

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN ÇELİK
ELEMENLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ
DENEYSEL İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sümeyra ÇEVİRME**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2007

**KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN ÇELİK
ELEMENLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ
DENEYSEL İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sümeyra ÇEVİRME
(501041108)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Eylül 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Ekim 2007**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Pınar ÖZDEMİR ÇAĞLAYAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasan BODUROĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)**

EKİM 2007

ÖNSÖZ

İki yönlü tekrarlı yüklemeler altındaki betonarme kenar kolon-kiriş birleşimlerinin araştırılmasını, betonarme elemanlarda oluşan hasarları, nedenlerini, onarım ve güçlendirme esaslarını ve bu yöntemlerden biri olan epoksi ile çelik elemanlar yapıştırarak güçlendirme yönteminin deneysel olarak incelenmesini konu alan bu tez çalışması Yrd. Doç. Dr. Pınar Özdemir yönetiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın tüm aşamalarında gösterdiği her türlü ilgi, destek ve anlayış için Hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması boyunca desteği ve ilgisi ile yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a teşekkür ederim. Bunun yanı sıra deneyler aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen özellikle Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Deneyde kullanılan malzemeleri (numuneler, epoksi, çelik elemanlar, iş gücü) temininde İZOMAS A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deney numunelerinin hazırlanması aşamasında tüm olanaklarını sunan Bil İnşaat Ltd. Şti. ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, desteklerini benden esirgemeyen aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Ekim 2007

İnş. Müh. Sümeyra ÇEVİRME

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xvi

1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Hasara Sebebiyet Veren Etkenler	3
1.3.1. Tasarım aşamasında hasara sebebiyet veren etkenler	3
1.3.2. Üretim aşamasında hasara sebebiyet veren etkenler	3
1.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Onarım Ve Güçlendirilmesi	4
1.4.1. Betonarme elemanların onarım ve güçlendirme kavramı	4
1.4.2. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde göz önünde bulundurulacak kriterler	5
1.4.2.1. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde elde edilmesi öngörülen performans kriterleri	5
1.4.2.2. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde belirleyici olan mevcut durum şartları	6
1.5. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Onarım ve Güçlendirme Teknikleri	7
1.5.1. Kolonlarda oluşan başlıca hasarlar ve iyileştirme teknikleri	7
1.5.2. Betonarme elemanların onarım ve güçlendirme yöntemleri	7
1.6. Onarım ve Güçlendirmenin Projelendirme Esasları ve Aşamaları	8
1.6.1. Bir yapının güçlendirme projesindeki aşamalar	8
1.6.1.1. Beton basınç ölçümü	9
1.6.1.2. Donatıların tespiti	9
1.6.1.3. Korozyon riskinin kontrol edilmesi	9
1.6.2. Deprem sonrası hasar tespiti	10
2. BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ	11
2.1. Genel	11
2.2 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi	13
2.3 Konuya İlişkin Çalışmalar ve Tanımlamalar	14

3. BETONARME TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ DIŞ YÜZEYLERİNDEN BAĞLANAN ÇEŞİTLİ ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ YÖNTEMİ	21
3.1. Betonarme Elemanlardaki Çatlakların Onarımı	21
3.1.1. Çatlaklar ve beton onarımları	21
3.1.1.1. Genel bilgi	21
3.1.1.2. Çatlakların onarımı	22
3.1.1.3. Beton onarımları	23
3.2. Betonarme Elemanın Dış Yüzeyden Yapıştırılan Çelik Lama veya Kompozit Elemanlar ile Güçlendirilmesi	24
3.2.1. Genel bilgi	24
3.2.2. Konuya ilişkin çalışmalar ve tanımlamalar	25
3.2.2.1. Çelik lamaların yapıştırma tekniği ile bağlanması	25
3.2.2.2. Çelik lamaların bulon ve kaynak kullanılarak bağlanması	28
3.2.3. Bağlayıcı malzemenin önemi	29
3.2.4. Sistemin ayrıntıları	30
3.2.5. Çelik elemanlarla mantolama yöntemleri	38
3.2.6. Çelik elemanlarla güçlendirme tekniğinin üstünlükleri	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
4.1. Giriş	41
4.2. Genel Bilgi	42
4.3. Deney Numuneleri	42
4.3.1. Deney numunelerinin özellikleri	42
4.3.1.1. 1. Tip numune	42
4.3.1.2. 2. Tip numune	45
4.3.2. Deneyde kullanılan malzemelerin özellikleri	47
4.3.2.1. Beton özellikleri	47
4.3.2.2. Çelik özellikleri	49
4.3.2.3. Epoksi tamir harcı ve yapıştırıcı özellikleri	50
4.3.3. Deney numunelerinin imalatı	53
4.4. Deney Düzeneği	56
4.4.1. Ölçüm araçları	57
4.4.1.1. Şekil değiştirme ölçer	57
4.4.1.2. Yerdeğiştirme ölçerler	58
4.4.2. Yükleme aparatları	60
4.4.3. Deney programı	61
5. DENEYSEL SONUÇLAR	63
5.1. Genel Bilgiler	63
5.2. Deney Numuneleri	63
5.3. Deney Gözlemleri ve Çatlak Oluşumu	64
5.3.1. Tip 1 numunesi	64
5.3.2. GTip 1 numunesi	65
5.3.3. Tip 2 numunesi	69
5.4. Deney Numune Sonuçları	71
5.4.1. Çevrimsel yükleme	71
5.4.2. Eksenel kuvvet – zaman değişimi	72
5.4.3. Yanal kuvvet – zaman değişimi	74
5.4.4. Kiriş ucu yer değiştirme – zaman değişimi	77
5.4.5. Yanal kuvvet – kiriş ucu yer değiştirme değişimi	79

5.4.6. Moment – Eğrilik diyagramı	80
5.4.7. Moment – plastik dönme diyagramı	81
5.4.8. Enerji – kiriş ucu yer değiştirme diyagramı	84
6.BETONARME HESAPLAR	87
6.1 Tip 1 Numunesi Betonarme Hesapları	88
6.1.1 Tip 1 numunesi kiriş moment kapasitesi	88
6.1.2 Tip 1 numunesi kolon moment kapasitesi	89
6.1.3 Tip 1 numunesi kesme etkisi	92
6.1.4 Tip 1 numunesi kolon – kiriş birleşim bölgesi	100
6.2 Tip 2 Numunesi Betonarme Hesapları	104
6.2.1 Tip 2 numunesi kiriş moment kapasitesi	104
6.2.2 Tip 2 numunesi kolon moment kapasitesi	105
6.2.3 Tip 1 numunesi kesme etkisi	107
6.2.4 Tip 2 numunesi kolon – kiriş birleşim bölgesi	111
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	113
7.1. Sonuçlar	113
7.2. Öneriler	117
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ	120

KISALTMALAR

DBYBHY-2007 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TS-500 : Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS-648 : Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS-708 : Beton Çelik Çubukları Standartları

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. 10 MPa kalitesinde beton elde edilmesinde kullanılan karışım tablosu.....	48
Tablo 4.2. 25 MPa kalitesinde beton elde edilmesinde kullanılan karışım tablosu.....	48
Tablo 4.3. İki adet lama arasına yerleştirilen epoksi numunelerinin çekme deneyi	53

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Karot numune alınışı.....	9
Şekil 2.1 : Kiriş-kolon birleşim bölgesi hasarı.....	11
Şekil 2.2 : Basınç kırılması.....	12
Şekil 2.3 : Düğüm noktası hasarı	12
Şekil 2.4 : Güçlendirilmiş düğüm bölgeleri	14
Şekil 2.5 : Kolon sarılma bölgeleri.....	18
Şekil 2.6 : Kiriş sarılma bölgesi.....	20
Şekil 3.1 : Hafif hasarlı kolonda reçine enjeksiyonu.....	22
Şekil 3.2 : Hasara uğramış kolon-kiriş düğüm bölgesi	31
Şekil 3.3 : Düğüm bölgesi beton onarım hazırlığı.....	31
Şekil 3.4 : Beton onarımı yapılacak yüzeyde epoksi astar uygulaması.....	33
Şekil 3.5 : Düğüm bölgesinin harçla onarımı.....	33
Şekil 3.6 : Düğüm bölgesindeki çatlaklara epoksi enjeksiyonu uygulaması..	34
Şekil 3.7 : Çelik elemanlarla güçlendirme öncesi epoksi adhesive uygulaması.....	36
Şekil 3.8 : Çelik elemanlarla güçlendirme uygulaması.....	37
Şekil 3.9 : Çelik elemanlarla güçlendirilmiş kolon-kiriş düğüm bölgesi.....	38
Şekil 4.1 : 1. tip numune betonarme detayı.....	44
Şekil 4.2 : 2. tip numune betonarme detayı.....	46
Şekil 4.3 : Çekme deneyine tabi tutulan lamalar.....	49
Şekil 4.4 : Epoksi tamir harcı basınç numuneleri.....	50
Şekil 4.5 : Epoksi tamir harcı çekme numuneleri.....	51
Şekil 4.6 : Epoksi tamir harcı – çelik çekme numuneleri.....	52
Şekil 4.7 : Deney numuneleri donatılarına şekil değiştirme ölçer yerleşimi..	54
Şekil 4.8 : Deney numuneleri çelik kalıplarına vibratörle uygun beton dökümü.....	55
Şekil 4.9 : Prizini almış ve yeni dökümü yapılmış deney numuneleri.....	55
Şekil 4.10 : Deney düzeneği.....	56
Şekil 4.11 : Deney numunesinde şekil değiştirme ölçer yerleşimi.....	57
Şekil 4.12 : Numunelerde şekil değiştirme ölçer yerleşimi.....	58
Şekil 4.13 : Numunelerde kumanda odası'ndan bakış LVDT yerleşimi.....	59
Şekil 4.14 : Numunelerde malzeme laboratuvarı'ndan bakış LVDT yerleşimi.....	59

Şekil 4.15	: Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan 1.tip numune.....	61
Şekil 4.16	: Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan 2.tip numune.....	62
Şekil 5.1	: Tip 1 numunesi deney sonu çatlak krokisi.....	65
Şekil 5.2	: Hasar görmüş tip 1 numunesine beton onarım uygulaması.....	66
Şekil 5.3	: Hasar görmüş tip 1 numunesine çelik elemanlarla güçlendirme uygulaması.....	66
Şekil 5.4	: GTip 1 numunesi çelik elemanlarla güçlendirme detayı.....	67
Şekil 5.5	: Hasar görmüş tip 1 numunesi güçlendirilmiş hali (GTip 1 numunesi)	68
Şekil 5.6	: GTip 1 numunesi deney sonu çatlak krokisi.....	69
Şekil 5.7	: Tip 2 numunesi deney sonu çatlak krokisi	70
Şekil 5.8	: Tip 1 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı.....	71
Şekil 5.9	: GTip 1 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı.....	71
Şekil 5.10	: Tip 2 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı.....	72
Şekil 5.11	: Tip 1 numunesine eksenel kuvvet – zaman değişimi.....	72
Şekil 5.12	: GTip 1 numunesine eksenel kuvvet – zaman değişimi.....	73
Şekil 5.13	: Tip 2 numunesine ait eksenel kuvvet – zaman değişimi.....	73
Şekil 5.14	: Tip 1 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi.....	74
Şekil 5.15	: GTip 1 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi.....	74
Şekil 5.16	: Tip 2 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi.....	75
Şekil 5.17	: Tip 1 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi....	76
Şekil 5.18	: GTip 1 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi..	76
Şekil 5.19	: Tip 2 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi....	77
Şekil 5.20	: Tip 1 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme-zaman değişimi....	77
Şekil 5.21	: GTip 1 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme-zaman değişimi.	78
Şekil 5.22	: Tip 2 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme-zaman değişimi....	78
Şekil 5.23	: Tip 1 numunesine ait yanal kuvvet-kiriş ucu yer değiştirme eğrisi.....	79
Şekil 5.24	: GTip 1 numunesine ait yanal kuvvet kiriş ucu yer değiştirme eğrisi.....	79
Şekil 5.25	: Tip 2 numunesine ait yanal kuvvet kiriş ucu yer değiştirme eğrisi.....	80
Şekil 5.26	: Tip 1 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı.....	80
Şekil 5.27	: GTip 1 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı.....	81
Şekil 5.28	: Tip 2 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı.....	81
Şekil 5.29	: Tip 1 numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı	83
Şekil 5.30	: GTip 1 numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı.....	83
Şekil 5.31	: Tip 2 numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı.....	84
Şekil 5.32	: Tip 1 numunesine ait enerji-kiriş ucu yer değiştirme diyagramı...	85
Şekil 5.33	: GTip 1 numunesine ait enerji- kiriş ucu yer değiştirme diyagramı.....	85
Şekil 5.34	: Tip 2 numunesine ait enerji- kiriş ucu yer değiştirme diyagramı..	86
Şekil 6.1	: Numune çubuk sistem modeli.....	87
Şekil 6.2	: Tip 1 numunesinin kiriş kesiti.....	88
Şekil 6.3	: Tip 1 numunesi kolon kesiti.....	89
Şekil 6.4	: Kolon – kiriş birleşim bölgesi moment dağılımı.....	90

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 6.5 : Tip 1 numunesi normal kuvvet – moment diyagramı.....	90
Şekil 6.6 : Kolon – kiriş yük uygulama düzeni.....	91
Şekil 6.7 : Basit kesme altında asal gerilmeler.....	92
Şekil 6.8 : Asal gerilmelerin yönü.....	93
Şekil 6.9 : Kirişte oluşan eşgerilme değerleri.....	94
Şekil 6.10 : Etriye aralığının önemi.....	94
Şekil 6.11 : DBYBHY-2007’ye göre kirişlerin kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler.....	95
Şekil 6.12 : DBYBHY-2007’ye göre kirişlerin donatı detayı.....	97
Şekil 6.13 : DBYBHY-2007’ye göre kolonların kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler.....	98
Şekil 6.14 : DBYBHY-2007’ye göre kolonların donatı detayı.....	99
Şekil 6.15 : Kolon – kiriş birleşim bölgesi.....	100
Şekil 6.16 : Birleşim bölgesinde a) düşey yüklerden ve b) yanal yüklerden oluşan etkiler ve c) donatı düzeni.....	101
Şekil 6.17 : Tip 2 numunesi kiriş kesiti.....	104
Şekil 6.18 : Tip 2 numunesi kolon kesiti.....	105
Şekil 6.19 : Tip 2 numunesi normal kuvvet – moment diyagramı.....	106
Şekil 6.20 : DBYBHY-2007’ye göre kirişlerin kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler.....	107
Şekil 7.1 : Üç numuneye ait yanal kuvvet-kiriş ucu yerdeğiştirme eğrileri karşılaştırması.....	113
Şekil 7.2 : Üç numuneye ait moment - eğrilik zarf eğrileri karşılaştırması.....	114
Şekil 7.3 : Üç Numuneye ait enerji-kiriş ucu yerdeğiştirme diyagramı karşılaştırması.....	115

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_{s1}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında, kirişin negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{s2}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının A_{s1} 'e göre öbür tarafında, kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)
ΣA_w	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı
a	: Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık
b_j	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklardan küçük olanının iki katı (Kiriş genişliği ile birleşimin derinliğinin toplamını aşamaz)
b_k	: Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)
b_w	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
d	: Kirişin faydalı yüksekliği
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
h	: Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
h_k	: Kiriş yüksekliği
ℓ_b	: TS-500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
ℓ_n	: Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
M_{pa}	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan negatif veya pozitif moment kapasitesi

ΣM_p	: Dügüm noktasına birleşen kirişlerin moment kapasitelerinin toplamı
$M_{pü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
M_{ra}	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü momenti
$M_{rū}$	: Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{ü}$	: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment
N_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{dm}	: Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü
s	: Enine donatı aralığı, spiral donatı adımı
V_c	: Betonun kesme dayanımına katkısı
V_d	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_{dy}	: Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
V_e	: Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
V_{kol}	: Dügüm noktasının üstünde ve altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinin küçük olanı
V_r	: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
V_t	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$\emptyset$	: Donatı çapı
ρ	: Kiriş mesnedinde üstteki veya alttaki çekme donatısı oranı

KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN ÇELİK ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ DENEYSEL İNCELEME

ÖZET

Çalışmanın amacı, betonarme elemanlara çelik lamaları dış yüzeylerinden epoksi ile yapıştırarak taşıma gücünü artırmayı sağlayan bir güçlendirme yönteminin niteliklerini kaynak alıp, olumsuz noktaları da kontrol altında tutarak üretilen güçlendirme modellerinin etkinliğini, kullanılan malzemelerin performansları açısından, deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu bağın üç ana ögesi başta epoksi reçinesi olmak üzere çelik ve betonarme elemandır. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneyler sunulmuş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışma beş bölümden oluşmuştur.

Bölüm 1' de, yapılan çalışmanın amaç ve kapsamının açıklanmasına bağlı olarak temel kavram ve güncel bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde;

- Genel anlamda güçlendirme, onarım ve yenileme kavramları,
- Betonarme yapıların hasara uğrama nedenlerinden,
- Güçlendirme projesi aşamasında yapılacak ön çalışmalardan, metotlardan bahsedilmiştir.
- Genel olarak taşıyıcı sistemde yapıştırılmış birleşim ve çelik lama kullanımının olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilmesi ele alınmıştır.

Bölüm 2' de,

- Bu çalışma kapsamında değerlendirilecek olan kolon-kiriş birleşim bölgesinin önemi,
- Literatür taramasından sağlanan veriler doğrultusunda, konu ile ilgili çalışmalar tanıtılmış, hizmet halindeki betonarme yapıların güçlendirme ve onarım metotları genel olarak sınıflandırılmış ve çelik lamanın epoksi

reçinesi ile oluşturduğu yapıştırımlı birleşime dayanan güçlendirme metodunun bu kapsamdaki yeri belirlenmiştir.

Bölüm 3' de, konu ile ilgili metodun uygulama işlemleri ve kapsamındaki malzeme girdilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, uygulanma kriterleri, diğer malzemelerle etkileşimleri anlatılmıştır. Bölümün sonunda, ortaya konulan verilere dayanılarak, bu çalışmada sonuca ulaşma doğrultusunda oluşturulan yöntem açıklanmıştır.

Kenar kolon-kiriş birleşim numuneleri, deplasman kontrollü olarak kiriş ucundan etkileyen iki yönlü tersinir tekrarlı yükler ile kolon ekseninden etkileyen sabit eksenel basınç yükü altında deneye tabi tutulmuştur. Kiriş ucundan etkileyen iki yönlü tekrarlı yükler, kalıcı kiriş uç yer değiştirmesi oluşana kadar yapılmıştır.

Yapılan deneyler aşağıdaki gibi planlanmıştır.

- Düşük dayanımlı beton kullanılan, kolon ile kirişin birleşim bölgesinde(düğüm noktasında) hiçbir enine donatı bulundurmeyen numuneye yük verilerek hasara uğratılmıştır.
- Hasara uğrayan düşük dayanımlı numune onarıldıktan sonra çelik lamalar ile birleştirilmesi-eklenmesi sonucu elde edilen yeni kolon-kiriş düzeninin, özel bir deney düzeneğinde incelenmesi;
- Normal beton kullanılan numunelerden birisi "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" koşullarına uygun olarak hazırlanmış sünek kenar kolon-kiriş birleşim numunesinin deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır.

Bölüm 4' de, deneysel çalışma programı açıklanmıştır. Bu program doğrultusunda kullanılacak deney numuneleri, deney cihazları ve parametreleri, referans çalışmalar ve standartlara bağlı olarak belirlenmiştir.

Bölüm 5' de; bu kapsamda her bir gruptaki birleştirilmiş deney modellerinin taşıma güçleri, çatlak oluşumları, yük altındaki davranışları açısından birbirleriyle karşılaştırmaları yapılarak sonuçlar sunulmuştur.

Bölüm 6' da, deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen veriler ışığında numunelerin malzeme ve kesit özellikleri göz önünde bulundurularak betonarme hesapları yapılmıştır.

Yedinci ve son bölümde ise, elde edilen deney sonuçları grafik ve şekil anlatımları ile ifade edilerek yorumlanmış, çalışmanın genel olarak değerlendirmesi yapılmıştır. Konunun araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı veriler değerlendirilmiştir.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE STRENGTHENING FOR BEAM-COLUMN CONNECTIONS BY USING STEEL PLATES

SUMMARY

The purpose of this experimental study is to evaluate the strengthening realized by the joining method not only the application criteria and related materials are given but also advantages and inconvenient of the method are pointed out. This adhesion is composed of tree elements which are concrete, steel and epoxy resin. In this content, all of the recent studies performed are presented and their conclusions are analyzed. This study consists mainly of five parts.

In the first point, in relation to the explanation of study' s purpose and contents general information and contemporary applications are presented. In this section;

- General concept for strengthening, repair and restoration,
- The causes of damages of the reinforced concrete
- Pre-works and the methods in the reinforcement project process were told, samples given, analyze of a structure was made and the reasons were evaluated.
- In advantages and disadvantages of sides of adhesive joints for structural systems are examined.

In second part,

- Beam-column connection zones importance which will be evaluated in this experimental study extent
- In relation the data obtained from the literatural research, similar and different results of the study are compared and presented.

Strengthening and repair methods for existing concrete buildings are classified and the strengthening method realized by the usage of epoxy resin and steel plates is evaluated.

In third part, the application criteria, physical and chemical properties of the materials used in the strengthening application and the interaction of material is presented. According to the data presented, the original method and aimed conclusions are explained at the end of this section.

For the purpose of this; in this experimental study, the exterior beam-column joint specimens were tested under the displacement controlled and the bi-directional reversals cyclic loads acting from the end of the beam. In addition to these cyclic loads, the constant axial load was applied to the column. Bi-directional reversals cyclic loads are applied at the end of the beam until the first residual displacement occur.

The experimental studies are planned as following;

- One specimen where low-resistance concrete is used and closely lateral reinforcements isn't used at beam-column joint core is damaged by giving load
- A damaged beam-column joint specimen which is low-resistance concrete is prepared by elements bonded with epoxy resin and steel plates. These types of testing models are evaluated in a special experimental set-up.
- One of the specimens where plain concrete and closely spaced lateral reinforcements are used as proposed by Design Specifications for buildings in Earthquake Regions (2007) is evaluated.

In the fourth part, the experimental program is explained. Testing models, equipments, parameters which will be used this program are identified in relation to reference studies.

In the fifth part, all of bonded experimental models are tested and compared according to the loading capacity, crack formation, behavior under loading, and then conclusions are presented.

In the sixth part, reinforced concrete computations of experimental models are presented by taking into account material and section properties with test results

In the seventh and the last part, the test results obtained are examined graphics and figures are obtained. The conclusions depending on the data obtained are presented.

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Yetersiz donatılı kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan gerilme yığılmaları nedeni ile tümüyle göçen ya da ağır hasarlı yapı örnekleri geçmiş depremlerde sıklıkla gözlenmiştir (1999 Mexico City, 1999 Hyogo-Ken Nanbu(Kobe), 1999 İzmit... vs.).

Ülkemiz nüfusunun önemli bölümünün yüksek derecede deprem riski olan bölgelerde yerleşmiş olmasının yanı sıra yapılaşmanın çarpıklığı ve kalitesizliği nedeniyle, taşıyıcı sistemleri onarım ve güçlendirme uygulaması gerektiren büyük miktarda yapı bulunmaktadır. "Güvenli yapı", dolayısı ile "güçlendirme" kavramının öne çıktığı son yıllarda inşaat sektörümüzün çeşitli yan sektörleri ile birlikte bu konuda yeniden yapılanmasının bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmıştır. Bu süreçte yapılan uygulamalarda onarım ve güçlendirme işlemlerinde, yöntem ve malzemelerin etkin kullanımları açısından bilgi eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu eksikliklerden dolayı hatalar içeren güçlendirme uygulamalarında büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir.

Yıkılıp yeniden yapılması bazı durumlarda orijinal yapım maliyetinin yaklaşık 1.20 ile 1.60 katına ulaşabilen hasarlı binaların; eğer yeterli bir onarım ve gerekirse güçlendirme sonucu yapı emniyeti sağlanabiliyorsa, birçok mühendisin de mutabık olduğu gibi, orijinal yapım maliyetinin 0.60 hatta 0.75'i seviyesine kadar yapılan masraf oldukça ekonomik gözükmetedir (Özturan ve Çeçen, 1995).

Bunlardan başka bu konudaki bilgi eksikliği, konunun uzmanı olan donanımlı ve tecrübeli bazı firmalar tarafından kazanç oranını artırmak şeklinde değerlendirilmektedir. Ülkemizde bu konuyu anlaşılır ve standart bir işlem dizisi ile ortaya koyan, uygulama kriterleri ve sınırlarını belirleyen, ayrıca alternatif yöntemler ile karşılaştırmayı mümkün kılan çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Bu anlamda söz konusu yöntemlerden biri olarak olan; "betonarme elemanların dış yüzeylerinden

epoksi reçinesi ile yapıştırılan elik elemanları ile güçlendirilmesi ve birleştirilmesi" uygulaması, bu tez çalışmasında deneysel olarak incelenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Yapılan alışma kapsamında; betonarme kolon-kiriş birleşim numuneleri önce genel davranışlarının belirlenebilmesi amacıyla mevcut durumlarıyla kalıcı deformasyonlar oluşana kadar yüklemeye tabi tutularak hasara uğratılmıştır. Kullanılan numunelerden tip olarak biri "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" 'e uygun olarak imal edilmiş; beklenen hasar durumları kontrol edilmiştir. Bu numune, diğer tipteki düşük dayanımlı beton basınç mukavemet değerine sahip, kolon-kiriş birleşim bölgesinde (düğüm noktasında) hiçbir enine donatı bulundurmayan numune ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra düşük dayanıma sahip olan numuneye; kopan parçaların temizlenmesi, kesit kayıplarının epoksi harcı ile doldurularak elemanın eski formuna getirilmesi işlemleri uygulanmıştır. Ayrıca çatlaklara epoksi enjeksiyonu yapılmak kaydıyla sabitlenerek sertleşmeye bırakılmaktadır. Onarılan eleman daha sonra tekrar hasara uğratılarak, orijinal betonarme eleman ile karşılaştırmalı bir şekilde deney sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca onarım tekniğinin ve onarım malzemelerinin etkinliğini belirlemek veya onarılan çatlakların tekrar hasara uğratma esnasındaki kopma yüklemesinde yaptığı davranışları tespit etmek, yapılan araştırmanın amaçlarındandır.

Bu tez çalışmasının hareket noktası, epoksi reçinesinin betonarme yüzey ve elik lama arasında oluşturduğu aderansı yüksek ve dış etkilerden alternatifi olmayacak kadar az etkilenen yapışkan bağıdır. Amaç betonarme elemana elik lamaları dış yüzeylerinden epoksi ile yapıştırarak yapılan güçlendirme metodunu, uygulama kriterleri ve kullanılan malzemelerin verimlilikleri açısından deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu bağlamda literatür taraması ile elde edilen bilgiler esas alınarak ve belirli olumsuz noktalar da kontrol altında tutularak deneysel çalışma için üretilen güçlendirme modellerinin performansları araştırılmıştır.

1.3. Hasara Sebebiyet Veren Etkenler

1.3.1. Tasarım aşamasında hasara sebebiyet veren etkenler

- Yapının davranışını ve deprem yükleri altındaki performansını belirleyen yapı ile ilgili gerekli parametrelerin tasarım aşamasında tam olarak belirlenmemesi veya çekme bölgelerinde yetersiz donatı bulunması gibi yapılan hata ya da hatalı kabullerden dolayı yapının taşıyıcı sisteminde bölgesel veya bütün olarak zafiyetler oluşturması,
- "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" 'de belirtildiği üzere; depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile yapıda yıkıma kadar varan hasarlara sebep olabilen planda düzensizlikler ve deprem sırasında aşırı mertebelerde kesme kuvvetlerine maruz kalan, rijitlikleri arttırılmış kısa kolon oluşumu gibi düşey doğrultuda düzensizlik yaratan ve kaçınılması gereken durumların projelendirme aşamasında göz ardı edilmesi.

1.3.2. Üretim aşamasında hasara sebebiyet veren etkenler

- Beton üretimiyle ilgili olarak, yıkanmamış deniz kumu kullanılması, betona bilinçsizce su katılması, sertleşme sürecinde yetersiz bakım (eksik kür), yerleştirmede vibratörün kullanılmayışı veya uygun şekilde kullanılmayışından dolayı oluşan segregasyonların betonun kalitesini düşürerek tasarlanan taşıma gücüne ulaşılamaması, yapının rijitliğinin azalması ve özellikle yetersiz kesme ve aderans dayanımına nedeniyle gevrek kırılmalara sebep olması,
- Betonarme içerisindeki donatı imalatıyla ilgili olarak; TS 708 Beton Çelik Çubukları Standartlarında öngördüğü üzere 3.ve 4. deprem bölgelerinde BÇ I sınıfı donatı kullanımı ile 1. ve 2. deprem bölgelerinde kesinlikle BÇ III yani Nervürlü III-a sınıfı donatı kullanılmamasından dolayı ya da fabrikada seri üretim olarak imal edilen çeliklerin hata paylarının göz ardı edilerek, hiçbir kontrolden geçirilmeden doğrudan yapıda kullanılması,

- Donatı düzenlemelerine ilişkin eksiklik gibi özen gösterilmeyen işçilik veya yapım sürecinde uygun olmayan malzeme kullanımı gibi hatalardan ve bu hataların üretim safhasında fark edilmeyerek yapımın tamamlanması gibi nedenlerden dolayı taşıyıcı elemanların tasarlanan mukavemetin altında performans göstermesi,
- Kısa kolon oluşturacak uygulamalar ve yapının kullanım amacını değiştiren farklı imalatlar ile ortaya çıkan ek kuvvetlerin elemanların taşıma kapasitelerini aşmaları,
- Mevcut yasa ve yönetmeliklere göre tasarlanan yapıların kullanım ömrü içerisinde yürürlüğe giren yeni yasa ve yönetmeliklere cevap veremeyecek nitelikte olması,
- Çevre koşulları değerlendirilmeden yapılan mimari tasarımlarla birlikte gerekli önlemlerin zaman içinde alınmadığı durumlarda; yetersiz veya yanlış izolasyon uygulamaları nedeniyle korozyon hasarlarının oluşması gibi sebeplerden dolayı betonun betonarme donatının niteliklerinin bozularak betonarme elemanın taşıyıcılık değerlerinde giderilmesi gereken çok önemli kayıpların oluşması,
- Özellikle deprem gibi doğal afetlerden dolayı yapısal tehlike arz eden durumların ortaya çıkması.

Yukarıda nedenlerden dolayı taşıyıcı sistem bakımından yetersiz yapıların hizmet halinde tutulması, can ve mal güvenliği açısından tehlikelidir. Bu gibi durumlarda yapı taşıyıcı sistemi, onarım ve güçlendirme uygulaması ile yeni işlevini karşılayacak taşıma kapasitesine getirilmelidir.

1.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Onarım Ve Güçlendirilmesi

1.4.1. Betonarme elemanların onarım ve güçlendirme kavramı

Betonarme taşıyıcı sistemde yapılan bu tür değişiklik ve eklemeler, yeri ve amacına göre; onarım, güçlendirme ve/veya iyileştirme şeklinde uygulanmaktadır. Görünüş veya kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun bir veya birkaç elemanındaki sınırlı bir hasarın giderilerek, depremde hasar görüp taşıma gücü

azalmış elemanlara deprem öncesi taşıma gücü değerlerini yeniden kazandırma veya taşıyıcı olmayan elemanların önceki fonksiyonlarının yeniden temini işlemine “onarım” denir.

Hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da belli elemanlarının yük taşıma kapasitesi, rijitliği, düktilitesi ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını yapının önceki veya mevcut duruma göre artırmak veya ekonomik ömrü içinde sık sık olması beklenen düzeyde bir depremde, hasar gören yapının ayın boyutta depremlerin birçok kez yinelenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrar tekrar olmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi için yapılan müdahale işlemleri veya bunlar yapılmadan, sistemin mukavemetinin yeni ilave elemanlarla arttırılması işlemlerine "güçlendirme" adı verilir.

Bu müdahale işlemlerinin tamamının uzman firma veya kişiler tarafından projelendirilmesi ve uygun malzeme ve uygulamalarla yapılması gerekmektedir.

Betonarme yapılarda onarım, güçlendirme gibi çoğu zaman yapı hizmet halindeyken uygulanması istenen işlemleri veya çeşitli nedenlerle yapılacak taşıyıcı sistem değişikliklerini istenilen amaca uygun olarak gerçekleştirmek için kullanılabilecek çeşitli yöntemler vardır. Yöntemler seçilirken göz önünde bulundurulacak bazı kriterler vardır.

1.4.2. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde göz önünde bulundurulacak kriterler

1.4.2.1. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde elde edilmesi öngörülen performans kriterleri

Yöntem seçiminde elde edilmesi öngörülen performans kriterleri aşağıda verilmiştir;

- Teknik olarak istenilen güvenilir sonucu vermeli: Hasardan dolayı uygulanan taşıyıcı sistem müdahaleleri, öncelikle yapının hasar durumuna göre belirlenir. Taşıyıcı sistemin taşıma gücü değerlerini emniyet sınırlarına yükseltmek amacıyla uygulanan yöntemde sonuçta beklenen dayanımın ve sürekliliğin arttırılması yüksek oranda sağlanmalıdır.
- İşlenmesi kolay, ekipman ve makineleri basit olmalıdır. Uygulama teçhizatı kolay ve uygun maliyetle temin edilebilmelidir. .

- Mimari ve estetik gereklilikler: Yapılacak olan her türlü müdahale ve değişiklik mümkün olduğu kadar yapı mimarisini bozmamalıdır.
- Sosyal istekler: Taşıyıcı sistem müdahalelerinin mümkün mertebe yapı kullanımdayken yapılabilmesi veya uygulandıktan sonra en kısa sürede yüksek taşıma gücü değerlerine ulaşarak hizmete verilebilmesi sağlanmalıdır. Yapıyı kullanan insanların yaşantısının mümkün olduğunca az etkilenmesine dikkat edilmelidir. Ayrıca uygulama işleminin ve kullanılan malzemelerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi gerekmektedir.
- Ekonomiklik: Taşıyıcı sistem müdahaleleri genellikle yapı kullanıcıları tarafından hesaba katılmayan zorunluluklar sonucu verilmiş kararlarla yapılan çok hassas ve pahalı uygulamalardır. Bu nedenle ilk maddeden ödün vermemek üzere kriterler arasında bir değerlendirme yaparak seçilen yöntemin ekonomik olması en temel gerekliliklerdendir.

1.4.2.2. Onarım ve güçlendirme yöntemi seçiminde belirleyici olan mevcut durum şartları

Kendine özgü sistemi ile diğer yapılardan farklı hasar gören yapıların özel onarım ve/veya güçlendirme çözümü ve kendine mahsus detaylar gerektiren onarım ve/veya güçlendirme işlemlerinin yukarıda belirtilen performans kriterlerini taşımasının beklenmesinin yanı sıra içinde bulunulan şartlar da yöntem seçiminde belirleyici olur. Bu şartlar şöyle sayılabilir;

- Yapı yeri ve ilgili şartlar
- Yapının tipi ve yaşı
- Hasarın tipi ve derecesi
- Temin edilebilecek proje personeli
- Temin edilebilecek işgücü
- İşin hacmi
- İhtiyacın aceleliği ve şiddeti
- Mevsim ve hava şartları

1.5. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Onarım ve Güçlendirme Teknikleri

1.5.1. Kolonlarda oluşan başlıca hasarlar ve iyileştirme teknikleri

Taşıyıcı sistem yıkılmamakla beraber betonarme kolonlar hafiften ağıra kadar çeşitli şekillerde hasar görebilirler. Bu hasarların başlıcaları şunlardır :

- Betonda kırılma veya donatıda hasar olmaksızın yatay veya düşey doğrultuda çatlak,
- Betonun ezilmesi,
- Donatının burkulması,
- Etriyelerin kopması veya açılması.

Güçlendirmede asıl amaç yapıların depreme karşı mukavemetini iyileştirmektir. Ana taşıyıcı eleman olan kolonun;

- Eğilme ve kesme mukavemeti artırılarak
- sünekliliği (düktilite) artırılarak

sağlanabilecek mukavemet iyileştirmesi uygun tekniklerle gerçekleştirilen güçlendirme işlemleriyle elde edilebilir.

Kolonun eğilme mukavemeti, beton kesit alanının büyütülmesi ve yeni boyuna donatılar ilave edilmesi suretiyle artırılabilir. Kesme mukavemeti ve özellikle de sünekliliği etriyeler ve çelik kuşak veya şeritlerle sarmak veya sınırlamak suretiyle iyileştirilir.

1.5.2. Betonarme elemanların onarım ve güçlendirme yöntemleri

Yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı taşıyıcı sistem bakımından yetersiz yapıların kolon ve kirişler açısından giderilmesi gereken sorunları; yetersiz kesit ölçüleri ve betonarme taşıma gücü ile çatlak oluşumlarıdır.

Hafif hasarlı yapılar için betonun gevşek kısımlarının temizlenip yerine yüksek nitelikli beton veya epoksi tamir harcı ile doldurulması ya da tüm kılcal çatlaklara enjeksiyon uygulaması yapılması ile taşıyıcı sistemin hasar oluşumuna neden olan kusurlarının giderilerek iyileştirilmesi sağlanır.

Orta hasarlı yapılar veya kullanım amacı değişen yapılar için hasarlı kısımların onarılması ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının artırılması yoluyla veya dış yüzeylerinden yapıştırılan çeşitli lama/şeritler yardımıyla taşıma gücü yükseltilmektedir.

Betonarme elemanların dış yüzeylerinden bağlanan çeşitli lama veya kompozit şeritler ile güçlendirilmesi, kullanımda olan binaların işlevlerine ara verilmeden uygulanabilmesi, kolay ve ekonomik bir işlem olması ve daha birçok olumlu yönlerinden dolayı son yıllarda yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu uygulamanın en önemli noktası, lama veya kompozit şeritlerin yapıştırılmalı birleşimlerle bağlanmasıdır. Bu birleşimlerin betonarme taşıyıcı sistemde kullanılmaları yakın geçmişe dayanan hassas uygulamalardır.

Bu işlemler hasar derecesi, uygulama yeri ve şekline göre aşağıda belirtilen guruplar kapsamında sınıflandırılabilir.

- Taşıyıcı sistem elemanlarının hasarlı ve kusurlu kısımlarından arındırılması ve oluşan kesit kayıplarının giderilmesi.
- Enjeksiyon ile çatlak onarımı yapılması.
- Mantolama (betonarme veya çelik ile) yapılması gibi onarım ve güçlendirme teknikleri kullanılabilir.

1.6. Onarım ve Güçlendirmenin Projelendirme Esasları ve Aşamaları

1.6.1. Bir yapının güçlendirme projesindeki aşamalar

Deprem hasarına uğramış bir yapının taşıyıcı sistemine yapılacak olan güçlendirme çalışmalarına başlanmadan önce, yapının probleminin tam olarak tespit edilmesi için çok iyi etüt edilmesi gerekmektedir. Projelendirme aşamasına geçmeden önce yapının; statik projeleri ile uyumluluğunun, elemanlara kullanıma yönelik müdahalelerde bulunup bulunulmadığının, etkisi altında kalmış olduğu çevre koşulları ve zemin koşulları karşısında betonun ve donatıların durumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda etüt çalışması kapsamında yapılan tespitler;

1.6.1.1. Beton basınç ölçümü

Betonun basınç dayanımının kontrolü için, belli noktalardan karot numunelerin alınarak, laboratuvar ortamında gerekli deneylerin yapılması, betonun son durumu hakkında proje ekibine önemli bilgiler verecektir. Bu değerler, proje safhasında, beton için alınacak değerlerin gerçekçi olmasını ve daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.



Şekil 1.1: Karot numune alınışı

1.6.1.2. Donatıların tespiti

Tasarlanacak olan güçlendirme projesi büyük önem taşıyan donatılar yerinde teknolojik aletlerle taranarak; statik projedeki donatı bilgileri ile betonarme elemanlardaki donatıları karşılaştırılır.

1.6.1.3. Korozyon riskinin kontrol edilmesi

Özellikle deniz yapıları, köprüler, bacalar, tarihi yapılar ve eski betonarme binaların restorasyon planı, bakımları ve gerekli durumlarda güçlendirmelerinin yapılması için donatılardaki korozyon oranının erken ve tehlike arz etmeyecek safhalarda ortaya çıkarılmasını gerektirmektedir.

Bu tespitler ışığında yapının belirlenen mevcut hali;

Onarım ve/veya güçlendirme gereklerinin ve onarım ve güçlendirmeden sonra yapıda temin edilmesi istenen hedef ve şartların, önerilen onarım ve/veya güçlendirme sistemlerinin uygunluğunun ve uygunluk derecesinin belirlenmesi, kalitenin

tutturulabilmesi için yerinde yapılan gözetim ve kontrolde bulunulması şartlarıyla uygun yöntemler belirlenir.

1.6.2. Deprem sonrası hasar tespiti

Bunun yanı sıra özel bir durum olarak deprem sonrasında söz konusu bölgedeki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından görevlendirilen hasar tespit ekiplerince acilen yapılmak durumundadır. Bu nedenle "Deprem Sonrası Acil Hasar Tespiti" diye adlandırılan bu işlemde, depremden hemen sonra artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde binaların güvenilirliğinin araştırılması ve tehlikeli binaların boşaltılması yoluyla yöre insanının can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır.

2. BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ

2.1. Genel

Sünek davranış; bir elemanın veya yapının deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin oldukça büyük bir kısmını, mukavemetinden önemli ölçüde kayba uğramadan, elastik sınırın ötesinde elastik olmayan davranışla büyük genlikli, dönüşümlü deformasyonlarla yutma kabiliyetidir.

Betonarme çerçeveli yapıların sünek davranışı büyük ölçüde kolon-kiriş birleşim bölgelerinin sünek davranışına bağlıdır. Kolon- kiriş birleşim bölgelerinin deprem gibi tersinir yüklemeler altında sünek davranabilmesi için bu bölgelere sık enine donatılar yerleştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte kolon-kiriş birleşimini oluşturan kolon ve kirişin bu bölgelerde taşıyacağı eğilme momentlerinin büyük olmasından dolayı her iki elemanın kolon-kiriş birleşim bölgelerinde bulunması gerekli boyuna donatıları da çok yoğun olmaktadır.

Betonarme çerçeve türü binalarda deprem kaynaklı hasar, en çok kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bu bölgedeki hasar kolon uçlarında, kiriş uçlarında ya da düğüm noktasında kalıcı şekil değiştirmelerin yığılması sonucu olmaktadır.



Şekil 2.1 : Kiriş-kolon birleşim bölgesi hasarı



Şekil 2.2 : Basınç kırılması

Kiriş ve kolon uçlarında oluşabilecek eğilme çatlaklarının onarılabilmesine karşın, düğüm noktası bölgesinin dağılması durumunda bu bölgenin onarımı oldukça zordur.



Şekil 2.3: Düğüm noktası hasarı

Kiriş-kolon birleşim bölgesi hasarları ile kolonlarda basınç kırılması (Şekil 2.2) , çoğu zaman yapının onarılmasını ve güçlendirilmesini olanaksız kılan, onarım yapılsa bile geçerliliği tartışılan türden hasarlardır. Bu gibi nedenlerle, düğüm noktalarında ve kolon uçlarında herhangi bir çatlak oluşumu, çözülme veya dağılma, plastik mafsallaşma istenmez (Şekil 2.3).

Bu tür göçme mekanizması; kolonların kirişlerden daha güçlü yapılması, düğüm noktasının gereği gibi donatılması, elemanların kayma dayanımının eğilme dayanımından daha büyük olmasının sağlanması ve gerekli detaylandırma ile olanaklıdır. Deprem bölgesinde değişik düzeylerdeki hasarlı ya da göçmüş binalarda yapılan incelemelerde; bu tür önemli detaylara uyulmadığı, betonarme binaların kolon ve kiriş uçlarındaki sarılma bölgesinde enine donatı sıklaştırılmasının genellikle yapılmadığı, kolon – kiriş düğümlerinde kolon etriyelerinin devam ettirilmediği gözlenmiştir. Enine donatı yetersizliği başlıca gevrek kırılma nedenlerindendir.

2.2 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi

Yapılacak düğüm noktası güçlendirmesinden önce mevcut yapıya ait statik projelerin incelenmesi gereklidir. Kolon ve kiriş ebatları, donatı adetleri ve çapları, kiriş ve kolonlardaki etriye aralıkları bilgilerinin projeden alınması, ancak yerinde tahkik edilmesi uygun olur.

Düğüm noktalarında yapılan güçlendirmelerde amaç, deprem etkileri altında düğüm noktalarının mafsallaşmasını geciktirerek ve absorbe edilecek deprem enerjisinin artmasını, diğer bir deyişle yapının sünekliliğinin artmasını sağlamaktır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Güçlendirilmiş düğüm bölgeleri

Bu sistemin en büyük avantajı düğüm noktasındaki donatı sıklaştırılmasının çelik lamalarla yapılması sonucu eleman kesitinde bir değişikliğe gidilmemiş olması ve böylece yapının iç kuvvet dağılımında ciddi değişikliklere sebep olunmayışıdır.

Bu çalışmanın kapsamında, kenar kolon-kiriş birleşimlerinin sünek davranışını sağlayan ve sargı donatılan olarak bilinen ilave enine donatılan bulunmayan ve numune üretilmiştir.

2.3 Konuya İlişkin Çalışmalar ve Tanımlamalar

Betonarme çerçeve veya perde-çerçeve sistemlerde düğüm noktası olarak ifade edilen kiriş-kolon birleşim bölgesi, kiriş ve kolonların kesişim bölgelerinde, kolonun kiriş yüksekliği içerisinde kalan kısmı olarak tanımlanabilir. Bu bölgeler, özellikle deprem etkilerinde taşıyıcı sistemin sünek davranış göstermesinde çok etkili olmaktadır. Dolayısıyla, deprem vb. dış yükler altında betonarme yapıların davranışında çok etkili olan kolon-kiriş birleşimlerinin davranışını etkileyen faktörler hakkında çeşitli araştırmalar ve bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara bağlı olarak farklı görüşler öne sürülmektedir.

Kurose ve diğ. (1988) tarafından deprem etkilerine benzer tek ve iki eksenli yüklemeler altında seksen dört adet iç ve kenar kolon-kiriş birleşim deneyleri yapılmıştır. Pessiki (1990) tarafından yapılan çalışmada, bu deneylerden elde edilen

sonuçları da dikkate alarak kolon-kiriş birleşiminin davranışını etkileyen faktörler şöyle belirlenmiştir:

- Beton dayanımının artmasıyla kolon-kiriş birleşimi kayma dayanımının artmaktadır,
- Kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı l' e yaklaştıkça birleşimin kayma,
- Kiriş yüksekliğinin kolon genişliğine oranı 1 'den büyük olduğu zaman kayma dayanımının azaldığı,
- Birleşimde deprem etkisine dik yönde iki kirişin kolona birleşmesiyle, birleşimin kayma dayanımının yaklaşık %30 arttığı,
- Birleşimdeki enine donatı miktarının artmasıyla kayma dayanımının arttığı,
- Kiriş boyuna donatısı çapının kolon derinliğine oranı arttıkça, birleşim bölgesinden geçen kiriş boyuna donatısında bağ (aderans) bozulmasına neden olabildiği,
- Kolon eksenel basınç kuvvetinin birleşimde diyagonal olarak iletilecek kayma kuvvetinin önemli bileşeni olmasına rağmen, sürpriz bir sonuç olarak kolon eksenel basınç kuvvetinin birleşimin kayma dayanımına etkisinin olmadığı, gözlemlenmiştir.

Bonacci ve Pantazopolou (1993) tarafından yapılan farklı bir çalışmada; kolon eksenel basınç yükünün kiriş-kolon birleşimlerinin dayanımını fark edilebilir derecede artırmadığı, ancak birleşimin şekil değiştirebilme yeteneğini iyileştirdiği ifade edilmiştir. Bu konu hakkında Fujii ve Morita (1991) yapmış oldukları deneysel çalışmada kolon eksenel yük seviyesi, beton basınç dayanımının dörtte birine kadar artırılmış. Böyle bir artışın, iç kolon-kiriş birleşimlerinin nihai kayma dayanımları üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı, buna karşılık kenar kolon-kiriş birleşimlerinin nihai kayma dayanımlarında yaklaşık % 10 kadar iyileşmenin olduğu görülmüştür

Ancak bu değerlendirmelerle çelişki teşkil edebilecek araştırmalardan olan Paulay ve diğ.(1989) tarafından ve Paulay (1989) tarafından yapılan çalışmalarda, kolon eksenel basınç yükünün birleşim çekirdeğini sınırlayarak ya da birleşim kritik kesitlerindeki kesme kuvvetlerinin oluşturduğu diyagonal beton basınç gerilmesi

dağılımını dengeleyerek kiriş-kolon birleşim bölgesinin kayma dayanımlarını arttırdığı belirtilmiştir. Böyle bir artış Yeni Zelanda Yönetmeliği'nde (1982), birleşim bölgesindeki beton tarafından taşınacak kayma gerilmesi,

$$v_c = \frac{2}{3} \times \sqrt{C_j P_e / A_g - f'_c / 10} \quad (2.1)$$

Kayma donatısı tarafından taşınan kayma gerilmesi ise

$$v_{sh} = A_{sh} \times f_{yh} / (b_j \times h_c) \quad (2.2)$$

Denklem 2.1 ve 2.2 ile verilmiştir.

P_e / A_g (MPa): Birleşim bölgesi üzerinde kolonun brüt kesit alanındaki ortalama minimum basınç gerilmesi,

C_j : İki asal doğrultuya eksenel basınç etkisini paylaşdırmak için bir katsayı,

A_{sh} (mm²): Birleşim bölgesinde kiriş üst ve alt donatısı arasında kolona konulacak toplam enine donatı alanı,

f_y (MPa): Kayma donatısı akma dayanımı,

b_j (mm): Birleşim genişliği,

h_c (mm):Kolon kesit yüksekliğidir.

Paulay ve diğ.(1989) tarafından yapılan çalışmada, kiriş-kolon birleşim bölgelerine etkiyen iç kuvvet durumlarına karşın, iç kuvvet dengelerinin sağlanması neticesinde, birleşime etkiyen kolon ve kiriş kritik kesitlerindeki kesme kuvvetlerinin birleşimde oluşan diyagonal beton basınç gerilmesi dağılımı ile birleşim bölgesinden geçen kolon ve kiriş boyuna donatılarındaki bağ (aderans) kuvvetlerinin güvenli aktarılması için gerekli olan düşey ve yatay etriye donatısı kesit alanı;

$$a_{vh} = \frac{(C_c + T) \times s'}{I_v \times f_y} \quad (2.3)$$

$$a_{vv} = \frac{(C'_s + T') \times s}{I_h \times f_y}$$

ve diyagonal beton basınç gerilmesi dağılımıyla taşınan birleşim kayma gerilmesi,

$$v_c = \frac{(C_c - V')}{b \times d} \quad (2.4)$$

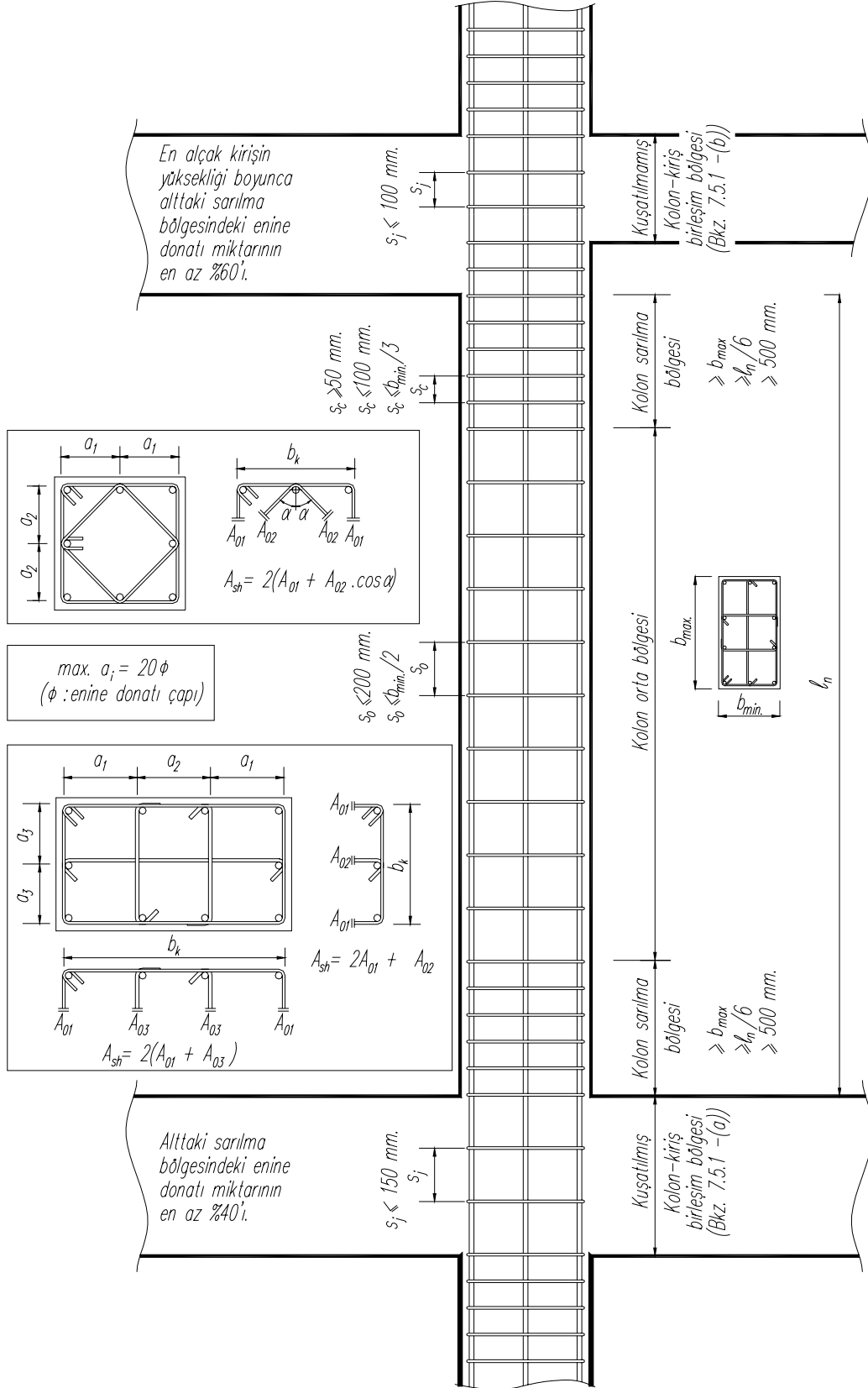
olarak verilmiştir.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin tasarım ve donatı detayı için, 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ile ACI 318-89 (1989) koşulları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

DBYBHY-2007'e göre kolon-kiriş birleşim bölgeleri iki sınıfa ayrılmıştır. Birincisi kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kirişin genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin 3/4 'ünden daha az olmaması durumunda, kolon-kiriş birleşimi kuşatılmış birleşim olarak tanımlanmıştır. İkincisi ise bu tanımlamaya uymayan tüm birleşimler kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanmıştır. Birleşim bölgelerinin kesme güvenliği için, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kesme kuvveti,

$$V_e = 1.25 \times f_{yk} \times (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (2.5)$$

olarak verilmiştir. Ancak bu kesme kuvvetinin aşağıdaki sınırları aşmaması gerektiği belirtilmiş olup, bu sınırların aşılması durumunda kolon veya kiriş boyutları büyütülerek deprem hesabının tekrarlanması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 2.5: Kolon sarılma bölgeleri (DBYBHY-2007)

- Kuşatılmış birleşimlerde: $V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd}$ (2.6)

- Kuşatılmamış birleşimlerde: $V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd}$ (2.7)

Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir.

- Kuşatılmış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak, enine donatının çapı 8 mm'den az olmaması ve aralığı 150 mm'yi aşmaması gerektiği belirtilmiştir.
- Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak bu durumda, enine donatının çapı 8 mm'den az olmaması ve aralığı 100 mm'yi mm'yi aşmaması gerektiği belirtilmiştir.

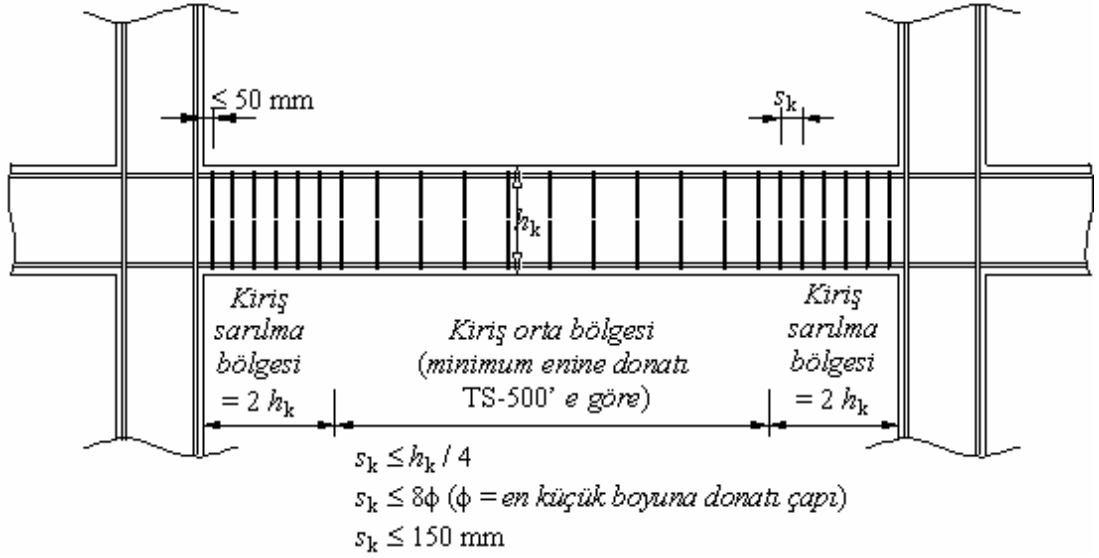
Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için, kolonun alt ve üst ucunda özel sarılma bölgeleri oluşturulması gerektiği belirtilmiş olup, gerekli koşullar Şekil 2.5' de verilmiştir. Sarılma bölgesinde kullanılması gerekli enine donatı miktarı etriyeli kolonlarda hesap eksenel basınç kuvveti $N_d > 0.20 \times A_c \times f_{ck}$ olması durumunda;

$$A_{sh} \geq 0.30 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] x (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (2.8)$$

$$A_{sh} \geq 0.75 s b_k (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (2.9)$$

$N_d \leq 0.20 \times A_c \times f_{ck}$ olması durumunda kolon sarılma bölgesinde kullanılması gerekli minimum enine donatı miktarının yukarıdaki Denklem 2.8 ve 2.9 ile bulunan enine donatıların en az 2/3'ü olması gerektiği belirtilmiştir.

Birleşimi oluşturan kirişlerde sarılma bölgesi, kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar bir bölge olup, sarılma bölgesinde ilk etriyenin kolon yüzünden en çok 50mm uzaklıkta olup, enine donatı aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150mm yi aşmaması gerektiği belirtilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Kiriş sarılma bölgesi

ACI Betonarme Yapılar Standardı (ACI 318-89) koşulları, kolon genişliğinin, kolon-kiriş birleşiminde birleşen kirişlerin genişliğine eşit veya daha büyük olduğu durumlar için geçerlidir. Söz konusu şartnameye göre kiriş-kolon birleşim bölgelerinin tasarımında kullanılacak kuvvetler statik veya dinamik çözümleme sonucu elde edilen kuvvetler olmayıp, ilgili kesitlerin taşıma güçlerine ulaşmaları durumunda ortaya çıkacak kuvvetlerdir. Bu yönetmelikte de "Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş" tasarımı esas alınmıştır.

- Birleşimi oluşturan kolonların taşıma gücü momentleri toplamının kiriş taşıma gücü momentleri toplamına oranının 1.2'den küçük olmamalıdır.
- Birleşimi oluşturan kolonun en küçük boyutu birleşimden geçen kiriş donatısı çapının yirmi katından az olmamalıdır.

3. BETONARME TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ DIŞ YÜZEYLERİNDEN BAĞLANAN ÇEŞİTLİ ELEMANLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ YÖNTEMİ

3.1. Betonarme Elemanlardaki Çatlakların Onarımı

3.1.1. Çatlaklar ve beton onarımları

3.1.1.1. Genel bilgi

Korozyon veya deprem etkileri nedeniyle yapının elemanlarında çatlaklar oluşur. Çatlaklar korozyondan dolayı oluşmuşsa yapılacak işlem korozyon onarımıdır. Depremden sonra oluşmuş bir çatlak olduğu tespit edilmişse çatlağın yeri, genişliği, yeni ya da eski oluşu gibi çatlağın niteliği hakkında bilgi sahibi olunmalıdır.

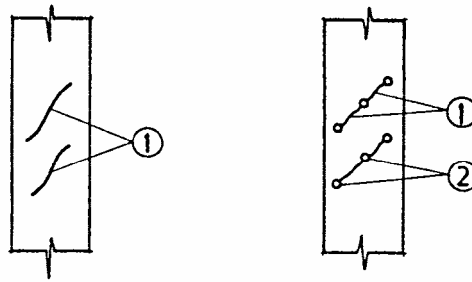
Elastik olarak taşınabilen çekme kuvveti altında hasar olarak çatlak, basınç etkisi altında hasar olarak ise ezilme oluşmaktadır. Ezilme şeklinde oluşan hasarda basınç etkisine dik yönde çekme kuvvetleri de oluştuğundan çatlaklar meydana gelecektir. Çatlakların zaman içinde sehim oluşturarak deformasyona sebep olduğu gözlemlendiği yerlerde, o elemanın elastik yük taşıma limitinin üzerinde zorlanmakta olduğu anlaşılır.

Betonarme taşıyıcı elemanlarda oluşmuş çatlaklar, çekme kuvveti taşıyan donatıların akma birim deformasyonun üzerinde etkilendiklerinin göstergesidir. Çatlak boyutlarından donatının birim uzaması ve ulaştığı gerilme tahmin edilebilir. Çatlağın eski olup olmadığı, bu olaya sebep olan etkinin sürüp sürmediğinin göstergesi olacaktır.

Betonarme sistemde kolon, kiriş ve döşeme elemanlarında çekme gerilmelerinden dolayı çatlakların oluşma ihtimali vardır. Kolonlarda başlangıçta dikkatli bir şekilde bakıldığında tespit edilebilecek nitelikte kılcal olarak beliren çatlaklar; zaman içinde elemanın monolitik yapısını bozduğundan dolayı bir dahaki zorlanmada zayıf kesit oluşturacak ve taşıma gücünü zayıflatacaktır. Etriye sıklaştırılması yapılmamasına bağlı olarak etriye sayısı yetersizliği, beton kesiti yetersizliği ve beton kalitesinin kötülüğünden dolayı oluşan bu çatlaklar, kolonu bir daha ki depremlerde etkisiz hale getirmiş olacaktır.

Bina düşey taşıyıcı sisteminin hatalı projelendirilmesinden dolayı oluşacak rijitlik ve kütle merkezi çakışmaması durumu binanın burulma etkilerinden özellikle dış çevredeki kolonlarında çatlaklar oluşturacaktır. Yaklaşık 45° açılarla meydana gelen çatlaklar ise kesme çatlakları olarak adlandırılır.

Döşemelerde oluşan çatlaklarda, kirişli döşemelerde aşırı sehimlerden ötürü çatlaklar oluşabileceği gibi, kirişsiz döşemelerde kolon zımbalama bölgesi etrafında çekme çatlaklarına rastlanabilmektedir. Bazen de döşemelerdeki çatlaklar rötre çatlakları olarak karşımıza çıkmaktadır.



1) Çatlaklar

2) Enjeksiyon ağızları

Şekil 3.1: Hafif hasarlı kolonda reçine enjeksiyonu

3.1.1.2. Çatlakların onarımı

Belirlenen bölgelerde çatlak onarımı uygulaması yapılmadan önce çatlamaya sebep olan hareket durdurulur ve yeni çatlak oluşumu ortadan kaldırılarak çatlamaya neden olan durumun kontrol altına alınması sağlanır. 0.1 -5 mm genişliğindeki çatlaklar için uygun olan Epoksi Enjeksiyonları betonu veya donatısı hasar görmemiş, genellikle ağız kısmı "V" şeklinde açılmış hafif çatlaklı elemanların onarımında uygulanır.

Çatlak onarımında öncelikle, çatlak bulunan eleman üzerindeki sıva dikkatli bir şekilde uzaklaştırılarak; betonarme eleman üzerindeki çatlağa ulaşılmalıdır. Çatlak boyunca 20-25cm aralıklarla matkap kullanarak delikler açılmalıdır. Bu açılan delikler tozdan ve kirden arındırılmalıdır. Açılmış ve kirden arındırılmış deliklere özel yapılmış dübeller monte edilmelidir. Bu dübeller epoksi enjeksiyon malzemesini içeri enjekte etmede kullanılacak geçiş elemanlarıdır. Dübellerin monte işlemi bittikten sonra tespit edilmiş tüm çatlaklar üzeri özel olarak hazırlanmış epoksi-ince agrega karışımı macun malzemesiyle kaplanır. Monte edilmiş dübellerin dipleri

boşluk kalmayacak şekilde epoksi macunla kapatılır. Bundaki amaç enjeksiyon yapılması ile içeri enjekte edilecek epoksinin çatlaklardan dışarı çıkmasını engellemek olacaktır. Bu işlemten sonra epoksi macunun prizini alabilmesi en az 24 saat geçmesi beklenmelidir. Epoksi macun yeterli priz süresini geçirdikten sonra monte edilmiş dübellerden viskozitesi düşük epoksi enjeksiyon yapılmaya başlanabilir. Uygulamaya en alttaki dübellerden başlanması doğru olacaktır. Enjeksiyon, düşük basınçla uzun süre beklenerek uygulanır. Enjeksiyon pompasıyla enjekte ederken pompadaki basınçtan çatlağın dolup dolmadığı anlaşılabacaktır. Çimento harcı enjeksiyonları ise daha geniş çatlaklara uygulanabilir

Betonarme yapı sisteminde genellikle gözle görülebilecek kadar ince olan çatlaklar bile onarılmalıdır. Bunun sebebi havadaki nemin kılcal çatlaklardan geçerek donatıda korozyon oluşmasına neden olmasıdır.

Maliyeti, bilinen onarım malzemelerinden oldukça yüksek olan enjeksiyon malzemesinin, amaca uygun kullanılması onarımın maliyeti bakımından büyük önem taşımaktadır.

3.1.1.3. Beton onarımları

Betonu ezilmiş, donatısı burkulmuş veya etriyeleri kopmuş hasarlı kolon durumlarında hasarlı kısmın çıkarılıp yerine yenisinin yapılması yoluna gidilmelidir. Betonun hafifçe hasar gördüğü durumlarda gevşemiş beton kaldırılıp, yüzeyler pürüzlendirilir ve tozlar temizlenir.

- Kaldırılan betonun miktarına bağlı olarak bir miktar ek etriye ve boyuna donatı konulabilir.
- Betonlanmadan önce mevcut kolon suyla ıslanır ve suya doyurulur.
- Kalıp ve yerleştirilen beton onarılacak seviyenin yeterince yukarısına kadar devam ettirilir. Bir gün sonra kalıp sökülebilir ve fazlalık teşkil eden henüz taze beton çentilebilir.

3.2. Betonarme Elemanın Dış Yüzeyden Yapıştırılan Çelik Lama veya Kompozit Elemanlar ile Güçlendirilmesi

3.2.1. Genel bilgi

Yapısal güçlendirmenin (statik takviyenin) değişik yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden elde edilmesi öngörülen ve seçim yapılırken göz önünde bulundurulacak kriterler daha önce 1.4.2 maddesinde anlatılmıştı.

Betonarme elemanların güçlendirilmesi, sadece depremin olmasından sonra hasara uğramış yapılara yapılan bir prosedür değildir. Güçlendirme, yapılacak kontroller sonucunda tespit edilecek eksiklikler karşısında başvurulacak çözümdür. Bu eksiklikler, etriye sıklaştırılmasının yapılmamış olması, özellikle düğüm noktalarında yetersiz donatı düzenlemesi, korozyon hasarlarının oluşmasından dolayı donatıların kesit kaybetmesi, çekme bölgelerindeki yetersiz donatı alanı bulunması gibi özetlenebilir. Bütün bunların dışında yapının süneklik özelliğinin, eksenel ve yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması, zaman içerisinde şartnamelerde oluşacak değişikliklere karşı yetersiz kalınması durumlarıyla karşılaşılabilir.

Onarım ve Güçlendirme yöntemlerinden biri olarak uygulanan betonarme mantolama; ülkemizde çok sık uygulanmasına rağmen bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır.

Betonarme mantolama şeklinde yapılan Yapısal güçlendirme yönteminde dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Kesitteki artış sebebiyle elemanların rijitleşmesi ve buna bağlı mimari sıkıntılar,
- Katlar arası sürekliliğin sağlanması,
- Mevcut elemanla ilave elemanın beraber çalışmasının sağlanması,
- Donatı detaylarının uygulanabilirliği v.b. şeklinde sayılabilir.

Özellikle düğüm noktası gibi kritik bölgelerde bu sistemin uygulanması, yük aktarımını sağlayacak donatı düzeninin karmaşıklığı sebebiyle neredeyse imkânsızdır. İşte bu noktada hem statik ihtiyaçları sağlayacak, hem de detay karmaşasını ortadan kaldıracak bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Onarım ve Güçlendirme işlerinde kullanılan yöntemlerden birisi de “epoksi ile dışarıdan donatı eklenmesi” dir. Bu sistem hem yapının teknik gereksinimlerine cevap vermekte, hem de mimariyi etkilemeden güçlendirme problemini çözmektedir.

Güçlendirme / birleştirme uygulaması yapılan betonarme elemanın, kendisini meydana getiren beton, çelik donatı, çelik lama ve yapışmayı sağlayan epoksi tabakası ile bir bütün halinde kompozit bir davranış göstermesi beklenmektedir. Özellikle beton ve çelik gibi iki aynı nitelikli malzemenin yeterli performansla birbirine yapışmasını sağlayan epoksi reçinesinin oluşturduğu bağın yapışan parçalarla sağladığı aderansın ve bunun gibi diğer detaylı fiziksel ve kimyasal özelliklerin bilinmesi, üretilen elemanın performans sınırlarını ortaya koyacaktır. Bu değerlendirmeler, deneysel çalışma bölümünde sunulduğu üzere, üretilen modellerin bazı değişkenlerini tespit etmek açısından da önemlidir. Bu bağlamda, deneysel çalışmalarda, örnekleri oluşturan beton, donatı çeliğinin ve çelik levhaların gerilme değerleri sabit olarak kabul edilecek ve bu koşulun yerine getirilmesine yönelik testlerle kontrol altında tutulacaktır.

Bu yöntem kirişlerde uygulandığında, kirişlerdeki etriye sıklaştırılması veya açıklıkta çekme donatısı ihtiyacını karşılayacak şekilde kullanılırlar. Kolonlarda boyuna donatı ihtiyacına yönelik olarak yine çelik lamalarla boyuna yönde takviye yapılabilir. Boyuna donatı açısından yapılacak güçlendirmede düğüm noktalarındaki devamlılık çok önemli yer tutmaktadır.

3.2.2. Konuya ilişkin çalışmalar ve tanımlamalar

3.2.2.1. Çelik lamaların yapıştırma tekniği ile bağlanması

1970 li yıllarda Fransa’da yapılan öncü çalışmaların olumlu etkilerinin görülmesi üzerine, dünyada yaygın ve özel bir kullanım alanı bulan “Epoksi ile Harici Donatı Eklenmesi, Çatlak Onarımı ve Yapısal Onarımlar” o tarihten bu zamana dek hem akademik düzeyde, hem de yapılan çeşitli uygulamalar ile mühendislik çevrelerinde gündemi giderek daha çok meşgul eder duruma gelmişlerdir.

Statik güçlendirme işlemlerinde mevcut betonarme yapıların harici donatılar eklenmesi ile takviye edilmesi yöntemi özel bir mühendislik uygulaması olarak yaklaşık 25 yıldır çeşitli ülkelerde kolon/kiriş güçlendirmesinden deprem

onarımına kadar çeşitli uygulamalarda başarı ile kullanılmaktadır. Tasarlanan yük değerlerinin üzerinde yükler taşınması gereken uygulamalardan, yeni yük dağılımları veya yenileme çalışmaları nedeniyle kolon veya duvarların yıkılması veya yerdeğiştirmesi gereken durumlara, deprem hasarı görmüş yapılardan çevre koşulları nedeniyle korozyona uğrayarak taşıma gücünü büyük ölçüde yitirmiş bina ve deniz yapılarına kadar değişik alanlarda pratik, çabuk ve boyutsal değişiklikleri en aza indirgeyen çözümler geliştirilmiştir.

Bu yöntemler gerekli bilimsel ve akademik araştırmalara da konu olup, yapılan işlemlerin kısa ve uzun dönem performansları, statik ve dinamik yüklere karşı tepkileri, hızlı yaşlandırma ve gerçek yaşlanma koşullarında sistemin kararlılığının incelenmesi, sistemlerin bilgisayar simülasyonları altında testleri vb. konular çeşitli ülkelerde ve ülkemizde kapsamlı olarak incelenmekte ve test sonuçları yayınlanmaktadır.

Taşıyıcı sistemde, her hangi bir yapıştırıcı kullanarak yüksek taşıma gücüne sahip birleşimler veya bağlar oluşturma uygulamalarının faydalarının ortaya konması ve geliştirilmeleri konusu, fiziko-kimyasal bir yaklaşımla ele alınabilir (Mouton, 1999) . Çelik lamaların betonarme yüzeyle epoksi reçinesi gibi yüksek aderans sağlayan bir yapıştırıcı malzeme ile yüksek mukavemet değerlerine sahip bir bağ oluşturmaları prensibine dayanan bir uygulamadır. Bu uygulamanın olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yapıştırma ile bağlanma sonucu oluşan gerilmelerin çelik lamanın her noktasına eşit yayılması sağlanmaktadır.
- Uygulamanın hata toleransı diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha azdır.
- Belirli koşullara uyulmak kaydıyla, yüksek performanslı ve kolay uygulanabilen bir yöntemdir.
- Yapışkan tabaka, çeliğin betona yapışan tarafındaki yüzeyini korozyondan kesin olarak korur.
- Düzgün bir dış yüzey oluşur.

Bu yöntemin olumsuz yönleri şunlardır:

- Özellikle yapıştırılan lamaların uç kısımlarında oluşan gerilme yığılmaları, betonarme elemanın pas payı bölümünün kalkmasına (peeling), dolayısı ile sistemin hasar görmesine sebep olmaktadır.
- Bu yöntemle yapılan güçlendirilmelerde pas payı ayrılması ile göçmenin başlaması aynı zamanlarda gerçekleşir. Bu nedenle sistemin göçmesini yavaşlatmak için özellikle pas payının ayrılmasına zorlaştıracak şekilde bir takım ek önlemler alınmalıdır.
- Yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi ve epoksi kökenli reçineler, dış ortam şartlarından olumsuz etkilenebilir. Özellikle güneşin yaydığı ultraviyole ışınları ve aşın asit içeren ortam sertleşmiş epoksi reçinesi üzerinde uzun zaman periyodunda bozulmalara sebep olur.
- Sistemin yapıştırılarak yerleştirilmesinde çabuk hareket etme gerekliliği nedeniyle hata yapma riski yüksektir.
- Yapıştırılmış birleşimler metal birleşimlere göre yüksek sıcaklığa (yangına) karşı daha hassastır.
- Çelik lama veya kompozit şeritlerin betonarme yüzeye tutturulması için yapılan baskı, kontrol altında tutulamazsa sistemin biçimi bozulabilir.
- Uygulamanın yeterli sonuç sağlaması için temel şartlardan biri, yapıştırılacak elemanlar için hassas bir yüzey hazırlığı yapmaktır.
- Kullanılacağı ortam şartları ve detaya bağlı olarak uygun direnç mekanizmasına sahip bir yapıştırıcı çeşidinin seçilebilmesi durumunda, yapışkan tabaka zaman içinde beklenmeyen sonuçlar verebilir.

Diğer bir yaklaşıma göre bilinen en eski ve etkin olan betonarme elemanın dış yüzeyden güçlendirme işleminin olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır (Barnes ve diğ., 2001):

- Betonarme elemanın kopma yükü değerini artırır.
- Yeterli boyutta lama kullanıldığında, eğilme mukavemetinde her safhada artış sağlanır.
- Yapılan işlem veya uygulanan malzeme açısından yapı kullanımında iken işlem yapmanın sakıncası yoktur.
- Uygulandığı elemanın ağırlık ve formuna etkisi, işlemin önemi göz önüne alındığında dikkate değer değildir, ancak kompozit şeritler ile karşılaştırıldığında elemanın kesitini nispeten daha fazla artırır.
- Bakım ve denetimi kolaydır.
- Maliyeti uygundur.

Güçlendirmede çelik lama kullanımının olumsuz yönleri ise şunlardır;

- Dış yüzeydeki çelik lamalar korozyona maruz kalabilirler (Barnes ve diğ., 2001). Korozyonu engellemek için çeliğin hava ile ilişkisini kesmek bir çözüm olarak kabul edilebilir ancak, bu amaçla uygulanan sıva veya buna benzer kaplamalar güçlendirme yapılan elemanın kesitinde olumsuz artışlara neden olur. Bu kesit artışının durumunun kabul edilemez boyutlarda olduğu yerlerde çelik lamalara belirli zamanlarda korozyon önleyici boya sürülmesi bir çözüm olarak kabul edilebilir.
- Köprü, deniz yapıları gibi bazı büyük boyuttaki elemanlara yapılacak uygulamalarda kullanılacak çelik lamaların da boyutları büyüyeceği için, malzemenin taşınmasında ve yerine konmasında zorluklar olabilir (Barnes ve diğ., 2001). Bu husus kompozit şeritler ile karşılaştırıldığında bir olumsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çelik lamaların betonarme elemanlara bağlanması için en çok tercih edilen yöntemler, yapıştırma tekniği ile bulon ve/veya kaynak ile bağlamadır.

3.2.2.2. Çelik lamaların bulon ve kaynak kullanılarak bağlanması

Çelik lamanın betonarme yüzeye bağlanma işleminde, epoksi gibi kimyasalları kullanımına alternatif olan bir mekanik birleşim yöntemidir. Bu yöntemin olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

Sadece yapıştırılarak oluşturulan birleşimlerin, zaman içinde beklenmeyen davranışlar göstermesi mümkündür. Bulon ve kaynaklı bileşimler ise normal şartlar altında her zaman aynı performansı gösterir.

3.2.3. Bağlayıcı malzemenin önemi

Bağlayıcı malzeme olarak kullanılan epoksiler, petrokimya türevlerinden elde edilen yapay (sentetik) reçine sınıfına ait, sıvı veya katı durumda bulunan ve sertleştirici adı verilen kimyasallarla tepkimeye girmeleri sonucunda çok kuvvetli moleküler çapraz bağlar oluşturan kimyasal maddelere verilen genel addır. Sertleştikten sonra ortaya çok önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri olan ürünler ortaya çıkar. Bu ürünlerin ortak özellikleri şunlardır:

- Mükemmel yapışma (adhesion),
- Korozyona ve kimyasallara çok yüksek dayanım,
- Isıl kararlılık,
- Çok iyi fiziksel ve mekanik özellikler,
- Çok iyi elektriksel yalıtım özellikleri,
- Sertleşme sırasında çok düşük büzülme göstermeleri ,
- Kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal ve güvenle kullanıma başlanabilmesi.

Epoksi reçineleri yukarıda bahsedilen üstün mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde mühendislik uygulamalarında gittikçe artan oranda tüketilmektedir. Dünyada 1965–1985 yıllarını kapsayan 20 yıllık zaman diliminde epoksi reçinelerinin toplam tüketimi % 500 oranındaki artışla 132.000 tona ulaşmıştır. Üstün yük taşıma kapasitesi ve kimyasal direnç gibi olumlu yönleri yanında alternatif malzemelere göre maliyetinin 3 ile 15 kat daha pahalı olmasına rağmen, uygun fiyat-performans oranı ile diğerlerinden ucuza gelmekte ve mühendislik uygulamaları için avantajlı ve güvenli sayılmaktadır (Swammy, 1989).

Sanayinin çeşitli alanlarında kullanılan epoksi reçineler ile kimyasal ve mekanik etkilere dayanımlı sanayi tipi zemin ve kaplamalardan, korozyona dayanımlı tank ve yüzey kaplamalarına, betonarme yapılardaki yapısal çatlakların onarımından harici donatıların betonarme elemanlara yapıştırmaya, çelik ve betonarme yapıların

korozyona karşı koruyucu boyanmalarından, sualtı epoksi onarımlarına kadar değişik alanlarda yoğunlaşmıştır.

Son otuz yılda epoksi reçineleri hakkında çok miktarda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı sistematik ve kapsamlıdır. Ancak temel malzeme parametrelerini etkileyebilecek bir kaç nokta halen açıklığa kavuşmamıştır. Konu hakkındaki literatür incelendiğinde, birbirinden farklı çok miktarda farklı epoksi sisteminin var olduğu görülmektedir.

3.2.4. Sistemin ayrıntıları

Uygulama yapılacak yapının hasar ve/veya güçlendirme ihtiyacına göre, ekonomik şartlarda göz önüne alındığında yapılacak güçlendirmede genellikle kolon köşelerine korniyer elemanların konulması ve korniyerlerin çevresinden veya aralarına kaynak yardımıyla yatay veya çaprazlama lamaların konulmasıyla yapılan bir güçlendirme sistemidir. Kolon köşelerine korniyerlerin uygulanması, kiriş çevresinde ve düğüm noktası etrafında korniyerlerden oluşan bir kafes yapının oluşturulmasını sağlamaktadır. Düğüm noktası etrafında yapılacak bu güçlendirme beton yüzeye çelik lamaların da monte edilmesiyle pekiştirilebilir.

Kolonların alt ve üst bölgelerindeki kiriş birleşimlerinde yapılacak bu korniyerli detaylara başlık adı verilebilir. Yük aktarımını sağlayacak olan bu elemanlarla kiriş-kolon düğüm noktası tamamıyla sarılmış olacaktır. Böylece yapının sünek davranışına katkı sağlanmış olur.

Yapılacak son işlem ise kolonun alt üst noktalarına başlık korniyerlerinin montajıdır. Bu korniyerler, hem birbirlerine hem de çelik levhalara kaynaklanırlar. Beton yüzeyle kalan aralıkları ise epoksi harçlarla doldurularak tam bir yapışma sağlanır. Böylece çelik elemanlar sistemin bir parçası haline gelerek kolon-kiriş elemanlarla birlikte çalışmaya başlarlar.

a) Uygulama yapılacak bölgenin hazırlanması

Güçlendirme yapılması işleminden önce elemanlar üzerinde yapılması gereken kontrollerin başında korozyon ve çatlak onarımları gelmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2: Hasara uğratılmış kolon-kiriş düğüm bölgesi

Epoksi ile yapısal güçlendirme öncesi; uygulamanın yapılacağı bölgedeki sıvaların tamamıyla sökülmesi gerekmektedir. Bu iş için özel kırıcı makinelerden faydalanılmalı, kırıcının ucuna yassı uç takılmalıdır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3: Düğüm bölgesi beton onarım hazırlığı

Kırım işleminden sonra çıkan molozların çalışma alanından uzaklaştırılması gerekir. Yine aynı şekilde güçlendirme projesine göre iki kat arasında süreklilik açısından korniyerlerin geçişinin gerektiği döşemelerde, döşeme betonları da yüzey hazırlığı aşamasında kırılır. Döşemelerde montajın yapılabileceği genişlik kadar kırım yapılması yeterli olacaktır Bu işlemin yapılması için kırıcı makinelerin darbe güçleri yetersiz kalabilir. Bu nedenle şantiyeye havalı kompresörlerin getirilmesi gerekebilir. Hava hortumlarıyla özel darbeli tabancalara bağlanan kompresörler beton kırımalarında kullanılacak en pratik çözümdür.

Sıvaların kaldırılması için yapılan kırım işlemi tamamlandıktan sonra bu bölgede oluşması muhtemel çatlaklar kontrol edilmelidir. Eğer bu türden hasarlara rastlanırsa öncelikle çatlakların onarımı yapılmalıdır.

Oluşması muhtemel çatlakların öncelikle onarılması ve betonun eski monolitik yapısına döndürülmesi gerekmektedir. Diğer bir ön çalışma da korozyon konusunda olmalıdır. Elemanda korozyon probleminin çeşitli etkenlerden dolayı oluşabileceği ve bunların güçlendirme ile önlenemeyeceği dikkate alınarak öncelikle korozyon onarımlarının yapılması doğru olacaktır.

Kırılan ve özelliğini yitiren beton parçaları var ise; önce bu bölgede kopmuş ve zayıflamış betonlar uzaklaştırıldıktan sonra tozların temizlenmesi gerekmektedir. Bu bölgelere epoksi tamir harcını tatbik etmeden önce astar uygulaması yapılmalıdır (Şekil 3.4.). Astar uygulamasının ardından onarım gerektiren bölgeler eski yüzeye mükemmel yapışma sağlayan epoksi veya polimer modifiyeli özel tamir harçları ile onarılır. Kısacası bu işlemlerle yapı hasara uğramadan önceki haline getirilir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.4: Beton onarımı yapılacak yüzeye epoksi astar uygulaması



Şekil 3.5: Düğüm bölgesinin harçla onarımı



Şekil 3.6: Düğüm bölgesindeki çatlaklara epoksi enjeksiyonu uygulaması

Bu işlem sırasında çatlaklara rastlanırsa buraların çatlak onarımları epoksi enjeksiyon yöntemiyle yapılmalıdır. Böylece süreksizlik ortamı önemli ölçüde ortadan kaldırılmış ve tüm kılcal boşluklar doldurulmuş olur (Şekil 3.6.).

Bu noktadan sonra yapının ve elemanların hasara uğrama sebepleri araştırılır. Sonuçta elemandaki eksikliklerden veya yapısal sistemdeki bozukluklardan dolayı yapı gelen yükleri karşılayamamıştır. Yapısal güçlendirmeyi gerektiren koşulların irdelenmesi ile oluşturulan yeni statik projelerin öngördüğü donatı takviyeleri, yine projenin önereceği boyut ve yerleşimde mevcut betonarme yapıya epoksi yapıştırıcılar ile ilave edilir. Haricen eklenen bu donatılar, betonarme yapının gerek duyduğu ek gücü ve mukavemeti sağlarlar.

Onarım ve güçlendirme işleri, konunun hassasiyeti sebebiyle, bu konuda gerekli eğitimi görmüş, malzeme ve uygulama bilgileri yeterli, statik proje müellifi ve yapının sahip ve kullanıcıları ile iyi bir iletişim içine girmiş uzman elemanlarca yapılmalıdır. Özel yapı malzeme ve yöntemlerinin kullanıldığı bu süreçte, hiçbir ayrıntı önemsenmeyecek kadar küçük olamaz. Bu nedenle uzman uygulayıcılar işin

başlangıç aşamasından kabul aşamasına kadar yoğun bir şantiye çalışmasında etken ve denetleyici bir rol üstlenmelidirler.

Onarım ve güçlendirme işleri, mevcut ve olası durumların incelenmesi ile başlar. Güçlendirme gerektiren bölgeler, güçlendirmenin niteliği ve niceliği, mevcut malzemelerin mukavemet ve estetik durumları, kullanım ve mimari durumlarla ilgili göz önüne alınması gereken hususlar, kullanım alanının fiziki, kimyasal ve çevresel koşulları, onarım sırasında yapının kullanım gereksinimleri, onarım için gerekli süre, mevsim koşulları vb. bu aşamada yapılacak kapsamlı incelemelerle belirlenirler. Bu verilerin ışığı altında, yapısal güçlendirme için gereken projeler ve detaylar ortaya çıkar.

b) Kullanılan çelik lama ve korniyerlerin hazırlanması

Harici donatı olarak, genellikle çelik lamalar veya korniyerler kullanılır. Lamalar genelde St37 kalitesinde çelikten olup, uygulama öncesi gerekli yüzey hazırlıkları bunlara da uygulanır. Tüm güçlendirme elemanları SA 2.5 (püskürtülen kum taneciklerinin çapı-mm-) standardına uygun olarak kumlandıktan sonra, yüzeylere korozyona karşı koruyucu epoksi astar ve boya uygulanır. Boya kurumadan çelik profil yüzeyine kurutulup elenmiş silis kumu serpilerek pürüzlü bir yüzey oluşturulmuş olur. Bu yüzeyler lamaların betona epoksi harçlarla yapıştırılması sırasında aderansın artmasına katkıda bulunur.

c) Yöntemin uygulanışı

Yapısal güçlendirme yapılacak yüzeyler her türlü kir, toz, yağ, su ve nemden arındırılır. Yapısal güçlendirme kesinlikle mukavemetini kaybetmiş beton üzerinde yapılmaz, beton tamiratları bittikten sonra sağlam beton üzerinde uygulanır. Böyle bir yer mevcut ise geometrisi düzeltilmiş olan kolon veya kiriş elemanın üzerine güçlendirme elemanını uygulanmasından önce uygulama yapılacak bölgedeki tozun ve kirin uzaklaştırılması gerekmektedir. Beton yüzeyin kırıcı makinelerle sıvalar sökülürken pürüzlendirilmesi aderans açısından faydalı olur.

d) Epoxy Adhesive Uygulaması

Çelik elemanlar betona, yüksek yapışma mukavemetli epoksi harçlarla yapıştırılır. Montajı yapılacak çelik elemanların betona temas edecek yüzeyi öncelikle epoksi astara iyice bulanmalıdır. Epoksi astar uygulanan yüzeye kullanılması gereken epoxy

adhesive, özel olarak yapısal güçlendirme sistemleri için geliştirilmiş, solventsiz, yangın geciktirici ve kendinden söndürücü özelliklere sahip olmalıdır. Beton yüzey ise sıvaların temizlenmesi sırasında pürüzlendirilmiş, üzerindeki zayıf parçalar uzaklaştırılmış, uygulamaya hazır hale getirilmiş olmalıdır.



Şekil 3.7: Çelik elemanlarla güçlendirme öncesi epoksi adhesive uygulaması

Çelik elemanın geleceği beton yüzeyine –çelik elemanın betonla temas edecek yüzeyine sürülen- epoksi astar iyice yedirilene kadar sürülür (Şekil 3.7.). Çelik eleman beton yüzeyine iyice oturtulup su terazileriyle dengeye alınarak işkencelerle sabitlenir. Yerine yerleştirilen lama veya korniyer çelik elemanların arkası epoksi harçla iyice doldurulur. Bunun sağlanması için malzeme sarfiyatı ve ziyanı göz önüne alınmamalı, donatıların üzerine konan epoxy adhesivlerin taşıma yöntemi ile hiçbir boşluk bırakmadan lamaların arkasını doldurması sağlanmalıdır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8: Çelik elemanlarla güçlendirme uygulaması

Güçlendirme projesinde köşe korniyerleri bulunan kolonlarda; köşe korniyerleri arasındaki bağlantıları sağlamak ve etriye güçlendirmesi yapmak amacıyla kullanılacak çelik lamalar iki şekilde uygulanabilirler. Birincisi lamaların köşe korniyerlerin üzerine kaynaklanmasıdır. Belirlenecek aralıklarla köşe korniyerlerin üzerine kaynaklanacak lamaların betonla temas edecek yüzlerine ve beton yüzeyine epoksi astar uygulanmalıdır. Epoksi harçla lama - beton aralıkları iyice doldurulur.

İkincisi ise lamaların gerekli ölçüler alınarak kesilmesi ve bükülmesi ile korniyerlerin üzerinden sarılması suretiyle yapılmasıdır. Bu yöntemde lamaların korniyerler üzerinden geçen kısımlarına kaynak yapılabilir. Tabii ki hem betona hem de lamalara önce astar sürülecek hemen sonra epoksi harçla doldurma işlemi yapılır.

e) Kirişlerde yapılacak güçlendirmede ise ya korniyerler kullanılarak ve sık olmayan aralıklarla etriyeler, ya da korniyersiz ama sık aralıklarla etriyeli uygulama yapılır. Bu tür kararlar yerinde yapılacak kontrollerde ortaya çıkacak sonuçlara göre verilebilir. Korniyerlerin uygulamadaki olumlu taraf kolondaki üst başlık korniyerlerine veya köşe korniyerlere yapılabilecek kaynaklı bağlantılar kolaylığıdır. Bu sayede kirişteki korniyerler oturmuş olduğu iki kolona da kaynakla bağlanmış olmaktadır. Böylece tam olarak çelik bir kafes oluşturulmuş ve bu çelik kafesin

ortasına da elik diyagonal elemanlar yine kaynaklamak suretiyle getirilerek uygulama arzu edilen hale getirilmiş olmaktadır.

Kirişlerin alt ve st köşelerine monte edilen korniyerler -korniyerlerin ve betonun astarlamaları ve korniyerlerin üzerine epoksi harcı sürülmesi unutulmamalı, kolondaki korniyerler birleşim detaylarına dikkat edilecek şekilde kesilmelidir. Gerekli şekilde kesilen korniyerler temas halindeki tüm yüzeylerden alın veya köşe kaynakların yapılması ile bağlanmalı ve betonla temas eden yüzeyler sıkı bir şekilde epoksi harçla doldurulmalıdır.

Sonuç olarak; böylece çerçeveye ait kolon ve kiriş elemanlar güçlendirilmiş, tüm elik elemanlar epoksi harçla betona yapıştırılmış ve bir bütün olarak çalışması sağlanmış olacaktır (şekil 3.9.).



şekil 3.9: elik elemanlarla güçlendirilmiş kolon-kiriş düğüm bölgesi

3.2.5. elik elemanlarla mantolama yöntemleri

- elik Lama Elemanların Kullanılması İle Güçlendirme Yapılması,
- elik Lama Ve Korniyer Elemanlarla Güçlendirme Yapılması,
- elik Levha Ve Korniyer Elemanlarla Güçlendirme Yapılması

gibi üç şekilde ve yapılacak çalışmalar sonucunda yapının ihtiyacına göre projelendirilerek uygulama yapılır. Her seçenekte yapılması gereken işlemler benzerdir. Bunlar; sıvaların sökülüp temizlenmesi, bozuk beton parçaların uzaklaştırılması, çelik elemanların astarlanması, epoksi harçla yapıştırma şeklinde özetlenebilir.

3.2.6. Çelik elemanlarla güçlendirme tekniğinin üstünlükleri

Epoksi ile donatı ekleme yöntemini kullanarak “ağır hasarlı kolon ve kirişlerin hasardan önceki ilk konumlarına getirilmesi, onarılmış yapıların yapısal olarak güçlendirilmesi, mevcut yapıların gerek duyulan ek/yeni yüklere dayanımlı duruma getirilmesi, mevcut yapıların, yapılacak tadilatlar/değişiklikler sonucu oluşacak yeni durumuna uygun duruma getirilmesi, estetik/fonksiyonel değişiklikler sonucu gereken yapının sağlanması, yapım sırasında oluşan malzeme, mühendislik, uygulama vb. hataların giderilmesi, kullanım sırasında ortaya çıkan hasarların ve eksikliklerin giderilmesi, korozyon nedeniyle statik gücünü kaybetmiş yapıların güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi” mümkündür. Üstünlükleri şöyle sayılabilir:

- Onarım ve güçlendirme işleri çok kısa zamanda gerçekleştirilebilir.
- Güçlendirme çalışmaları sonucu yapılarda önemli bir hacim kaybı olmaz, yapılan işlemler 2–3 cm kalınlıkta ve sıva payının içinde kalır.
- Sünek davranışta iyileşme ve eksenel yük mukavemetinde artış gözlenir. Yapısal rijitlik hemen hemen hiç değişmez.
- Elemanlar rijitleşmediği için bölgesel güçlendirmeler yapılabilir.
- İşlemlerin yapımı sırasında, yapının kullanılması en az düzeyde etkilenir.
- Yapının taşıma kapasitesi mevcut elemanların özellik ve durumlarına bağlı olarak ve yapısal sistemin elverdiği durumlarda istenildiği kadar arttırılabilir.
- Onarım ve güçlendirme işlerinde kullanılan malzemeler kimyasal olarak tepkime (kür) sürecini tamamladığı için, ileriye dönük olarak herhangi bir reaksiyonda bulunmaz, yapışma gücünden kayıp meydana gelmez.
- Yapışma tekniğinde kullanılan malzemeler, beton bileşimine yakın tasarlandığı ve yüzeye tam olarak yapıştığı için, genleşme katsayılarında hemen hemen bir fark oluşmaz; bu nedenle de yapışan yüzeyler ayrılmaz, eski ve yeni sistem birlikte çalışır.

- Uygulanan malzemelerin yapıştığı zeminden kopması söz konusu olmadığı gibi, hasar verecek durumlarla karşılaşıldığında beton ancak başka yerlerden hasara uğrar.
- Onarım malzemeleri yangına iştirak etmez (“Flame retarding” özelliğindedir).
- Klasik güçlendirme sistemlerinin elverişli olmadığı çoğu uygulama için ekonomik ve pratik bir çözüm seçeneği oluşturur (özellikle düğüm noktaları).
- Yapıların yeniden inşa edilmesinden kaynaklanan yüksek maliyetleri önleyerek ekonomi sağlar.
- Onarım ve güçlendirme nedeniyle yapıya pratik olarak ek ağırlıklar ve yükler getirmez.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Hasarlı elemanların onarım ve güçlendirme metotlarından biri olan epoksi ile çelik eleman ilave etme yöntemi, onarım ve güçlendirme çalışmalarında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik eleman yapıştırılarak yapılan güçlendirmenin elemanın davranış ve dayanımına etkisi çeşitli çalışmalarla incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, günümüz şartlarında yapılarda mevcut olan; dayanımı düşük ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kayma donatısı bulundurmeyen bir adet numune test edilmiş, hasara uğratılan bu numune; onarım ve güçlendirme yöntemlerinden biri olan epoksi ile çelik eleman ilave etme yöntemiyle onarılıp güçlendirildikten sonra, bu yöntemin yapıların düğüm bölgelerindeki etkilerini incelemek amacıyla, tekrar teste tabi tutulmuştur. Ayrıca DBYBHY-2007'e uygun olarak üretilmiş aynı kesit özelliklerine sahip başka bir kolon-kiriş birleşim numunesinin İTÜ Yapı Deprem Mühendisliği Laboratuvarında testi yapılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçların grafik ve çizelgeleri hazırlanmış ve yapılan onarım ve güçlendirme işleminin yapıların birleşim bölgelerine olan katkısı değerlendirilmiştir.

4.2. Genel Bilgi

Betonarme deney örnekleri, TS 3068 (Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı)' e göre hazırlanmış, normal ortam şartlarında özel bir bakım yapılmadan kürlenmişlerdir.

Numunelere; teste hazır hale getirilmesine kadar yapılan işlemler aşağıdaki gibi sayılmıştır:

1. Kolon ve kiriş için donatı kafesinin hazırlanması,
2. Kolon ve kiriş donatılardan bazıları üzerine şekil değiştirme ölçer (strain-gage) yerleştirilmesi,
3. Kolon ve kirişin ayrı ayrı imalatı, beton küp numunelerinin hazırlanması,
4. Numunelerin deney alanına nakli,
5. Numunenin deney platformuna yerleştirilmesi,
6. Diğer ölçüm cihazlarının yerleştirme işlemlerinin tamamlanması,
7. Numunedeki kolona Hidrolik Jack yardımı ile eksenel kuvvet verilmesi,
8. Tekrarlamalı tersinir yük uygulanması.

4.3. Deney Numuneleri

Testi yapılan numuneler; laboratuardaki mevcut deney düzeneği göz önünde bulundurularak betonarme kesitleri ve buna uygun olarak yapılan betonarme tasarımı ile donatı düzeni belirlenmiştir. İki tip olarak üretilen numunelerin kolon ve kiriş elemanlarının taşıma kapasiteleri bakımından benzer olmasına dikkat edilmiştir.

4.3.1. Deney numunelerinin özellikleri

Farklı beton kalitesine ve düğüm bölgesinde farklı olmakla beraber aynı donatı kalitesine sahip olan iki tip kenar kolon-kiriş birleşim numunesi üretilmiştir.

4.3.1.1. 1. Tip numune

10 MPa basınç mukavemetine sahip düşük dayanımlı beton kullanılarak oluşturulan 1.Tip numunede, kolon ile kirişin birleşim bölgesinde (düğüm noktasında) enine donatı bulunmamaktadır. Tip 1 numune benzerleri mevcut yapılarında sıkça rastlanır bir durumdur. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

(DBYBHY-2007)" yürürlüğe girmeden önce yapılmış olan veya bu Yönetmelik göz ardı edilerek yapılan yapılar da benzer koşullar taşıyabilir.

1.Tip Numuneye ait enkesit bilgileri ve donatı düzenleri Şekil 4.1 'de görülmektedir.

4.3.1.2. 2. Tip numune

Betonu C25 kalitesinde olan Tip 2 numuneler ise "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" koşullarına uygun olarak hazırlanmış sünek kenar kolon-kiriş birleşim numunesidir.

2. Numuneye ait enkesit bilgileri ve donatı düzenleri Şekil 4.2’de görülmektedir.

10 MPa basınç mukavemetli beton kullanılarak oluşturulan numune Tip 1, 10 MPa basınç mukavemet değerine sahip ve güçlendirilmiş olan numuneler GTip 1, C25 kalitesinde betona sahip olan numuneler ise Tip 2 olarak anılacaktır.

4.3.2. Deneyde kullanılan malzemelerin özellikleri

Deney numunelerinde Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti. Beton Üretim Tesisleri'nde özel olarak üretimi yapılan 10 MPa ve C25 kalitesinde iki tip beton ve BÇ IIIa kalitesinde betonarme çubukları kullanılmıştır.

4.3.2.1. Beton özellikleri

Hava koşulları, mikser içinde suyun kalması gibi sebeplerden dolayı yapılan 28 günlük küp basınç deneylerinde tasarlanan 10 MPa mukavemet değerleri için beton basınç dayanımının 6.84 MPa ~ 21.31 MPa arasında değiştiği, 25 MPa mukavemet değerleri için beton basınç dayanımının 18.13 MPa ~ 28.01MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Deneyde kullanılan 10 MPa ve 25 MPa kalitesinde beton elde etmek için kullanılan iki tip beton karışımlarına dair tablolar sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 gösterilmiştir.

Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti Laboratuvarlarında; beton dökümü sırasında alınan basınç dayanım test küplerinin sonuçları amaçlanan tasarım dayanımına ulaştıktan sonra numunenin laboratuvar alanına sevkıyatına izin verilmiştir.

Tablo 4.1: 10 MPa kalitesinde beton elde edilmesinde kullanılan karışım tablosu

Elek/Malzeme	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	Karışım%	Su Muht.	Su Emme	Hacim dm ³	Yoğunluk mg/m ³	Ağırlık kg	Düzeltilmiş Ağırlık
TAŞ KUMU	17	25	41	68	98	100	100	100	30	0,01	0,003	225,89	2,59	585,06	589,14
KUM2	8	46	74	85	98	100	100	100	25	0,013	0,004	188,24	2,59	487,55	491,92
NO 5-12	0	0	0	1	6	63	100	100	30	0,002	0,003	225,89	2,63	594,09	593,50
NO 12-19	0	0	0	0	0	0	42	100	15	0,002	0,003	112,94	2,61	294,79	294,49
KÜL									İNCELİK MODÜLÜ			0,00	2,88	0,00	0,00
ÇİMENTO												78,33	3,00	235,00	235,00
SU												145,70	1,00	145,70	138,13
HAVA									3,8			23,00	0,00	0,03	0,03
KATKI									0			0,00	1,12	0,00	0,00
ADMX	7,1	19	30,8	42	55,7	73,9	91,3	100	100	Toplam		1000	Toplam Ağr.	1961,48	2342

Tablo 4.2: 25 MPa kalitesinde beton elde edilmesinde kullanılan karışım tablosu

Elek/Malzeme	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	Karışım%	Su Muht.	Su Emme	Hacim dm ³	Yoğunluk mg/m ³	Ağırlık kg	Düzeltilmiş Ağırlık
TAŞ KUMU	10	26	52	73	94	100	100	100	20	0,014	0,003	137,71	2,59	356,66	360,57
KUM2	5	26	72	86	95	98	100	100	23	0,012	0,003	158,36	2,59	41,16	413,84
NO 5-12	0	0	0	1	6	56	100	100	27	0,009	0,004	185,9	2,63	488,93	491,36
NO 12-19	0	0	0	0	0	0	50	100	30	0	0,004	206,56	2,63	543,25	541,09
KÜL									İNCELİK MODÜLÜ			0	2,88	0	0
ÇİMENTO												105,52	3,08	325	325
SU												169	1000	189	161,14
HAVA									4,4			35	0,001	0,043	0,04
KATKI									0,6			1,74	1,12	1,95	1,95
ADMX	3,2	11,2	27	34,4	41,2	57,7	85	100	100			1000	Toplam ağr.	1798,99	2295

4.3.2.2. Çelik özellikleri

Betonarme kolon-kiriş numunelerinde kullanılan boyuna ve enine donatılar BÇ-IIIa olarak seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak her köşede bir adet olmak üzere $4\phi 18$, sargı donatısı olarak da $\phi 8/10$ etriye kullanılmıştır. Kirişlerde boyuna donatı olarak $5\phi 14$, sargı donatısı olarak da $\phi 8/8$ etriye kullanılmıştır. Çelik çubuk çekme deneylerinde, kullanılan betonarme donatılarının karakteristik akma dayanımı 420 MPa olarak bulunmuştur.

Güçlendirilen numunelerde kullanılan çelik lamalar St37 kalitesinde olup, 6 adet deney düzeneğine uygun olarak dizayn edilmiş papyon 50.5'lik çelik lamalar İTÜ İnşaat Mühendisliği Malzeme Laboratuvarlarında çekme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 4.3.). Çelik yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 648) ile ilgili Yönetmelikte verilen

ST37; Elastisite Modülü: $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

değerini karşılayıp karşılayamadığının testi yapılmıştır.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde 6 adet numuneden 2 ve 6 numaralı lamaların sonuçlarının iptal edilmesine karar verilmiştir. 1,3,4,5 nolu lamaların sonuçlarından (sırasıyla 185714, 185205, 194558, 181587 N/mm^2) ortalama bir elastisite modülü kabülü 186766 N/mm^2 yapılmıştır.

Hesaplanan standart sapma değeri de ($\sigma = 5510.01 \text{ N/mm}^2$) ortalama elastisite modülüne bölünerek $\pm 0.0295 \text{ N/mm}^2$ sapma olabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 4.3: Çekme deneyine tabi tutulan lamalar

4.3.2.3. Epoksi tamir harcı ve yapıştırıcı özellikleri

Kullanılan Epoksi tamir harçları ve yapıştırıcılar İZOMAS firmasının İZOMET markalı mamulleri olup, epoksi reçine olarak Hisphenol A ve Epichlorohydrin'den üretilmiş orta viskoziteli EPIKOTE® 828, sertleştirici olarak da düşük viskoziteli Modifiye Cycloaliphatic Amin EPIKURE® F201 ve kurutulup elenmiş, granülometrisi ayarlanmış kuvars kumundan oluşan üç bileşenli malzemedir. Kullanılan epoksi yüksek mekanik ve kimyasal dirence sahip olup onarım ve güçlendirme işleri için özel modifiye edilmiştir.

Epoksi tamir harcı da teknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla aynı şekilde İTÜ İnşaat Mühendisliği Malzeme Laboratuvarlarında basınç ve çekme deneylerine tabi tutulmuştur. 15 adet numuneden; denenen 10 cm çap ve 20 cm yüksekliğindeki düzgün dökülmüş 5 adet silindirin sonuçları sadece göz önüne alınmıştır (Şekil 4.4). 5 adet deney sonuçlarından (sırasıyla 16663, 15715, 15686, 15736, 15884 N/mm²) ortalama bir Elastisite Modülü kabulü 15950 N/mm² yapılmıştır.



Şekil 4.4: Epoksi tamir harcı basınç numuneleri

Hesaplanan standart sapma değeri de ($\sigma = 413.089 \text{ N/mm}^2$) ortalama Elastisite Modülüne bölünerek $\pm 0.0259 \text{ N/mm}^2$ sapma olabileceği tespit edilmiştir.

5 adet deney sonuçlarından (sırasıyla 59.554, 60.509, 60.509, 61.465, 60.509 N/mm²) hareketle ortalama bir basınç mukavemeti kabulü 60 N/mm² yapılmıştır.

Hesaplanan standart sapma değeri de ($\sigma = 0.676$ N/mm²) ortalama elastisite modülüne bölünerek ± 0.0111 N/mm² sapma olabileceği tespit edilmiştir.

Epoksi tamir harcı için alınacak basınç mukavemetinin;

60 ± 0.0111 N/mm² olacağı kabul edilebilir.

Epoksi tamir harcının çekme mukavemetini belirlemek amacıyla; öncelikle çelik lamada olduğu gibi özel olarak imal edilen kalıplarda dökülen papyon şeklindeki epoksi tamir harcı numunelerinin İTÜ İnşaat Mühendisliği Malzeme Laboratuvarlarında çekme düzeneğinde testi yapılmıştır. (Şekil 4.5) Gevrek bir özelliğe sahip hale gelen epoksiden istenen sonuç alınamamıştır.



Şekil 4.5: Epoksi tamir harcı çekme numuneleri

Farklı bir yöntem olarak birer kafası kesik iki çelik papyon arasına dökülen epoksi tamir harcı numuneleri laboratuvar düzeneğinde çekilmiştir.

Deney düzeneğine uygun olarak tasarlanmış, 8 adet 50.5'lik lamaya iki taraftan yapıştırılmış numunenin çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 4.6). 4 adet boyanmamış ve kumlanmamış numuneden 2 tanesinin epoksiyle yapıştırılma yüzey uzunluğu 19 cm, 2 tanesinin 7 cm olarak imal edilmiştir. Kalan 4 adet boyanmış ve kumlanmış

numuneden 2 tanesinin epoksi harcı ile yapıştırılma yüzey uzunluğu 19 cm , 2 tanesinin 7 cm olarak imal edilmiştir.



Şekil 4.6: Epoksi tamir harcı – çelik çekme numuneleri

Deney sonuçları değerlendirildiğinde;

- 1(kısa ve kumlanmamış), 2(kısa ve kumlanmamış) ve 6(uzun ve kumlanmış) nolu numunelerde epoksi yüzeyi lamadan sıyrıldığı gözlenmiştir.
- 4(kısa ve kumlanmış),7(uzun ve kumlanmış) ve 8(uzun ve kumlanmış) nolu numunelerde epoksi harcının kayma mukavemeti net olarak gözlenmiştir.
- 3(kısa ve kumlanmış) ve 5(uzun ve kumlanmamış) nolu numunelerde bir kısmında lamadan epoksi yüzeyinin sıyrıldığı ve bir kısmında kayma mukavemeti gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo 4.3: İki adet lama arasına yerleştirilen epoksi numunelerinin çekme deneyi

Numune No	Numune Tipi	b(mm)	d(mm)	Alan(mm ²)	F (N)	τ (MPa)
1.Numune	Kısa-Kumlanmamış	31,3	2,74	85,762	166	1,936
2.Numune	Kısa-Kumlanmamış	30,97	3,68	113,970	156	1,369
3.Numune	Kısa-Kumlanmış	30,87	3,5	108,045	316	2,925
4.Numune	Kısa-Kumlanmış	30,13	3,725	112,234	1516	13,508
5.Numune	Uzun-Kumlanmamış	30,9	2,94	90,846	276	3,038
6.Numune	Uzun-Kumlanmamış	30,23	2,56	77,389	160	2,068
7.Numune	Uzun-Kumlanmış	30,97	2,15	66,585	1962	29,466
8.Numune	Uzun-Kumlanmış	30,13	3,52	106,058	2310	21,781

4. , 7. ve 8. numunelerde sadece epoksi harcındaki kaymanın gözlenmesi sonucunda epoksinin ortalama kayma mukavemeti;

$$(13,507+29,466+21,781) / 3 = 21,585 \text{ MPa}$$

(b = Epoksi harcı uygulanan lama boyu, d = Uygulanan epoksi harcı kalınlığı)

Yapılan çekme deneylerinde çok farklılık gösteren epoksi tamir harcı numunelerinin çekme mukavemetleri hakkında değişik yöntemlere başvurularak daha fazla deney yapılmalıdır.

4.3.3. Deney numunelerinin imalatı

Deneylerdeki bütün numuneler Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti Beton Üretim Tesislerinde imal edilmiştir. Tekirdağ Alacalı Prefabrike Elemanlar Üretim ve Montaj Tesislerinde hazırlanmış olarak Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti Beton Üretim Tesisleri'ne gelen donatılar üzerine, donatıların deney sırasında şekil değiştirme miktarları ve

gerilme değerlerinin ölçölmesi istenen noktalarna şekil değiştirme ölçer'ler yerleştirilmiştir (şekil 4.7).



şekil 4.7: Deney numuneleri donatılarına şekil değiştirme ölçer yerleşimi

şekil Değiştirme Ölçerler yerleşimi dikkatlice tamamlandıktan sonra, donatılar özel olarak hazırlanmış çelik kalıp içine yatay pozisyonda dikkatlice yerleştirilmiştir.

Beton karışımı Tip 1 için 10 MPa ve Tip 2 için 25 MPa olacak şekilde ayarlanarak mikser ve insan gücü yardımı ile üretilen beton kalıp içine boşaltırken belli aralıklar ile vibratör segregasyon oluşmadan tutularak betonun kalıp içine tam yerleşmesi standart sağlanmıştır. Döküm sırasında basınç deneyleri için küp numuneler alınmıştır (şekil 4.8 ve şekil 4.9).



Şekil 4.8: Deney numuneleri çelik kalıplarına vibratörle uygun beton dökümü

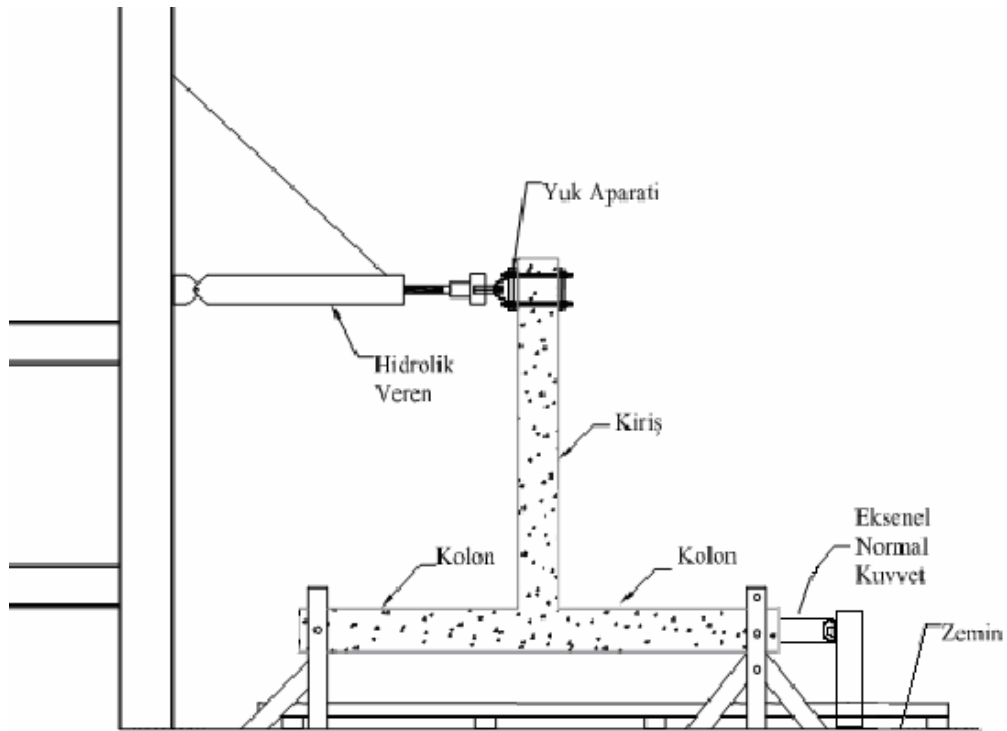


Şekil 4.9: Prizini almış ve yeni dökümü yapılmış deney numuneleri

Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra alınan beton küp numunelerin 28 gün sonra, Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti Silivri Laboratuvarlarında basınç dayanım testleri yapılarak tasarlanan basınç dayanım değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir.

4.4. Deney Düzeneği

Tüm deneyler laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak düşey düzlemde gerçekleştirilmiş ve kolonlar yatay eksende, kirişler ise düşey eksende yer almıştır. Tüm numunelerde yapıdaki gerçek durumu modellemek üzere yapılan hesaplamalara uygun olarak kolonların bir ucundam Hidrolik Jack yardımı ile eksenel kuvvet verilmiştir. Numunedeki kirişe serbest ucundan tersinir yükleme uygulanmıştır.



Şekil 4.10: Deney düzeneği

İTÜ Yapı Deprem Müh. Laboratuvarındaki deney şartlarına göre sağlam özelliklere sahip olan döşemeye ard-germeli olarak bağlı olan çelik bir çerçeve içine mesnetlenen numunelere, reaksiyon çerçevesine bağlı olan 245 kN kapasiteli hidrolik veren ile yükleme yapılmıştır. Kuvvet değerleri hidrolik verenin ucuna bağlı olan yük hücresinden ölçülmüştür. Deneyler sırasında yanal yükleme ekseninde numuneye yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer (LVDT) yardımı ile yerdeğiştirme

kontrollü olarak tersinir yükleme uygulanmıştır. Yerdeğiştirmeleri ölçmek için numuneye değmeyen bir referans çerçevesi oluşturulmuştur. Bu çerçeve üzerine bağlanan yerdeğiştirme ölçerler yardımı ile verilen yerdeğiştirmeler ölçülmektedir.

Deneysel çalışmalar başlamadan bu cihazların kalibrasyonları yapılmıştır.

4.4.1. Ölçüm araçları

Kenar kolon-kiriş birleşim numuneleri, deplasman kontrollü olarak kiriş ucundan etkiyen iki yönlü tersinir tekrarlı yükler ile kolon ekseninden etkiyen sabit eksenel basınç yükü altında deneye tabi tutulmuştur.

4.4.1.1. Şekil değıştirme ölçer

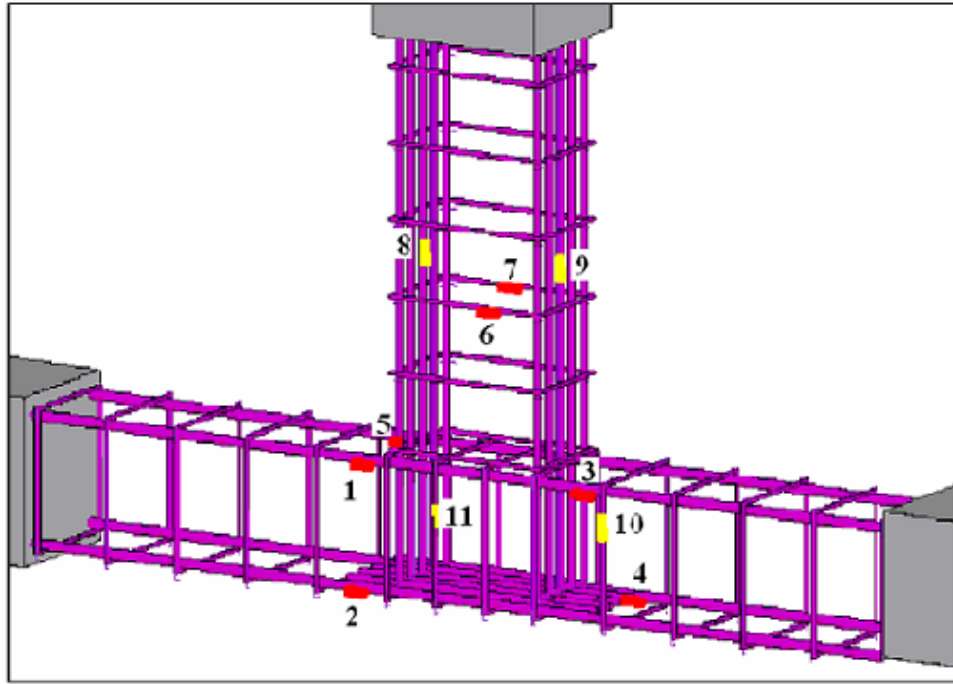
Numunelerin hazırlanması aşamasında donatılardaki şekil değıştirmeleri ölçerek, gerilmelerin bulunabilmesi için beton dökümü öncesi donatılara şekil değıştirme ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 4.11). Kolonu temsil eden yatay eleman üzerindeki etriyeler üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu şekil değıştirme ölçerler oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, aynı eleman üzerindeki yatay konumlu şekil değıştirme ölçerler ise oluşan moment kuvvetlerinin belirlenmesi sağlamaktadır.



Şekil 4.11: Deney numunesinde şekil değıştirme ölçer yerleşimi

Kirişı temsil eden düşey eleman üzerindeki etriyeler üzerine yerleştirilmiş yatay konumlu şekil değiştirme ölçerler oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, boyuna donatı üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu gerilme ölçerler ise moment değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

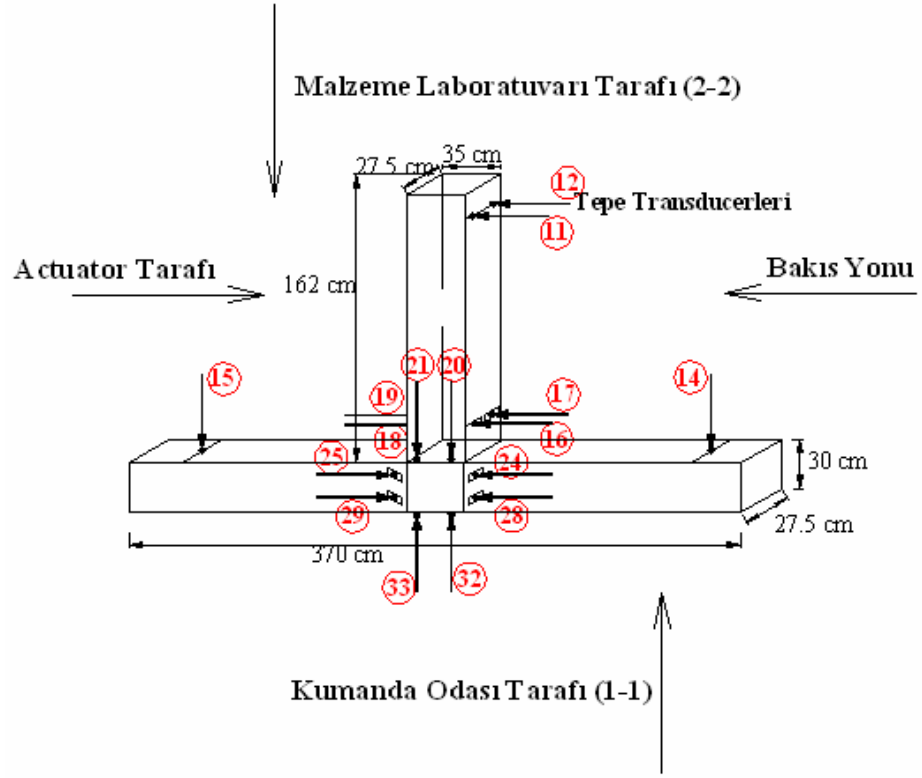
Tip 1 ve Tip 2 Numunelerine yerleştirilen şekil değiştirme ölçerler Şekil'4.12 de görülmektedir.



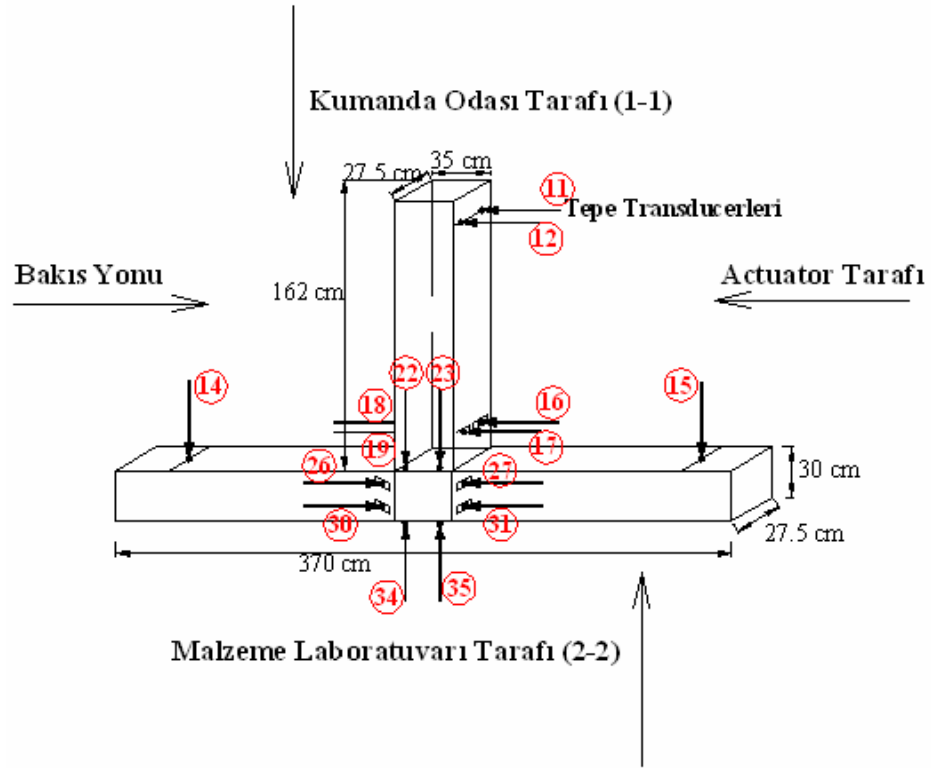
Şekil 4.12: Numunelerde şekil değiştirme ölçer yerleşimi

4.4.1.2. Yerdeğiştirme ölçerler

Altı adet deneyde de yükleme eksenine yerleştirilen iki adet yerdeğiştirme ölçerden uç deplasmanlar ölçülerek yüklemeler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Ayrıca deney sırasında istenmeyen düzlem dışı hareketlerde böylece kontrol altına alınmıştır. Kolon mesnetlerine yerleştirilen birer adet yerdeğiştirme ölçer yardımı ile de mesnetlerin düşey doğrultudaki hareketleri kontrol edilmiştir. Numunelere yerleştirilen diğer yerdeğiştirme ölçerler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de görülmektedir. Bunlar kolon ve kirişin düğüm noktası etrafındaki dönme miktarlarını değerlendirmek üzere yerleştirilmiştir.



Şekil 4.13: Numunelerde kumanda odası'ndan bakış LVDT yerleşimi



Şekil 4.14: Numunelerde malzeme laboratuvarı'ndan bakış LVDT yerleşimi

4.4.2. Yükleme aparatları

Yükleme durumunun hem itme hem de çekme olabilmesi için hidrolik veren kirişin uç kısmına bağlanan yükleme başlığına bağlanmıştır. Tersinir yükleme bu başlık yardımı ile yapılmıştır. Uç deplasmanları bu başlık üzerinde oluşturulan pürüzsüz yüzeyden ölçülmüştür. Yatay yükün uygulanacağı pistonun uç kısmına itme sırasında gerilmeyi yayarak numunede kirişi temsil eden elemanın zarar görmesini engellemek ve çekme kuvvetini kiriş elemanına uygulayabilmek amacı ile itme plakası dizayn edilmiştir. İtme plakası numunenin kirişi temsil eden elemanına sıkıca monte edilerek diğer taraftan pistonun başlığına bulonlanmıştır.

Deneyler sırasında; düğüm noktaların olduğu bölgelerin en hassas yerlerine yerdeğiştirme ölçerler düğüm noktası etrafına yatay ve düşey doğrultuda yerleştirilerek, yükleme esnasında meydana gelen yerdeğiştirme değerleri “data-logger”yardımıyla bilgisayarda toplanmış ve analiz edilmiştir. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerler (LVDT)(Linear Variable Displacement Transducer) yardımı ile yerdeğiştirme kontrollü olarak tersinir yükleme uygulanmıştır. Her bir hedef deplasman seviyesine ulaşıncaya ve numune üzerindeki çok kısa aralıklarda veri toplayıcı (data logger) aracılığı ile paralel bağlı bilgisayara bu yer değiştirmeler ile iki verenin ucundaki yük hücrelerindeki yük değerleri kaydedilmiştir. Deneyler yer değiştirme kontrollü olarak yapıldığı için kiriş ucuna etkiyen iki yönlü tekrarlı yükler, numunenin kiriş uç yer değiştirmesi hedef değere ulaştığı zaman yük veren pompa derhal durdurulup, gerekli ölçümler ve hasar durumları kaydedildikten sonra numune üzerindeki yük yavaş yavaş boşaltılırken de sık aralıklarla veriler toplanmıştır. Bu grafikte itme yönündeki kiriş uç yüklerini pozitif, çekme yönündeki kiriş uç yüklerini negatif işaretli olarak gösterilmiştir.

4.4.3. Deney programı

Çalışmanın deney programı, literatürde çelik lamaların dış yüzeylerinden yapıştırılması ile güçlendirilen çeşitli betonarme elemanları konu alan çalışmalarda yapılan deneyler, deney teknikleri deney örneği üretim kriterleri ve standartları referans alarak geliştirilmiştir.

Deneysel programda aşağıdaki maddeler incelenmiştir;

- a) Üretilen 1.Tip numunelerin kırılıp genel davranışının incelenmesi,
- b) Kırılan 1.Tip numunelerin onarılmasından sonra çelik elemanlar yapıştırılarak güçlendirilmesi, tekrar kırılarak dayanımının ve davranışının incelenmesi,
- c) Üretilen 2.Tip numunelerin kırılıp genel davranışının incelenmesi,

Bu amaçla dokuz adet kolon-kiriş birleşim numunesi 2 tip olarak üretilmiştir.

Tip 1 kolon-kiriş birleşim numunelerine hasar oluşuncaya kadar yükleme yapılmış, daha sonra hasarlı bölgelerde epoksi tamir harçları ve epoksi enjeksiyon ile gerekli onarımlar yapılmış ve hasarlı bölgeyi kapsayacak şekilde çelik elemanlarla güçlendirilip tekrar yüklenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan 1.tip numune

Tip 2 kolon-kiriş birleşim numunelerine hasar oluşuncaya kadar yükleme yapılmış ve deney sırasındaki davranışları incelenmiştir (şekil 4.16).

Kolon-kiriş birleşim bölgesi numuneleri tek seferde üretilmiş ve altı adet 15x15x15 küp numuneler alınmış ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton kalitesi ve donatı tasarımında elemanların hem mevcut yapıları temsil edebilmesi hem de kolay kırılabilmesi (deney düzeneği maksimum 250 t'luk düşey yük kapasitesine sahip) gibi koşullar göz önünde bulundurulmuştur.



şekil 4.16: Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan 2.tip numune

5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Genel Bilgiler

Bu deneylerden herbir numune için, kiriş uç kuvveti (kN)-kiriş uç yer değiştirmesi (mm) arasındaki değişimi gösteren histeresis çevrimleri elde edilmiştir

Bu bölümde deney sonuçları ve değerlendirmeleri yer almaktadır.

5.2. Deney Numuneleri

Bir adet Tip 1 olarak adlandırılan 10 MPa beton basınç mukavemetli, bir adet GTip 1 olarak adlandırılan güçlendirilmiş 10 MPa beton basınç mukavemetli, bir adet Tip 2 olarak adlandırılan 25 MPa beton basınç mukavemetli, kolon-kiriş birleşim numunesi yüklemelere tabi tutulmuştur.

Tip 1'e uygulanan çevrimsel yüklemeler Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 'da gösterilmiştir. Her bir yerdeğiştirme adımı pozitif ve negatif olarak bir kez uygulanmıştır. Kolona verilen eksenel kuvvet deneyin başlangıcında 137 kN olarak uygulanmıştır. Deney sırasında eksenel kuvveti değişim Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.

Tip 1 olarak adlandırılan numunenin taşıma kapasitesi aşıldıktan sonra, numune önceki bölümde anlatıldığı gibi güçlendirilmiş ve tekrar deneye tabi tutulmuştur.

Tip 2 olarak adlandırılan numuneye sadece yükleme yapılarak davranışı incelenmiştir. Kolona verilen eksenel kuvvet deneyin başlangıcında 170 kN olarak uygulanmıştır. Deney sırasında eksenel kuvveti değişim Şekil 5.13'de verilmiştir.

5.3. Deney Gözlemleri ve Çatlak Oluşumu

5.3.1. Tip 1 numunesi

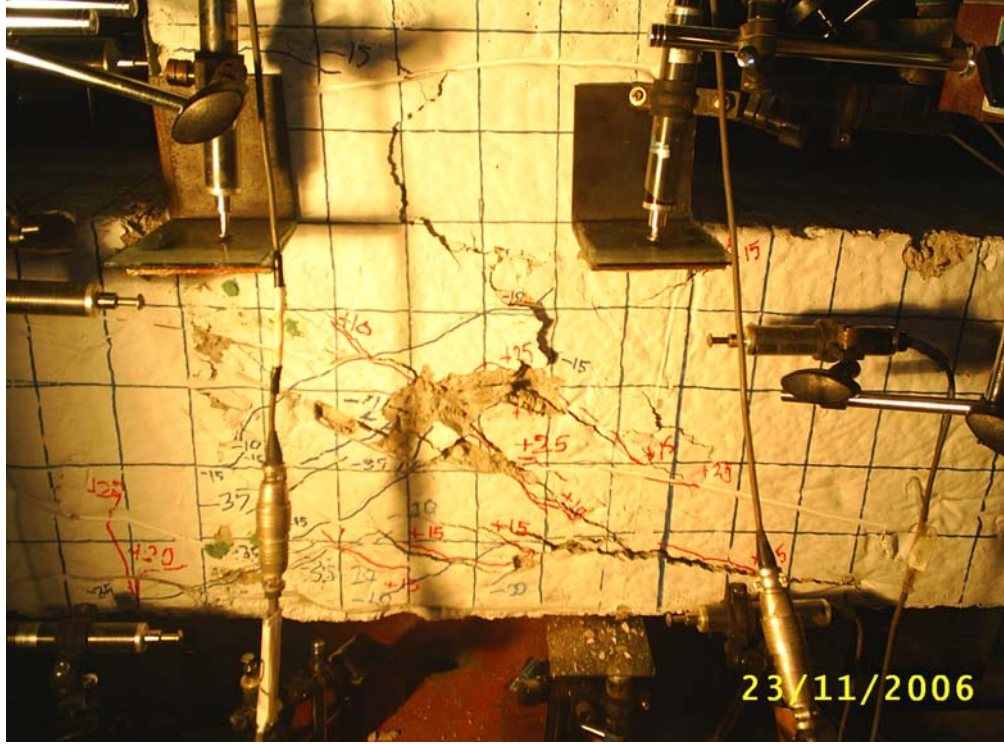
Numunede oluşan ilk çatlak, kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 5 mm'ye ulaştığı zaman kiriş-kolon birleşim arakesitinde, yine aynı çevrimde kiriş uç kuvveti ters yönde çekme durumunda iken hemen hemen aynı kesitte birbirini bağlayacak şekilde ve eğilme çatlakları oluşmuştur. Kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 15 mm'ye ulaştığı zaman kirişte kuvvetin yönüne göre çekme lifinde çatlaklar oluşmuş olup, yine aynı çevrimde kiriş uç kuvveti ters yönde çekme durumunda iken hemen hemen aynı kesitte birbirini bağlayacak şekilde kuvvetin yönüne göre çekme lifinde başka çatlak meydana gelmiştir. Kirişte çatlaklar, eğilme çatlakları şeklinde ve her çevrimde artarak oluşmuştur. Numunenin kolon-kiriş birleşim bölgesinde yatayla yaklaşık 45° açı yapan ilk eğik kayma çatlağı kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 10 mm'ye ulaştığı zaman görülmüştür. Aynı çevrimin ters yönlü yüklemesinde bir önceki eğik çatlağa dik yönde eğik kayma çatlağı gözlenmiştir.

Bu eğik kayma çatlakları da her çevrimde görülmüştür. Kolonda ise aksenal kuvvetin uygulandığı tarafta kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 15 mm'ye ulaştığı zaman ve kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 20 mm'ye ulaştığı zaman yatay eğilme çatlakları gözlenmiştir.

Kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 20 mm'ye ulaştığında; kiriş-kolon birleşim arakesitinde 5 mm ve 10 mm itme adımlarında oluşan çatlakların genişliği görülmüştür.

Kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 30 mm'ye ulaştığında; kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çevrimlerde oluşmuş olan eğik kayma çatlaklarının genişleyerek, ve kolonda düşey olarak oluşan çatlakların yaklaşık 1 cm'e kadar genişleyerek beton kabuk dağılmaya başlamıştır. Yüklemeye; kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 35 mm'ye ulaştığı ana kadar devam edilmiştir. Kalıcı deformasyonlardan sonra deneye son verilmiştir.

Deney neticesinde numunede oluşan çatlaklar genel olarak numune krokisi üzerinde Şekil 5.1 de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Tip 1 numunesi deney sonu çatlak krokisi

5.3.2. GTip 1 numunesi

Hasarlı Tip 1 numunesinde; İZOMAS Şirketler Grubu'ndan sağlanan malzemeler ve gelen ekiplerce, önce Şekil 5.2'de gösterildiği üzere beton onarımlarını yapılmıştır. Daha sonra Şekil 5.4 de gösterilen yer alan çelik lama ve korniyer yerleşim planı uyarınca; korniyer, lama ve yapıştırıcı malzeme olarak kullanılan epoksi ile uygun şekilde güçlendirilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.5).



Şekil 5.2: Hasar görmüş tip 1 numunesine beton onarım uygulaması



Şekil 5.3: Hasar görmüş tip 1 numunesine çelik elemanlarla güçlendirme uygulaması



Şekil 5.5: Hasar görmüş tip 1 numunesi güçlendirilmiş hali (GTip 1 numunesi)

G Tip 1 Numunesi aynı deney düzeneğinde tekrar çevrimsel yüklemelere tabi tutulmuştur. Yapılan deneyde; ilk çatlak, kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 10 mm'ye ulaştığında kiriş-kolon birleşim arakesitinde eğilme çatlağı olarak oluşmuştur. Kiriş uç yer değiştirmesi itme konumunda 10 mm'ye ulaşınca kadar aşağıdaki şekilde yapılan çevrimlerde herhangi bir çatlak, ne birleşim bölgesinde, ne kirişte, ne de kolonda gözlenmemiştir. Kiriş uç hedef yer değiştirme değerinin 10mm çekme olduğu çevrimde; deney sırasında kontrol yerdeğiştirme ölçerinin ucu takılı kalmıştır. Kumanda Odası tarafında tespit edilemeyen bu durum yüzünden, yük hızla artmaya devam etmiş, kiriş uç yerdeğiştirme değeri 51,46 mm 'ye yükselinceye kadar arada veri toplanamamıştır. Bu sırada başlık olarak kullanılan korniyerlerin kaynaklarında ayrılmalar oluşmuştur. Çevrimsel olarak yapılamayan deneyin ani olarak büyük ve kalıcı deformasyonlara uğratılması yüzünden, sağlıklı veri toplanamayacağı görülerek deneye son verilmesine karar verilmiştir. Bu sırada yapılan çatlak gözlemlerinde kiriş uç yerdeğiştirme değeri 50 mm çekme konumunda iken kolon-kiriş birleşim bölgesinde yatayla yaklaşık 45° açı yapan eğik kayma çatlağı tespit edilmiştir. Son olarak kiriş uç yer değiştirmesi 65 mm'ye ulaşana kadar, kiriş ucuna itme kuvveti verilmiştir.

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yine yatayla yaklaşık 45° açı yapan eğik kayma çatlakları oluşmuştur ve deneye son verilmiştir.

Deney neticesinde numunede oluşan çatlaklar genel olarak numune krokisi üzerinde Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6: GTip 1 numunesi deney sonu çatlak krokisi

5.3.3. Tip 2 numunesi

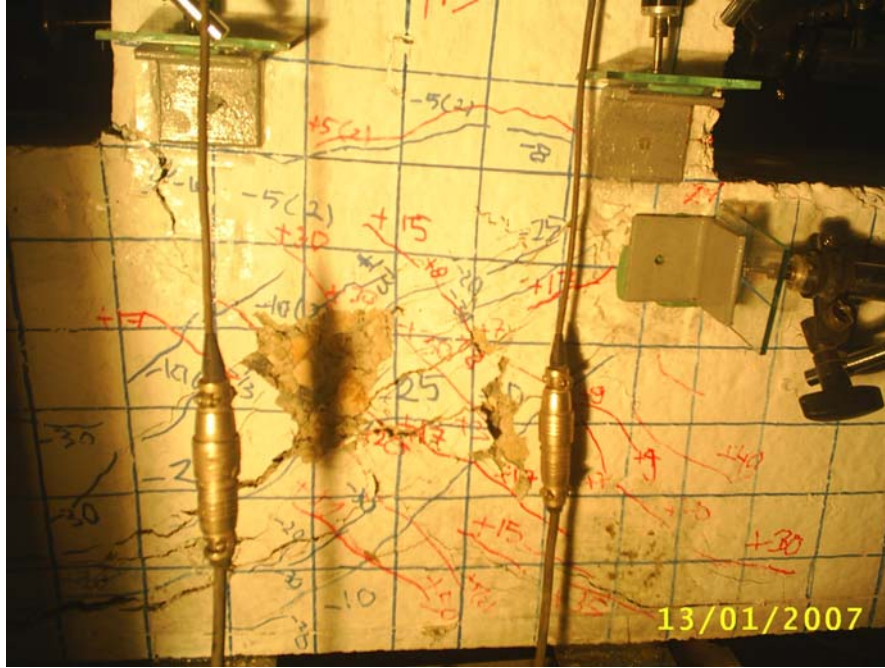
DBYBHY-2007'de süneklik seviyesi yüksek kolon-kiriş birleşim koşullarına uygun olarak hazırlanmış olan Tip 2' de oluşan ilk çatlak, kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 3 mm'ye ulaştığında kiriş-kolon birleşim arakesitinde, yine aynı çevrimde kiriş uç kuvveti ters yönde çekme durumunda iken hemen hemen aynı kesitte birbirini bağlayacak şekilde ve eğilme çatlakları olarak gözlemlenmiştir. Kiriş uç kuvveti itme ve çekme durumunda iken ve kiriş uç yer değiştirmesi 5 mm'ye ulaştığında kirişte kolon kuvvetin yönüne göre çekme lifinde çatlaklar oluşmuştur. Kirişte oluşan tüm çatlaklar, eğilme çatlakları şeklinde her çevrimde oluşmuştur. Numunenin kolon-kiriş birleşim bölgesinde yatayla yaklaşık 45° açı yapan ilk eğik kayma çatlakları kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 5 mm'ye ulaştığında görülmüştür. Bu eğik kayma çatlakları da her çevrimde gözlenmiştir.

Kolonda ise, aksenal kuvvetin uygulandığı tarafta kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 17 mm'ye ulaştığında ve kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 25 mm'ye ulaştığında eğilme çatlakları şeklinde gözlenmiştir.

Kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 25 mm'ye ulaştığı zaman; kiriş-kolon birleşim arakesitinde 5 mm ve 10 mm itme kademelerinde oluşan çatlakların genişliği artmıştır.

Kiriş uç kuvveti çekme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 35 mm'ye ulaştığında; kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çevrimlerde oluşmuş olan eğik kayma çatlakları iyice genişlemiştir. Kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 50 mm'ye ulaştığında; kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çevrimlerde oluşmuş olan eğik kayma çatlakları yaklaşık 1 cm'e kadar genişleyerek betonun paspayının dökülmesine neden olmuştur. Yükleme; kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 90 mm'ye ulaşınca kadar devam edilmiştir. Mevcut çatlaklar genişlemiş, kolon-kiriş birleşim arakesitinde parça şeklinde beton dökülmeler gözlenmiştir. Oluşan deformasyonlardan sonra deneye son verilmiştir.

Deney neticesinde numunede oluşan çatlaklar genel olarak numune krokisi üzerinde Şekil 5.7' de gösterilmiştir.

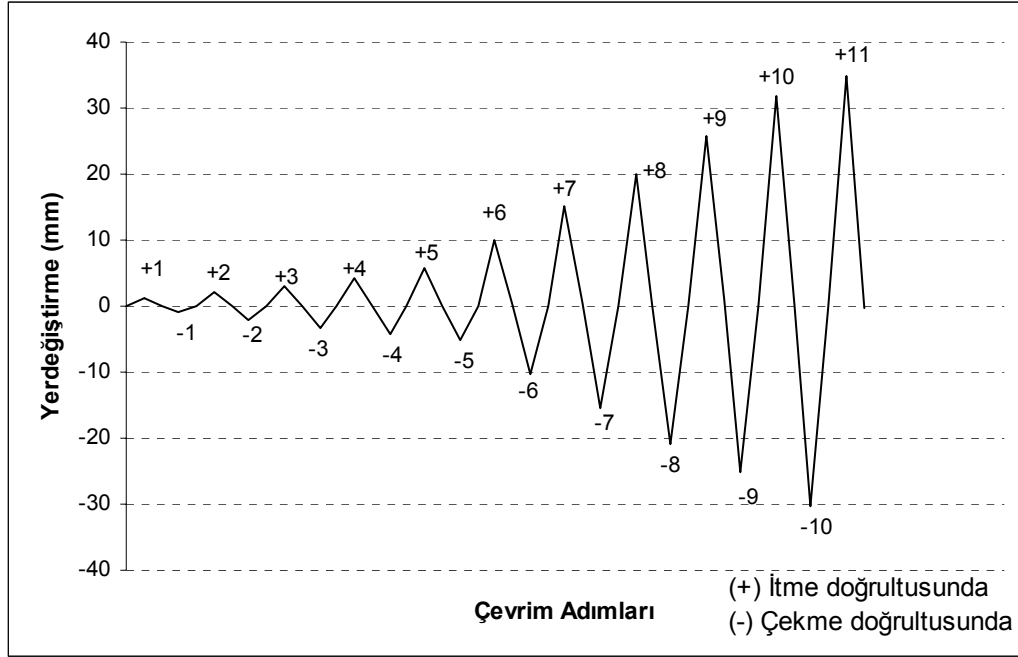


Şekil 5.7: Tip 2 numunesi deney sonu çatlak krokisi

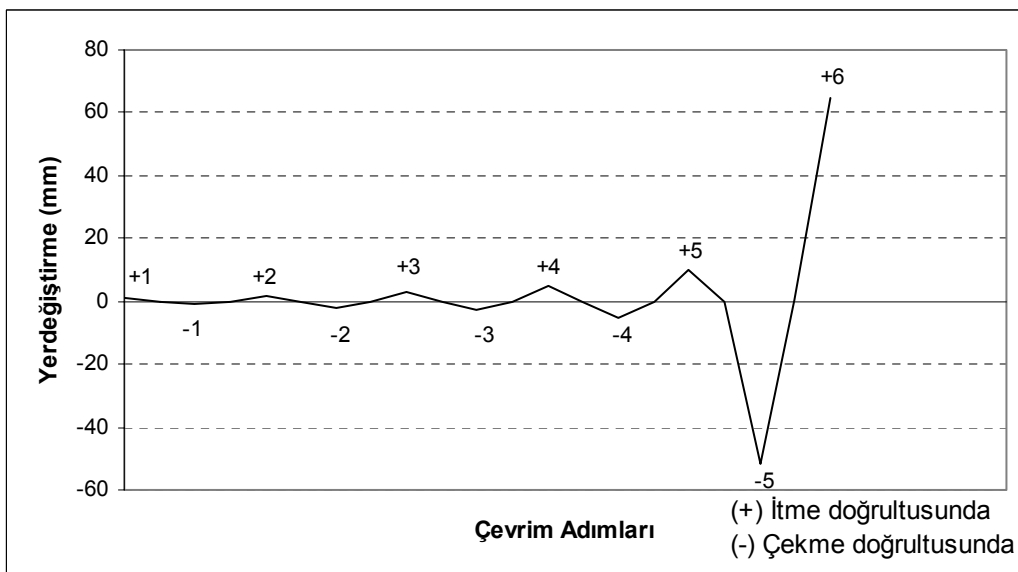
5.4. Deney Numune Sonuçları

5.4.1. Çevrimsel yükleme

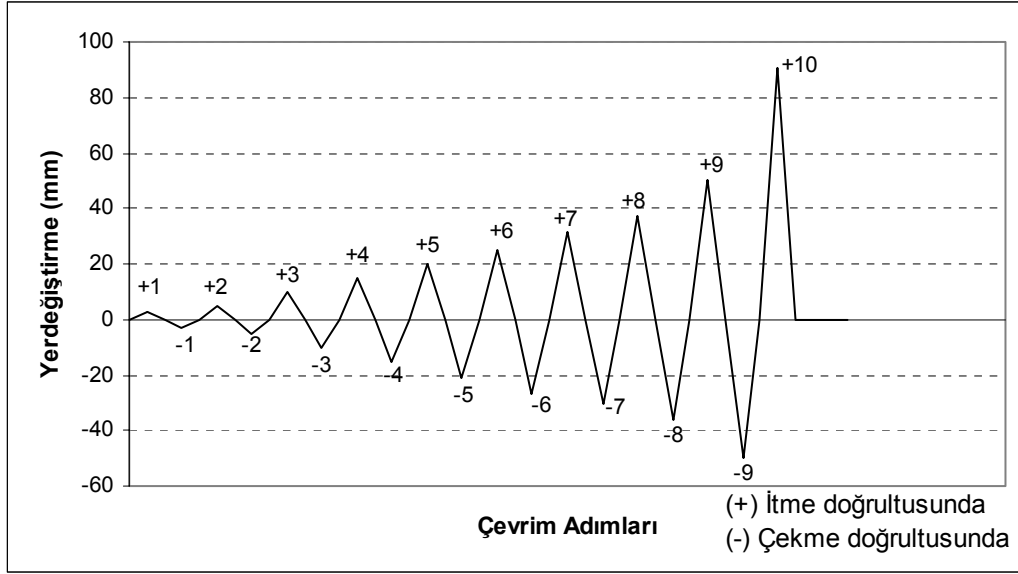
Tip 1, GTip 1 ve Tip 2 Numunelerine; kirişi temsil eden elemanın üst ucundan, maksimum 250 t'luk düşey yük kapasitesine sahip hidrolik pistonun bilgisayar kontrolü ile etkitilen tekrarlı yükleme durumu sırasıyla Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Tip 1 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı



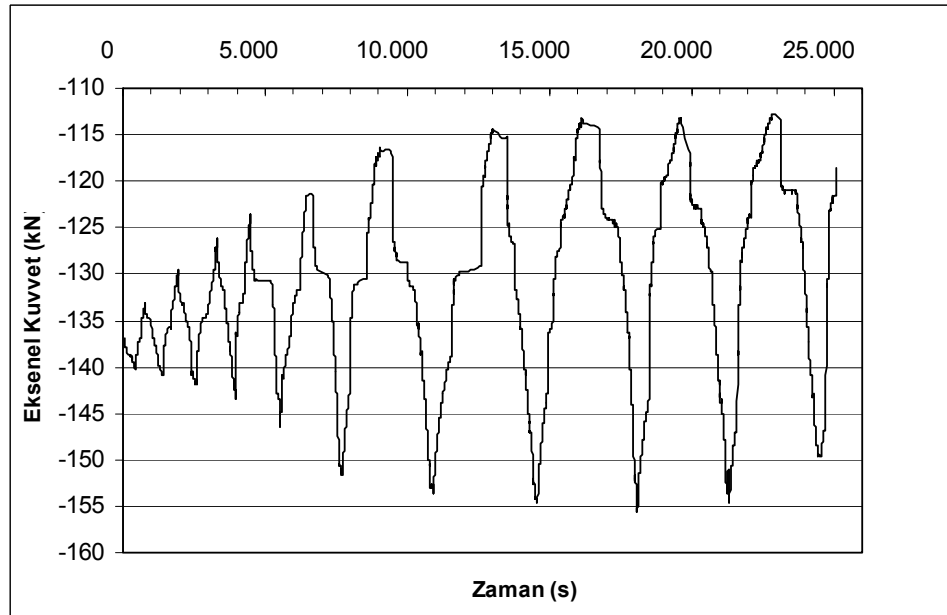
Şekil 5.9: GTip 1 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı



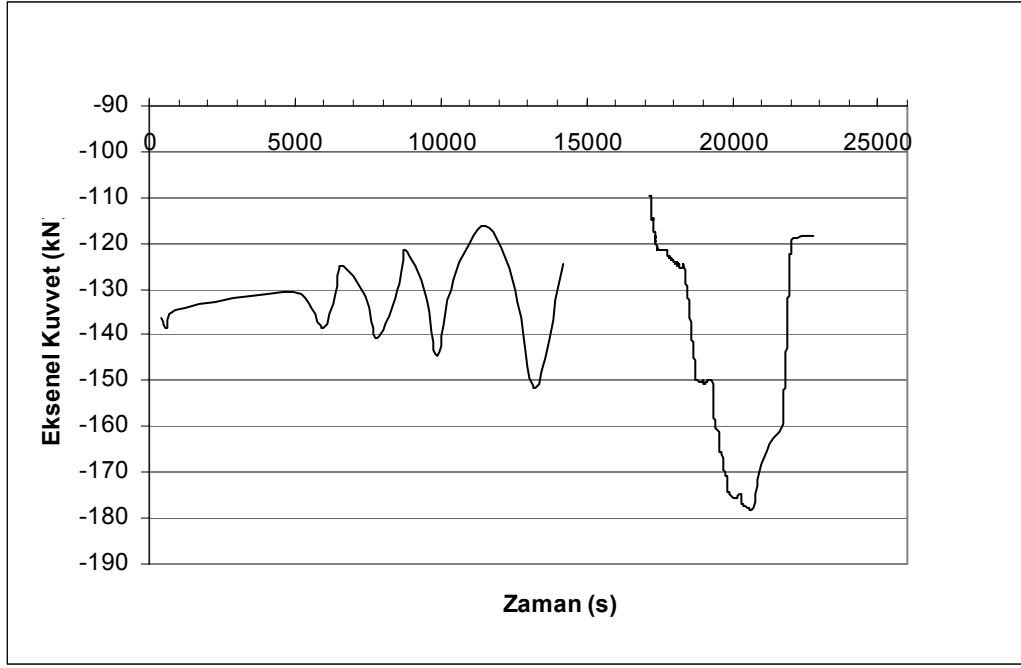
Şekil 5.10: Tip 2 numunesine ait yerdeğiştirme diyagramı

5.4.2. Eksenel kuvvet – zaman değişimi

10 MPa kalitesindeki aynı betonarme kesit ve malzeme özellikleri dikkate alınarak Tip 1 ve GTip 1 Numunelerine, deney düzeneğinde; deney başlangıcında kayıcı mesnet bulunan taraftaki kolon yüzeyinden verilen 137kN değerindeki eksenel kuvvetin deney süresince sabit mesnet tarafında değişimi sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

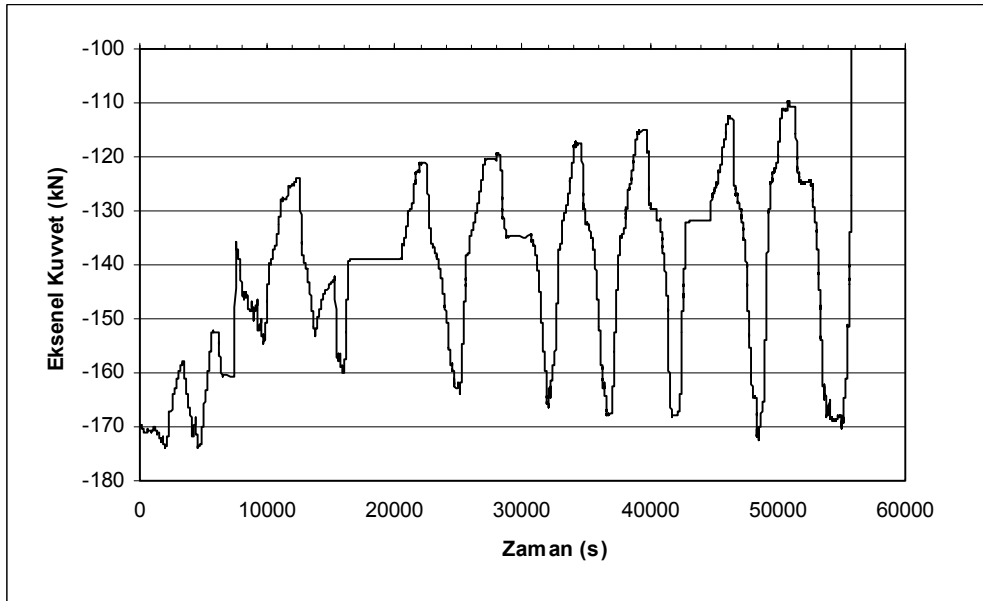


Şekil 5.11: Tip 1 numunesi eksenel kuvvet – zaman değişimi
(Sabit mesnet tarafı)



Şekil 5.12: GTip 1 numunesi eksenel kuvvet – zaman değişimi
(Sabit mesnet tarafı)

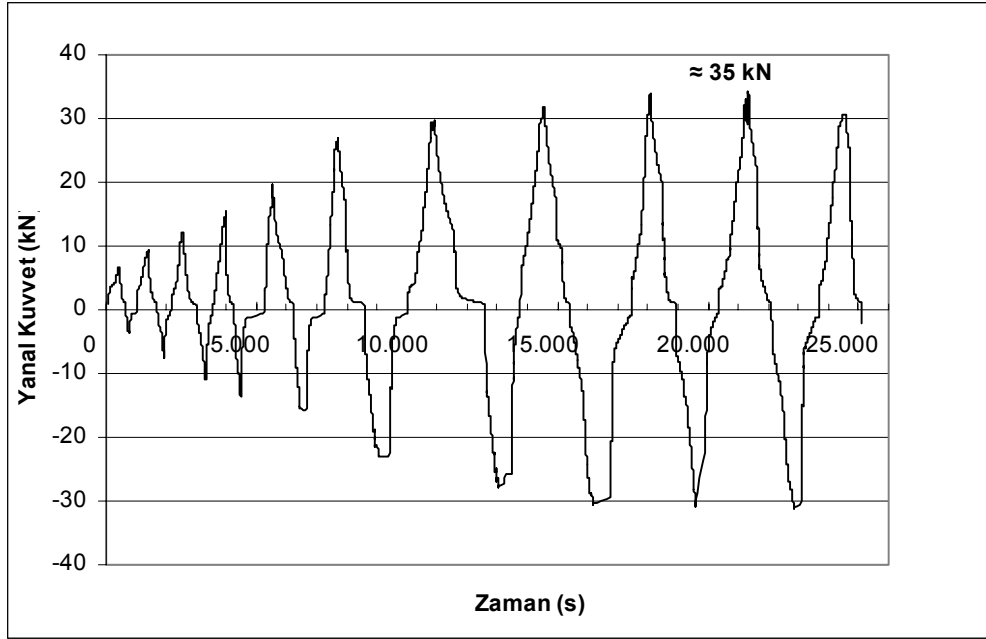
25 MPa beton kalitesiyle hazırlanan ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine donatı bulunduran Tip 2 Numunesine deney düzeneğinde; deney başlangıcında kayıcı mesnet bulunan taraftaki kolon yüzeyinden verilen 170kN değerindeki eksenel kuvvetin deney süresince sabit mesnet tarafında değişimi Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



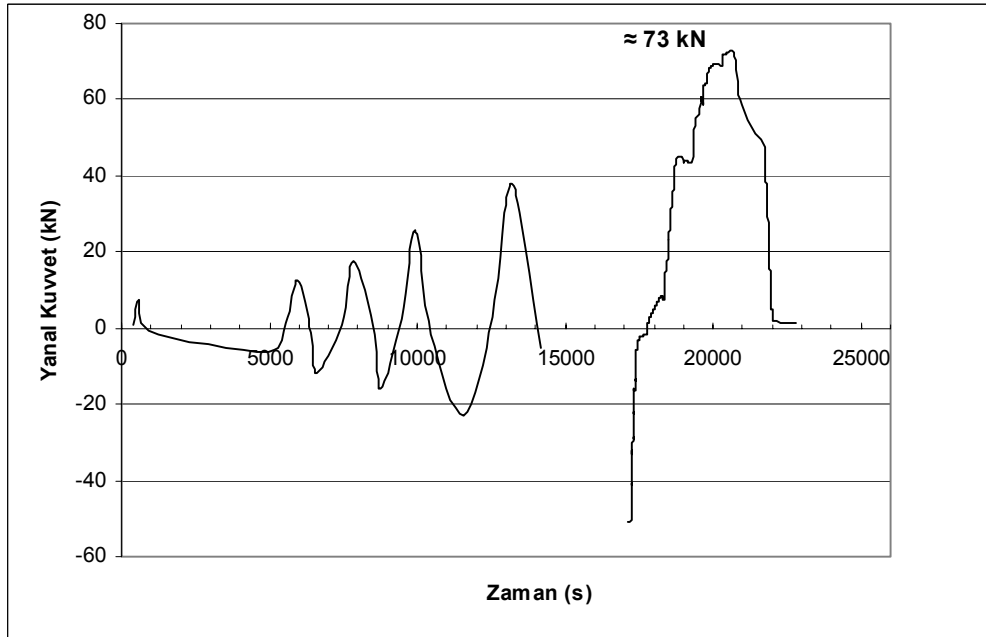
Şekil 5.13: Tip 2 numunesine ait eksenel kuvvet – zaman değişimi
(Sabit mesnet tarafı)

5.4.3. Yanal kuvvet – zaman değişimi

Tip 1 Numunesi kirişi temsil eden elemanın üst ucundan etkitilen yanal kuvvetin zamanla değişimi şekil 5.14 de gösterilmiştir. Tip 1 Numunesine şekilde de görüldüğü üzere verilen yanal kuvvet değeri 35 kN’a kadar yükselmiştir.



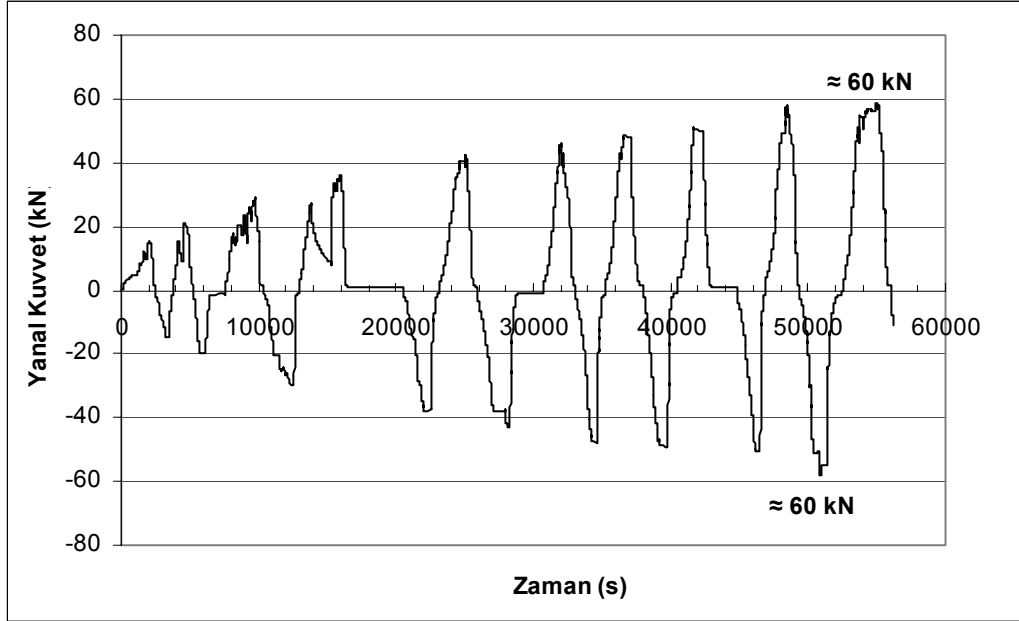
şekil 5.14: Tip 1 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi



şekil 5.15: GTip 1 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi

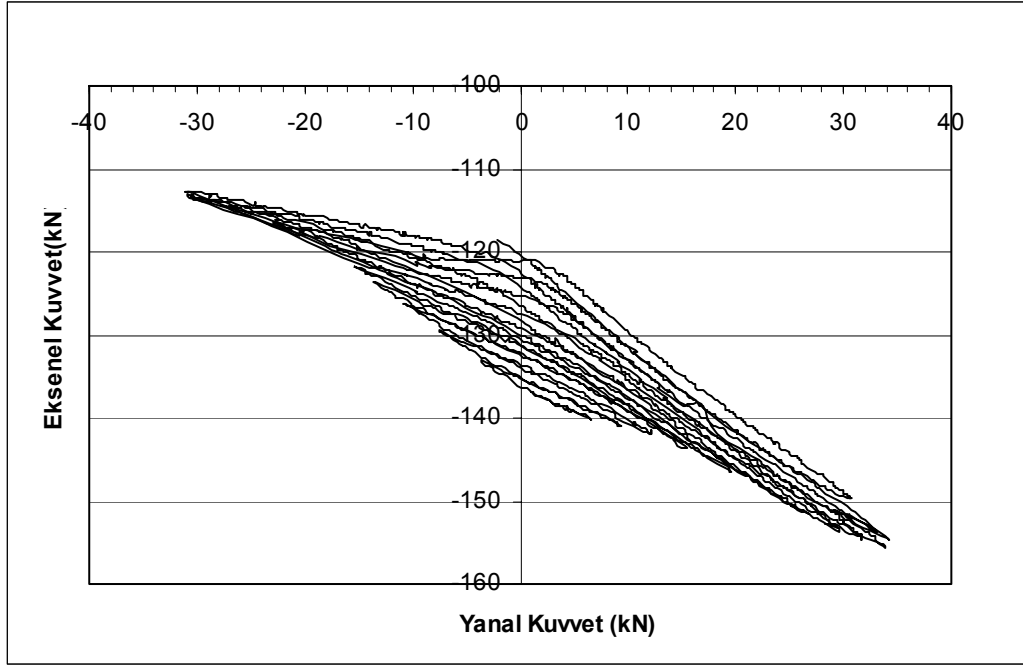
GTip 1 Numunesi kirişı temsil eden elemanın üst ucundan etkitilen yanal kuvvetin zamanla değişimi Şekil 5.15 de gösterilmiştir. GTip 1 Numunesine şekilde de görüldüğü üzere verilen yanal kuvvet değeri 73 kN'a kadar yükselmiştir.

Tip 2 Numunesi kirişı temsil eden elemanın üst ucundan etkitilen yanal kuvvetin zamanla değişimi Şekil 5.16 de gösterilmiştir. Tip 2 Numunesine şekilde de görüldüğü üzere verilen yanal kuvvet değeri 60 kN'a kadar yükselmiştir.

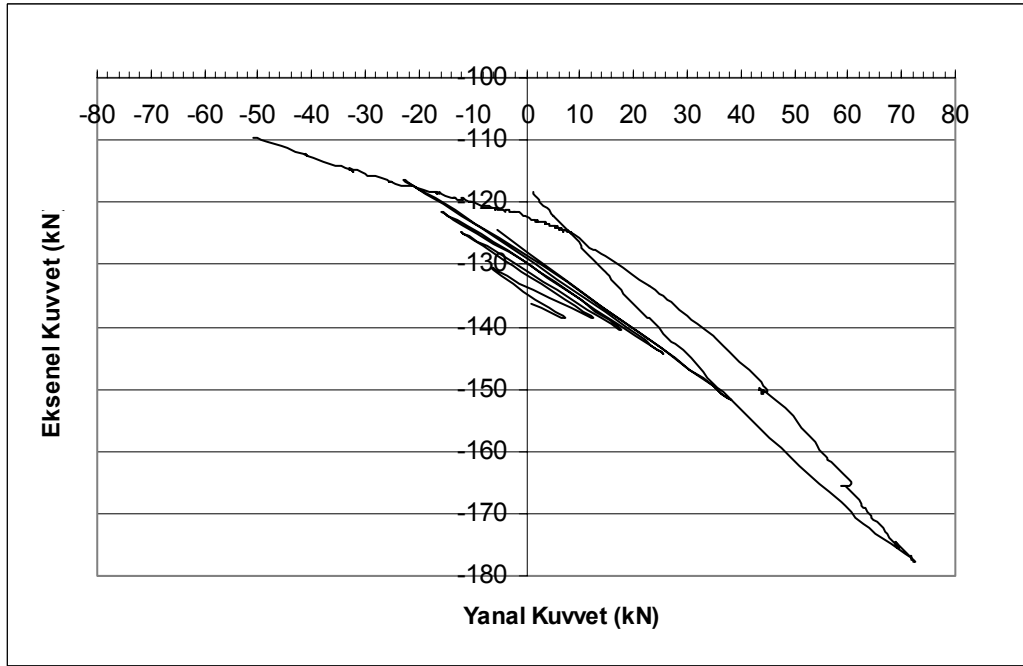


Şekil 5.16: Tip 2 numunesine ait yanal kuvvet-zaman değişimi

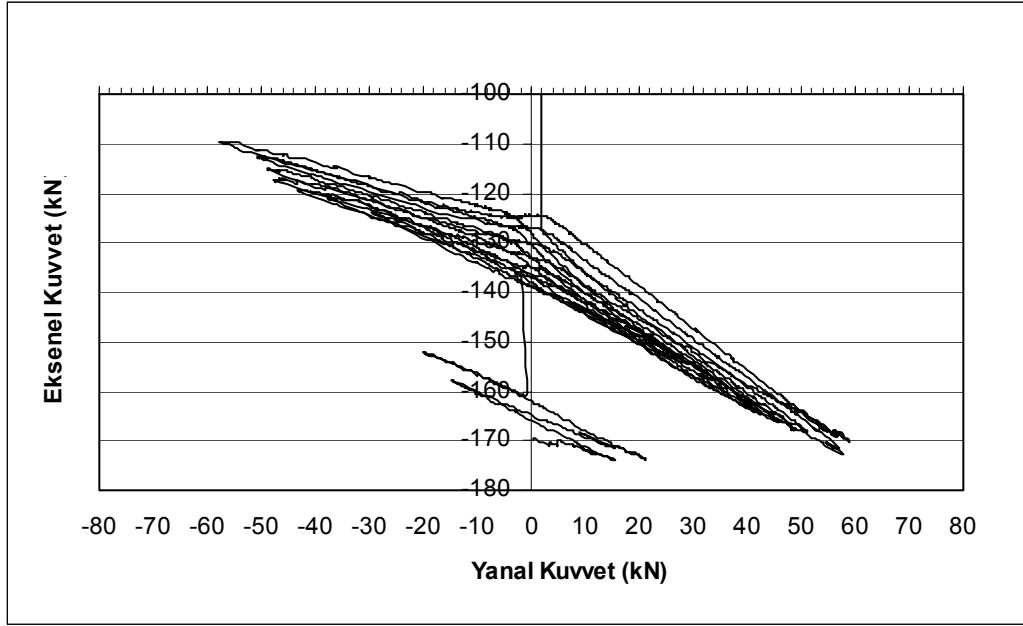
Tip 1, GTip 1 ve Tip 2 Numunelerine; kolonu temsil eden elemanın ucundan hidrolik jack ile verilen eksenel yük ile kirişı temsil eden elemanın ucundan verilen yanal kuvvet değişimlerini gösteren şekiller sırasıyla Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.17: Tip 1 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi



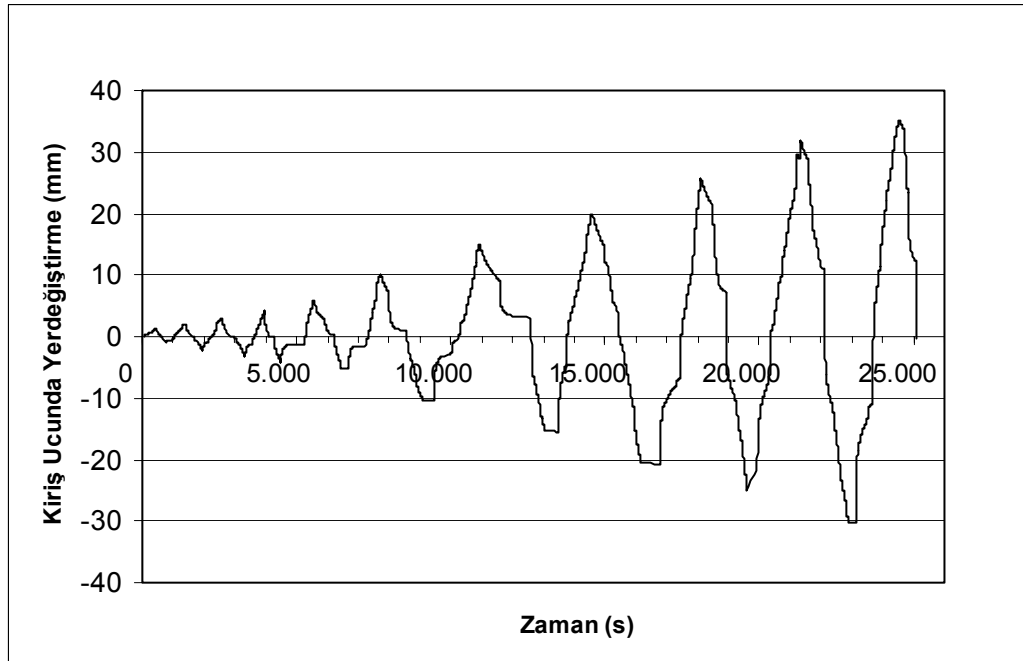
Şekil 5.18: GTip 1 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi



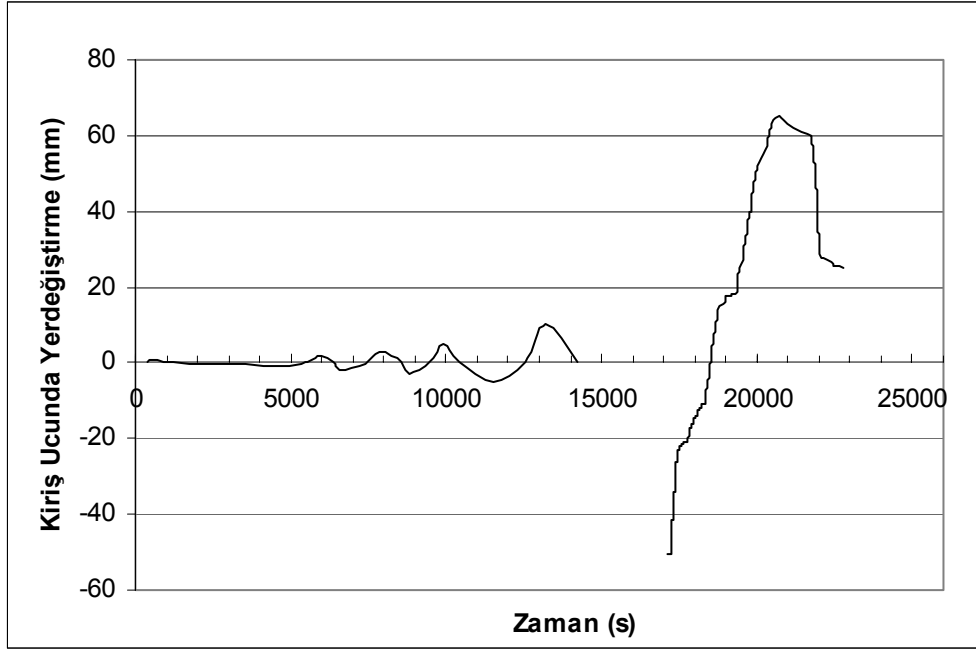
Şekil 5.19: Tip 2 numunesine ait eksenel kuvvet – yanal kuvvet değişimi

5.4.4. Kiriş ucu yer değiştirme – zaman değişimi

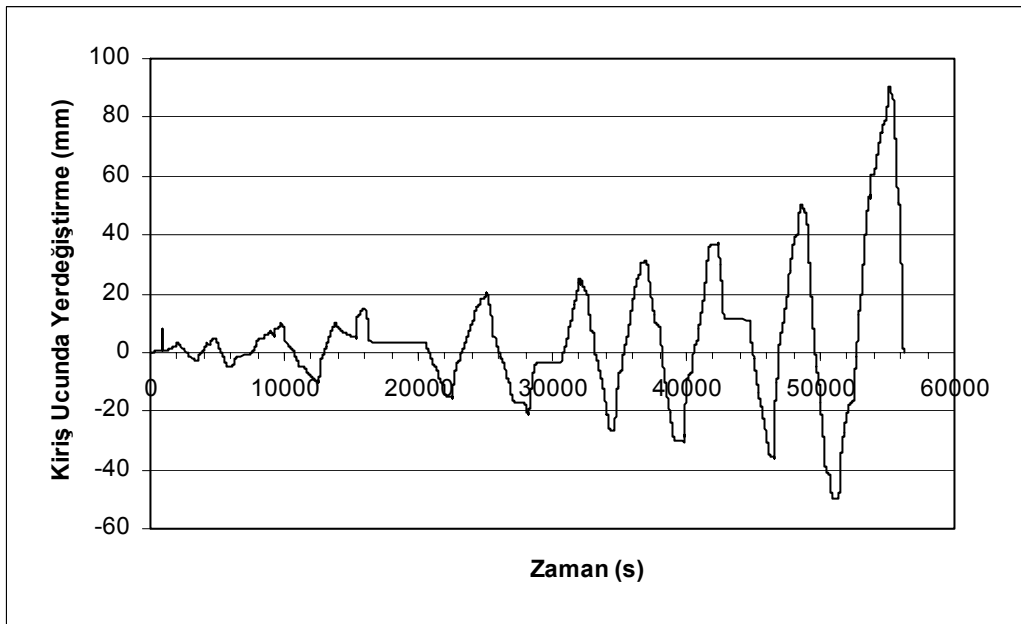
Tip 1 Numunesi kirişi temsil eden elemanın üst ucundan etkitilen yanal kuvvetin etkisiyle; kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi 35 mm'ye ulaştığı zamana kadar devam edilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20: Tip 1 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme-zaman değişimi



Şekil 5.21: GTip 1 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme -zaman değişimi

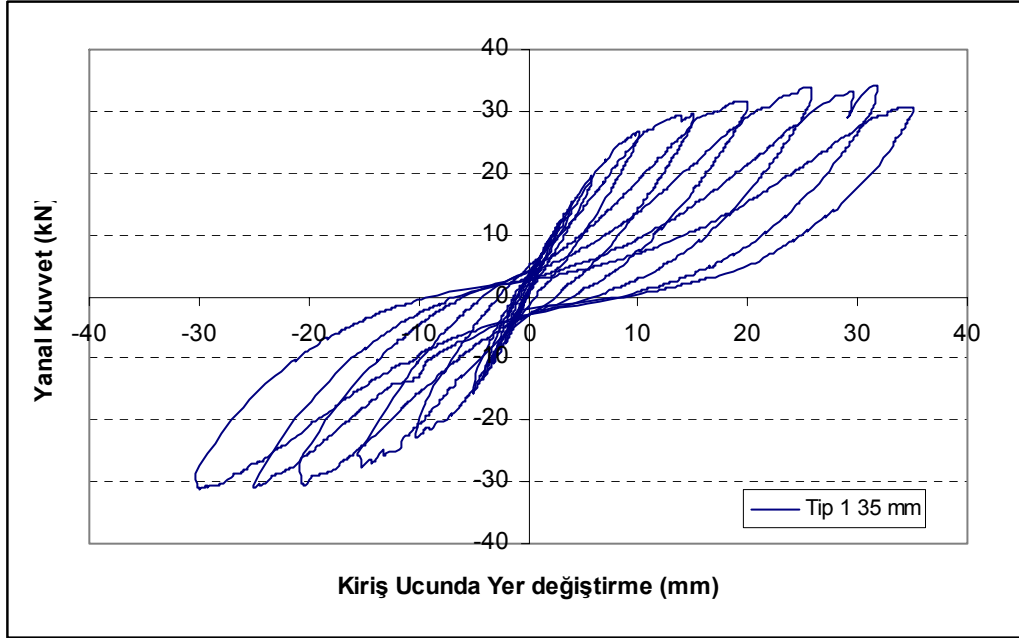


Şekil 5.22: Tip 2 numunesine ait kiriş ucu yer değiştirme-zaman değişimi

Tip 2 Numunesi kirişi temsil eden elemanın üst ucundan etkitilen yanal kuvvetin etkisiyle; kiriş uç kuvveti itme durumunda ve kiriş uç yer değiştirmesi çevrimsiz yapılan yükleme ile 90 mm'ye ulaştığı zamana kadar devam edilmiştir.(Şekil 5.22)

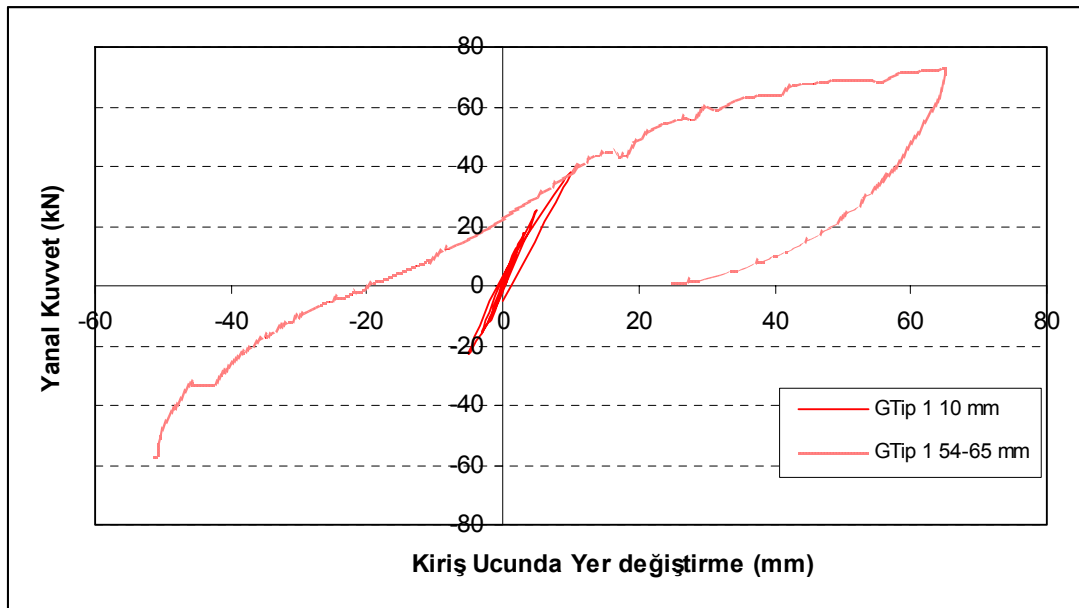
5.4.5. Yanal kuvvet –kiriş ucu yer değıştirme değışimi

Tip 1 Numunesi kirişı temsil eden elemanın maksimum uç yer değıştirme değeri 30,75 kN'luk yatay yükleme altında 35 mm olarak ölçölmüştür (Şekil 5.23).



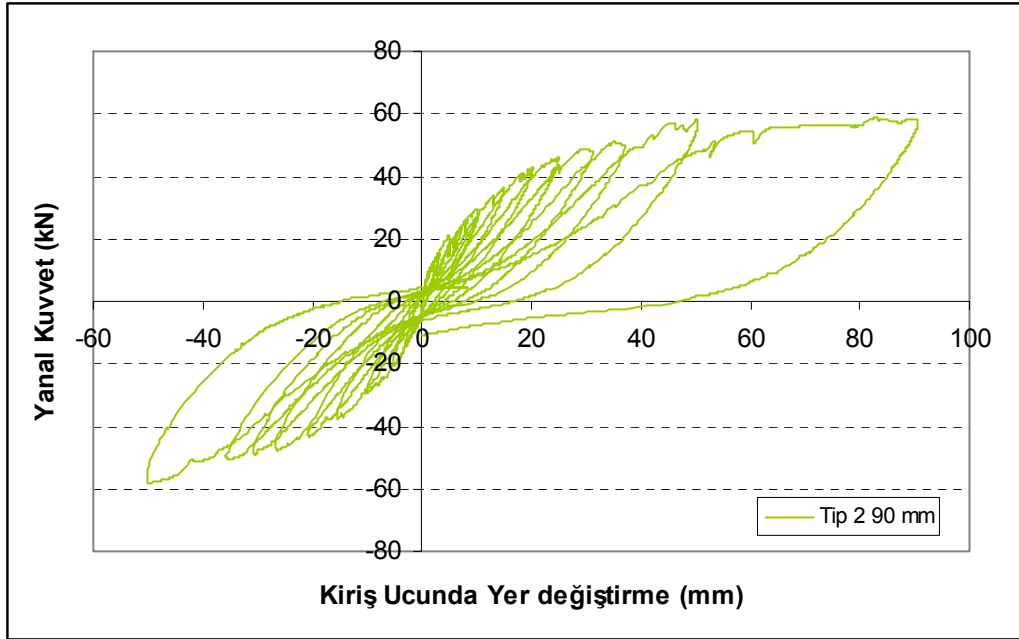
Şekil 5.23: Tip 1 numunesine ait yanal kuvvet-kiriş ucu yer değıştirme eğrisi

GTip 1 Numunesi kirişı temsil eden elemanın maksimum uç yer değıştirme değeri 72,52 kN'luk yatay yükleme altında 65 mm olarak ölçölmüştür (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: GTip 1 numunesine ait yanal kuvvet-kiriş ucu yer değıştirme eğrisi

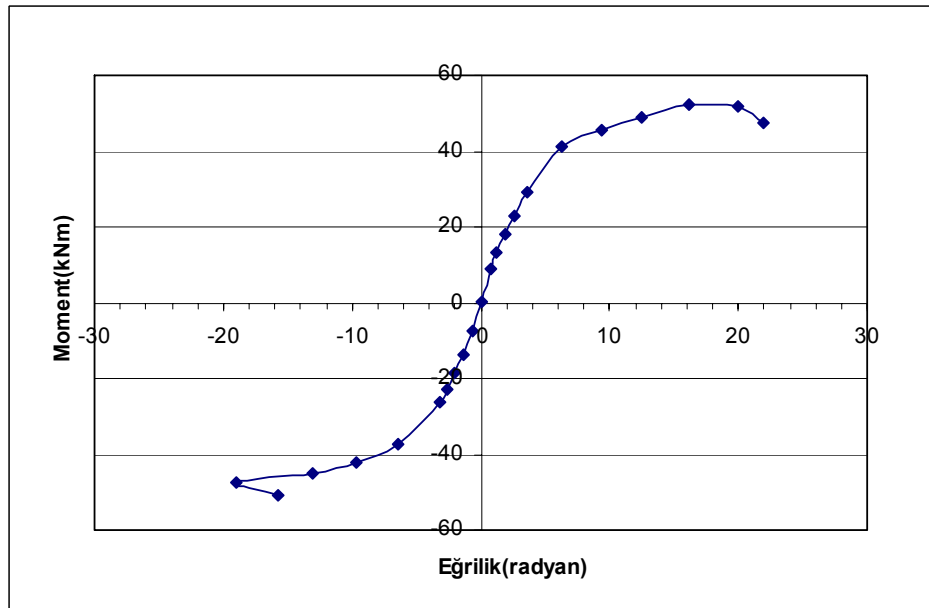
Tip 2 Numunesi kirişı temsil eden elemanın maksimum uç yer değıştirme değeri 57,58 kN'luk yatay yükleme altında 90 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.25).



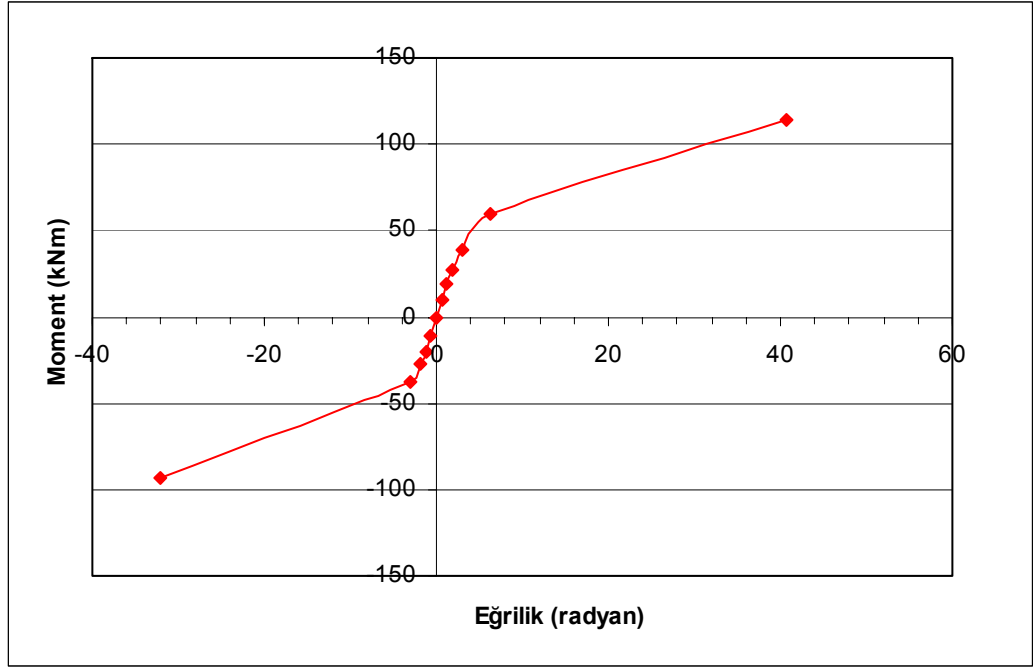
Şekil 5.25: Tip 2 numunesine ait yanal kuvvet-kiriş ucu yer değıştirme eğrisi

5.4.6. Moment – eğrilik diyagramı

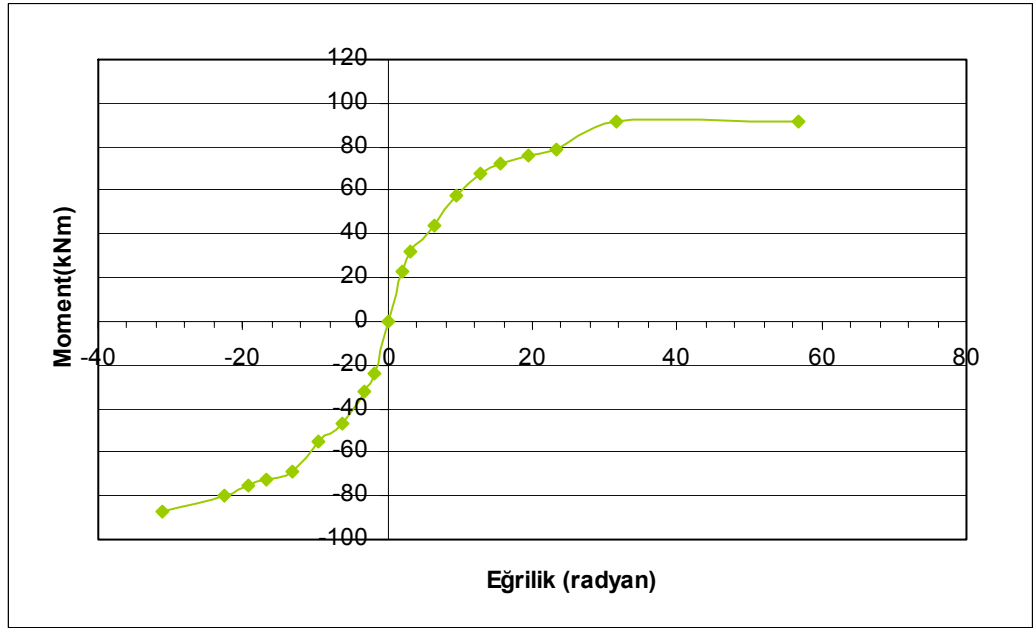
Tip 1, GTip 1 ve Tip 2 Numunelerinde kirişı temsil eden elemana uygulanan yatay tersinir yük sonucunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan moment ve kiriş dönme ilişkisi sırasıyla Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.26: Tip 1 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı



Şekil 5.27: GTip 1 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı



Şekil 5.28: Tip 2 numunesine ait moment - eğrilik diyagramı

5.4.7. Moment – plastik dönme diyagramı

Tip 1 ve Tip 2 Numunelerinde 162cm lik kirişi temsil eden elemanın yaklaşık 15 cm aşağısından, hidrolik piston ile kademeli olarak uygulanan tekrarlı yükleme sonucunda elde edilen yanal kuvvet – kiriş ucu yer değiştirme grafiklerindeki numunenin elastik davranış gösterdiği bölgedeki (her bir deneydeki 1. ve 2. histeresis

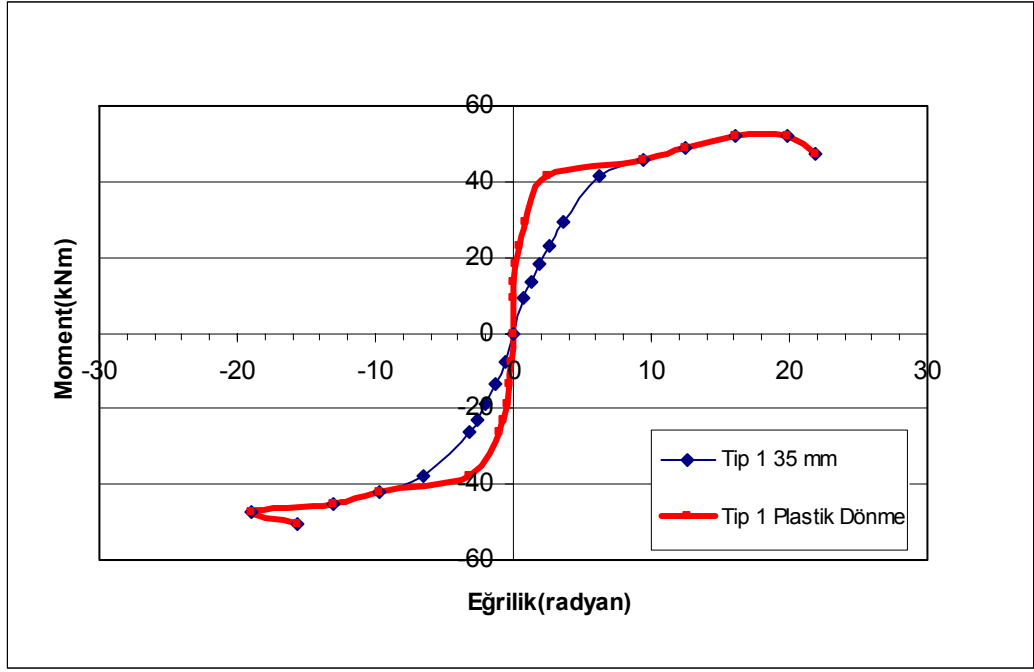
çevrimleri) tepe noktalarını birleştiren iki adet doğrunun eğiminin ortalaması alınarak kabul edilen eğimin hesaplanması sonucu numuneler ait rijitlikler ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tip 1 numunesi elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan ortalama eğrinin eğimi 4,41 kN/mm olarak kabul edilmiştir. Bu elastik rijitlik değeri kullanılarak elastik yer değiştirme hesaplanmıştır. Deney sırasında ölçülen yer değiştirme değerinden çıkartılarak plastik yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Plastik yer değiştirme ve yanal kuvvet değerleri birlikte değerlendirilerek Şekil 5.29’ da gösterildiği üzere moment – plastik dönme değişimi çizilmiştir.

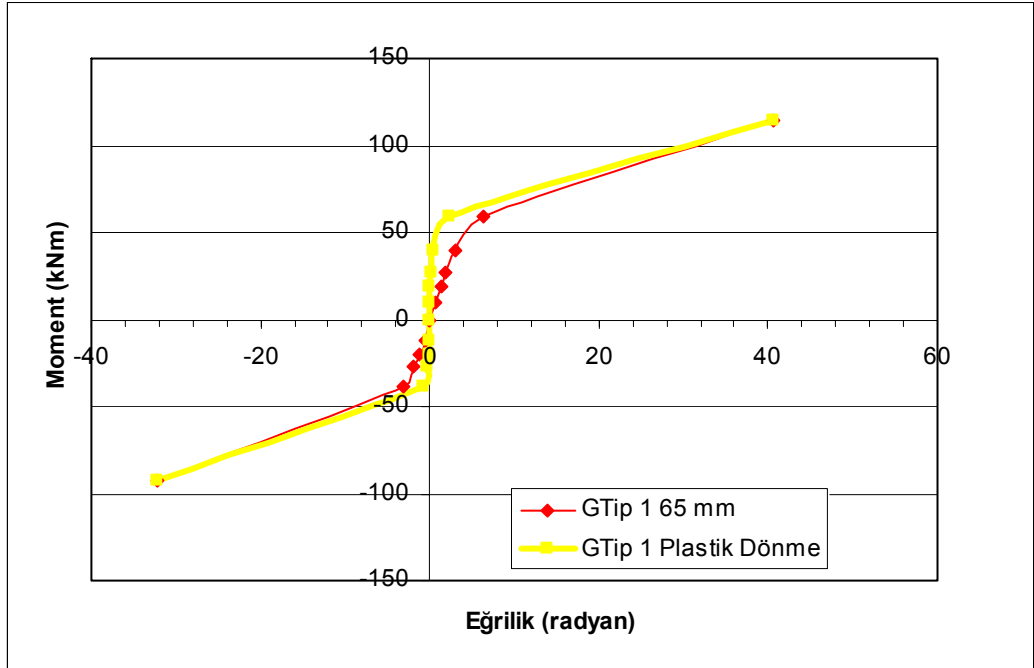
Tip 2 numunesi elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan ortalama eğrinin eğimi 4,42 kN/mm olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde plastik yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Plastik yer değiştirme ve yanal kuvvet değerleri birlikte değerlendirilerek Şekil 5.31’ de gösterildiği üzere moment – plastik dönme değişimi çizilmiştir..

GTip 1 Numunesi deney sırasında alınamayan okumalarından dolayı 162cm lik kiriş temsil eden elemanın yaklaşık 15 cm aşağısından, hidrolik piston ile kademeli olarak uygulanan tekrarlı yükleme sonucunda elde edilen yanal kuvvet – kiriş ucu yer değiştirme grafiklerindeki numunenin 1. histeresis çevrimi(çıkış eğimi) tepe noktalarını birleştiren doğrunun eğimi alınarak numuneye ait rijitlik hesaplanmıştır.

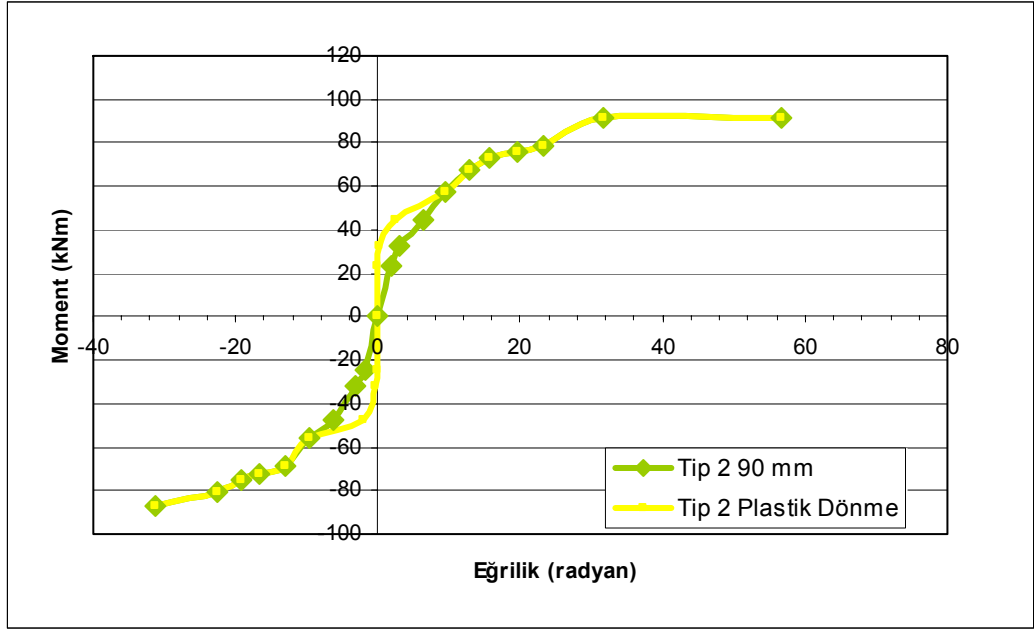
GTip 1 numunesi elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan ortalama eğrinin eğimi 6,06 kN/mm olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde plastik yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Plastik yer değiştirme ve yanal kuvvet değerleri birlikte değerlendirilerek Şekil 5.30’ da gösterildiği üzere moment – plastik dönme değişimi çizilmiştir.



Şekil 5.29: Tip 1 Numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı



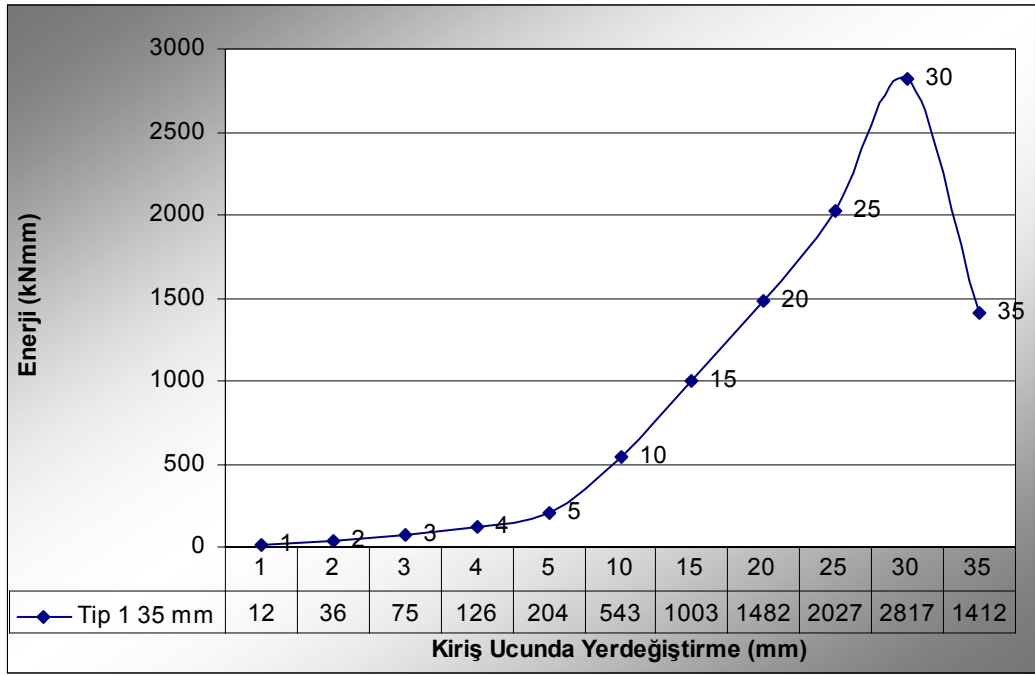
Şekil 5.30: GTip 1 numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı



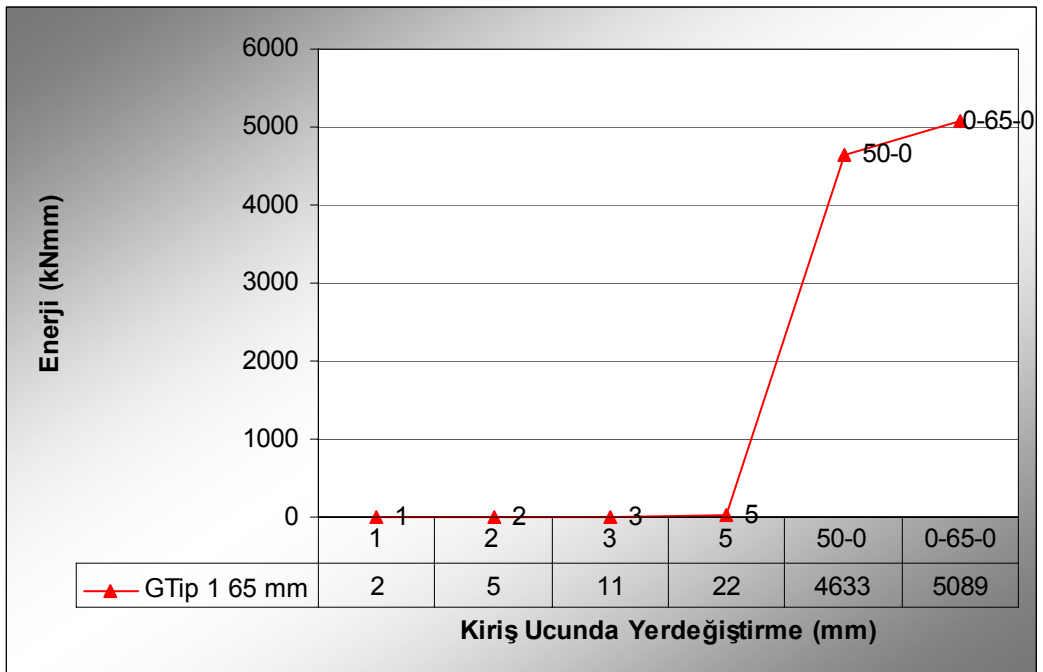
Şekil 5.31: Tip 2 numunesine ait moment –dönme ve moment-plastik dönme diyagramı

5.4.8. Enerji - kiriş ucu yer değiştirme diyagramı

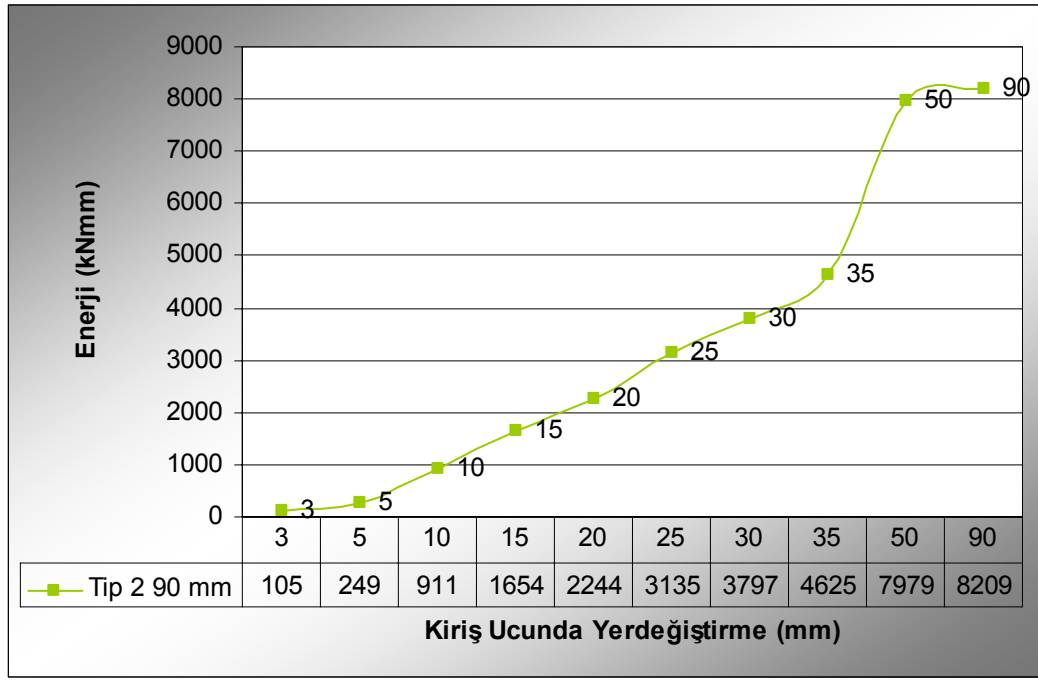
Tip 1, GTip 1 ve Tip 2 Numunelerinin enerji dönüştürme kapasiteleri, döngüsel yüklemeler ile elde edilen yanal kuvvet - kiriş ucu yer değiştirme zarf grafiğinin her bir çevrim altında kalan alanın hesaplanması ile sırasıyla Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de gösterildiği üzere bulunmuştur.



Şekil 5.32: Tip 1 numunesine ait enerji-kiriş ucu yer değiştirme diyagramı



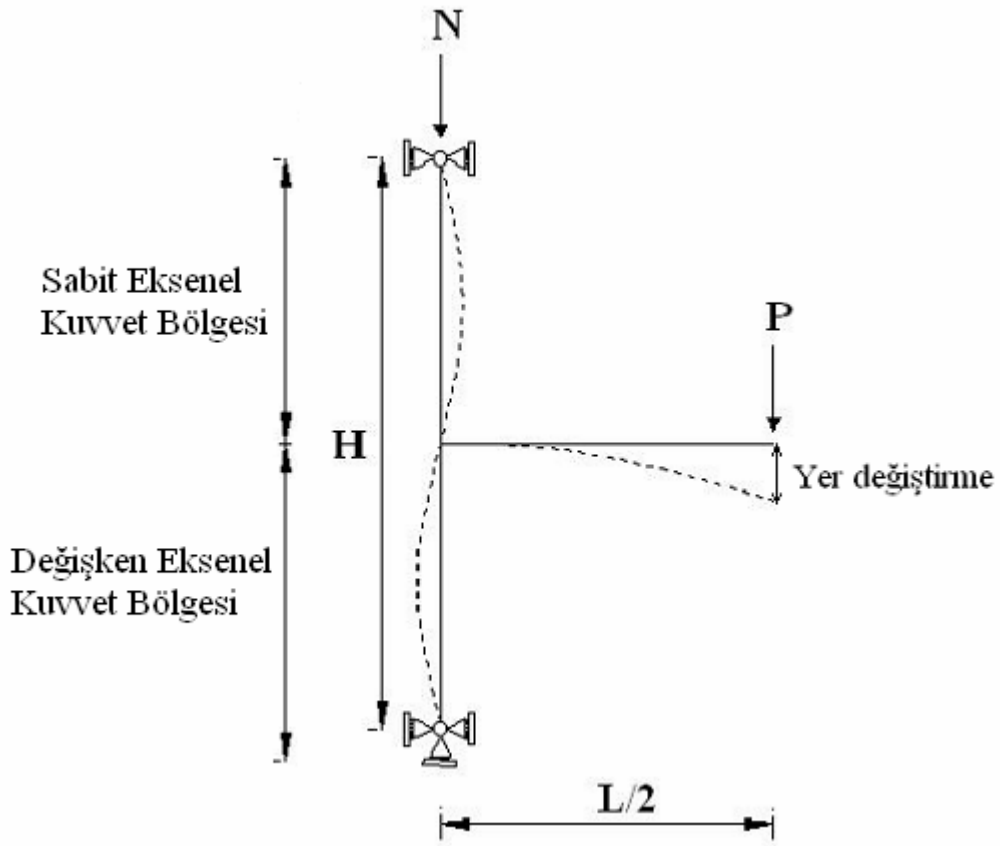
Şekil 5.33: GTip 1 numunesine ait enerji-kiriş ucu yer değiştirme diyagramı



Şekil 5.34: Tip 2 numunesine ait enerji-kiriş ucu yer değıştirme diyagramı

6.BETONARME HESAPLAR

Kolon kirişin birleşimi kesit hesaplarında taşıma gücü hesap esaslarına dayanılarak klasik kesit hesabı yapılmıştır. Kesitlerin kapasite hesaplarında; beton ve çelik için malzeme karakteristik gerilmeleri kullanılmıştır. Düzeneğe ait çubuk sistem modeli Şekil 6.1 görülmektedir.



Şekil 6.1: Numune çubuk sistem modeli

TS 500, betonun elastisite modülü ve Poisson oranı için 6.1 ve 6.2 denklemlerini öngörmektedir. TS500’de elastisite modülü için verilen bu formülasyon C14 ve üstü mukavemet değerlerine sahip betonlarda uygulanabilir. Fakat bu tez çalışmasında hesaplarda kolaylık sağlaması açısından bu formülasyondan elde edilen değer elastisite modülü olarak kabul edilmiştir.

- **Elastisite Modülü**

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (6.1)$$

E_{cj} : j günlük Elastisite Modülü

f_{ckj} :j günlük betonun karakteristik basınç dayanımı

- **Poisson Oranı**

$$\mu_c = 0.2 \quad (6.2)$$

Silivri Bil İnşaat Ltd. Şti.'nde dökülen numunelerin her biri için altışar adet alınan test küpleri yine aynı yerdeki laboratuarlarda 28. günlerinde kırılmıştır. Küp numuneleri sonuçları, silindir basınç dayanım değerlerine dönüştürülerek hesaplarda aşağıdaki değerleri ile kullanılmıştır.

Tip 1 Numunesi $f_{ck} = 6,84 \text{ MPa}$

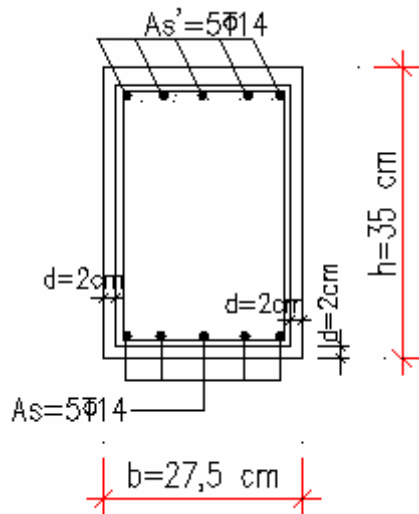
Denklem (6.1) 'den Tip 1 numunesinin Elastisite Modülü, 22.500 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tip 2 Numunesi $f_{ck} = 18,13 \text{ MPa}$

Denklem (6.1) 'den Tip 2 numunesinin Elastisite Modülü 27.482MPa olarak hesaplanmıştır.

6.1 Tip 1 Numunesi Betonarme Hesapları

6.1.1 Tip 1 numunesi kiriş moment kapasitesi



Beton karakteristik silindir basınç mukavemeti: 6,84 MPa

$f_{ck} = 6,84 \text{ MPa}$

S420

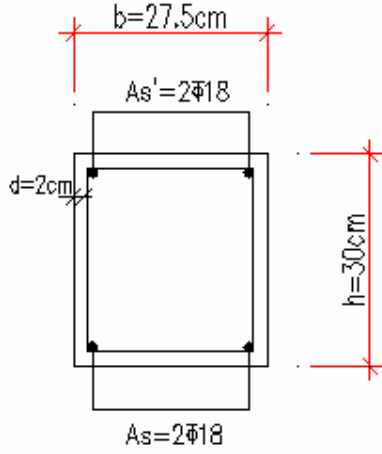
$f_{yk} = 420 \text{ MPa}$

$A_s = A_s' = 7,70 \text{ cm}^2$

Şekil 6.2: Tip 1 numunesinin kiriş kesiti

Yapılan betonarme hesapları sonucunda; eksenel kuvveti olmayan kirişin moment kapasitesi $M_{ri} = 100,57 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur.

6.1.2 Tip 1 numunesi kolon moment kapasitesi



Beton karakteristik silindir basınç mukavemeti:

6,84 MPa

$f_{ck} = 6,84 \text{ MPa}$

S420

$f_{yk} = 420 \text{ MPa}$

$A_s = A_s' = 5,09 \text{ cm}^2$

Şekil 6.3: Tip 1 numunesi kolon kesiti

Yukarıda kesiti ve malzeme özellikleri verilen kolonun dengeli kırılma durumu için;

$$N_b = 223,84 \text{ kN}$$

$M_b = 73,5 \text{ kNm}$ olarak hesaplanmıştır.

N_d : Kolonun eksenel yükü;

Deney sırasında verilen eksenel yük $\Rightarrow 137 \text{ kN}$

$N_d = 137 \text{ kN} < N_b = 223,84 \text{ kN}$ olduğundan çekme kırılması oluşacaktır.

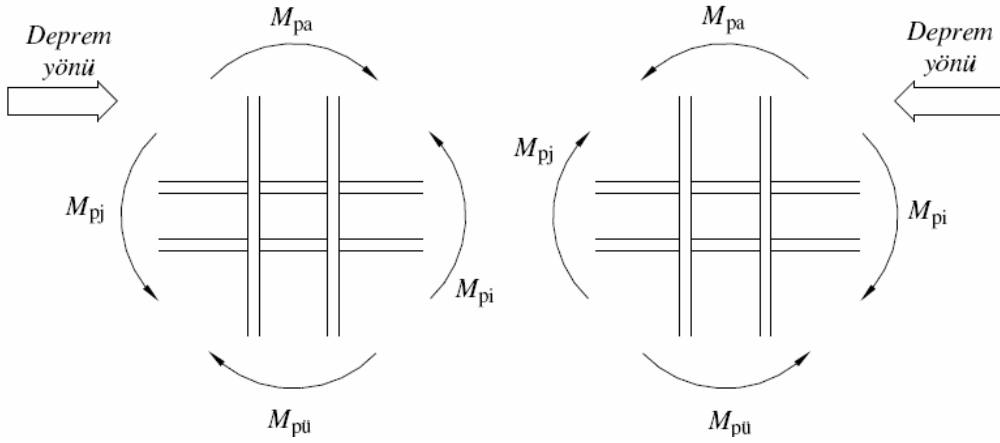
DBYBHY-2007 'e “Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu” maddesine göre;

Düğüm noktasına birleşen kolonların her ikisinde de $N_d \leq 0,10 A_c f_{ck}$ olması durumunda;

Denklem 6.3'ün sağlanması zorunlu değildir.

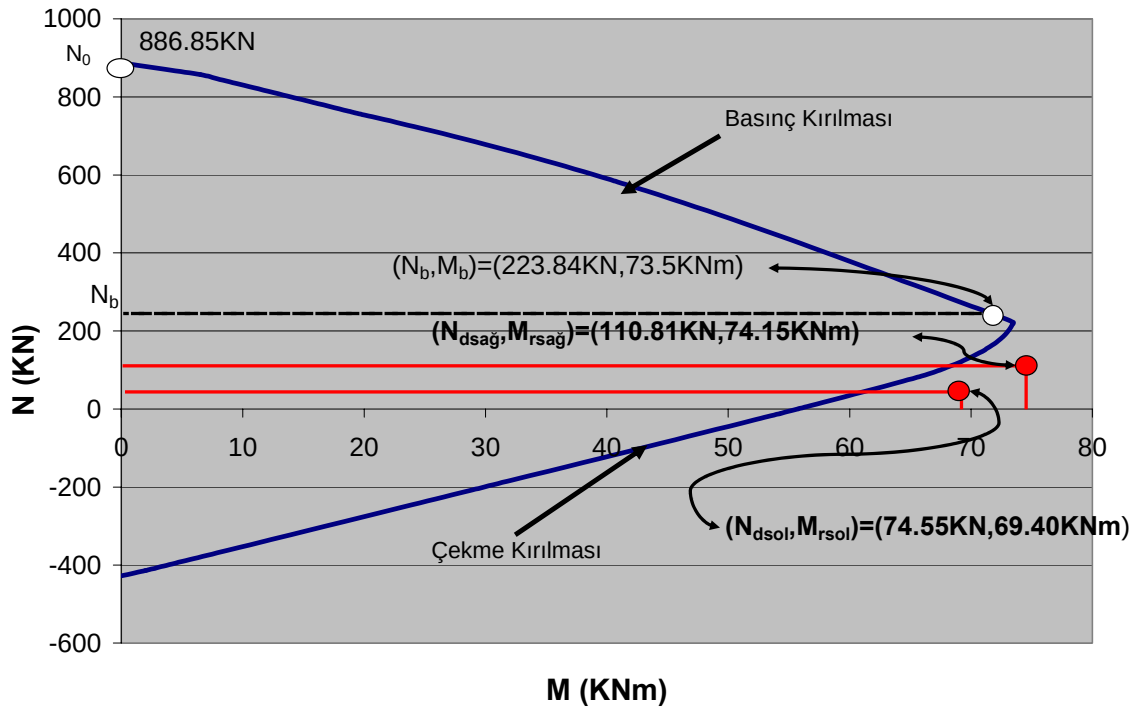
$$(M_{ra} + M_{ri}) \geq 1,2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (6.3)$$

Yukarıda simgelenen kolon ve kiriş taşıma gücü momentlerin hesaplanmasında DBYBHY-2007 'de Şekil 6.4 'de olduğu üzere tanımlanan yerleşim kullanılır.



Şekil 6.4: Kolon – kiriş birleşim bölgesi moment dağılımı

Betonarme kesitlerin M-N etkileşim diyagramları için Ersoy ve Özcebe (2001) tarafından hazırlanan elektronik hesap tabloları kullanılmıştır. Deney sırasında uygulanan yanal kuvvet nedeni ile değişen eksenel kuvvet değerleri ve bu kuvvetlere karşı gelen moment değerleri Şekil 6.5’de verilmektedir.



Şekil 6.5: Tip 1 numunesi normal kuvvet – moment diyagramı

Max Yanal yük uygulandığı sırada $\Rightarrow$ Deneyde verilen max.

Yanal yük = 36,26 kN

Max Yanal yük uygulandığı sırada $\Rightarrow$ Deneyde var olan

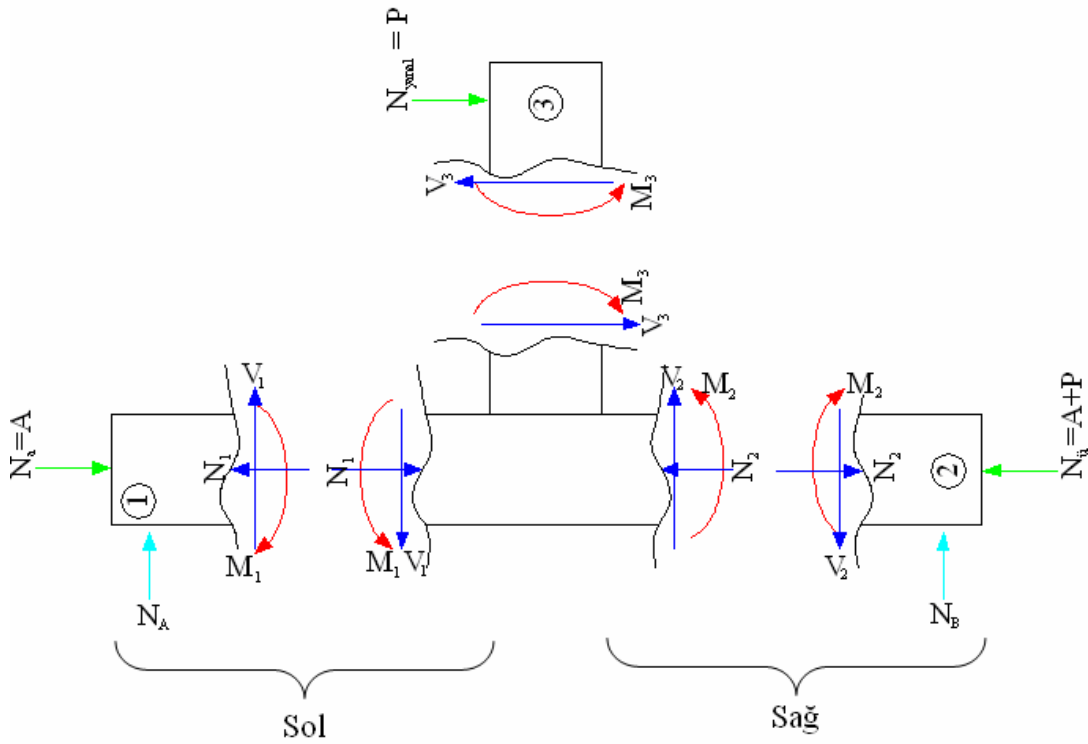
Eksenel Kuvvet = 110,815 kN

$N_d = 137\text{kN} > 0,10 A_c f_{ck} = 56,43\text{kN}$ olduğundan Denklem 6.3 geçerlidir.

$$N_{dsol} = 110,81 - 36,26 = 74,55\text{kN} \quad , \quad M_{rsol} = 69,4 \text{ kNm}$$

$$N_{dsağ} = 110,81\text{kN} \quad , \quad M_{rsağ} = 74,15\text{kNm}$$

$$M_{ri} = 100,57 \text{ kNm}$$



Şekil 6.6: Kolon – kiriş yük uygulama düzeni

Denklem 6.3'den;

$$M_{rsol} + M_{rsağ} = 69,4 + 74,15 = 143,55\text{kNm}$$

$$1,2(M_{ri} + M_{rj}) = 1,2(M_{ri}) = 1,2(100,57) = 120,684\text{kNm}$$

$$(M_{rsol} + M_{rsağ}) = 143,55\text{kNm} > 1,2(M_{ri}) = 120,684\text{kNm}$$

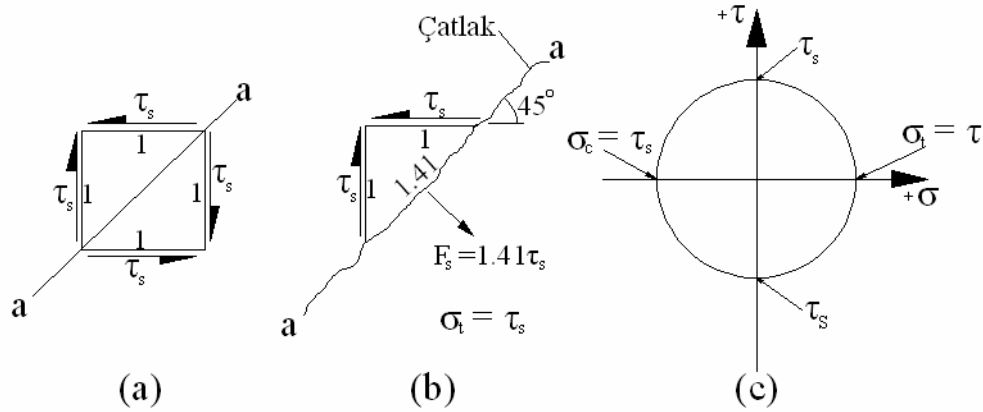
olduğundan Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriştir.

Hasarın sünek bölgelerde olması ve yapının stabilitesinin olumsuz etkilenmemesi zorunludur. Plastik mafsal oluşumu kirişlerde oluşmamalı, kolonlarda ise kesinlikle oluşmamalıdır. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş bunu sağlamaya yöneliktir. Kırılma eğilme ile oluşmalıdır.

Gövde donatısı ancak eğik kesme çatlağı oluşuktan sonra çalışmaya ve etkili olmaya başlamaktadır. Kirişte eğik kayma çatlağının ilerleyerek kırılmaya yol açması etriyeler tarafından durdurulmaktadır. Kayma çatlağının kestiği etriyelerde akma oluşmaktadır (Celep ve Kumbasar,1998).

6.1.3 Tip 1 numunesi kesme etkisi

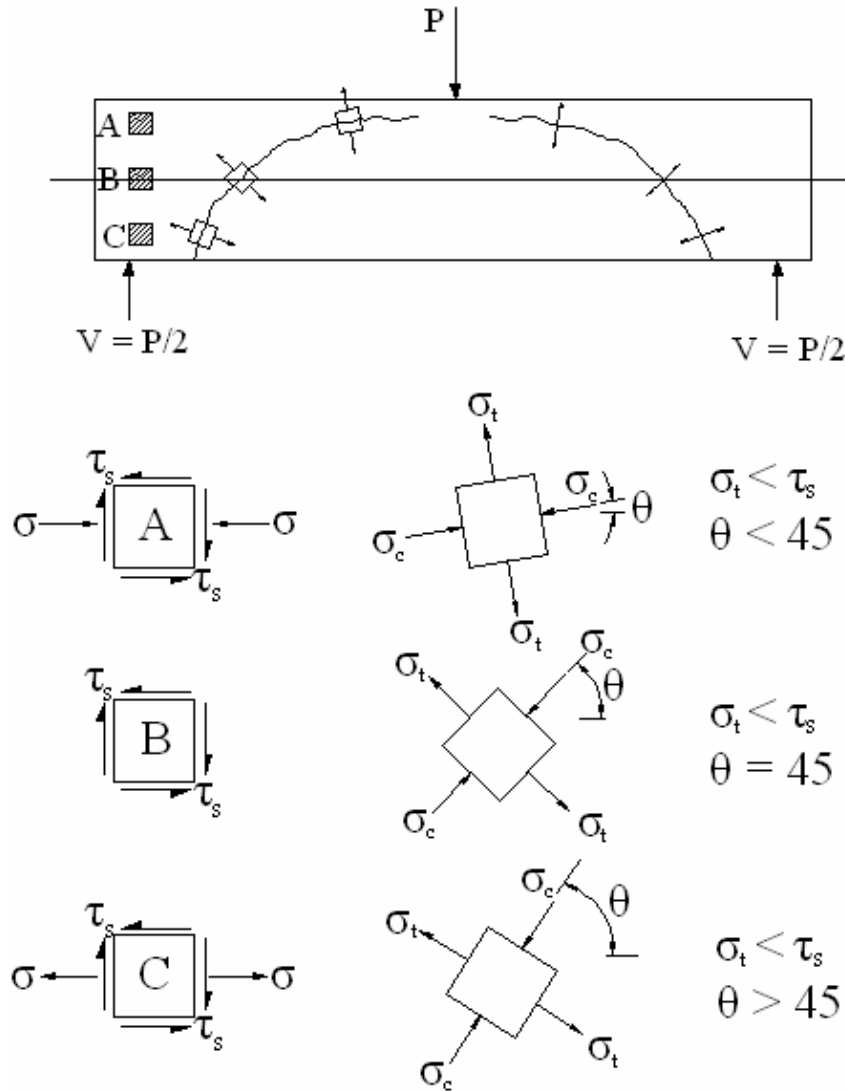
Ersoy ve Özcebe (2001) de işaret edildiği üzere betonun kesme ve basınç dayanımı, çekme dayanımından yüksek olduğundan basit kesme durumunda bile kırılma, asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşur. Bu durum Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Basit kesme durumunda, asal çekme ve asal basınç gerilmeleri kesme gerilmesine eşit olacağından kırılma, en düşük dayanım olan çekme nedeni ile oluşacaktır. Asal çekme gerilmeleri, kesme gerilmelerinin etkidiği yüzeye 45° lik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyeceğinden, kırılma asal çekme gerilmelerine dik yönde eğik bir çatlakla meydana gelecektir(Şekil 6.7.b). Asal çekme gerilmelerinden oluşan bu tür bir çatlama, "eğik çatlak", buna neden olan asal gerilme de, "eğik çekme" olarak adlandırılır.



Şekil 6.7: Basit kesme altında asal gerilmeler (Ersoy ve Özcebe ,2001)

Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşan bu tür eğik çatlaklar son derece tehlikelidir ve gevrek kırılmaya neden olabilirler. Kesme ile birlikte normal gerilmelerin etkidiği durumlarda eğik çatlağın eğimi, asal çekme gerilmelerinin yönüne bağlıdır. Alttaki şekilde de simetrik

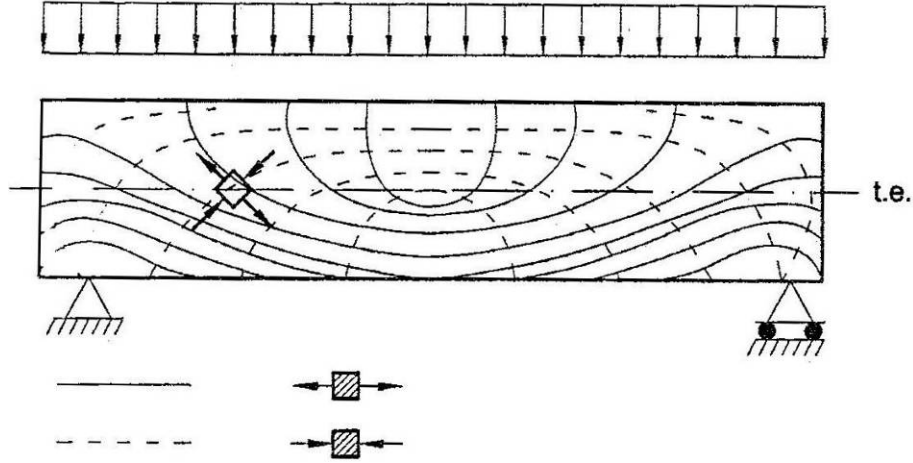
yüklenmiş bir betonarme kiriş gösterilmiştir. Tarafsız eksen, tarafsız eksenin üstü ve tarafsız eksenin altında kalan ve A, B, C olarak işaretlenen üç elemana etkiyen gerilmeler ile bu gerilmelerin oluşturduğu asal gerilmeler, Şekil 6.8 de ayrı ayrı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tarafsız eksen düzeyinde normal gerilmeler sıfır olduğundan, çatlama kiriş eksenine 45° lik bir açıda oluşmaktadır. Normal gerilmelerin varlığı, hem asal çekme gerilmelerinin büyüklüğünü hem de eğimini etkilemektedir. Çatlama, asal çekme gerilmelerine dik yönde olduğundan, Şekil 6.8' de de gösterildiği gibi kirişin alt yüzünden üst yüzüne doğru uzayan eğik çatlağın eğimi azalmaktadır.



Şekil 6.8: Asal gerilmelerin yönü (Ersoy ve Özcebe ,2001)

Eksenine dik yönde yüklenmiş bir betonarme kirişte asal çekme ve asal basınç gerilmelerinin eğimi, kesme gerilmelerinin normal gerilmelere oranına bağlıdır. Normal gerilmeler tarafsız ekseninde sıfır, altında ve üstünde ise momentin önüne bağlı olarak, basınç veya çekme olabilir.

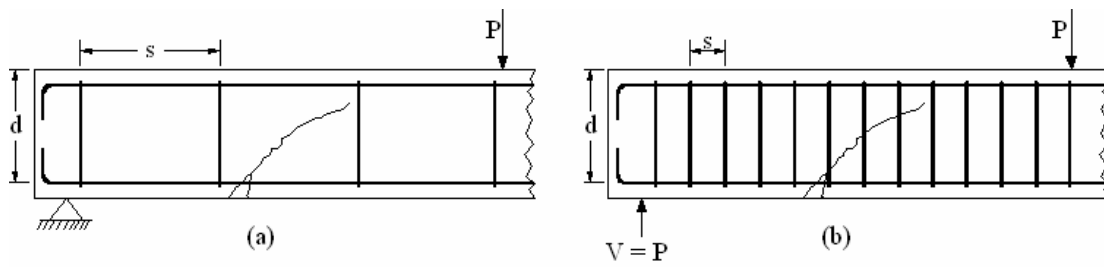
Düzgün yayılı yük taşıyan basit mesnetli bir kirişte oluşan, çekme ve basınç gerilmelerinin yönü Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Sürekli çizgiler, asal çekme, kesik çizgiler ise asal basınç gerilmelerinin yönünü belirlemektedir. Bu eğriler, eşgerilme eğrileri olarak adlandırılabilir. Çatlağın asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşacağı anımsanırsa, eşgerilme eğrilerinden çatlak geometrisi ve eğimi kolayca kestirilebilir.



Şekil 6.9: Kirişte oluşan eşgerilme değerleri (Ersoy ve Özcebe ,2001)

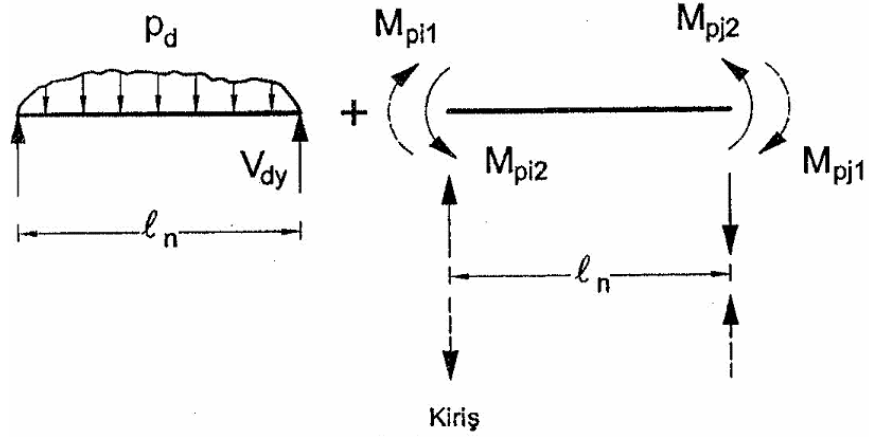
Kesme donatısının temel işlevi; elemanın gevrek olan kesme kırılmasını önleyerek, eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır.

Kesme donatılı bir kiriş; başta kesme donatısız kiriş gibi davranır. Eğik çatlakların oluşması ile çatlakla kesişen etriyelerde büyük gerilmeler oluşmaktadır. Etriyeler çok seyrek olduğunda; çatlak hiçbir etriye ile kesişmeyeceğinden, etriyelerin hiçbir yararı olmayacaktır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10: Etriye aralığının önemi (Ersoy ve Özcebe ,2001)

- Kirişlerin Kesme Güvenliği



Şekil 6.11: DBYBHY-2007'ye göre kirişlerin kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler

$$M_{ri} = M_{rj} = 100,57 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = M_{pj} = 1,4M_{ri} = 1,4M_{rj} = 1,4(100,57) = 140,80 \text{ kNm}$$

V_{dy} : Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti

Duvar ve döşeme gibi kirişe yük aktaran yapı elemanları olmadığından; bu yapı elemanlarından kaynaklanan sabit ve hareketli yük bu numunelerde yoktur. Düzenegün kurulumundan dolayı kirişin kendi öz ağırlığı da yoktur.

DBYBHY-2007 'de;

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \quad (6.4)$$

$$l_n = 1,45 \text{ m}$$

$$V_e = (140,80) / 1,45 \cong 100 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,22 A_w f_{cd} = 0,22(0,684)(35 \times 27,5) = 144,84 \text{ kN} \quad (6.5)$$

$$V_e \leq V_r \quad (6.6)$$

$$V_e \leq 0,22 b_w f_{cd} d \quad (6.7)$$

$$V_e = 100 \text{ kN} < V_r = 0,22 b_w f_{cd} d = 144,84 \text{ kN}$$

Bu örnekte depremi temsil eden deney yükünün oluşturduğu moment; sağ ve sol kolonlara eşit olarak dağıtılır. Bu momente karşılık gelen kolon kesme kuvveti hesaplanır.

Max Yanal yük uygulandığı esnada $\Rightarrow$ Deneyde verilen max.

Yanal yük = 36,26 kN

$$M_{\text{yanal yük}} = 36,26 \times (1,45 - 0,15 + 0,15) = 52,57 \text{ kNm}$$

Bu momenti iki kolona paylaştırırsak;

$$V_d = \frac{1}{2} \times \frac{52,57}{(3,70 - 0,35)/2} = 15,69 \text{ kN}$$

Kiriş sarılma bölgelerinde enine donatının hesabında, TS 500 ve DBYBHY-2007 birlikte değerlendirildiğinde;

$V_e - V_{dy} \geq 0,5V_d$ olması durumunda, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e - V_{dy} \geq 0,5V_d \quad (6.8)$$

$100 \geq 0,5(15,69)$ olmalıdır.

$100 \text{ kN} > 7,85 \text{ kN}$ olduğundan betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edilir.

TS 500 Kesme Dayanımı ilkelerine göre;

$$V_r = V_c + V_w \quad (6.9)$$

$$V_c = 0$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{2 \times 0,5}{8} 42(33) = 173,25 \text{ kN} \quad (6.10)$$

$$V_r = 0 + 173,25 = 173,25 \text{ kN}$$

$$V_r = 173,25 \text{ kN} > V_d = 15,69 \text{ kN}$$

Yüksek asal basınç gerilmeleri nedeni ile gövde betonunun ezilmesini engellemek amacıyla, hesap kesme kuvveti aşağıda gösterildiği gibi sınırlanmıştır.

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad (6.11)$$

koşulunu sağlamalıdır.

Mevcut etriye $\phi 8$ 'dir.

$$f_{ctd} = 0,35 \sqrt{f_{cd}} = 0,35 \sqrt{0,684} = 0,29 \text{ kN/cm}^2 \quad (6.12)$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \Rightarrow \frac{2 \times 0,50}{s} \geq 0,3 \frac{0,29}{42} 27,5 \quad (6.13)$$

$$\frac{1}{s} \geq 0,057 \Rightarrow s \leq 17 \text{ cm} \quad (6.14)$$

olmalıdır.

Fakat numunedeki kiriş orta bölgesinde mevcut donatı $\phi 8/8'$ dir. Bu durumda bu bölgede etriye yeterlidir.

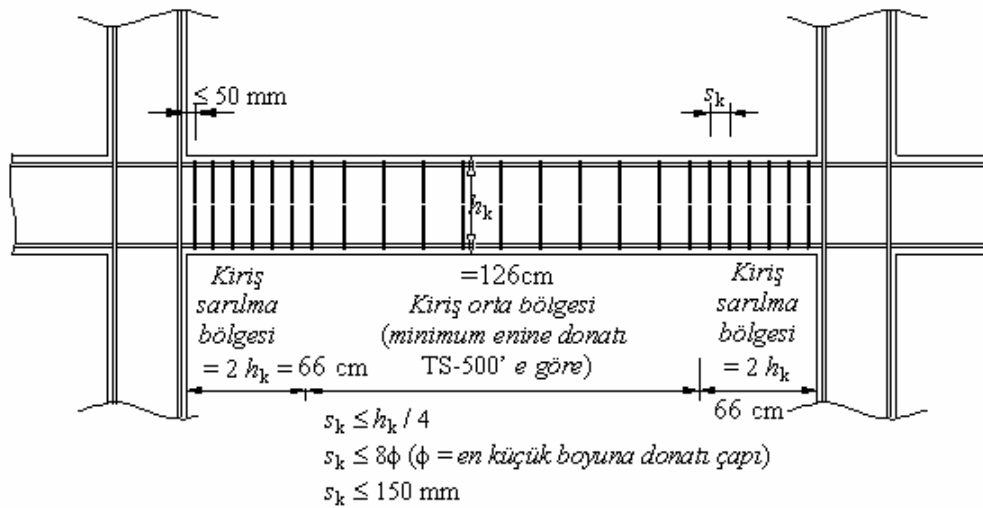
$$\text{Sarıлма bölgesinde; } s_k \leq 15 \text{ cm} \quad (6.15)$$

$$s_k \leq \frac{d}{4} = \frac{33}{4} = 8,25 \text{ cm} \quad (6.16)$$

$$s_k \leq 8\phi_l = 8.1,4 = 11,2 \text{ cm} \quad (6.17)$$

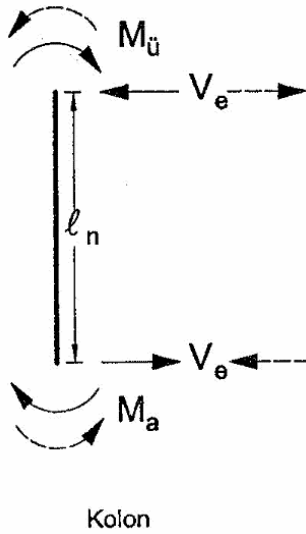
Sarıлма bölgesinde orta bölge ile

aynı olup; $\phi 8/8$ yeterlidir.



Şekil 6.12: DBYBHY-2007'ye göre kirişlerin donatı detayı

- Kolonların Kesme Güvenliği



DBYBHY-2007'e göre;

$$M_{rsol} = 69,40 \text{ kNm}$$

$$M_{rsağ} = 74,15 \text{ kNm}$$

$$M_{sol} = M_{psol} = 1,4M_{rsol} = 97,16 \text{ kNm}$$

$$M_{sağ} = M_{psağ} = 1,4M_{rsağ} = 103,81 \text{ kNm}$$

Şekil 6.13: DBYBHY-2007'ye göre kolonların kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler

$$V_e = (M_{sol} + M_{sağ}) / l_n \quad (6.18)$$

$$l_n = 3,70 - (0,35) = 3,35 \text{ m}$$

$$V_e = (97,16 + 103,81) / 3,35 = 60 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,22 A_w f_{cd} = 0,22 (0,684) (30 \times 27,5) = 124,15 \text{ kN}$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0,22 b_w f_{cd} d$$

$$V_e = 60 \text{ kN} < V_r = 0,22 b_w f_{cd} d = 124,15 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{1}{2} \times \frac{52,57}{(3,70 - 0,35) / 2} = 15,69 \text{ kN}$$

$$V_e \geq 0,5 V_d$$

olması durumunda, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e \geq 0,5 V_d$$

$$60 \geq 0,5 (15,69) \text{ olmalıdır.}$$

$$60 \text{ kN} > 7,85 \text{ kN}$$

olduğundan ve

$$N_d \leq 0,05 A_c f_{ck} = 0,05(30\text{cm} \times 27,5\text{cm})(0,684\text{kN/cm}^2) = 2,821\text{kN}$$

$$N_d = 137\text{kN} > 0,05 A_c f_{ck} = 2,821\text{kN}$$

olduğundan betonun kesme dayanımına katkısı yoktur.

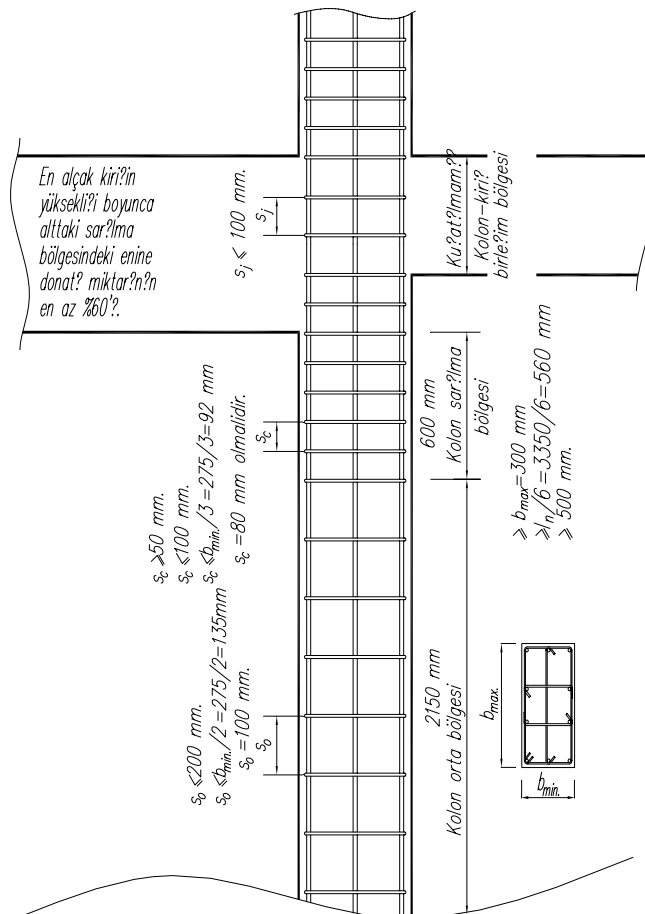
$$V_r = V_c + V_w$$

$$V_c = 0$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} d = \frac{2 \times 0,5}{8} 42(28) = 147\text{kN}$$

$$V_r = 0 + 147 = 147\text{ kN}$$

$$V_r = 147\text{ kN} > V_d = 15,69\text{ kN}$$



Şekil 6.14: DBYBHY-2007'ye göre kolonların donatı detayı

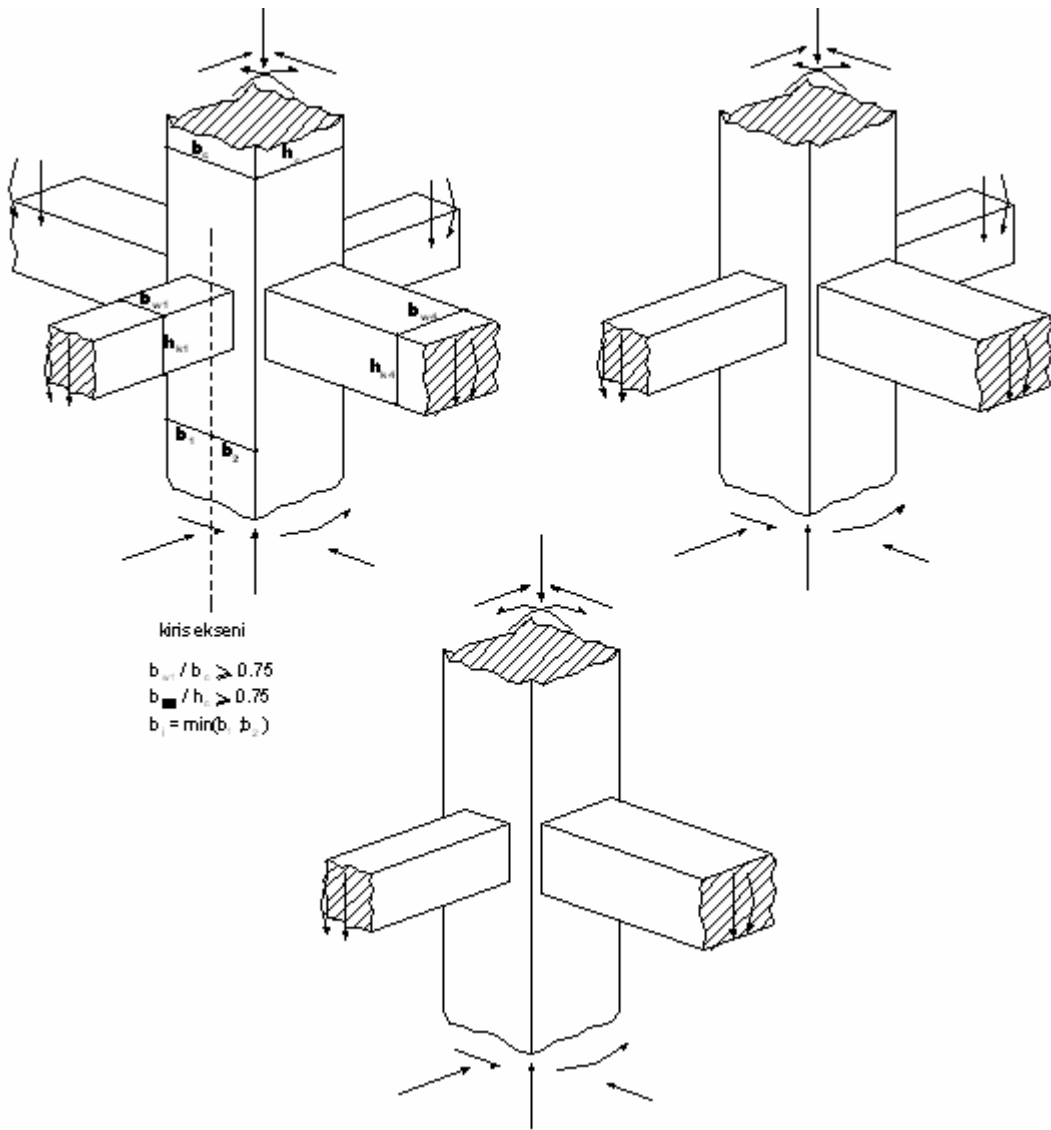
Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, aşağıda verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} A_{sh} &\geq 0.30 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk}) \\ A_{sh} &\geq 0.075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk}) \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$N_d = 137 \text{ kN} < 0.20 (27.5) 30 (0.684) = 112.86 \text{ kN}$$

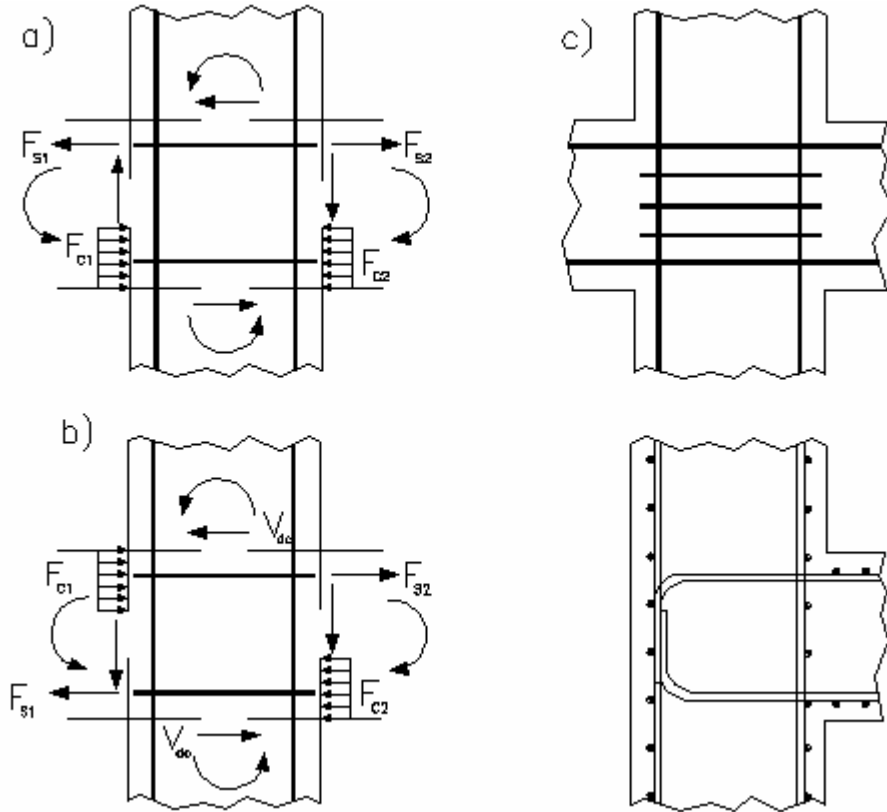
olduğundan bu koşulun hesaplanmasına gerek yoktur.

6.1.4 Tip 1 numunesi kolon – kiriş birleşim bölgesi



Şekil 6.15: Kolon – kiriş birleşim bölgesi (Celep ve Kumbasar, 1998)

Şekil 6.15’de örnek olarak gösterilen bu birleşim bölgelerinin; taşıyıcı elemanlar gibi bulunan tüm etkilere karşı boyutlandırılması gerekir. Şekil 6.16’da düşey yüklerin ve deprem yüklerinin hakim olduğu iki orta birleşim bölgesi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, düşey yük durumunda üst donatı çekme ve alt donatı da basınç kuvveti etkisi altındadır. Bu kuvvetlerin arasındaki küçük olan fark, birleşim bölgesinde donatı ile beton arasında oluşan aderans gerilmeleri ile dengelenecektir. Birleşim bölgesinde deprem yüklerinin etkili olduğu durumda bölgenin iki tarafındaki kiriş kesitlerinde aynı yönde eğilme momenti oluştuğu için, kiriş mesnet üst ve alt donatısında aynı yönde kuvvet oluşacaktır. Bu kuvvetin bileşkesi donatıyı birleşim bölgesinden dışarı çıkarmaya zorlayacaktır. Dengenin oluşması için, donatı ile beton arasında önemli bir aderans gerilmesine ihtiyaç olacaktır. (Celep ve Kumbasar, 1998)



Şekil 6.16: Birleşim bölgesinde a) düşey yüklerden ve b) yanal yüklerden oluşan etkiler ve c) donatı düzeni (Celep ve Kumbasar, 1998)

DBYBHY-2007’e göre; şekilde gösterilen, kolonla iki dik doğrultudaki kirişlerin oluşturduğu birleşim bölgesinde bir doğrultudaki kirişten gelen etkilerin meydana getirdiği yanal şekil değiştirme diğer doğrultudaki kiriş tarafından önleneyecektir. Ancak, bu durumun etkili olarak ortaya çıkabilmesi için, kolona birleşen kirişlerin kolonu yeterli şekilde kuşatmaları gerekir. Eğer kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kirişin genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin 0,75 inden daha az olmaması durumunda, kolon-kiriş bileşimi Kuşatılmış

Birleşim Bölgesi olarak isimlendirilir. Kolona dört taraftan kiriş birleşmediği durumda veya Şekil 6.15 de verilen koşulların sağlanmadığı durumda birleşim bölgesi Kuşatılmamış Birleşim Bölgesi olarak isimlendirilir. Bu bölgede kolon sarılma bölgesindeki etriyenin %60 ının devam ettirilmesi ve etriye aralığının 100mm yi geçmemesi gerekir.

Numuneye tek bir taraftan kiriş birleştiği için birleşim bölgesinde hesap kesme kuvveti birleşim bölgesi Kuşatılmamış Birleşim Bölgesidir.

DBYBHY-2007 Kolon-Kiriş Birleşim bölgesinde hesap kesme kuvveti;

$$V_e = F_{c1} + F_{s2} - V_{dc} = F_{s1} + F_{c2} - V_{dc} = 1,25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{dc} \quad (6.20)$$

$$V_{dc} = V_{kol}$$

olarak hesaplanabilir.

Numunede;

$$V_{kol} = 60\text{kN}$$

$$V_e = 1,25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} = 1,25 \times 42(7,70 + 0) - 60 = 344,25\text{kN}$$

Bu kesme kuvveti için yukarıda tavsiye edilen etriyelerin yeterli olup olmadığı kontrol edilmeli, gerekirse, etriye arttırılmalıdır. Birleşim bölgesindeki etriyeler, bölgedeki kesme kuvvetini karşılarken, bölgedeki betona süneklik kazandırır, bölgenin dış beton kabuk döküldükten sonra da yük taşımasını sağlar ve boyuna donatıların aderansını arttırır. Burada kiriş kesitinde basit eğilme bulunduğundan kesit basınç ve çekme kuvvetlerinin eşitliği kullanılmıştır. Ayrıca, boyutlamada kapasite kavramından hareket edilerek ve kiriş kesitindeki basınç ve çekme kuvvetlerinin eşitliği göz önüne alınarak, kolon yüzünün bir tarafta A_{s1} alt mevcut donatı alanı ile diğer tarafta A_{s2} üst mevcut donatı alanı toplanarak toplam donatı kuvveti bulunmuştur. Donatıdaki muhtemel pekleşme göz önüne alınarak karakteristik akma gerilmesi % 25 arttırılmıştır. Bağlıntıdaki V_{dc} ise, kolon kesme kuvvetini göstermektedir.

$$V_{dc} = V_{kol}$$

Birleşim bölgesindeki kesme kuvveti kısmen beton ve kısmen de etriyeler tarafından taşınır. Ancak, etriyeler arttırılarak büyük kesme kuvvetinin taşınması tavsiye edilmez. Bunun önemli bir nedeni, yoğun etriyesi olan birleşim bölgesine beton yerleştirilmesinin zor olmasıdır. Bunun yanında birleşim bölgesindeki betonda oluşan eğik basınç kuvveti de kapasitenin sınırlandırılmasında etkili olur. Ayrıca, kesme kuvveti taşınırken, betonda büyük çatlakların

oluşması sistemin bütünlüğünü tehlikeye düşürür. Bu nedenle, süneklik düzeyi yüksek sistemlere gerekiyorsa kolon kesiti büyütülerek, birleşim bölgesi kesme kuvveti kapasitesinin aşağıdaki gibi sınırlandırılması tavsiye edilir:

$$V_e \leq 0,60 f_{cd} b_j h_c \text{ (kuşatılmış birleşim bölgesi)} \quad (6.21)$$

$$V_e \leq 0,45 f_{cd} b_j h_c \text{ (kuşatılmamış birleşim bölgesi)} \quad (6.22)$$

Numunede birleşim bölgesi kuşatılmamış olduğundan;

$$V_e \leq 0,45 f_{cd} b_j h_c$$

olmalıdır.

$$b_j = 2 \min(b_1 + b_2) \longrightarrow b_w = 27,5 \text{ cm} \longleftarrow b_j = 2(27,5) = 55 \text{ cm} \quad (6.23)$$

$$b_j \leq (b_{w1} + h) = (27,5 + 30) = 57,5 \text{ cm} \quad (6.24)$$

$$b_j = 55 \text{ cm}$$

$$V_e \leq 0,45 f_{cd} b_j h_c = 0,45 \times (0,684) \times 55 \times 30 = 507,87 \text{ kN}$$

$$V_e = 344,25 \text{ kN} < 507,87 \text{ kN}$$

olduğundan kolon-kiriş kesit boyutları yeterlidir.

Burada V_e boyutlamada esas alınan kesme kuvvetini göstermektedir. Birleşim bölgesine birleşen elemanların donatı oranının düşük tutulması genellikle pek çok problemin ortaya çıkmasını önler. Bölgeye birleşen kirişlerden gelen boyuna donatıların kenetlenmesinin sağlanması önemlidir. Eğer kiriş diğer tarafta devam etmiyorsa donatının Şekilde görüldüğü gibi kolonun diğer ucundan aşağı kıvrılması ve kenetleme boyu kadar uzatılması gerekir. Alt donatının da deprem yüklerinde çekme kuvveti oluşabileceği nedeniyle, yukarı kıvrılarak kenetlenmesinin sağlanması ve bütün boyuna donatıların etriye içinde kalmasına özen gösterilmelidir. Deprem etkisi hakim olmasa da altta bulunan donatıyı yukarı kıvrmanın alışkanlık haline getirilmesi uygundur.

DBYBHY 'e göre; kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir:

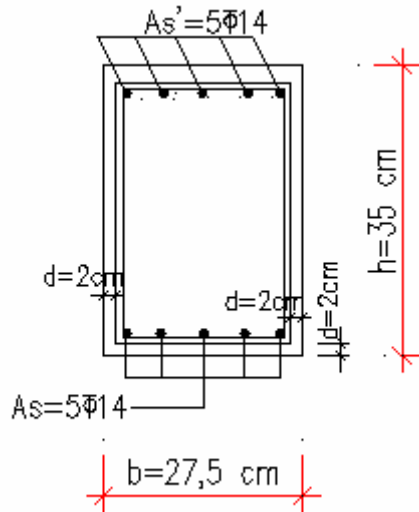
(a) Kuşatılmış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 150 mm'yi aşmayacaktır.

(b) Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak bu durumda, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 100 mm'yi aşmayacaktır.

Gereği yukarıda açıklanan kuşatılmamış birleşim ve deney parametresi olan donatısız birleşimin gerçekleştirildiği numune önceden amaçlandığı üzere "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" 'e göre olması gereken donatı miktarları yoktur.

6.2 Tip 2 Numunesi Betonarme Hesapları

6.2.1 Tip 2 numunesi kiriş moment kapasitesi



Beton karakteristik silindir basınç mukavemeti: 18,13 MPa

$$f_{ck} = 18,13 \text{ kN/cm}^2$$

S420

$$f_{yk} = 42 \text{ kN/cm}^2$$

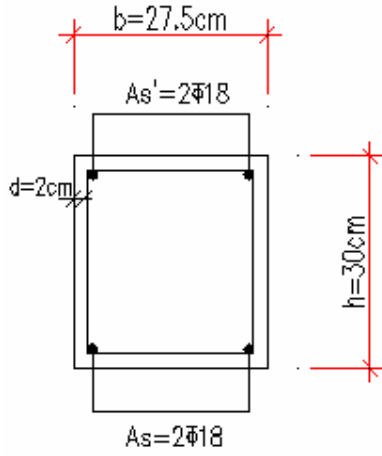
$$A_s = A_{s'} = 7,70 \text{ cm}^2$$

Şekil 6.17: Tip 2 numunesi kiriş kesiti

Yapılan betonarme hesapları sonucunda;

Kiriş moment kapasitesi $M_{ri} = 100,73 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur.

6.2.2 Tip 2 numunesi kolon moment kapasitesi



Beton karakteristik silindir basınç mukavemeti: 18,13 MPa

$$f_{ck} = 18,13 \text{ MPa}$$

S420

$$f_{yk} = 42 \text{ MPa}$$

$$A_s = A_s' = 5,09 \text{ cm}^2$$

Şekil 6.18: Tip 2 kolon kesiti

Dengeli kırılma durumu için;

$$N_b = 593,30 \text{ kN}$$

$M_b = 103,05 \text{ kNm}$ olarak hesaplanmıştır.

N_d : Kritik kolonun eksenel yükü;

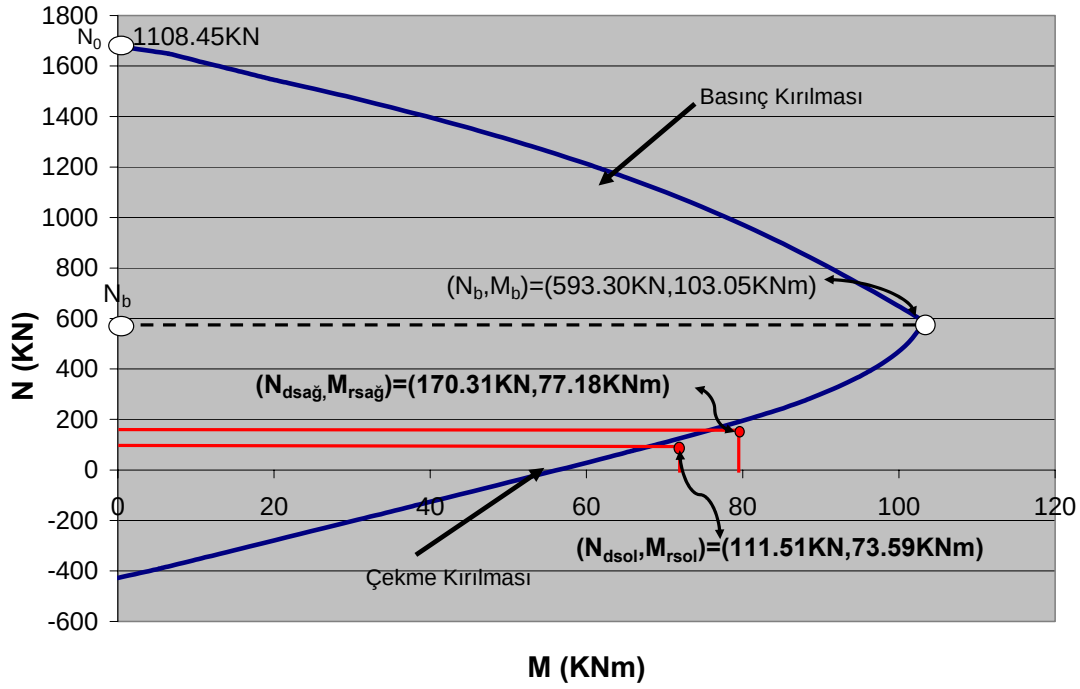
Deney sırasında verilen eksenel yük $\Rightarrow 170 \text{ kN}$

$N_d = 170 \text{ kN} < N_b = 593,30 \text{ kN}$ olduğundan çekme kırılması oluşacaktır.

Yukarıda simgelenen kolon ve kiriş taşıma gücü momentlerin hesaplanmasında DBYBHY-2007 'de Şekil 6.5 'de olduğu üzere tanımlanan yerleşim kullanılır.

$N_d = 170 \text{ kN} > 0,10 A_c f_{ck} = 149,57 \text{ kN}$ olduğundan Denklem 6.3'e bakılmalıdır.

Deney sırasında uygulanan yanal kuvvet nedeni ile değişen eksenel kuvvet değerleri ve bu kuvvetlere karşı gelen moment değerleri Şekil 6.19'da verilmektedir.



Şekil 6.19: Tip 2 numunesi normal kuvvet – moment diyagramı

Max Yanal yük uygulandığı esnada $\Rightarrow$ Deneyde verilen max.

Yanal yük = 58,80 kN

Max Yanal yük uygulandığı esnada $\Rightarrow$ Deneyde varolan

Eksenel Kuvvet = 170,31 kN

$N_d = 170 \text{ kN} > 0,10 A_c f_{ck} = 149,57 \text{ kN}$ olduğundan Denklem 6.3 geçerlidir.

$$N_{dsol} = 170,31 - 58,80 = 111,51 \text{ kN} \quad , \quad M_{rsol} = 77,18 \text{ kNm}$$

$$N_{dsağ} = 170,31 \text{ kN} \quad , \quad M_{rsağ} = 73,59 \text{ kNm}$$

$$M_{ri} = 100,73 \text{ kNm}$$

Denklem 6.3'den;

$$M_{rsol} + M_{rsağ} = 77,18 + 73,59 = 150,77 \text{ kNm}$$

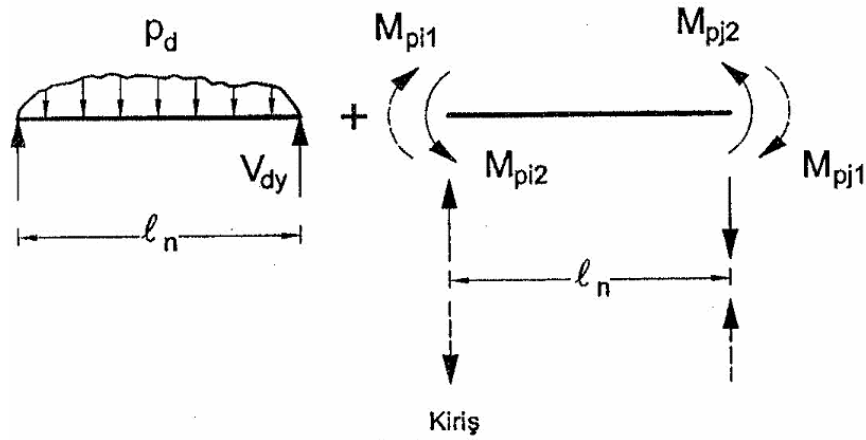
$$1,2(M_{ri} + M_{rj}) = 1,2(M_{ri}) = 1,2(100,73) = 120,876 \text{ kNm}$$

$$(M_{rsol} + M_{rsağ}) = 150,77 \text{ kNm} > 1,2(M_{ri}) = 120,876 \text{ kNm}$$

olduğundan Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriştir.

6.2.3 Tip 1 numunesi kesme etkisi

- Kirişlerin Kesme Güvenliği



Şekil 6.20: DBYBHY-2007'ye göre kirişlerin kesme kuvvetinin hesabında temel alınan yükler ve momentler

$$M_{ri} = M_{rj} = 100,73 \text{ kNm}$$

$$M_{pi} = M_{pj} = 1,4M_{ri} = 1,4M_{rj} = 1,4(100,73) = 141,02 \text{ kNm}$$

V_{dy} : Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti

Duvar ve döşeme gibi kirişe yük aktaran yapı elemanları olmadığından; bu yapı elemanlarından kaynaklanan sabit ve hareketli yük bu numunelerde yoktur. Düzenneğin kurulumundan dolayı kirişin kendi öz ağırlığı da yoktur.

DBYBHY-2007 'de;

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n$$

$$l_n = 1,45 \text{ m}$$

$$V_e = (141,02) / 1,45 \cong 100 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,22 A_w f_{cd} = 0,22(1,813)(35 \times 27,5) = 383,90 \text{ kN}$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0,22 b_w f_{cd} d$$

$$V_e = 100 \text{ kN} < V_r = 0,22 b_w f_{cd} d = 383,90 \text{ kN}$$

Bu örnekte depremi temsil eden deney yükünün oluşturduğu moment sağ ve sol kolonlara eşit olarak dağıtılır. Bu momente karşılık gelen kolon kesme kuvveti hesaplanır.

Max Yanal yük uygulandığı esnada $\Rightarrow$ Deneyde verilen max.

Yanal yük = 36,26 kN

$$M_{\text{yanal yük}} = 58,80 \times (1,45 - 0,15 + 0,15) = 85,26 \text{ kNm}$$

Bu momenti iki kolona paylaştırırsak;

$$V_d = \frac{1}{2} \times \frac{85,26}{(3,70 - 0,35)/2} = 25,45 \text{ kN}$$

Kiriş sarılma bölgelerinde enine donatının hesabında, TS 500 ve DBYBHY-2007 birlikte değerlendirildiğinde;

$V_e - V_{dy} \geq 0,5V_d$ olması durumunda, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e - V_{dy} \geq 0,5V_d$$

$$100 \geq 0,5(25,45) \text{ olmalıdır.}$$

100kN > 12,725kN olduğundan betonun kesme dayanımına katkısı yoktur.

TS 500 Kesme Dayanımı ilkelerine göre;

$$V_r = V_c + V_w$$

$$V_c = 0$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d = \frac{2 \times 0,5}{8} 42(33) = 173,25 \text{ kN}$$

$$V_r = 0 + 173,25 = 173,25 \text{ kN}$$

$$V_r = 173,25 \text{ kN} > V_d = 25,45 \text{ kN}$$

Yüksek asal basınç gerilmeleri nedeni ile gövde betonunun ezilmesini engellemek amacıyla, hesap kesme kuvveti aşağıda gösterildiği gibi sınırlanmıştır.

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w$$

koşulunu sağlamalıdır.

Mevcut etriye $\phi 8$ 'dir.

$$f_{ctd} = 0,35\sqrt{f_{cd}} = 0,35\sqrt{1,813} = 0,47\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \Rightarrow \frac{2 \times 0,50}{s} \geq 0,3 \frac{0,47}{42} 27,5$$

$$\frac{1}{s} \geq 0,09 \Rightarrow s \leq 11 \text{ cm}$$

olmalıdır.

Fakat numunedeki kiriş orta bölgesinde mevcut donatı $\phi 8/8$ 'dir. Bu durumda bu bölgede etriye yeterlidir.

Sarılma bölgesinde; $s_k \leq 15\text{cm}$

$$s_k \leq \frac{d}{4} = \frac{33}{4} = 8,25\text{cm}$$

$$s_k \leq 8\phi_l = 8 \cdot 1,4 = 11,2\text{cm}$$

Sarılma bölgesinde orta bölge ile

aynı olup; $\phi 8/8$ yeterlidir.

- Kolonların Kesme Güvenliği

DBYBHY-2007'e göre;

$$M_{rsol} = 77,18 \text{ kNm}$$

$$M_{rsağ} = 73,59 \text{ kNtm}$$

$$M_{sol} = M_{psol} = 1,4M_{rsol} = 108,05\text{kNm}$$

$$M_{sağ} = M_{psağ} = 1,4M_{rsağ} = 103,26\text{kNm}$$

$$V_e = (M_{sol} + M_{sağ}) / l_n$$

$$l_n = 3,70 - (0,35) = 3,35\text{m}$$

$$V_e = (108,05 + 103,26) / 3,35 = 63,08\text{kN}$$

$$V_r = 0,22 A_w f_{cd} = 0,22(1,813)(30 \times 27,5) = 329,06\text{kN}$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0,22b_w f_{cd} d$$

$$V_e = 63,08 \text{ kN} < V_r = 0,22b_w f_{cd} d = 329,06 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{1}{2} x \frac{85,26}{(3,70 - 0,35)/2} = 25,45 \text{ kN}$$

$$V_e \geq 0,5V_d$$

olması durumunda, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_e \geq 0,5V_d$$

$$63,26 \geq 0,5(25,45) \text{ olmalıdır.}$$

$$63,26 \text{ kN} > 12,725 \text{ kN}$$

olduğundan ve

$$N_d \leq 0,05 A_c f_{ck} = 0,05(30 \text{ cm} \times 27,5 \text{ cm})(1,813 \text{ kN/cm}^2) = 7,48 \text{ kN}$$

$$N_d = 170 \text{ kN} > 0,05 A_c f_{ck} = 7,48 \text{ kN}$$

olduğundan betonun kesme dayanımına katkısı yoktur.

$$V_r = V_c + V_w$$

$$V_c = 0$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} d = \frac{2 \times 0,5}{8} 42(28) = 147 \text{ kN}$$

$$V_r = 0 + 147 = 147 \text{ kN}$$

$$V_r = 147 \text{ kN} > V_d = 25,80 \text{ kN}$$

Etriyeli kolonlarda $N_d > 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, aşağıda verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır.

$$A_{sh} \geq 0,30 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk})$$

$$A_{sh} \geq 0,075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk})$$

$$N_d = 170 \text{ kN} < 0,20(27,5)30(1,813) = 299,14 \text{ kN}$$

olduğundan bu koşulun hesaplanmasına gerek yoktur.

6.2.4 Tip 2 numunesi kolon – kiriş birleşim bölgesi

DBYBHY-2007'e göre; Numuneye tek bir taraftan kiriş birleştiği için birleşim bölgesinde hesap kesme kuvveti birleşim bölgesi Kuşatılmamış Birleşim Bölgesidir.

DBYBHY-2007 Kolon-Kiriş Birleşim bölgesinde hesap kesme kuvveti;

$$V_e = F_{c1} + F_{s2} - V_{dc} = F_{s1} + F_{c2} - V_{dc} = 1,25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{dc}$$

$$V_{dc} = V_{kol}$$

olarak hesaplanabilir.

Numunede;

$$V_{kol} = 63,08 \text{ kN}$$

$$V_e = 1,25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} = 1,25 \times 42(7,70 + 0) - 63,08 = 341,17 \text{ kN}$$

Numunede birleşim bölgesi kuşatılmamış olduğundan;

$$V_e \leq 0,45 f_{cd} b_j h_c$$

olmalıdır.

$$b_j = 2 \min(b_1 + b_2) \longrightarrow b_w = 27,5 \text{ cm} \longleftarrow b_j = 2(27,5) = 55 \text{ cm}$$

$$b_j \leq (b_{w1} + h) = (27,5 + 30) = 57,5 \text{ cm}$$

$$b_j = 55 \text{ cm}$$

$$V_e \leq 0,45 f_{cd} b_j h_c = 0,45 \times (1,813) \times 55 \times 30 = 1346,15 \text{ kN}$$

$$V_e = 341,17 \text{ kN} < 1346,15 \text{ kN}$$

olduğundan kolon-kiriş kesit boyutları yeterlidir.

DBYBHY 'e göre; kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir:

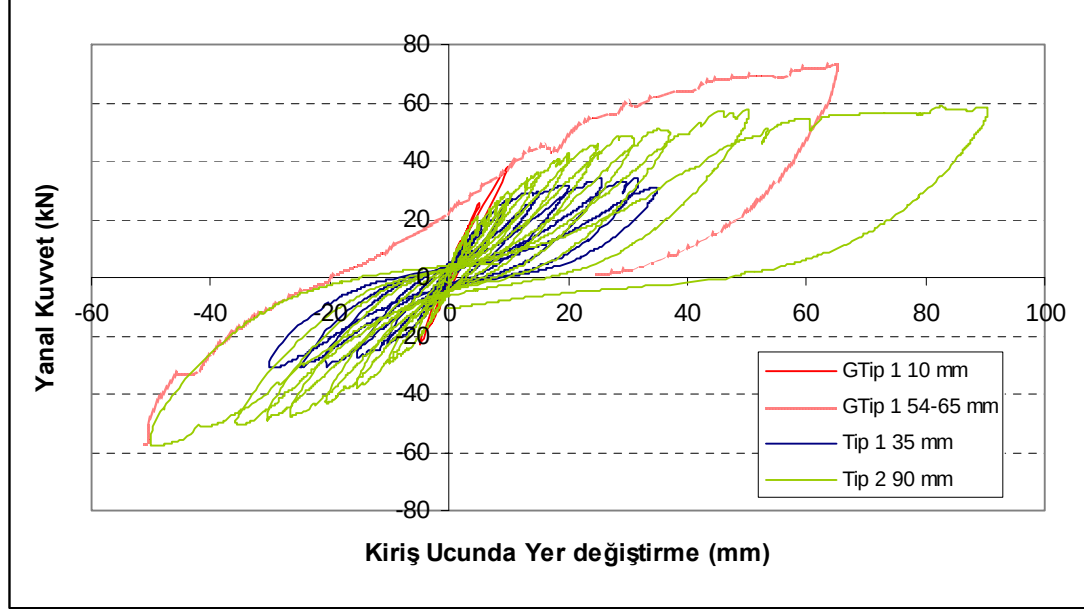
(b) Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak bu durumda, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 100 mm'yi aşmayacaktır.

Gereği yukarıda açıklanan kuşatılmamış birleşim olan numunenin alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılması ve enine donatının çapının 8 mm'den az olmaması ve aralığının 100 mm'yi aşmaması gerekmektedir. Deney parametresi olan donatılı birleşimin gerçekleştirildiği numunede "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" 'e göre olması gereken donatı miktarları ve şartları mevcuttur.

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

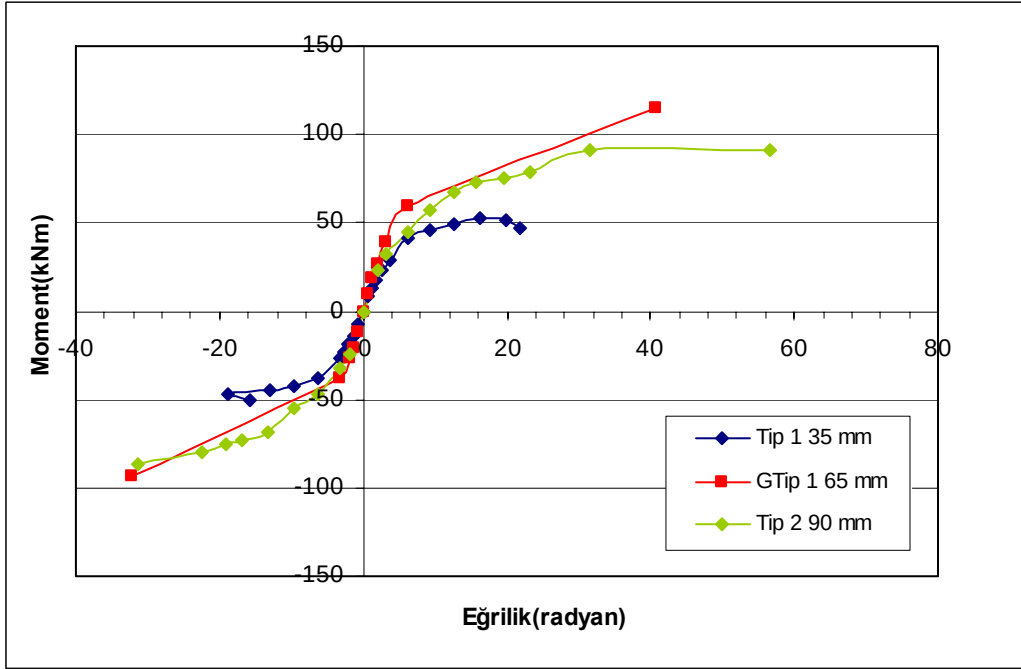
Yapılan çalışmada kolon-kiriş birleşim numuneleri tersinir yükleme altında deneye tabi tutulmuştur. Buna göre 5. Bölümde ayrıntılı olarak verilen deney sonuçları değerlendirildiğinde;



Şekil 7.1: Üç numuneye ait yanal kuvvet-kiriş ucu yer değiştirme eğrileri karşılaştırması

Tip 1, GTip 1 ve Tip 2 Numuneleri Yanal Kuvvet – Kiriş Ucu Yer değiştirme Zarf Eğrilerinin karşılaştırması Şekil 7.1’de yapılmıştır. Şekilde görüldüğü üzere deneyde hasara uğratılan 10 MPa basınç mukavemet değerine sahip düşük dayanımlı beton ve kolon ile kirişin birleşim bölgesinde(düğüm noktasında) hiçbir enine donatı bulundurmeyen Tip 1 numunesi; beton onarımları yapıp çelik elemanlarla güçlendirildikten GTip 1 olarak adlandırılan yeni numune teste tabi tutulduktan sonra taşıma kapasitesinde yaklaşık %55 kapasite artışı olduğu görülmektedir

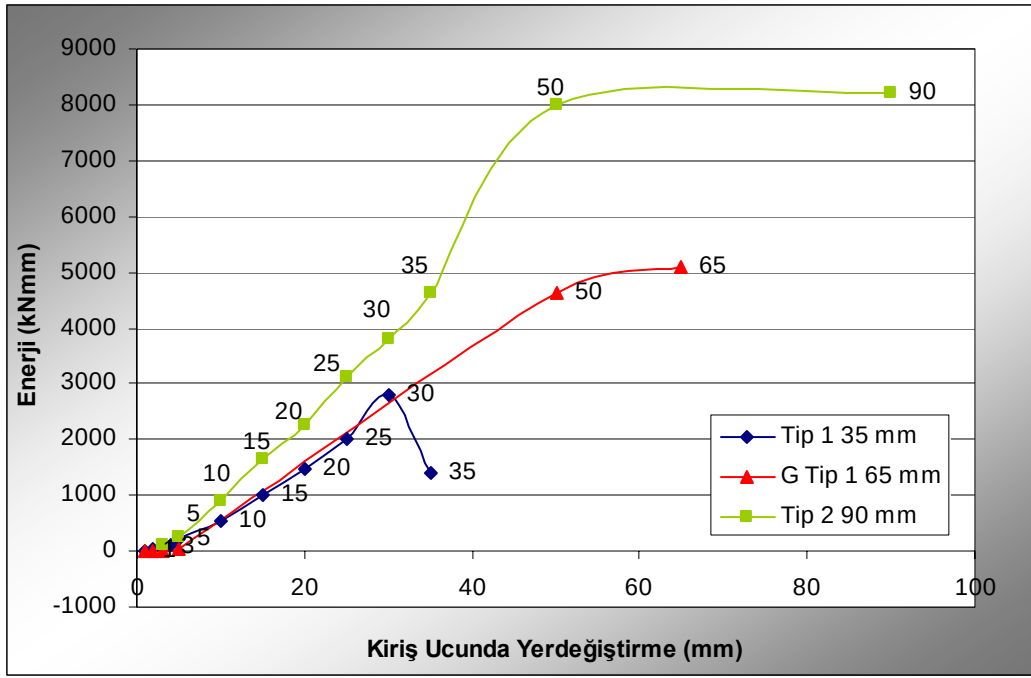
"Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)" koşullarına uygun olarak hazırlanmış 25 MPa kalitesinde betona sahip olan Tip 2 numunesinin taşıma kapasitesi; güçlendirilmiş 10 MPa kalitesindeki GTip 1 numunesi ile aynı deplasman durumunda karşılaştırıldığında yaklaşık %30 kapasite artışı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.2: Üç numuneye ait moment - eğrilik zarf eğrileri karşılaştırması

Tıp 1, GTıp 1 ve Tıp 2 Numuneleri Moment-Eğrilik Zarf Eğrilerinin karşılaştırması Şekil 7.2’de yapılmıştır. GTıp 1 Numunesi eğilme rijitliğinin, Tıp 2 ve Tıp 1 eğilme rijitliğinden daha dik olduğu görülmektedir. Tıp 1 numunesi eğilme rijitliğinde kesit çatladıktan ve kirişte kalıcı deformasyonların başlamasından sonra diğer numunelerden çok önce gerçekleşen rijitik azalması tespit edilmiştir. GTıp 1 numunesinde sağlıklı ölçüm alınamadığından Moment-Eğrilik Diyagramı ölçülebilen değerler göz önüne alınarak oluşturulabilmektedir.

GTıp 1 Numunesi deney sürecinde daha önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere ne birleşim bölgesinde ne kirişte ne de kolonda herhangi bir çatlak oluşmamışken; kontrol edilemeyen yük artışı ile ani hızla oluşan büyük ve kalıcı deformasyonlar oluşmuştur. Bu ölçümler deney sonuçlarını oldukça etkilemiştir.



Şekil 7.3: Üç numuneye ait enerji-kiriş ucu yer değiştirme diyagramı karşılaştırması

Buna rağmen aynı yer değiştirme döngüsünde üç tip numunenin Enerji – Kiriş Ucu Yer Değiştirme değerleri Şekil 7.3’de verilen değerler göz önüne alınarak incelendiğinde güçlendirilmiş olan GTip 1 numunesinin güçlendirilmemiş durumundaki düşük dayanımlı hali olan Tip 1 numunesine göre daha fazla enerji dönüştürme kapasitesine sahip olduğu gözükmemektedir. Tip 1 numunesi kiriş ucunda 30 mm deplasman yaptıktan sonra enerji dönüştürme kapasitesinde belirgin oranda düşüş gözlenirken güçlendirilmiş olan GTip 1 numunesi verilen 65 mm deplasman değerinde dahi enerji dönüştürülebilmektedir. Buna göre enerji dönüştürme kapasiteleri göz önünde bulundurulursa GTip 1 numunesinin Tip 1 numunesinden daha sünek davranış gösterdiği söylenebilir. Tip 2 numunesi enerji dönüştürme kapasitesi de Tip 1 ve GTip 1 numunesi enerji kapasitesinin çok üstünde olup deney sürecinde daha sünek davranış göstermiştir. Fakat oluşturulan diyagram GTip 1 numunesi deneyinden alınabilen veriler doğrultusunda hazırlanmış olup, daha sağlıklı veri alınabilmesi durumunda şüphesiz diyagramda değişiklik olabilecektir.

Uygulanan sınırlı sayıda deneyden elde edilen veriler ve gözlemlerden elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır:

- DBYBHY-2007'e uygun olarak tasarlanan ve düşük dayanımlı beton kullanılarak ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye olmaksızın donatılan birer adet numune kıyaslandığında çatlakların kalıcı deformasyon oluşturacak şekilde genişlemesinin düşük dayanımlı betonda daha önceki yüklemelerde olduğu gözlenmiştir. Bu da elemanların beton dayanımı taşıma kapasitelerinde beton dayanımı ve donatı ile artış olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan güçlendirme çalışmaları betonda ilk çatlakların oluşumunu geciktirmiş, dolayısıyla ilk çatlak oluşması için gerekli olan yük artmıştır.
- Uygulanan ve dayanım açısından etkili olduğu gözlenen güçlendirme sistemi sayesinde, kolon ve kiriş dayanımı referans numune dayanımı ile kıyaslandığı kapasite artışı gözlenmiştir.
- İki tür betonarme deney örneğinin, epoksi reçinesi ile yapıştırılınışı çelik lamalarla birleştirilmesi ile üretilen ideal kiriş ve çerçeve köşesi modelleri, yük altında yüksek oranda kompozit davranış göstermişler. Eğilme ve çekme taşıma gücü değerlerinde artış kaydedilmiştir.
- Dayanım değerleri için az sayıda kolon-kiriş numunesi üzerinde yapılan deneylerle güçlendirilmiş numuneleri esas kesitten daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır. Buna rağmen elemanlardaki kesit artışı minimum düzeyde olmuştur.
- Güçlendirme işlemi kısa sürede bitirilmekte ve yapışma 24 saat gibi kısa bir sürede tamamlanmakta ve deney elemanları 7 gün içinde yüklenebilir hale gelmektedir.
- Sonuç olarak bu yöntem, uygulama kriterlerine bağlı kalındığında, betonarme taşıyıcı sistem güçlendirme ve birleştirme uygulamaları için basit malzeme, işlem ve ekipmanlar ile uygulanabilen yeterli, etkili ve ekonomik bir seçenektir.

7.2. Öneriler

Deney elemanlarına yapılan işlemler sırasında ortaya çıkan sonuçlar ve kolon-kiriş numunelerinin deney aşamasında sergiledikleri davranışlarda gözlenen bazı önemli noktalara uygulama açısından bakıldığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- Güç koşullarda yapılan deneylerin hazırlık aşamasında bütün kontrollerinin dikkatlice yapılarak; deneyin tamamen durdurulmasına kadar varabilecek risklerin önüne geçilmesi gerekmektedir.
- Eksenel yük etkisi altındaki betonarme kolonların alt ve üst bölgelerde yapılan lama sarma ile güçlendirilmesi uygulama açısından pratik ve faydalı görülmektedir.
- Onarım ve güçlendirme yapılırken elemanlarımızın istenilen dayanım ve davranışı sergileyebilmesi için işçiliğin çok iyi olması gerekmektedir. Bu sebepten uygulamayı yapacak ekibin deneyimli elemanlardan oluşması zorunludur.
- Deneylerde kullanılan onarım ve güçlendirme malzemelerinin özellikleri değiştirilerek bu durumun sonuca etkisi gözlenebilir.
- Ayrıca sınırlı sayıda deney elemanı üzerinde laboratuvar koşullarında yürütülen bu çalışmanın değişik güçlendirme modelleri üzerinde denenmesi optimum güçlendirme sisteminin (dizayn) bulunmasında yardımcı olacaktır.

Bu sonuçlar ve öneriler laboratuvar şartlarında, sınırlı sayıda deney elemanından elde edilen sınırlı sayıda veriye dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

- (ACI 318-89), 1989. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, *ACI*, Detroit.
- Atımtay, Ergin**, 2000. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar), Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara.
- Barnes, R.A., Baglin, P.S., Mays, G.C. and Subedi, N.K.**, 2001. External Plate Systems for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams, *Engineering Structures*, **23**, pp.1162-1176.
- Bayülke, Nejat**, 1995. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, *İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Bonacci, J., Pantazapolou, S.**, 1993. Parametric Investigation of Joint Mechanics, *ACI Structural Journal*, **V. 90**, No: 1, Jan.- Feb., 61-71
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.** 1998. Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Çamlıbel, Nafiz** , 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, Birsen Yayınevi, İstanbul
- (DBYBHY-2007), 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *İnşaat Mühendisleri Odası*, İstanbul .
- Emrem, T.**, 2001. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G.**, 2001. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Fuji, S. and Morita, S.**,1991. Comparison Between Interior and Exterior Reinforced Concrete Beam-Column Joints Behavior, Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, **SP-123** *ACI, Detroit*, 145-165
- Kurose, Y., Guimares, G.N., Liu, Z., Kreger, M.E.** 1988. Study of Reinforced Concrete Beam-Column Joints, Under Uniaxial and Biaxial Loading, Report No. **88-2**, Phil M. Ferguson Laboratory, *The University of Texas at Austin*, December.
- Mouton, Y.**, 1999. Some Thoughts About Gluing and its Applications in Construction, *Second International RILEM Symposium on Adhesion Between Polymers and Concrete*, **Part 1**, pp. 3-9.
- NZ3101**, 1982. New Zealand Standart Code of Practice for Design of Concrete Structures,

- Özturan, T. ve Çeçen, Ş.**, 1995. Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Onarım ve Güçlendirilmesi, *T.İ.M. XIII. Teknik Kongresi*, Milli Kütüphane.
- Paulay, T., Park, R. and Priestley M.J.N.**, 1989. Reinforced Concrete Beam-Column Joints Under Seismic Actions, *ACI Journal Proceedings V. 75, NO: 11*, Nov. 585-593.
- Paulay, T.** 1989. Equilibrium Criteria for Reinforced Concrete Beam-Column Joints *ACI Structural Journal, V.86, No:6*, Nov.635-643
- Park, R. and Paulay, T.**, 1975 Reinforced Concrete Structures, *John Willey & Sons Inc.*, 716-761.
- Pessiki, S.P.** 1990. Seismic Behavior of Lightly Reinforced Concrete Column And Beam-Column JointsDetails. *Technical Report NCEER-90-0014* August.
- Swamy, R.N., Jones R. and Charif, A.**, 1989. The Effect of External Plate Reinforcement on the Strengthening of Structurally Damaged RC Beams, *The Structural Engineer, V.67, No.3/7*, pp. 45-49.
- TS-648**, 1982. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-500**, 1985. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

31 Temmuz 1982 Kocaeli doğumlu olan Sümeyra ÇEVİRME ilkokulu İsmet İnönü İlkokulu'nda, ortaokulu Seka İlköğretim Okulu'nda tamamladı. İzmit Lisesi'nde başlayan lise öğrenimini 1999 Kocaeli depreminden doğan zorunluluktan dolayı Konya'da Konya Lisesi'nde tamamladı.

2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 2004 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programını kazanan Sümeyra ÇEVİRME öğrenimine bu okulda devam etmekte ve İzomas Şirketler Grubu bünyesinde çalışmaktadır.