

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BELİRGİN DÜŞEY YÜKLER ALTINDAKİ BETONARME
KİRİŞLERİN ÇEVİRİSEL YÜKLER ETKİSİNDE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Pınar YILDIRIM
(Y1513.090001)**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cem AYDEMİR

Mart, 2018





T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1513.090001 numaralı öğrencisi **Pınar YILDIRIM**' in "**BELİRGİN DÜŞEY YÜKLER ALTINDAKİ BETONARME KİRİŞLERİN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ETKİSİNDE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 30.01.2018 tarih ve 2018/02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *aybırılıksız* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 02/03/2018

1) **Tez Danışmanı:** Yrd. Doç. Dr. Cem AYDEMİR

2) **Jüri Üyesi :** Prof. Dr. Güray ARSLAN

3) **Jüri Üyesi :** Doç. Dr. Murat S. KIRÇIL

[Handwritten signatures in blue ink over dotted lines]

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Belirgin Düşey Yükler Altındaki Betonarme Kirişlerin Çevrimsel Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (/ /2018)

Pınar YILDIRIM





ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmamda destek ve yardımını esirgemeyen, aktardığı bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cem Aydemir'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Lisansüstü eğitimim boyunca her konuda desteği ve bilgisi ile yanımda olan Sayın Doç. Dr. Müberra Eser Aydemir'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmayı BAP2016-01 nolu proje kapsamında destekleyen T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü ve Sayın Prof. Dr. A. Metin Ger'e, deneylerin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Güray Arslan (YTU) ve Sayın Öğr. Gör. Sinan Cansız'a, deneysel çalışmanın her aşamasındaki büyük emekleri ve destekleriyle yanımda olan İAU İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı'nın kıymetli teknik ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme şükranlarımı sunarım.

Mart 2018

Pınar YILDIRIM

(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.2 Hipotez	5
2 DENEY PROGRAMI.....	9
2.1 Deney Numuneleri.....	9
2.1.1 KN01-YP1-3.6 numaralı numunenin genel özellikleri	9
2.1.2 KN02-YP2-3.6 numaralı numunenin genel özellikleri	13
2.1.3 KN03-YP1-6.0 numaralı numunenin genel özellikleri	16
2.1.4 KN04-YP2-6.0 numaralı numunenin genel özellikleri	19
2.2 Deney Düzeni	22
2.2.1 Gerinim pulları ve LVDT konum ve montajı	24
2.2.2 Veri Toplayıcı	28
2.3 Yükleme Geçmişleri (Profilleri).....	28
2.3.1 YP1 Yükleme profili	29
2.3.2 YP2 Yükleme profili	31
3 DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	33
3.1 Hasar Durumları	33
3.1.1 KN01-YP1-3.6	34
3.1.2 KN02-YP2-3.6	36
3.1.3 KN03-YP1-6.0	39
3.1.4 KN04-YP2-6.0	42
3.2 Yük-Yer değiştirme İlişkileri	45
3.3 Moment-Maksimum Ortalama Birim Şekil Değiştirme İlişkileri	52
3.4 Eşdeğer Plastik Mafsalsal Boyu.....	56
4 DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ	59
4.1 Deney Numuneleri Analitik Göçme Hasar Sınırı Yer Değiştirme Kapasiteleri.....	59
4.2 Analitik Olarak Belirlenen Göçme Hasar Sınırlarının Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması.....	70
5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81



SİMGE LİSTESİ

M	: Hesaplama anındaki moment
M_u	: Son limit momenti
P	: Hesaplama anındaki yük
N	: Normal kuvvet
V_{max}	: Deneysel kesme kuvveti
V_w	: Tasarım kesme kuvveti
A_s	: Basınç bölgesi boyuna donatı alanı
A_s'	: Çekme bölgesi boyuna donatı alanı
ρ	: Basınç bölgesi boyuna donatı oranı
ρ'	: Çekme bölgesi boyuna donatı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{sx}	: Mesnet bölgesi enine donatı oranı
ρ_{smin}	: Mesnet bölgesi minimum enine donatı oranı
ρ_d	: Diagonal donatı oranı
L	: Kiriş boyu
L_p	: Plastik mafsal boyu
θ	: Dönme değeri (%)
θ_e	: Elastik dönme değeri (%)
θ_p	: Plastik dönme değeri (%)
θ_{um}	: Toplam dönme değeri (EUROCODE 8, %)
L_V	: = M/V elemanın uç kesitindeki moment/kesme oranı (EUROCODE 8)
Δ	: Toplam tepe yer değiştirmesi
Δ_y	: Analitik olarak hesaplanan akma yer değiştirmesi
Δ_e	: Kesitin elastik yer değiştirmesi
Δ_p	: Kesitin plastik yer değiştirmesi
Δ_E	: Deprem etkisi ile meydana gelen yer değiştirme
Δ_{G+Q}	: Düşey yük etkisi ile meydana gelen yer değiştirme
Φ_y	: Kesitin akma eğriliği
Φ_p	: Kesitin plastik eğriliği
Φ_u	: Kesitin son limit eğriliği
E_s	: Donatının elastisite modülü
F_y	: Kesiti akma limit durumuna getiren yük
F_(G+Q)	: Düşey yük
a	: Kiriş kesme açıklığı
d	: Kiriş etkili derinliği
d'	: Paspayı mesafesi
b	: Kiriş genişliği
h	: Kiriş yüksekliği
f_c	: Deneysel numunesinin deney günü ölçülen deneysel beton basınç dayanımı
f_y	: Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
f_{su}	: Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
f_{yw}	: Enine donatı deneysel akma dayanımı
ε_{sh}	: Boyuna donatı çekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi

- ϵ_{su} : Boyuna donatı kopma birim şekil değıştirmesi
 ϵ_{cm} : En dış beton lifi birim şekil değıştirmesi
 ϵ_{sm} : En dış çekme donatısı birim şekil değıştirmesi
 ϵ_{cg} : Beton basınç birim şekil değıştirmesi üst sınırı (DBYBHY)
 ϵ_1 : Negatif yönde harici potansiyometreden alınan birim şekil değıştirme
 ϵ_2 : Pozitif yönde harici potansiyometreden alınan birim şekil değıştirme
 EI : Eğilme rijitliği
 L_0 : Harici potansiyometler arası mesafe
 L_1, L_2 : Harici potansiyometrelerin mesnet noktasına olan uzaklığı
 x : Tarafsız eksenin negatif yöndeki harici potansiyometreye olan mesafesi
 μ : Yer değıştirme sünekliği
 μ_Δ : Nominal yer değıştirme süneklik oranı
 ω, ω' : Boyuna donatıların mekanik oranı
 α : Sargı donatısı etki faktörü



KISALTMA LİSTESİ

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
LVDT	: Harici Potansiyometre
YP1	: Yükleme Profili 1 – Yer değiştirme sünekliği kontrollü yükleme
YP2	: Yükleme Profili 2 – Yük + Yer değiştirme kontrollü yükleme
YN	: Yükleme numarası
MN	: Minimum Hasar Sınırı (DBYBHY)
GV	: Güvenlik Sınırı (DBYBHY)
GÇ	: Göçme Sınırı (DBYBHY)
IO	: Hemen Kullanım Performans Düzeyi (FEMA 356)
LS	: Can Güvenliği Performans Düzeyi (FEMA 356)
CP	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (FEMA 356)
C	: Sargı özelliği yüksek beton (FEMA 356)
NC	: Sargı özelliği düşük beton (FEMA 356)
DL	: Minimum Hasar Sınırı (EUROCODE 8)
SD	: Belirgin Hasar Sınırı (EUROCODE 8)
NC	: Göçme Öncesi Hasar Sınırı (EUROCODE 8)
NDPR	: Nominal Sünek Plastik Bölge (NZS 3101-1)
LDPR	: Sınırlı Sünek Plastik Bölge (NZS 3101-1)
DPR	: Sünek Plastik Bölge (NZS 3101-1)



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: KN01-YP1-3.6 numunesinin geometrik özellikleri	10
Çizelge 2.2: KN01-YP1-3.6 numunesinin malzeme özellikleri	10
Çizelge 2.3: KN01-YP1-3.6 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları	12
Çizelge 2.4: KN02-YP2-3.6 numunesinin geometrik özellikleri	14
Çizelge 2.5: KN02-YP2-3.6 numunesinin malzeme özellikleri	14
Çizelge 2.6: KN02-YP2-3.6 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları	14
Çizelge 2.7: KN03-YP1-6.0 numunesinin geometrik özellikleri	17
Çizelge 2.8: KN03-YP1-6.0 numunesinin malzeme özellikleri	17
Çizelge 2.9: KN03-YP1-6.0 numunesi boyuna ve enine donatı oranları	18
Çizelge 2.10: KN04-YP2-6.0 numunesinin geometrik özellikleri	20
Çizelge 2.11: KN04-YP2-6.0 numunesinin malzeme özellikleri	20
Çizelge 2.12: KN04-YP2-6.0 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları	20
Çizelge 2.13: YP1’de uygulanan hedef yerdeğiştirme değerleri	29
Çizelge 2.14: YP2’de uygulanan hedef yerdeğiştirme ve kuvvet değerleri	32
Çizelge 3.1: Gözlenen sınır durumlar ve hasar sınır durumları arasındaki ilişki	33
Çizelge 3.2: KN01-YP1-3.6 numunesi deneysel sonuçlar	34
Çizelge 3.3: KN02-YP2-3.6 numunesi deneysel sonuçlar	37
Çizelge 3.4: KN03-YP1-6.0 numunesi deneysel sonuçlar	40
Çizelge 3.5: KN04-YP2-6.0 numunesi deneysel sonuçlar	43
Çizelge 3.6: Belirlenen Eşdeğer Plastik Mafsal Boyu.....	57
Çizelge 4.1: Kesit Birim Şekil Değiştirme Hasar Sınırları (DBYBHY 2007)	60
Çizelge 4.2: Göçme sınırı dönme değerleri (DBYBHY).....	61
Çizelge 4.3: Kesit Dönmesi Hasar Sınırları (FEMA 356).....	63
Çizelge 4.4: Göçme sınırı dönme değerleri (FEMA 356)	64
Çizelge 4.5: Göçme sınırı dönme değeleri (EUROCODE 8).....	67
Çizelge 4.6: Kirişler İçin Eğrilik Sınırı K_d katsayısı (NZS 3101).....	69
Çizelge 4.7: Göçme sınırı dönme değerleri (NZS 3101).....	69



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Belirgin düşey etkisi dikkate alınmayan kirişte moment ve kesme kuvveti diyagramları (Giao R., Lucio V., Chastre C. (2013).	5
Şekil 1.2: Belirgin düşey etkisi dikkate alınmayan kirişte plastik mafsall oluşumu	6
Şekil 1.3: Belirgin düşey etkisi dikkate alınan kirişte moment ve kesme kuvveti diyagramları (Giao R., Lucio V., Chastre C. (2013).	6
Şekil 1.4: Belirgin düşey etkisi dikkate alınan kirişte plastik mafsall oluşumu	7
Şekil 2.1: Deney numunelerinin isimlendirilmesinde kullanılan kısaltmalar.....	9
Şekil 2.2: KN01-YP1-3.6 kirişi malzeme özelliklerine ait deney fotoğrafları.....	11
Şekil 2.3: KN01-YP1-3.6 deney kirişinin donatı imalat detayları.....	12
Şekil 2.4: KN01-YP1-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar.....	13
Şekil 2.5: KN02-YP2-3.6 deney kirişinin donatı imalat detayları.....	15
Şekil 2.6: KN02-YP2-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar.....	16
Şekil 2.7: KN03-YP1-6.0 deney kirişinin donatı imalat detayları.....	18
Şekil 2.8: KN03-YP1-6.0 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar.....	19
Şekil 2.9: KN04-YP2-6.0 deney kirişinin donatı imalat detayları.....	21
Şekil 2.10: KN04-YP2-6.0 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar.....	22
Şekil 2.11: Test Düzeni.....	23
Şekil 2.12: Hidrolik krikonun sabitlemesi.....	23
Şekil 2.13: Gerinim pulları montajı ve kontrolü.....	24
Şekil 2.14: Birim şekil değiştirme ölçerlerin konumları	25
Şekil 2.15: Konsol numune boyunca yerleştirilen LVDT'lerin konumu	26
Şekil 2.16: Düşey doğrultuda yerleştirilen LVDT'lerin konumu.....	27
Şekil 2.17: LVDT yerleştirilmesinde kullanılan tijlerin montajı.....	27
Şekil 2.18: Veri toplayıcı bağlantıları.....	28
Şekil 2.19: YP1 yükleme geçmişi.....	30
Şekil 2.20: KN01-YP1-3.6 numunesinde akma eğriliği ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi	30
Şekil 2.21: KN03-YP1-6.0 numunesinde akma eğriliği ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi	31
Şekil 2.22: YP2 yükleme geçmişi.....	32
Şekil 3.1: KN01-YP1-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	35
Şekil 3.2: KN01-YP1-3.6 deney sonu hasar durumu	36
Şekil 3.3: KN02-YP2-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	38
Şekil 3.4: KN02-YP2-3.6 deney sonu hasar durumu	39
Şekil 3.5: KN03-YP1-6.0 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	41
Şekil 3.6: KN03-YP1-6.0 deney sonu hasar durumu	42
Şekil 3.7: KN04-YP2-6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	44
Şekil 3.8: KN04-YP2-6.0 deney sonu hasar durumu	45
Şekil 3.9: KN01-YP1-3.6 numunesi için deneysel yük - yerdeğiştirme ilişkisi.....	46
Şekil 3.10: KN02-YP2-3.6 numunesi için deneysel yük - yerdeğiştirme ilişkisi.....	46
Şekil 3.11: KN03-YP1-6.0 numunesi için deneysel yük - yerdeğiştirme ilişkisi.....	47

Şekil 3.12: KN04-YP2-6.0 numunesi için deneysel yük - yerdeğiştirme ilişkisi	47
Şekil 3.13: KN01-YP1-3.6 Deneysel Yerdeğiştirme Diyagramı	48
Şekil 3.14: KN02-YP2-3.6 Deneysel Yerdeğiştirme Diyagramı	49
Şekil 3.15: KN03-YP1-6.0 Deneysel Yerdeğiştirme Diyagramı	50
Şekil 3.16: KN04-YP2-6.0 Deneysel Yerdeğiştirme Diyagramı	51
Şekil 3.17: Deney numuneleri deney sonu maksimum yerdeğiştirme durumları	52
Şekil 3.18: Birim şekil değiştirme hesabı şematik gösterimi	53
Şekil 3.19: KN01-YP1-3.6 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme İlişkisi	54
Şekil 3.20: KN02-YP2-3.6 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme İlişkisi	54
Şekil 3.21: KN03-YP1-6.0 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme İlişkisi	55
Şekil 3.22: KN04-YP2-6.0 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme İlişkisi	55
Şekil 3.23: Çift yönlü (a) ve Tek yönlü (b) plastik mafsal şematik gösterimi	56
Şekil 4.1: Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, Şekil 7.1 / 2007)	60
Şekil 4.2: EUROCODE 8 Sargı donatısı etki faktörü bileşenleri şematik gösterimi	66
Şekil 4.3: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN01-YP1-3.6)	70
Şekil 4.4: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN02-YP2-3.6)	71
Şekil 4.5: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN03-YP1-6.0)	72
Şekil 4.6: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN04-YP2-6.0)	73

BELİRGİN DÜŞEY YÜKLER ALTINDAKİ BETONARME KİRİŞLERİN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ETKİSİNDE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; belirgin düşey yükler altındaki betonarme kirişlerin çevrimsel yükler etkisindeki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. İncelemede; sismik yüklerin uygulanmasında yapısal elemana elastik ötesi davranışa izin verecek şekilde çevrimsel yüklemeler yapılması yöntemi kullanılmıştır. 4 adet deney numunesinin üretildiği çalışmada, deney numunelerine belirgin düşey yük etkisinin ihmal edildiği ve ihmal edilmediği iki ayrı yükleme geçmişi uygulanmıştır. Böylece; kiriş numunelerinin göçme hasar durumlarını karşılaştırmalı olarak incelemek, plastik dönme kapasitesinin göçme hasar durumu üzerindeki etkilerini deneysel olarak belirlemek hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra deneysel çalışma sonunda elde edilen sonuçlar hali hazırda yürürlükte olan bir takım yönetmelikler [1,2,3,4] ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Beş bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümünde literatür özeti sunulurken, tezin amacı ve hipotezi açıklanmıştır.

İkinci bölümde deney numuneleri, deney düzeni ve kullanılan yükleme geçimleri tanıtılmıştır.

Üçüncü bölümde deneysel sonuçlar sunulurken numunelerin hasar durumları, yük-yer değiştirme ilişkileri, moment-maksimum ortalama birim şekil değiştirme ilişkileri ve hesaplanan eşdeğer plastik mafsal boyu değerleri değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölüm, deneysel bulguların irdelenmesine ayrılmış olup, bu bölümde incelenen yönetmeliklere göre deney numunelerinin analitik göçme hasar durumları belirlenerek deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise bu deneysel çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesit hasar sınırları, dönme kapasitesi, birim şekil değiştirme sınırları, deneysel yük-yer değiştirme ilişkileri, plastik mafsal boyu



AN EXPERIMENTAL RESEARCH ON HYSTERETIC BEHAVIOR OF RC BEAMS UNDER SIGNIFICANT GRAVITY LOADS

ABSTRACT

This study aims to investigate the seismic inelastic behavior of concrete beams with significant gravity load through experimental analyses. To this purpose, four sample beams have been produced and an experimental program is carried out in which gravity loads are applied by force controlled test procedure whereas cyclic loads are applied by displacement controlled test procedure. The results of tests with gravity load effect are compared with the results of control specimens with increasing displacement loading profile. Experimentally observed damage states and deformation demands are compared with the respective values proposed by Turkish Seismic Design Code. It is found that, the loading procedure with significant gravity load effect leads to the formation of unidirectional plastic hinges. Besides, the deformation capacities of the specimens are found to be much higher than the code based deformation capacities.

This thesis is composed of five sections. In the first chapter a literature summary is presented, and the purpose and hypothesis are explained.

In the second chapter, the properties of sample beams, test setup and test procedure are introduced.

In the third chapter, test results of sample beams are presented. Also damage profiles, load-displacement relationships, moment-maximum mean strain relationships, and equivalent plastic hinge lengths are summarized.

The fourth chapter is reserved for the discussion of experimental findings. In this section analytical collapse damage states are compared with the experimental ones.

In the last chapter conclusions of the study are emphasized.

Keywords: Damage limits, rotation capacity, strain limits, experimental load displacement relations, plastic hinge length



1 GİRİŞ

Depreme dayanıklı bina yönetmelikleri, betonarme yapıların şiddetli deprem etkisinde elastik sınırlar içinde davranacak şekilde tasarlanmasının ekonomik olmayacağını kabul ederek, -bazı tasarım kurallarının sağlanması şartıyla- yapıların elastik ötesi davranış sergileyecek şekilde tasarımına izin verebilmektedir. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibi, kolon kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği yaklaşımı ve kapasite tasarımı gibi tasarım kuralları, yapıda aşırı zorlamalar altında ortaya çıkabilecek potansiyel hasarın eğilmeden kaynaklanmasına ve hasar bölgelerinin yaygın olarak kiriş mesnet kesitlerinde gerçekleşmesine neden olur. Bu nedenle, kiriş mesnet kesimlerinin plastik mafsal dönme kapasitesinin gerçeğe yakın belirlenmesi önem taşır ve uzun süreden beri deneysel ve/veya analitik çalışmalara araştırma konusu olmuştur. Betonarme kirişlerin plastik mafsal dönme kapasitesi üzerine yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümde kısaca özetlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, eğilme kırılmasıyla taşıma gücüne ulaşan betonarme kirişlerde düşey yükün belirgin mertebede olmadığı durumlarda ortaya çıkması muhtemel çift yönlü plastik mafsal davranışı ile düşey yükün belirgin mertebede olduğu yani deprem yüklerinden daha büyük olduğu durumlarda söz konusu tek yönlü plastik mafsal çalışma biçiminin deneysel olarak incelenmesidir. İncelemede; sismik yüklerin uygulanmasında yapısal elemana elastik ötesi davranışa izin verecek şekilde çevrimsel yüklemeler yapılması yöntemi kullanılmıştır. Üretilen 4 adet numuneye, belirgin düşey yük etkisinin ihmal edildiği ve ihmal edilmediği iki ayrı yükleme geçmişi uygulanarak, kiriş numuneleri göçme hasar durumlarını karşılaştırmalı olarak incelemek, plastik dönme kapasitesinin göçme hasar durumu üzerindeki etkilerini deneysel olarak belirlemek hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra deneysel çalışma sonunda elde edilen sonuçlar hali hazırda yürürlükte olan bir takım yönetmelikler [1,2,3,4] ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

Plastik mafsalların dönme kapasitesini belirlemek için geçmişte yapılan deneysel çalışmaların birçoğunda monotonik yükleme yöntemi kullanılmıştır.

A.H. Mattock tarafından betonarme kirişlerin dönme kapasitesini belirlemek için 37 adet kiriş üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada deney numuneleri; beton basınç dayanımı, kiriş yüksekliği, maksimum moment noktasından momentin sıfır olduğu noktaya olan mesafe ve donatı oranı değişkenlerini içerecek şekilde imal edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek, mafsal dönme kapasitesinin belirlenebilmesi için bir yöntem önerilmiştir [5].

W.G. Corley'in yapmış olduğu çalışmada, betonarme kirişlerin moment-dönme ilişkilerini belirlemekte kullanılan yöntemlerin doğruluğu araştırılmıştır. Kiriş boyutları, donatı oranı ve kapalı etriye bağlanması değişkenleri kullanılarak 40 adet deney numunesi üretilmiştir. Bu deney numunelerinden elde edilen sonuçlar ile daha önce yapılmış 37 adet deneyden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, betonarme kirişlerin dönme kapasitesinin hesaplanması için yeni bir yöntem önerilmiştir [6].

R. Eligehausen ve P. Langer tarafından yapılmış olan çalışmada, plastik mafsalların dönme kapasitesinin hesaplanması için matematiksel bir model sunulmuştur. Bu çalışmada; donatının gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinin dönme kapasitesi üzerindeki etkisi tek açıklı kirişte, kiriş açıklık ortasına yapılan yükleme ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda sunulan analitik modelle, betonarme kirişlerde oluşacak plastik mafsalların dönme kapasitesinin pratik olarak öngörülebileceği belirtilmiştir. Ayrıca dönme kapasitesinin donatının gerilme-birim şekil değiştirme davranışları ile doğrudan ilişkili olduğu, soğuk işlenmiş donatıların kullanılması durumunda CEB-FIB Model Kodu'nda verilen plastik dönme kapasitesi sınırına ulaşamadığı, bu nedenle de CEB-FIB Model Kodu'na göre belirlenen moment yeniden dağılımının bazı durumlarda emniyetsiz olabileceği sonucuna varılmıştır [7].

A. Hillerborg'un yapmış olduğu çalışmada, betonarme kirişlerin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinin sıklaştırma bölgesi uzunluğuna bağımlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç böyle bir boyut bağımlılığının olmadığını

varsayan mevcut tasarım kurallarıyla çelişmiş olsa da, dönme kapasiteleri ile ilgili deneysel sonuçlar sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ancak doğrulamanın kabulü için daha fazla deneysel çalışma yapılması önerilmiştir [8].

A.J. Bigaj tarafından plastik mafsal dönme kapasitesinin yapısal etkisi üzerine yapılmış olan tez çalışmasında, dönme kapasitesinin kesit boyutlarıyla net bir şekilde ilişkili olmasının yanı sıra yapı malzemelerine de bağımlı olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; çeliklerin mekanik özelliklerinin, plastik mafsalların deformasyon kapasitesi üzerinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır [9].

Bu tez çalışmasında da uygulanmış olan, betonarme yapı elemanlarının deprem davranışlarını inceleyebilmek için geliştirilen yöntemler arasındaki “Çevrimsel Yükleme Yöntemi” kullanılarak, yapı elemanlarının dönme ve yer değiştirme kapasitesi, plastik mafsal oluşma şekli ve konumu, yükleme profillerinin yapı elemanı deprem davranışı etkisi üzerine geçmişte birçok çalışma yapılmıştır.

1973 yılında M. Çelebi ve J. Penzien tarafından yapılan çalışmada, kesme açıklığının etkili derinliğe oranı (a/d) ve yükleme hızının, kirişlerin enerji sönümlemesi ve rijitlik üzerindeki etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, farklı etriye aralığına sahip kiriş numuneleri üretilmiş, daha düşük a/d oranına sahip kirişler için rijitliğin daha belirgin şekilde azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [10].

J.J.Shen ve W.P.Yen tarafından yapılan çalışmada betonarme köprü ayakları konusundaki çevrimsel test yetersizliğine dikkat çekilmiş ve bu eksikliği kapatmak için ACI protokolü yükleme profillerinden yararlanılarak bir takım çalışmalar yürütülmüştür [11].

Y.Jiao, S.Kishiki, S.Yamada tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada sünek kırılmadan önce kirişlerin plastik deformasyon kapasitesinin önemine dikkat çekilmiş, çelik kirişlerin sismik tasarımı için hali hazırda kullanılan yükleme protokolleri değerlendirilerek plastik deformasyonların daha doğru tahmin edilebilmesi amacıyla çevrimsel yükleme profillerine karar verilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur [12].

Deprem davranışı üzerinde belirgin düşey yüklerin etkisini incelemek amacıyla geçmişte yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır:

LM. Megget ve RC. Fenwick'in tarafından 1989 yılında düşey yük etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılmış olan deneysel çalışmada, üretilen tek açıklıklı betonarme çerçeve sistem deney numunelerine yatay çevrimsel yük uygulanmış, düşey yük giriş açıklığına iki ayrı noktadan ayrıca etki ettirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda, düşey yük etkisiyle tek yönlü plastik mafsal oluştuğu, plastik dönme ve yer değiştirme kapasitesinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde plastik mafsal dönme kapasitesi üzerinde basınç donatısı etkisinin düşük, çekme donatısı etkisinin ise oldukça etkin olduğu sonucuna varılmış, yapıların elastik ötesi talepleri karşılayacak şekilde tasarlanması için daha fazla araştırma yapılması önerilmiştir [13].

A.F. Walker ve R.P. Dhakal tarafından malzeme birim şekil değiştirme sınırları için daha kabul edilebilir değerler elde edebilmek amacıyla yapılan çalışmada, iki farklı yükleme profili kullanılmıştır. Her iki yükleme profilinde de başlangıçta girişler teorik eğilme dayanımının % 75'ine denk gelecek şekilde yüklenerek, bu yük çevrimi iki kez tekrarlanmıştır. Ardından ilk yükleme profili yer değiştirme kontrollü olarak tasarlanmış, genliği giderek artan yükleme çevrimleri iki çevrim yapacak şekilde uygulanmıştır. İkinci yükleme profili yük ve yer değiştirme kontrollü olarak tasarlanmış, bu profilde de her bir yük çevrimi iki kez tekrarlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda iki farklı yükleme geçmişi için malzeme birim şekil değiştirme sınırlarının oldukça farklılaştığı, göçme sınır eğrilikleri arasındaki farkın dikkat çekici olduğu ve tek yönlü plastik mafsal oluşması durumunda, NZS 3101:2006'da verilen sınırların aşırı güvenli olduğu bulgularına ulaşılmıştır [14].

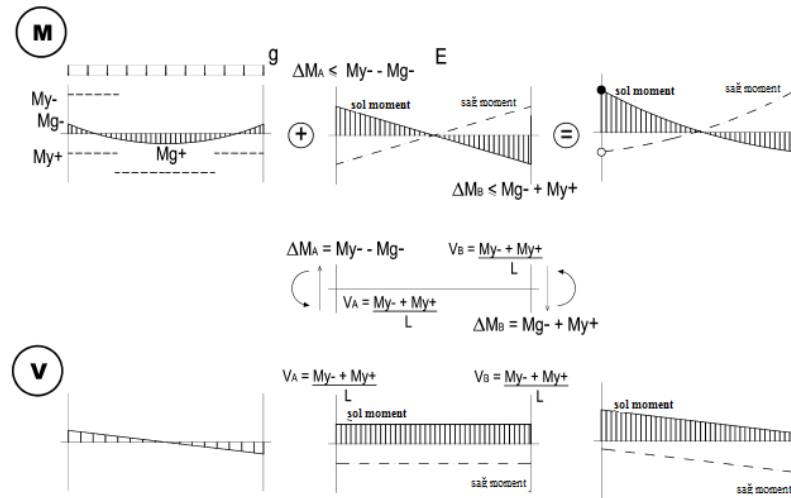
R.Giao, V.Lucio ve C.Chastre, tarafından 2013 yılında çevrimsel yük etkisindeki betonarme giriş kritik bölgelerinde düşey yüklerin etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada belirgin düşey yüklerin dahil edildiği ve edilmediği iki farklı yükleme profili eş konsol giriş numunelerine uygulanmış, yapılan deneylerde oldukça farklı yük-yer değiştirme ilişkileri tespit edilmiştir. Belirgin düşey yük etkisinin dikkate alındığı deney numunelerinde tek yönlü, düşey yüklerin yükleme profiline dahil edilmediği deney numunelerinde çift

yönlü plastik mafsall oluştuğu gözlenmiştir. Tek yönlü plastik mafsall oluştuğunda kirişlerin dönme kapasitesinin, çift yönlü plastik mafsall oluşumuna kıyasla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma özellikle hasar sınırlarının belirlenmesinde düşey yük etkisinin önemini göstermesi açısından önem arz etmektedir [15].

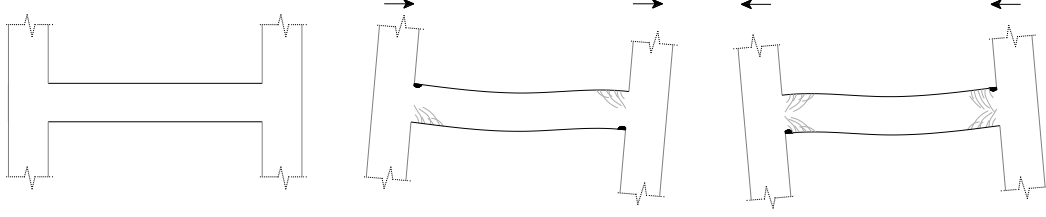
1.2 Hipotez

Çevrimsel yüklere maruz bir yapı elemanının davranışları üzerinde belirgin düşey yüklerin etkisi kiriş numunelerinin deney sonuçlarına göre gerçek davranışa yakın olarak belirlenebilir.

Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar [10,11,12] göstermiştir ki; düşey yük etkilerinin dikkate alınmadığı durumlarda çevrimsel yüklemeler çift yönlü plastik mafsall oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 1.1’de moment ve kesme kuvveti diyagramları verilen bu tür yüklenme durumunda plastik mafsalların çift yönlü oluştuğu görülmektedir. Eğilme momentinin negatif olduğu mesnette moment artarken, pozitif olduğu mesnette azalmakta ve mesnet bölgesinde maksimum değerine ulaşmaktadır. Bunun sonucunda da plastik mafsallar, salınım sağa doğru olduğunda sağ mesnette, sola doğru olduğunda sol mesnette oluşmaktadır (Bkz Şekil 1.2). Bu tür yüklenme durumunda plastik mafsalların çift yönlü oluşmasının, düşey yüklerin deprem yüklerinden daha küçük olmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

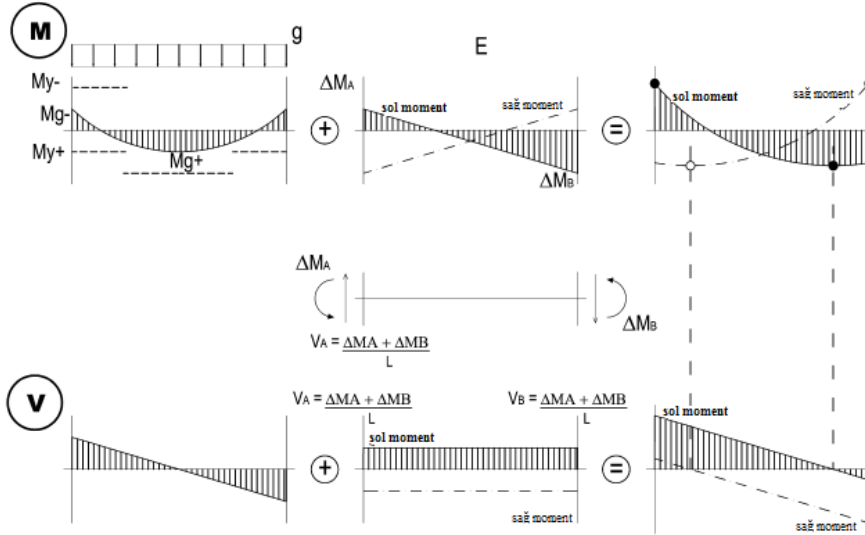


Şekil 1.1: Belirgin düşey etkisi dikkate alınmayan kirişte moment ve kesme kuvveti diyagramları (Giao R., Lucio V., Chastre C. (2013)).

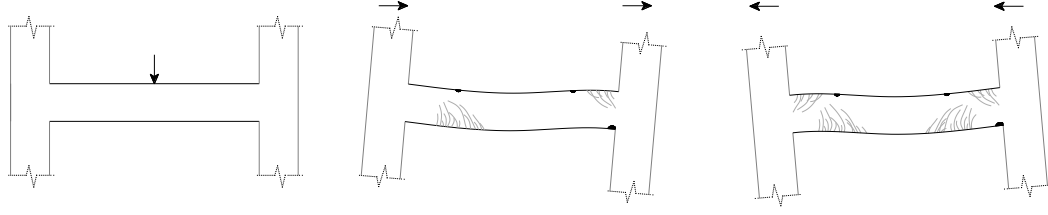


Şekil 1.2: Belirgin düşey etkisi dikkate alınmayan kirişte plastik mafsal oluşumu

İncelenen çalışmalarda [13,14,15] belirgin düşey yük etkileri dikkate alındığında bu etkinin deprem yüklerinin tersinir etkisiyle negatif deformasyon birikmesine yol açtığı ve maksimum momentin mesnet bölgesinden kiriş açıklığına doğru kaydığı gözlenmiştir. Şekil 1.3’de moment ve kesme kuvveti diyagramları verilen bu yükleme durumunda çevrimsel yük, eğilme momenti diyagramını da simetrik değildir. Sonuç olarak plastik mafsallar, salınım sağa doğru olduğunda sol açıklıkta ve sağ mesnette, sola doğru olduğunda sağ açıklıkta ve sol mesnette oluşma eğilimindedir (Bkz Şekil 1.4). Bu tür yükleme durumunda plastik mafsalların tek yönlü oluşmasının, düşey yüklerin deprem yüklerinden daha büyük olmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.3: Belirgin düşey etkisi dikkate alınan kirişte moment ve kesme kuvveti diyagramları (Giao R., Lucio V., Chastre C. (2013)).



Şekil 1.4: Belirgin düşey etkisi dikkate alınan kirişte plastik mafsall oluşumu

Geçmişte yapılan çalışmalar göstermiştir ki; plastik mafsalların tek yönlü veya çift yönlü olması üzerinde, uygulanan düşey yükün mertebesi oldukça önemlidir. Düşey yük sonucunda oluşan eğilmenin, tasarım esnasında belirlenen değerden fazla olması durumunda tek yönlü plastik mafsall oluşumu görülmektedir. Plastik mafsalların tek yönlü veya çift yönlü olarak oluşması, betonarme kesitin dönme ve yer değiştirme kapasiteleri üzerinde etkilidir. Yapısal hasar sınırlarının belirlenmesinde kesitin dönme ve yer değiştirme kapasitesi, plastik mafsall boyu gibi bileşenlerin önemli etkileri düşünüldüğünde, belirgin düşey yüklerin betonarme kesitler üzerindeki etkileri ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gereği ortaya çıkmıştır.

Belirgin düşey yük etkilerinin dikkate alınmasının bu derece farklı sonuçlara yol açtığı göz önüne alındığında gerçek yapı davranışını yansıtabilmek için deneysel sonuçların, yürürlükteki yönetmeliklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesiyle yönetmeliklerde verilen hasar sınırları geliştirilebilir.

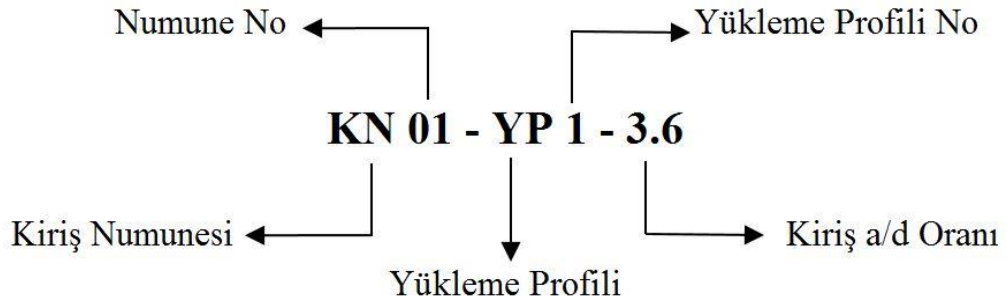


2 DENEY PROGRAMI

2.1 Deney Numuneleri

Bu çalışmada kesit boyutları özdeş, kesme açıklıkları birbirinden farklı 4 adet deney numunesinin sonuçları değerlendirilmiştir. KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 isimli deney numuneleri BAP2015-01 nolu proje kapsamında, KN02-YP2-3.6 ve KN04-YP2-6.0 isimli deney numuneleri BAP2016-01 nolu proje kapsamında İstanbul Aydın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü desteği ile imal edilmiştir. KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 deney numunelerine ait sonuçlar Aydemir C. ve Aydemir Eser M'nin yapmış oldukları çalışmadan alınmıştır [16].

Betonarme konsol giriş olarak tasarlanan deney numunelerinin isimlendirilmesinde uygulanan kısaltmalar Şekil 2.1 üzerinde açıklanarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Deney numunelerinin isimlendirilmesinde kullanılan kısaltmalar

Deney numunelerinin geometrik özellikleri, malzeme özellikleri ve betonarme donatı detayları aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

2.1.1 KN01-YP1-3.6 numaralı numunenin genel özellikleri

Kesme açıklığının etkili derinliğe oranı 3.6 olan KN01-YP1-3.6 numaralı deney numunesi geometrik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: KN01-YP1-3.6 numunesinin geometrik özellikleri

KN01-YP1-3.6 Geometrik Özellikleri					
a/d⁽¹⁾	a⁽²⁾ (cm)	d⁽³⁾ (cm)	b⁽⁴⁾ (cm)	h⁽⁵⁾ (cm)	L⁽⁶⁾ (cm)
3.6	162	46	25	50	240

(1) Kesme açıklığının Kiriş etkili derinliğine oranı
(2) Kesme açıklığı (konsol boyu)
(3) Kiriş etkili derinliği
(4) Kiriş genişliği
(5) Kiriş yüksekliği
(6) Kiriş boyu

KN01-YP1-3.6 numunesinin malzeme sınıfı C35/S420 dir. Numune beton tasarımında TS802-2016 standardına [18] göre hedef dayanım 43 MPa alınmıştır. Deney numunesi boyuna ve enine donatı mekanik özellikleri [19,20,21] ve deney günü standart silindir numunelerden elde edilen [22,23,24,25] beton basınç dayanımları Çizelge 2.2’de özetlenmiştir. Kiriş malzeme dayanım deneylerine ait fotoğraflar Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: KN01-YP1-3.6 numunesinin malzeme özellikleri

KN01-YP1-3.6 Malzeme Özellikleri					
f_c⁽¹⁾ (MPa)	f_y⁽²⁾ (MPa)	f_{su}⁽³⁾ (MPa)	f_{yw}⁽⁴⁾ (MPa)	ε_{sh}⁽⁵⁾	ε_{su}⁽⁶⁾
45.6	498	602	597	0.009	0.140

(1) Deney günü yapılan standart silindir numune basınç dayanımı
(2) Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
(3) Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
(4) Enine donatı deneysel akma dayanımı
(5) Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
(6) Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi



(Boyuna donatı)

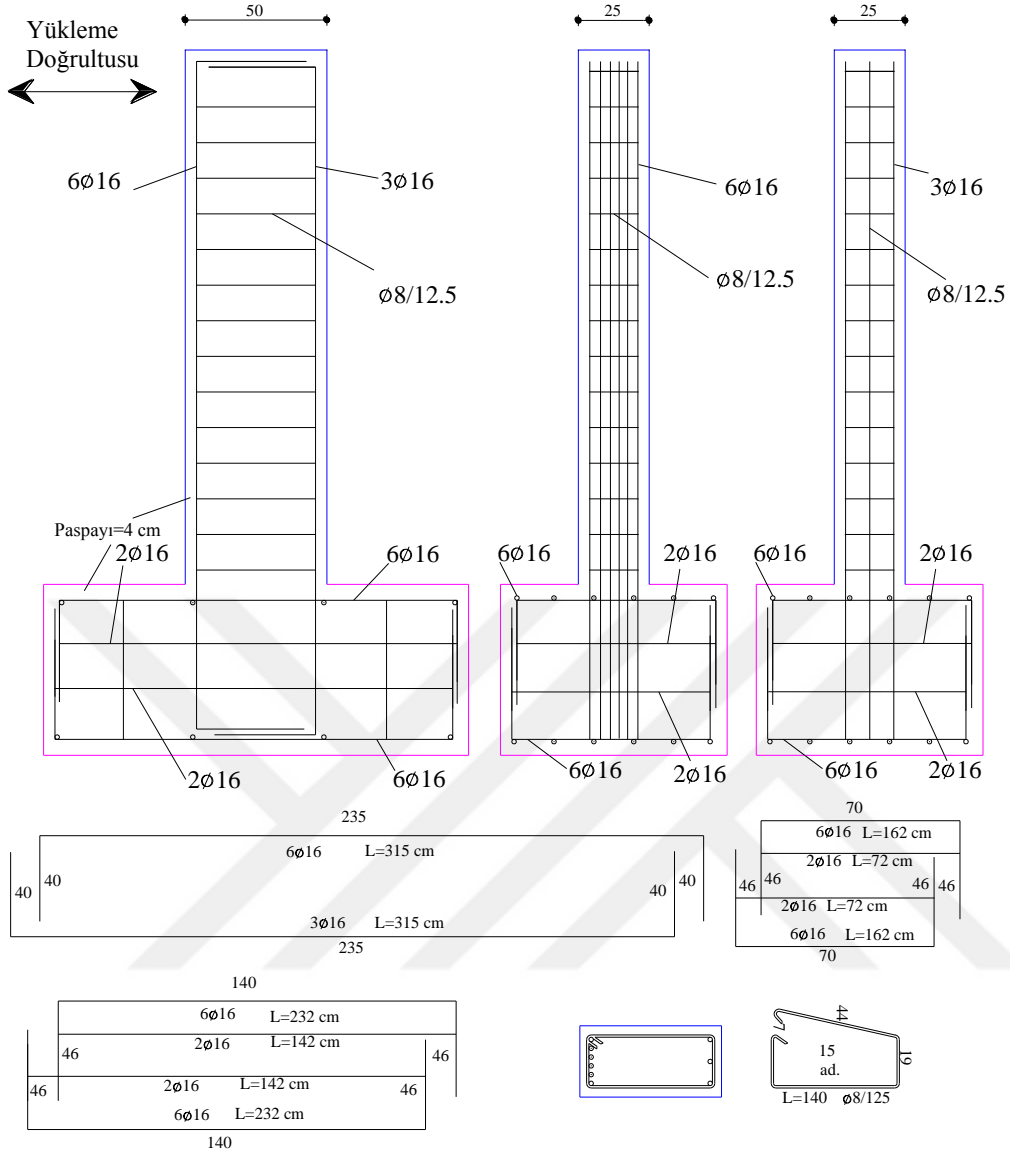
(Enine donatı)

(KN01-YP1-3.6)

Şekil 2.2: KN01-YP1-3.6 kirişi malzeme özelliklerine ait deney fotoğrafları

Boyuna donatı düzeni diğer deney numuneleri ile özdeş olan KN01-YP1-3.6 numaralı deney kirişinin diğer deney numunelerinden farkı yanal donatı aralığıdır. Deney programında a/d oranları farklı olan numunelerde, deneysel kesme kuvvetinin, tasarım kesme kuvveti oranı (V_{max}/V_w) bakımından birbirine özdeş olması açısından yanal donatı aralığı farklı olarak tasarlanmıştır.

Donatı detayları aşağıda Şekil 2.3’de verilen deney kirişinin boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.3’de özetlenmiştir.

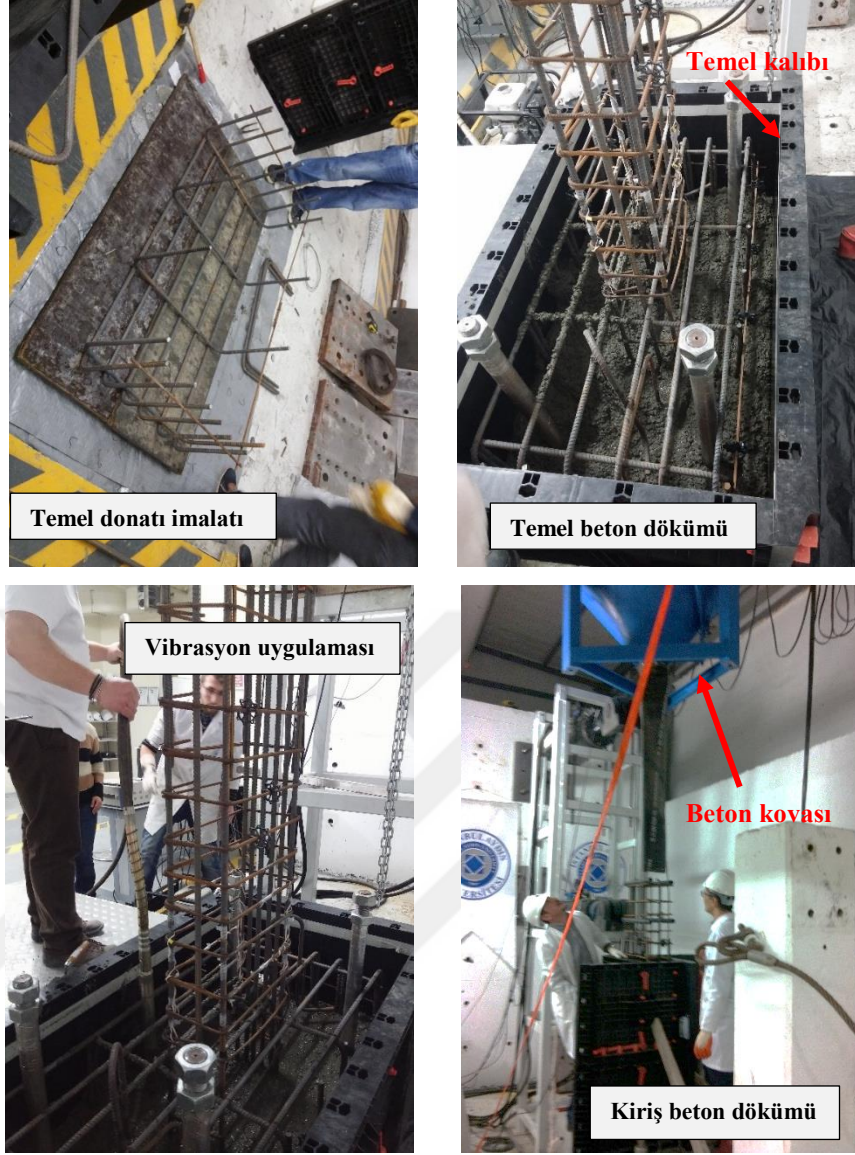


Şekil 2.3: KN01-YP1-3.6 deney kirişinin donatı imalat detayları

Çizelge 2.3: KN01-YP1-3.6 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları

KN01-YP1-3.6 Boyuna ve Enine Donatı Oranları		
Mesnet kesiti üst donatı oranı	6Φ16	0.0105
Mesnet kesiti alt donatı oranı	3Φ16	0.0052
Enine donatı oranı	Φ8/12.5	0.0032

KN01-YP1-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.4' de sunulmuştur.



Şekil 2.4: KN01-YP1-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar

2.1.2 KN02-YP2-3.6 numaralı numunenin genel özellikleri

KN02-YP2-3.6 numunesi geometrik özellikler bakımından KN01-YP1-3.6 numunesi ile özdeş olarak üretilmiştir (Bkz Çizelge 2.4). Deney kirişi malzeme özellikleri Çizelge 2.5’de, boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.6’da verilmiştir. KN02-YP2-3.6 numunesi donatı detayları ve imalat aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.4: KN02-YP2-3.6 numunesinin geometrik özellikleri

KN02-YP2-3.6 Geometrik Özellikleri					
a/d⁽¹⁾	a⁽²⁾	d⁽³⁾	b⁽⁴⁾	h⁽⁵⁾	L⁽⁶⁾
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
3.6	162	46	25	50	240

(1) Kesme açıklığının Kiriş etkili derinliğine oranı
(2) Kesme açıklığı (konsol boyu)
(3) Kiriş etkili derinliği
(4) Kiriş genişliği
(5) Kiriş yüksekliği
(6) Kiriş boyu

Çizelge 2.5: KN02-YP2-3.6 numunesinin malzeme özellikleri

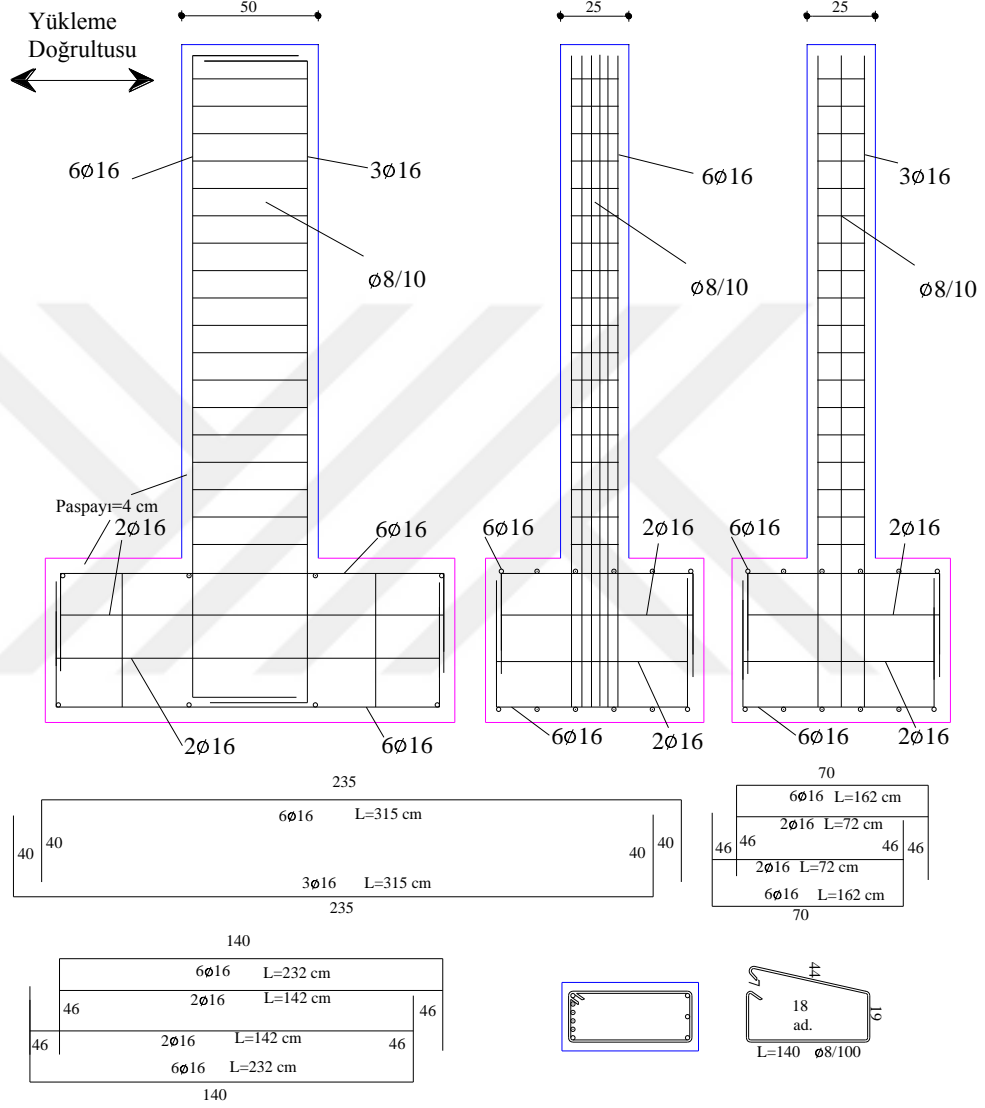
KN02-YP2-3.6 Malzeme Özellikleri					
f_c⁽¹⁾	f_y⁽²⁾	f_{su}⁽³⁾	f_{yw}⁽⁴⁾	ε_{sh}⁽⁵⁾	ε_{su}⁽⁶⁾
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
39.7	490	688	611	0.009	0.140

(1) Deney günü yapılan standart silindir numune basınç dayanımı
(2) Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
(3) Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
(4) Enine donatı deneysel akma dayanımı
(5) Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
(6) Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi

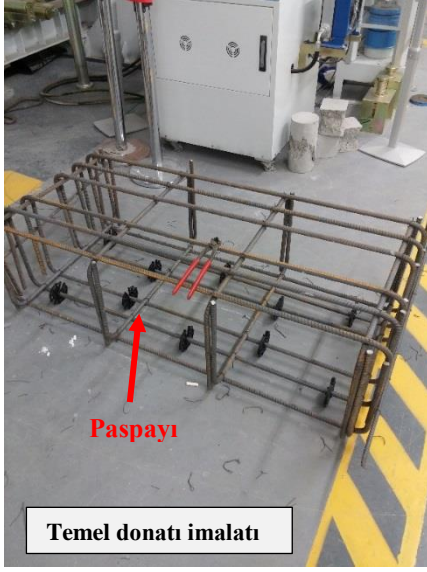
Çizelge 2.6: KN02-YP2-3.6 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları

KN02-YP2-3.6 Boyuna ve Enine Donatı Oranları		
Mesnet kesiti üst donatı oranı	6Φ16	0.0105
Mesnet kesiti alt donatı oranı	3Φ16	0.0052
Enine donatı oranı	Φ8/10	0.0040

KN02-YP2-3.6 numaralı deney kirişinin diğer deney numuneleri ile farkı yanal donatı aralığıdır. Deney programında a/d oranları farklı olan numunelerde, deneysel kesme kuvvetinin, tasarım kesme kuvveti oranı (V_{max}/V_w) bakımından birbirine özdeş olması açısından yanal donatı aralığı farklı olarak tasarlanmıştır (Bkz Çizelge 2.6).



Şekil 2.5: KN02-YP2-3.6 deney kirişinin donatı imalat detayları



Şekil 2.6: KN02-YP2-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar

2.1.3 KN03-YP1-6.0 numaralı numunenin genel özellikleri

Kesme açıklığının, etkili derinliğe oranı 6.0 olan KN03-YP1-6.0 numaralı deney numunesinin geometrik özellikleri Çizelge 2.7’de, malzeme özellikleri Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.7: KN03-YP1-6.0 numunesinin geometrik özellikleri

KN03-YP1-6.0 Geometrik Özellikleri					
a/d⁽¹⁾	a⁽²⁾	d⁽³⁾	b⁽⁴⁾	h⁽⁵⁾	L⁽⁶⁾
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
6.0	275	46	25	50	350

(1) Kesme açıklığının Kiriş etkili derinliğine oranı
(2) Kesme açıklığı (konsol boyu)
(3) Kiriş etkili derinliği
(4) Kiriş genişliği
(5) Kiriş yüksekliği
(6) Kiriş boyu

Çizelge 2.8: KN03-YP1-6.0 numunesinin malzeme özellikleri

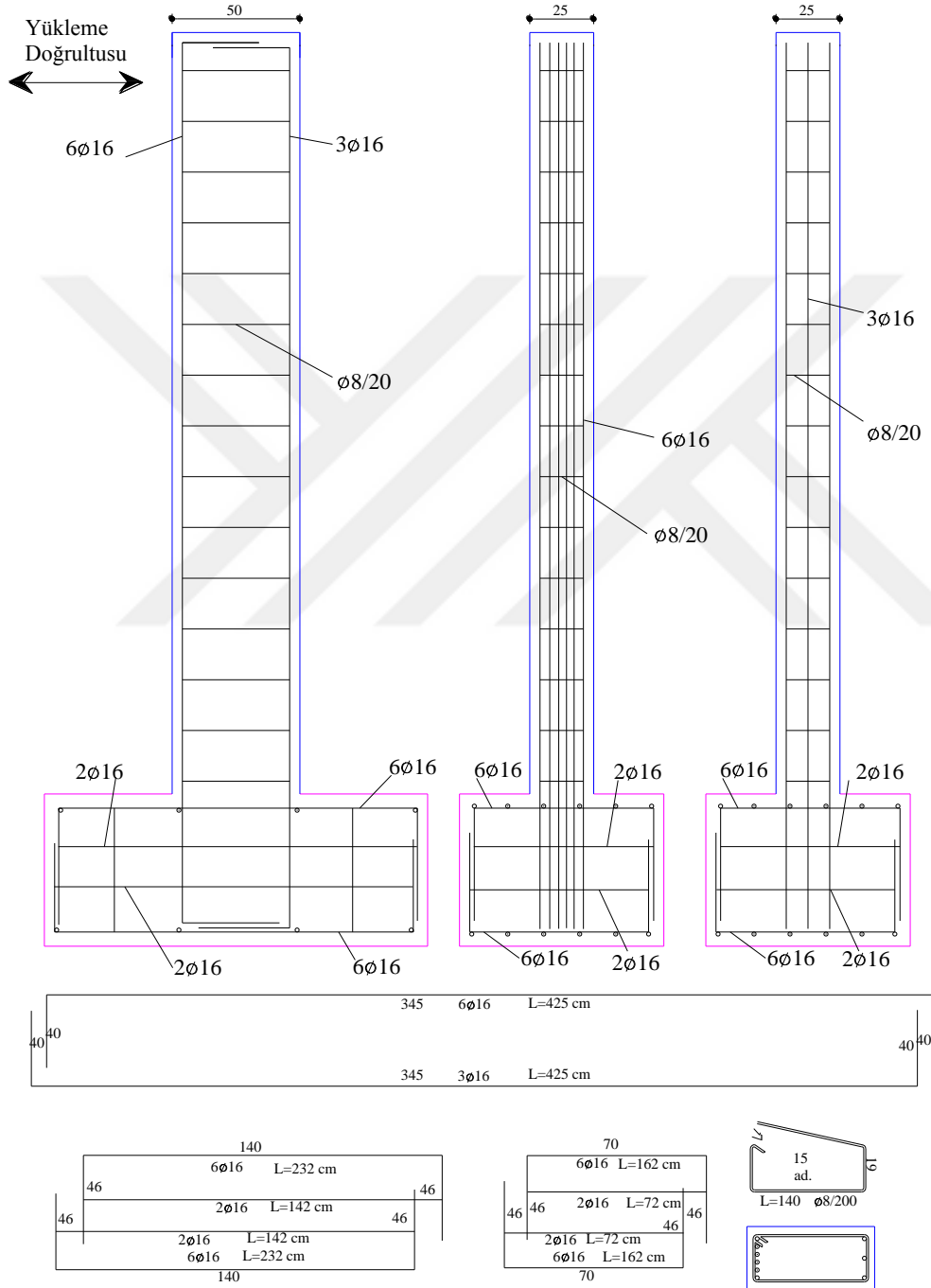
KN03-YP1-6.0 Malzeme Özellikleri					
f_c⁽¹⁾	f_y⁽²⁾	f_{su}⁽³⁾	f_{yw}⁽⁴⁾	ε_{sh}⁽⁵⁾	ε_{su}⁽⁶⁾
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
48.6	498	602	597	0.009	0.140

(1) Deneş günü yapılan standart silindir numune basınç dayanımı
(2) Boyuna donatı deneşsel akma dayanımı
(3) Boyuna donatı deneşsel çekme dayanımı
(4) Enine donatı deneşsel akma dayanımı
(5) Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değıştirmesi
(6) Boyuna donatı kopma birim şekil değıştirmesi

KN03-YP1-6.0 numaralı deneş numunesinde a/d oranı 6.0 olduğundan ve deneşsel kesme kuvvetinin, tasarım kesme kuvvetine oranı bakımından tüm numuneleri benzer olarak tasarlanmak hedeflendiğinden KN01-YP1-3.6 ve KN02-YP2-3.6 numaralı deneş numunelerine göre yanal donatı aralığı farklı imal edilmiştir (Φ8/20). KN03-YP1-6.0 numaralı deneş kirişinin boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.9’da özetlenmiş, donatı imalat detayları ise Şekil 2.7’de sunulmuştur.

Çizelge 2.9: KN03-YP1-6.0 numunesi boyuna ve enine donatı oranları

KN03-YP1-6.0 Boyuna ve Enine Donatı Oranları		
Mesnet kesiti üst donatı oranı	6 Φ 16	0.0105
Mesnet kesiti alt donatı oranı	3 Φ 16	0.0052
Enine donatı oranı	Φ 8/20	0.0020



Şekil 2.7: KN03-YP1-6.0 deney kirişinin donatı imalat detayları

T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında üretilen KN03-YP1-6.0 numaralı deney kirişinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: KN03-YP1-6.0 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar

2.1.4 KN04-YP2-6.0 numaralı numunenin genel özellikleri

KN04-YP2-6.0 numunesi geometrik özellikler bakımından KN03-YP1-6.0 numunesi ile özdeş olarak üretilmiştir (Bkz Çizelge 2.10). Deney kirişi malzeme özellikleri Çizelge 2.11’de, boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.12’de verilmiştir. KN04-YP2-6.0 numunesi donatı detayları ve imalat aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10: KN04-YP2-6.0 numunesinin geometrik özellikleri

KN04-YP2-6.0 Geometrik Özellikleri					
a/d⁽¹⁾	a⁽²⁾	d⁽³⁾	b⁽⁴⁾	h⁽⁵⁾	L⁽⁶⁾
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
6.0	275	46	25	50	350

(1) Kesme açıklığının Kiriş etkili derinliğine oranı
(2) Kesme açıklığı (konsol boyu)
(3) Kiriş etkili derinliği
(4) Kiriş genişliği
(5) Kiriş yüksekliği
(6) Kiriş boyu

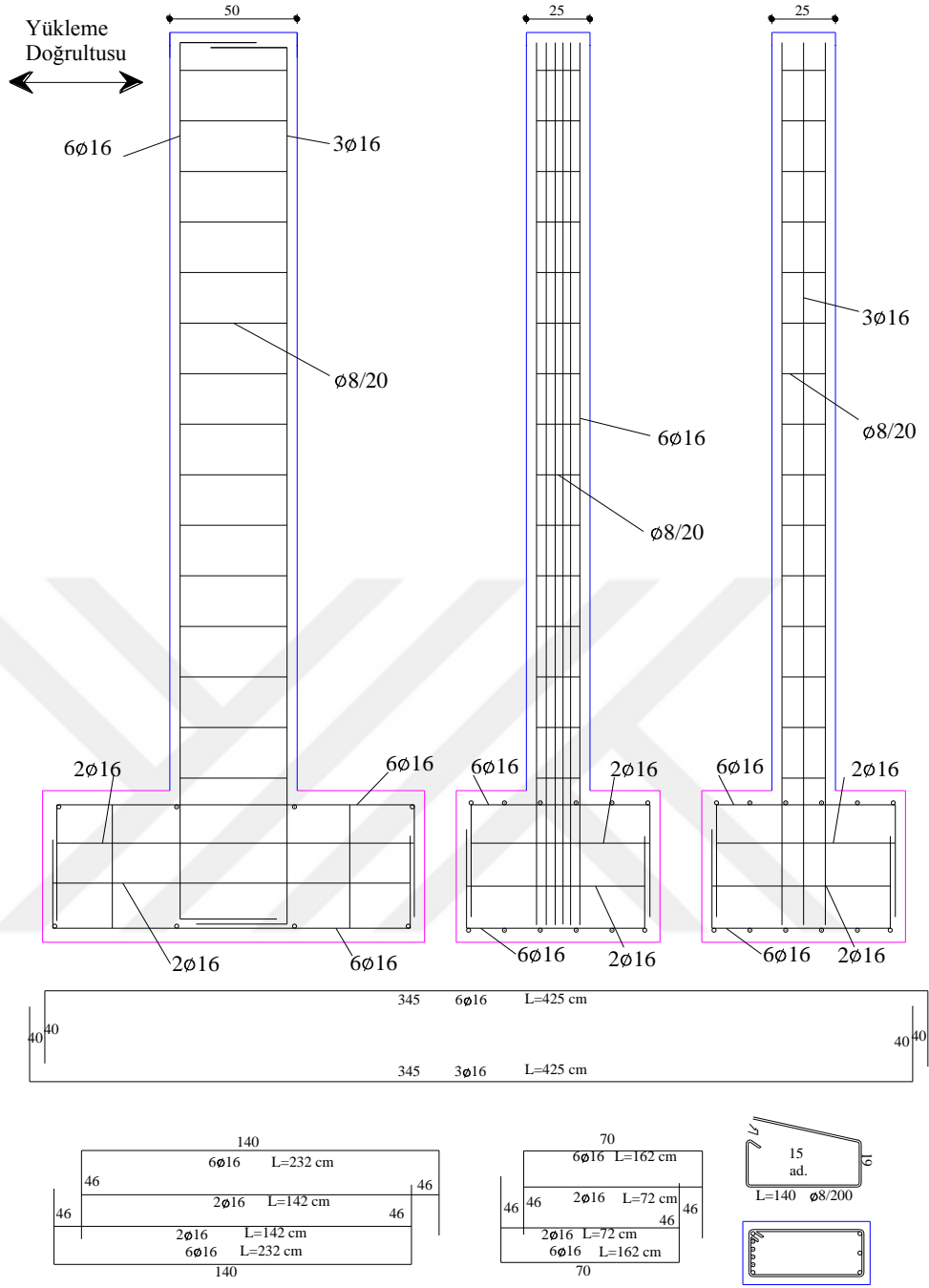
Çizelge 2.11: KN04-YP2-6.0 numunesinin malzeme özellikleri

KN04-YP2-6.0 Malzeme Özellikleri					
f_c⁽¹⁾	f_y⁽²⁾	f_{su}⁽³⁾	f_{yw}⁽⁴⁾	ε_{sh}⁽⁵⁾	ε_{su}⁽⁶⁾
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
44.5	490	688	611	0.009	0.140

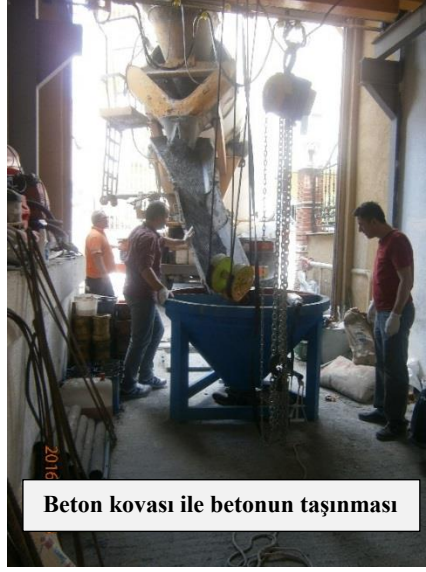
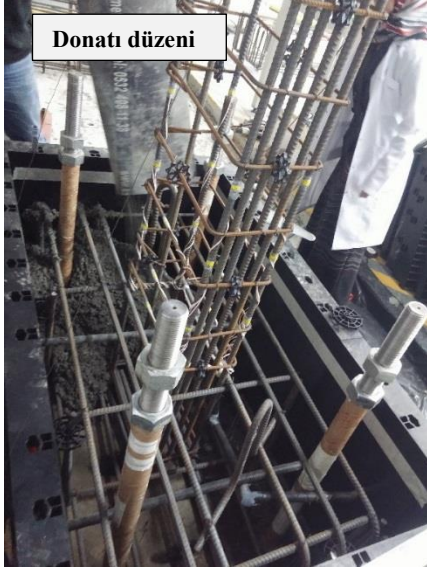
(1) Deney günü yapılan standart silindir numune basınç dayanımı
(2) Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
(3) Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
(4) Enine donatı deneysel akma dayanımı
(5) Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
(6) Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi

Çizelge 2.12: KN04-YP2-6.0 numunesinin boyuna ve enine donatı oranları

KN04-YP2-6.0 Boyuna ve Enine Donatı Oranları		
Mesnet kesiti üst donatı oranı	6Φ16	0.0105
Mesnet kesiti alt donatı oranı	3Φ16	0.0052
Enine donatı oranı	Φ8/20	0.0020



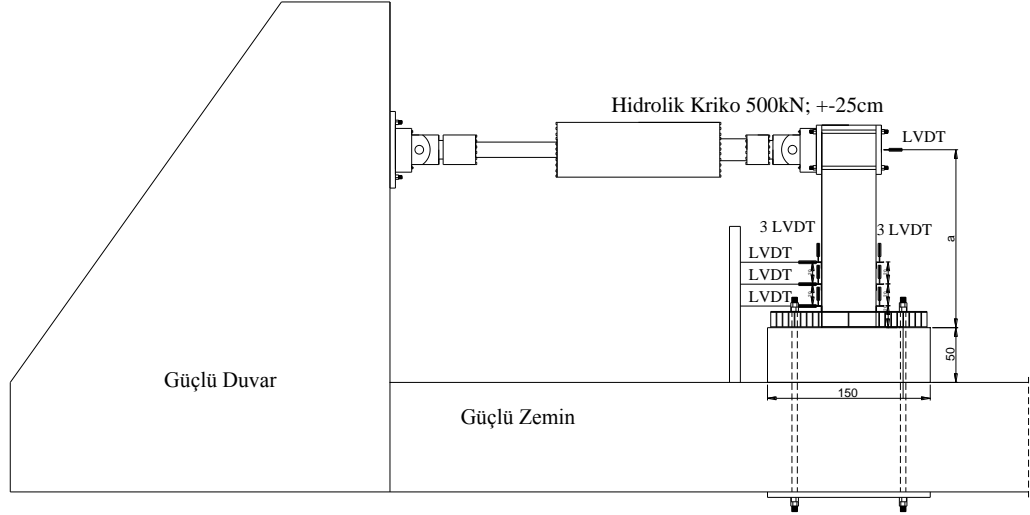
Şekil 2.9: KN04-YP2-6.0 deney kirişinin donatı imalat detayları



Şekil 2.10: KN04-YP2-6.0 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar

2.2 Deney Düzeni

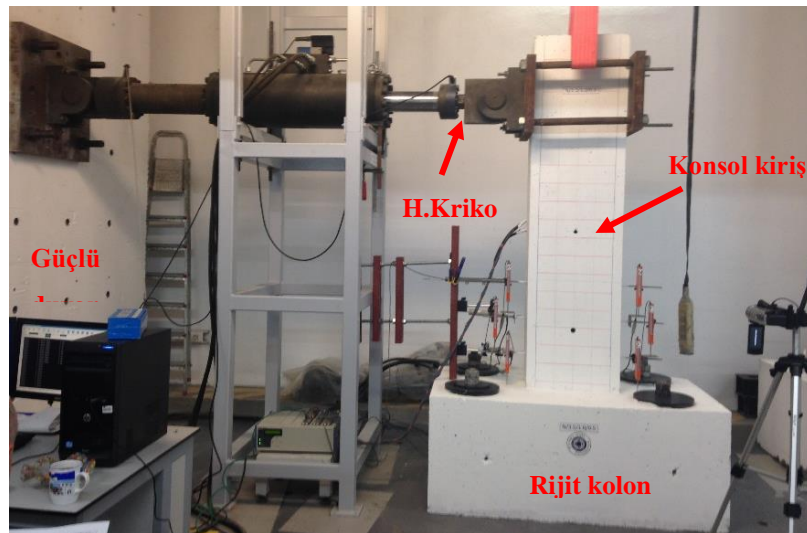
Kiriş numuneleri, T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında test edilmiştir. Deneylerde uygulanan test düzeni Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Test Düzeni

Şekilden de görüleceği üzere kiriş numuneleri güçlü zemin üzerine sabitlenip, konsol olarak mesnetlenmiştir. Konsol numunede yük uygulama noktasının gerçek yapı davranışında kiriş açıklık bölgesindeki moment sıfır noktasını, konsol temelinin ise gerçek yapı davranışında rijit bir kolonu temsil ettiği düşünülebilir.

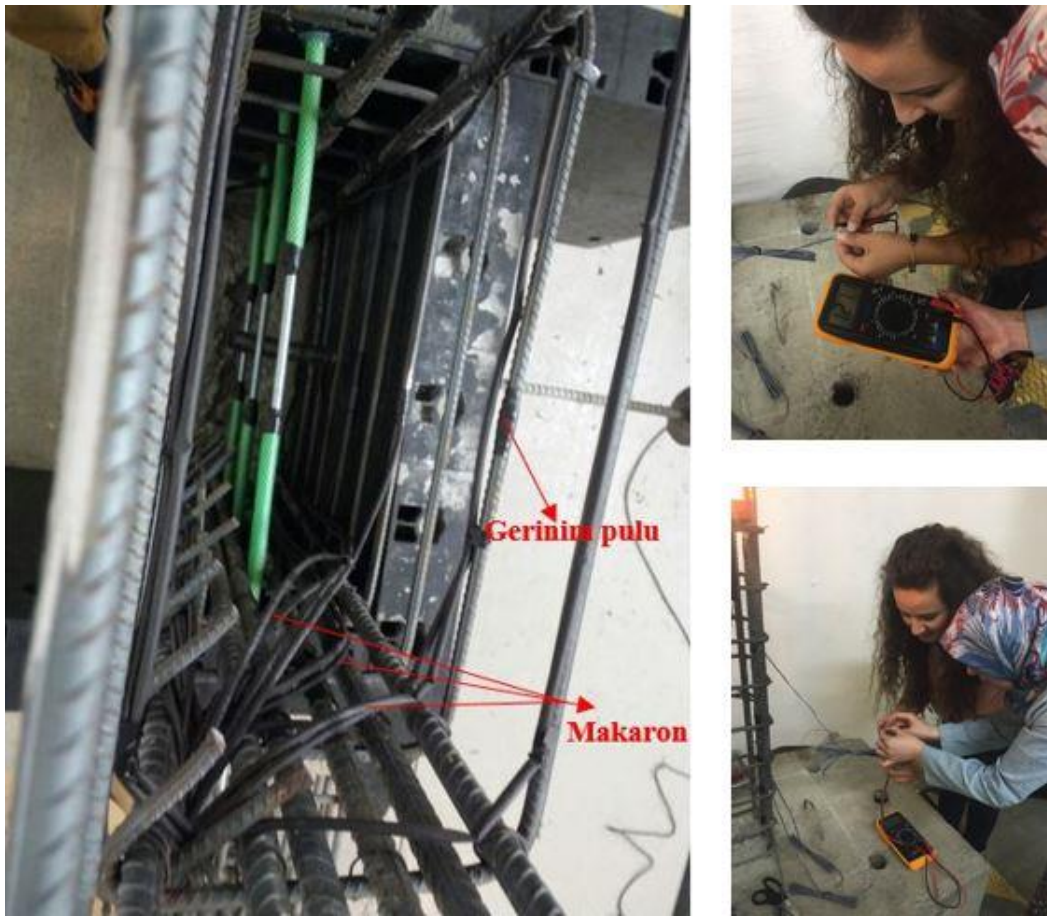
Deney sisteminde kuvvet ve/veya yer değiştirme kontrollü statik benzeri yükleme, güçlü duvar üzerine mesnetlenen hidrolik bir kriko ile uygulanmaktadır. Hem güçlü duvar, hem de deney numunesine mafsallı olarak bağlı olan bu kriko ± 500 kN yük ve ± 25 cm yer değiştirme kapasitesine sahiptir (Bkz Şekil 2.12).



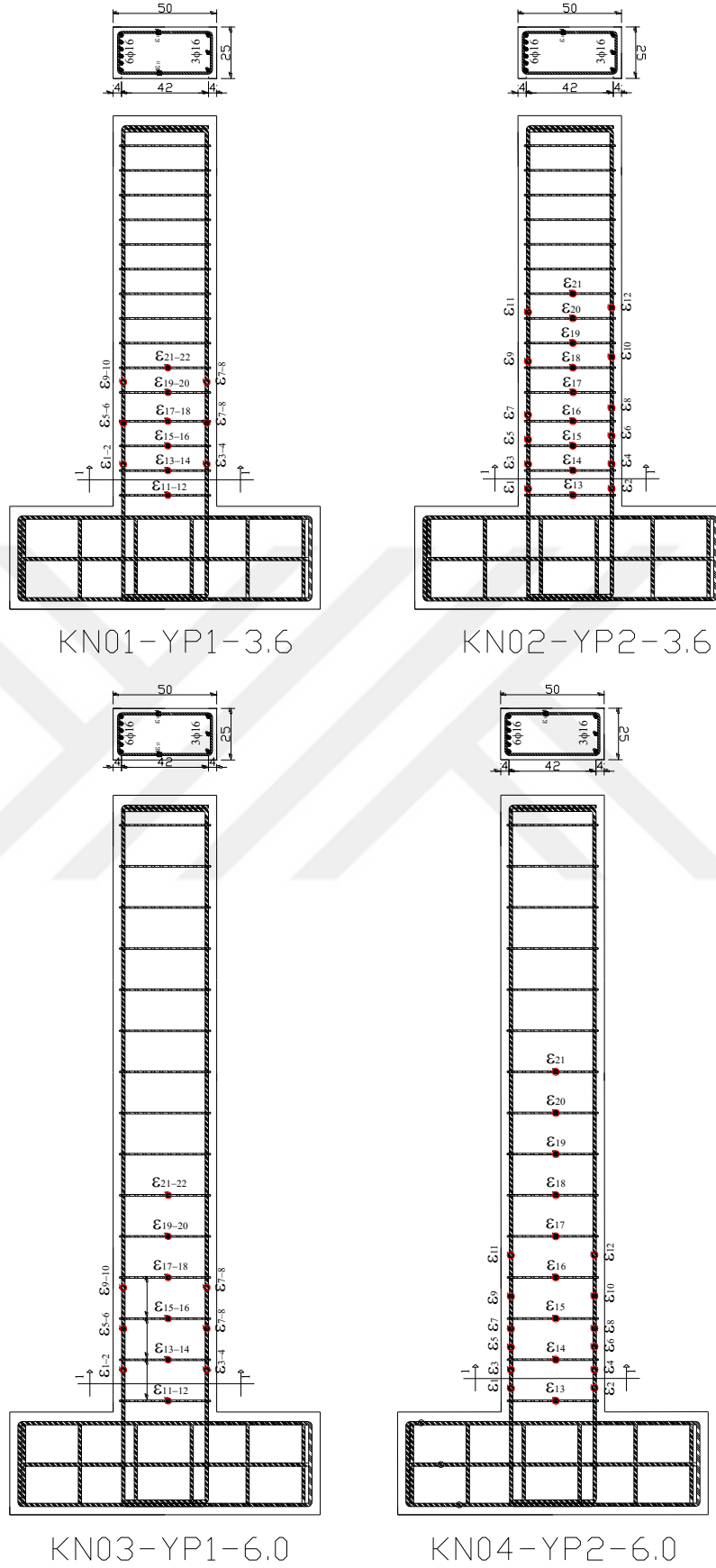
Şekil 2.12: Hidrolik krikonun sabitlenmesi

2.2.1 Gerinim pulları ve LVDT konum ve montajı

Deneyleerde boyuna ve enine donatılardaki birim Şekil değiştirmelerin ölçülmesi amacıyla kiriş mesnet bölgesine birim Şekil değiştirme ölçerler yerleŐtirilmiŐtir. Şekil değiştirme ölçerlerden daha yüksek performans alınması amacıyla her bir Şekil değiştirme ölçer kablosu makaron içine alınmıştır. Ayrıca gerinim pullarının donatıya yapıŐtırılmasının ardından her biri voltmetre ile test edilip, tamamının çalıŐtıęından emin olunmuŐtur (Bkz Şekil 2.13). Şekil 2.14’de birim Şekil değiştirme ölçen gerinim pullarının kiriş numuneleri üzerindeki konumları gösterilmiştir.

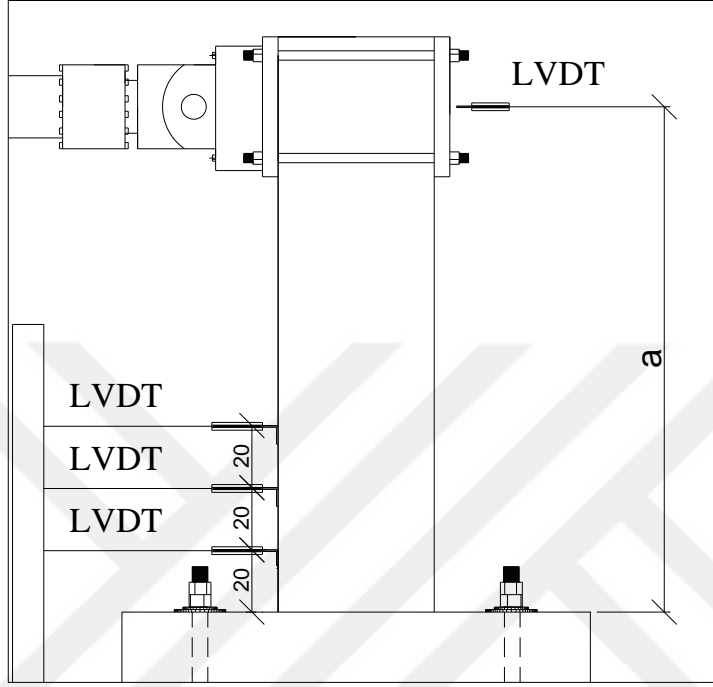


Şekil 2.13: Gerinim pulları montajı ve kontrolü



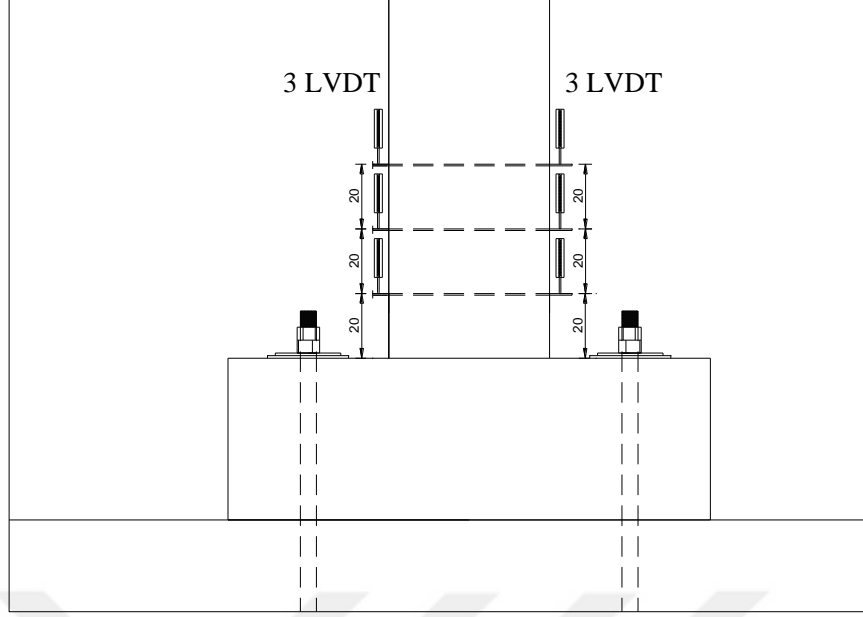
Şekil 2.14: Birim şekil değiştirme ölçerlerin konumları

Konsol deney numunelerinde meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi amacıyla harici potansiyometreler (LVDT) kullanılmıştır. Konsol numune boyunca 4 farklı noktadan ölçüm alan yatay konumdaki LVDT'lerin montaj şeması şekil 2.15'de gösterilmiştir.

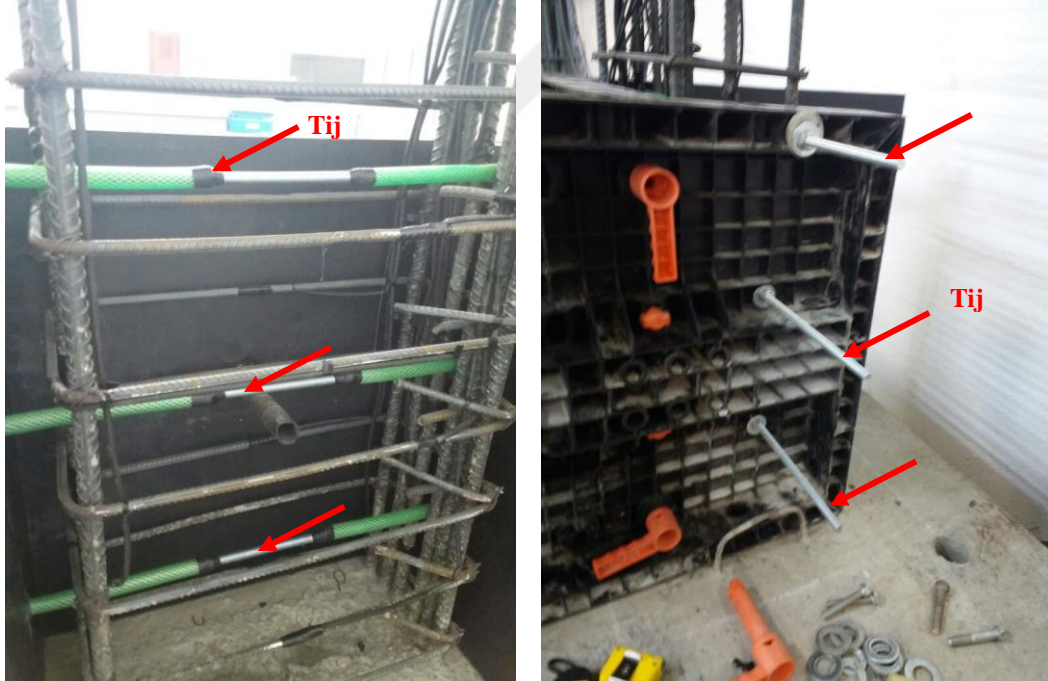


Şekil 2.15: Konsol numune boyunca yerleştirilen LVDT'lerin konumu

Deney numunelerinin potansiyel hasar bölgesi olan mesnet kesitlerinde basınç ve çekme bölgelerindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için 3 ayrı konumda yerleştirilen LVDT'lerin montaj şeması şekil 2.16'da, montaj için kullanılan tijlerin imalat detayları şekil 2.17'de gösterilmiştir. Tijlerin betonarme kiriş içerisinde donatı gibi çalışmasını önlemek amacıyla uç kısımları plastik borular ile muhafaza edilmiş, hareket etmesini engellemek amacıyla da orta kısmı serbest bırakılmıştır.



Şekil 2.16: Düşey doğrultuda yerleştirilen LVDT'lerin konumu



Şekil 2.17: LVDT yerleştirilmesinde kullanılan tijlerin montajı

2.2.2 Veri Toplayıcı

Deney düzeninde kullanılan tüm ölçüm ekipmanları (yük, yer değiştirme ve birim şekil değiştirme ölçerler) 30 kanallı ve 100 Hz'lik bir veri kaydediciye (Data Logger) bağlanmıştır (Bkz Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Veri toplayıcı bağlantıları

Deney sonunda veri kaydediciden alınan yük ve toplam yer değiştirmeler ile aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak, moment ve dönme değerleri hesaplanmıştır.

$$M = P \times a \quad (2.1)$$

$$\theta = \frac{\Delta}{a} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada;

M : Hesaplama anındaki moment

P : Hesaplama anındaki yük

a : Kiriş kesme açıklığı

θ : Dönme değeri (%)

Δ : Hesaplama anındaki tepe yer değiştirmesidir.

2.3 Yükleme Geçmişleri (Profilleri)

Deney programında yer değiştirme kontrollü ve yer değiştirme + yük kontrollü olarak uygulanan iki farklı yükleme geçmişi kullanılmıştır. Çalışmada, yer değiştirme kontrolüyle uygulanan yükleme geçmişine YP1, kuvvet ve yer

değiştirmenin birlikte kontrol edildiği yükleme geçmişine YP2 ismi verilmiştir. Sözü edilen yükleme profillerinin detayları aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

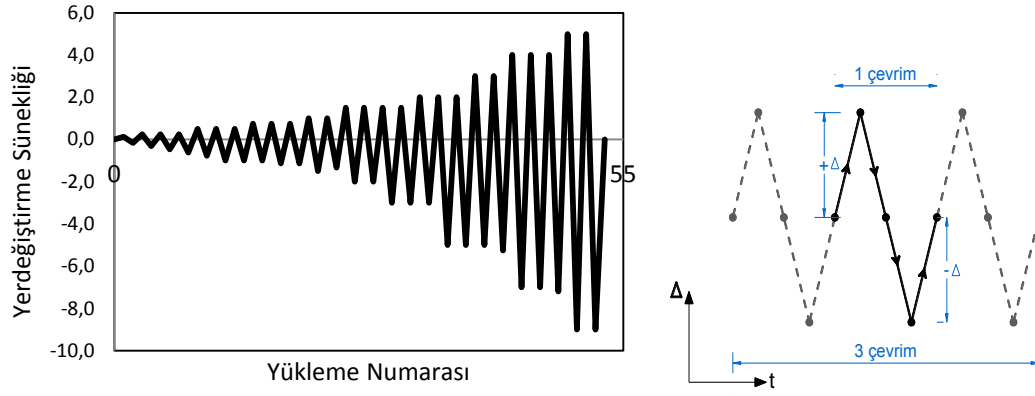
2.3.1 YP1 Yükleme profili

KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numunelerine yer değiştirme kontrollü olarak uygulanacak yükleme geçmişi YP1 ile numunelerin analitik akma yer değiştirmeleri yardımıyla bulunan nominal yer değiştirme süneklik oranları ($\mu_{\Delta} = \Delta / \Delta_y$) hedeflenmektedir. Yükleme profilini belirlemede esas alınan süneklik oranları 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 ve 7.0'dır. YP1 yüklemesinde, izelge 2.13'de hedef yer değiştirme değerleri görülen yükleme adımlarının her biri [34,35]'de verilen yükleme protokolüne uygun olacak şekilde 3 tekrarlı olarak uygulanmıştır.

Çizelge 2.13: YP1'de uygulanan hedef yer değiştirme değerleri

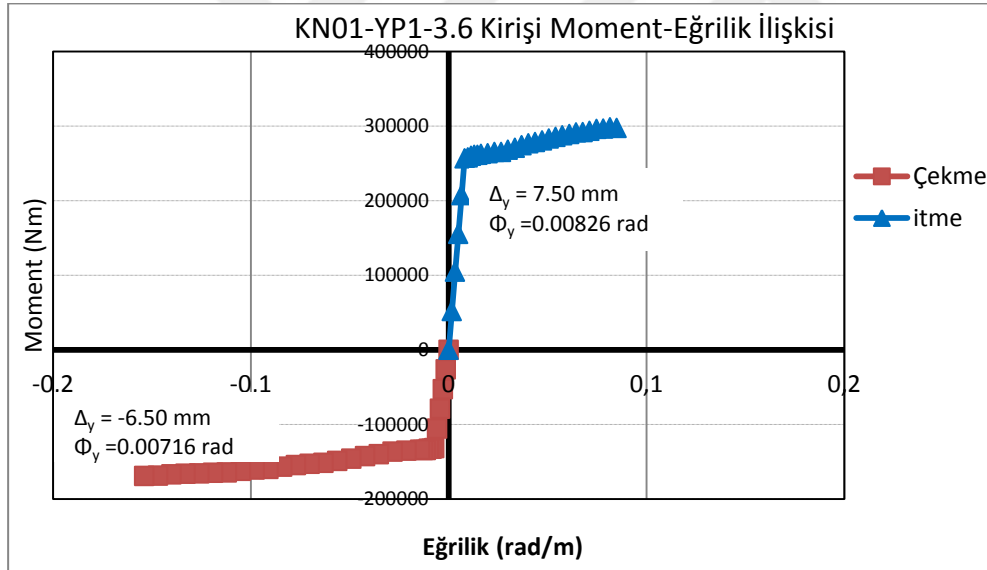
Δ/Δ_y	YP1 Uygulanan Deney Numunesi	
	KN01-YP1-3.6	KN03-YP1-6.0
	Δ (mm)	Δ (mm)
0.5	3.75	10.00
-0.5	-3.25	-9.00
1.0	7.50	20.00
-1.0	-6.50	-18.00
1.5	11.25	30.00
-1.5	-9.75	-27.00
2.0	15.00	40.00
-2.0	-13.00	-36.00
3.0	22.50	60.00
-3.0	-19.50	-54.00
4.0	30.00	80.00
-4.0	-26.00	-72.00
5.0	37.50	100.00
-5.0	-32.50	-90.00
6.0	45.00	120.00
-6.0	-39.00	-108.00
7.0	52.50	140.00
-7.0	-45.50	-126.00

şekil 2.19'da görüldüğü gibi YP1'de; kesitin boyuna donatı düzeninin simetrik olmamasından kaynaklı olarak, yer değiştirme geçmişi simetrik olmasa da, her bir çevrim sonrası başlangıç noktasına yakın bir konuma dönülmektedir.

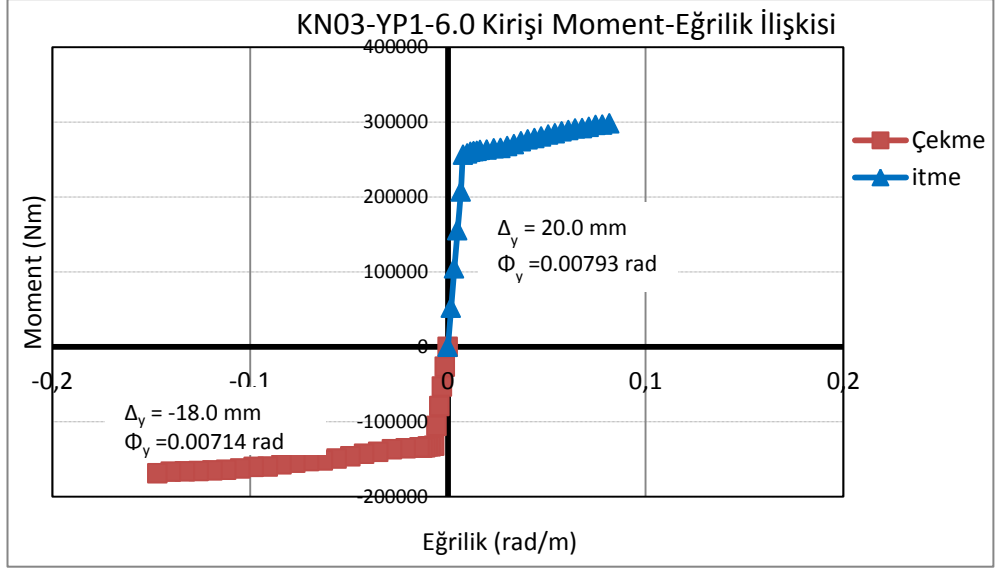


Şekil 2.19: YP1 yükleme geçmişi

Deney numunelerinin akma yer değiştirmeleri, moment-eğrilik ilişkisi ile belirlenen akma eğriliği yardımıyla hesaplanmıştır. KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numaralı numunelerin analitik moment-eğrilik ilişkileri ve bu ilişkilerle belirlenen analitik akma eğriliği ve yer değiştirmeler Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2.20: KN01-YP1-3.6 numunesinde akma eğriliği ve yer değiştirmelerin belirlenmesi



Şekil 2.21: KN03-YP1-6.0 numunesinde akma eğriliği ve yer değiştirmelerin belirlenmesi

2.3.2 YP2 Yükleme profili

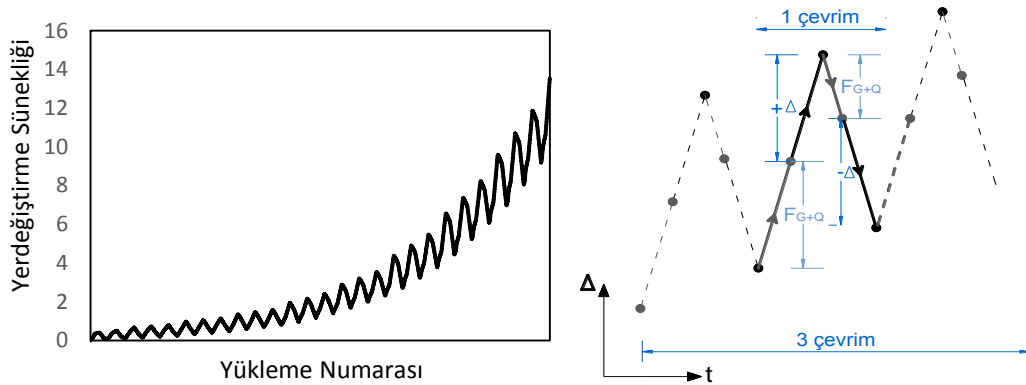
Bu yükleme profili yük ve yer değiştirme kontrollü olarak tasarlanmıştır. KN02-YP2-3.6 ve KN04-YP2-6.0 numunelerine uygulanan bu yükleme profilinde belirgin düşey yük etkisinin de dikkate alınması amaçlanmıştır [15]. Çizelge 2.14’de hedef yer değiştirme ve kuvvet değerleri verilen YP2 yüklemesi; düşey yük etkilerinden başlayarak genliği giderek artan, tersinir çevrimsel yer değiştirme adımlarının uygulanması esasına dayanmaktadır. Karşılaştırılmalı bir sonuca ulaşmak için belirgin mertebede olması istenen düşey yük (F_{G+Q}); hesaplanan ve kesiti akma durumuna getiren yükün yarısı ($F_y/2$) olarak kabul edilmiştir [15].

YP2 profilinin uygulama adımları bir çevrim için sırasıyla: **i)** Düşey yükün, kuvvet kontrollü olarak uygulanması, **ii)** Hedeflenen ilk adım deplasmanının, yer değiştirme kontrollü olarak etki ettirilmesi, **iii)** Uygulanan düşey yükün boşaltılması, **iv)** Son olarak negatif deplasmanın uygulanması adımlarını takip etmiştir. YP2 yükleme profilinde, YP1’e benzer şekilde yükleme profilini belirlemede esas alınan süneklik oranları 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 ve 7.0’dır (Bkz. Çizelge 2.14).

Çizelge 2.14: YP2’de uygulanan hedef yer değiştirme ve kuvvet değerleri

Δ/Δ_y	YP2 Uygulanan Deney Numunesi			
	KN02-YP2-3.6		KN04-YP2-6.0	
	F_{G+Q}/F_y	Δ (mm)	F_{G+Q}/F_y	Δ (mm)
0.5	0.5	3.75	0.5	10.00
-0.5	0.5	-3.25	0.5	-9.00
1.0	0.5	7.50	0.5	20.00
-1.0	0.5	-6.50	0.5	-18.00
1.5	0.5	11.25	0.5	30.00
-1.5	0.5	-9.75	0.5	-27.00
2.0	0.5	15.00	0.5	40.00
-2.0	0.5	-13.00	0.5	-36.00
3.0	0.5	22.50	0.5	60.00
-3.0	0.5	-19.50	0.5	-54.00
4.0	0.5	30.00	0.5	80.00
-4.0	0.5	-26.00	0.5	-72.00
5.0	0.5	37.50	0.5	100.00
-5.0	0.5	-32.50	0.5	-90.00
6.0	0.5	45.00	0.5	120.00
-6.0	0.5	-39.00	0.5	-108.00
7.0	0.5	52.50	0.5	140.00
-7.0	0.5	-45.50	0.5	-126.00

Deney sırasında düşey yükün yüklenmesi her çevrimsel döngü için başlangıç noktasının farklı olmasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle; başlangıç noktasına yer değiştirme kontrolü ile değil, yük kontrolü ile ulaşılmaya çalışıldığından, yer değiştirme geçmişi simetrik değildir (Bkz. Şekil 2.22).



Şekil 2.22: YP2 yükleme geçmişi

3 DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada düşey yük etkisini içeren ve içermeyen türdeki yükleme profilleri uygulanan deney numunelerinin davranışları arasında gözlenen farklılıklar ilerleyen bölümlerde özetlenmiştir.

3.1 Hasar Durumları

Deneysel incelemede gözlenen ve/veya ölçülen çeşitli sınır durumlar, “hasar sınır durumları” ile ilişkilendirilebilir. Bu ilişki deprem sonrası betonarme bir elemandaki hasar oluşumunu yaklaşık olarak betimlemede kullanılabilir. Çalışmada gözlenen sınır durumlar; kirişte ilk çatlama, boyuna donatıda akma, kabuk betonda ezilme başlangıcı, kabuk betonda belirgin ezilme, boyuna donatıda burkulma, sargılı betonda ezilme ve boyuna donatıda kopma olarak isimlendirilmiştir. Gözlenen hasar durumlarıyla, çeşitli hasar sınır durumları arasındaki ilişki Çizelge 3.1’de verilmiştir [27].

Çizelge 3.1: Gözlenen sınır durumlar ve hasar sınır durumları arasındaki ilişki (ATC-38)

<u>Hasar Sınır Durumu</u>	<u>Hasar Göstergesi</u>
A Hasarsız Durum	- Belirsiz çatlak
B Sınırlı Hasar Durumu	- Kabuk betonda sınırlı ezilme - Sınırlı çatlak
C Belirgin Hasar Durumu	- Kabuk betonda belirgin ezilme - Boyuna donatıda burkulma
D Ağır Hasar Durumu	- Boyuna donatıda kopma - Sargılı betonda ezilme

Yapılan deneysel çalışmada; iki farklı a/d oranına sahip deney numunelerine uygulanan iki farklı çevrimsel yükleme sonucunda her bir deney numunesinde gözlenen hasar durumları aşağıda açıklanmıştır.

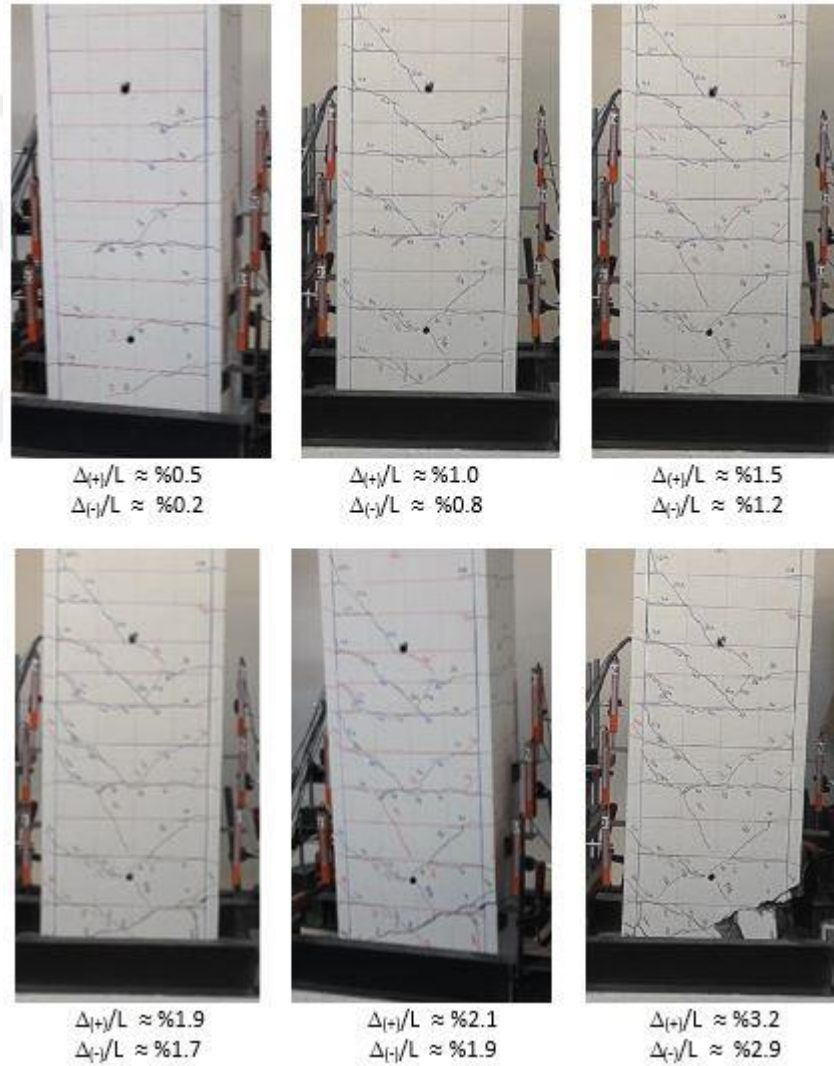
3.1.1 KN01-YP1-3.6

KN01-YP1-3.6 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2: KN01-YP1-3.6 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri			Yer değiştirme Ölçümleri		
<u>P (kN)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>	<u>Δ (mm)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>
Çatlama Yüğü	: 73.1	-25.3	Çatlama Yer değiştirmesi	: 7.8	-3.4
Akma Yüğü	: 129.8	-75.2	Akma Yer değiştirmesi	: 15.3	-5.2
Maksimum Yüğü	: 156.0	-86.5	Maksimum Yer değiştirme:	56.0	-47.6
Yükleme Geçmişi Türü : Yer değiştirme kontrollü yükleme - YP1					
Göçme Türü : Eğilme kırılması					
Hasar No	Yükleme No	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)		
1	1b ⁽²⁾	-Çekme bölgesi kesitte ilk çatlama	-0.25		
	7a ⁽¹⁾	-Basınç bölgesi kesitte ilk çatlama	0.50		
2	12b	-Çekme bölgesi boyuna donatıda akma	-0.35		
	15a	-Basınç Bölgesi boyuna donatıda akma	1.00		
3	22a	-Basınç bölgesi kabuk betonda ezilme başlangıcı	1.95		
	25b	-Çekme bölgesi kabuk betonda ezilme başlangıcı	-2.09		
4	23a	-Basınç bölgesi kabuk betonda belirgin hasar	2.15		
	27b	-Çekme bölgesi kabuk betonda belirgin hasar	-2.25		
5	24a	-Basınç bölgesi boyuna donatıda burkulma	3.20		
6	31b	-Çekme bölgesi boyuna donatı kopma	-2.90		
(1) a: Pozitif yönde yer değiştirme yüklemesi (itme)					
(2) b: Negatif yönde yer değiştirme yüklemesi (çekme)					

Şekil 3.1’de hasar fotoğrafları görülen KN01-YP1-3.6’da ilk hasar; 1. çekme adımında boyuna donatı oranının az olduğu kiriş yüzünden kiriş ortalarına doğru ilerleyen numune eksenine dik doğrultuda oluşan eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. Bu eğilme çatlakları takip eden çekme adımlarında kiriş en kesiti boyunca ilerlemiş ve sayıları artmıştır. Genliği giderek artan çevrimsel yükleme sonucunda; pozitif yönde %1 dönme değerine ulaşıldığında boyuna donatılarda akma gözlenmiş, bu durum eğilme rijitliğinde azalmaya neden olmuştur. Donatı akma hasar durumuna yaklaşıldığında numunenin her iki tarafında eğik çekme çatlakları gözlenmiştir.



Şekil 3.1: KN01-YP1-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri

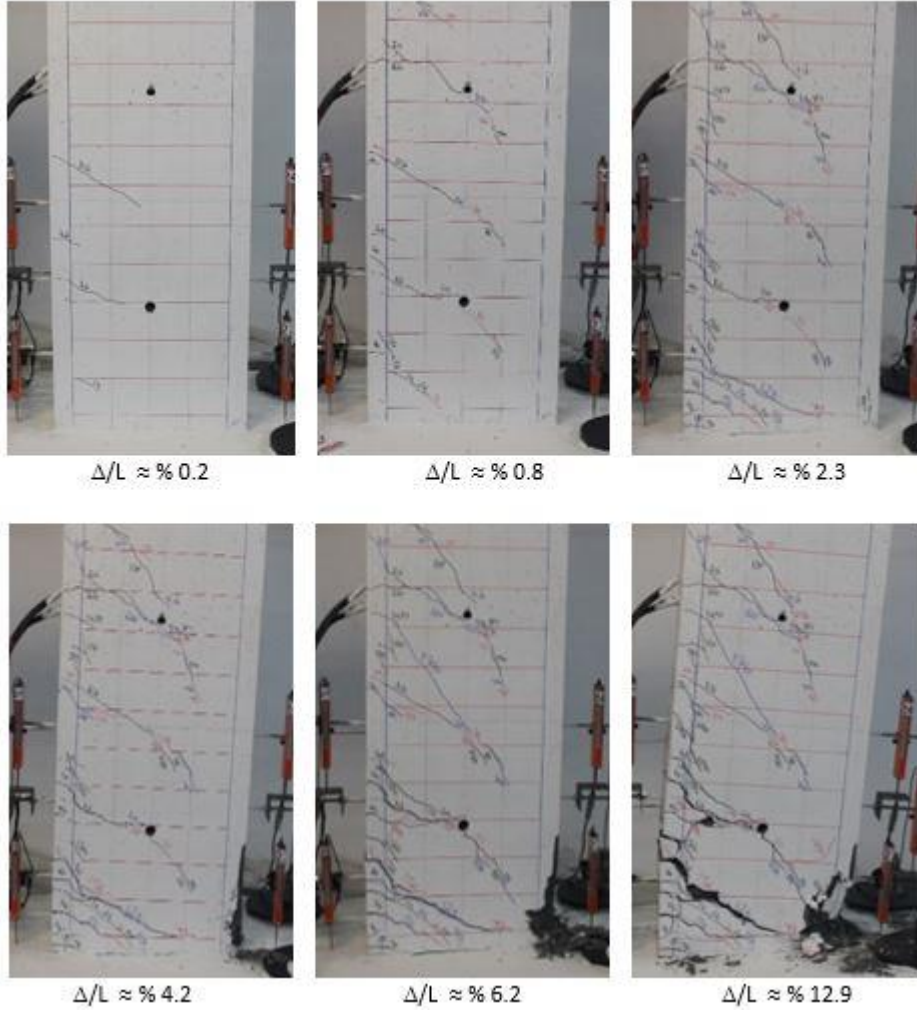
Donatı akmasının gerçekleşmesinin ardından numune üzerinde sırasıyla; kabuk betonda ezilme başlangıcı, boyuna donatıda burkulma, belirgin kabuk beton ezilmesi ve son olarak çekme bölgesi boyunca donatılarında kopma hasarları

Çizelge 3.3: KN02-YP2-3.6 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri			Yer değiştirme Ölçümleri		
<u>P (kN)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>	<u>Δ (mm)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>
Çatlama Yüğü	: 75.0	0.0	Çatlama Yer değıştirmesi	: 3.8	0.0
Akma Yüğü	: 130.0	0.0	Akma Yer değıştirmesi	: 12.5	0.0
Maksimum Yüğü	: 172.7	-34.3	Maksimum Yer değıştirme	: 219.2	0.0
Yükleme Geçmiş Türü : Yük + Yer değıştirme kontrollü yükleme - YP2 Göçme Türü : Eğilme kırılması					
Hasar No	Yükleme No	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)		
1	1a ⁽¹⁾	-Kesitte ilk çatlama	0.21		
2	5b ⁽²⁾	-Boyuna donatıda akma	0.80		
3	14b	-Boyuna donatıda belirgin akma	2.30		
4	18b	-Kabuk betonda ezilme başlangıcı	4.22		
5	-21b ⁽⁴⁾	-Kabuk betonda belirgin hasar	6.24		
6	27b	-Boyuna donatıda burkulma	12.89		
(1) a: Düşey yük yüklemesi (2) b: Pozitif yönde yer değıştirme yüklemesi (itme) (3) -a: Düşey yükün kuvvet kontrollü boşaltılması (4) -b: Negatif yönde yer değıştirme yüklemesi (çekme)					

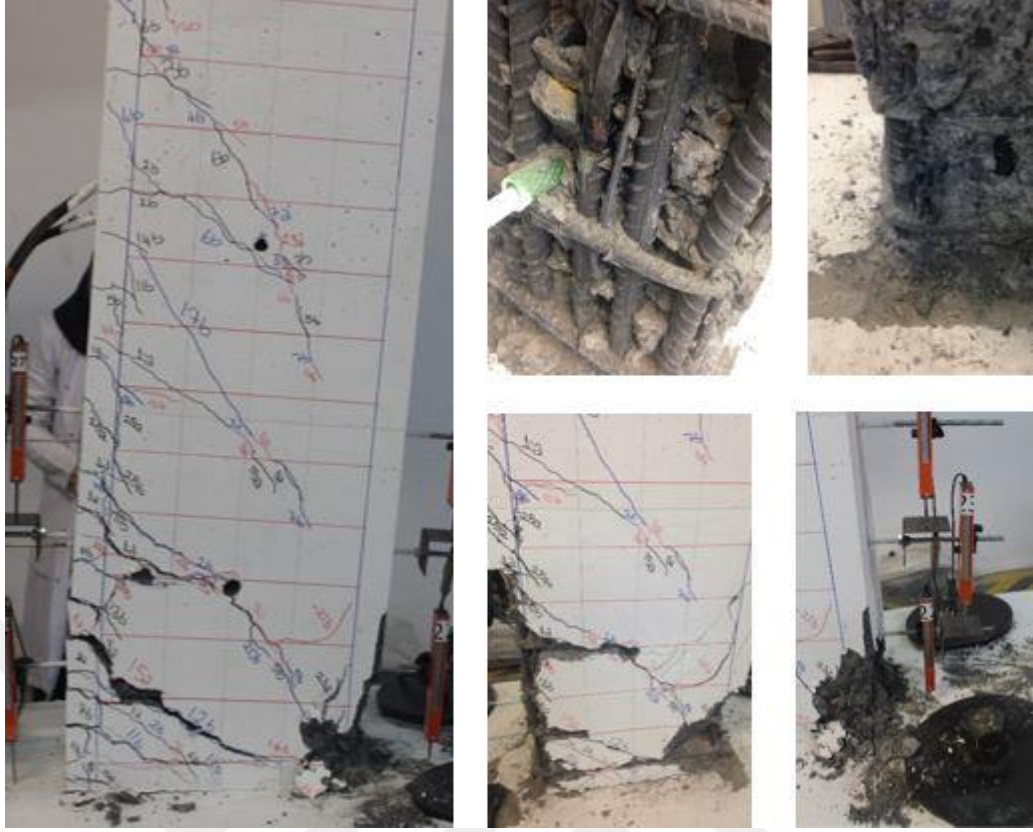
Yükleme çevrimlerinin genliklerinin giderek artması sonucunda %0.8 dönme değerine ulaşıldığında boyuna donatıda ilk akma gözlenmiş, bu durum eğilme rijitliğinde azalmaya neden olmuştur. Belirgin akmanın görüldüğü 14. itme adımında dönme değeri %2.3 olarak belirlenmiştir. Eğilme çatlağı görülmeyen boyuna donatı oranının düşük olduğu kiriş yüzünde 18. itme adımında kabuk betonda ezilme başlamış, bu andaki dönme değerinin %4.2 olduğu tespit edilmiştir. Belirgin örtü beton ezilmesi donatı oranı düşük olan kiriş yüzünde 21. itme adımında gerçekleşmiş, bu durumdaki dönme değeri %6.2'ye erişmiştir. Belirgin örtü beton ezilmesi gerçekleştikten sonra da çevrimsel

yüklemeye devam edilmiş, 27. itme adımında dönme değeri %12.9 değerine ulaştığında boyuna donatıda burkulma tespit edilmiştir.



Şekil 3.3: KN02-YP2-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri

Numunede, çekme donatısı oranı düşük olan kiriş yüzündeki boyuna donatıların, test sonuna kadar elastik bölgede kaldığı, basınç bölgesinin kademeli olarak zayıfladığı ve basınç bölgesindeki boyuna donatılardaki burkulma nedeniyle göçme olduğu gözlemlenmiştir. Deney 27. yükleme adımdan sonra aşırı deformasyon nedeniyle sonlandırılmıştır. Numunenin göçme sonrası durumu Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4: KN02-YP2-3.6 deney sonu hasar durumu

3.1.3 KN03-YP1-6.0

Şekil 3.5’de hasar fotoğrafları görülün KN03-YP1-6.0’da ilk hasar; 2. itme adımında boyuna donatı oranının fazla olduğu kiriş yüzünden kiriş ortalarına doğru ilerleyen numune eksenine dik doğrultuda oluşan eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. 3. itme adımından itibaren bu eğilme çatlakları her iki kiriş yüzünden kiriş en kesiti boyunca ilerlemiş, yer yer kiriş ortasında birleşmiştir.

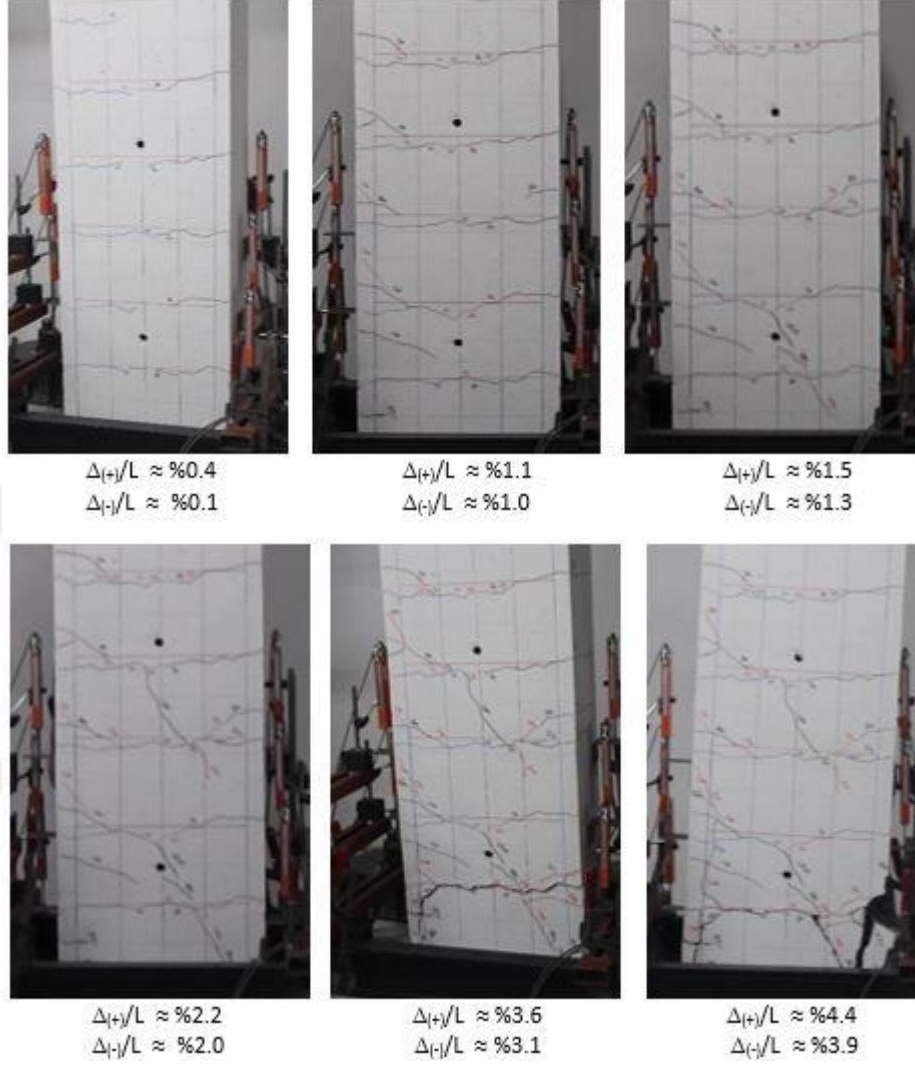
KN03-YP1-6.0 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4: KN03-YP1-6.0 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri			Yerdeğiştirme Ölçümleri		
<u>P (kN)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>	<u>Δ (mm)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>
Çatlama Yüğü	: 46.4	-15.6	Çatlama Yer değiştirmesi	: 9.9	-2.4
Akma Yüğü	: 75.1	-40.8	Akma Yer değiştirmesi	: 18.7	-14.5
Maksimum Yüğü	: 87.2	-56.4	Maksimum Yer değiştirme	: 120.0	-108.0
Yükleme Geçmişi Türü : Yer değiştirme kontrollü yükleme - YP1					
Göçme Türü : Eğilme kırılması					
Hasar No	Yükleme No	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)		
1	2a ⁽¹⁾	-Basınç bölgesi kesitte ilk çatlama	0.35		
	3b ⁽²⁾	-Çekme bölgesi kesitte ilk çatlama	-0.10		
2	9b	-Çekme bölgesi boyuna donatıda akma	-0.56		
	12a	-Basınç Bölgesi boyuna donatıda akma	1.10		
3	16a	-Basınç bölgesi kabuk betonda ezilme başlangıcı	1.54		
	18b	-Çekme bölgesi kabuk betonda ezilme başlangıcı	-3.10		
4	18a	-Basınç bölgesi kabuk betonda belirgin hasar	3.61		
5	19a	-Basınç bölgesi boyuna donatıda burkulma	4.40		
6	27b	-Çekme bölgesi boyuna donatı kopma	-3.90		
(1) a: Pozitif yönde yer değiştirme (itme)					
(2) b: Negatif yönde yer değiştirme (çekme)					

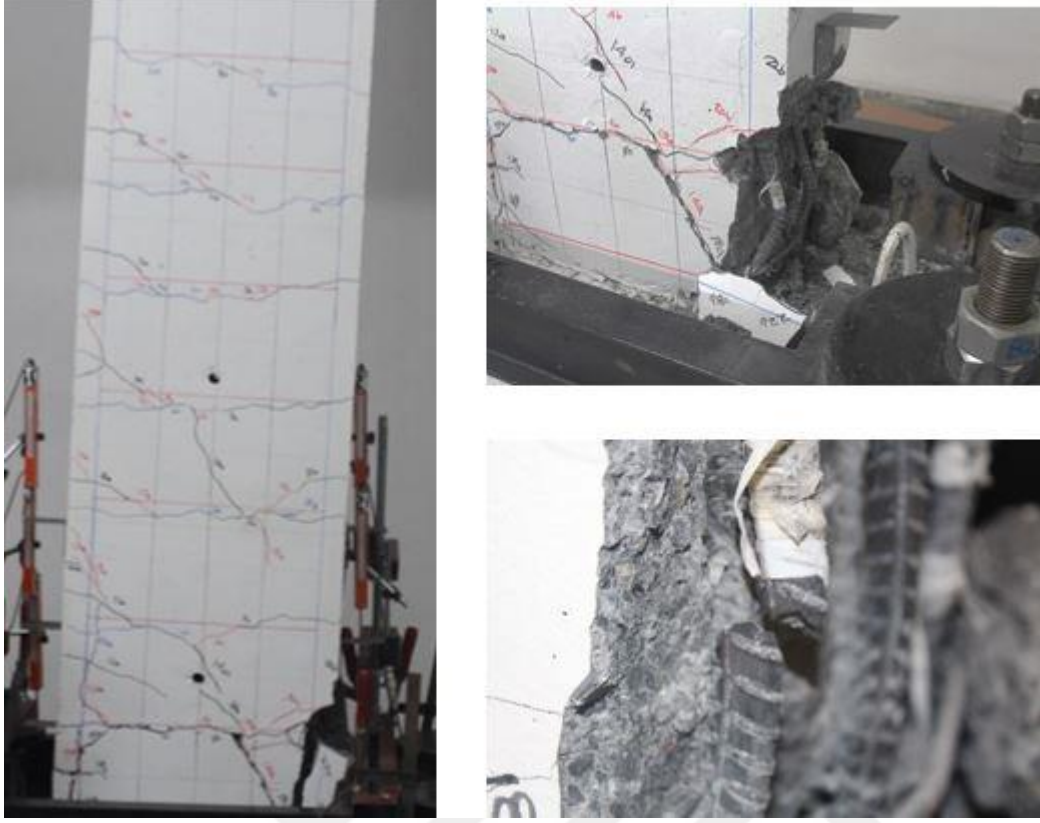
Genliği giderek artan çevrimsel yüklemeye sonucunda boyuna donatıda ilk akma gözlemlendiğinde, pozitif yönde %1.1 dönme değerine ulaşılmış, bu durum eğilme rijitliğinde azalmaya neden olmuştur. Bu yüklemeye sonrasında kesitte diagonal çatlaklar artmaya başlamıştır. Basınç bölgesinde kabuk betonda ezilme başladığında dönme değeri %1.54, kabuk betonda belirgin hasar oluştuğunda dönme değeri %3.61 olarak belirlenmiştir. Basınç bölgesinde boyuna

donatılarda burkulma oluştuğunda dönme değeri %4.40' e ulaşmış ve son olarak çekme bölgesinde boyuna donatı koptuğunda dönme değeri %3.9 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5: KN03-YP1-6.0 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri

Deney esnasında sırasıyla, kesitte her iki yönde çatlama, boyuna donatıda akma, kabuk betonda ezilme, boyuna donatıda burkulma, son olarak da boyuna donatıda kopma hasarları gözlenmiştir. Numunenin göçme sonrası durumu Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6: KN03-YP1-6.0 deney sonu hasar durumu

3.1.4 KN04-YP2-6.0

Şekil 3.7’de hasar fotoğrafları görülen KN04-YP2-6.0’da ilk hasar; KN02-YP2-3.6 numunesinde olduğu gibi düşey yükün yüklendiği ilk adımda, boyuna donatı oranının yüksek olduğu kiriş yüzünden kiriş ortalarına doğru ilerleyen numune eksenine dik doğrultuda oluşan eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. Bu eğilme çatlakları itme adımlarında genlik arttıkça kiriş yüzünde kiriş en kesiti boyunca ilerlemiş, sayıları ve genişlikleri artmıştır. Deney sonuna kadar donatı oranı düşük olan kiriş yüzünde ve bu yüzden kiriş ortalarına doğru eğilme çatlakları oluşmamıştır.

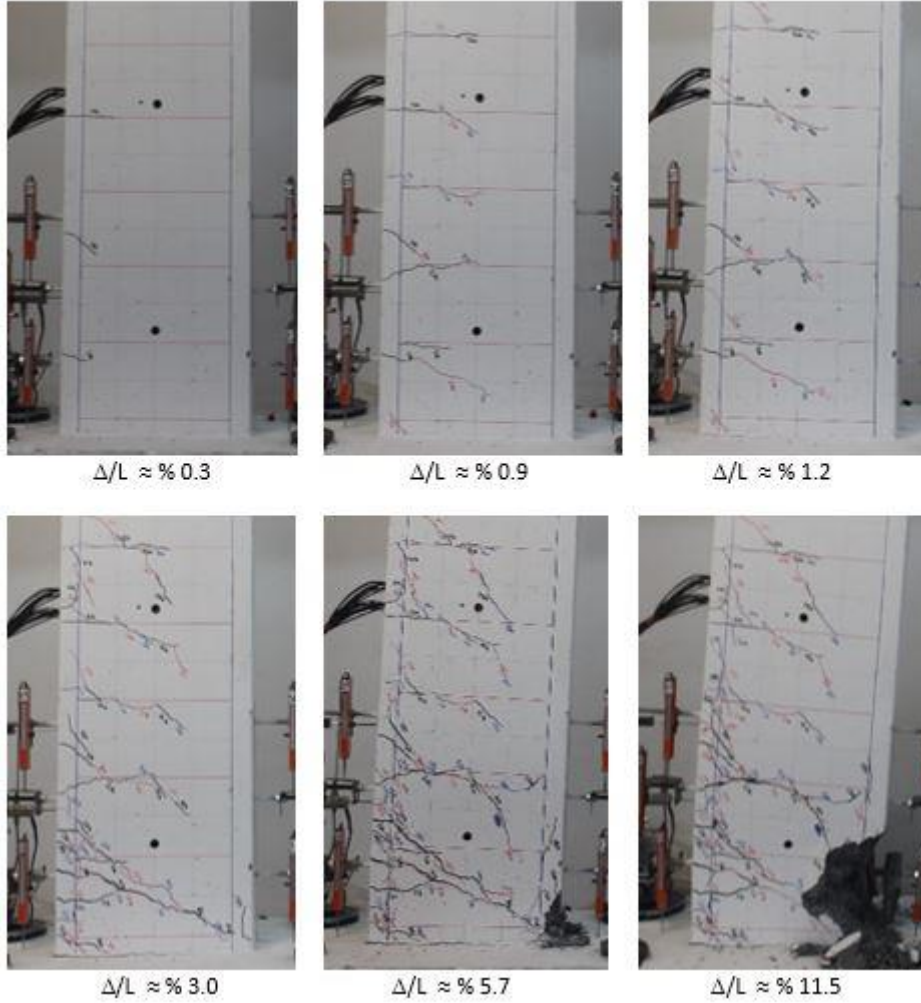
KN04-YP2-6.0 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5: KN04-YP2-6.0 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri			Yerdeğiştirme Ölçümleri		
<u>P (kN)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>	<u>Δ (mm)</u>	<u>İtme</u>	<u>Çekme</u>
Çatlama Yüğü	: 38.1	0.0	Çatlama Yer değiştirmesi	: 8.9	0.0
Akma Yüğü	: 75.0	0.0	Akma Yer değiştirmesi	: 21.2	0.0
Maksimum Yüğü	: 97.3	-29.3	Maksimum Yer değiştirme	: 353.5	0.0
Yükleme Geçmişi Türü : Yüğü + Yer değiştirme kontrollü yükleme - YP2 Göçme Türü : Eğilme kırılması					
Hasar No	Yükleme No	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)		
1	1a ⁽¹⁾	-Kesitte ilk çatlama	0.30		
2	3b ⁽²⁾	-Boyuna donatıda akma	0.90		
3	6b	-Boyuna donatıda belirgin akma	1.20		
4	14b	-Kabuk betonda ezilme başlangıcı	3.00		
5	18b	-Kabuk betonda belirgin hasar	5.70		
6	23b	-Boyuna donatıda burkulma	11.50		
(1) a:Düşey yüğü yüklemesi (2) b:Pozitif yönde yer değiştirme yüklemesi (itme) (3) -a:Düşey yüğüün kuvvet kontrollü boşaltılması (4) -b:Negatif yönde yer değiştirme yüklemesi (çekme)					

Yükleme çevrimlerinin genliklerinin giderek artması sonucunda %0.9 dönme değerine ulaşıldığında boyuna donatıda ilk akma gözlenmiş, bu durum eğilme rijitliğinde azalmaya neden olmuştur. Belirgin akmanın görüldüğü 6. itme adımında dönme değeri %1.2 olarak belirlenmiştir. Eğilme çatlağı görülmeyen boyuna donatı oranının düşük olduğu kiriş yüzünde 14. itme adımında kabuk

betonda ezilme oluşmuş, bu andaki dönme değerinin %3.0 olduğu tespit edilmiştir. Belirgin örtü beton ezilmesi donatı oranı düşük olan kiriş yüzeyinde 18. itme adımında gerçekleşmiş, bu durumdaki dönme değeri %5.7'ye erişmiştir. Belirgin örtü beton ezilmesi gerçekleştikten sonra da çevrimsel yüklemeye devam edilmiş, 23. itme adımında boyuna donatılarda burkulma oluşmuş, dönme değerinin %11.5'e ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.7: KN04-YP2-6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri

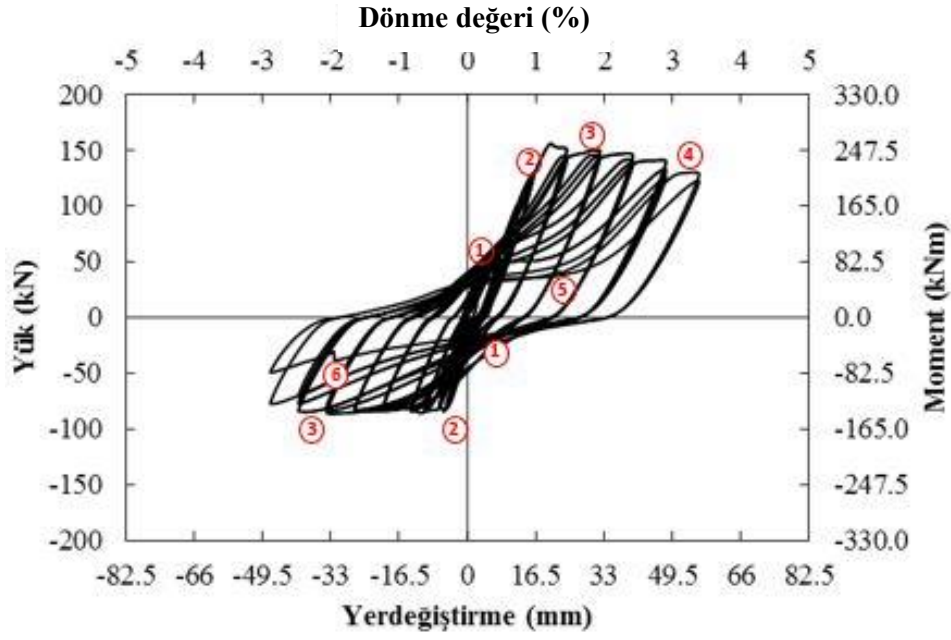
KN02-YP2-3.6 numunesinde olduğu gibi bu numunede de, donatı oranı düşük olan kiriş yüzündeki boyuna donatıların test sonuna kadar elastik bölgede kaldığı, basınç bölgesinin kademeli olarak zayıfladığı ve basınç bölgesindeki boyuna donatılardaki burkulma nedeniyle göçme olduğu gözlemlenmiştir. Deney 24. adımdan sonra aşırı deformasyon nedeniyle sonlandırılmıştır. Numunenin göçme sonrası durumu Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8: KN04-YP2-6.0 deney sonu hasar durumu

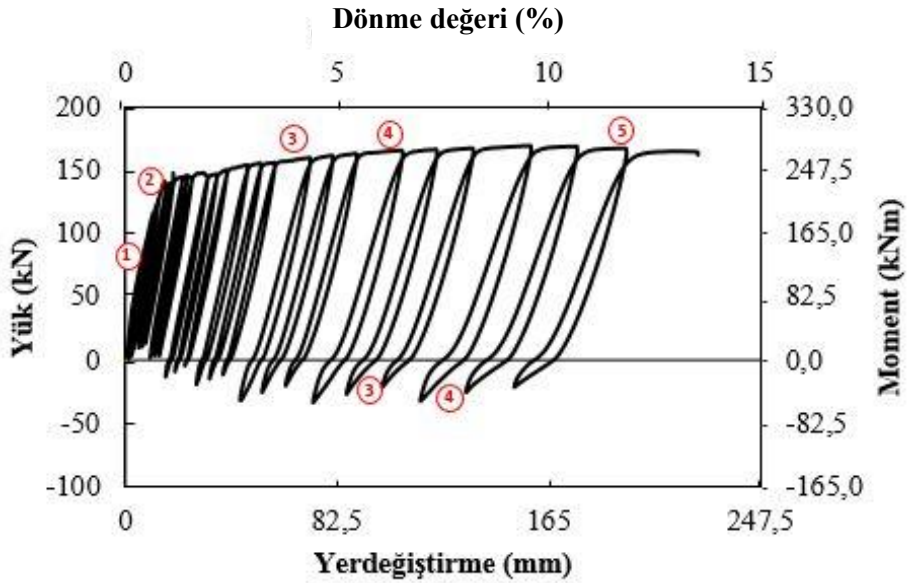
3.2 Yük-Yer değiştirme İlişkileri

Deney numunelerine konsol ucundan uygulanan yük ve bu noktada ölçülen yer değiştirme ilişkileri Şekil 3.9~Şekil 3.12’de verilen yük-yer değiştirme diyagramları üzerinde gösterilmiştir. Diyagram üzerindeki ikinci eksenlerde numunelerin mesnet momenti ve dönme ilişkileri de gösterilmiştir. Ayrıca deneysel hasar durumlarının yüklenme düzeyine göre değişiminin kolay izlenebilmesi amacıyla, numunelerde gözlenen ve/veya ölçülen çeşitli hasar durumları diyagram üzerinde işaretlenerek gösterilmiştir.



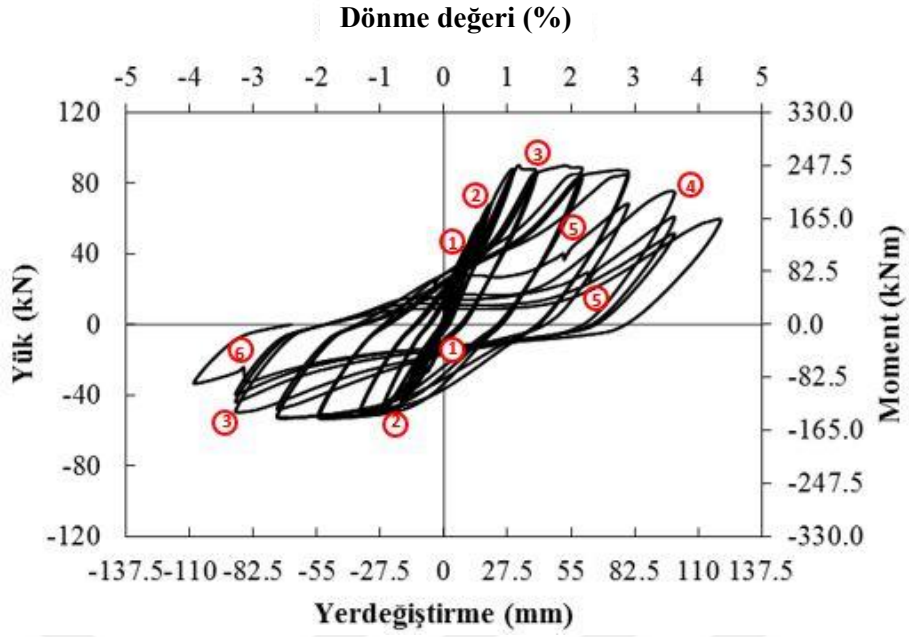
- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1: Kirişte ilk çatlama | 4: Kabuk betonda belirgin |
| 2: Boyuna donatıda akma | 5: Boyuna donatıda burkulma |
| 3 Kabuk betonda ezilme | 6: Boyuna donatıda kopma |

Şekil 3.9: KN01-YP1-3.6 numunesi için deneysel yük – yer değıştirme ilişkisi



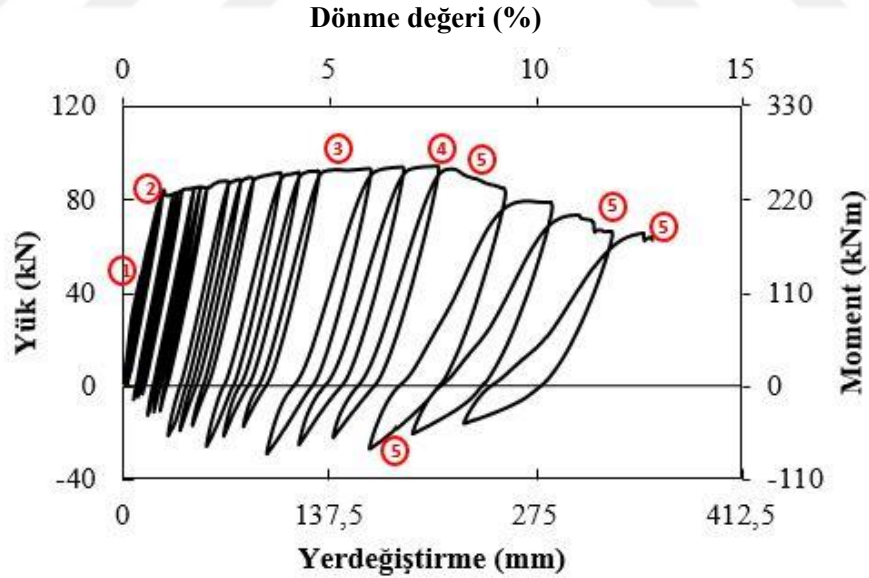
- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1: Kirişte ilk çatlama | 4: Kabuk betonda belirgin |
| 2: Boyuna donatıda akma | 5: Boyuna donatıda burkulma |
| 3 Kabuk betonda ezilme | |

Şekil 3.10: KN02-YP2-3.6 numunesi için deneysel yük – yer değıştirme ilişkisi



- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1: Kirişte ilk çatlama | 4: Kabuk betonda belirgin |
| 2: Boyuna donatıda akma | 5: Boyuna donatıda burkulma |
| 3: Kabuk betonda ezilme | 6: Boyuna donatıda kopma |

Şekil 3.11: KN03-YP1-6.0 numunesi için deneysel yük – yer değıştirme ilişkisi

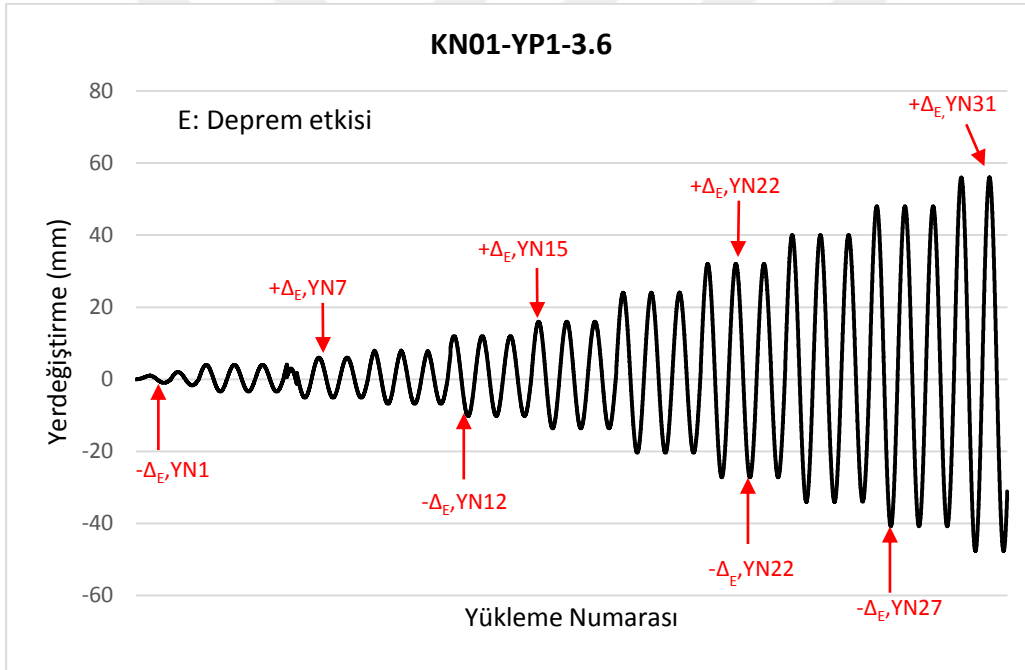


- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1: Kirişte ilk çatlama | 4: Kabuk betonda belirgin |
| 2: Boyuna donatıda akma | 5: Boyuna donatıda burkulma |
| 3: Kabuk betonda ezilme | |

Şekil 3.12: KN04-YP2-6.0 numunesi için deneysel yük – yer değıştirme ilişkisi

Deney numunelerine uygulanan YP1 ve YP2 tip yükleme geçmişleri, her bir deney numunesi için ayrı ayrı olmak üzere, Şekil 3.13 ~ Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

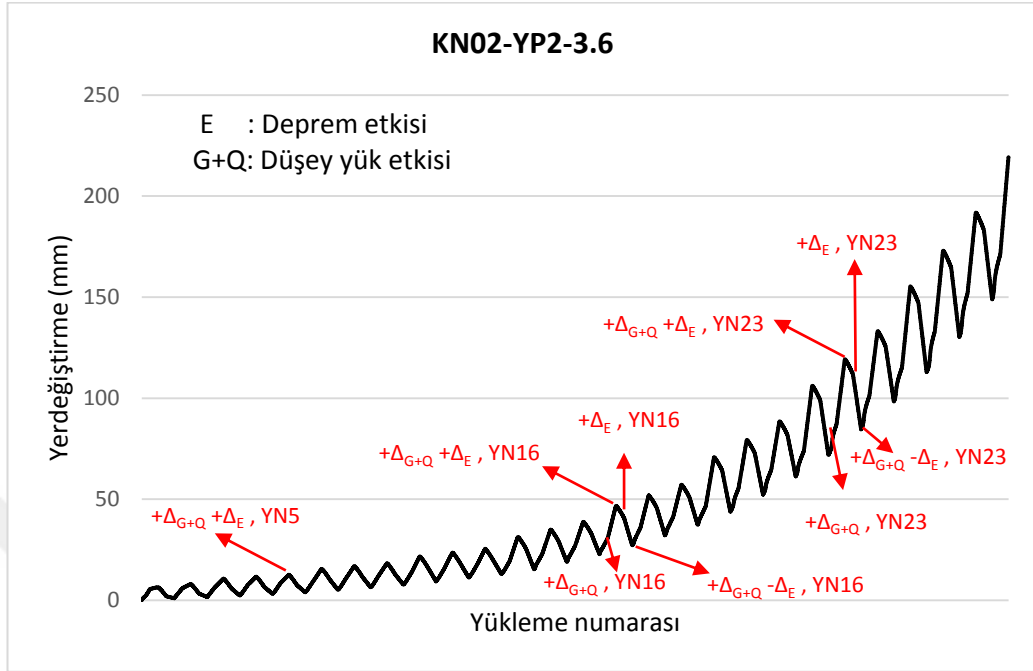
Şekil 3.13'de görülen ve KN01-YP1-3.6 numunesine yer değiştirme kontrollü olarak uygulanan çevrimsel yükleme geçmişinde numuneye uygulanan yer değiştirme, deprem etkisine (Δ_E) benzeştirilebilir. Deney numunesinde çekme bölgesi boyunca donatılarında meydana gelen kopma sonrasında deney sonlandırılmıştır. Deneyde itme doğrultusunda +56 mm, çekme doğrultusunda ise -47 mm olarak ölçülen maksimum tepe yer değiştirmeleri diyagram üzerinden de görülebilmektedir. Ayrıca sonuçların izlenebilirliğini kolaylaştırmak amacıyla çeşitli hasarların oluştuğu yükleme adımları şekil üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 3.13: KN01-YP1-3.6 deneysel yer değiştirme diyagramı

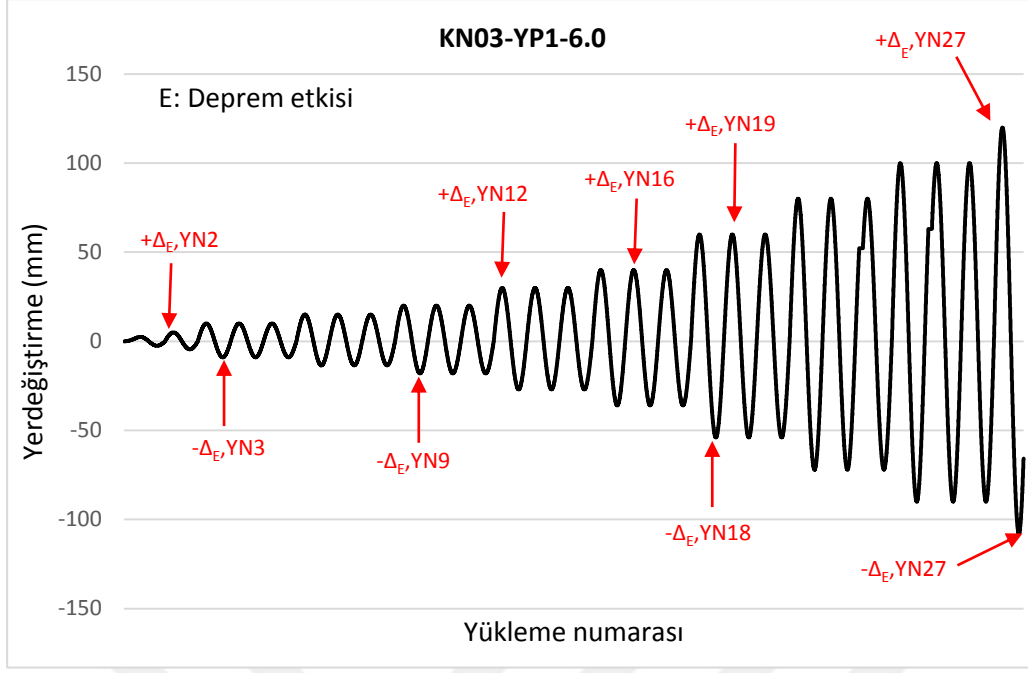
Şekil 3.14'de görülen ve KN02-YP2-3.6 numunesine yük ve yer değiştirme kontrollü etki ettirilen çevrimsel yükleme geçmişinde numuneye uygulanan yer değiştirme, deprem etkisi (Δ_E) ve düşey yük etkisine (Δ_{G+Q}) benzeştirilebilir. Boyuna donatılarda meydana gelen burkulmanın ardından oluşan aşırı deformasyon nedeniyle sonlandırılan deneyde itme doğrultusunda maksimum +219.2 mm olarak ölçülen tepe yer değiştirmesi diyagram üzerinden de

görülebilmektedir. Yükleme geçmişinin rahat görülebilmesi amacıyla bazı yükleme adımları (numaraları) diyagram üzerinde işaretlenmiştir.



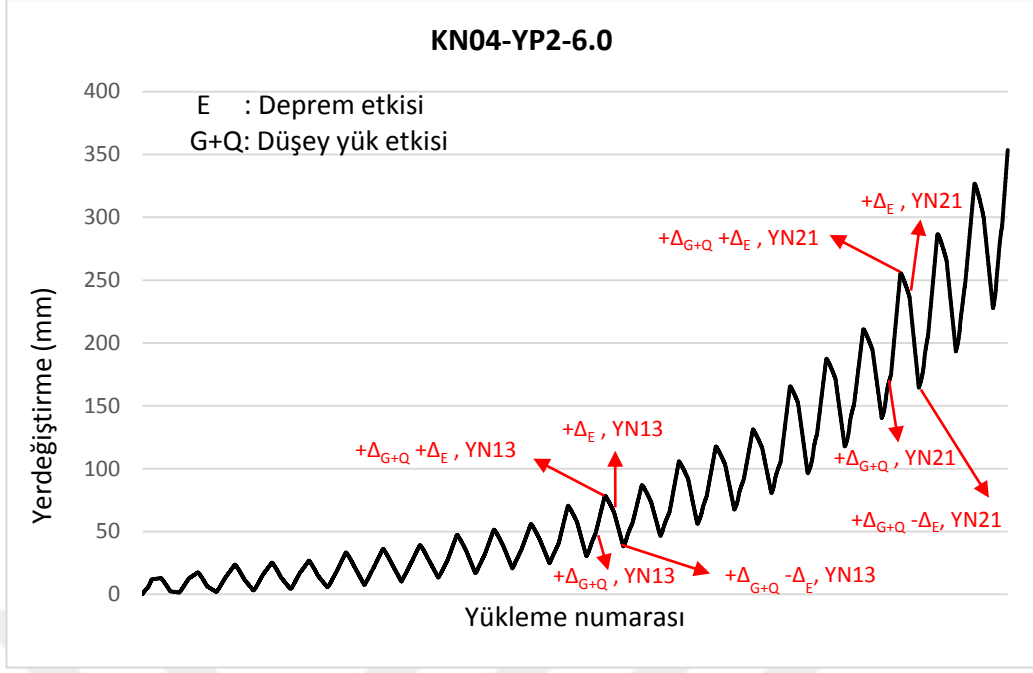
Şekil 3.14: KN02-YP2-3.6 deneysel yer değiştirme diyagramı

KN03-YP1-6.0 numunesine yer değiştirme kontrollü olarak etki ettirilen ve Şekil 3.15’de görülen çevrimsel yükleme geçmişinde numuneye uygulanan yer değiştirme, KN01-YP1-3.6 numunesinde olduğu gibi deprem etkisine (Δ_E) benzeştirilebilir. Deney, numunede çekme bölgesi boyunca donatılarında meydana gelen kopmanın ardından sonlandırılmıştır. Deneyde itme doğrultusunda +120 mm, çekme doğrultusunda -108 mm olarak ölçülen maksimum tepe yer değiştirmeleri diyagram üzerinden de görülebilmektedir. Ayrıca sonuçların izlenebilirliğini kolaylaştırmak amacıyla diyagram üzerinde çeşitli hasarların oluştuğu yükleme adımları (numaraları) işaretlenmiştir.



Şekil 3.15: KN03-YP1-6.0 deneysel yer değiştirme diyagramı

KN04-YP2-6.0 numunesine yük ve yer değiştirme kontrollü etki ettirilen çevrimsel yükleme geçmişinde numuneye uygulanan yer değiştirme, KN02-YP2-3.6 numunesinde olduğu gibi deprem etkisi (Δ_E) ve düşey yük etkisine (Δ_{G+Q}) benzeştirilebilir. Boyuna donatılarda meydana gelen burkulmanın ardından oluşan aşırı deformasyon nedeniyle sonlandırılan deneyde, itme doğrultusunda maksimum +353.5 mm olarak ölçülen tepe yer değiştirme diyagram üzerinden de görülebilmektedir. Yükleme geçmişinin rahat görülebilmesi amacıyla bazı yükleme numaraları da diyagram üzerinde işaretlenmiştir.



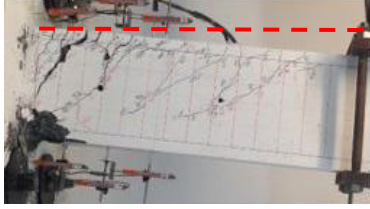
Şekil 3.16: KN04-YP2-6.0 deneysel yer değıştirme diyagramı

Şekil 3.13~Şekil 3.16 incelendiğinde aynı a/d (kesme açıklığı/etkili derinlik) oranına sahip, farklı yükleme geçmişlerine (YP1,YP2) maruz bırakılmış deney numunelerinde oluşan maksimum tepe yer değıştirmesi değerleri arasındaki farkın oldukça dikkat çekici düzeyde olduğu görülmektedir. Şekil 3.17’de verilen deney sonu fotoğrafları da yer değıştirme farkını açıkça ortaya koymaktadır.

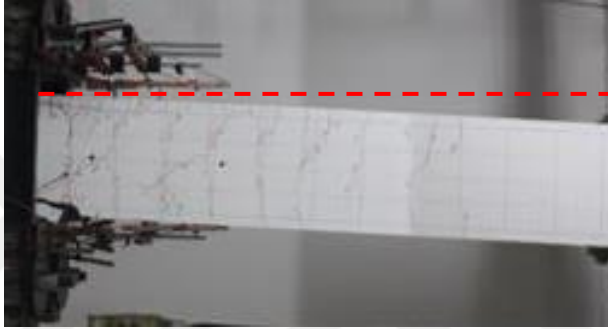
- a) KN01-YP1-3.6
 $a/d= 3.6$
 $+\Delta_{\max} \approx 56.0 \text{ mm}$



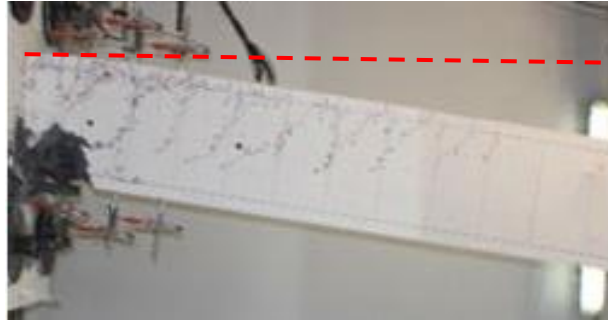
- b) KN02-YP2-3.6
 $a/d= 3.6$
 $+\Delta_{\max} \approx 219.2 \text{ mm}$



- c) KN03-YP1-6.0
 $a/d= 6.0$
 $+\Delta_{\max} \approx 120.0 \text{ mm}$



- d) KN04-YP2-6.0
 $a/d= 6.0$
 $+\Delta_{\max} \approx 353.5 \text{ mm}$

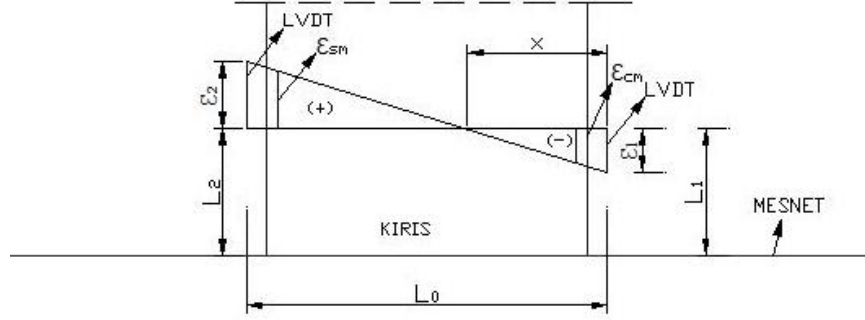


Şekil 3.17: Deney numuneleri deney sonu maksimum yerdeğiştirme durumları

3.3 Moment-Maksimum Ortalama Birim Şekil Değiştirme İlişkileri

Deney numunelerinde ölçülen birim şekil değiştirmeleri net olarak görebilmek için numuneler üzerinde belirlenen 3 ayrı mesafeye yerleştirilen harici potansiyometrelerden elde edilen verilerden yararlanılarak Şekil 3.19~Şekil 3.22'de gösterilen Deneysel moment-Maksimum ortalama birim şekil değiştirme diyagramları çizilmiştir. Burada en dış beton yüzeyi ve en dış çekme donatısı birim şekil değiştirmeleri ile ölçülen eğilme momenti ilişkisi

kullanılmıştır. 3 seviye için ayrı ayrı hesaplanan en dış beton yüzeyi birim kısalması (ϵ_{cm}) ve en dış çekme donatısı birim uzaması (ϵ_{sm}) değerlerinin en büyük olanları değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 3.18’de birim şekil değiştirme ve tarafsız eksen yeri hesabı şematik olarak gösterilmiştir.

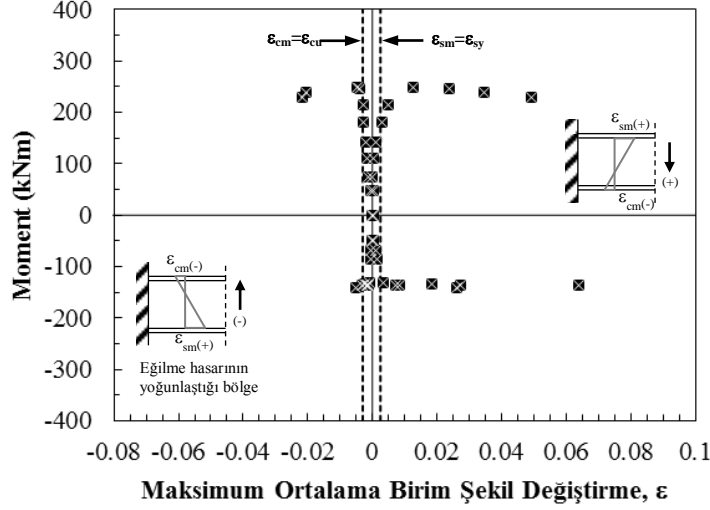


Şekil 3.18: Birim şekil değiştirme hesabı şematik gösterimi

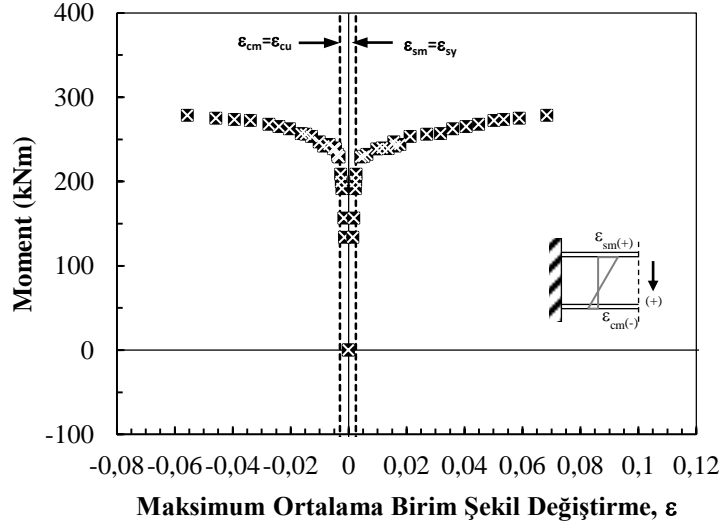
Burada;

- L_0 : Harici potansiyometreler arası mesafe
- L_1, L_2 : Harici potansiyometrelerin mesnet noktasına olan uzaklığı
- ϵ_{sm} : En dış çekme donatısı birim şekil değiştirmesi
- ϵ_{cm} : En dış beton lifi birim şekil değiştirmesi
- x : Tarafsız eksenin negatif yöndeki harici potansiyometreye olan mesafesi
- ϵ_1 : Negatif yönde harici potansiyometreden alınan birim şekil değiştirme
- ϵ_2 : Pozitif yönde harici potansiyometreden alınan birim şekil değiştirme

KN01-YP1-3.6 numunesi birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde donatı oranının düşük olduğu kiriş yüzünde hasarın donatı kontrollü olarak başladığı ve ilerlediği, hasar kontrolünü kopma anına kadar donatının yönettiği görülmüştür. Donatı oranının yüksek olduğu kiriş yüzünde ise ilk hasarın beton kontrollü olduğu, genliğin arttığı ilerleyen çevrimlerde donatılarda burkulmanın gerçekleşmesiyle donatı kontrollü hasarlar oluştuğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 3.19).



Şekil 3.19: KN01-YP1-3.6 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değişirme ilişkisi

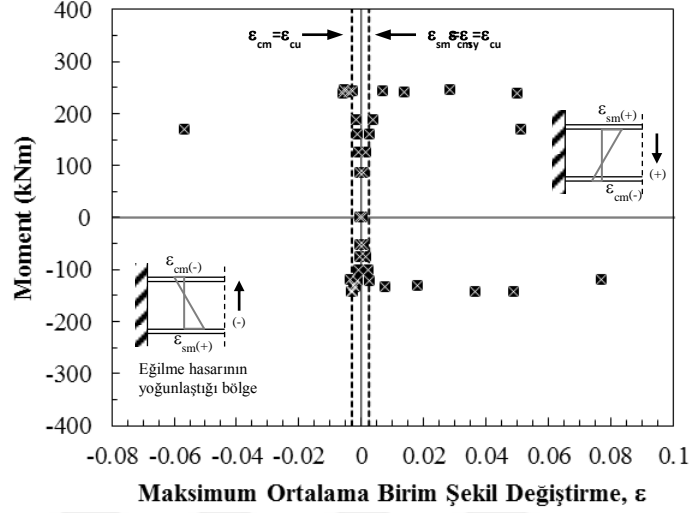


Şekil 3.20: KN02-YP2-3.6 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değişirme ilişkisi

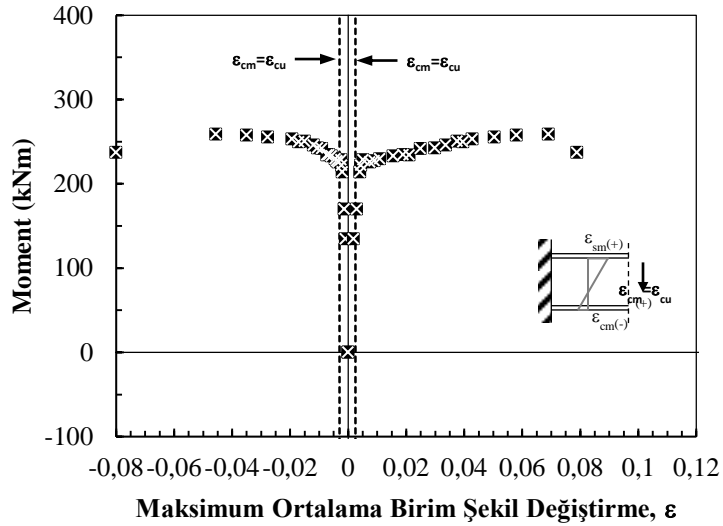
KN02-YP2-3.6 numunesinde donatı oranının düşük olduğu kiriş yüzünde hasarın beton kontrollü olarak başladığı ve ilerlediği, görülmüştür. Donatı oranının yüksek olduğu kiriş yüzünde ise ilk hasarın donatı kontrollü olduğu, genliğin arttığı ilerleyen çevrimlerde beton kontrollü hasarların oluştuğu ve göçmenin beton kontrollü hasar sonrasında oluştuğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 3.20).

KN03-YP1-6.0 numunesinde birim şekil değiştirmeler incelendiğinde KN01-YP1-3.6 numunesine benzer bir hasar ilerleme durumu görülmüş, bu

numuneden farklı olarak KN03-YP1-6.0'da donatı oranı yüksek olan kiriş yüzünde yanal donatı aralığının artmasının da etkisiyle oluşan donatı burkulmasıyla beton birim kısalmasının etkili olduğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 3.21).



Şekil 3.21: KN03-YP1-6.0 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme ilişkisi



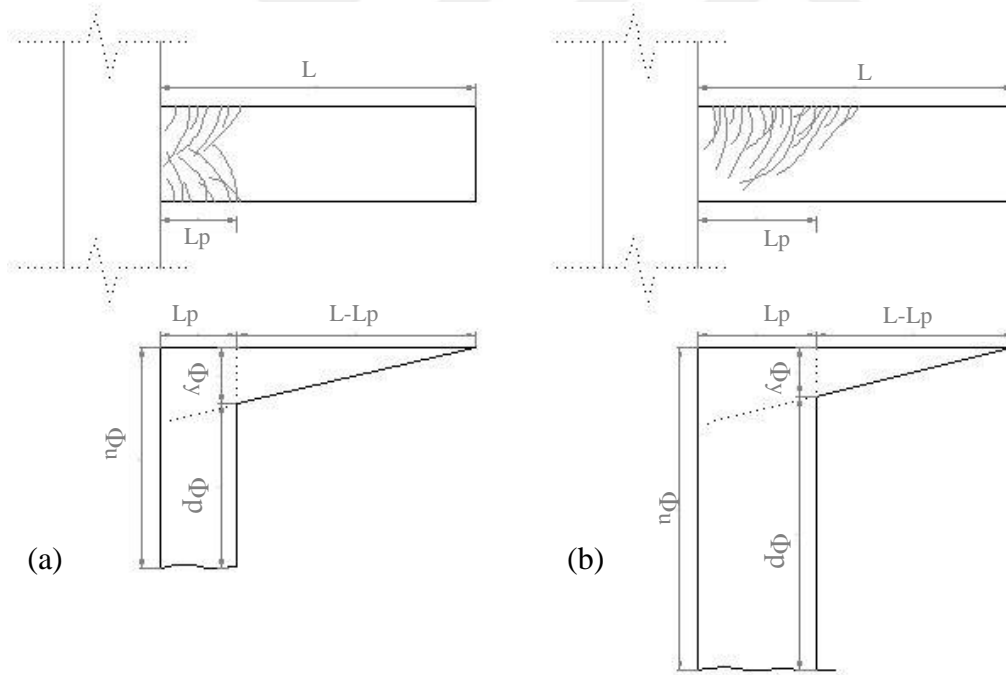
Şekil 3.22: KN04-YP2-6.0 Deneysel moment – Maksimum ortalama birim şekil değiştirme ilişkisi

KN04-YP2-6.0 numunesi birim şekil değiştirmeleri incelendiğinde KN02-YP2-6.0 numunesine benzer bir hasar ilerleme durumu görülmüşse de bu numuneden farklı olarak beton birim kısalmasının benzer değerlerinde yer değiştirme

kapasitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sargı aralığının artmasıyla donatı burkulmasının da daha erken oluştuğu düşünüldüğünde bu oluşum anlamlı olmaktadır. Bu numunede göçme, beton kontrollü hasarlar sonucunda gerçekleşmiştir (Bkz Şekil 3.22).

3.4 Eşdeğer Plastik Mafsalsal Boyu

Eğilme etkisindeki kirişlerde, kiriş eksenini boyunca plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bilindiği üzere kesitte oluşan moment değeri artarak, akma momenti değerine ulaştığında, akma eğriliği (Φ_y) meydana gelmektedir. Bu aşamadan sonra moment aynı değerde kalırken plastik eğrilikler artmaya devam eder. Plastik eğrilik kapasitesine erişildiğinde de kesitte plastik mafsalsal oluşumu gözlenir. Diğer bir deyişle kesit moment taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra moment artmaya devam ederse, taşıdığı moment sabit kalan kesit dönmeye zorlanmakta, bu da plastik mafsalsal oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.23: Çift yönlü (a) ve Tek yönlü (b) plastik mafsalsal şematik gösterimi

Şekil 3.23'de tek ve çift yönlü plastik mafsalsal oluşumu şematik olarak gösterilmiştir. Birçok yönetmelik plastik mafsalsal boyu için kabuller yaparak tepe yer değiştirmesinin bulunmasına olanak sağlamaktadır.

Toplam tepe yer değiştirmesi (Δ); elastik yer değiştirme ve plastik yer değiştirmenin toplamına eşit olduğundan;

$$\Delta = \Delta_e + \Delta_p \quad (3.1)$$

$$\Delta = \Phi_y \times \frac{L^2}{3} + (\Phi_u - \Phi_y) \times L_p \times (L - \frac{L_p}{2}) \quad (3.2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [30]. Burada;

$$\theta_p = (\Phi_u - \Phi_y) \times L_p \quad (3.3)$$

ifadesi plastik dönmeyi tanımladığından ve bu çalışmada deneyler esnasında ölçülen ve/veya hesaplanan veriler yardımıyla plastik dönme değerleri bilindiğinden eşdeğer plastik mafsal boyu 3.3 bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak elde edilen ve/veya hesaplanan dönme ve eğrilik değerleri ile her bir numune için belirlenen plastik mafsal boyları hesaplanarak izelge 3.6'da sunulmuştur. Aynı a/d oranına sahip numuneler üzerine uygulanan YP1 ve YP2 yüklemeleri için oldukça farklı plastik mafsal boyu değerleri elde edilmiştir. Belirgin düşey yüklerin yükleme geçmişinde dikkate alındığı YP2 profilinin uygulandığı deney numunelerinde, YP1 profilinin uygulandığı deney numunelerine kıyasla; plastik eğrilik ve plastik dönme kapasitesine benzer şekilde plastik mafsal boyunun da arttığı, hesaplanan ve deneysel olarak gözlenen sonuçlardan görülmektedir.

Çizelge 3.6: Belirlenen Eşdeğer Plastik Mafsal Boyu

NUMUNE ADI	a/d	ρ	ρ'	ρ'/ρ	$L_{p,ort}/h$
KN01-YP1-3.6	3.6	0.0105	0.0052	0.5	0.43
		0.0052	0.0105	2.0	0.57
KN02-YP2-3.6	3.6	0.0105	0.0052	0.5	0.89
KN03-YP1-6.0	6.0	0.0105	0.0052	0.5	0.70
		0.0052	0.0105	2.0	0.62
KN04-YP2-6.0	6.0	0.0105	0.0052	0.5	0.81



4 DENEYSSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, deney numunelerinin göçme hasar sınırına karşı gelen deneysel ve analitik yer değiştirme kapasiteleri karşılaştırmalı olarak irdelenecektir. Bir önceki bölümde ayrıntılı sonuçları verilen deney numunelerinin analitik göçme hasar sınırı dönme kapasiteleri hesabı için; DBYBHY 2007 [1], FEMA 356 [2], EUROCODE 8 [3] ve NZS 3101 [4] yönetmeliklerinde verilen yöntemler kullanılacaktır.

4.1 Deney Numuneleri Analitik Göçme Hasar Sınırı Yer Değiştirme Kapasiteleri

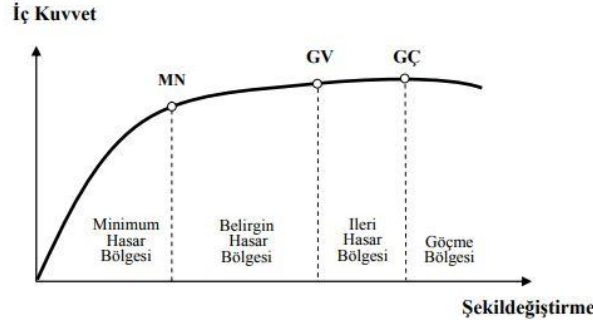
DBYBHY 2007'ye göre belirlenen hasar sınırları

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 26454-26511 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe soktuğu bu yönetmelikte [1], sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır:

- Minimum Hasar Sınırı (MN)
- Güvenlik Sınırı (GV)
- Göçme Sınırı (GÇ)

Kesitte elastik davranışın sona erdiği sınır, Minimum Hasar Sınırı (MN) olarak tanımlanmıştır. Kesitin (belirli düzeyde hasar görmesine rağmen) dayanımını güvenli olarak koruyabileceği plastik davranış sınırı Güvenlik Sınırı (GV) tanımıyla verilirken, kesitin dayanımını güvenli olarak koruyamadığı göçme öncesi davranış sınırı Göçme Sınırı (GÇ) ifadesiyle gösterilmiştir. Şekil 4.1'de gösterildiği üzere iç kuvvetlerin artmaya başladığı andan, elastik davranışın sona erdiği hasar sınırına kadar olan alan Minimum Hasar Bölgesi, elastik ötesi davranışın başladığı, yani artan iç kuvvetlerin bir miktar hasar alınarak sönmüldüğü ve kesitin dayanımını güvenli olarak korumaya devam ettiği güvenlik sınırına kadar olan alan Belirgin Hasar Bölgesi, güvenlik sınırından kesitin dayanımını güvenli olarak koruyamadığı göçme öncesi davranış sınırına

kadar olan alan, İleri Hasar Bölgesi olarak adlandırılmıştır. Göçme sınırını aşan her bir yapısal eleman ise Göçme Bölgesi içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, Şekil 7.1 / 2007)

Sünek taşıyıcı elemanlarda DBYBHY 2007’de tanımlanan 3 farklı hasar sınırını niteleyen malzeme birim şekil değişirme üst sınırları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kesit Birim Şekil Değişirme Hasar Sınırları (DBYBHY 2007)

Hasar sınırı	ϵ_c	ϵ_s
MN	0.0035	0.01
GV	$0.0035+0.010(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$	0.04
GÇ	$0.0040+0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0180$	0.06

Deney numunelerinin özellikleri dikkate alınarak DBYBHY 2007’ye göre belirlenen malzeme birim şekil değişirme üst sınırları ve göçme hasar sınır durumu yer değişirme kapasiteleri Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Analitik göçme hasar sınırı yer değişirme kapasitesinin belirlenmesinde, donatı çeliği için pekleşme etkileri dikkate alınmış, sargılı ve sargısız beton için ise Mander Modeli [31] kullanılmıştır. DBYBHY 2007’de tanımlanan hasar sınır yaklaşımında plastik mafsal davranış farklılığı (yükleme profili etkisi) olmadığından, aynı a/d oranı ve etriye oranına sahip deney numuneleri için, farklı yüklem profilleri uygulanmasına rağmen dönme değerleri ile göçme hasar durumu yer değiştirmeleri eş sonuçlar vermiştir. Çift yönlü plastik mafsal oluşumu gözlenen KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numunelerinde pozitif ve negatif yön için yer değişirme değerleri ve dönme değerleri de eşit alınmıştır.

Çizelge 4.2: Göçme sınırı dönme değerleri (DBYBHY)

VERİLER			Birim	KN01-	KN02-	KN03-	KN04-
				YP1-3.6	YP2-3.6	YP1-6.0	YP2-6.0
				1.62	1.62	2.75	2.75
Donatı	Sayı	B.Bölgesi	adet	6			
		Ç.Bölgesi	adet	3			
	Çap	B.Bölgesi	mm	16			
		Ç.Bölgesi	mm	16			
f_c			MPa	45.6	39.7	48.6	44.5
f_y			MPa	498	490	498	490
f_{yw}			MPa	597	611	597	611
N			Nt	0	0	0	0
A_s			mm ²	1205.76			
A_s'			mm ²	602.88			
bw			mm	250			
h			mm	500			
d'			mm	40			
d			mm	460			
ρ_{sx}			-	0.0032	0.0040	0.0020	0.0020
ρ_{smin}			-	0.0032			
$(\epsilon_{cu})_{MN}$ (Minimum Hasar sınırı)				0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
$(\epsilon_{cg})_{GV}$ (Güvenlik sınırı)				0.0135	0.0135	0.0098	0.0098
$(\epsilon_{cg})_{GC}$ (Göçme sınırı)				0.0180	0.0180	0.0128	0.0128
Göçme sınırı Dönme değeri (%)				4.57	4.57	4.64	4.64
Göçme sınırı Δ (mm)				74.09	74.09	127.69	127.69

FEMA 356'ya göre belirlenen hasar sınırları

Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir birleşimiyle yapısal performans seviyesinin belirlendiği 2000 yılında kabul edilen bu yönetmelikte [2] birincil yapı elemanları için 3 performans seviyesi verilmiştir.

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (IO)
- Can Güvenliği Performans Seviyesi (LS)
- Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (CP)

Hemen kullanım performans seviyesi, depremden sonra herhangi bir güçlendirmeye gerek duyulmadan yapının hemen kullanılabilceği, yapısal elemanlarda dayanım ve rijitlik kaybının olmadığı sınırı göstermektedir. Can güvenliği performans seviyesi; bir takım yapısal elemanlarda dayanım ve rijitlik kaybı yaşandığı ve güçlendirilmeye ihtiyaç duyulduğu halde yapının tamamında veya kısmi olarak yapısal elemanlarda göçmenin söz konusu olmadığı, can güvenliğinin korunduğu sınırdır. Göçmenin önlenmesi performans seviyesi ise yapının düşey yükleri taşıyor olmasına rağmen, telafisi olmayan dayanım ve rijitlik kaybının gözlemlendiği ve her an tamamen göçme riskinin bulunduğu sınırı ifade etmektedir. Bu sınır durumlara ek olarak FEMA 356'da, yapı performansının hesaplanmadığı ve yapının teknik olarak göçme durumunda olduğu durum için Yapı Performansının Hesaplanmadığı Durum performans seviyeleri arasında gösterilmiştir.

FEMA 356'da performans seviyelerinin nicel olarak ifadelendirilmesinde, plastik mafsallı dönme talebi kullanılmaktadır. Yönetmelikte, betonarme kirişler (birincil yapı elemanları) için verilen çeşitli hasar durumlarına karşı gelen plastik mafsallı dönme talepleri Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: Kesit Dönmesi Hasar Sınırları (FEMA 356)

Kesit Özellikleri			Hasar sınırları		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı Özelliği	$\frac{v}{bw * d * \sqrt{f_c}}$	IO	LS	CP
≤ 0.0	C*	≤ 3	0.0100	0.020	0.025
≤ 0.0	C	≥ 6	0.0050	0.010	0.020
≥ 0.5	C	≤ 3	0.0050	0.010	0.020
≥ 0.5	C	≥ 6	0.0050	0.005	0.015
≤ 0.0	NC**	≤ 3	0.0050	0.010	0.020
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.010
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.0050	0.010	0.010
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.005

* Sargı özelliği yüksek beton
** Sargı özelliği düşük beton
Not: Aradaki değerler lineer enterpolasyon ile bulunabilir.

Yapısal elemanın sargı özelliği yüksek beton sınıfına girmesi için plastik mafsal bölgesinde etriye aralığının faydalı yüksekliğin üçte birinden küçük ($s \leq d/3$) olması gerekmektedir. Buna ek olarak yanal donatı hesap kesme kuvvetinin en az dörtte üçünü karşılamalıdır.

Deney numuneleri için; FEMA 356'ya göre Çizelge 4.3'den yararlanarak belirlenen analitik göçme hasar sınır durum kapasiteleri Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Burada; çift yönlü plastik mafsal oluşumu gözlenen KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numunelerinde pozitif ve negatif yön için yer değiştirme değerleri ve ötelenme oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4: Göçme sınırı dönme değerleri (FEMA 356)

VERİLER			Birim	KN01-	KN02-	KN03-	KN04-
				YP1-3.6	YP2-3.6	YP1-6.0	YP2-6.0
				1.62	1.62	2.75	2.75
Donatı	Sayı	B.Bölgesi	adet	6			
		Ç.Bölgesi	adet	3			
	Çap	B.Bölgesi	mm	16			
		Ç.Bölgesi	mm	16			
f_c			MPa	45.6	39.7	48.6	44.5
f_y			MPa	498	490	498	490
A_s			mm ²	1205.76			
A_s'			mm ²	602.88			
bw			mm	250			
d			mm	460			
ρ			-	0.0105			
ρ'			-	0.0052			
k			-	0.7264	0.7618	0.7084	0.7330
ρ_b			-	0.03089	0.02888	0.03211	0.03115
V (Nt)			- yön	75000		40000	
			+ yön	130000	125000	75000	75000
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$			- yön	-0.1697		-0.1633	
			+ yön	0.1697	0.1815	0.1633	0.1683
$\frac{v}{bw * d * \sqrt{f_c}}$			- yön	0.0966		0.0499	
			+ yön	0.1674	0.1725	0.1101	0.0978
Göçme sınırı Dönme değeri (%)			- yön	3.50		2.50	
			+ yön	3.16	3.14	2.17	2.16
Göçme sınırı Δ (mm)			- yön	56.70		68.75	
			+ yön	51.19	50.82	59.77	59.49

EUROCODE 8'e göre belirlenen hasar sınırları

EUROCODE 8 [3] yönetmeliğinde, taşıyıcı yapı elemanları için 3 farklı hasar sınırı belirlenmiştir.

- Minimum Hasar Sınırı (DL)
- Belirgin Hasar Sınırı (SD)
- Göçme Öncesi Hasar Sınırı (NC)

Minimum hasar bölgesi içerisinde plastik şekil değiştirmeler ihmal edilebilecek düzeyde olup, taşıyıcı elemanların taşıyıcı özellikleri ve rijitlikleri korunmaya devam etmektedir. Taşıyıcı elemanlarda hasar gözlenmeyip, taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarlar da onarılabılır düzeydedir. Belirgin hasar bölgesinde düşey yük taşınabilir düzeyde olmasına rağmen, taşıyıcı elemanlarda orta düzeyde hasarlar mevcut olup, plastik şekil değiştirmeler de gözlenmektedir. Taşıyıcı olmayan elemanlar yıkılmamış olsa da ciddi hasar almış olabilir. Mecburiyet olmadıkça bu hasar bölgesinde kalan binalar için güçlendirme yapılması hem ekonomik nedenler, hem de imalat zorlukları açısından uygun görülmemektedir. Göçme öncesi hasar bölgesinde, yapıda ileri düzeyde hasarların olduğu, taşıyıcı olmayan elemanların bir kısmı yıkılmış olmasına rağmen, binanın düşey yükü taşımaya devam ettiği söylenebilmektedir. Bununla birlikte yapının çok küçük salınımlarda dahi kolayca yıkılma ihtimali söz konusudur. Çünkü taşıyıcı elemanlarda yüksek oranda dayanım ve rijitlik kaybı söz konusudur. Bu hasar bölgesindeki yapılarda hiçbir şekilde güçlendirme yapılmaması ve yapının en kısa sürede kontrollü olarak yıkılması önerilmektedir.

EUROCODE 8'de hasar sınırları eksen dönmesi üzerinden belirlenmektedir. Çevrimsel yükler etkisindeki betonarme elemanların toplam dönme (elastik ve elastik ötesi) kapasitesinin (θ_{um}) belirlenebilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{e1}} \cdot 0.016 \cdot (0.3^v) \cdot \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} \cdot f_c \right]^{0.225} \cdot \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} \cdot 25^{\left(\alpha \cdot \rho_{sx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} \cdot (1.25^{100 \cdot \rho_d}) \quad (4.1)$$

Burada;

γ_{e1} : Birincil sismik elemanlar için 1.5, ikincil sismik elemanlar için 1.0

h : En kesit yüksekliği

L_v : = M/V elemanın uç kesitindeki moment/kesme oranı

v : = N / bhf_c (b; basınç bölgesi genişliği, N; aksenal kuvvet)

ω, ω' : Boyuna donatıların mekanik oranı

ρ_{sx} : Enine donatının oranı

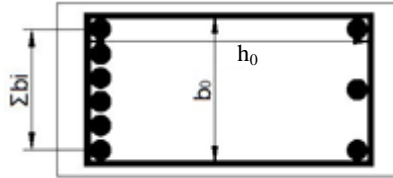
ρ_d : Varsa diagonal donatının her diagonal yönde diagonal donatı oranı,

α : Sargı donatısı etki faktörü

Yönetmelikte, sargı donatısı etki faktörü için de aşağıdaki formül tanımlanmıştır:

$$\alpha = \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot h_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{\Sigma b_i^2}{6 \cdot h_0 \cdot b_0} \right) \quad (4.2)$$

Formül bileşenleri Şekil 4.2'den görülebilir



Şekil 4.2: EUROCODE 8 Sargı donatısı etki faktörü bileşenleri şematik gösterimi

Deney numunelerinin EUROCODE 8 yönetmeliğine göre belirlenen analitik hasar sınır durum kapasiteleri Çizelge 4.5'de özetlenmiştir. Çift yönlü plastik mafsallı oluşumu gözlenen KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numunelerinde pozitif ve negatif yön için yer değiştirme değerleri ve dönme değerleri bu yönetmelikte de eşit olarak alınmıştır.

Çizelge 4.5: Göçme sınırı dönme değerleri (EUROCODE 8)

VERİLER			Birim	KN01- YP1-3.6	KN02- YP2-3.6	KN03- YP1-6.0	KN04- YP2-6.0
				1.62	1.62	2.75	2.75
Donatı	Sayı	B.Bölgesi	adet	6			
		Ç.Bölgesi	adet	3			
	Çap	B.Bölgesi	mm	16			
		Ç.Bölgesi	mm	16			
f_c			MPa	45.6	39.7	48.6	44.5
f_y			MPa	498	490	498	490
f_{yw}			MPa	597	611	597	611
N			Nt	0	0	0	0
A_s			mm ²	1205.76			
A_s'			mm ²	602.88			
bw			mm	250			
h			mm	500			
d'			mm	40			
d			mm	460			
ρ			-	0.0105			
ρ'			-	0.0052			
ρ_{sx}			-	0.0032	0.0040	0.0020	0.0020
ρ_d			-	0.0000			
k			-	0.7264	0.7618	0.7084	0.7330
ρ_b			-	0.03089	0.02888	0.03211	0.03115
γ_{el}			-	1.5			
ω			-	0.1145	0.1294	0.1074	0.1155
ω'			-	0.0647	0.0647	0.0537	0.0577
max ω, ω'			-	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
$v = \frac{N}{bw \cdot h \cdot f_c}$			-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
b_0			mm	162			
h_0			mm	412			
Σb_i			mm	138			
S_h			mm	125	200	100	200
α				0.0549	0.1413	0.0350	0.1413
θum NC-Göçme Öncesi sınırı eksen dönmesi				0.0337	0.0324	0.0398	0.0394
Göçme sınırı Dönme değeri (%)				3.37	3.24	3.98	3.94
Göçme sınırı Δ (mm)				54.61	51.86	109.78	108.41

NZS 3101-1'e göre belirlenen hasar sınırları

2006 yılında Yeni Zelanda'da yürürlüğe giren bu standartta [4] potansiyel plastik bölgeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

- Nominal Sünek Plastik Bölge (NDPR)
- Sınırlı Sünek Plastik Bölge (LDPR)
- Sünek Plastik Bölge (DPR)

Sınıflandırma, her bir potansiyel plastik bölgenin son limit durumunda güvenle sürdürdüğü deformasyon seviyesine göre belirlenir. Plastik mafsal bölgeleri için malzeme birim şekil değiştirme değerleri eğrilik üzerinden hesaplanırken, diyagonal donatılı kirişlerde kirişin diyagonal donatılı bölümünün uzunluğu boyunca ortalama kayma birim şekil değiştirmesi üzerinden hesaplanır.

Kritik plastik mafsal bölgesinde malzeme birim şekil değiştirmelerinin belirlenmesinde nominal eğrilik; dönme değerinin uygun olan etkili plastik mafsal uzunluğuna (L_p) bölünmesiyle elde edilir. Diyagonal donatılı kirişlerde plastik mafsal dönmesi veya kesme yer değiştirmesinin belirlenmesinde; kesme deformasyonu için nominal kesme gerilmesi elde etmek amacıyla kayma yer değiştirmesi etkili plastik bölge uzunluğuna (L_{pr}) bölünmelidir. Yönetmelik; etkili plastik mafsal boyunun; çift yönlü plastik mafsal oluşan kirişlerde kiriş yüksekliğinin yarısı kadar, tek yönlü plastik mafsal oluşan kirişlerde kiriş yüksekliğine eşit olarak alınmasını uygun bulmuştur. NZS 3101-1'de elastik eğrilik;

$$\Phi_y = \frac{2 \cdot f_y}{E_s \cdot h} \quad (4.3)$$

formülü ile tanımlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus; donatı akma dayanımının 425 MPa'dan büyük alınamayacağıdır. Kirişler, kolonlar ve duvarlardaki plastik bölgelerdeki eğrilik sınırı,

$$\Phi_{max} = K_d \cdot \Phi_y \quad (4.4)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. K_d bir katsayı olup, Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6: Kirişler İçin Eğrilik Sınırı K_d katsayısı (NZS 3101)

Plastik Bölgenin Sınıflandırılması	Plastik Mafsalsal Şekli	K_d
Sınırlı Sünek Plastik Bölge	Tek Yönlü	22
	Çift Yönlü	11
Sünek Plastik Bölge	Tek Yönlü	38
	Çift Yönlü	19

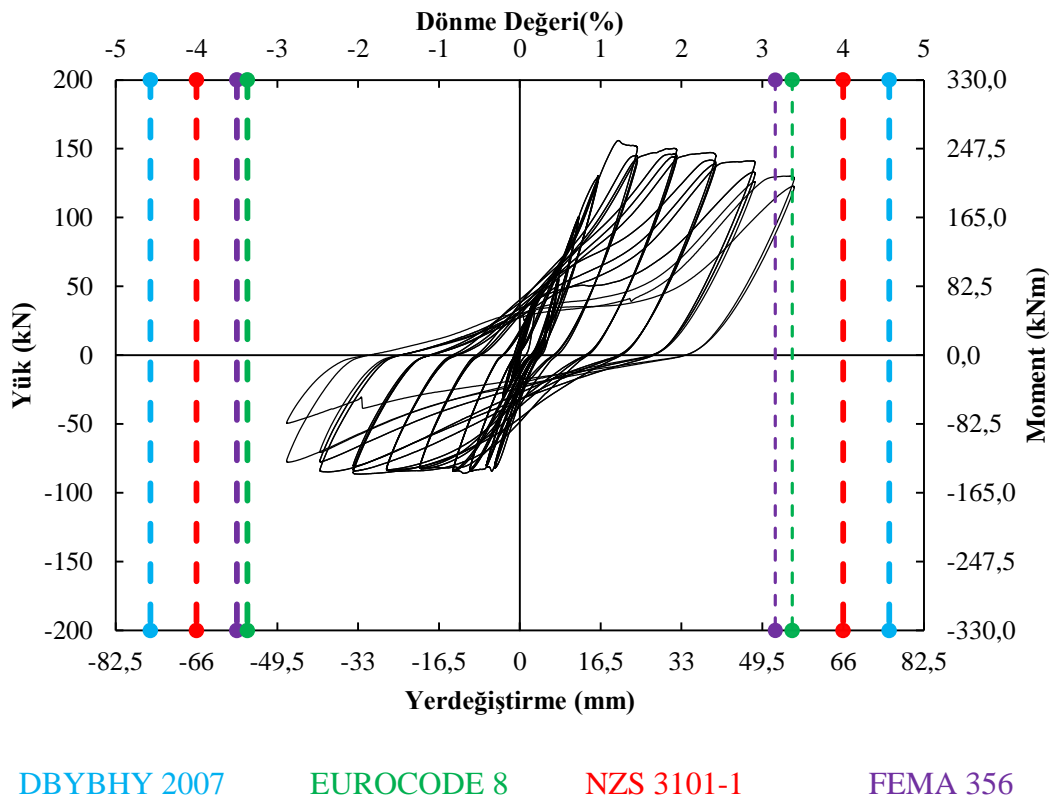
Deney numunelerinin NZS 3101-1 yönetmeliğine göre belirlenen analitik hasar sınır durum kapasiteleri Çizelge 4.7’de özetlenmiştir. Çift yönlü plastik mafsalsal oluşumu gözlenen KN01-YP1-3.6 ve KN03-YP1-6.0 numunelerinde pozitif ve negatif yön için yer değiştirme değerleri ve dönme değerleri bu yönetmelikte de eşit olarak alınmıştır.

Çizelge 4.7 Göçme sınırı dönme değerleri (NZS 3101)

VERİLER		Birim	KN01-YP1-3.6	KN02-YP2-3.6	KN03-YP1-6.0	KN04-YP2-6.0	
			1.62	1.62	2.75	2.75	
Donatı	Sayı	B.Bölgesi	adet				6
		Ç.Bölgesi	adet				3
	Çap	B.Bölgesi	mm				16
		Ç.Bölgesi	mm				16
f_c		MPa	45.6	39.7	48.6	44.5	
f_y		MPa	498	490	498	490	
A_s		mm ²	1205.76				
A_s'		mm ²	602.88				
bw		mm	250				
d		mm	460				
h		mm	500				
E_s		MPa	200000				
K_d		-	19	38	11	22	
$\Phi_y = \frac{2 \cdot f_y}{E_s \cdot h}$		rad/mm	0.0000085				
Φ_{max}		rad/mm	0.00016	0.00032	0.00009	0.00019	
L_p		mm	250	500	250	500	
θ		rad	0.040	0.162	0.023	0.094	
Göçme sınırı Dönme Değerleri (%)			3.37	3.24	3.98	3.94	
Göçme sınırı Δ (mm)			54.61	51.86	109.78	108.41	

4.2 Analitik Olarak Belirlenen Göçme Hasar Sınırlarının Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması

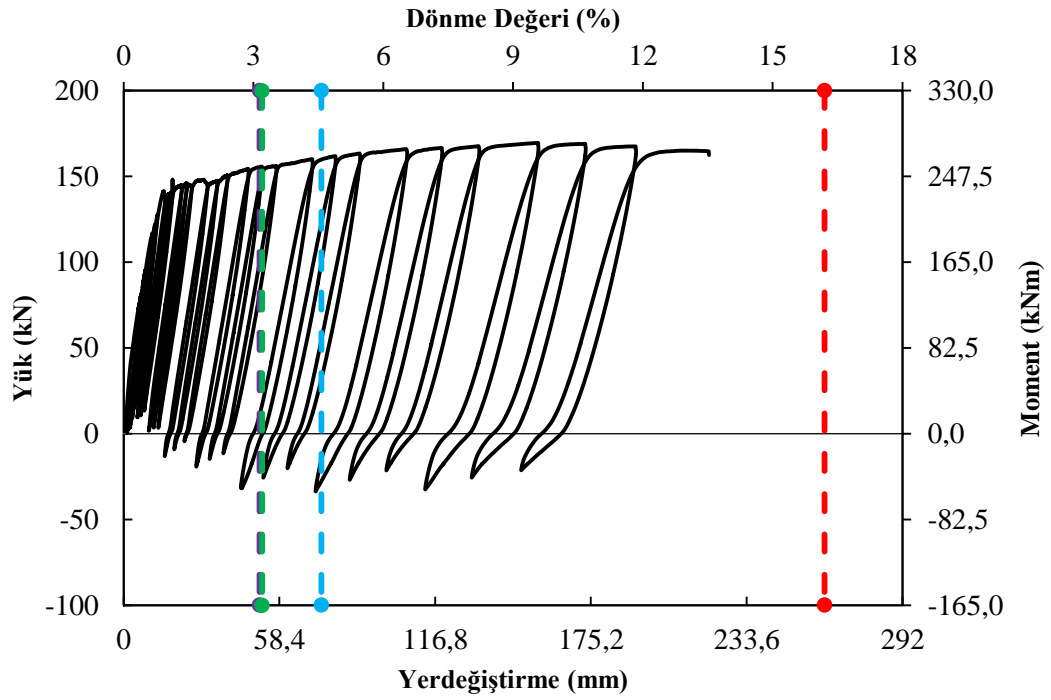
Bölüm 2.1’de imalat ve boyut detayları, Bölüm 2.3’de uygulanan yükleme geçmişleri ayrıntıları verilen deney numuneleri üzerinden belirlenen ve/veya hesaplanan hasar sınırları Bölüm 4.1’de özetlenmiştir. Her bir numune için veri kaydediciden alınan sonuçlar doğrultusunda çizilen dönme değeri, yük, yer değiştirme, moment eğrileri üzerinde DBYBHY 2007, FEMA 356, EUROCODE 8 ve NZS 3101-1’e göre belirlenmiş göçme hasar sınırları Şekil 4.3~Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.3: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN01-YP1-3.6)

Şekil 4.3’de iskelet eğrisi görülen KN01-YP1-3.6 numunesine YP1 yükleme profili uygulanmış olup, belirgin düşey yük etkisi yükleme geçmişinde dikkate alınmamıştır. Uygulanan yükleme geçmişi sonucunda, deney numunesinde çift yönlü plastik mafsallara meydana gelmiştir. Bu durum; FEMA 356’ya göre negatif yöndeki göçme hasar sınırının pozitif yöndeki göçme hasar sınırından farklı olmasına neden olmuştur. a/d oranı 3.6 olan bu numunede, bu çalışmada incelenen yönetmelikler arasında pozitif yönde göçme hasar sınırını deneysel

sonuçlara en yakın olarak tahmin eden FEMA 356 olmuştur. Pozitif yönde EUROCODE 8 yönetmeliği de oldukça yakın sonuç vermiştir.



DBYBHY 2007

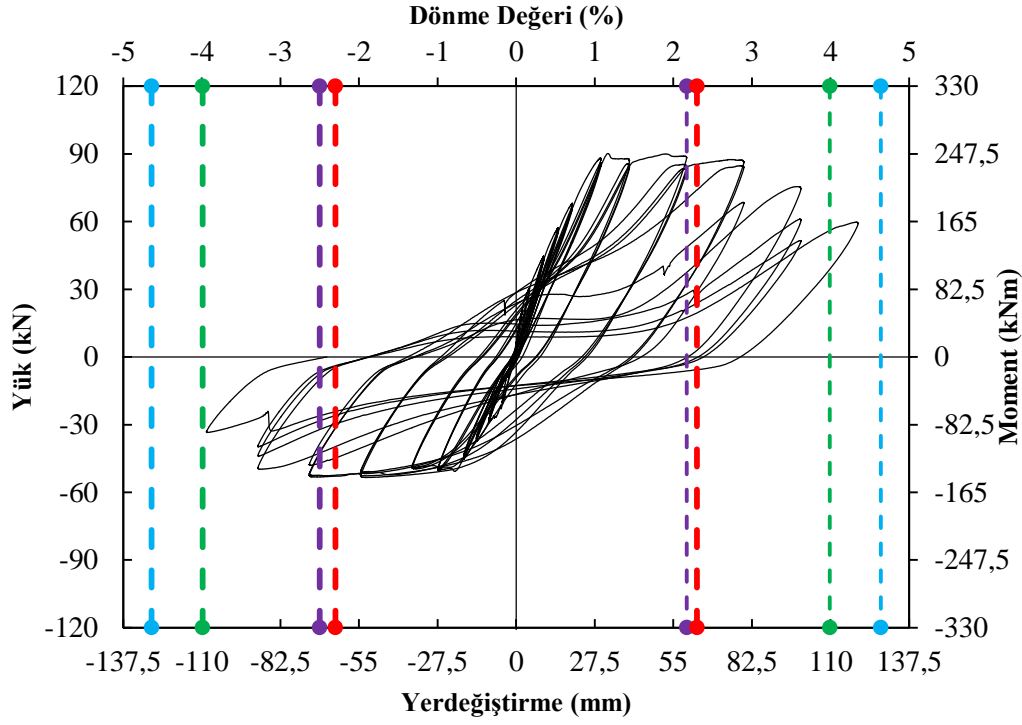
EUROCODE 8

NZS 3101-1

FEMA 356

Şekil 4.4: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN02-YP2-3.6)

Şekil 4.4’de iskelet eğrisi görülen KN02-YP2-3.6 numunesine YP2 yükleme profili uygulanmış olup, yükleme geçmişinde belirgin düşey yük etkisi de dikkate alınmıştır. Deney numunesi üzerinde tek yönlü plastik mafsallık meydana gelmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; a/d oranı 3.6 olan bu numunede göçme hasar sınırının belirlenmesinde DBYBHY 2007, FEMA356 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinin verdiği sonuçların deneysel sonuçlara göre aşırı güvenli tarafta kaldığı, NZS 3101-1 standardının da deneysel sonuçlara en yakın sonucu vermekle birlikte, güvensiz tarafta kaldığı söylenebilir. Bunun yanı sıra aynı a/d oranına sahip KN01-YP1-3.6 numunesine kıyasla deneysel yer değiştirme ve dönme değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.



DBYBHY 2007

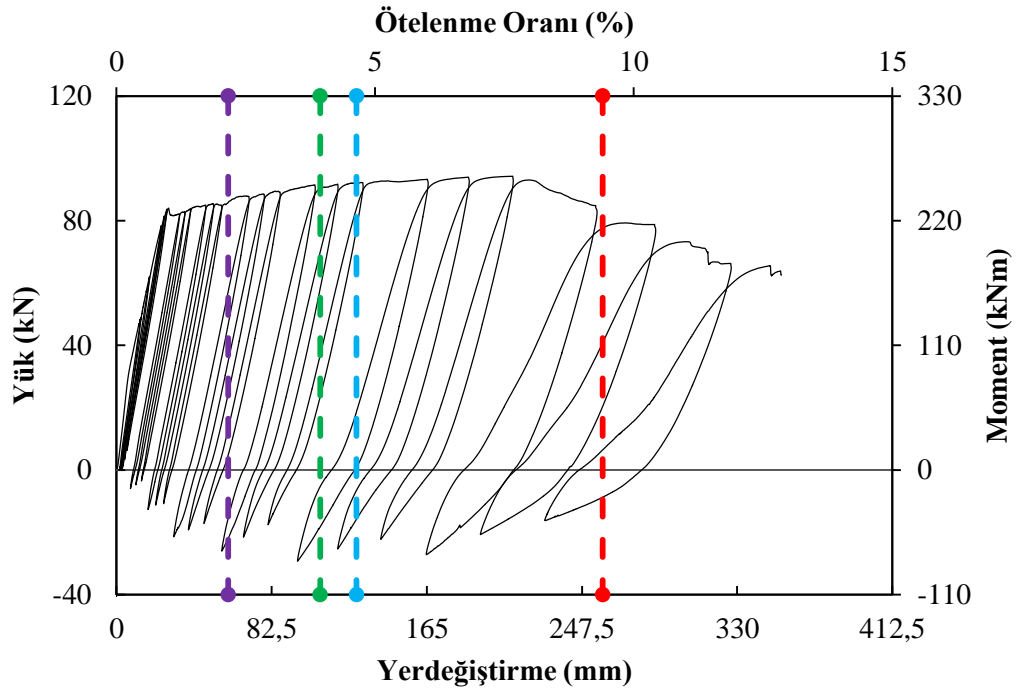
EUROCODE 8

NZS 3101-1

FEMA 356

Şekil 4.5: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN03-YP1-6.0)

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere KN03-YP1-6.0 numunesine belirgin düşey yük etkisinin dikkate alınmadığı YP1 yükleme profili uygulanmış olup, numunede çift yönlü plastik mafsal meydana gelmiştir. Bu durum da FEMA 356’ya göre negatif yöndeki göçme hasar sınırı ile pozitif yöndeki göçme hasar sınırı arasında küçük de olsa fark olmasına neden olmuştur. a/d oranı 6.0 olan bu numunede, incelenen yönetmelikler arasında; FEMA 356 ve NZS 3101-1 göçme hasar sınırını negatif yönde deneysel sonuçlara yakın olarak tahmin etseler de, pozitif yönde deneysel sonuçlardan uzaklaşmışlardır. Her iki yönde de en yakın tahmini EUROCODE 8 yönetmeliği yapmıştır. Bu sonuçlar ışığında DBYBHY 2007’nin göçme hasar sınırı tahmininde güvensiz tarafta kaldığı söylenebilir.



DBYBHY 2007

EUROCODE 8

NZS 3101-1

FEMA 356

Şekil 4.6: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KN04-YP2-6.0)

Şekil 4.6'da iskelet eğrisi görülen KN04-YP2-6.0 numunesine belirgin düşey yük etkilerinin de dikkate alındığı YP2 yükleme profili uygulanmış olup, bunun neticesinde numunede tek yönlü plastik mafsallık meydana gelmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; a/d oranı 6.0 olan bu numunede göçme hasar sınırını belirlemede DBYBHY 2007, FEMA356 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinin verdiği sonuçların deneysel sonuçlara göre aşırı güvenli tarafta kaldığı görülmüştür. NZS 3101-1 standardının ise deneysel sonuçlara oldukça yakın bir sonuç verdiği söylenebilir. Bunun yanı sıra aynı a/d oranına sahip KN03-YP1-6.0 numunesine kıyasla deneysel yer değiştirme ve dönme değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.



5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; belirgin düşey yüklerin betonarme kirişlerin göçme hasar sınırları üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deney programında düşey yük etkisinin ihmal edildiği (YP1) ve dikkate alındığı (YP2) iki farklı yükleme geçmişi konsol kiriş olarak üretilen deney numunelerine uygulanmıştır. Deneylelerden elde edilen deneysel verilerin analitik çözümler ile karşılaştırılmasıyla elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Düşey yükün belirgin mertebede olması plastik mafsal davranış biçimi üzerinde etkindir. Çalışmada; belirgin düşey yük etkisinin dikkate alınmadığı YP1 yükleme geçmişi uygulanan deney numunelerinde çift yönlü, belirgin düşey yük etkisinin dikkate alındığı YP2 yükleme geçmişi uygulanan deney numunelerinde ise tek yönlü plastik mafsal oluştuğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 3.1~Şekil 3.8)
- Tek yönlü plastik mafsal oluşumu gözlenen numunelerin, plastik mafsal boyu, yer değiştirme kapasitesi, maksimum ortalama birim şekil değiştirme ve dönme değerleri gibi parametrelerin, çift yönlü plastik davranış gözlenen deney numunelerine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Bkz Şekil 3.9~Şekil 3.22).
- DBYBHY 2007, FEMA 356, EUROCODE 8 ve NZS 3101-1'e göre analitik olarak belirlenen göçme hasar sınır durumları, deneysel olarak elde edilen göçme hasar sınırları ile karşılaştırıldığında; belirgin düşey yüklerin etkisi ile oluşan tek yönlü plastik mafsal durumlarında DBYBHY 2007, FEMA 356 ve EUROCODE 8'de çift yönlü plastik mafsal durumu için tanımlanmış göçme hasar sınır değerlerinin ihtiyatlı olduğu belirlenmiştir (Bkz Şekil 4.3~Şekil 4.6). Hasar sınırlarının belirlenmesinde plastik mafsalların tek veya çift yönlü oluşma durumunu dikkate alan NZS 3101-1 standardının, deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.
- Belirgin düşey yük etkisinin dikkate alınmadığı ya da düşey yükün sınırlı düzeyde kaldığı durumlarda oluşması muhtemel çift yönlü plastik mafsal davranışı için

DBYBHY 2007 ile belirlenen göçme hasar sınırlarının incelenen numunelerde genelde güvensiz tarafta kaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin; yönetmelikte verilen sargılı beton birim şekil değiştirme sınırının, boyuna donatıdaki burkulmayı yansıtamaması olduğu değerlendirilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, düşey yük etkisinin tasarım değerine kıyasla belirgin mertebede olmasının giriş mesnet kesitlerinde plastik mafsallık davranışı ve dönme kapasitesi üzerinde önemli miktarda değişime neden olacağından hareketle, özellikle çerçevesiz yapılarda performans değerlendirilmesinde esas alınan hasar sınır değerlerinin revize edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **TDY 2007**, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007-TDY 2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı; 26454 & 26511 sayılı Resmi Gazete – Türkiye Cumhuriyeti
- [2] **FEMA-356**, (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington,D.C
- [3] **EN 1998**, 2005. Eurocode 8 (2005): design of structures for earthquake resistance, European Committee For Standardization, Brussels.
- [4] NZS 3101-1 (2006) : Concrete structures standard - The design of concrete structures [By Authority of Development Sponsored By the Earthquake Commission (EQC) and Department of Building and Housing (DBH)]
- [5] **Mattock, A. H.** (1967). Rotational Capacity of Hinging Regions in Reinforced Concrete Beams, Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ACI, SP-12, 143-181.
- [6] **Corley, G.W.** (1966). Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams, Journal of the 22 Structural Division, ASCE, V. 92, 121-146, 1966
- [7] **Eligehausen R. and Langer P.** (1986). “The Rotation Capacity Of Plastic Hinges In Reinforced Concrete Beams And Slabs”, International symposium on fundamental theory and prestressed concrete, NIT, Nanjing, China
- [8] **Hillerborg, A.** (1990), Fracture Mechanics Concepts Applied to Moment Capacity and Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams, Engineering Fracture Mechanics, V. 35, 233-240.
- [9] **Bigaj, A. J.** (1999), Structural Dependence of Rotation Capacity of Plastic Hinges in RC Beams and Slabs, PhD thesis, Delft University, the Netherlands.
- [10] **Çelebi M. & Penzien J.** (1973). “Behaviour of Reinforced Concrete Beams under Combined Moment and Shear Reversal” , IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen
- [11] **Shen J.J. & Yen W.P** (2004). “ Recommendations Of Seismic Peformance Testing For Bridge Columns”, 1st US-Italy Seismic Bridge Workshop
- [12] **Y.Jiao, S.Kishiki, S.Yamada** (2012). “Loading protocols employed in evaluation of seismic behavior of steel beams in weak-beam moment frames”, 2012 15 WCEE LISBOA
- [13] **Megget, L. M. and Fenwick, R. C.** (1989). “Seismic behaviour of a reinforced concrete portal frame sustaining gravity loads”, Bulletin of NZ Society for Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 1
- [14] **Walker A.F. & Dhakal R.P.** (2008). “Assessment of material strain limits for defining plastic regions in concrete structures”, 2008 NZSEE Conference
- [15] **Giao R., Lucio V., Chastre C.** (2013). “Assessing the behaviour of RC beams subject to significant gravity loads under cyclic loads”, Engineering Structures 59 (2014) 512–521 s.

- [16] **Aydemir C. ve Aydemir Eser M.** (2017). “Betonarme Kirişlerin Hasar Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle İrdelenmesi” İMO Teknik Dergi, 2017 8023-8049, Yazı 486
- [17] **Aydemir C., Kırçıl MS., Hancıoğlu B., Zorbozan M.** (2011). “Betonarme Kolonların Hasar Sınır Eğriliklerinin Belirlenmesi” İMO Teknik Dergi, 2011 5613-5642, Yazı 361
- [18] **TS 802** (2016), “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [19] **TS 708** (2016), “Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [20] **TS EN ISO 15630-1** (2012), “Çelik-Betonarme ve Öngermeli Beton İçin-Deney Yöntemleri-Bölüm 1-Donatı Çubukları, Halatı ve Teli” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [21] **TS EN ISO 6892-1** (2016), “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1-Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [22] **TS EN 12390-3** (2010), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [23] **TS EN 12350-1** (2010), “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [24] **TS EN 12390-1** (2002), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [25] **TS EN 12390-2** (2002), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [26] **TS 500** (2000). “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- [27] **ATC-38** (2000): Database on the Performance of Structures Near Strong-Motion Recordings: 1994 Northridge, California, Earthquake
- [28] **Celep Z.** (2007). “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul
- [29] **Celep Z.** (2014). “Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme”, İstanbul
- [30] **Park, R., and Paulay** (1975), T., “Reinforced Concrete Structures”, John Wiley and Sons, New York
- [31] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.** (1988). “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, Journal of Structural Division (ASCE), 114(8), 1804-1826.
- [32] **İşiltan Ö.** (2010). “Betonarme Kolonlar İçin DBYBHY 2007, EUROCODE 8 ve FEMA 356 İle Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 69-76 s.
- [33] **Golbandi H.** (2010). “Deprem Etkisindeki Bir Binanın Performansının Deprem Yönetmeliği ve FEMA 440’a Göre Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 30-32 s.

- [34] **ATC-24**, (1992). “Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings,” *Report No. ATC-24*, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- [35] **ASCE**, (2006). “*Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*,” ASCE Standard ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.





ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Erzurum’da doğdu. Ilıca Atatürk İlkokulu, Ilıca Lisesi Orta kısmı ve Yavuz Selim Anadolu Öğretmen Lisesi’nden mezun oldu. 1999-2003 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini yaptı.

Bilge Mühendislik Ltd. Şti’de statik proje mühendisliği (2003-2005), Vizyon İnşaat San. Tic. A.Ş.’de şantiye şefliği (2005-2006), Erzurum Beton A.Ş.’de Kalite Kontrol ve İşletme Müdürlüğü (2006-2013) görevlerini yürüttü. Eş zamanlı olarak, kurduğu mühendislik ofisinde statik proje mühendisliği ve fenni mesuliyet faaliyetlerinde bulundu (2009-2013). Çeşitli eğitim-öğretim dönemlerinde Osen Eğitim Kurumlarında, “Bilgisayar Destekli Mühendislik Uygulamaları” öğretmenini olarak dersler verdi.

2013 yılında T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından verilen “Zemin-Yapı Malzemeleri Laboratuvar Denetçisi” unvanını aldı. Halen, T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında, “Yapı Malzemeleri Laboratuvar Denetçisi” olarak çalışmaya devam etmekte olup, 2015 yılında T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi’nde yüksek lisans eğitimine başladı.

