

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK MUKAVEMETLİ KİRİŞLERİN ÇEVİRİMSEL YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem AYENGİN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Eylül, 2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK MUKAVEMETLİ KİRİŞLERİN ÇEVİRİMSEL YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem AYENGİN
(Y1713.090026)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cem AYDEMİR

Eylül, 2020

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Yüksek Mukavemetli Kirişlerin Çevrimsel Yükler Altındaki Davranışları” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (01/09/2020)

Adem AYENGİN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmaya ait betonarme kiriş deney numuneleri, T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanarak bir dizi teste tabi tutulmuştur.

Tez çalışmamın planlamasında, araştırılmasında ve oluşum aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Cem AYDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Yetişmemde büyük emekleri geçen, bilgi, yetenek ve deneyimleriyle rehberlik eden değerli hocam ve ağabeyim Prof.Dr. Tevhit AYENGİN'e teşekkürlerimi sunuyorum. İAU İnşaat Mühendisliği Laboratuvarındaki deneysel çalışmalarındaki büyük özveri ve desteklerinden dolayı, laboratuvarın kıymetli teknik personellerine teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme ve özellikle çocuklarıma şükranlarımı sunarım.

Eylül, 2020

Adem AYENGİN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.2 Hipotez	4
2. DENEYSEL YÖNTEM VE VERİ SETİNİN HAZIRLANMASI	10
2.1 Deney Numuneleri	10
2.1.1 KY 01-3.6 deney numunesine ait genel özellikler	10
2.1.2 KY 02-4.7 deney numunesine ait genel özellikler	14
2.1.3 KY 03-6.0 deney numunesine ait genel özellikler	17
2.2 Deney Düzenegi	20
2.2.1 Gerilim ölçerlerin yerleri ve montajı	22
2.2.2 Veri Seti	23
2.3 Yükleme Profilleri	24
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	26
3.1 Hasar Sınır Durumları	26
3.1.1 KY 01-3.6 Deney numunesi.....	27
3.1.2 KY 02-4.7 Deney numunesi.....	31
3.1.3 KY 03-6.0 Deney numunesi.....	35
3.2 Yük-Yer değiştirme İlişkileri	38
3.3 Eşdeğer Plastik Mafsal Boyu	44
3.4 Deneysel ve Analitik Olarak Hesaplanan Taşıma Gücü Moment Değerleri....	44
4. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ.....	46
4.1 Deney Numuneleri Analitik Göçme Hasar Sınırı Yer Değiştirme Kapasiteleri	46
4.2 Analitik Olarak Belirlenen Göçme Hasar Sınırlarının Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGE LİSTESİ

M	: Hesaplama anındaki moment
M_u	: Son limit momenti
N	: Normal kuvvet
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	: Deprem 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
a	: Kiriş kesme açıklığı
d	: Kiriş etkili derinliği
d'	: Paspayı mesafesi
b	: Kiriş genişliği
h	: Kiriş yüksekliği
f_c	: Deney numunesinin deney günü ölçülen deneysel beton basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_y	: Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
ε_{cu}	: Betonun ezilme birim kısalması
f_{su}	: Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
f_{yw}	: Enine donatı deneysel akma dayanımı
ε_{sh}	: Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi
EI	: Eğilme rijitliği
x	: Tarafsız eksenin negatif yöndeki harici potansiyometreye olan mesafesi
μ	: Yer değiştirme sünekliği

- μ_{Δ} : Nominal yer değiştirme suneelik oranı
 ω, ω' : Boyuna donatıların mekanik oranı
 α : Sargı donatısı etki faktörü
 k_1 : Beton basınç dağılımını tanımlayan bir parametre
 k_3 : Beton basınç dağılımını tanımlayan bir parametre
 η : Beton basınç dağılımını tanımlayan bir parametre = k_3
 λ : Beton basınç dağılımını tanımlayan bir parametre = k_1
 β_1 : *ACI 318*'de tanımlanan bir parametre değeri
 α_{cc} : Basınç dayanımı üzerindeki uzun süreli olumsuz tesirleri dikkate almak için kullanılan katsayıdır.

KISALTMA LİSTESİ

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
LVDT	: Harici Potansiyometre
YP1	: Yükleme Profili 1 – Yer değiştirme sünekliği kontrollü yükleme
YN	: Yükleme numarası
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi (TBDY)
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (TBDY)
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi (TBDY)
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

Sayfa

Çizelge 1.1: Plastik mafsal uzunluğu için bazı ampirik ifadeler.....	3
Çizelge 1.2: <i>ACI 318</i> 'deki β_1 değerleri	7
Çizelge 1.3: <i>Eurocode 2</i> 'de tanımlanan k_1 ve k_3 değerleri.....	7
Çizelge 2.1: KY 01-3.6 betonarme kiriş deney elemanının geometrik özellikleri.....	10
Çizelge 2.2: KY 01-3.6 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri	11
Çizelge 2.3: KY 01-3.6 betonarme deney elemanına ait boyuna ve enine donatı oranları.....	14
Çizelge 2.4: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının geometrik özellikleri.....	15
Çizelge 2.5: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri	15
Çizelge 2.6: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının boyuna ve enine donatı oranları.....	15
Çizelge 2.7: KY 03-6.0 deney elemanının geometrik özellikleri.....	18
Çizelge 2.8: KY 03-6.0 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri	18
Çizelge 2.9: KY 03-6.0 betonarme deney elemanının boyuna ve enine donatı oranları	18
Çizelge 2.10: KY 01-3.6, KY 02-4.7 ve KY 03-6.0 deney elemanlarına uygulanan hedef yer değiştirme değerleri	25
Çizelge 3.1: Ölçülen sınırlar ve hasar sınırları arasındaki bağlantı (ATC-38).....	27
Çizelge 3.2: KY 01-3.6 numunesi deneysel sonuçlar	28
Çizelge 3.3: KY 02-4.7 numunesi deneysel sonuçlar	33
Çizelge 3.4: KY 03-6.0 numunesi deneysel sonuçlar	36
Çizelge 3.5: Deneysel ve analitik olarak elde edilen taşıma gücü momentlerinin karşılaştırılması	45
Çizelge 4.1: Kesit Birim Şekil Değiştirme Hasar Sınırları (TBDY 2018).....	48
Çizelge 4.2: TBDY 2018'deki hesaplarda kullanılan kirişe ait parametreler	51
Çizelge 4.3: TBDY 2018'deki göçme sınırı dönme değerleri	52
Çizelge 4.4: FEMA 356, (2000) Bina performans düzeyleri ve aralıkları.....	54
Çizelge 4.5: FEMA 356'daki Betonarme kiriş kesit dönmesi hasar sınırları	55
Çizelge 4.6: FEMA 356'daki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler.....	56
Çizelge 4.7: FEMA 356'daki Göçme sınırı dönme değerleri	56
Çizelge 4.8: Toplam dönme kapasitesi formülü parametreleri	58
Çizelge 4.9: EUROCODE 8'deki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler ..	59
Çizelge 4.10: EUROCODE 8'deki Göçme sınırı dönme değerleri.....	60
Çizelge 4.11: Kirişler İçin Eğrilik Sınırı K_d katsayısı (NZS 3101-1)	62
Çizelge 4.12: NZS 3101-1'deki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler	62
Çizelge 4.13: NZS 3101-1'deki Göçme sınırı dönme değerleri	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Betonun ezilme birim kısalması	6
Şekil 1.2: Eşdeğer dikdörtgen dağılımı [21].	6
Şekil 1.3: Yönetmeliklerdeki k_1 değerlerinin karşılaştırılması	8
Şekil 1.4: Yönetmeliklerdeki k_3 değerlerinin karşılaştırılması	8
Şekil 2.1: Deney numunelerinin tanımlanmasında kullanılan kısaltmalar.....	10
Şekil 2.2: KY 01-3.6 deney numunesi malzeme özelliklerine ait fotoğraflar.....	12
Şekil 2.3: KY 01-3.6 betonarme deney numunesine ait donatı imalat detayları [36]	13
Şekil 2.4: KY 01-3.6 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları.....	14
Şekil 2.5: KY 02-4.7 betonarme deney kirişine ait donatı imalat detayları.....	16
Şekil 2.6: KY 02-4.7 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları.....	17
Şekil 2.7: KY 03-6.0 deney kirişine ait donatı imalat detayları.....	19
Şekil 2.8: KY 03-6.0 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları.....	20
Şekil 2.9: Deney Düzeni [32].....	21
Şekil 2.10: Hidrolik krikonun yerleştirilmesi.....	22
Şekil 2.11: Birim şekil değiştirme ölçerlerin konumları	22
Şekil 2.12: Harici potansiyometrelerin konumu	23
Şekil 2.13: Düşey harici potansiyometrelerin konumu	23
Şekil 2.14: KY 01-3.6, KY 02-4.7 ve KY 03-6.0 deney elemanları yükleme geçmişi ve tekrarlı çevrim.....	25
Şekil 3.1: KY 01-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	30
Şekil 3.2: KY 01-3.6 deney sonu hasar durumu	31
Şekil 3.3: KY 02-4.7 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	34
Şekil 3.4: KY 02-4.7 deney sonu hasar durumu	35
Şekil 3.5: KY 03-6.0 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri.....	37
Şekil 3.6: KY 03-6.0 deney sonu hasar durumu	38
Şekil 3.7: KY 01-3.6 numunesi için deneysel yük – yer değiştirme ilişkisi.....	39
Şekil 3.8: KY 02-4.7 numunesi için deneysel yük – yer değiştirme ilişkisi.....	39
Şekil 3.9: KY 03-6.0 numunesi için deneysel yük – yer değiştirme ilişkisi	40
Şekil 3.10: KY 01-3.6 deneysel yer değiştirme diyagramı	41
Şekil 3.11: KY 02-4.7 deneysel yer değiştirme diyagramı	41
Şekil 3.12: KY 03-6.0 deneysel yer değiştirme diyagramı	42
Şekil 3.13: Deney numuneleri deney sonu maksimum yerdeğiştirme durumları	43
Şekil 3.14: Çift yönlü plastik mafsal şematik gösterimi	44
Şekil 4.1: Kesit hasar sınırları/bölgesi tanımları [1]	48
Şekil 4.2: TBDY 2018’de sargı donatısı etkinlik katsayısı bileşenlerinin şematik olarak gösterimi	50
Şekil 4.3: Kapasite Eğrisinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları [35]	55
Şekil 4.4: EUROCODE 8’de sargı donatısı etki faktörü bileşenlerinin şematik olarak gösterimi.....	58

Şekil 5.1: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KY 01-3.6)	64
Şekil 5.2: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KY 02-4.7)	65

YÜKSEK MUKAVEMETLİ KİRİŞLERİN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

ÖZET

Bu deneysel çalışmada; yüksek dayanımlı beton ile üretilmiş betonarme konsol kirişlerin tersinir çevrimsel yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Deney programında artan bir genliğe sahip yükleme geçmişleri kullanılmıştır. Deneysel programda kesme açıklığı/kiriş etkili derinliği oranı 3.6, 4.7 ve 6.0 olan deney numunelerinin deprem yükleri altındaki davranışları yerdeğiştirme kontrollü çevrimsel yüklere benzeştirilerek test edilmiştir. Düşey yük etkisinin ihmal edildiği yükleme geçmişinin uygulandığı betonarme kiriş numunelerinin deneysel olarak elde edilen hasar durumları ve şekil değiştirme talepleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen veriler yürürlükteki bazı yönetmelik kabulleri yardımıyla elde edilen analitik sonuçlarla da [1,2,3,4] mukayese edilmiştir.

Tez çalışması beş bölüm olarak planlanmış olup, birinci bölümde literatür araştırmasına değinilmiştir. İkinci bölümlerde; deney programı sunulmuştur, üçüncü bölümde deneysel sonuçlar ve değerlendirme yapılmıştır, dördüncü bölümde deneysel burguların irdelenmesine değinilmiştir ve beşinci bölümde Sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hasar Sınır Yaklaşımı, Yüksek dayanımlı beton, Yer değiştirme kapasitesi, Deneysel yük-yer değiştirme ilişkisi, Tersinir Çevrimsel Yükler*

BEHAVIOR OF HIGH STRENGTH BEAMS UNDER CYCLIC LOADS

ABSTRACT

In this experimental study, the behavior of reinforced concrete cantilever beams produced with high strength concrete under reversible cyclic loads was investigated. Loading histories with an increased amplitude were used in the experiment. In the experimental design, the behavior of the test specimens with shear gap/beam depth ratio 3.6, 4.7 and 6.0 under earthquake loads was tested by simulating displacement-controlled cyclic loads. Experimental damage conditions and deformation demands of reinforced concrete beam samples where the load history is applied and the effect of the vertical load is disregarded were analyzed comparatively. The data obtained through experiment were compared with the analytical results [1,2,3,4] derived from some of the current government regulations. This thesis is comprised of five chapters. The first chapter provides a review of the literature, the second chapter presents the experimental design, the third chapter evaluates the experimental results, the fourth chapter discusses the experimental findings, and the fifth chapter reviews the study's general results and suggestions.

Keywords: *Damage Limit Approach, High Strength Concrete, Displacement Capacity, Experimental Load-displacement Relationship, Reversible Cyclic Loads*

1. GİRİŞ

Günümüzde depreme dayanıklı tasarımı hedefleyen bina yönetmelikleri, betonarme olarak inşa edilen yapıların yıkıcı deprem etkisi altında elastik sınırlar içerisinde tasarlanmasına ekonomik olmama gibi gerekçelerle sıcak bakmamaktadır. Ancak bazı tasarım kuralları çerçevesinde zorunlu olmamakla beraber, elastik ötesi davranış sağlayacak şekilde -muhtemel hasar yerlerinin enerjii sönmöleyeceği kadar- plastik dönme yapması koşuluyla tasarıma izin verebilmektedir.

Deprem riski altında olan bölgelerde yapılacak olan betonarme yapıların sorunlarından bir tanesi deprem anında oluşacak enerjinin hangi seviyede tüketileceğidir. Bu enerjinin emilimi taşıyıcı elemanlarda plastik mafsal oluşumuyla mümkün olmaktadır. Elastik ötesi davranışın önemli bir parçası olan plastik mafsal konusu, yapı mühendisliği için önem arz eden kavramlardan biridir. Yapıya ait elemanların elastik ötesi davranışlarının bilinmesi, yapının gerçekçi davranışı hakkında ön görüde bulunulmasını sağlamaktadır. Yapıya ait elemanlarda hasar oluşması yapının tümünden göçmesine sebep olacak sonuçlar doğurabilmektedir. Plastik mafsalin performansı, yapı elemanının yük taşıma ve deformasyon kapasiteleri için çok önemlidir. Bu nedenle, plastik mafsallar yapısal tasarımcılar ve araştırmacılar için on yıllardır ilginç ve karmaşık bir araştırma konusu olmuştur.

Yapısal performansın değerlendirilmesi bağlamında kiriş mesnet bölgelerinin plastik mafsal dönme kapasiteleri uzun yıllar deneysel çalışmalara konu olmuştur [5-9]. Bu deneysel çalışmalar yer değiştirme kontrollü olarak deprem etkisinin çevrimsel yüklerle benzeştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir [10-15]. Elastik ötesi davranış sergileyecek şekilde pozitif ve negatif eğilme yönünde zorlamanın oluşacağı deney numunelerinde, birçok çalışmada [16,17] önerilmiş olan çevrimsel yer değiştirme geçmişleri kullanılarak yük-yer değiştirme kapasitesi ölçülmüş olmaktadır.

Coğrafi konumu nedeniyle aktif ve etkili deprem kuşağında bulunan ülkemizde, deprem kendini kısa denilebilecek periyodlarla hatırlatmaktadır. Özellikle son yıllarda yaşadığımız deprem felaketleri sebebiyle yaşanan ciddi maddi ve manevi kayıplar sonucunda bu alandaki çalışmalar önem kazanmıştır. Teknolojik gelişmelerle birlikte yıkıcı deprem etkilerine karşı can ve mal güvenliğini korumak için yönetmelikler yenilenmiştir. Deprem yönetmelikleri ülkemizde 1940'lı yıllardan başlayarak geliştirilmiş, en son 2018'de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) olarak güncellenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'nde; yapısal elemanlar için hasar sınırları ve seviyeleri somut bir şekilde hesap yöntemi olarak tarif edilmiştir. Daha sonra buradaki eleman hasar seviyelerinin hesapları; geliştirilmiş olan birtakım kurallarla sistem düzeyinde performansa taşıyacak hesap aşamaları tarif edilmiştir. Binaların minimum performans hedefleri belirlenirken kullanım amacı ve türü gibi parametreler kullanılarak deprem düzeyleri tarif edilmiştir.

Laboratuvar ortamında tasarlanarak üretilen üç adet deney numunesinin kullanıldığı bu çalışmada; düşey yük etkisinin ihmal edildiği bir yükleme geçmişi tercih edilmiştir. Yapısal elemanlardan olan kirişlere elastik ötesi bir davranışa izin verecek ölçüde artan genlikli çevrimsel yüklemeler uygulanmıştır. Betonarme kiriş deney numunelerinin göçme hasar durumları inceleme konusu yapılarak; plastik dönme kapasitelerinin bu hasar durumları üzerindeki etkisi deneysel olarak irdelenmiştir. Üç ayrı kesme açıklığı/kiriş derinliği oranı ve plastik mafsal davranışına sahip deney numunesinin incelendiği deney programında, numunelerin deprem yükleri altındaki davranışları yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklere benzeştirilerek test edilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar, güncel olarak kullanımda olan bazı yönetmeliklerle [1,2,3,4] karşılaştırılmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Plastik mafsal boyunun hesabı ile ilgili literatürde birçok ampirik olarak ifade edilen formül bulunmaktadır. Elde edilmiş bu formüllerden hangisinin daha doğru sonuç verdiğini elde etmek için deneye dayalı birçok çalışma yapılması gerekmektedir. Plastik mafsal bölgesinin uzunluğu, yapı elemanının deprem gibi yıkıcı etkiye sahip olaylardan hasar almaması ve sünekliğini arttırmak için

sınırlamanın sağlanması gereken önemli bir tasarım parametrelerinden birisidir. Plastik mafsal davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan yükseklikleri, kurucu malzemeler arasındaki etkileşimler ve zorlanma lokalizasyonu nedeniyle çok karmaşıktır. Sonuç olarak, birçok araştırmacı için bu deneysel testler inceleme konusu oldu. Araştırmacılar yaptıkları deneysel sonuçlara dayanarak plastik mafsal uzunluğunu matematiksel olarak ifade etmeye çalışmışlardır. Plastik mafsal uzunluğu birçok değişkene bağlı olarak ifade edilmektedir.

Bunlardan bazıları kısaca;

- Beton basınç dayanımı,
- Eksenel yük durumu,
- Plastik mafsal bölgesinde bulunan sargı donatısı ve kayma gerilmesi seviyesi
- Kesite ait geometri,
- Boyuna donatı oranı,
- Boyuna ve enine donatıya ait mekanik özellikler,
- Kesme açıklığı, gibi sıralanabilir.

Her ne kadar Çizelge 1.1'de özetlendiği gibi plastik mafsal uzunluğu L_p 'nin tahmini için çok sayıda ampirik denklem önerilmiş olsada, L_p 'nin doğruluğu ele alınması gereken açık bir konu olmaya devam etmektedir. TBDY 2018 de plastik mafsal boyu (plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu) L_p , çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınmaktadır. $L_p = 0.5h$

Çizelge 1.1: Plastik mafsal uzunluğu için bazı ampirik ifadeler

Araştırmacı Referansı	Plastik Mafsal ifadesi (L_p)
Baker (1956)	$k[(z/d)^{0.25}]d$
Sawyer (1964)	$0.25d+0.075z$
Corley (1966)	$0.5d+0.2\sqrt{[d(z/d)]}$
Mattock (1967)	$0.5d+0.05z$
Priestley and Park (1987)	$0.08z+6d_b$
Paulay and Priestley (1992)	$0.08z+0.022d_b f_y$
Sheikh and Houry (1993)	$1.0h$
Coleman and Spacone (2001)	$G_f / [0.6f'_c(\epsilon_{20}-\epsilon_c+0.8f'_c/E_c)]$
Panagiotakos and Fardis (2001)	$0.18z+0.021d_b f_y$

Burada d = etkili kiriş veya kolon derinliği; d_b = boyuna donatı çapı; E_c = young modülü; f_c = beton basınç dayanımı; f_y = kesiti akma limit durumuna getiren yük; c_h = kiriş veya kolonun toplam derinliği; z = kritik bölümden kontrastlexure noktasına kadar olan mesafe; H_c = tepe basınç gerilme.

Birçok deneysel incelemede yaygın olarak kullanılan, deprem etkisinin yer değiştirme kontrollü tersinir çevrimsel yüklere benzeştirilerek uygulandığı Çevrimsel Yükleme Yöntemi bu çalışmada da kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, yaygın olarak deney numunelerinde pozitif ve negatif eğilme doğrultularında elastik ötesi bir davranış sergileyen yükleme geçmişleri kullanılmıştır. Düşey yük etkisinin belirgin mertebede olmadığı varsayıldığı bu yöntemde betonarme yapı elemanlarının plastik mafsall oluşumu, dönme ve yer değiştirme kapasitesi gibi konular hakkında birçok çalışma yapılmıştır.

M. Çelebi ve J. Penzien tarafından 1973 yılında yapılan deneysel çalışmada, yükleme hızı ve a/d oranının kirişlerin enerji absorpsiyonu ve rijitlik derecelerine etkileri araştırma konusu edilmiştir. Farklı etriye aralıkları seçilerek tasarlanan yapı elemanlarında a/d oranı düşük olan deney elemanlarında rijitliğin belirgin olarak düştüğü sonucuna varılmıştır. [10].

2012 yılında Y.Jiao, S.Kishiki, S.Yamada tarafından yapılan çelik kirişlerin sismik tasarımı için önerilerde bulunduğu çalışmada, mevcut kullanılan yükleme protokolleri değerlendirilmiştir [12].

Betonarme olarak üretilen köprü ayakları konusunda çevrimsel test yetersizliğine dikkat çeken bir çalışma J.J.Shen ve W.P.Yen tarafından yapılmıştır. Bu yetersizlikten kurtulmak için ACI protokolü yükleme profillerini referans alan bazı çalışmalar yapılmıştır [11].

1.2 Hipotez

Betonarme kesitlerin taşıma gücü hesabına göre hesaplanması yöntemi üzerinde, 19. yüzyılın sonlarından günümüze kadar çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.1942 yılında Charles Whitney tarafından detaylı bir çalışma yapılarak, eğilme ve bileşik eğilme altındaki betonarme kesitler için taşıma gücüne dayanan, istikrarlı ve kolay bir yöntem geliştirmiştir. Charles Whitney tarafından yapılan bu

çalışma, günümüzde kullandığımız taşıma gücü yöntemlerinin altlığını oluşturmaktadır [18].

Taşıma gücü yöntemini yönetmeliğine 1939 yılında ilk ekleyen Sovyetler Birliği olmuştur. Daha sonra 1956 yılında ABD ve 1970'li yıllarda Avrupa'da bu konuda ilk adımlar atılmıştır [19]. Ülkemizde ise 1983 yılında TS 500' de yapılan kapsamlı bir revizyonla taşıma gücü yönteminin esas alınması sağlanmıştır [20]. Eğilme ve basit eğilme etkisinde olan kesitlerin taşıma gücü yöntemine göre hesaplanmasını mevcut yönetmeliğimiz zorunlu kılmaktadır.

TS 500 ve diğer ulusal yönetmelikler üzerinde azımsanmayacak etkisi olan Eurocode 2 ve ACI 318 gibi uluslararası yönetmeliklerde yer alan taşıma gücü yöntemleri irdelendiğinde birbirlerine yakın varsayımlardan beslendiği görülmektedir. Aralarındaki farklılıklar ise betonun ezilme birim kısalması ϵ_{cu} ile beton basınç bölgesi gerilme dağılımlarından kaynaklanmaktadır.

ACI 318 ve *TS 500* deneylerden elde edilen basınç bölgesindeki beton bileşeni F_c ve ona ait ağırlık merkeziyle uyumlu olan bir dağılımın kullanılabileceğini belirterek dikdörtgen dağılımı işaret etmektedir. *Eurocode 2* ise dikdörtgen – parabol, yamuk ve dikdörtgen dağılımların kullanılabileceğini öngörmektedir. Bu üç yönetmelikte yer alan dikdörtgensel dağılıma ait özellikler birçok farklılık içermektedir. *TS 500*, *ACI 318* ve *Eurocode 2*'de tanımı yapılmış olan dikdörtgen dağılımın özellikleri ve betonun ezilme birim kısalması ϵ_{cu} aşağıda kısaca özetlenecektir [21].

ABD yönetmeliği *ACI 318*'de bütün beton basınç dayanım sınıfları için; $\epsilon_{cu} = 0,003$ olarak verilmiştir. [22]

Eurocode 2' de ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$) için $\epsilon_{cu} = 0,0035$; ($f_{ck} > 50 \text{ MPa}$) olması durumunda aşağıdaki denklemden hesaplanmaktadır [23].

$$\epsilon_{cu} = 0,0026 + 0,035 \left(\frac{90 - f_{ck}}{100} \right)^4 \quad (1.1)$$

TS 500' de ise ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$) basınç dayanımına sahip betonlarda $\epsilon_{cu} = 0,003$ olarak kullanılmıştır. Bu standartta beton basınç dayanımı 50 MPa ile sınırlı olduğundan dolayı daha yüksek dayanıma sahip betonlarda Uğur Ersoy'un aşağıdaki önerisi kullanılabilir [21].

ACI 318' de k_3 bütün beton dayanım sınıfları için 0,85 olarak tanımlanmıştır. β_1 olarak tanımlanan k_1 ise beton basınç dayanım sınıflarına göre aşağıdaki Çizelge 1.2'de tanımlanmıştır.

Çizelge 1.2: *ACI 318*'deki β_1 değerleri

f_{ck} (MPa)	β_1
$17 \leq f_{ck} \leq 28$	0.85
$28 < f_{ck} < 55$	$0.85 - \frac{0.05 (f_{ck} - 28)}{7}$
$f_{ck} \geq 55$	0.65

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarını içeren *TS 500*' de ise ($f_{ck} \leq 25$ MPa) basınç dayanımına sahip betonlarda k_1 için 0,85 değeri verilmektedir. ($f_{ck} > 25$ MPa) olan betonlarda ise aşağıdaki formül kullanılmıştır. *TS 500*' de bütün beton dayanım sınıfları için $k_3 = 0,85$ olarak verilmiştir.

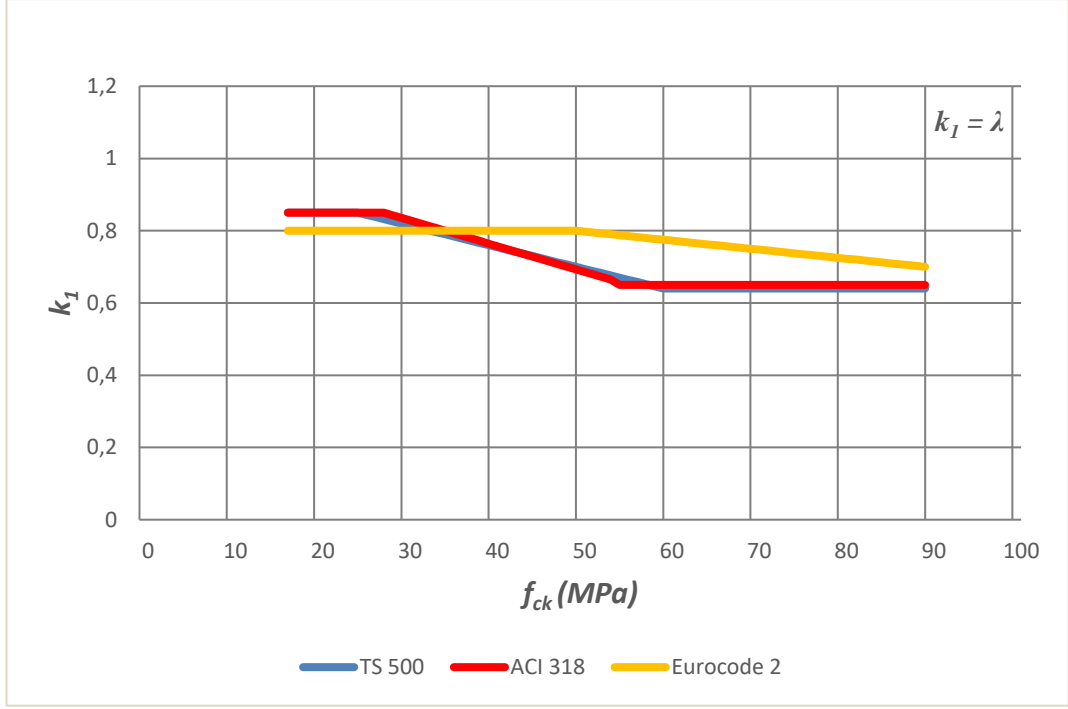
$$k_1 = (1,0 - 0,006 f_{ck}) \geq 0,64 \quad (3)$$

Eurocode 2' de dikdörtgen basınç dağılımına ait özellikler aşağıdaki çizelge 1.3'deki gibi tanımlanmıştır.

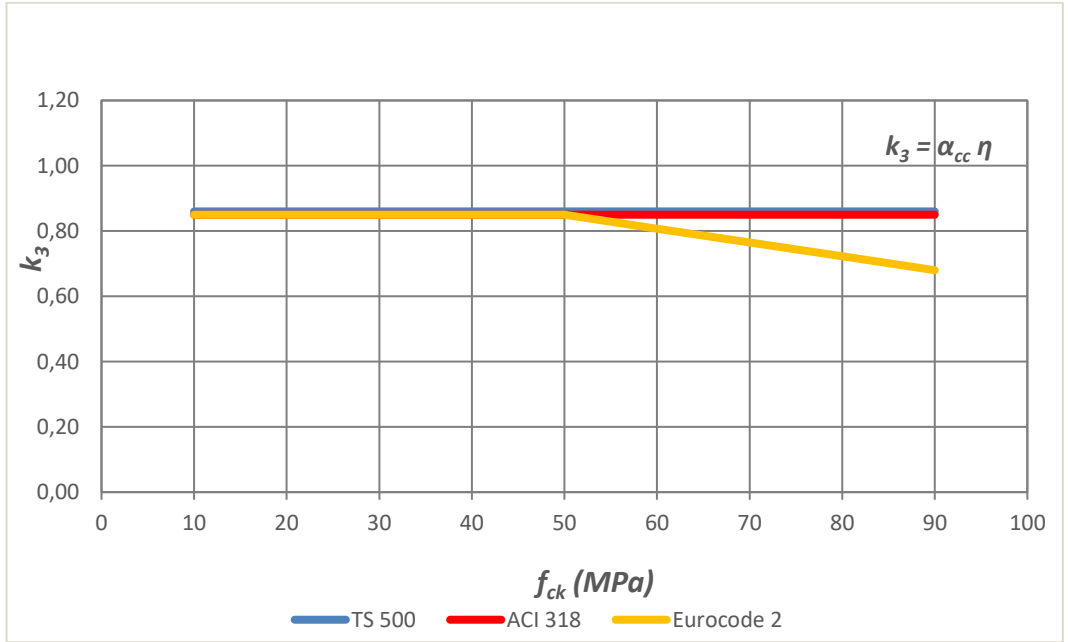
Çizelge 1.3: *Eurocode 2*'de tanımlanan k_1 ve k_3 değerleri

Parametre	$f_{ck} \leq 50$ Mpa	$f_{ck} > 50$ Mpa
$k_3 = \alpha_{cc} \eta$	$0.85 * 1.0 = 0.85$	$0.85 - 0.85 (f_{ck} - 50) / 200$
$k_1 = \lambda$	0.8	$0.8 - (f_{ck} - 50) / 400$

TS 500, *Eurocode 2* ve *ACI 318* yönetmeliklerindeki k_1 ve k_3 değerleri Şekil 1.3 ve 1.4' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada α_{cc} basınç dayanımı üzerindeki uzun süreli tesirleri ve yük uygulanma yönteminden kaynaklanan olumsuz tesirleri dikkate almak için kullanılan katsayıdır. α_{cc} değeri, 0,8 ila 1,0 arasında değişmekle birlikte *Eurocode 2*' de önerilen değeri 1,0'dır.



Şekil 1.3: Yönetmeliklerdeki k_1 değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 1.4: Yönetmeliklerdeki k_3 değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 1.3.'de gösterildiği gibi $f_{ck} \leq 40$ MPa dayanıma sahip betonlarda her üç yönetmelikte de k_1 değerleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı; beton dayanımlarının artmasıyla ACI 318 ve TS 500 birbirine yakın değerler alırken, Eurocode 2 bu değerlerin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu farkın C60 dayanıma sahip betonlarda pik yaptığı görülmektedir.

Şekil 1.4.'de görüldüğü üzere TS 500 ve ACI 318'de tüm beton dayanım sınıfları için $k_3 = 0,85$ olarak sabit sabit bir değerde tutulmuştur. Eurocode 2 için ise $f_{ck} \leq 50$ MPa dayanıma sahip betonlara kadar diğer iki yönetmelikte olduğu gibi $k_3 = 0,85$ değerini alırken; $f_{ck} > 50$ MPa dayanıma sahip betonlarda grafiğin aşağı yönlü bir seyir izlediği görülmektedir. Yukarıda yapılan analizden anlaşılacağı üzere şu varsayımlarda bulunulabilir. Bütün beton dayanım sınıfları $k_3 = 0,85$ olarak kullanılabilceği kanısına varılmıştır. Ayrıca tüm beton dayanım sınıfları için beton ezilme birim kısalması ACI 318 in tanımladığı gibi $\epsilon_{cu} = 0,003$ olarak alınabileceğine ulaşılmıştır.

KY 01-3.6 deney numunesinin beton sınıfı C55/67 dir. Yatay ve düşey donatılarda nervürlü (S420) betonarme donatı çeliği kullanılmıştır. Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınan hedef basınç dayanımları (f_{cm}) TS 802-2016 standardına [24] göre 63 MPa alınmıştır. Deney numunesinde kullanılan boyuna ve enine donatıların mekanik özellikleri [25,26,27] ve deney günü standart 150mm x 300mm 3 adet silindir numunelerden elde edilen [28,29,30,31] deney numunelerinin ortalama basınç mukavemetleri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir. İstanbul Aydın Üniversitesinde inşaat mühendisliği laboratuvarında hazırlanan betonarme kiriş malzeme basınç dayanım deneyi ve betonarme donatı çeliği çekme deneyine ait fotoğraflar Şekil 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2: KY 01-3.6 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri

Deney Numunesi	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{yw} (MPa)	ϵ_{sh} (%)	ϵ_{su} (%)
KY 01-3.6	64.4	498	602	597	0.009	0.140

f_c : Silindir numune basınç dayanımı

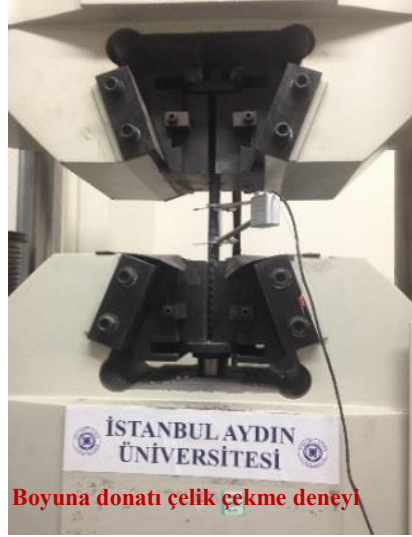
f_y : Boyuna donatı deneysel akma dayanımı

f_{su} : Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı

f_{yw} : Enine donatı deneysel akma dayanımı

ϵ_{sh} : Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değıştirmesi

ϵ_{su} : Boyuna donatı kopma birim şekil değıştirmesi



Boyuna donatı çelik çekme deneyi



Enine donatı çelik çekme deneyi

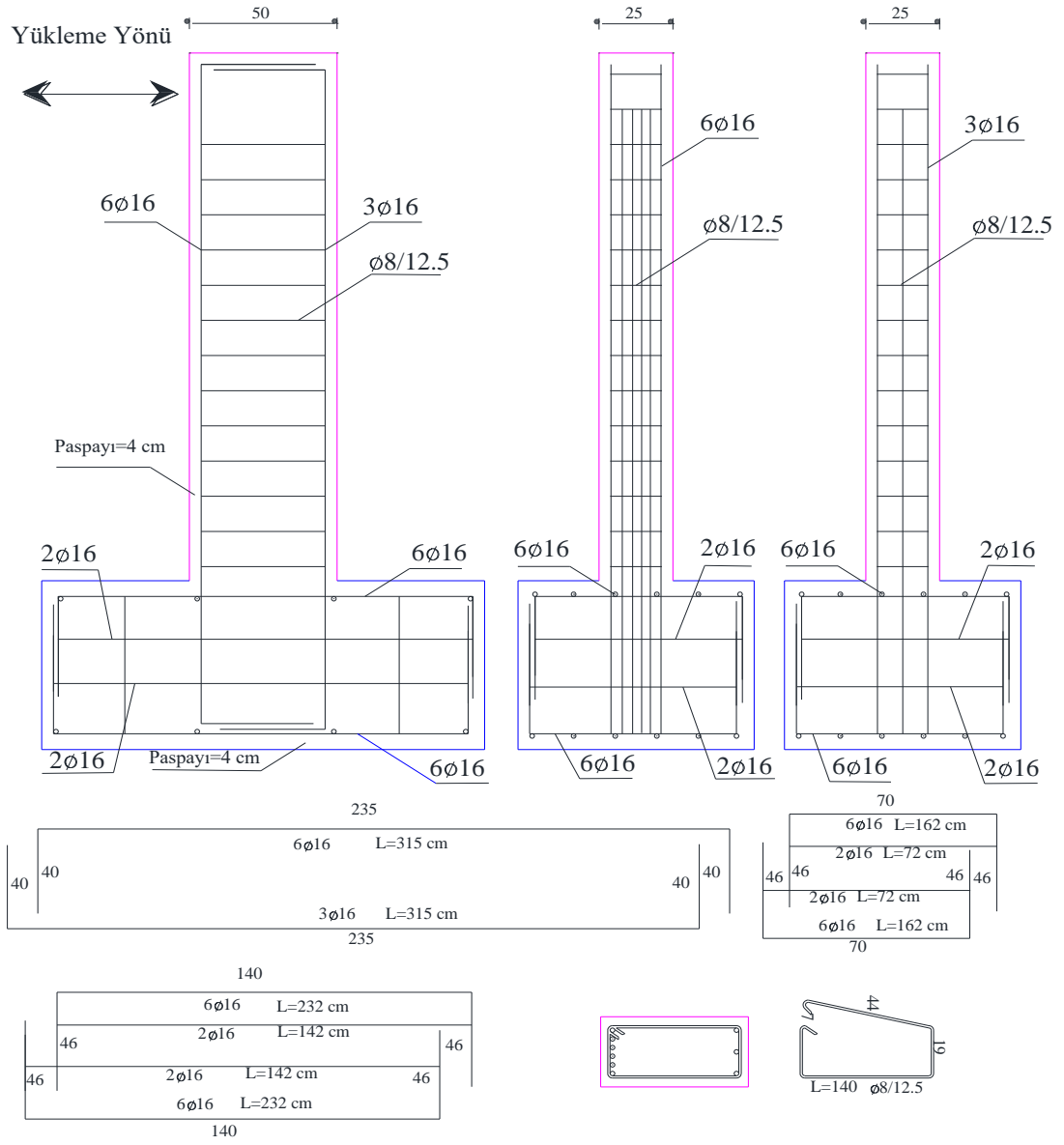


KY 01-3.6 beton basınç deneyi

Şekil 2.2: KY 01-3.6 deney numunesi malzeme özelliklerine ait fotoğraflar

KY 01-3.6 numaralı betonarme deney kirişinin tasarım kesitinde boyuna donatı düzeni ve sayısı diğer her iki deney numuneleri ile aynı, yanal donatı aralığı farklı olarak tasarlanmıştır. Deneysel programda Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği (a/d) oranları birbirinden farklı seçilmiştir.

KY 01-3.6 numaralı deney numunesine ait donatı çeliğinin detayları Şekil 2.3’de, boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: KY 01-3.6 betonarme deney numunesine ait donatı imalat detayları [36]

Çizelge 2.3: KY 01-3.6 betonarme deney elemanına ait boyuna ve enine donatı oranları

Deney Numunesi	Mesnet kesiti donatı oranı		Enine donatı oranı
	Üst	Alt	
KY 01-3.6	6Φ16 0.0105	3Φ16 0.0052	Φ8/12.5 0.0032

KY 01-3.6 deney elemanı imalatını gösteren fotoğraflar Şekil 2.4’ de verilmiştir.



Şekil 2.4: KY 01-3.6 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları

2.1.2 KY 02-4.7 deney numunesine ait genel özellikler

KY 02-4.7 numunesi, geometrik kesit özellikleri yönünden KY 01-3.6 numunesi ile özdeş boyutlarda tasarlanmıştır. Betonarme deney kirişine ait geometrik özellikler Çizelge 2.4’de, malzeme özelliklerine ait detaylar Çizelge 2.5’de, boyuna ve enine donatı oranlarına ait parametreler ise Çizelge 2.6’da verilmiştir.

KY 02-4.7 deney numunesi donatı detayları ve imalat aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.4: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının geometrik özellikleri

Deney	a	d	a/d	b	h	L
Numunesi	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(cm)
KY 02-4.7	215	46	4.7	25	50	290
<i>a : Kesme açıklığı (konsol boyu)</i>				<i>b: Kiriş genişliği</i>		
<i>d : Kiriş etkili derinliği</i>			<i>h : Kiriş yüksekliği</i>			
<i>a/d : Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği</i>			<i>L : Kiriş boyu</i>			

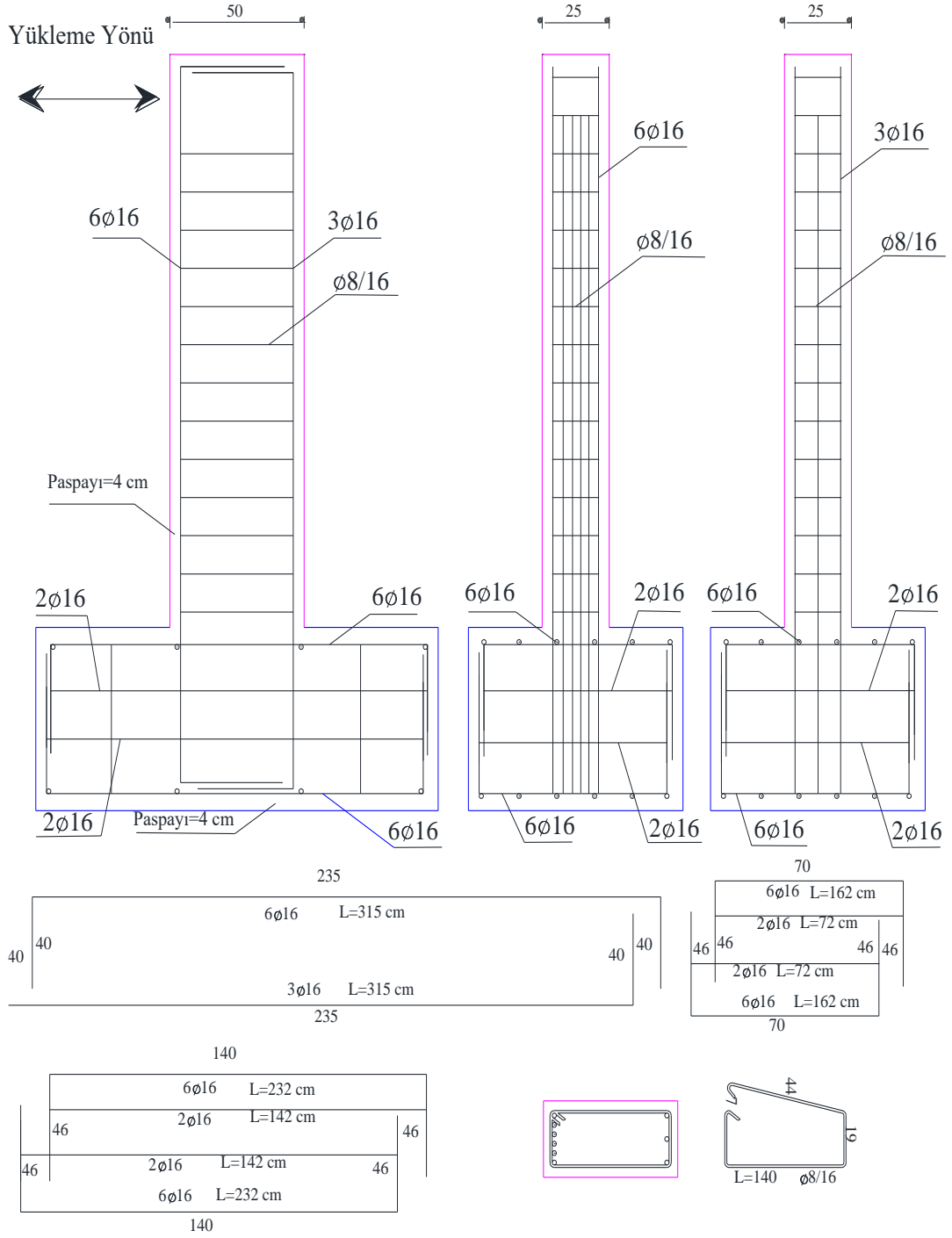
Çizelge 2.5: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri

Deney	f_c	f_y	f_{su}	f_{yw}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}
Numunesi	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)
KY 02-4.7	68.4	498	602	597	0.009	0.140
<i>f_c : Silindir numune basınç dayanımı</i>						
<i>f_y : Boyuna donatı deneysel akma dayanımı</i>						
<i>f_{su} : Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı</i>						
<i>f_{yw} : Enine donatı deneysel akma dayanımı</i>						
<i>ϵ_{sh} : Boyuna donatı pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi</i>						
<i>ϵ_{su} : Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi</i>						

Çizelge 2.6: KY 02-4.7 betonarme kiriş deney elemanının boyuna ve enine donatı oranları

Deney	Mesnet kesiti donatı oranı		Enine donatı oranı
Numunesi	Üst	Alt	
KY 02-4.7	6Φ16	3Φ16	Φ8/16
	0.0105	0.0052	0.0025

KY 02-4.7 numaralı betonarme deney kirişi tasarım aşamasında diğer iki deney elemanlarından farklı yanal donatı aralığına sahip olarak tasarlanmıştır. Deneysel programda Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği (a/d) oranları ve donatı aralığı farklı olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2.5: KY 02-4.7 betonarme deney kirişine ait donatı imalat detayları



Şekil 2.6: KY 02-4.7 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları

2.1.3 KY 03-6.0 deney numunesine ait genel özellikler

Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği (a/d) oranı 6.0 olarak dizayn edilen KY 03-6.0 numaralı betonarme deney elemanına ait geometrik özellikler Çizelge 2.7’de, malzeme özelliklerine ait detaylar Çizelge 2.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7: KY 03-6.0 deney elemanının geometrik özellikleri

Deney Numunesi	a (cm)	d (cm)	a/d	b (cm)	h (cm)	L (cm)
KY 03-6.0	275	46	6.0	25	50	350

a : Kesme açıklığı (konsol boyu)
d : Kiriş etkili derinliği
a/d : Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği
b: Kiriş genişliği
h : Kiriş yüksekliği
L : Kiriş boyu

Çizelge 2.8: KY 03-6.0 betonarme kiriş deney elemanının malzeme özellikleri

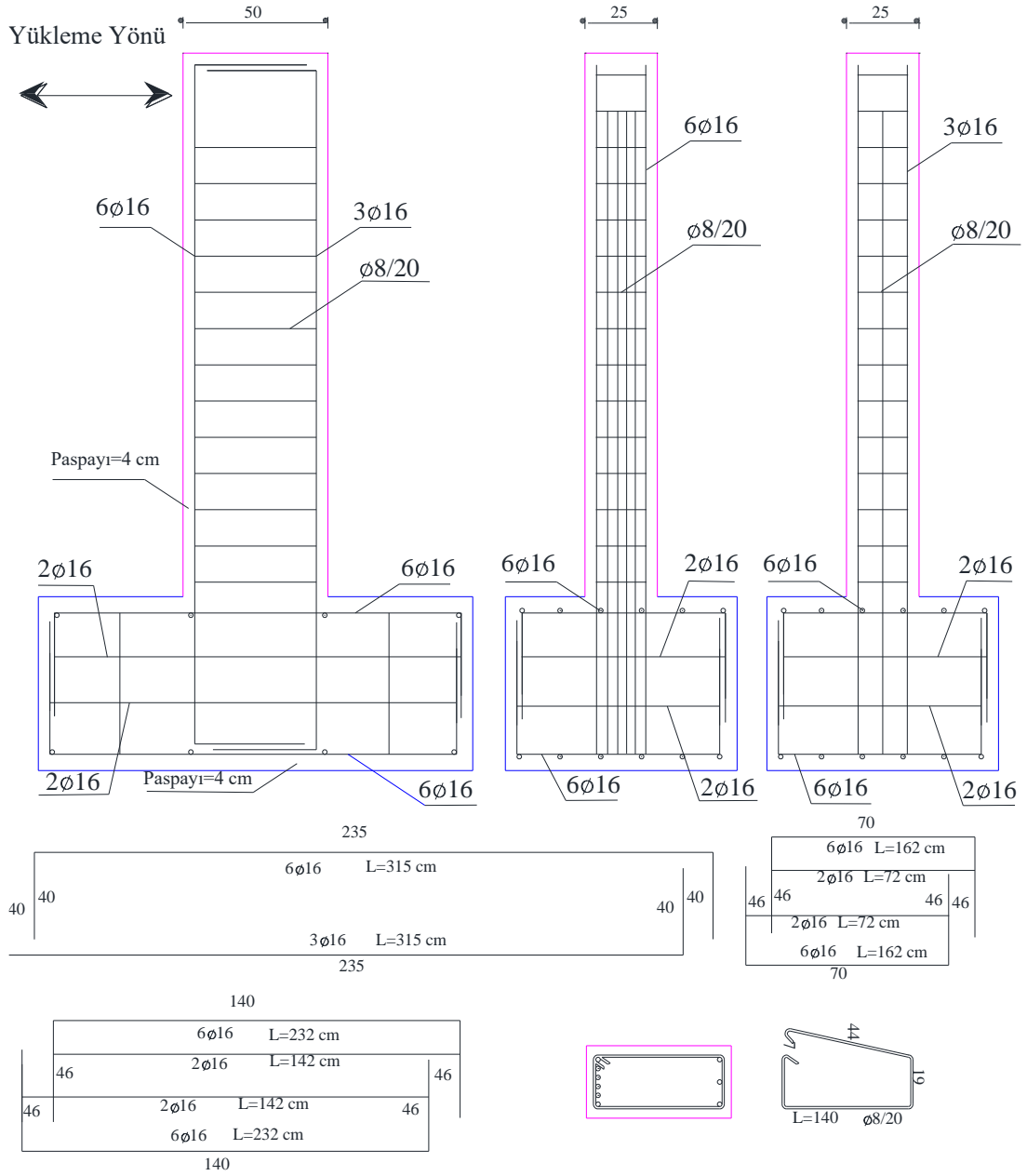
Deney Numunesi	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{yw} (MPa)	ϵ_{sh} (%)	ϵ_{su} (%)
KY 03-6.0	65.4	498	602	597	0.009	0.140

f_c : Silindir numune 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 pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
 ϵ_{su} : Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi

KY 03-6.0 numaralı betonarme kiriş deney elemanında Kesme açıklığı / Kiriş etkili derinliği (a/d) oranı 6.0 dır. Deneysel kesme kuvvetinin, tasarım kesme kuvvetine oranı bakımından diğer iki numuneler ile benzer bir tasarım hedefi olduğundan dolayı KY 01-3.6 ve KY 02-4.7 numaralı deney numunelerine göre yanal donatı aralığı farklı olacak şekilde tasarlanmıştır. KY 03-6.0 numaralı betonarme deney kirişinin boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.9’da sunulmuş olup, donatı imalat detayları ise Şekil 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.9: KY 03-6.0 betonarme deney elemanının boyuna ve enine donatı oranları

Deney Numunesi	Mesnet kesiti donatı oranı		Enine donatı oranı
	Üst	Alt	
KY 03-6.0	6Φ16	3Φ16	Φ8/20
	0.0105	0.0052	0.0020



Şekil 2.7: KY 03-6.0 deney kirişine ait donatı imalat detayları

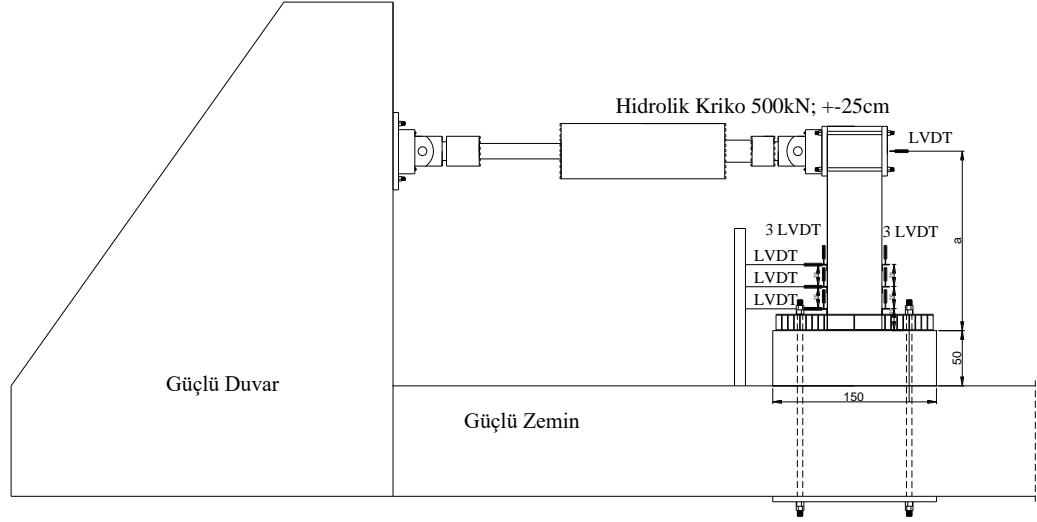
İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında tasarlanarak üretilen betonarme konsol kirişlerin üçüncüsü olan KY 03-6.0 numaralı deney kirişinin üretim aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8: KY 03-6.0 deney elemanına ait imalat aşamaları fotoğrafları

2.2 Deney Düzenegi

Deneye konu edilen betonarme konsol kiriş numuneleri, İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında test düzenegi Şekil 2.9’da şematik olarak gösterildiği üzere dizayn edilmiş ve deney numuneleri bu düzenek üzerinde teste tabi tutulmuştur.



Şekil 2.9: DeneY Düzeni [32]

Yukarıda şematik olarak çizilmiş şekilden de anlaşılacağı üzere deneY numuneleri masif bir betonarme yüzey üzerine monte edilmiştir. Konsol olarak tasarlanmış deneY numunelerinde yükün uygulandığı nokta kirişlerin moment sıfır noktasına tekabül etmektedir. Burada deneY numunesi güçlü olarak tasarlanmış betonarme yüzeye, rijit bir kolonu temsil eden eleman üzerinden sabitlenmiştir. Konsol kiriş momentin sıfır olduğu noktadan yük uygulanacak şekilde, deneY düzeneğine dikey olarak yerleştirilmiştir.

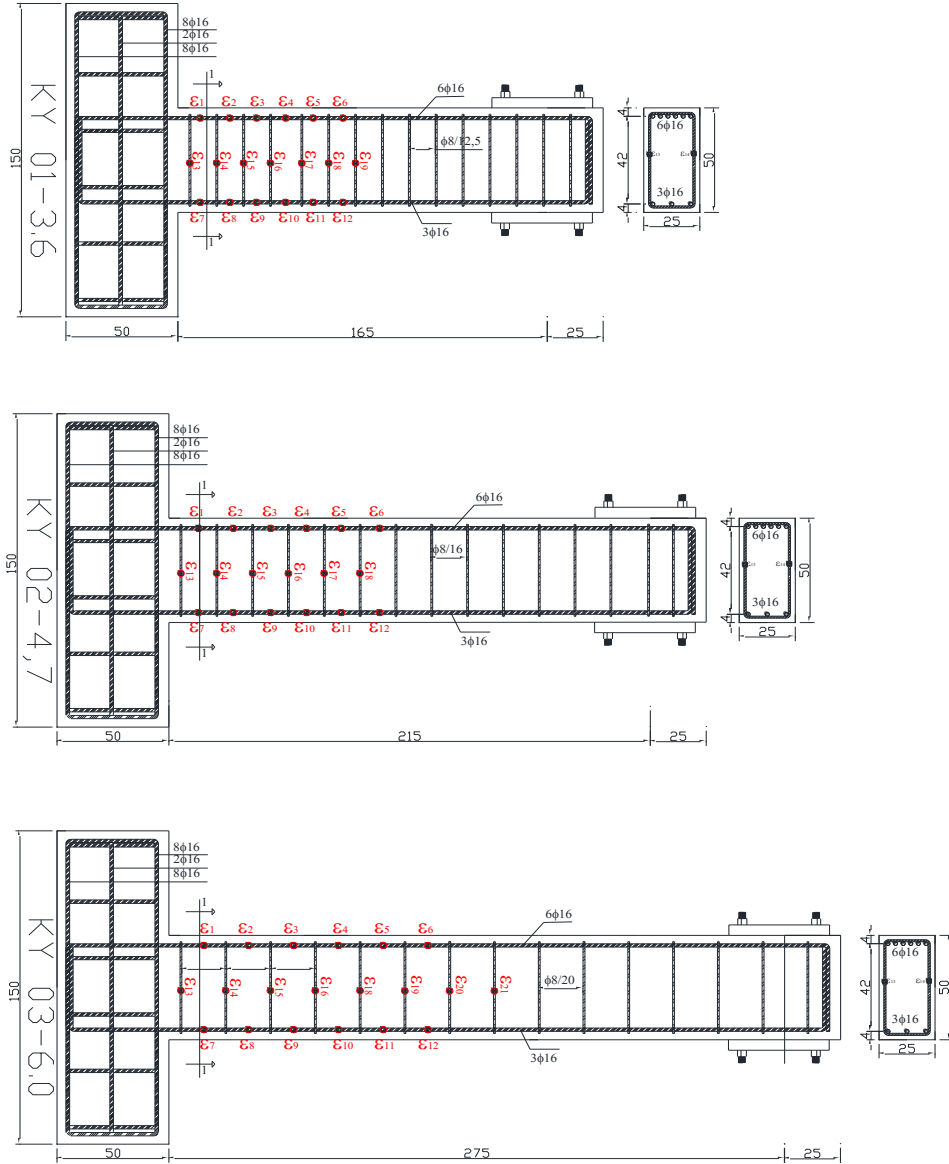
Kuvvet veya yer değiştirme esaslı statik yükleme; güçlü duvara montajı yapılmış olan hidrolik kriko tarafından sağlanmaktadır. Kullanılan hidrolik esaslı çalışan kriko ± 500 kN yük üretme kapasitesine sahip olup, ± 25 cm yer değiştirme yapabilmektedir.



Şekil 2.10: Hidrolik krikonun yerleştirilmesi

2.2.1 Gerilim ölçerlerin yerleri ve montajı

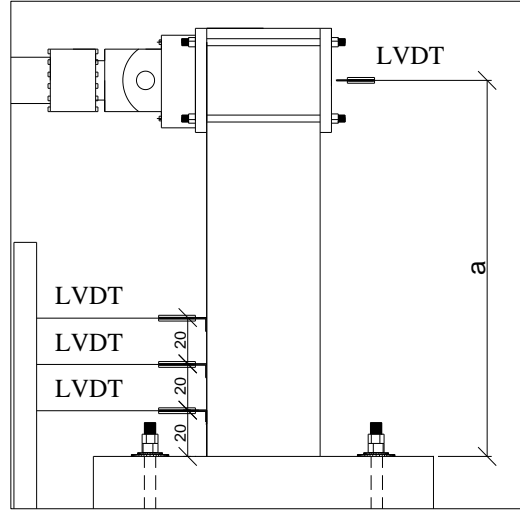
Deney düzeneğinde her iki yöndeki (enine ve boyuna) donatılarının birim şekil değişimi ölçümleri için kirişlerin mesnet kısımlarına birim şekil değiştirme ölçerler eklenmiştir. Şekil 2.11’de deney elemanı üzerindeki birim şekil değiştirme ölçerlerin konumları işaretlenmiştir.



Şekil 2.11: Birim şekil değiştirme ölçerlerin konumları

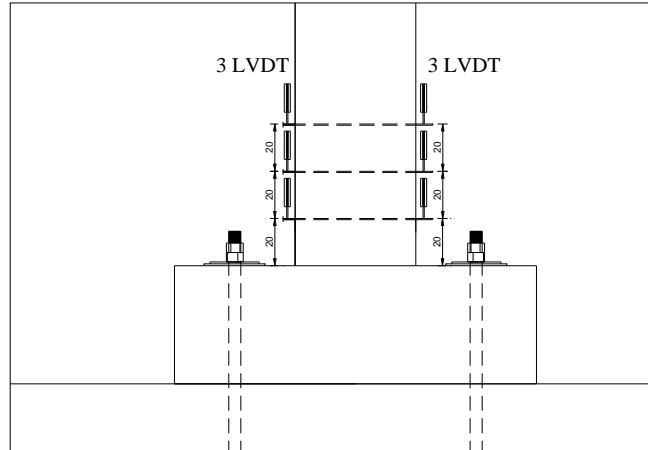
Harici potansiyometreler (LVDT) yardımıyla deney numunelerinde meydana gelen yer değiştirmeler kayıt altına alınmıştır. 4 farklı noktaya yatay olarak

yerleştirilen harici potansiyometrelerin deney düzeneği üzerindeki yerleri Şekil 2.12’de şematize edilmiştir.



Şekil 2.12: Harici potansiyometrelerin konumu

Deney elemanları üzerinde muhtemel hasarın oluşacağı mesnet kesitlerinde basınç ve çekme bölgelerindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için 3 ayrı konumda yerleştirilen harici potansiyometrelerin montaj şeması Şekil 2.13’de, gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Düşey harici potansiyometrelerin konumu

2.2.2 Veri Seti

Laboratuvarda oluşturulan deney düzeninde kullanılan yük, yer değiştirme ve birim şekil değiştirme ölçerlere ait tüm ölçüm ekipmanları bir veri kaydediciye

(Data Logger) bağlanarak sonuçlar bilgisayar ortamında depolanmıştır. Deney bitiminde veri kaydedici tarafından alınan yük ve toplam yer değiştirme değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla kullanılarak, deney numunelerine ait moment ve dönme değerleri bulunmuştur.

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

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

2.3 Yükleme Profilleri

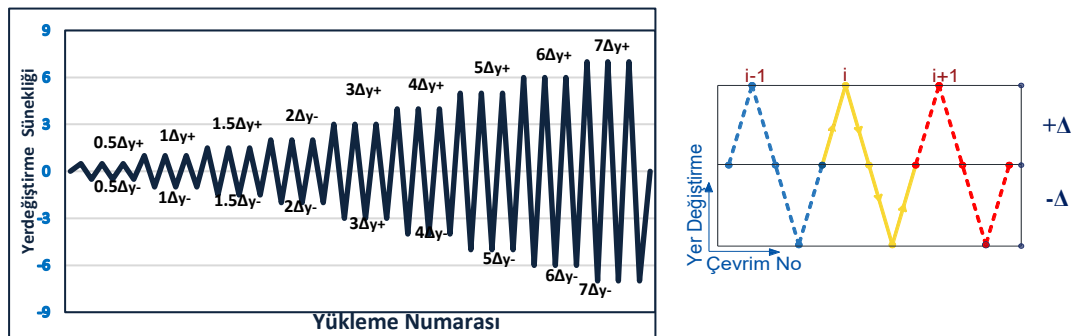
Laboratuvar ortamında tasarlanıp üretilen KY 01-3.6, KY 02-4.7 ve KY 03-6.0 deney numunelerine deney programına uygun olarak yer değiştirme kontrollü yükleme geçmişi uygulanmıştır. Bu yükleme profili hazırlanırken muhtemel giriş hasar bölgesinde çift yönlü bir plastik davranış hedeflenmiştir. Düşey yük etkisi kayda değer bir belirginlikte olmama varsayımıyla yükleme profili uygulanmıştır. Deney elemanlarına yer değiştirme kontrollü olarak uygulanan bu yükleme geçmişi, numunelerin nominal yer değiştirme süneklik oranları ($\mu_{\Delta} = \Delta / \Delta_y$) hedefine ulaşmak için analitik akma yer değiştirmeleri yardımıyla bulunmuştur.

Yükleme protokolüne uygun olarak, hedef yer değiştirme değerleri yükleme adımlarının her biri [16,17] üç tekrarlı olarak uygulanmıştır ve bu değerler aşağıdaki Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10: KY 01-3.6, KY 02-4.7 ve KY 03-6.0 deney elemanlarına uygulanan hedef yer değiştirme değerleri

Yükleme Profili Uygulanan Deney Numuneleri			
Δ/Δ_y	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
	Δ (mm)	Δ (mm)	Δ (mm)
0.5	3.75	9.6	10
-0.5	-3.25	-8.3	-9
1	7.5	12.8	20
-1	-6.5	-11	-18
1.5	11.25	19.2	30
-1.5	-9.75	-16.5	-27
2	15	25.6	40
-2	-13	-22	-36
3	22.5	38.4	60
-3	-19.5	-33	-54
4	30	51.2	80
-4	-26	-44	-72
5	37.5	64	100
-5	-32.5	-55	-90
6	45	76.8	120
-6	-39	-66	-108
7	52.5	89.6	140
-7	-45.5	-77	-126

Şekil 2.14'den anlaşılacağı üzere yükleme profili uygulanan deney numunelerinde; her ne kadar betonarme kiriş kesitinde bulunan boyuna donatı dizilimi ve yer değiştirme geçmiş simetrik olmasa da, her bir çevrim sonrası başlangıç noktasına yakın bir konuma dönüldüğü görülmektedir.



Şekil 2.14: KY 01-3.6, KY 02-4.7 ve KY 03-6.0 deney elemanları yükleme geçmişi ve tekrarlı çevrim

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu deneysel çalışmada deney elemanlarına düşey yük etkisi içermediği/ihmal edilebilir olduğu varsayılan yükleme profili uygulanmıştır. Numunelerin nasıl davranışlar sergiledikleri aşağıdaki kısımlarda açıklanmıştır.

3.1 Hasar Sınır Durumları

Deprem sonrası betonarme yapı elemanındaki oluşan hasar sınır durumları ile laboratuvar ortamında hazırlanan ve analiz edilen deney numunesine ait hasar sınır durumları benzeştirilerek betimlenmiş hali olarak düşünülebilir. Deney ortamında elde edilen çeşitli sınır hasar durumları;

- Kesitte görülen ilk çatlama,
- Boyuna donatıda akma,
- Kabuk betonda oluşan ezilmenin başlaması,
- Kabuk betonda belirgin ezilme oluşması,
- Boyuna donatıda burkulma,
- Sargılı betonda ezilme,
- Boyuna donatının kopması olarak sıralanabilir [32].

ATC-38 de tanımlanan ölçülen hasar sınır durumları ve hasar sınır durumlarının bağlantısı Çizelge 3.1’de verilmiştir [33].

Çizelge 3.1: Ölçülen sınır durumlar ve hasar sınır durumları arasındaki bağlantı (ATC-38)

Hasar Sınır Durumu	Hasar Göstergesi
1 Hasarsız Durum	Belirsiz çatlak
2 Sınırlı Hasar Durumu	Kabuk betonda sınırlı ezilme Sınırlı çatlak
3 Belirgin Hasar Durumu	Kabuk betonda belirgin ezilme
4 Ağır Hasar Durumu	Boyuna donatıda burkulma Boyuna donatıda kopma Sargılı betonda ezilme

Bu deneysel çalışmada; farklı a/d oranına sahip üç deney elemanına uygulanan çevrimsel yükleme sonucunda her bir deney numunesinde gözlenen hasar durumları aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 KY 01-3.6 Deney numunesi

KY 01-3.6 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2: KY 01-3.6 numunesi deneysel sonuçlar

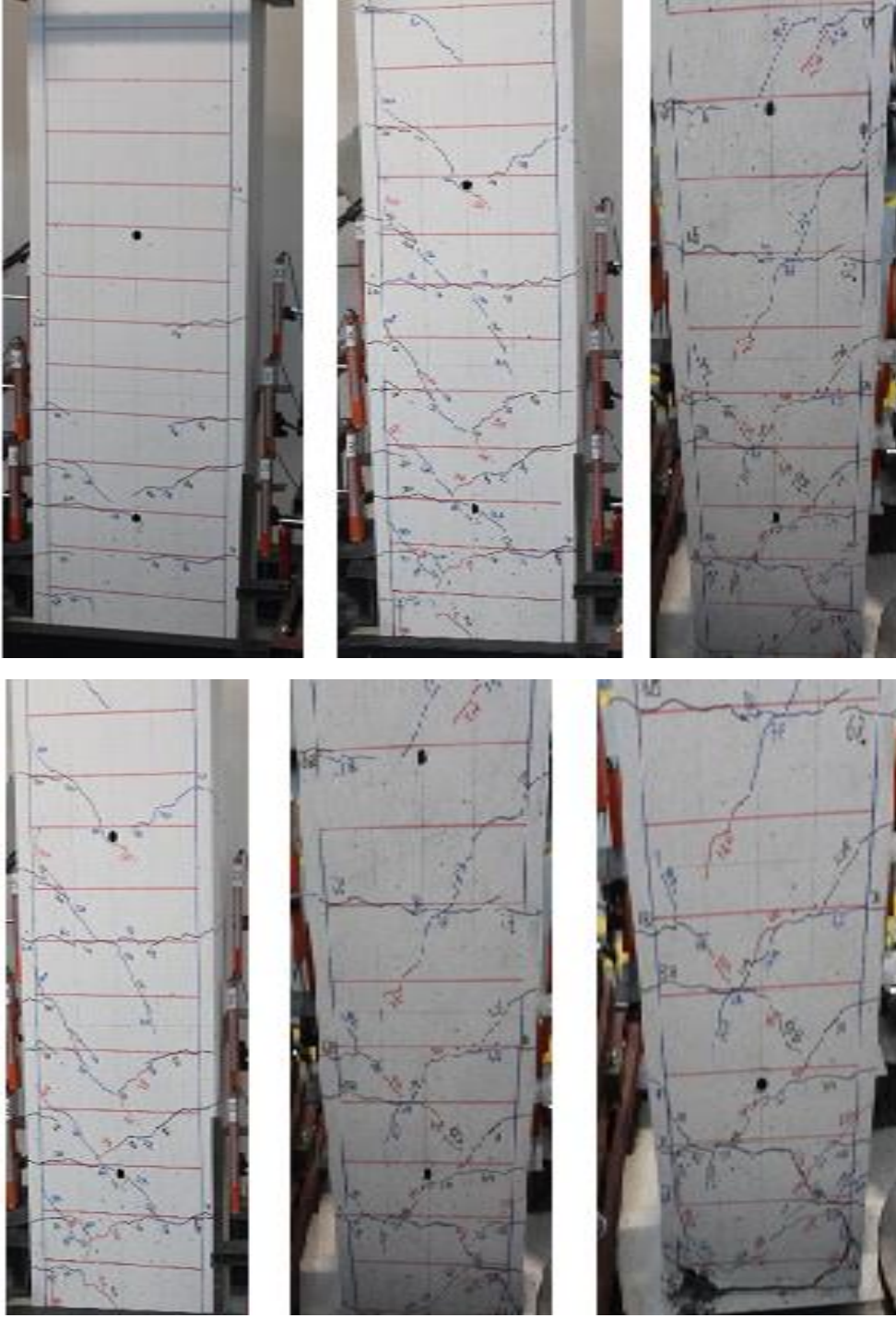
Yük Ölçümleri	P (kN)		İtme	Çekme
	Çatlama Yüğü		60.8	-12.4
	Akma Yüğü		83.5	-46.5
	Maksimum Yüğü		164.6	-84.8
Yer değiştirme Ölçümleri	Δ (mm)		İtme	Çekme
	Çatlama Yer değiştirmesi		4	-1
	Akma Yer değiştirmesi		6	-3.4
	Maksimum Yer değiştirme		56	-47.6
Hasar No	Yükleme No	Bölge	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)
1	1b*	Çekme	Kesitte ilk çatlama	-0.06
	3a**	Basınç		0.24
2	6a	Basınç	Boyuna donatıda akma	0.36
	3b	Çekme		-0.20
3	19a	Basınç	Kabuk betonda ezilme başlangıcı	1.45
	21b	Çekme		-1.64
4	22a	Basınç	Kabuk betonda belirgin hasar	1.93
	25b	Çekme		-2.06
5	26a	Basınç	Boyuna donatıda burkulma	2.42
6	29b	Çekme	Boyuna donatıda kopma	-2.47
Yükleme Geçmişi Türü			Yer değiştirme kontrollü yükleme	
Göçme Türü			Eğilme kırılması	
** : İtme (Pozitif yönde yer değiştirme yüklemesi)				
* : Çekme (Negatif yönde yer değiştirme yüklemesi)				

Aşağıda gösterilen Şekil 3.1'deki hasar fotoğraflarından da görüldüğü üzere 1. deney numunesi olan KY 01-3.6'da ilk hasarın oluştuğu adım; 1. çekme adımı olmuştur. Daha sonra sırasıyla aşağıdaki adımlar gerçekteşmiştir.

- Kiriş yüzeyinden başlayarak numune eksenine dik olarak, boyuna donatının az olduğu tarafta ilk eğilme çatlakları meydana gelmiştir.

- Birbirini takip eden yükleme adımlarının sayısı arttıkça eğilme çatlakları da artarak ilerleme kaydetmiştir.
- Çevrimsel yüklemeler sonucunda artan genlik neticesinde 1b yükleme adımında negatif dönme değerinin %0.06'ya ulaşmasıyla kesitte ilk çatlamanın başladığı görülmüştür.
- Boyuna donatının akma hasar durumuna 6a adımıyla ulaşmasıyla deney numunesine ait her iki yüzeyde de eğik çekme çatlakları olduğu gözlemlenmiştir.
- Kabuk betonunda ezilme, %1.45 dönme değerine ulaşıldığında gözlemlenmiştir.
- Kabuk betonda belirgin bir ezilmenin görülmesi 22a adımında oluşmuştur.
- Dönme değeri %2.42 ulaştığında, boyuna donatıda burkulma meydana gelmiştir.
- Boyuna donatının (çekme bölgesi) kopmasından sonra deney sonlandırılmıştır.

KY 01-3.6 numunesinin göçmenin gerçekleşmesinden sonraki hasar durumuna ilişkin görseller Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1: KY 01-3.6 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri



Şekil 3.2: KY 01-3.6 deney sonu hasar durumu

3.1.2 KY 02-4.7 Deney numunesi

2. deney numunesi olan KY 02-4.7'nin Şekil 3.3'de hasar durumuna ait fotoğrafları verilmiş olup ilk hasarın 1. basınç adımında olduğu görülmektedir.

Daha sonra sırasıyla aşağıdaki adımlar gerçekleşmiştir.

- KY 02-4.7 numunesinde boyuna donatı oranının yüksek olduğu yüzey kısmından numune eksenine dik bir şekilde ilerleyen eğilme çatlakları gözlenmiştir.
- Çevrimsel genlik arttıkça kiriş en kesiti üzerinde eğilme çatlakları ilerleyerek, sayı ve genişliklerindeki artmıştır.
- 9b yükleme adımında %0.52 dönme değerine erişildiğinde, eğilme rijitliğinde azalmaya sebep olan boyuna donatının aktığı görülmektedir.

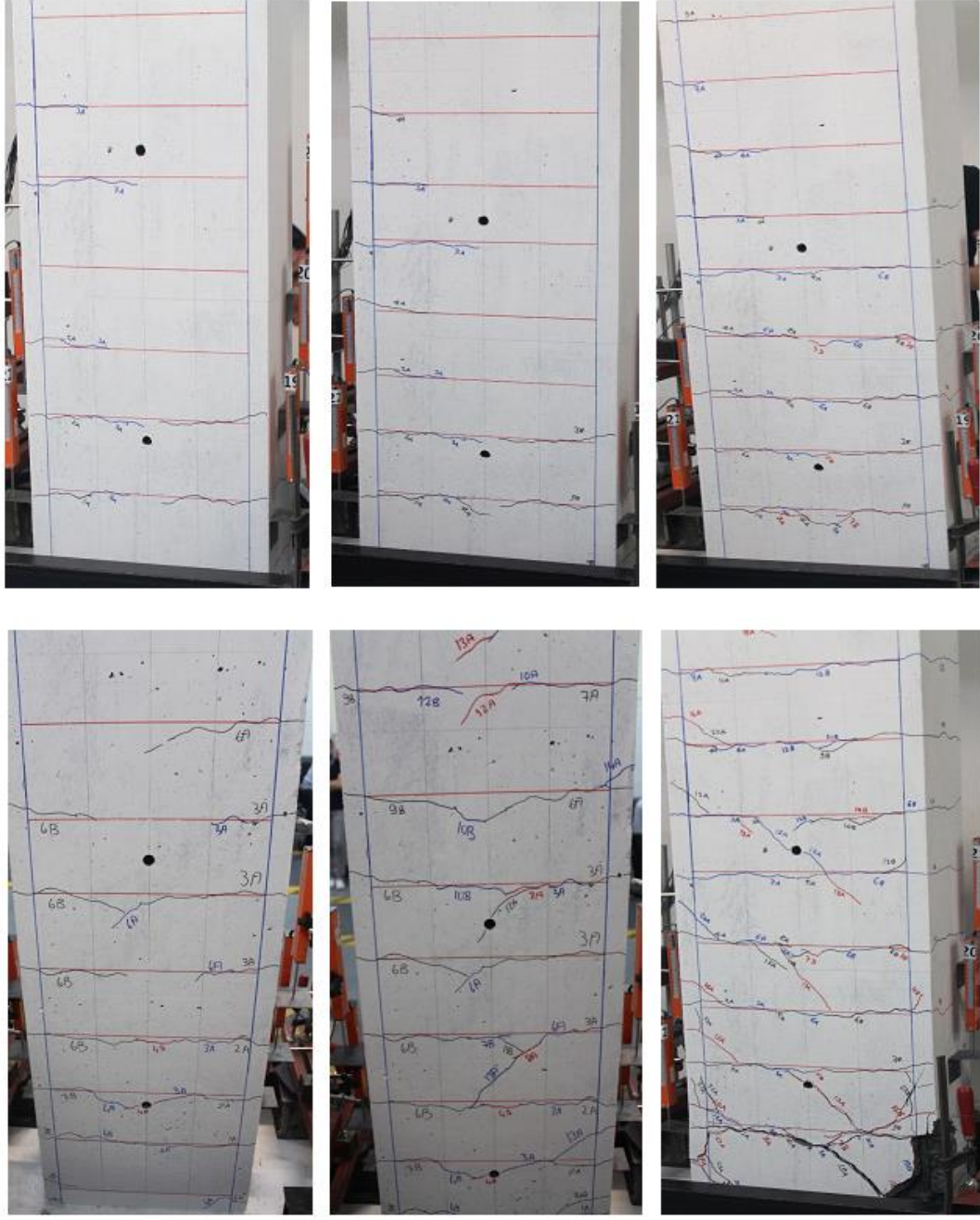
- Dönme değerinin % 1.22 ulaşmasıyla 15a adımında kabuk betonda ezilme başlangıcı tespit edilmiştir.
- Dönme değerinin % 2.44 olmasıyla 21a adımında belirgin örtü beton ezilmesi görülmüştür.
- Çevrimsel yüklemeye devam edilmiş, örtü betonda belirgin ezilme gerçekleştikten sonra, 27a itme adımında dönme değeri %3.65 değerine ulaştığında boyuna donatının burkulduğu tespit edilmiştir.
- Deney numunesinin, çekme donatısının az bulunduğu kiriş yüzündeki boyuna donatılarının, deneyin sona ermesine kadar elastik bölgede içerisinde seyrettiği, basınç bölgesinde ise kademeli olarak bir zayıflama meydana geldiği ve kirişteki göçmenin, boyuna donatının burkulması sonucunda oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Deneyin sonlandırılması 30b yükleme adımında %3.66 değerine ulaşmasıyla gerçekleşmiştir.

KN02- 4.7 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.3'de özetlenmiştir.

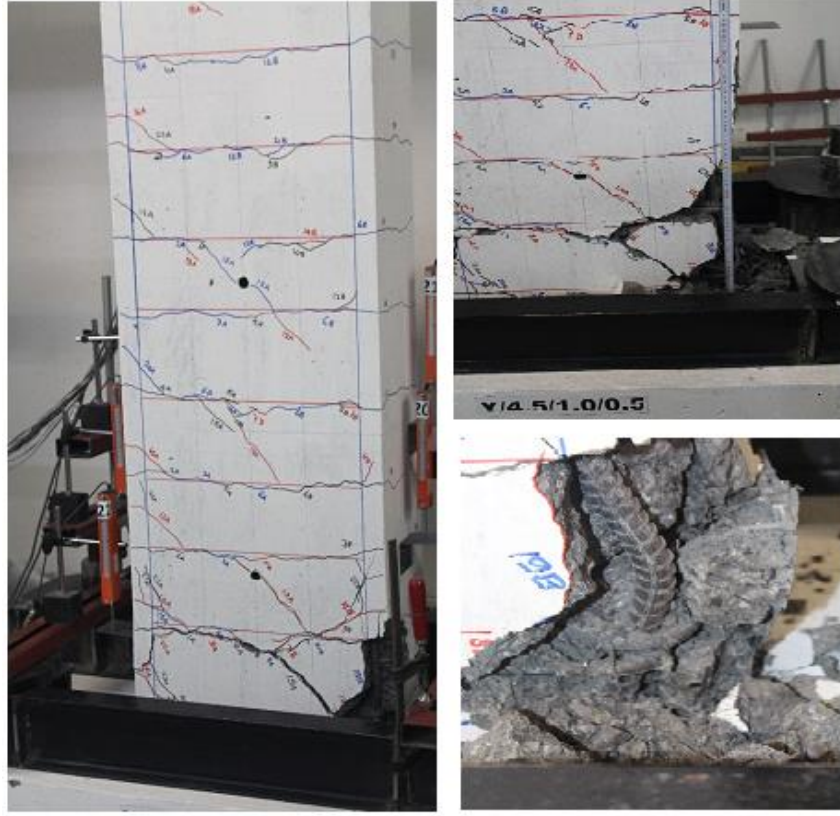
Çizelge 3.3: KY 02-4.7 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri	P (kN)		İtme	Çekme
	Çatlama Yüğü		20.0	-36.2
	Akma Yüğü		84.4	-57.1
	Maksimum Yüğü		112.5	-71.3
Yer değiştirme Ölçümleri	Δ (mm)		İtme	Çekme
	Çatlama Yer değiştirmesi		1.6	-5.5
	Akma Yer değiştirmesi		12.8	-11.0
	Maksimum Yer değiştirme		89.6	-77
Hasar No	Yükleme No	Bölge	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)
1	3b*	Çekme	Kesitte ilk çatlama	-0.26
	1a**	Basınç		0.08
2	9b	Çekme	Boyuna donatıda akma	-0.52
	9a	Basınç		0.60
3	15a	Basınç	Kabuk betonda ezilme başlangıcı	1.22
	15b	Çekme		-1.04
4	21a	Basınç	Kabuk betonda belirgin hasar	2.44
	22b	Çekme		-2.09
5	27a	Basınç	Boyuna donatıda burkulma	3.65
6	30b	Çekme	Boyuna donatıda kopma	-3.66
Yükleme Geçmişi Türü			Yer değiştirme kontrollü yükleme	
Göçme Türü			Eğilme kırılması	
** : İtme (Pozitif yönde yer değiştirme yüklemesi)				
* : Çekme (Negatif yönde yer değiştirme yüklemesi)				

KY 02-4.7 numunesinin göçme sonrası durumu Şekil 3.4'de görölmektedir.



Şekil 3.3: KY 02-4.7 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri



Şekil 3.4: KY 02-4.7 deney sonu hasar durumu

3.1.3 KY 03-6.0 Deney numunesi

3. deney numunesi olan KY 03-6.0'ın Şekil 3.5'de hasar durumuna ait fotoğrafları verilmiş olup ilk hasar; 2. çekme adımında olduğu görülmektedir.

Daha sonra sırasıyla aşağıdaki adımlar gerçekleşmiştir.

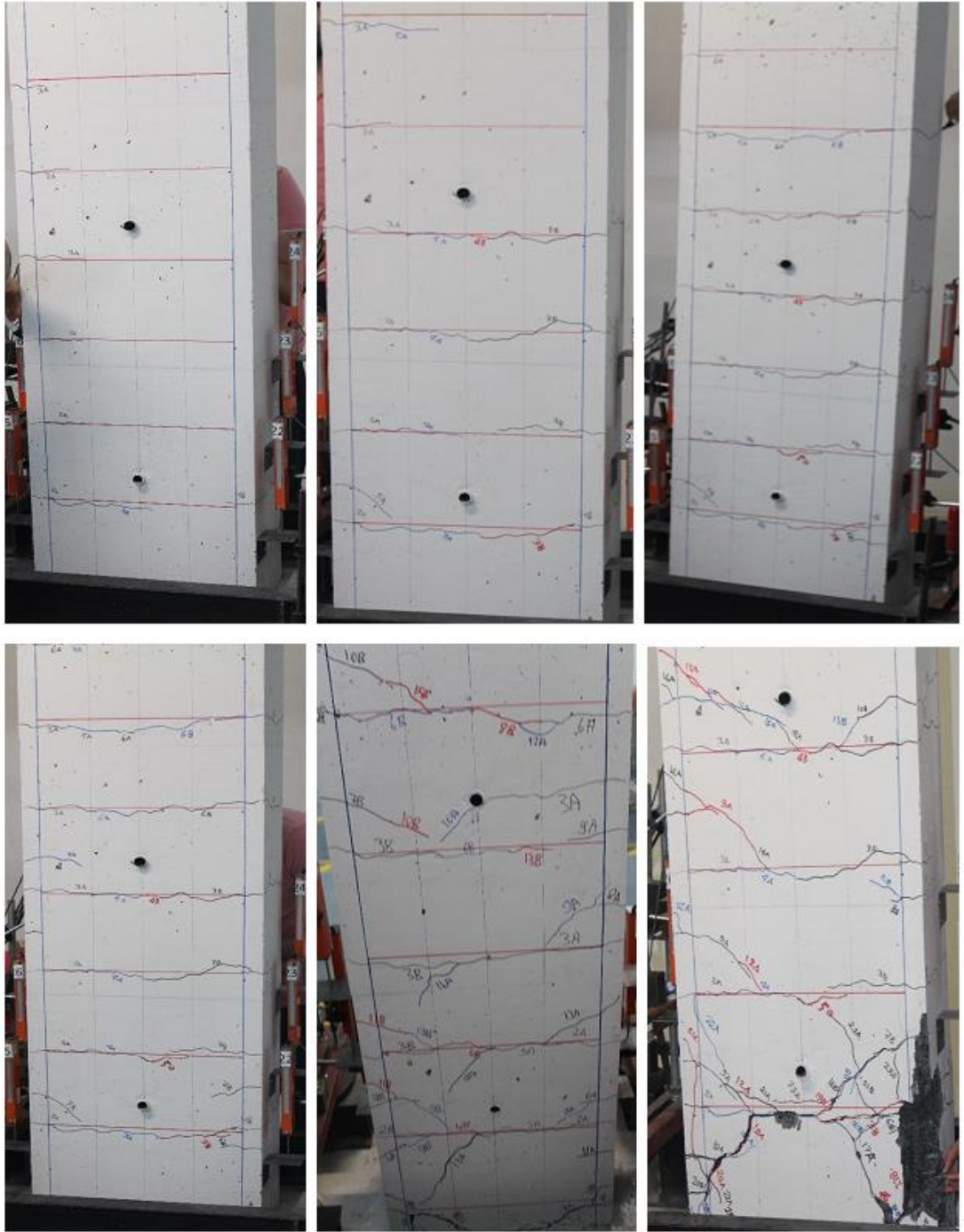
- 2a adımı sonrasında kirişe ait her iki yüzeyden başlayan çatlaklar birçok noktada kiriş yüzeyinde kesişmişlerdir.
- Genliğin artmış olduğu çevrimsel yükleme sonucunda 9b adımında negatif yönde %1.01 dönme değerine erişildiğinde boyuna donatıda akma tespit edilmiş, bu durumun sonucunda eğilme rijitliğinde azalma gözlemlenmiş ve kesitteki diagonal çatlaklarda artış görülmüştür.
- Dönme değeri %1.45'e geldiğinde basınç bölgesinde kabuk betonda ezilme başlamış, kabuk betonda belirgin hasar meydana geldiğinde ise pozitif dönme değerinin %2.18 olduğu tespit edilmiştir.
- 23a yükleme adımıyla basınç bölgesindeki boyuna donatılarda burkulma oluştuğunda dönme değerinin %2.90 olduğu gözlemlenmiştir.

- Pozitif dönme değeri %4.36 olduğunda çekme bölgesinde boyuna donatının koptuğu görülmüştür.
- Numunenin göçme sonrası durumu Şekil 3.6'da görülmektedir.

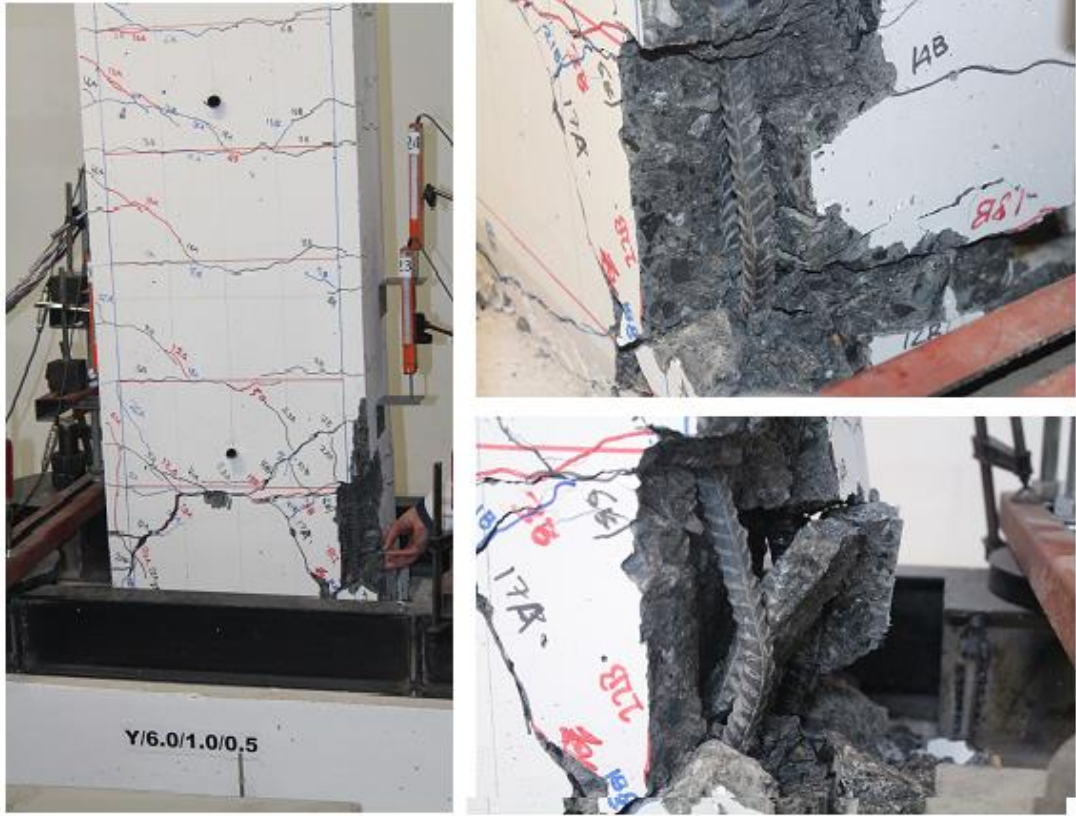
KY 03-6.0 numunesine ait deneysel sonuçlar Çizelge 3.4'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4: KY 03-6.0 numunesi deneysel sonuçlar

Yük Ölçümleri	P (kN)		İtme	Çekme
	Çatlama Yüğü		27.4	-18.6
	Akma Yüğü		93.0	-44.6
	Maksimum Yüğü		96.2	-50.4
Yer değiştirme Ölçümleri	Δ (mm)		İtme	Çekme
	Çatlama Yer değiştirmesi		5	-4.5
	Akma Yer değiştirmesi		30	-28
	Maksimum Yer değiştirme		120	-108
Hasar No	Yükleme No	Bölge	Hasar Gözlemi	Dönme Değeri (%)
1	2b*	Çekme	Kesitte ilk çatlama	-0.16
	2a**	Basınç		0.18
2	9b	Çekme	Boyuna donatıda akma	-1.01
	12a	Basınç		1.09
3	17a	Basınç	Kabuk betonda ezilme başlangıcı	1.45
	18b	Çekme		-1.96
4	19a	Basınç	Kabuk betonda belirgin hasar	2.18
	20b	Çekme		-1.96
5	23a	Basınç	Boyuna donatıda burkulma	2.90
6	28b	Çekme	Boyuna donatıda kopma	-4.36
Yükleme Geçmişi Türü			Yer değiştirme kontrollü yükleme	
Göçme Türü			Eğilme kırılması	
** : İtme (Pozitif yönde yer değiştirme yüklemesi)				
* : Çekme (Negatif yönde yer değiştirme yüklemesi)				



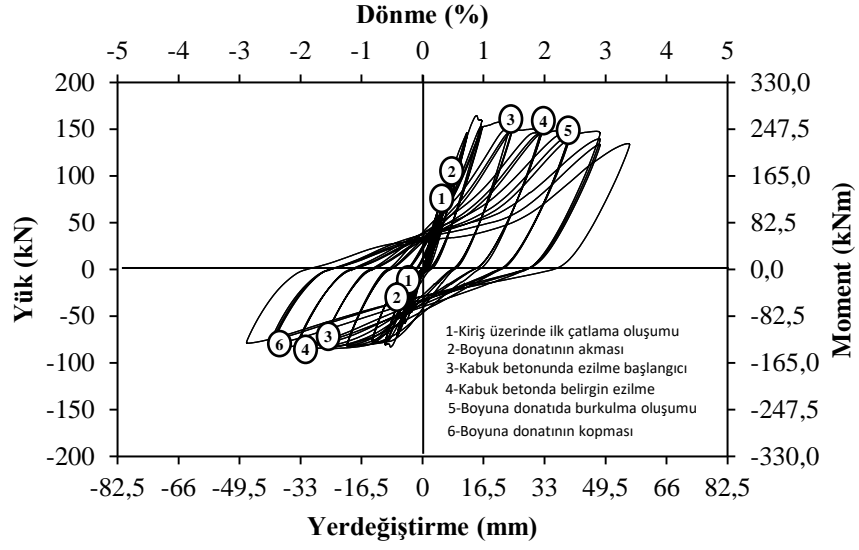
Şekil 3.5: KY 03-6.0 numunesi deney boyunca gelişen hasar gözlemleri



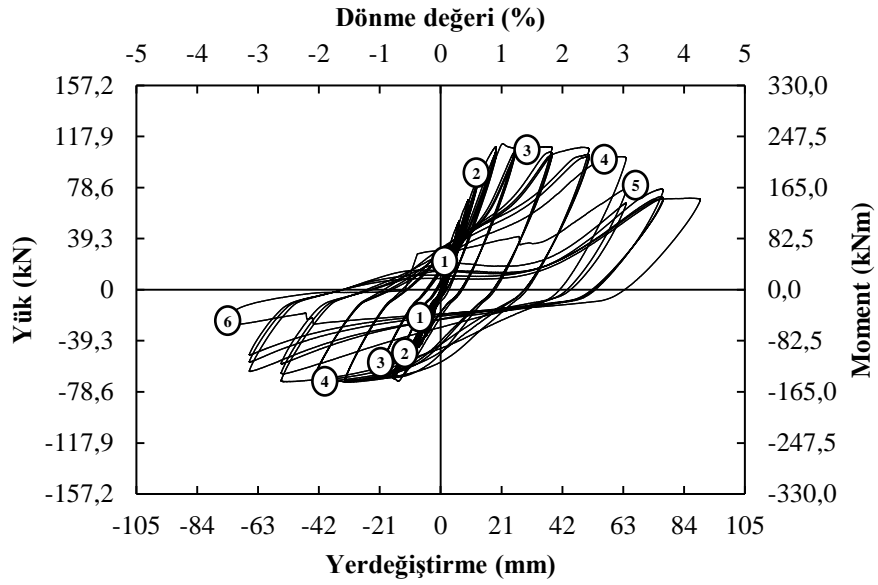
Şekil 3.6: KY 03-6.0 deney sonu hasar durumu

3.2 Yük-Yer değiştirme İlişkileri

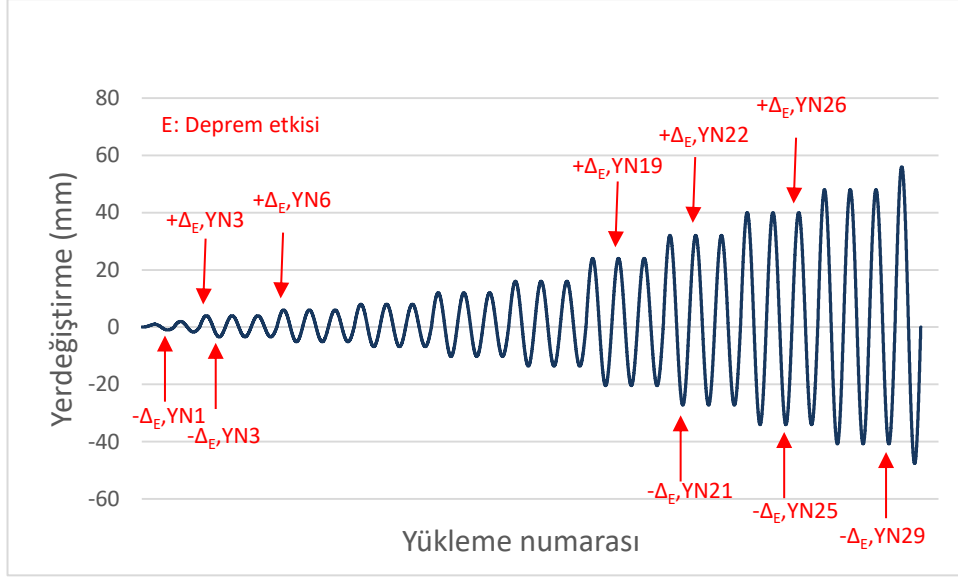
Laboratuvar ortamında üretilen kiriş numunelerine, deney düzeneğinde konsol uç noktasından yük uygulanarak elde edilen yük yer değiştirme ilişkileri Şekil 3.7~3.10 verilmiştir. Diyagram üzerinde eksenlerde yük (kN), yer değiştirme (mm), dönme değeri (%) ve mesnet momenti(kNm) değerleri verilmiştir. Deney sonucunda ölçümü yapılan veya gözlemlenmiş hasar durumları diyagram üzerinde numaralandırılmıştır.



Şekil 3.7: KY 01-3.6 numunesi için deneysel yük – yer değiştirme ilişkisi

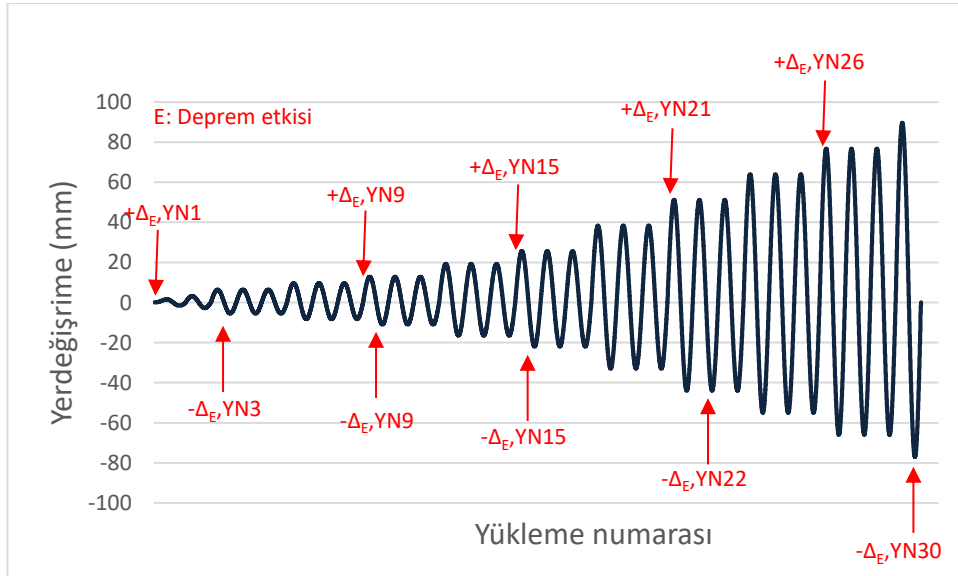


Şekil 3.8: KY 02-4.7 numunesi için deneysel yük – yer değiştirme ilişkisi



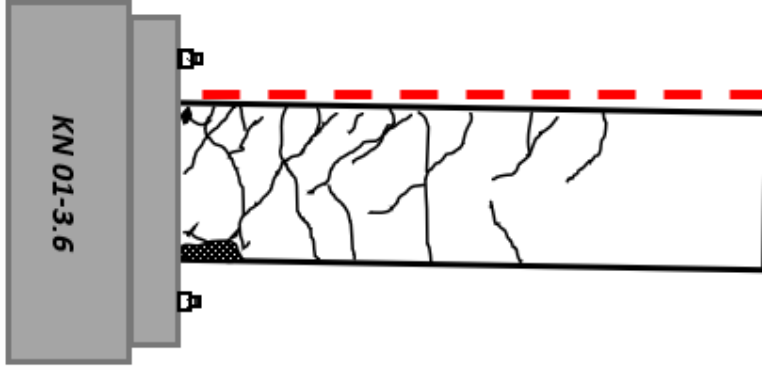
Şekil 3.10: KY 01-3.6 deneysel yer değiştirme diyagramı

KY 02-4.7 deney numunesine ait Şekil 3.11’de görülen yer değiştirme kontrollü olarak uygulanan çevrimsel yükleme geçmişindeki yer değiştirme, KY 01-3.6 da olduğu gibi gerçek yapıdaki deprem etkisine (Δ_E) benzeştirilmiştir. Deney, çekme bölgesindeki donatılarda meydana gelen kopma ile sonlandırılmıştır. Deney numunesi itme yönünde +89,6mm, çekme yönünde ise -77mm maksimum tepe yer değiştirmesi gerçekleştirmiş olup hasar gözlenen yükleme adımları diyagram üzerinde işaretlenmiştir.

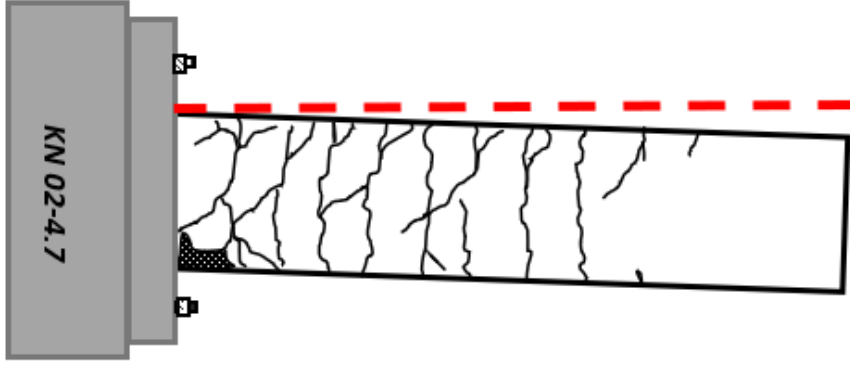


Şekil 3.11: KY 02-4.7 deneysel yer değiştirme diyagramı

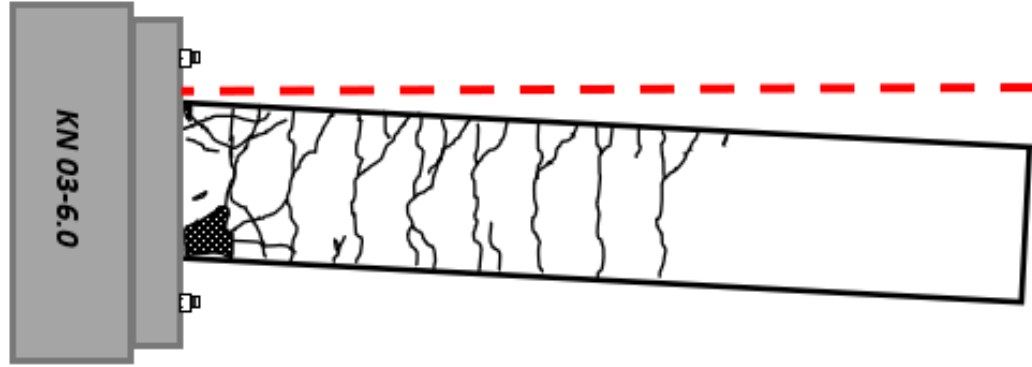
KY 03-6.0 deney numunesine ait Şekil 3.12’de görülen yer değiştirme kontrollü olarak uygulanan çevrimsel yükleme geçmişindeki yer değiştirme, KY 01-3.6 ve



$$a/d= 3.6 \quad +\Delta_{\max} \approx 56.0 \text{ mm}$$



$$a/d= 4.7 \quad +\Delta_{\max} \approx 89.6 \text{ mm}$$



$$a/d= 6.0 \quad +\Delta_{\max} \approx 120 \text{ mm}$$

Şekil 3.13: Deney numuneleri deney sonu maksimum yerdeğiştirme durumları

deneysel olarak bulunan taşıma gücü moment değerleri irdelendiğinde ortalama %20 lik bir farkın olduğu görülmüştür.

Yönetmeliklerden hesaplanan taşıma gücü momentlerinin deneyden elde edilen maksimum momentlere oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Deneysel ve analitik olarak elde edilen taşıma gücü momentlerinin karşılaştırılması

Deney Numunesi		M _r (kN.m)			M Yönetmelik/ Deneysel ⁽²⁾	
		M Deneysel	M Eurocode 2	M ACI-318 ⁽¹⁾	Eurocode 2	ACI-318
KY 01-3.6	+ Yön	271.59	309.99	254.40	1.14	0.94
	- Yön	139.92	168.80	135.50	1.21	0.97
KY 02-4.7	+ Yön	252.20	308.76	252.50	1.22	1.00
	- Yön	142.98	168.28	135.20	1.18	0.95
KY 03-6.0	+ Yön	264.83	309.70	252.90	1.17	0.95
	- Yön	138.60	168.69	135.20	1.22	0.98

(1) XTRACT programı ile çözümünden elde edilen M_r değerleri kullanılmıştır.

(2) Yönetmelikten hesaplanan taşıma gücü momentinin deney sonuçlarına oranı

Yönetmeliklerden hesaplanan taşıma gücü momentlerinin, deneylerden elde edilen maksimum momentlere oranları, Eurocode 2’de 1.0’dan büyük, ACI-318’de ise 1.0 ve daha küçük değerler aldığı görülmüştür.

Çizelge 3.5’de Eurocode 2 ve ACI-318’e göre yapılan hesaplardan elde edilen oranlar, tüm deney numuneleri için Eurocode 2’de daha büyük değerler hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, ACI-318’den hesaplanan taşıma gücü momentleri Eurocode 2’ye kıyasla deney sonuçlarına daha yakındır.

4. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

Çalışmanın bu kısmında, betonarme kiriş numunelerinin göçme hasar sınır durumlarının deneysel ve analitik olarak elde edilen yer değiştirme kapasiteleri mukayeseli bir şekilde irdelenmiştir. Önceki bölümde detaylı olarak sonuçları verilen bu deney numunelerine ait analitik göçme hasar sınırı dönme kapasiteleri TBDY 2018 [1], FEMA 356 [2], EUROCODE 8 [3] ve NZS 3101 [4] yönetmeliklerinde yer alan yöntemler kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

4.1 Deney Numuneleri Analitik Göçme Hasar Sınırı Yer Değiştirme Kapasiteleri

Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Mevcut yönetmeliklerde binaların deprem performanslarının analiz edilmesi için hem kuvvet (normal kuvvet, eğilme kuvveti ve kesme kuvveti gibi) kavramına dayalı hem de şekil değiştirme (betonun birim kısalması, kesit dönmesi ve donatının birim uzama ve kısalması) kavramını esas alan yöntemler kullanılmaktadır. Kuvvete dayalı yöntemler için Doğrusal Elastik Yöntemler tabiri kullanılırken, şekil değiştirmeyi esas alarak çözümlenme yapan sistemler ise Doğrusal Elastik olmayan Yöntemler olarak adlandırılmaktadır. Tasarımını ve değerlendirmesini şekil değiştirmeyi referans alarak yapan yöntemler, tasarımını kuvvete göre yapan sistemlere nazaran, yer hareketi kaynaklı muhtemel yapı hasarlarını öngörerek yapının depremsel davranışını gerçekçi ve daha ayrıntılı bir şekilde bize sunmaktadır. Şekil değiştirmeyi referans alan yöntemler, malzemenin elastik ötesi davranışını hesaba katılmasına olanak sağlamaktadır [19]. Bu çalışmada mevcut yönetmeliklerde verilen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları farklı enine donatı detayına sahip, özdeş kesitli kiriş elemanlar üzerinde çalışılmıştır.

Bina performans seviyeleri, yapıların deprem etkisine maruz kaldığı durumlardaki ön görülen hasarların sınır durumlarıdır. Bu limit değerler, yapıda oluşan hasarın can güvenliği yönünden tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrası binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın ekonomik

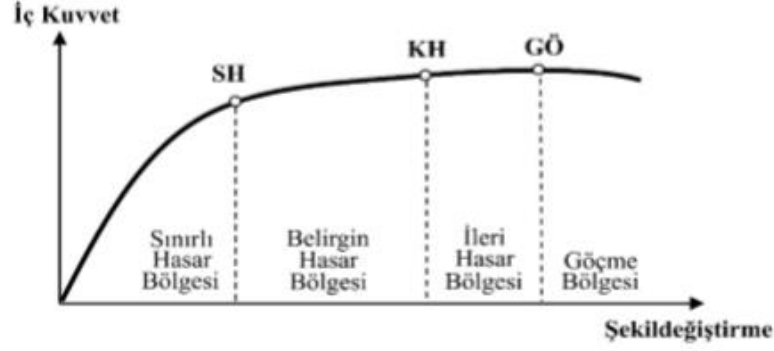
boyutuna bakılarak belirlenir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının performans seviyelerinin birleşimi yapısal performans düzeyini oluşturmaktadır.

TBDY 2018'e göre belirlenen kesit hasar sınırları

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın, 30364 (Mükerrer) Sayılı, 18 Mart 2018 tarihli Resmi Gazete ile yürürlüğe giren bu yönetmelikte [1] sünek yapı elemanları için kesit bazlı hasar durumları ve hasar sınırları üçe ayırmıştır. Aşağıdaki sınıflandırma gevrek hasar gören elemanlarda geçerli değildir.

- Sınırlı Hasar (SH)
- Kontrollü Hasar (KH)
- Göçme Öncesi Hasar (GÖ)

Eleman kesitindeki elastik davranışın sona ererek, elastik ötesi davranışın sınırlı miktarda başladığı yer, Sınırlı Hasar Sınırı (SH) olarak adlandırılmıştır. Kesitin (belirli hasar almasına rağmen) dayanımını emniyetli bir şekilde yerine getirebileceği elastik ötesi davranış üst sınırı Kontrollü Hasar (KH) olarak tanımlanırken, kesitin dayanımını artık güvenli olarak karşılayamadığı, ileri seviyedeki elastik ötesi göçme öncesi davranışın üst sınırı Göçme öncesi Hasar Sınırı (GÖ) ifadesine karşılık gelmektedir. Şekil 4.1'de ifade edildiği üzere iç kuvvetlerin artarak, elastik davranışın sınır durumuna ulaştığı yere kadarki alanla ifade edilen kısım Sınırlı Hasar Bölgesi, elastik ötesi davranışın başladığı, artan iç kuvvetler karşısında kesitin bir miktar hasar alınmasına rağmen bunu sönmülemeyi başardığı ve kesitin dayanımını güvenli bir şekilde taşımaya devam ettiği güvenlik sınırına kadar olan alan Belirgin Hasar Bölgesi, kontrollü hasar sınırından kesitin dayanımını güvenli olarak karşılayamadığı göçme öncesi hasar sınırıyla ifade edilen alan arası da İleri Hasar Bölgesi olarak tanımlanmıştır. Göçme öncesi hasar sınırını aşan her bir yapı elemanı ise Göçme Bölgesi içerisinde kalmaktadır.



Şekil 4.1: Kesit hasar sınırları/bölgesi tanımları [1]

Sünek taşıyıcı yapı elemanlarda TBDY 2018’de tanımlanan 3 farklı hasar sınırını belirten malzeme birim şekil değıştirmesi üst limitleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kesit Birim Şekil Değıştirme Hasar Sınırları (TBDY 2018)

Kesit sınırları	Hasar Beton Değeri (ϵ_c)	Şekil Değıştirme Donatı Şekil Değıştirme Değeri (ϵ_s)
SH	0.0025	0.0075
KH	$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)}$	$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$
GÖ	$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 \epsilon_{su}$

Deneye konu olan numunelerinin özelliklerinden yola çıkarak TBDY 2018’e göre belirlenen beton ve donatı çeliğinin, birim şekil değıştirme cinsinden belirlenmiş olan malzeme birim şekil değıştirme üst sınırları ile hasar sınır durumları yer değıştirme kapasiteleri Çizelge 4.2’de belirlenmiştir. Donatı çeliği için pekleşme etkileri dikkate alınarak, analitik açıdan göçme hasar sınırı yer değıştirme kapasitesi belirlenmiştir. Mander tarafından sargılı ve sargısız betonlar için geliştirilen teorik gerilme-şekil değıştirme modeli kullanılmıştır [34].

TBDY 2018'e göre Betonarme Yapı Elemanlar için Performans Düzeyleri

Sünek davranışa sahip betonarme bina taşıyıcı sistem elemanlarının performans düzeylerine ait izin verilen limit değerler aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmada yığılı plastik davranış modeline göre plastik dönmeler hesaplanmıştır.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi:

Plastik dönmeler için izin verilebilir sınır limitler TBDY 2018'de yığılı plastik aşğıdaki formül (4.1) ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\Phi_u - \Phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \Phi_u d_b \right] \quad (4.1)$$

Bu bağıntıdaki Φ_u göçme öncesi toplam eğriliği, Φ_y ise akma eğriliğini ifade etmektedir. L_p plastik mafsal boyunu, L_s kesme açıklığını, d_b ise m cinsinden boyuna donatı çapıdır.

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde, betonun ezilme birim kısalması ϵ_c aşğıdaki bağıntı (4.2) ile ifade edilmektedir.

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (4.2)$$

Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını gösteren ω_{we} şu bağıntıyla (4.3) gösterilmektedir.

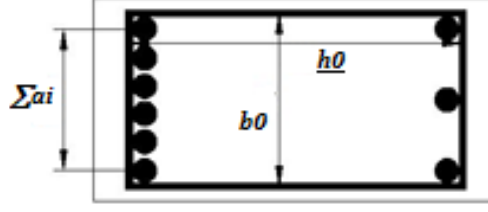
$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (4.3)$$

(4.3) nolu yukarıdaki eşitlikte α_{se} , $\rho_{sh,min}$, f_{ywe} , f_{ce} ifadeleri sırasıyla; sargı donatısı etkinlik katsayısını, dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını, betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımını göstermektedir.

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (4.4)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_0} \right) \quad (4.5)$$

Formül bileşenleri Şekil 4.2'den görülebilir



Şekil 4.2: TBDY 2018'de sargı donatısı etkinlik katsayısı bileşenlerinin şematik olarak gösterimi

Yukarıdaki iki eşitlikte (4.4),(4.5) A_{sh} ve ρ_{sh} simgeleri göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve hacimsel oranını ifade ederken, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık), s enine donatı aralığını belirtmektedir. Formüldeki b_0 ve h_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını ifade ederken, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi, Göçmenin Önlenmesi Performans düzeyinde şöyle (4.6) ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (4.6)$$

Burada ε_{su} çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı belirtmektedir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi:

Bu düzey için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılacak betonun ve donatı çeliğinin izin verilebilir toplam birim şekil değiştirmeleri ve plastik dönme sınırları aşağıdaki bağıntılardaki gibidir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad \theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (4.7)$$

Kontrollü hasar performans düzeyinde plastik dönmeler için izin verilebilir sınır değerler aşağıdaki bağıntıdaki (4.8) gibidir.

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (4.8)$$

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi:

Hesap yöntemleriyle hesaplanan izin verilebilir beton ve donatı toplam birim şekil değiştirmeleri aşağıdaki eşitlikteki (4.9) gibidir.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \qquad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \qquad (4.9)$$

Ayrıca bu performans düzeyinde betonarme taşıyıcı sistemde plastik mafsal oluşumuna izin verilmeyecektir.

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \qquad (4.10)$$

TBDY 2018'deki hesaplarda kullanılan kirişe ait parametreler Çizelge 4.2'de göçme sınırı dönme değerleri ise Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: TBDY 2018'deki hesaplarda kullanılan kirişe ait parametreler

<i>Parametre</i>		<i>Birim</i>	<i>KY 01-3.6</i>	<i>KY 02-4.7</i>	<i>KY 03-6.0</i>
a		m	1.65	2.15	2.75
Donatı	Basınç bölgesi	adet	6Φ16		
	Çekme bölgesi	adet	3Φ16		
f_c		MPa	64.4	68.4	65.4
f_y		MPa	498	498	498
f_{yw}		MPa	597	597	597
N		N	0	0	0
As		mm ²	1205.76		
As'		mm ²	602.88		
b_w		mm	250		
h		mm	500		
b_k		mm	178		
d'		mm	40		
d		mm	460		
b₀		mm	170		
h₀		mm	420		
s		mm	125	160	200
a_i		mm	138		

Çizelge 4.3: TBDY 2018'deki göçme sınırı dönme değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>KY 01-3.6</i>	<i>KY 02-4.7</i>	<i>KY 03-6.0</i>
ρ	-	0.0105		
ρ'	-	0.0052		
ρ_{sx}	-	0.0038	0.0030	0.0024
ρ_d	-	0.0000		
$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right)$		0.5143	0.4095	0.2998
ω_e	-	0.0181	0.0106	0.0065
ϵ_c	-	0.00888	0.00762	0.00672
ϵ_{su}	-	0.140		
ϵ_s	-	0.056		
Φ_y	- yön	-0.00710	-0.00701	-0.00702
	+ yön	0.00777	0.00772	0.00775
Φ_u	- yön	-0.13500	-0.13500	-0.13550
	+ yön	0.14400	0.12500	0.11800
L_p		250	250	250
θ_p (Göçme Öncesi)	- yön	-0.0262	-0.0266	-0.0269
	+ yön	0.0279	0.0244	0.0232
θ_y	- yön	-0.0077	-0.0112	-0.0181
	+ yön	0.0091	0.0122	0.0219
$\theta_y + \theta_p$ (Göçme Öncesi)	- yön	-0.0338	-0.0378	-0.0450
	+ yön	0.0370	0.0366	0.0451
Göçme sınırı ötelenme oranı (%)	- yön	-3.3845	-3.7772	-4.5044
	+ yön	3.6997	3.6610	4.5104
Göçme sınırı Δ (mm)	- yön	-55.84	-81.20	-123.87
	+ yön	61.04	78.71	124.04

- FEMA 356'ya göre belirlenen kesit hasar sınırları

Depremi yıkıcı etkisine maruz kalan yapılardan beklenen performansın, taşıyıcı sistem performansının yanı sıra ilerde sorunlara sebep olacak, kullanıma ara verilmesi ve ekonomik kayıplar gibi başlıca diğer hususlarında yapının performansına ait bütçeye eklenmesi gerektiği hususunu benimsemektedir. FEMA yönetmeliğinde hedeflenen bina performansı hem yapısal elemanların hem de yapısal olmayan elemanların deprem performans düzeyleri ve aralıklarının birleşiminden oluşmaktadır.

2000 yılında yürürlüğe giren bu yönetmelik [2] birincil yapı elemanları için 4 performans düzeyi belirlemiştir.

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

- **Kullanıma Devam Performans Seviyesi:**

Kullanıma Devam Performans Seviyesinde bina taşıyıcı sisteminde herhangi bir rijitlik ve dayanım kaybı söz konusu değildir. Bina deprem sonrası herhangi bir müdahaleye gerek duymadan kullanılmaya devam edebilir.

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi:**

Bu performans düzeyinde depremden sonra yapısal elemanlarda oluşan hasarlar küçük ve onarılabilir seviyededir. Yapı herhangi bir güçlendirmeye gerek duymaz ve deprem sonrası hemen kullanılmaya devam edebilir, yapısal elemanlarda dayanım ve rijitlik kaybında ciddi herhangi bir azalma söz konusu değildir.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi:**

Can güvenliği performans seviyesinde deprem sonrası oluşan hasar durumu can güvenliği tehlikesi oluşturmayacak şekildedir. Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan yapısal elemanlarda rijitlik ve dayanım kaybı yaşanmış olmasına rağmen yapının kısmi veya tamamen göçmesi beklenmemektedir. Bir takım yapısal elemanlarda güçlendirme ihtiyacı gerekmektedir.

- **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi:**

Bu performans düzeyinde ise yapı ciddi hasar almıştır, bina düşey yükler altında hala taşımaya devam etmesine rağmen, yanal rijitlik ve dayanımda çok ciddi azalma söz konusudur. Yapı sisteminin her an tamamen göçebileceği sınır durumu ifade etmektedir.

Yukarıda tanımlanan bu sınır değerlerin yanında FEMA 356 yönetmeliği, yapı performans seviyesinin hesaplanmadığı ve yapı taşıyıcı sisteminin göçme durumunda olduğu haller de Yapı Performansının Hesaplanmadığı Durum, bu performans seviyeleri arasında gösterilmemiştir.

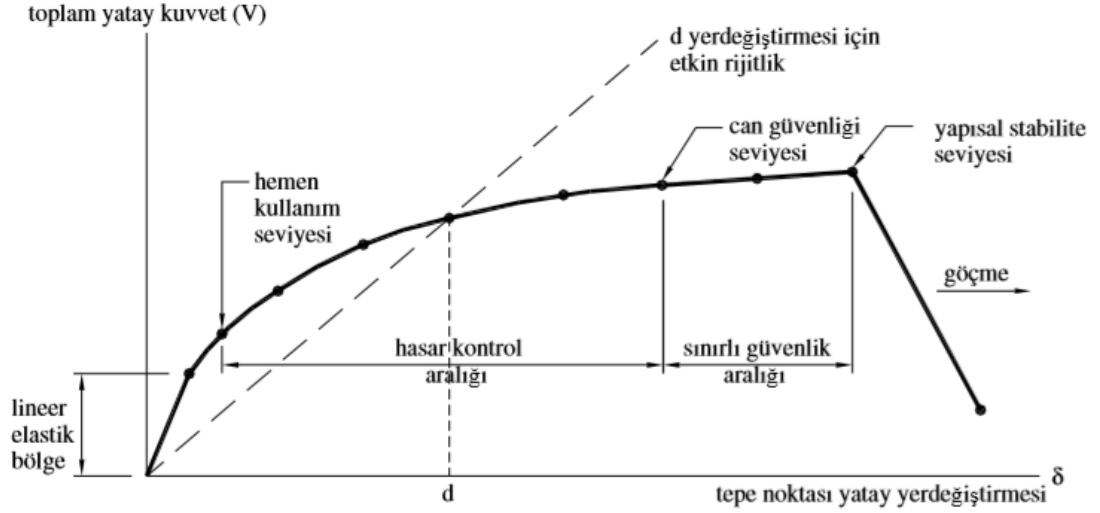
FEMA 356 yönetmeliğinde yapısal ve yapısal olmayan yapı elemanlarının performans düzeyleri Çizelge 4.4’de birleştirilerek binanın tümüne ait performans düzeyleri ve aralıkları belirlenmiştir

Çizelge 4.4: FEMA 356, (2000) Bina performans düzeyleri ve aralıkları

Yapısal Olmayan Elemanların Performans Düzeyleri	Yapısal Elemanların Performans Düzeyleri ve Aralıkları					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A (Kullanıma Devam)	2-A	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-B	1-B (Hemen Kullanım)	2-B	3-B	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-C	1-C	2-C	3-C (Can Güvenliği)	4-C	5-C	6-C
N-D	Tavsiye edilmiyor	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	4-E	5-E (Göçmenin önlenmesi)	Yapı göçer

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere çizelge köşegeni üzerinde kalan performans düzeyleri FEMA 356 tarafından tavsiye edilirken; köşegen harici kısımlar, yapısal veya yapısal olmayan elemanların ağır hasar aldığı yerlerde, FEMA 356 tarafından kullanılması tavsiye edilmeyen bina performans seviyeleridir.

Yukarıda açıklamaları yapılan performans seviyeleri ve aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yer değiştirmesi (V- δ) Şekil 4.3’de diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Kapasite Eğrisinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları [35]

FEMA 356'da yapısal elemanların performans seviyelerinin tanımlanmasında, plastik mafsal dönme talebi kullanılmaktadır. Bu yönetmelikteki, betonarme kirişler (birincil yapı elemanları) için verilen çeşitli hasar düzeylerine karşılık gelen plastik mafsal dönme sınırları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5: FEMA 356'daki Betonarme kiriş kesit dönmesi hasar sınırları

Eğilme Etkisindeki Kirişler			Kesit 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

C: Sargı özelliği yüksek beton

NC: Sargı özelliği düşük beton

Tablodaki ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

FEMA 356'daki hesaplarda kullanılan kirişe ait parametreler Çizelge 4.6'de göçme sınırı dönme değerleri ise Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6: FEMA 356'daki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler

Parametre		Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
a		m	1.65	2.15	2.75
Donatı	Basınç bölgesi	adet	6Φ16		
	Çekme bölgesi	adet	3Φ16		
f _c		Mpa	64.4	68.4	65.4
f _y		Mpa	498	498	498
A _s		mm ²	1205.76		
A _s '		mm ²	602.88		
b _w		mm	250		
d		mm	460		
ρ		-	0.0105		
ρ'		-	0.0052		
k		-	0.6136	0.5896	0.6076
ρ _b		-	0.03686	0.03761	0.03706
V		- yön	58992	49245	39608
V		+ yön	98586	81440	70566

Çizelge 4.7: FEMA 356'daki Göçme sınırı dönme değerleri

Parametre	Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	- yön	-0.1422	-0.1394	-0.1414
	+ yön	0.1422	0.1394	0.1414
$\frac{v}{b_w * d * \sqrt{f_c}}$	- yön	0.0639	0.0518	0.0426
$\frac{v}{b_w * d * \sqrt{f_c}}$	+ yön	0.1068	0.0856	0.0759
Göçme sınırı ötelenme oranı (%)	- yön	3.50	3.26	4.17
	+ yön	3.22	2.89	3.70
Göçme sınırı Δ (mm)	- yön	57.75	53.75	68.75
	+ yön	53.13	47.73	61.05

- EUROCODE 8'e göre belirlenen kesit hasar sınırları

EUROCODE 8 [3] yönetmeliğine göre, taşıyıcı sistem elemanlarında 3 farklı hasar sınırı durumu tanımlamıştır.

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

- **Minimum Hasar Sınırı:**

Bu hasar sınır durumunda, yapı hafif bir derecede hasara uğramış olup, binanın rijitlik ve dayanım özellikleri korunmuştur. Binada yapısal elemanlarda hasar meydana gelmezken, yapısal olmayan bölümlerde oluşan çatlaklar ekonomik bir şekilde onarılacak durumdadır. Kalıcı kat ötelenmeleri önemsenmeyecek seviyede olan yapının taşıyıcı sisteminin acil bir onarıma ihtiyacı yoktur.

- **Belirgin Hasar Sınırı**

Belirgin hasar sınır durumunda yapının dayanım ve rijitliği az da olsa devam etmesine karşın, taşıyıcı sistem önemli derecede hasar almıştır. Yapısal olmayan bileşenlerin zarar görmüş olmasının yanında, kalıcı görel kat ötelenmelerinin orta şiddette kaldığı görülür. Bu yapının zorunlu durumlar dışında onarılması ekonomik olmamakla beraber, binanın orta şiddetli bir depremde taşıyıcı sistem bütünlüğünün bozulması beklenmeyen bir durumdur.

- **Göçme Öncesi Hasar Sınırı**

Bu hasar sınırı durumunda ise, bina taşıyıcı elemanlarından olan kolonların düşey yük taşıma kapasiteleri her ne kadar mevcut ise de rijitlik ve yatay kuvvetin azalmış olmasıyla yapı ileri derecede hasar görmüştür. Yapısal olmayan yapı elemanlarından birçoğu göçmüştür. Büyük bir kalıcı görel kat ötelenmesi meydana gelmiştir. Binanın muhtemel bir orta şiddetli deprem salınımlarında ayakta kalması söz konusu olmamakla beraber, hiçbir şekilde güçlendirme yapılmamalı ve kontrollü bir şekilde yıkım gerçekleştirilmelidir.

EUROCODE 8 yönetmeliğinde hasar sınırları belirlenirken eksen dönmesi üzerinden hesaplanmaktadır. Çevrimsel yükler altındaki betonarme yapı

elemanlarının toplam dönme (elastik ve elastik ötesi) kapasitesinin (θ_{um}) belirlenmesi aşağıdaki (4.10) gibi formülize edilmiştir:

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{e1}} \cdot 0.016 \cdot (0.3^v) \cdot \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} \cdot f_c \right]^{0.225} \cdot \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} \cdot 25^{\left(\alpha \cdot \rho_{sx} \cdot \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} \cdot (1.25^{100 \cdot \rho_d}) \quad (4.10)$$

Aşağıda Çizelge 4.8’de toplam dönme kapasitesi formülündeki parametreler açıklanmıştır.

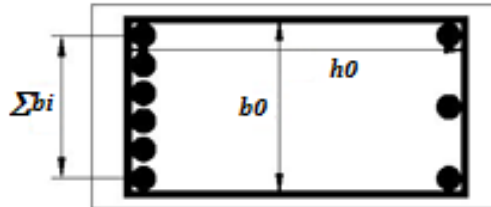
Çizelge 4.8: Toplam dönme kapasitesi formülü parametreleri

Simge	Açıklama
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; eksenel 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

Eurocode 8 yönetmeliğinde, sargı donatısı etki faktörü (α) için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\alpha = \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot h_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot h_0 \cdot b_0} \right) \quad (4.11)$$

Formül bileşenleri Şekil 4.4’ den görülebilir



Şekil 4.4: EUROCODE 8’de sargı donatısı etki faktörü bileşenlerinin şematik olarak gösterimi

EUROCODE 8'deki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler Çizelge 4.9'da göçme sınırı dönme değerleri ise Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9: EUROCODE 8'deki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler

Parametre		Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
a		m	1.65	2.15	2.75
Donatı	Basınç bölgesi	adet	6Φ16		
	Çekme bölgesi	adet	3Φ16		
f_c		MPa	64.4	68.4	65.4
f_y		MPa	498	498	498
f_{yw}		MPa	597	597	597
N		N	0	0	0
A_s		mm ²	1205.76		
A_s'		mm ²	602.88		
b_w		mm	250		
h		mm	500		
d'		mm	40		
d		mm	460		
ρ		-	0.0105		
ρ'		-	0.0052		
ρ_{sx}		-	0.0032	0.0025	0.0020
ρ_d		-	0.0000		
k		-	0.6136	0.5896	0.6076
ρ_b		-	0.03686	0.03761	0.03706

Çizelge 4.10: EUROCODE 8'deki Göçme sınırı dönme değerleri

Parametre	Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
γ_{el}	-	1.5		
ω	-	0.0811	0.0763	0.0798
ω'	-	0.0382	0.0382	0.0399
$\max \omega, \omega'$	-	0.0100	0.0100	0.0100
$v = \frac{N}{bw * h * f_c}$	-	0.0000	0.0000	0.0000
b_0	mm	162		
h_0	mm	412		
Σb_i	mm	138		
S_h	mm	125	160	200
$\alpha = \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_h}{2 \cdot h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Sigma b_i^2}{6 \cdot h_0 \cdot b_0}\right)$		0.0549	0.0902	0.1413
θ_{um} (NC-Göçme Öncesi)		0.0351	0.0396	0.0428
θ_{sd} (SD-Belirgin Hasar)		0.0263	0.0297	0.0321
θ_y	$\theta_{um(pl)}$	0.0271	0.0307	0.0332
	θ_y (DL-Minimum Hasar)	0.0080	0.0089	0.0096
Göçme sınırı ötelenme oranı (%)		3.51	3.96	4.28
Göçme sınırı Δ (mm)		57.90	85.13	117.73

- NZS 3101-1'e göre belirlenen hasar sınırları

17 Mart 2006 tarihinde Yeni Zelanda Standardı olarak yürürlüğe giren bu yönetmelik [4] taşıyıcı sistem elemanları için 3 farklı sünek plastik bölge tanımlamıştır. Yönetmelik olası plastik bölgelerde malzeme birim şekil değiştirme sınırlarını tanımlanırken, her potansiyel plastik bölgenin nihai sınır durumunda güvenli bir şekilde devam edebileceği deformasyon seviyesine bağlı olarak belirlemektedir.

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

NZS 3101-1 yönetmeliği diyagonal donatılı betonarme kirişlerde, birim şekil değiştirme değerlerini kirişe ait diyagonal donatılı bölümünün uzunluğu boyunca ortalama kayma birim şekil değiştirmesi üzerinden hesaplanırken, Plastik mafsal bölgeleri için malzeme birim şekil değiştirme değerlerini ise eğrilik üzerinden hesaplanmaktadır.

NZS 3101-1 yönetmeliği, plastik mafsal boyunu; tek yönlü plastik mafsal oluşan kirişlerde kiriş yüksekliğine eşit, çift yönlü plastik mafsal oluşan kirişlerde ise kiriş yüksekliğinin yarısını almaktadır. Yönetmelikte plastik mafsal bölgesindeki birim şekil değiştirme nominal eğrilik değeri dönme değerini etkili plastik mafsal uzunluğuna (L_p) bölünmesiyle bulunur. Ayrıca bu yönetmelik hesaplamalarda donatı akma dayanımının üst limitini 425 MPa olarak sınırlamıştır. NZS 3101-1’de elastik eğrilik (4.12) deki bağıntı üzerinden hesaplanır.

$$\Phi_y = \frac{2 \cdot f_y}{E_s \cdot h} \quad (4.12)$$

Kirişler için eğrilik sınırı, aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$\Phi_{\max} = K_d \cdot \Phi_y \quad (4.13)$$

K_d katsayısı Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11: Kirişler İçin Eğrilik Sınırı K_d katsayısı (NZS 3101-1)

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

- NZS 3101-1'deki hesaplarda kullanılan kirişe ait parametreler Çizelge 4.12'de göçme sınırı dönme değerleri ise Çizelge 4.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12: NZS 3101-1'deki hesaplarda kullanılan kirişlere ait parametreler

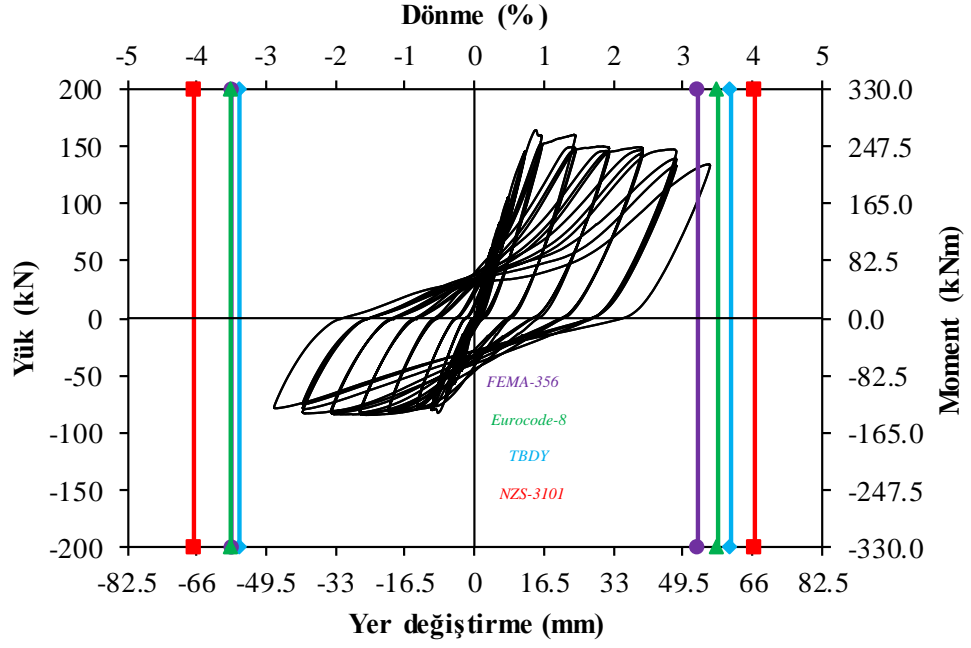
Parametre		Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
a		m	1.65	2.15	2.75
Donatı	Basınç bölgesi	adet	6 Φ 16		
	Çekme bölgesi	adet	3 Φ 16		
f_c		MPa	64.4	68.4	65.4
f_y		MPa	498	498	498
A_s		mm ²	1205.76		
A_{s'}		mm ²	602.88		
b_w		mm	250		
d		mm	460		
h		mm	500		

Çizelge 4.13: NZS 3101-1'deki Göçme sınırı dönme değerleri

Parametre	Birim	KY 01-3.6	KY 02-4.7	KY 03-6.0
E_s	Mpa	200000		
K_d	-	19	11	11
$\Phi_y = \frac{2 \cdot f_y}{E_s \cdot h}$	rad/mm	0.0000085		
Φ_{max}	rad/mm	0.00016	0.00009	0.00009
L_p	mm	250	250	250
θ	rad	0.040	0.023	0.023
Göçme sınırı ötelenme oranı (%)		4.04	2.34	2.34
Göçme sınırı Δ (mm)		66.62	50.26	64.28

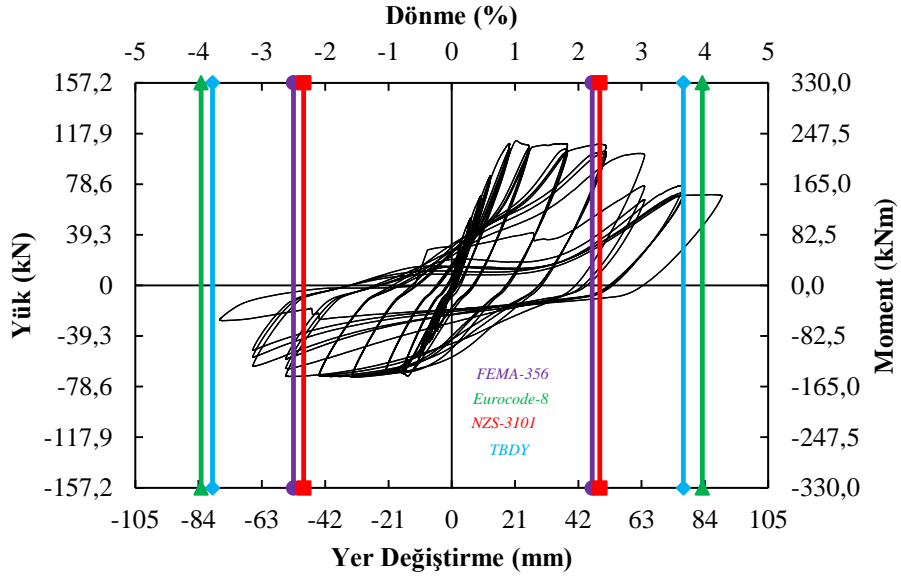
4.2 Analitik Olarak Belirlenen Göçme Hasar Sınırlarının Deneysel Sonuçlar İle Karşılaştırılması

Önceki bölümlerde imalat ve boyut detayları, uygulanan yükleme geçmişleri, hasar sınırları ve üç deneysel numune için veri kaydediciden alınan sonuçlar yardımıyla çizilen dönme değeri verilmiştir. Ayrıca yük, yer değiştirme, moment eğrileri üzerinde TBDY 2018, EUROCODE 8, NZS 3101-1 ve FEMA 356'ya göre hesaplanmış göçme hasar sınırları Şekil 5.1~5.3'de ki grafikler üzerinde verilmiştir.



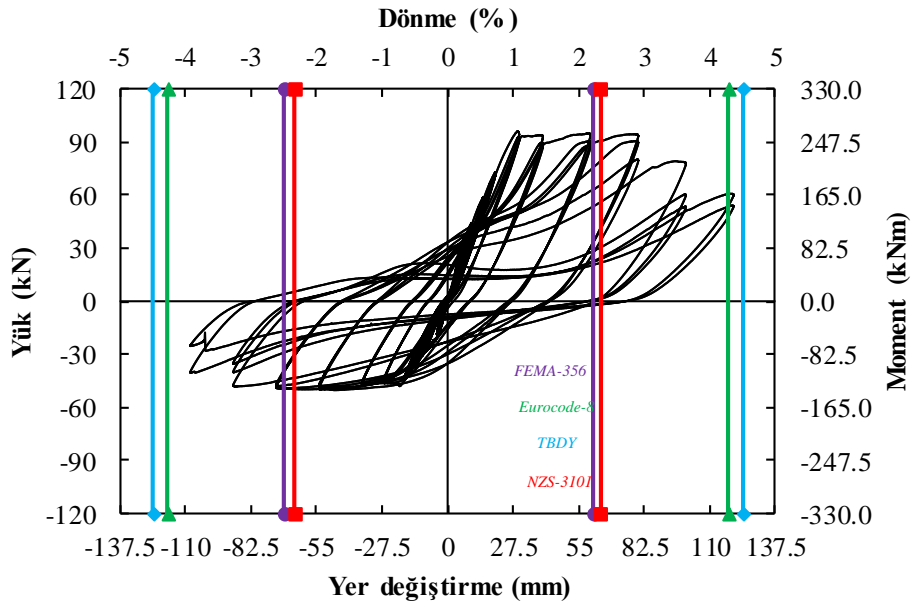
Şekil 5.1: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KY 01-3.6)

Şekil 5.1’ de gösterilen KY 01-3.6 deney numunesinde yükleme geçmişinde belirgin düşey yük etkisi ihmal edilmiş olup, çift yönlü plastik mafsalları meydana gelmiştir. a/d oranının 3.6 olarak belirlendiği bu deney numunesinde inceleme konusu edilmiş olan yönetmeliklerde pozitif yönde göçme hasar sınır değerini deneysel sonuçlara en yakın olarak tahmin eden FEMA-356 olurken, Negatif yönde TBDY 2018 yönetmeliğinin de çok yakın sonuç verdiği hesaplanmıştır.



Şekil 5.2: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KY 02-4.7)

Şekil 5.2’ de görülen karşılaştırmalarda, FEMA-356 (2000)’da verilen analitik hasar sınırı yaklaşımının deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği kabul edilebilir. Yeni Zelanda Betonarme Yapı Standardının (NZS-3101 2006) göçme hasar sınır tahminleri –elemanın süneklik düzeyi ile ilişki teşkil etmesi sebebiyle- genelde başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) ve Eurocode-8 (2003) yönetmeliğindeki malzeme birim şekil değiştirme sınırlarına göre hesaplanan analitik hasar sınır tahminleri, deneysel hasar sınırının biraz üzerinde seyrettiği söylenebilir.



Şekil 5.3: İncelenen Yönetmeliklere Göre Belirlenmiş Göçme Hasar Sınırları (KY 03-6.0)

Şekil 5.3’de ki karşılaştırmalarda ise, FEMA-356 (2000)’da ve NZS-3101’de verilen analitik hasar sınırı yaklaşımının deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) ve Eurocode-8 (2003) yönetmeliğindeki malzeme birim şekil değiştirme sınırlarına göre hesaplanan analitik hasar sınır tahminleri, deneysel hasar sınırının biraz üzerinde kaldığı söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada; yüksek mukavemetli kirişlerin çevrimsel yükler altındaki betonarme kirişlerin göçme hasar sınırları üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Düşey yük etkisinin ihmal edildiği yükleme geçmişi konsol kiriş olarak üretilen üç adet deney numunelerine uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçların analitik olarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmasıyla bulunan sonuçlara aşağıda maddeler halinde değinilmiştir.

- Bu çalışmada; belirgin düşey yük etkisinin dikkate alınmadığı yükleme geçmişi uygulanan deney numuneleri çift yönlü, plastik mafsal oluşturduğu gözlenmiştir (Şekil 3.1~3.6)
- TBDY 2018, EUROCODE 8, NZS 3101-1 ve FEMA 356'ya göre deneysel olarak elde edilen göçme hasar sınırları ile analitik olarak belirlenen göçme hasar sınır durumları, karşılaştırıldığında; Hasar sınırlarının belirlenmesinde FEMA 356 yönetmeliğinin, deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.
- Düşey yük etkisinin ihmal edildiği durumlarda oluşması muhtemel çift yönlü plastik mafsal davranışı için TBDY 2018 ile belirlenen göçme hasar sınırlarının incelenen üç deney numunesinde gözlenen hasar sınırlarının üzerinde kaldığı görülmektedir.
- Boyuna donatıları simetrik olarak üretilmemiş olan yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin, donatı oranının yüksek olduğu kesitinde meydana gelecek yüksek çekme kuvveti -kuvvet dengesi gereği- donatı oranının düşük olduğu kesitteki basınç donatıları üzerinde elastik ötesi zorlanma yaratarak o kısımdaki donatıların burkulma ihtimalini arttırmaktadır. Kiriş basınç bölgesinde yüksek dayanımlı beton olması bu durumun üzerinde etkisi görülmemektedir.
- Programda betonarme konsol kirişe çevrimsel yüklemenin olduğu bir test düzeni tatbik edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda bu yapısal elemana

test uygulamasının yanında, bir çerçeve sisteminin deneye tabi tutulması ve zamana bağlı Şekil deđiŐtirmelerinin de araştırma konusu yapılarak incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **TBDY**, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 30364 (Mükerrer), 18 Mart 2018.
- [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 Performance 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] **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.

- [17] **ASCE**, (2006). “*Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*,” ASCE Standard ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- [18] **Whitney, C.S.**, “Plastic Theory of Reinforced Concrete Design,” Trans. of ASCE, V68, p 251, 1942.
- [19] **Ersoy, U., Tankut, T., Atımsay, E., Aktan, E., ve Erbatur, F.**, “Betonarme Yapıların Taşıma Gücü İlkesiyle Hesap ve Yapım Kuralları,” Bayındırlık Bakanlığı, Proje no: 77-04-03-55, Bayındırlık Bakanlığı yayını, Ankara 1979.
- [20] **TS 500** (2000). “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- [21] **Ersoy, U.**, “Yönetmeliklerdeki Taşıma Gücü Yöntemleri,” İMO Teknik Dergi Yazı no.453, 2016 7453-7467.
- [22] **ACI 318-11**, “Building Code Requirements for Structural Concrete Detroit, ” Michigan, 2011.
- [23] **Eurocode 2**, “Design of Concrete Structures-Concrete Bridges.Design and Detailing Rules, ” European Standard, 2009.
- [24] **TS 802** (2016), “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [25] **TS 708** (2016), “Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [26] **TS EN ISO 15630-1** (2019), “Çelik - Betonarme ve ön gerilmeli beton için - Deney metotları - Bölüm 1: Donatı çubukları, halatı ve teli” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [27] **TS EN ISO 6892-1** (2020), “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1- Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [28] **TS EN 12390-3** (2019), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [29] **TS EN 12350-1** (2019), “ Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan aygıtlar” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [30] **TS EN 12390-1** (2013), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [31] **TS EN 12390-2** (2019), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [32] **Aydemir C., Aydemir Eser M., Yıldırım P.** (2020). “Belirgin Düşey Yük Etkisindeki Betonarme Kirişlerin Çevrimsel Yükler Altındaki Davranışı Üzerine Bir İnceleme” Teknik Dergi, 2020 9683-9709, Yazı 562
- [33] **ATC-38** (2000), Database on the Performance of Structures Near Strong-Motion Recordings: 1994 Northridge, California, Earthquake
- [34] **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.
- [35] **Yılmaz, H.E.**, (2006). “Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde 2006 Türk deprem yönetmeliği ve fema 356 yaklaşımlarının karşılaştırılması üzerine sayısal bir inceleme”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [36] **Yıldırım P.** (2018). “Belirgin Düşey Yükler Altındaki Betonarme Kirişlerin Çevrimsel Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi” İstanbul Aydın

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
Yüksek Lisans Tezi, 12 s.

- [37] **XTRACT**, v.3.0.8. Cross-sectional X Structural Analysis of Components,
Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento,
CA 95827.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Bayburt'ta doğdu. Lise eğitimini 1996 yılında İstanbul'da tamamladı. 2000 yılında Atatürk Üniversitesi Pasinler M.Y.O. İnşaat bölümünden mezun oldu. Daha sonra sırasıyla Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi / İşletme (2012) ve İlahiyat (2014) bölümlerinden mezun oldu. 2017 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğinden mezun olarak lisans eğitimini tamamladı. Lisansüstü eğitimini 2020 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Fen Bilimleri Enstitüsünde bitirdi.

Boyut reklam ürünleri satış sorumlusu (2003), Uzman Yapı Malzeme Laboratuvarı ve Beton Tek Yapı Malzeme Laboratuvarı (2003-2004) İnşaat Teknikeri olarak görev yaptı. Ekol Yapı İnşaat San. ve Tic. A.Ş. nin Çanakkale Boğaz Komutanlığı Deniz Birlikleri İnşaatı, Büyükkada-Heybeliada-Burgazada-Kınalıada İtfaiye Binaları İnşaatı, Çankaya Yıldız / Dikmen Vadisi Kentsel Dönüşüm Konut İnşaatı projelerinde 2004-2008 yılları arasında çalıştı. 2008-2013 yılında İBB iştiraki olan Bimtaş A.Ş. Araştırma Laboratuvarı Zemin bölümünde İnşaat Teknikeri olarak çalıştı. 2013 yılından sonra yine İBB iştiraki olan İston A.Ş. Yapı ve Malzeme Laboratuvarı Beton Bölümü Sorumlusu olarak çalışma hayatına devam etmektedir.