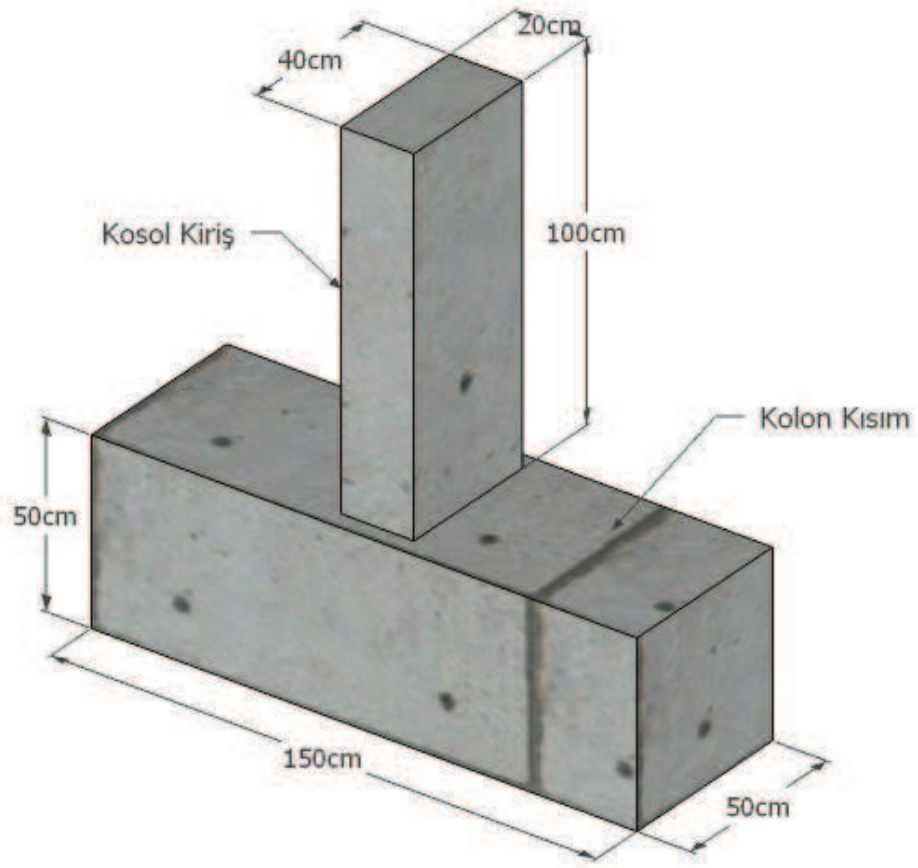
Gerçekleştirilen deneyde plastik şekildeğiştirmelerin sadece incelenmesi hedeflenen kiriş uç bölgesinde gerçekleşmesi ve kolonu temsil eden betonarme elemenda deney sonuçlarını etkileyebilecek şekildeğiştirmelerin meydana gelmemesi amacıyla kolon eleman kesit boyutları 1500x500x500 mm olarak seçilmiştir. Kolon

boyuna donatıları eleman eğilme kapasitesinin kiriş eğilme kapasitesinden daha büyük olacak şekilde 8Ø14 olarak seçilmiş ve her kenara 3'er adet olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kiriş ve kolon elemanın birleşim bölgesinde Ø8'lik etriyeler 100 mm arayla yerleştirilerek birleşim bölgesinin kesme kapasitesi artırılmış, böylece birleşim bölgesinde oluşabilecek kesme hasarları engellenmiştir.

Deney numunelerinin konsol kirişinin tasarımında laboratuvar şartları ve deney düzeneği kapasiteleri göz önüne alınarak kiriş kesit genişliğinin yüksekliğine oranı (h/b) 2 olacak şekilde 400/200 mm olarak seçilmiştir. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 4 ten küçük olan kirişler yüksek kesme etkisi altında kalırlar ve bu tür numuneler daha gevrek davranış gösterirler. Uygulamada sığ ve geniş kirişlerde kiriş yüksekliklerinin düşük olması nedeniyle kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı genellikle bu sınır değerden büyüktür. Bu nedenle deney numunelerinin konsol uzunluğu kesit yüksekliğinin 5 katı (100 cm) olarak seçilmiş ve numunelerin eğilme hakimi davranış sergilemesi sağlanmıştır. Tasarlanan kesit boyutları ile deney numunesi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Bütün kiriş numunelerinin enkesit alt bölgelerine uygulamada minimum değer olarak kullanılan 4Ø12 boyuna donatı olarak yerleştirilmiştir. Numunelerin enkesit üst bölgesine ise 4Ø12 ile 6Ø16 olmak üzere iki farklı miktarda donatı yerleştirilerek numuneler iki gruba ayrılmıştır. Bu donatı miktarlarından 4Ø12 uygulamadaki minimum değeri temsil ederek, minimum boyuna donatıya sahip sığ ve geniş kirişlerin davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Pozitif moment bölgesine 6Ø16 yerleştirilen numunelerde ise deprem yönetmeliğinde [10] belirtilen mesnetteki kiriş kesitinde üst bölgedeki boyuna donatı oranının en az yarısı kadar alt bölgede donatı bulunması ($\rho/\rho' \geq 0.5$) koşuluna uymayan, alt ve üst bölge boyuna donatı oranlarının birbirine oranı 0.37 olacak şekilde boyuna donatıların bulunması durumunda kirişlerin davranışı incelenmiştir. Ayrıca $(\rho - \rho')/\rho_b > 0.5$ olması durumunda kirişler için hasar sınırl

arını ifade eden değerlerin değiştiği yönetmeliklerde belirtilmektedir [23]. 6Ø16 kullanılan numunelerde bu değer 0.50'den daha fazla olduğu için hasar sınırlarındaki bu değişim deney sonuçlarında incelenmiştir.

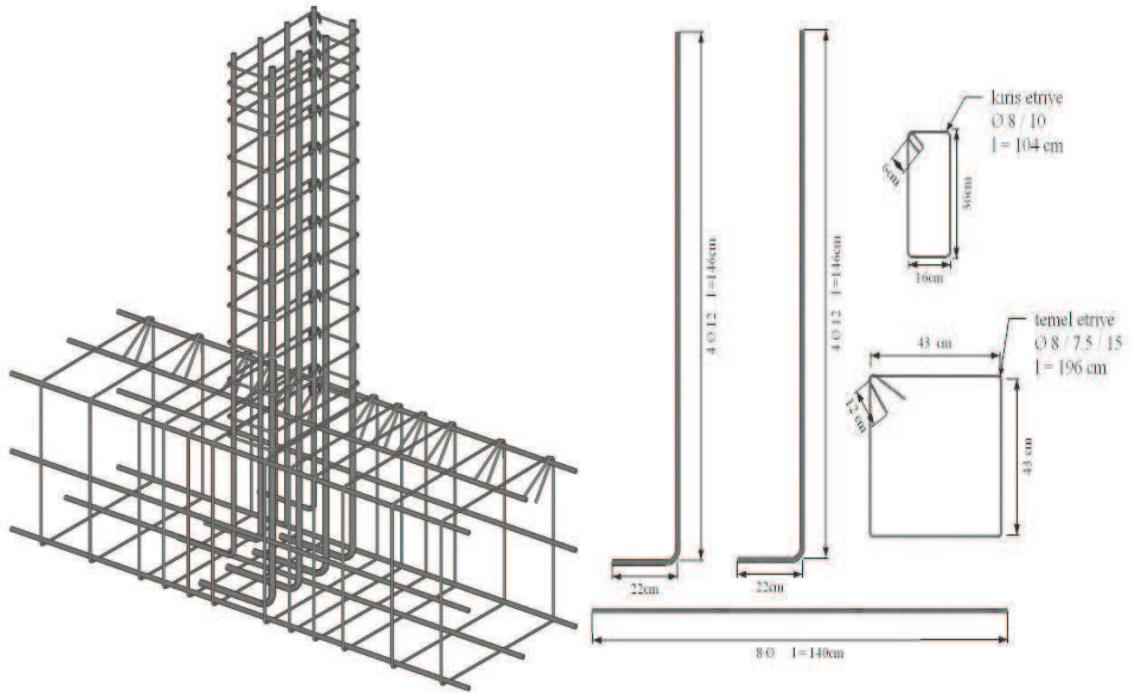


Şekil 2.2: Deney numunesi

Literatürde sığ ve derin kirişlerde 4 veya daha fazla kollu etriyenin kullanılması tavsiye edilse de uygulamada bu durum ile ilgili herhangi bir yönetmelik şartı bulunmadığı için iki kollu etriyeler kullanılmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak bir grup numune iki kolu (tek) etriye, diğer grupta ise 4 kollu (çift) etriye enine donatı olarak kullanılmıştır. Deneylerde kirişlerin sünek eğilme hakimi davranışı göstermesi amaçlandığı için kirişlerin kesme kapasitelerinin deney sırasında maruz kalacakları kesme kuvveti değerinden daha yüksek olacak şekilde tasarlanmıştır. Mevcut yapılarda en çok karşılaşılan tasarım sorunlarından bir tanesi olan yetersiz sargı durumunun da incelenmesi amacıyla etriye aralığı bütün numunelerde 100 mm olarak seçilmiştir. Bu değer deney numunelerinin yeterli kesme kapasitesi sağlamakla birlikte yönetmeliklerin sargılama bölgelerinde minimum koşulu olan $h/4$ değerini sağlamamaktadır. Ayrıca ASCE/SEI-41'de [23] hasar sınırlarının belirlenmesi açısından etriye aralığının $d/3$ sınır değerinden küçük olduğu için numuneler yetersiz sargılı (Nonconforming-NC) sınıfına girmektedir. Deney numunelerinin kesit boyutları ile boyuna ve enine donatı düzenlemesi Şekil 2.3 ve 2.4'te ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Modern deprem yönetmeliklerinde yer alan kapasite tasarımı ilkeleri kiriş numunelerinin tasarımında göz önüne alınarak kesme güç tükenmesi, aderans kaybı, donatı sıyrılması gibi gevrek güç tükenmesi şekillerinin engellenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu amaçla enine donatı olarak kullanılan bütün etriyelerde yeterli boyda 135° lik kanca uygulanmıştır.

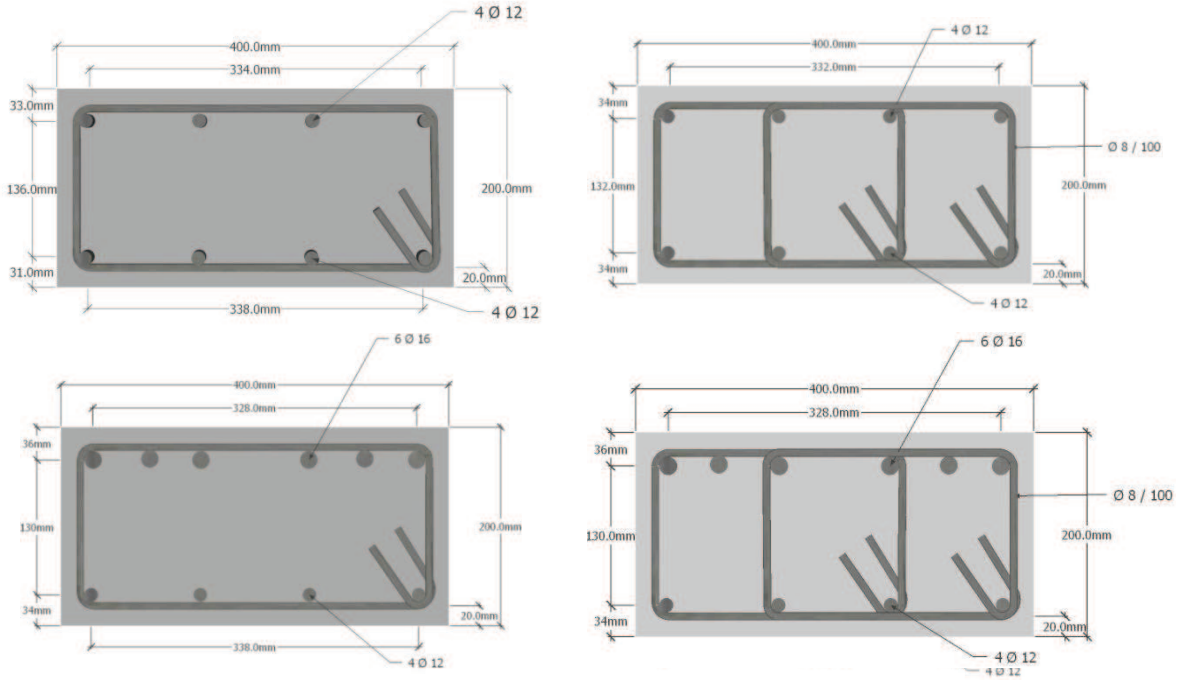
Numunelerin isimlendirilmesi alttaki donatı miktarının, üstteki donatı miktarına oranına (1-0.37) ve enine donatının tek ya da çift etriye olarak kullanılmasına göre (T-Ç) gerçekleştirilmiştir. Numune isimleri, boyutları, enine ve boyuna donatı özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.3: Numune Donatı Düzeni

Tablo 2.1 Numune Özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları b/h (cm)	Üst Donatı ρ	Alt Donatı ρ'	ρ'/ρ	s (cm)	Enine Donatı ρ_w
GK-1-T	40/20	0.006283	0.006283	1	100	0.002793
GK-1-Ç	40/20	0.006283	0.006283	1	100	0.005585
GK-0.37-T	40/20	0.016755	0.006283	0.37	100	0.002793
GK-0.37-Ç	40/20	0.016755	0.006283	0.37	100	0.005585



Şekil 2.4: Numunelerin kesit boyutları ve donatı yerleşimi

2.1.1 Beton

Numunelerin üretiminde kullanılan betonun hedef basınç dayanımı $f_c' = 22$ MPa seçilerek karışım hesapları gerçekleştirilmiştir. Beton karışımında agrega olarak kum (0-8 mm), dere çakılı (0-31,5mm) ve kırmataş (16-31,5mm), bağlayıcı olarak ise CEM IV/A (P-V) 32,5 R çimento kullanılmıştır. Yapılan karışım hesabı sonucunda betonun su/çimento oranı 0.61'dir. Beton dökümü sırasında yapılan standart kıvam deneyi sonucunda bütün numunelerde çökme değeri 3 ila 11 cm arasında değişmekte olup bu değer aralığı kiriş elemanlar için uygundur. Gerekli görüldüğü durumlarda betona akışkanlaştırıcı katkı katılarak kıvamı artırılmıştır.

Beton üretimi esnasında her bir numuneden alınan 6 adet 150x150x150 mm lik standart küp numuneleri üzerine 7. ve 28. günde standart basınç deneyi yapılmıştır. 28. günlük küp numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda elde edilen ortalama basınç dayanımı boyut faktörü ile çarpılarak Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Beton Basınç Dayanımları

Numune	Ortalama Beton Basınç Dayanımı, f_{cm} , (MPa)
GK-1-T	16,25
GK-1-Ç	25.37
GK-0.37-T	20.64
GK-0.37-Ç	16.57

2.1.2 Donatı Çeliği

Deney numunelerinde kullanılan donatı çeliği için farklı üreticilerden temin edilen, farklı çaplardaki Ø8, Ø12, Ø14, Ø16 donatılardan standardına uygun boyutlarda numune kesilerek standart çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.3'te verilen deney sonuçlarından görüldüğü üzere donatı akma ve kopma dayanımları S420a için öngörülen değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle eleman kesme ve eğilme kapasitelerinin hesabında ve eleman davranışı için gerçekleştirilen analizlerde sonucu önemli oranda etkilemektedir. Bu işlemlerde donatının gerçek mekanik özelliklerinin kullanılması gerekmektedir.

Tablo 2.3: Donatı çelikleri akma ve kopma dayanımları

Mekanik Özellikler	Kullanılan Donatı Çapı			
	Ø8	Ø12	Ø14	Ø16
f_y (MPa)	665	556	547	534
f_u (MPa)	811	622	634	665

2.2 Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numunelerinin üretimi Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Mevcut kalıp malzemelerinin yetersizliği ve betonun betonyerle hazırlanarak dökülmesi nedeniyle numunelerinin her biri farklı zamanlarda üretilmiştir. İlk deney numunesinin betonu 04.10.2012 tarihinde

gerçekleştirilmiş, 09.10.2012 tarihinde son numunenin beton dökümü gerçekleştirilerek numune üretimi tamamlanmıştır. Numunelerin kolon kısımları ve konsol kiriş kısımlarının üretimi bir bütün olarak gerçekleştirilmiştir.

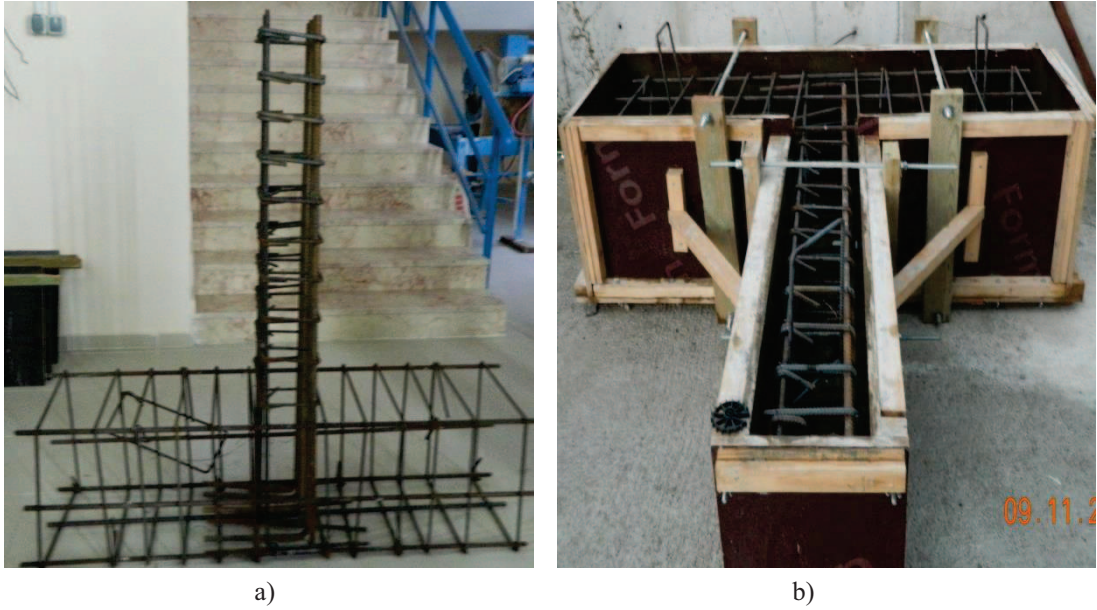
Numune kalıplarının hazırlanmasında ana malzeme olarak uygulamada sıkça tercih edilen playwood malzemesi kullanılmıştır. Playwood parçalarının rijitliklerinin artırılması, kalıbın stabilitesinin sağlanması ve playwood parçalarının birbirleri arasındaki bağlantıların oluşturulması amacıyla 35x40 mm en kesitli ahşap elemanlar kullanılmıştır. Hazırlanan kalıp parçaları arasındaki bağlantıların tamamı cıvata ve somunlar ile gerçekleştirilerek, kalıbın her bir üretimde daha az zarar görmesi ve kalıbın bir sonraki üretime hazırlığının basit bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Kalıpta riskli görülen bölgelerde Ø12 çaplı tij demirleri kullanılarak hazırlanan kelepçeler kullanılmıştır. Bu bölgelerin boyutları beton döküm süresince sürekli kontrol edilmiş, gerekli görülen durumlarda tijlerdeki somunlar sıkılarak boyutların sabit kalması sağlanmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kalıp sistemi

Deney numunelerinin boyuna donatıları gerekli boyutlarda, etriyeler ise gerekli boyutlar ve detaylarda hazırlanmış şekilde laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda numunelerin öncelikle kolon kısımlarının donatı iskeleti hazırlanmış, konsol kiriş kısımlarının donatıları ise kolon kısmının üzerinde hazırlanarak numunelerin donatı iskeletleri tamamlanmıştır. Numunelerde gerekli beton örtüsü plastik paspayları kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca numunelerin taşınmasını

sağlamak amacıyla üç farklı yere demir donatıdan kulplar hazırlanarak demir donatı iskeletine bağlanmıştır.



Şekil 2.6: a) Numune donatı iskeleti b) Donatının kalıba yerleştirilmesi

Beton dökümünden önce, betonun kalıba yapışmaması ve kalıbın rahatça sökülebilmesi için iyice temizlenmiş ve yağlanmıştır. Beton dökümü 125 dm^3 lük betonyer kullanılarak her bir numunede beş sefer beton dökümü yapılmıştır. Beton dökümü esnasında uygun şekilde vibrasyon işlemi yapılarak betonun yerleşmesi sağlanmıştır. Beton dökümü sırasında her bir numunede üç sefer standart kıvam deneyi gerçekleştirilmiş ve numunenin basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla altı adet standart küp numunesi alınmıştır. Her bir numune için ve standart altı adet küp numuneler için yaklaşık 0.500 m^3 lük beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü açık havada gerçekleştirildiği için suyun buharlaşması nedeniyle oluşacak yüzey çatlaklarının engellenmesi amacıyla numune üzerine 30 mm kalınlığında keçe örtü serilmiştir.

Numuneler yeteri kadar kalıpta bekledikten sonra kalıp söküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıpları sökülen numunelere bir hafta boyunca düzenli şekilde sulama yapılarak kür işlemi uygulanmıştır. Numuneler bakım işlemi tamamlandıktan sonra vinç yardımıyla üretim alanından deneyin gerçekleştirileceği alana taşınmıştır.



Şekil 2.7: Numune betonunun dökülmesi ve yerleştirilmesi

2.3 Deney Düzenegi

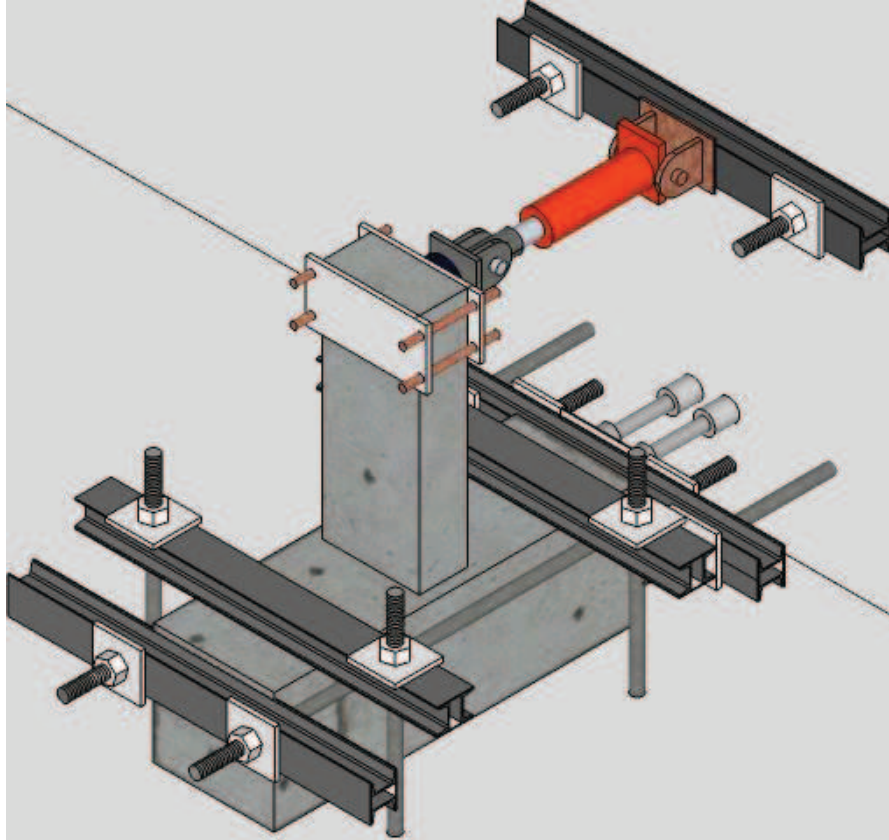
Deney düzenegi laboratuvarında bulunan reaksiyon döşeme ve duvar sistemi üzerinde oluşturulmuştur. Deney numunesine uygulanacak olan tersinir tekrarlı yükleme altında deney sonuçlarını etkileyecek şekilde rijit cisim hareketi yapmaması için yüksek dayanımlı çelik miller ve çelik profillerden oluşturulmuş kuşaklar kullanılmıştır.

Deney numunesinin kolon kısmında dönme meydana gelmemesi için numunenin reaksiyon döşemeyle bağlantısı üst yüzeyde önden ve arkadan olmak üzere toplam dört mil ve iki çelik kuşak kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuşaklar millerde bulunan somunları sıkmak suretiyle yüksek yük değerlerinde hareket etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Kolon kısmın yatay yük doğrultusunda hareketini engellemek için ise ön ve arka yüze kuşaklar yerleştirilmiş, bu kuşaklar iki çelik mil vasıtasıyla birbirine bağlanmıştır. Temel kısmın ön yüzünde bulunan kuşaktan iki mil daha geçirilerek bu miller reaksiyon duvarına bağlanmış, bu şekilde yük doğrultusunda hareket engellenmiştir. Numunenin diğer doğrultuda hareketini

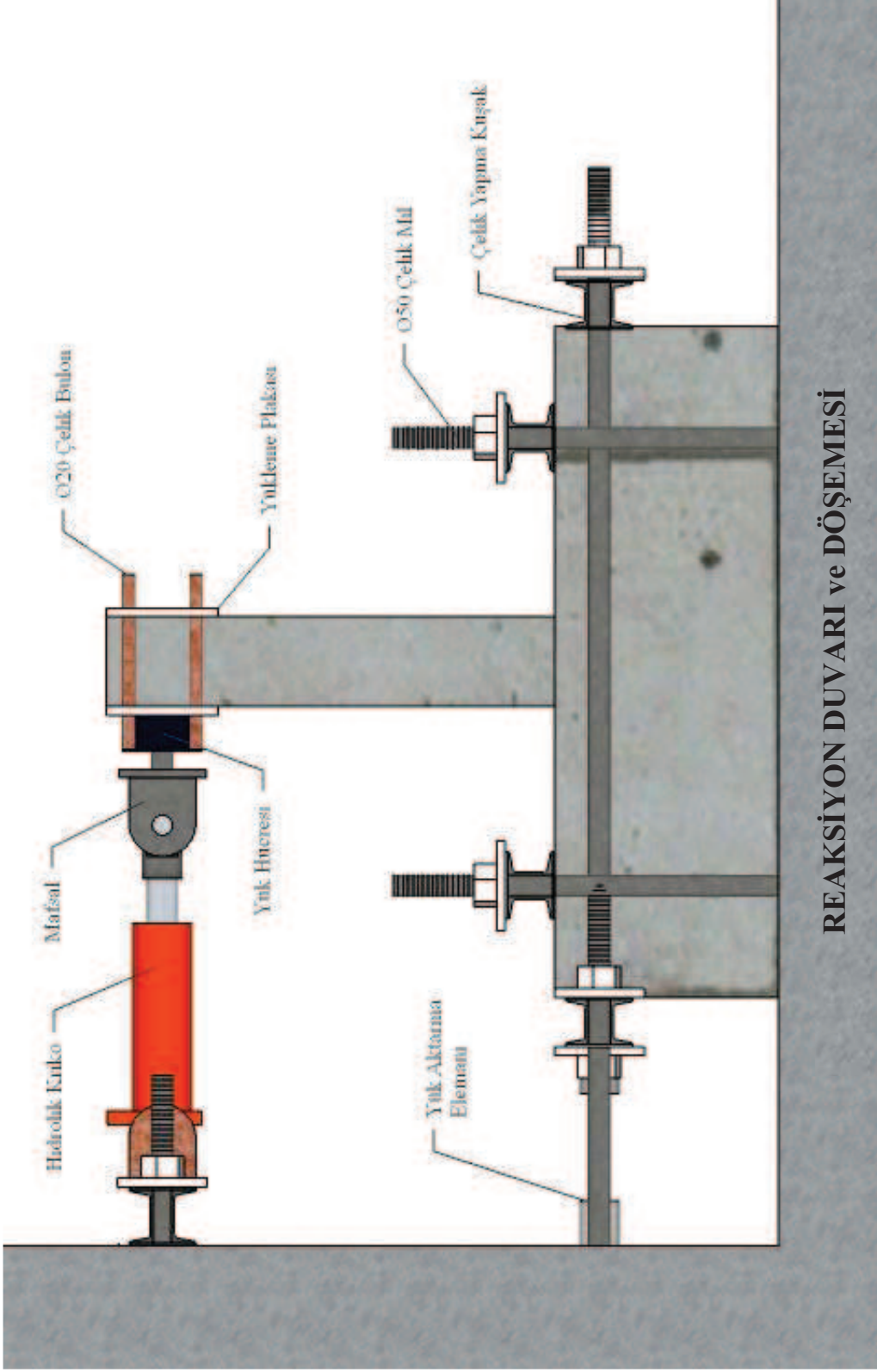
engellemek için numune ile reaksiyon duvarı arasında yük aktarımını sağlayacak çelik elemanlar tasarlanmış ve yerleştirilmiştir.

Deney numunelerine uygulanacak tersinir tekrarlı yükleme el kontrollü itmede 300 kN, çekmede 150 kN kapasiteli hidrolik kriko kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hidrolik pistondan reaksiyon duvarına yük aktarımı çelik profiller ve çelik plakalar kullanılarak üretilmiş çelik kuşak kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme sırasında meydana gelecek açı değişiklikleri nedeniyle kuşak ile hidrolik piston bağlantısı mafsal oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

Yükün verileceği bölgede konsol kiriş üzerine yükleme esnasında şekildeğiştirme yapmayacak 20mm kalınlığında iki çelik plaka ön ve arka yüze yerleştirilmiş, bu iki plaka birbirlerine 20mm çapında 4 çelik mil kullanılarak bağlanmıştır. Bu plakalar sayesinde yatay yük itme ve çekme olarak numuneye aktarılabilmektedir. Deney düzeneğinin üç boyutlu modeli Şekil 2.8’de, deney düzeneği ile ilgili detaylar Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Deney düzeneğinin üç boyutlu modeli



Şekil 2.9: Deney Düzeneği

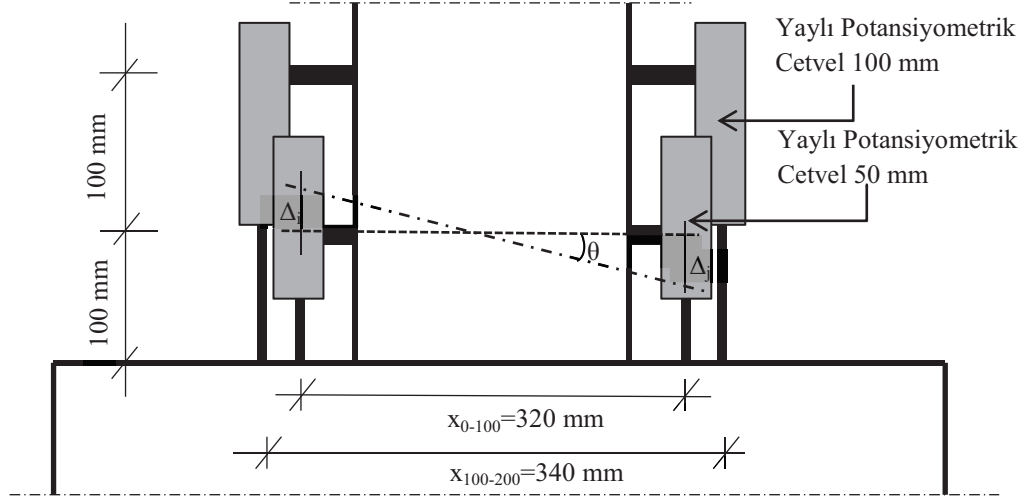
2.4 Ölçüm ve Veri Toplama Sistemi

Deneyde uygulanan tersinir tekrarlı yatay yükleme değerleri 200 kN kapasiteli yük hücresi kullanılarak elde edilmiştir. Yük hücresi numune üzerine yerleştirilen plağa cıvatalı bağlantılar ile yerleştirilmiştir. Yük hücresi ile yük veren hidrolik kriko arasına bir mafsal bağlantısı tasarlanarak yük aktarımı sağlanmıştır.

Numunenin konsol ucunda yatay yükleme sonucu deney süresince gerçekleşen yerdeğiştirme değerleri, bu bölgede numune arka yüzündeki yük aktarım plakasının merkezine yerleştirilen 300 mm ölçüm boyu olan potansiyometrik cetvelle ölçülmüştür. Ölçümün gerçekleştirildiği nokta kolon kısmın üzerinden 890 mm yüksekliğindedir. Yükleme doğrultusunda ayrıca kolon kısımdan 445 mm yüksekliğe 100 mm ölçüm boyu olan yaylı potansiyometrik cetvel kontrol amaçlı yerleştirilmiştir (Şekil 2.11).

Plastik şekildeğişirmelerin yoğunlaşmasının beklendiği bölge olan konsol kiriş-kolon kısım birleşim bölgesinde, kolon kısım yüzünden 100mm ve 200mm'lik yüksekliğe kadar olan bölgelerde ortalama eğrilik değerinin hesaplanması için 50mm ve 100mm ölçüm boylu yaylı potansiyometrik cetveller konulmuştur (Şekil 2.10). Bu potansiyometrik cetveller konsol kirişin ön ve arka yüzünde ilgili yükseklik değerlerine epoksi kullanılarak ekilen tijlere, kolon kısmın yüzüne dik olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Ön ve arka yüzde aynı seviyede yer alan potansiyometrik cetvellerde, konsol kirişin eğilmesi esnasında meydana gelen ilk boydaki değişimleri (uzama ve kısalma) arasındaki farkın ölçüm noktaları arasındaki mesafeye bölünmesiyle ortalama eğrilik değeri elde edilir. Ortalama eğrilik ilgili kesitler için bağıntı (2.1) ile hesaplanır. 100-200 mm arasındaki ortalama eğrilik değerinin hesabında boy değişimleri için aynı yüzdeki 100 ve 50 mm'lik potansiyometrik cetvellerden elde edilen değerlerin farkı kullanılmıştır.

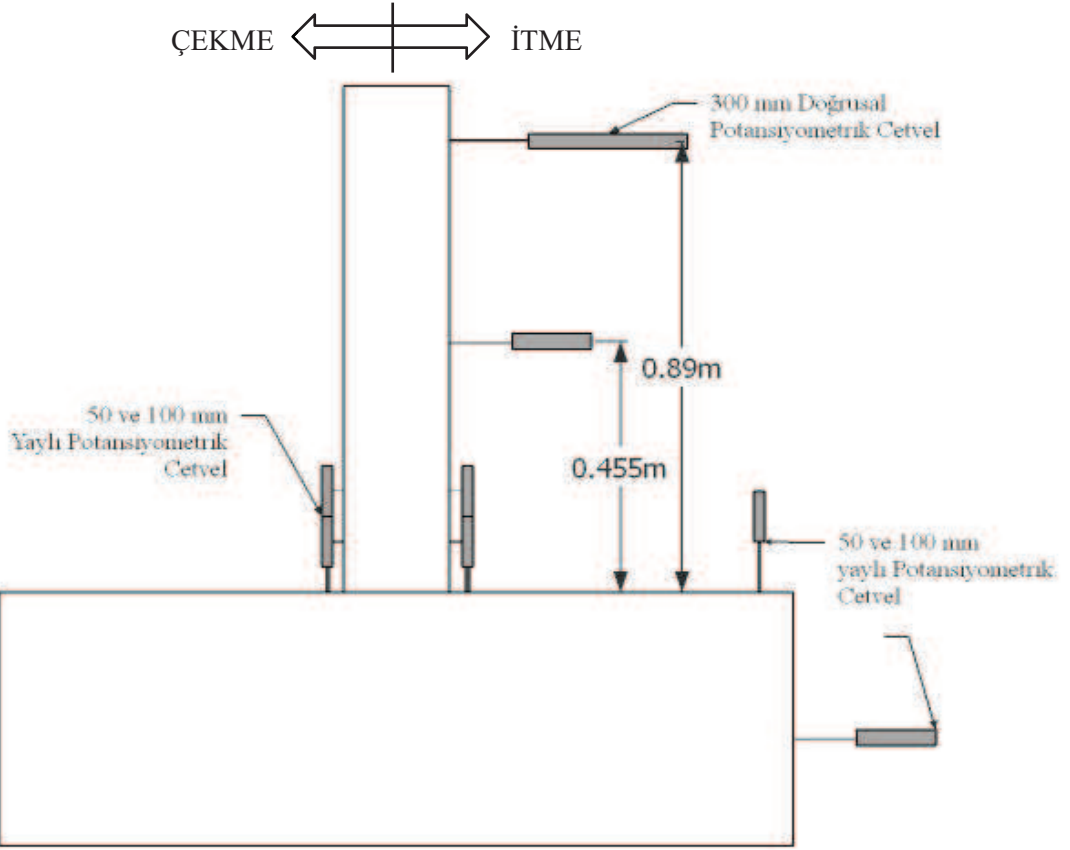
$$\phi_o = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{l_{ik}} - \frac{\Delta_j}{l_{ik}} \right)}{x_{i-j}} \quad (2.1)$$



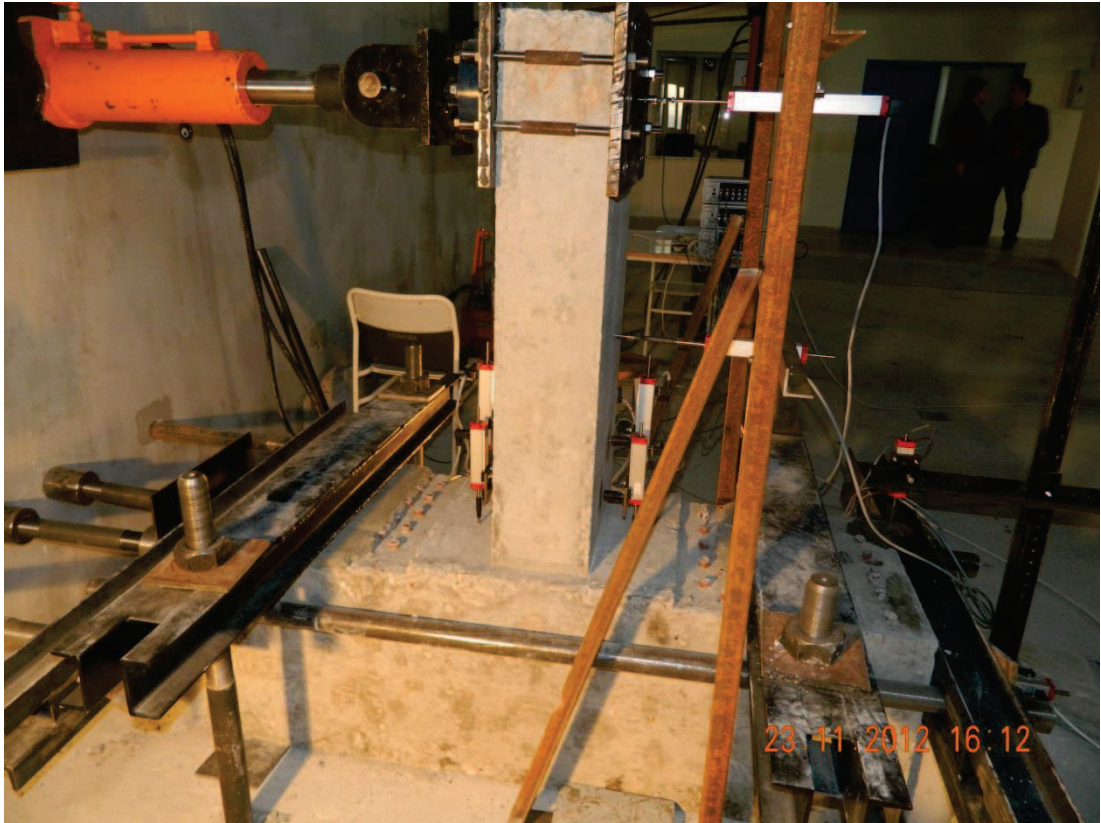
Şekil 2.10: Deney numunelerinde ortalama eğrilik ölçümü

Deney sonuçlarında kullanılacak ölçüm verileri dışında, temel kısmında sonuçları etkileyebilecek dönme ve yük doğrultusundaki ötelenme ile ilgili noktalara yerleştirilen potansiyometrik cetvellerle deney süresince bu değerler takip edilmiştir. Bu cetvellerden ölçülen değerler temelde meydana gelen yerdeğiştirmelerin deney sonuçlarını etkilemeyecek kadar küçük değerlerde kaldığı görülmüştür. Deney sonuçlarında kullanmak ve kolondaki yerdeğiştirmeleri ölçmek amacıyla yerleştirilen ölçüm aletleri ve yerleştirildikleri noktalar Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Deney öncesi deney düzeneğinin ve ölçüm aletlerinin görüntüsü Şekil 2.12’de verilmiştir.

Deney süresince yükleme hücresinden alınan yükleme verileri ve ilgili noktalara yerleştirilen potansiyometrik cetvellerden elde edilen ölçüm verileri her biri 8 kanallı üç adet Testbox 1001 veri toplama ünitesinden bilgisayara aktarılmış ve TDG Testlab Basic yazılımı kullanarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.11: Ölçüm aletleri ve yerleşimi

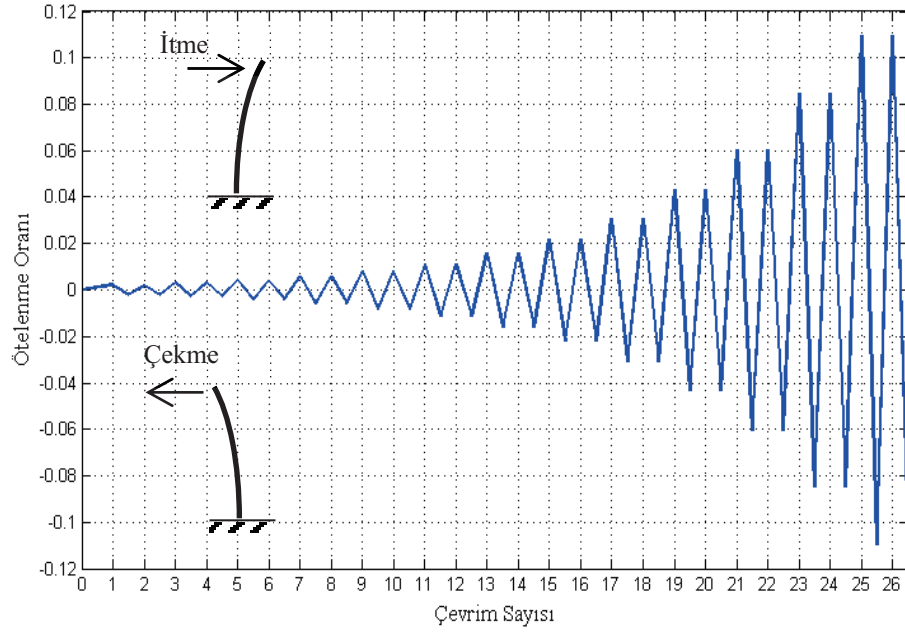


Şekil 2.12: Deney öncesi deney düzeneğinin görünümü

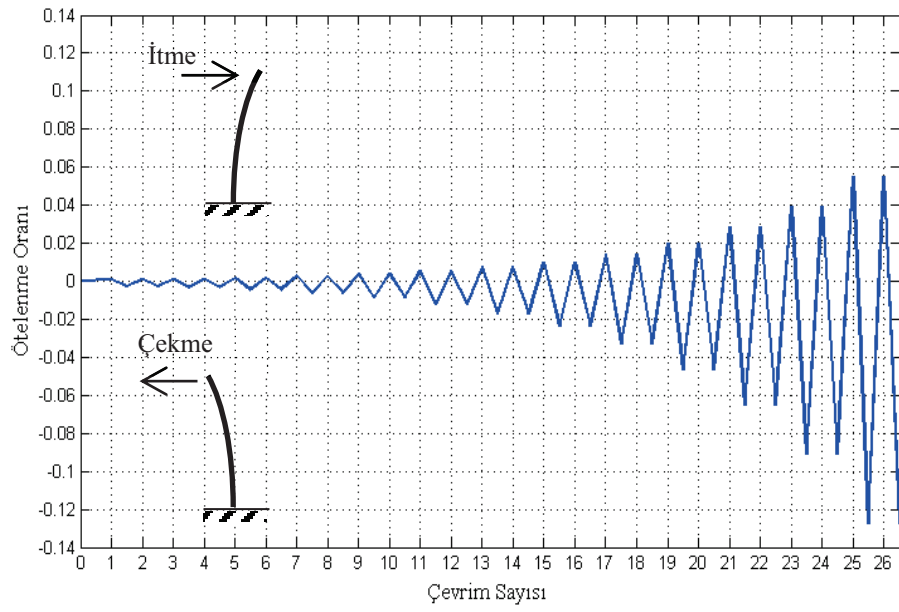
2.5 Yükleme Geçmişi

Konsol kiriş uç noktasından hidrolik kriko kullanılarak uygulanan tersinir tekrarlı yatay yük, bu noktanın yatay yerdeğiştirme değeri göz önüne alınarak yerdeğiştirme kontrollü olarak uygulanmıştır. Uygulanan yerdeğiştirme değerleri FEMA 461'de [24] önerilen yükleme protokolüne göre belirlenmiştir. Yükleme protokolü yerdeğiştirme değerleri kademeli olarak artan, tekrarlı yükleme çevrimlerinden oluşmaktadır. FEMA 461'de her bir çevrimin en az iki kez tekrarlanması ve en az 10 çevrim adımında en büyük hedef yerdeğiştirmeye ulaşılması gerektiğini belirtmektedir. Her bir yerdeğiştirme çevriminde yerdeğiştirme büyüklüğü %40 arttırılmaktadır. Yerdeğiştirmeler konsol kiriş uç noktasının yaptığı yerdeğiştirmenin, kiriş boyuna bölünmesi ile elde edilen ötelenme oranları şeklinde belirtilmektedir. Ayrıca FEMA 461'de belirgin deformasyonların oluşması öngörülen yerdeğiştirme adımına en az altı adımda gidilmesi önerildiği için analizlerden elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak yükleme çevriminin ilk ötelenme oranı 0.002 olarak belirlenmiştir. Deneyde simetrik numunelere uygulanacak yükleme geçmişi ötelenmeye karşılık çevrim sayısı olarak Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Asimetrik donatılı numunelerde itme ve çekme adımlarındaki eleman eğilme momenti kapasitesi ve davranışı farklı olacağı için, yükleme geçmişinin itme ve çekmede farklı ötelenme oranları şeklinde uygulanması gerekmektedir. Asimetrik donatılı betonarme konsol kirişler üzerine Elmanshawi ve diğerleri [18, 19] tarafından gerçekleştirilen deneylerde yükleme geçmişi, her bir çevrimde itme ve çekme ötelenme oranları arasındaki oranın, betonarme kirişin itme ve çekmedeki eğilme momenti kapasiteleri arasındaki orana eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Bu yaklaşım göz önüne alınarak asimetrik donatılı numunelerde itme ve çekmede uygulanacak yükleme geçmişindeki her bir çevrim adımında itme ve çekme ötelenme oranları arasındaki oran, asimetrik donatılı kesitin itme ve çekme eğilme momenti kapasiteleri arasındaki orana (2.30) eşit olacak şekilde seçilmiştir. Asimetrik donatılı numunelere uygulanacak yükleme geçmişi Şekil 2.14'de gösterilmektedir. Yapılan yaklaşıma göre elde edilen yükleme geçmişi eleman kesit analizi sonuçlarıyla incelendiğinde, kiriş numunesinin göçme durumuna itmede ve çekmede aynı yükleme çevrimi sırasında ulaşacağı belirlenmiştir.



Şekil 2.13: Simetrik donatılı numuneler için yükleme geçmişi



Şekil 2.14: Asimetrik donatılı numuneler için yükleme geçmişi

2.6 Denev Sonuçları ve Gözlemler

Tersinir tekrarlı yükleme altında gerçekleştirilen denevlerin sonuçları ve gözlemleri bu bölümde verilmiştir. Yüklemenin itme durumunda kiriş kesitinde pozitif momentin, çekme durumunda ise negatif momentin oluştuğu kabul edilmiştir. Denev süresince ölçüm aletlerinden elde edilen veriler işlenerek “kuvvet-yerdeğiştirme” ve ilgili kesitlerdeki “moment-ortalama eğrilik” ilişkileri elde edilmiştir. Her bir çevrim adımımda numunelerdeki çatlak gelişimi takip edilmiş, itme adımımda oluşan çatlaklar mavi, çekme adımımda oluşan çatlaklar siyah renk ile belirginleştirilmiştir. Denev esnasında meydana gelen deformasyonlar her bir çevrim adımımda görsel olarak kaydedilmiştir. Denev numunelerinin tersinir tekrarlı yükleme altındaki davranışı görsel veriler ve grafiklerden faydalanarak yorumlanmıştır.

2.6.1 GK-1-T Numunesi

GK-1-T numunesinin boyuna donatıları simetriktir ve enine donatısı olarak tek etriye yerleştirilmiştir. Denev 16.11.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Numuneye tersinir tekrarlı yükleme yerdeğiştirme kontrollü olarak her çevrimde itme ve çekmede aynı ötelenme oranına sahip artan genlikli yükleme geçmişi (bkz. Şekil 2.13) toplamda 24 çevrim gerçekleştirilerek uygulanmıştır.

İlk belirgin çatlak oluşumu 3. evrimin %0.29 itme ötelenme oranında temel kolon eleman birleşiminde ve birleşimden 10 cm yüksekliğinde gözlenmiş, devam eden çevrimlerin itme ve çekme ötelenme oranlarında eğilme çatlaklarının sayısı artmıştır (Şekil 2.15). Ötelenme oranı ve çevrim sayısı ilerledikçe çatlak uzunuklarıda artmaktadır. Oluşan ilk çatlaklar düşük ötelenme oranlarında meydana geldiklerinden kılcal çatlaklardır. Bu çatlaklar kesitin çekme bölgesinde olduğu durumda belirginleşirken, basınç bölgesinde olduğu durumlarda ise tamamen kapanarak görünmez hale gelmektedir. 10. evrime kadar oluşan eğilme çatlakları kiriş tabanından 50 cm yüksekliğinde bir bölgeye yayılmıştır.

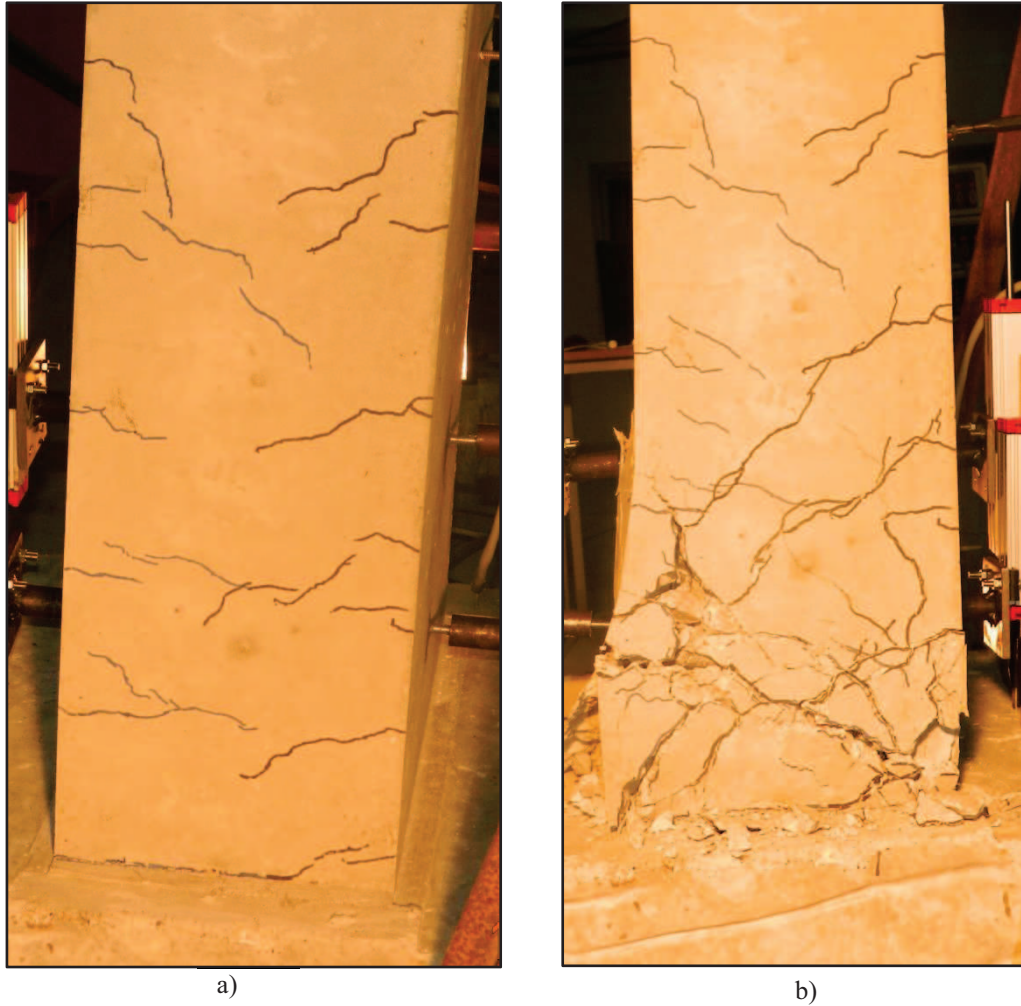


Şekil 2.15: GK-1-T numunesi a) İtmede ilk çatlakların oluşumu b) Çekmede ilk çatlakların oluşumu

Yük hücresinden ve kiriş ucuna yerleştirilen potansiyometrik cetvelden elde edilen verilerden çizilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinde (Şekil 2.19) donatıda akmanın meydana gelmesiyle kirişin eğilme kapasitesine erişmesi 11. çevrimin %1.1 itme ötelenme oranında gözlenmiştir. Bu duruma ait görsel hasar durumu Şekil 2.16a'da gösterilmiştir. Bu durumda kiriş tabanında itme ve çekmede oluşan çatlakların birleşerek bütün kenar boyunca oluştuğu görülmüştür. Mevcut eğilme çatlaklarında uzamanın kesit yüksekliğinin yarısını geçmesiyle itmede ve çekmede oluşan çatlakların birleştiği, ayrıca kiriş yüksekliğince bazı çatlakların eğikleştiği gözlenmiştir.

17. ve 18. çevrimlerde uygulanan %3 itme ve çekme ötelenme oranlarında kabuk betonunda deformasyonlar artarak dökülmeler başlamıştır. Mevcut çatlakların genişliği artarak daha belirgin hale gelmiştir. Kiriş tabanından 20 cm yüksekliğindeki bir bölgede çatlaklar yoğunlaşmış, eğik ve dik çatlaklar birleşerek bir çatlak ağı oluşturmuştur. 20. çevrim tamamlandığında kiriş tabanından 15 cm yüksekliğindeki bölgede beton kabuğunda dağılmanın meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 2.16b).

Beton kabuğunun dağılması nedeniyle çatlak takibine bu çevrimden sonra devam edilememiştir. Bir sonraki çevrimde dağılan kabuk betonundan dolayı görünür hale gelmiş donatılarda burkulmanın başladığı görülmüştür (Şekil 2.17). Burkulma bütün donatılarda gerçekleşirken etriye tarafından tutulu olmayan kenar ortasındaki boyuna donatıların burkulma boylarının, köşelerdeki boyuna donatılardan daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 2.17). Etriyenin bu donatılara etkisinin bulunmadığı, bu donatılardaki burkulmanın etriyeyi zorlayarak genişleyip açılmasına neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kenar ortasındaki donatılardaki burkulma nedeni ile betondaki ileri deformasyon kiriş tabanından 20 cm yüksekliğindeki bir bölgeye yayılmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.16: a) %1.1 ötelenme oranında hasar durumu b) %6.0 ötelenme oranında hasar durumu



a)

b)

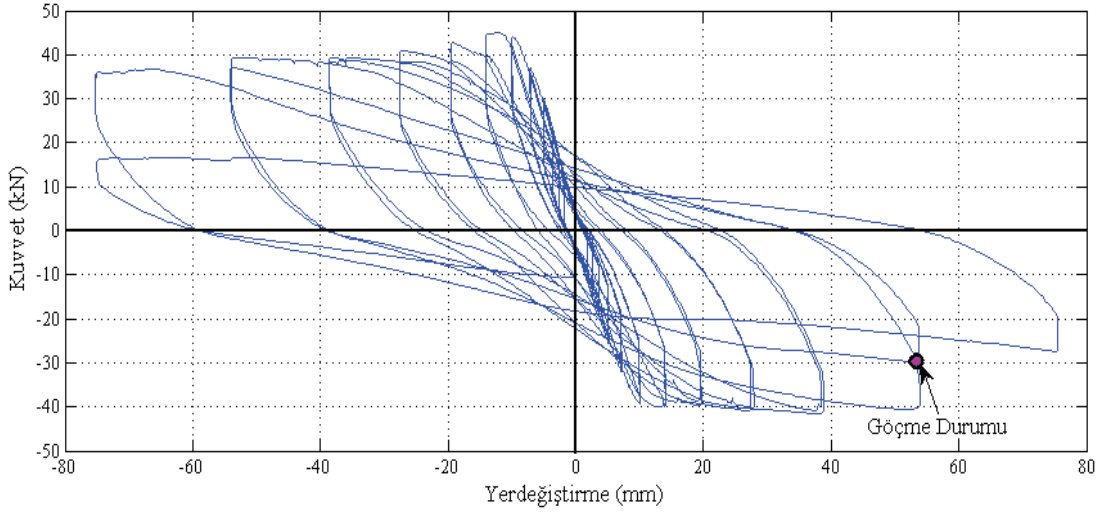
Şekil 2.17: a) %6.0 ötelenme oranında köşe ve orta donatılarda burkulma

22. çevrimin %6.0 çekme ötelenme oranında donatıdaki burkulmanın ilerlediği gözlenmiş, burkulmanın da etkisiyle çekirdek betonunda da dağılma meydana gelmiştir. 23. çevrimin %8.45 itme ötelenme oranında betondaki dağılma bütün kesite yayılmış, bu çevrimin aynı ötelenme oranındaki çekme adımında betondaki hasar nedeniyle kesme kapasitesi azalan numunede kayma davranışı gözlenmiştir. 24. çevrimin itme adımında benzer davranış gözlenmiş ve numunedeki yer değiştirme sıfırlanarak deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda numunedeki görsel hasar durumu Şekil 2.18a'da gösterilmiştir. Kiriş tabanından yaklaşık 10 cm yüksekliğindeki bir kesitte betonun tamamen dağıldığı ve köşe donatılarının kenar ortasındaki donatılardan daha farklı şekilde burkulduğu gözlenmiştir. Kenar ortasındaki donatılardaki burkulmanın etriyede büyük şekil değişikliğine yol açtığı ve betondaki ileri hasarın oluştuğu bölgeyi arttırdığı Şekil 2.18b'de görülebilmektedir.



Şekil 2.18: a) Deney sonu hasar durumu b) Orta donatılarda burkulma ve beton hasarı

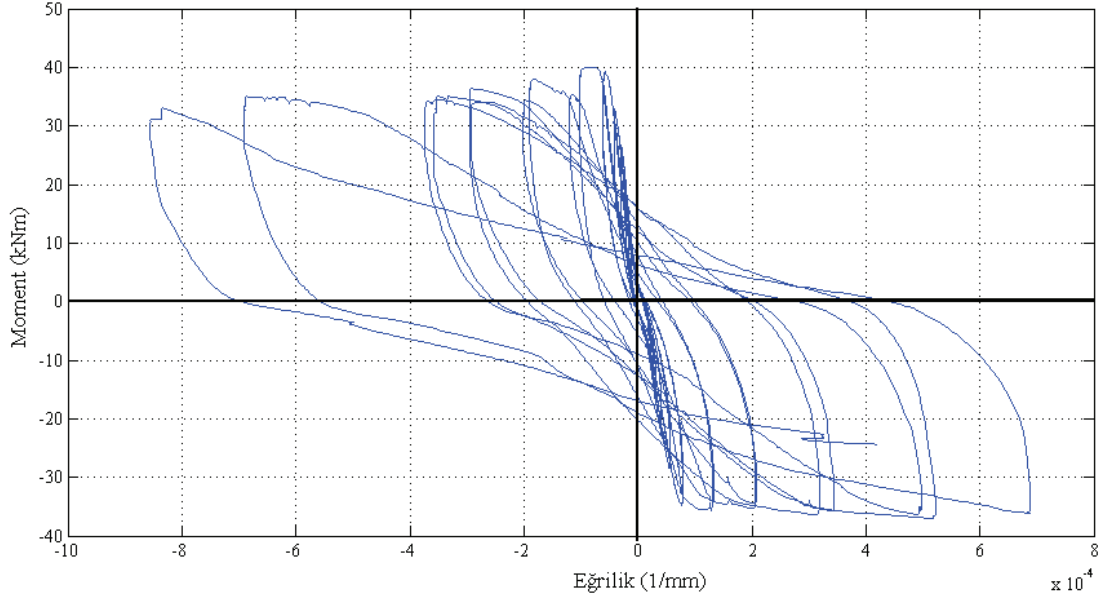
Deney sonunda ölçüm verilerinden elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.19.'da verilmiştir. Donatılarda akmanın yaşanmasıyla numune 9.99 mm yerdeğiştirme değerinde (%1.1 ötelenme oranında) eğilme kapasitesine karşılık gelen 40 kN değerine ulaşmıştır. İlerleyen ötelenme oranlarında bu değerde önemli bir artış yaşanmadan, numune sünek bir davranış sergilemiştir. Uygulanan ötelenme oranı değeri dolayısıyla yerdeğiştirme arttıkça, numunede gözlemlenen hasar durumunda da artış gerçekleşmiştir. %6.00 ötelenme oranına karşılık gelen 53.73 mm değerinde donatılarda burkulma ilerlemiş ve çekirdek betonunda dökülme meydana gelmiştir. Bu ötelenme oranının ikinci çekme adımında numune negatif dayanımında %25 lik bir azalma gözlenmiştir. %8.4 itme ötelenme oranında (75.22 mm) numune 35.86 kN pozitif dayanım değerine ulaşsa da, bu ötelenme oranının çekme adımında negatif dayanım 27 kN değerine kadar düşmüştür. Dayanımda azalma gerçekleşene kadar kuvvet yerdeğiştirme çevrim eğrileri genişleyen, enerji sönümleme özelliği iyi bir karakteristik sergilemiştir. Dayanım kayıpları ile eğriler daralarak eğilme davranışından uzaklaşmış ve kayma davranışı sergilemiştir. Kesme etkisinin artmasıyla kayma davranışı deney sırasında gözlemlenmiştir. Eğilme elemanlarında göçme durumu donatı kopması gibi ileri hasar durumlarının yaşanması ya da dayanımda %20 azalmanın gerçekleşmesi şeklinde tanımlanır. Numune 22. çevrimin %6.00 çekme ötelenme oranında dayanımının %25'ini kaybettiği için göçme durumunun yaşandığı kabul edilmiştir.



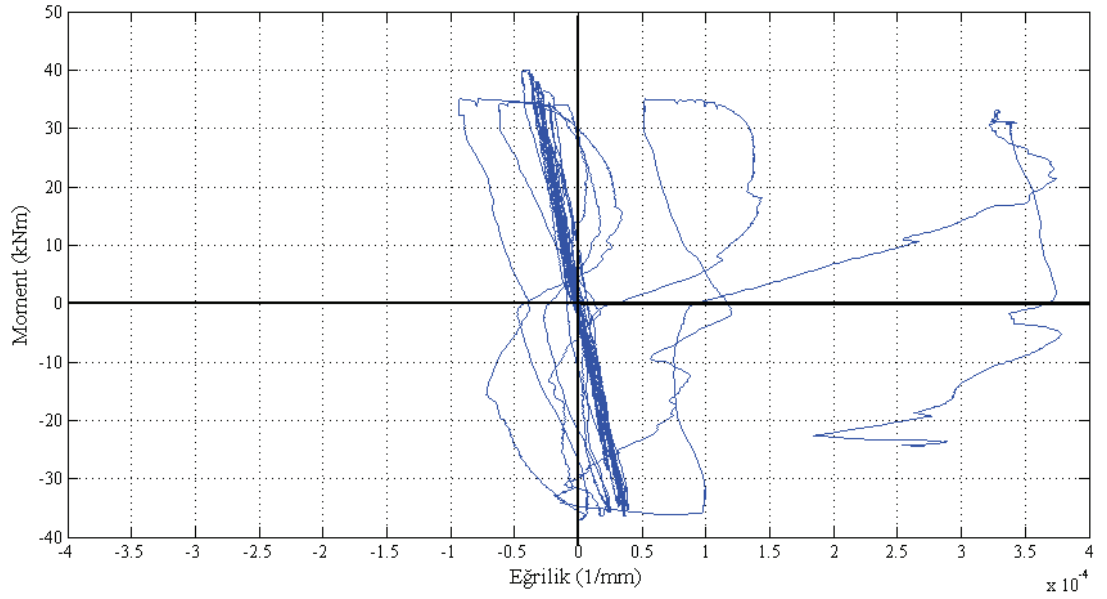
Şekil 2.19: GK-1-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Kiriş kolon eleman birleşiminden 100 ve 200 mm yüksekliğine karşılıklı olarak yerleştirilen potansiyometrik cetvellerden elde edilen veriler kullanarak elde edilen ilgili kesitler arasındaki dilimlere ait moment ortalama eğrilik ilişkileri Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir. 100 mm’e yerleştirilen potansiyometrik cetvellerden ölçülen değerlerden elde edilen 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisinde kabuk betonundaki hasarın ilerlemesinden dolayı ölçüm değerlerinin etkilendiği, itme ve çekmede aynı değerlere ulaşamadığı görülmektedir. Sağlıklı ölçüm yapılabilen 20. çevrimde (%4.3 ötelenme oranında) yaklaşık 0.0004 1/mm eğrilik değerine ulaşılmıştır.

100 – 200 mm arasındaki dilimde gerçekleştirilen ölçümler sonucu ortalama eğrilik değerlerinin 0.00005 1/mm değerinden küçük olduğu, 0-100 mm arasında ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında 100-200 mm’den ölçülen eğriliklerin elastik bölgede kaldığı söylenebilir. Plastik şekildeğiştirmenin artmasıyla beraber sağlıklı eğrilik ölçümü yapılamamıştır. 0-100 mm arasındaki moment eğrilik ilişkisinin 3. bölümde gerçekleştirilen kesit analizi ile karşılaştırıldığında uyumlu değerler elde edildiği görülmüştür. Ayrıca 0-200mm arasında eğrilik değerlerinin çok küçük kalması analizlerde yapılan plastik mafsal boyunun 100 mm (h/2) kabulüyle uyumlu olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.20: GK-1-T 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi



Şekil 2.21: GK-1-T 100-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi

2.6.1 GK-1-Ç Numunesi

GK-1-Ç numunesinin boyuna donatı yerleşimi simetrik ve enine donatısı olarak çift etriye yerleştirilmiştir. Deney 23.11.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

Deney numunesine Şekil 2.13’de belirtilen yük geçmişi 25 çevrim olarak uygulanmıştır.

İlk dört çevrimde kirişin çatlak takibi yapılan yüzeyinde herhangi bir çatlak oluşmamış, diğer yüzde mevcut rötre çatlaklarında genişleme meydana gelmiştir. Numunede ilk eğilme çatlağı 5. çevrimin %0.41 itme ötelenme oranında kiriş ile kolon elemanın birleşim bölgesinden 2 cm yüksekliğinde bir bölgede meydana gelmiştir. çevrimin çekme adımının sonunda kiriş tabanından 32 cm yüksekliğince eğilme çatlaklarının simetrik olarak oluşmuştur (Şekil 2.22). Meydana gelen bu çatlaklar kılcal çatlaklar olup çekme durumunda belirginleşirken basınç durumunda tamamen kapanmaktadır.

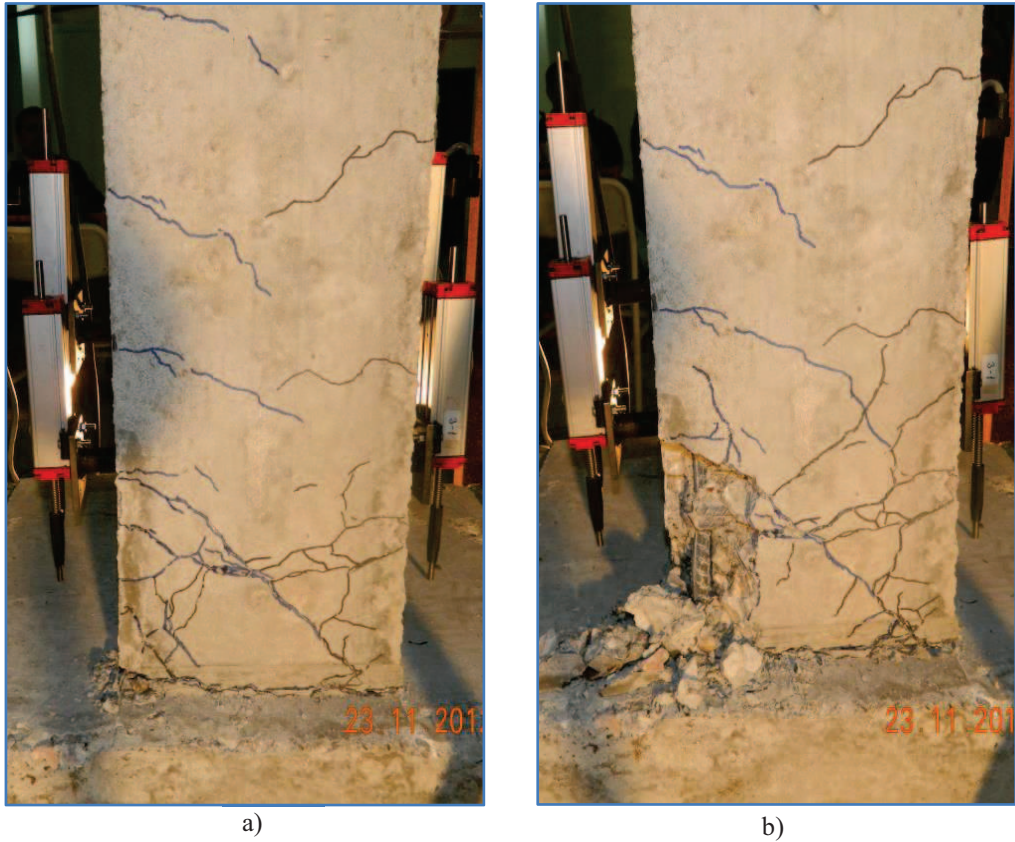


Şekil 2.22:a)%0.41 ötelenme oranında b)%1.1 ötelenme oranında hasar durumu

5. çevrimi takip eden 5 çevrim boyunca mevcut çatlaklarda uzama ve genişleme ile birlikte eğilme çatlaklarının sayısında artma meydana gelmiştir. 11. çevrimin %1.1 itme ötelenme oranında kiriş tabanından 42cm lik bir bölgeye eğilme çatlaklarının yayıldığı, deformasyonların yoğunlaşmasının beklendiği kiriş

tabanından yaklaşık 10 cm yüksekliğindeki plastik mafsal bölgesinde çatlak sayısının arttığı görülmüştür (Şekil 2.22). Bu ötelenme oranında kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi incelendiğinde kiriş elemanın eğilme kapasitesine ulaştığı görülmektedir.

Kabuk betonunda ilk belirgin deformasyonlar 19. çevrimin %4.3 çekme ötelenme oranında gözlenmiştir. Ayrıca 19. ve 20. çevrimlerde kiriş tabanındaki itme ve çekmede oluşan çatlak birleşmiş ve bütün kenara yayılmıştır. Potansiyel plastik mafsal bölgesinde çatlaklarda eğikleşme meydana gelmiş, eğik ve dik çatlaklar birleşerek bir çatlak ağı meydana getirmiştir (Şekil 2.23a). Bir sonraki 21. çevrimin %6.0 itme ötelenme oranı değerinde plastik mafsal bölgesindeki eğik çatlak sayısı arttığı, temel tabanında yer alan çatlakta ayrılmanın gözlendiği ve bu bölgedeki çatlak genişliklerinin belirgin bir biçimde büyüdüğü gözlenmiştir. Bu ötelenme oranının ikinci itme adımında kabuk betonunda dağılma meydana gelmiş ve boyuna donatılar görülebilir hale gelmiştir. Açığa çıkan boyuna donatılarda burkulmanın başladığı görülebilmektedir (Şekil 2.23b)



Şekil 2.23: a)%4.3 ötelenme oranında b)%6.0 ötelenme oranında hasar durumu

24. çevrimin %8.4 itme ve çekme ötelenme oranlarında kabuk betonunda başlayan dağılma bütün yüzlerde gözlenmiş ve çatlak takibi artık yapılamaz hale gelmiştir. Kabuk betonunda meydana gelen dağılma bütün eleman yüzlerinde kiriş tabanından yaklaşık 10 cm'lik bir bölgede meydana gelmiştir. Donatılarda meydana gelen burkulma bu ötelenme oranının her bir çevriminde artarak daha da belirgin hale gelmiştir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: %8.4 ötelenme oranında hasar durumu

25. çevrimin itme ötelenme oranı olan %11 değerinde daha önce burkulmanın gözlemlendiği köşe donatısında kopma meydana gelmiştir. Donatıdaki kopmanın yanı sıra betondaki dağılmanın ilerlediği ve çekirdek betonunda da ileri deformasyonların meydana geldiği, temel tabanındaki çatlağın bütün kesite yayıldığı ve belirgin bir ayrılmanın oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 2.25).

Donatıda kopma meydana gelmesinden sonra kiriş uç yerdeğiştirmesi sıfırlanarak deney sonlandırılmıştır. Eleman yüzeylerinden dağılmış betonun temizlenmesi sonucu elde edilen numunenin deney sonu görüntüsü (Şekil 2.26)'de verilmiştir. Deney sonunda betondaki dağılmanın bütün yüzlerde kiriş tabanından yaklaşık 10-13 cm lik bir bölgede meydana geldiği görülmüştür.



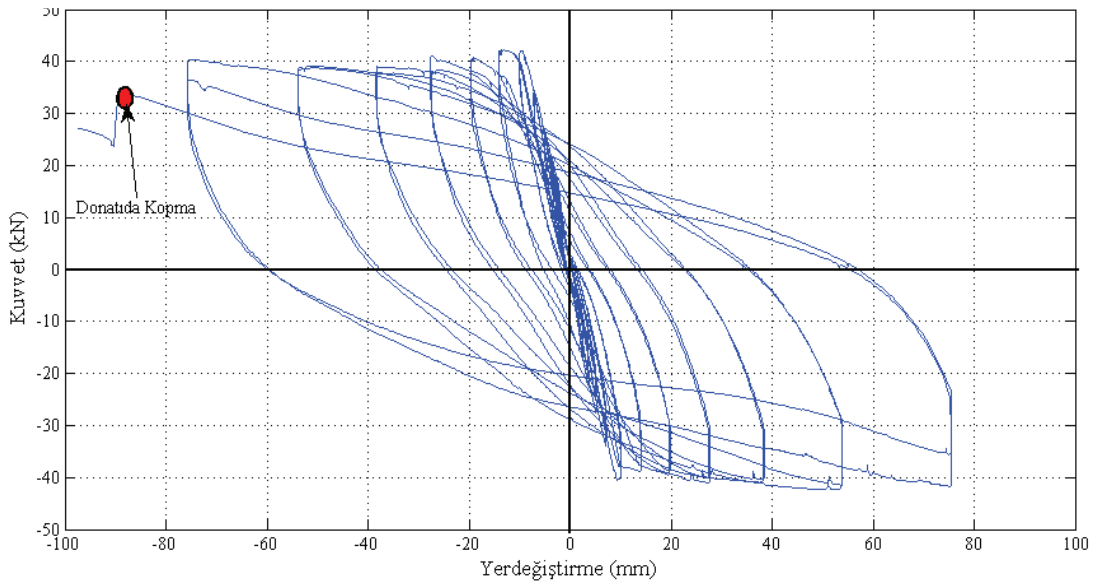
Şekil 2.25: %11 ötelenme oranında boyuna donatıda kopma



Şekil 2.26: Deney sonunda numunenin görünümü

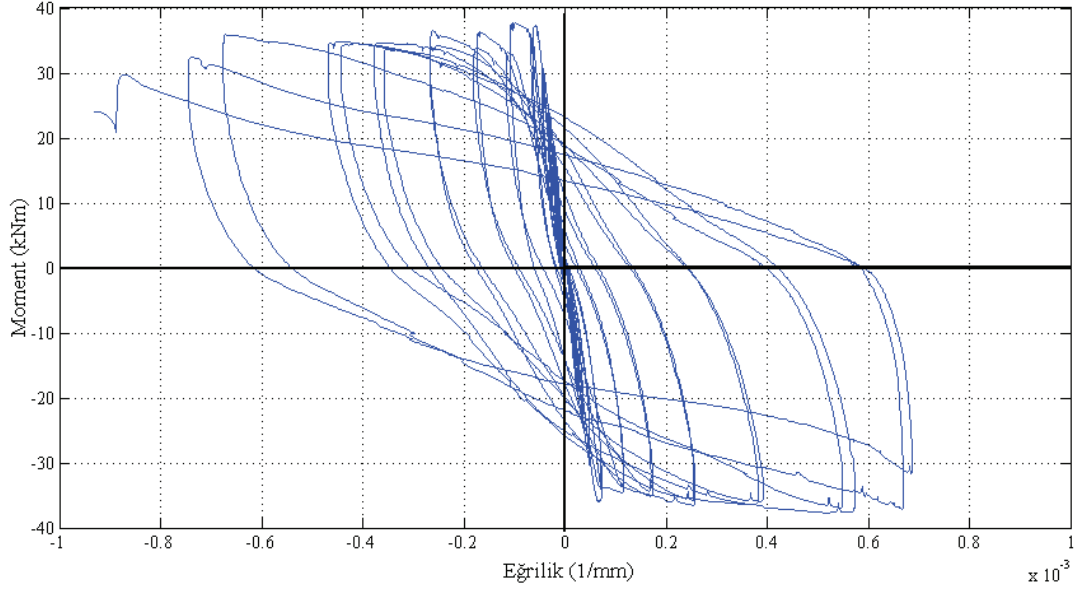
Deney süresince yük hücresinden ve ölçüm aletlerinden alınan verilerle elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.27’de verilmiştir. Kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi incelendiğinde numunenin simetrik ve sünek bir davranış sergilediği

görülmektedir. Her bir itme ve çekme ötelenme adımına ait çevrim eğrisinin geniş bir yapıda olması numunenin iyi bir enerji sönümlenme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Donatılarda akmanın gerçekleşmesinden sonra artan ötelenme oranlarına rağmen numunenin dayanımında herhangi bir azalma gözlenmemiştir. İlk azalma yatay yerdeğiştirmenin 75.22 mm değerinde olduğu 24. çevrimin %8.4 itme ötelenme oranında meydana gelmiştir. Bu azalma eleman kapasitesinin %20'sinden daha az olduğu için kabul edilebilir değerdedir. Bir sonraki 25. çevrimin %11 itme ötelenme oranına karşılık gelen 97.79 mm yerdeğiştirme değerinde yaşanan donatı kopması kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinde de açıkça görülebilmektedir. Donatıdaki kopma ile beraber dayanımda ani bir azalma görülmüş ve elemanda göçme durumunun yaşandığı kabul edilmiştir.

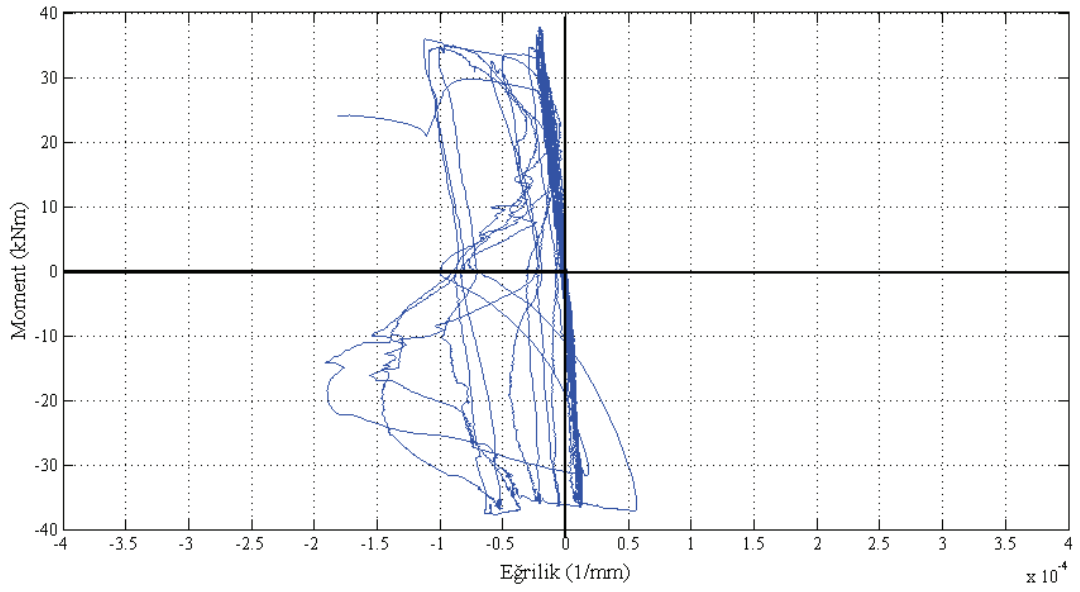


Şekil 2.27: GK-1-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Deney süresince kirişin kolon eleman ile birleştiği bölgeden 10 cm ve 20 cm yüksekliğince karşılıklı olarak yerleştirilen potansiyometrik cetvellerden elde edilen ilgili dilimlere ait moment ortalama eğriliğ ilişkileri Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'de verilmiştir. Kiriş tabanından 100 mm yüksekliğindeki dilimde ölçülen ortalama eğriliğ değerlerinin 0.0008 1/mm değerlerine ulaştığı ve 3. Bölümde gerçekleştirilen moment eğriliğ analizi ile uyumlu olduğu görülmüştür. 100-200 mm arasındaki dilimde ortalama eğriliğin elastik bölgede yaklaşık 0.00002 1/mm değerinde kaldığı görülmüştür. Analizlerde yapılacak plastik mafsal boyunun 100 mm kabulünün deneysel verilere uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 2.28: GK-1-Ç 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi



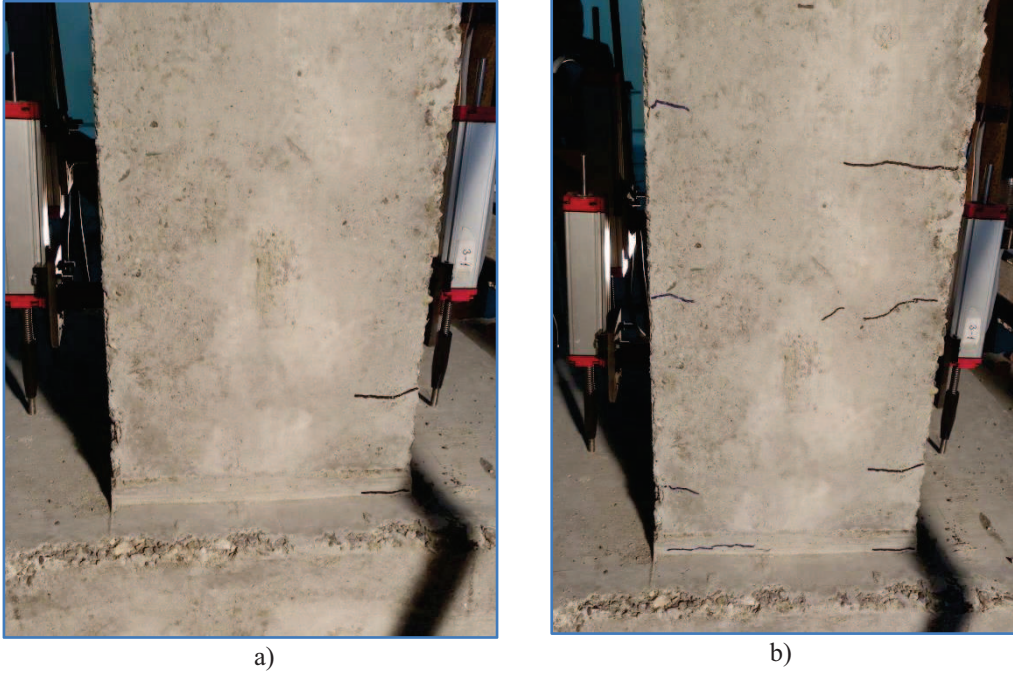
Şekil 2.29: GK-1-Ç 100-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi

2.6.1 GK-0.37-T Numunesi

GK-1-T numunesi boyuna donatısı asimetrik yerleştirilmiş ve enine donatısı olarak tek etriye kullanılmıştır. Deney 07.12.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. İtme ve çekmede farklı ötelenme oranlarına sahip yükleme geçmişi (bkz. Şekil 2.14) toplam 25 çevrim olarak uygulanmıştır. İtme durumunda 6Ø16 boyuna donatılarında,

yüklemenin çekme durumunda ise 4Ø12 boyuna donatılarında çekme gerilmeleri meydana gelmektedir.

Deplasman kontrollü tersinir tekrarlı yüklemeye itme ötelenme oranı %0.1 ötelenme oranının uygulanması ile başlanmıştır. İlk çatlaklar 6.çevrimin %0.19 çekme adımında kiriş kolon eleman birleşim bölgesinde ve birleşimden 8 cm yüksekliğinde meydana gelmiştir (Şekil 2.30a). Sonraki 7 ve 8. çevrimlerinin çekme ötelenme oranlarında eğilme çatlakları kiriş tabanından 29 cm lik bir bölgeye yayılmış, mevcut çatlaklarda ise uzama meydana gelmiştir.



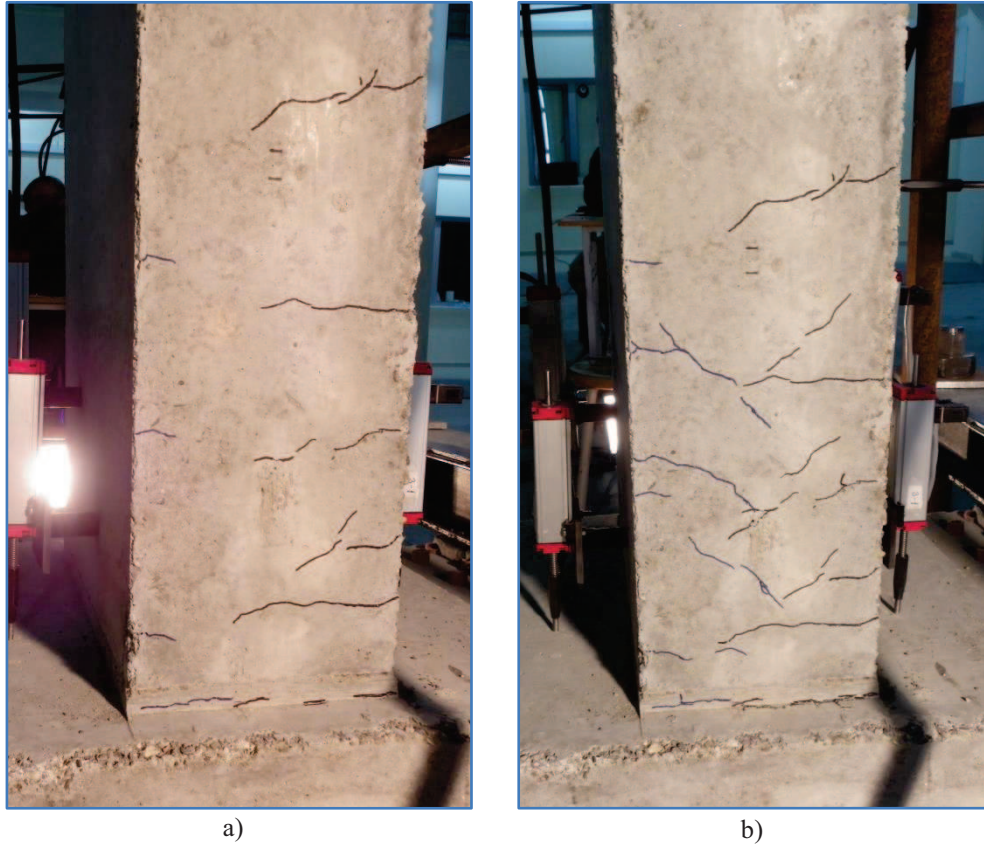
Şekil 2.30: a) %0.19 çekme ötelenme oranında hasar durumu
b) %0.375 itme ötelenme oranında hasar durumu

İtme sonucu ilk çatlaklar 9. çevrimde %0.375 itme ötelenme oranında meydana gelmiştir. Çatlaklar dik kısa boylu eğilme çatlakları olarak oluşmuş ve temelden 32 cm lik bir bölgeye yayılmıştır (Şekil 2.30b). Bu çevrimin çekme ötelenme oranlarında mevcut çatlaklarda uzama gözlenmiştir. İtme ve çekmede oluşan eğilme çatlakları kılcal çatlaklar olup çekme etkisinde açılarak belirginleşirken basınç etkisinde kapanmaktadırlar.

12. çevrimin %1.21 çekme ötelenme oranında Şekil 2.36'da kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinde görülebileceği üzere Ø12'lik donatılarda akma meydana gelmiş ve kirişin negatif eğilme kapasitesine karşılık gelen 47 kN değerine ulaşmıştır. Bu ötelenme oranında çatlaklar kiriş tabanından 45 cm lik bir bölgeye

yayılmış ve bütün çatlaklarda kiriş yüksekliğinin yarısından fazla uzama gözlenmiştir (Şekil 2.31a).

Kiriş tabanındaki itme ve çekmede oluşan çatlaklarının kiriş kenarının tamamında oluşması 18. çevrimin %1.44 itme ötelenme oranında gerçekleşmiştir (Şekil 2.31b). Bu itme adımında numune yüksek kesme kuvveti değerleri altında olduğundan dik eğilme çatlakları eğik çatlaklara dönüşmüştür. Hem itmede, hem de çekmede çatlak boylarında uzama meydana gelmiş, itme ve çekme çatlakları birleşmeye başlamış ve genişliklerindeki artış nedeniyle çatlaklar belirgin hale gelmiştir.



Şekil 2.31: a) %1.21 çekme ötelenme oranında b) %1.44 itme ötelenme oranında hasar durumu

İtmede 20. çevrimin %2.0 ötelenme oranında numunenin pozitif eğilme kapasitesine karşılık gelen 99 kN değerine ulaşılmıştır. Kesite etkiyen kesme kuvveti değerinin artması nedeniyle itmede mevcut bütün çatlaklarda eğilme gözlenmiş, yeni oluşan çatlaklar ise eğik olarak meydana gelmiştir. Çatlaklar kiriş tabanından yaklaşık 18-20 cm yüksekliğindeki bir bölgede yoğunlaşmıştır. Ayrıca bu çevrimin çekme adımında Ø12'lik donatıların bulunduğu bölgede betonda dökülmeler gözlenmiştir (Şekil 2.32a). 21. çevrimin itme ve çekme adımlarında mevcut

çatlakların genişlikleri belirgin şekilde artmıştır. 22. çevrimin %2.83 itme ötelenme oranında Ø12'lik donatıların bulunduğu bölgedeki kabuk betonu dağılmıştır (Şekil 2.32b). Bu bölgede kabuk betonunun dağılması ile Ø12 lik donatılarda burkulmanın başladığı görülmüştür. Etriye köşesinde yer almayan kenar ortasındaki donatılarda etriyenin etkili olmadığını ve bu donatıların burkulma boylarının yaklaşık iki etriye aralığı değerinde (20 cm) olduğu görülmüştür. Bu donatılarda burkulmanın daha yüksek bir noktada meydana gelmesi nedeniyle kabuk betonundaki dağılmada 22 cm yüksekliğinde bir bölgede oluşmuştur (Şekil 2.33).



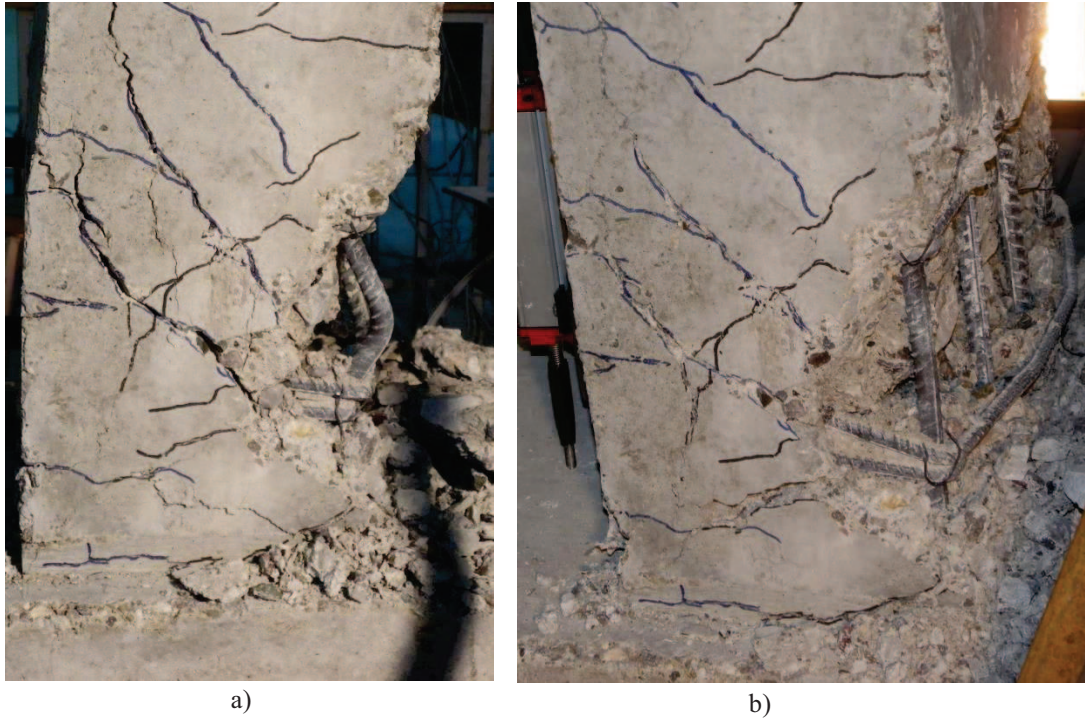
Şekil 2.32: a)%2.0 itme ötelenme oranında b)%2.83 itme ötelenme oranında hasar durumu

23. ve 24. çevrimlerde ileri hasarın göstergesi olarak betondaki dökülmeler artmış ve boyuna donatılardaki burkulma ilerlemiştir. Kesme etkisinin bir belirtisi olarak kesme çatlaklarındaki ilerleme ve genişleme artmıştır. Kenar ortasındaki

boyuna donatılardaki burkulmanın da ilerlemesi nedeniyle etriyede açılma ve genişleme meydana gelmiştir (Şekil 2.34).



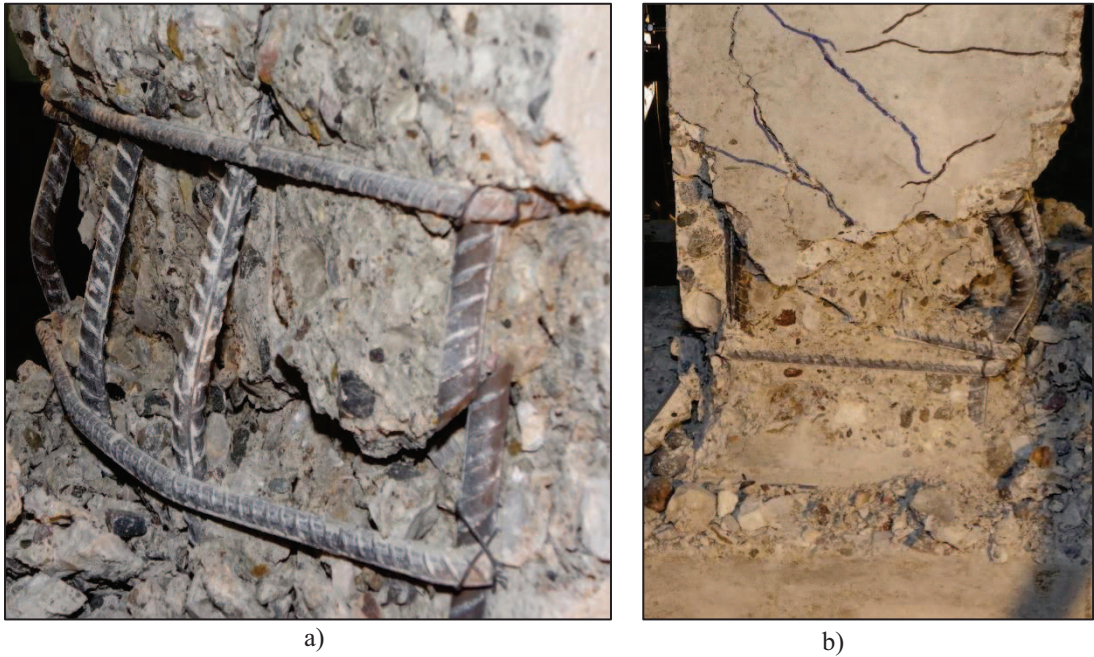
Şekil 2.33: a) Donatılarda burkulma b) Kabuk betonunda dağılma



Şekil 2.34: a) Donatı burkulmasında ilerleme b) Etriyede şekil değiştirme

25. çevrimin %12.75 çekme ötelenme oranında burkulmanın yaşandığı köşe donatısında kopma meydana gelmiş ve deney yerdeğiştirme değeri sıfırlanarak

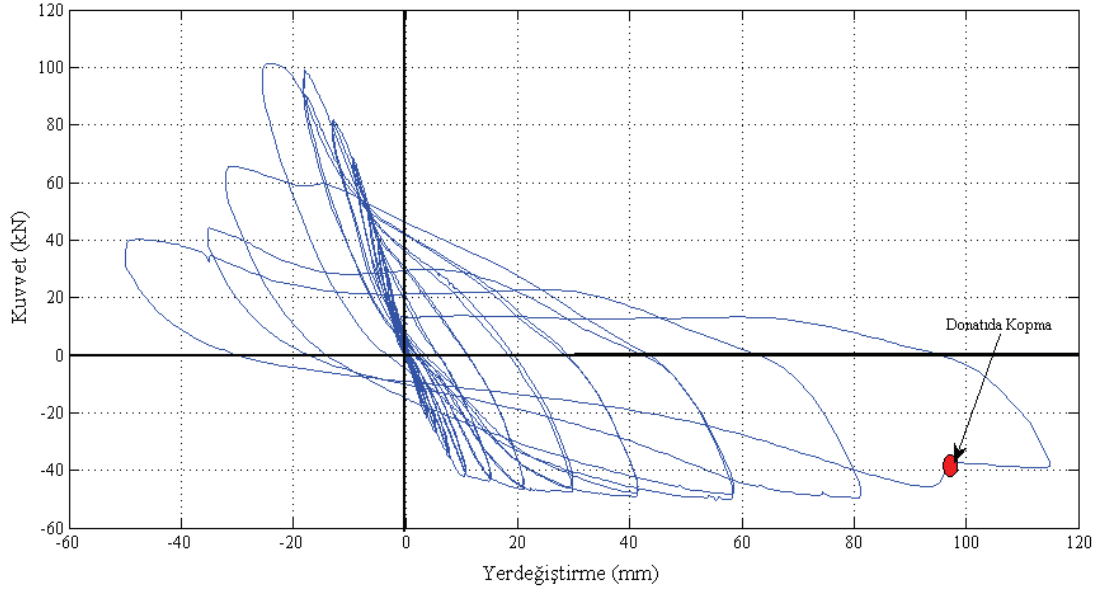
sonlandırılmıştır (Şekil 2.35). Bu durumda kirişteki beton hasarı yaklaşık 18-20 cm yüksekliğindeki bölgede yoğunlaşmıştır. Ø12 lik donatıların bulunduğu bölgede kabuk betonun tamamen dağılmasıyla beraber çekirdek betonunda dökülmeler meydana gelmiştir. Ø16'lık donatıların bulunduğu bölgede de kabuk betonunun kısmi olarak dağılmasına rağmen, çekirdek betonunda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Kabuk betonunun tamamen dağıldığı bölgelerde kesme etkisinin belirtisi olan eğik çatlaklarında çekirdek betonunda ilerlemeye başladığı görülmüştür. Şekil 2.35b'de numunenin deney sonundaki görsel hasar durumu verilmiştir.



Şekil 2.35: a) Boyuna donatıda kopma b) Deney sonu numunenin görünümü

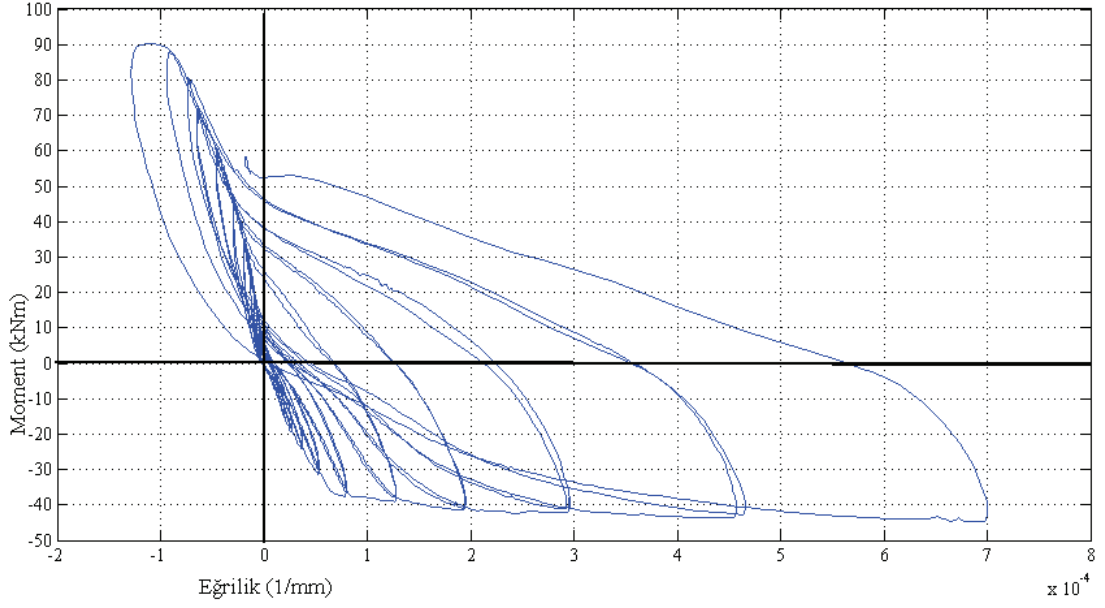
GK-0.37-T numunesinin deney süresince ölçülen kiriş uç yerdeğiştirmesi yatay kuvvet ilişkisi Şekil 2.36'de gösterilmiştir. Kiriş boyuna donatıları asimetrik yerleştirildiği için negatif ve pozitif eğilme kapasiteleri ve davranışı farklılık göstermektedir. Çekmede Ø12'lik donatılarda akma meydana gelerek yaklaşık 47 kN luk eğilme kapasitesine ulaştıktan sonra donatıda kopma meydana gelene kadar dayanımda herhangi bir azalma yaşanmamıştır. Çekmede eleman oldukça sünek bir davranış sergilemiştir. İtmede ise deney numunesi, kirişlerden istenen sünek davranışı sergileyememiştir. Kesit itmede kapasitesine ulaştıktan üç çevrim sonrasında dayanımda kayda değer bir düşüş meydana gelmiş, bu düşüş artan itme ötelenme oranları ile beraber daha çok artmıştır. Dayanımdaki azalmanın eleman kapasitesinin %20'sinden daha fazla olduğu %3.96 itme öteleme oranına sahip 35.26 mm yerdeğiştirme değerinde numunenin göçme durumunda olduğu kabul edilebilir.

Pozitif eğilmede numunenin göçmeye eriştiği değerde numunenin çekmede sünek davranışı sürdürebildiği kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinde görülmektedir. Göçme durumu gerçekleşene kadar numunenin davranışı incelendiğinde çevrim eğrilerinin genişleyen yapıda olduğu yani enerji sönümlenme özelliğinin olduğunu, göçme yaşandıktan sonra çevrim eğrilerinin daralarak enerji sönümlenme özelliğini yitirdiği görülmektedir.

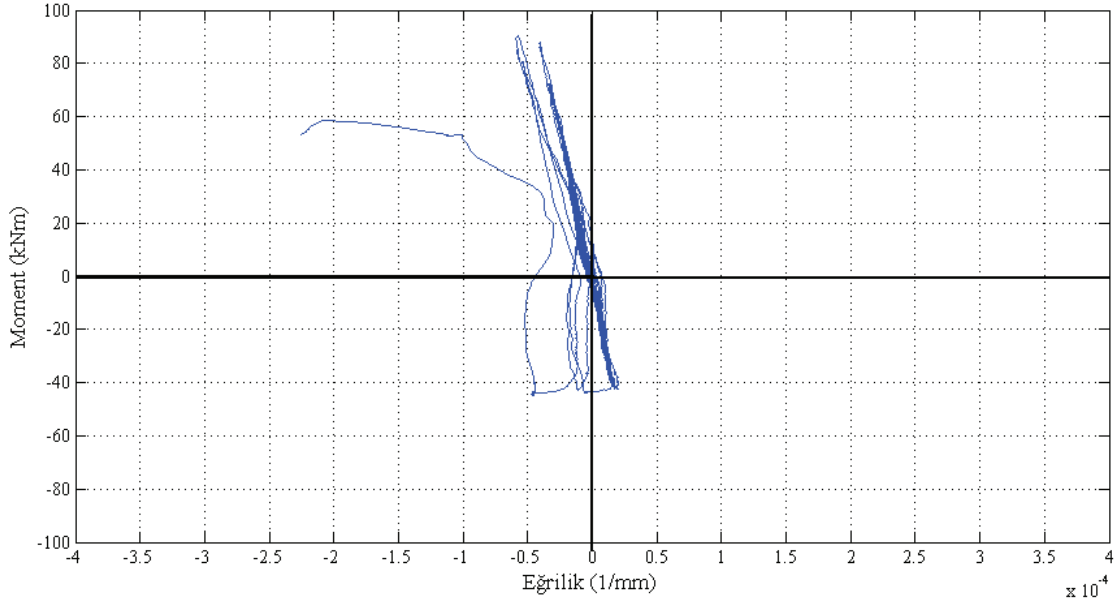


Şekil 2.36: GK-0.37-T numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Kiriş tabanından 10 cm ve 20 cm yüksekliğe yerleştirilmiş potansiyometrik cetvellere elde edilen ölçüm verilerinden çizilen ilgili yüksekliklerdeki kesitlere ait moment eğrilik ilişkileri Şekil 2.37 ve Şekil 2.38’de verilmiştir. Moment eğrilik ilişkisinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ile benzer davranış gösterdiği görülmektedir. 10 cm yüksekliğindeki kesitte eğrilik değerleri yaklaşık olarak negatifte 0.0007 1/mm, pozitifte 0.00014 1/mm değerlerine ulaşmıştır. İtmede göçme durumu olarak kabul edilen 35.26 mm yerdeğiştirme değerine giderken potansiyometrik cetvelin takılı olduğu yüzeyde meydana gelen ileri beton hasarı nedeniyle ölçüm verisi alınamaz hale gelmiştir. 100-200 mm arasında ölçülen moment eğrilik ilişkisinde, sağlıklı ölçüm yapılabilen duruma kadar eğrilik değerlerinin en çok 0.00005 1/mm değerine ulaşarak küçük (elastik) değerlerde kaldığı görülmüştür.



Şekil 2.37: GK-0.37-T 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi



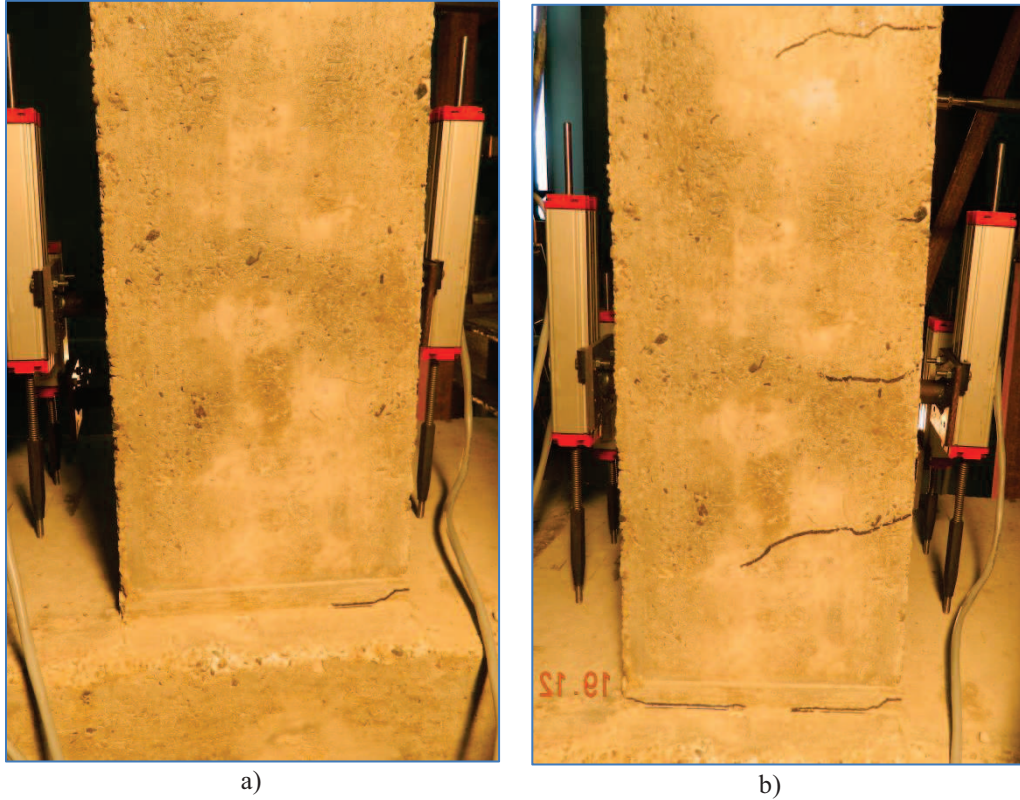
Şekil 2.38: GK-0.37-T 0-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi

2.6.1 GK-0.37-Ç Numunesi

GK-0.37-Ç numunesinde boyuna donatılar asimetrik olarak yerleştirilmiş, enine donatı olarak ise dört kollu çift etriye 100 mm aralıkla yerleştirilmiştir. Deney 19.12.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu numunede de boyuna donatının yerleşiminin asimetrik olarak yerleştirilmesi nedeniyle itmede ve çekmede farklı ötelenme oranlarına sahip yükleme geçmişi toplam 26 çevrim şeklinde

uygulanmıştır. GK-0.37-T numunesine benzer olarak itmede 6Ø16, çekmede ise 4Ø12 çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır.

Uygulanan ilk öteleme oranı itmede %0.10 dur. İlk çevrimde kesitte herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. 6. çevrimin %0.44 çekme öteleme oranında ilk eğilme çatlak kiriş kolon eleman birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. (Şekil 2.39a). İtmede ilk çatlak 10. çevrimin %0.375 itme ötelenme oranında kiriş tabanında kolon ile birleşimde oluşmuştur. Bu çevriminin %0.86 çekme ötelenme oranında eğilme çatlaklarının kiriş tabanından 43 cm yüksekliğinde bir bölgede arttığı gözlenmiştir. Bu çevrimlerde oluşan çatlaklar kılcal boyutta olup basınç durumunda kapanmaktadır (Şekil 2.40b).



a) %0.44 çekme ötelenme oranında ilk çatlak oluşumu
b) %0.86 çekme ötelenme oranında hasar durumu

Kiriş numunesi çekmede negatif eğilme kapasitesine 12. çevrimin %1.21 çekme ötelenme oranında Ø12 lik donatıların akması sonucu ulaştığı Şekil 2.45'deki kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinden de görülmektedir. Bu durumda elemanda mevcut eğilme çatlaklarının uzadığı ve kiriş tabanından 54 cm yüksekliği arasındaki bölgede eğilme çatlaklarının yayıldığı gözlenmektedir. Bu çevrimin itme adımında ise yeni

çatlaklar oluşmamış ve tabandaki mevcut çatlakta da herhangi bir uzama meydana gelmemiştir.



Şekil 2.40: a)%1.21 çekme ötelenme oranında b)%1.03 itme ötelenme oranında hasar durumu

13, 14 ve 15. çevrimlerin itme adımlarında eğilme çatlaklarının oluşmaları gözlenmiş 16. çevrimin %1.03 itme ötelenme oranında itme sonucu oluşan eğilme çatlakları kiriş tabanından 45 cm yüksekliğinde bir bölgede yayılmıştır. Bu çatlaklar uzunlukları kısa, kılcak ve dik eğilme çatlaklarıdır. Bu çevrimin %2.37 çekme ötelenme oranında mevcut çatlakların uzunluklarının kesit yüksekliğinin yarısını aştığı görülmektedir.

Temel ile kolon elemanın birleşim bölgesindeki itme ve çekmede meydana gelen çatlakların birleşerek kiriş kenarının tamamına yayılması 18. çevrimin %3.32 çekme ötelenme oranında gözlenmiştir. Bu çevrimde itme çatlaklarında da uzama gözlenmiş, bazı eğilme çatlaklarının kesme etkisinin bir göstergesi olarak eğildiği

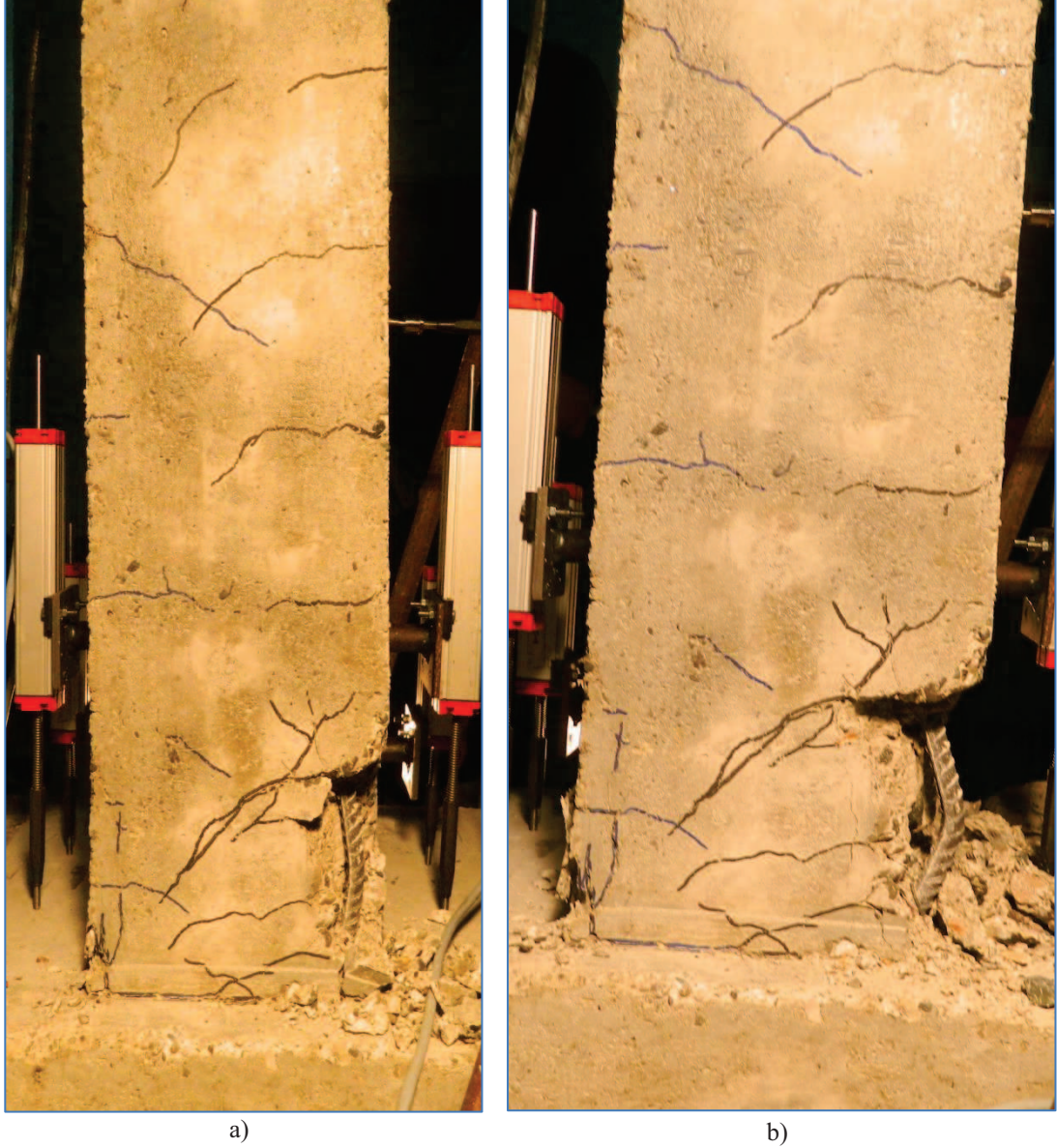
görülmüştür. Ayrıca betonda dökülme başlangıcı da bu çevrimde gerçekleşmiştir (Şekil 2.41a).



Şekil 2.41:a)%3.32 çekme ötelenme oranında b) %2.02 itme ötelenme oranında

İtmede kiriş pozitif eğilme kapasitesine 20. çevrimin %2.02 itme ötelenme oranında erişmektedir. Bu çevrimde kabuk betonunda dökülmenin arttığı, yeni eğik çatlakların oluştuğu ve mevcut çatlak genişliklerinin artarak daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir (Şekil 2.41b). Bu çevrimde potansiyel plastik mafsal bölgesinde çatlak yoğunluğu görülmemektedir. 21. çevrimin itme adımında basınç bölgesindeki kabuk betonunda dağılmanın meydana geldiği, 22. çevrimin %2.83 itme ötelenme oranında Ø12 lik donatıların bulunduğu bölgedeki betonun dağıldığı ve gözükten donatılarda burkulmanın başladığı görülmektedir (Şekil 2.42a). Çift etriye kullanılması sonucu kenar ortasındaki donatılarında tutulu olması nedeniyle bütün Ø12'lik donatılarda benzer burkulma davranışı görülmüştür. Betondaki dağılma ilk etriyeye kadar olan 10 cm lik bir bölgede gerçekleşmiştir. Donatılarda burkulmanın başlangıcını takip eden 23, 24. ve 25. çevrimlerin %3.96 itme ötelenme oranlarında

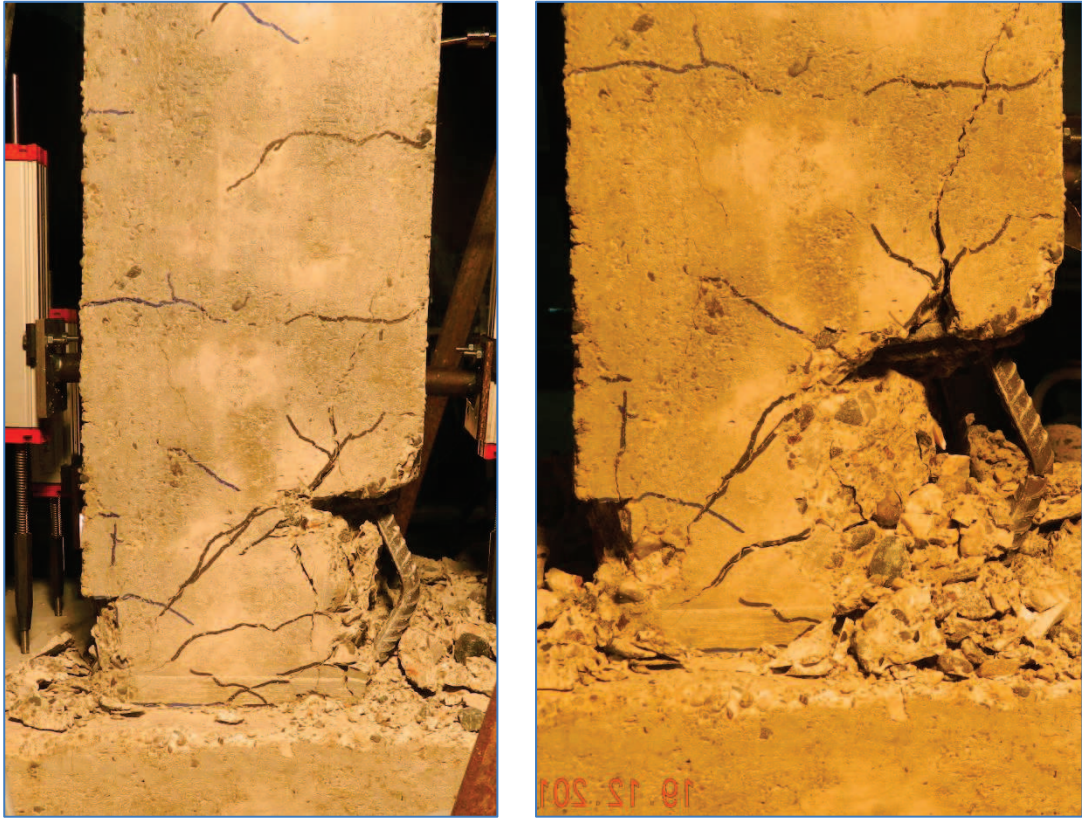
donatılardaki burkulma ilerlemiş kirişin, bütün yüzlerinde tabandan 10 cm lik bir bölgede kabuk betonunda dağılmalar gözlenmiş ve bu bölgedeki çatlaklarda açılmalar ortaya çıkmıştır (Şekil 2.42b). Donatılarda ileri seviyede burkulma yaşanmasına rağmen etriyelerde herhangi bir şekil değişikliği gözlenmemiştir.



Şekil 2.42: a) %2.83 itme ötelenme oranında b)%3.96 itme ötelenme oranında hasar durumu

25. çevrimin itme ve çekme adımlarında gözlemlenen ileri hasar durumlarından donatılardaki burkulma ve betondaki dökülmeler ilerleyerek devam etmiştir (2.42a). 26. Çevrimin %12.75 çekme ötelenme oranında burkulmanın yaşandığı donatılardan üç tanesinde kopma meydana gelmiş ve deney yerdeğiştirme değeri sıfırlanarak sonlandırılmıştır. Kopan donatılar Şekil 2.44b’de gösterilmiştir. İleri beton hasarları ve donatı burkulması kiriş tabanından yaklaşık 10-12 cm

yüksekliğinde bir bölgede meydana gelmiştir. Ø12'lik donatıların bulunduğu bölgede kabuk betonu tamamen dağılmış, çekirdek betonunda büyük oranda dökülmeler oluşmuştur. Şekil 2.43b'de deney sonunda numunenin plastik şekildeğişimlerin yoğunlaşmasının beklendiği bölge gösterilmiştir. Şekilde itmede basınç gerilmelerine maruz kalan bölgedeki beton deformasyonunun kesit içindeki ilerlemesi görülmektedir. Ø16 lık donatıların bulunduğu bölgede betondaki hasarın sadece kabuk betonuyla sınırlı kaldığı, çekirdek betonunda herhangi bir hasar oluşumu meydana gelmediği Şekil 2.44a'da gösterilmiştir.

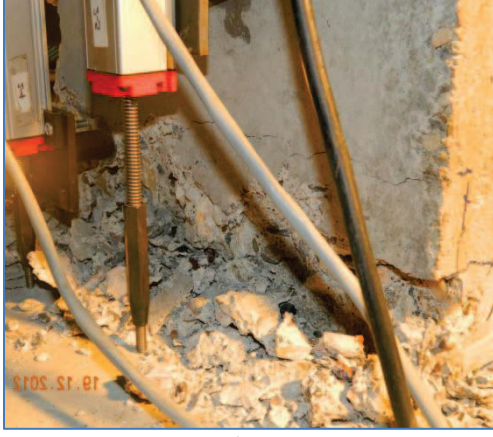


a)

b)

Şekil 2.43: a) İlerleyen donatı burkulması ve beton hasarı

b) Deney sonunda numunenin durumu



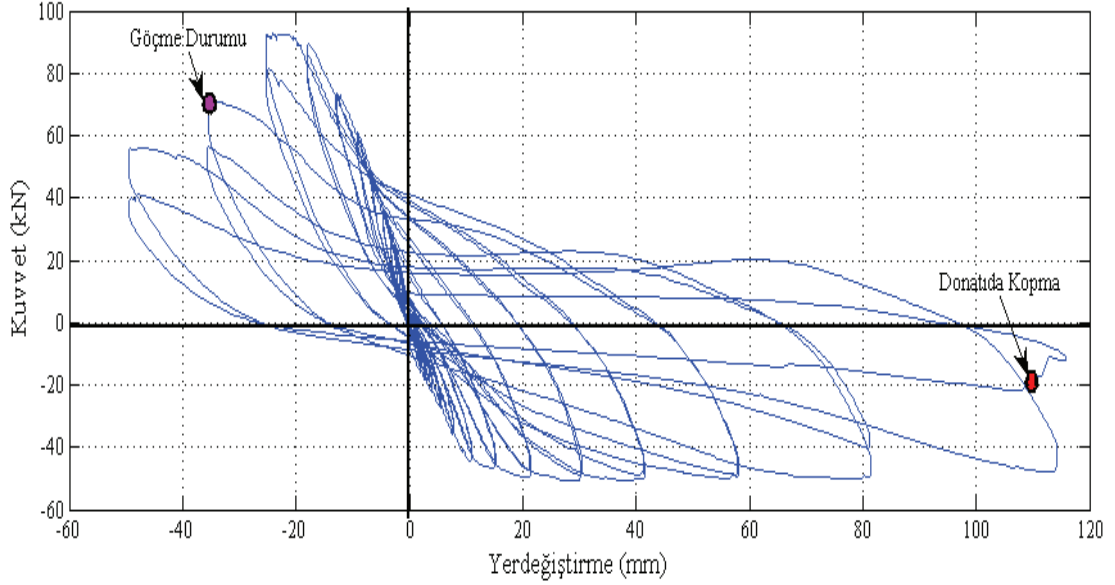
a)



b)

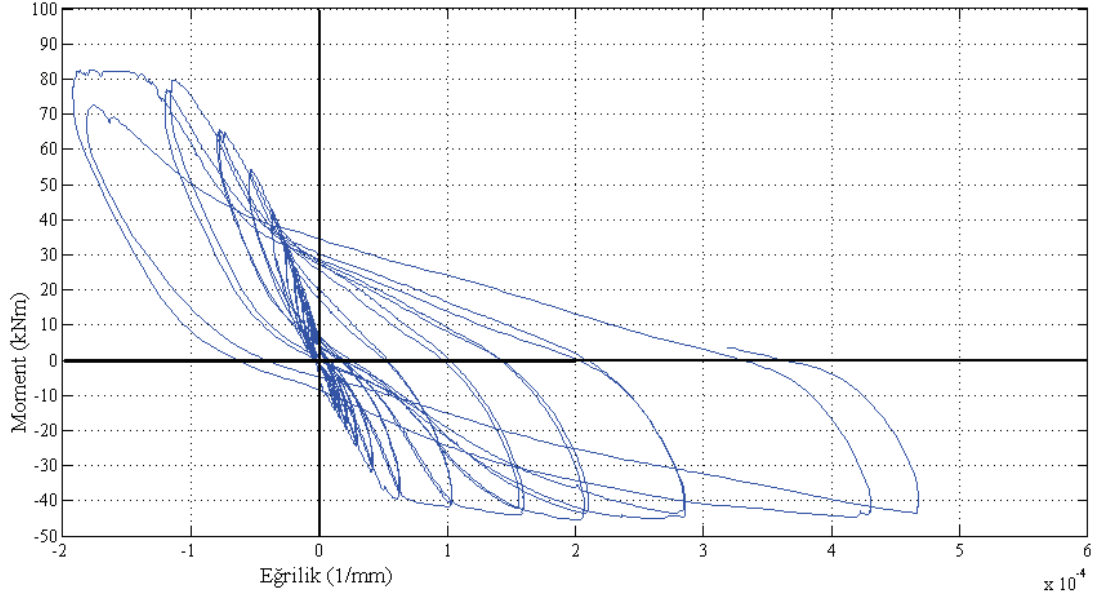
Şekil 2.44: a) Kabuk betonunda dağılma b) Boyuna donatılarda kopma

GK-0.37-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.45’de gösterilmiştir. Bu numunede de boyuna donatılar asimetrik yerleştirildiği için pozitif ve negatifte farklı dayanım ve davranış özellikleri görülmüştür. Çekmede Ø12 lik donatılarda akmanın gerçekleşmesi ile 45 kN da eğilme kapasitesine erişmiş, 26. çevrimin %12.75 çekme ötelenme oranında donatı kopması gerçekleşene kadar numune dayanımını korumuştur. Numune çekmede yüksek süneklikli bir davranış sergilemiştir. Numune itmede yaklaşık 90 kN’luk yatay yük altında eğilme kapasitesine ulaşmış, artan itme ötelenme oranlarında numune dayanımında azalma yaşanmış ve numune itmede sünek bir davranış sergileyememiştir. Numunenin itmede dayanımının %20’sini kaybettiği %3.96 ötelenme oranına karşılık gelen 35.26 mm yerdeğiştirme değerinde kiriş elemanın göçme durumuna eriştiği kabul edilir. İtmede numune göçme durumuna erişmesine rağmen, çekmede numune dayanımını korumakta ve sünek davranışına devam edilebilmektedir. Göçme durumuna erişene kadar genişleyen çevrim eğrilerinin enerji sönmüleme özelliği sergilediği, göçme durumu gerçekleştirdikten sonra çevrimlerde daralmanın meydana geldiği kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinden görülebilmektedir. Ayrıca göçme durumundan sonra çevrimlerin S şekline yakın bir şekilde gerçekleşmesi elemanda kesme etkisinin arttığının göstergesidir.

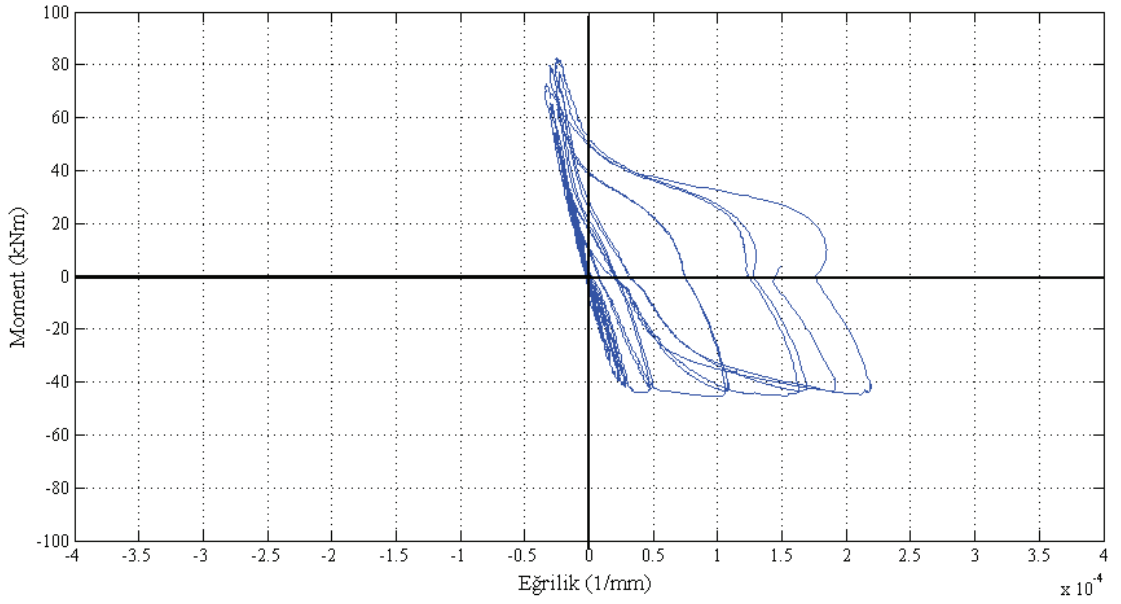


Şekil 2.45: GK-0.37-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Deney süresince alınan verilerden elde edilen ilgili kesitlere ait moment eğrilik ilişkileri Şekil 2.46 ve Şekil 2.47’de verilmiştir. İlgili kesitlerdeki moment eğrilik ilişkilerinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ile benzer davranış gösterdiği görülmektedir. 0-100 mm arasındaki dilimde ortalama eğrilik değerleri yaklaşık olarak negatifte 0.0005 1/mm, pozitifte 0.0002 1/mm değerlerine ulaşmıştır. İtmede göçme durumu olarak kabul edilen 35.26 mm yerdeğiştirme değerine giderken potansiyometrik cetvelin takılı olduğu yüzeyde meydana gelen ileri beton hasarı nedeniyle sağlıklı ölçüm yapılamamıştır. 100-200 mm arasındaki dilimde yapılan ölçümlerde eğrilik değerlerinin itmede 0.00005 1/mm, çekmede 0.00025 1/mm değerlerine ulaştığı görülmüştür. Çekmede bu dilime ait eğrilik değerlerin elastik bölgenin ötesine çıktığı, fakat bu değerlerin 0-100 mm’den ölçülen eğrilik değerinden daha küçük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.46: GK-0.37-Ç numunesinin 0-100 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi

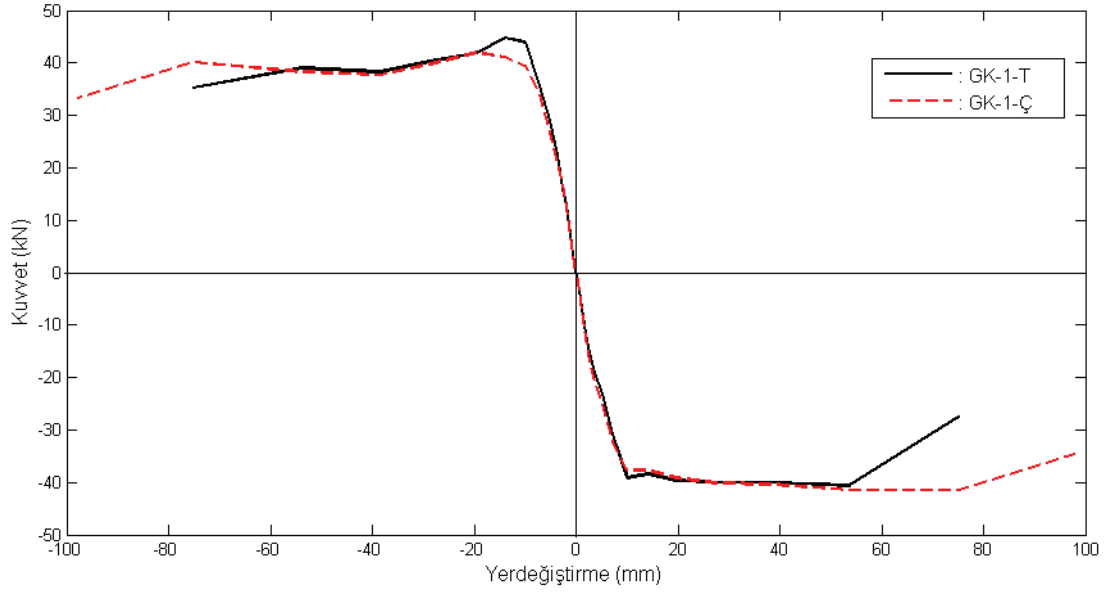


Şekil 2.47: GK-0.37-Ç numunesinin 100-200 mm moment ortalama eğrilik ilişkisi

2.7 DeneY SonuÇlarının Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar numunelerin benzer özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma deney sonunda elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinin her bir ötelenme oranına ait pik değerlerin

birleştirilmesiyle elde edilen kuvve-yerdeğiştirme zarf eğrisi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

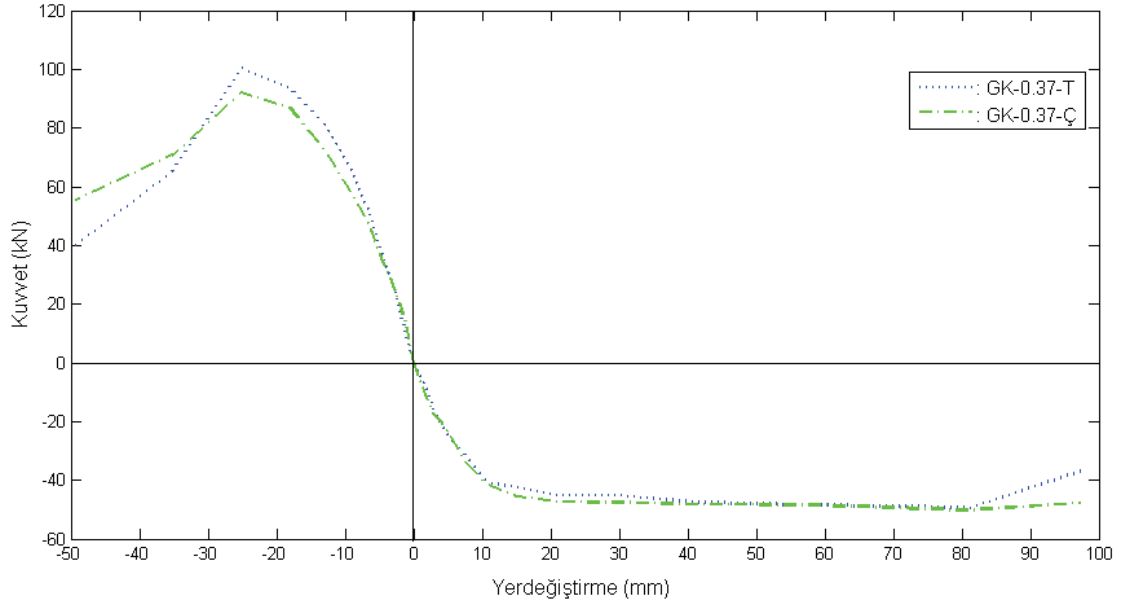


Şekil 2.48: GK-1-T ve GK-1-Ç numuneleri kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri

Aynı boyuna donatı miktarına ve simetrik donatı yerleşimine sahip, enine donatı düzeni bakımından birbirinden farklı olan GK-1-T ve GK-1-Ç numunelerinin kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri Şekil 2.48'de verilmiştir. İki numune elastik bölgede benzer davranış göstermiş ve dayanım kapasitesine ulaşmışlardır. Artan yerdeğiştirme değerlerinde enine donatı olarak tek etriye kullanılan GK-1-T numunesinde daha erken dayanım kaybı gözlenmiştir. Hem itmede hem de çekmede GK-1-Ç numunesinde dayanımda azalma gözlenmemiş ve daha sünek bir davranış sergilemiştir. Deneysel gözlemlerde GK-1-T numunesinde deformasyonlar 15-20 cm yüksekliğinde bir bölgede gerçekleşirken, GK-1-Ç numunesinde 10-13 cm yüksekliğinde bir bölgede kalmıştır.

Boyuna donatı oranları ve asimetric yerleşimi aynı olan, farklı enine donatı düzenlemesine sahip GK-0.37-T ve GK-0.37-Ç numunelerinin kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri Şekil 2.49'da verilmiştir. Numuneler itmede ve çekmede elastik bölgede benzer davranış sergilemişler, yaklaşık olarak eşit eğilme kapasitesine ulaşmışlardır. Çekmede her iki numunde birbirine benzer sünek bir davranış sergilemişler, enine donatı olarak çift veya tek donatı kullanılmasının bir etkisi gözlenmemiştir. İtmede numuneler betonarme kirişlerden beklenen sünek davranışı sergileyememişlerdir, kesitte akma yaşandıktan sonra dayanımda büyük bir düşüş yaşanmıştır. Çift etriyeli

GK-0.37-Ç numunesinde dayanımdaki azalma GK-0.37-T numunesine göre daha azdır. GK-0.37-Ç numunesinde hasar tabandan 10-12 cm yüksekliğinde bir bölgede gözlemlenirken, GK-0.37.T numunesinde 20-22cm cm yüksekliğindeki bir bölgeye yayılmıştır.

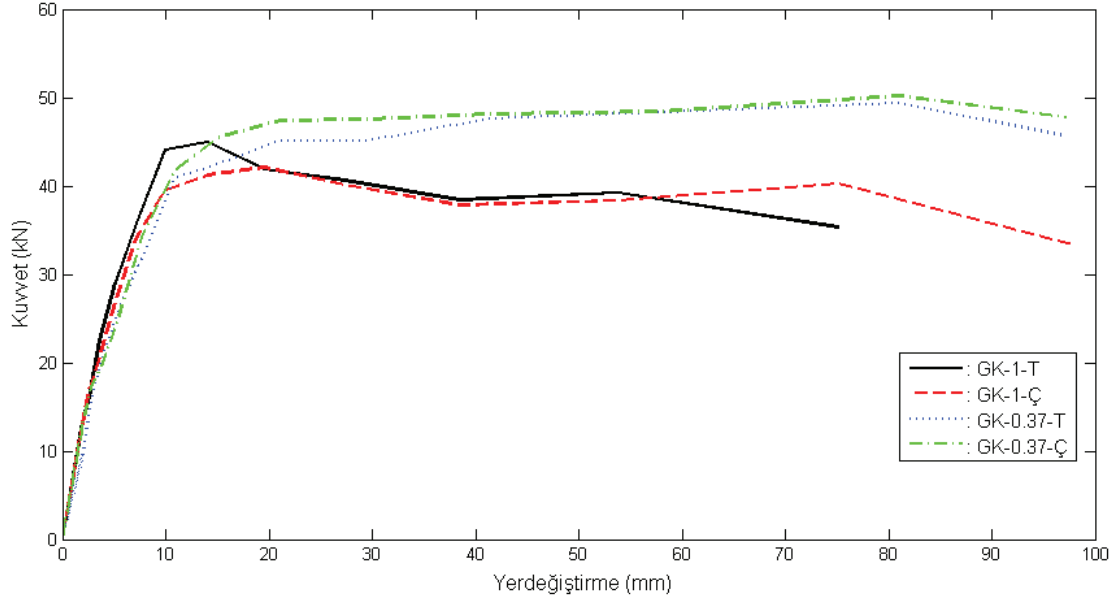


Şekil 2.49: GK-0.37-T ve GK-0.37-Ç numuneleri kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri

GK-0.37-T ve GK-0.37-Ç numunelerinde itmede kesme etkisi artarak eğilme-kesme göçme şekli meydana gelmiş ve numuneler sınırlı sünek bir davranış sergilemişlerdir. Deneysel gözlemlerde her iki numunede de kesme etkisinin belirtisi olarak eğik çekme çatlakları oluşmuştur. Çevrimsel yükleme altında eğilme ve kesme çatlaklarının kesit içinde ilerlemesi ve genişlemesi, kabuk ve gövde betonunda artan deformasyonlar, boyuna donatılarda plastik şekildeğiştirmelerin artması, burkulmanın gözlenmesi ve dolayısıyla kaldıraç etkisinin azalması nedeniyle elemanın kesme dayanımı yönetmeliğe göre hesaplanan kesme kuvveti kapasitesinden daha düşük olmaktadır. Bu nedenle akma gözlendikten sonra ilerleyen deformasyonlar nedeniyle kesme dayanımı azalan numunenin dayanımında gevrek davranışa benzer olarak büyük bir azalma gözlenmiştir [25]. Bu duruma tek yerine çift etriyenin kullanılmasının herhangi bir katkısı olmamıştır.

Bütün numunelerin 4Ø12 donatıların bulunduğu bölgenin çekmede olması durumundaki kuvvet yerdeğiştirme zarf eğrileri Şekil 2.50'de verilmiştir. Basınç bölgesinde daha fazla donatı bulunan GK-0.37-T ve GK-0.37-Ç numuneleri daha yüksek eğilme kapasitesine ulaşmıştır. GK-1-T numunesinde diğer numunelere göre

daha erken dayanımda azalma yaşanması nedeniyle, diğer numunelerde daha sünek davranış gözlenmiştir. Basınç donatısının elemanın hem dayanımını hem de sünekliğini arttırdığı görülmüştür.



Şekil 2.50: Bütün numunelerin çekmede kuvvet yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

3. TDY (2007) Hasar Sınırlarının Değerlendirilmesi

3.1 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Dünyada son 25 yılda yaşanan depremlerde geleneksel kuvvete dayalı tasarım ile can güvenliğinin sağlanabildiği fakat meydana gelen hasarın çok büyük boyutlarda olması nedeniyle önemli derecede maddi kaybın olduğu görülmüştür. Depremlerde yapısal hasarın, taşıyıcı elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile doğrudan ilgili olmadığı, hasarın temel nedeninin sünek davranış göstermesi öngörülen taşıyıcı elemanların şekildeğiştirme kapasitelerinin aşılması olduğu belirlenmiştir [26]. Bu sebeple özellikle Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere birçok ülkede kuvvet yerine yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı performansı göz önüne alan yöntemlerin geliştirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu gün birçok deprem ülkesinde yönetmeliklerde yer alan yerdeğiştirme kriterini göz önüne alan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama belirlenen deprem tehlike seviyeleri için binanın performans düzeylerinin öngörüleceği, performans hedefinin belirlenmesi aşamasıdır. İkinci aşama göz önüne alınan deprem tehlike seviyeleri için binadaki deprem taleplerinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada yönetmeliklerin öngördüğü doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden biri seçilerek yapının analizi gerçekleştirilir. Yapılan analiz sonucu elde edilen taşıyıcı elemanların iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme talepleri üçüncü aşamada yönetmeliklerde belirtilen ilgili sınır değerlerle karşılaştırılarak binanın performans düzeyi belirlenir ve birinci aşamada belirlenen hedefi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

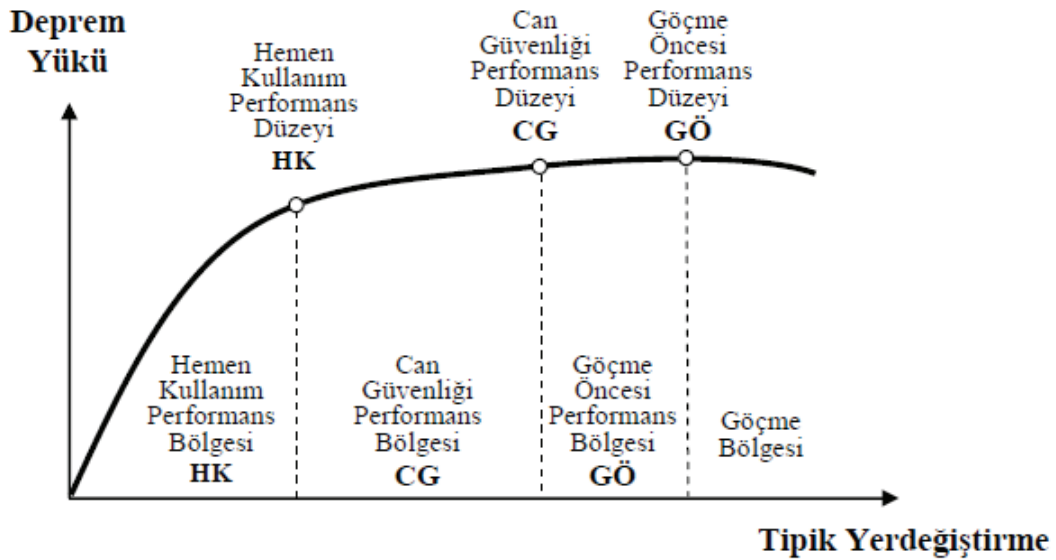
Yeni binaların tasarımı performansa dayalı olarak yapılabileceği gibi mevcut binalarında deprem güvenliğinin belirlenmesi performans kriterine dayalı olarak gerçekleştirilerek onarım ve güçlendirme kararının verilebilmesi için kullanılabilir. TDY (2007)'de mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde

kullanılan yerdeğiştirme kriterini göz önünde bulunduran performans kavramının yakın bir gelecekte yeni yapılacak yapılar içinde tercih edilebileceği öngörülmektedir.

3.1.1 TDY (2007) 'ye göre Mevcut Binaların Değerlendirilmesi

TDY (2007)'de [10] deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak işlemler 7. bölüm de verilmiştir.

Mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere 50 yılda aşıma olasılıkları %50, %10 ve %2 olan üç farklı deprem seviyesi ile birlikte mevcut veya güçlendirilen binalar için hemen kullanım (HK), can güvenliği (CG) ve göçme öncesi olarak üç farklı performans düzeyi tanımlanmıştır. Performans düzeyleri ve bu bölgeleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Değerlendirmede göz önüne alınacak deprem seviyeleri ve bina performans düzeyleri ile kullanım amacı ve türü farklı binalar için öngörülen performans hedefleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



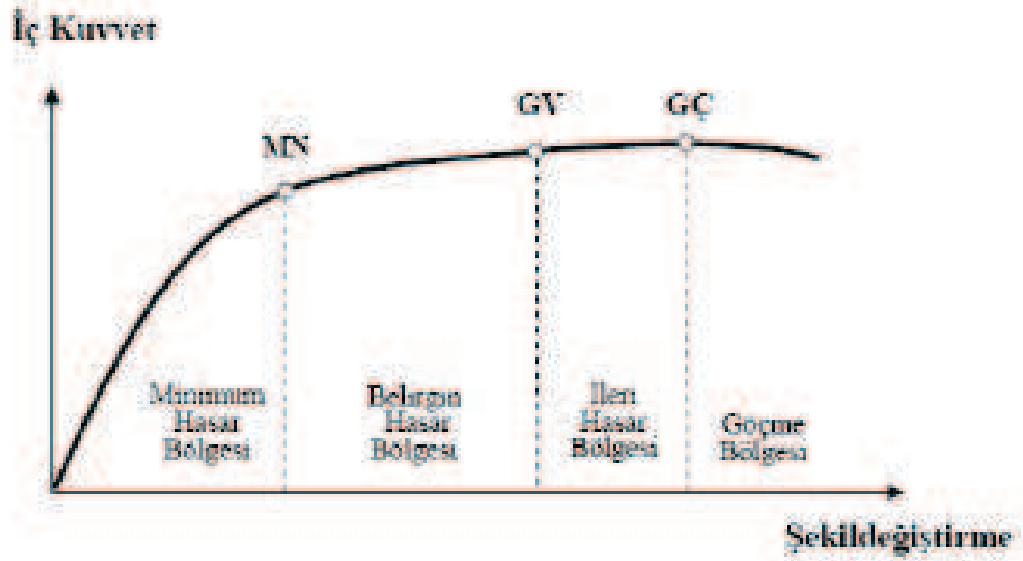
Şekil 3.1: Performans Düzeyleri ve Bölgeleri [10]

Tablo 3.1: Kullanım amacı ve türü farklı binalar için öngörülen performans hedefleri [10]

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

Mevcut binaların analizi ve yapılacak değerlendirmede kullanılacak bina ile ilgili bilgilerin TDY (2001) bölüm 7.2 de yer alan ifadelerle göre toplanmasından ve bina için performans hedefi öngörüldükten sonra, ilgili deprem seviyeleri için yönetmelikte bölüm 7.4 ve 7.5 te ayrıntıları ile belirtilen doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile binanın deprem analizi gerçekleştirilir [10]. Bu hesap yöntemleri bu çalışmanın kapsamında olmadığı için ayrıntılı bilgi verilmeyecektir.

Analizden elde edilen taşıyıcı elemanlara ait iç kuvvet değerlerine göre elemanların kesme gibi gevrek davranış kapasitelerinin aşılmış aşılmadığı kontrol edilmelidir. Bu kapasiteleri aşılmış olan elemanlar göçmüş olarak kabul edilir ve hasar derecelendirilmesi yapılmaz. Sünek davranış sergileyen elemanlarda hasar, analizden elde edilen iç kuvvet veya birim şekildeğişime düzeylerine göre minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar veya göçme olarak derecelendirilir (Şekil 3.2). Deprem hesabında doğrusal elastik olmayan yöntemlerden birinin kullanılması halinde taşıyıcı elemanlarda hasar derecelendirilmesi betonarme kesitlerde donatıdaki uzama veya betondaki kısalma birim şekildeğiştirmeleri üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 3.2: TDY (2007) kesit hasar sınırları ve bölgeleri [10]

Hesap yöntemlerinden elde edilen talepler ile her bir taşıyıcı elemana ait hasar bölgeleri ve hasar gören elemanların bina içindeki dağılımının belirlenmesi sonucu binanın ilgili deprem seviyesine ait performans düzeyine karar verilebilir. Elde edilen performans düzeyleri ile başlangıçta belirlenen performans hedefi karşılaştırılarak mevcut binada güçlendirme işlemine karar verilir.

3.1.2 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Mevcut binaların belirli bir deprem seviyesinde performans düzeyinin belirlenmesi için doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleriyle gerçekleştirilmesi durumunda sünek davranış sergileyen elemanlarda plastik şekildeğiştirme talepleri elde edilir. Bu şekildeğiştirme talepleri TDY (2007)'de [10] belirtilen şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak betonarme kesit hasar durumu belirlenir.

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı elemanlarda, hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme kapasiteleri çekme bölgesindeki donatıda uzama ve basınç bölgesindeki betondaki kısılma (kabuk ve çekirdek) birim şekildeğiştirme değerleri olarak Tablo 3.2'de tanımlanmıştır.

Tablo 3.2: TDY (2007) betonarme eleman hasar sınırları [27]

Şekildeğiştirme	Minimum Hasar sınırı (MN)	Güvenlik Hasar Sınırı (GV)	Göçme Hasar Sınırı (GÇ)
Kabuk betonu birim şekildeğiştirmesi, ϵ_{ck}	0.0035	-	-
Gövde betonu birim şekildeğiştirmesi, ϵ_{cg}	-	$0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})$ ≤ 0.0135	$0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm})$ ≤ 0.0185
Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi, ϵ_s	0.01	0.04	0.06

ρ_s : Kesitte mevcut bulunan TDY (2007)'ye uygun olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı
 ρ_{sm} : TDY (2007)'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı

3.2 Deney Numunelerinde Hasar Sınırlarının ve Bölgelerinin Belirlenmesi

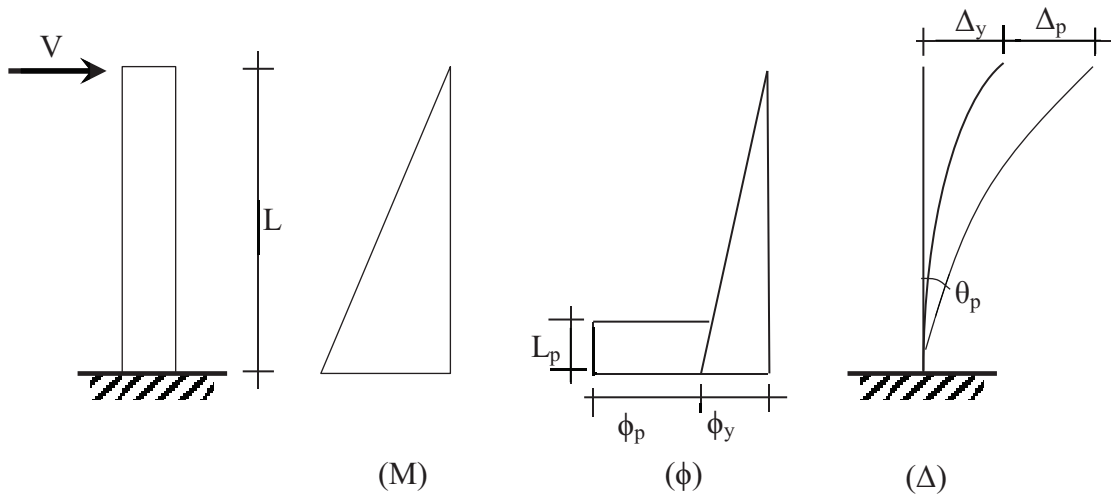
Deneylerde elde edilen sonuçlar ve görsel verilerin değerlendirilmesi amacıyla her bir numunenin TDY(2007)'de belirtilen ifadelerle göre doğrusal elastik olmayan analizi yapılarak betonarme kesit hasar sınırları ve bölgeleri belirlenmiştir.

3.2.1 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Analizlerde konsol elemanlar olarak göz önüne alınan numunelerde normal kuvvetin bulunmaması nedeniyle sadece malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi yapılmıştır. Bunun için literatürde birçok model bulunmaktadır. TDY (2007)'de uygulanmasındaki yaygınlığı ve basitliği nedeniyle yığılı plastik davranış modelinin kullanılması öngörüldüğü için numunelerin analizinde de bu model kullanılmıştır. Konsol çubuk olarak idealleştirilen kiriş numunelerindeki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmıştır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu için yapılan birçok çalışmada farklı ifadeler önerilmiştir. TDY

2007' de ise plastik mafsal boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edileceği belirtilmiştir [10].

Konsol kiriş numuneleri için en çok zorlanan kesitlerde plastik şekildeğiştirmenin olduğu duruma ait moment, yığılı plastik davranış modeline göre kabul edilen eğrilik dağılımı, konsol çubuğun elastik ve plastik yerdeğiştirmeleri Şekil 3.3'de verilmiştir. Yapılan idealleştirme sonucu elde edilen eşdeğer eğrilik dağılımına moment alan teoremi uygulanarak konsol çubuk uç yerdeğiştirme değerleri elde edilebilir. Yatay kuvvet uç yerdeğiştirme ilişkisinin elde edilebilmesi için öncelikle betonarme kesitin moment eğrilik ilişkisi oluşturularak, bu ilişkinin karakteristik değerleri belirlenmelidir. Moment eğrilik ilişkisindeki her bir eğrilik değerine ait yerdeğiştirme değeri moment alan teoreminden elde edilen bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir.



Şekil 3.3: Konsol elemanda doğrusal elastik olmayan davranış moment-eğrilik-yerdeğiştirme ilişkisi [28]

Moment eğrilik ilişkisinde akma eğriliğine kadar konsol uç yerdeğiştirme değeri (3.1) bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada ϕ_y akma eğriliği moment eğrilik ilişkisinde yapılan iki çizgili idealleştirmeden elde edilen eşdeğer akma eğrilik değeridir.

$$\Delta = \phi L^2/3 ; \quad \phi \leq \phi_y \quad (3.1)$$

Akma eğriliğinden sonraki eğriliğe bağlı konsol uç yerdeğiştirme değerlerini (3.2) bağıntısı kullanılarak elde edilebilir.

$$\Delta = \Delta_y + \Delta_p = \phi L^2/3 + (\phi - \phi_y)L_p(L - 0,5L_p); \quad \phi_y < \phi \quad (3.2)$$

Deney numunelerine ait doğrusal elastik olmayan davranış Montejo ve Kowalsky (2007) tarafından yazılan MatLab tabanlı açık kodlu CUMBIA programı kullanılarak elde edilmiştir [28]. Program dikdörtgen ve dairesel kesitli betonarme elemanların moment eğrilik ve kuvvet yerdeğiştirme ilişkisini elde etmektedir. Programdaki yığılı plastik davranış bağıntıları yukarıdaki bağıntılar ile değiştirilerek TDY(2007)'ye uyumlu hale getirilmiştir. Ayrıca plastik mafsal uzunluğu gibi yönetmelikle farklılık gösteren ifadelerde de değişiklik yapılmıştır. Programda kayma şekildeğiştirmeleri için verilen bağıntılar değiştirilmeyerek numuneler için bu şekildeğiştirmelerin mertebesi kontrol edilmiştir. Ayrıca program kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinde kesit kesme kapasitesi de işlenmektedir. Bu amaçla programda kesme kapasitesinin hesabı için verilen ifadeler TS 500'e [32] uyumlu hale getirilerek deney numunelerinin kesme kapasitesinin aşılmış aşılmadığı kontrolü yapılmıştır.

3.2.2 Hasar Sınır Yerdeğiştirme Değerlerinin Elde Edilmesi

CUMBIA programında malzemelerdeki şekildeğiştirme değerlerine bağlı olarak hasar sınırları tanımlanabilmektedir. Programda kullanılabilirlik ve hasar kontrol olarak tanımlanmış iki hasar sınırı bulunmaktadır. Bu hasar sınırları betondaki kısıalma ve donatıdaki uzama birim şekildeğiştirme değerleri olarak tanımlanmıştır. Bu hasar sınırı değerleri TDY (2007)'deki Minimum Hasar Sınırı (MN) ve Göçme Sınırı değerleri ile değiştirilmiş, Güvenlik Sınırı da programa sonradan ilave bir hasar sınırı olarak eklenmiştir. Bu hasar sınırları için yönetmelikte tanımlanan donatıdaki birim şekildeğiştirme üst değerleri girilmiş, betondaki şekildeğiştirme değerleri MN için kabuk betonunda, GV ve GÇ için ise etriyeler tarafından sarılı çekirdek betonunda girilmiştir. Programda kabuk ve çekirdek betonundaki birim şekildeğiştirme kontrolünün ayrı ayrı yapılabilmesi için gerekli değişiklikler yapılmış ve bir dizi kesit analizi yapılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Programdan elde edilen değerler kesit analizinde sıkça kullanılan XTRACT kesit analiz programıyla uyumu da kontrol edilmiştir.

CUMBIA programında kullanıcı tarafından girilen gerilme şekildeğiştirme ilişkileri beton ve çelik için malzeme modelleri olarak tanımlanabildiği gibi, programda yer alan beton ve çelik malzeme modelleride kullanılabilir. TDY (2007)'de [10] geçerliliği kabul edilmiş bütün malzeme modellerinin kullanılabilmesini belirtmekte ve kullanım için Mander'e ait beton [29] ve çelik malzeme modellerine [30] yer verilmektedir. Bu çalışmada yapılan analizlerde de yönetmelikte verilen bu malzeme modelleri kullanılmıştır.

CUMBIA programı betonarme kesitte en dış beton basınç lifindeki birim şekildeğiştirme değerini kullanıcı tarafından belirlenen adım sayısında arttırarak kesit analizini gerçekleştirmekte, her bir birim şekildeğiştirme değerinde moment eğrilik ve kuvvet yerdeğiştirme ilişkilerindeki bütün değerler aynı anda hesaplanmaktadır. Betondaki ve çelikteki birim şekildeğiştirme değerlerinden herhangi birisinin malzeme modelinde tanımlanan en üst değere ulaşmasıyla analize son vermektedir. Kesit analizi süresince hesaplanan değerler “.xls” formatında oluşturulan dosyada çıktı olarak sunulmaktadır. Analiz sonunda program beton ve çeliğe ait gerilme şekildeğiştirme ilişkisini, moment eğrilik ilişkisini, kuvvet yerdeğiştirme ilişkisini ve hasar sınırları yerdeğiştirme olarak işlenmiş kuvvet yerdeğiştirme ilişkisini grafik halinde çizmektedir [28].

3.2.3 Malzeme Modelleri

Sargılı ve sargısız beton ile donatı çeliğinin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi, plastik şekildeğiştirmenin yoğunlaşacağı kritik bölgelerin süneklik talebinin değerlendirilmesi amacıyla yapılacak gerçekçi davranış modellemesinin en önemli unsurlarındandır. TDY (2007)'de moment eğrilik analizi için sargı etkisini göz önüne alan bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modelinin kullanılması gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu amaçla Mander ve diğ. tarafından önerilen beton modeline [29] ve donatı çeliği modeline [30] yer verilmiştir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilecek analizlerde de bu malzeme modelleri göz önüne alınmıştır.

3.2.3.1 Beton Modeli

Yaygın olarak kabul görmesi nedeniyle Mander ve diğ. [29] tarafından önerilen sargısız ve sargılı beton modeli TDY (2007)'de moment eğrilik analizinde kullanım için önerilmektedir. Bu modele ait bağıntılar bu bölümde verilmiştir.

Monotonik yükleme altında beton basınç gerilmesi f_c ;

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (3.3)$$

ifadesi olarak verilmiştir. (3.3) denklemindeki parametreler;

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (3.4)$$

$$x = \varepsilon_c / \varepsilon_{cc} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_{co}} - 1 \right) \right] \quad (3.6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.7)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f_{co}} \quad (3.8)$$

$$E_{sec} = f_{cc} / \varepsilon_{cc} \quad (3.9)$$

denklemlerinden hesaplanırlar. Burada λ_c sargı faktörü, f_{co} sargısız betonun basınç dayanımı, f_{cc} sargılı beton dayanımı, ε_c beton basınç birim şekildeğiştirme, ε_{co} (0.002) sargısız beton basınç gerilmesindeki birim şekildeğiştirme, ε_{cc} en büyük sargılı beton basınç gerilmesindeki birim şekildeğiştirme, E_c betonun elastisite modülünü ve E_{sec} en büyük beton basınç gerilmesindeki sekant elastisite modülüdür.

Sargı faktörü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.10)$$

Efektif sargı dayanımı f_e , dikdörtgen kesitler için birbirine dik iki doğrultudaki değerler olarak (3.11) ve (3.12) bağıntıları ile hesaplanabilir,

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (3.11)$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.12)$$

Bu bağıntılarda ρ_x ve ρ_y iki dik doğrultuda kesitteki hacımsal enine donatı oranı ve k_e sargılama etkinlik katsayısıdır ve (3.13) denklemi ile hesaplanır.

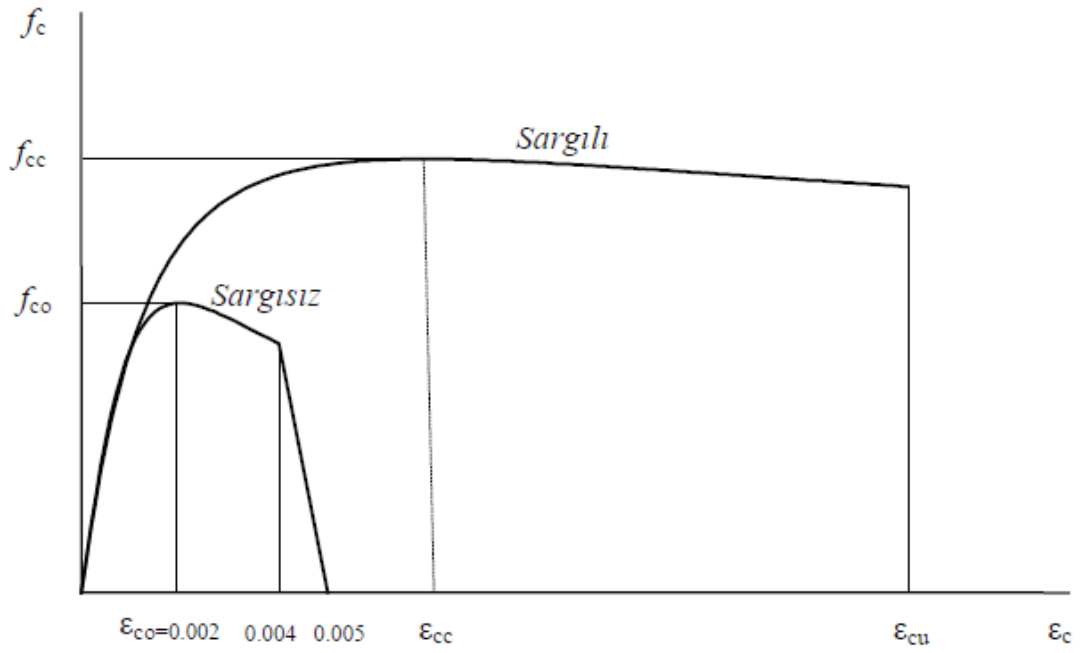
$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.13)$$

Burada a_i enine donatı tarafından tutulu donatıların eksenleri arasındaki uzunluk, b_o ve h_o çekirdek betonunun sargılayan enine donatıların eksenleri arasında kalan kesit boyutları, s düşey doğrultuda enine donatı aralığı, A_s boyuna donatı alanıdır.

Sargılı betonun en çok zorlanan lifindeki en büyük birim şekildeğiştirme (3.14) bağıntısından hesaplanır [31]. Burada ρ_s kesitteki hacımsal enine donatı oranıdır ve her iki doğrultudaki hacımsal enine donatı oranlarının toplamı olarak belirlenir.

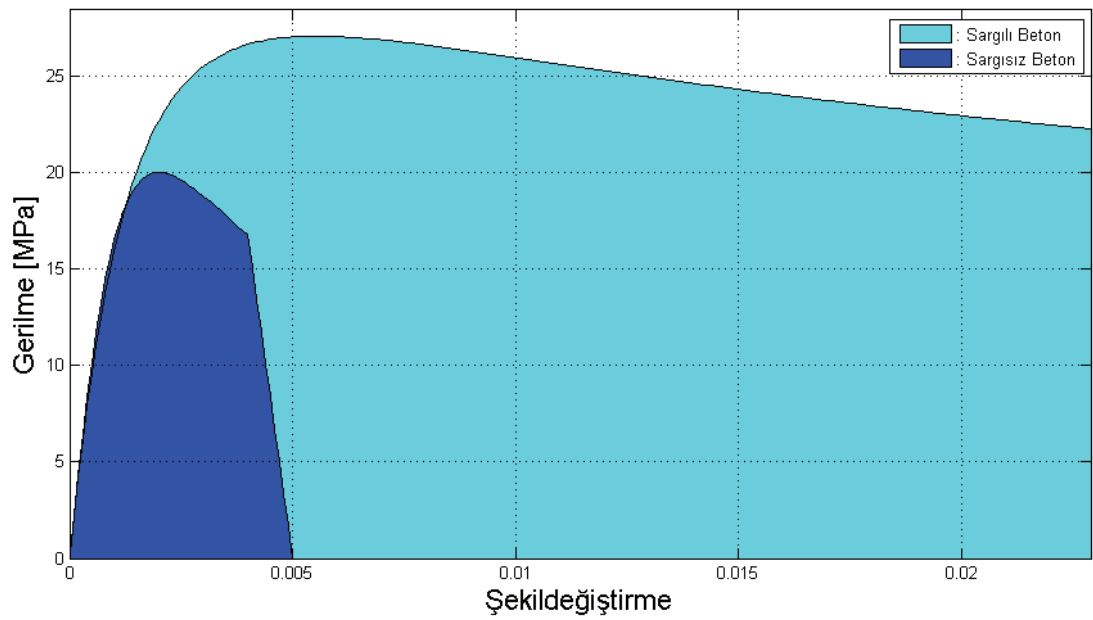
$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.14)$$

Sargısız betonlar için beton birim şekildeğiştirmesi (ε_c) 0.004 değerine kadar (3.3) denklemi geçerlidir. Sargısız betonlarda sargı faktörü (λ_c) 1 olarak alınır. Beton birim şekildeğiştirmesi (ε_c) 0.005 değerinde beton basınç gerilmesi almadığı kabul edilir. Beton birim şekildeğiştirmesinin 0.004 ve 0.005 değerleri arasında gerilme şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır. Belirtilen beton modeline göre elde edilecek gerilme şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.4' de gösterilmiştir.

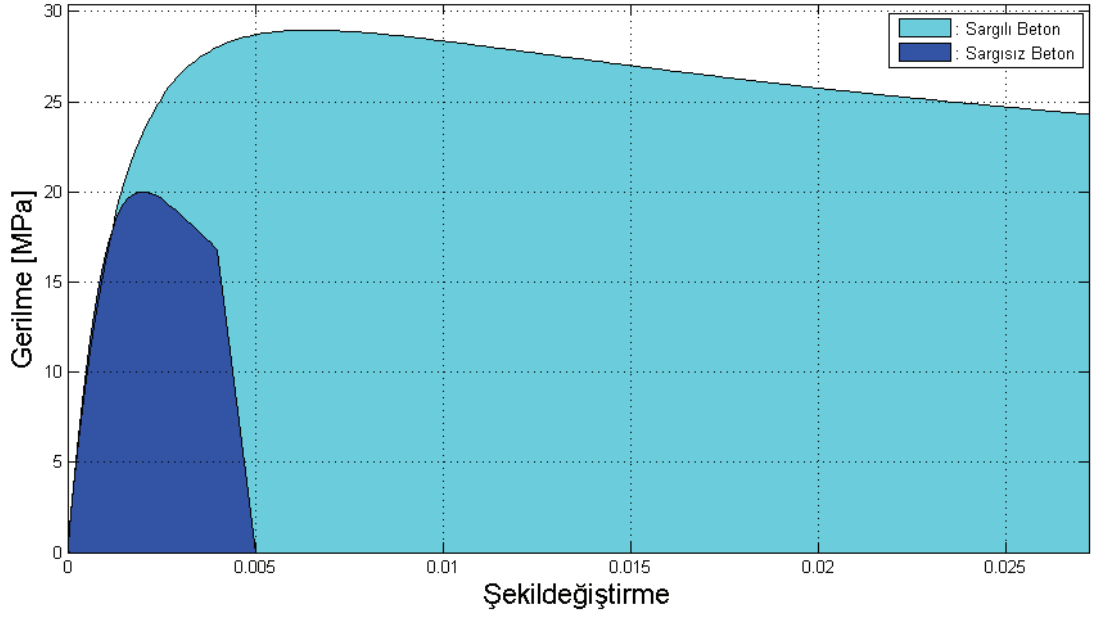


Şekil 3.4: Mander modeli sargılı ve sargısız beton gerilme şekildeğiştirme ilişkisi[10]

Enine donatı olarak çift ve tek etriye kullanılmış deney numunelerine ait sargılı ve sargısız beton gerilme şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 3.5’de ve Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.5: Tek donatılı numunelerde sargılı ve sargısız beton gerilme şekildeğiştirme ilişkisi



Şekil 3.6: Çift etriyeli numunelere ait sargılı ve sargısız beton gerilme şekildeğiştirme ilişkisi

3.2.3.1 Çelik Modeli

TDY (2007)'de yer alan pekleşmeyi de göz önüne alan Mander ve diğ. [31] tarafından önerilen donatı çeliği modeline ait bağıntılar bu bölümde verilmiştir.

Donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme değerinin (ϵ_s) akma durumuna ait birim şekildeğiştirme değerinden (ϵ_{sy}) küçük olması durumunda donatıdaki gerilme (f_s) hooke kanuna göre (3.15) denklemi ile hesaplanır.

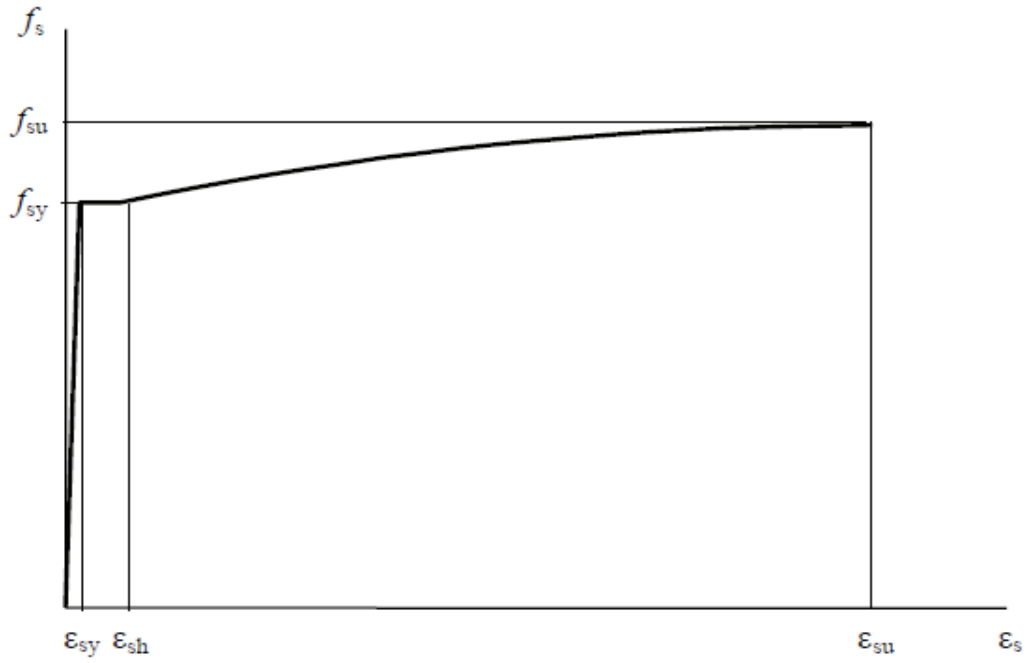
$$f_s = E_s \epsilon_s, \quad \epsilon_s < \epsilon_{sy} \quad (3.15)$$

Akma bölgesi boyunca donatıdaki gerilme (f_s) donatı çeliğinin akma dayanımına (f_{sy}) eşittir. Donatıdaki birim şekildeğiştirme değeri (ϵ_s) pekleşme başlangıcı birim şekildeğiştirme değerinden (ϵ_{sh}) büyük olması durumunda donatı çeliğindeki gerilme (3.17) denklemi ile hesaplanır.

$$f_s = f_{sy}, \quad \epsilon_{sy} < \epsilon_s < \epsilon_{sh} \quad (3.16)$$

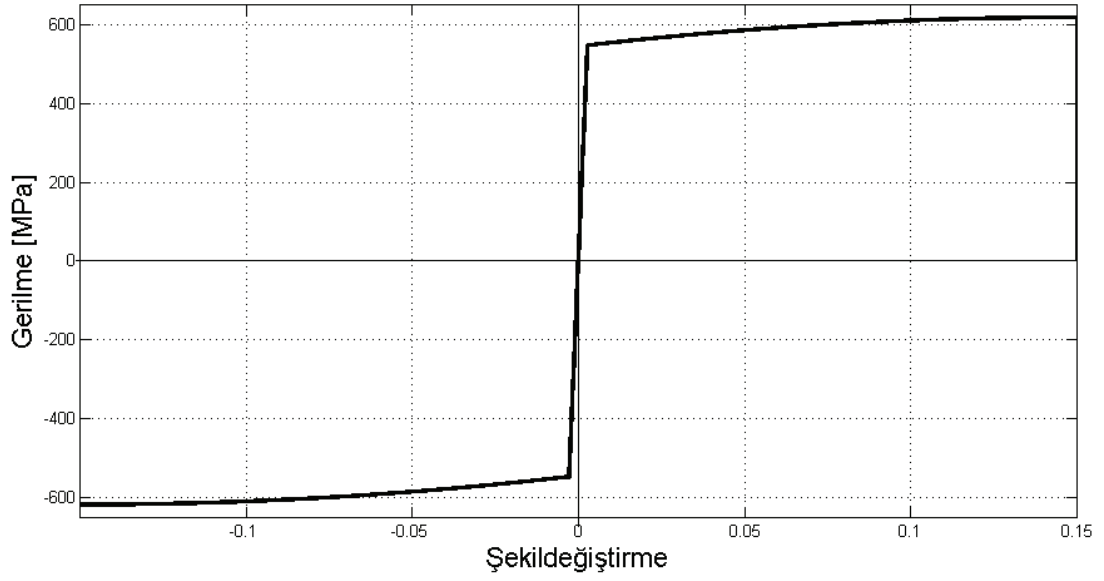
$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\epsilon_{su} - \epsilon_s)^2}{(\epsilon_{su} - \epsilon_{sh})^2}, \quad \epsilon_{sh} < \epsilon_s \quad (3.17)$$

Bu denklemlerde f_{su} donatı çeliği kopma dayanımıdır. Donatı çeliğine ait akma ve kopma dayanımları (f_{sy} , f_{su}) ile akma, pekleşme başlangıcı ve kopma birim şekildeğiştirme değerleri (ϵ_{sy} , ϵ_{sh} , ϵ_{su}) standart çekme deneyinde elde edilen değerlerdir. Ayrıca donatı çeliği sınıfına bağlı olarak TDY (2007)'de analizlerde kullanılabilen dayanım ve birim şekildeğiştirme değerleri verilmiştir. Donatı çeliği için elastisite modülü (E_s) 2×10^5 MPa alınabilir. Verilen donatı çeliği modeline göre gerilme şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.7'de verilmiştir.

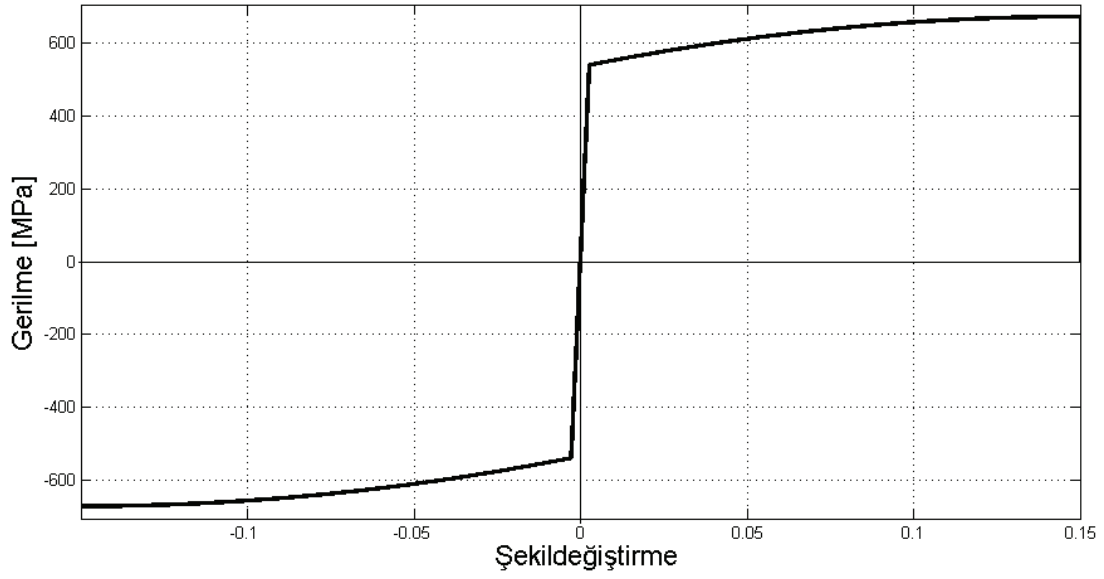


Şekil 3.7: Donatı çeliği gerilme şekildeğiştirme ilişkisi [10]

Deney numunelerinde boyuna donatı olarak kullanılan Ø12 ve Ø16 çaplarındaki donatıların standart çekme deneyinden elde edilen değerlerin ilgili donatı çeliği modelinde kullanılması ile elde edilen gerilme şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 verilmiştir.



Şekil 3.8:Ø12 donatıların gerilme şekildeğiştirme ilişkisi



Şekil 3.9: Ø16 donatıların gerilme şekildeğiştirme ilişkisi

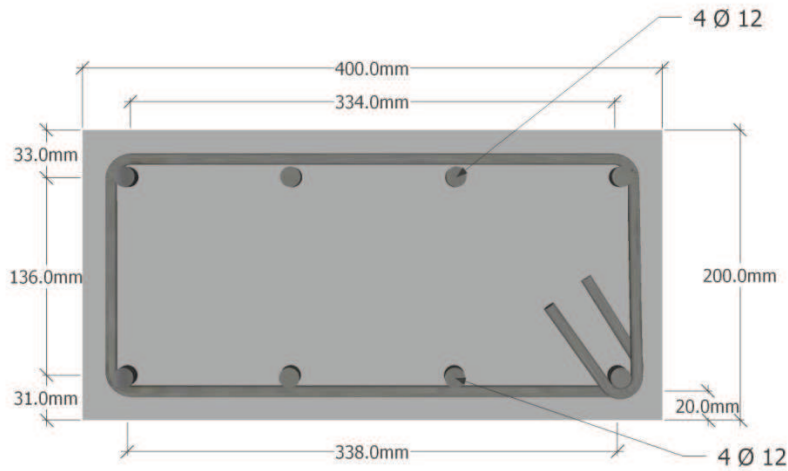
3.2.4 Deneş Numunelerinin Analizi

Deneş numunelerinin moment eğrilik ve kuvvet yerdeğiştirme ilişkisine ait analitik çözümleri CUMBİA programı kullanılarak elde edilmiştir. Simetrik donatılı kesitlerde sadece pozitif moment altında kesit analizi gerçekleştirilirken, asimetrik

donatılı kesitlerde hem pozitif hem de negatif moment altında iki farklı kesit analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde beton ve çelik için malzeme deneylerinden elde edilen gerçek karakteristik değerler kullanılmıştır.

3.2.4.1 GK-1-T Numunesi

GK-1-T numunesi için programa girilecek kesite ait geometrik değerler ve donatı yerleşimi Şekil 3.10' da gösterilmiştir.

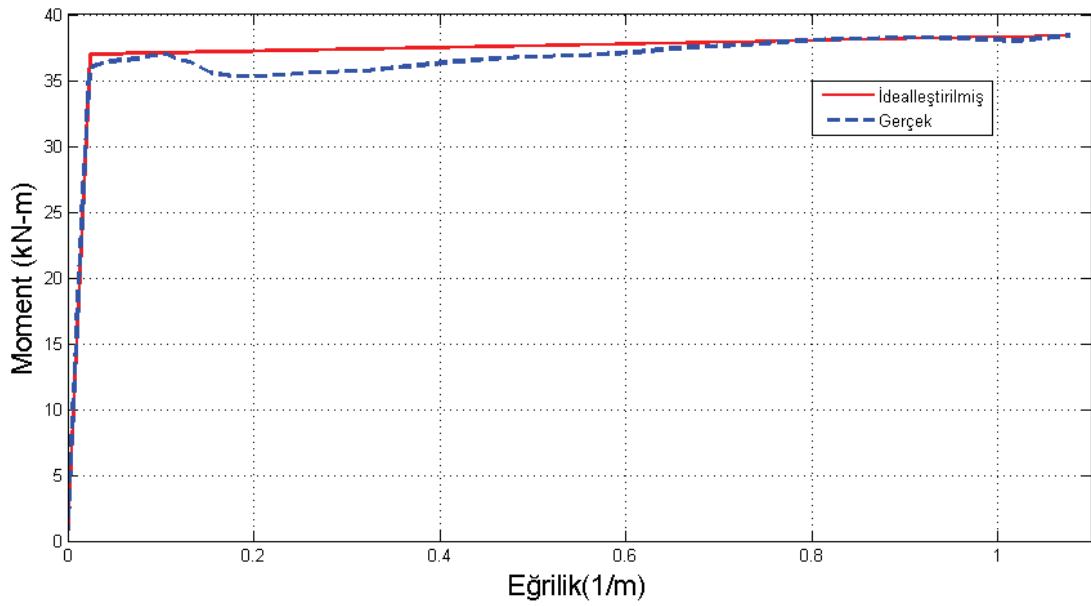


Şekil 3.10: GK-1-T numunesi enkesiti

GK-1-T numunesinin kesit analizi basınç bölgesindeki en çok zorlanan beton lifindeki birim şekildeğiştirme değeri arttırılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir birim şekildeğiştirme artışına karşılık kabuk ve gövde betonu birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{ck} , ϵ_{cg}), donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi (ϵ_s), moment, yatay kuvvet, eğrilik (ϕ), eğrilik sünekliği ($\mu\phi$), yerdeğiştirme (Δ) ve yerdeğiştirme sünekliği ($\mu\Delta$) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan akma durumu ve analiz sonuna ait değerler ile yönetmelik hasar sınırlarına karşılık gelen değerler Tablo 3.3'de verilmiştir. Analizden elde edilen moment eğrilik ilişkisi ve iki doğrulu idealleştirilmiş moment eğrilik ilişkisi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. İdealleştirilmiş moment eğrilik ilişkisinde eşdeğer akma noktasına ait değerler de Tablo 3.3'de yer almaktadır. Donatı çeliğindeki uzama birim şekildeğiştirmesi donatı çeliği modelinde tanımlanan en büyük değeri geçmesi sonucu analiz sonlanmıştır.

Tablo 3.3: GK-1-T numunesi kesit analizi sonuçları

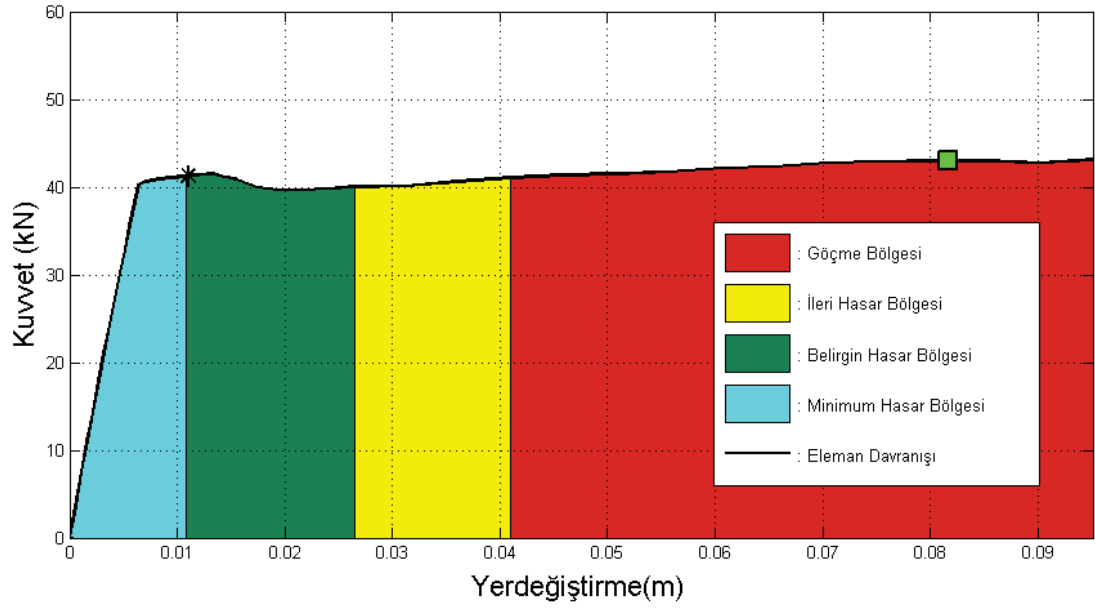
Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.0013	0.00092	0.0026	35.28	39.64	0.0234	-	0.00645	-
Eş.Akma	-	-	-	36.97	41.53	0.02452	-	0.00662	-
MN	0.0031	0.00178	-0.01	36.7	41.24	0.07891	3.22	0.01107	1.67
GV	-	0.00675	-0.04	35.71	40.12	0.31164	12.71	0.03061	4.62
GÇ	-	0.00955	-0.06	36.67	41.2	0.46369	18.91	0.04339	6.55
A. Sonu	-	0.02077	-0.1407	38.4	43.14	1.077	43.92	0.09511	14.36

**Şekil 3.11:** GK-1-T numunesi moment eğrilik ilişkisi

Tablo 3.3'deki değerler incelendiğinde hasar sınırlarının tamamı donatıdaki şekildeğiştirmenin donatı çeliği için verilen sınır değerlere ulaşması sonucu gerçekleşmiştir. Minimum hasar sınırı geçildikten sonra belirgin hasar bölgesinde kabuk betonundaki şekildeğiştirme değeri en büyük değerine ulaşmıştır. Göbek betonundaki şekildeğiştirme değerleri minimum ve belirgin hasar bölgelerinde küçük değerlerde kalmıştır. Sonuçlardan kesitin yüksek eğrilik ve yerdeğiştirme sünekliği değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

İlgili bağıntılar kullanılarak plastik mafsallı boyunun $0.5h$ ($L_p=10cm$) kabulüne göre moment eğrilik değerlerinden kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi oluşturulmuştur.

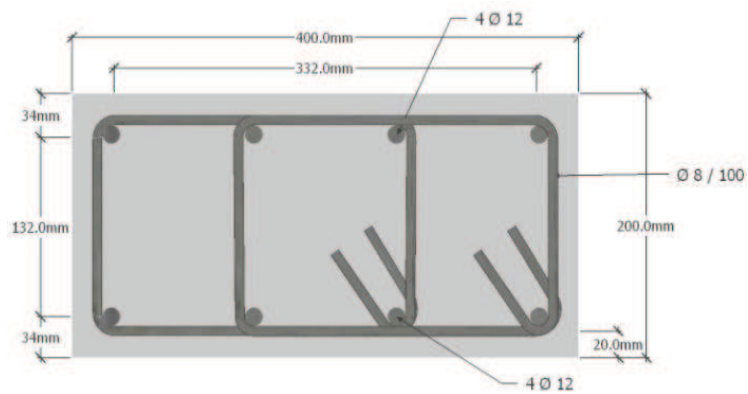
Hasar sınırları ve bölgeleri üzerine işlenmiş kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: GK-1-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları

3.2.4.1 GK-1-Ç Numunesi

GK-1-Ç numunesi için programa girilecek kesite ait geometrik değerler ve donatı yerleşimi Şekil 3.13’de verilmiştir.



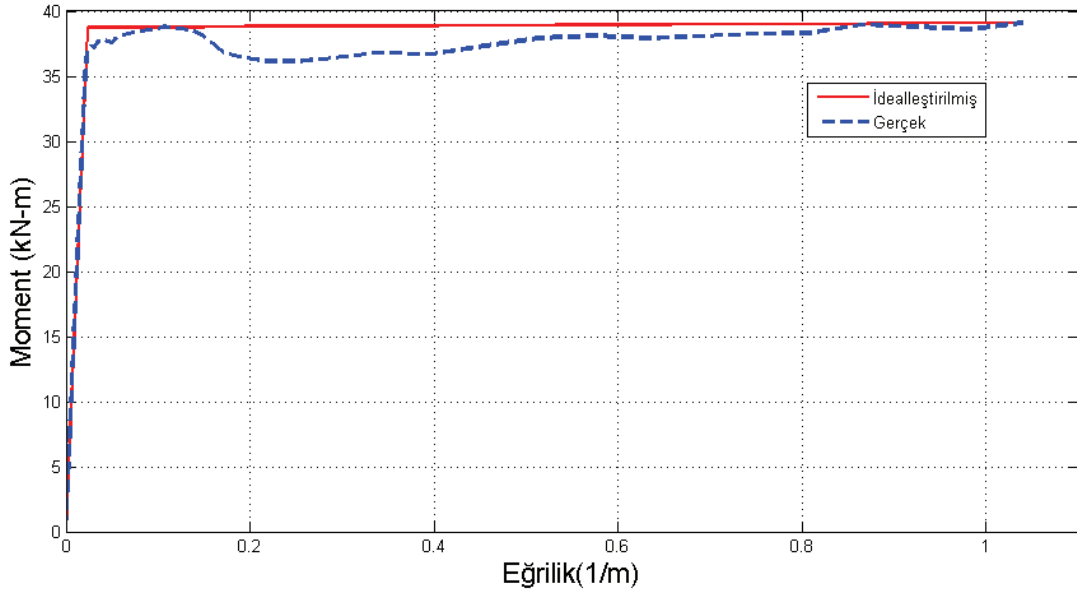
Şekil 3.13: GK-1-Ç numunesinin enkesiti

GK-1-Ç numunesinin kesit analizinden ilgili durumlara karşılık elde edilen değerler Tablo 3.4’de verilmiş, kesitin gerçek ve idealleştirilmiş moment eğrilik

ilişkisi Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Bu numunede de analiz sonuna donatı çeliğindeki şekildeğiştirmenin en büyük değerine ulaşması ile erişilmiştir.

Tablo 3.4:GK-1-Ç numunesi kesit analizi sonuçları

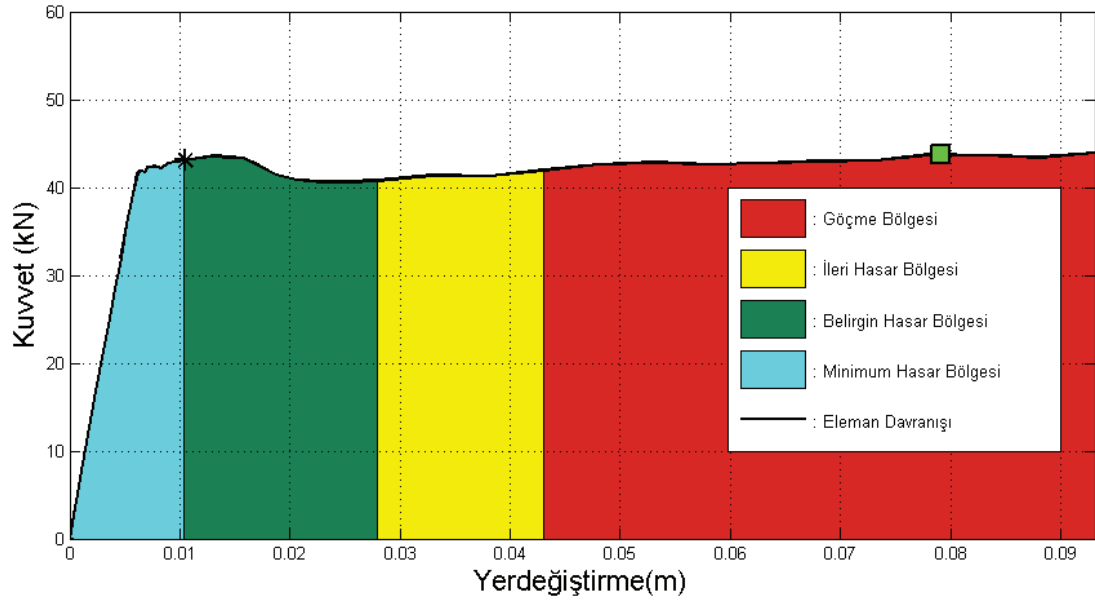
Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.001	0.00066	0.0026	35.9	39.32	0.02206	-	0.00574	-
Eş. Akma	-	-	-	38.73	43.51	0.0238	-	0.00639	-
MN	0.0025	0.00131	-0.01	38.36	43.11	0.07556	3.17	0.01054	1.65
GV	-	0.00603	-0.04	36.54	41.05	0.30688	12.89	0.03032	4.75
GÇ	-	0.00875	-0.06	37.36	41.98	0.4583	19.25	0.04328	6.78
Analiz S.	-	0.0193	-0.1367	39.08	43.91	1.04039	43.71	0.0931	14.58



Şekil 3.14:GK-1-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi

Sonuçlardan donatı çeliğindeki uzama birim şekildeğiştirme değerlerinin betondaki kısıalma birim şekildeğiştirme değerlerinden çok daha büyük olduğu ve bütün hasar sınırlarına donatıdaki şekildeğiştirme nedeniyle ulaşıldığı görölmüştür. Kabuk betonu en büyük şekildeğiştirme değerine belirgin hasar bölgesinde erişmiştir. Bütün hasar bölgelerinde göbek betonundaki şekildeğiştirme minimum, belirgin ve ileri hasar bölgelerinde küçük değerlerde kalmıştır. Bu deney numunesinde de yüksek eğrilik ve yerdeğiştirme sünekliği söz konusudur.

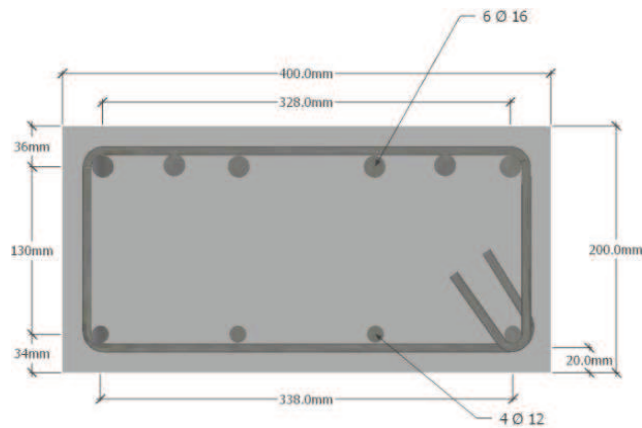
Kesit analizden elde edilen değerlerden oluşturulmuş kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15: GK-1-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları

3.2.4.1 GK-0.37-T Numunesi

Asimetrik donatılı GK-0.37-T numunesi için programa girilecek kesite ait geometrik değerler ve donatı yerleşimi Şekil 3.16’da verilmiştir.



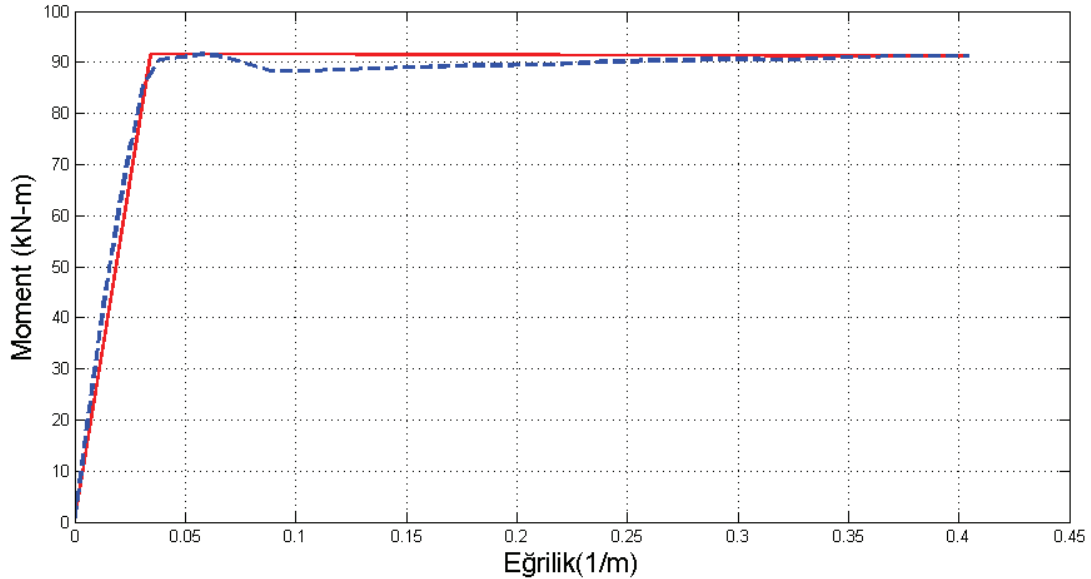
Şekil 3.16: GK-0.37-T numunesi enkesiti

Asimetrik donatılı numunenin öncelikle Ø16’lık donatıların çekme bölgesinde yer aldığı pozitif moment altında kesit analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 3.5’de verilmiş, elde edilen gerçek ve idealleştirilmiş moment

eğrilik ilişkisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Analiz sargılı betondaki kısalma birim şekildeğiştirmesinin en büyük değerine ulaşması ile sonlandırılmıştır.

Tablo 3.5:GK-0.37-T numunesi kesit analizi sonuçları (pozitif)

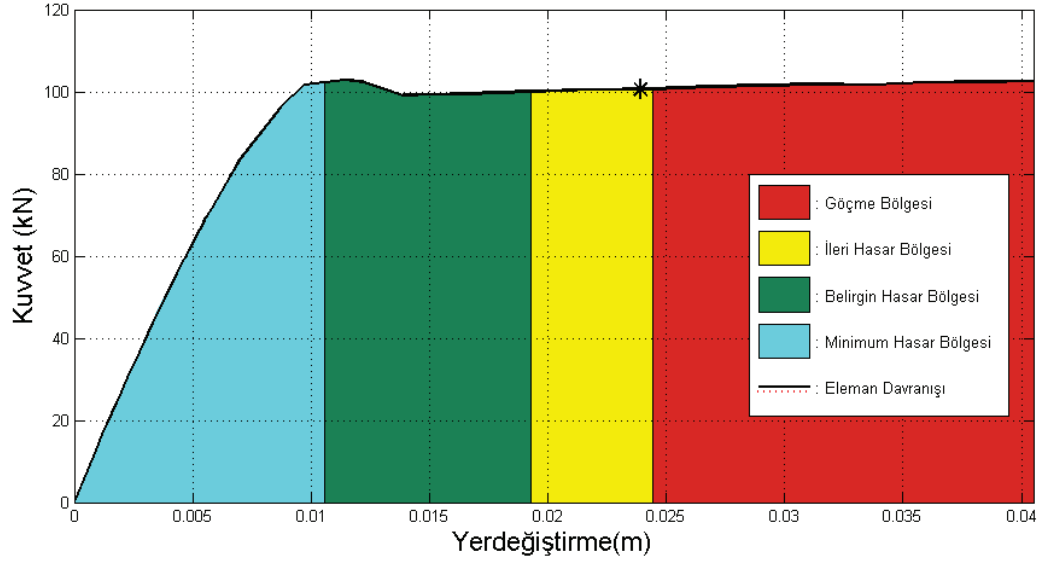
Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.0025	0.00201	-0.0027	86.49	97	0.03238	-	0.0087	-
Eş. Akma	-	-	-	91.55	43.51	0.03428	-	0.00942	-
MN	0.0035	0.0027	-0.0044	91.02	102.27	0.04817	1.41	0.01056	1.12
GV	-	0.0085	-0.01693	89.28	100.31	0.17182	5.01	0.0209	2.22
GÇ	-	0.011	-0.0218	89.74	100.83	0.22162	6.46	0.02509	2.66
Analiz S.	-	0.028	-0.03836	91.26	102.54	0.40466	11.8	0.04051	4.3



Şekil 3.17: GK-0.37-T numunesi moment eğrilik ilişkisi (pozitif)

Kesit analizinde hasar sınırlarına, MN için kabuk betonunun birim şekildeğiştirmesinin, GV ve GÇ için gövde betonunun birim şekildeğiştirmesinin yönetmelikte belirtilen sınır şekildeğiştirme değerlerine, donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirmeden önce ulaşması sonucu erişilmiştir. Kabuk betonu en büyük şekildeğiştirme değerine belirgin hasar bölgesinde ulaşmıştır. Donatıdaki birim şekildeğiştirme hasar bölgelerinde çok küçük değerlerde kalmıştır. Analiz sonucu düşük eğrilik ve yerdeğiştirme süneklik değerleri elde edilmiştir.

Moment eğrilik analiz sonuçlarından elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

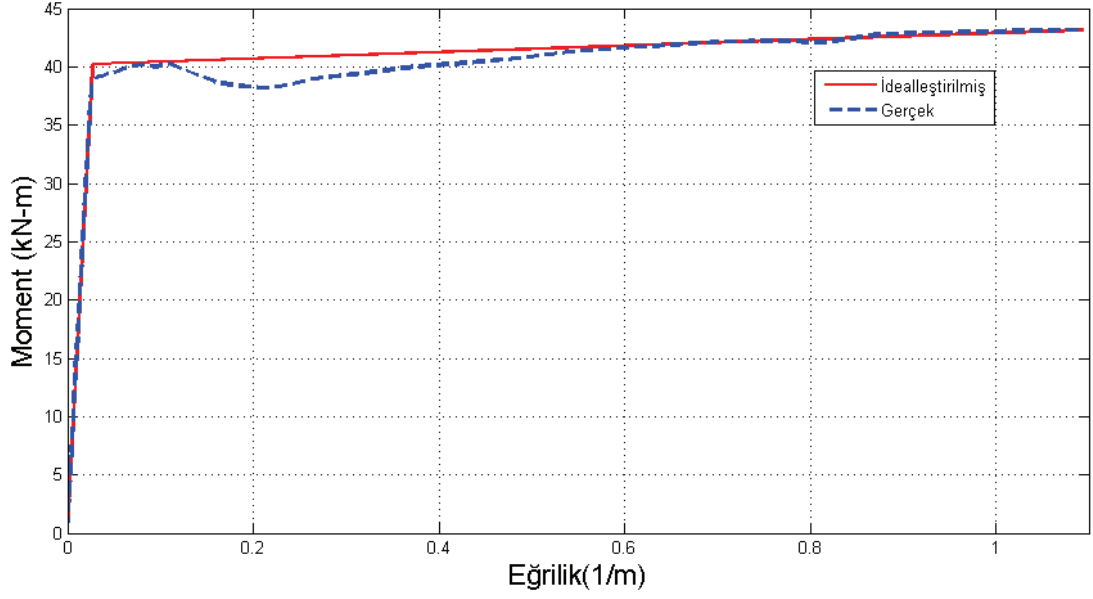


Şekil 3.18: GK-0.37-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (pozitif)

GK-0.37-T numunesinde Ø12'lik donatıların çekme bölgesinde olduğu negatif moment altında gerçekleştirilen moment eğrilik analizi sonuçları Tablo 3.6'da verilmiş, gerçek ve idealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: GK-0.37-T numunesi kesit analizi sonuçları (negatif)

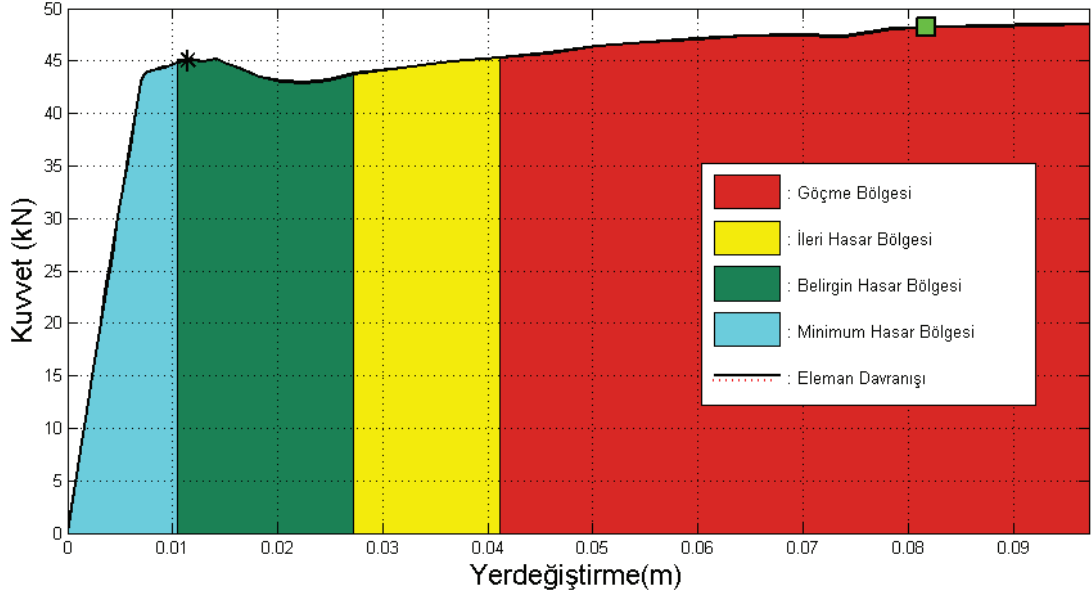
Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.0012	0.00079	-0.003	38.35	43.09	0.02599	-	0.00703	-
Eş. Akma	-	-	-	40.23	45.2	0.02723	-	0.00739	-
MN	0.00292	0.00172	-0.01	40.14	45.1	0.07784	2.86	0.01147	1.55
GV	-	0.00668	-0.04	39.39	44.25	0.31122	11.43	0.03107	4.2
GÇ	-	0.0098	-0.06	40.58	45.6	0.4653	17.09	0.04407	5.96
Analiz S.	-	0.0225	-0.14154	43.15	48.49	1.09359	40.17	0.09721	13.15



Şekil 3.19: GK-0.37-T numunesi moment eğrilik ilişkisi (negatif)

Negatif moment için gerçekleştirilen analizde kesit yüksek eğrilik ve yerdeğiştirme sünekliği değerlerine ulaşmıştır. Bütün hasar sınırlarına donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirmenin yönetmelik sınır şekildeğiştirmesi değerine ulaşması sonucu erişilmiştir. Kabuk betonu en büyük şekildeğiştirmesi değerine belirgin hasar bölgesinde ulaşırken, minimum ve belirgin hasar bölgelerinde gövde betonundaki şekildeğiştirme küçük değerlerdedir.

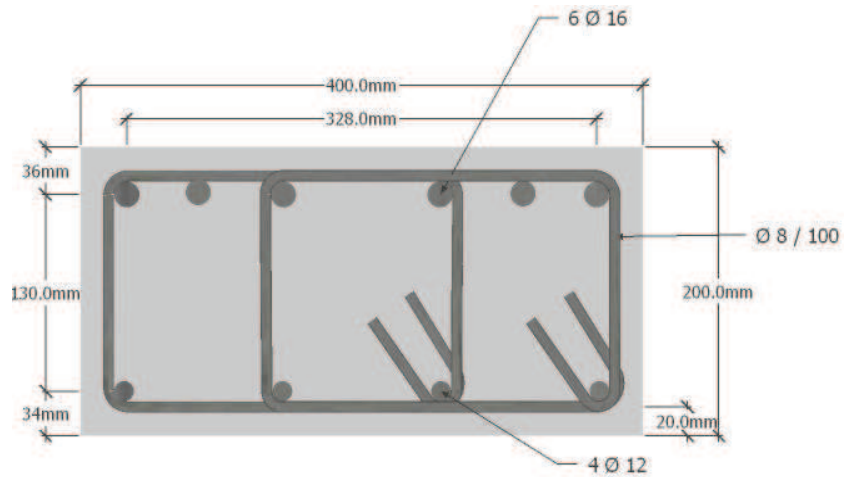
Ø12'lik donatıların çekme bölgesinde olması durumunda gerçekleştirilen kesit analizi sonuçlarıyla elde edilmiş GK-0.37-T numunesine ait kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: GK-0.37-T numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (negatif)

3.2.4.1 GK-0.37-Ç Numunesi

GK-0.37-Ç numunesi için programa girilecek kesite ait geometrik değerler ve donatı yerleşimi Şekil 3.21’de verilmiştir. Kesit asimetrik donatılı olduğu için hem pozitif hem de negatif moment altında kesit analizi gerçekleştirilmiştir.



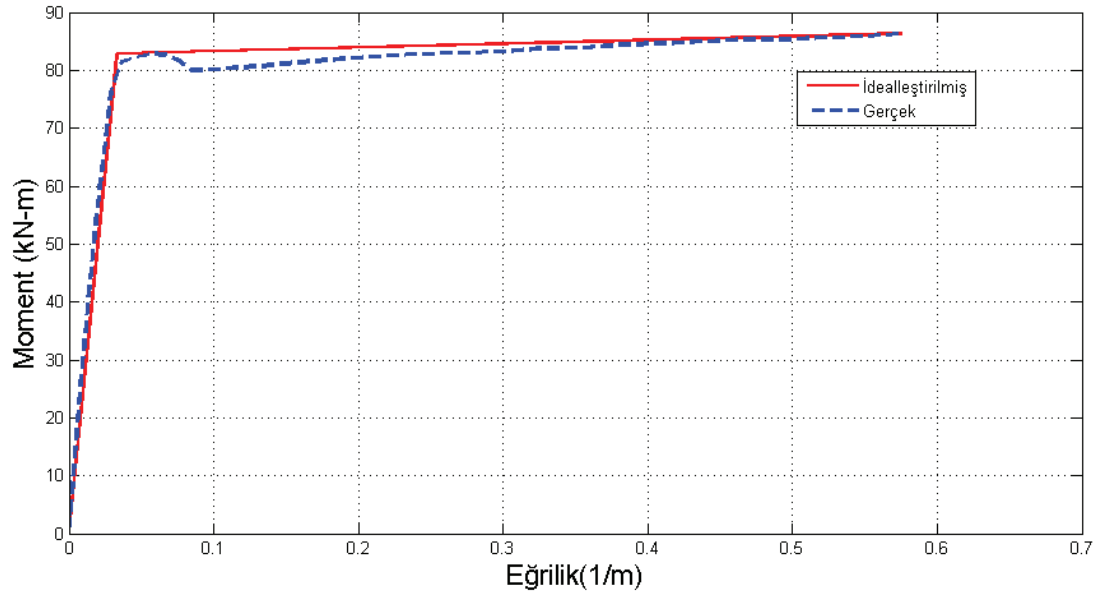
Şekil 3.21: GK-0.37-Ç numunesi enkesiti

Öncelikle GK-0.37-Ç numunesinin Ø16’lık donatıların çekme bölgesinde yer aldığı pozitif moment altında kesit analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo

3.7’de verilmiş ve elde edilen gerçek ve idealleştirilmiş moment eğrilik ilişkisi Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Analiz GK-0.37-T numunesi ile benzer olarak sargılı betondaki kılma birim şekildeğiştirmesinin en büyük değerine ulaşması ile sonlandırılmıştır.

Tablo 3.7: GK-0.37-Ç numunesi kesit analizi sonuçları (pozitif)

Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.0027	0.00223	0.0026	77.6	87.19	0.03103	-	0.0086	-
Eş. Akma	-	-	-	82.9	93.15	0.03315	-	0.00895	-
MN	0.0035	0.00276	-0.00409	82.28	92.44	0.04628	1.4	0.00995	1.11
GV	-	0.01	-0.01919	82.07	92.21	0.19725	5.95	0.02263	2.53
GÇ	-	0.0131	-0.02524	82.93	93.18	0.25906	7.82	0.02786	3.11
Analiz S.	-	0.0308	-0.05434	86.28	96.94	0.57527	17.36	0.05493	6.14

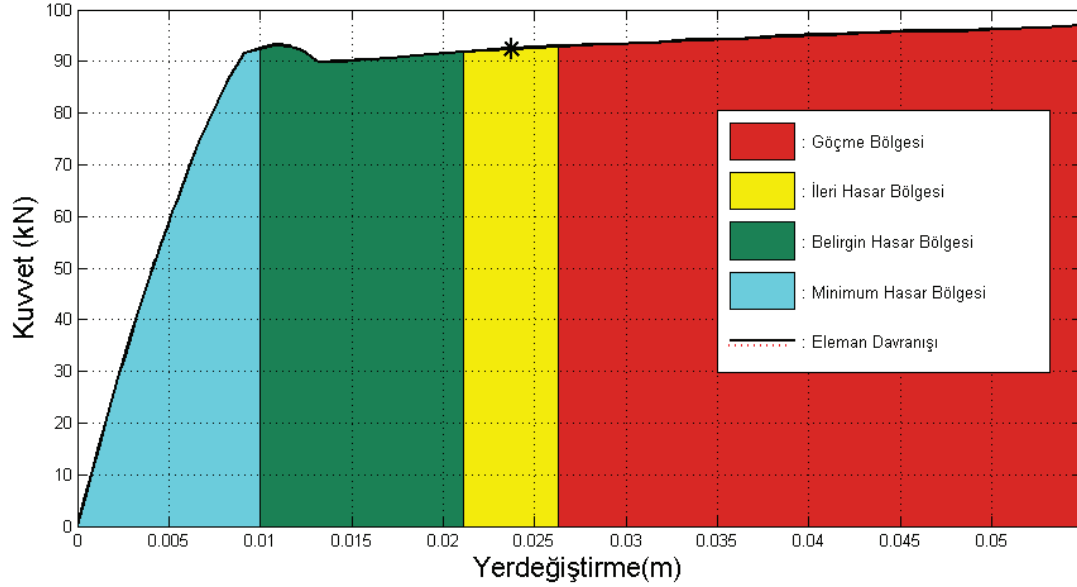


Şekil 3.22: GK-0.37-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi (pozitif)

Analizde donatı çeliğindeki uzama birim şekildeğiştirmesi değerinden önce kabuk ve gövde betonundaki kılma birim şekildeğiştirme değerleri yönetmelik sınır şekildeğiştirme değerlerine ulaşmış ve hasar sınırları belirlenmiştir. Belirgin hasar bölgesinde kabuk betonu en büyük şekildeğiştirmesine ulaşmış, bütün hasar bölgelerinde gövde betonunda kapasitesine göre büyük şekildeğiştirme değerlerine ulaşılmış olmasına rağmen donatıdaki şekildeğiştirmeler kapasitesine oranla küçük

değerlerde kalmıştır. Davranışta betonun belirleyici olması nedeniyle düşük süneklik değerleri elde edilmiştir.

Hasar sınırları belirtilmiş GK-0.37-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

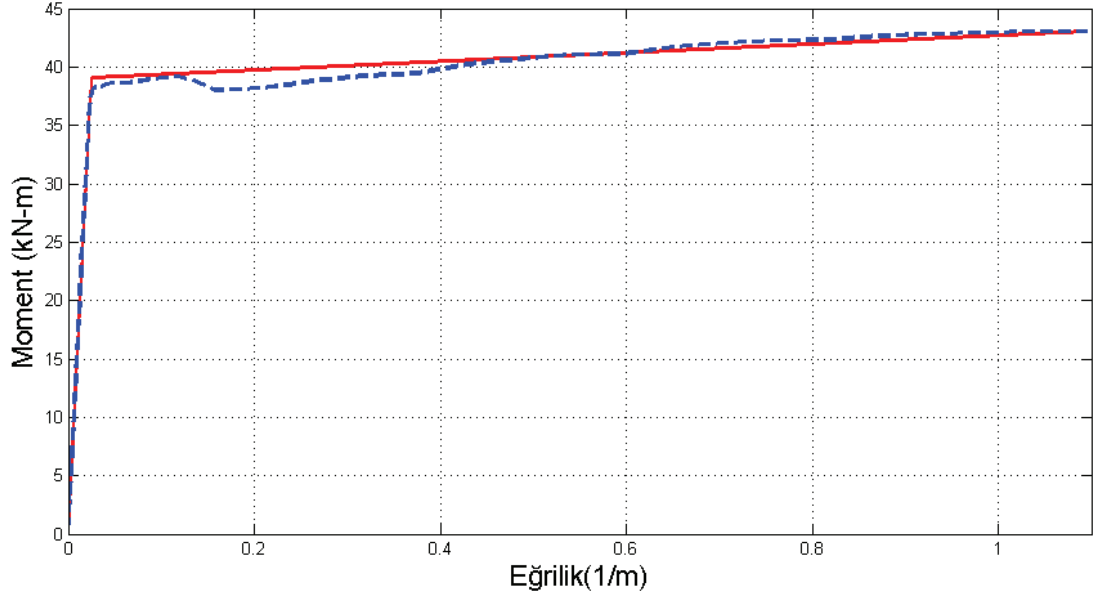


Şekil 3.23: GK-0.37-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (pozitif)

GK-0.37-Ç numunesinde Ø12’lik donatıların çekme bölgesinde olduğu negatif moment altında gerçekleştirilen moment eğrilik analizi sonuçları Tablo 3.8’de verilmiş, gerçek ve idealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi Şekil 3.24’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8: GK-0.37-Ç numunesi kesit analizi sonuçları (negatif)

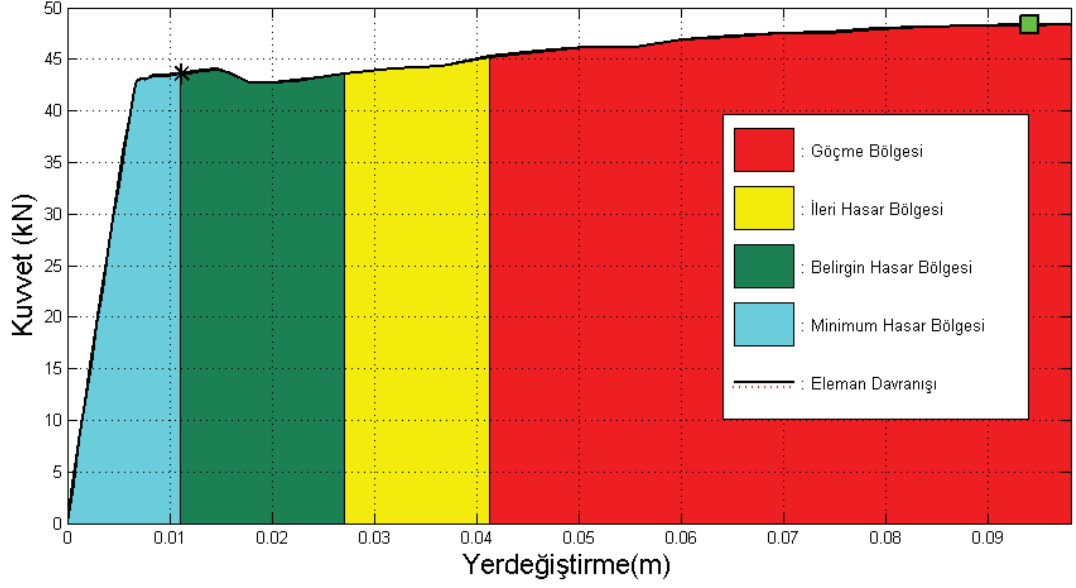
Durum	ϵ_{ck}	ϵ_{cg}	ϵ_s	Moment [kNm]	Kuvvet [kN]	ϕ [1/m]	$\mu\phi$	Δ [m]	$\mu\Delta$
İlk Akma	0.0012	0.00082	0.00278	37.54	42.17	0.02421	-	0.00655	-
Eş. Akma	-	-	-	39.06	43.88	0.02518	-	0.00684	-
MN	0.00307	0.00177	-0.01	38.8	43.6	0.07873	3.13	0.0112	1.64
GV	-	0.00673	-0.04	39.18	44.03	0.31153	12.37	0.03107	4.54
GÇ	-	0.00983	-0.06	40.54	45.55	0.46553	18.49	0.04423	6.46
Analiz S.	-	0.02249	-0.14171	43.07	48.39	1.09465	43.47	0.09802	14.32



Şekil 3.24: GK-0.37-Ç numunesi moment eğrilik ilişkisi (negatif)

Ø12'lik donatıların çekme bölgesinde bulunduğu negatif moment durumu için gerçekleştirilen analizde hasar sınırlarına donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirmenin yönetmelik sınır şekildeğiştirmesi değerine ulaşması sonucu erişilmiştir. Kabuk betonu en büyük şekildeğiştirmesi değerine belirgin hasar bölgesinde ulaşırken, minimum ve belirgin hasar bölgelerinde gövde betonundaki şekildeğiştirme küçük değerlerdedir.

Hasar sınırları belirtilmiş GK-0.37-Ç numunesinin kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.25 da gösterilmiştir.



Şekil 3.25: GK-0.37-Ç numunesi kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007) hasar sınırları (negatif)

3.2.5 Deney Numunelerinin Kesme Kapasitesi Kontrolü

Doğrusal elastik olmayan analiz ile şekildeğiştirme kapasiteleri değerlendirilecek elemanlarda kesme gibi gevrek kırılma türlerine neden olacak tesirlere karşı eleman dayanımlarının yeterli olması istenir. Bu sebeple numunelerin kesme kapasiteleri hesaplanarak, etkimesi öngörülen en büyük yatay yük altında gevrek kesme kırılmasının kontrolü yapılmıştır. Deney numunelerinin kesme dayanımının belirlenmesi TDY (2007)'de belirtildiği üzere TS 500'e [32] göre gerçekleştirilmiştir. TS 500'e göre yapılacak hesaplamalarda malzemelerin tasarım dayanımları yerine gerçek malzeme dayanımları (f_{ctm} , f_{ys}) kullanılmıştır.

TS 500'e göre betonun kesme dayanımına katkısı (V_c) şu ifade ile hesaplanır;

$$V_c = 0.8 \times 0.65 \times f_{ctm} \times b_w \times d \quad (3.18)$$

burada gerçek beton çekme dayanımı (f_{ctm}) gerçek beton basınç dayanımına bağlı olarak TS 500'de verilen (3.19) ifadesi ile bulunur.

$$f_{ctm} = 0.35 \sqrt{f_{cm}} \quad (3.19)$$

Betonarme elemanlarda kullanılan enine donatının kesme dayanımına katkısı (V_w) TS 500'e göre denklem 3.20 ile hesaplanır.

$$V_w = A_s f_{ys} \left(\frac{d}{s} \right) \quad (3.20)$$

Betonarme kesitin kesme dayanımı (V_r) betonun kesme dayanımına katkısının ve enine donatının kesme dayanımına katkısının toplamı olarak hesaplanır (Denklem 3.21).

$$V_r = V_c + V_w \quad (3.21)$$

Denklem 3.21'den elde edilen numunelerin kesme dayanımının doğrusal elastik olmayan analiz sonucu elde edilen kesme kuvveti istemine (V_d) göre kontrolü yapılmıştır. Bütün numunelerde kesme dayanımı kapasitesi numunelerin kesme kuvveti isteminden büyük olduğu belirlenmiştir. İlgili bağıntılara göre her bir numune için elde edilen betonun kesme dayanımına katkısı, enine donatının kesme dayanımına katkısı, toplam kesme dayanımı ve kesme kuvveti istemi Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9: Numunelerin kesme dayanımı ve istemleri

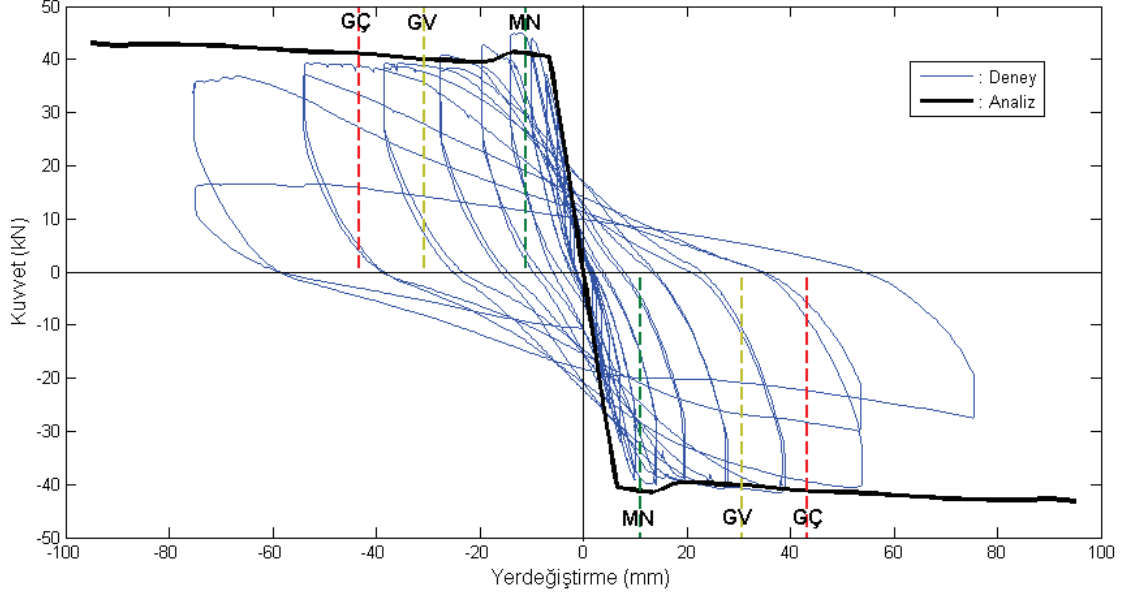
Deney Numunesi	V_c (kN)	V_w (kN)	V_r (kN)	V_d (kN)	V_r/V_d
GK-1-T	48.72	110.97	159.69	43.14	3.70
GK-1-Ç	60.87	221.95	282.82	43.95	6.43
GK-0.37-T	54.24	109.64	163.88	102.87	1.59
GK-0.37-Ç	48.60	219.28	267.88	96.94	2.76

3.3 Hasar Sınırlarının Deney sonuçları İle Değerlendirilmesi

Deney numuneleri için doğrusal elastik olmayan analiz sonucunda elde edilen TDY (2007)'ye göre hasar sınırları ve bu sınırlara bağlı bölgeler, gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ölçüm ve görsel veriler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.3.1 GK-1-T numunesi

GK-1-T numunesine gerçekleştirilen deneyden alınan ölçümler sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi üzerinde, bu numunenin doğrusal elastik olmayan analizi sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ve TDY (2007)'de belirtilen malzemenin birim şekildeğiştirilmesine bağlı hasar sınırları Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26: GK-1-T numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Doğrusal elastik olmayan analizle elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisiyle deneysel kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinin deney numunesinde dayanım kaybının yaşandığı 5.37 cm (%6.00 ötelenme oranı) yerdeğiştirme değerine kadar uyumlu olduğu Şekil 3.26'da görülmektedir. Monotonik olarak artan yükleme altında gerçekleştirilen analizin sonu donatının en büyük şekildeğiştirme değerine erişmesiyle yani kopma sonucu gerçekleşmiştir. Deneyde ise çevrimsel yükleme uygulanması sonucu özellikle kenar ortasındaki boyuna donatılarda burkulmanın gerçekleşmesi ve artan ötelenme oranlarında bütün donatılarda burkulmanın ilerlemesi ile birlikte gövde betonunda meydana gelen hasar sonucu %6.00 çekme ötelenme oranında dayanımının yaklaşık %25'ini kaybetmiştir.

Minimum hasar sınırına karşılık gelen 1.107 cm yerdeğiştirme değerinde numune eğilme kapasitesine erişmiştir. Bu değere kadar olan minimum hasar bölgesinde numunede kiriş tabanından 50 cm yüksekliğince çekme durumunda

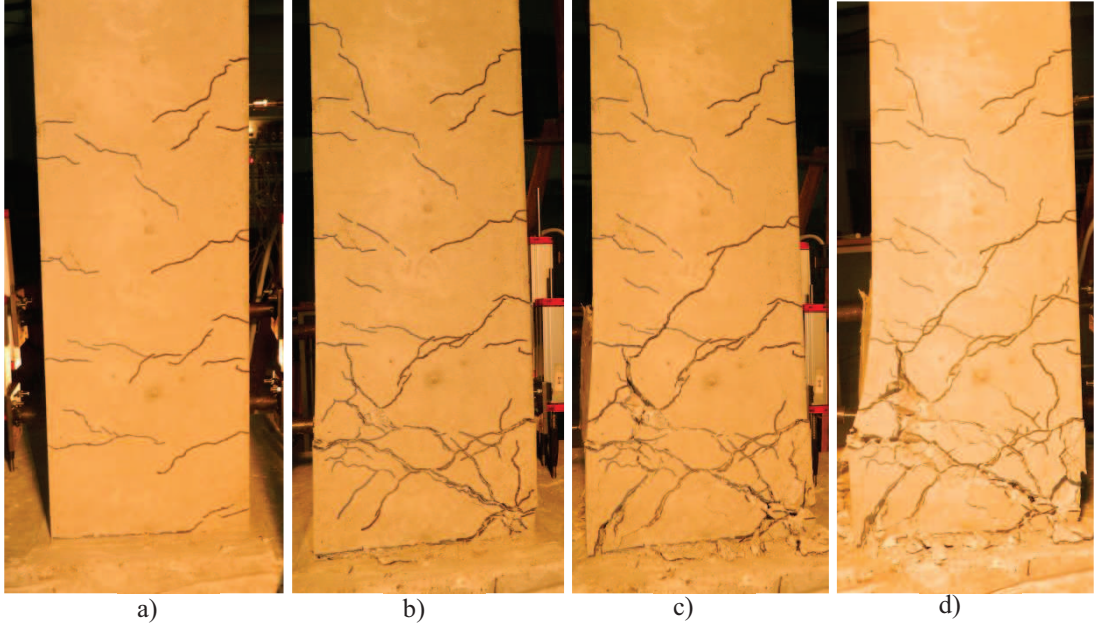
belirginleşen, basınçta ise tamamen kapanan kılcal simetrik eğilme çatlaklar oluşmuştur (Şekil 3.27a).

Minimum hasar sınırından güvenlik sınırına karşılık gelen 3.06 cm yerdeğiştirme değerine kadar olan belirgin hasar bölgesinde mevcut çatlaklar genişlemiş ve çatlak sayısı artarak özellikle 20 cm yüksekliğindeki bir bölgede yoğunlaşmıştır. Kiriş tabanına yakın bölgede eğilme çatlaklarında eğikleşme gözlenmiş, itme ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiştir. Ayrıca analiz sonucuyla uyumlu olarak kabuk betonunda dökülmeler başlamıştır (Şekil 3.27b).

Güvenlik sınırı ve 4.34 cm yerdeğiştirmeye karşılık gelen göçme sınırı arasındaki ileri hasar bölgesinde çatlak genişlikleri büyük değerlere ulaşmış ve kabuk betonunda dağılma gözlenmiştir. Numunenin ön ve arka yüzünde donatılarda burkulmanın belirtisi olarak betonda kalkma ve kabarma gözlenmiştir (Şekil 3.27b). Bu bölgede dayanımda herhangi bir azalma yaşanmazken eleman sünek davranışını sürdürmektedir.

Göçme sınırının ötesinde göçme bölgesinde kabuk betonu tamamen dağılmış, gözükken donatılarda burkulmanın ilerlediği görülmüştür (Şekil 3.27c). İlerleyen yerdeğiştirmelerde kabuk betonunun dağılması ile burkulma özellikle kenar ortasındaki donatılarda artmış, bu donatılardaki burkulma etriyede şekildeğiştirmeye neden olarak sargı etkisini azaltmış ve gövde betonunda hasar gözlenmiştir. Donatıdaki burkulmanın ilerlemesi ve gövde betonunda deformasyonlar oluşması sonucu dayanımda azalma gözlenmiştir. Ayrıca ileri seviyede hasar oluşması sonucu numunede kayma davranışı gözlenmiştir.

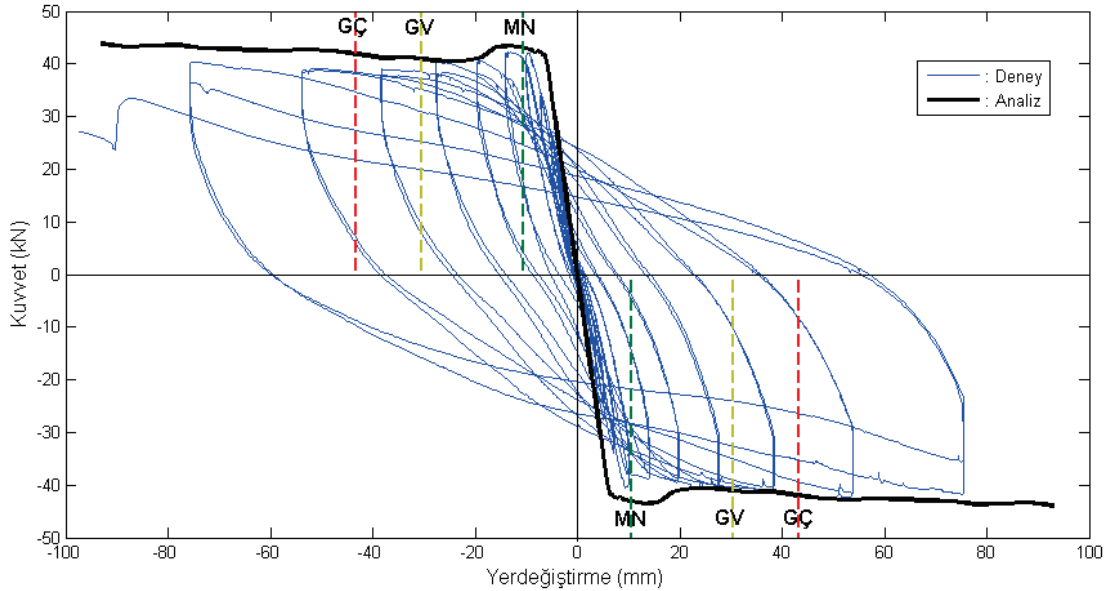
TDY (2007)'de verilen malzemedeki birim şekildeğiştirmeye bağlı hasar sınırlarının ve bu sınırlar arasında kalan bölgelerin GK-1-T numunesi üzerinde gerçekleştirilen deneyden elde edilen görsel verilerle ve sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Numune göçme sınırına kadar sünek bir davranış sergilemiş, göçme bölgesinde dayanımda azalma yaşanmıştır.



Şekil 3.27: GK-1-T numunesi a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi
c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu

3.3.1 GK-1-Ç numunesi

GK-1-Ç numunesinin deneysel çalışma ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkileri hasar sınırları ile birlikte Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28: GK-1-Ç numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Doğrusal elastik olmayan analizle elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisiyle deneysel kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinin uyumu Şekil 3.28’de görülmektedir. 7.52

cm (%8.4 ötelen oranı) yerdeğiştirme değerinde %20'den az bir dayanım kaybı yaşanmış, 9.77 cm (%11 ötelenme oranı) yerdeğiştirme değerinde ise donatıda kopma gerçekleşmiştir. Analiz sonuna ise 9.31 cm yerdeğiştirme değerinde donatıdaki şekildeğiştirme en buyuk değerine ulaşarak kopma yaşanmıştır. İlerleyen ötelenme oranlarında boyuna donatılarda burkulma meydana gelmesine rağmen dayanımda azalma yaşanmadan sunek ve analiz ile uyumlu bir davranış gozlenmiştir.

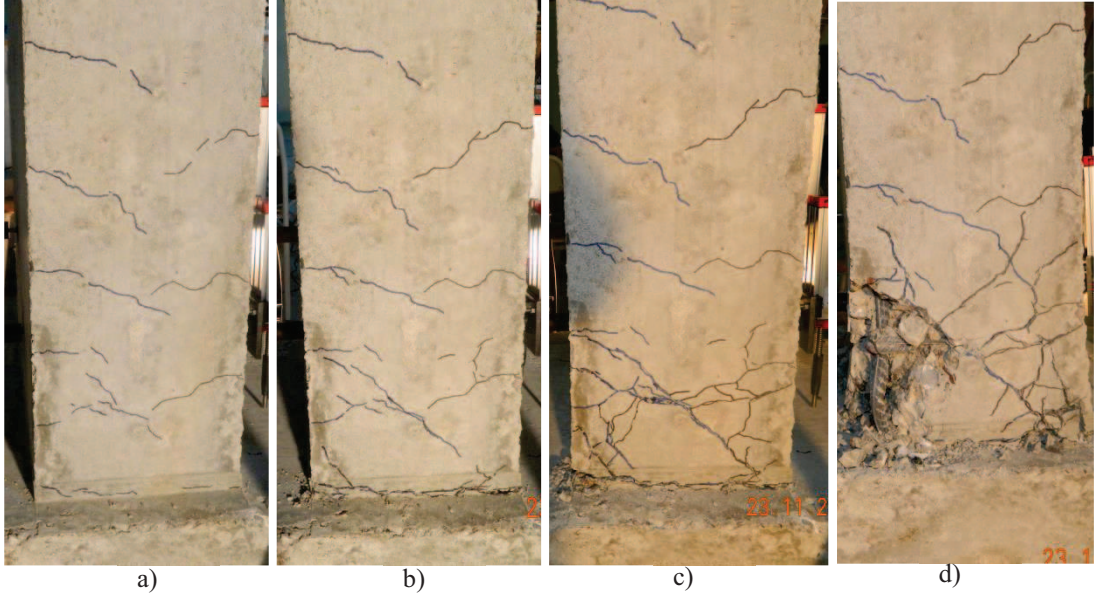
Numune, minimum hasar sınır olan 10.54 cm yerdeğiştirme değerinde eğilme kapasitesine ulaşarak plastik şekildeğiştirme bölgesine geçmiştir. Minimum hasar bölgesinde kiriş tabanından 42 cm ykseklide itmede ve çekmede kılcal boyutta eğilme çatlakları gozlenmiştir (şekil 3.29a).

3.03 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelen guvenlik sınırı ile minimum hasar sınırı arasındaki belirgin hasar bölgesinde mevcut çatlaklarda genişleme ve uzama gozlenmiş, itmede ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiş ve yeni eğilme çatlakları gozlenmiştir. Ayrıca analizde bu bölge için öngörülen kabuk betonundaki dökülme gerçekleşmiştir (şekil 3.29b).

Guvenlik sınırından, göçme sınırına karşılık gelen 4.32 cm yerdeğiştirme değerine kadar olan ileri hasar bölgesinde eğilme çatlakları ile eğik çatlaklar kiriş tabanından 10 cm ykseklideki bir bölgede yoğunlaşmıştır. Kabuk betonundaki dökülmenin artmasına rağmen belirgin bir dağılma gozlenmemiştir (şekil 3.29c).

Göçme bölgesinde kabuk betonunda dağılma başlamış ve artan ötelenme oranlarında kabuk betonu tamamen dağılmıştır. Kabuk betonunun dağılmasıyla donatıda burkulma gozlenmiş ve ilerlemiştir. Donatıdaki burkulma çift etriye olarak yerleştirilen enine donatıda gözle görülür bir şekildeğiştirme meydana getirmemiş, bu nedenle gövde betonundaki hasar düşük seviyede kalmıştır. 9.77 cm yerdeğiştirme değerinde boyuna donatıda kopma yaşanmış, numunede kopma durumu gerçekleşene kadar ciddi bir dayanım kaybı gozlenmemiş ve sunek bir davranış sergilemiştir (şekil 3.29c).

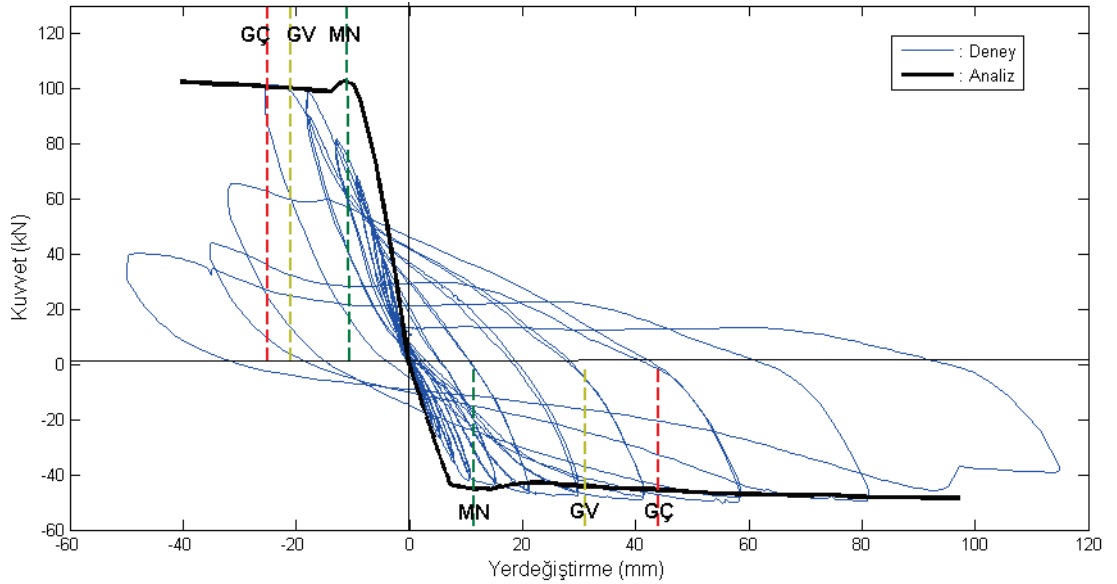
Yönetmelik hasar sınırları ve bölgelerinin GK-1- numunesi için deneysel gözlem ve sonuçlarla değerlendirildiğinde minimum, guvenlik ve göçme hasar sınırlarının uyumlu olduğu, hatta göçme sınırından sonra dayanımda azalma yaşanmadan numunenin sunek davranışına devam ettiği grlmştir.



Şekil 3.29: GK-1-T numunesi a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu

3.3.1 GK-0.37-T numunesi

GK-0.37-T numunesinin deneysel çalışma ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkileri hasar sınırları ile birlikte Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.30: GK-0.37-T numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

Yükün çekme durumunda (negatif moment) analiz sonuçları ve deneysel verilerin uyumlu olduğu, itme durumunda ise deneysel verilerle elde edilen kuvvet

yerdeğiştirme ilişkisinin rijitliğinde, artan yerdeğiştirme değerleriyle azalma olduğu görülmüştür. Çekmede elemanın daha önce eğilme kapasitesine ulaşması ve plastik şekildeğiştirmelerin oluşması, numunenin itmedeki rijitliğinde azalmanın yaşanmasına neden olmuştur. Çekmede analiz sonunda olduğu gibi deney sonunda da donatıda kopma durumu gerçekleşmiştir. İtmede analiz sonuna 4.05 cm yerdeğiştirme değerinde gövde betonundaki şekildeğiştirmenin en büyük değerine erişmesi sonucunda ulaşılmasına rağmen, deneyde 3.53 cm yerdeğiştirme (%3.96 ötelenme oranı) değerinde yatay kuvvet dayanımında büyük bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum Ø12’lik donatılarda ileri seviyede burkulma durumunun gözlenmesi ve gövde betonunda önemli oranda hasar oluşması sonucu yaşanmıştır.

Numune donatısının asimetrik olması nedeniyle itme ve çekmede farklı davranış sergilediği için farklı hasar sınırları elde edilmiştir. Minimum hasar sınırı itmede 1.06 cm yerdeğiştirme değerine çekmede 1.15 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. Bu hasar sınırına kadar olan minimum hasar bölgesinde öncelikle çekmede kılcal uzun eğilme çatlakları, daha sonra itmede kılcal kısa eğilme çatlakları oluşmuştur. Çatlaklar kiriş tabanından 45 cm yüksekliğinde bir bölgeye yayılmıştır (şekil 3.30a ve şekil 3.31a).

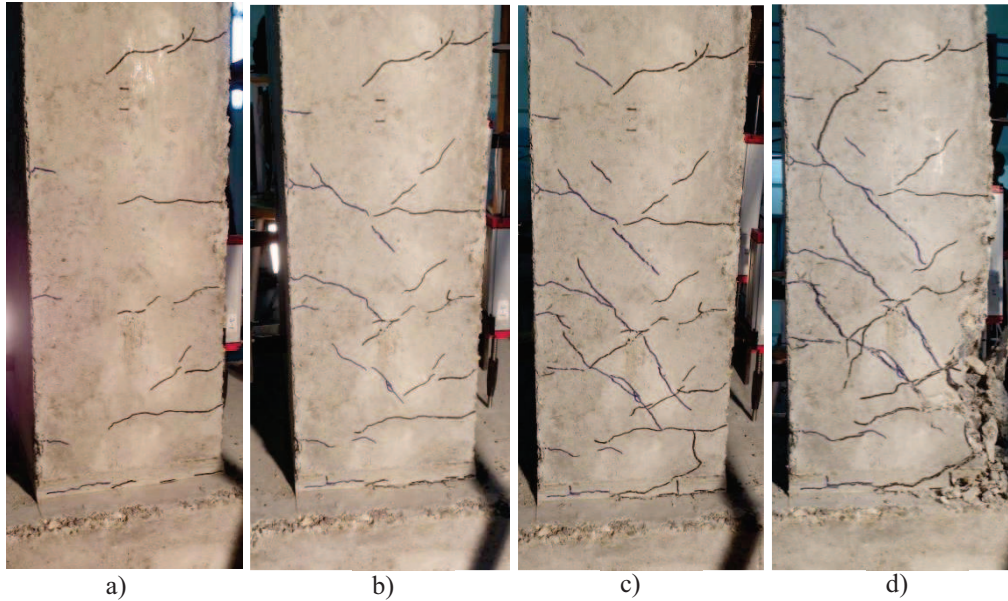
Güvenlik sınırı itmede 2.09 cm, çekmede 3.11 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. Minimum ile güvenlik sınırı arasında kalan belirgin hasar bölgesinde mevcut çatlaklarda uzama ve genişleme ile birlikte itme ve çekme çatlaklarının birleştiği gözlenmiştir. Çekmede dik eğilme çatlakları gözlemlenirken, itmedeki eğilme çatlakları yüksek kesme kuvveti etkisi nedeniyle tamamen eğikleşmiştir. Beton kabuğunda dökülme bu hasar bölgesinde başlamıştır (şekil 3.30b ve şekil 3.31b).

Göçme sınırı itmede 2.51 cm, çekmede 4.41 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. Güvenlik ve göçme sınırı arasında kalan ileri hasar bölgesinde çatlak sayısı ve genişlikleri artmış, kiriş tabanından 20 cm’lik bir bölgede çatlaklar yoğunlaşmıştır. Ayrıca kabuk betonunda dökülmeler ilerlemiştir (şekil 3.30c ve şekil 3.31c).

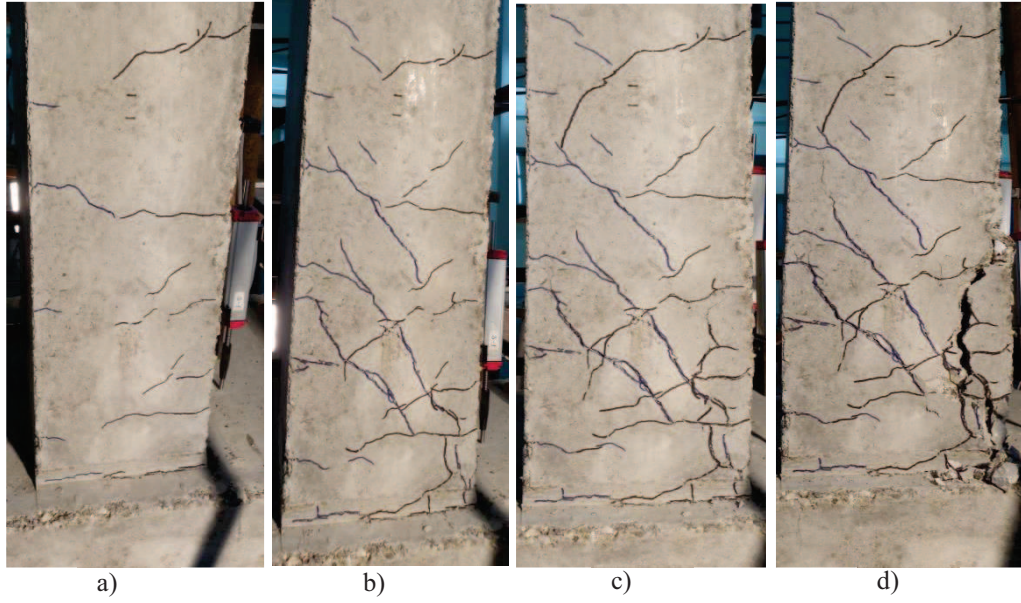
Göçme bölgesinde kabuk betonundaki deformasyon ilerleyerek özellikle Ø12’lik donatıların bulunduğu bölgede dağılma gözlenmiştir. Ø12’lik donatılarda kabuk betonunun dağılmasıyla burkulma meydana gelmiş ve artan yerdeğiştirme ile

birlikte ilerlemiştir. Kenar ortasında ve köşelerde yer alan donatılarda farklı burkulma gözlenmiş, kenar ortasındaki donatılarda burkulma nedeni ile etriyede şekildeğiştirme görülmüştür. Analizlerde tarafsız eksenin bu bölgede kiriş yüksekliğinin yarısına kadar ilerlemiş, bu nedenle gövde betonunda ileri seviyede hasar gözlenmiş ve basınç kırılması yaşanmıştır. İtmede göçme sınırından sonraki yerdeğiştirme değerinde çok büyük dayanım kaybı yaşanmış ve numune itmede sünek bir davranış sergileyememiştir (Şekil 3.30d ve Şekil 3.31d).

Yönetmelik hasar sınırları ve bölgeleri deneysel gözlem ve sonuçlara göre değerlendirildiğinde, itmede bütün hasar sınırlarının uyumlu olduğu hatta göçme sınırından sonra numunede hemen göçme durumunun yaşandığı görülmüştür. Çekmede ise minimum, güvenlik ve göçme sınırlarının uyumlu olduğu, göçme sınırından sonra elemanın dayanımını koruyarak sünek davranış sergileyebildiği görülmüştür.



Şekil 3.31: GK-0.37-T numunesi çekmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu

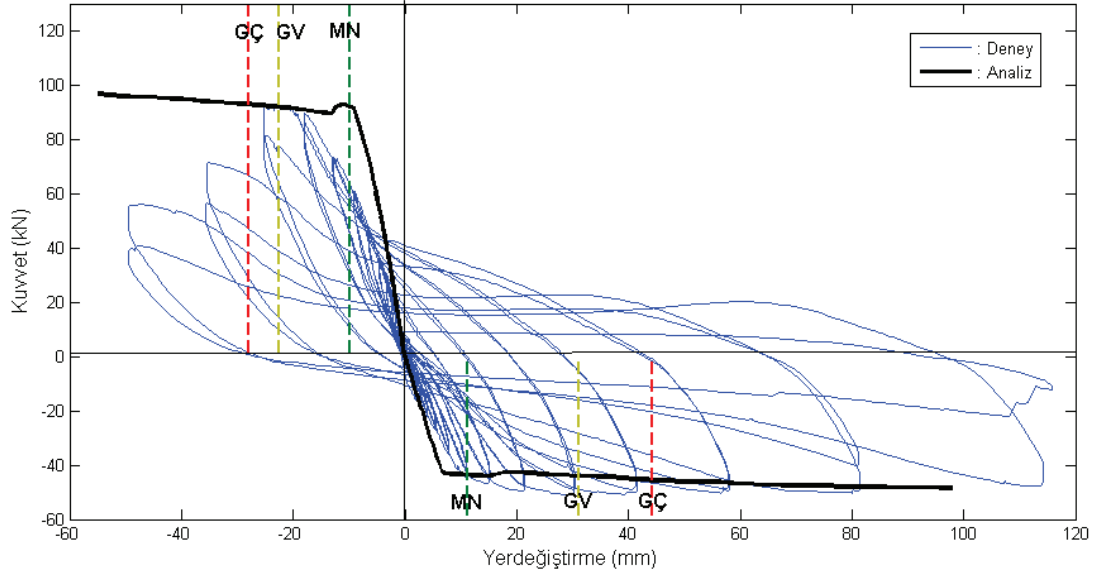


Şekil 3.32: GK-0.37-T numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu

3.3.2 GK-0.37-Ç numunesi

Analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi ile deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi yönetmelik hasar sınırları ile birlikte Şekil 3.33'de gösterilmiştir.

GK-0.37-T numunesi ile aynı boyuna donatı yerleşimine sahip bu numunede de çekme durumunda analiz sonuçları ve deneysel verilerin uyumlu olduğu, itme durumunda ise çekmede daha önceden plastik şekildeğiştirme yaşandığı için artan yerdeğiştirme ile birlikte deneysel kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinin rijitliğinde azalma olduğu görülmüştür. Çekme yerdeğiştirme değerlerindeki numune davranışı analiz sonuçlarıyla büyük oranda uyumlu olmakla beraber, analiz sonunda kopma yaşanmasına karşılık deneyin son çekme adımında ileri seviyede hasar nedeniyle dayanımda azalma yaşanmış daha sonrasında donatı kopmuştur. İtmede analiz sonuna 5.5 cm yerdeğiştirme değerinde gövde betonundaki şekildeğiştirmenin en büyük değerine erişmesi sonucunda ulaşılmasına rağmen, deneyde 2.52 cm yerdeğiştirme değerinde (%2.83 ötelenme oranı) dayanımda azalma başlamış ve 3.53 cm yerdeğiştirme (%3.96 ötelenme oranı) değerinde dayanımdaki azalma kapasitesinin %20'sinden fazla değerlere ulaşmıştır.



Şekil 3.33: GK-0.37-Ç numunesinin deney ve analiz sonucu elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi

GK-0.37-Ç numunesinde minimum hasar sınırı itmede 0.99 cm yerdeğiştirme değerine çekmede 1.12 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. Minimum hasar bölgesinde, itmede kısa, çekmede uzun kılcak eğilme çatlakları oluşmuştur. Eğilme çatlakları kiriş tabanından 54 cm yüksekliğinde bir bölgeye yayılmıştır (Şekil 3.34a ve Şekil 3.35a).

Güvenlik sınırı itmede 2.26 cm, çekmede 3.11 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. Belirgin hasar bölgesinde mevcut çatlaklarda genişleme ile birlikte bazı çatlaklarda uzama ve eğikleşme gözlenmiştir. İtmede basınca maruz bölgede kabuk betonunda dökülmeler başlamıştır (Şekil 3.34b ve Şekil 3.35b).

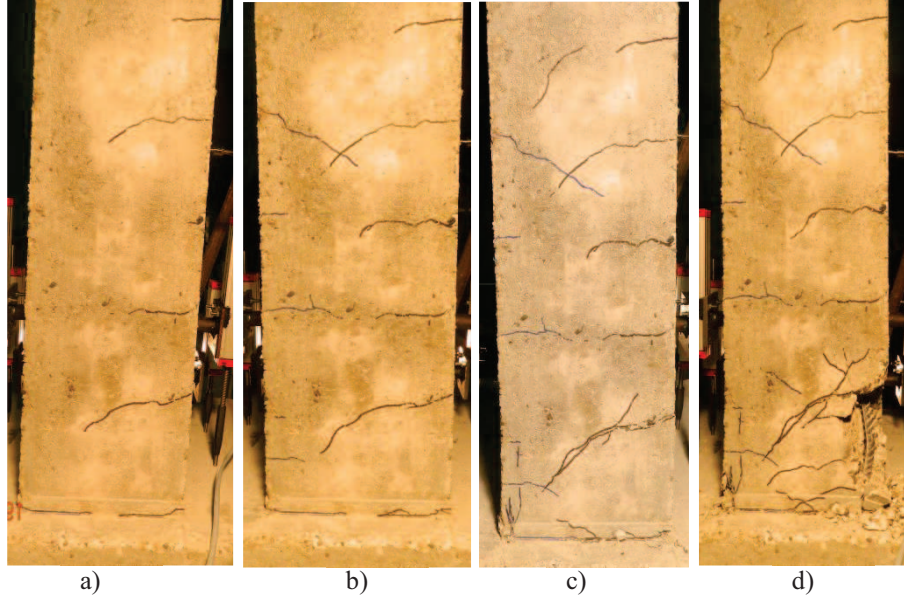
Göçme sınırı itmede 2.78 cm, çekmede 4.4 cm yerdeğiştirme değerine karşılık gelmektedir. İleri hasar bölgesinde yaklaşık 10 cm yükseliğindeki bir bölgede yeni çatlak oluşumları gözlenmiş ve mevcut çatlakların genişlikleri artmıştır. (Şekil 3.34c ve Şekil 3.35c). İtmede ileri hasar bölgesinde göçme sınırına yakın yerdeğiştirmelerde kabuk betonunda dağılma sonucu donatılarda burkulma başlamıştır. Burkulma ile birlikte gövde betonunda da dökülmeler gözlenmiş ve dayanımda azalma göçme sınırına ulaşmadan gerçekleşmiştir.

Göçme bölgesinde kabuk betonunda dağılma artmış, itmede basınca maruz bölgedeki Ø12'lik donatılardaki burkulma artan yerdeğiştirmelerle birlikte ilerlemiştir. Bütün donatılarda benzer şekilde burkulma gözlenirken, etriyelerde

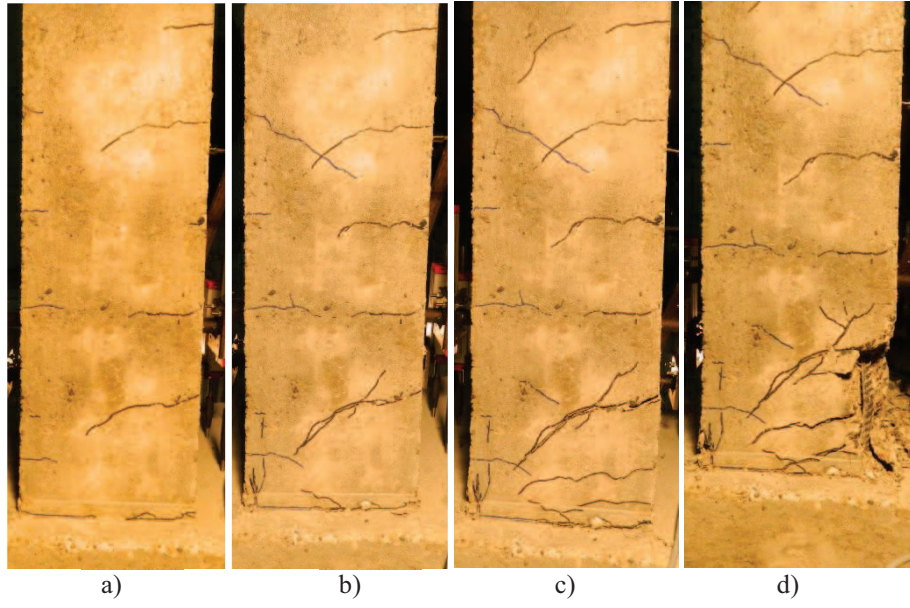
herhangi bir şekildeğiştirme oluşmamıştır. Donatıdaki burkulmanın ilerlemesi ve gövde betonunda deformasyonun kesit içinde yayılması sonucu kiriş sünek davranış sergileyememiş ve basınç kırılması yaşanmıştır. Göçme sınırından sonraki yerdeğiştirme değerinde dayanım kaybı artarak devam etmiştir. (Şekil 3.30d ve Şekil 3.31d).

Yönetmelik hasar sınırları ve bölgeleri deneysel gözlem ve sonuçlara göre değerlendirildiğinde, çekmede herhangi bir dayanım kaybı gözlenmediği için bütün hasar sınırlarının uyumlu olduğu görülmüştür. İtmede ise minimum ve güvenlik hasar sınırlarının uyumlu olduğu, ileri hasar bölgesinde kapasitenin %20'sinden fazla dayanımda azalma meydana gelmesi nedeniyle göçme sınırının yetersiz kaldığı görülmüştür.

Benzer boyuna donatı yerleşimine sahip GK-0.37-T numunesiyle karşılaştırıldığında, itmede göçme hasar sınırını belirleyen gövde betonundaki şekildeğiştirme değeri (bkz. Tablo 3.2) GK-0.37-Ç numunesi için daha yüksek elde edilmiştir. GK-0.37-Ç numunesinde çift etriye kullanıldığından daha büyük hacimsal enine donatı oranına sahiptir ve sargı etkisinin artması beklenir. Bu nedenle ilgili bağıntıdan daha büyük gövde betonu şekildeğiştirme sınırı elde edilmiştir. Deney sonucunda ise 100 cm aralıkla yerleştirilen çift etriyenin göçme sınırı için öngörülen şekilde göbek betonundaki şekildeğiştirme kapasitesini arttırmadığı ve tek etriyeli durumla benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 3.34: GK-0.37-Ç numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi
c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu



Şekil 3.35: GK-0.37-Ç numunesi itmede a) Minimum hasar bölgesi b) Belirgin hasar bölgesi
c) İleri hasar bölgesi d) Göçme bölgesi hasar durumu

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geniş betonarme kirişlerin plastik şekildeğiştirme özelliklerini değerlendirmek amacıyla Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında dört adet sığ ve geniş kiriş numunesi üretilmiş ve tersinir tekrarlı yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Numuneler boyuna donatıların simetrik ve asimetrik olarak düzenlenmesi, enine donatı olarak tek ve çift etriye kullanılması açısından birbirinden ayrılmaktadır. Bütün numunelerde enine donatılar ülkemizde mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan olumsuz durumu temsilen yetersiz sargılı olarak düzenlenmiştir. Deney süresince hasar oluşumu incelenmiş, ölçüm aletlerinden elde edilen veriler ile kuvvet yerdeğiştirme ve moment eğrilik ilişkileri elde edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile TDY (2007)'de öngörülen hasar sınırları ve bölgelerinin bu tür kirişler için uyumu incelenmiştir. Bu bölümde elde edilen önemli sonuçlar özetlenmiştir.

Simetrik donatılı numuneler itmede ve çekmede göçme durumuna kadar numuneler sünek bir davranış sergilemişlerdir. Tek etriyeli numunede artan yerdeğiştirme değerleriyle beraber dayanımda azalma görülmüş, donatıda kopma gözlenmeden dayanımının %20'sini kaybetmiştir. Çift etriyeli numune donatıda kopma yaşanana kadar sünek davranışını devam ettirmiştir.

Asimetrik donatılı numuneler çekmede donatıda kopmayla sonuçlanan sünek bir davranış sergilerken itmede gevreğe yakın sınırlı süneklikte bir davranış sergilemiştir. Çevrimsel yükleme altında betondaki çatlak sayısının artması ve deformasyonunun gövde betonuna ilerlemesi ile birlikte yetersiz sargılama nedeniyle boyuna donatılarda burkulmanın gerçekleşmesi, elemanların kesme dayanımının azalmasına neden olmakta ve kesme etkisinin belirtisi eğik çekme çatlakları oluşmaktadır. Kesme dayanımı azalması nedeniyle akmanın gerçekleşmesinden sonra bu numunelerde büyük dayanım kaybı yaşanarak eğilme kesme göçme şekli gözlenmiştir. Enine donatı olarak tek veya çift etriye kullanılmasının herhangi bir etkisi olmamış ve numuneler benzer davranış sergilemişlerdir. Yönetmeliğe göre yeterli kesme dayanımına sahip numunelerin çevrimsel yükleme etkisiyle kesme dayanımlarının azaldığı ve bu durumun eleman davranışını etkilediği belirlenmiştir.

Tek etriyeli bütün numunelerde kenar ortasındaki etriye tarafından tutulu olmayan boyuna donatıların burkulma boylarının köşelerde yer alan boyuna donatıların burkulma boylarından daha büyük olduğu, kenar ortasındaki boyuna donatılarda burkulmanın ilerlemesi ile birlikte betondaki hasarın arttığı ve etriyelerde büyük şekildeğiştirmenin gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu sebeple tek etriyeli numunelerde hasarın çift etriyeli numunelere göre daha büyük bir bölgede gerçekleştiği belirlenmiştir.

TDY (2007)'de öngörülen şekildeğiştirme kapasitelerine göre belirlenmiş hasar bölgelerinin yeterince uyumlu olduğu, bir numune dışında belirlenen hasar sınırlarının güvenle sağlandığı belirlenmiştir. Genel olarak minimum hasar bölgesinde numune yüksekliğince kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. Belirgin hasar bölgesinde çatlak sayısında ve mevcut çatlak genişliklerinde artış yaşanmış, itmede ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiş ve betonda dökülmeler artmıştır. İleri hasar bölgesinde çatlak boyutlarının iyice artmış ve plastik mafsallarda hasarın yoğunlaşması ile birlikte betonda dağılmanın başladığı gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Resmi Gazete, (1968)
- [2] Topçu, A., “Betonarme II – Ders Notları”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>, (2012).
- [3] Uğur, E., *Betonarme Döşeme ve Temeller, Cilt 2*, İstanbul: Evrim Yayınevi, (1995).
- [4] Gündoğdu, O., Atıl, H., Beşiktepe, C., Yüncü, H., “Yalova İli Yüksel Sitesi Bilirkişi Raporları Üzerine Değerlendirme Raporu”, *TMMOB 37. Dönem Çalışma Raporu*, (2003).
- [5] “9 Kasım 2011 Mw 5.6 Van-Edremit Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Gözlemler”, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi*, Rapor No: METU-EERC/İMO 2012-01, Ankara, (2012).
- [6] Kızılkant, A., Koçak, A., Coşar, A., Güney, D., Selçuk, M., Yıldırım, M., “23 Ekim 2011 Van Depremi Ön İnceleme Raporu”, *YTÜ*, (2011)
- [7] “Van Depremi Raporu”, *T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı*, (2011)
- [8] Adana Haber Ajansı, “Bugün Adana Depreminin 14.Yılı.Peki Ne Kadar Ders Aldık?[online]”, <http://ahaport.com>, (2012)
- [9] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Resmi Gazete, (1975)
- [10] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Resmi Gazete, (2007)

- [11] İlki, A. ve Celep, Z., “Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ Ankara, (2011).
- [12] Celebi, M. and Penzien, J., "Experimental Investigation into the Seismic Behavior of Critical Regions of Reinforced Concrete Components as Influenced by Moment and Shear", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No. UCB/EERC 73-04, University of California, Berkeley, Ca, (1973).
- [13] Ma, S.H., Bertero, V.V. and Popov, E.P., "Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular and T-Beams", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No UCB/EERC 76-2, University of California, Berkeley, Ca., (1976).
- [14] Darwin, D. and Nmai, C.K., "Lightly Reinforced Concrete Beams Under Cyclic Load", *ACI Structural Journal*, 83, 777-783, (1986).
- [15] E.P. Popov, E. Cohen, K. Koso-Thomas, K. Kasai: Behavior of Interior Narrow and Wide Beams, *ACI Structural Journal*, 89(6), 607–616, (1992).
- [16] A. Benavent-Climent, “Shaking Table Tests of Reinforced Concrete Wide Beam–Column Connections”, *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 34, 1833–1839, (2005).
- [17] S.A. Kulkarni and Bing Li "Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Interior Wide Beam-Column Joints", *Journal of Earthquake Engineering*, 13 (1), 80-99, (2009).
- [18] Elmanshawi A., E. Brown, T., El-Metwally, S., “Plastic Hinge Length Considering Shear Reversal in Reinforced Concrete Elements”, *Journal of Earthquake Engineering*, 16(2), 188-210, (2012).

- [19] Elmanshawi A., E. Brown, T., “Deformation capacity of ultra-high strength concrete flexural elements subjected to inelastic load reversals”, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 21, 777-799, (2012).
- [20] Acun, B. ve Sucuoğlu, H., “Betonarme Kolonların Şekildeğiştirme Performans Sınırlarının Deneysel Gzlemlerle Değerlendirilmesi”, *İMO - Teknik Dergi*, 22(3), 5523-5541, (2011).
- [21] Acun, B., and Sucuoğlu, H., “Performance of Reinforced Concrete Columns Designed for Flexure under Severe Displacement Cycles,” *ACI Structural Journal*, 107 (3), 364-371, (2010).
- [22] Adam S. Lubell, Evan C. Bentz, and Michael P. Collins “Shear Reinforcement Spacing in Wide Members,” *ACI Structural Journal*, 106 (2), 205-214, (2009).
- [23] ASCE/SEI 41, “Seismic Rehabilitation of Existing Buildings,” *American Society of Civil Engineers*, Reston, VA, (2007).
- [24] FEMA 461, “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components”, *Federal Emergency Management Agency*, (2007).
- [25] Fardis M. N., “*Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings*”, Springer, (2009).
- [26] Aydınoğlu, M.N. , “An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral deformation for multi-mode seismic evaluation”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1 (1), 3-36. (2003).
- [27] Yavaş, A. ve Trker, K., “Trkiye Deprem Ynetmeliğindeki Şekildeğiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Betonarme Kolonlar zerinde Deneysel Olarak İncelenmesi”, *SDU International Technologic Science*, 2(4), 102-104, (2012).

- [28] Montejo, A. L., and Kowalsky, J. M., "CUMBIA-Set of Codes for The Analysis of Reinforced Concrete Members Theory and User Guide", *Constructed Facilities Laboratory*, Technical Report No. IS-07-01, NC State University, Raleigh, NC, (2007).
- [29] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 114(8), 1805-1826, (1988a).
- [30] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R., "Seismic design of bridge pier", Research Rep. 84-02, *Dept. of Civ. Engrg.*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, (1984).
- [31] Paulay T., Priestley M. J. N., "*Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*", Wiley., (1992).
- [32] TS 500 Betonarme Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları: *TürkStandartları Enstitüsü*, Ankara, (2000).