

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERDE
KARBON LİFLER
KULLANILARAK GÜÇLENDİRME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burçin MALEKKİANİE**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2006

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programında Nato projesi çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında dolgu duvarlı betonarme çerçeveler ve karbon lifler ile güçlendirilmiş betonarme çerçeveler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek deneysel çalışma sonuçları ile kuramsal çalışma sonuçları arasındaki yakınlıklar incelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bana veren, sabır ve hoşgörü gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN başta olmak üzere, özellikle geliştirdiği bilgisayar programını kullanmama izin veren Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL ve deneylerin hazırlanması ve uygulanması aşamasında önemli katkıları bulunan Araş. Gör. Gülseren EROL ve Araş. Gör. Cem DEMİR ve üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yaptıkları maddi katkılardan dolayı NATO (Project: 977231), TUBITAK (Project: TUBITAK-ICTAG-I 575) ve özellikle malzeme temininde yardımcı olan SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş.' ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneylerin gerçekleştirildiği İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarları ve deneylerde görev alan personeline teşekkür ederim.

Bugüne kadar her zaman benim yanımda olan ve maddi, manevi her türlü desteği veren anneme, babama, abime ve kardeşime ve beni her zaman destekleyen tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans öğrenimim sırasında bana bu mesleği sevdiren, yeni bakış açısı kazanmamda etkili olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr Şevket ÖZDEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 2006

Burçin MALEKKİANİE

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
2. BETONARME ÇUBUKLARDA DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ	6
2.1 Düzlem Çubuklarda İç Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi	6
2.2 Temel Varsayımlar ve Esaslar	8
2.2.1 Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	8
2.2.2 Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi	9
2.3 Betonarme Kesitlerde Akma Koşulları	10
2.4 Betonarme Kesitlerde Moment – Eğrilik Bağıntısı	12
2.5 Betonarme Kesitlerin Davranışının İdealleştirilmesi	16
2.5.1 Moment-eğrilik ilişkisi	16
2.5.2 Karşılıklı etki diyagramı	17
2.6 Betonarme Kesitlerde Kuramsal Moment – Eğrilik Bağıntısı	17
2.7 Betonarme Kesitlerde Moment–Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi İçin Bir Bilgisayar Programı, (M-KAPA)	20
2.7.1 M-KAPA Programında kullanılan beton gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı	21
2.7.2 M-KAPA Programında kullanılan çelik gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı	26
3. DOLGU DUVARLAR İÇİN KULLANILAN BİR MATEMATİK MODEL-AL-CHAAR YÖNTEMİ	28
3.1 Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi	28
3.2 Dolgu Duvarlarda Oluşan Hasar ve Göçme Şekilleri	29
3.3 Dolgu Duvarlar İçin Kullanılan Matematik Modeller	31
3.3.1 Eşdeğer sanal çubuk modeli	33
3.3.1.1 Dolgu duvar parametreleri	33

3.3.1.2	Eşdeğer sanal çubuk genişliği	34
3.3.1.3	Dolgu duvarın boşluklu olması durumu	35
3.3.1.4	Dolgu duvarda hasarların mevcut olması durumu	36
3.3.1.5	Dolgu duvarın Karbon Lif ile takviye edilmesi durumu	38
3.3.1.6	Eşdeğer sanal çubuğunun eksantrikliği	39
3.3.1.7	Eksantrik eşdeğer basınç çubuğunun yük-deformasyon ilişkisi	40
3.3.1.8	Rijit uç bölgeleri	42
3.4	Yük – Yerdeğiştirme Eğrisinin Düzeltilmesi	43
3.4.1	K_i ve K_f Değerlerinin bulunması	45
3.5	Dolgu Duvar Elastisite Modülü	45
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
4.1	Numunelerin Özellikleri	48
4.2	Numunelerin Üretimi	52
4.3	Deney Düzeneği	63
4.3.1	Yükleme sistemi	63
4.3.2	Veri toplama sistemi	64
4.4	Malzeme Deneyleri	66
4.4.1	Beton deneyleri	66
4.4.2	Donatı deneyleri	67
4.4.3	Harç dayanımları	68
4.4.4	Dolgu duvar deneyleri	68
4.4.4.1	Kayma deneyleri	69
4.5	Deney Sonuçları	73
4.5.1	Numune 1	75
4.5.2	Numune 2	82
4.5.3	Numune 3	90
5.	BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMESİ	105
5.1	Giriş	105
5.2	Malzeme Özellikleri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler	106
5.2.1	Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin yığılı olma hali	106
5.3	Yük Artımı Yöntemi İle Doğrusal Olmayan Çözümleme	113
5.3.1	Plastik mafsal şekildeğiştirme sınır durumları	114
5.3.2	Plastik mafsal türleri	115
5.3.3	Hesapta izlenen yol	117
6.	KARŞILAŞTIRILMALAR	118
6.1	Numune 1 (İki Katlı Tek Açıklıklı Çıplak Çerçeve)	118
6.2	Numune 2 (İki Katlı Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çerçeve)	123
6.3	Numune 3 (İki Katlı Tek Açıklıklı Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Çerçeve)	128

7. SONUÇLAR	134
KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ	140

KISALTMALAR

ACI	:American Concrete Institute
ATC	:Applied Technology Council
FEMA	:Federal Emergency Management Agency
TS500	: Türk Standardı 500
SAP2000	: Structural Analysis Program
ABYYHY97	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1997
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polimer
I.O	: Immediate Occupancy
L.S.	: Life Safety
C.P.	: Collapse Prevention

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Dolgu Duvar Mevcut Hasar Azaltma Katsayısı.....	36
Tablo 3.2. Karbon Lifi Dayanım Arttırma Katsayısı Değerleri	38
Tablo 3.3. Karbon Lifi Rijitlik Arttırma Katsayısı Değerleri	42
Tablo 4.1. Numune Özellikleri.....	51
Tablo 4.2. Karbon Lifinin Mekanik Özellikleri	57
Tablo 4.3. Epoksi Reçinesi Teknik Özellikleri	58
Tablo 4.4. Beton Silindir Basınç Deneylerinin Özeti (28 Günlük)	66
Tablo 4.5. Duvar Harcı Basınç Dayanımları (28 Günlük).....	68
Tablo 4.6. Yerdeğiştirme Ölçer Tipi ve Kullanım Yerleri.....	70
Tablo 4.7. Deney Özet Tablosu.....	72
Tablo 4.8. Numune 1 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler.....	75
Tablo 4.9. Numune 1 için Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri.....	79
Tablo 4.10. Numune 2 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler	82
Tablo 4.11. Numune 2 için Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri.....	86
Tablo 4.12. Numune 3 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler.....	90
Tablo 4.13. Numune 3 için Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri.....	100
Tablo 6.1. Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğiştirme değeri...122	
Tablo 6.2. Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğiştirme değeri...127	
Tablo 6.3. Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğiştirme değeri...132	

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	3
Şekil 2.1 : Düzlem Çubuk Elemanlarda Kesit Tesirleri ve Şekildeğiştirmeler.....	6
Şekil 2.2 : Beton Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	8
Şekil 2.3 : Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	9
Şekil 2.4 : Akma(Kırılma) Eğrisi - Karşılıklı Etki Diyagramı	11
Şekil 2.5 : δs Uzunluğundaki Sonlu Parçada Eğrilik Hesabı	12
Şekil 2.6 : Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik ($M-\chi$) İlişkisi	13
Şekil 2.7 : ($M-\chi$) Diyagramında Lineer ve Lineer Olmayan Şekildeğiştirmeler....	15
Şekil 2.8 : Betonarme Kesitlerde İdealleştirilmiş Moment-Eğrilik Diyagramı.....	16
Şekil 2.9 : Betonarme Kesitlerde İdealleştirilmiş Karşılıklı Etki Diyagramı	17
Şekil 2.10 : Betonarme Kesitte Moment-Eğrilik İlişkisinin Kurulması	18
Şekil 2.11 : Betonarme Kesitte Sargı Donatısı Etkisi.....	22
Şekil 2.12 : Sargılı ve Sargısız Betonda Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	26
Şekil 2.13 : M-KAPA Programında Kullanılan Çelik Malzeme Modeli.....	26
Şekil 3.1 : Dolgu Duvar Göçme Şekilleri	30
Şekil 3.2 : Yatay Yük Etkisindeki Dolgu Duvar ve Betonarme Çerçeve.....	32
Şekil 3.3 : Dolgu Duvarın Eşdeğer Basınç Çubuğu Olarak Modellenmesi.....	32
Şekil 3.4 : Dolgu Duvarı Temsil Eden Eşdeğer Sanal Çubuk Parametreleri.....	34
Şekil 3.5 : Dolgu Duvar Hasar Sınıflandırılması.....	37
Şekil 3.6 : FRP Kaplama Düzeni	38
Şekil 3.7 : Eşdeğer Basınç Çubuğunun Eksantrik Yerleşimi	39

Şekil 3.8	: Harç Kesme Dayanımından Dolayı Oluşan Kayma Kırılması.....	41
Şekil 3.9	: Eşdeğer Basınç Çubuğu Yük-yerdeğiştirme İlişkisi	41
Şekil 3.10	: Rijit Uç Bölgeleri	43
Şekil 3.11	: Yük-Yerdeğiştirme Eğrisinin İki Doğru Parçası ile İdealleştirilmesi ...	44
Şekil 3.12	: İdealleştirilmiş Yük-Yerdeğiştirme Eğrisinin Düzeltilmesi.....	44
Şekil 3.13	: Dolgu Duvar Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	47
Şekil 4.1	: Deneysel çalışmada kullanılan numuneler.....	48
Şekil 4.2	: Deney numunelerinin geometrisi	49
Şekil 4.3	: Deney Numunelerinin Donatı Düzeni.....	50
Şekil 4.4	: Numune 1 Geometrisi	52
Şekil 4.5	: Numunede kullanılan Strain-gauge örneği.....	53
Şekil 4.6	: Numune 1' in genel görünüşü	53
Şekil 4.7	: Numune 2 Geometrisi	54
Şekil 4.8	: Numune 2' nin genel görünüşü	55
Şekil 4.9	: Dolgu Duvarda Kullanılan Tuğla Tipi	55
Şekil 4.10	: Numune 3 Geometrisi	56
Şekil 4.11	: Karbon Lif Uygulama detayları	59
Şekil 4.12	: Karbon lif için yüzey hazırlığı.....	61
Şekil 4.13	: Karbon lifin uygulanması.....	62
Şekil 4.14	: Deney düzeneği genel görünüşü.....	63
Şekil 4.15	: Yerdeğiştirme çevrimleri örneği	66
Şekil 4.16	: Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri.....	67
Şekil 4.17	: Dolgu Duvar Kayma Deney Düzeneği.....	69
Şekil 4.18	: Numunede Meydana Gelen Çatlaklar	70
Şekil 4.19	: Tuğlalarda Meydana Gelen Çatlaklar ve Göçme Şekli	71
Şekil 4.20	: Dolgu Duvar Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	71

Şekil 4.21 : Dolgu Duvar Numunesi τ - γ ilişkisi	72
Şekil 4.22 : Numunelerin ön ve arka yüzündeki karolaj şablonu.....	73
Şekil 4.23 : Numune 1' deki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	76
Şekil 4.24 : Numune 1 için Yerdeğiştirme ve Yatay Yük Çevrimleri	77
Şekil 4.25 : 1. Kat Sol Kolon Üst Noktasında Meydana Gelen Kesme Çatlakları...	78
Şekil 4.26 : (a) Birinci Kat Sağ Kolon Üst Noktasında Meydana Gelen Kesme Çatlakları (b) Birinci Kat Sağ Kolon-Temel Birleşim noktasında Meydana Gelen Beton Ezilmesi.....	78
Şekil 4.27 : Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi	80
Şekil 4.28 : Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	80
Şekil 4.29 : Numune 1' in Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz)	81
Şekil 4.30 : Deney Sonunda Numune 1' de Oluşan Hasarlar.....	81
Şekil 4.31 : Numune 2' deki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	83
Şekil 4.32 : Numune 2 için Yerdeğiştirme ve Yatay Yük Çevrimleri	84
Şekil 4.33 : Dolgu Duvarda Meydana Gelen Çapraz Çatlaklar.....	85
Şekil 4.34 : Çerçeve de Meydana Gelen Mafsallaşma ve Donatı Akması.....	85
Şekil 4.35 : Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi	87
Şekil 4.36 : Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	87
Şekil 4.37 : Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yatay Yük-Uzama-Kısalma Eğrileri	88
Şekil 4.38 : Numune 2' nin Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz)	89
Şekil 4.39 : Deney Sonunda Numune 2' de Oluşan Hasarlar.....	89
Şekil 4.40 : Numune 3' teki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi.....	91
Şekil 4.41 : Numune 3 için TepeYerdeğiştirmesi ve Yatay Yük Çevrimleri.....	92
Şekil 4.42 : Numune 3 Karbon Lif Çaprazlarının İsimlendirilmesi	92
Şekil 4.43 : 2 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkulma Bölgeleri (Arka Yüz)	93
Şekil 4.44 : 2 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkulması ve Kabarması(Arka Yüz)	94

Şekil 4.45 : (a) Sıva Kabarması (b) Ön Yüz 2 No lu Karbon Lif Çaprazının Burkulması ve Yırtılması	95
Şekil 4.46 : Sıva Kabarması ve Karbon Lif Çaprazının Burkulması (ÖnYüz).....	96
Şekil 4.47 : 1 No' lu Karbon Lifi Çaprazının Burkularak Kopması (Ön Yüz)	96
Şekil 4.48 : 1 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkularak Kopması (Arka Yüz)	97
Şekil 4.49 : 2 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkularak Kopması (Ön Yüz).....	97
Şekil 4.50 : 2 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkularak Kopması (Arka Yüz)	98
Şekil 4.51 : Kolonlarda Meydana Gelen Çatlaklar ve Eğilmeler (Arka Yüz Sol Kolon)	98
Şekil 4.52 : Arka Yüz Sol Kolonda Kesilme ve numunede eğrilme	99
Şekil 4.53 : Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi	101
Şekil 4.54 : Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	101
Şekil 4.55 : Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yatay Yük-Uzama-Kısalma Eğrileri	102
Şekil 4.56 : Numune 3' ün Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz).....	103
Şekil 4.57 : Deney Sonunda Numune 3' te Oluşan Hasarlar.....	103
Şekil 4.58 : Deneylerden Elde Edilen Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrilerinin Toplu Olarak Tek Bir Şekilde Gösterimi.....	104
Şekil 4.59 : Deneylerden Elde Edilen Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrilerinin Toplu Olarak Tek Bir Şekilde Gösterimi.....	104
Şekil 5.1 : Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı	107
Şekil 5.2 : İdealleştirilmiş Moment-Eğrilik Bağıntısı	107
Şekil 5.3 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler ve Plastik Mafsal Oluşumu....	108
Şekil 5.4 : İki Katlı Çerçeve Kiriş Mekanizması	109
Şekil 5.5 : İki Katlı Çerçeve Kat Mekanizması	109
Şekil 5.6 : İki Katlı Çerçeve Birleşik Mekanizmalardan Örnekler.....	110
Şekil 5.7 : Plastik Mafsal Boyu	112
Şekil 5.8 : Plastik Mafsal Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkisi.....	114
Şekil 5.9 : M3 Mafsalı Moment-Dönme İlişkisi.....	116

Şekil 5.10	: P Mafsalı Normal Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkisi	116
Şekil 6.1	: Çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler	119
Şekil 6.2	: Çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler.....	119
Şekil 6.3	: Numune 1 Sargılı Beton Modeli	120
Şekil 6.4	: Moment-Eğrilik Bağlıntıları.....	120
Şekil 6.5	: Numune 1 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması	121
Şekil 6.6	: Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri.....	122
Şekil 6.7	: Numune 1 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri	123
Şekil 6.8	: Çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler	124
Şekil 6.9	: Çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler.....	124
Şekil 6.10	: Numune 2 Sargılı Beton Modeli	125
Şekil 6.11	: Moment-Eğrilik Bağlıntıları.....	125
Şekil 6.12	: Numune 2 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması	126
Şekil 6.13	: Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri.....	127
Şekil 6.14	: Numune 2 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri	128
Şekil 6.15	: Çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler	129
Şekil 6.16	: Çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler.....	129
Şekil 6.17	: Numune 3 Sargılı Beton Modeli.....	130
Şekil 6.18	: Moment-Eğrilik Bağlıntıları.....	130
Şekil 6.19	: Numune 3 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması	131
Şekil 6.20	: Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri.....	132
Şekil 6.21	: Numune 3 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri	133

SEMBOL LİSTESİ

a	: Eşdeğer sanal çubuk genişliği
a_{mod}	: Modifiye edilmiş eşdeğer sanal çubuk genişliği
A_{open}	: Dolgu duvardaki boşluk alanı
A_{panel}	: Dolgu duvar alanı
A_s	: Enine donatı enkesit alanı
A_n	: Dolgu duvarın yatay uzunluğu boyunca net enkesit alanı
b_c	: En dış enine donatı merkezleri arasındaki mesafe
b_{cx}, b_{cy}	: Beton çekirdek boyutları
C_s	: Tarafsız eksen yeri
D	: Eşdeğer sanal çubuk uzunluğu
d	: Kesit yüksekliği
d_o	: Kesit faydalı yüksekliği
d_b	: Boyuna donatı çapı
d_m	: Doğrusal olmayan yerdeğiştirme
$d\phi$	: Kesit dönmesi
du	: Kesitin çubuk eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirmesi
dv	: Kesitin çubuk eksenine dik doğrultudaki yerdeğiştirmesi
ds	: Kesit yerdeğiştirmesi
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_m	: Eşdeğer sanal çubuk elastisite modülü
EI	: Eğilme rijitliği
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f'_{cc}	: Sarılmış betona ait basınç dayanımı
f'_{c0}	: Sarılmamış betona ait basınç dayanımı
f_l	: Yanal sargı basıncı
f_{le}	: Ortalama üniform sargı basıncı
f_{lex}, f_{ley}	: b_{cx} ve b_{cy} beton çekirdek boyutlarına dik doğrultulardaki eşdeğer sarma gerilmeleri
f'_m	: Dolgu duvara ait en büyük gerime değeri
f_{yt}	: Enine donatı akma gerilmesi
f'_v	: Dolgu duvar kesme dayanımı
f_y	: Boyuna donatı akma gerilmesi
F	: Eşdeğer sanal çubuk alanı
G	: Kayma modülü
h_m	: Dolgu duvar yüksekliği
H	: Dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve yüksekliği
I_{col}	: Kolon atalet momenti
K_i	: Sistemin düzeltilmiş plastik rijitliği
K_f	: Sistemin düzeltilmiş elastik rijitliği
K_u	: Sistem plastik rijitliği
K_y	: Sistem elastik rijitliği

k_1	: Poisson oranının fonksiyonu olan bir çarpan
k_2	: Eşdeğer üniform sarma basıncına geçiş katsayısı
$K_{sargı}$	: ε_{01} den ε_{1e} geçişte kullanılan katsayı (sarılma indeksi)
l	: Dolgu duvar genişliği
L	: Dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve genişliği
l_p	: Plastik mafsal uzunluğu
M	: Eğilme momenti
M_p	: B.A kesitin taşıyabileceği en büyük moment, Plastik eğilme momenti
M_e	: Elastik eğilme momenti
M_{ra}	: Kolon yüksekliğinin alt ucunda fcd ve fyd' ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
$M_{rü}$	: Kolon yüksekliğinin üst ucunda fcd ve fyd' ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	: Kirişin sol ucundaki fcd ve fyd' ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	: Kirişin sağ ucundaki fcd ve fyd' ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
N	: Eksenel kuvvet
N_p	: Plastik eksenel kuvvet
P	: Yük parametresi
P_{L1}	: Yapı sistemi limit yükü
P_{max}	: Tuğla basınç deneyinde uygulanan en büyük eksenel kuvvet
$P_{ilk\ çatlak}$	: Tuğla basınç deneyinde ilk çatlağın meydana geldiği eksenel kuvvet
R	: Eşdeğer sanal çubuk taşıma kapasitesi
R_o	: Eğrilik yarıçapı
$R1$	: Dolgu duvar içindeki mevcut boşluklar nedeni ile azaltma katsayısı
$R2$	: Dolgu duvarda mevcut hasarlar nedeni ile azaltma katsayısı
R_{cr}	: Dolgu duvarın basınç kırılması göçme durumu için eşdeğer sanal çubuk basınç yükü taşıma kapasitesi
R_{strut}	: Dolgu duvarın kayma kırılması durumu için eşdeğer sanal çubuk basınç yükü taşıma kapasitesi
R_{shear}	: Dolgu duvarın kayma kırılması göçme durumu için eşdeğer sanal çubuk kesme yükü taşıma kapasitesi
R_θ	: Kesit dönme sünekliği oranı
s	: Enine donatılar arasındaki mesafe
s_l	: Tutulu düşey donatılar arasındaki mesafe
T	: Kesme kuvveti
t	: Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı, üniform sıcaklık değişmesi
t_{eff}	: Dolgu duvar net kalınlığı
V_u	: Sistem kopma yükü
V_y	: Sistem akma yükü
Δ	: Numune tepe yerdeğiştirmesi
Δt	: Farklı sıcaklık değişmesi
Δu	: Sistemin kopma anındaki yerdeğiştirmesi
Δy	: Sistemin akma anındaki yerdeğiştirmesi
δ_{max}	: Tuğla basınç deneyinde ölçülen en büyük yerdeğiştirme
ε	: Birim boy değişimi
ε_c	: En büyük beton basınç şekildeğiştirmesi

ϵ_{co}	: Betonda plastik şekildeğiştirmelerin başlamasına karşı gelen birim kısalma
ϵ_{cu}	: Betondaki en büyük birim kısalma
ϵ_{cm}	: En dış beton basınç lifindeki şekildeğiştirme değeri
ϵ_e	: Akma durumuna karşı gelen birim uzama
ϵ_s, ϵ'_s	: Donatı şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Kopma durumuna karşı gelen çelik birim uzama değeri
ϵ_{01}	: Sargısız betonda en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme
$\epsilon_{0.33}$	: $\sigma_{0.33}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirme
$\epsilon_{0.05}$	: $\sigma_{0.05}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ_{085}	: Sargısız betonda en büyük dayanımın %85 ine karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ_1	: Sarılmış betonda en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ_{85}	: Sarılmış betonda en büyük dayanımın %85 ine karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ_{20}	: Sarılmış betonda en büyük dayanımın %20 sine karşı gelen şekildeğiştirme
$\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}$	: Donatı malzeme modelini tanımlaya şekildeğiştirme ordinatları
ϵ_{c3}	: Donatı malzeme modelini tanımlaya şekildeğiştirme ordinatları
ϕ	: Kesit dönmesi
ϕ_p	: Plastik mafsal dönmesi
γ	: Birim kayma açısı
γ_{max}	: En büyük birim kayma açısı
χ	: Eğrilik(birim dönme)
χ_p	: M_p momentine karşı gelen birim dönme (plastik eğrilik)
$\chi_{p,max}$	: M_p momentine karşılık gelen en büyük birim dönme
α_t	: Sıcaklık genleşme katsayısı
ρ	: Beton çekirdek bölgesinde enine donatı oranı
μ	: Sistem Süneklilik Oranı
σ	: Gerilme
σ_e	: Donatı çeliğı akma gerilmesi
σ_k	: Donatı çeliğı kopma gerilmesi
$\sigma_{0.33}$	: Dolgu duvar prizma basınç dayanımının %33 üne karşı gelen gerilme
$\sigma_{0.05}$	: Dolgu duvar prizma basınç dayanımının %5 ine karşı gelen gerilme
ξ_1	: Dolgu duvar FRP takviyesi nedeni ile dayanım arttırma katsayısı
ξ_2	: Dolgu duvar FRP takviyesi nedeni ile rijitlik arttırma katsayısı
θ_{strut}	: Eşdeğer sanal çubuğun yatay ile yaptığı açı
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{max}	: En büyük kayma gerilmesi değeri

ÖZET

Betonarme çerçevelerde kullanılan dolgu duvarlar genel olarak hesaplarda yapısal olmayan elemanlar olarak hesaba katılırlar. Halbuki dolgu duvarlar hem kütle hem de yatay rijitlik açısından yapı davranışında etkilidir. Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, dolgu duvarların ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkilerinin bulunması ve betonarme çerçeve sistemlerin malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümlemesinin bir bilgisayar programı yardımıyla yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, çıplak çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeveden oluşan üç ayrı numune üzerinde yük artımı yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar kuramsal çözümlemelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmasından oluşmaktadır. Bu kapsamda çalışma altı ana bölümü içermektedir.

Birinci bölümde, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, betonarme çubukların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Betonarme çubukların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarında etkili beton ve donatı davranışları hakkında bilgi verilmiş ve betonarme kesitler için akma koşulları ve moment-eğrilik bağıntısı ve bu bağıntının idealleştirilmesi hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Kuramsal çalışmada kullanılacak olan moment-eğrilik bağıntısının bulunması amacıyla M-KAPA isimli bir bilgisayar programından faydalanılmıştır. Bu programda kullanılacak olan sarılmış betona ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi için Saatçioğlu-Ravzi sarılmış beton modeli ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, dolgu duvarlarının modellenmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Dolgu duvarlarını temsil etmek için kuramsal modelde *eşdeğer sanal çubuk modeli* dikkate alınarak bu modelin ayrıntıları ve eşdeğer sanal çubuğa ait bazı büyüklüklerin bulunması için çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar anlatılmıştır. Ayrıca dolgu duvarlara uygulanan çapraz karbon lif takviyesinin kuramsal modelde temsili için de kullanılan bağıntılara yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, dolgu duvarlar ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarlarının yapı davranışına etkilerinin anlaşılması amacıyla yapılan bir grup deney anlatılmıştır. Numunelerin özellikleri, üretim aşamaları, deneyde kullanılan yükleme sistemi, veri toplama sistemi ve beton, donatı, harç gibi malzeme deneyleri bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Öncelikle dolgu duvarlarının çerçeve sistem içerisinde nasıl davranacağının bulunması ve yük taşıma kapasitelerinin önceden anlaşılabilmesi için her çerçeve içindeki dolgu duvarı temsil eden dolgu duvarlar oluşturulmuş ve bunlarla basit kayma deneyleri uygulanmıştır. Bu basit kayma

deneylerinden elde edilen sonuçlar kuramsal çalışmada dolgu duvarı karakteristikleri olarak kullanılmıştır. Çerçeve deneyleri için, iki katlı tek açıklıklı üç adet betonarme çerçeve tekrarlı yatay yükler altında, yerdeğiştirme kontrollü olarak denenmiştir. Bunlardan brinci numune dolgu duvarsız yani çıplak çerçeve, ikinci numune dolgu duvarlı çerçeve, üçüncü numune ise karbon lif ile çapraz olarak güçlendirilen çerçeveden oluşmaktadır.

Beşinci bölümde, deneysel olarak çalışılan numunelerin kuramsal olarak incelenmesini içermektedir. Bunun için, SAP2000 adlı bilgisayar programının yardımıyla, denenen betonarme çerçeve numunelerinin matematiksel modelleri oluşturulmuş ve daha sonra yük artımı yöntemi uygulanmıştır.

Altıncı bölümde, elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırılarak sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan bazıları kısaca aşağıdaki gibidir:

Dolgu duvarlı çerçevenin yanal rijitliği ve dayanımı çıplak çerçeveye göre önemli derecede büyümektedir. Karbon lif ile güçlendirme sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çapraz çatlaklar dolgu duvarın tamamına yayılarak, hasarın belirli bölgelerde toplanması önlemektedir. Bu sayede dolgu duvarın tümünden göçmesi engellenmektedir. Dolgu Duvarlar yatay yük taşıma kapasitesini çıplak çerçeveye göre yaklaşık 4 kat arttırmaktadır. Karbon lif takviyesi ise yatay yük taşıma kapasitesini dolgu duvarlı çerçeveye göre yaklaşık 1.3 kat arttırmıştır. Karbon lif ile güçlendirme, uygulamanın kolaylığı ve yapı kullanım alanının olumsuz etkilenmemesinden dolayı büyük bir avantaja sahip olmaktadır. Bu sayede yapılar boşaltılmadan yapının depreme karşı güçlendirilmesi sağlanabilmektedir.

Yeni deprem yönetmeliğinin 1. taslak çalışmasında da karbon lif ile güçlendirmeye yer verilmiş olması gösteriyor ki karbon lif kullanımı önümüzdeki dönemde daha yaygın bir şekilde güçlendirme alanında karşımıza çıkacaktır.

RETROFITTING OF INFILLED RC FRAMES WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)

SUMMARY

Infill walls being used in reinforced concrete frames are generally considered as non-structural elements. In fact, infill walls are effective in building behaviour with regards to both mass and lateral stiffness. In this study which is being presented as a master's thesis, it is aimed to find out the effects of infill walls and retrofitted infill walls with carbon fibre on the response of reinforced concrete frame. The non-linear analysis of reinforced concrete frames have been performed by means of a computer program. The results of the experimental study which consists of bare frame, infilled frame and retrofitted infilled frame with carbon fiber are compared with the results of the theoretical analysis. In this context, the study includes six main chapters.

In the first chapter, the general information is given on the designing of earthquake resistant buildings. The purpose and scope of the study are also given in this chapter.

In the second chapter, non-linear behaviours of reinforced concrete members are examined. Detailed information is given on the behavior of concrete and steel. Moment-curvature relationship and idealization of it has been discussed in this chapter in detail. A computer software called M-KAPA has been used for the purpose of obtaining moment-curvature relationships of the reinforced concrete cross sections. Saatcioglu-Razvi confined concrete model has been used for the determination of moment-curvature relationships of reinforced concrete sections.

In chapter three, information is given on the modelling of infill walls. Consideration of *equivalent strut model* in the theoretical model, details of this model and parameters proposed by various researchers for the determination of some characteristics of equivalent strut model have been recounted. The equations for the representation of retrofitted infill wall with carbon fiber is also included in this chapter.

In chapter four, a series of experimental work has been conducted to evaluate the effectiveness of infill wall and carbon fibre reinforced infill wall on the behaviour of building type structure. Characteristics of the specimens, production stages, loading system employed in the tests, data collection system and material tests like those on concrete, steel, plaster have been explained elaborately in this chapter. First of all, infill wall specimens have been formed and simple shear tests have been applied on them in order to find out how infill walls will behave within the frame system and to

perceive their capacity to bearing loads. Conclusions obtained from these simple sliding tests have been used as infilled wall characteristics in the theoretical study. As for the frame tests, three reinforced concrete frames of two story and single span have been tested under the reversed static loads. The control mode of the tests is displacement control. The first of these specimens is a bare frame, while the second one is infilled frame, and the third is the infilled frame retrofitted with carbon fibre.

Chapter five covers the theoretical examination of the tested specimens. For this purpose, mathematical models of the tested reinforced concrete frames are prepared using the very well known computer program SAP2000. Nonlinear static analysis has been conducted for all the specimens.

In chapter six, through comparison of derived experimental and theoretical conclusions, results have been portrayed in graphics. Some of the derived conclusions are briefly as below:

Lateral stiffness and strength of the infilled frame is significantly bigger than those of corresponding bare frame. As a result of retrofitting with carbon fibre, infill wall corner crushing and diagonal cracking can be spread over the entire wall, thus it is prevented from being concentrated in certain regions. Infill wall increases approximately four times the lateral load carrying capacity of the reinforced concrete bare frame. On the other hand, carbon fibre reinforcement increases almost 1.3 times the lateral load carrying capacity of infilled frame. Carbon fibre reinforcement has several advantages such as convenience of the application and the fact that building utilisation area is not negatively effected. Therefore buildings can be retrofitted against earthquake effects without evacuation. Also, with the inclusion of FRP in first draft of the new earthquake regulation, it is expected that FRP utilisation for the retrofitting of existing buildings will increase in the near future.

1. GİRİŞ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi açısından deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Türkiye ise dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer almaktadır. Türkiye topraklarının hemen hemen tamamı deprem riski altında bulunmaktadır. Yurdumuzda en önemli deprem etkinliği Kuzey Anadolu Fayındaki hareketten ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin kuzeyinde bulunan ve uzunluğu 1500 Km' ye varan bu fay çizgisi boy, deprensellik ve fay türü olarak ABD de bulunan San Andreas(California) fayına benzemektedir. Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 1939 Erzincan (M=7.9), 1942 Nıksar-Erbaa (M=7.0), 1943 Tosya-Ladik (M=7.2), 1944 Bolu-Gerede (M=7.2), 1953 Yenice-Gönen (M=7.4), 1957 Bolu-Abant (M=7.1) ve 1967 Adapazarı (M=7.2) depremlerini sayabiliriz. Son yıllara baktığımızda ise 1992 Erzincan (M=6.8), 1995 Dinar (M=5.9), 1998 Adana-Ceyhan (M=6.3), 1999 Kocaeli-Gölcük (M=7.4) ve 1999 Düzce (M=7.1) gibi depremler göze çarpmaktadır. 1999 Kocaeli-Gölcük depremindeki büyük can ve mal kaybından sonra kamuoyunun depreme bakışı değişerek bu doğal afeti daha ciddi dikkate alarak bilimadamları bir çok çalışmada bulunmuşlardır. Bu çalışmalar sonucunda deprem raporlarının açıklanması ile Marmara bölgesinde beklenen depremin aletsel büyüklüğünün ortalama 7.5 olması, önümüzdeki 30 yıl içerisinde olma ihtimalinin %62, önümüzdeki 22 yıl için %50 ve 10 yıl için %32 olarak hesaplanmıştır.

Depremler tek başına can almaz, şayet kusurlu inşaa edilen yapılar can ve mal kaybına neden olmaktadır. Maalesef ülkemizdeki genel yapı stoğu depreme karşı koymak açısından hiç de iyi olmayan bir duruma sahiptir. Genel olarak yurdumuzdaki betonarme binalar, çoğu zaman mühendislik bilgisinden yoksun ve bilinçsizce inşa edilmiş, kullanılan yapı malzemelerinin özellikle betonun kalite

düşüklüğü, düzensiz taşıyıcı sistem, yetersiz yanal rijitlik, enine donatı yetersizliği gibi sebeplerden dolayı deprem kuvvetleri altında ağır hasar almakta yada tümünden göçmektedir. O zaman ülkemizin bulunduğu depremsellik coğrafyasını ve mevcut kusurlu inşa edilmiş yapıları göz önünde bulundurursak depremler karşısında can ve mal kaybını en aza indirebilmek açısından mevcut kusurlu ve riskli yapıların uygun ve ekonomik yöntemlerle güçlendirilmesi ve yeni yapılacak olan yapıların depreme dayanıklı olarak inşa edilmesi çok çok önem kazanmaktadır.

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, bir yapı sisteminin aşağıda açıklanan sınır durumları karşılamaı istenmektedir:

a) Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Yapı sisteminin ömrü boyunca sıkça meydana gelebilecek küçük şiddetli depremlerden olumsuz olarak etkilenmemesi istenmektedir. Taşıyıcı olmayan elemanlarda küçük çatlaklar oluşsa bile yapı taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasarın oluşmaması ve onarıma ihtiyaç duyulmaması istenmektedir. Bu sınır durumunun sağlanabilmesi için, şekil ve yerdeğıştirmelerin sınırlandırılması ve kesitlerde meydana gelecek gerilmelerin elastik bölgedede kalması istenmektedir.

b) Sınırlı Hasar Durumu

Yapı sisteminin ömrü boyunca daha az sıklıkla meydana gelebilecek orta şiddetli depremlerde, büyük çatlaklar ve yerdeğıştirmeler gibi bazı hasarların ortaya çıkması beklenmektedir. Ancak bu hasarların ekonomik bir biçimde onarılması ve yapının işlevine devam etmesi istenmektedir.

c) Göçme Sınır Durumu

Yapı sisteminin ömrü boyunca meydana gelme olasılığı çok düşük olan şiddetli depremlerde, onarılması güç hasarların meydana gelmesi beklenmektedir. Ancak oluşan hasar durumu ne derecede olursa olsun böyle bir durumda can kaybının

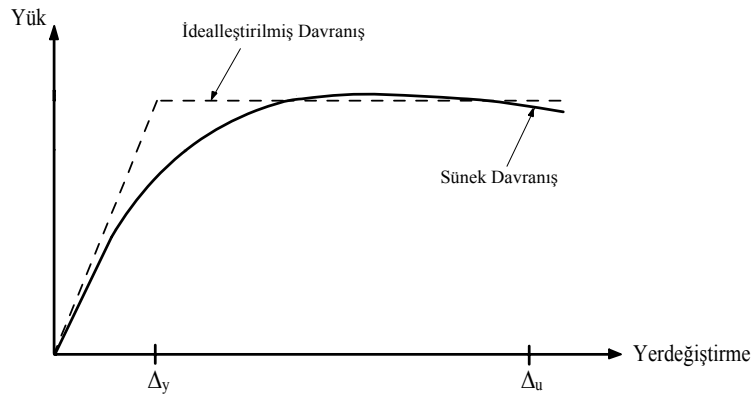
olmaması için yapının kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi istenmektedir. Bu ise yapı elemanlarının sünek davranış gösterecek şekilde boyutlandırılıp, kısmi veya tamamen göçme meydana gelmeden elastik olmayan yerdeğiştirmelerin meydana gelebilmesi sağlanarak mümkün olmaktadır.

Buna göre bir yapı sisteminin deprem yükü etkisi altında yukarıda açıklanan performans seviyelerini sağlayabilmesi için rijitlik, dayanım ve süneklilik gibi özellikler bakımından istenilen düzeyde olmalıdır.

Yapı sistemini oluşturan elemanlar, yatay ve düşey yüklerden oluşan kesit zorlarını taşıyabilmeleri için yeteri kadar dayanıma sahip olmalıdır. Gerekli dayanımın sağlanabilmesi için kesit hesapları detaylı bir şekilde yapılmalı ve konstrüktif kurallara uyulmalıdır.

Süneklilik güç tükenmesi sırasında elastik olmayan büyük şekil veya yerdeğiştirmelerin ortaya çıkması olarak özetlenebilir. Bir yapı ömrü süresince meydana gelme olasılığı düşük olan şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının ötesinde şekildeğiştirerek karşılaması öngörölür. Böylece yapının elastik sınırı geçip, sünerek kesit zorlarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirme yapması arzu edilmektedir. Sistem süneklilik oranı(μ); göçme sırasındaki toplam yerdeğiştirmelerin lineer yerdeğiştirmelere oranı olarak tanımlanmakta ve (1.1) bağıntısı ile gösterilmektedir, Şekil (1.1).

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (1.1)$$



Şekil 1.1 Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçip yapı rijitliğini artırarak, titreşim periyodunun değeri küçülmüş olup, dolayısıyla depremde meydana gelecek şekil ve yerdeğiştirmeleri azaltmak mümkün olmaktadır. Bu suretle taşıyıcı sistem ile ona bağlı bulunan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar da azaltılmış olur. Elastik yapılarda istenmeyen diğer bir durum yatay yerdeğiştirmenin büyümesi ile ikinci mertebe etkilerin artmasıdır. Böylece deprem yüklerinin etkisinde katlar arası büyük yerdeğiştirmeler meydana gelerek dolgu duvarlarda geniş X çatlakları oluşmaktadır. Halbuki dolgu duvarların bulunması çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak çoğunlukla yapının periyodunu küçültür ve yapıdaki kuvvet dağılımına etkili olur. Dolgu duvarlarda meydana gelen hasar sayesinde deprem enerjisinin bir bölümü söndürülmüş olur.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapı sistemlerinin deprem yükü gibi yatay yükler etkisinde istenilen performans seviyelerini sağlayabilmeleri için Bölüm 1.1’ de açıklanan rijitlik, dayanım ve süneklilik gibi özellikler bakımından istenilen düzeyde olmalıdırlar. Yapı sistemlerinin daha gerçekçi ve güvenilir çözümlemesi için yapı malzemelerinin lineer elastik sınır ötesindeki davranışlarının bilinmesi ve buna göre lineer olmayan teori ile yapı sistemlerinin göçme durumundaki davranışları incelenmelidir. Başka bir deyişle yapı sistemlerine doğrusal olmayan çözümleme uygulayıp daha doğru sonuçlar elde etmek mümkündür.

Dolgu duvarlar, yapı sisteminin dayanımını ve rijitliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Dolgu duvarlar tuğla, panel, vb. malzemelerden oluşturularak yapının mimari ve işlevsellik fonksiyonu kazanmasında önemli rol oynamaktadırlar. Ayrıca dolgu duvarlar, yapı sisteminin sünekliliği, enerji yutma kapasitesi (sönüm), periyodu ve kütlesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Dolgu duvarlar bir yapıda bu kadar etkiye ve öneme sahip olduğu için, yapı çözümlemesinde dolgu duvarların hesaba katılması o kadar önem taşımaktadır.

Bu tez kapsamında uygulamada çok karşılaşılan Betonarme yapıların özelliklerini yansıtan yaklaşık ½ ölçekli tek açıklıklı iki katlı numuneler üzerinde, bu tür

sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve diğer davranış özelliklerini karşılaştırmak amacıyla deneysel ve kuramsal bir dizi çalışmalar tasarlanmıştır.

Bu amaçla üretilen numuneler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında bulunan deney düzenekleri yardımıyla artan yatay yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde deneye tabi tutulmuşlardır.

Betonarme çerçeveler, çıplak çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve karbon lif ile güçlendirilen çerçeve olmak üzere, çerçeve beton dayanımları birbirinden farklı ve donatı bindirme boyu problemi olmayan(sürekli donatı) üç farklı numune olarak hazırlanmıştır.

Deneye tabi tutulan numuneler, bilgisayar ortamında matematiksel olarak modellendikten sonra plastik mafsallı hipotezini esas alan doğrusal olmayan yük artımı yöntemi ile çözümlenip kuramsal sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmalar sonunda Betonarme çıplak çerçeve ile bölgesel olarak çok kullanılan gevrek tuğla duvardan yapılmış bölme duvarlarının Karbon lifleri ile güçlendirildikten sonra sergileyebileceği davranış özelliklerinin karşılaştırılarak mevcut binaların olası deprem davranışı ve karbon lifleri ile güçlendirildikten sonra sergileyeceği davranışın gözlenmesi istenmektedir.

2. BETONARME ÇUBUKLARDA DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ

2.1 Düzlem Çubuklarda İç Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi

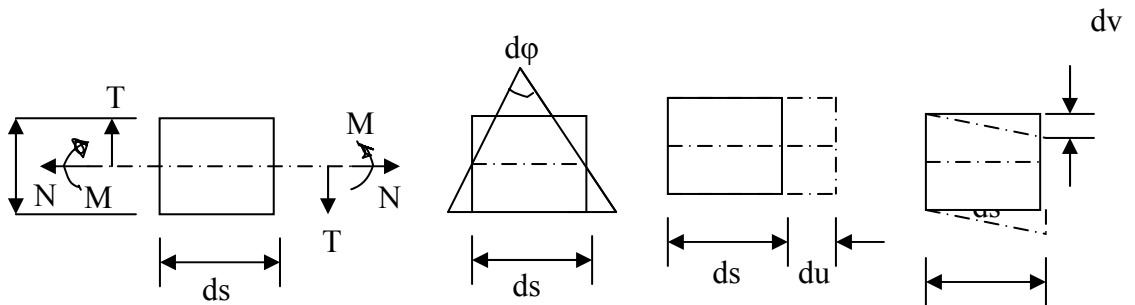
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk sistemlerde; M eğilme momenti, N normal kuvvet ve T kesme kuvveti kesit tesirleri oluşmaktadır. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre rölatif yerdeğiştirmelerinin kesit tesirleri doğrultusundaki bileşenleri ds elemanının şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bu şekildeğiştirmeler; dφ kesitin dönmesini, du kesitin çubuk eksenine doğrultusundaki yerdeğiştirmesini ve dv ise kesitin çubuk eksenine dik doğrultudaki yerdeğiştirmesini göstermek üzere;

$$\chi = d\phi / ds \quad : \quad \text{birim dönme (eğrilik)}$$

$$\epsilon = du / ds \quad : \quad \text{birim boy değişmesi}$$

$$\gamma = dv / ds \quad : \quad \text{birim kayma}$$

isimlerini almaktadır. Bu tanımlar Şekil 2.1’ de gösterilmiştir, [4], [5], [6].



Şekil 2.1 Düzlem Çubuk Elemanlarda Kesit Tesirleri ve Şekildeğiştirmeler

Düzlem çubuklarda kesit tesirleri ile şekildeğiştirmeler arasındaki ilişkiler (bünve bağıntıları) (2.1) bağıntısıyla verilmiştir. Bu bağıntılardaki F1, F2 ve F3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağılı olarak belirlenen lineer olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen üniform ve farklı sıcaklık değışmelerini, αt sıcaklık genleşme katsayısını ve d kesit yüksekliğini göstermektedir.

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t \Delta_t}{d}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t t \quad (2.1)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T)$$

Kayma şekildeğiştirmeleri, eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında terkedilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değışmesine etkisi ihmal edilip, uniform ve farklı sıcaklık değışmeleri de gözardı edilirse kesit tesiri-şekildeğiştirme bağıntıları (bünve bağıntıları),

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) \quad (2.2)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = 0$$

Şekline dönüşmektedir.

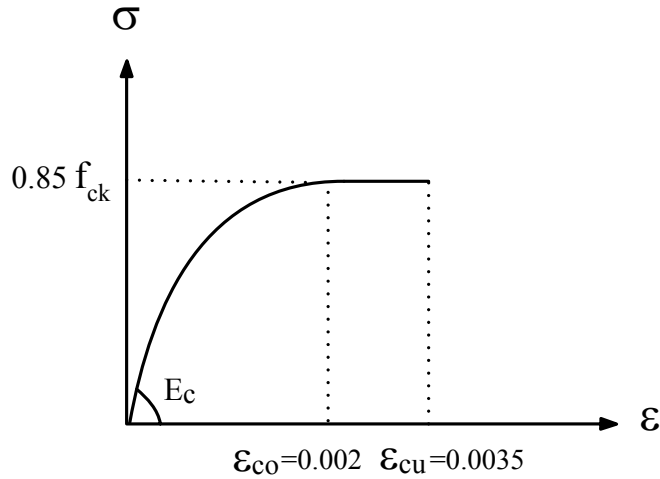
2.2 Temel Varsayımlar ve Esaslar

Betonarme kesitlerin davranışının incelemesinde bazı varsayımlar yapılmaktadır. Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki kesitlerde gözönüne alınan varsayımlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Düzlem kesitler, şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır. (Bernoulli-Navier Hipotezi)
- 2) Betonun çekme dayanımı gerçekte çok küçük olduğu için kesit çatladıktan sonra betonun çekme dayanımı gözönüne alınmamaktadır.
- 3) Beton ve donatı çeliği arasında tam bir aderans mevcuttur.

2.2.1 Beton Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Betonarme kesitin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi için kesit eğilmesindeki dış basınç lifindeki gerilme-şekildeğiştirme olarak gözönüne alınmaktadır. Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2 Beton Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde;

f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımını

ϵ_{co} : Betonda plastik şekildeğişikliklerin başlamasına karşı gelen birim kısalmayı

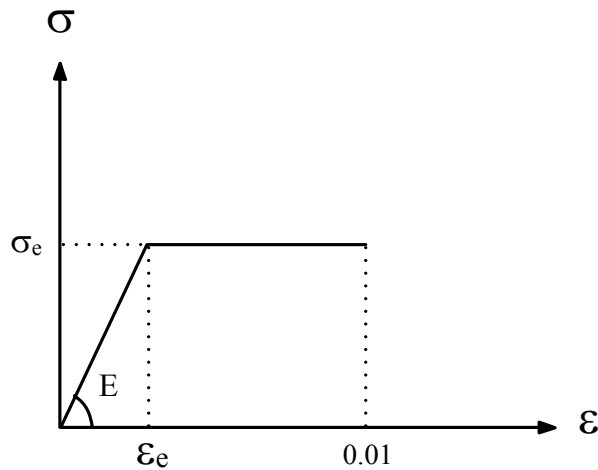
ϵ_{cu} : Betondaki en büyük birim kısalmayı

göstermektedir. Beton kesit $\epsilon_{co} = 0.002$ birim kısalma değerine ulaştığında, plastik şekil değişiklikleri oluşmaya başlar ve $\epsilon_{cu} = 0.0035$ birim kısalma değerine ulaştığında ise kısa süreli yükler altında betonun ezilerek taşıma gücünü kaybettiği varsayılmaktadır. ϵ_{cu} birim kısalma değeri sargı donatısız betonda 0.0035 değerini alırken, bu değer sargı donatılı betonda çok daha büyük değerlere ulaşabilmektedir. Betonun elastisite modülü E_c Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi gerilme-şekil değiştirme eğrisinin eğimi olarak elde edilmektedir. TS500’ de [3], E_c ’nin değeri için (2.3) bağıntısı verilmiştir.

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.3)$$

2.2.2 Donatı Çeliği Gerilme–Şekil değiştirme İlişkisi

Beton çeliği veya donatı çeliğinin diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır. Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 2.3’ te verilmiştir.



Şekil 2.3 Donatı Çeliği Gerilme-Şekil değiştirme İlişkisi

Burada;

E : Donatı çeliği elastisite modülü

σ_e : Donatı çeliği akma gerilmesi

ϵ_e : Akma durumuna karşı gelen birim uzamayı

ifade etmektedir.

Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde;

$$\sigma = E\epsilon_e \quad 0 \leq \epsilon \leq \epsilon_e$$

$$\sigma = \sigma_e \quad \epsilon_e < \epsilon < \infty$$

bağıntılar geçerlidir.

Donatı çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde çeliğin pekleşmesi ihmal edilmiştir. Donatı çeliğinin en büyük uzama değeri için TS500 [3] de bir sınır değer verilmemiştir ama bunun için genellikle 0.01 değeri dikkate alınmaktadır.

2.3 Betonarme Kesitlerde Akma Koşulları

Betonarme kesitlerde dış yüklerin artması sonucu iç kuvvetlerinde artarak belirli bir sınıra ulaşması halinde, akma, kırılma veya büyük şekildeğiştirmeler nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük iç kuvvetleri taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca *akma* veya *kırılma* olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvet durumuna da *kesitin taşıma gücü* adı verilir. Akma(kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden (2.4) bağıntılarına *akma(kırılma) koşulları* denilmektedir.

$$K_1(M, N, T) = 0$$

$$K_2(\chi, \epsilon, \gamma) = 0 \quad (2.4)$$

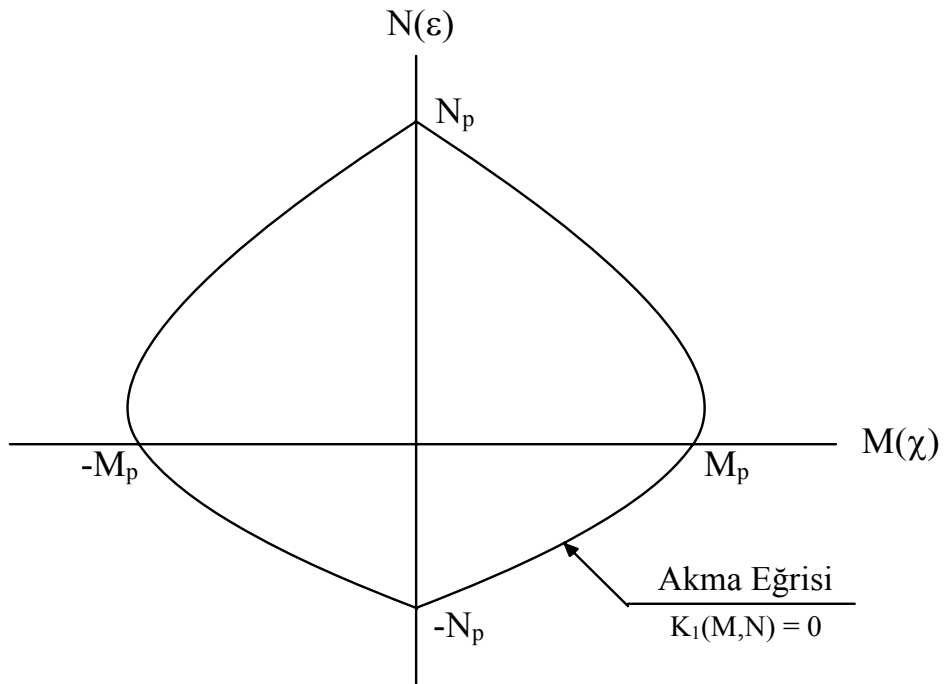
Uygulamada genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında ihmal edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkisi terk edilirse, (2.4) bağıntısı ile ifade edilen akma koşulları,

$$K_1 (M, N) = 0$$

$$K_2 (\chi , \varepsilon) = 0 \quad (2.5)$$

şekilini almaktadır.

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1 (M, N) = 0$ bağıntısının belirlediği kapalı eğri, *akma(kırılma) eğrisi* veya *karşılıklı etki diyagramı* adını almakta olup şekil 2.4' te bu akma eğrisi gösterilmiştir.



şekil 2.4 Akma(Kırılma) Eğrisi – Karşılıklı Etki Diyagramı

Bu diyagramda M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü göstermektedir. M_p eğilme momentine karşı gelen birim dönme ise χ_p ile ifade edilmektedir.

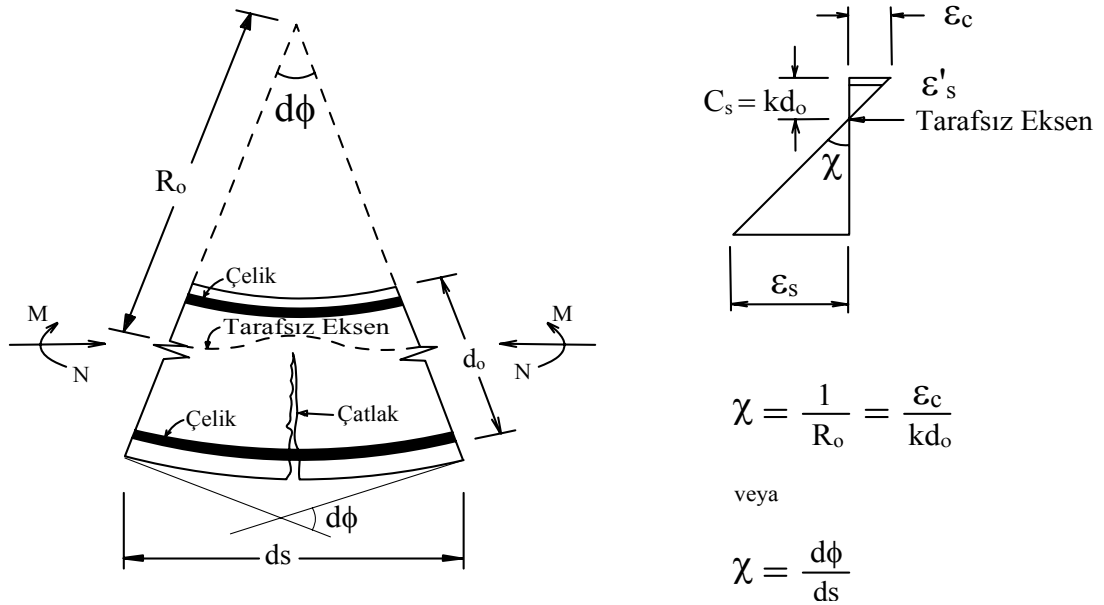
Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklarda, iç kuvvet ve şekildeğiştirme durumları, şekil 2.4' deki akma eğrisi(karşılıklı etki diyagramı)

kullanılarak gösterilmektedir. Bu koordinat sisteminde, herhangi bir iç kuvvet durumunu temsil eden bir nokta $K_1 (M, N) = 0$ akma koşulunun belirlediği akma eğrisinin üzerinde bulunması halinde, kesitin taşıma kapasitesinin sona erdiğini ve iç kuvvetler doğrultusunda sonsuz plastik şekildeğiştirmeler meydana gelebileceğini göstermektedir. Ancak bu nokta akma koşulundan dolayı akma eğrisinin dışına çıkamamaktadır. Ama eğer bu nokta, $K_1 (M, N) = 0$ akma koşulunun belirlediği akma eğrisinin içinde bulunuyorsa, kesitin lineer-elastik davrandığını veya kesitte meydana gelen lineer olmayan(plastik) şekildeğiştirmelerin sonlu olduğunu göstermektedir.

2.4 Betonarme Kesitlerde Moment – Eğrilik Bağıntısı

Eğilme ve eksenel yük veya yalnız eğilme altındaki bir kesitin davranışı, en sağlıklı bir biçimde, gerçek malzeme davranışını temel alarak hesaplanmış veya deneysel verilerden elde edilmiş Moment-Eğrilik eğrilerinden izlenebilir. Moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak bir betonarme kesitin; rijitlik, dayanım, dönme sünekliği, yutulan enerji miktarı, dayanım ve rijitlik kaybı gibi önemli büyüklüklere ulaşılabilmektedir.

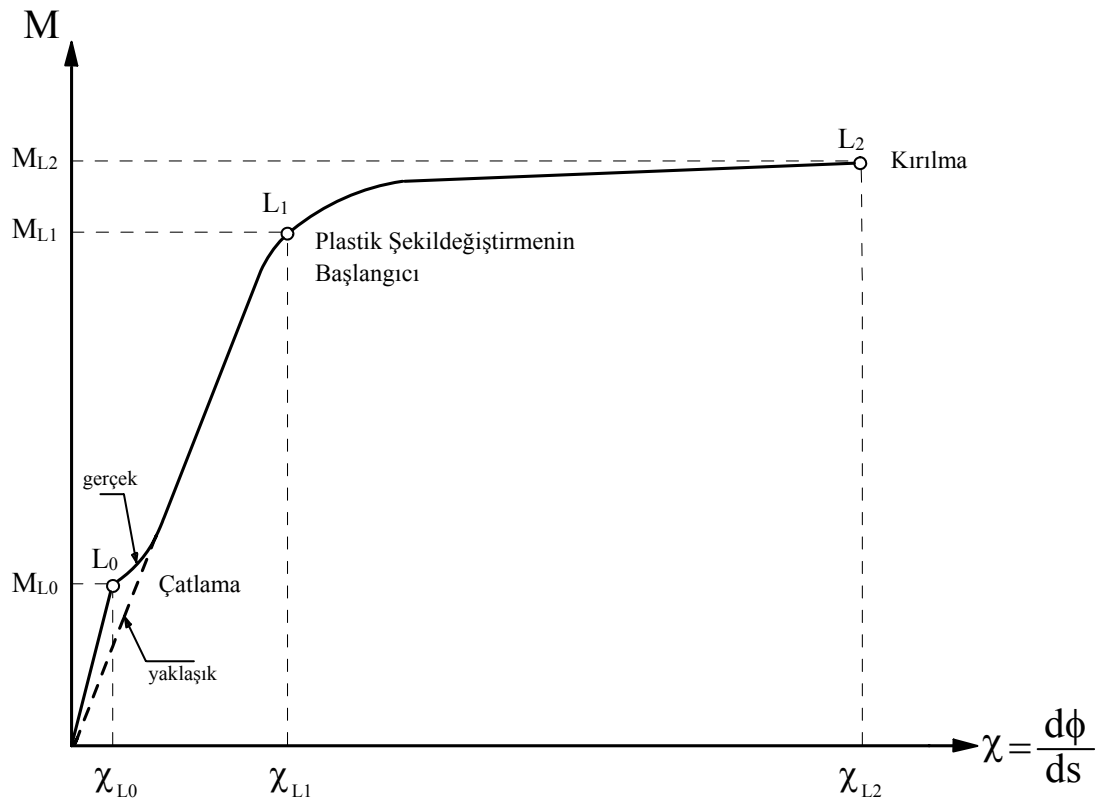
Daha önce (2.2) bağıntısı ile tanımlanan F_1 fonksiyonuna, çubuk enkesit bünye bağıntısı adı verilmektedir.



Şekil 2.5 d_s Uzunluğundaki Sonlu Parçada Eğrilik Hesabı

Buradaki birim dönme(eğrilik) “ χ ”, iki kesit arasındaki dönme açısı farkından veya doğrudan kesitteki birim deformasyondan yararlanarak Şekil 2.5’ teki gibi hesaplanmaktadır, [7], [8].

Sabit eksenel kuvvet ($N=N_0$) altında, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte moment-eğrilik ilişkisi üç bölgeden oluşmaktadır. Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi bu bölgeleri sınırlayan L_0 , L_1 ve L_2 noktalarına karşı gelen durumlar aşağıda açıklanmıştır, [4], [5].



Şekil 2.6 Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik ($M-\chi$) İlişkisi

Burada L_0 , Beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Dış çekme lifindeki normal gerilme eğilmedeki betonun çekme dayanımına eşit olunca betonda çatlaklar meydana geldiği kabul edilmektedir. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı ise (2.6) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$f'_{ctk} = 0.70 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.6)$$

M_{L0} ise kesitte çekme bölgesinde çatlakların oluşmasına neden olan momenttir. Bu momentin hesabında beton kesitin homojen olduğu varsayılmakta ve betonun $\sigma - \epsilon$ bağıntısı lineer-elastik olarak alınmaktadır.

Bu bölgeye kadar eğilme momenti ve birim dönme arasındaki oran, kesitin eğilme rijitliğine (EI) eşittir. Bu noktadan sonra betonun çekme gerilmesi almadığı kabul edilir. Başlangıçtan itibaren betonun çekme dayanımı ihmal edilirse, moment-eğrilik ilişkisi Şekil 2.6' daki yaklaşık eğri ile temsil edilecektir.

L_1 , kesitte plastik şekildeğiştirmelerin başladığı noktadır. Bu noktada betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. M_{L1} momenti, kesit akma momenti olarak kabul edilir. Plastik şekildeğiştirmelerin betonda $\epsilon_{c0} = 0.002$ birim kısalmasında, çelikte ise ϵ_c akma sınırında başladığı göz önünde tutulmaktadır. M_{L1} eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı hesaba katılmaz.

Eğilme momenti artarak kesitin taşıma gücü adı verilen $M_{L2} = M_p$ değerine eşit olunca basınç bölgesindeki beton ezilerek kırılır veya çekme donatısı kopar. M_{L2} momenti, kesitin kopma momenti ve taşıma gücü olarak kabul edilir. Basınç bölgesindeki betonun ezilerek kırılması birim kısalmanın ϵ_{cu} sınır değerine ulaşmasıyla meydana gelmektedir. Sargısız betonda kısa süreli yükler için $\epsilon_{cu} = 0.0035$ olan bu sınır değer, sargı donatısına bağlı olarak artmaktadır. Betonarme kesitlerin boyutlandırılmasında, çekme donatısının kopması yerine, genellikle çelikteki birim uzamanın $\epsilon_{su} = 0.01$ değeri ile sınırlandırılması esas alınır.

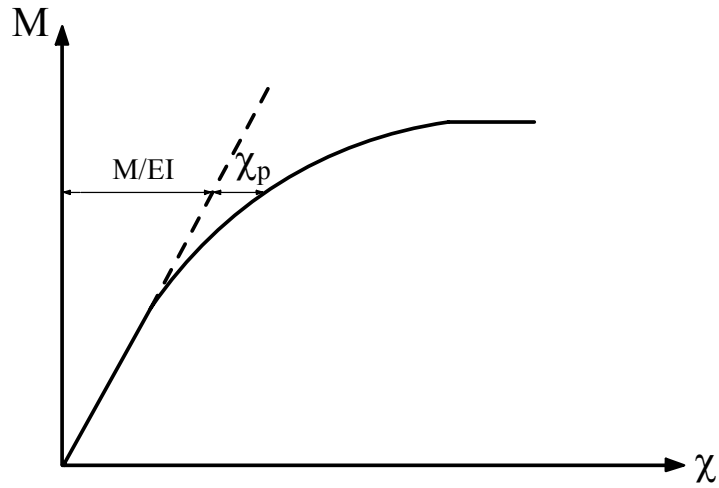
Beton basınç bölgesinin ezilmesiyle meydana gelen kırılmaya *gevrek kırılma* denilmektedir. Yapı sistemlerinde gevrek kırılma istenilmeyen bir kırılma durumudur. Bunun için yönetmeliklerde kesitlerin çekme bölgesindeki donatı oranları, kesitte beton basınç bölgesinin ezilmesiyle çekme donatısının kopmasının aynı ana denk gelen dengeli donatı oranı denilen orandan belirli bir miktar küçük kalacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Buna karşılıklı artan kesit zorları altında beton basınç bölgesinde ezilme olmadan, çekme donatısının akma şekildeğiştirmesine ulaşmış belirli bir süre aktıktan sonra

kesitin kırılması istenmektedir. Bu şekilde kesitin göçmesine *sünek kırılma* adı verilmektedir.

Yapı sistemlerinin tasarımında büyük şekildeğişikliklerin önlenmesi için gerçekte yapı çeliğinin büyük kopma şekildeğişiklik değerleri alabilse de, çeliğin en büyük şekildeğişikliği gerçek kopma değerinden daha küçük bir değer alınarak sınırlandırılmıştır. Bu şekilde, bir bakıma kesitin dönme kapasitesi kontrol altına alınmış olacaktır.

Süneklik oranı, bir kesitteki toplam şekildeğişikliklerin, lineer şekildeğişikliklere oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.7



Şekil 2.7 M- χ Diyagramında Lineer ve Lineer Olmayan Şekildeğişiklikler

Kesit sünekliğini etkileyen başlıca faktörler şöyle açıklanabilir:

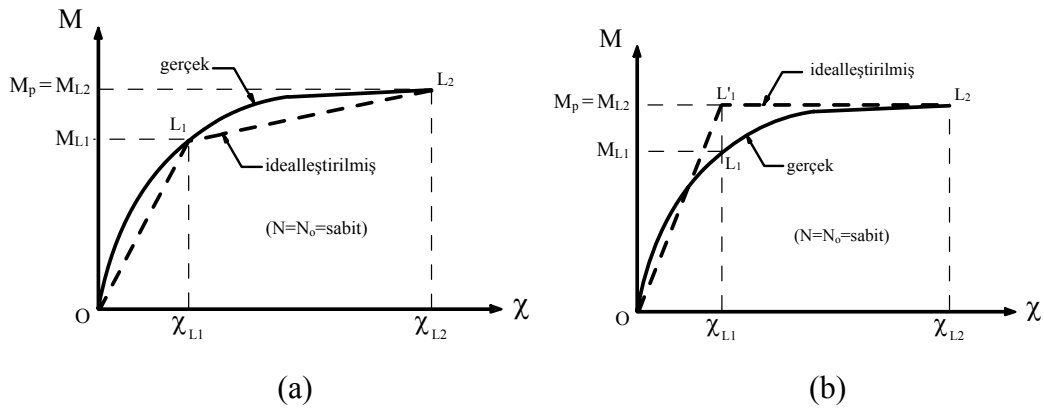
- 1- Çekme donatısı oranının artması kesit taşıma gücünü arttırmasına karşın lineer şekildeğişikliklerin arttırmasına neden olacağından kesit sünekliğinin azalmasına sebebiyet verecektir.
- 2- Basınç donatısı oranının artması ile lineer şekildeğişiklikler azalacağı için kesit sünekliği artacaktır.
- 3- Betonarme elemanlarda sargı donatısı oranının artmasıyla lineer olmayan şekildeğişiklikler artacak bu da kesit sünekliğinin artması demektir.

2.5 Betonarme Kesitlerin Davranışının İdealleştirilmesi

2.5.1 Moment-Eğrilik İlişkisi

Betonarme kesitlerde, sabit eksenel kuvvet altındaki moment-eğrilik ilişkisinin idealleştirilmesi için önerilen iki model aşağıda açıklanmıştır.

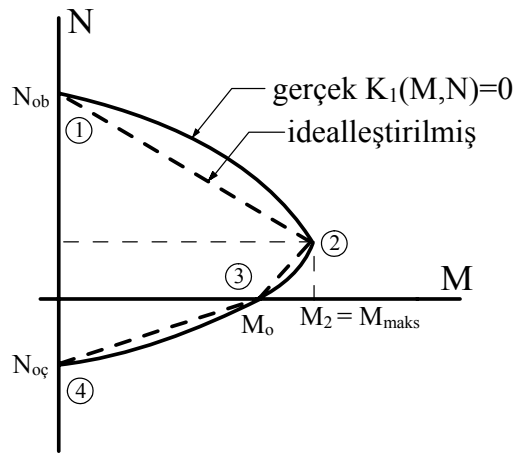
- Birinci tür idealleştirmede, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı göz önüne alındığı hesap yöntemlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde Şekil 2.8(a)' da görüldüğü gibi $M-\chi$ bağıntısının $O-L_1-L_2$ noktalarını birleştiren iki doğru parçasından oluştuğu varsayımı yapılmaktadır.
- İkinci tür idealleştirme ise, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin *plastik kesit(plastik mafsal)* adı verilen belirli noktalarda toplandığı(yığıldığı) varsayımının yapıldığı hesap yöntemlerinde kullanılmaktadır. Buna göre O başlangıç noktası ile, koordinatları χ_{L1} , M_{L1} olan L_1 noktasını ve L_2 noktasını birleştiren iki doğru parçası yaklaşık $M-\chi$ bağıntısını oluşturmaktadır. Şekil 2.8(b).



Şekil 2.8 Betonarme Kesitlerde İdealleştirilmiş Moment-Eğrilik($M-\chi$) Diyagramı

2.5.2 Karşılıklı Etki Diyagramı

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki bir betonarme kesitte, kesitin taşıma gücünü ifade eden karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.9’ da görüldüğü gibi idealleştirilmektedir. Buna göre pozitif eğilme momenti bölgesindeki idealleştirilmiş akma eğrisinin (1), (2), (3) ve (4) noktalarını birleştiren üç doğru parçasından meydana geldiği varsayılmaktadır.



Şekil 2.9 Betonarme Kesitlerde İdealleştirilmiş Karşılıklı Etki Diyagramı

Simetrik donatılı simetrik kesitlerde, gerçek ve idealleştirilmiş akma eğrileri N eksenine göre simetriktir.

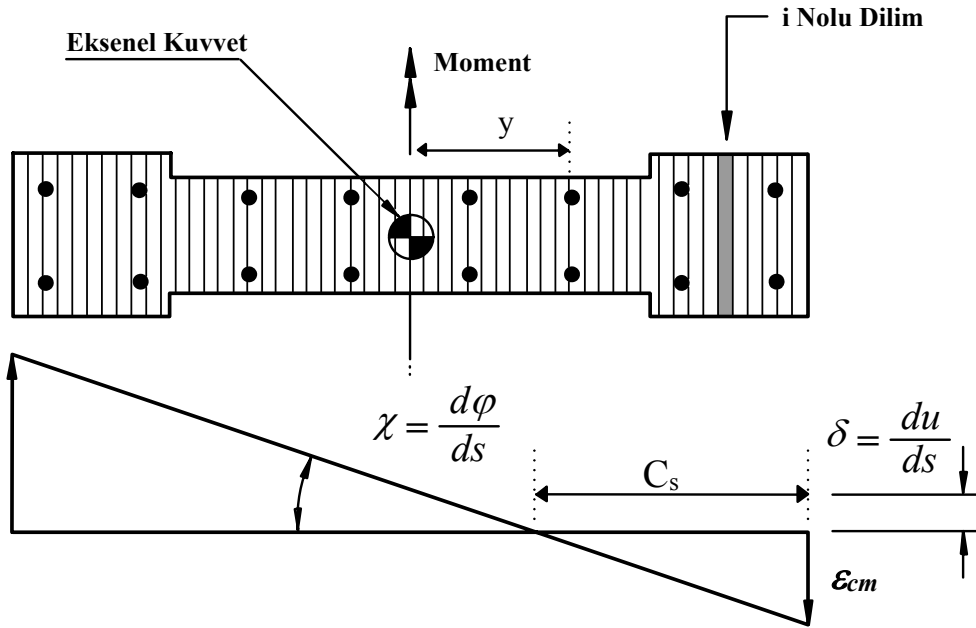
Gerçek ve idealleştirilmiş akma eğrileri karşılaştırıldığında, önerilen idealleştirmenin güvenli yönde olduğu, diğer bir deyişle gerçek akma koşulu için bir alt sınır oluşturduğu görülmektedir.

2.6 Betonarme Kesitlerde Kuramsal Moment – Eğrilik Bağıntısı

Eğilme momenti ve eksenel kuvveti etkisindeki betonarme bir kesitte moment-eğrilik ilişkisinin oluşturulması aşamasında bazı varsayımlar yapılmaktadır, [9]. Bu varsayımlar özet olarak aşağıdaki gibidir:

- 1) Şekildeğiştirme öncesinde düzlem olan bir betonarme kesit, şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kalmaktadır. Buna göre kesitteki her noktanın şekildeğiştirmesi, tarafsız eksene olan uzaklığıyla orantılıdır.
- 2) Kesit çekme dayanımına erişildikten sonra betonun çekme dayanımı terkedilmektedir.
- 3) Beton ve donatı çeliği arasında tam bir aderans mevcuttur.
- 4) Tüm beton basınç bölgesi için sarılmış betona ait malzeme modeli geçerlidir.

Betonarme bir kesitte, kesit yüksekliği boyunca şekildeğiştirme dağılımı biliniyorsa, o kesite ait beton ve çelik malzeme modelleri kullanılarak kesit boyunca oluşan gerilmelere, oradan da denge denklemleri yardımı ile iç kuvvetlere geçilebilir, Şekil 2.10, [10].



Şekil 2.10 Betonarme Kesitte Moment-Eğrilik İlişkisinin Kurulması

Betonarme kesite ait denge denklemleri (2.7) bağıntısında verilmiştir. Bu bağıntıda, basınç gerilmeleri pozitif, çekme gerilmeleri negatif olarak alınmaktadır. Bundan dolayı normal kuvvetin basınç ve momentin de alt liflerde çekme etkisi yaratması durumu pozitif olarak göz önüne alınmaktadır.

$$\int_{A_{\text{beton}}} \sigma_{\text{beton}} dA_{\text{beton}} + \int_{A_{\text{çelik}}} \sigma_{\text{çelik}} dA_{\text{çelik}} = N$$

$$\int_{A_{\text{beton}}} \sigma_{\text{beton}} y dA_{\text{beton}} + \int_{A_{\text{çelik}}} \sigma_{\text{çelik}} y dA_{\text{çelik}} = M \quad (2.7)$$

Moment-eğrilik ilişkisinin oluşturulması için aşağıdaki hesap adımları izlenebilir:

1. İlk olarak betonarme kesit belirli sayıda ince dilimlere ayrılır. Bu dilim sayısı ne kadar çok ise sonuç o kadar detaylı ve gerçeğe yakın elde edilir.
2. Betonarme kesitte denge denklemlerini sağlayacak tarafsız eksen pozisyonunu bulmak için, en uç basınç lifinde bir şekildeğiştirme değeri seçilir. Bu sayede seçilen şekildeğiştirme değeri için tarafsız eksen pozisyonu bulunur.
3. Seçilen tarafsız eksen derinliği için, tüm beton dilimleri ve donatı merkezleri hizasındaki şekildeğiştirme değerleri hesaplanır.
4. Beton ve çelik malzeme modellerinden yararlanarak elde edilen şekildeğiştirmelere karşı gelen gerilmeler belirlenir. Bulunan gerilme değerleri, ilgili elemanların kesit alanı ile çarpılmak suretiyle kuvvetler elde edilmiş olur.
5. Kesitte meydana gelen basınç ve çekme kuvvetlerinin farkı ile dış normal kuvvetin dengesi oluşturulur.

$$\Sigma \text{Basınç} - \Sigma \text{Çekme} = N \quad (2.8)$$

(2.8) denklemindeki eşitlik sağlanana kadar 3-5 arası adımlar tekrarlanır.

6. Dış normal kuvvet dengesi öngörülen doğrulukta sağlandıktan sonra çekme ve basınç kuvvetlerinin betonarme kesitin ağırlık merkezine göre momentleri alınarak, verilmiş normal kuvvet ve şekildeğiştirme etkisinde kesitte oluşan moment belirlenir. En dış beton basınç lifindeki şekildeğiştirme miktarının

bulunan tarafsız eksen derinliğine oranı ile birim dönme(eğrilik) elde edilmiş olur,(2.9).

$$\chi = \frac{\varepsilon_{cm}}{C_s} \quad (2.9)$$

Burada;

ε_{cm} : En dış beton basınç lifindeki şekildeğiştirme değeri

C_s : Bulunan tarafsız eksen derinliği

7. Başka bir şekildeğiştirme durumu için Madde 2' ye gidilerek hesap adımları tekrarlanır ve bu şekilde bir çok moment ve eğrilik değeri hesaplanır ve bu noktalardan betonarme bir kesitin moment-eğrilik ilişkisi oluşturulur.

2.7 Betonarme Kesitlerde Moment–Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi İçin Bir Bilgisayar Programı, (M-KAPA)

Burada tek eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme bir kesitte moment-eğrilik ilişkisini belirleyen bir bilgisayar programı kısaca anlatılacaktır. Yüksel [9] tarafından geliştirilmiş olan **M-KAPA** isimli bu programın kullanımı için, kesitin moment düzlemi içinde bir simetri eksenini bulundurması gerekmektedir.

Moment-eğrilik ilişkisinin oluşturulması aşamasında, uygun malzeme modeli seçimi çok önemlidir. Örneğin betonda sarılma etkisi, donatıda ise pekleşmenin dikkate alınmasıyla; moment-eğrilik ilişkisinin özellikle akmadan sonraki bölgesinde gerçek davranışına daha fazla yaklaşmak mümkündür. M-KAPA programında kullanılan beton ve çelik malzeme modelleri sırasıyla Bölüm 2.7.1 ve Bölüm 2.7.2 de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu malzeme modelleri programa giriş bilgisi olarak aktarılmaktadır.

Kesit çatlama dayanımına erişildikten sonra betonun aldığı çekme kuvveti terkedilmektedir. Beton elastisite modülü, çelik elastisite modülü ve beton çekme

dayanımı için deneysel veri olmaması durumunda TS500 [3] de önerilen büyüklükler kullanılabilir.

Hesap yöntemi olarak geometrisi tanımlanmış kesit, program tarafından sonlu sayıda dilime bölünmektedir. Dilim sayısının artması ile doğruluk oranı artmaktadır. Seçilen bir şekildeğiştirme durumu için, beton dilimleri ile donatıların merkezindeki şekildeğiştirmeler hesaplanıp, ilgili malzeme modeli ile gerilmeye geçilir.

2.7.1 M-KAPA Programında Kullanılan Beton Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntısı

Sarılmış beton davranışını belirlemeye yönelik bir çok araştırmacı tarafından farklı modeller ortaya konmuştur. M-KAPA programında ise Saatçioğlu-Ravzi [11], sarılmış beton modeli kullanılmıştır. Uygulanabildiği kesit geometrisi ve sargı donatısı tiplerinin genel oluşu, uygulamasının kolaylığı, eksenel veya dış merkezsel yüklemeler için kullanılabilir olması ve farklı deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmış olmasından dolayı Yüksel [9] tarafından bu model kullanılmıştır.

Bu model, betonarme çubuklarda enine ve boyuna donatılarla oluşturulan donatı kafesinin sağladığı *eşdeğer üniform sargı basıncının* belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Model değişik tip ve düzenleme şekillerinde kullanılan donatılar ile sağlanan sargı etkilerinin süperpozisyonunu da yapabilmektedir.

Betonun üç eksenli basınç altındaki dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı ve yanal sargı basıncının bir fonksiyonu olarak (2.10) de verilmiştir.

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 f_l \quad (2.10)$$

$$k_1 = 6.7 (f_l)^{-0.17} \quad (2.11)$$

Burada;

f'_{cc} : sarılmış betona ait basınç dayanımını

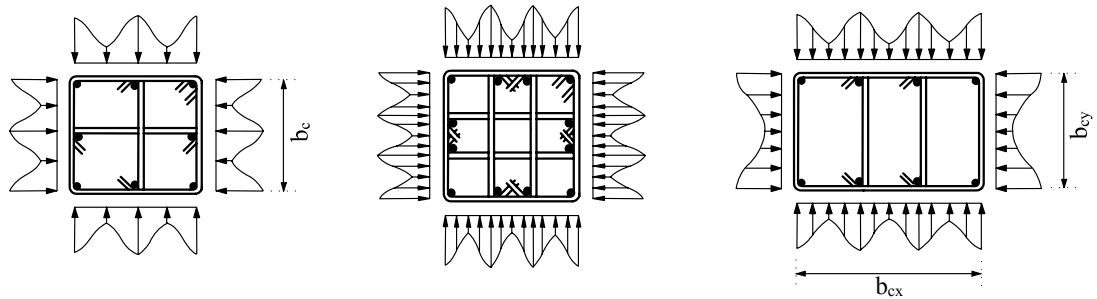
f'_{c0} : sarılmamış betona ait basınç dayanımını

f_l : yanal sargı basıncını

k_1 : (2.11) bağıntısı ile elde edilen Poisson oranının fonksiyonu olan bir çarpanı ifade etmektedir.

f'_{c0} değerinin, eksenel basınç altındaki sargılı beton numunesi ile aynı boyutlardaki ve özelliklerdeki bir numuneden elde edilmiş olması gerekmektedir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, standart silindir basınç dayanımı sonuçlarının, 0.85- 1.00 aralığından seçilecek bir katsayıyla düzeltilmesiyle ulaşılabilecek değerin de kullanılabileceği belirtilmektedir.

Sargı donatısının etkisi kare veya dikdörtgen enkesitli betonarme çubuklarda, etriyenin düşey donatılarla bağlandığı bölgelerde yüksek, bu bölgelerin arasında ise düşük olmaktadır. Sargı basıncı, bağlantı noktalarında enine donatı enkesit alanı ve çekme dayanımıyla, bağlantı noktaları arasındaki bölgelerde ise enine donatı eğilme rijitliği ve açıklığıyla ilgilidir. Donatı eğilme rijitliğinin küçük olması nedeniyle boyuna donatılardan uzaklaştıkça sargı etkisi küçülmektedir. Bu anlatılanlar Şekil 2.11 de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Betonarme Kesitte Sargı Donatısı Etkisi

Yakın yerleştirilmiş ve boyuna donatıyı yanal yönde yeterli düzeyde mesnetleyebilen enine donatı durumunda, sargı basıncı dağılımı üniforma yakın olmaktadır. Enine donatıların akma gerilmesine kadar çalıştırılması durumunda, bu çubuklar üzerinde oluşacak en büyük sarma kuvveti $A_s f_{yt}$ olacaktır. A_s enine donatı enkesit alanını, f_{yt} ise donatı akma gerilmesini göstermektedir. Bu kuvvetlerin toplanarak ilgili beton alanına bölünmesiyle (2.12) bağıntısında verilen *ortalama üniform sargı basıncına*

ulaşılmaktadır.

$$f_l = \frac{\sum A_s f_{yt} \sin(\alpha)}{s b_c} \quad (2.12)$$

Buradaki α açısı, kenar ile enine donatı arasındaki açıyı göstermektedir olup, ilgili kenara dik enine donatı durumunda 90° değerini almaktadır.

Ortalama üniform sargı basıncının hesabında kullanılan alan, kesitte en dış enine donatı merkezleri arasındaki mesafenin, b_c , çubuk boyunca enine donatılar arasındaki mesafeyi gösteren s ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. *Ortalama üniform sargı basıncının* (2.13) de verilen k_2 katsayısıyla azaltılmasıyla, *eşdeğer üniform sargı basıncı*, f_{le} , elde edilmektedir.

$$f_{le} = k_2 f_l \quad (2.13)$$

Buradaki k_2 katsayısı, spiralli kolonlarda ve çok sık enine donatılı kare kolonlarda 1.0 değerini almaktadır. k_2 katsayısının belirlenmesi bir çok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda bu büyüklüğün, enine donatı aralığına, enkesitte tutulu düşey donatılar arasındaki mesafeye ve ortalama yanal sargı basıncına bağlı olarak değiştiği ortaya çıkmıştır ve (2.14) bağıntısı k_2 katsayısının hesabı için önerilmiştir.

$$k_2 = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right) \left(\frac{b_c}{s_l}\right) \left(\frac{1}{f_l}\right)} \leq 1.0 \quad (2.14)$$

Burada; s_l , kesitte tutulu düşey donatılar arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Dikdörtgen enkesitli betonarme çubuklarda, boyut farkından dolayı her iki doğrultuda farklı eşdeğer üniform sargı basınç değeri oluşmaktadır. Bu durumda eşdeğer üniform sargı basıncı, iki doğrultudaki basınç değerlerinin ağırlıklı ortalamalaması olarak hesaplanmaktadır. (2.15) bağıntısı ile elde edilen bu *eşdeğer üniform sargı basıncı* her iki doğrultu içinde kullanılabileceği belirtilmektedir.

$$f_{le} = \frac{f_{lex} b_{cx} + f_{ley} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} \quad (2.15)$$

Burada f_{lex} ve f_{ley} sırasıyla, b_{cx} ve b_{cy} beton çekirdek boyutlarına dik doğrultularda oluşan eşdeğer sargı basınçlarını göstermektedir.

Betonun aksenal basınç altındaki şekildeğiştirme yeteneği sarılma etkisiyle artmaktadır. Sargılı betonda; en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme miktarının sargısız betona göre daha büyük, gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin azalan kolundaki dayanım kaybının ise daha az olduğu bilinmektedir. En büyük gerilme düzeyindeki şekildeğiştirme, uygulanan sarılma yönteminin etkinliğiyle yakından ilgilidir ve (2.16) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{01}(1 + 5 K_{sargı}) \quad (2.16)$$

$$K_{sargı} = \frac{k_1 f_{le}}{f'_{c0}} \quad (2.17)$$

ε_1 , ε_{01} sırasıyla sarılmış ve sarılmamış betona ait en büyük gerilme düzeyindeki şekildeğiştirmeleri göstermektedir. Sargısız betonla ilgili deneysel veri bulunmuyorsa, ε_{01} için 0.002 değeri kullanılabilir.

En büyük gerilme düzeyine eriştikten sonra betonun şekildeğiştirme yeteneğini boyuna donatıların davranışı önemli ölçüde etkilemektedir. Beton pas paylarının dökülmesinin ardından boyuna donatıyı burkulmaya karşı yeterli düzeyde yerleştirilmiş enine donatılar koruyacaktır. Enine donatı oranının bulunması için (2.18) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$\rho = \frac{\sum A_s}{s(b_{cx} + b_{cy})} \quad (2.18)$$

Burada b_{cx} , b_{cy} sırasıyla enkesitte x ve y doğrultularındaki çekirdek beton boyutlarını ifade etmektedir.

Sarılmış betona ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin azalan kolu üzerinde, en büyük gerilmenin %85'i düzeyinde ulaşılan şekildeğiştirme miktarı (2.19) bağıntısında verilmiştir.

$$\varepsilon_{85} = 260 \rho \varepsilon_1 + \varepsilon_{085} \quad (2.19)$$

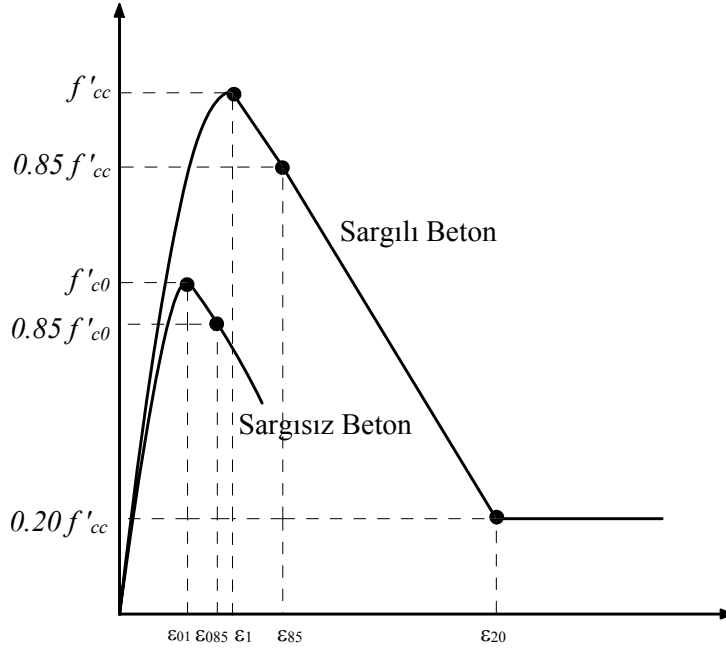
Burada; ε_{085} , sargısız betonda pikten sonra en büyük dayanımın %85'ine karşı gelen şekildeğiştirme miktarı olup, deneysel veri bulunmuyorsa 0.0038 değeri kullanılabilir.

(2.19) bağıntısının oluşturulması için yapılan deneysel çalışmalarda; (2.18) bağıntısıyla tanımlanan enine donatı oranı için en fazla %2'ye çıkıldığı, daha yüksek enine donatı oranları durumunda (2.19) bağıntısını kullanmanın doğru olmayacağı belirtilmiştir.

Sarılmış beton için oluşturulan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi üç ana parçadan meydana gelmektedir, Şekil 2.12' de gösterilen bu gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin artan bölümü için (2.20) ile verilen bir parabol denklemi tanımlanmaktadır.

$$f_c = f'_{cc} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_1} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_1} \right)^2 \right]^{1/(1+2K_{sarg})} \leq f'_{cc} \quad (2.20)$$

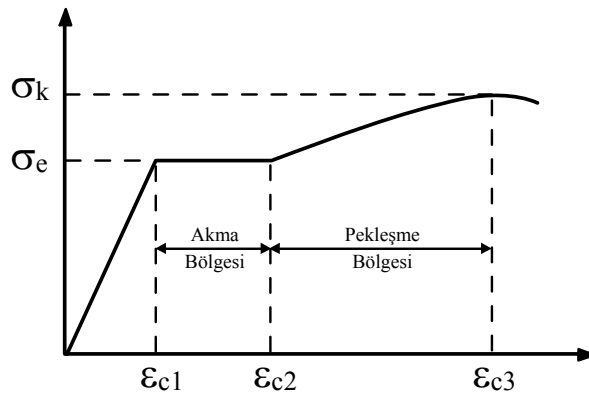
Gerilme-şekildeğiştirme diyagramının ikinci bölümü, en büyük gerilme f'_{cc} 'yi, %20 f'_{cc} 'ye bağlayan azalan koldur. Üçüncü bölüm ise %20'lik artık dayanımı içeren bölümdür.



Şekil 2.12 Sargılı ve Sargısız Betonda Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

2.7.2 M-KAPA Programında kullanılan Çelik Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntısı

Çelik malzeme modelinde pekleşmenin dikkate alınmasıyla, moment-eğrilik ilişkisinin akmadan sonraki bölgesinde gerçek davranışa daha fazla yaklaşmak mümkündür. M-KAPA programında Şekil 2.13' te gösterilen çelik malzeme modeli kullanılmaktadır, [4].



Şekil 2.13 M-KAPA Programında Kullanılan Çelik Malzeme Modeli

M-KAPA programında kesit dönme sünekliğinin hesabı için, akmaya ilk ulaşan boyuna donatıyı da tespit etmektedir. Program $\varepsilon = \varepsilon_y$ olduğunda yani donatı akma şekildeğiştirmesine ulaştığı andaki kesitteki χ_y eğriliğini ve M_y moment değerini hesaplamaktadır. Bu büyüklükler yardımıyla, kesit dönme sünekliği (2.21) bağıntısıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$R_\theta = \frac{\chi_u}{\chi_y} \quad (2.8)$$

3. DOLGU DUVARLAR İÇİN KULLANILAN BİR MATEMATİK MODEL – ALCHAAR YÖNTEMİ

Genellikle dolgu duvarlardan söz edilince aklımıza ilk olarak mekanları birbirinden ayırmaya yarayan elemanlar olarak gelmektedir. Bunun yanında ses ve ısı yalıtımı sağlayan ve bir binanın mimarisine şekil vermek için kullanılan elemanlardır. Böylece genellikle dolgu duvarların yapı sisteminde taşıyıcı özelliği olmadığı düşünülmektedir ve bundan dolayı da yapı sistemlerinin modellenmesi ve analizinde sadece kütle olarak gözönüne alınarak çözüm yapılmaktadır. Halbuki dolgu duvarların yapı sisteminde kütleden başka etkileride mevcuttur.

Dolgu duvarların yapıya etkisi bakımından bir çok araştırma yapılmış ve yapı sistemine iki önemli etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlar yatay rijitlik ve yatay yük kapasitesidir. Başka bir deyişle araştırmalar sonucu şuna ulaşılmıştır ki dolgu duvarların deprem etkisindeki bir yapının yatay rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ancak bu etkinin tam olarak sağlanabilmesi dolgu duvarların kolon ve kirişlere olan bağlantısı, dolgu duvarın içerdiği boşluklar ve üzerinde bulunan sıva ve kaplama malzemesi gibi bir çok değişkene bağlıdır. Tüm bu koşulları gözönüne alarak bir dolgu duvarın modellenmesi hiç de kolay olmayan bir süreç içermektedir.

Bu bölümde dolgu duvarların yapı davranışına etkisi, göçme şekilleri ve modellenmesi hakkında ayrıntılı olarak bilgi verilecektir.

3.1 Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi

Yatay yüklere maruz kalmış bir yapı sisteminde dolgu duvarların ne kadar etkili olduğu bir önceki paragrafta belirtilmiştir. Dolgu duvarlar kısaca Sistem Rijitliği, Taşıma Gücü ve Sistem Sünekliliği gibi başlıca özellikler bakımından yapı

sistemlerini etkilemektedir. Bu etki şöyle sağlanmaktadır ki, dolgu duvarlar yatay rijitliği arttırarak, yatay deplasmanları küçültmekte, dolayısıyla yapıda meydana gelen ikinci mertebe etkileri azaltmaktadır. Bir diğer etki olarak da, dolgu duvarlar yatay rijitliği arttırdığı için, sistem daha stabil bir konuma sahip olmakta ve dolayısıyla sistemin periyodu azalmaktadır.

3.2 Dolgu Duvarlarda Oluşan Hasar ve Göçme Şekilleri

Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarların nedeni genel olarak dolgu duvarların gevrek malzemeden ve yer aldıkları betonarme çerçevelerin ise daha sünek bir malzemeden oluşmasıdır. Dolgu duvarlar betonarme çerçeveler kadar esnekliğe sahip değildir. Bundan dolayı yapı sisteminin depreme maruz kalmasından bir süre sonra yer aldıkları betonarme çerçevenin hareketine uyum gösteremeyen dolgu duvarlarda büyük çatlaklar ve hasarlar meydana gelmekte ve sonunda duvarlar göçmektedir.

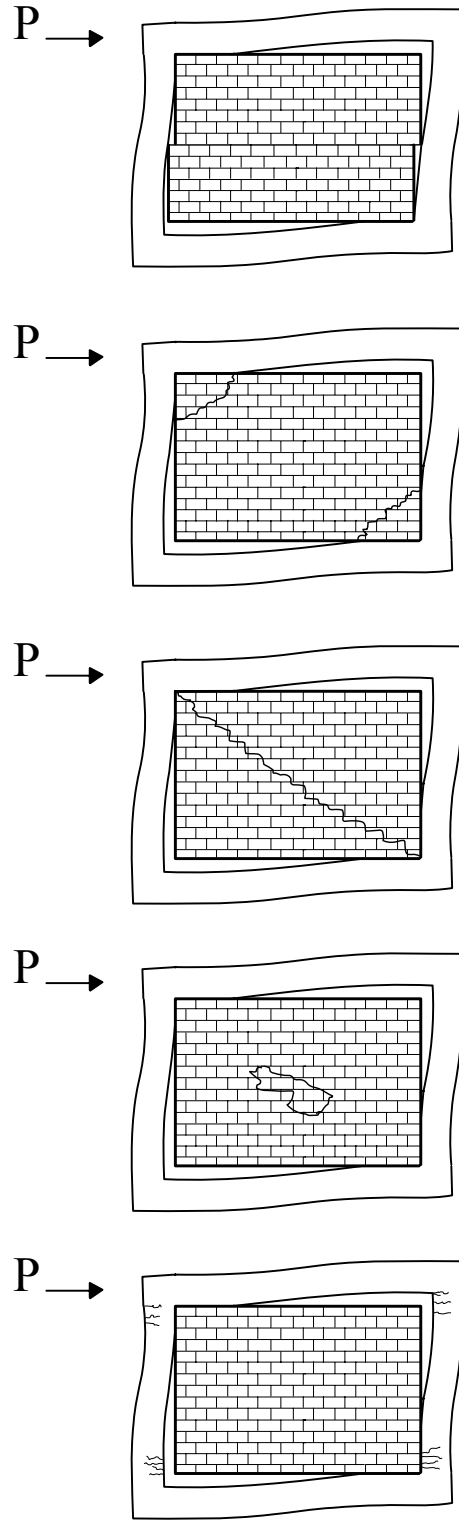
Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar ve göçme şekilleri farklılık göstermektedir ve dolgu duvar ve çerçevenin özelliklerine göre değişmektedir. Bu konu üzerine yapılan çeşitli deneysel çalışmalar ve gözlemler, dolgu duvarlarda aşağıdaki göçme şekillerini ortaya koymuştur, (Şekil 3.1), [12].

Kayma Kırılması : Dolgu duvarı oluşturan elemanları birbirine bağlayan harç tabakasının kayma gerilmesine ulaşması sonucu meydana gelmektedir. Bu tür bir kırılma şeklinde genellikle dolgu duvar kendi içinde yatay olarak parçalara ayrılır. Kayma kırılması genellikle zayıf kayma dayanımına sahip harç tabakası kullanılan dolgu duvarlarda meydana gelmektedir.

Köşe Kırılması : Bu tür kırılma şeklinde dolgu duvarın yüklendiği köşelerinden ez az birinde kırılma meydana gelmektedir. Zayıf birleşimli betonarme çervelere sahip olan dolgu duvarlarda daha sık görülmektedir.

Çapraz Çatlama : Dolgu duvara uygulanan yükün doğrultusundaki köşegende meydana gelen çapraz çatlaklardır. Bu tür bir çatlama genellikle zayıf betonarme bir

çerçeve yada zayıf birleşimli betonarme çerçevelere sahip olan rijit dolgu duvarlarda meydana gelmektedir.



Şekil 3.1 Dolgu Duvar Göçme Şekilleri

Çapraz Kırılma : Dolgu duvarın basınç çaprazının orta bölgesinin kırılması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde bir kırılma duvarın düzlem dışı burkulması sonucu meydana gelmektedir.

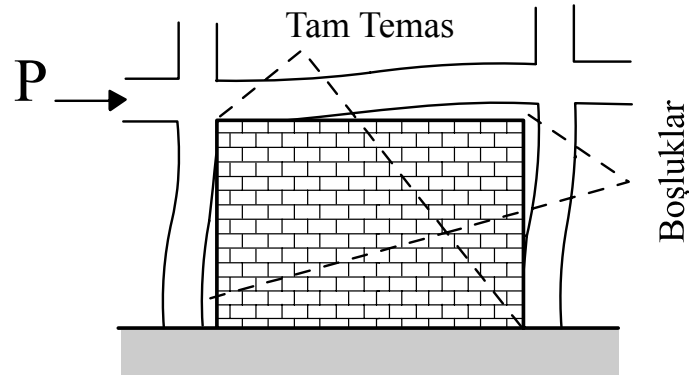
Çerçeve Göçmesi : Dolgu duvarı çevreleyen betonarme çerçevede plastik mafsalların oluşması sonucu meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise rijit dolgu duvarlardan oluşturulmuş zayıf betonarme çerçeveli sistemlerdir.

Dolgu duvarın yapı davranışına olan etkisi, yapı içindeki yerleşimine ve yatay yükün geldiği doğrultuya da bağlıdır. Dolgu duvarlarının plandaki ve boy kesitteki düzensiz dağılımından dolayı oluşan burulma etkileri ve yumuşak kat mekanizmaları, hasarın belirli bölümlerde toplanmasına neden olmaktadır.

Dolgu duvarlı çerçeveye yatay yük uygulanmaya başlandığı zaman, dolgu ve çerçeve elemanlarda üniform olmayan gerilme dağılımı meydana gelmeye başlıyor ve dolgu duvarda göçme meydana gelene kadar gerilme dağılımı değişiyor. Göçmenin oluşması için dolgu duvarın çekme veya basınç gerilmesine ulaşması gerekiyor. Bu seviyeye ulaşmadan duvar hasarının ne boyutta olduğunu anlamak için çatlak genişliklerini kontrol etmek gerekiyor.

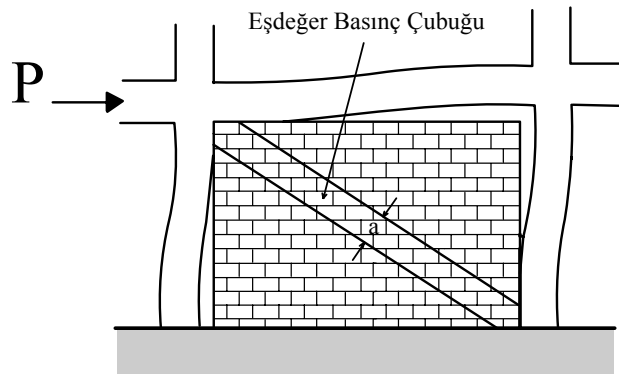
3.3 Dolgu Duvarlar İçin Kullanılan Matematik Modeller

Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının ve yük kapasitesinin belirlenmesi karmaşık ve kesin olmayan bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Dolgu duvarların dayanımının belirlenmesi sadece dolgu duvar özelliklerine ve onu çevreleyen çerçevenin özelliklerine bağlı değildir. Dolgu duvarların davranışının belirlenmesi amacıyla bir çok analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Polyakov(1960), Stafford-Smith(1962,1966,1969), Mainstone(1971), Klinger ve Bertero(1976,1978), dolgu duvar davranışını inceleyen araştırmacılardan bir kısmını oluşturmaktadırlar. Araştırmalar göstermiştir ki duvarın yüklendiği köşegen doğrultusunda duvar ortasında diyagonal çatlaklar oluşmakta ve yük almayan köşegen doğrultusundaki köşelerde çerçeve ile duvar arasında boşluklar meydana gelmektedir. Buna karşılık duvarın yük aldığı köşegen doğrultusundaki köşelerde ise duvar ile çerçeve arasında tam bir birleşme oluşmaktadır, Şekil 3.2, [13].



Şekil 3.2 Yatay Yük Etkisindeki Dolgu Duvar ve Betonarme Çerçeve

Dolgu duvar çerçevenin açıklanan bu davranışı ilk olarak Polyakov tarafından gözlenmiş ve duvarın matematiksel modelinin oluşturulmasına ilham kaynağı olmuştur. Buna göre dolgu duvarların, eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi fikri ortaya çıkmıştır. Şekil 3.3’ te eşdeğer basınç çubuğu görülmektedir. Dolgu duvarların bu şekilde tek bir yapı elemanı olarak gözönüne alınmasına *makro modelleme* denilmektedir. Bir başka yöntem ise dolgu duvarların sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesidir. Bu şekilde oluşturulan bir modele ise *mikro modelleme* adı verilmektedir.



Şekil 3.3 Dolgu Duvarın Eşdeğer Basınç Çubuğu Olarak Modellenmesi

Bu çalışma kapsamında dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı yani makro modelleme kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde bu yaklaşımın detayları açıklanmıştır.

3.3.1 Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli

Dolgu duvarlı çerçeve sisteme yatay yükün uygulanması ile birlikte belirli bir aşamadan sonra çerçeve ile dolgu duvar hareketleri birbirine göre farklı şekiller almaktadır. Başka bir deyişle çerçeve eğilme davranışı göstermeye çalışırken dolgu duvar buna karşı koymaya çalışarak kayma benzeri bir hareket göstermektedir. Çerçeveye uygulanan yük arttıkça çerçeve ile dolgu duvar birleşiminde ayrılmalar göze çarpmaktadır. Bu ayrılmalar Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi yükün uygulanmadığı köşegen doğrultusunda çerçeve ile dolgu duvar birleşiminde yani çekme çaprazındaki karşılıklı iki köşe civarında meydana gelmekte ve yük seviyesi arttıkça ayrılmalar genişleyerek daha belirgin bir hale gelmektedir. Buna karşın yükün uygulandığı köşegen doğrultusunda yani basınç çaprazının karşılıklı iki köşesi civarında ise çerçeve ile dolgu duvar arasında tam bir temas durumu görülmektedir. Bu basınç çaprazı, eşdeğer basınç çubuğu olarak gözönüne alınarak Şekil 3.3’ te gösterilmiştir.

3.3.1.1 Dolgu Duvar Parametreleri

Dolgu duvar davranışının, eşdeğer sanal çubuk olarak tanımlanabilmesi için bir çok parametre kullanılmıştır. Bunlardan başlıcaları aşağıda verilmiştir:

a : Eşdeğer sanal çubuk genişliği

D : Eşdeğer sanal çubuk uzunluğu

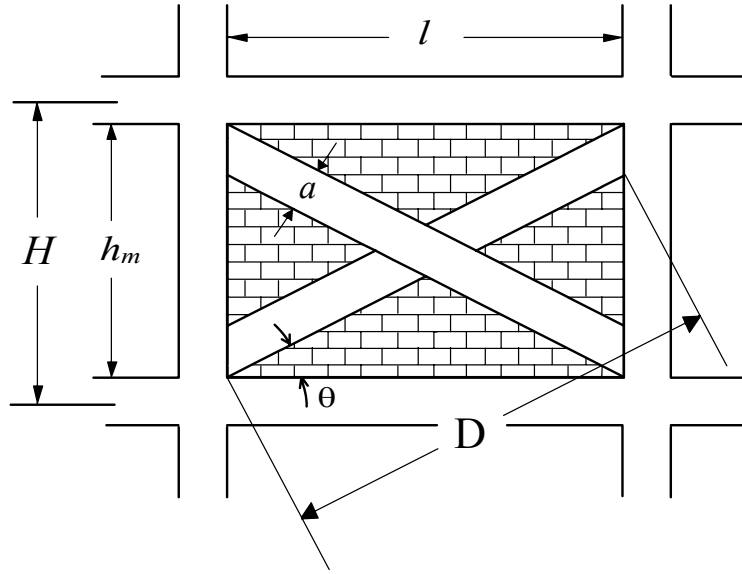
t : Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı

E_m : Eşdeğer sanal çubuk elastisite modülü

R : Eşdeğer sanal çubuk taşıma kapasitesi

θ : Eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açı

Bu parametreler Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Dolgu Duvarı Temsil Eden Eşdeğer Sanal Çubuk Parametreleri

3.3.1.2 Eşdeğer Sanal Çubuk Genişliği

Eşdeğer sanal çubuğun genişliği “ a ”, ile temsil edilmektedir. Bu genişliği bulmak için farklı araştırmacılar değişik bağıntılar önermişlerdir.

Paulay ve Priestley (1992) [14], Angel et al. (1994) [15], eşdeğer sanal çubuk genişliği için belirli bir katsayı önermişlerdir. Bu katsayı eşdeğer sanal çubuk uzunluğunun %12.5 - %25’ i arasında bir değer olarak belirtilmiştir, (3.1).

$$a = \%12.5 D \sim \%25 D \quad (3.1)$$

Burada; “ D ” olarak ifade edilen eşdeğer sanal çubuk uzunluğu ise (3.2) bağıntısı ile elde edilmektedir.

$$D = \sqrt{H^2 + L^2} \quad (3.2)$$

Diğer taraftan Stafford-Smith ve Carter (1969) [16], Mainstone (1971) [17], [18], ve diğerleri daha kompleks bir bağıntı ile eşdeğer sanal çubuk genişliğini tanımlamışlardır. (3.3). Bu bağıntıda kullanılan ‘ λH ’ değeri ise (3.4) bağıntısından elde edilmiştir.

$$a = 0,175.(\lambda_1 H)^{-0,4} . \sqrt{h^2 + l^2} \quad (3.3)$$

$$\lambda_1 H = H \left[(E_m . t . \sin 2\theta) / (4E_c . I_{col} . h_m) \right]^{1/4} \quad (3.4)$$

Bu bağıntılarda;

H : Dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve yüksekliği

h_m : Dolgu duvar yüksekliği

l : Dolgu duvar genişliği

E_c : Kolon elastisite modülü

I_{col} : Kolon atalet momenti Olarak ifade edilmektedir.

Dolgu duvar yerine tanımlanan eşdeğer sanal çubuk alanı ise (3.5) bağıntısı ile elde edilmektedir.

$$F = t . a \quad (3.5)$$

Eğer dolgu duvarda boşluklar, hasarlar, veya FRP takviyesi mevcut ise, “a” genişliği (3.6) bağıntısına göre tekrar hesaplanarak değiştirilmelidir.

$$a_{mod} = a (R_1)_i (R_2)_i \xi_1 \quad (3.6)$$

Burada;

(R₁)_i : Mevcut boşluklar nedeni ile azaltma katsayısı

(R₂)_i : Mevcut hasarlar nedeni ile azaltma katsayısı

ξ₁ : Mevcut FRP takviyesi nedeni ile arttırma katsayısı

3.3.1.3 Dolgu Duvarın Boşluklu Olması Durumu

Dolgu duvarda boşluk mevcut ise eşdeğer sanal çubuk genişliği “a”, daha önce de belirtildiği gibi “(R₁)_i” katsayısı ile çarpılarak tekrar hesaplanacaktır. Başka bir

deyişle boşluk sayesinde oluşan dayanım kaybı bu şekilde modele tanımlanacaktır. “ $(R_1)_i$ ” Katsayısı (3.7) bağıntısı ile elde edilecektir.

$$(R_1)_i = 0.6 \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right)^2 - 1.6 \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right) + 1 \quad (3.7)$$

Burada;

A_{open} : Dolgu duvardaki boşluk alanı

A_{panel} : Dolgu duvar alanıdır.

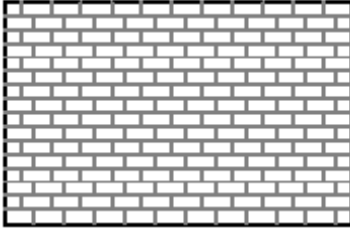
Eğer dolgu duvardaki boşluk alanı “ A_{open} ”, toplam dolgu duvar alanının “ A_{panel} ”, %60’ ına eşit veya bu değeri aşıyorsa bu durumda dolgu duvarın etkisi gözardı edilmelidir. Başka bir ifadeyle bu durumda $(R_1)_i = 0$ alınmalıdır.

3.3.1.4 Dolgu Duvarda Hasarların Mevcut Olması Durumu

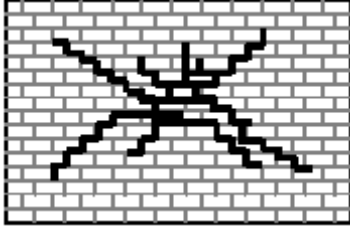
Dolgu duvardaki mevcut hasarı gözönüne alabilmek için hasar durumlarını ilk olarak sınıflandırmak lazım. Şekil 3.5’ tende görüldüğü gibi hasarsız, orta hasarlı ve çok hasarlı olarak sınıflandırılmaktadır, [13]. “ $(R_2)_i$ ” azaltma katsayısı Tablo 3.1’ den elde edilmektedir. Eğer dolgu duvar narinlik oranı (h_m/t), 21’ den büyük ise “ $(R_2)_i$ ” katsayısı tanımlanmaz ve dolgu duvar onarılmalıdır. Buna karşılık eğer dolgu duvarda hasar mevcut değilse “ $(R_2)_i$ ” azaltma katsayısı 1.0 alınmalıdır.

Tablo 3.1 Dolgu Duvar Mevcut Hasar Azaltma Katsayısı

	$(R_2)_i$ Hasar Durumuna Göre	
h_m/t	Orta Hasarlı	Çok Hasarlı
≤ 21	0.7	0.4
> 21	Onarılmalıdır!	



Hasarsız



Orta Hasarlı (çatlak genişliği $< 3\text{mm}$)

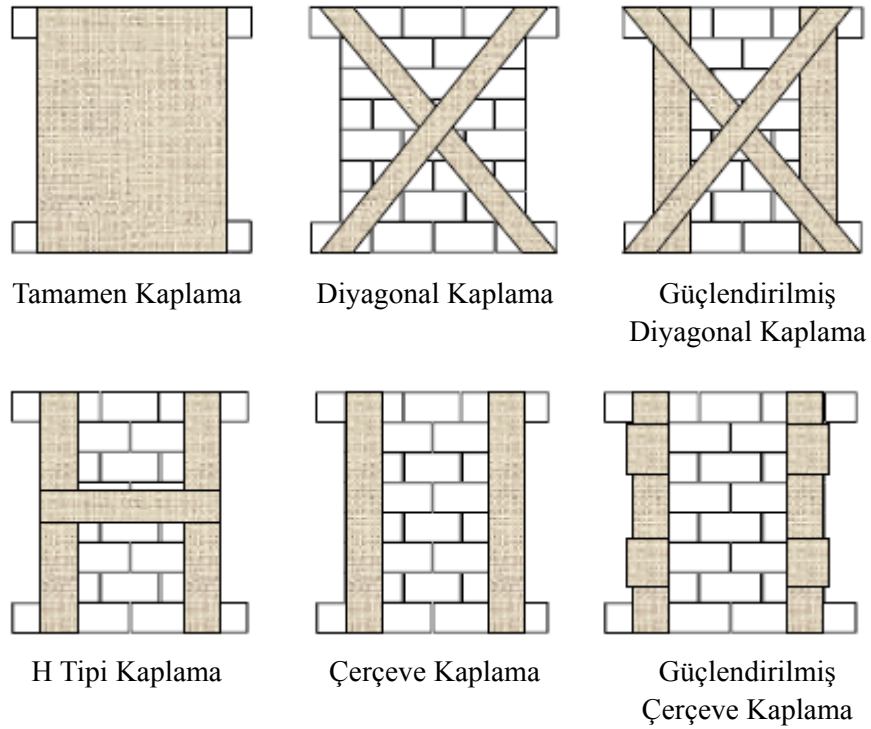


Çok Hasarlı (çatlak genişliği $\geq 3\text{mm}$)

Şekil 3.5 Dolgu Duvar Hasar Sınıflandırılması

3.3.1.5 Dolgu Duvarın Karbon Lif ile Takviye Edilmesi Durumu

Dolgu duvar yüzeyine karbon lif uygulaması ile dolgu duvarlı çerçeve sistemin dayanımı artmaktadır. Şekil 3.6’ dolgu duvar dayanımını arttırmak için kullanılan farklı karbon lifi kaplama metodları gösterilmiştir. Karbon lifi kaplama düzenine ve katman sayısına göre farklı dayanım arttırma katsayıları kullanılmalıdır. Tablo 3.2’ de “ ξ_1 ” dayanım arttırma katsayısı için kullanılabilecek değerler verilmiştir. Bu katsayılar çeşitli deneyler sonucu elde edilmiştir, [13].



Şekil 3.6 Karbon Lifi Kaplama Düzeni

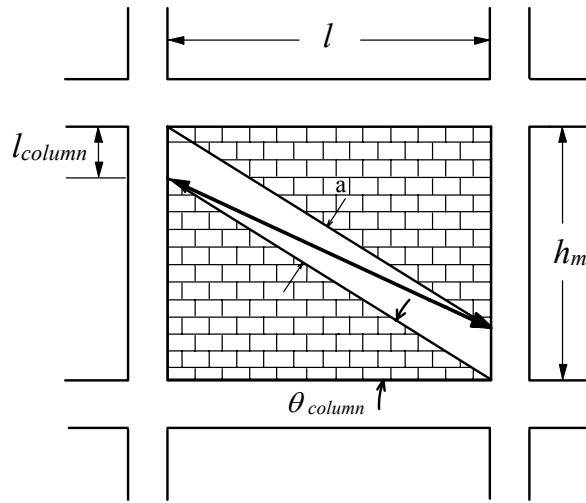
Tablo 3.2 Karbon Lifi Dayanım Arttırma Katsayısı Değerleri

Karbon Lifi Kaplama Düzeni	ξ_1
2 Tabaka - Tamamen Kaplama	1.51
1 Tabaka - Güçlendirilmiş Diyagonal Kaplama	1.48
1 Tabaka - Tamamen Kaplama	1.41
2 Tabaka - Diyagonal Kaplama	1.33

1 Tabaka - Diyagonal Kaplama	1.29
1 Tabaka - H Tipi Kaplama	1.20
Çerçeve Kaplama	1.00
Güçlendirilmiş Çerçeve Kaplama	1.00

3.3.1.6 Eşdeğer Sanal Çubuğunun Eksantrikliği

Aslında duvar kuvvetleri kolonlar tarafından karşılanmaktadır. Bundan dolayı bu etkiyi modele yansıtabilmek için eşdeğer basınç çubuğu Şekil 3.7’ de gösterildiği gibi kalın siyah ok gibi eksantrik olarak yerleştirilmelidir. Çubuk uç noktaları, dönme serbestlikleri sağlanacak şekilde, kiriş iç yüzünden “ l_{column} ” kadar bir mesafede kolonlara bağlanmalıdır.



Şekil 3.7 Eşdeğer Basınç Çubuğunun Eksantrik Yerleşimi

$$l_{column} = a / \cos(\theta_{column}) \quad (3.8)$$

$$\tan(\theta_{column}) = (h_m - l_{column}) / l \quad (3.9)$$

3.3.1.7 Eksantrik Eşdeğer Basınç Çubuğunun Yük-Deformasyon İlişkisi

Eksantrik basınç çubuğunun kolonlara bağlantısında uç noktalarında dönme serbestlikleri sağlanacak şekilde olmalıdır. Bunun amacı çubukta moment aktarımının önlenmesidir. Dolgu duvar basınç dayanımını “ R_{strut} ”, elde etmek için duvarın kırılma “ R_{cr} ” ve kesme “ R_{shear} ” dayanımlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu iki kuvvetin basınç çubuğu doğrultusundaki bileşenlerinden küçük olanı, duvar basınç dayanımı olarak gözönüne alınacaktır. (3.10) ve (3.11)

$$R_{strut} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{cr} \\ R_{shear} / \cos \theta_{strut} \end{array} \right\} \quad (3.10)$$

$$\tan \theta_{strut} = (h_m - 2l_{column}) / l \quad (3.11)$$

Burada;

“ θ_{strut} ” Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi eksantrik basınç çubuğunun yatay ile yaptığı açıyı ifade etmektedir.

Duvarın kırılma dayanımı “ R_{cr} ”, duvarın kırılma anından az öncesine kadar taşıyabileceği basınç yüküdür. Duvarın kırılma dayanımı (3.12) bağıntısı ile elde edilmektedir.

$$R_{cr} = a_{mod} t_{eff} f'_m \quad (3.12)$$

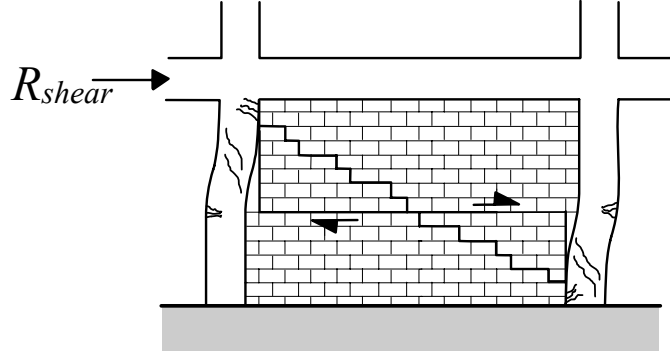
Burada;

f'_m : Dolgu duvar basınç dayanımı

t_{eff} : Dolgu duvar net kalınlığı

ifade etmektedir.

Duvar kesme dayanımı “ R_{shear} ”, ise iki farklı mekanizmanın kombinasyonundan elde edilmektedir. Bunlar harç kesme dayanımı ve duvar-harç arasındaki sürtünmeden oluşmaktadır. Harç kesme dayanımından oluşan kayma göçmesi Şekil 3.8’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Harç Kesme Dayanımından Dolayı Oluşan Kayma Kırılması

Duvar kesme dayanımı aşağıdaki (3.13) bağıntısı ile elde edilmektedir.

$$R_{shear} = A_n f'_v (R_1)_i (R_2)_i \xi_1 \quad (3.13)$$

$$A_n = t_{eff} \times l \quad (3.13a)$$

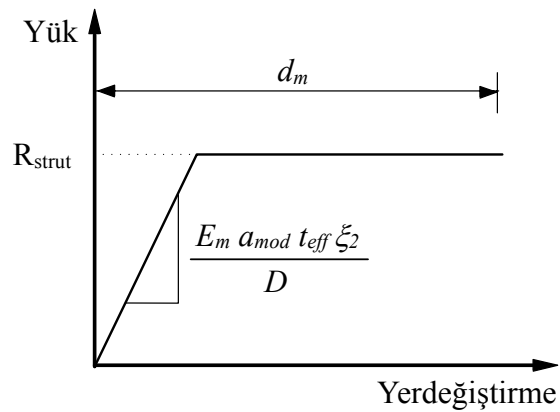
Burada;

A_n : Duvar yatay uzunluğu boyunca net enkesit alanı

f'_v : Duvar kesme dayanımını

simgelemektedir.

Eşdeğer basınç çubuğu için varsayılan yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Eşdeğer Basınç Çubuğu Yük-yerdeğiştirme İlişkisi

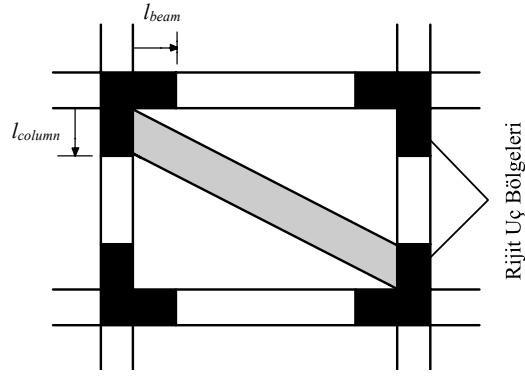
Buradaki “ d_m ” parametresi doğrusal olmayan yerdeğiştirmeyi temsil etmektedir ve FEMA273 [2]’ deki Tablo 7-7’ ye göre elde edilmektedir. Eşdeğer basınç çubuğunun rijitliğini, dolgu duvar elastisite modülü “ E_m ”, çubuğun kesiti ($a_{mod} \times t_{eff}$), ve karbon lif uygulaması etkilemektedir. “ ξ_2 ” Değişkeni, FRP uygulama düzenine göre rijitliği arttırmak için kullanılan bir katsayıdır. Tablo 3.3’ te karbon lifi uygulama düzenine göre verilmiş farklı rijitlik arttırma katsayısı değerleri verilmiştir. Karbon lifi uygulama düzenleri için Şekil 3.6’ ya bakınız.

Tablo 3.3 Karbon Lifi Rijitlik Arttırma Katsayısı Değerleri

Karbon Lifi Kaplama Düzeni	ξ_2
Tamamen Kaplama	1.53
Güçlendirilmiş Diyagonal Kaplama	1.43
Güçlendirilmiş Çerçeve Kaplama	1.39
H Tipi Kaplama	1.27
X Tipi Kaplama	1.23
Çerçeve Kaplama	1.16

3.3.1.8 Rijit Uç Bölgeleri

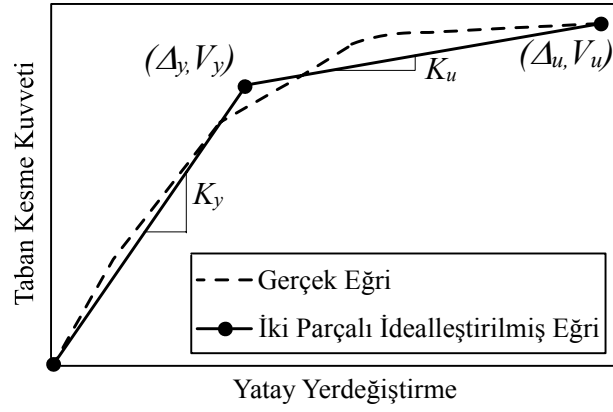
Eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen çerçeve sistemi, gerçekteki duvarlı sisteme göre daha esnek olmaktadır. Bunun nedeni, gerçekte duvarın onu çevreleyen çerçeve elemanlarına yaptığı tutma etkisinin eşdeğer çubuk tarafından yapılamamasıdır. Bu etkinin sistem davranışına yansıtılması için çerçeve elemanlarının yani kolon ve kirişlerin uçlarında belirli uzunluktaki rijit bölgelerin tanımlanması gerekmektedir. Bu rijit uç bölgeler kolonlarda kiriş yüzünden itibaren l_{column} , kirişlerde ise kolon yüzünden itibaren l_{beam} uzunluğuna kadar tanımlanmalıdır. Bu rijit uç bölgelerini Şekil 3.10’ da siyah renkli alanlar olarak görebilirsiniz.



Şekil 3.10 Rijit Uç Bölgeleri

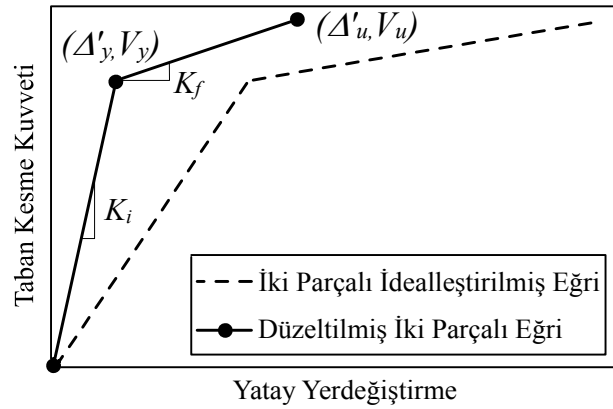
3.4 Yük – Yerdeğiştirme Eğrisinin Düzeltilmesi

Eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen çerçeve sistemi, rijitlik bakımından deneysel modele göre daha esnek olduğu için matematiksel modelden analiz sonucu elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisinde daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için bazı düzeltmeler yapılmalıdır. Bu düzeltmelerin amacı rijitliği artırarak yerdeğiştirmeyi azaltmaktır. Ancak bu düzeltme sadece Karbon lifi uygulanmış çerçeveler için uygulanmalıdır. Bunun için özet olarak şu işlemler yapılacaktır. İlk olarak matematiksel modelden elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisi iki parçalı olarak idealleştirilmelidir. Daha sonra elde edilen bu idealleştirilmiş yük-yerdeğiştirme eğrisinde belirli katsayılar kullanılarak eğrilerin eğimleri artırılmalıdır. Bu şekilde yerdeğiştirmeler küçüleceği için daha gerçekçi bir davranış elde edilecektir. Şekil 3.11’ de itme analizinden elde edilen tipik bir yük-yerdeğiştirme eğrisinin iki parçalı olarak idealleştirilmesi gösterilmiştir. Bu idealleştirme yapılırken eğrideki sapmaların minimuma indirilmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.11 Yük-Yerdeğiştirme Eğrisinin İki Doğru Parçası ile İdealleştirilmesi

Şekil 3.12’ de ise idealleştirilmiş yük-yerdeğiştirme eğrisinin belirli katsayılar kullanılarak eğimlerinin büyütülerek gerçek davranışa daha yakın bir yük-yerdeğiştirme eğrisinin elde edilmesi gösterilmiştir. Bu aşamada akma ve kopma gibi kuvvet değerleri sabit kalmakla birlikte yerdeğiştirmeler küçülmektedir.



Şekil 3.12 İdealleştirilmiş Yük-Yerdeğiştirme Eğrisinin Düzeltilmesi

Yük-yerdeğiştirme eğrisi üç nokta ile tanımlanmaktadır. Başlangıç noktası(orijin), akma yükü ve deplasmanı(V_y ve Δ_y), ve kopma yükü ve deplasmanı(V_u ve Δ_u). Şekillerdeki “ K_y ”elastik rijitliği, “ K_u ”ise plastik rijitliği ifade etmektedir.

3.4.1 K_i ve K_f Değerlerinin Bulunması

“ K_i ” Düzeltilmiş elastik rijitliğinin hesabı için iki farklı yöntem mevcuttur:

Birinci yöntemde eğer $(0.67 \leq l/h_m \leq 1.5)$ ise (3.14) bağıntısı kullanılarak basit bir yaklaşımla “ K_i ” değeri “ K_y ” değerinin 3 katı olarak hesaplanmaktadır.

Diğer bir yöntem olarak, $(l/h_m \leq 0.67)$ ve $(l/h_m \geq 1.5)$ oranları veya genel olarak tüm (l/h_m) oranları için (3.15) bağıntısı kullanılacaktır. Bu bağıntı kullanıldığı takdirde, (3.16) ve (3.17) bağıntılarından elde edilen “ a ” genişliği için yeni bir matematiksel model oluşturularak yeni modelden elde edilen “ K_{scc} ” elastik rijitlik, “ K_i ” elastik rijitliği olarak gözönüne alınacaktır.

$$K_i = 3K_y \quad (0.67 \leq l/h_m \leq 1.5) \quad (3.14)$$

$$K_i = K_{scc} \quad (\text{her } l/h_m \text{ oranı için}) \quad (3.15)$$

$$a = 0.0835 \text{ CD} \left(1 + \frac{2.574}{\lambda_1 H} \right) \quad (l/h_m \geq 1.5) \quad (3.16)$$

$$a = 0.1106 D \left(1 + \frac{6.027}{\lambda_1 H} \right) \quad (l/h_m = 1.0) \quad (3.17)$$

$$C = -0.3905 \left(\frac{l}{h} \right) + 1.7829 \quad (3.18)$$

“ K_f ” Düzeltilmiş plastik rijitliği için ise herhangi bir koşul gerektirmeden basit bir yaklaşımla, “ K_u ” plastik rijitliğinin 2 katı olarak hesaplanmaktadır. (3.19)

$$K_f = 2K_u \quad (\text{her } l/h_m \text{ oranı için}) \quad (3.19)$$

3.5 Dolgu Duvar Elastisite Modülü

Elastisite modülü, dolgu duvarın çerçeve içindeki davranışını ve rijitliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Dolgu duvar homojen bir yapıya sahip olmadığı için yatay,

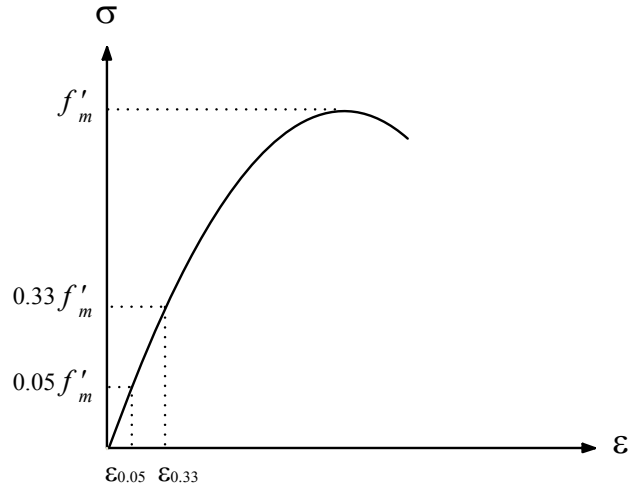
düşey ve çapraz yönlerindeki elastisite modülü birbirinden farklı değerler alacaktır. Eşdeğer basınç çubuğu ile modellemede, dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuk doğrultusundaki yatay eksen ile θ açısı yapacak şekilde elde edilen elastisite modülü kullanılacaktır.

Tuğla basınç dayanımı, harç tabakası basınç dayanımı, tuğla yüksekliği ve harç tabakası kalınlığı gibi özellikler dolgu duvar elastisite modülünü etkilemektedir. Buna ilaveten sıvalı ve sıvasız duvarda elastisite modülü farklı değerler almaktadır. Yani sıva kalınlığı da elastisite modülünü etkileyen özelliklerden birisidir.

Dolgu duvar elastisite modülünü belirleyebilmek amacıyla yapılan bazı kuramsal ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda dolgu duvar elastisite modülünün bulunması için farklı yöntemler ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ve yöntemler özet olarak aşağıda verilmiştir.

Kuramsal olarak yapılan çalışmalarda dolgu duvar elastisite modülü genellikle duvar prizma basınç dayanımının “ f ” bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

Deneysel olarak yapılan çalışmalarda ise, prizma duvar elemanının artan yükler altında yük-yerdeğiştirme bağıntısı elde edilmekte ve bu bağıntıdan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine geçilmektedir. Gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin eğimi dolgu duvar elastisite modülünü vermektedir. ACI530-95 [19] yönetmeliğine göre dolgu duvar prizma basınç deneyinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntısında en büyük gerilme değerinin “ f ”, %5 ve %33’ lük değerine karşılık gelen iki nokta arasındaki doğrunun eğimi dolgu duvar elastisite modülü değeri olarak kabul edilmektedir, Şekil (3.13). Bu anlatınlanlar ışığında dolgu duvar elastisite modülü (3.20) bağıntısı ile elde hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.13 Dolgu Duvar Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

$$E_m = \frac{\sigma_{0.33} - \sigma_{0.05}}{\epsilon_{0.33} - \epsilon_{0.05}} \quad (3.20)$$

Burada;

$\epsilon_{0.33}$ duvar prizma basınç dayanımının %33'ü olan $\sigma_{0.33}$ gerilmesine karşı gelen şekil değiştirmeyi, $\epsilon_{0.05}$ ise duvar prizma basınç dayanımının %5'i olan $\sigma_{0.05}$ gerilmesine karşı gelen şekil değiştirmeyi ifade etmektedir.

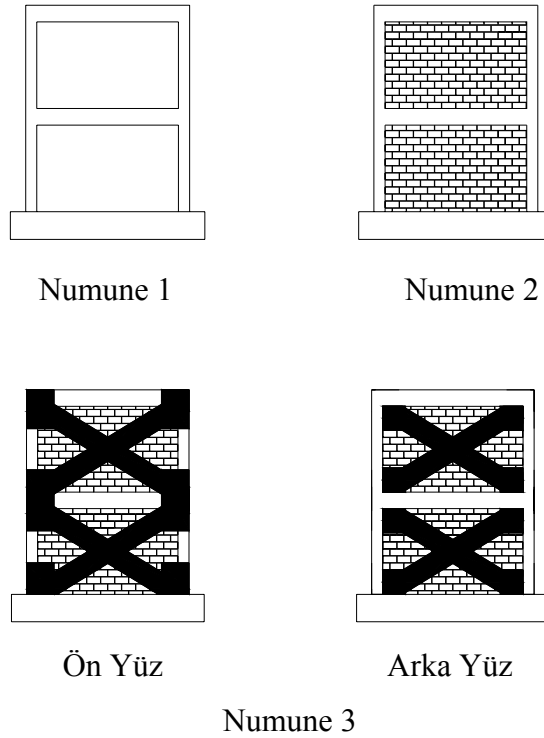
Bu çalışmada dolgu duvar elastisite modülünün bulunması amacıyla Ersin [20] tarafından gerçekleştirilen tuğla basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Numunelerin Özellikleri

Çerçeve boyutları aynı olmak suretiyle birbirinden farklı beton kalitesine sahip üç adet iki katlı tek açıklıklı numune denenmiştir. Numuneler, ülkemizdeki uygulama koşulları gözönüne alınarak düşük beton kalitesi ve düz donatı gibi özelliklere sahip olup, yaklaşık $\frac{1}{2}$ ölçeğinde üretilmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada; bir adet çıplak çerçeve, bir adet tuğla duvarlı çerçeve ve bir adet karbon lif ile güçlendirilmiş çerçeve davranışları incelenmiştir.

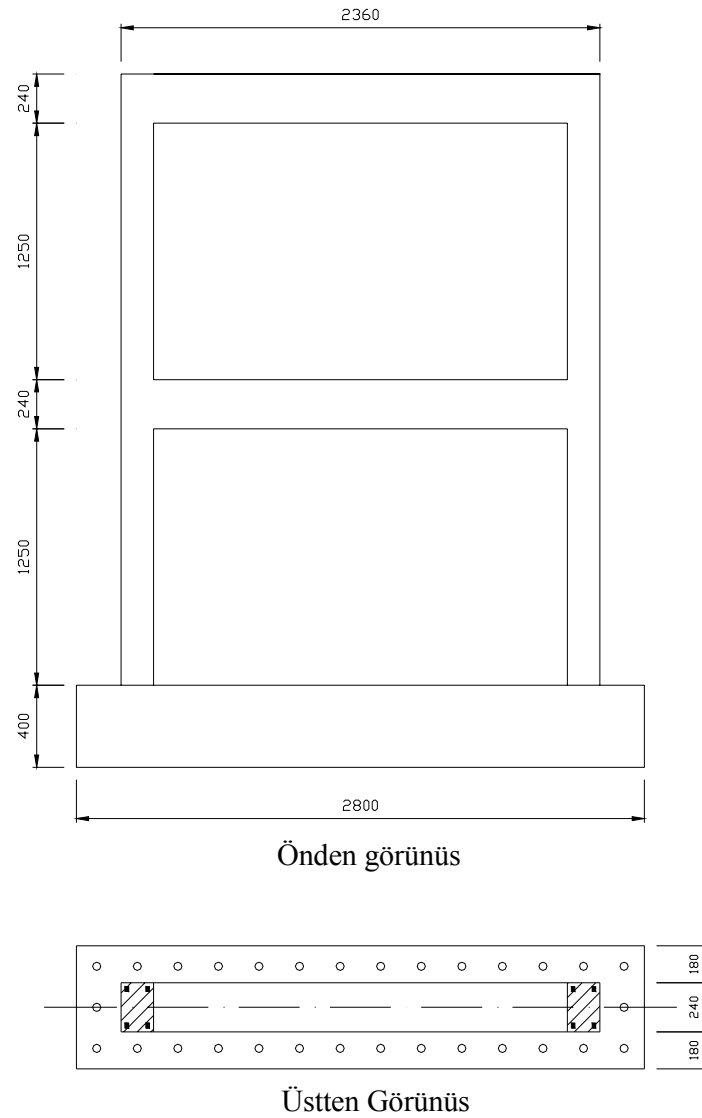
Deneysel çalışma için hazırlanan numuneler Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan numuneler

Numunelerin temel boyutları 2800 x 400 x 600 mm olup, her numune temele ankastre olarak mesnetlenmiştir ve bu temeller de özel laboratuvar döşemesine üzerlerinde yer alan 30 adet $\Phi 50$ çapındaki deliklerden, 39 mm çapındaki özel ankraj bulonları geçirilerek laboratuvar döşemesine bağlanmıştır. Böylece numunenin temel ile bir bütün sağlaması ve deney sırasında temelle birlikte ötelenmesi engellenmiştir.

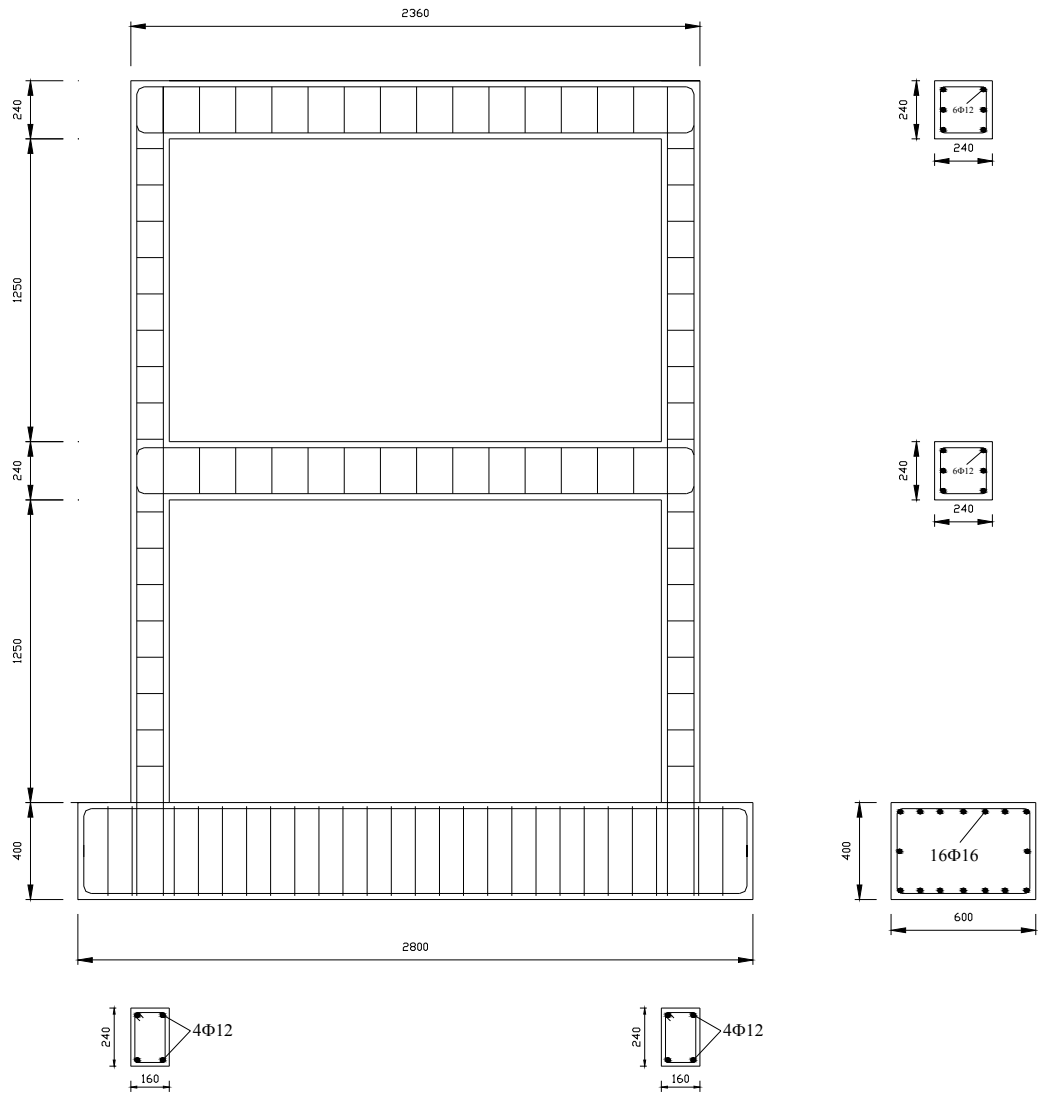
Deney numunelerinin geometrisi Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Deney numunelerinin geometrisi

Numunelerin kolon boyutları 240 x 160 mm, kiriş boyutları ise 240 x 240 mm' dir. Kolonlarda 4 Φ 12, kirişlerde ise 6 Φ 12 boyuna düz donatı kullanılmıştır. Kolonlarda boyuna donatıda bindirme yapılmadan sürekli devam edilmiştir. Enine donatı (etriye) olarak da Φ 6/15 düz donatı kullanılmıştır. Temellerde ise boyuna donatı olarak 16 Φ 16 ve enine donatı olarak da Φ 10/10 düz donatı kullanılmıştır.

Kolon, kiriş ve temele ait donatılar Şelil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.3 Deney Numunelerinin Donatı Düzeni

Numunelerin özellikleri Tablo 4.1 de özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Numune Özellikleri

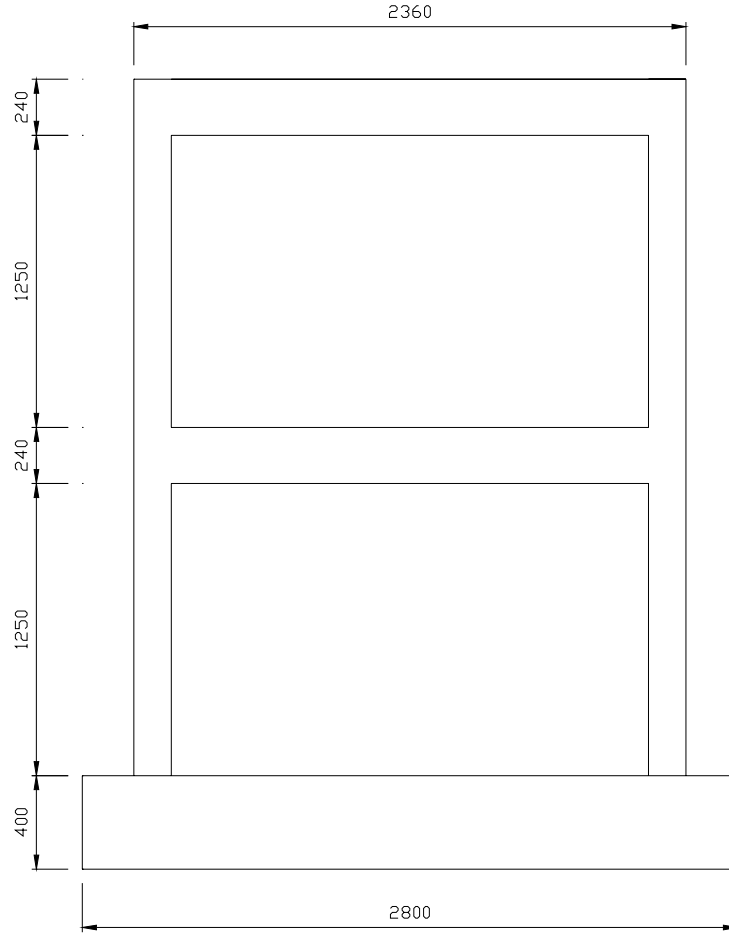
Numune İsmi	Numune Tipi	Kolon		Kiriş		Silindir Basınç Dayanımı (Mpa)
		Boyuna Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı	Enine Donatı	
Numune 1	Çıplak	4Φ12	Φ6/15	6Φ12	Φ6/15	14
Numune 2	Bölme Duvarlı	4Φ12	Φ6/15	6Φ12	Φ6/15	11
Numune 3	Karbon lif uygulanmış çerçeve	4Φ12	Φ6/15	6Φ12	Φ6/15	10

4.2 Numunelerin Üretimi

Bu bölümde deneylerde kullanılan üç numunenin detaylı üretimi açıklanmıştır.

Numune 1:

Bu numune çift katlı çıplak çerçeve olarak üretilmiştir. Çerçeve kolon ve kirişlerinde düz demir kullanılmıştır. Kolon boy donatıları bindirme yapılmadan sürekli olarak uygulanmıştır. Çerçeve donatılarının çeşitli noktalarına Strain-gauge' ler yerleştirilmiştir,(Şekil 4.5). Strain-gauge' ler sayesinde çerçevenin çeşitli noktalarında oluşan deformasyonlar ölçülmüştür. Bu numune aynı zamanda kuramsal modele referans olarak kullanılmıştır, (Şekil 4.4 ve Şekil 4.6).



Şekil 4.4 Numune 1 Geometrisi



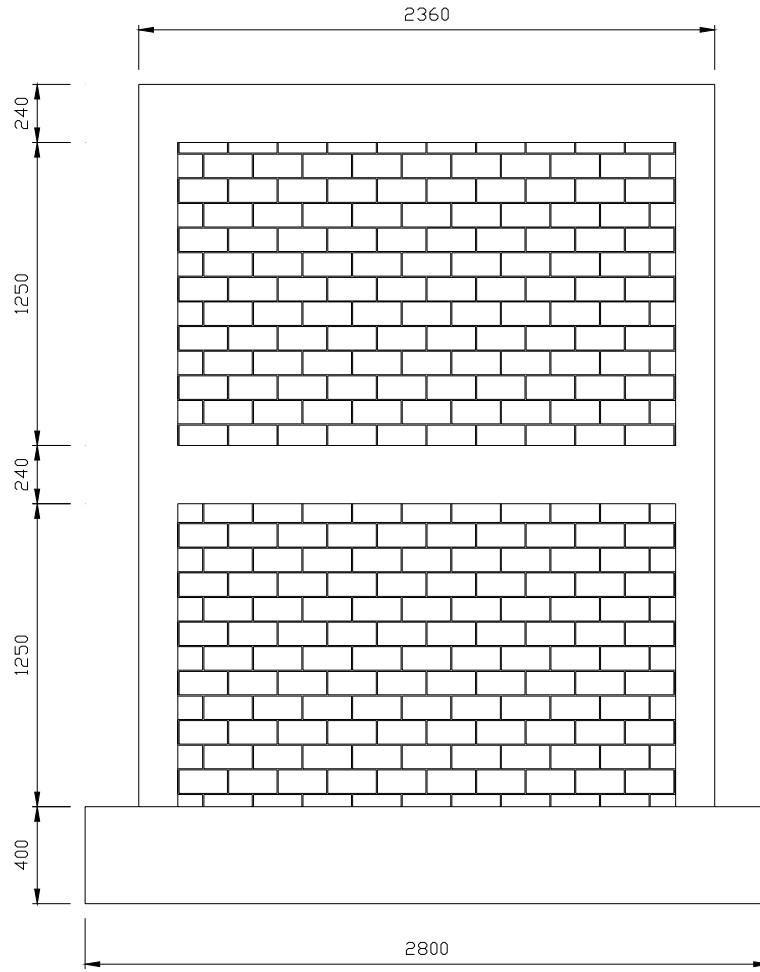
Şekil 4.5 Numunede kullanılan Strain-gauge örneği



Şekil 4.6 Numune 1' in genel görünüşü

Numune 2:

Numune 2, numune 1 ile aynı geometriye ve özelliklere sahip olup ek olarak çerçevelerin içersine tuğla duvar örülmüştür. Tuğla tipi olarak delikli tuğla kullanılmıştır. Tuğla boyutları 135 x 200 x 200 mm olup tuğla delikleri yatay konumda olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Duvar kalınlığı 160 mm olup bileşimi kum, çimento, kireç ve su olan ince bir sıva ile sıvanmıştır. Numune 1’ de olduğu gibi çerçeve kolon ve kirişlerinde düz demir kullanılmıştır. Kolon boy donatıları bindirme yapılmadan sürekli olarak uygulanmıştır, (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Numune 2 Geometrisi



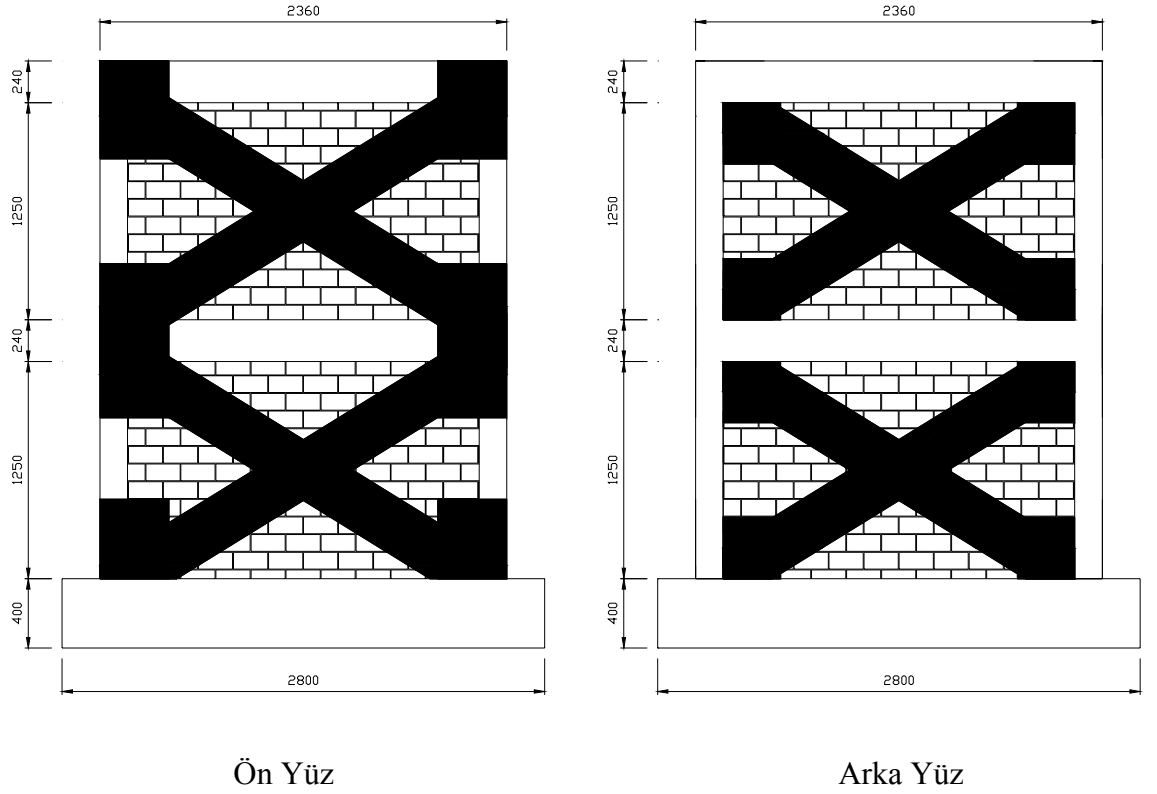
Şekil 4.8 Numune 2' nin genel görünüşü



Şekil 4.9 Dolgu Duvarda Kullanılan Tuğla Tipi

Numune 3:

Bu numune ilk iki numune ile aynı özelliklere sahiptir. Birinci numune çıplak çerçeve, ikinci numune bölme duvarlı, bu numunede ise bölme duvarın üstü karbon lif (CFRP) ile kaplanmıştır, (Şekil 4.10). Karbon lif olarak SikaWrap®230C, yapıştırıcı olarak da epoksi esaslı doyurma reçinesi Sikadur®-330 kullanılmıştır. Karbon lifi malzeme olarak tek yönlü çalışan bir malzemedir. Genişliği 30 cm olup rulo halinde bulunmaktadır. Karbon lifin ve epoksi reçinesinin mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.10 Numune 3 Geometrisi

Tablo 4.2 Karbon Lifinin mekanik özellikleri

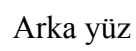
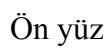
SikaWrap® 230C	
Lif Tipi	Yüksek Mukavemetli Karbon Lifleri
Lif Doğrultusu	0°C (tek yönlü). Dokuma, ipliklerin gevşemesini önleyen özel örgü lifleriyle donatılmıştır.
Yapı	%99 ana doğrultu, %1 destekleyici doğrultu
Dokuma Ağırlığı	220 g/m ² +- %10
Dokuma Tasarım Kalınlığı	0.12 mm. (Karbon liflerin toplam alanı baz alınarak)
Liflerin Çekme Dayanımı	4100 N/mm ² (nominal)
Liflerin Çekme E-modülü	231000 N/mm ² (nominal)
Kopmadaki Uzama	%1.7 (nominal)
Dokuma Uzunluğu / Rulo	≥ 50m
Dokuma Genişliği	300/600 mm
Raf Ömrü	Üretim tarihinden itibaren 2 yıl
Ambalaj	Sert karton kolide 1 rulo

* Mekanik değerler liflerin yönü doğrultusundaki değerlerdir.

Tablo 4.3 Epoksi reçinesi teknik özellikleri

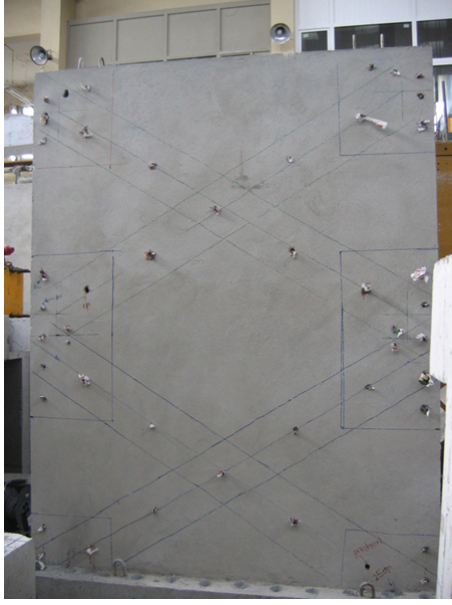
Sikadur®-330	
Görünüm	A Bileşeni: beyaz B Bileşeni: gri
Yoğunluk	1.31 kg/l (karışım)
Karışım Oranı	A:B=4:1 (ağırlıkça)
Kullanım Süresi	10°C' de min. 90dk. (5 kg) 35°C' de min. 30dk. (5 kg)
Viskozite	Krem kıvamında, akıcı değildir.
Uygulama Sıcaklığı	+10°C - +35°C (yüzey ve ortam sıcaklığı)
Betonda Yapışma Çekme Dayanımı (EN 24624)	Kumlamayla hazırlanmış yüzeyde 1 gün sonra beton yüzey çekme dayanımına eşdeğerdir (>10°C' den daha sıcakta kürünü almış)
Çekme Mukavemeti (DIN 53455)	30 N/mm ² (+23°C' de 7 gün kür aldıktan sonra)
Eğilmede E-modülü (ISO 178)	3800 N/mm ² (+23°C' de 7 gün kür aldıktan sonra)
Isı Deformasyon Sıcaklığı (ASTM D 648)	Kür almış olarak: 7 gün, 10°C' de: 36°C 7 gün, 23°C' de: 47°C 7 gün, 35°C' de: 53°C 7 gün, +10°C' de ve 7 gün 23°C' de kür alınca: +43°C
Raf Ömrü	Orginal ambalajında +5°C - +25°C arasında depolandığı takdirde üretim tarihinden itibaren 24 aydır.
Ambalaj	Karışım oranında ambalajlanmış setler (A+B) 5 kg.

İlk olarak karbon lifin uygulanacağı yerler çizgiler ile belirlenmiştir. Şekil 4.12(a). Daha sonra bu çizgiler şerit bant ile örtülerek belirgin bir sınır oluşturulmuştur. Şekil 4.12(b). Karbon lifin uygulandığı yerlerin detayını Şekil 4.11' de görebilirsiniz. Karbon lif uygulanmadan önce rulodan gerekli boyda kesilerek hazır duruma getirilmiştir. Kolon, kiriş ve duvarlarda uygulanacak ankraj yerleri de belirlendikten sonra matkap ile delinmiştir. Şekil 4.11 de görüldüğü gibi duvarda 18 ankraj mevcuttur. Temellerde ise 16 ankraj deliği açılmıştır. Temellerdeki ankraj derinliği yaklaşık 20 cm dir. Tüm ankraj delikleri açıldıktan sonra Elektrikli kompresör



Şekil 4.11 Karbon Lifi Uygulama detayları

yardımıyla delikler temizlenerek her türlü toz, kum vs.'den arındırılmıştır. Temizlenen delikler karbon lif ankrajı uygulanana kadar toz girmesini engellemek için tıkaç ile kapatılmıştır. Şekil 4.12(a). Karbon lifi uygulamadan önce epoksi bazlı reçine Sikadur®-330 hazırlanmıştır. Sikadur®-330 A ve B olmak üzere iki bileşen olarak iki ayrı kapta gelmektedir. Şekil 4.12(d). A bileşeni beyaz renkte ve macunsu bir görünüme sahiptir. B bileşeni ise gri renkte olup akışkandır. B bileşenini belirli oranlarda A bileşenine ekleyerek temiz bir kapta iyice karıştırılmıştır. Epoksi bazlı reçine çabuk sertleştiği için küçük miktarlarda karışım hazırlanıp kullanıldıktan sonra karışım tekrar hazırlanmıştır. Epoksi karışımı hazırlandıktan sonra daha önce numunede bantlar ile belirlenen bölgelere fırça yardımıyla sürülmüştür. Şekil 4.13(b). Her sürülen bölgenin ardından daha önce kesilip hazır halde bekleyen karbon lifler yerine yerleştirilmiştir. Karbon lifi epoksi üzerine yerleştirdikten sonra plastik uçlu bir rulo yardımıyla karbon lif epoksili yüzeye iyice gergin bir şekilde yapıştırılır. Şekil 4.13(c). Bu işlem yapıldıktan sonra ikinci bir epoksi tabakası karbon lifin üzerine sürülür. Bu sayede karbon lif numune yüzeyine iyice yapışmış olur. Dolgu duvarda kullanılan çapraz karbon liflerin genişliği 30 cm dir. Duvar uç bölgelerinde yaklaşık 30 x 50 cm ebadında iki katman karbon lif, biri düşey diğeri yatay olarak uygulanmıştır. Karbon lifin tek yönlü bir malzeme olması nedeniyle bu yöntem sayesinde karbon lifinin çift yönde çalışması sağlanmıştır. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra sıra ankrajların uygulanmasına gelmiştir. Ankraj boyları yaklaşık 50cm olup enleri ise ikiye bölünerek 15cm olarak kullanılmıştır. Şekil 4.13(d). Ankraj deliklerine ankrajlar uygulanmadan önce silikon tabacasıyla bol miktarda epoksi reçinesi enjekte edilmiştir. Daha sonra karbon lif ankrajları bir mil yardımıyla deliklere yerleştirilmiştir. Duvar ankrajları deliklerden geçirildikten sonra duvarın iki yüzeyine şeritler halinde dağıtılarak epoksi ile yüzeye yapıştırılmıştır. Kolon, kiriş ve temel ankrajlarında da aynı yöntem uygulanmıştır. Şekil 4.13(e)(f).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.12 Karbon lif için yüzey hazırlığı



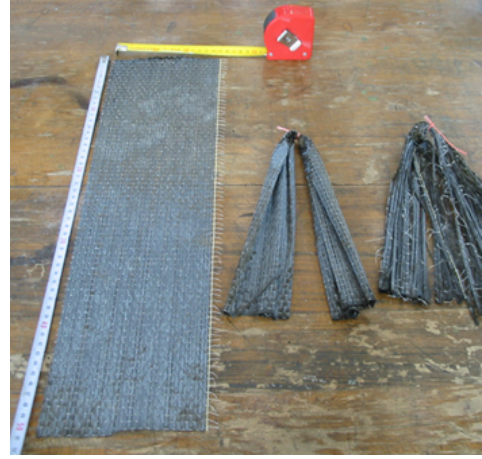
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.13 Karbon lifin uygulanması

daha fazla yatay yük uygulanmasını gerektirdi. Onun için numune 3' te iki adet hidrolik veren kullanılmıştır. Kontrol odasındaki bilgisayarlar aracılığı ile otomatik yükleme ve veri toplama işlemi yapılmıştır. Yük modu ve iki ayrı yerdeğiştirme modu olmak üzere hidrolik veren üç kontrol moduna sahip olup bu modlara gelen veriler, hidrolik veren' deki yük hücresinden, iç yerdeğiştirme ölçerlerden ve numunenin değişik yerlerine bağlanan dış yerdeğiştirme ölçerlerden sağlanmaktadır. Yapılan deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Numunenin tepe deplasmanını ölçen dış yerdeğiştirme ölçerden gelen veriler sayesinde hedef deplasman seviyeleri kontrol edilmiştir. Yatay hidrolik veren Rijit çerçeveye bulonlar aracılığıyla bağlanmıştır. Rijit çerçeve ise her kat seviyesindeki kirişlerin kolonlara bağlandıkları noktalardan numuneye hidrolik veren yükünü aktarmaktadır. Normal yük ise el ile kontrol edilen bir hidrolik veren aracılığıyla uygulanmıştır. Şekil 4.14' tede görüldüğü gibi düşey yükü sağlayan hidrolik veren bir çelik kafa ve yük ölçer arasında yer almaktadır. Normal yükün numuneye aktarılabilmesi için numunenin iki cephesinden geçen miller yardımıyla hidrolik veren üstündeki çelik kafa, laboratuvar döşemesine gergin bir şekilde bağlanmıştır. Bu hidrolik veren' in oturduğu rijit çerçeve numuneye iki noktadan ki bu noktalar kolonların bulunduğu noktalardır yük aktarmaktadır.

4.3.2 Veri Toplama Sistemi

Deney sırasında numuneye yük veya deplasman uygulamak ve numunedeki deplasmanları ölçmek için bir sisteme ihtiyacımız var. Veri toplama sistemi adından da anlaşılacağı gibi bir düzendeki tüm veriyi toplayan bir sistem bütünüdür. Bunun için numuneler üzerine şekildeğiştirme ölçer, yerdeğiştirme ölçer ve yük ölçer gibi ölçüm elemanları yerleştirilmiştir. Veri toplama sistemi numunenin üzerine yerleştirilen bu ölçüm cihazlarının ürettiği analog bilgiyi fiziksel büyüklüğe çevirip, saklamaktadır.

Numunelerdeki yatay deplasmanı ölçmek için her kat seviyesinde ikişer adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Bu sayede her kattaki ortalama kat deplasmanı ölçülmüştür. Numune 2 ve numune 3' teki dolgu duvarların kayma deformasyonunu ölçmek için de her kattaki duvarın tek yüzüne yerdeğiştirme ölçer çapraz olarak

yerleştirilmiştir. Buna ilaveten numunenin düzlem dışı hareketi ve olası temel hareketleri de ölçülmüştür.

Numuneye bağlı her şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme ölçer kablolar aracılığıyla numune yakınında bulunan yönlendirme kutusuna bağlanmışlardır. Burada toplanan veriler, özel bir kablo aracılığı ile kontrol odasında bulunan veri dönüştürücüye aktarılmaktadır. Veri dönüştürücü, GPIB kablo ve kartıyla bir bilgisayara bağlanmıştır. Bu bilgisayardaki bir yazılım aracılığı ile toplanan veriler diske yazılmaktadır. Deney sırasındaki tüm veriler kontrol odasındaki bilgisayar ekranlarında aynı anda takip edilebilmektedir.

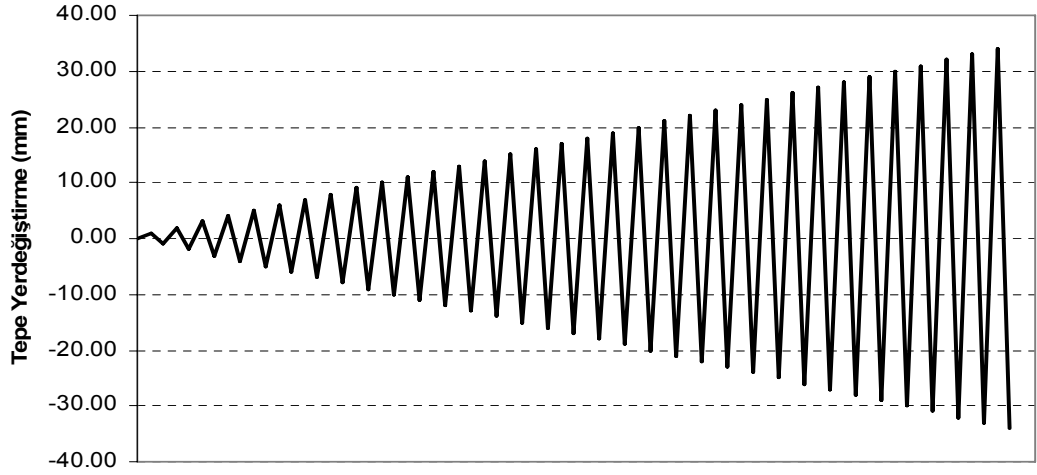
Uygulanan yatay kuvvet ve oluşan yerdeğiştirmelerin ölçülmesi;

Numunelere uygulanan yatay yükler hidrolik veren üzerindeki yük hücresi ile ölçülmektedir. Buna bağlı olarak oluşan yatay yerdeğiştirmeler ise hidrolik verenin kontrolünde kullanılan ve bağımsız bir yere bağlı olan dış yerdeğiştirme ölçer ile ölçülmektedir. Aynı zamanda, numunelerin değişik kesitlerinde meydana gelen yerdeğiştirmeler, çeşitli noktalara yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer ile ölçülmektedir. Numunelere uygulanan normal kuvveti kontrol etmek için ise düşeyde bulunan hidrolik krika ile rijit çelik çerçeve arasına yerleştirilen yük ölçer kullanılmıştır.

Uygulanan yerdeğiştirme çevrimleri;

Bu deneysel çalışmada, tersinir yatay yükler etkisinde numune davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yerdeğiştirme kontrollü olarak çalıştırılan hidrolik veren, hedeflenen yükleme eşiklerini yatay yönde numuneye tatbik etmiştir. Numuneler denenirken her yerdeğiştirme seviyesinde birer tekrar yapılmıştır. Şekil 4.15



Şekil 4.15 Yerdeğiştirme çevrimleri örneği

4.4 Malzeme Deneyleri

Malzeme deneylerinden beton ve donatı deneyleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında, dolgu duvarı kayma deneyleri ise İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

4.4.1 Beton Deneyleri

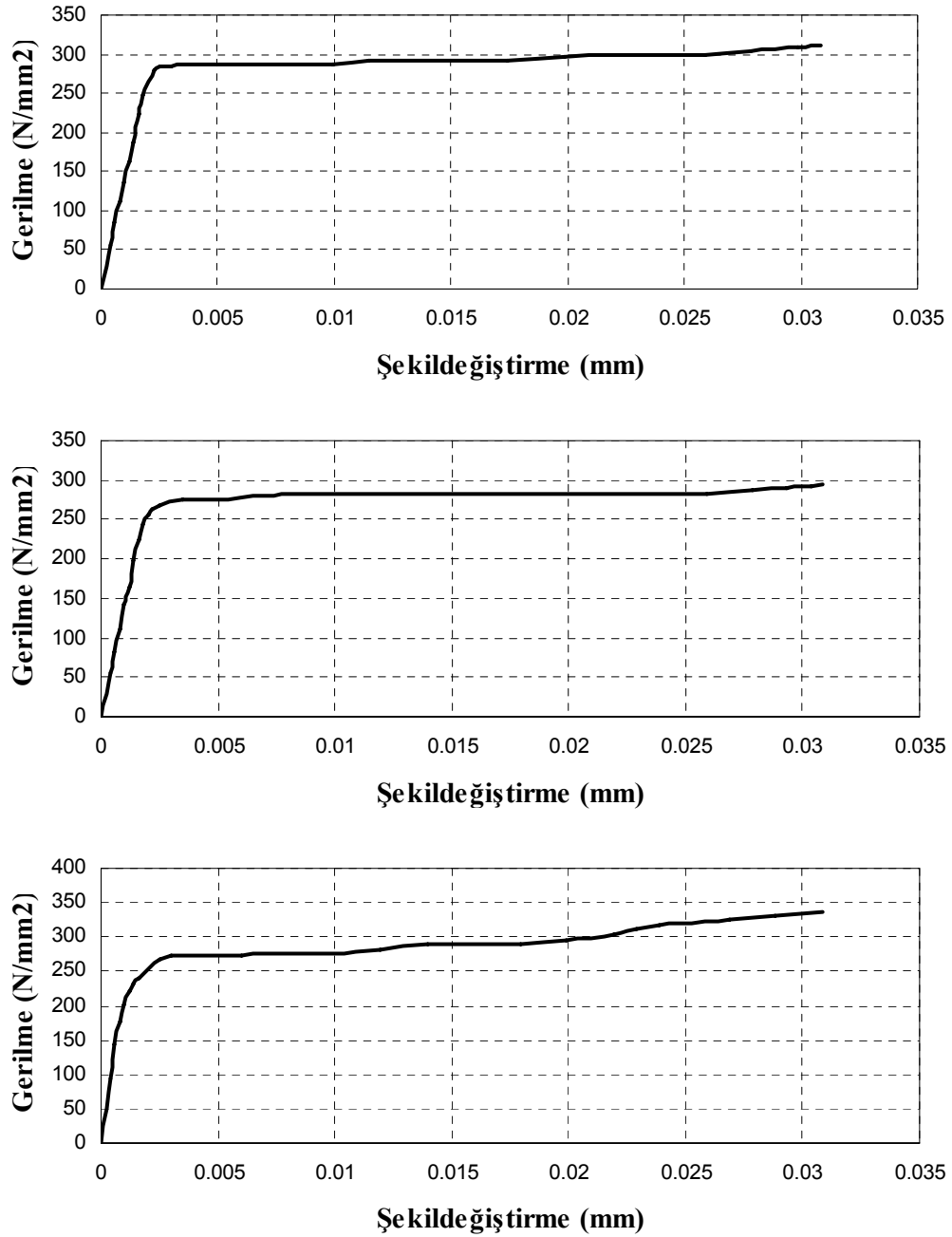
Numunelerde kullanılan betonun mukavemetini ölçmek için her numune için belirli sayıda beton basınç deneyi uygulanmıştır, [22], [23], [24]. Bunun için çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan silindir numunelerden faydalanılmıştır. Bu silindirlere uygulanan eksenel basınç deneylerinin özeti Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.4 Beton Silindir Basınç Deneylerinin Özeti (28 Günlük)

Numune İsmi	Numune Sayısı	Silindir Basınç Dayanımı (28 Günlük) (N/mm ²)	Alındığı Yer
Numune 1	3	14	Kolon / Kiriş Betonu
Numune 2	3	11	Kolon / Kiriş Betonu
Numune 3	3	10	Kolon / Kiriş Betonu

4.4.2 Donatı Deneyleri

Numunelerde kullanılan yumuşak donatıların gerilme-şekildeğiştirme özelliklerinin belirlenebilmesi için bir seri donatı çekme deneyi uygulanmıştır, [24]. Deneyler sonucunda oluşan gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 4.16’ da verilmiştir.



Şekil 4.16 Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

4.4.3 Harç Dayanımları

Duvar harcının dayanımını ölçmek için laboratuarda bir seri deney uygulanmıştır, [23], [24]. Bu deneyleri şöyle sıralayabiliriz:

Silindir basınç deneyi: 300x150 mm' lik numunelere uygulanan basınç deneyleri
Küp basınç deneyi : 70x70x70 mm' lik numunelere uygulanan basınç deneyleri
Küp basınç deneyi : 150x150x150 mm' lik numunelere uygulanan basınç deneyi
Eğilme deneyi : Bu deneyden numune çekme dayanımı elde edilmiştir.

70x70x70 mm' lik numunelerden elde edilen harç dayanımları [25]' deki formüller kullanılarak 150x150x150 mm' lik numune harç dayanımlarına çevrilmiştir. Daha sonra 150x150x150 mm' lik harç dayanımları da 0.85 katsayısı ile çarpılarak silindir basınç dayanımına çevrilmiştir. Daha sonra Silindir basınç deneyinden elde edilen dayanımlar ile küplerden elde edilen dayanımların silindire çevrilmesi ile elde edilen dayanımlar karşılaştırıldığında Silindir basınç deneyinden çıkan sonuçların daha büyük değerler aldığı görülmüştür. Buna göre silindir basınç deneylerinde formül kullanılmadığı ve sadece deney sonuçları olduğu için harç dayanımı olarak silindir basınç deneylerinden elde edilen dayanımlar dikkate alınmıştır. Duvar harç dayanımlarını Tablo 4.5' te görebilirsiniz.

Tablo 4.5 Duvar Harcı Basınç Dayanımları (28 Günlük)

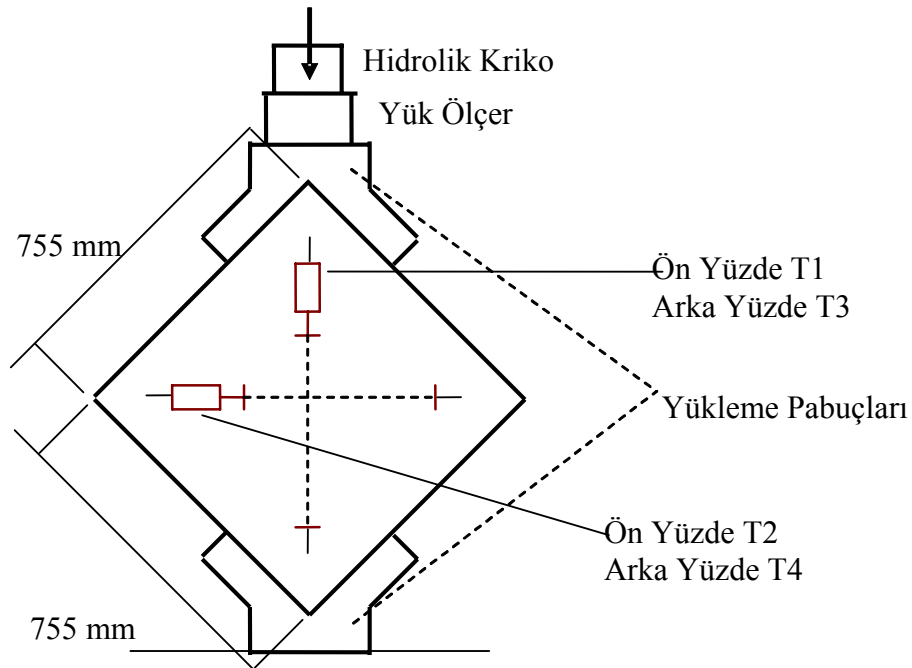
Numune İsmi	Numune Sayısı	Silindir Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Standard Sapma	Düzeltilmiş Silindir Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Numune 1 Duvar Harcı	-	-	-	-
Numune 2 Duvar Harcı	3	2.46	0.12	2.30
Numune 3 Duvar Harcı	3	1.93	0.44	1.37

4.4.4 Dolgu Duvar Deneyleri

Bu bölümde numunelerde kullanılan dolgu duvarlar ile ilgili deneyler anlatılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi sadece iki numunede dolgu duvar mevcuttur,[23], [24].

4.4.4.1 Kayma Deneyleri

Dolgu duvarların kayma dayanımını bulmak için basit kayma deneyleri yapılmıştır. Bunun için 755x755 mm boyutlarında kayma deney numunesi hazırlanmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.17’ de verilmiştir, [21]. Şekilden de görüldüğü gibi numunenin alt ve üst başlığına çelikten yapılmış yükleme pabuçları yerleştirilmiştir. Bu sayede numuneye uygulanan yük daha üniform bir şekilde numuneye uygulanmış olmaktadır. Yük ise bir adet Hidrolik Kirko arcılığıyla numuneye uygulanmıştır. Numune iki pabuç arasına yerleştirilirken su düzeciyle kontrol edilerek dik ve pabuçları ortalamış bir şekilde yerleştirilmiş olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 4.17 Dolgu Duvar Kayma Deney Düzeneği

Numunede 6 adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Şekil 4.17’ dende görüldüğü gibi Düşey yerdeğiştirmeyi ölçmek için T1 ve T3 yerdeğiştirme ölçerleri sırasıyla ön

ve arka yüzde, yatay yerdeğiştirmeyi ölçmek için T2 ve T4 yerdeğiştirme ölçerleri sırasıyla ön ve arka yüzde yerleştirilmiştir. Düzlem dışı yerdeğiştirmeyi ölçmek için ise T5 ve T6 yerdeğiştirme ölçerleri sırasıyla üst uç düzlem dışı yerdeğiştirmeyi ve alt uç düzlem dışı yerdeğiştirmeyi ölçmek için numuneye bağlanmıştır. Tablo 4.6’ da yerdeğiştirme ölçerlerin tipi ve yerleri verilmiştir.

Tablo 4.6 Yerdeğiştirme Ölçer Tipi ve Kullanım Yerleri

Yerdeğiştirme Ölçer İsmi	Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kullanıldığı Yer
T1	CDP5	Ön Yüz Kısalma
T2	CDP5	Ön Yüz Uzama
T3	CDP5	Arka Yüz Kısalma
T4	CDP5	Arka Yüz Uzama
T5	CDP10	Üst Uç Düzlem Dışı Hareket
T6	CDP10	Alt Uç Düzlem Dışı Hareket

Hidrolik kriko aracılığıyla numuneye yükler 10 kN’ luk adımlarla uygulanmıştır. Elastik bölgeyi aştıktan sonra ise 5 kN’ luk adımlara düşmüştür ve deney süresince her yükleme adımı 3’ er defa tekrarlanmıştır.

Deneye başladıktan sonra numunede meydana gelen ilk çatlak yükün uygulandığı köşegen doğrultusunda olmuştur. Aynı zamanda bu çatlağın sağında ve solunda aynı doğrultuda başka düşey çatlaklar da meydana gelmiştir. şekil 4.18



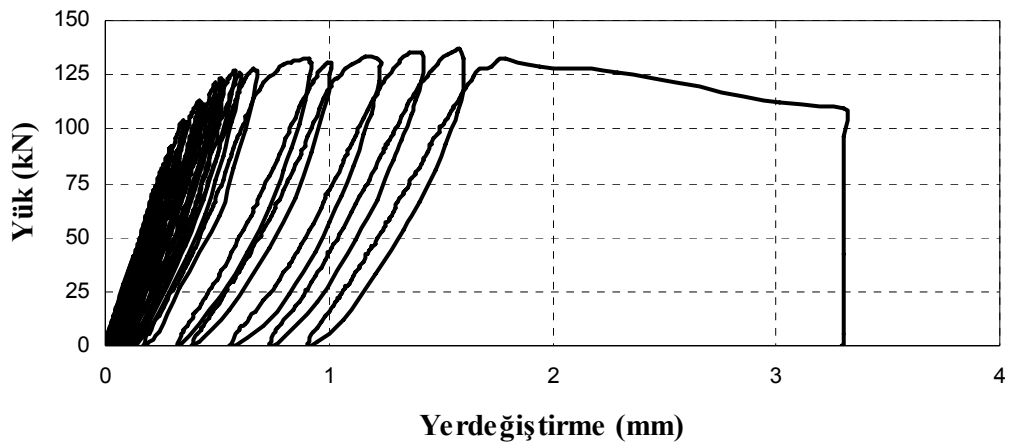
şekil 4.18 Numunede Meydana Gelen Çatlaklar

Deneye ve yüklemeye devam edilirken sıvada kabarmalar ve dökülmeler gözlenmiştir. Dökülen sıvaların altında bulunan tuğlalarda da çatlakların ve ezilmelerin meydana geldiği görülmüştür. Yüklemede 140 kN' luk adıma giderken numunedeki çatlakların büyümesi ve artması sonucu 132 kN' luk bir yükte göçmüştür. Şekil 4.19' da deney sırasında tuğlalarda meydana gelen çatlaklar görülmektedir.



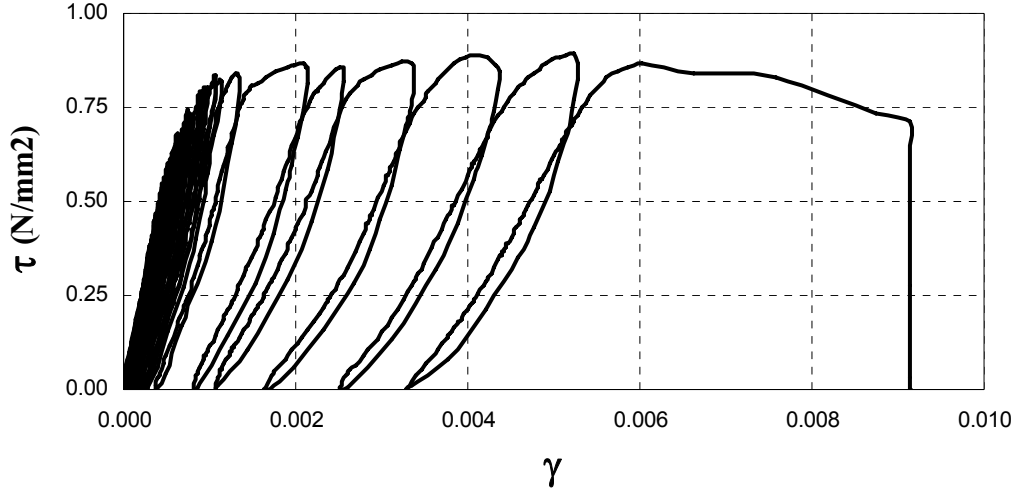
Şekil 4.19 Tuğlalarda Meydana Gelen Çatlaklar ve Göçme Şekli

Deney sonucunda elde edilen yük-düşey yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.20' de verilmiştir. Bu grafikteki düşey yerdeğiştirme T1 ve T3 yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak elde edilmiştir.



Şekil 4.20 Dolgu Duvar Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi (Ortalama Düşey Yerdeğiştirme)

Şekil 4.21’ de dolgu duvar için kayma deneyinden elde edilen τ – γ ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Dolgu Duvar Numunesi τ – γ ilişkisi

Numunenin kayma modülü G' yi hesaplayabilmek için τ – γ eğrisinin %5’ i ile %35’ i arasında kalan kısmı gözönüne alınarak bu kısmın eğimi kayma modülü G' yi vermektedir. Bu numunenin kayma modülü değeri 1181.6 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

Bu deneyden elde edilen bazı sonuçlar Tablo 4.7’ de verilmiştir.

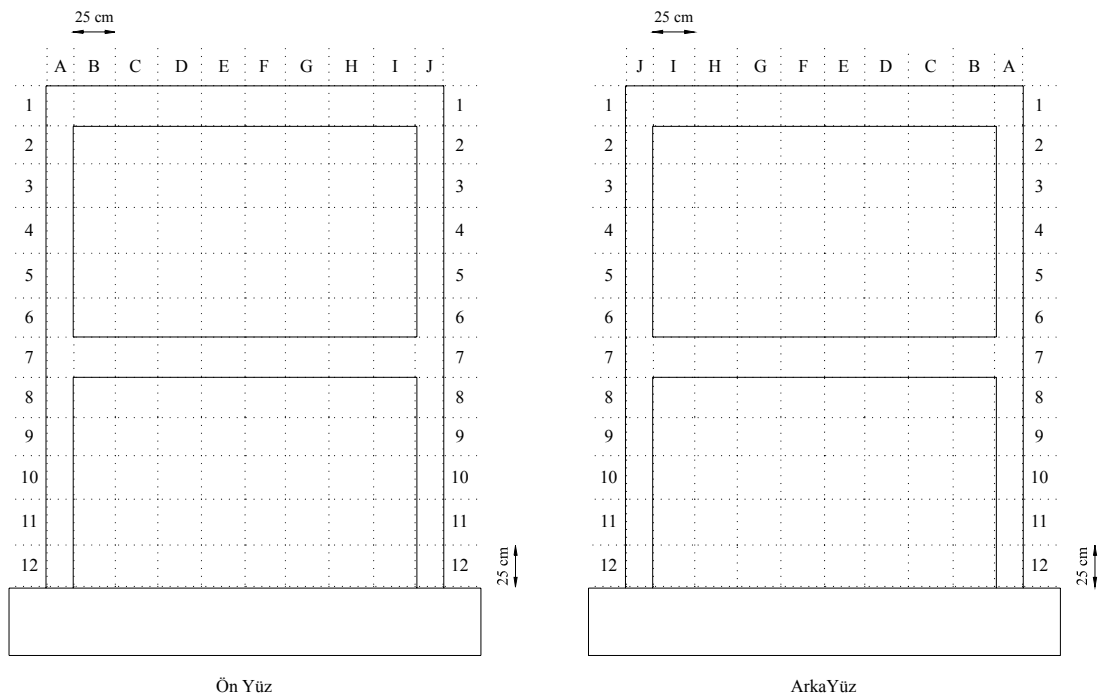
Tablo 4.7 Deney Özet Tablosu

$P_{\max}$	137	kN
$P_{\text{ilk çatlak}}$	130	kN
$\delta_{\max}$	1.791	mm
$\tau_{\max}$	0.896	N/mm^2
$\gamma_{\max}$	$6.020 \cdot 10^{-3}$	-

4.5 Deney Sonuçları

Bu bölümde numunelere uygulanan yerdeğiştirme seviyeleri, deneyler sonucunda oluşan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi, yatay yük-tepe yerdeğiştirme zarfı ve duvar ön ve arka çapraz uzama kısalması gibi veriler ve sonuçlar verilmiştir.

Deneylere başlamadan önce numunelerin yüzeyleri karbon lif kısımları hariç beyaz boya ile boyanmıştır. Daha sonra numunelerin her iki yüzeyine Şekil 4.22’ de görüldüğü gibi 25 cm aralıklı karolajlar oluşturulmuştur. Bunun amacı deney sırasında her yük seviyesinde oluşan çatlakların bölgesel olarak tespiti ve not edilmesinin kolaylaştırılmasıdır. Deney sırasında her yükleme seviyesinde oluşan çatlaklar keçeli kalemle ile numunelerin üzerinde belirtilmiş ve numaralandırılmıştır. İtme ve çekme de oluşan çatlakların karışmaması için farklı renkteki keçeli kalemle kullanılmıştır. Aynı zamanda bu çatlakların bir örneği de Şekil 4.22’ deki şablonun basılı bir kopyasında işaretlenmiştir.



Şekil 4.22 Numunelerin ön ve arka yüzündeki karolaj şablonu

Numunelerde kullanılan bazı ortak isimlendirmeler şöyledir:

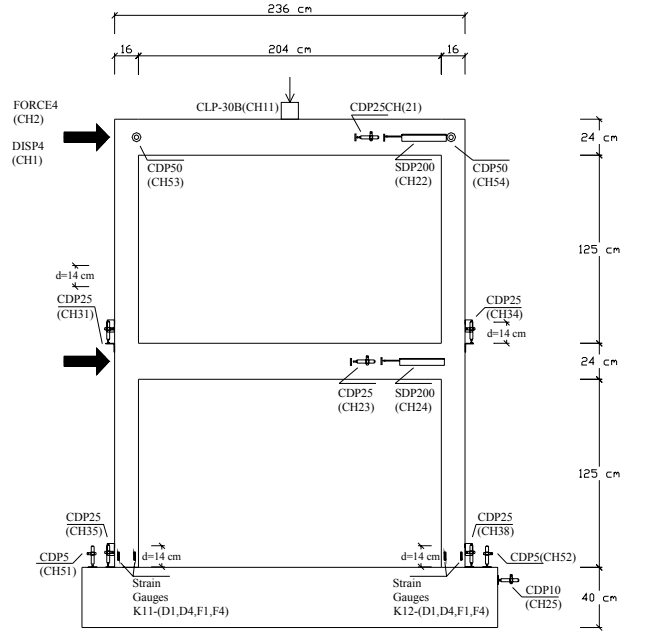
Ön yüz, numunenin dolgu duvarının kolon ile aynı seviyede olduğu yüzüdür. Dolgu duvarın kolon yüzünden içeride olan yüzü ise Arka yüz olarak isimlendirilmiştir. Numunenin birinci katına First, ikinci katına ise Second denilmiştir. Sağ ve sol gibi isimlendirmeler numunenin ön yüzüne doğru bakılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre numunenin ön yüzüne doğru baktığımız zaman sağdaki kolon Right, soldaki kolon ise Left olarak adlandırılmıştır.

4.5.1 Numune 1:

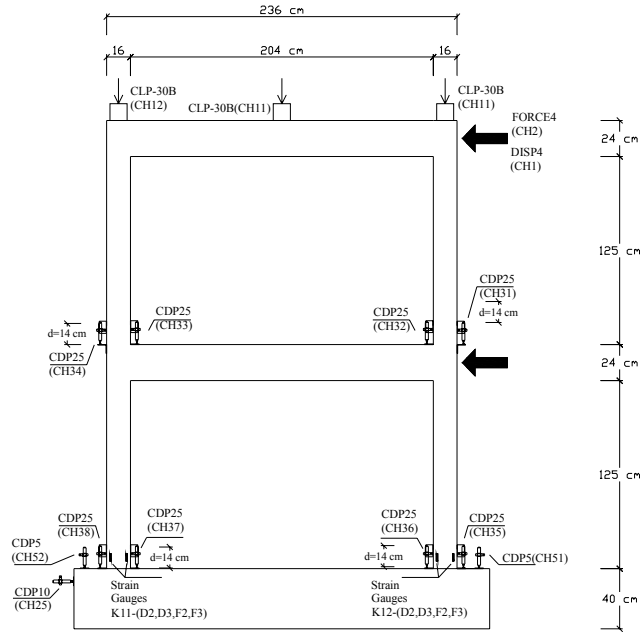
Bu numune çıplak çerçeve yani dolgu duvarsız olarak üretilmiştir. Numunenin beton basınç dayanımı 14 Mpa olarak ölçülmüştür. Yatay yük uygulaması için bir adet hidrolik verenden faydalanılmıştır. Deney sırasında kolonların üzerine toplam 291,5 kN' luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Bu numunede kullanılan yerdeğiştirme ölçerleri ve mesnetlenme yerleri Tablo 4.8 ve Şekil 4.23' de verilmiştir.

Tablo 4.8 Numune 1' de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler

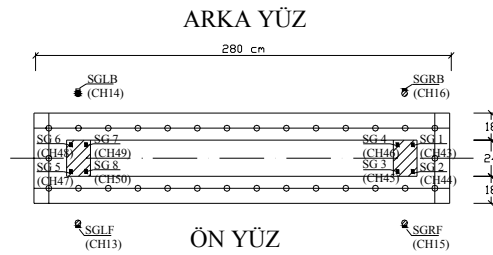
Channel	Tip	Model	İsim	Kullanım Yeri	Aralık	Birim
1	Disp	Int.		Hidrolik Veren	300	mm
2	Force	Int.		Hidrolik Veren	250	kN
11	Load	CLP-100CMP	Mid-axial	Normal Kuvvet	300	kN
21	Disp.	CDP25	Top-25	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
22	Disp.	SDP200	Top-200	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
23	Disp.	CDP25	Mid-25	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
24	Disp.	SDP200	Mid-200	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
25	Disp.	CDP10	Bottom-10	Tüm Sistem Ötelenme	10	mm
31	Disp.	CDP25	Second-left column-left	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
32	Disp.	CDP25	Second-left column-right	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
33	Disp.	CDP25	Second-right column-left	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
34	Disp.	CDP25	Second-right column-right	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
35	Disp.	CDP25	First-left column-left	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
36	Disp.	CDP25	First-left column-right	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
37	Disp.	CDP25	First-right column-left	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
38	Disp.	CDP25	First-right column-right	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
51	Disp.	CDP5	Base vertical left	Temel Dönme (Sol)	5	mm
52	Disp.	CDP5	Base vertical right	Temel Dönme (Sağ)	5	mm
53	Disp.	CDP50	Top out of plane -left	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sol)	50	mm
54	Disp.	CDP50	Top out of plane -right	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sağ)	50	mm



ÖN YÜZ



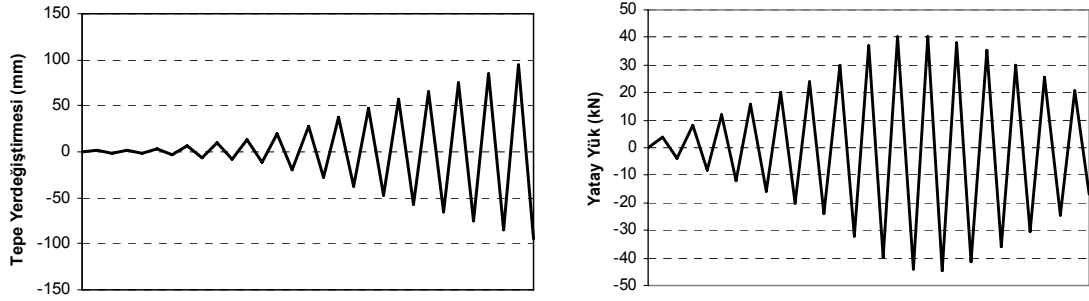
ARKA YÜZ



ÖN YÜZ

Şekil 4.23 Numune 1' deki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Numune 1' e uygulanan yerdeğiştirme çevrimleri ve buna bağlı olarak yatay yük çevrimleri şekil 4.24' de görülmektedir. şekil 4.24' den de görüldüğü gibi her yerdeğiştirme seviyesi birer kez uygulanmıştır.



şekil 4.24 Numune 1 için Yerdeğiştirme ve Yatay Yük evrimleri

Bu numuneye 15 çevrim uygulanmıştır. İlk 6 evrim kuvvet kontrollü, devam eden çevrimler ise deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Bu evrimler sonucunda oluşan maksimum yerdeğiştirme 94.00 mm, bu yük seviyesindeki yatay kuvvet ise 20.7 kN olarak ölçülmüştür. Deney sırasında numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet ise 44.3 kN olmuştur.

Deney sırasında oluşan ilk kılcal çatlak 4. evrimde ekmede sağ kolonun kiriş ile birleştiği köşe noktasında çapraz olarak kolonun her iki yüzeyinde meydana gelmiştir. Bu kılcal çatlağın ölçülen genişliği 0.1 mm' den küçüktür. Bu çevrimdeki yatay yük -16 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise -6.01 mm olarak ölçülmüştür.

Bu numunede yığma duvar olmadığı için hasarlar genellikle birinci kat kolon-kiriş ve kolon- temel birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.

10. evrim itme de numunenin n yüz sağ kolon temel birleşim bölgesinin dış tarafında beton ezilmesi meydana gelmiştir. Çekme sırasında ise 11. evrimde n yüz sağ kolon temel birleşim bölgesinin iç tarafında ve n yüz sol kolon temel birleşim bölgesinin dış tarafında beton ezilmeleri görülmüştür.

10. evrimde ereve akma kapasitesine ulaşmıştır. Bu durumdaki yatay kuvvet yaklaşık 40.00 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 47.00 mm olarak ölçülmüştür.



Şelil 4.25 Birinci Kat Sol Kolon Üst Noktasında Meydana Gelen Kesme Çatlakları

Bu çevrimden itibaren birinci kat kolon uç bölgelerinde plastik mafsallar oluşmaya başlamıştır ve betonda kesme çatlakları meydana gelmiştir. Oluşan bu çatlakların deneyin ileri çevrimlerindeki durumu Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’ da verilmiştir. 15. çevrimde ise bu çatlaklar birleşerek yatay doğrultuda tek bir çatlak halini alarak çerçevenin rijitliğini kaybetmesine neden olmuştur. Bu çevrimde deneye son verilmiştir.



(a)



(b)

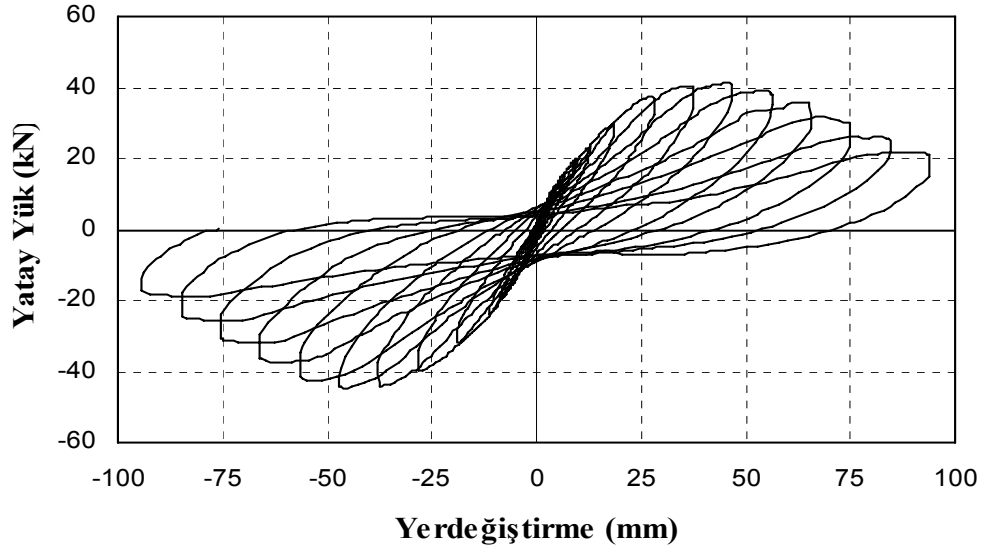
Şekil 4.26 (a) Birinci Kat Sağ Kolon Üst Noktasında Meydana Gelen Kesme Çatlakları (b) Birinci Kat Sağ Kolon-Temel Birleşim noktasında Meydana Gelen Beton Ezilmesi

Tablo 4.9’ da numune 1 için uygulanan yerdeğıştirmeler ve buna bağı olarak oluşan yatay kuvvet ve rölatif kat yerdeğıştirmesi verilmektedir.

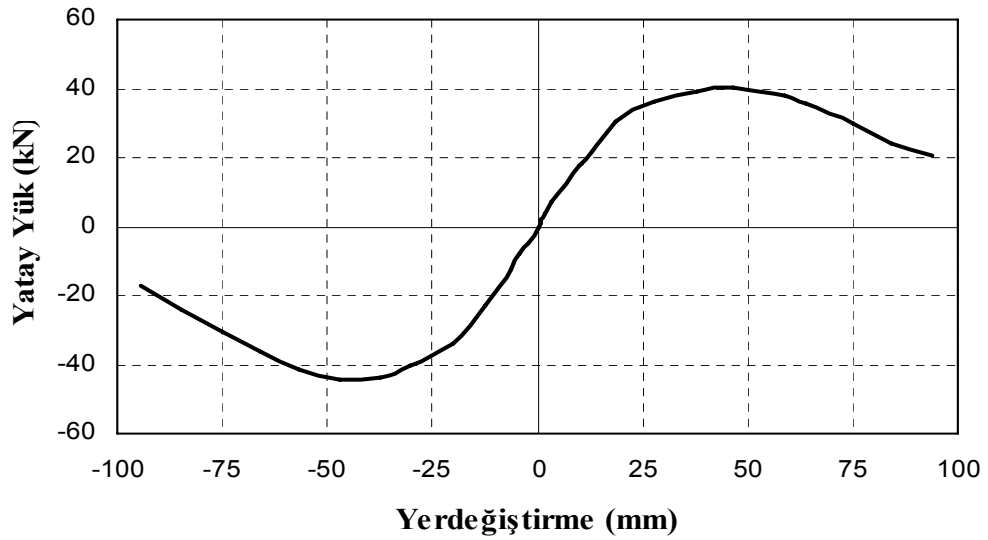
Tablo 4.9 Numune 1 için Uygulanan Yerdeğıştirme Seviyeleri

Çevrim Numarası	Yatay Kuvvet (kN)	Tepe Yerdeğıştirmesi (Δ), (mm)	Rölatif Kat Yerdeğıştirmesi (Δ / H), (mm)
1	4.0	0.90	0.000657
-1	-4.0	-0.94	
2	8.0	2.34	0.001708
-2	-8.0	-2.39	
3	12.0	3.94	0.002876
-3	-12.0	-4.00	
4	16.0	6.29	0.004591
-4	-16.0	-6.01	
5	20.0	9.69	0.007073
-5	-20.0	-8.64	
6	24.0	12.99	0.009482
-6	-24.0	-11.40	
7	29.8	18.80	0.013723
-7	-31.9	-18.80	
8	36.9	28.80	0.020584
-8	-39.7	-28.80	
9	40.1	37.60	0.027445
-9	-44.0	-37.60	
10	40.1	47.00	0.034307
-10	-44.3	-47.00	
11	37.8	56.40	0.041168
-11	-41.4	-56.40	
12	35.5	65.80	0.048029
-12	-35.9	-65.80	
13	29.9	75.20	0.054891
-13	-30.5	-75.20	
14	25.5	84.60	0.061752
-14	-24.2	-84.60	
15	20.7	94.00	0.068613
-15	-17.1	-94.00	

Tablo 4.9’ da verilen yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirme eğrisi Şekil 4.27’ de verilmiştir. Şekil 4.28 de ise bu garfikten yararlanarak oluşturulan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.27 Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi

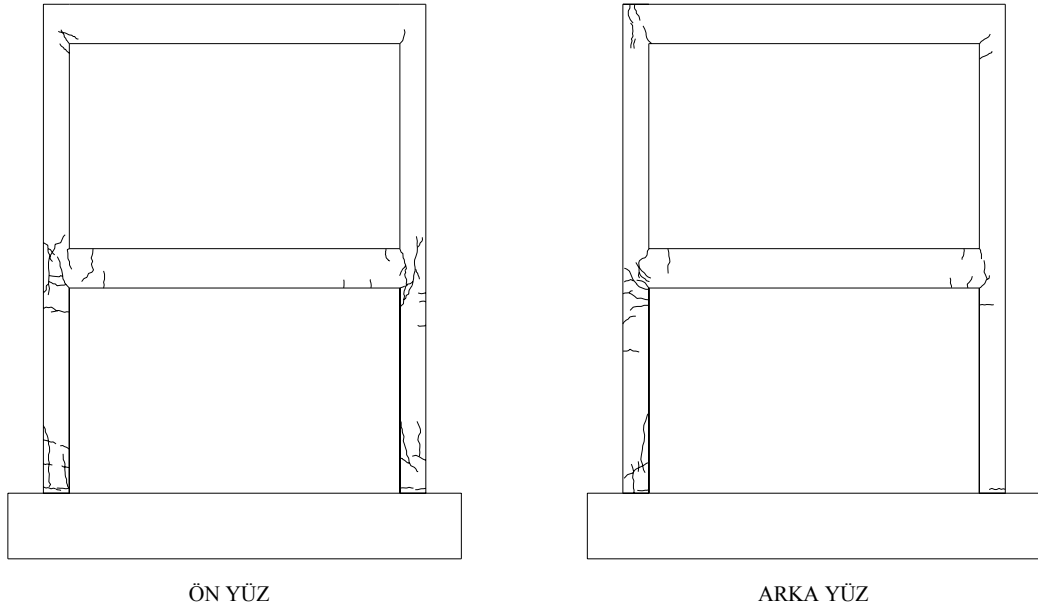


Şekil 4.28 Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Numune 1' in deney sonu görünümü ve oluşan hasarlar sırasıyla Şekil 4.29 ve Şekil 4.30' te verilmiştir.



Şekil 4.29 Numune 1' in Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz)



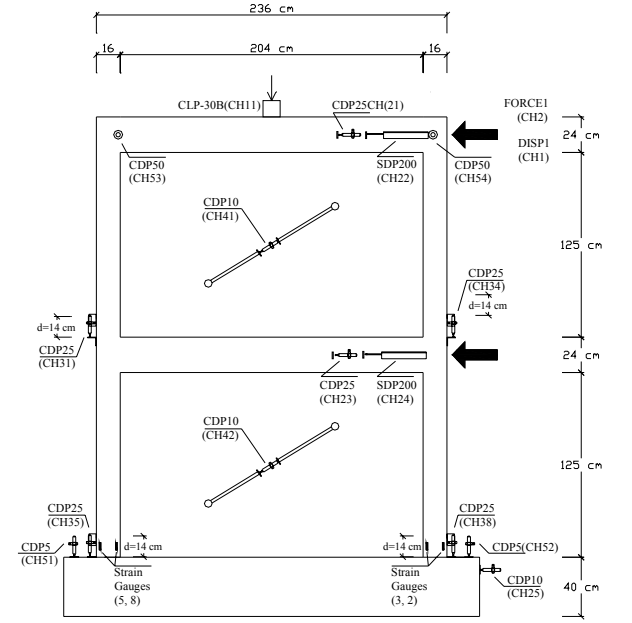
Şekil 4.30 Deney Sonunda Numune 1' de Oluşan Hasarlar

4.5.2 Numune 2:

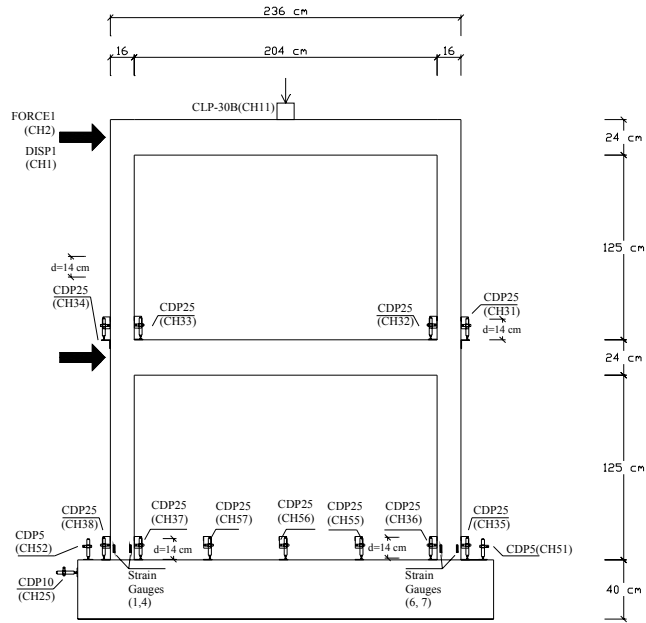
Numune 2 daha önce de belirtildiği gibi bölme duvarlı olarak üretilmiştir. Bu numunenin beton basınç dayanımı 11 Mpa olarak ölçülmüştür. Yatay yük uygulaması için bir adet hidrolik verenden faydalanılmıştır. Deney sırasında kolonların üzerine toplam 246,5 kN' luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Bu numunede kullanılan yerdeğiştirme ölçerleri ve mesnetlenme yerleri Tablo 4.10 ve Şekil 4.31' te verilmiştir.

Tablo 4.10 Numune 2' de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler

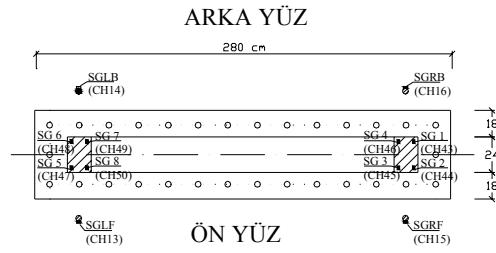
Channel	Tip	Model	İsim	Kullanım Yeri	Aralık	Birim
1	Disp	Int.		Hidrolik Veren	300	mm
2	Force	Int.		Hidrolik Veren	250	kN
11	Load	CLP-100CMP	Mid-axial	Normal Kuvvet	300	kN
21	Disp.	CDP25	Top-25	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
22	Disp.	SDP200	Top-200	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
23	Disp.	CDP25	Mid-25	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
24	Disp.	SDP200	Mid-200	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
25	Disp.	CDP10	Bottom-10	Tüm Sistem Ötelenme	10	mm
31	Disp.	CDP25	Second-left column-left	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
32	Disp.	CDP25	Second-left column-right	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
33	Disp.	CDP25	Second-right column-left	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
34	Disp.	CDP25	Second-right column-right	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
35	Disp.	CDP25	First-left column-left	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
36	Disp.	CDP25	First-left column-right	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
37	Disp.	CDP25	First-right column-left	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
38	Disp.	CDP25	First-right column-right	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
41	Disp.	CDP10	Second Diagonal	2. Kat Duvar Çapraz	10	mm
42	Disp.	CDP10	First Diagonal	1. Kat Duvar Çapraz	10	mm
51	Disp.	CDP5	Base vertical left	Temel Dönme (Sol)	5	mm
52	Disp.	CDP5	Base vertical right	Temel Dönme (Sağ)	5	mm
53	Disp.	CDP50	Top out of plane -left	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sol)	50	mm
54	Disp.	CDP50	Top out of plane -right	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sağ)	50	mm
55	Disp.	CDP25	Wall Left	Duvar Dönme (Sol)	25	mm
56	Disp.	CDP25	Wall Middle	Duvar Dönme (Orta)	25	mm
57	Disp.	CDP25	Wall Right	Duvar Dönme (Sağ)	25	mm



ÖN YÜZ



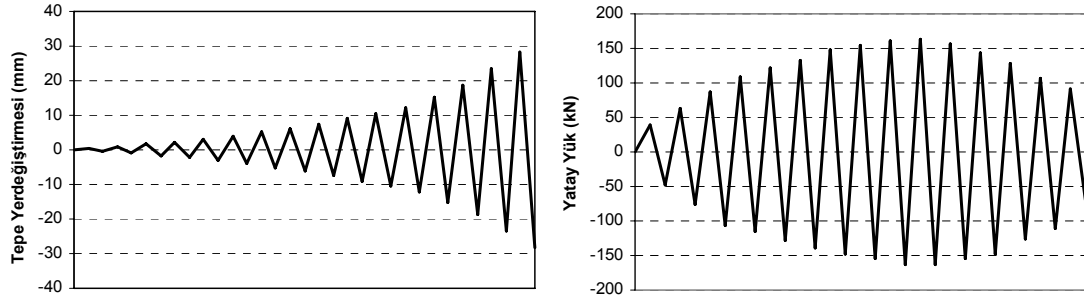
ARKA YÜZ



ÖN YÜZ

Şekil 4.31 Numune 2' deki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Numune 2 ye uygulanan yerdeğiştirme çevrimleri ve buna bağlı olarak yatay yük çevrimleri şekil 4.32’ da görülmektedir. şekil 4.32’ dan da grldėđ gibi her yerdeğiştirme seviyesi birer kez uygulanmıştır.



şekil 4.32 Numune 2 için Yerdeğiştirme ve Yatay Yük evrimleri

Bu numuneye 16 çevrim uygulanmıştır. Bu evrimler sonucunda oluşan maksimum yerdeğiştirme 28.20 mm, bu yük seviyesindeki yatay kuvvet ise 72.0 kN olarak ölçülmüştür. Deney sırasında numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet ise 164 kN olmuştur.

Deney sırasında oluşan ilk kılcal çatlak 3. evrimde itmede sağ kolonun temel ile birleřtiėđi noktada meydana gelmiştir. Bu kılcal atlaėđın ölçülen geniřliėđi 0.1 mm’ den küçüktür. Bu çevrimdeki yatay yük 87 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise +1.65 mm olarak ölçülmüştür.

Tuğla duvarda 10. evrimde yüklenen köşegen doğrultusunda uzun bir çatlak meydana gelmiştir. Bu atlak duvarın her iki yüzünde de oluşmuştur. Bu çevrimdeki yatay kuvvet 164.0 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 9.00 mm olarak ölçülmüştür. Bu çatlakların ilerleyen çevrimlerdeki genişlemiş hali şekil 4.33’ de görülmektedir.



Ön Yüz



Arka Yüz

Şelil 4.33 Dolgu Duvarı Meydana Gelen Çapraz Çatlaklar

12. Çevrimde çerçeve akma kapasitesine ulaşmıştır. Bu durumdaki yatay kuvvet 144.0 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise 12.00 mm olarak ölçölmüştür.

14. Çevrimde birinci kat sol kolon üst kısmında plastik mafsall oluşmuştur ve donatı akmuştır. Şekil 4.34



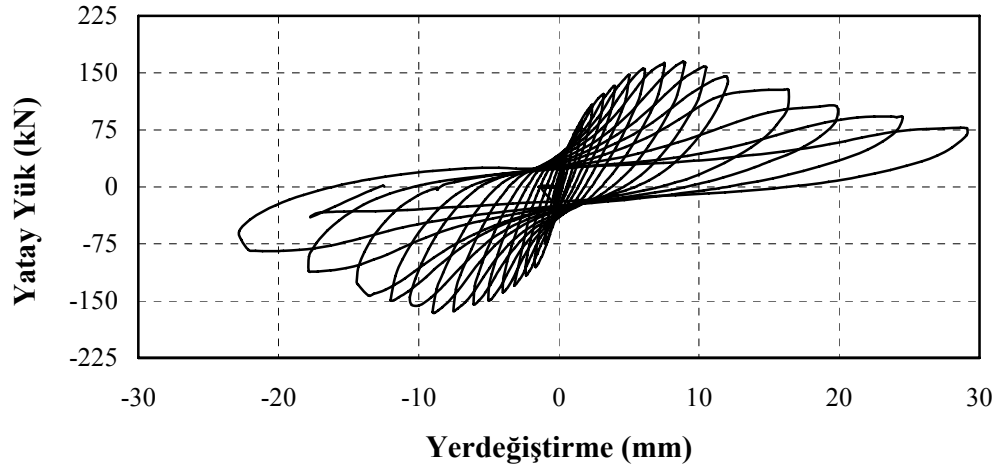
Şekil 4.34 Çerçeve Meydana Gelen Mafsallaşma ve Donatı Akması

Numunede oluşan çatlaklar genelde birinci kat' ta oluşmuştur. Ancak her iki kat' tada duvar çerçeveden ayrılmaya başlamıştır. Tablo 4.11' de numune 2 için uygulanan yerdeğiştirmeler ve buna bağlı olarak oluşan yatay kuvvet ve rölatif kat yerdeğiştirmesi verilmektedir.

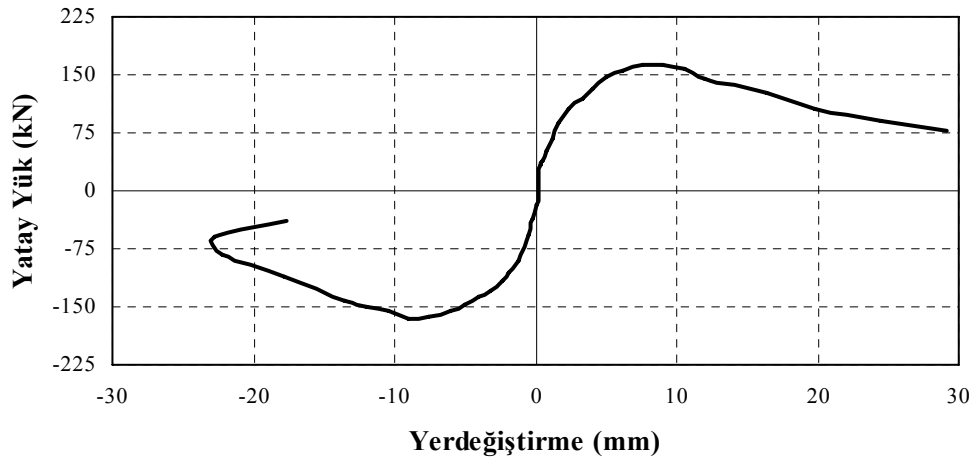
Tablo 4.11 Numune 2 için Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

Çevrim Numarası	Yatay Kuvvet (kN)	Tepe Yerdeğiştirmesi (Δ), (mm)	Rölatif Kat Yerdeğiştirmesi (Δ / H), (mm)
1	40.0	0.47	0.000343
-1	-47.0	-0.47	
2	63.0	0.94	0.000686
-2	-75.0	-0.94	
3	87.0	1.65	0.001204
-3	-106.0	-1.65	
4	108.0	2.35	0.001715
-4	-115.0	-2.35	
5	121.0	3.20	0.002336
-5	-129.0	-3.20	
6	133.0	4.00	0.002920
-6	-138.4	-4.00	
7	147.0	5.05	0.003686
-7	-148.4	-5.05	
8	155.0	6.10	0.004453
-8	-154.0	-6.10	
9	160.0	7.55	0.005511
-9	-163.0	-7.55	
10	164.0	9.00	0.006569
-10	-164.0	-9.00	
11	157.0	10.50	0.007664
-11	-155.0	-10.50	
12	144.0	12.00	0.008759
-12	-149.0	-12.00	
13	127.5	15.40	0.011241
-13	-125.0	-15.40	
14	106.0	18.80	0.013723
-14	-111.0	-18.80	
15	92.0	23.50	0.017153
-15	-70.0	-23.50	
16	72.0	28.20	0.020584
-16	-18.0	-18.60	0.013577

Tablo 4.11’ de verilen yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirme eğrisi şekil 4.35’ de verilmiştir. şekil 4.36’ da ise bu garfikten yararlanarak oluşturulan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi verilmiştir.



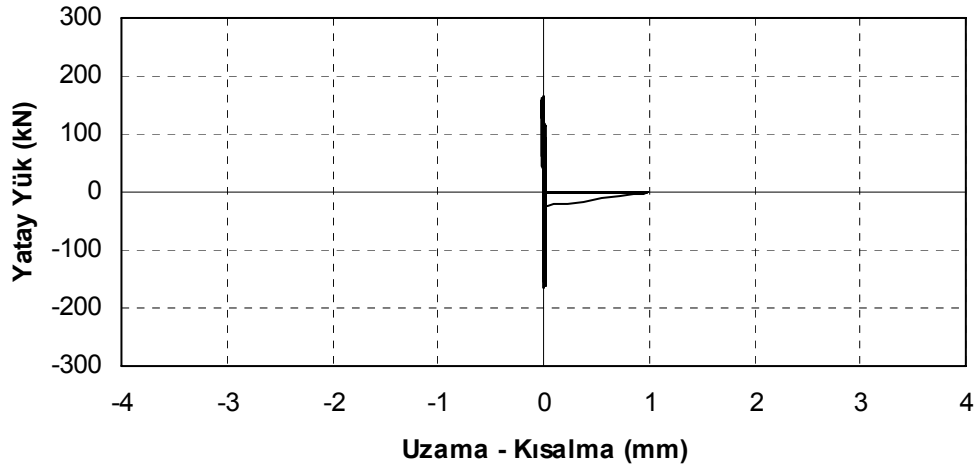
şekil 4.35 Numune 2 Yatay Yükle-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi



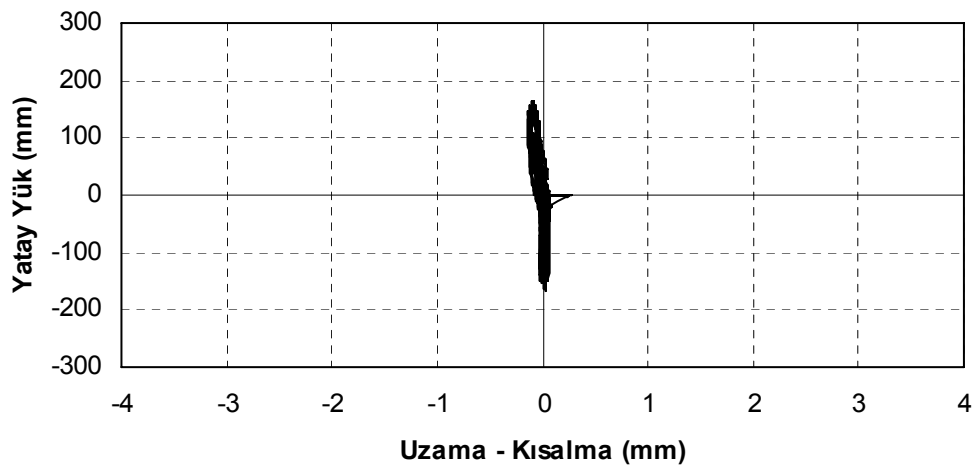
şekil 4.36 Numune 2 Yatay Yükle-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Numune duvarlarındaki şekildeğiştirmeyi ölçmek için her kat duvarı için birer adet çapraz yerdeğiştirme ölçer sistemi yerleştirilmiştir. Buna göre duvar; 1. kat çapraz ve 2. kat çapraz yatay yük-uzama ve yatay yük-kısalma ilişkileri Şekil 4.37’ de verilmiştir.

1. KAT DUVAR ÖN ÇAPRAZ



2. KAT DUVAR ÖN ÇAPRAZ

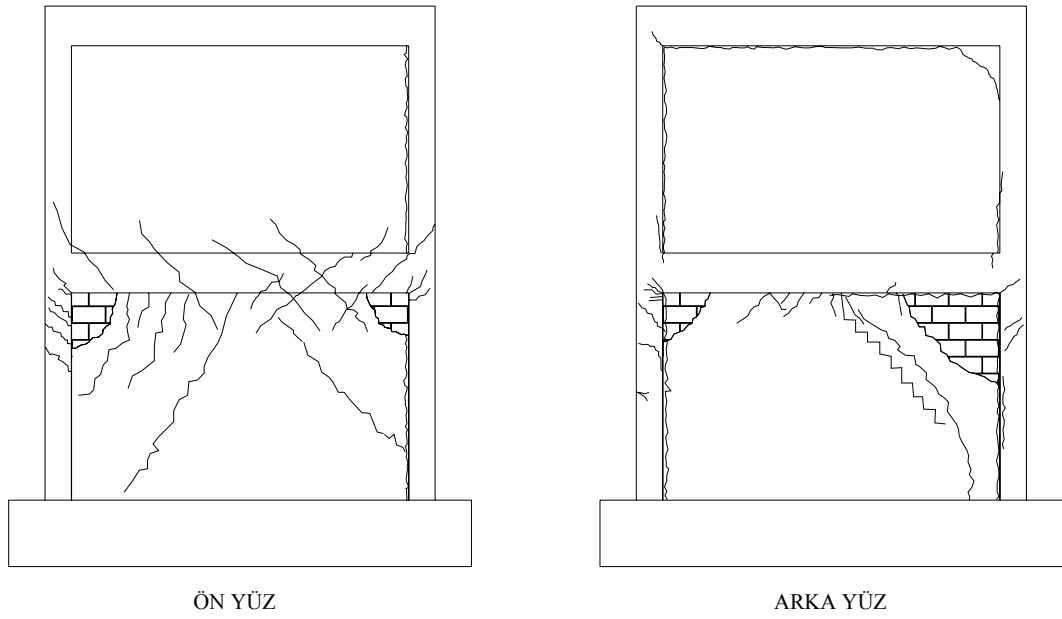


Şekil 4.37 Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yatay Yük-Uzama-Kısalma Eğrileri

Numune 2' nin deney sonu görünümü ve oluşan hasarlar sırasıyla Şekil 4.38 ve Şekil 4.39' te verilmiştir.



Şekil 4.38 Numune 2' nin Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz)



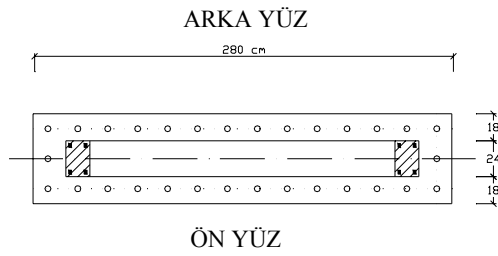
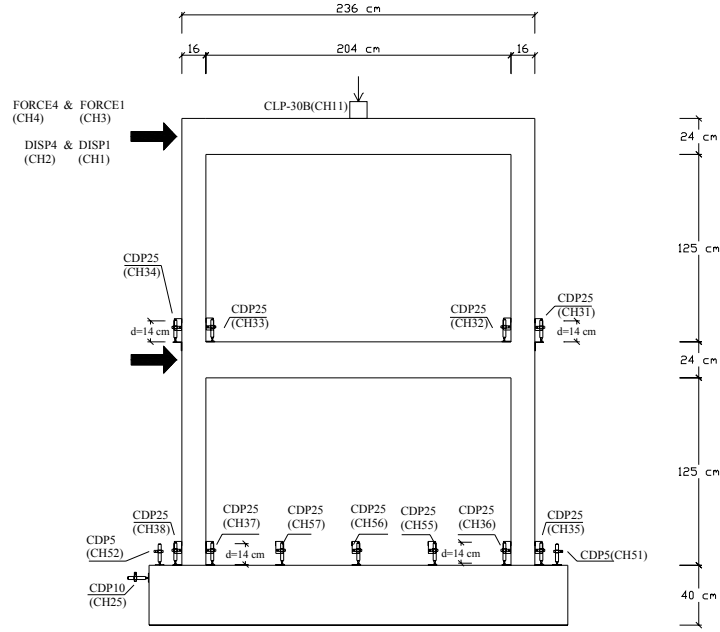
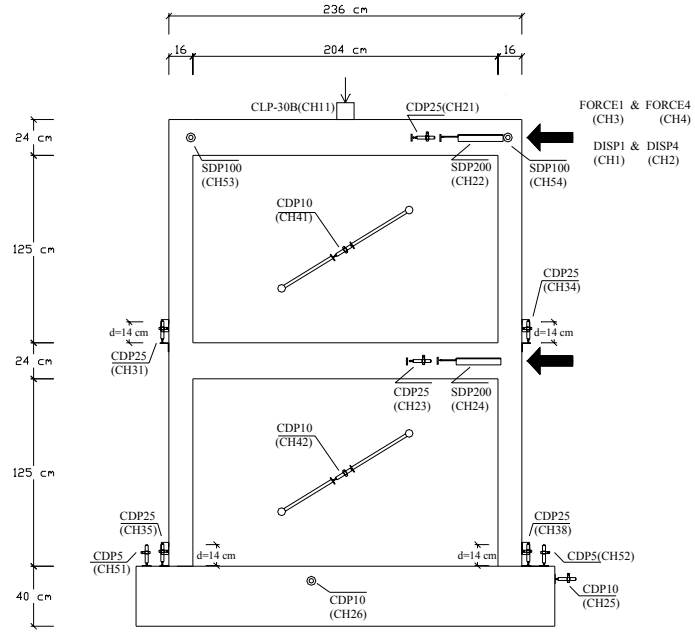
Şekil 4.39 Deney Sonunda Numune 2' de Oluşan Hasarlar

4.5.3 Numune 3:

Bu numunede dolgu duvar üzeri karbon lifi çapraz bantlar yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Numunenin beton basınç dayanımı 10 Mpa olarak ölçülmüştür. Bu numune güçlendirilmiş olduğu için ilk iki numuneye göre daha rijit bir yapıya sahip olup deney sırasında daha ileri yükleme seviyelerine çıkabilmeyi sağlamak üzere iki adet yatay hidrolik veren birlikte kullanılmıştır. Deney sırasında kolonların üzerine toplam 231,5 kN' luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Bu numunede kullanılan yerdeğiştirme ölçerleri ve mesnetlenme yerleri Tablo 4.12 ve Şekil 4.40' da verilmiştir.

Tablo 4.12 Numune 3' te Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler

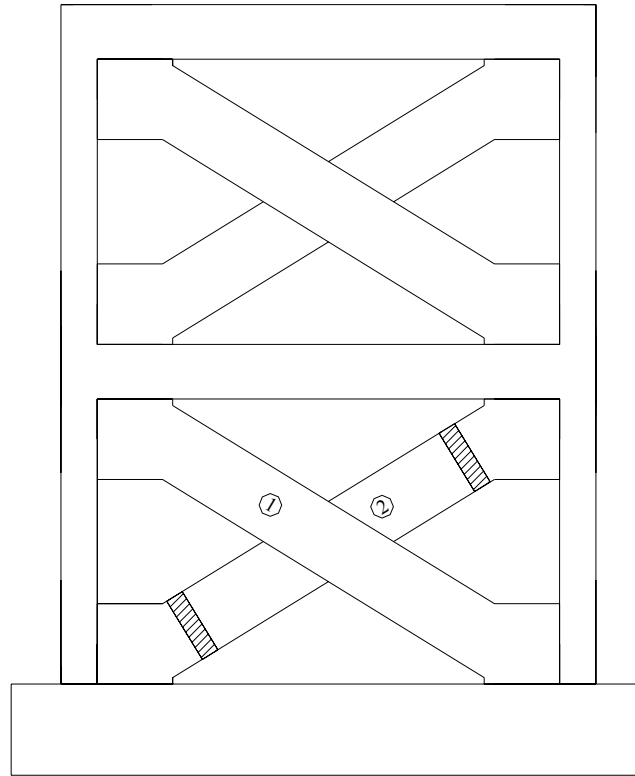
Channel	Tip	Model	İsim	Kullanım Yeri	Aralık	Birim
1	Disp1	Int.		Hidrolik Veren	300	mm
2	Disp4	Int.		Hidrolik Veren	300	mm
3	Force1	Int.		Hidrolik Veren	250	kN
4	Force4	Int.		Hidrolik Veren	250	kN
11	Load	CLP-100CMP	Mid-axial	Normal Kuvvet	300	kN
21	Disp.	CDP25	Top-25	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
22	Disp.	SDP200	Top-200	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
23	Disp.	CDP25	Mid-25	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	25	mm
24	Disp.	SDP200	Mid-200	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme	200	mm
25	Disp.	CDP10	Bottom-10	Tüm Sistem Ötelenme	10	mm
26	Disp.	CDP10	Bottom out-of-plane 10	Temel Düzlem Dışı Yerdeğiştirme	10	mm
31	Disp.	CDP25	Second-left column-left	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
32	Disp.	CDP25	Second-left column-right	2. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
33	Disp.	CDP25	Second-right column-left	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
34	Disp.	CDP25	Second-right column-right	2. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
35	Disp.	CDP25	First-left column-left	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sol)	25	mm
36	Disp.	CDP25	First-left column-right	1. Kat Sol Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
37	Disp.	CDP25	First-right column-left	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sol)	25	mm
38	Disp.	CDP25	First-right column-right	1. Kat Sağ Kolon Dönme (Sağ)	25	mm
41	Disp.	CDP10	Second Diagonal	2. Kat Duvar Çapraz	10	mm
42	Disp.	CDP10	First Diagonal	1. Kat Duvar Çapraz	10	mm
51	Disp.	CDP5	Base vertical left	Temel Dönme (Sol)	5	mm
52	Disp.	CDP5	Base vertical right	Temel Dönme (Sağ)	5	mm
53	Disp.	SDP-100C	Top out of plane -left	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sol)	100	mm
54	Disp.	SDP-100C	Top out of plane -right	Düzlem Dışı Yerdeğiştirme (Sağ)	100	mm
55	Disp.	CDP25	Wall Left	Duvar Dönme (Sol)	25	mm
56	Disp.	CDP25	Wall Middle	Duvar Dönme (Orta)	25	mm
57	Disp.	CDP25	Wall Right	Duvar Dönme (Sağ)	25	mm



Şekil 4.40 Numune 3' teki Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Deney sırasında oluşan ilk kılcal çatlak 3. evrimde itmede numunenin n yüzeyinden bakıldığında sağ kolonun temel ile birleştiği noktada meydana gelmiştir. Bu kılcal çatlağın ölçülen genişliği 0.1 mm' den küçüktür. Bu çevrimdeki yatay yük 97.6 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise +1.65 mm olarak ölçülmüştür. Bu atlağın bir benzeri de 3. evrimin ekme etabında bu sefer numunenin n yüzeyinden bakıldığında sol kolonun temel ile birleştiği noktada meydana gelmiştir. Çekme etabındaki yatay yük 122.5 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise -1.65 mm olarak ölçülmüştür. İlerleyen çevrimlerde numunede sıva çatlakları ve sıvanın beton yüzeyden ayrılması gözlenmiştir.

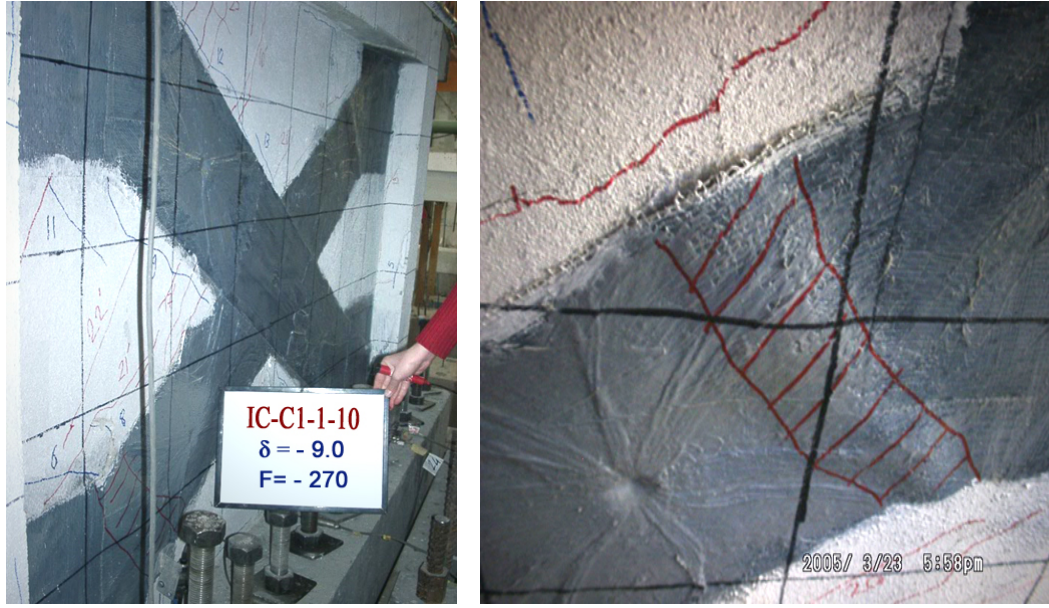
10. evrimin ekme etabında numunenin arka yüzündeki 2 No'lu karbon lifi Çaprazının st ve alt kısımlarında burkulma meydana gelmiştir. Burkulma sonucu karbon lif kabarak bir kısmı dolgu duvardan ayrılmıştır. Bu çevrimdeki tepe yerdeğiştirmesi -9.0 mm, yatay yük ise -270 kN olarak ölçülmüştür. şekil 4.43' de burkulma noktaları taralı olarak gösterilmiştir.



ARKA YÜZ

şekil 4.43 2 No' lu Karbon Lif aprazının Burkulma Bölgeleri (Arka Yüz)

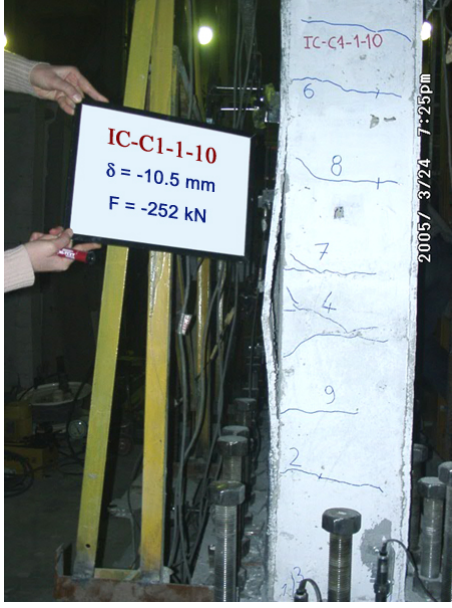
Şekil 4.44' de ise burkulma kısımları daha net bir şekilde gösterilmiştir.



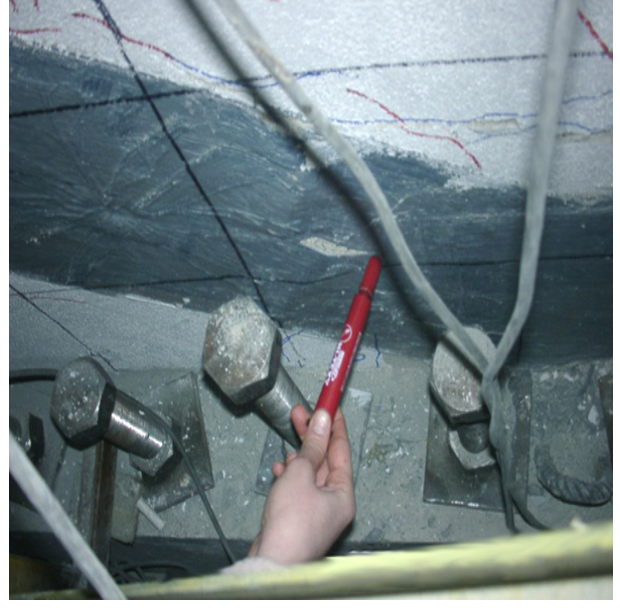
Şekil 4.44 2 No' lu Karbon lif Çaprazının Burkulması ve Kabarması (Arka Yüz)

Bu sırada deneye devam ederken numunenin düzlem dışı hareketinin beklenen sınırları aştığı için deneye ara verildi. Düzlem dışı hareketi azaltmak için numuneye doğru bakıldığı zaman hidrolik veren ikilisinin rijit çelik çerçeve ile olan bağlantı noktaları birer delik sola kaydırılarak deneye hazır hale getirilmiştir.

Daha sonra deneye devam edilerek bir sonraki çevrim olan 11. çevrimde itme etabında bu kez arka yüzdeki 1 No' lu karbon lif çaprazının sol üst köşesinde burkulma meydana gelmiştir. Buna ilaveten 1 No' lu karbon lif çaprazının sol üst köşesinde bulunan düşey karbon lif parçasında yatay çatlak görülmüştür. Bu çevrimdeki yatay yük 215 kN, tepe yerdeğiştirmesi ise +10.5 mm olarak ölçülmüştür. Bu çevrimin çekme etabında ise ön yüz birinci kat sağ taraftaki sıvalar ki önceki adımlarda çatlamışlardı kabarmaya ve beton yüzeyinden kopmaya başlamıştır. Şekil 4.45(a). Bununla birlikte ön yüz 2 No' lu karbon lif çaprazının sağ alt köşesinde burkulma ve yırtılma meydana gelmiştir. Şekil 4.45(b). Çekmedeki tepe yerdeğiştirmesi -10.5 mm, yatay yük ise -252 kN olarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 4.45 (a) Sıva Kabarması (b) Ön Yüz 2 No' lu Karbon Lif Çaprazının Burkulması ve Yırılması

Tekrar numunede istenilenden daha fazla düzlem dışı hareket gözlemlendiği için bu sefer hidrolik veren ikilisinin Tepki duvarına olan bağlantısı numuneye doğru bakıldığı zaman iki delik sağa kaydırılmıştır.

Deneye devam edilerek bir sonraki çevrim olan 12. çevrime geçilmiştir. Bu çevrimin itme etabında numunenin ön yüzünde bir önceki çevrimde kabaran sıvalar dökülmüştür. Bununla birlikte önyüz 1 No' lu karbon lif çaprazının sağ üst köşesinde burkulma meydana gelmiştir. İtmedeki tepe yerdeğiştirmesi +12.0 mm, yatay yük ise +183 kN olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi karbon liflerdeki burkulmalardan dolayı numune rijitliğini kaybetmeye başlamıştır. Bunun bir göstergesi de bu çevrimdeki yatay yükün bir önceki çevrime göre azalmasıdır. Bu çevrimin çekme etabına geçildiğinde ise önceki çevrimlerde ön yüz 2 No' lu karbon lif ile arka yüz 2 No' lu karbon lif çaprazlarında meydana gelen burkulmalar artarak devam etmiştir ve burkulma bölgelerinde karbon liflerin duvardan ayrılmaları artmıştır. Şekil 4.46 Sıvaların kabarması ve karbon liflerin burkulması sonucu birinci kat diagonal ölçüm transdüsörü yerinden kopmuştur. Dolayısıyla diagonal ölçüm transdüsörünü yerinden sökülmüştür.

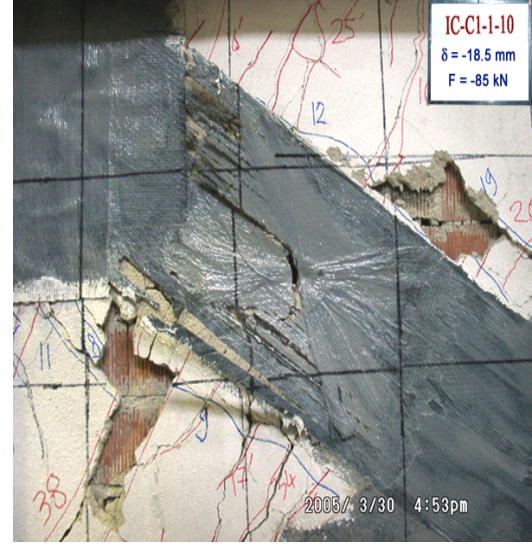


Şekil 4.46 Sıva Kabarması ve Karbon Lif Çaprazının Burkulması (Ön Yüz)

Birinci kat kolonlarının kirişe yakın noktalarında önceki çevrimlerde oluşan çatlaklar genişleyerek artmıştır. Çekme etabına tepe yerdeğiştirmesi olarak -18.5 mm' ye giderken numunenin her iki yüzündeki 1 No' lu çapraz karbon lifler üst köşeden burkulma sonucu kopmuştur. Şekil 4.47 ve Şekil 4.48' de Kopma bölgeleri gösterilmiştir. Kopma noktası duvar ankrajlarına yakın bölgelerde meydana gelmiştir. Karbon lifi çaprazlarında meydana gelen kopma nedeni ile numunenin rijitliğinde azalma gözlenmiştir. Bunun bir sonucu olarak da pikte yatay yük -85 kN' a düşmüştür. Bu kopmalar ile birlikte ön yüz 2 No'lu karbon lifi çaprazının üst köşesinde daha önce meydana gelen burkulma büyük bir oranda artmıştır. Bu bölgedeki sıvalarda numuneden ayrılmıştır.

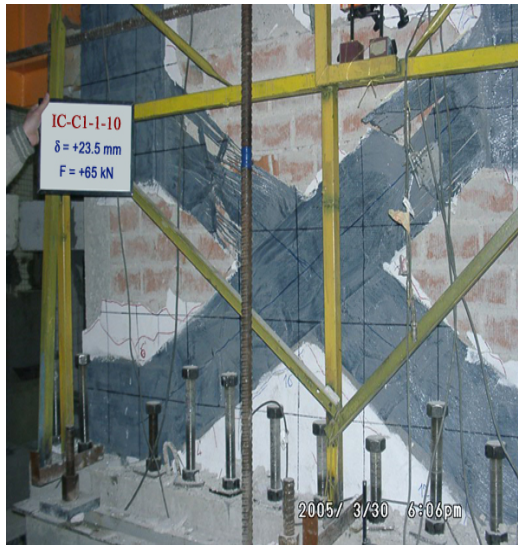


Şekil 4.47 1 No' lu Karbon Lifi Çaprazının Burkularak Kopması (Ön Yüz)



Şekil 4.48 1 No' lu Karbon Lifi Çaprazının Burkularak Kopması (Arka Yüz)

Bir sonraki çevrim olan 14. çevrimde bu sefer numunenin her iki yüzündeki 2 No' lu çapraz karbon lifler üst köşelerinden burkulma sonucu kopmuşlardır. Bu itme etabındaki tepe yerdeğiştirmesi +23.5 mm, yatay yük ise +65 kN olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi karbon lif çaprazlarının kopmasıyla yatay yük azalmaya başlamıştır. Buda numunenin rijitliğinin azalmasını göstermektedir. Birinci kat kolon üst noktalarında mafsallaşma ve kesme çatlakları artmaya devam etmiştir. Şekil 4.49 ve Şekil 4.50' de sırasıyla ön yüz ve arka yüzde oluşan karbon lif kopmaları gösterilmiştir.

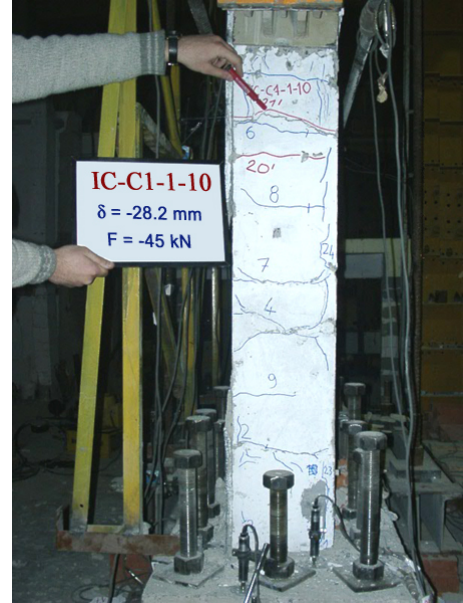


Şekil 4.49 2 No' lu Karbon Lifi Çaprazının Burkularak Kopması (Ön Yüz)



Şekil 4.50 2 No' lu Karbon lif Çaprazının Burkularak Kopması (Arka Yüz)

Bu çevrimin çekme etabında birinci katın kolonlarındaki yatay çatlaklar artmaya ve genişlemeye devam etmiştir ve kolonlar kuvvetli ekseninde eğrilmişlerdir. Kolonlarda meydana gelen kesme çatlakları ve kolon eğilmeleri Şekil 4.51' de gösterilmiştir.



Şekil 4.51 Kolonlarda Meydana Gelen Çatlaklar ve Eğilmeler (Arka Yüz Sol Kolon)

Son olarak tepe yerdeğiştirmesi olarak +32.9 mm' ye giderken Şekil 4.51 görülen kolon da kesme meydana gelmiştir ve numune çerçeve sistem formunu kaybetmiştir.

Şekil 4.52’ da kesilen kolon ve numunede meydana gelen eğrilme gösterilmiştir. Burada deneye son verilmiştir.



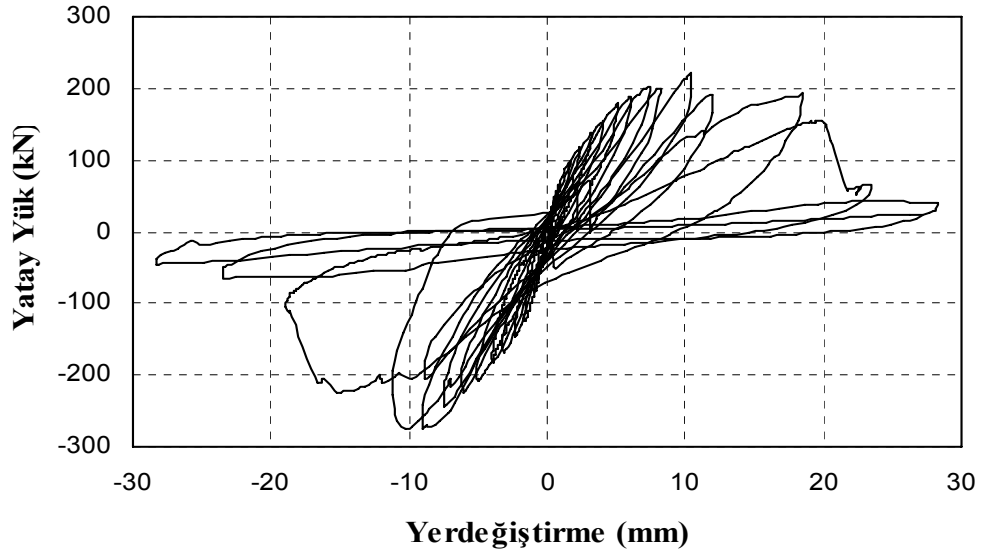
Şekil 4.52 Arka Yüz Sol Kolonda Kesilme ve numunede eğrilme

Tablo 4.13' de numune 3 için uygulanan yerdeğıştirmeler ve buna bağı olarak oluşan yatay kuvvet ve rölatif kat yerdeğıştirmesi verilmektedir.

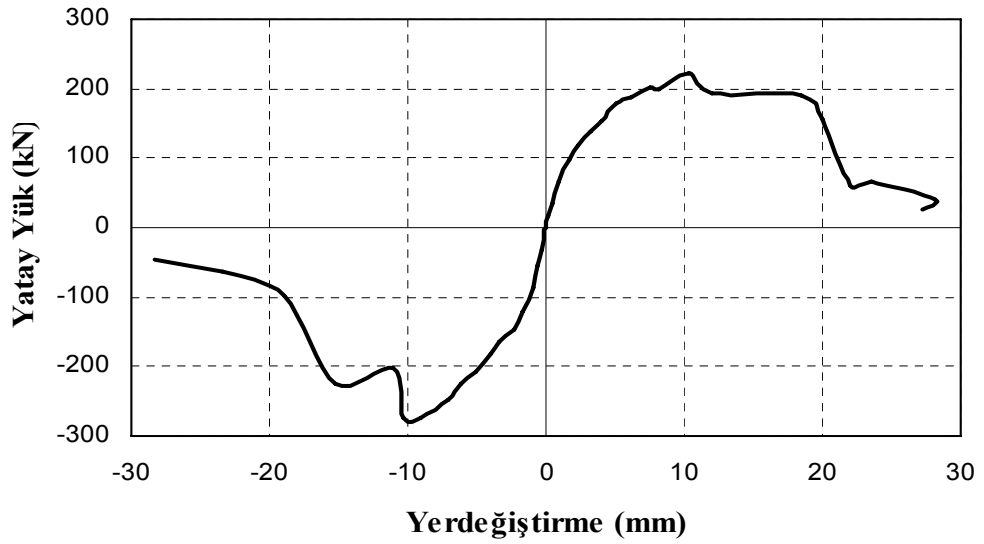
Tablo 4.13 Numune 3 için Uygulanan Yerdeğıştirme Seviyeleri

Çevrim Numarası	Yatay Kuvvet (kN)	Tepe Yerdeğıştirmesi (Δ), (mm)	Rölatif Kat Yerdeğıştirmesi (Δ / H), (mm)
1	39.2	0.47	0.000343
-1	-50.1	-0.47	
2	67.6	0.94	0.000686
-2	-85.5	-0.94	
3	97.6	1.65	0.001204
-3	-122.5	-1.65	
4	118.5	2.35	0.001715
-4	-145.3	-2.35	
5	137.8	3.20	0.002336
-5	-166.4	-3.20	
6	153.1	4.00	0.002920
-6	-182.0	-4.00	
7	179.0	5.05	0.003686
-7	-208.0	-5.05	
8	187.4	6.10	0.004453
-8	-225.0	-6.10	
9	201.0	7.55	0.005511
-9	-243.0	-7.55	
10	200.0	9.00	0.006569
-10	-270.0	-9.00	
11	215.0	10.50	0.007664
-11	-252.0	-10.50	
12	183.0	12.00	0.008759
-12	-182.0	-12.00	
13	209.0	18.80	0.013723
-13	-85.0	-18.80	
14	65.0	23.50	0.017153
-14	-63.0	-23.50	
15	40.0	28.20	0.020584
-15	-45.0	-28.20	

Tablo 4.13’ de verilen yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirme eğrisi Şekil 4.53’ de verilmiştir. Şekil 4.54’ de ise bu garfikten yararlanarak oluşturulan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi verilmiştir.



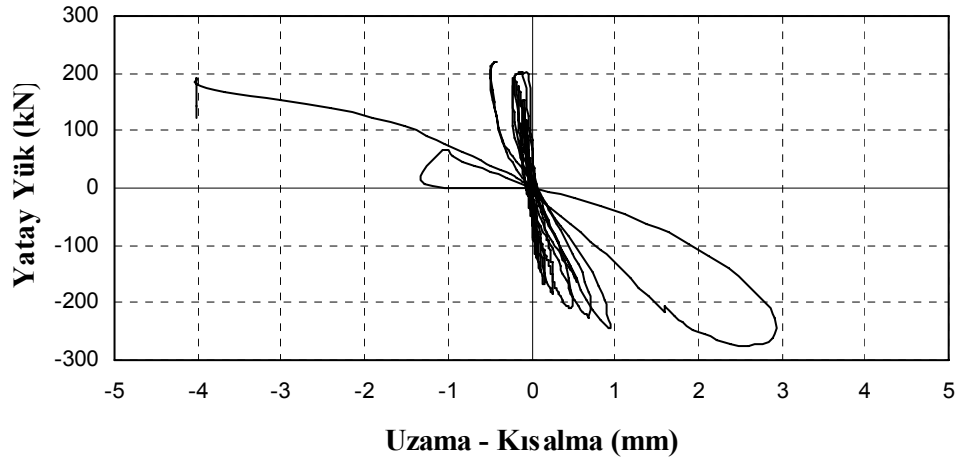
Şekil 4.53 Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrisi



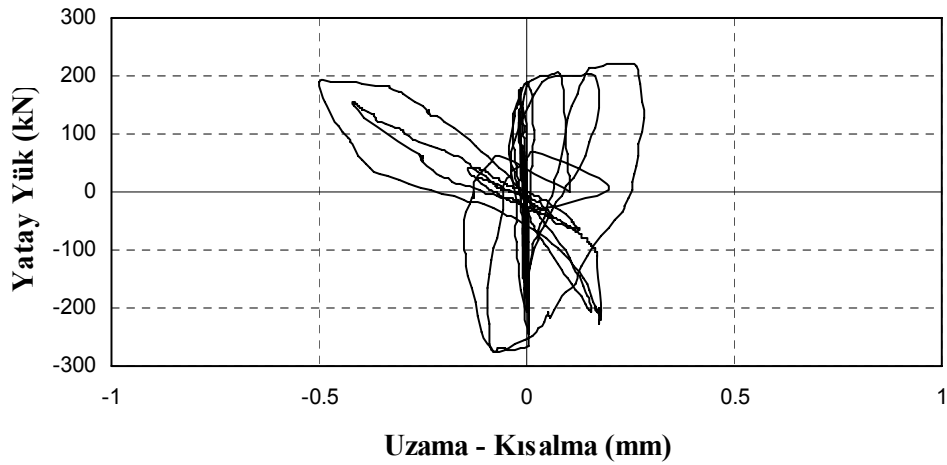
Şekil 4.54 Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Numune duvarlarındaki şekildeğiştirmeyi ölçmek için her kat duvarı için birer adet çapraz yerdeğiştirme ölçer sistemi yerleştirilmiştir. Buna göre duvar; 1. kat çapraz ve 2. kat çapraz yatay yük-uzama ve yatay yük-kısalma ilişkileri Şekil 4.55’ de verilmiştir.

1. KAT DUVAR ÖN ÇAPRAZ



2. KAT DUVAR ÖN ÇAPRAZ

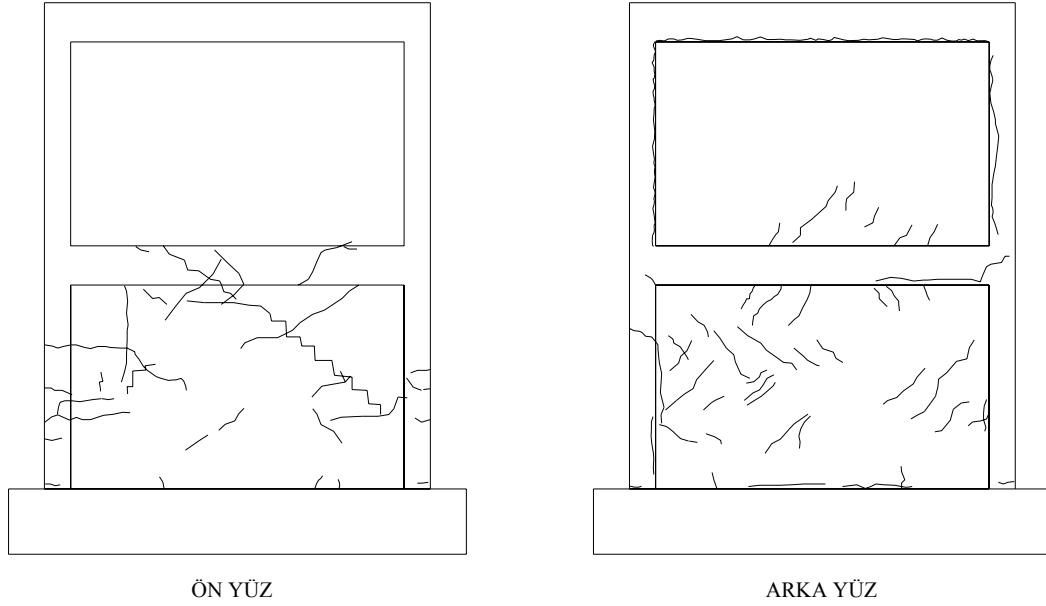


Şekil 4.55 Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yatay Yük-Uzama-Kısalma Eğrileri

Numune 3' ün deney sonu görünümü ve oluşan hasarlar sırasıyla Şekil 4.56 ve Şekil 4.57' de verilmiştir.

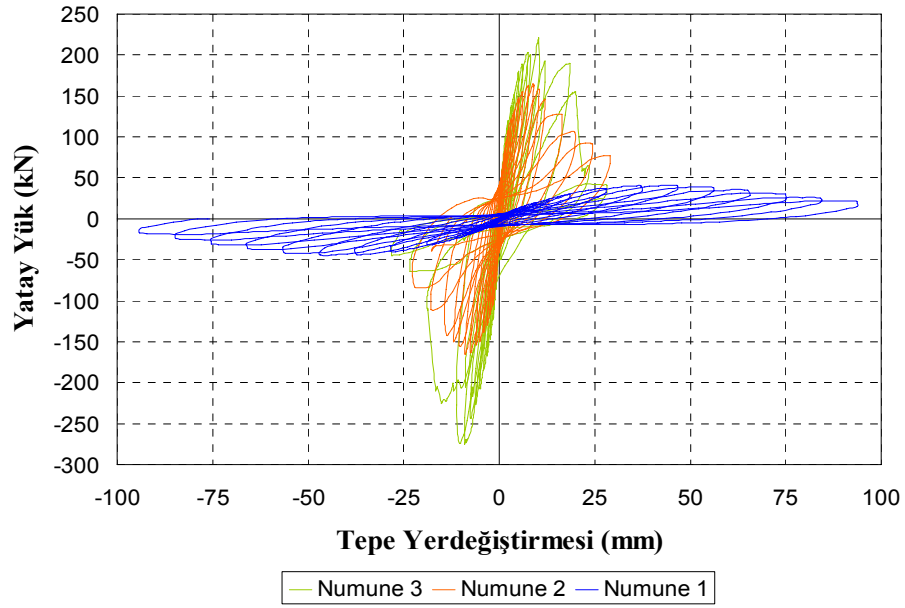


Şekil 4.56 Numune 3' ün Deney Sonu Görünümü (Ön Yüz)



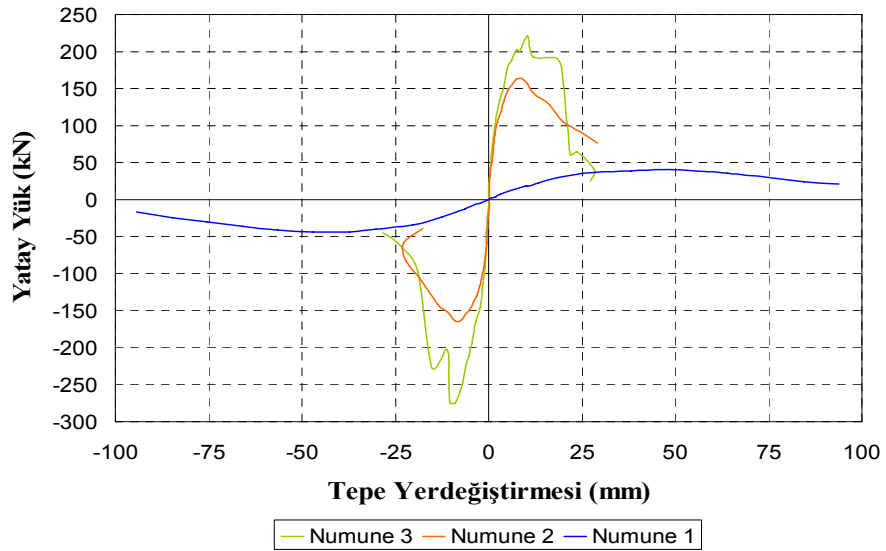
Şekil 4.57 Deney Sonunda Numune 3' te Oluşan Hasarlar

Numune 1, numune 2 ve numune 3 deneylerinden elde edilen yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrileri tek bir grafik halinde Şekil 4.58’te gösterilmiştir.



Şekil 4.58 Deneylerden Elde Edilen Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Eğrilerinin Toplu Olarak Tek Bir Şekilde Gösterimi

Deneylerden elde edilen Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi zarf eğrileri ise toplu olarak tek bir grafikte Şekil 4.59’ da verilmiştir.



Şekil 4.59 Deneylerden Elde Edilen Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrilerinin Toplu Olarak Tek Bir Şekilde Gösterimi

5. BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ÇÖZÜMLEMESİ

5.1 Giriş

Günümüzde yapı mühendisliğinde kullanılmakta olan ve önemli ölçüde lineer teoriye dayanan tasarım yöntemlerinde (Güvenlik gerilmeleri esasına göre boyutlandırma, Taşıma yükü esasına göre boyutlandırma), yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Çünkü dış etkiler işletme yükü sınırını aşmakta ve yerdeğiştirmeler de çok küçük kabul edilmeyecek değerler almaktadır. Örneğin deprem etkileri altında malzemenin lineer elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem taşıma katsayısı (R) tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem azaltma katsayısı ile küçültülmektedir.

Buna göre yapı malzemelerinin lineer-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne alarak ve çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerektirdiği takdirde geometrik uygunluk koşullarına etkisini katmak suretiyle yapı sisteminin yükler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve buna göre daha gerçekçi ve ekonomik tasarım yapmak mümkün olmaktadır.

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir betonarme yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının lineer olmaması genel olarak aşağıdaki iki nedenden kaynaklanmaktadır, [5]:

- i) Malzemenin lineer-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) lineer olmaması.
- ii) Yerdeğiştirmelerin çok küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin ve bazı hallerde geometrik uygunluk koşullarının lineer olmaması.

Bu tez kapsamında betonarme çerçeve sistemlerin malzeme özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranışı (i) incelenecektir.

5.2 Malzeme Özellikleri Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler

Yapı sistemlerinin malzeme özellikleri bakımından doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile çözümlenmesi; sistem üzerinde sürekli olarak yayılan doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri esas alan hesap yöntemlerini ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli noktalarda toplandığı varsayımının yapıldığı *plastik mafsalsal(plastik kesit) hipotezine* dayanan yöntemleri kapsamaktadır. Bu çalışmada doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin belirli noktalarda toplandığı varsayımının yapıldığı plastik mafsalsal hipotezine dayanan yöntem kullanılmıştır.

5.2.1 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Yığılı Olması Hali

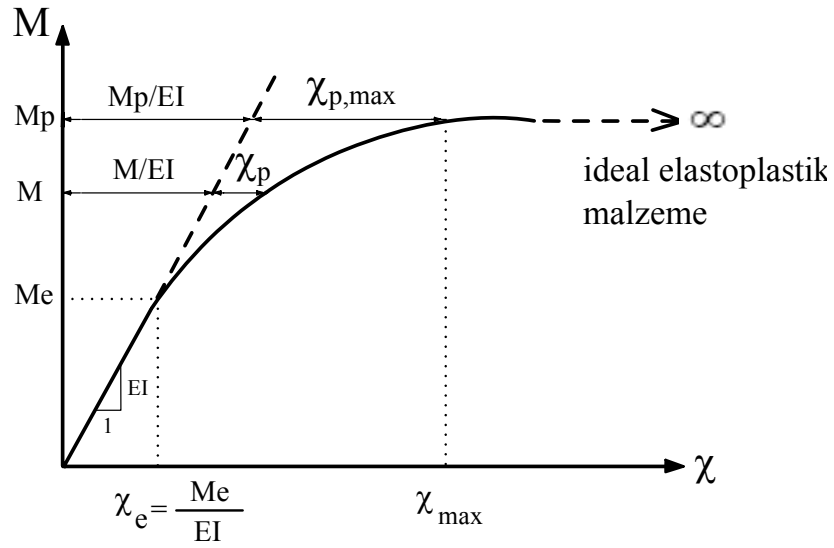
Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde artan yükler altında iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer-elastik sınırını aşmakta ve bu kesitler civarında plastik şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Toplam şekildeğiştirmelerin lineer şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan *süneklik oranının* büyük olduğu ve lineer olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, lineer olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin *Plastik Mafsalsal* adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılmaktadır. Bu hipotez, *plastik mafsalsal hipotezi* olarak adlandırılmıştır.

Eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 5.1 de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve lineer olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 5.3 de verilmiştir.

Plastik mafsalsal hipotezinde, çubuk yapı elemanlarında eğilme momentinin kesit akma momentini aştığı durumlarda, l'_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan lineer olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin,

$$\varphi_p = \int_{l'_p} \chi_p ds \quad (5.1)$$

şeklinde plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada φ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir.



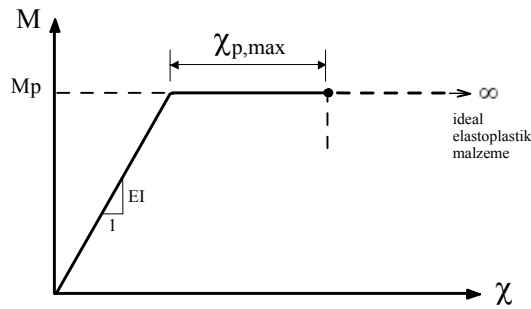
Şekil 5.1 Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının

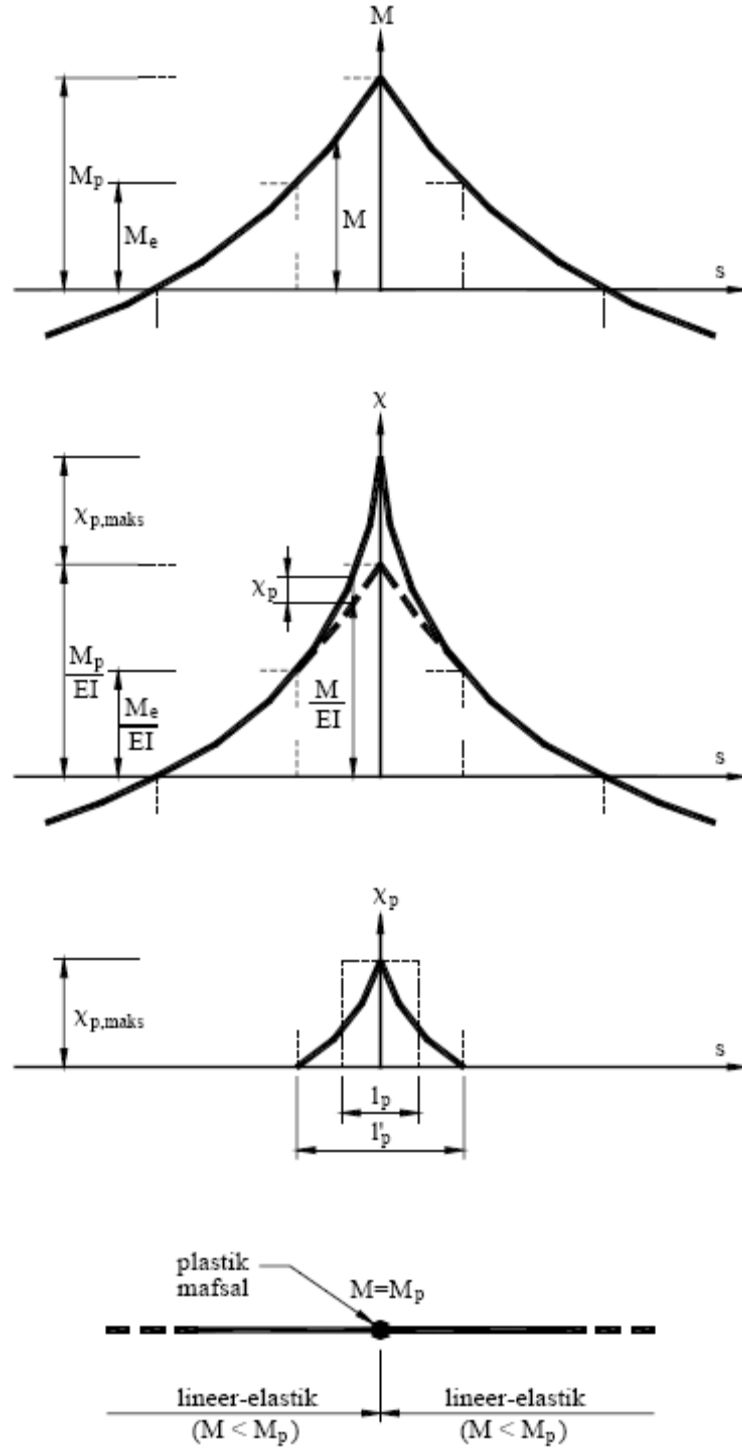
$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (5.2)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p, \max} \quad (5.3)$$

Şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 İdealleştirilmiş Moment-Eğrilik Bağıntısı



Şekil 5.3 Lineer Olmayan Şekildeğiştirmeler ve Plastik Mafsall Oluşumu

Artan dış yükler altında plastik mafsallın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere eşit olunca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsall dönmelerinin dönme kapasitesine ulaşması ise, yapının *mekanizma*

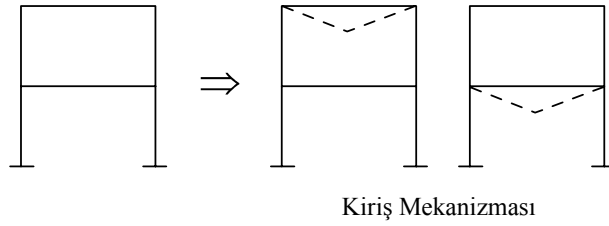
durumuna ulaşmasına ve tümünün kullanılamaz hale gelmesine (işletme dışı olmasına), diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır.

Çerçeve sistemlerde plastik mafsallar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kiriş açıklık ortasında, kiriş veya kolonda tekil yüklerin etkidiği yerlerde, zemin kat kolonlarının temele bağlandığı noktalar gibi kesit zorlarının büyük olduğu kesitlerde meydana gelmektedir.

Yapıda oluşabilecek genel mekanizma durumları aşağıdaki gibidir:

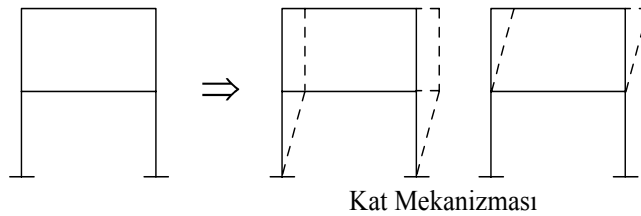
- Kiriş Mekanizması
- Kat Mekanizması
- Birleşik Mekanizma

Kiriş uçlarında ve kiriş açıklığında meydana gelen plastik mafsallar sonucu Kiriş Mekanizması oluşmaktadır, (Şekil 5.4).



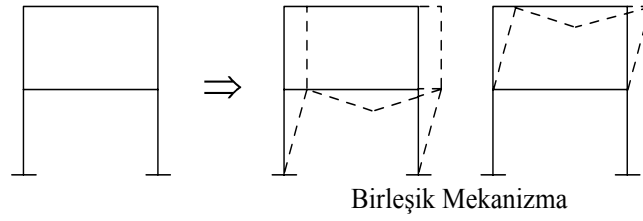
Şekil 5.4 İki Katlı Çerçeve Kiriş Mekanizması

Kolon uçlarında meydana gelen plastik mafsallar sonucu ise Kat Mekanizması oluşmakta ve katın tam göçmesine neden olmaktadır, (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 İki Katlı Çerçeve Kat Mekanizması

Birleşik Mekanizma durumunda ise her iki kiriş ve kat mekanizmaları birlikte meydana gelmektedir, (Şekil 5.6)



Şekil 5.6 İki Katlı Çerçeve Birleşik Mekanizmalardan Örnekler

Yapı sistemlerinin tasarlanmasında, Kat Mekanizması istenilmeyen bir sonuçtur. Zira yapıda kat mekanizmasının oluşması sonucu kolonlarda hasar meydana gelerek katın tümünden göçmesine neden olmaktadır. Bunu önlemek için ABYYHY97' [26] de yapı sistemlerinin boyutlandırılmasında *Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş* prensibi esas alınmaktadır. Buna göre her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olmalıdır. Dolayısıyla kolon taşıma kapasitelerinin kiriş taşıma kapasitelerinden daha fazla olacağı için artan yatay yükler altında yapıda oluşabilecek mafsalların ilk önce kirişlerde ortaya çıkması sağlanmış olmaktadır.

Bir mafsalın dönme kapasitesi, çubuk elemandaki birim dönmelerin eleman boyunca integrali alınarak hesaplanabilir. Buna göre dönme kapasitesi,

$$\max \varphi_p = \int_{l'_p} \chi_p ds \quad \chi_p \rightarrow \chi_{p,\max} \quad (5.4)$$

bağıntısı ile, eğilme momenti diyagramının şekline ve $M-\chi$ bağıntısına bağlı olarak belirlenebilir. Dönme kapasitesinin yaklaşık hesabı ise (5.5) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

$$\max \varphi_p = l_p \chi_{p,\max} \quad (5.5)$$

Burada; l_p plastik bölge uzunluğuzunluğunu (plastik mafsal boyunu) göstermektedir. Plastik mafsal boyu için çeşitli deneysel ve kuramsal çalışmalar gerçekleştirilerek aşağıdaki yaklaşık bağıntılar elde edilmiştir.

Park ve Paulay [7], plastik mafsal boyunun,

$$l_p = 0.08l + 0.022d_b f_y \quad (5.6)$$

bağıntısıyla hesaplanabileceğini belirtmiştir. Bu bağıntıda;

d_b : Boyuna donatı çapını (m),

f_y : Boyuna donatı akma gerilmesi (Mpa),

göstermektedir.

Mattock [27], ise plastik mafsal boyu için;

$$l_p = 0.5d + 0.05z \quad (5.7)$$

ifadesini önermiştir. Bu bağıntıda;

d : Faydalı enkesit yüksekliği,

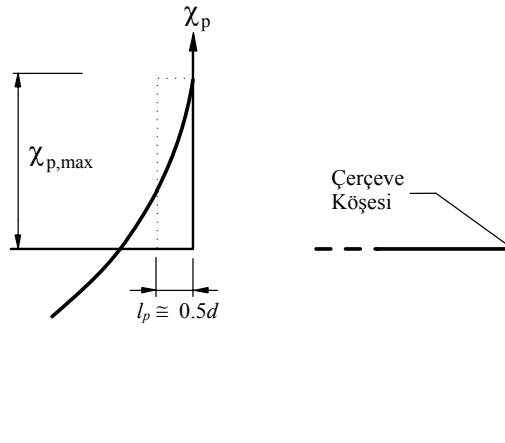
z : Plastik mafsal bölgesinin moment sıfır noktasına olan uzaklığı

göstermektedir.

ATC40 [1], yönetmeliğine göre ise, plastik mafsalsal boyu kısaca;

$$l_p \cong 0.05d \quad (5.8)$$

ifadesi ile hesaplanabilmektedir. Bu bağıntıda “d”, faydalı enkesit yüksekliğini ifade etmektedir, (Şekil 5.8).



Şekil 5.7 Plastik Mafsalsal Boyu

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesinin değerini etkileyen çeşitli etkenler aşağıdaki gibidir:

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin $\sigma - \epsilon$ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır birim boy değişimleri,
- Betonarme betonunun ϵ_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli.

Son olarak *Plastik Mafsalsal Hipotezinin* esaslarını şöyle özetleyebiliriz:

- 1- Bir kesitte eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsalsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $M=M_p$ olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsalsaldaki ϕ_p

plastik dönmesi artarak $\max \phi_p$ dönme kapasitesine erişince kesit kullanılamaz duruma gelir.

- 2- Plastik mafsallar arasında sistem lineer-elastik olarak davranır.
- 3- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik momenti M'_p değeri esas alınır.

5.3 Yük Artımı Yöntemi İle Doğrusal Olmayan Çözümleme

Bu bölümde laboratuvar ortamında deneyi gerçekleştirilen ve önceki bölümlerde anlatılan numunelerin bilgisayar yardımı ile çözümlemesi (analizi) yapılacaktır. Bunun için SAP2000 [28], bilgisayar programı kullanılmıştır. SAP2000 bilgisayar programı ile betonarme çerçevelere doğrusal olmayan yük artımı (pushover analizi) uygulanmıştır. Doğrusal olmayan yük artımı için ATC40 [1] ve FEMA273 [2] yönetmelik esasları dikkate alınmıştır.

Göçme yükünün hesaplanabilmesi için aşağıdaki iki yol izlenebilmektedir:

- a) Orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler,
- b) Sabit düşey yükler altında artan yatay yükler için çözümleme.

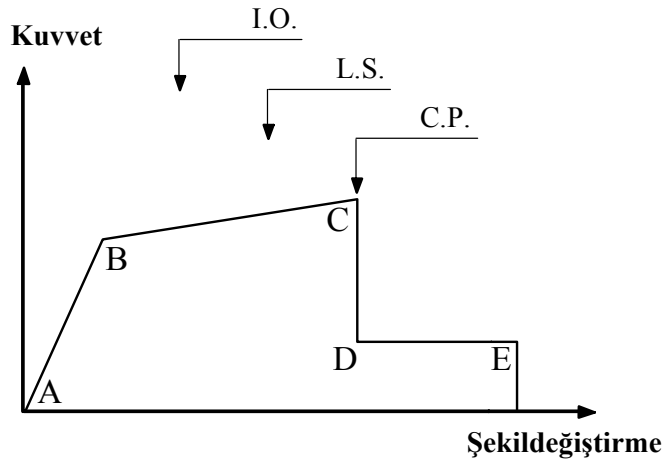
Deneyde kullanılan betonarme çerçeve numunelerine, deney süresince sabit eksenel yük uygulandığı göz önünde tutularak, bu tez kapsamına ikinci yol uygulanmıştır.

Diğer taraftan bu çalışmada, yatay yükler için hedeflenen deplasman değerine kadar yük parametresini artırmak suretiyle, Deplasman Kontrollü analiz uygulanmıştır. Daha önce de anlatıldığı gibi bu lineer olmayan analizde plastik mafsallık hipotezi esas alınmıştır. Yani yapı elemanlarında eğilme momentinin kesit akma momentini aştığı durumlarda, elastik olmayan eğilme deformasyonlarının plastik mafsallık bölgelerinde toplandığı varsayımı yapılmaktadır ve bunun için betonarme çerçevenin kritik kesitlerine plastik mafsallar atanmıştır. Belirli bir yük parametresinden sonra sistemde yeteri kadar plastik mafsalların oluşmasıyla sistem mekanizma durumuna gelmekte ve bu noktadan sonra yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntısında artan

yerdeğiştirme değerlerine karşılık azalan yk parametreleri karşı gelmektedir. Bu aşamada sistemin yatay yük taşıma kapasitesine ulaştığı anlaşılmaktadır.

5.3.1 Plastik Mafsal şekildeğiştirme Sınır Durumları

Plastik mafsal şekildeğiştirmesi için ATC40 [1] ve FEMA273 [2] tarafından önerilen özellikler şekil 5.9 da gösterilmiştir.



şekil 5.8 Plastik Mafsal Kuvvet-şekildeğiştirme İlişkisi

Buna göre;

- A ve B noktaları arasında kesit lineer davranmakta,
- B noktasında plastik şekildeğiştirme başlangıcı olmakta,
- C noktasında kesit taşıma gücü değerine ulaşmakta,
- D noktasından sonra artan şekildeğiştirme durumları için kesit taşıma kapasitesi küçük değerler almakta
- Ve E noktasından sonra kesit taşıma gücünü tamamen kaybetmiş olmaktadır.

Kesit taşıma gücüne erişinceye kadar plastik şekildeğiştirme durumları için tanımlanan I.O., L.S. ve C.P. seviyeleri aşağıda açıklanmıştır:

I.O. (Immediate Occupancy) : Hemen kullanılabilirlik sınır durumu.

Bu seviyede yapı sisteminin taşıyıcı elemanlarında herhangi bir hasarın oluşmaması beklenmektedir.

L.S. (Life Safety) : Can güvenliği sınır durumu.

Yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında onarılabilecek hasarların oluşması beklenmekte olup bu hasarların yapının göçmesine neden olmamaktadırlar.

C.P. (Collapse Prevention) : Göçme sınır durumu.

Yapının taşıyıcı elemanlarında büyük hasarlar oluşması beklenmekte ve yapı sisteminde kısmi göçmeler meydana gelebilmektedir. Ancak bu durumda taşıyıcı sistemin ayakta kalması ve can kaybının olmaması arzu edilmektedir. Bu seviyedeki hasarda yapının onarılması ekonomik bakımdan uygun olmamaktadır.

5.3.2 Plastik Mafsal Türleri

Bu çalışmada SAP2000 ile çözümlemede betonarme çubuk elemanların doğrusal olmayan davranışını tanımlamak için üç farklı mafsal kullanılmıştır:

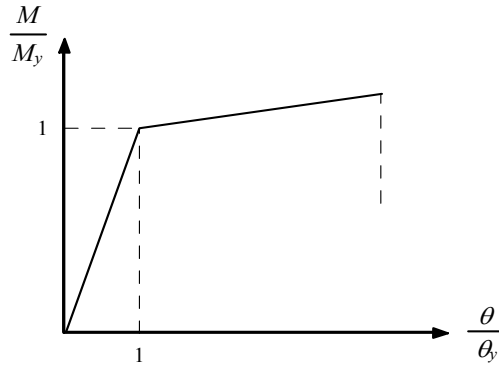
PMM Plastik Mafsalı

Bileşik veya eğik eğilmeye maruz kalan kolonlarda eğilme momenti-normal kuvvet arasındaki etkileşimin tanımlanması için PMM mafsalı kullanılmıştır. M-KAPA [9] programı ile elde edilen kolon kesitine ait akma yüzeyi eğrileri ve moment-eğrilik bağıntıları bu mafsal türüne giriş bilgisi olarak girilmiştir.

M3 Plastik Mafsalı

Sabit eksenel kuvvet ve tek eksenli eğilme (basit eğilme) etkisi altındaki kirişlerin doğrusal olmayan davranışlarını tanımlamak için M3 olarak adlandırılan plastik mafsal türü kullanılmıştır. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi M3 mafsalı moment-dönme ilişkisinde momentler kesitte plastik şekildeğiştirmelerin başladığı M_y momentine göre, dönme değerleri ise kesitte plastik şekildeğiştirmelerin başladığı θ_y dönmesine

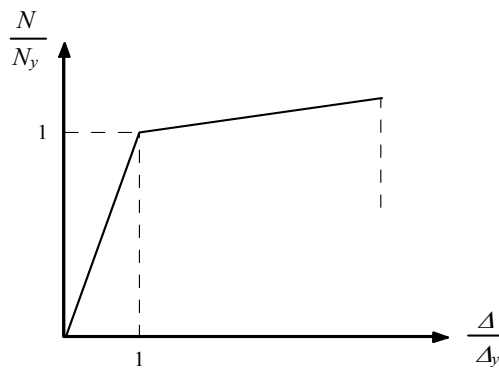
göre oranlanarak normalize edilmiş şekilde ifade edilmiştir. (1,1) Koordinatı plastik şekildeğiştirmenin başladığı noktayı temsil etmektedir.



Şekil 5.9 M3 Mafsalı Moment-Dönme İlişkisi

P Plastik Mafsalı

Bu çalışmada dolgu duvarları temsil eden eşdeğer sanal çubukların doğrusal olmayan davranışlarını tanımlamak amacıyla P plastik mafsalı kullanılmıştır. P mafsalı sadece eksenel kuvvete maruz kalmış elemanlar için kullanılmaktadır. P mafsalına atanacak olan normal kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin bulunması için Bölüm 4 de anlatılan dolgu duvar davranışlarını belirlemeye yönelik olan basit kayma deneyleri kullanılmıştır. Şekil 5.11 de gösterilen normal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisinde eşdeğer sanal çubukta sadece basınç kuvveti olduğu için şekildeğiştirmeleri çubuğun Δ kısılması ifade etmektedir. Buna göre normal kuvvetler plastik şekildeğiştirmelerin başladığı N_y normal kuvvetine göre, kısılma değerleri de plastik şekildeğiştirmenin başladığı Δ_y değerine göre oranlanarak normalize edilmiştir.



Şekil 5.10 P Mafsalı Normal Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkisi

SAP2000 bilgisayar programı, mafsallın atandığı kesitteki iç kuvvetlerinin, kullanıcı tarafından atanan akma koşuluna ulaşp ulaşmadığını kontrol ederek mafsalların akma noktasına varıpı varmadığını bulmaktadır.

5.3.3 Hesapta İzlenen Yol

SAP2000 bilgisayar programı ile doğrusal olmayan yük artımı yapılırken izlenen yol aşağıdaki gibidir:

- a) Yapı elemanlarının oluşturulması
- b) Malzeme özelliklerinin tanıtılması
- c) Kesit özelliklerinin girilmesi
- d) Yüklerin atanması
 - Düşey yüklerin atanması
 - Yük artımı için birim yatay yüklerin atanması
- e) Plastik mafsall özelliklerinin tanıtılması
- f) Plastik mafsalların yapı elemanlarına atanması
- g) Doğrusal olmayan analizin tanımlanması
- h) Çözüm

6. KARŞILAŞTIRILMALAR

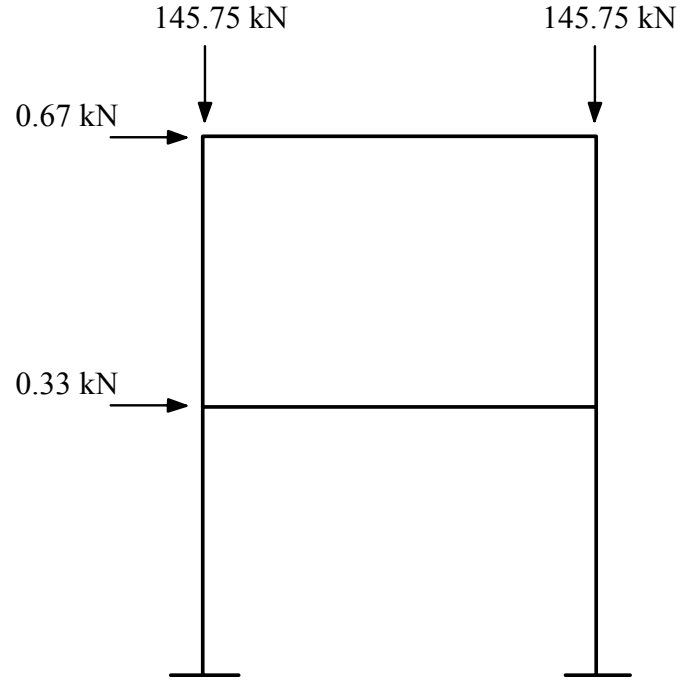
Bölüm 4 de deneysel olarak incelenmiş betonarme çerçeveler ele alınarak bu bölümde söz konusu betonarme çerçevelerin kuramsal olarak doğrusal olmayan davranışları incelenecek ve yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin elde edilebilmesi amacıyla doğrusal olmayan yük artımı çözümlemesi gerçekleştirilecektir. Kuramsal olarak elde edilen bu yatay yük-yerdeğiştirme bağıntıları bölüm 4 de deneyler sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme bağıntıları ile karşılaştırılacaktır.

Kuramsal sonuçların elde edilmesi için bir önceki bölümde anlatıldığı gibi SAP2000 bilgisayar programından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmada yerdeğiştirme kontrollü olarak tersinir yatay yükler altında denenen numuneler, kuramsal çalışmada tek yönlü artan yatay yükler altında modellenerek hesap sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılacaktır.

6.1 Numune 1 (İki Katlı Tek Açıklıklı Çıplak Çerçeve)

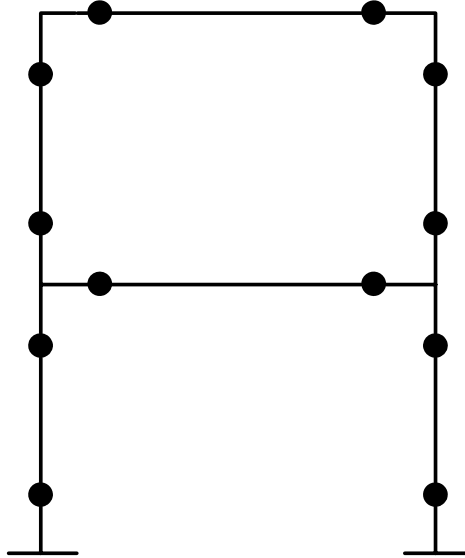
Bu numunenin beton basınç dayanımı 14 N/mm^2 olarak ölçülmüş elastisite modülü ise (2.3) bağıntısı kullanılarak 26160 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Numuneye ait tüm kesit ve malzeme özellikleri Bölüm4' de verilmiştir.

Numuneye etkiyen yatay ve düşey yükler Şekil 6.1' de gösterilmiştir. Deney süresince kolonların taşıma kapasitelerinin yaklaşık %23' ne tekabül eden 291.5 kN ' luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Numuneye düşey yüklerin $e=1$ katsayısı ile çarpımından oluşan yükler altında birim yatay yük parametresinin artan değerleri için hesap uygulanmıştır.



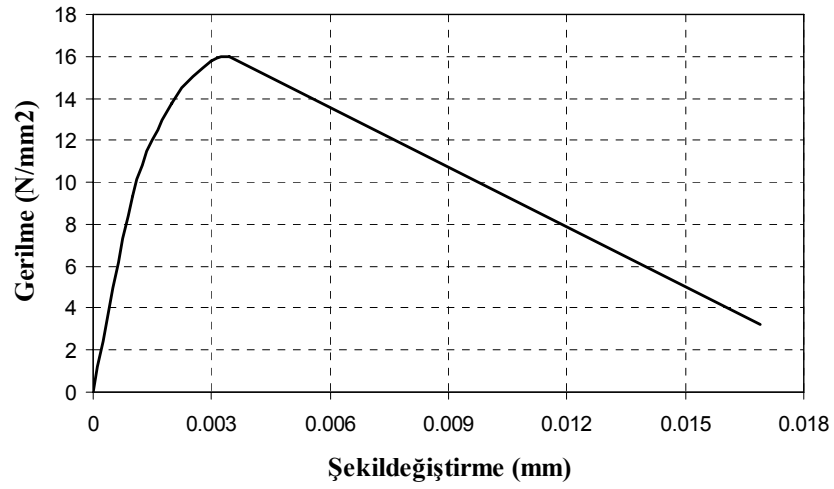
Şekil 6.1 Çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler

Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsallar Şekil 6.2 deki gibi sisteme atanmıştır. Kesit zorlarının kritik olduğu noktalara yani çubuk elemanların her iki uç kısmına plastik mafsallar yerleştirilmiştir.



Şekil 6.2 Çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler

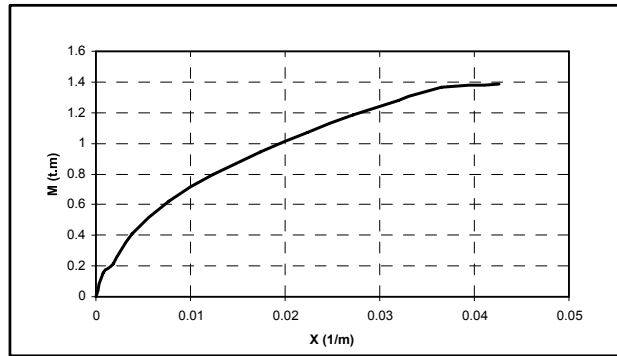
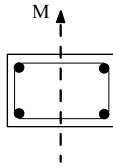
Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini belirlemek amacıyla Bölüm 2’ de anlatılan Saatçioğlu-Ravzi sarılmış beton modeli [11] kullanılmıştır, (Şekil6.3).



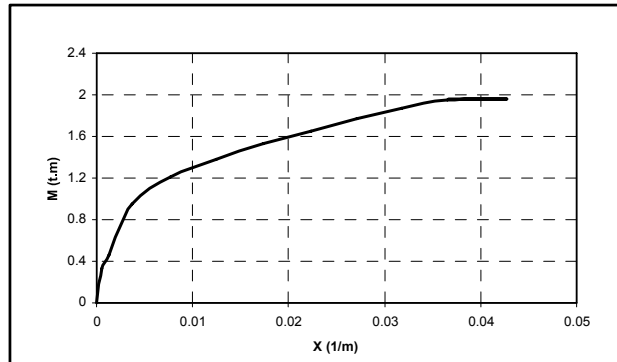
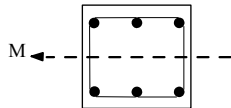
Şekil 6.3 Numune 1 Sargılı Beton Modeli

Bu çerçeve sistemindeki kolon ve kirişlerin donatıları simetrik olarak yerleştirildiği için sisteme iki tip moment-eğrilik bağıntısı atanmıştır. Sisteme Atanan moment-eğrilik bağıntıları Şekil 6.4’ te gösterilmiştir.

Kolon Kesiti:



Kiriş Kesiti:

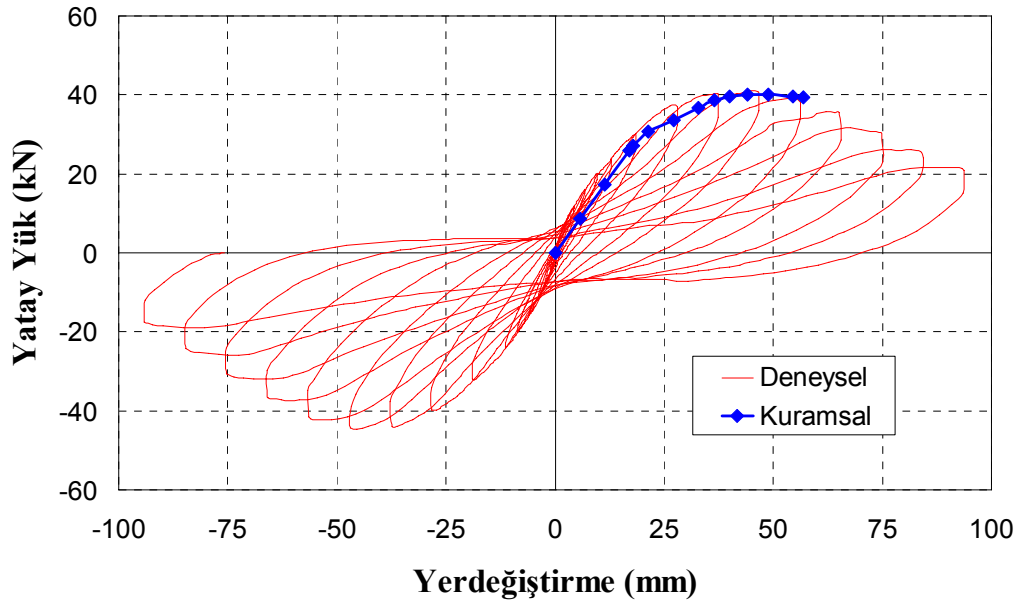


Şekil 6.4 Moment-Eğrilik Bağıntıları

Deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan yük artımı çözümlemesinde, belirli bir yerdeğiştirme değerinden sonra çubuk elemanlarda tanımlanan plastik mafsallardaki şekildeğiştirmeler sınır bir değere ulaşp artan yerdeğiştirme değerlerine karşı yük parametresi azalmaktadır. Bu durumda çerçeve sistemi limit yüke ulaştığı anlaşılmaktadır. Yapılan çözümlemede çerçevenin limit yükü:

$$P_{L1} = 41.14 \text{ kN}$$

olarak elde edilmiştir. Çözümleme sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 6.5’ te verilmiştir.



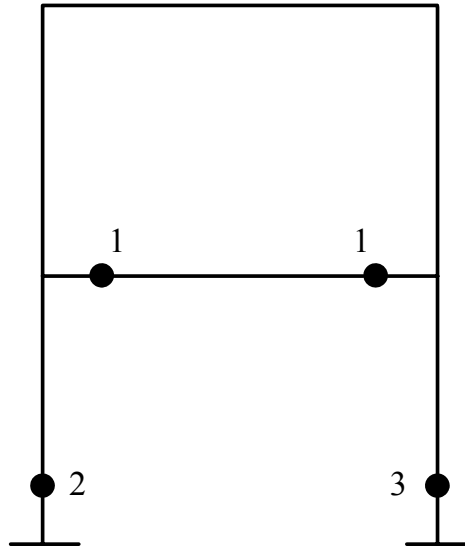
Şekil 6.5 Numune 1 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

Çözümleme sonucunda artan yatay yükler etkisinde sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 6.1 ve Şekil 6.6’ da gösterilmiştir. Burada kuramsal çözümleme sonucu oluşan plastik mafsalların yerleri deneyden elde edilenden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni ise deney sırasında numunenin 2.

katı rijit çelik çerçeve arasında sıkıştırılarak yerdeğıştirmelerin sadece 1. Kat' ta ortaya çıkması sağlanmış ve bunun sonucu olarak oluşan hasar ve plastik mafsallar 1. kat' ta meydana gelmiştir. Halbuki bilgisayar çözümlemesinde 2. kat ve 1. katın yerdeğıştirmesi serbest bırakılarak plastik mafsallar sistemin geneline dağıtılmıştır. Diğer iki numune için de aynı şeyi söylemek mümkündür.

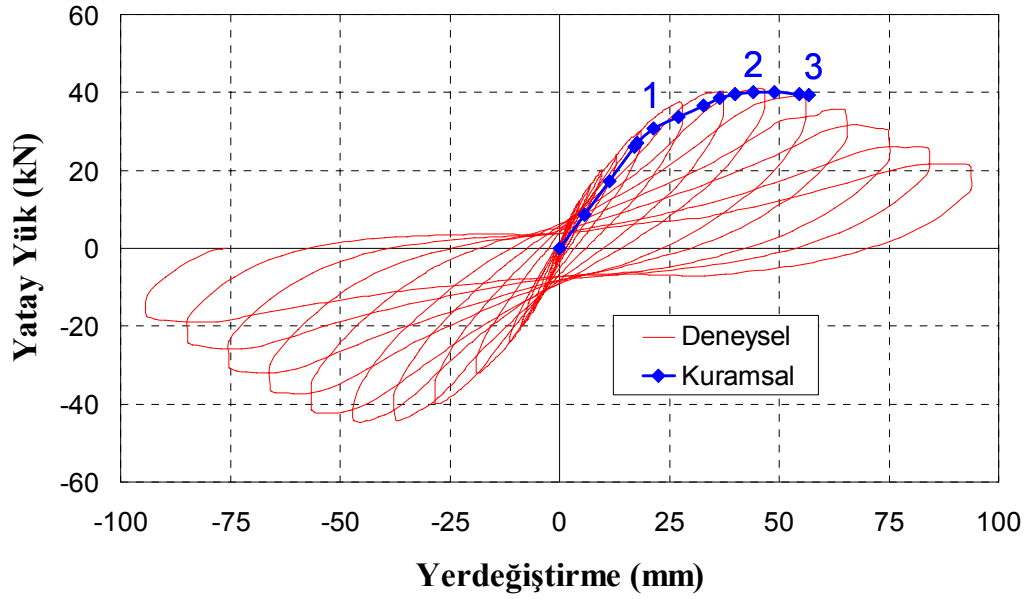
Tablo 6.1 Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğıştirme değerleri

Mafsal No	Mafsallın Meydana Geldiği	
	Yük (kN)	Tepe Yerdeğıştirmesi (mm)
1	32.85	25.86
2	43.43	49.58
3	45.03	55.20



Şekil 6.6 Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri

Plastik mafsalların yatay yük-tepe yerdeğiştirme ilişkisindeki meydana gelme noktaları şekil 6.7’ de gösterilmiştir.



şekil 6.7 Numune 1 Yatay Yükle Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri

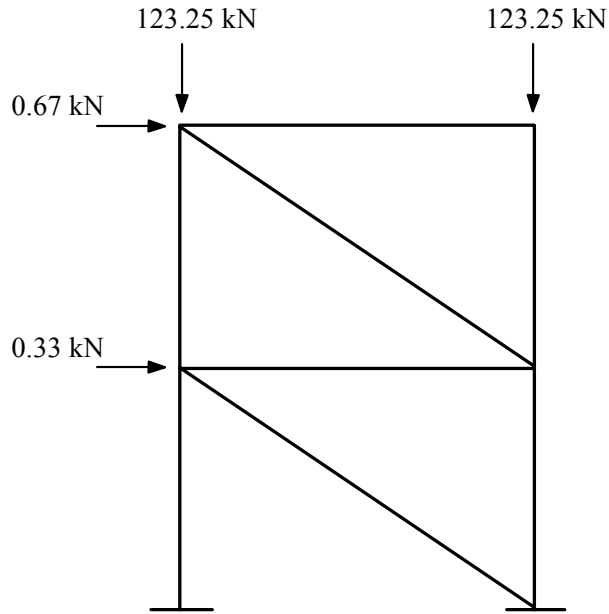
6.2 Numune 2 (İki Katlı Tek Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çerçeve)

Bu numunede kullanılan beton basınç dayanımı 11 N/mm^2 olarak ölçölmüş ve elastisite modölü ise (2.3) bağıntısı kullanılarak 24780 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Numunede kullanılan dolgu duvar kalınlığı 16 cm’ olup üzeri sıvanmıştır. Bu dolgu duvarı temsil edecek eşdeğer sanal çubuk kalınlığı ise (3.3) bağıntısı kullanarak $a = 24.75 \text{ cm}$

olarak bulunmuştur. Numuneye ait tüm kesit ve diğler malzeme özellikleri Bölüm4’ de verilmiştir.

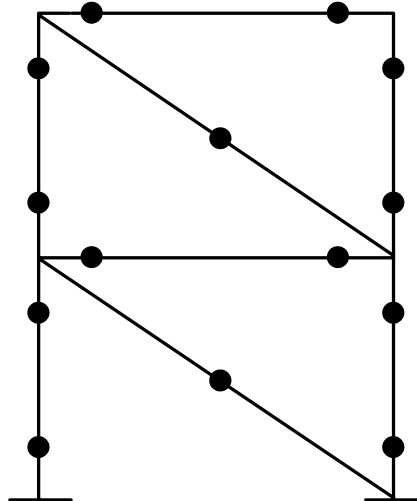
Numuneye etkiyen yatay ve düşey yükler şekil 6.8’ de gösterilmiştir. Deney süresince kolonların taşıma kapasitelerinin yaklaşık %23’ ne tekaböl eden 246.5 kN’ luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Numuneye düşey yüklerin $e=1$ katsayısı ile

arpımından oluşan yükler altında birim yatay yük parametresinin artan değerleri için hesap uygulanmıştır.



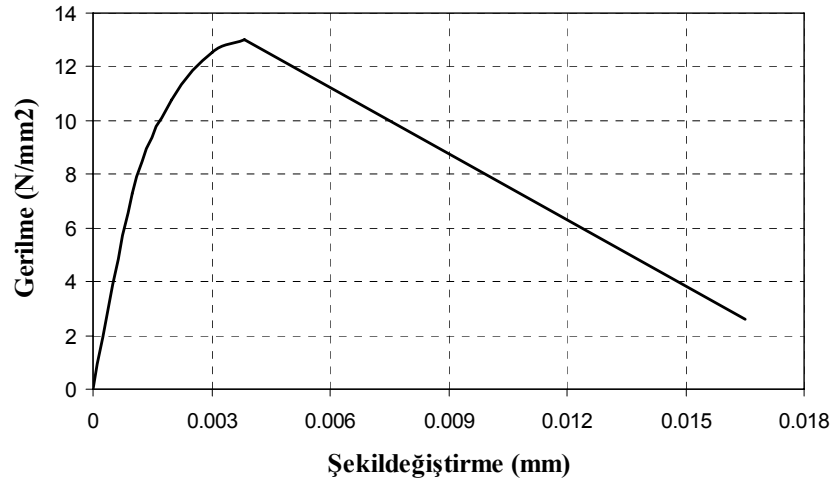
şekil 6.8 çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler

Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsallar şekil 6.9 daki gibi sisteme atanmıştır. Kesit zorlarının kritik olduğu noktalara yani çubuk elemanların her iki uç kısmına plastik mafsallar yerleştirilmiştir. Ayrıca Dolgu duvarı temsil eden basınç çubuklarının da uç noktalarına mafsallar yerleştirilmiştir.



şekil 6.9 çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler

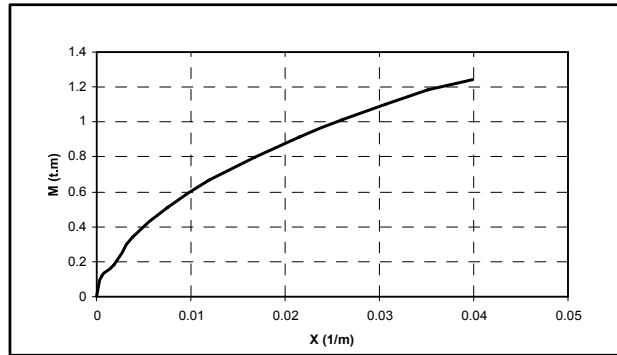
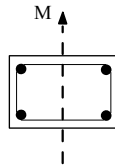
Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini belirlemek amacıyla Bölüm 2’ de anlatılan Saatçioğlu-Ravzi sarılmış beton modeli [11] kullanılmıştır, (Şekil6.10).



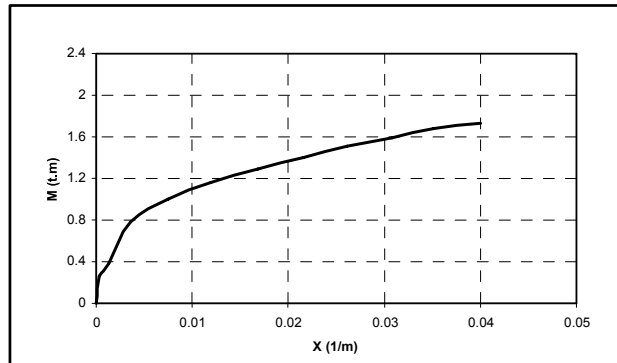
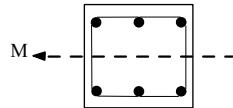
Şekil 6.10 Numune 2 Sargılı Beton Modeli

Bu çerçeve sistemindeki kolon ve kirişlerin donatıları simetrik olarak yerleştirildiği için sisteme iki tip moment-eğrilik bağıntısı atanmıştır. Sisteme Atanan moment-eğrilik bağıntıları Şekil 6.11’ de gösterilmiştir.

Kolon Kesiti:



Kiriş Kesiti:

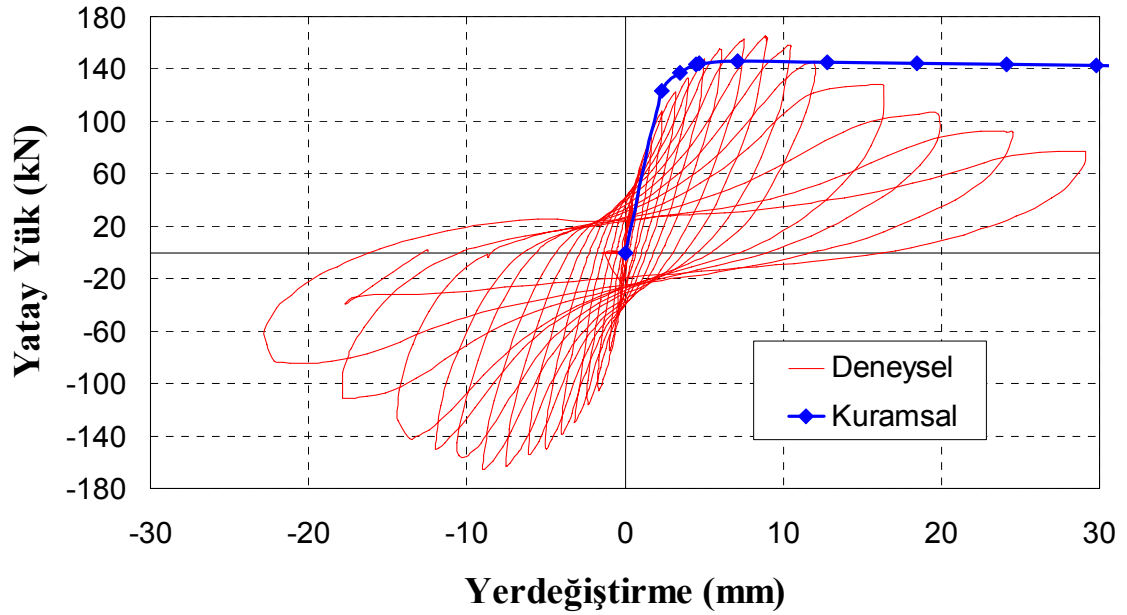


Şekil 6.11 Moment-Eğrilik Bağıntıları

Deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan yük artımı çözümlemesinde, belirli bir yerdeğiştirme değerinden sonra çubuk elemanlarda tanımlanan plastik mafsallardaki şekildeğiştirmeler sınır bir değere ulaşp artan yerdeğiştirme değerlerine karşı yük parametresi azalmaktadır. Bu durumda çerçeve sistemi limit yüke ulaştığı anlaşılmaktadır. Yapılan çözümlemede çerçevenin limit yükü:

$$P_{L1} = 146.33 \text{ kN}$$

olarak elde edilmiştir. Çözümleme sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 6.12’ de verilmiştir.

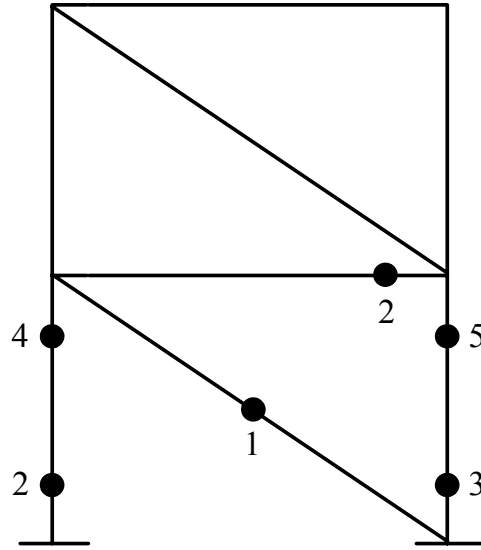


Şekil 6.12 Numune 2 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

Çözümleme sonucunda artan yatay yükler etkisinde sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 6.2 ve Şekil 6.13’ te gösterilmiştir.

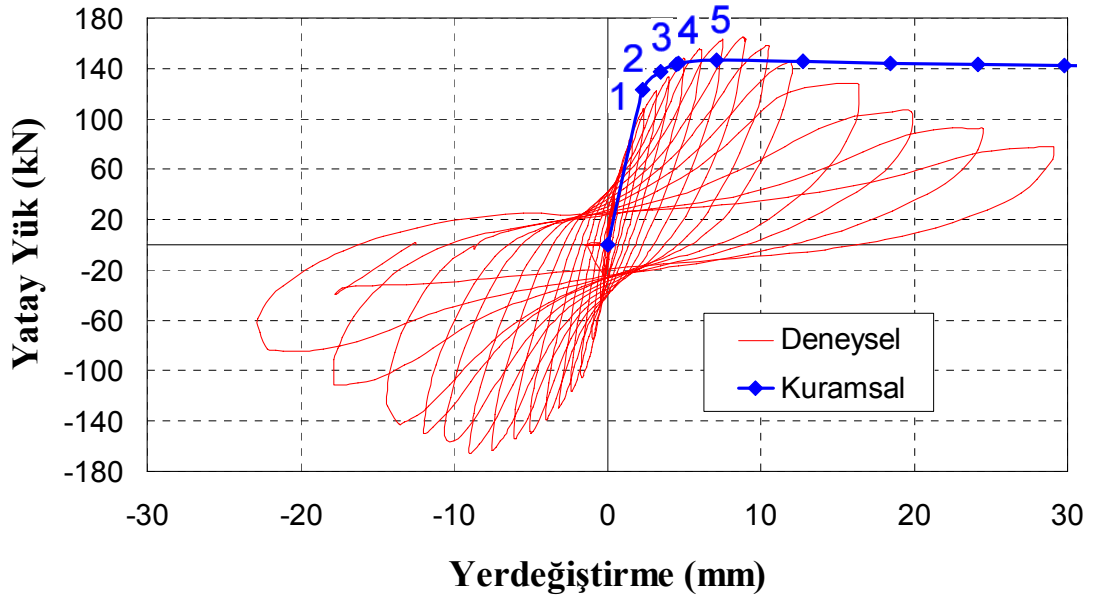
Tablo 6.2 Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğiştirme değerleri

	Mafsallın Meydana Geldiği	
Mafsal No	Yük (kN)	Tepe Yerdeğiştirmesi (mm)
1	123.08	2.33
2	137.25	3.48
3	143.53	4.49
4	144.00	4.66
5	146.33	7.08



Şekil 6.13 Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri

Plastik mafsalların yatay yük-tepe yerdeğiştirme ilişkisindeki meydana gelme noktaları Şekil 6.14' te gösterilmiştir.



Şekil 6.14 Numune 2 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri

6.3 Numune 3 (İki Katlı Tek Açıklıklı Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Çerçeve)

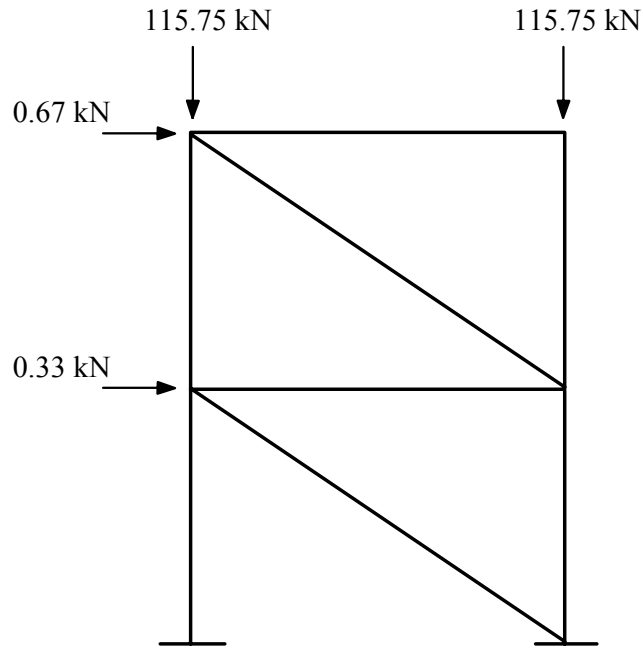
Bu numunenin beton basınç dayanımı 10 N/mm^2 olarak ölçülmüş ve elastisite modülü ise (2.3) bağıntısı kullanılarak 24277 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Numunede kullanılan dolgu duvar kalınlığı 16 cm olup karbon lif(CFRP) ile güçlendirilmiştir. Bu dolgu duvar ve karbon lifi temsil edecek eşdeğer sanal çubuk kalınlığı ise (3.6) bağıntısı kullanılarak

$$a = 34.70 \text{ cm}$$

olarak bulunmuştur. Numuneye ait tüm kesit ve diğer malzeme özellikleri Bölüm4' de verilmiştir.

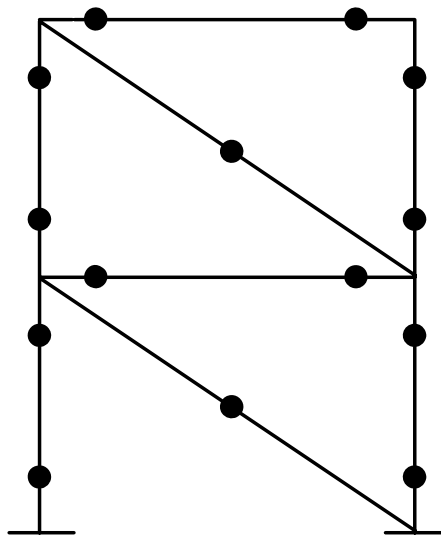
Numuneye etkiyen yatay ve düşey yükler Şekil 6.15' de gösterilmiştir. Deney süresince kolonların taşıma kapasitelerinin yaklaşık %23' ne tekabül eden 231.5 kN ' luk bir normal kuvvet uygulanmıştır. Numuneye düşey yüklerin $e=1$ katsayısı ile

arpımından oluşan yükler altında birim yatay yük parametresinin artan değerleri için hesap uygulanmıştır.



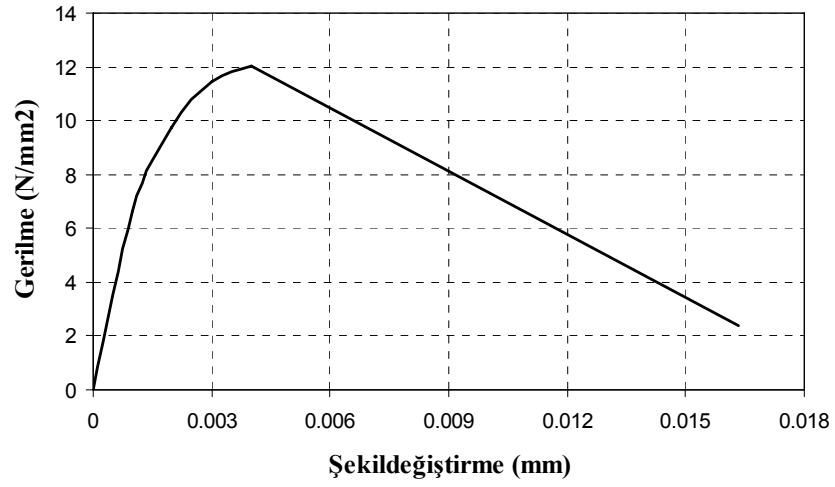
şekil 6.15 çerçeveye Etkiyen Yatay ve Düşey Yükler

Artan yatay yük parametresi altında çerçevede meydana gelebilecek plastik mafsallar şekil 6.16 deki gibi sisteme atanmıştır. Kesit zorlarının kritik olduğu noktalara yani çubuk elemanların her iki uç kısmına plastik mafsallar yerleştirilmiştir. Ayrıca Dolgu duvarı temsil eden basınç çubuklarının da uç noktalarına mafsallar yerleştirilmiştir.



şekil 6.16 çerçevede Plastik Mafsalların Atandığı Yerler

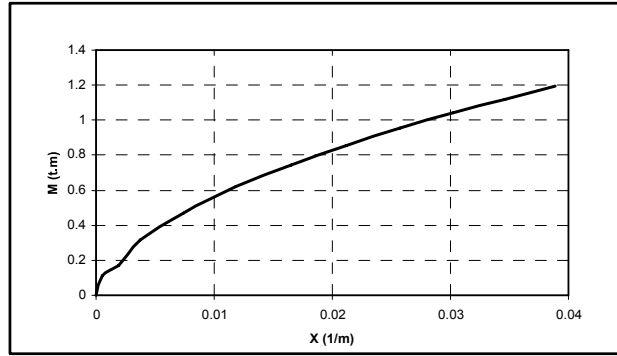
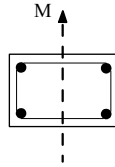
Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini belirlemek amacıyla Bölüm 2’ de anlatılan Saatçioğlu-Ravzi sarılmış beton modeli [11] kullanılmıştır, (Şekil6.17).



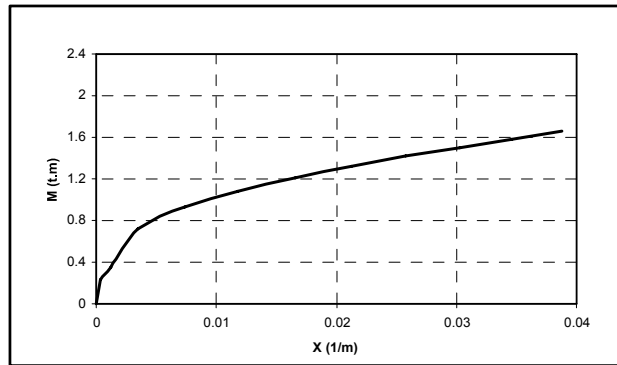
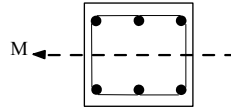
Şekil 6.17 Numune 3 Sargılı Beton Modeli

Bu çerçeve sistemindeki kolon ve kirişlerin donatıları simetrik olarak yerleştirildiği için sisteme iki tip moment-eğrilik bağıntısı atanmıştır. Sisteme Atanan moment-eğrilik bağıntıları Şekil 6.18’ te gösterilmiştir.

Kolon Kesiti:



Kiriş Kesiti:

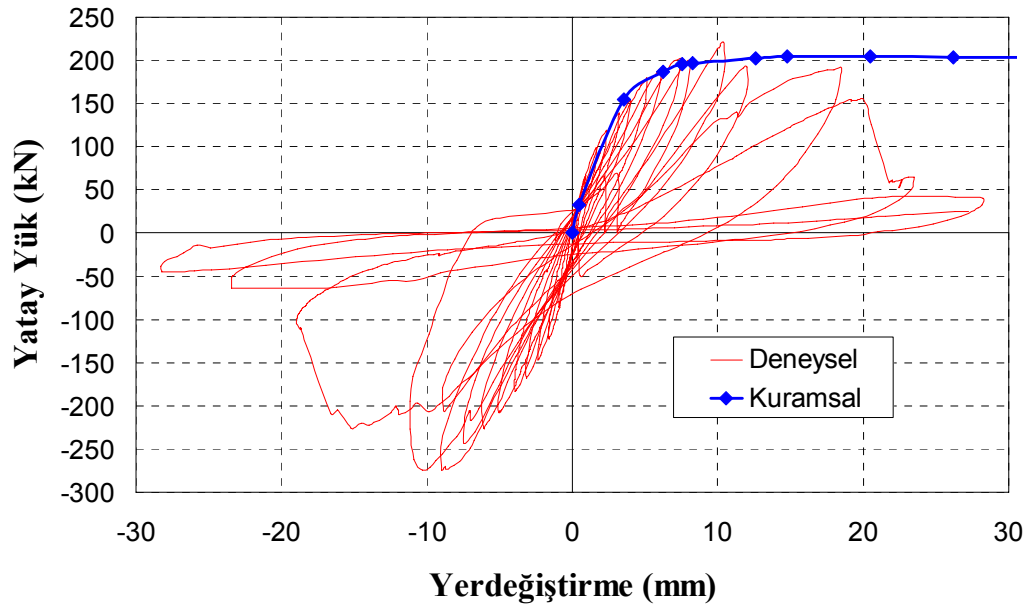


Şekil 6.18 Moment-Eğrilik Bağıntıları

Deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan yük artımı çözümlemesinde, belirli bir yerdeğiştirme değerinden sonra çubuk elemanlarda tanımlanan plastik mafsallardaki şekildeğiştirmeler sınır bir değere ulaşp artan yerdeğiştirme değerlerine karşı yük parametresi azalmaktadır. Bu durumda çerçeve sistemi limit yüke ulaştığı anlaşılmaktadır. Yapılan çözümlemede çerçevenin limit yükü:

$$P_{L1} = 204.36 \text{ kN}$$

olarak elde edilmiştir. Çözümleme sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 6.19' da verilmiştir.

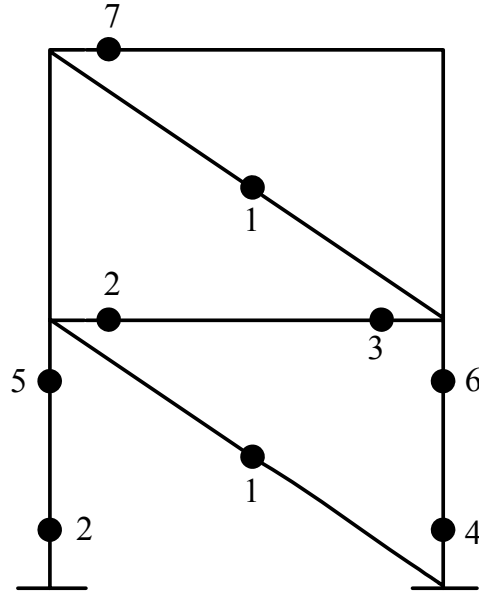


Şekil 6.19 Numune 3 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

Çözümleme sonucunda artan yatay yükler etkisinde sistemde mafsalların ortaya çıktığı bölgeler ve oluşma sıraları Tablo 6.3 ve Şekil 6.20' de gösterilmiştir.

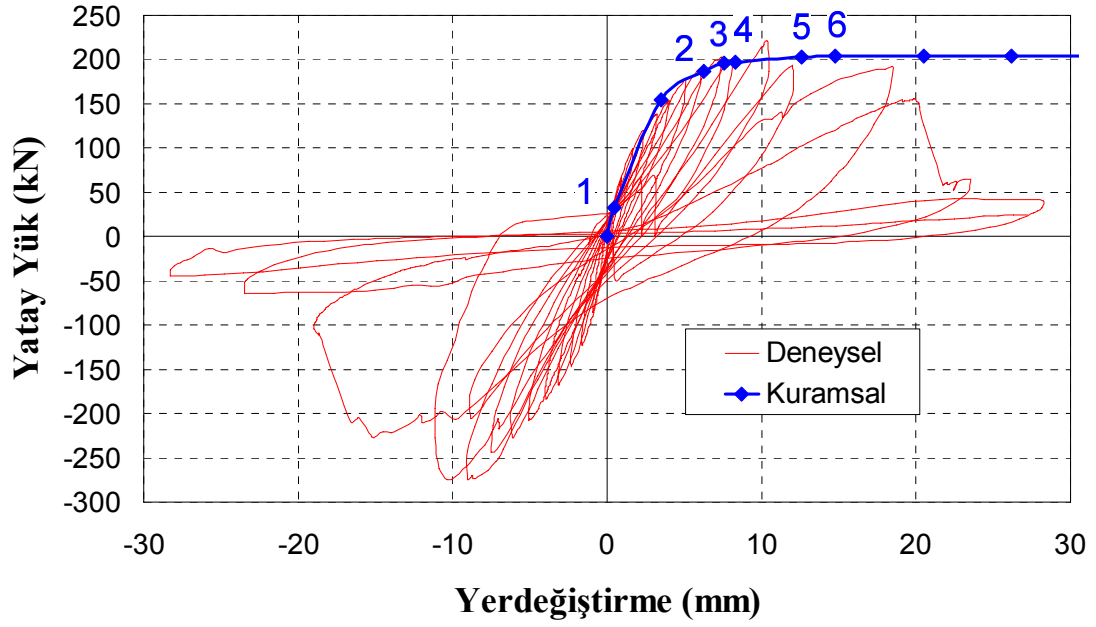
Tablo 6.3 Plastik Mafsalların Meydana Geldiği Yük ve Yerdeğiştirme değerleri

	Mafsalın Meydana Geldiği	
Mafsal No	Yük (kN)	Tepe Yerdeğiştirmesi (mm)
1	32.28	0.43
2	186.56	6.23
3	195.48	7.57
4	197.11	8.29
5	202.64	12.62
6	204.36	14.80
7	202.67	56.76



Şekil 6.20 Plastik Mafsalların Meydana Gelme Sırası ve Yerleri

Plastik mafsalların yatay yük-tepe yerdeğiştirme ilişkisindeki meydana gelme noktaları şekil 6.21’ de gösterilmiştir.



şekil 6.21 Numune 3 Yatay Yük Parametresi-Yerdeğiştirme İlişkisinde Plastik Mafsalların Oluşma seviyeleri

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada dolgu duvarların ve güçlendirilmiş dolgu duvarlarının yapı davranışına etkilerinin incelenmesi istenmiştir. Bu amaçla *İTÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında* bir dizi betonarme çerçeve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu çerçeve sistemlerinin kuramsal olarak doğrusal olmayan yük artımı çözümlemesi yapılarak elde edilen kuramsal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışma için üç adet tek açıklıklı iki katlı betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerde, ülkemizdeki hızlı sanayileşme ve kentleşme sonucu yeteri derecede mühendislik hizmeti alamamış yapıların olası deprem davranışını gerçeğe en yakın biçimde saptamak için düşük mukavemetli beton kullanılmıştır. Numune 1 kuramsal çalışmaya referans olması ve dolgu duvarlarının çerçeve sistemlere etkilerinin daha iyi anlaşılması amacıyla çıplak çerçeve yani dolgu duvarsız olarak üretilmiştir. Numune 2' de ise boşluklu tuğladan yapılmış dolgu duvarlı çerçeve kullanılmıştır. Boşluklu tuğlaların birbirine ve çerçeve sisteme bağlanması harç ile sağlanmıştır. Dolgu duvar uygulamada yapıldığı gibi sıvanmıştır. Son olarak da Numune 3' de numune 2 deki gibi boşluklu tuğladan oluşan dolgu duvar örülmüştür ama numune 2 den farklı olarak dolgu duvarın her iki yüzeyine çerçeveyi güçlendirmek amacıyla sıva üzerine çapraz olarak karbon lif takviyesi (CFRP) uygulanmıştır. Karbon lifi epoksi reçinesi ile dolgu duvara yapıştırılmıştır.

Laboratuvarda, çerçeve sistemleri arasındaki davranış farklarının görülmesi, dolgu duvarların ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarların çerçeve sistemlere etkilerinin anlaşılması amacıyla artan tersinir yatay yükler altında, yerdeğiştirme kontrollü çerçeve deneyleri yapılmıştır. Kolonlar üzerine uygulanan eksenel yükler ise deney süresinde sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Çerçeve içindeki dolgu duvarı temsil etmek amacıyla 755*755 mm boyutlarında dolgu duvarlar üretilmiş ve bunlar üzerinde basit kayma deneyleri yapılmıştır.

Konuyla ilgili olduğu için başka çalışmada yer alan bu sonuçlardan faydalanılmıştır. Bu sayede kuramsal çalışmada dolgu duvarı temsil edecek eşdeğer sanal çubuk için veriler elde edilmiştir.

Tüm bu açıklamalar ve uygulananlardan sonra çıplak çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve karbon lif ile güçlendirilmiş çerçeveler arasındaki davranış farklılıkları ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Yatay yükün numuneye kat seviyelerindeki iki noktadan aktarılmasıyla 2. Kat çerçeve elemanları ile 2. Kat dolgu duvarında önemli derecede sayılabilecek hasar meydana gelmemiştir. 1. Kat ise kayma çerçevesi gibi davranmıştır. Dolayısıyla 1. Kat kolonlarının üst noktaları ile 1. Kat dolgu duvarında önemli hasarlar meydana gelmiştir.

Deneylerden elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrilerine bakıldığı zaman dolgu duvarlı çerçevenin yanal dayanım ve yanal rijitliğinin çıplak çerçeveye göre önemli derecede arttığı görülmektedir.

Çıplak çerçevede meydana gelen hasarlar genellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve 1. Kat kolonunun temele yakın bölgelerinde göze çarpmaktadır. Halbuki, dolgu duvarlı çerçevede meydana gelen hasarlar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde az olmakla beraber eğilme çatlakları 1. Kat kolonunun yüksekliği boyunca dağılım göstermektedir.

Dolgu duvarlı çerçevede, tuğla duvarda çapraz çatlaklar meydana gelmektedir. Buna ilaveten dolgu duvarın köşe noktalarında kırılmalar oluşarak ilerleyen deplasmanlarda bu kırılmaların artması sonucunda çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelmektedir.

Betonarme çerçevenin karbon lifler ile güçlendirilmesi sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çapraz çatlaklar dolgu duvarın tamamına yayılarak belirli bölgelerde toplanması önlenmiştir. Böylece dolgu duvarın tümünden göçmesi önlenmiş olmaktadır.

Dolgu duvardaki karbon lif ankrajları, duvarın iki yüzündeki karbon lif örtülerini birbirine bağlayarak duvardan ayrılmalarını önlemektedir.

Dolgu duvar ile temel arasında uygulanan karbon lif ankrajları ise çerçevenin ve duvarın temele daha sıkı ve rijit bir şekilde bağlanmasını ve temelden ayrılmamasını sağlamaktadır.

Dolgu duvarın karbon lif ile güçlendirilmesi, yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliği arttırmaktadır. Karbon liflerin kopması sonucu yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen ani düşüşler, karbon lifin çerçeveye olan önemli etkisini gözler önüne sermektedir. Karbon liflerin kopması sonucu çerçeve yatay yük taşımaya devam ederek yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri çıplak çerçevenin eğrilerine yaklaşmaktadır.

Deneylerden elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrilerine bakıldığı zaman dolgu duvarının, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini çıplak çerçeveye göre önemli ölçüde artırdığı ve yatay deplasmanları küçülttüğü görülmüştür. Buna ilaveten karbon lifli dolgu duvarının çerçeve rijitliğini ise dolgu duvarlı çerçeveye göre daha da çok arttırmıştır. Başka bir ifadeyle dolgu duvar, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini çıplak çerçeveye göre yaklaşık 4 kat, karbon lif uygulanmış dolgu duvar ise yatay yük taşıma kapasitesini dolgu duvarlı çerçeveye göre yaklaşık 1.3 kat arttırmıştır. Tabi burada beton basınç dayanımının numunelerde farklılık gösterdiği de gözardı edilmemelidir. Elde edilen bu sonuçlar dolgu duvarının deprem açısından yapı rijitliğine ne kadar olumlu bir etki yaptığı açıkça görülmektedir. Burada önemle dikkat edilmesi gereken konu dolgu duvarların doldurdukları betonarme çerçeve ile çok iyi bir şekilde bağlanması ve mümkün oldukça ayrılmamasıdır. Çünkü deneylerde görülmüştür ki belirli bir çevrim ve yatay deplasmandan sonra dolgu duvar ile çerçeveler birbirinden ayrılmaya başlamıştır. Bu seviyeden sonra dolgu duvarın çerçeve rijitliği açısından etkisi giderek azalmıştır. Bu etkinin sağlanabilmesi ve dolgu duvarın daha büyük deplasmanlara dayanarak daha geç göçmesi ve dağılmaması amacıyla denenmiş olan çapraz karbon lif takviyesi bu açıdan olumlu sonuçlar vermiştir. Karbon lif sayesinde çerçeve rijitliği artarak yerdeğiştirmeler azaldığı için ve ayrıca dolgu duvara bir örtü gibi sarılması açısından dolgu duvarın daha geç göçmesine ve çerçeveden ayrılmasına neden olmuştur. Buna ilaveten deneylerde görülmüştür ki uygulanan karbon lif çaprazları basınç etkisi altında burkularak dolgu duvardan kabarma suretiyle ayrılıp daha sonra kopmuştur. Bu açıdan bakıldığı zaman karbon liflerin çekme elastisite modülü çok büyük olmakla

birlikte aslında bu lifler basınçta burkulmadan kopmaktadırlar. İlerdeki çalışmalar açısından Karbon lifin eninin küçültülerek dolgu duvara daha fazla sayıda çapraz uygulanarak elde edilecek sonuçlar irdelenmelidir.

Kuramsal çalışmada doğrusal olmayan yük artımı yapılmıştır. Bu amaçla, betonarme kesit gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı için *Saatçioğlu-Razvi Sarılmış Beton Modeli* kullanılmış, bu sayede yapı sisteminin sünekliliğini önemli derecede etkileyen beton sarılma etkisi göz önüne alınmıştır. Çerçevelerdeki dolgu duvarları temsil etmek amacıyla eşdeğer sanal çubuk modeli oluşturulmuş ve Bölüm 3’de verilen formüller kullanılarak eşdeğer sanal çubuk boyutları üzerinde bir irdeleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karbon lif etkisini kuramsal çalışmaya katmak amacıyla Bölüm3’de anlatılan bağıntılar kullanılmıştır. Karbon lif etkisini yansıtmak amacıyla eşdeğer sanal çubuk modeli için kullanılan çubuk kalınlığı, karbon lifin sisteme uygulama biçimine göre değişen katsayılar ile çarpılarak gerçekleştirilmiş olmaktadır. Basit kayma ve basınç deneylerinden elde edilen dolgu duvarı karakteristikleri de eşdeğer sanal çubuğa atanmış ve doğrusal olmayan yük artımı için SAP2000 adlı bilgisayar programından faydalanılmıştır. Kuramsal çalışmada elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve her iki çalışmada elde edilen limit yüklerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak bakıldığı zaman, Karbon lif ile güçlendirme, uygulamanın kolaylığı ve yapı kullanım alanının olumsuz etkilenmemesinden dolayı büyük bir avantaja sahip olmaktadır. Bu sayede yapılar boşaltılmadan yapının depreme karşı güçlendirilmesi sağlanabilmektedir.

Yeni deprem yönetmeliğinin 1. taslak çalışmasında da karbon lif ile güçlendirmeye yer verilmiş olması gösteriyor ki karbon lif kullanımı önümüzdeki dönemde daha yaygın bir şekilde güçlendirme alanında karşımıza çıkacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [2] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [3] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] **Çakıroğlu, A., Özer, E.** , 1980. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, *Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi*, İstanbul
- [5] **Özer, E.** , 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.itu.edu.tr/ehozer , İstanbul.
- [6] **Orakdöğen, E.** , 2003. İleri Yapı Statiği Ders Notları, *Yüksek Lisans*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] **Park, R., Paulay, T.**, 1975. Reinforced Concrete Structures, A Willey-Interscience Publication, John Wiley & Sons
- [8] **Ersoy, U.**, 2001. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt 1, Evrim Yayınevi, İstanbul
- [9] **Yüksel, E.** , 1998. Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Charney, F.A.**, 1991. Correlation of the Analytical and Experimental Inelastic Response of a 1/5 Scale-Seven Story Reinforced Concrete Frame-Wall Structures, Earthquake-Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design, *ACI*, SP-127
- [11] **Saatcioglu, M., Razvi, S.** , 1992. Strength and Ductility of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, Vol.118, No.6
- [12] **Yorulmaz, M., Atan, Y.**, 1971. Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerin İki İstyikametli Yükleme Altında Davranışları, *İTÜ*
- [13] **Al-Chaar, G., Lamp, G.**, 2002. Design of Fiber-Reinforced Polymer Material for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures, *U.S. Army corps of Engineers*
- [14] **Paulay, T. and Priestley, N.** , 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry buildings, *John Wiley & Sons Inc.*

- [15] **Angel, R., D.P. Abram, D. Shapiro, J. Uzarshki, and M. Webster**, 1994. Behavior of Reinforced Concrete Frames with Masonry Infills, *University of Illinois at Urbana, Structural Research Series*, No.589, UILU-ENG-94-2005
- [16] **Stafford-Smith, B. and C. Carter**, 1969. A Method of Analysis for Infilled Frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 44.
- [17] **Mainstone, R. J.**, 1971. On the Stiffness and Strength of Infilled Frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*.
- [18] **Mainstone, R. J.**, 1974. Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames, *Current Paper 13/74, Building Research Station, UK*
- [19] **ACI 530-95/ASCE 5-95**, 1999. Building Code Requirements for Masonry Structures, *American Concrete Institute*, Washington
- [20] **Ersin, U. D.**, 1997. Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu Duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Korkmaz, E.**, 2005. Betonarme Çerçevelerin Bazı Seçeneklerle Güçlendirilmesi, *Yüksek lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [22] **Karadoğan, F., Yüksel, E., Saruhan, H.**, Korozyonun Mevcut Deprem Dayanımına Etkisi -Deneyisel Bir Çalışma, (Henüz Yayınlanmamış)
- [23] **Erol, G.**, Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Henüz Yayınlanmamış)
- [24] **Yüksel, E., İlki, A., Erol, G., Demir, C., Karadoğan, F.**, 2005. Seismic Retrofit of Infilled Reinforced Concrete Frames with CFRP Composites, *NATO Workshop on Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction*, Istanbul, Turkey.
- [25] **Saruhan, H., Eren, İ., Karadoğan, F.**, 1998. Observation and Tests on Shotcreting In-Situ, Repair & Strengthening Existing Buildings, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey.
- [26] **ABYYHY**, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [27] **Mattock, A. H.**, 1967. Discussion of Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beams by W.G.Corley, *ASCE Journal of Structural Division*, Vol.93, ST2
- [28] **SAP 2000**, Structural Analysis User's Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

ÖZGEÇMİŞ

Burçin MALEKKİANİE, 1978 yılında İstanbul'da doğmuştur. Orta öğrenimini yurtdışında tamamlamıştır, (1996). Daha sonra Türkiye' ye gelerek 1998 yılında Lisans öğrenimine Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başlayarak 2002 yılında öğrenimini başarıyla bitirmiştir. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Deprem Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.