

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOROZYONUN BETONARME KOLONLARIN
DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bahadır DEMİRTAŞ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alper İLKİ

ŞUBAT 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOROZYONUN BETONARME KOLONLARIN
DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bahadır DEMİRTAŞ
(501041226)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Şubat 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Alper İLKİ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Şevket ÖZDEN (KO.Ü.)

ŞUBAT 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan sayın hocam Doç. Dr. Alper İlki'ye teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkıları için; çalışma süresince yanımda olan, Arş. Gör. Cem Demir'e, Yük. İnş. Müh. Fundagül Aş'a, Yük. İnş. Müh. Ergün Binbir'e, Yük. İnş. Müh. Çağlar Göksu'ya, Yük. İnş. Müh. Yasin Candan'a, Murtaza Burak Taslak'a, Sibel Elden'e, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı personeline, Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Çalışmayı destekleyen ve maddi desteğinden dolayı Telateks firmasına, teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezi; Yük. İnş. Müh. Çağlar Göksu'nun doktora tezinin bir bölümünü oluşturmaktadır.

Şubat 2008

Bahadır DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. BETONARME VE KOROZYON	3
2.1. Betonarme	4
2.1.1. Beton	4
2.1.2. Çelik	5
2.1.3. Aderans	6
2.2. Korozyon	7
2.2.1. Korozyon İlkeleri	7
2.2.2. Korozyon Ölçüm Yöntemleri	11
2.2.3. Hızlandırılmış Korozyon	15
2.3. Çalışmanın Literatürdeki Yeri	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1. Numune Özellikleri	21
3.1.1. Numunelerin Tasarlanması	21
3.1.2. Numunelerin Özellikleri	23
3.1.3. Malzeme Özellikleri	26
3.1.3.1. Beton	26
3.1.3.2. Donatı	30
3.1.4. Tasarımın Güncellenmesi	31
3.1.5. Numunelerin Üretimi	34
3.1.5.1. Temeller	34
3.1.5.2. Kolonlar	37
3.1.5.3. Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması	39
3.1.6. Deney Hazırlığı	42
3.1.6.1. Numuneye Hızlandırılmış Korozyon İşleminin Uygulanması	42
3.1.6.2. Numuneler Üzerinde Korozyon Düzeyinin Ölçülmesi	44
3.2. Deney Düzenegi	47
3.2.1. Yükleme Sistemi	47
3.2.2. Ölçüm Sistemi	51
3.2.3. Yükleme Patronu	54
4. DENEY SONUÇLARI	56
4.1. LS-C0 Numunesi	56
4.2. LS-C1 Numunesi	68
4.3. LS-C2 Numunesi	78
4.4. Karşılaştırmalar	90
4.4.1. Dayanım – Öteleme Oranı	90

4.4.2. Enerji Yutma Kapasiteleri	91
4.4.3. Dayanım Kayıpları	92
4.4.4. Kalıcı Yerdeğiştirme	98
4.4.5. Moment Eğrilik İlişkileri	99
4.4.6. Süneklik	101
4.4.7. Deney Sonu Çatlak Durumları	102
4.4.8. Donatı Çekme Deneyleri	102
5. SONUÇLAR	104
KAYNAKLAR	107
EK A. ÇEVİRİM SONU ÇATLAK RESİM VE ÇİZİMLERİ	110
ÖZGEÇMİŞ	126

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: HCP Yöntemine göre Korozyon Potansiyeli ve Korozyon Oluşma Olasılığı Arasındaki Bağntı (Tullmin, 1996).....	13
Tablo 3.1: Deney Numunelerinin Özellikleri.....	24
Tablo 3.2 : İrsaliye Raporu.....	26
Tablo 3.3: Malzeme Miktarları.....	27
Tablo 3.4 Agrega Özellikleri.....	27
Tablo 3.5 : Taze Beton Temel Betonu Çökme ve Yayılma Deneyleri.....	27
Tablo 3.6: İrsaliye Raporu.....	28
Tablo 3.7: Karışım Oranları	28
Tablo 3.8: Çimento Özellikleri.....	28
Tablo 3.9 : Taze Beton Kolon Betonu Çökme ve Yayılma Deneyleri	28
Tablo 3.10 : Donatı Çeliği Malzeme Özellikleri	31
Tablo 3.11: Temel Filizinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı	41
Tablo 3.12 : Kolon Donatısında Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı	42
Tablo 3.13 : Kolon Etriyesinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı	42
Tablo 3.14 : Kolon Filizinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı	42
Tablo 3.15: Korozyon Seviyeleri.....	45
Tablo 3.16: Faraday Kanununa Göre Kütle Kayıpları.....	47
Tablo 3.17 : Yüzey Şekildeğiştirmeölçer İsimleri.....	53
Tablo 3.18 : Yüzey Şekildeğiştirmeölçerleri Gerçek Yerleşim Planı.....	54
Tablo 4.1: LS-C0 Numunesinin Davranışının Özeti	60
Tablo 4.2: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe	62
Tablo 4.3 : LS-C0 İtmede Çatlak Gelişimi	67
Tablo 4.4 : LS-C0 Çekmede Çatlak Gelişimi	68
Tablo 4.5: LS-C1 Numunesinin Davranışının Özeti	72
Tablo 4.6: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe	75
Tablo 4.7 : LS-C1 İtmede Çatlak Gelişimi	77
Tablo 4.8 : LS-C1 Çekmede Çatlak Gelişimi	77
Tablo 4.9 : LS-C2 Numunesinin Davranışının Özeti	82
Tablo 4.10: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe	86

Tablo 4.11 : LS-C2 İtmede Çatlak Gelişimi	89
Tablo 4.12 : LS-C2 Çekmede Çatlak Gelişimi.....	90
Tablo 4.13 : Enerji Yutma Kapasiteleri	92
Tablo 4.14: İtmede Dayanım Kayıpları (%)......	95
Tablo 4.15: Çekmede Dayanım Kayıpları (%)......	95
Tablo 4.16: Kalıcı Yerdeğiştirme Değerleri.....	98
Tablo 4.17 : Numunelerin Şekildeğiştirme Değerleri.....	101
Tablo 4.18 : Deney Sonu Çatlak Durumları.....	102

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Korozyon Sebebiyle Yıkılan Bir Yapı (21 Şubat 2007 NTV ana sayfa)	1
Şekil 1.2 : İstanbul Hasar Tespit Raporu Sonuçları (%).....	2
Şekil 2.1 : Aderans Kaybı Sonucu Oluşmuş Hasar	4
Şekil 2.2 : Beton İçeriği	4
Şekil 2.3 : Betonarme Bir Kolon Kesiti	5
Şekil 2.4 : Betonarme Bir Kolonun Boy Kesiti.....	5
Şekil 2.5 : Beton ve Donatı Arasında Aderans.....	6
Şekil 2.6 : Korozyon Hücresi	7
Şekil 2.7 : Donatı Üzerinde Gerçekleşen Korozyon Hücresi.....	9
Şekil 2.8 : Betondaki Donatı Korozyonunun Gelişim Süreci (Gulikers, 2005).....	9
Şekil 2.9 : Korozyon Çeşitleri MEGEP, 2005.....	10
Şekil 2.10 : Değişik Kesitlerde Oyuklanma Korozyonu (ASTM-G46-94, 1994].....	11
Şekil 2.11: Bakır/Bakırsülfat Yarı Hücresinin Kesit Görünüşü (Odabaşı, 2007)	12
Şekil 2.12 : Bakır/ Bakırsülfat Yarı Hücre Devresi (ASTM C876-99, Odabaşı, 2007)	13
Şekil 2.13 : Polarizasyon Direncini Belirlemek Amacıyla Çizilen Bir Akım Potansiyel Eğrisi	15
Şekil 3.1 : Moment – Eğrilik İlişkisi	22
Şekil 3.2 : Numune İzometrik Görünüş	24
Şekil 3.3 : Numune Plan Görünümü	25
Şekil 3.4 : Numune Boy Kesiti.....	25
Şekil 3.5 : Numune Donatı Açılımları	26
Şekil 3.6 : Ortalama Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları.....	29
Şekil 3.7 : Elastisite Modülü Sonuçları.....	30
Şekil 3.8 : Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi	31
Şekil 3.9 : Moment – Eğrilik İlişkisi	32
Şekil 3.10 : Çelik Ve Ahşap Kalıplar	34
Şekil 3.11 : Temel Donatısı.....	34
Şekil 3.12: Taşıma Kancaları	35
Şekil 3.13 : Plastik PVC Boru Yerleşimi.....	35
Şekil 3.14 : Temel Betonu Dökümü	35

Şekil 3.15 : Standart Silindir Numunesi	36
Şekil 3.16 : Beton Çökme ve Yayılma Deneyleri	36
Şekil 3.17 : Temel Kürü	36
Şekil 3.18 : Pürüzleme İşlemi.....	37
Şekil 3.19 : Paspayları.....	37
Şekil 3.20 : Kolon Kalıplarının Yerleştirilmesi.....	38
Şekil 3.21 : Betona CaCl_2 Çözeltilisinin Eklenmesi	38
Şekil 3.22 : Kolon Numunelerinin Beton Dökümü	39
Şekil 3.23 : Kür Uygulaması	39
Şekil 3.24 : Şekildeğiştirmeölçerin Yapıştırılması	40
Şekil 3.25 : Şekildeğiştirmeölçerlerin Yerleştirilmesi	40
Şekil 3.26 : Şekildeğiştirmeölçer Yerleşimi.....	41
Şekil 3.27 : Numunelere Elektrik Akımı Verilmesi	43
Şekil 3.28 : Hızlandırılmış Korozyona Tabii Tutulan Kolon Numuneleri	43
Şekil 3.29 : Numune Üzerinde Açılan Delik.....	44
Şekil 3.30 : Gecor 8 ile Hızlandırılmış Korozyon İşleminin Uygulandığı Numuneler Üzerinde Ölçülmesi.....	44
Şekil 3.31 : Numunelerde Korozyon Ölçümü Yapılan Bölgeler.....	45
Şekil 3.32 : Korozyon Potansiyeli Eğrileri	46
Şekil 3.33 : Korozyon Akımı – Zaman Grafiği.....	46
Şekil 3.34 : Kesit Kaybı – Zaman Grafiği.....	47
Şekil 3.35 : YDML Deney Düzeneği.....	48
Şekil 3.36 : Temelin Sabitlenmesi	49
Şekil 3.37 : Eksenel Yük Düzeneği	49
Şekil 3.38 : Yüksek Mukavemetli Bulonların Yerleştirilmesi	50
Şekil 3.39 : Yerdeğiştirmeölçer Yerleşim Planı	52
Şekil 3.40 : Yüzey şekildeğiştirmeölçer	53
Şekil 3.41 : Yüzey şekildeğiştirmeölçerlerin Yerleşimi	53
Şekil 3.42 : Yükleme Patronu.....	55
Şekil 4.1 : -%0.50 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi.....	57
Şekil 4.2 : %1.00 Öteleme Oranında Eğilme Çatlakları	57
Şekil 4.3 : %2.00 Öteleme Oranında Çatlak Görünümü.....	58
Şekil 4.4 : %3.50 Öteleme Oranında Birleşim Bölgesinde Betonda Kopma.....	58
Şekil 4.5 : Deney Sonu Çatlak Durumu (Öteleme Oranı %5.00).....	59
Şekil 4.6 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %3.50).....	59

Şekil 4.7 : Yük Yerdeğiştirme İlişkisi	60
Şekil 4.8: Moment Eğrilik İlişkisinde Kullanılan Yerdeğiştirmeölçerler.....	61
Şekil 4.9 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)	63
Şekil 4.10 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)	63
Şekil 4.11 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)	64
Şekil 4.12 : Şekildeğiştirmeölçer Şematik Görünüm	65
Şekil 4.13 : LS-C0 İtmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri	65
Şekil 4.14 : LS-C0 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	66
Şekil 4.15 : LS-C0 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri.....	66
Şekil 4.16 : LS-C0 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	67
Şekil 4.17 : LS-C1 Numunesinde İlk Çatlak Oluşumu.....	69
Şekil 4.18 : Beton Örtüsünde Dökülme Başlangıcı	70
Şekil 4.19 : Beton Örtüsünde Dökülme ve Ortaya Çıkan Donatı.....	70
Şekil 4.20 : Deney Sonu Çatlak Durumu (Öteleme Oranı %6.00).....	71
Şekil 4.21 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %6.00)	71
Şekil 4.22 : LS-C1 İtmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri	73
Şekil 4.23 : LS-C1 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	73
Şekil 4.24 : LS-C1 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri.....	74
Şekil 4.25 : LS-C1 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	74
Şekil 4.26 : Yük Yerdeğiştirme İlişkisi.....	75
Şekil 4.27 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)	75
Şekil 4.28 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)	76
Şekil 4.29 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)	76
Şekil 4.30 : Öteleme Oranı %0.50 Düzeyinde Hasar Durumu.....	79
Şekil 4.31 : -%0.50 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi.....	79
Şekil 4.32 : Öteleme Oranı %0.75 Düzeyinde Hasar Durumu.....	80
Şekil 4.33 Öteleme Oranı %3.00 Düzeyinde Hasar Durumu.....	80
Şekil 4.34 : -%3.00 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi.....	81
Şekil 4.35 : Deney Sonu Numune Görünümü (Öteleme Oranı %4.50).....	81
Şekil 4.36 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %4.50)	82
Şekil 4.37 : LS-C2 İtmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri	83
Şekil 4.38 : LS-C2 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	84
Şekil 4.39 : LS-C2 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri.....	84
Şekil 4.40 : LS-C2 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri	85
Şekil 4.41 : Yük Yerdeğiştirme İlişkisi.....	85

Şekil 4.42 :	86
Şekil 4.43 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)	87
Şekil 4.44 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)	87
Şekil 4.45 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)	88
Şekil 4.46 : Dayanım - Öteleme Oranı İlişkisi	91
Şekil 4.47 : Enerji Yutma Kapasiteleri	91
Şekil 4.48 : İtmede P/P_{mak} - Öteleme Oranları.....	93
Şekil 4.49 : Çekmede P/P_{mak} - Öteleme Oranları.....	94
Şekil 4.50 : İtmede Dayanım Kayıpları	96
Şekil 4.51 : İtmede Dayanım Kayıpları	97
Şekil 4.52 : Kalıcı Yerdeğiştirme	98
Şekil 4.53 : Örnek Bir Yük Yerdeğiştirme Grafiği	99
Şekil 4.54 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~20 mm)	99
Şekil 4.55 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~150 mm).....	100
Şekil 4.56 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~300 mm).....	100
Şekil 4.57 : Süneklik Değerlerinin Hesabında Kullanılan Şekildeğiştirmeler	101
Şekil 4.58 : Numunelerden Kesilen Boyuna Donatılar.....	102
Şekil 4.59 : Çelik Çekme Deneyleri	103
Şekil 4.60 : Gerilme Şekildeğiştirmelerin Karşılaştırılması	103

SEMBOL LİSTESİ

A: Donatı alanı

A_{sw}: Enine donatı alanı

b: Kolon enkesit genişliği

D: Donatı çapı

f'_c: Ortalama 180 günlük standart silindir dayanımı

f_{ck}: Beton karakteristik basınç dayanımı

f_{ctd}: Beton tasarım çekme dayanımı

f_{ctk}: Beton karakteristik çekme dayanımı

f_{yw}: Enine donatı akma gerilmesi

Fe: Demir atomu

h: Kolon enkesit yüksekliği

H: Hidrojen atomu

M: Kolon uç momenti

N: Eksenel yük

N_{kap}: Eksenel yük kapasitesi

O: Oksijen atomu

s: Enine donatı aralığı

V_c: Beton kesitin kesme kuvveti dayanımına etkisi

V_{cr}: Eğik çatlamayı oluşturan kesme kuvveti

V_e: Moment kapasitesine karşı gelen tasarım kesme kuvveti

V_r: Kesme kuvveti taşıma gücü

V_w: Enine donatı kesme kuvveti kapasitesi

V_{max}: Kesme kuvveti üst sınırı

ΔE: Potansiyel değişimi

ΔI: Dış akım

ρ_b: Donatı oranı

ρ_{Fe}: Demir atom yoğunluğu

v: Eksenel yük oranı

ÖZET

Gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde, yaşlanan ve hasar gören yapı stokunun rehabilite edilmesi inşaat sektörünün önündeki en büyük problemlerin başında gelmektedir. Özellikle rutubetli çevre koşullarında ve/veya beton kalitesinin düşük olduğu bölgelerde meydana gelen donatı çeliğindeki korozyon ve bunun sonucunda da betonda oluşan çatlaklar, onarım gerektiren hasarların arasında en yaygındır. Korozyon miktarına bağlı olarak, mevcut betonarme yapıdaki donatı ve beton arasındaki aderans olumsuz yönde etkilenmekte, yapı elemanlarının dayanımlarında önemli düşüşler söz konusu olabilmektedir. Ülkemizdeki mevcut yapılarda, deprem güvenliği açısından büyük risk oluşturan faktörlerin başında donatı korozyonu ve bunun neden olduğu dayanım ve aderans kayıpları gelmektedir.

Donatıları korozyona uğramış betonarme kolonların korozyon hasarının giderilmesi ve bu tür elemanların deprem performanslarının iyileştirilmesi için deneysel ve analitik bir çalışma yapılması planlanmıştır. Deneysel çalışma için üretilen numuneler, Türkiye'deki yapılarda sıklıkla karşılan tipik düşük dayanımlı yapı elemanlarını da temsil edecek şekilde tasarlanmıştır ve elde edilecek deneysel sonuçların değerlendirilmesi sonrasında önerilen güçlendirme yöntemleri için hesap metotlarının geliştirilmesi planlanmıştır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar, hem ülkemizde sık karşılaşılan korozyon hasarlı yapı elemanlarının deprem performansları, hem de bu elemanların güçlendirilmesi konusunda önemli bir deneysel veri tabanı oluşturacak, bu tür elemanların deprem davranışlarının belirlenmesini sağlayacak analitik yöntemlerin geliştirilmesi sonucunda proje mühendislerine sağlanacak yol gösterici sonuçlar sayesinde önemli katkıda bulunacaktır.

Önerilen tez çalışmasında, farklı düzeylerde korozyona uğramış elemanların davranışları deneysel olarak incelenip elde edilen sonuçlar analitik olarak değerlendirilmiştir. Tez kapsamındaki testler konsol kolon numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin beton basınç dayanımı 10 MPa'dan daha düşük olup eski mevcut yapılardaki durumu yansıtmak üzere, eski uygulamalar dikkate alınarak inşa edilmiştir. Bu numuneler; sabit eksenel yük ve tekrarlı tersinir eğilme etkileri altında denenmiştir.

SUMMARY

One of the major problems in structural sector is the rehabilitation of the getting older and damaged structure stock in our country and in other countries. Corrosion of reinforcing bars and the resultant cracks in concrete structural members are among the most common reasons of damage that require repairing, particularly in humid environments and/or where quality of concrete is relatively lower. Depending on the corrosion level, the bond between concrete and steel reinforcement affected negatively. In our country, in terms of seismic safety of the existing structures the leading factor, which causes major risk, is corrosion of reinforcement and strength loss.

An experimental and analytical study is planned for rehabilitating the corrosion damaged RC columns and healing the seismic performance of them. The specimens produced for these tests were planned to represent typical low strength structural components, which are usually encountered in Turkey, and after the evaluation of the test results it is planned to develop account methods for the recommended retrofit methods. These tests would provide experimental data base not only for seismic performance of corrosion damaged structural components but in retrofitting these components as well and would have a significant contribution to the structural engineers. The behavior of the specimens would be examined analytically.

The results of this study would provide considerably support to the solution of the common problem in Turkey and in the world and lead in retrofitting corrosion, damaged structures to the engineers and rivalry power of Turkey would increase in international market.

The tests has been carried out for cantilever column specimens that have average concrete compressive strength of less than 10 MPa that represents the existing structures which were built with respect to old design codes.

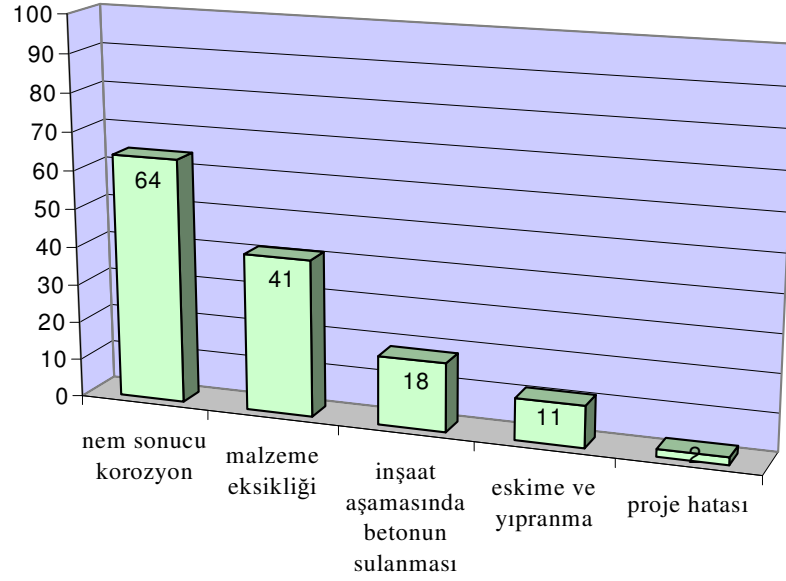
1. GİRİŞ

Betonarme yapılardaki donatılarda çeşitli nedenlerden dolayı korozyon oluşur ve elemanlarda önemli hasarlar meydana gelir. Zamanla bu hasarlar önemli seviyelere ulaşır ve alınacak önlemlerin pahalı olmasına sebep olur. Bu nedenle bu tür hasarların olabildiğince erken belirlenmesi ve önlem alınması önemlidir (Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004). Ülkemizin bir çok yerinde hasar gören ya da yıkılan bir çok bina görülmektedir (Şekil 1.1). Türkiye'nin bir deprem bölgesi olması ve eski yöntemlerle inşaat yapılması ve temelsiz, bodrumsuz yapılar korozyon gibi yapıya önemli derecede hasar veren durumların önemini daha da arttırmaktadır.



Şekil 1.1 : Korozyon Sebebiyle Yıkılan Bir Yapı (21 Şubat 2007 NTV ana sayfa)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hasar Tespit Komisyonu tarafından 55 bin 651 konut ve işyerinde yapılan kontrollerde, binaların yüzde 79'unun hasarlı olduğu ifade edilmiştir ([www.arkitera.com/haber_21473_yalitima-5-milyar-\\$-tasarruf-mumkun.html](http://www.arkitera.com/haber_21473_yalitima-5-milyar-$-tasarruf-mumkun.html)). Bu binaların hasarların nedenleri Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Türkiye'deki korozyon kayıplarının GSMH'nin %4.36'sına eşit olduğu yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir. 1997 yıllarında eğitime ayrılan payın, GSMH'nin %1.76'si, 1998 yılında %2.53'ü olduğu dikkate alınırsa, konunun önemi açıkça görülmektedir (Kemalettin YILMAZ, Süheyl AKMAN, Murat Eriç <http://www.evdose.com/tur/yapi/beton/yapbet0005.html>).



Şekil 1.2 : İstanbul Hasar Tespit Raporu Sonuçları (%)

Tez içinde; ikinci bölümde betonarme ve korozyonun ne olduğuna değinilecek ve birbiri ile olan ilişkisi açıklanacaktır. Tez kapsamında kullanılan korozyon ölçüm yöntemleri ve hızlandırılmış korozyonu açıklayarak daha önce yapılmış deneyler hakkında bilgi verilecektir. Üçüncü bölüm deneysel çalışma üzerine olacaktır. Deney numuneleri hakkında bilgi verilerek sonuçlar grafiklerle desteklenerek açıklanacak ve yorumlanacaktır.

2. BETONARME VE KOROZYON

Beton gibi çekme dayanımı düşük bir malzemedan taşıyıcı sistemler oluşturmak zor ve ekonomik olmayan çözümler gerektirir. Akla gelen ilk çözüm, eski çağlarda taşın kullanılışına benzer bir biçimde, eleman veya sisteme, kesitlerde yalnız basınç oluşturacak bir form vermektir. Ancak, bu tür yapı geometrileri bir çok durumda fonksiyonel ve ekonomik olmayabilir. Akla gelen ikinci çözüm, çekme gerilmelerinin betonun içine yerleştirilen, çekme dayanımı ve sünekliği yüksek başka bir malzeme tarafından karşılanmasıdır. Bu ikinci çözüm mühendislik açısından çok daha uygun bir çözümdür. Bu amaçla betonda çekme gerilmelerini karşılamak için çelik donatı kullanılır. Çelik donatı ve betondan oluşan kompozit malzemeye “betonarme” denir. Çelik donatı ve betondan oluşan malzemenin betonarme olabilmesi için, bu iki malzemenin birbiriyle kaynaşmış olarak birlikte çalışmaları gerekir. Başka bir deyişle, donatının ve çevresindeki betonun deformasyonunun farklı olmaması için donatı, etrafındaki beton kütleyle sağlam bir şekilde kenetlenmelidir. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu olay “kenetlenme” veya “aderans” olarak adlandırılır (Ersoy ve Özcebe, 2004). Beton ve donatı arasındaki aderansın herhangi bir sebeple azalması ve/veya tamamen ortadan kalkması, betonarme yapıda büyük sorunları beraberinde getirir. Ülkemizdeki mevcut yapılarda, deprem güvenliği açısından büyük risk oluşturan faktörlerin başında donatı korozyonu ve bunun neden olduğu dayanım ve aderans kayıpları gelmektedir (Şekil 2.1).

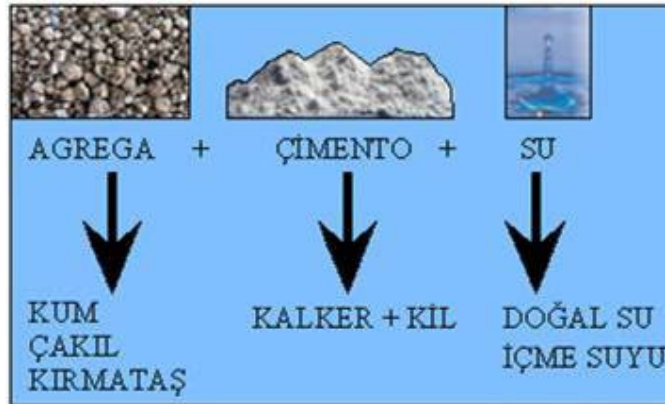


Şekil 2.1 : Aderans Kaybı Sonucu Oluşmuş Hasar

2.1. Betonarme

2.1.1. Beton

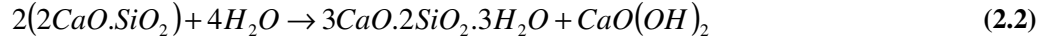
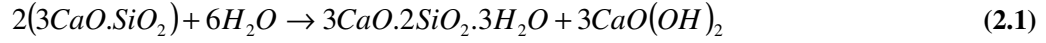
Beton; agregâ, çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir (Şekil 2.2). Çimento, su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşıp taşlaşır.



Şekil 2.2 : Beton İçeriği

Agregâ; betonun fiziksel yapısını oluşturan bir dolgu maddesi olarak kullanılır.

Portland çimentosunun temel bileşenleri olan klinker bileşiklerinin su ile reaksiyonu sırasında kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) meydana gelir. Kuvvetli bazik karakterde olan bu hidroksit pH değerini 12-13 civarında sabitler. (Koç)

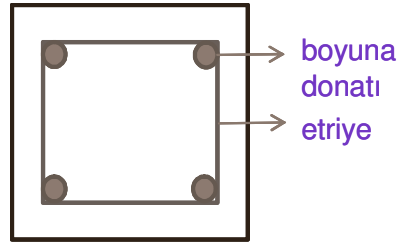


Bu ortam, donatı üzerinde koruyucu bir pasivasyon tabakasının oluşumunu ve sürekliliğini sağlar.

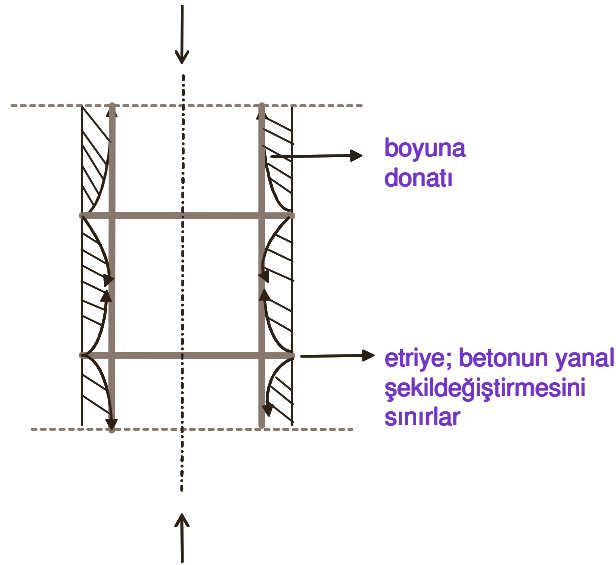
2.1.2. Çelik

Demir atomlarının kafes yapısını bozmadan, karbon atomlarının araya girmesiyle oluşur.

Betonun çekme dayanımı yaklaşık olarak basınç dayanımının %10'u kadardır. Bu yüzden yapıdaki çekme kuvvetlerini karşılamak için donatı gereklidir (Şekil 2.3 - Şekil 2.4).



Şekil 2.3 : Betonarme Bir Kolon Kesiti



Şekil 2.4 : Betonarme Bir Kolonun Boy Kesiti

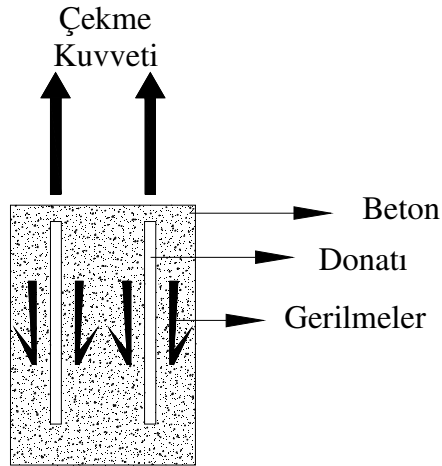
2.1.3. Aderans

Çelik ve betondan oluşan malzemenin betonarme olabilmesi için, iki malzemenin birlikte çalışması gerekir.

Donatı ve çevresindeki betonun deformasyonunun farklı olmaması için donatı, etrafındaki betona sağlam bir şekilde kenetlenmelidir. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu olay “aderans” olarak adlandırılır (Şekil 2.5). Aderans olarak adlandırılan beton ve donatı arasındaki bağın, üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir (Özcebe, G; 2004).

1. Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri.
2. Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri.
3. Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik dış kuvvetleri.

Beton ve donatı arasındaki aderansın herhangi bir sebeple azalması ve/veya tamamen ortadan kalkması betonarme yapıda büyük sorunları beraberinde getirir. Ülkemizdeki mevcut yapılarda, deprem güvenliği açısından büyük risk oluşturan faktörlerin başında donatı korozyonu ve bunun neden olduğu dayanım ve aderans kayıpları gelmektedir (Odabaşı, 2007).



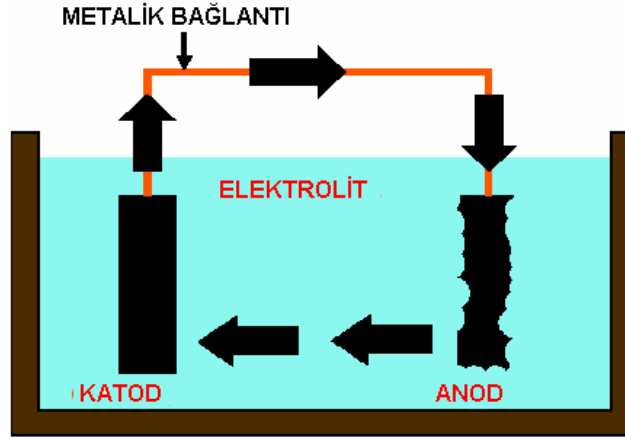
Şekil 2.5 : Beton ve Donatı Arasında Aderans

2.2. Korozyon

2.2.1. Korozyon İlkeleri

Korozyon kelimesi Latince’de, çevresi tarafından aşındırma anlamına gelen *corrosus*’dan türetilmiştir (Gedikli, 2004). Tüm metaller doğada bulundukları mineral haline dönüşme eğilimindedir. Metaller bu minerallerden enerji harcayarak çeşitli metalürjik tekniklerle elde edilir. Doğada bulunan mineral söz konusu metalin en düşük enerji bileşiği, en kararlı halidir. Ama metallerin çoğu element halinde kararlı değildir. Uygun ortamı bulduklarında en düşük enerjili hallerine yani kararlı bileşiklerine dönüşme eğilimi gösterirler (Jones, 1996). Bu eğilimin sonucunda önce elektron kazanarak ya da kaybederek iyon, sonra da bulundukları ortamın elementleri ile kimyasal reaksiyona girerek bileşik haline geçerler (Şengil, 1992).

Korozyon elektrokimyasal bir olaydır. Elektrokimyasal sisteme topluca korozyon hücresi denir (Şekil 2.6). Elektrokimyasal sistem dört ayrı bölümden meydana gelir: anot, katot, elektrolit ve metalik bağlantı (Odabaşı, 2007)



Şekil 2.6 : Korozyon Hücresi

Donatı üzerinde gerçekleşen anot reaksiyonu:



Anotta, yani katyona dönüşen metalin bulunduğu bölgede malzeme kaybı vardır. Bu kaybın sürekli olması hasar sebebidir ve bunun için metal çevresinde açığa çıkmış olan elektronların uzaklaşması gerekir.

Elektronların azaltılması bir redüksiyon reaksiyonu ile mümkündür. Bu reaksiyon katot olarak nitelenen bölgede gerçekleşir ve katot reaksiyonu adını alır. Katot reaksiyonu için O_2 yani hava gerekir (Dilmaç, 2002).

Katot reaksiyonu:



Oluşan metal iyonları nötral ortamlarda su ile reaksiyona girerek hidroksit haline dönüşür.



Demir paslanınca $Fe(OH)_2$ haline gelerek hidroksil iyonları oluşturur.



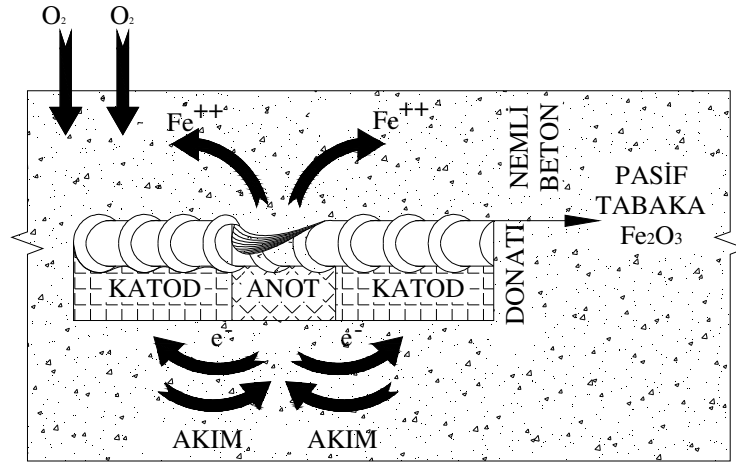
Bu reaksiyon sonucunda çeliğin görünen hacmi altı kata kadar arttığı için malzeme ayrılır ve donatının enkesitinde azalma olur. Zamanla çatlama ve parçalanmadan dolayı betonla çelik arasındaki bağ zayıflar (Dilmaç, 2002).

Korozyon hücresinin üçüncü bölümüne elektrolit denir. Elektrolit anot ve katoda temas eden bir materyaldir ve hem anota hem de katoda iyon akışı vardır.

Korozyon hücresinin dördüncü bölümüne metalik bağlantı denir. Elektriksel devreyi tamamlar ve elektron akışını sağlar. Metalik bağlantı hem anota hem de katoda temas eden ve elektron akışını sağlayan bir metaldir. Bu elektron akışı, elektrokimyasal reaksiyon oluştuğunda görülür (Odabaşı, 2007).

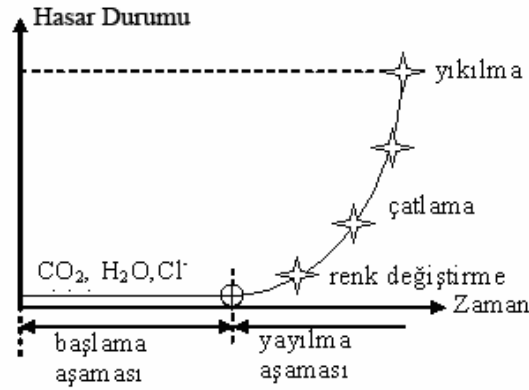
Klor iyonları beton ile temas ettiğinde yavaş yavaş betonun içine doğru ilerler. Çimentonun boşluklu bileşimi klorun beton içine nüfus etmesini sağlar. Eğer betonda çatlaklar varsa ilerlemesi daha hızlı olur. Sonunda klor iyonları çeliğin yüzeyine ulaşır ve burada birikerek koruyucu pasif tabakayı etkisiz hale getirecek seviyeye ulaşır. Donatı Klor iyonları ile temas etmeye başlar (Schiessl, 1988).

Anodik ve katodik reaksiyonlar denge halindedir. Donatı üzerinde gerçekleşen korozyon hücresi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Donatı Üzerinde Gerçekleşen Korozyon Hücresi

Korozyon iki aşamada gerçekleşir (Şekil 2.8) (Gulikers, 2005): Başlama ve yayılma. Başlama aşaması; yapım aşamasından beton içindeki Cl^- ve CO_2 miktarının belli seviyeye ulaşarak pasivasyonun ortadan kalkmasına kadar geçen zamanı, yayılma aşaması; donatının depasive olmasından korozyonun malzemeye hasar vermeye başladığı zamanı kapsar.



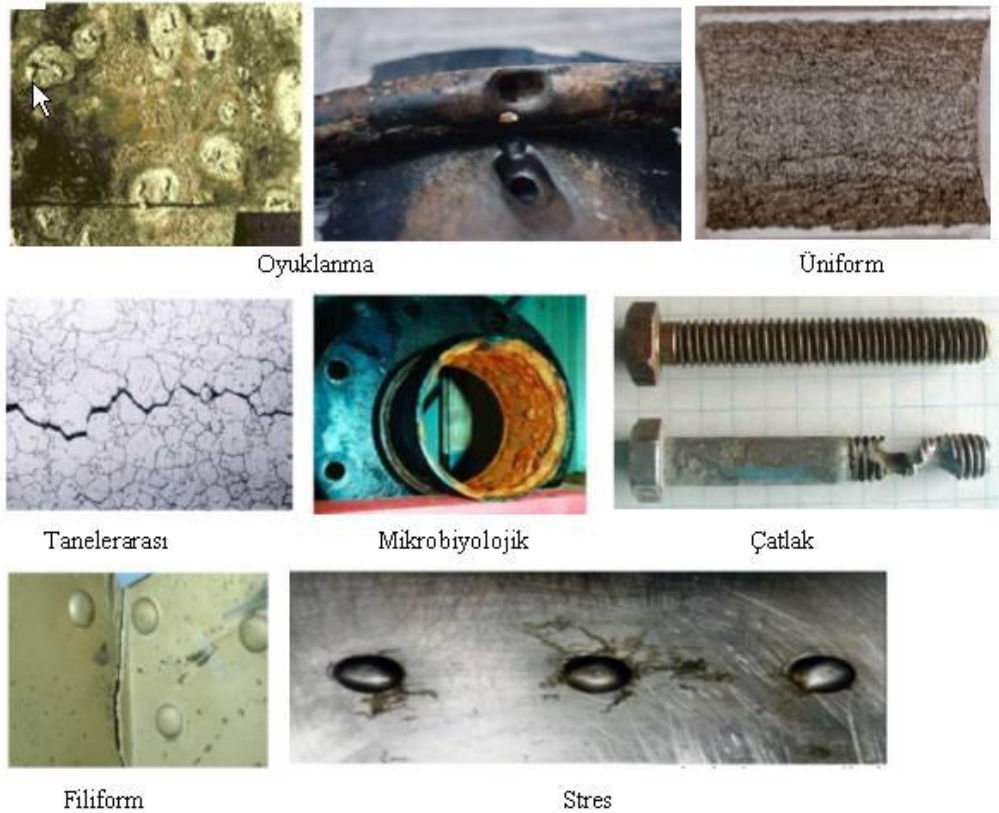
Şekil 2.8 : Betondaki Donatı Korozyonunun Gelişim Süreci (Gulikers, 2005)

Başlıca korozyona sebep olan faktörler:

1. Nem
2. Çimento tipi
3. Su-çimento oranı
4. Paspayı kalınlığı
5. Sıcaklık

6. Beton pH değeri
7. Betondaki çatlaklar
8. Betonun karışım oranı
9. Beton ile temas eden topraktaki organik maddeler
10. Kaçak elektrik akımlarının varlığı

Doğada korozyona sebep olan faktörler sonucu oluşan korozyon çeşitleri: oyuklanma, üniform, taneler arası, mikrobiyolojik, çatlak, stres, filiform, galvanik, kabuk altı, seçimli, erozyonlu, kavitasyon, aşınmalı, yorulmalı, hidrojen kırılmalı, kaçak akım korozyonudur (Şekil 2.9).

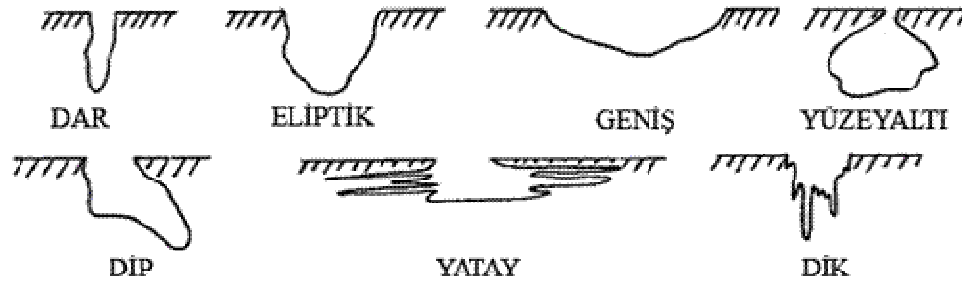


Şekil 2.9 : Korozyon Çeşitleri MEGEP, 2005.

Korozyon işleminin yapısı anot ve katotların dağılımına bağlıdır (Gulikers, 2005). Eğer anot ve katot donatı yüzeyinde düzensiz bir şekilde dağılmışlarsa ve korozyon oluşumu sırasında rasgele konum değiştiriyorlarsa üniform bir hasar gerçekleşir. Ancak anot sabit bir noktada ve katot bölgesi anot bölgesinden daha geniş ise hasar bölgesel olur ve oyuklanma korozyonu meydana gelir. Oyuklanma korozyonu, klor

iyonlarının etkisiyle metal yüzeyin bazı noktalarında çukur oluşumuyla meydana gelen korozyon türüdür. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan ve kısa sürede delinmesine neden olur. Üniform korozyon, metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Üniform korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede inceler. Oyuklanma korozyonu üniform korozyondan daha tehlikelidir, çünkü korozyondan dolayı oluşan ürünler çukurları kapladığı için gözlem yapmak zor olduğundan korozyonun gelişmesini tahmin etmek ve onarım yapmak daha zordur. Az bir kesit kaybına sebep olan küçük, dar bir çukur bile tüm bir sistemin bozulmasına neden olabilir (Gulikers, 2005).

Genellikle üniform korozyon karbonatlaşma ile oyuklanma korozyonu klor girişi ile gerçekleşir (Gulikers, 2005). Klor iyonlarının kaynağı, katkı maddeleri, kirletici maddeler, liman çevresi, endüstriyel tuzlu su ve tuz çözücülerdir.



Şekil 2.10 : Değişik Kesitlerde Oyuklanma Korozyonu (ASTM-G46-94, 1994]

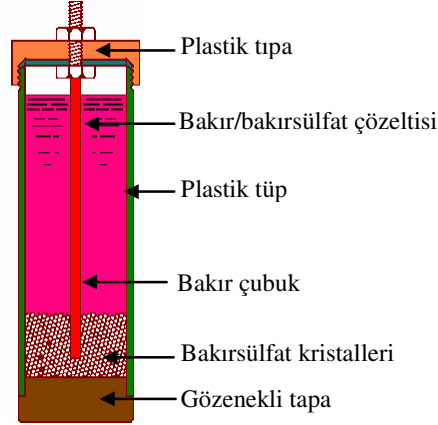
2.2.2. Korozyon Ölçüm Yöntemleri

Beton içerisine gömülü donatı korozyonunun ölçümü, agresif ortamda bulunan betonarme yapının mevcut durumunu ve ilerideki performansını belirlemede oldukça önemli bir araçtır. Korozyon ölçümlerinde temel amaç, korozyon hızını ve mekanizmasını belirlemektir. Bu ölçümler çıplak gözle muayene gibi basit yöntemlerle yapıldığı gibi elektrokimyasal yöntemler kullanılarak da yapılabilir.

Her metalin farklı elektriksel potansiyeli vardır. Korozyon hücresinin voltajı ölçülerek korozyon hızı hakkında tahmin yapılabilir. Başlıca ölçüm yöntemleri; yarı-hücre potansiyeli ve doğrusal polarizasyon direncidir.

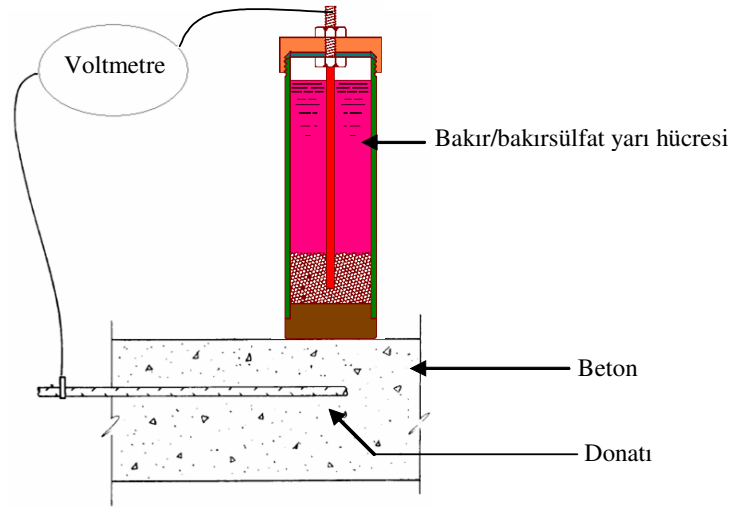
Yarı-hücre potansiyeli; adını tüm bir korozyon hücresinin yarı potansiyelini ölçmesinden almıştır.

Elektrokimyasal potansiyeli kesin olarak elde etmek mümkün değildir. Bir elektrodun potansiyeli, potansiyeli bilinen ve daima sabit olup “referans elektrodu” denilen bir yarı hücre ile ölçülür (Şekil 2.11). Böyle bir devrede referans elektrodun potansiyeli bilindiği için, referans elektrodun sabit olan potansiyeline göre bilinmeyen elektrodun potansiyeli hesaplanır. Pratikte betonarme için gümüş/gümüşklor elektrodu ve bakır/bakırsülfat elektrodu referans elektrot olarak kullanılır (Gulikers, 2005).



Şekil 2.11: Bakır/Bakırsülfat Yarı Hücresinin Kesit Görünüşü (Odabaşı, 2007)

Bakır/bakırsülfat referans elektrodu, içi boş silindirin içine doldurulmuş doygun bakırsülfat çözeltisi içine saf bakır elektrodun daldırılması ile elde edilen yarı hücredir. Gözenekli tapa toprakla temas ettirilir ve referans elektroduna bağlı kablo temas kutusundaki yapı ile bağlantılı klemensle bağlanarak toprak potansiyeli ölçülür (Odabaşı, 2007). Bu elektrodun standart hidrojen elektroduna göre 25°C’deki potansiyeli 0.316 V’tur. Beton ve donatı üzerinde bakır/bakırsülfat yarı hücre devresi ile yarı hücre potansiyeli ölçümü Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Bakır/ Bakırsülfat Yarı Hücre Devresi (ASTM C876-99, Odabaşı, 2007)

HCP yöntemine göre korozyon potansiyeli ve korozyon oluşma olasılığı arasındaki bağıntı Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: HCP Yöntemine göre Korozyon Potansiyeli ve Korozyon Oluşma Olasılığı Arasındaki Bağıntı (Tullmin, 1996)

Yarı Hücre Potansiyeli	Korozyon Oluşma Olasılığı
<-500 mV	Ciddi
-500 mV~ -350 mV	Yüksek (%90 Olasılık)
-350 mV~ -200 mV	Orta (%50 Olasılık)
> -200 mV	Düşük (%10 Olasılık)

Donatının yarı hücre potansiyeli (korozyon potansiyeli) o bölgede korozyon oluşumunun göstergesidir. Standart yarı hücre ve donatı arasındaki voltaj akımı, korozyon oluşumunun olasılığını göstermek için ampirik olarak geliştirilmiş olan ASTM C876–99 yönetmeliği ile karşılaştırılır. Yakın bölgelerden çok sayıda yarı hücre potansiyeli ölçümü alınması betondaki donatının korozyon olasılığını tahmin edebilmek için çoğu zaman gereklidir. Yarı hücre potansiyeli çevresel koşullara, özellikle oksijen konsantrasyonuna karşı çok hassas olması nedeniyle oksijen miktarındaki düşüş yarı hücre potansiyelini daha negatif değerlere getirir. Suyu doymun betonda, oksijen eksikliği daha fazladır ve daha fazla negatif potansiyel değerleri gösterir (Qian ve Chagnon, 2001).

Korozyon hızı (I_{corr}), birim zamanda, birim alanda korozyona uğrayan madde miktarıdır (birim yüzeyden kütle kaybı olarak $g/(m^2.yıl)$). Kimyasal olaylarda korozyon hızı kütle azalması yöntemiyle, elektrokimyasal olaylarda ise doğrusal polarizasyon direnci (LPR) yöntemi ile ölçülür (Gedikli, 2004).

Kütle azalması yönteminde; Korozyon hızı, metal yüzeyinin her tarafında hızla çözünmenin olduğu koşullarda, kütle azalması olarak verilebilir (Gedikli, 2004). Donatıdaki kütle azalması Faraday Kanunu ile hesaplanır.

$$M = \frac{I \cdot t \cdot A_w}{n \cdot F} \quad (2.5)$$

M : Çözünmüş metalin veya dönüştürülmüş oksidin kütlesi, g.

I : Akım, A.

t : Zaman, sn.

A_w : Demir atom birim ağırlığı, g.

n : Demir atom değerliği (genelde oluşan pas Fe(OH)₂ olduğundan; 2 ya da 3) (Pantazopoulou, 2001)

F : Faraday sabiti (96.500 coulomb), A×sn.

Korozyon hızı; sıcaklık, oksijen içeriği ve nem miktarı sürekli değiştiği için gün ve saate göre farklılık gösterebilir. En aktif korozyon, ölçüm zamanı içinde meydana gelmeyebilir. Sürekli gözlem veya sık ölçüm yapılmadıkça, yüzeydeki aktif bölgeleri korozyon hızına bağlı olarak belirlemek toplam malzeme kaybını hesaplamaktan daha güvenilirdir. Yarı hücre potansiyel değerleri ve korozyon hızı ölçüm sonuçlarının ikisinden yararlanmak donatıdaki korozyon durumu hakkında daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Qian ve Chagnon, 2001).

Korozyon hızını nicel olarak belirleyebilen tek yöntem polarizasyon direncidir. Polarizasyon direnci (R_p), bir elektrodun korozyon potansiyeli yakınında potansiyel değişiminin, uygulanan dış akıma oranıdır.

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (2.6)$$

ΔE: Potansiyel Değişimi

ΔI : Dış Akım

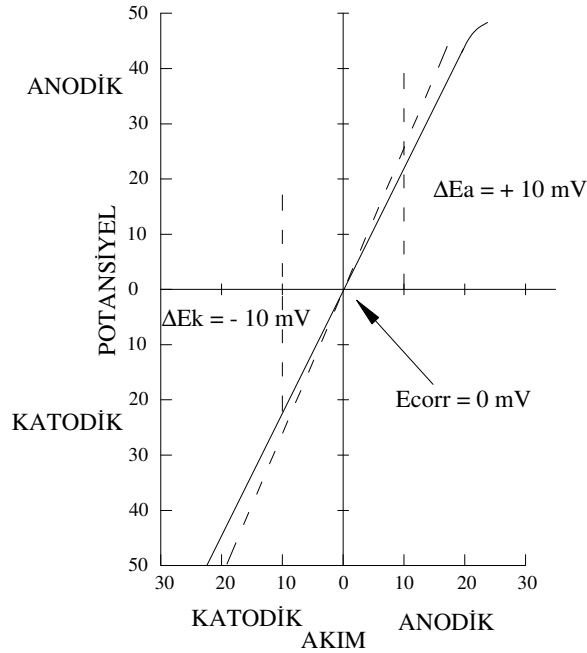
Referans ve yardımcı elektrotlar kullanılarak metale ufak elektrik sinyalleri gönderilir. Gönderilen sinyalin donatı boyunca üniform olarak dağılması sağlanır. Yapılan deneylerde, potansiyel ile katodik ve anodik akım arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmıştır. Korozyon potansiyeline yakın olarak uygulanan ΔE

($\pm 10\text{mV}$) potansiyel farkı ile devreden geçen ΔI akımı arasında bağıntı olduğu görülmüştür (Şekil 2.13). Akım yoğunluğu-potansiyel eğrisinin korozyon potansiyeli dolayındaki polarizasyon eğrisinin doğrusal kısmın eğiminden polarizasyon direnci hesaplanarak polarizasyon direnci bulunur ve korozyon hızı hesaplanır .

$$I_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (2.7)$$

I_{corr} : Korozyon hızı

B : 26 mV (sabit bir sayı olarak kabul edilmektedir.)



Şekil 2.13 : Polarizasyon Direncini Belirlemek Amacıyla Çizilen Bir Akım Potansiyel Eğrisi

2.2.3. Hızlandırılmış Korozyon

Normal koşullar altında uzun süre içinde etkisini gösteren bir korozyon olayının, kısa süre içinde gerçekleşecek şekilde düzenlenerek yapılmasına hızlandırılmış korozyon işlemi denir (ASTM-G15, 2004). İstenen korozyon seviyelerine tez süresi içerisinde ulaşılabilmesi için deneyde kullanılacak numunelere hızlandırılmış korozyon işlemi uygulanmıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, aynı koşullara maruz kalınan durumlar için, hızlandırılmış korozyon ile doğal korozyon arasındaki ilişki araştırıldığında elde

edilen sonuçlardan her iki korozyon tipinin beton paspayının çatlaması ve dökülmesi açısından benzerlik gösterdiği gözlenmiştir (Bonacci, 1998).

Hızlandırılmış korozyon, elektrokimyasal olarak her bir numunede anot ve katot olarak kabul edilen bölgelerde düşük seviyede elektrik akımı uygulanmasıyla elde edilir. S.P. Tastani (2004) tarafından yapılan bir çalışmada 6V'luk akımın laboratuvar ortamında doğadaki korozyon ile aynı seviyede korozyon elde etmek için uygun olduğu gözlenmiştir (S.P. Tastani, 2004).

Doğada bulunan korozyonu laboratuvar ortamına taşımak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılanları; yüksek ve ani sıcaklık ya da nem değişimine tabi tutma, yüksek klor, karbondioksit ya da oksijen çözeltisi ekleme gibi yöntemler vardır. Bunlar içinde en iyi yöntem ne tür bir korozyon istendiğine göre değişir. Mesela karbonatlaşma etkisini incelemek için yüksek karbondioksit çözeltisi, galvanik korozyon için yüksek sıcaklık, ıslanma – kuruma çevrimleri ve yüksek klor çözeltisi kullanılabilir (Zhang, 2005).

2.3. Çalışmanın Literatürdeki Yeri

Korozyon hasarlı betonarme elemanların deprem performansına etkisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle yurt dışında yapıldığı için, Türkiye'deki yapılarda tipik olarak görülen yetersizlikler ve uygulama hataları dikkate alınmamıştır. Burada korozyonun betonarme elemanların deprem performansına etkisi üzerine, özellikle son yıllarda yapılmış olan, deneysel çalışmalara özet bir şekilde değinilmiştir.

Tsukuda ve diğerleri (1993) tarafından yapılan çalışmada; 100×200 mm boyundaki beton silindirlere Ø13 mm çapında çelik donatı gömülerek 28 gün suda kür uygulanmış ve ıslanma-kuruma etkisi altında korozyon oluşumu, polarizasyon direnci, yarı hücre potansiyeli gibi elektrokimyasal yöntemler ve ağırlık kaybı, korozyona uğrayan bölgenin ölçülmesi gibi gözleme dayalı yöntemlerle takip edilmiştir. 3 farklı su/çimento oranı, 6 farklı klor konsantrasyonu ve 2 farklı paspayı ile üretilen numunelere inhibitör eklenmesi ve ıslanma-kuruma çevrimleri uygulanması durumunda korozyon hızı gözlenmiş, ıslanma–kuruma çevrimleri uygulanan numunelerde korozyon hızının arttığı görülmüştür.

Li (2000) tarafından yapılan çalışmada; donatıları korozyona uğramış betonarme kirişlerin farklı su/çimento oranlarında, farklı tip çimentolarla, farklı beton paspayı kalınlıklarında, farklı çatlak kalınlıklarında ve farklı yükleme koşullarında (sürekli yükleme, çatlak oluşana kadar yükleme-çatlak oluştuktan sonra yüklemenin geri çekilmesi, yükleme yapılmadan) analizi yapılmıştır. Numune yüzeyindeki çatlaklardan NaCl çözeltisi püskürtülmüştür. Her bir ıslatma-kuruma döngüsünde yarı-hücre potansiyeli ve doğrusal polarizasyon yöntemleri ile korozyon hızı ölçülmüştür. Numuneler beton katmanlara ayrılarak klor içeriği belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda yüklemekten dolayı oluşan ve 0.1 mm'den az olan çatlaklarda yükün çatlağı sürekli açık tutması sebebiyle klor girişinin ve korozyonun başlamasının hızlandığı, çatlak genişliğinin 0.1 mm'den az olması ile zaman içinde bu çatlakların arasına toz girmesi ve çimentonun hidrasyonu ile çatlakların kendi kendine iyileşebildiği ve bu durumun klor girişini engellediği, çatlak genişliğinin 0.1 mm'den fazla olması durumunda ise beton paspayının klor girişine etkisinin çok az olduğu gözlenmiştir.

Bousias ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada; yönetmeliklere uygun olmayacak şekilde tasarlanan on iki adet 1.6 m yüksekliğinde, 250 x 500 mm boyutlarında, 4 adet $\Phi 18$ boyuna, 200 mm aralıklarla $\Phi 8$ enine donatıya sahip konsol kolon, korozyona maruz bırakılıp FRP ile güçlendirilerek şekil değiştirme, dayanım açısından incelenmiştir. Döküm sırasında bunun için C12 beton dayanımına sahip hazır beton ile suyun ağırlığının %3'ü kadar tuz katılmıştır. Kolonlar 1 m'ye kadar hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmıştır. 3.5 ay sonunda yaklaşık 1 kg kütle kaybına ulaşıncaya kadar Faraday kanununa göre ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılmıştır. FRP'nin sargı sayısı, malzemesi, onarılmamış ön hasarın etkisi, farklı oranlarda FRP kullanılmasının eğilme ve kesme açısından önemi incelenmiştir. Sonuç olarak depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış numuneler üzerinde FRP sargısının tabanda eğilme kapasitesi ile kontrol edilen ve donatı alanındaki kayıptan etkilenen dayanımı arttırmadığı, ancak çarpıcı şekilde öteleme kapasitesini geleneksel sargılama yöntemlerinin ötesinde arttırdığı gözlenmiştir. Korozyonun donatı sünekliğini azalttığı bu yüzden FRP sargılamanın dayanım açısından güçlendirmesini sınırladığı görülmüştür. FRP ile güçlendirmenin donatının akmasını hafiflettiği, hasarsız numuneye göre dayanım kapasitesini düşürdüğü

belirlenmiştir. Kolonun güçlü yönünde ikiden fazla sargılamanın dayanım kapasitesini arttırmadığı görülmüştür.

Qian ve Chagnon (2001) tarafından yapılan çalışmada; eski bir köprüden alınan 4 döşeme üzerinde korozyon ölçme teknikleri olan yarı hücre potansiyeli, doğrusal polarizasyon, beton direnci ve klorid iyon konsantrasyonu ölçümleri yapılmış ve donatı korozyonunun durumu değerlendirilmiştir. 3150 mm uzunluğa, 1150 mm genişliğe ve 140 mm paspayına sahip döşemelerde 230 mm aralıkla 5 adet $\Phi 15$ boyuna donatı, 450 mm aralıkla 6 adet $\Phi 12$ enine donatı yerleştirilmiş olduğu, döşeme üstündeki betonda kopma şeklinde ayrılmalar olmadığı sadece eski beton ile yeni katman arasında birkaç yatay çatlak bulunduğu belirtilmiştir. Korozyon ölçümlerinden sonra paspayı kaldırılmış ve korozyon ölçümlerinin yapıldığı yerdeki donatılarda hiç pas gözlenmeyen durum 1. seviye, yüzeyde çok az pas görülen durum 2. seviye, kalın bir pas tabakasının olduğu durum 3. korozyon seviyesi olmak üzere 3 ayrı korozyon seviyesi tespit edilmiştir. Bu bilgiler altında şu sonuçlara varılmıştır; Beton paspayının elektrik direnci ölçümü için gecor 6 ile yapılan ölçüm sonucunda beton direncinin en üst katmandaki betondaki nemden ve agrega dağılımından etkilendiği, en çok korozyonlu donatılar (seviye 3) beton direncinin en az olduğu yerde bulunduğu, az korozyona uğramış donatıların (seviye 1) yüksek beton direncinin olduğu yerde gerçekleştiği belirtilmiştir. Yağmur suları klor iyonlarını yıkayarak azalttığı için yüzeyde klorid içeriği daha az olduğu görülmüştür. Yarı hücre potansiyeli ölçümleri sonucunda; donatı yüzeyindeki oksijen konsantrasyonundan önemli derecede etkilendiği, daha negatif potansiyele sahip olanlar döşemelerde daha fazla korozyon olma ihtimali gözlenmiştir. Donatı korozyon hızının belirlenmesi için doğrusal polarizasyon tekniği ile ölçüm yapıldığında, korozyon durumu düşük olan betonlarda düşük korozyon hızı belirlenmiştir.

Pantazopoulou ve diğerleri (2001) tarafından yapılan çalışmada; donatı oranı %1.7 (3 adet $\Phi 10$ çapında boyuna donatı) olan, 150 mm çap ve 300 mm yüksekliğindeki 50 adet dairesel kolon hızlandırılmış korozyon işlemine maruz bırakılmıştır. Hızlandırılmış korozyon işlemi için anot olarak kabul edilen boyuna donatı ile katot olarak kabul edilen, epoksi kaplı olarak kolon merkezine yerleştirilen ilave $\Phi 10$ boyuna donatı güç sağlayıcıya bağlanmıştır.

2 farklı enine donatı kullanılmıştır: 25 adet numune (S serisi) spiral sargılama ile, 25 adet numune (H serisi) en altta ve en üstte 2 üçgen kanca ile sargılanmıştır.

5~6 ay süren bu işlemler sırasında periyodik olarak voltaj, akım ve çevresel genişleme ölçümleri (orta nokta, ± 75 mm alt ve üst noktalardan) yapılmıştır. Donatıdaki kütle kaybı Faraday Kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. S serisindeki donatı alanının daha fazla olması sonucu bu numunelerin elektrik direncinin daha fazla olması ve korozyon ürünlerinin ortaya çıkmasıyla meydana gelen genişleyen kuvvetlerin spiral donatı ile alınması sebebiyle H serisindeki hasar S serisinden daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Korozyon hızı üzerinde farklı onarım yöntemlerinin etkisini belirlemek amacıyla elektrik akımı ve radyal genişleme şekil değiştirmeleri sürekli olarak ölçülmüştür. Onarım yapılmadan önce radyal genişlemenin donatıdaki kesit kaybı ile orantılı olduğu, az genişleyen numunelerde daha az kesit kaybı olduğu ve akım geçişine daha dirençli olduğu gözlenmiştir.

Öngerilmeli sargılamanın en önemli etkisinin, kanca yönündeki sargının şekildeğiştirme kapasitesini azalttığı bunun sonucunda da düşük yanal şekil değiştirmelerde dayanımını kaybettiği belirtilmiştir.

Cam lifli polimer ile sargılamanın dayanım ve sünekliği arttırdığı, 2. güçlendirme yöntemi kullanılarak yapılan onarım sonrasında donatıda kesit kaybının çok az olması, dayanım artışı olması, mekanik yük etkisinde davranışın sünek olması nedeniyle diğer güçlendirme yöntemlerinin içinde en iyi performansın elde edildiği belirtilmiştir. Onarım yapıldıktan sonra S serisi numuneleri hızlandırılmış korozyon işlemine tabi tutularak cam lifli polimer sargının genişlemesine neden olduğu, H serisine hızlandırılmış korozyon işlemi uygulanmadığı için H serisi numunelerinin S serisi numunelerinden daha iyi performans gösterdiği, S serisinde olduğu gibi genişleyen harç ile öngerilmeli sargılama beklendiği gibi davranışı iyileştirmede, ankraj bölgesinde veya sargılama ile genişleyen harç düşük deformasyon seviyelerinde dayanım kaybını hızlandırdığı ve daha gevrek modda gerçekleştiği, lifli polimer sargı sayısı arttıkça performansın önemli derecede arttığı, onarımın en kritik detayının her bir katmana yeterli ankraj yapılması olduğu, genişleyen harç ile sargıya öngerme vermenin onarımın performansını arttırmadığı, sargının mevcut

deformasyon kapasitesinin harcın etkisiyle genişleyen kuvvetler nedeniyle azaldığı, onarılmış sistemin dayanımı ve deformasyon kapasitesinin artmadığı gözlenmiştir

Wootton ve diğerleri (2003) tarafından yapılan çalışmada; korozyona uğramış düz donatılı silindir betonarme çekip çıkartma numuneler üzerinde karbon lifli polimer ile farklı epoksi tiplerinde, farklı sargı kalınlıklarında ve farklı yönlerde lifli polimer uygulamasının analizleri yapılmış ve lifli polimerin göçme modu deneysel olarak araştırılmıştır. Numunelerin yan ve taban yüzeyleri epoksi ile kaplanacak şekilde epoksi sıvısı ile dolu bir kabın içine daldırılarak; epoksi ile güçlendirme yapılmıştır. Lifli polimer ile güçlendirme; ağırlık oranına göre yüksek rijitlik ve yüksek dayanıma sahip olması ve korozyona karşı dayanıklı olması sebebiyle tercih edilmiştir. Yalnızca epoksi ile sargılanan numunelerde lifli polimer ile sargılamaya göre korozyon etkisiyle donatı yüzeyinde daha fazla kesit kaybı ve erken dayanım kaybı olduğu belirtilmiştir. Kullanılan epoksi tipinin numunelere klor girişini engelleyerek korozyona karşı direnç göstermede numune performansına etkisinin olduğu gözlenmiştir. Lifli polimer kullanılarak yapılan sargılama yalnızca epoksi kullanılarak yapılan sargılamadan daha iyi performans göstermiştir. Referans numunelerinde kesit kaybı lifli polimer ile sargılanan numunelere göre 2 kat daha fazla olmuştur. 1 kat lifli polimer ile sargılamanın, 2 kat lifli polimer ile sargılamaya göre daha etkin olduğu ancak 3 kat lifli polimer ile sargılamanın 2 kat lifli polimer ile sargılamaya göre fazla etkili olmadığı, 2 kat lifli polimer ile sargılamanın, korozyondan dolayı betonda oluşan genişlemeyi sınırlamakta yeterli olduğu görülmüştür. En etkili sargılama yönünün radyal yönde olduğu sonucuna varılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Numune Özellikleri

3.1.1. Numunelerin Tasarlanması

Korozyonun betonarme kolonların deprem performansına etkisi tezi kapsamında korozyonun; kolonlara olan etkisini incelemek için basit bir numune tasarımı yapılmıştır. Bunun için; dikdörtgen bir temel üzerine oturtulmuş, konsol bir kolon tasarlanmıştır. Kolonun yapısı ise Türkiye’de mevcut ve mühendislik açısından eksik yönleri olacak biçimde; düşük beton dayanımına sahip, düz donatılı ve birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmadan tasarlanmıştır.

Kullanılacak beton C12, donatı S220 olarak seçildi. Üretim öncesi yapılan hesaplamalar ve kontroller bu bilgiler ışığında yapılmıştır. Yapılan kontroller numuneler eğilmeden göçecek şekilde hesaplanmıştır.

$b = 200 \text{ mm}$

$h = 300 \text{ mm}$

28 günlük silindir beton basınç dayanımı $f'_c = 12 \text{ MPa}$

Boyuna donatı adet ve çapı = $4\varnothing 14$

Boyuna donatı sınıfı= S220

Boyuna donatı ortalama akma dayanımı = 220 MPa

Enine donatı çap ve aralığı (deney bölgesinde)= $\varnothing 8/200$

Enine donatı çap ve aralığı (deney bölgesi dışında)= $\varnothing 8/200$

Enine donatı sınıfı = S220

Enine donatı akma dayanımı = 220 MPa

Tasarımda eksenel yük oranı $v \cong \%50$

Eksenel yük kapasitesi $N_{kap} = 0.5 \cdot f'_c \cdot b \cdot h = 0.5 \cdot 12 \cdot 200 \cdot 300 = 360000 \text{ N}$

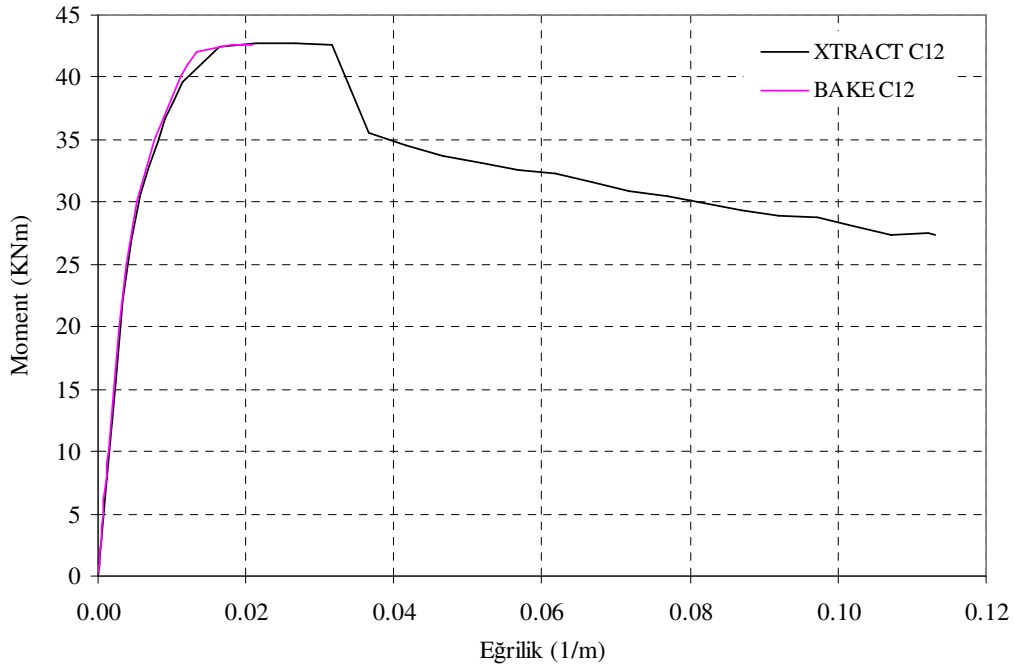
Xtract kesit analiz programı ile Mander Modeli kullanılarak moment kapasite hesabı yapıldığında; $M = 42.77 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur.

Bake kesit analiz programı ile Mander Modeli kullanılarak moment kapasite hesabı yapıldığında; $M = 43.183 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur.

Betonun elastisite modülü hesaplanırken; beton basınç dayanımı 16 MPa 'ın çok altında olduğu için; $\varepsilon = 4700\sqrt{f'_c}$ formülü kullanılmıştır (ACI 318-99). Buna göre;

$$\varepsilon = 4700\sqrt{12} = 16300 \text{ MPa} \text{ olarak alınmıştır.}$$

Xtract ve Bake kesit analiz programları kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Moment – Eğrilik İlişkisi

Kayma hesabı;

Moment kapasitesine karşı gelen tasarım kesme kuvveti hesaplandığında;

$$V_e = \frac{M}{h} = \frac{42770}{1.20} = 35642 \text{ N} \quad (3.1)$$

Kesme Kuvveti Kapasitesi;

$$f_{ctk} = 0.35 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (3.2)$$

deneyde kullanılması sebebiyle $f_{ctd} = f_{ctk}$ olarak kabul edilmiştir.

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctk} \cdot b \cdot d \quad (3.3)$$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot 0.35 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot (h - d) \cdot \left(1 + \gamma \cdot \frac{N}{b \cdot h}\right) \quad (3.4)$$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot 0.35 \cdot \sqrt{12} \cdot 200 \cdot (300 - 35) \cdot \left(1 + 0.07 \cdot \frac{360000}{200 \cdot 300}\right) = 59311 \text{ N} \quad (3.5)$$

Eksenel basınç durumunda $\gamma = 0.07$ olarak alınır. (TS-500)

Betonun taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti miktarı;

$$V_c = 0.8 \cdot V_{cr} = 0.8 \cdot 59311 = 47449 \text{ N} \quad (3.6)$$

Etriyenin taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti miktarı;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yw} \cdot d \quad (3.7)$$

$$V_w = \frac{2\pi 8^2 / 4}{200} \cdot 220 \cdot (300 - 20 - 4) = 30521 \text{ N} \quad (3.8)$$

Toplam kesme kuvveti miktarı;

$$V_r = V_c + V_w = 47449 + 30521 = 77970 \text{ N} \quad (3.9)$$

Kesme kuvveti üst sınırı;

$$V_{mak} \leq 0.22 \cdot f'_c \cdot b \cdot d = 0.22 \cdot 12 \cdot 200 \cdot (300 - 35) = 139920 \text{ N} \quad (3.10)$$

Yapılan kontroller sonucunda üretilen numunelerin kesme nedeniyle göçmediği, istenildiği gibi eğilme nedeniyle göçeceği görülmüştür.

3.1.2. Numunelerin Özellikleri

Enkesitleri 200 mm × 300 mm ve yüksekliği 1390 mm olan konsol kolonlar, 700 × 700 × 500 mm boyutunda bir temel üzerine oturtulmuştur.

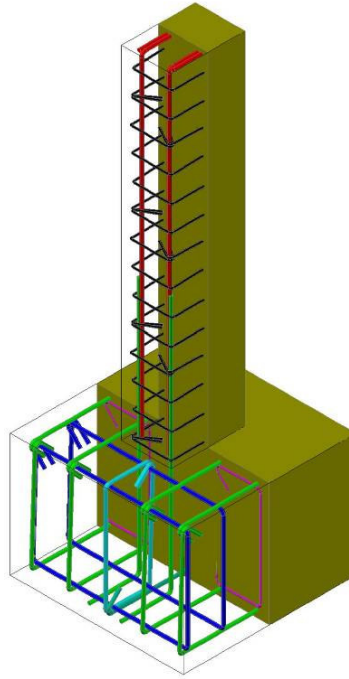
Numuneler; düşük dayanımlı ($f'_c \leq 10$ MPa) beton kullanılarak hazırlanmış, S220 kalitesinde düz yüzeyli donatı kullanılmıştır. Kolon sarılma bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Temelde C30 betonu ve S420 donatısı kullanılmış, bir adet numune referans numunesi olarak alınarak diğer numunelere beton dökümü sırasında çimento ağırlığının %4'ü oranında CaCl_2 çözeltisi ilave edilmiştir.

LS; düşük dayanım (Low Strength), C; korozyon (Corrosion) , 0, 1 ve 2 sayıları ise korozyon seviyesini temsil etmektedir. Numunelere ait beton ve donatı özellikleri ile deneyler sırasındaki korozyon düzeyleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

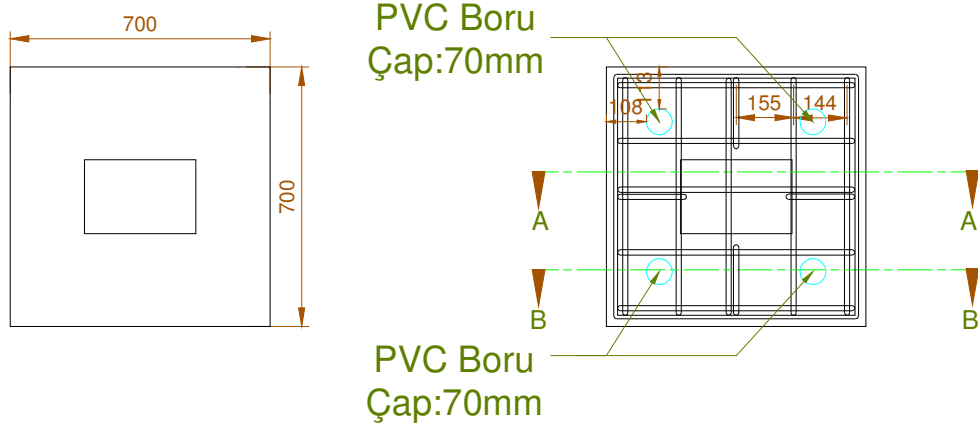
Tablo 3.1: Deney Numunelerinin Özellikleri

Numune Adı	Beton Basınç Dayanımı Kolon (MPa)	Beton Basınç Dayanımı Temel (MPa)	Temel Donatıları	Kolon Donatıları	Korozyon Düzeyi
LS-C0	4	30	S420	S220	YOK
LS-C1	4	30	S420	S220	1. seviye
LS-C2	4	30	S420	S220	2. seviye

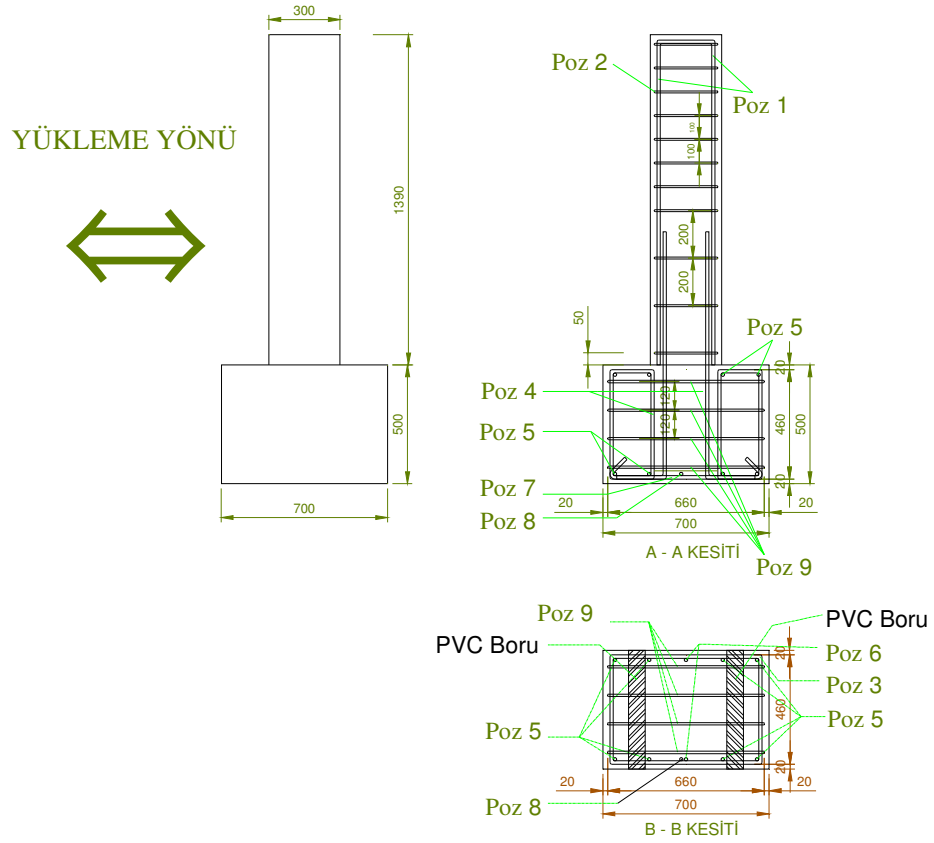
İmal edilen numunelerin izometrik görünüşü Şekil 3.2’te, planda görünüşü Şekil 3.3’te, boy kesitleri Şekil 3.4’de, kullanılan donatı açılımları Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



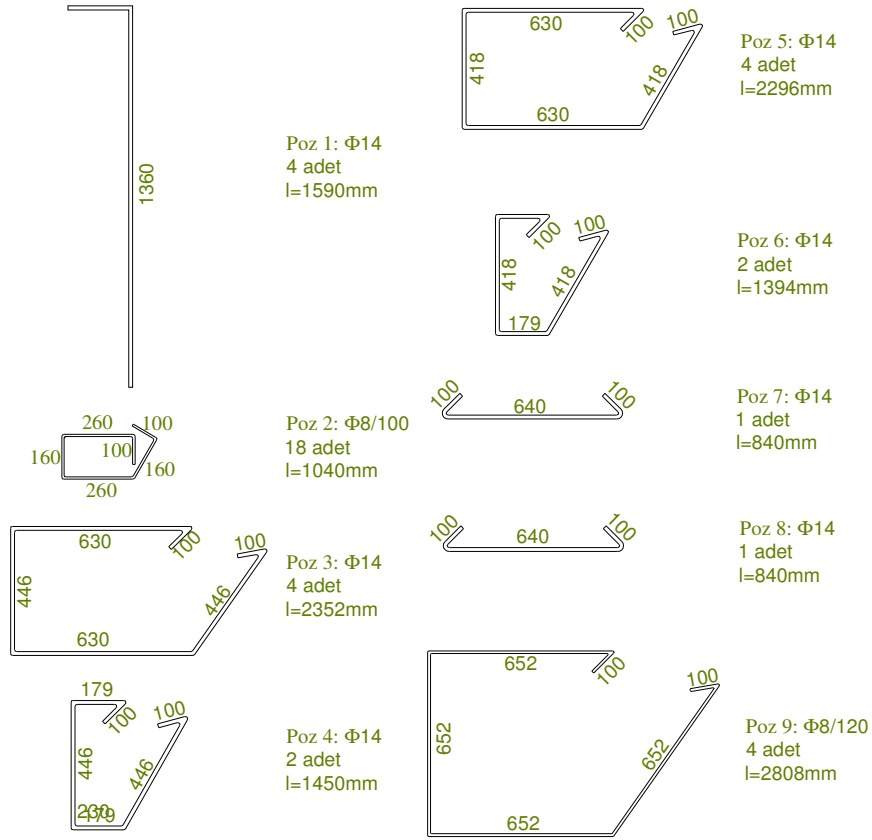
Şekil 3.2 : Numune İzometrik Görünüş



Şekil 3.3 : Numune Plan Görünümü



Şekil 3.4 : Numune Boy Kesiti



Şekil 3.5 : Numune Donatı Açılımları

3.1.3. Malzeme Özellikleri

3.1.3.1. Beton

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğu için hesaplarda dikkate alınmaz. Betonun basınç altındaki davranışını belirleyen gerilme – birim deformasyon ($\sigma - \epsilon$) eğrileri, 150x300 mm’lik Standard silindir eksenel basınç altında denenmesinden elde edilir. Bu deneylerde uygulanan yük, silindirin kesit alanına bölünerek gerilme hesaplanır (Ersoy ve Özcebe, 2004).

Temel betonu NUH Beton A.Ş.’den temin edilmiştir. Temelde kullanılan beton özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 : İrsaliye Raporu

Firma :	Nuh Beton A.Ş.
Sınıfı :	C30
Kıvam :	S4
D_{max} :	22
Klorür İçeriği :	0,2
Çimento Tipi :	PÇ 42.5

Beton içinde bulunan malzeme miktarları Tablo 3.3'teki gibidir.

Tablo 3.3: Malzeme Miktarları

	Miktarı : (kg/m ³)
Çimento :	252
Kül :	148
Su :	240
Kırma Kum :	398
Kum :	306,5
Kırma Taş 1 (≤ 12 mm) :	399
Kırma Taş 2 (≤ 22 mm):	481
TOPLAM :	2224,5
Su / Bağlayıcı :	0,60

Agrega özellikleri ve menşeleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Agreg a Özellikleri

Agrega	Dane Çapı	Menşei
Kırmataş kumu	d/D=0/4 mm	Kıbsaş
Doğal kum	d/D=0/1 mm	Seç Madencilik
Kırmataş 1	d/D=4/16 mm	Kıbsaş
Kırmataş 2	d/D=8/22 mm	Kıbsaş

Taze betonda çökme ve yayılma çapını belirlemek amacı ile 3 ayrı çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyi için 300 mm yüksekliğinde, alt ve üst çapları 200 mm ve 100 mm olan tabanı kesik koni kullanılmıştır. Koninin doldurulması 3 defada yapılmış ve her doldurma işleminin ardından uzun demir bir çubukla beton 25 defa şişlenerek iyi bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır. Koninin tamamı doldurulduktan sonra 3 dakika beklenerek koni yavaşça çekilmiştir. Koni çekildikten sonra, yayılma çapı ve çökme ölçülmüştür. Çökme ve yayılma deneyi sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 : Taze Beton Temel Betonu Çökme ve Yayılma Deneyleri

No:	Çökme	Yayılma
1. mikser	(mm)	(mm)
1	130 - 160	220 - 260
2	180	300
3	170 - 190	290
2. mikser		
4	215	300 - 340
5	240 - 250	300 - 400
6	195 - 210	270

Çalışma kapsamına uygun olması bakımından ülkemizde mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan beton kalitesi kullanılmıştır. Kolon betonu Oyak Beton A.Ş.'den temin edilmiştir. Kolonlarda kullanılan beton karışımı özellikleri Tablo 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.6: İrsaliye Raporu

Firma :	Oyak Beton A.Ş.
Sınıfı :	C - 14 / 16 Hazır
Kıvam :	150 mm
D_{max} :	120 mm
Klorür İçeriği :	CL0.2

Beton içinde bulunan karışım oranları ve menşeleri Tablo 3.7’teki gibidir.

Tablo 3.7: Karışım Oranları

	Özellik	Menşei	(kg/m³)
Kırma Kum 1	0 - 3 mm	Gebze TCT Firması	672
Kırma Kum 2	0 - 5 mm	Gebze TCT Firması	573,71
1 No.lu Agrega	5 - 12 mm	Gebze TCT Firması	666,29
Çimento	CEM2 42.5R	Bolu Çimento Fb.	197,14
Su			188,57
		TOPLAM :	2297,71

Çimento Özellikleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: Çimento Özellikleri

CEM II Portland-Kompoze Çimento					
Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz başlama süresi (dakika)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım	Standart Dayanım			
	2 Günlük	28 günlük			
42.5 R	≥ 20,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10

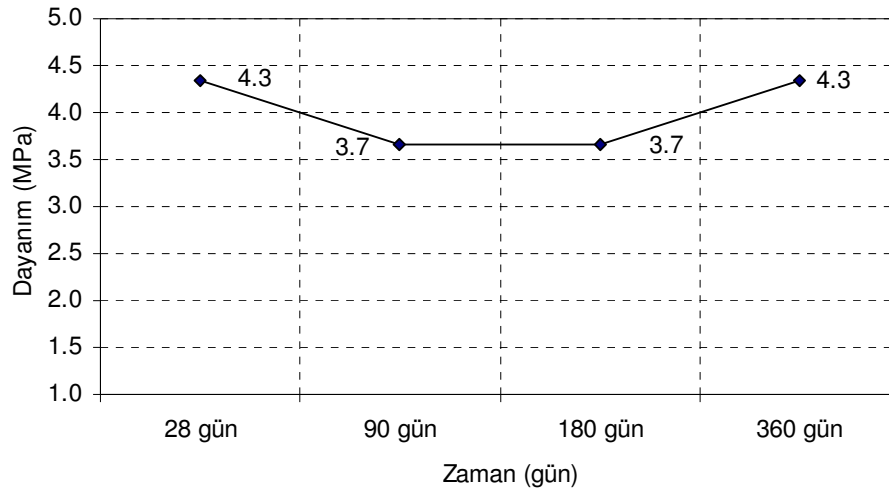
Çökme ve yayılma deneyi sonuçları Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9 : Taze Beton Kolon Beton Çökme ve Yayılma Deneyleri

	No	Çökme (mm)	Yayılma (mm)
Tuz Katkısız	1	195 - 220	320 - 290
	2	210 - 225	310 - 340
Tuz Katkılı	3	230 - 190	330 – 300
	4	260 - 220	370 - 320
	5	220 - 190	270 – 270
	6	200 - 210	310 – 300
	7	140	240

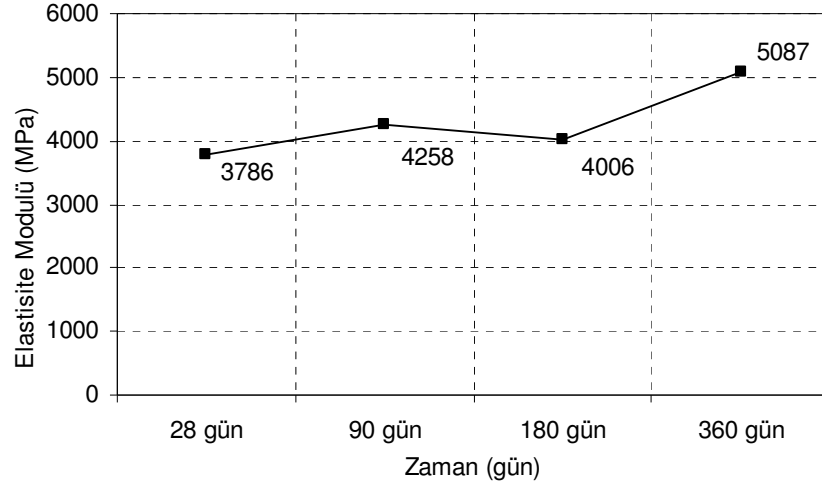
Farklı yaşlarda beton basınç dayanımının belirlenmesi amacı ile 15 adet 150 mm × 300 mm boyutlarında standart silindir numunesi alınmıştır. Standart silindir numunelerinin hazırlamasında ve betonun yerleştirilmesinde çökme deneyinde dikkat edilen unsurlar göz önüne alınmıştır. Standart silindirler dış ortamdan uzaklaştırılmış deney gününe kadar laboratuarda kolon numuneleri ile aynı koşullarda saklanmıştır. Kür amacı ile standart silindirler ve kolon numuneler 7 gün boyunca nemli

tutulmuştur. Standart silindir numuneler 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme cihazı kullanılarak eksenel basınç deneyine tabi tutulmuştur. Şekildeğiştirmelerin belirlenmesi amacı ile TML CM-15 ölçüm çerçevesi ve 2 adet yerdeğiştirmeölçerler (CDP25) kullanılmıştır. Bu çerçeve üzerinde bulunan hassas yerdeğiştirmeölçerler (TML CDP5) ile standart silindir numunenin ortasında 150 mm yüksekliğindeki bölgede oluşan ortalama şekildeğiştirmeler belirlenebilmektedir. Silindir numunenin iki yanına yerleştirilen diğer yerdeğiştirmeölçerler ile toplam boyda oluşan yerdeğiştirmeler ölçülüp, bu ölçümlerden yararlanılarak tüm boydaki ortalama şekildeğiştirmeler belirlenmektedir. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme verileri TML TDS-303 veri toplayıcı kullanılarak saklanmış, daha sonra elle kaydedilen yük değerleri ile birlikte bilgisayarda işlenerek beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Kolon numunelerine ait 28, 90, 180, 360 günlük ortalama standart silindir basınç deneyi sonuçları Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Ortalama Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

Numuneler için elastisite modülü belirlenirken, gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde yaklaşık olarak dayanımın %5 ve %45’i arasında elde edilen deneysel noktalar arasından en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir doğru geçirilmiş, belirlenen doğrunun eğimi elastisite modülü olarak kabul edilmiştir. Kolon numunelerine ait 28, 90, 180, 360 günlük ortalama standart silindir basınç deneyi sonuçlarına göre elde edilen ortalama elastisite modülleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



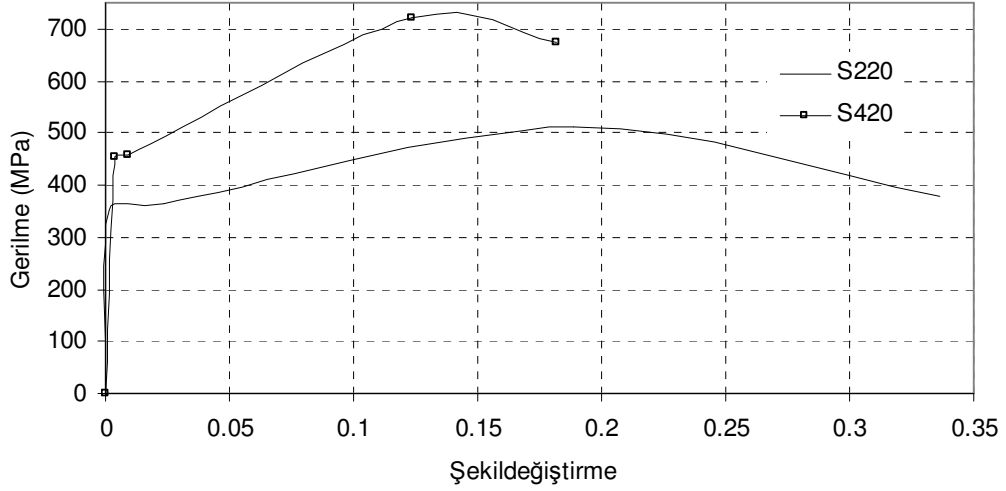
Şekil 3.7 : Elastisite Modülü Sonuçları

3.1.3.2. Donatı

Çelik, çekme ve basınç altında benzer özellikler gösteren bir malzemedir. Çeliğin gerilme – birim deformasyon özellikleri, genellikle çekme deneylerinden elde edilir. (Ersoy ve Özcebe, 2004). Çalışmanın amacına uygun olması bakımından kolonlarda hem boyuna, hem de enine donatı için düz yüzeyli St220, temellerde ise hem boyuna, hem de enine donatı için St420 kalitesinde nervürlü donatı çeliği kullanılması tasarlanmıştır. Tasarım ve numune üretimi öncesinde kullanılacak çeliğin beklenen dayanıma sahip olup olmadığını anlamak üzere standartlara uygun olarak (TS 708 (1985), Beton Çelik Çubukları) 10.02.2006 tarihinde çelik çekme deneyi yapılmıştır (Tablo 3.10). Çekme deneylerinde 200 kN kapasiteli Alfred J.Amsler marka mekanik çekme cihazı kullanılmıştır. Her donatının gerçek çapı kompas ile en az üç kere ölçülerek bulunmuştur. Çekme deneyi sırasında donatılarda oluşan uzamaları kaydedebilmek için ekstansometre kullanılmıştır. Ekstansometrenin ölçüm boyu 100 mm, hassasiyeti 1/100 mm.dir. Ekstansometrede okunan belli yerdeğiştirme seviyelerinde etkitilen çekme kuvveti deney boyunca elle kaydedilmiş ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 3.8).

Tablo 3.10 : Donatı Çeliği Malzeme Özellikleri

	S220		S420	
	Gerilme (Mpa)	Şekildeğiştirme	Gerilme (Mpa)	Şekildeğiştirme
Akma	352.2	0.0018	455.6	0.0035
Pekleşme	362.4	0.0233	457.8	0.0088
Maksimum	512.5	0.1887	722.2	0.1238
Kopma	377.7	0.3366	673.1	0.1822
Elastisite Modülü	198538		172163	



Şekil 3.8 : Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi

3.1.4. Tasarımın Güncellenmesi

Malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre numune tasarımı tekrardan yapılmış ve hesaplar kontrol edilmiştir.

Numuneler üretildikten sonra 28 günlük standart silindir deneyleri sonucu numune dayanımlarının $f'_c = 4$ MPa olduğu gözlenmiştir. Bundan sonra hesaplamalar kontrol edilerek tekrar yapılmıştır.

Sonuçta üretilen numunelere ait boyut ve malzeme özelliklerine göre yapılan kontroller aşağıdaki gibidir.

28 günlük silindir beton basınç dayanımı $f'_c = 4$ MPa

Boyuna donatı adet ve çapı = 4Ø14 (ölçülen çap 14.3 mm)

Boyuna donatı sınıfı= S220

Boyuna donatı ortalama akma dayanımı = 352.2 MPa

Enine donatı çap ve aralığı (deney bölgesinde)= Ø8/200 (ölçülen çap 8.2 mm)

Enine donatı çap ve aralığı (deney bölgesi dışında)= Ø8/200

Enine donatı sınıfı = S220

Enine donatı akma dayanımı = 378.2 MPa

Tasarımda eksenel yük oranı $v \cong \%50$

Eksenel yük kapasitesi $N_{kap} = 1.0 \cdot f'_c \cdot b \cdot h = 0.5 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 300 = 240000 \text{ N}$ (3.11)

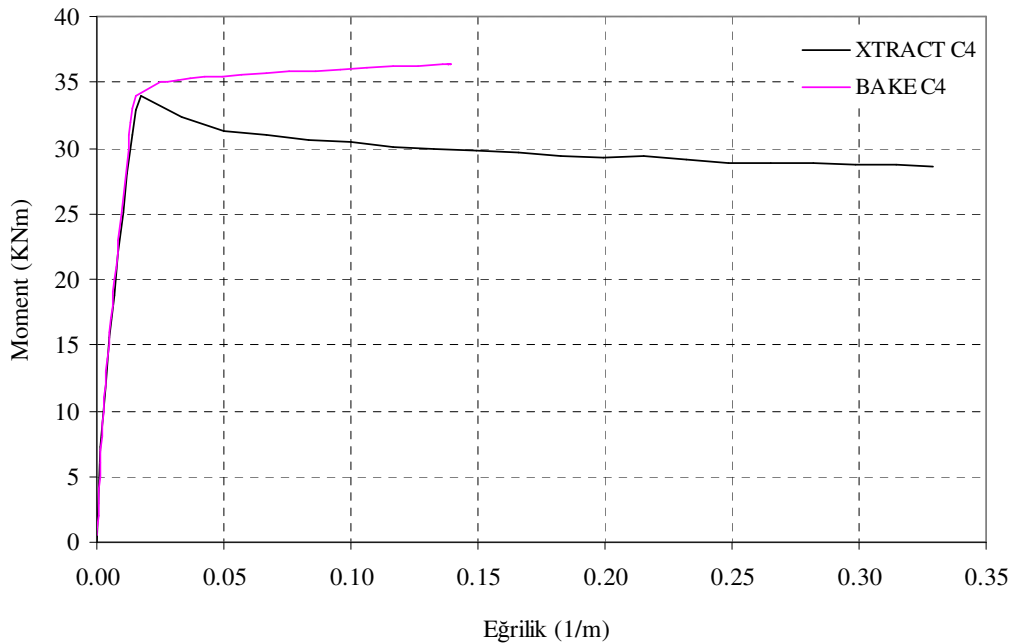
Xtract kesit analiz programı ile Mander Modeli kullanılarak moment kapasite hesabı yapıldığında; $M = 35340 \text{ Nm}$ olarak bulunmuştur.

Bake kesit analiz programı ile Mander Modeli kullanılarak moment kapasite hesabı yapıldığında; $M = 36431 \text{ Nm}$ olarak bulunmuştur.

Betonun elastisite modülü hesaplanırken; beton basınç dayanımı 16 MPa'ın altında olduğu için; ACI $\varepsilon = 4700\sqrt{f'_c}$ formülü kullanılmıştır. Buna göre;

$\varepsilon = 4700\sqrt{4} = 9400 \text{ MPa}$ olarak alınmıştır.

Xtract ve Bake kesit analiz programları kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Moment – Eğrilik İlişkisi

Kayma hesabı;

Moment kapasitesine karşı gelen tasarım kesme kuvveti hesaplandığında;

$$V_e = \frac{M}{h} = \frac{35340}{1.20} = 29450 N \quad (3.12)$$

Kesme Kuvveti Kapasitesi;

$$f_{ctk} = 0.35 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (3.13)$$

deneyde kullanılması sebebiyle $f_{ctd} = f_{ctk}$ olarak kabul edilmiştir.

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctk} \cdot b_w \cdot d \quad (3.14)$$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot 0.35 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot (h - d) \cdot \left(1 + \gamma \cdot \frac{N}{b \cdot h}\right) \quad (3.15)$$

$$= 0.65 \cdot 0.35 \cdot \sqrt{4} \cdot 200 \cdot (300 - 35) \cdot \left(1 + 0.07 \cdot \frac{120000}{200 \cdot 300}\right) = 27491 N \quad (3.16)$$

Eksenel basınç durumunda $\gamma = 0.07$ olarak alınır. (TS-500)

Betonun taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti miktarı;

$$V_c = 0.8 \cdot V_{cr} = 0.8 \cdot 27491 = 21993 N \quad (3.17)$$

Etriyenin taşıyabileceği en büyük kesme kuvveti miktarı;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yw} \cdot d \quad (3.18)$$

$$V_w = \frac{2\pi(8.2)^2/4}{200} \cdot 220 \cdot (300 - 20 - 4) = 32066 N \quad (3.19)$$

Toplam kesme kuvveti miktarı;

$$V_r = V_c + V_w = 21993 + 32066 = 54059 N \quad (3.20)$$

Kesme kuvveti üst sınırı;

$$V_{mak} \leq 0.22 \cdot f'_c \cdot b \cdot d = 0.22 \cdot 4 \cdot 200 \cdot (300 - 35) = 46640 N \quad (3.21)$$

Yapılan kontroller sonucunda üretilen numunelerin kesme nedeniyle göçmediği, istenildiği gibi eğilme nedeniyle göçeceği görülmüştür.

3.1.5. Numunelerin Üretimi

Numuneler 25.03.06 tarihinde Telateks firmasında üretilmeye başlanmıştır. 16.06.06 tarihinde kolon betonu dökülerek üretim sona ermiştir. Üretim iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak numunelere ait temellerin betonları dökülmüş olup (05.04.06); ikinci aşamada kolonlar dökülmüştür (16.06.06). 01.09.06 tarihine kadar numuneler Telateks firmasında tutulduktan sonra İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir.

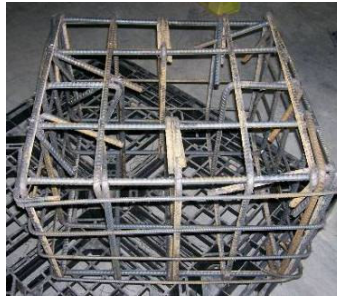
3.1.5.1. Temeller

Tüm numunelerin temelleri için çelik ve ahşap kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 3.10).



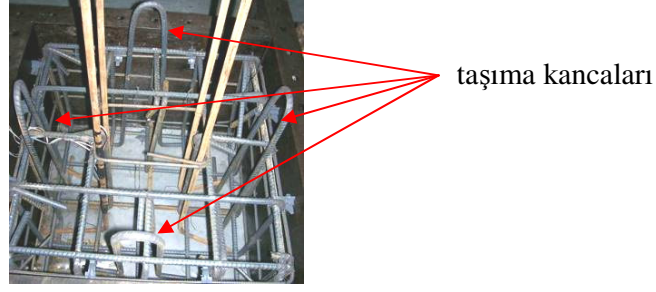
Şekil 3.10 : Çelik Ve Ahşap Kalıplar

LS-C0 ve LS-C1 numunelerinin temel filizlerinde de şekildeğiştirmeölçerler mevcut olup LS-C2 numunesinde yoktur. Şekildeğiştirmeölçerler kolon filiz donatılarının üzerine yapıştırılarak temel iskeleti kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.11



Şekil 3.11 : Temel Donatısı

Numuneleri taşımak için temelin dört tarafında bırakılan kancalar, alt uzantıları tüm donatıların altında olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Taşıma Kancaları

Laboratuvarda numuneleri adaptör temele monte etmek için temelde, beton dökümünden sonra delik kalmasını sağlayacak şekilde 70 mm çapında dört adet plastik PVC boru ile delikler bırakılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Plastik PVC Boru Yerleşimi

Numunelerin temel betonu Nuh Beton A.Ş. tarafından imal edilip 05.04.2006 tarihinde dökülmüştür (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Temel Betonu Dökümü

Betonun iyi yerleşmesini sağlamak amacıyla vibrasyon işlemi yapılmıştır. Temel betonu dökülürken 28 günlük basınç dayanımı testi yapmak için altı adet standart silindir numunesi alınmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : Standart Silindir Numunesi

Beton dökümü sırasında altı adet çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Beton Çökme ve Yayılma Deneyleri

Temele beton dökümünden sonra altı gün süre ile kür uygulanmıştır. Bunun için numuneler musluk suyu ile sabah ve akşam sulanmıştır. Numunelerin üstü TELA adı verilen geçirgenliği düşük olan bir kumaşla kapatılmıştır (Şekil 3.17). Bu örtü nem tutucu olduğu suyun buharlaşarak havaya karışması geciktirilmiş ve böylece numunelerin su ile irtibat süresinin uzaması sağlanmıştır.



Şekil 3.17 : Temel Kürü

3.1.5.2. Kolonlar

Temel üzerinde kolon ve temel arasında aderansı sağlamak için yüzeyde pürüzleme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 : Pürüzleme İşlemi

Şekildeğiştirmeölçerler donatıların üzerine yapıştırılarak kolon donatı iskeleti hazırlanmıştır. Kolon donatı iskeletleri yerleştirilmeden önce donatı iskeletlerindeki enine donatılara, istenen 20 mm kalınlığındaki beton örtüsünün oluşturulabilmesi için hazır plastik paspayları takılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : Paspayları

Kolonlar için beton dökümü sırasında kullanılmak üzere 20 mm kalınlığında plywood malzemesinden özel kalıplar hazırlanmıştır. Beton dökümünden önce tüm kalıplar yağlanmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : Kolon Kalıplarının Yerleştirilmesi

Numuneler Oyak Beton tarafından temin edilen hazır beton kullanılarak imal edilmiştir. Beton dökümü 16.06.2006 tarihinde yapılmıştır.

Kolon betonları dökümü esnasında, iki adedi CaCl_2 çözeltisi ilave edilmeden, on beş adedi CaCl_2 çözeltisi ilave edilerek hazırlanan toplam on yedi adet standart silindir numunesi 28-90-180-360 günlük basınç deneyleri yapmak için alınmıştır. Yedi adet çökme deneyi yapılmıştır. Betonun iyi yerleşmesini sağlamak için vibrasyon işlemi yapılmıştır.

Referans numunesinin beton dökümünden sonra, miksere CaCl_2 çözeltisi eklenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Betona CaCl_2 Çözeltisinin Eklenmesi

Son olarak kolonların beton dökümünden sonra kolonun kalıp üstünde açık kalan kısmı düzeltilerek imalat sona ermiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 : Kolon Numunelerinin Beton Dökümü

Kolon numunelerine beton dökümünden sonra beş gün süre ile kür uygulanmıştır (Şekil 3.23).

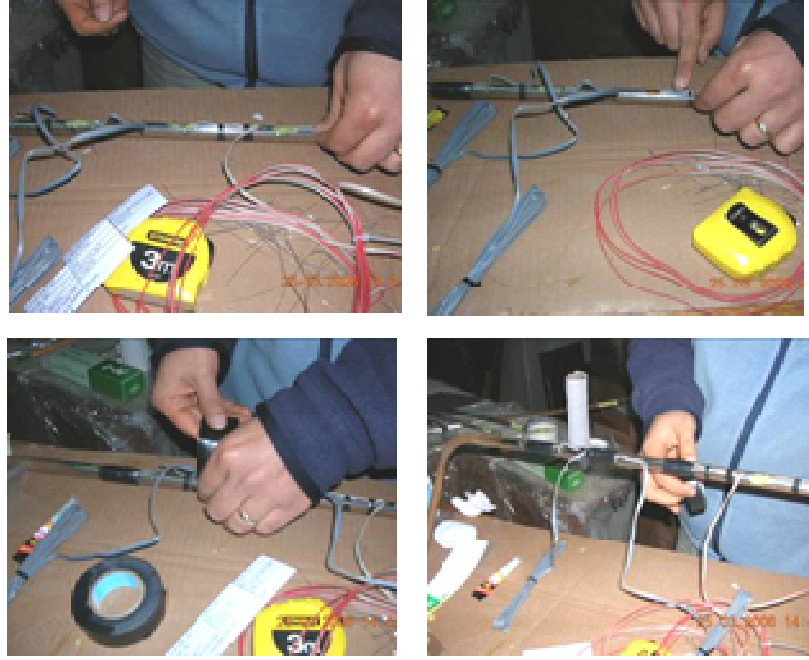


Şekil 3.23 : Kür Uygulaması

3.1.5.3. Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması

Temel ve kolon donatı iskeletleri kalıplara yerleştirilmeden önce üzerine şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmıştır (Şekil 3.24). Şekildeğiştirmeölçerleri dış etkilerden korumak için açıkta kalan uçları poşetlerle sarılmıştır. Şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmadan önce donatılar üzerinde belirlenen noktalar kalın ve ince zımpara, tel fırça yardımı ile pastan arındırılmış sonra pamuk ve aseton yardımı ile tozlu yüzeyler temizlenmiştir. Tam olarak temizlenmiş bu yüzeylere şekildeğiştirmeölçerler, cyanoacrylat esaslı bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Ardından su ve nem yalıtımı ile mekanik koruma sağlamak için iki kat kimyasal yalıtım malzemesi (N-1, su geçirmez malzeme), bir kat bitüm esaslı bant (VM Tape, nem ve diğer dış etkilere karşı yalıtım sağlayan malzeme) ve bunun üzerine izole bant sarılmıştır. Tüm şekildeğiştirmeölçerlerin kablolarının ucuna konumunu, cinsini

belirtmek üzere numaralar ve notlar yazılmıştır. Kablolar en kısa mesafeden beton yüzeyine çıkacak şekilde demetlenmiştir.



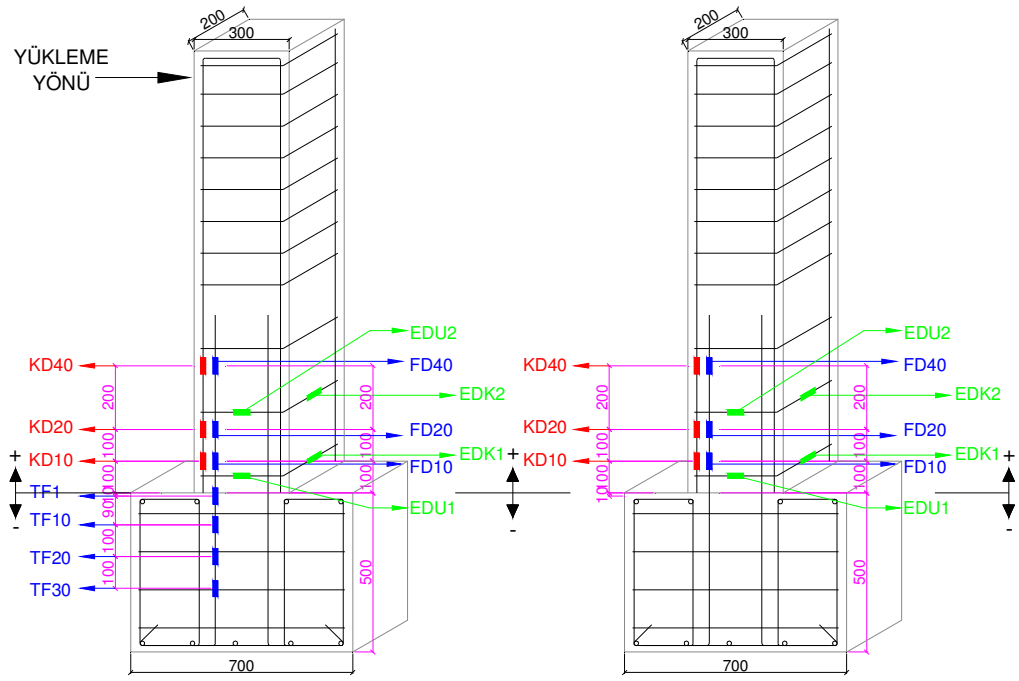
Şekil 3.24 : Şekildeğiştirmeölçerin Yapıştırılması

Temel filizinde ve kolonda şekildeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25 : Şekildeğiştirmeölçerlerin Yerleştirilmesi

Temelde; dörder adet şekildeğiştirmeölçer yapıştırılmıştır. Tüm numunelerde dört adet kolon etriyesine, üç adet kolon donatısına ve üç adet temel filizine şekildeğiştirmeölçer yapıştırılır. Numunelerde iki çeşit şekildeğiştirmeölçer yapıştırma şekli kullanılmıştır. İlk durumda temel filizinde de şekildeğiştirmeölçer olup ikinci durumda yoktur. Şekildeğiştirmeölçerlerin numune üzerindeki şematik gösterimi Şekil 3.26’de gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : Şekildeğiştirmeölçer Yerleşimi

Temel filizinde, şekildeğiştirmeölçerlerin hangi numunelerde bulunduğu ve yerleşim planı Tablo 3.11’de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: Temel Filizinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı

Temel filizi üzerinde şekildeğiştirmeölçer yerleşim planı			Bulunduğu Kolon		
Şekildeğiştirmeölçer adı	yapıştırılma mesafesi	Şekildeğiştirmeölçer gage faktörü	LS-C0	LS-C1	LS-C2
TF1 (K-LY41–6/120–3-3M)	-10 mm	2.06±1%	VAR	VAR	YOK
TF10 (K-LY41–6/120–3-3M)	-100 mm	2.06±1%	VAR	VAR	YOK
TF20 (FLA–3–11-3LT)	-200 mm	2.13±1%	VAR	VAR	YOK
TF30 (FLA–3–11-3LT)	-300 mm	2.13±1%	VAR	VAR	YOK

Kolon donatısında, şekildeğiştirmeölçerlerin hangi numunelerde bulunduğu ve yerleşim planı Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.12 : Kolon Donatısında Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı

Kolon donatısı üzerinde şekildeğiştirmeölçer yerleşim planı			LS-C0	LS-C1	LS-C2
K-D-10	+100 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR
K-D-20	+200 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR
K-D-40	+400 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR

Kolon etriyesinde, şekildeğiştirmeölçerlerin hangi numunelerde bulunduğu ve yerleşim planı Tablo 3.13’de gösterilmiştir.

Tablo 3.13 : Kolon Etriyesinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı

Kolon etriyesi üzerinde şekildeğiştirmeölçer yerleşim planı			LS-C0	LS-C1	LS-C2
E-D-U-1 (FLA-3-11-3LT)	1. etriyenin uzun kenarı üzerine	2.13±1%	VAR	VAR	VAR
E-D-U-2 (FLA-3-11-3LT)	2. etriyenin uzun kenarı üzerine	2.13±1%	VAR	VAR	VAR
E-D-K-1 (FLA-3-11-3LT)	1. etriyenin kısa kenarı üzerine	2.13±1%	VAR	VAR	VAR
E-D-K-2 (FLA-3-11-3LT)	2. etriyenin kısa kenarı üzerine	2.13±1%	VAR	VAR	VAR

Kolon filizinde, şekildeğiştirmeölçerlerin hangi numunelerde bulunduğu ve yerleşim planı Tablo 3.14’de gösterilmiştir.

Tablo 3.14 : Kolon Filizinde Kullanılan Şekildeğiştirmeölçer Yerleşim Planı

Kolon filizi üzerinde şekildeğiştirmeölçer yerleşim planı					
F-D-10	+100 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR
F-D-20	+200 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR
F-D-40	+400 mm	2.06±1%	VAR	VAR	VAR

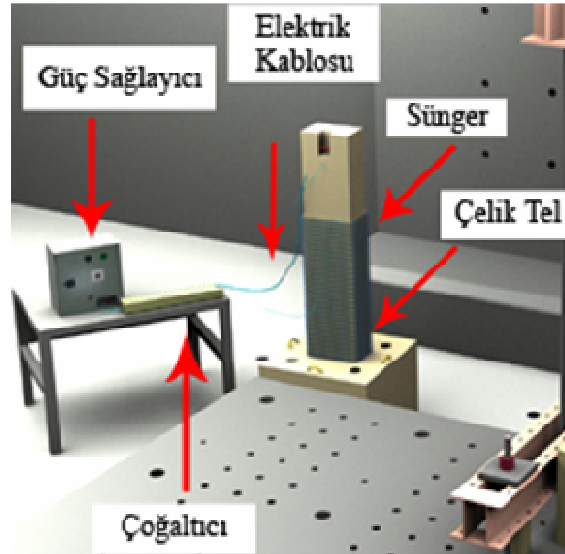
3.1.6. Deney Hazırlığı

3.1.6.1. Numuneye Hızlandırılmış Korozyon İşleminin Uygulanması

Korozyonu hızlandırmak için kolonların üretimi sırasında betona çimento ağırlığının %4’ü oranında CaCl_2 çözeltisi (çimento ağırlığı: 384.4 kg, CaCl_2 : 14.8 kg) ilave edilmiştir. NaCl ve KCl betondaki boşluk suyunun pH değerini arttırırken, CaCl_2 ’nin düşürücü etkisi vardır (ACI-222R-01, 2001).

Literatürde numuneler çözelti içinde tutulmasına rağmen temel üzerine kolon numuneleri çözelti içine konamayacak yapıda olması nedeniyle çözelti; kolon etrafına sünger sarılarak bu süngerin ıslatılması yolu ile sağlanmıştır. Kolon etrafına sarılan süngerden çözeltilde bulunan Cl^- ’un donatıya nüfus edebilmesi için elektrik

akımı uygulanmıştır. Elektrik akımı; ortamda elektron akımı yaratarak çözeltide bulunan Cl^- iyonunun akışa katılmasını sağlıyor(Bölüm 2.2.1. Korozyon İlkeleri). Numuneler, temel üst kotundan itibaren 900 mm'lik kısım süngerle ve çelik tel ile sarılmış (Şekil 3.27 - Şekil 3.28) ve bu bölgelere günde bir defa $CaCl_2$ çözeltisi püskürtülmüştür. Püskürtülen çözelti, 1 litre suya karşılık 1 mol $CaCl_2$ (1 mol $CaCl_2$ = 110.98 gr/mol) olacak şekilde ayarlanmış olup, tüm boyuna donatıların anot, en dış yüzeydeki galvanize çelik telin katot olarak davranacağı düşünülmüştür. Kolonda en üst etriye hizasında delik açılarak elektrik akımının (+) ucu donatıya bağlanmıştır. Elektrik akımının (-) ucu çözeltiliye batırılmıştır. Anot ve katot arasında elektrik kabloları ile bağlantı sağlanmıştır. Anot ve katot arasında 6V potansiyel farkı uygulanmıştır. Hızlandırılmış korozyon işlemi ile deney numunelerinin donatıları üzerinde oyuklanma korozyonu oluşması sağlanmıştır.



Şekil 3.27 : Numunelere Elektrik Akımı Verilmesi



Şekil 3.28 : Hızlandırılmış Korozyona Tabii Tutulan Kolon Numuneleri

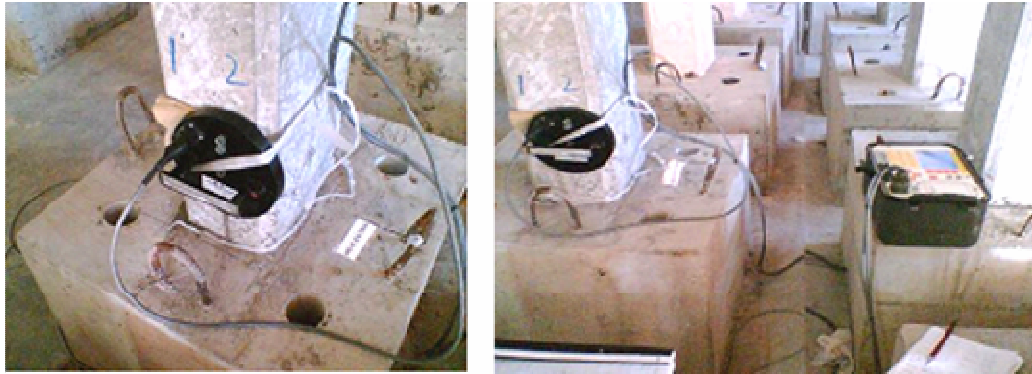
3.1.6.2. Numuneler Üzerinde Korozyon Düzeyinin Ölçülmesi

Korozyonun ölçülmesi için numune üzerinde, ölçüm yapılan bölgedeki donatıya temas eden herhangi bir donatıya ulaşılması için delik açılmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 : Numune Üzerinde Açılan Delik

Korozyon ölçümü Gecor 8 adı verilen korozyonmetre ile yapılmıştır (Şekil 3.30). Gecor 8, donatıdaki korozyon hızını (I_{corr} , $\mu A/cm^2$) doğrusal polarizasyon direnci tekniğini kullanarak, korozyon ölçümünün diğer parametreleri olan direnç (ρ , $K\Omega.cm$) ve korozyon potansiyelini (E_{corr} , mV) de yarı hücre potansiyeli tekniğini kullanarak ölçmektedir. Korozyon potansiyeli ve direnç nitel parametreler (yüksek, orta, düşük seviye gibi), korozyon hızı nicel parametredir. Voltmetre ile anot ve katot bölgelerinin elektrik direncine (R) veya akımına (I) bağlı olarak betonun iç direnci ile orantılı olan potansiyel voltaj düşüşü (IR) ölçülür.



Şekil 3.30 : Gecor 8 ile Hızlandırılmış Korozyon İşleminin Uygulandığı Numuneler Üzerinde Ölçülmesi

Gecor 8'in donatıya gönderdiği sinyalden etkilenen donatı alanı, Gecor 8'in 105 mm'lik sensorünün alanı içinde kalan donatı alanıdır.

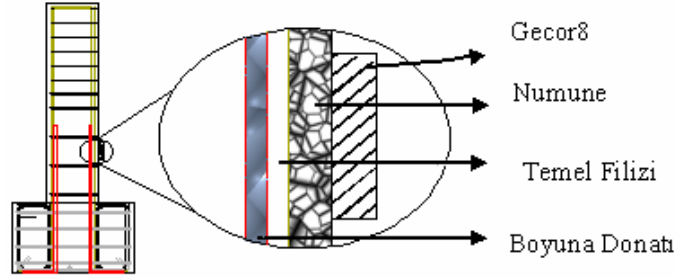
$$A = \pi \cdot D \cdot 105 \quad (3.22)$$

D: 105 mm'lik duyar alanı içinde kalan donatı alanı

Korozyon ölçümü, bir temel filizi ve bir kolon boyuna donatısı üzerinden hesaplanmıştır (Şekil 3.31).

Numuneler için donatı alanı:

$$A = 3.14 \cdot 14 \cdot 105 + 3.14 \cdot 14 \cdot 105 = 9240 \text{ mm}^2 \quad (3.23)$$



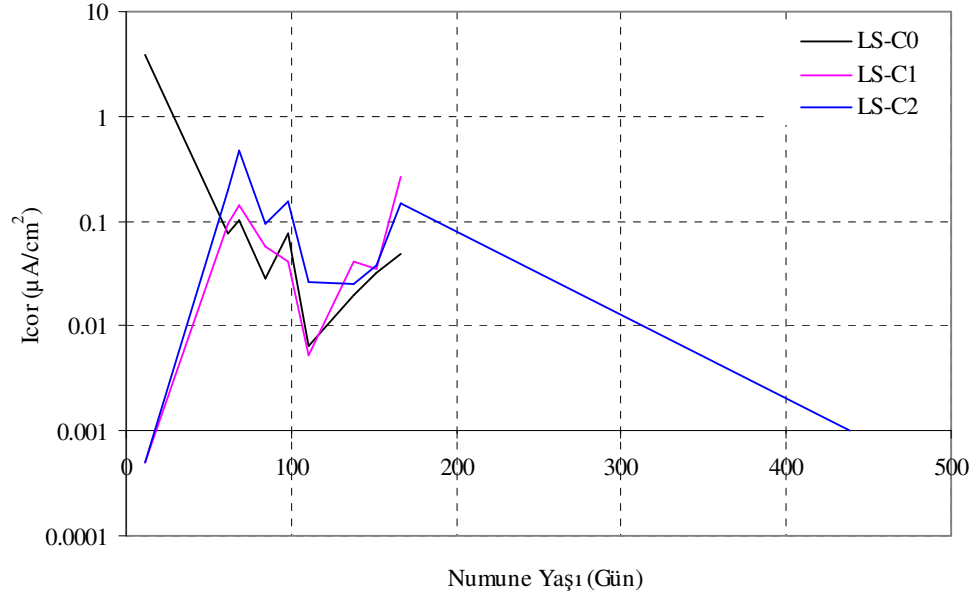
Şekil 3.31 : Numunelerde Korozyon Ölçümü Yapılan Bölgeler

Korozyon seviyesini belirlemek için potansiyel değerlerinden yararlanılmıştır. Potansiyel değerlerine göre korozyon seviyeleri Tablo 3.15'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.15: Korozyon Seviyeleri

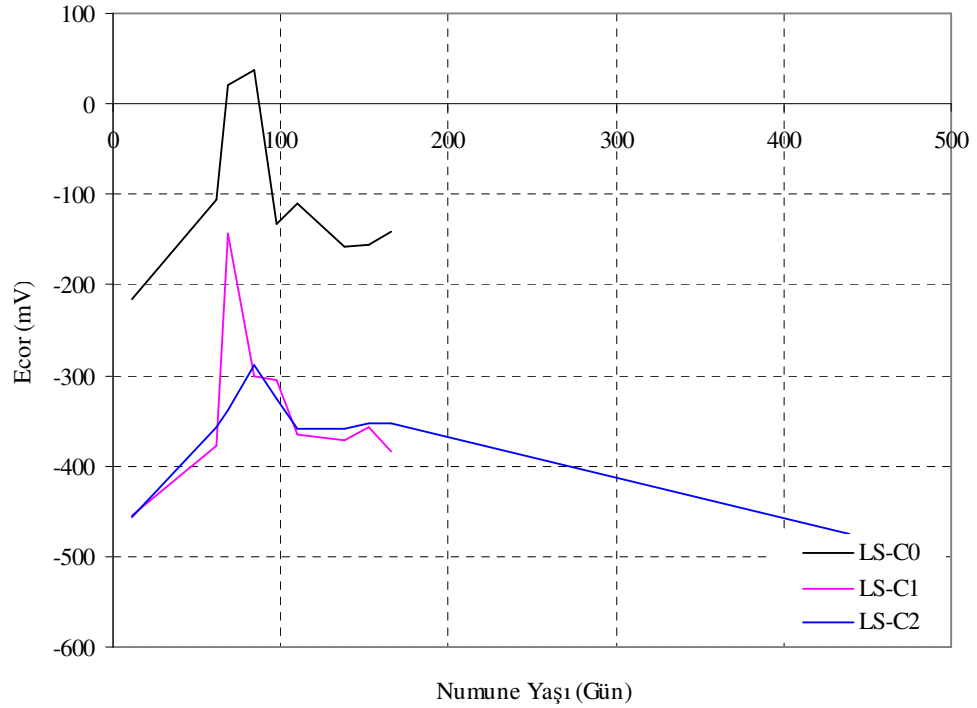
<-500 mV	1.seviye
-500 mV~600 mV	2.seviye
-600 mV~700 mV	3.seviye

Korozyon potansiyeli - zaman grafiğinde referans numunesi ile korozyona maruz bırakılmış numuneler arasında belirgin bir fark görülmektedir (Şekil 3.32). Bu değerler sonucunda LS-C1 numunesinin birinci ve LS-C2 numunesinin ikinci seviye korozyon düzeyinde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.32 : Korozyon Potansiyeli Eğrileri

Korozyon akımı - zaman eğrisinin (Şekil 3.33) altında kalan alandan yararlanarak Bölüm 2.2.2’de anlatılan Faraday kanununa göre hesap yapmak mümkün olmuştur.



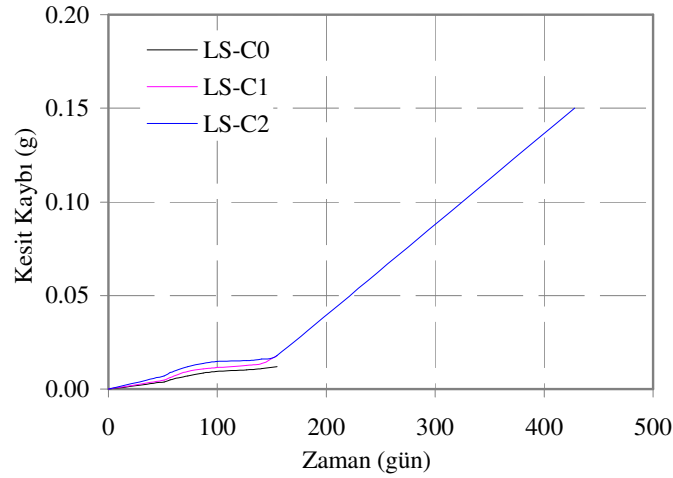
Şekil 3.33 : Korozyon Akımı – Zaman Grafiği

Farklı günlerde alınan ölçüm sonuçlarına göre ölçülen korozyon akımı değerlerine göre Tablo 3.16’da gösterilen kütle kayıpları ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.16: Faraday Kanununa Göre Kütle Kayıpları

LS-C0			LS-C1			LS-C2		
Gün	I_{cor}	M (g)	Gün	I_{cor}	M (g)	Gün	I_{cor}	M (g)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0.077	0.004	51	0.096	0.005	51	0.140	0.007
57	0.101	0.005	57	0.142	0.006	57	0.160	0.009
73	0.028	0.007	73	0.058	0.009	73	0.036	0.012
87	0.077	0.008	87	0.041	0.011	87	0.085	0.014
99	0.007	0.009	99	0.005	0.011	99	0.011	0.015
127	0.020	0.010	127	0.041	0.013	127	0.007	0.015
141	0.033	0.011	141	0.035	0.014	141	0.046	0.016
155	0.049	0.012	155	0.263	0.018	155	0.094	0.018
						428	0.393	0.150

Faraday kanununa göre yapılan hesaplar sonucunda Şekil 3.34’te gösterildiği gibi kesit kayıplarının olacağı görülmüştür.



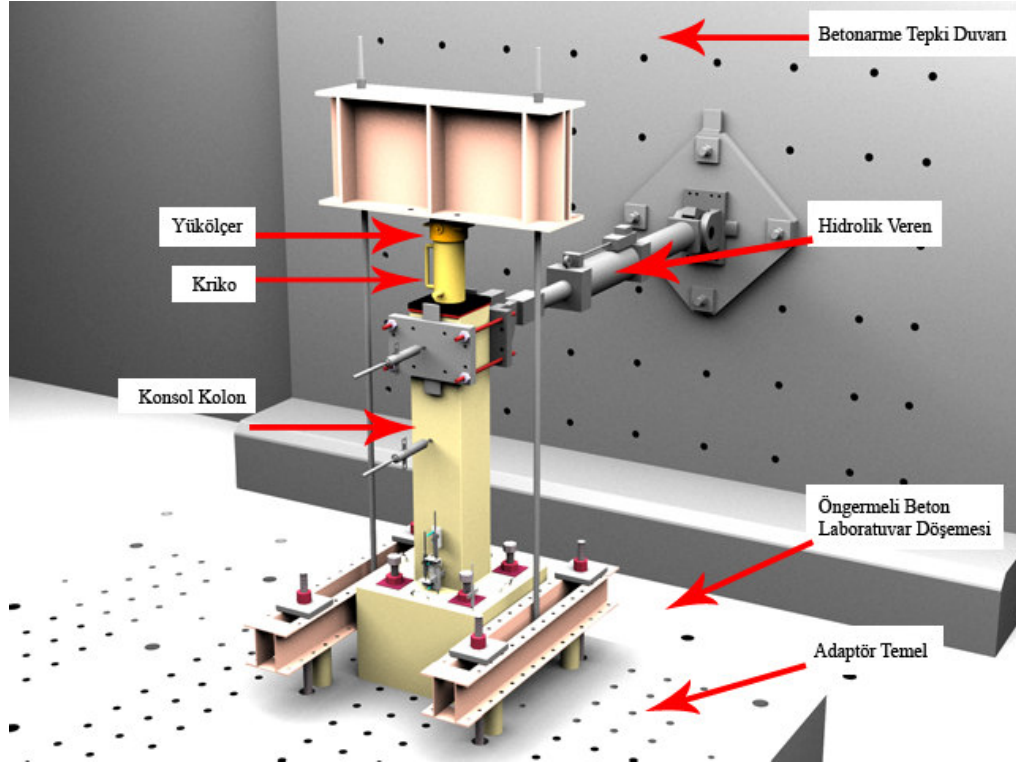
Şekil 3.34 : Kesit Kaybı – Zaman Grafiği

3.2. Deney Düzenegi

3.2.1. Yükleme Sistemi

Deneyisel çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı (YDML) ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda (YML) gerçekleştirilmiştir.

Numuneler; sabit eksenel yük ve tekrarlı tersinir yatay yükleme altında denenmiştir. YDML’nda bunun için tasarlanmış bir sistem bulunmaktadır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.35’de verilmiştir.



Şekil 3.35 : YDML Deney Düzeneği

Deney düzeneği rijit bir yükleme duvarı önünde ve laboratuvar döşemesine yüksek mukavemetli bulonlarla sabitlenmiş, çelik profiller ve levhalardan oluşturulmuştur. Numunenin oturacağı yer jeodezi ve fotogrametri çalışanları tarafından belirlenmiştir. Krenle numune yerine yerleştirilerek bulonlarla temele sabitlenmiştir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 : Temelin Sabitlenmesi

Numunenin adaptör temele sabitlenmesinden sonra eksenel yükleme düzeneği hazırlanmıştır. Bunun için kolon üzerine ağırlığı bilinen çelik bir profil yerleştirilmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 : Eksenel Yük Düzeneği

Bu profil; numune kenarlarından birbirine kaynaklanmış iki ters U çelik profille, laboratuvar döşemesine çelik halatlarla sabitlenmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 : Yüksek Mukavemetli Bulonların Yerleştirilmesi

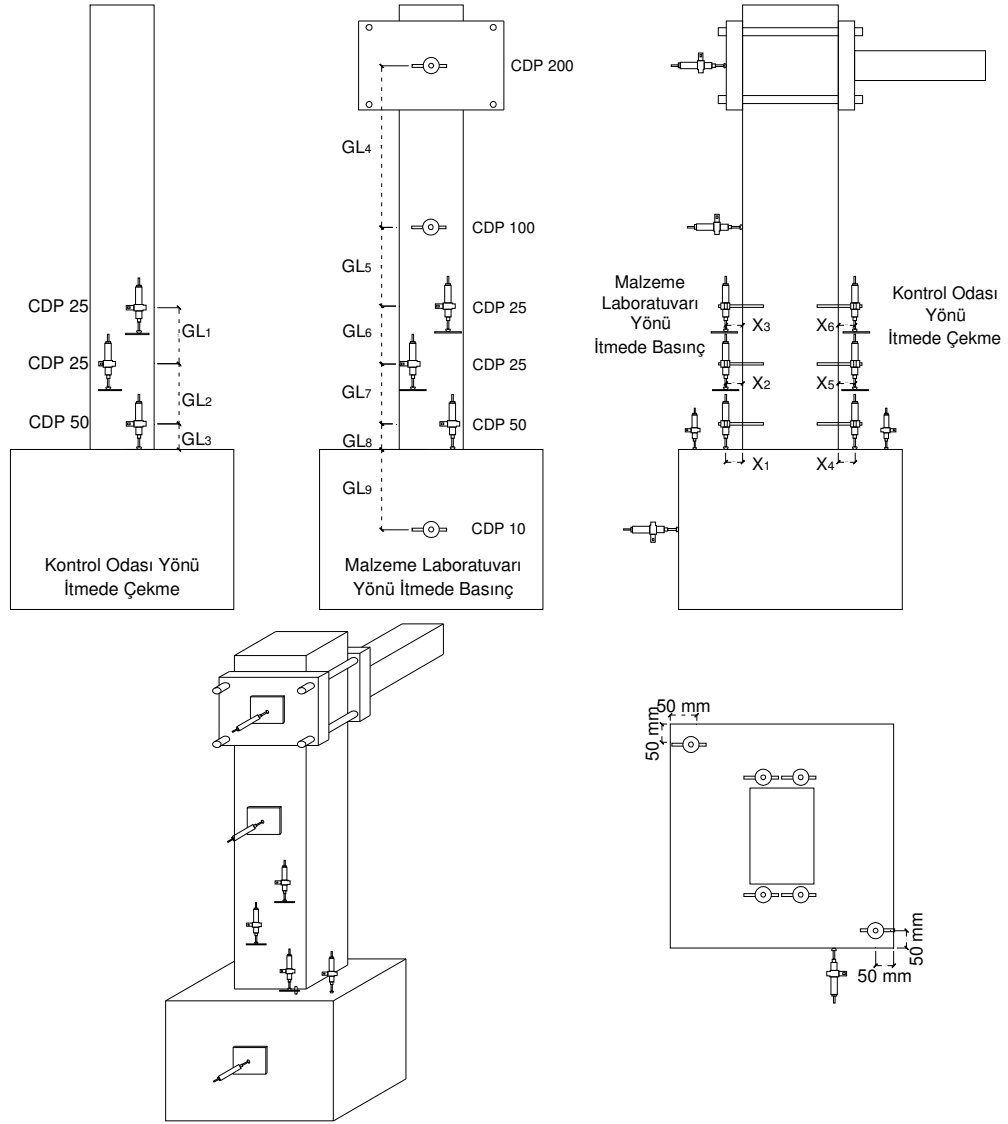
Numune yerine yerleştirildikten sonra çatlak krokisinin oluşturulması için kolon yüzüne 50 mm aralıklarla yatay çizgiler çizilmiştir. Mevcut çatlaklar gösterilmiştir. Moment – eğrilik grafiklerinin çiziminde yardımcı olacak yerdeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi için temel üst kotundan 20, 150 ve 300 mm aralıklarla, kolon orta noktalarından $\phi 10$ 'luk matkap ile bulon delikleri delinmiştir.

Deprem esnasında yapı elemanları, dinamik yön değiştiren tekrarlı eğilme ve kesme kuvvetlerinin yanı sıra değişken eksenel kuvvetlerin etkisindedir. Ancak bu durumun laboratuvar ortamında modellenmesi oldukça zor olduğundan yükler statik olarak etkilmiştir. Statik yüklemeli deneylerin en büyük avantajı yüklemenin adım adım ve geniş bir zaman aralığında gerçekleşmesi nedeniyle eleman davranışının ve hasar durumunun çok daha sağlıklı ve detaylı bir şekilde gözlenebilmesidir. Yükleme çevrimleri numuneye adım adım uygulanan yerdeğiştirmeler ile gerçekleştirilmiştir. Her bir yerdeğiştirme adımı yedi saniyelik sürede verilmiştir. Bu sürenin ilk iki saniyesinde hedeflenen yerdeğiştirme artışı gerçekleşmektedir. Sonraki bir saniyede yükleme sistemi veri toplama sistemine sinyal göndermekte, son dört saniyede ise ölçüm cihazlarından alınan veriler toplanmaktadır. Veri toplama sistemi kanaldan 0.06 saniyede veri alabilmektedir. Her bir yükleme adımında verilen yerdeğiştirme artışı genel olarak o çevrimdeki hedef yerdeğiştirmenin $1/20$ 'si kadar olacak şekilde belirlenmiştir. Ancak büyük hedef yerdeğiştirmelere ulaşıldığında yükleme hızı hiç bir zaman 1 mm/adım seviyesinin üzerine çıkarılmamıştır. Eğilme momenti ve kesme kuvveti oluşturmak üzere uygulanan yatay yükler, bilgisayar kontrollü MTS

hidrolik veren kullanılarak etkitilmiştir. Tekrarlı ve yön değiştiren yatay yük numunelerin 200x300 mm enkesitli kolon parçasına etkitilmiştir. Hidrolik veren itme ve çekmede 250 kN yük kapasitesine ve toplam 600 mm yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmış ve kontrol sisteminde MTS verenin yerdeğiştirme aralığı ± 150 mm olarak tanımlanmıştır. Yükleme hem itme, hem çekme yönünde yapılmıştır.

3.2.2. Ölçüm Sistemi

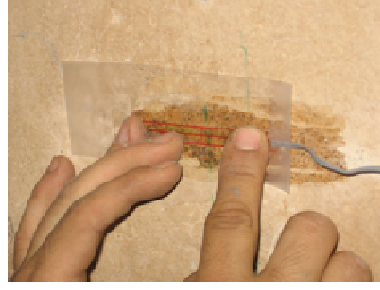
Ölçüm sistemi TML yerdeğiştirmeölçerler, FLA-3-11-3LT, PL-60-11-1L, HBM - K- LY41- 6/120 - 3 - 3M tipi şekildeğiştirmeölçerler ve 1000 kN kapasiteli TML yükölçer ile MTS verenin dahili yükölçeri ve yerdeğiştirme ölçerinden oluşmaktadır. Bu ölçme cihazlarından gelen veriler TML ASW-50C veri çoğaltma kutusuna, ardından TML TDS 303 veri toplayıcıya ulaşmaktadır. Toplanan veriler daha sonra islenmek üzere bilgisayara aktarılmaktadır. Kolonun ortalama kesit eğriliklerini belirleyebilmek üzere 25 mm, 150 mm ve 300 mm ölçüm boylarında iki adet CDP50 ve dört adet CDP25 tipi olmak üzere toplam altı adet yerdeğiştirmeölçer kolona paralel aşağı yönde yerleştirilmiştir. Kolonun yatay yerdeğiştirmesini ölçmek için kolon orta noktasından ve hidrolik verenin başlığının orta noktasından yatay yönde toplam iki adet CDP200 tipi yerdeğiştirmeölçer, kolona dik olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca temelde meydana gelebilecek olası dönmeler ve yerdeğiştirmeler için iki adet CDP10 ve bir adet CDP5 tipi yerdeğiştirmeölçer kullanılmıştır. Kolon ve temeldeki yer değiştirmeleri ölçmek için yerleştirilen yerdeğiştirmeölçer yerleşim planı Şekil 3.39'te gösterilmiştir.



Şekil 3.39 : Yerdeğiştirmeölçer Yerleşim Planı

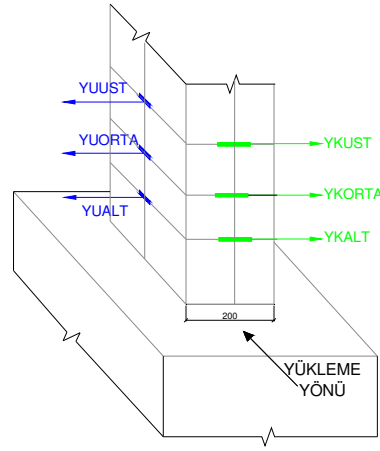
Beton üzerinde etriye doğrultusundaki yer değiştirmelerin ölçülmesi için beton yüzeyine yüzey şekildeğiştirmeölçerleri yapıştırılmıştır.

yüzey şekildeğiştirmeölçerlerinin yapıştırılacağı yüzeye ilk olarak patex sürülmüştür. (1. Seviye temel üst seviyesinden itibaren 250. mm, 2. Seviye temel üst seviyesinden itibaren 450 mm). Kuruduktan sonra beton yüzeyi, pürüzden arındırılmak için yüzey beyazlaşana (yani düzleşinceye) kadar zımparalanmıştır. Zımparalanan yüzey, aseton ile silinerek yüzey şekildeğiştirmeölçerlerinin yapıştırılabileceği temiz ve düzgün bir yüzey haline getirilmiştir. Ardından kuvvetli bir yapıştırıcı ile yüzey şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmıştır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 : Yüzey şekildegıştırmeölçer

Yüzey şekildegıştırmeölçerin kolon üzerindeki yerleşim planı Şekil 3.41’de; adlandırılma ise Tablo 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.41 : Yüzey şekildegıştırmeölçerlerin Yerleşimi

Tablo 3.17 : Yüzey Şekildegıştırmeölçer İsimleri

YUUST	Kolon Yüzeyi Uzun Kenar Üst Yüzey şekildegıştırmeölçerleri
YUORTA	Kolon Yüzeyi Uzun Kenar Orta Yüzey şekildegıştırmeölçerleri
YUALT	Kolon Yüzeyi Uzun Kenar Alt Yüzey şekildegıştırmeölçerleri
YKUST	Kolon Yüzeyi Kısa Kenar Üst Yüzey şekildegıştırmeölçerleri
YKORTA	Kolon Yüzeyi Kısa Kenar Orta Yüzey şekildegıştırmeölçerleri
YKALT	Kolon Yüzeyi Kısa Kenar Alt Yüzey şekildegıştırmeölçerleri

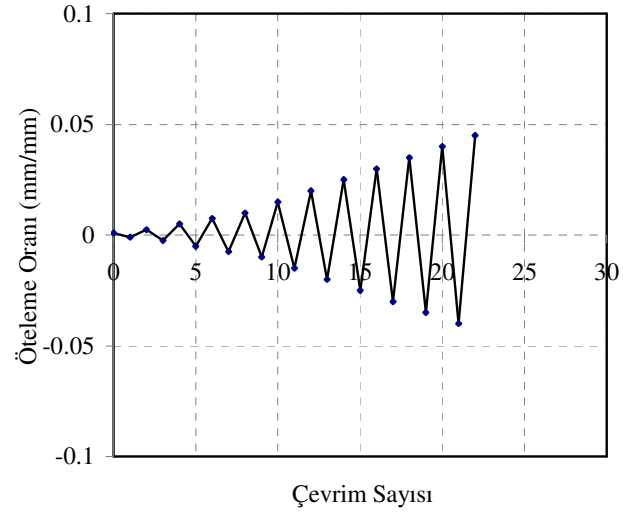
Beton yüzeyinde; paspayının yüzey şekildegıştırmeölçer yapıştırılacak yere denk gelmesi, sonuçları etkileyecek çatlakların bulunması gibi çeşitli sorunlar yüzünden her numune yüzey şekildegıştırmeölçerler istenilen yerlere yapıştırılamamıştır. Yüzey şekildegıştırmeölçerin kolon üzerindeki temel üst kotundan yapıştırma mesafeleri Tablo 3.18’de verilmiştir.

Tablo 3.18 : Yüzey Şekildeğiştirmeölçerleri Gerçek Yerleşim Planı

	LS-C0	LS-C1	LS-C2
YUUUST	619 mm	454 mm	599 mm
YUORTA	420 mm	-	-
YUALT	220 mm	239 mm	219 mm
YKUST	615 mm	449 mm	597 mm
YKORTA	419 mm	-	-
YKALT	250 mm	234 mm	220 mm

3.2.3. Yükleme Patronu

Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü statik yükleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numuneye deprem yükünü yansıtmak üzere itme ve çekme yönünde tekrarlı yatay yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Yükleme, adım adım gerçekleştirildiğinden her adımdan sonra numunenin davranışı göz önüne alınmış ve bir sonraki yükleme adımına karar verilmiştir. Bu yükleme adımları arasında numunenin hasar durumunun gözlenmesi için yeterli zaman olmasından dolayı hasar oluşumunun ve numunenin davranışının sağlıklı gözlenebilmesi mümkün olmuştur. Numunenin kolon tepe noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirme (kontrol yerdeğiştirmesi, d), kiriş L boyuna bölündüğü takdirde elde edilen oran öteleme oranı (d/L) olarak tanımlanır. İşte bu öteleme oranının belli değerleri seçilerek yükleme adımları belirlenmiştir. Yükleme patronunun içerdiği hedef yerdeğiştirme değerlerine karşı gelen öteleme oranları; ± 0.0010 (± 1.2 mm), ± 0.0025 (± 1.00 mm), ± 0.0050 (± 6.00 mm), ± 0.0075 (± 9.00 mm), ± 0.0100 (± 12 mm), ± 0.0150 (± 18 mm), ± 0.0200 (± 24 mm), ± 0.0250 (± 30 mm), ± 0.0300 (± 36 mm), ± 0.0350 (± 42 mm), ± 0.0400 (± 48 mm), ± 0.0450 (± 54 mm), ± 0.0500 (± 60 mm), ± 0.0600 (± 72 mm), ± 0.0700 (± 84 mm) ve ± 0.0800 (± 96 mm) şeklinde uygulanmıştır. Her bir yerdeğiştirme seviyesinde bir yükleme uygulanmıştır. Örneğin, ± 0.0025 (± 1.00 mm) çevriminde, bir defa +1.00 itme değerine, bir defa da -1.00 mm çekme değerine gidilerek bir çevrim tamamlanmıştır. Şekil 3.42’de yükleme patronu gösterilmiştir.



Şekil 3.42 : Yükleme Patronu

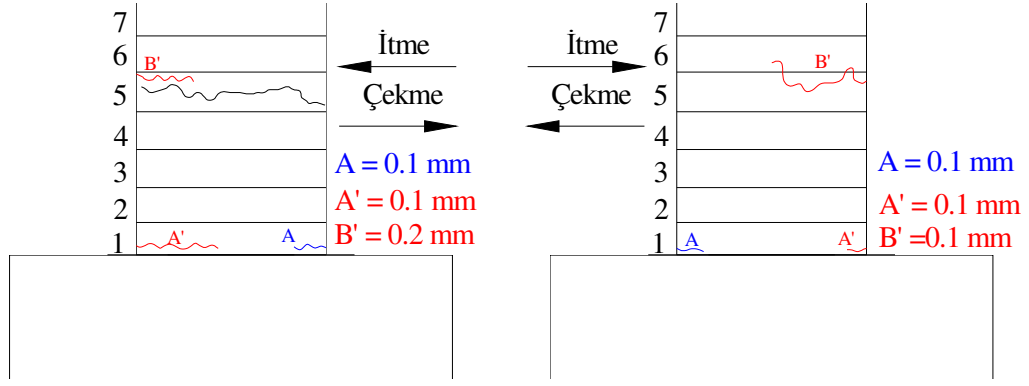
4. DENEY SONUÇLARI

4.1. LS-C0 Numunesi

LS-C0 numunesi referans numunesi olarak hazırlanmıştır. Deney 01.06.2007 tarihinde yapılmıştır ve beton yaşı 350 gündür. 28, 90, 180 ve 360. günlerde yapılan standart silindir deneyleri sonucuna göre dayanımın bu yaşlar arasında doğrusal değiştiği kabul edilerek deney günü standart silindir beton basınç dayanımı ~ 4 MPa ($f'_c = 4$ MPa) olarak bulunmuştur. Beton dökümü esnasında ve dökümden sonra CaCl_2 katılmamış, korozyon hızlandırma işlemi uygulanmamıştır. Gecor 8 Korozyonmetre ölçüm cihazı ile yapılan son ölçümde numunenin korozyon seviyesi (Ecorr) -75 mV olarak ölçülmüştür. Bu numunenin referans numunesi olması dolayısı ile bu beklenen düzeyde (düşük) bir seviyedir.

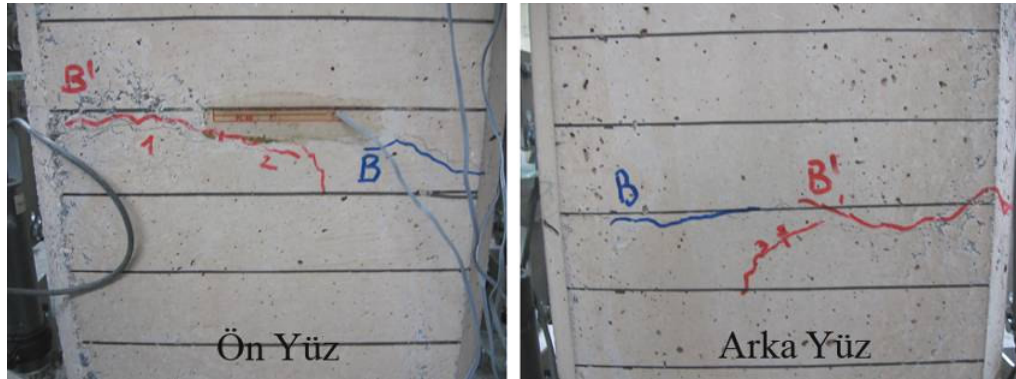
Deneyden önce, kolon yüzeyinde oluşan rötre çatlakları ve çatlak yerlerinin belirlenebilmesi için 50 mm aralıklarla yatay çizgiler çizilmiştir. Çizimlerde, rötre çatlakları siyah, basınç çatlakları mavi ve çekme çatlakları kırmızı ile gösterilmiştir.

LS-C0 numunesine 127.5 kN eksenel yük verilmiştir. Bu değer, eksenel yük kapasitesinin %53'üne denk gelmektedir. İlk hedef yerdeğiştirmesi olarak 1.2 mm (öteleme oranı %0.10) değeri seçilmiştir ve bu değere ulaşıldığında numunede herhangi bir hasar gözlenmemiştir. İkinci hedef yerdeğiştirmesi olan 3 mm (öteleme oranı %0.25) değerinde de herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Numunede ilk çatlak, itme esnasında 6 mm (öteleme oranı %0.50) yerdeğiştirme değerine gidilirken kolon ile temelin birleştiği bölgede meydana gelmiştir. Çatlağın oluştuğu andaki yatay yük değeri 13–14 kN mertebesinde olup her iki yüzeyde oluşan çatlaklar yaklaşık 0.1 mm genişliğindedir. Şekil 4.1'de itme ve çekme çevrimlerinin sonunda oluşan çatlaklara ait çatlak krokisi gösterilmiştir.



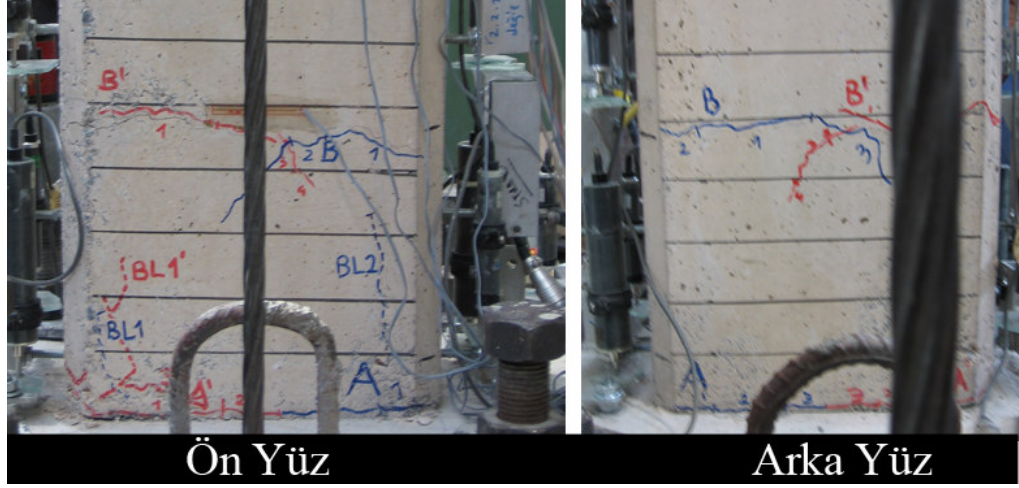
Şekil 4.1 : -%0.50 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi

İlk eğilme çatlakları ise çekme sırasında oluşan -5.0 mm yerdeğiştirme ve -14 kN yük değerlerinde numunenin temelden itibaren 250 mm yukarısında meydana gelmiştir. 12 mm hedef yerdeğiştirme değerine gidilirken (öteleme oranı %1.00), çekme bölgesindeki temele üst kotundan 250 mm'deki eğilme çatlakları, kesme çatlakları gibi eğilmeye başlamıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : %1.00 Öteleme Oranında Eğilme Çatlakları

24 mm hedef yerdeğiştirme değerine gidilirken (öteleme oranı %2.00), kolonun köşe bölgelerinde, temelden kolona uzanan filiz donatılarının bittiği bölgeden itibaren düşey çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Çekme esnasında da aynı tür çatlakların kolonun diğer tarafında oluştuğu görülmüştür (Şekil 4.3).



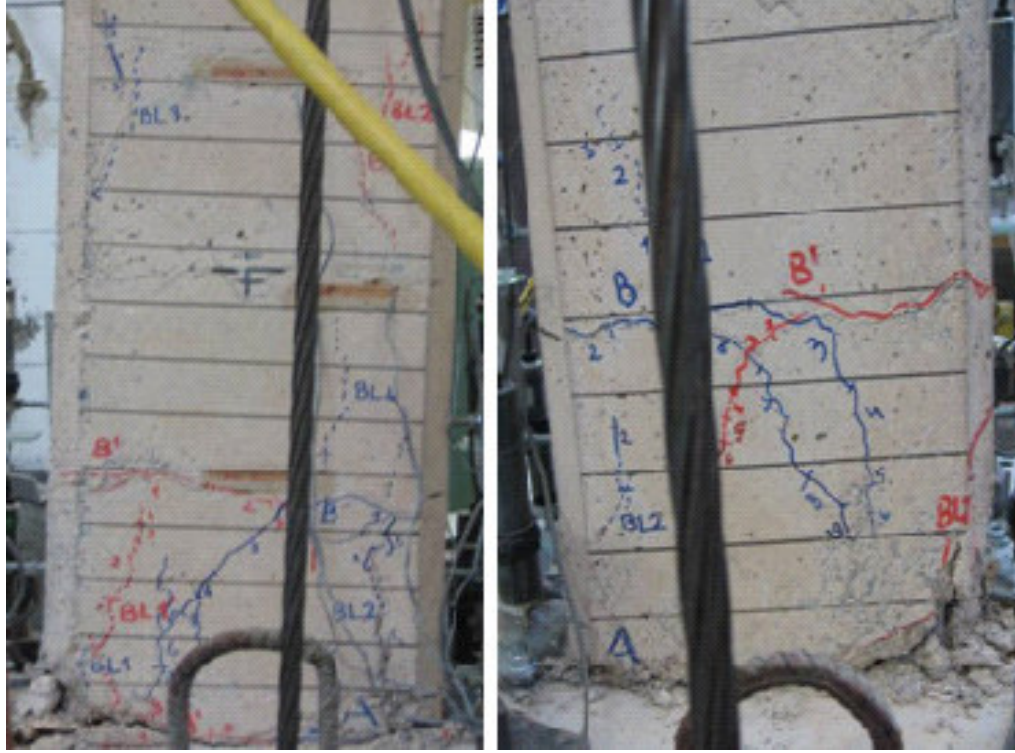
Şekil 4.3 : %2.00 Öteleme Oranında Çatlak Görünümü

42 mm hedef yerdeğiştirme değerinde (öteleme oranı %3.50) kolon ön yüz basınç bölgesindeki beton ezilerek numuneden ayrılmaya başlamış ve pas payı bölgesindeki beton sonraki çevrimlerde dökülerek donatı açığa çıkmıştır (Şekil 4.4).

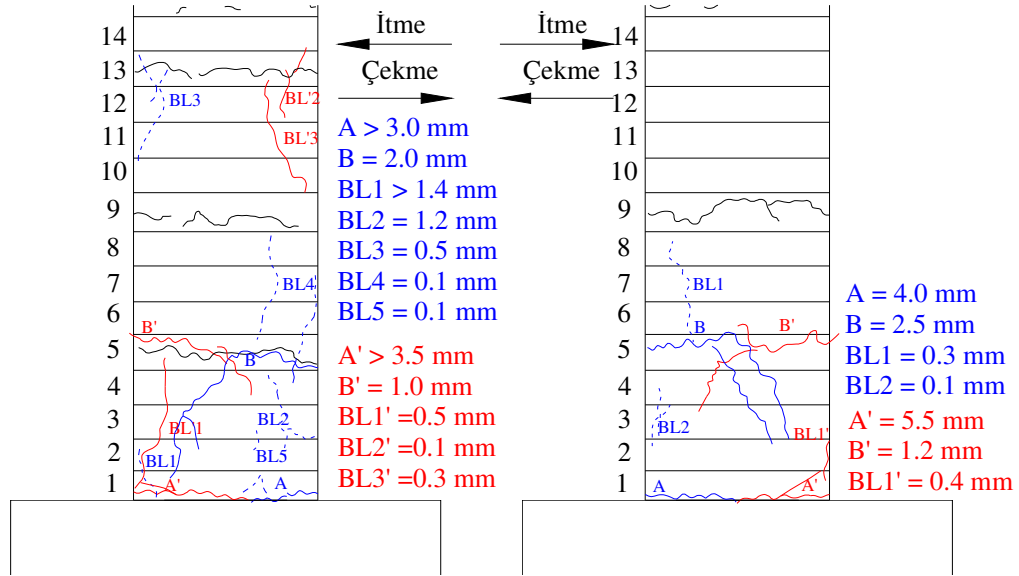


Şekil 4.4 : %3.50 Öteleme Oranında Birleşim Bölgesinde Betonda Kopma

Deneyin ilerleyen aşamalarında çatlaklar genel olarak temel yüzeyinden itibaren 250 mm'lik bölgede yoğunlaşmıştır (Şekil 4.5). Temel üst kotundan +250 mm'de etriye boyunca, boyuna donatı hizasında +250 mm'ye kadar yoğun çatlaklar ve temel ile kolon birleşim bölgesinde ayrılma görülmüştür. Deney sonunda oluşan çatlakların gösterildiği çizim Şekil 4.6'de verilmiştir.



Şekil 4.5 : Deney Sonu Çatlak Durumu (Öteleme Oranı %5.00)



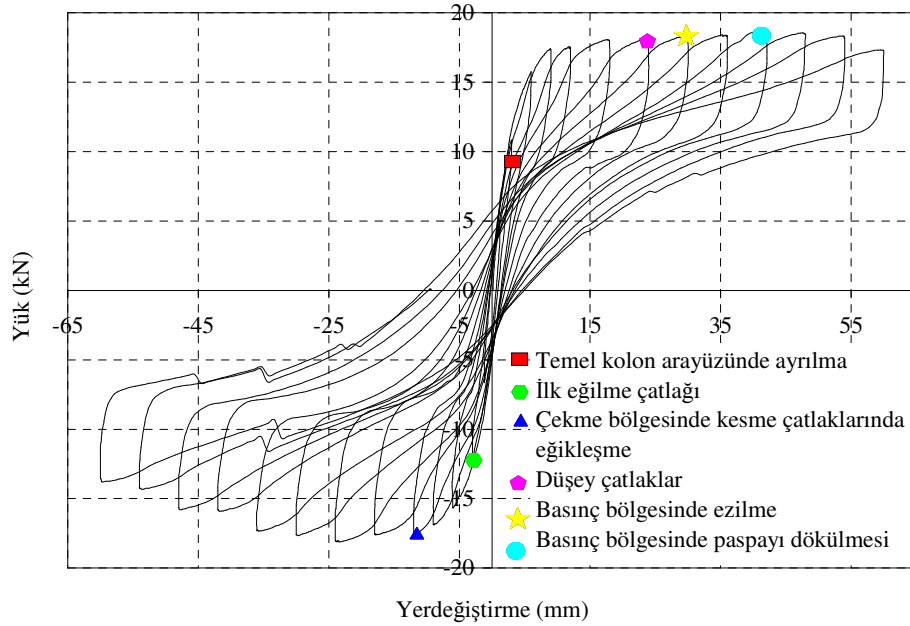
Şekil 4.6 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %3.50)

LS-C0 numunesinin davranışının daha kolay izlenebilmesi ve diğer numunelerle karşılaştırılması için deney sırasındaki davranışı özet olarak Tablo 4.1'de verilmiştir.

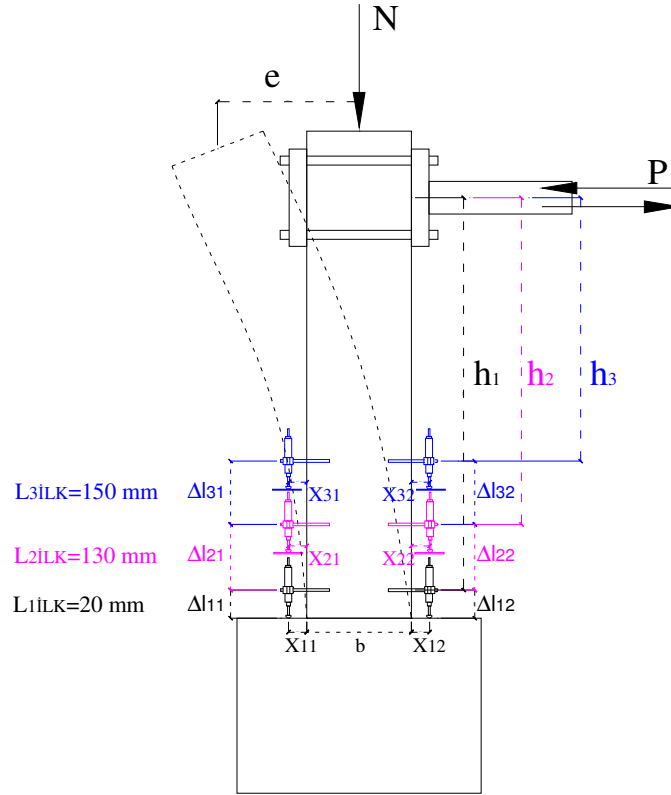
Tablo 4.1: LS-C0 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖO=% mm/mm)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖO = %0.1	± 1.2	5.0/ -6.6	Çatlak Gözlenmedi
ÖO = %2.5	± 3.0	10.8/ -12.0	Çatlak Gözlenmedi
ÖO = %0.5	± 6.0	15.5 / -15.6	Kolon-temel birleşim kesitinde ayrılma. Birleşim kesiti dışındaki ilk eğilme çatlağı ($\delta=-5$ mm'de yük -14 kN seviyesinde)
ÖO = %1.0	± 1.2	17.4 / -17.5	Eğilme çatlakları kesme çatlağı gibi eğikleşmeye başladı.
ÖO = %2.00	± 24.0	18 / -18	İtme ve çekmede tabana yakın kesitte ve bindirmenin bittiği kesitte sıyrılma işareti düşey çatlaklar.
ÖO = %2.50	± 30.0	18.3 / -17.6	Betonda basınç bölgelerinde tabana yakın bölgelerde ezilme işaretleri.
ÖO = %3.50	± 42.0	18.6 / -15.6	Ön yüzde basınç bölgesinde beton kabuk attı. Arka yüzde betonda ezilmeler görüldü.
ÖO = %5.0	± 60.0	17.2 / -13.5	Deney Sonu

Şekil 4.7'de LS-C0 numunesine ait yük, yerdeğiştirme ve öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Numunenin en büyük yük taşıma kapasitesi 18.6 kN dur. Bu yüke %3.50 öteleme oranında ulaşılmıştır.

**Şekil 4.7 :** Yük Yerdeğiştirme İlişkisi

Donatı ile beton arasındaki aderansın kaybedilmesi sonucu numune tam kapasitesine ulaşamamış ve enerji yutma özellikleri negatif yönde etkilenmiştir. Donatının akmayıp sıyrıldığı için kalıcı hasar düzeyi az olmuş ve yük ilerleyen yerdeğiştirme düzeyleri ile birlikte sabit kalmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da itme ve çekme yönündeki dayanım kayıplarının farklı olduğu görülmektedir. Potansiyel plastik mafsallarda hasar dağılımının incelenmesi amacı ile farklı ölçüm boylarında moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir.



Şekil 4.8: Moment Eğrilik İlişkisinde Kullanılan Yerdeğiştirmeölçerler

Bu hesaplar sırasında, eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı, şekildeğiştirmelerin kesit derinliğince doğrusal değiştiği kabulü yapılmıştır. Moment değerleri belirlenirken ikinci mertebe etkileri de göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 4.8). Moment değerlerinin belirlenmesi için bağıntı (4.1) kullanılmıştır.

$$M = P.h_1 + N.e \quad (4.1)$$

Burada P; kolona etkiyen yatay yük, h; P yüküne ait moment kolu, N; deney boyunca uygulanan eksenel yük ve e; P yatay yüküne bağlı olarak kolonun yapmış olduğu eğilme sonucu ortaya çıkan dış merkezliktir.

Moment-eğrilik ilişkileri elde edilirken, eğrilik değerleri kolonlardaki beton yüzeylerinde ölçülen ortalama yerdeğiştirmelerden yararlanılarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8).

Eğrilik hesabında kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$X = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{(b + x_{11} + x_{12})} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_{11}}{L_{1LK}} \quad (4.3)$$

L_{1LK} =Deney Öncesi Ölçüm Boyu

Δl : Ölçüm Boyu

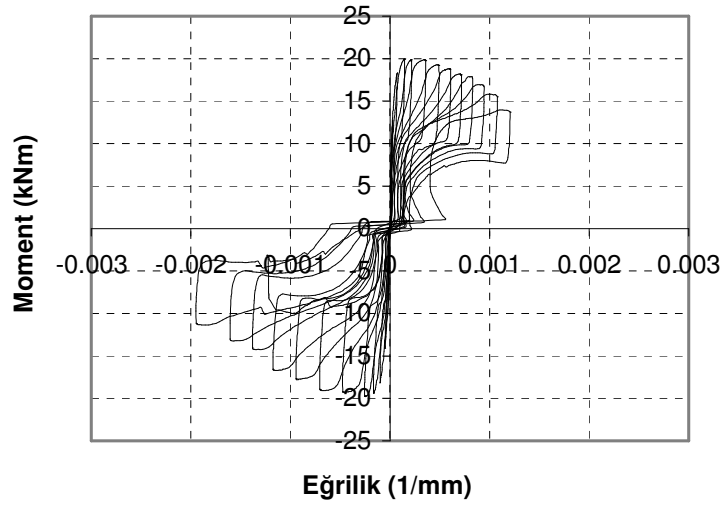
$b+x_{11}+x_{12}$: Yerdeğiştirmeölçerler Arası Mesafe

Yerdeğiştirmeölçer ile beton yüzeyi arası mesafeler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe

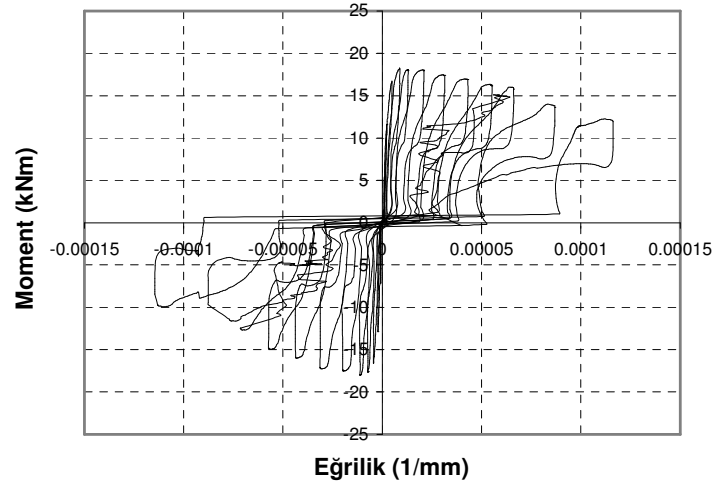
X_{11} (mm)	40
X_{12} (mm)	40
X_{13} (mm)	41
X_{21} (mm)	42
X_{22} (mm)	42
X_{23} (mm)	41

Şekil 4.9’de LS-C0 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 20 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



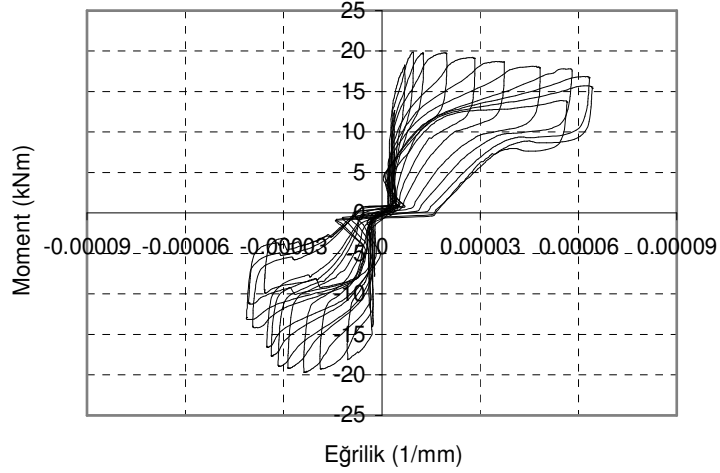
Şekil 4.9 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)

Şekil 4.10’de LS-C0 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 150 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.10 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)

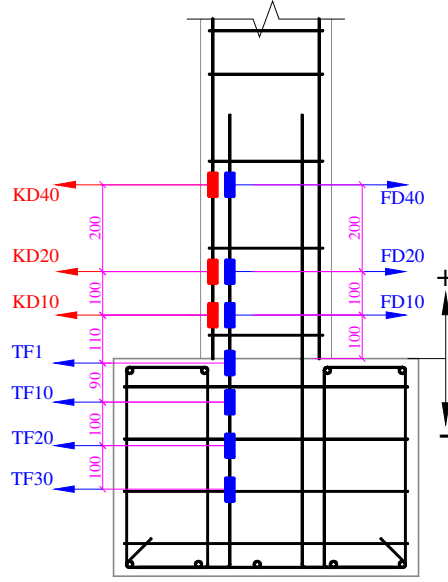
Şekil 4.11’de LS-C0 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 20 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



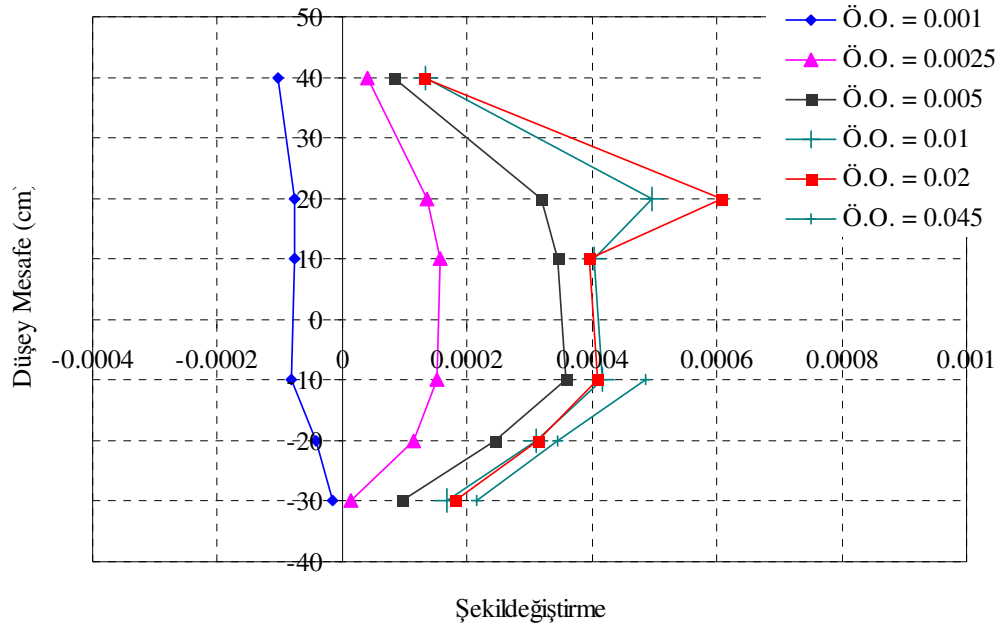
Şekil 4.11 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)

Üç farklı ölçüm boyuna moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen sonuçlara göre hasar temel üst kotundan itibaren 20 mm’lik temel ile kolon birleşim bölgesine yakın bölgede yoğunlaşmıştır. LS-C2 numunesinde moment eğrilik ilişkilerine bakıldığında; temel üst kotundan 300 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-5} mertebesinde kalırken; 20 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-3} mertebelerine çıkmıştır.

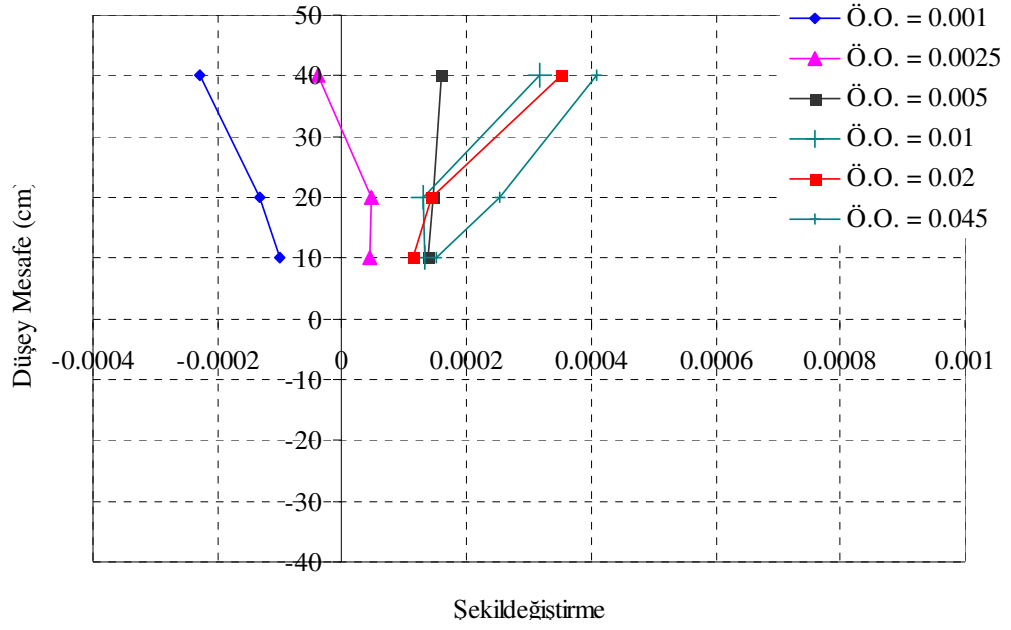
LS-C0 numunesine ait filiz donatısı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirmeölçerlerden alınan değerlere göre, itmede en büyük şekildeğiştirme; temel üst kotundan itibaren +200 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, deneyde en büyük kuvvet $F=18.6$ kN değerinin okunduğu 0.035 öteleme oranında 0.00092 olarak belirlenmiştir. Çekmede ise $F=-15.6$ kN değerinin okunduğu 0.005 öteleme oranında -0.00038 olarak okunmuştur. Kolon üzerine yapıştırılan şekildeğiştirmeölçerde ise en büyük okuma; temel üst kotundan itibaren +400 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, itmede 0.035 öteleme oranında 0.41, çekmede temel üst kotundan itibaren +200 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, 0.040 öteleme oranında 0.00082 olarak okunmuştur. Şekil 4.13’te çekme ve Şekil 4.15’te itmede olmak üzere filiz donatısı, Şekil 4.14’te çekme ve Şekil 4.16’da itmede olmak üzere kolon donatısı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirmeölçerlerden okunan değerler gösterilmektedir.



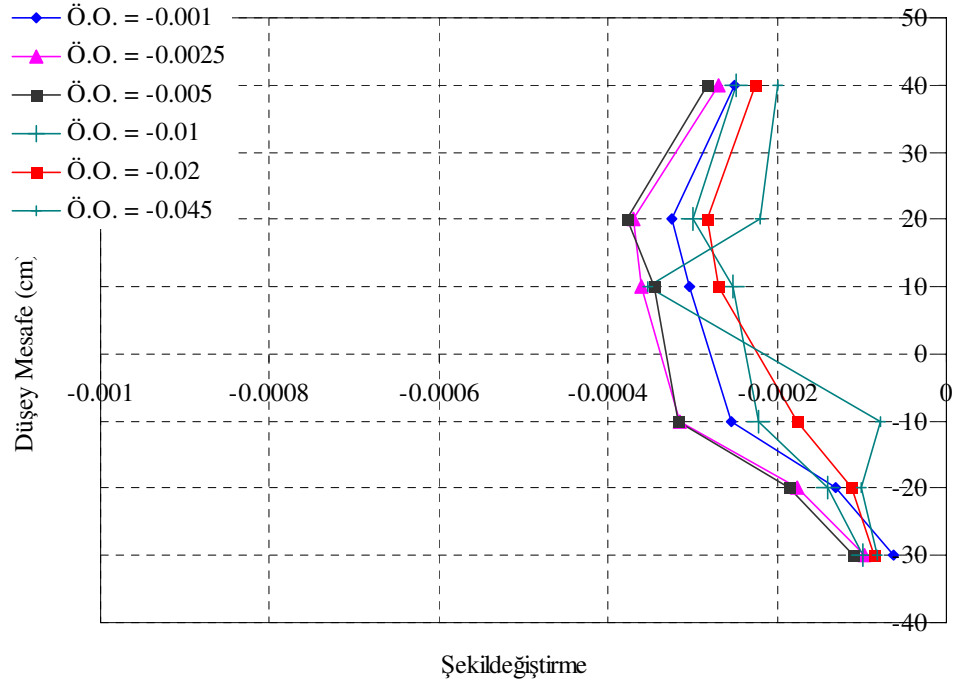
Şekil 4.12 : Şekildeğiştirmeölçer Şematik Görünüm



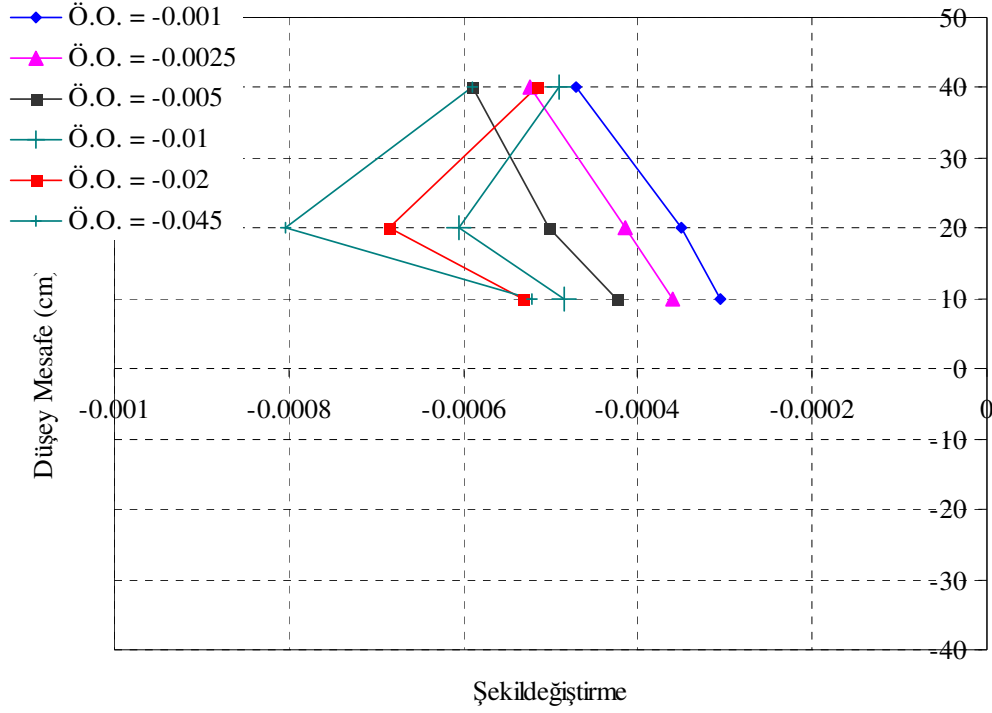
Şekil 4.13 : LS-C0 İtmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.14 : LS-C0 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.15 : LS-C0 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.16 : LS-C0 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri

Tablo 4.3 : LS-C0 İtmede Çatlak Gelişimi

LS-C0	Ön Yüz		Arka Yüz	
Öteleme Oranı	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
0.10%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.25%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.50%	A : 0.1	A : Taban Çatlağı	A : 0.2	A : Taban Çatlağı
0.75%	A : 0.2 B : 0.1	B : Temel üst kotundan 250 mm yukarıda yatay çatlak	A : 0.4 B : 0.1	B : Temel üst kotundan 250 mm yukarıda yatay çatlak
2.00%	A : 1.2 B : 0.6 BL1 : 0.2 BL2 : 0.1 BL3 : 0.3	BL1 : İtmede basınç bölgesinde düşey çatlak BL2 : İtmede çekme bölgesinde düşey çatlak BL3 : İtmede basınç bölgesinde, 600 mm'de düşey çatlak.	A : 3.0 B : 0.7	
3.00%	A : 2.0 B : 0.9	BL1 : 1.2 BL2 : 0.2 BL3 : 0.3	A : 3.7 B : 1.6 BL1 : 0.1	BL1 : İtmede çekme bölgesinde, 300 mm'de düşey çatlak
4.00%	A : 3.5 B : 1.4 BL1 > 1.4 BL2 : 0.6	BL3 : 0.5 BL4 < 0.1 BL4 : İtmede çekme böl.de, 350 mm'de düşey çatlak.	A : 4.1 B : 2.5 BL1 : 0.3	
5.00%	A > 3.5 B : 2.0 BL1 > 1.4	BL2 : 1.2 BL3 : 0.5 BL4 : 0.1	A > 5.3 B : 2.5 BL1 : 0.3	BL2 = 0.1 : İtmede çekme böl.de, 150 mm'de düşey çatlak.

Tablo 4.4 : LS-C0 Çekmede Çatlak Gelişimi

LS-C0	Ön Yüz		Arka Yüz	
Öteleme Oranı	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
-0.10%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.25%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.50%	A' : 0.1 B' : 0.2	A' : Taban Çatlağı B' : 250 mm'de yatay çatlak	A' : 0.1 B' : 0.1	A' : Taban Çatlağı B' : 250 mm'de yatay çatlak
-2.00%	A' : 2.5 B' : 0.9 BL1' : 0.2	BL1' : İtmede basınç bölgesinde temel üst kotundan 0 - 150 mm arasında düşey çatlak.	A' : 2.0 B' : 0.8	
-2.50%	A' : 2.8 B' : 0.9 BL1' : 0.5 BL2' : 0.1 BL3' : 0.2	BL2' : İtmede çekme böl.de 600 mm'de düşey çatlak. BL3' : İtmede çekme böl.de 550 mm'de düşey çatlak.	A' : 3.0 B' : 0.8 BL1' : 0.2	BL1' : İtmede basınç bölgesinde temel üst kotundan 10 mm'de düşey çatlak.
-3.00%	A' : 3.0 B' : 0.9	BL1' : 0.5 BL2' : 0.1 BL3' : 0.2	A' : 3.0 B' : 0.8 BL1' : 0.2	
-4.00%	A' : 5.5 B' : 1.2	BL1' : 0.5 BL2' : 0.1 BL3' : 0.3	A' > 5.5 B' : 1.0 BL1' : 0.5	
-5.00%	A' > 5.5 B' : 1.0	BL1' : 0.5 BL2' : 0.1 BL3' : 0.3	A' > 5.5 B' : 1.2	BL1' > 1.8

4.2. LS-C1 Numunesi

LS-C1 numunesi 1. seviye korozyon numunesi olarak hazırlanmıştır. Deney 24.05.2007 tarihinde yapılmıştır ve beton yaşı 342 gündür. 28, 90, 180 ve 360. günlerde yapılan standart silindir deneyleri sonucuna göre dayanımın bu yaşlar arasında doğrusal değiştiği kabul edilerek deney günü standart silindir beton basınç dayanımı ~4 MPa olarak bulunmuştur. Beton dökümü esnasında CaCl_2 katılmış, daha sonra ilk olarak yüzeyine CaCl_2 çözeltisi püskürtülmek suretiyle, daha sonra da korozyon hızlandırma işlemine tabi tutularak korozyona maruz bırakılmıştır (Bölüm 3.1.6.1 ve 3.1.6.2). Gecor 8 korozyonmetre ölçüm cihazı ile yapılan son ölçümde numunenin korozyon seviyesi (Ecorr) -460 mV olarak ölçülmüştür. Bu değer; numunenin daha önceden belirlenen ve detayları 1. seviye mertebesine (Tablo 3.15) ulaştığını görerek deney yapılmasına karar verilmiştir.

LS-C1 numunesine 127.5 kN eksenel yük verilmiştir. Bu değer, eksenel yük kapasitesinin %53'üne denk gelmektedir. Bu numune denenen ilk numunedir. İlk üç çevrim kuvvet kontrollü olarak yapılmış daha sonra yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. İlk hedef yük olarak; BAKE kesit analiz programı ile teorik olarak

hesaplanan yükün %20'si olan 6.04 kN (öteleme oranı %0.0875) değeri seçilmiştir ve bu değere ulaşıldığında numunede herhangi bir hasar gözlenmemiştir. İkinci hedef yük; BAKE kesit analiz programı ile teorik olarak hesaplanan yükün % 40'ı olan 12.1 kN (öteleme oranı %0.23) değerinde de herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Numunede ilk çatlak, itme yönünde 18.7 kN (öteleme oranı %0.6) yüke gidilirken kolon ile temelin birleştiği bölgede ve kolon tabanından +250 mm yukarıda meydana gelmiştir (Şekil 4.17). Her iki yüzeyde oluşan çatlaklar 0.1 mm'den küçüktür.



Şekil 4.17 : LS-C1 Numunesinde İlk Çatlak Oluşumu

Çekme yönünde; BAKE kesit analiz programı ile teorik olarak hesaplanan yükün % 60'ına ulaşamadığı için bu aşamadan sonra yerdeğiştirme kontrollü olarak gidilmiştir. Hedef yerdeğiştirme 9.6 mm (öteleme oranı %0.80) ve yük 15.8 kN'a gidilirken donatılarda sıyrılma gözlenmiştir. Hedef yerdeğiştirme 12 mm (öteleme oranı %1.00) ve yük 18.3 kN'a gidilirken donatılarda sıyrılma gözlenmeye devam etmiştir. 36 mm (öteleme oranı %3.00) hedef yerdeğiştirme değerinde itmede ön yüzde basınç bölgesinde kolon boyuna donatısı boyunca temel üst kotundan itibaren ilk 200 mm'lik bölgede beton örtüsünde dökülme başlangıcı görülmüştür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : Beton Örtüsünde Dökülme Başlangıcı

54 mm hedef yerdeğiştirme (öteleme oranı %4.50) ve daha ileri aşamalarda beton örtüsündeki dökülme artmış ve donatı gözükmeye başlamıştır (Şekil 4.19).

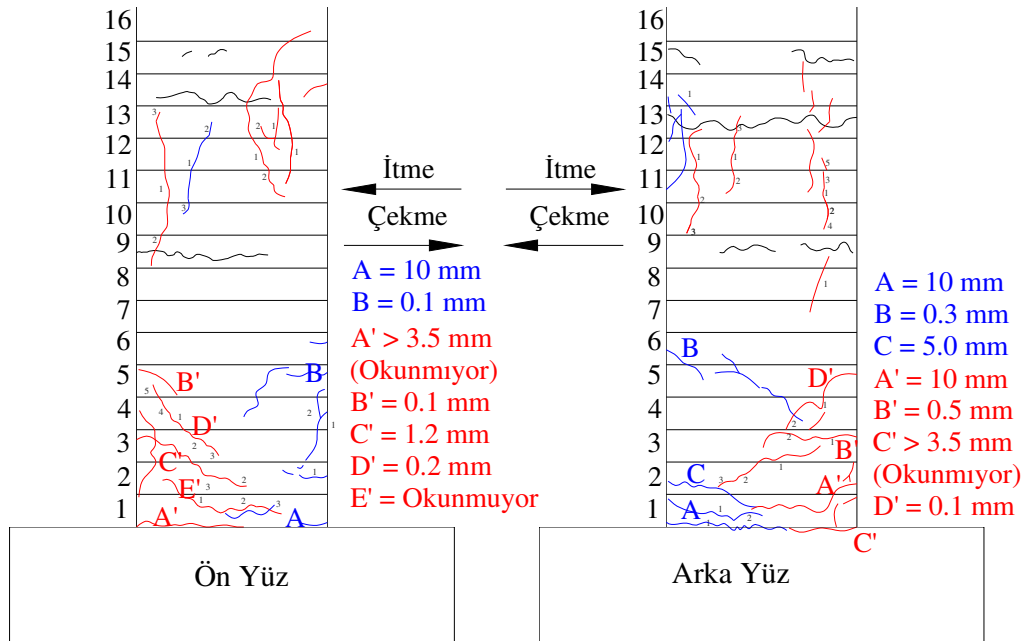


Şekil 4.19 : Beton Örtüsünde Dökülme ve Ortaya Çıkan Donatı

Deneyin ilerleyen aşamalarında çatlaklar genel olarak temel yüzeyinden itibaren yukarı doğru +250 mm'lik bölgede yoğunlaşmıştır (Şekil 4.20). Deney sonunda oluşan çatlakların gösterildiği çizim Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Deney Sonu Çatlak Durumu (Öteleme Oranı %6.00)



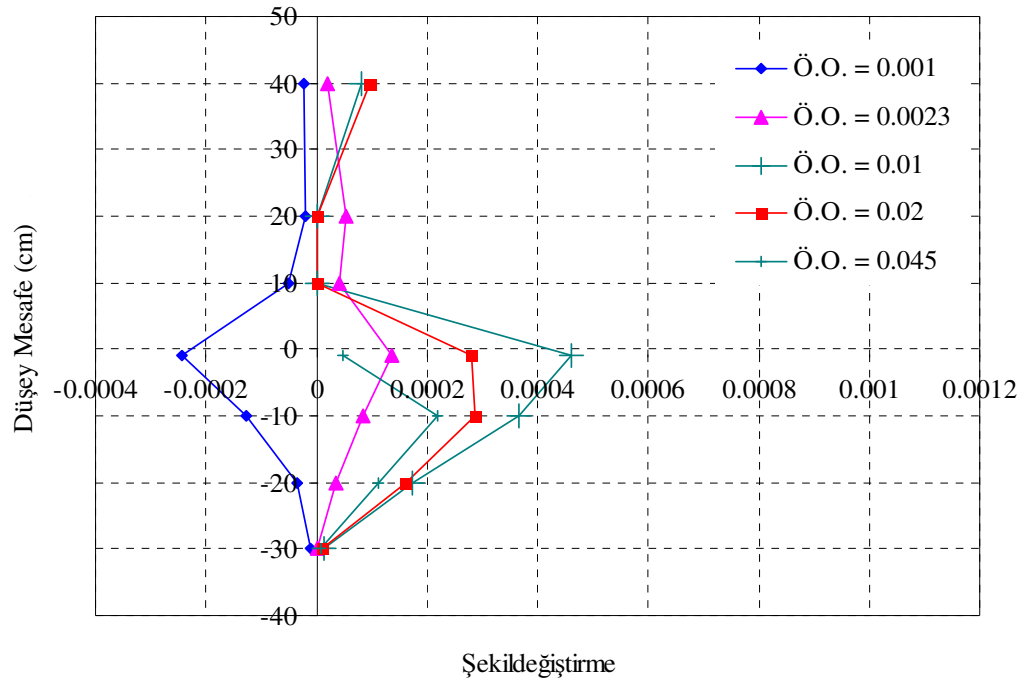
Şekil 4.21 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %6.00)

LS-C1 numunesinin davranışının daha kolay izlenebilmesi ve diğer numunelerle karşılaştırılması için deney sırasındaki davranışı özet olarak Tablo 4.5’de verilmiştir.

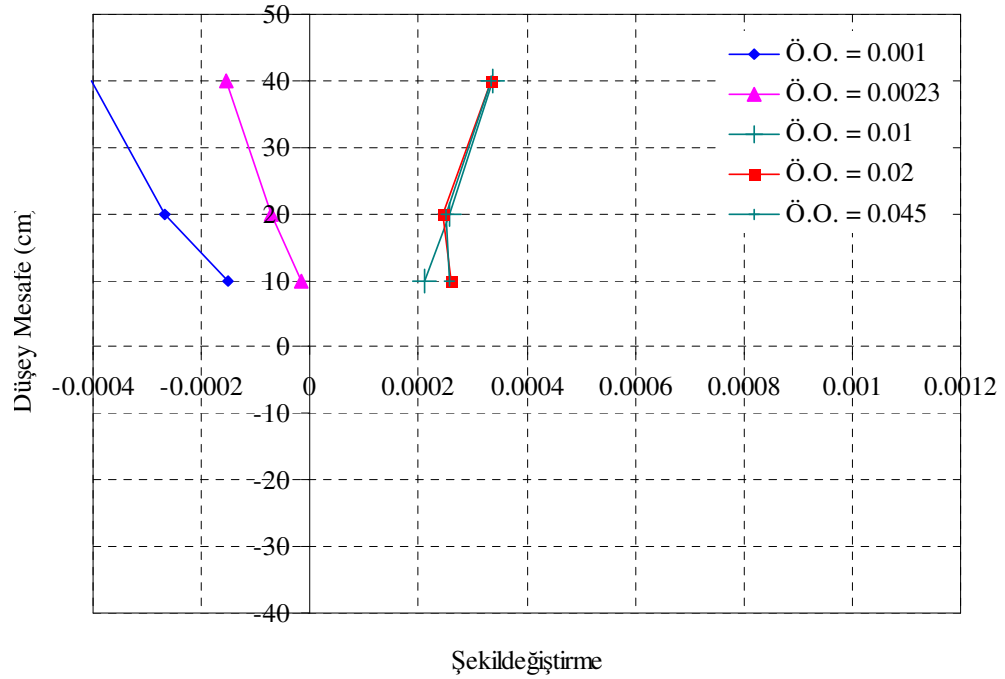
Tablo 4.5: LS-C1 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = % 0.875 / - 0.917	1.05 / -1.1	± 6.04	Çatlak yok
ÖÖ = % 0.23 / - 0.29	2.8 / -3.5	± 12.1	Çatlak yok
ÖÖ = % 0.6 / -0.8	7.2 / -9.6	18.7 / -15.8	İtmede kolon temel birleşim kesitinde ayrılma. İlk eğilme - kayma çatlağı. Çekmede dayanımın %60’ına ulaşamadı.
ÖÖ = % 1.00	± 12	18.3 / -14.9	Bu adımla birlikte yerdeğiştirme kontrollü gidildi. Sıyırılma gözlenmeye devam etmiştir.
ÖÖ = % 3.00	± 36	17.0 / -13.3	Basınç bölgesinde beton örtüsünde kalkma
ÖÖ = % 4.50	± 54	16.3 / -12.2	İtmede ve çekmede tabana yakın kesitte ve bindirmenin bittiği kesitte sıyırılma işareti düşey çatlaklar
ÖÖ = % 6.00	± 72	15.4 / -	Deney Sonu

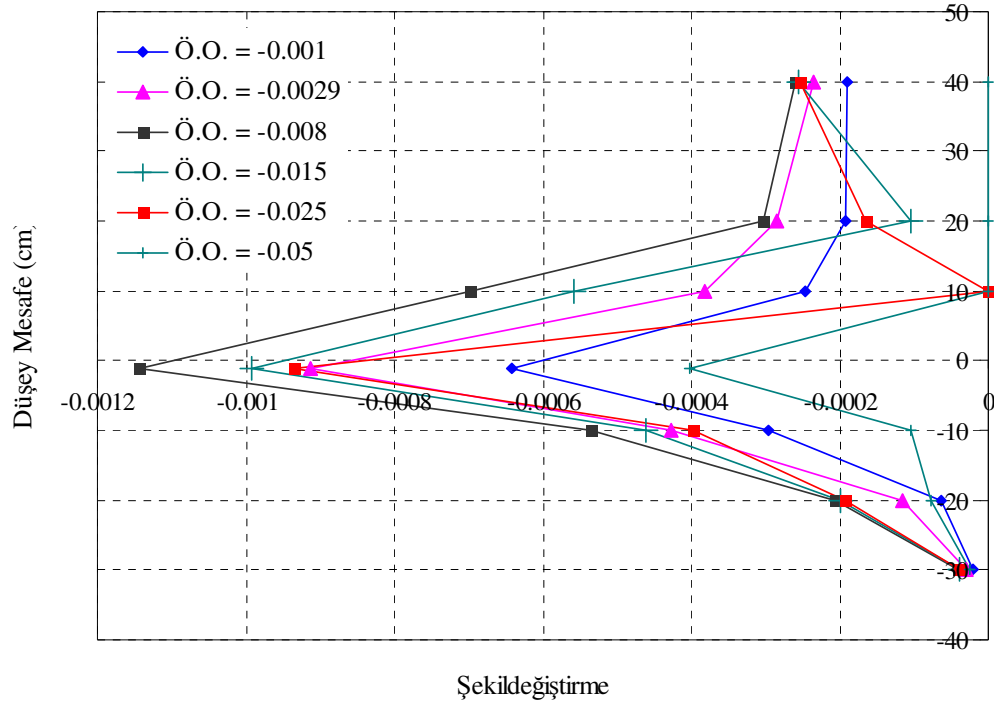
LS-C1 numunesine ait filiz donatısı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirmeölçerlerden alınan değerlere göre, itmede en büyük şekildeğiştirme; temel üst kotundan itibaren +100 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, deneyde en büyük kuvvet $F=18.7$ kN değerinin okunduğu 0.006 öteleme oranında 0.001143 olarak belirlenmiştir. Çekmede ise $F=-15.8$ kN değerinin okunduğu -0.008 öteleme oranında -0.001144 olarak okunmuştur. Kolon üzerine yapıştırılan şekildeğiştirmeölçerde ise en büyük okuma; temel üst kotundan itibaren +400 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, itmede 0.015 öteleme oranında 0.000348, çekmede temel üst kotundan itibaren +100 mm’ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, - 0.050 öteleme oranında 0.00082 olarak okunmuştur. Şekil 4.22’de çekme ve Şekil 4.24’te itmede olmak üzere filiz donatısı, Şekil 4.23’te çekme ve Şekil 4.25’te itmede olmak üzere kolon donatısı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirmeölçerlerden okunan değerler gösterilmektedir.



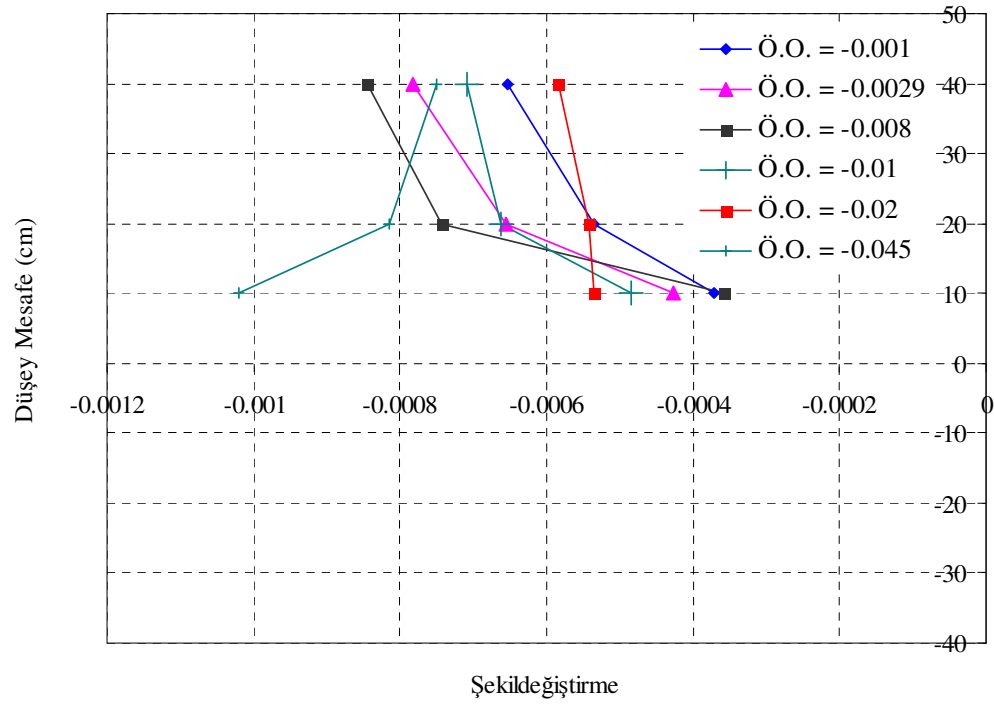
Şekil 4.22 : LS-C1 İtmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.23 : LS-C1 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri

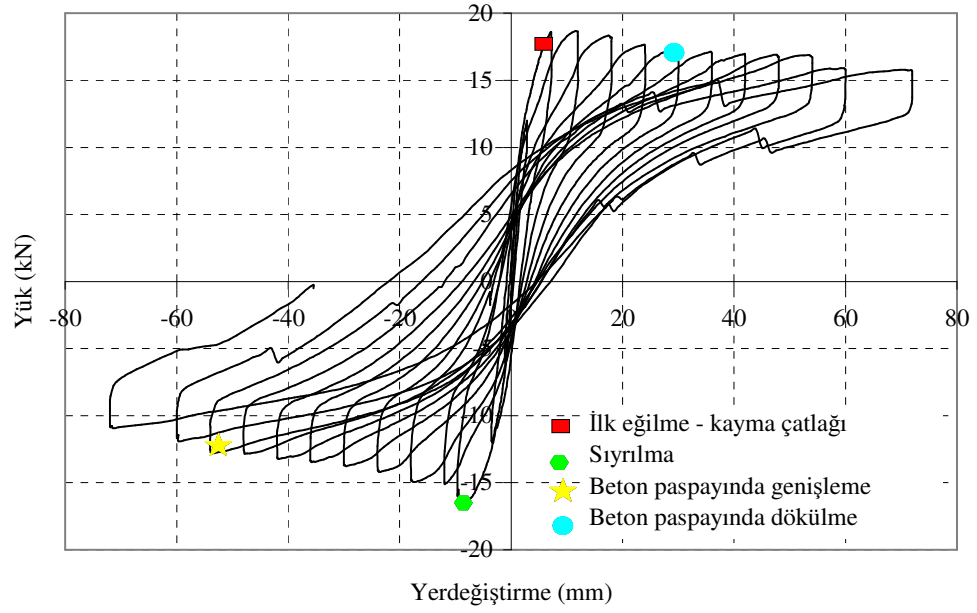


Şekil 4.24 : LS-C1 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.25 : LS-C1 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri

Şekil 4.26'da LS-C1 numunesine ait yük, yerdeğiştirme ve öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Numunenin en büyük yük tasıma kapasitesi 18.7 kN dur. Bu yüke %0.60 öteleme oranında ulaşılmıştır.



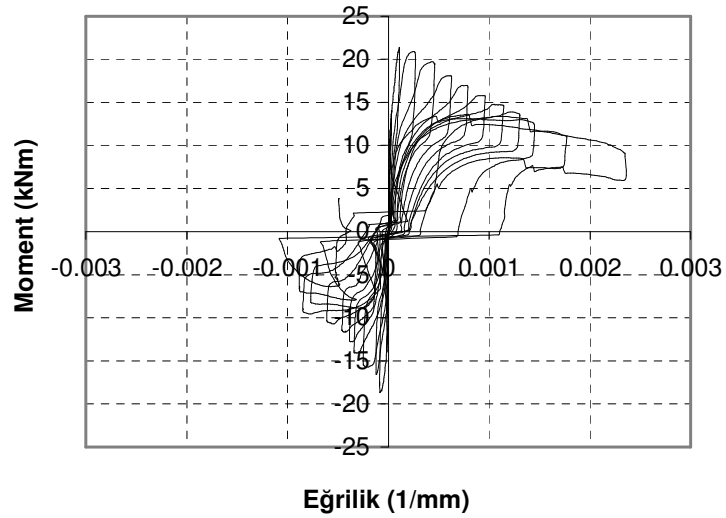
Şekil 4.26 : Yük Yerdeğiştirme İlişkisi

Yerdeğiştirmeölçer ile beton yüzeyi arası mesafeler Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.6: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe

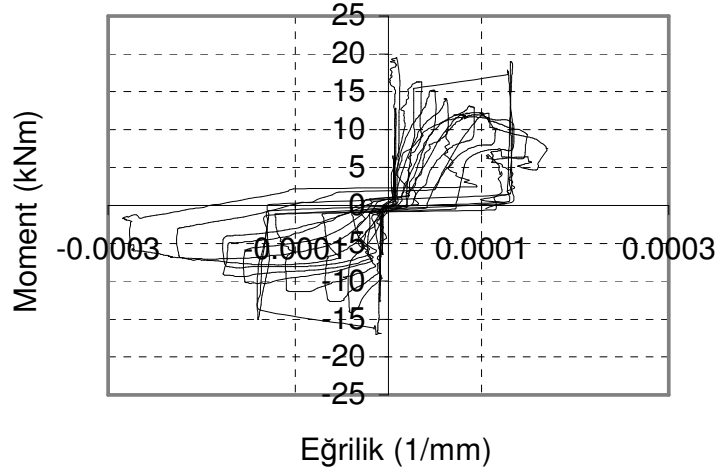
X_{11} (mm)	42
X_{12} (mm)	41
X_{13} (mm)	40
X_{21} (mm)	38
X_{22} (mm)	39
X_{23} (mm)	39

Şekil 4.27’de LS-C1 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 20 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



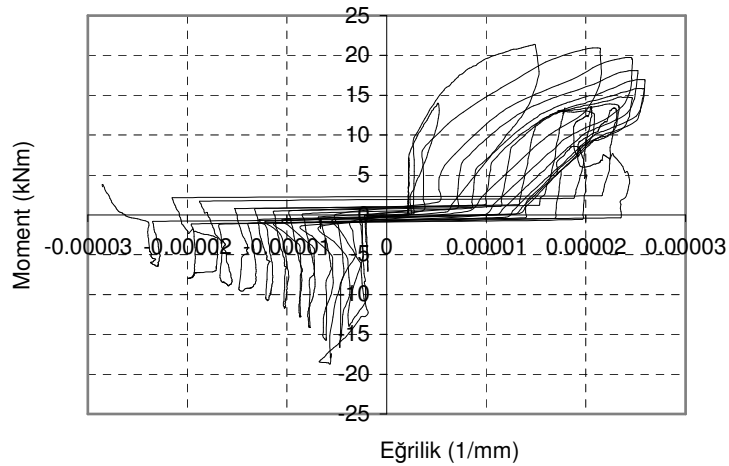
Şekil 4.27 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)

Şekil 4.28’de LS-C1 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 150 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.28 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)

Şekil 4.29’de LS-C1 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 30 mm mesafede moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.29 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)

LS-C1 numunesinde moment eğrilik ilişkilerine bakıldığında; temel üst kotundan 300 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-5} mertebesinde kalırken; 20 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-3} mertebelerine çıkmıştır. LS-C1 numunesinde de hasarın temel kolon birleşim bölgesinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.7 : LS-C1 İtmede Çatlak Gelişimi

LS-C1	Ön Yüz		Arka Yüz	
Öteleme Oranı	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
0.09%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.23%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.60%	A : 0.1 B : 0.1	A : Taban Çatlağı B : Temel üst kotundan 250 mm yukarıda yatay çatlak	A : 0.2 B : 0.3	A : Taban Çatlağı B : Temel üst kotundan 300 mm yukarıda yatay çatlak
2.00%	A : 1.0 B : 0.4		A : 2.0 B : 0.6 C : 0.4	C : Temel üst kotundan 10 mm yukarıda yatay çatlak
3.00%	A : 5.0 B : 0.2		A : 5.0 B : 0.5	C : 0.9
4.00%	A : 8.0 B : 0.1		A : 7.0 B : 0.3	C : 1.7
5.00%	A : 10.0 B : 0.1		A : 10.0 B : 0.3	C : 5.0

Tablo 4.8 : LS-C1 Çekmede Çatlak Gelişimi

LS-C1	Ön Yüz		Arka Yüz	
Öteleme Oranı	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
-0.10%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.25%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.50%	A' : 0.10 B' : 0.10	A' : Taban Çatlağı B' : Temel üst kotundan 250 mm'de yatay çatlak	A' < 0.1 B' < 0.2	A' : Temel üst kotundan 25 mm yukarıda yatay çatlak. B' : Temel üst kotundan 150 mm yukarıda yatay çatlak
-1.00%	A' : 0.20 B' : 0.30		A' : 0.1 B' : 0.5	C' : 0.1 : Taban Çatlağı
-1.50%	A' : 1.80 B' : 0.10 C' : 0.40 D' : 0.25	C' : Temel üst kotundan 150 mm yukarıda yatay çatlak. D' : Temel üst kotundan 200 mm yukarıda yatay çatlak.	A' : 0.8 B' : 0.95 C' : 1.8 D' : 0.1	D' : Temel üst kotundan 250 mm yukarıda yatay çatlak
-2.00%	A' : 2.00 B' : 0.10 C' : 0.60	D' : 0.25 E' : 0.50 : Temel üst kotundan 100 mm yukarıda yatay çatlak	A' : 1.5 B' : 1.1 C' : 2.0 D' : 0.1	
-3.00%	A' : 3.50 B' : 0.10	C' : 1.0 D' : 0.5 E' : 3.5	A' : 3.0 B' : 0.4	C' : 3.5 D' : 0.1
-4.00%	A' > 3.5 B' : 0.1 C' : 1.1	D' : 0.2 E' : 3.8	A' : 7.0 B' : 0.5	C' > 3.5 D' : 0.1
-5.00%	A' > 3.5 B' : 0.1 C' : 1.2	D' : 0.2 E' > 3.8	A' : 10.0 B' : 0.5	C' > 3.5 D' : 0.1

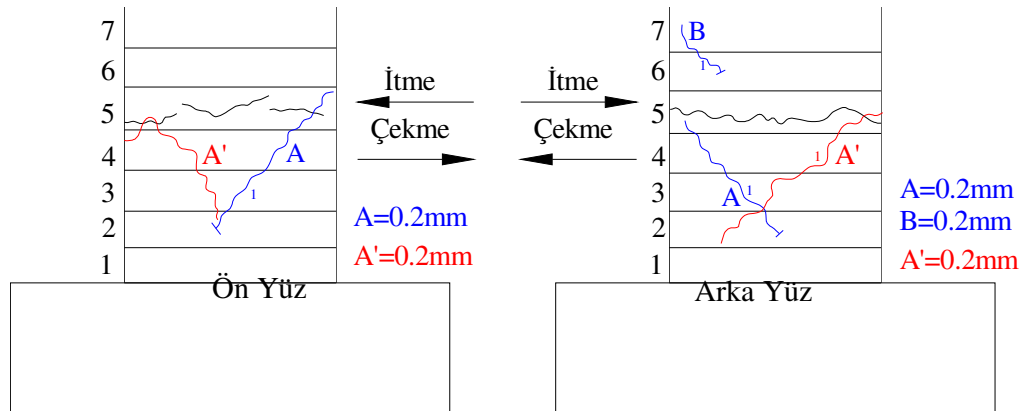
4.3. LS-C2 Numunesi

LS-C2 numunesi 2. seviye korozyon numunesi olarak hazırlanmıştır. Deney 10.09.2007 tarihinde yapılmıştır ve beton yaşı 451 gündür. 28, 90, 180 ve 360. günlerde yapılan standart silindir deneyleri sonucuna göre dayanımın bu süre zarfında doğrusal değiştiği kabul edilerek deney günü standart silindir beton basınç dayanımı ~4 MPa olarak bulunmuştur. Beton dökümü esnasında CaCl_2 katılmış, daha sonra ilk olarak yüzeyine CaCl_2 çözeltisi püskürtülmek suretiyle, daha sonra da korozyon hızlandırma işlemine tabi tutularak korozyona maruz bırakılmıştır. Gecor 8 korozyonmetre ölçüm cihazı ile yapılan son ölçümde numunenin korozyon seviyesi (Ecorr) -480 mV olarak ölçülmüştür. Bu değer; numunenin daha önceden belirlenen 2. seviye mertebesine (Tablo 3.15) ulaştığını görerek deney yapılmasına karar verilmiştir.

LS-C2 numunesine 127.5 kN eksenel yük verilmiştir. Bu değer, eksenel yük kapasitesinin %53'üne denk gelmektedir. İlk hedef yerdeğiştirmesi olarak 1.2 mm (öteleme oranı %0.10) değeri seçilmiştir ve bu değere ulaşıldığında numunede herhangi bir hasar gözlenmemiştir. İkinci hedef yerdeğiştirme olan 3 mm (öteleme oranı %0.25) değerinde de herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Numunede ilk çatlak, itme esnasında 6 mm (öteleme oranı %0.50) yerdeğiştirme değerine gidilirken kayma çatlağı olarak kolon yan yüzeylerinde +4 mm mertebesinde meydana gelmiştir. Çatlağın oluştuğu andaki yatay yük değeri 12–13 kN mertebesinde olup her iki yüzeyde oluşan çatlaklar yaklaşık 0.2 mm genişliğindedir. Şekil 4.30'da 6 mm yerdeğiştirmede (öteleme oranı %0.50) numunenin görünümü ve Şekil 4.31'de itme ve çekme çevrimlerinin sonunda oluşan çatlaklar gösterilmiştir.

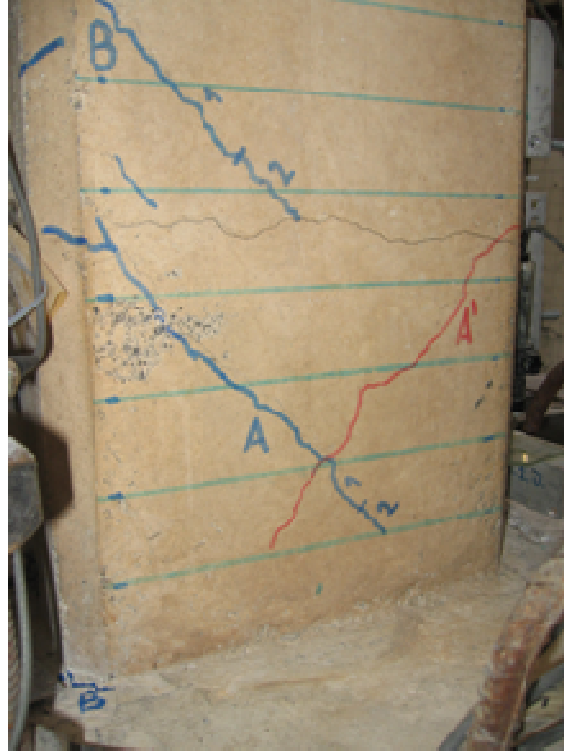


Şekil 4.30 : Öteleme Oranı %0.50 Düzeyinde Hasar Durumu



Şekil 4.31 : -%0.50 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi

Hedef yerdeğiştirme -9.0 mm'ye gidilirken (öteleme oranı %0.75) tabanda kılcal ayrılma ve kolon köşelerinde düşey çatlaklar görülmüştür (Şekil 4.32).

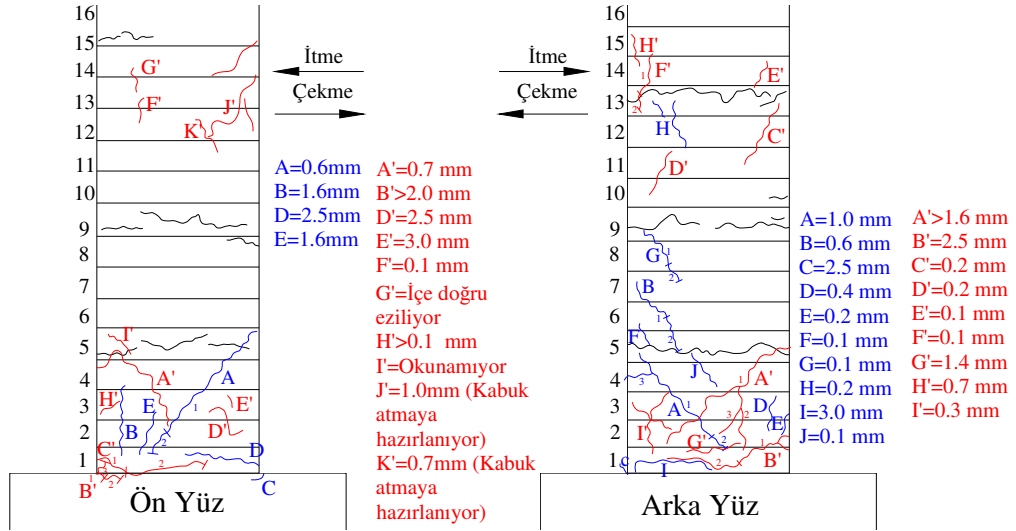


Şekil 4.32 : Öteleme Oranı %0.75 Düzeyinde Hasar Durumu

Hedef yerdeğiştirme 12.0 mm'ye gelindiğinde (öteleme oranı %1.00) taban ayrılması bir miktar daha artmıştır ve bu artış 18.0 mm'de de (öteleme oranı %1.50) devam etmiştir. 30.0 mm (öteleme oranı %2.50) yerdeğiştirme düzeyinde basınç bölgesinde düşey çatlaklar oluşmuştur. Beton örtüsünde yer yer dökülmeler ve hafif ezilme gözlenmiştir. 36.0 mm (öteleme oranı %3.00) yerdeğiştirme düzeyinde gidildiğinde basınç bölgesinde ezilme ve köşelerde kabuğun döküldüğü görüldü. Bu yerdeğiştirmede tepe noktasında yük 14.4kN'du. Bu çevrime ait numune resmi Şekil 4.33'te, çatlak krokisi Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.33 Öteleme Oranı %3.00 Düzeyinde Hasar Durumu

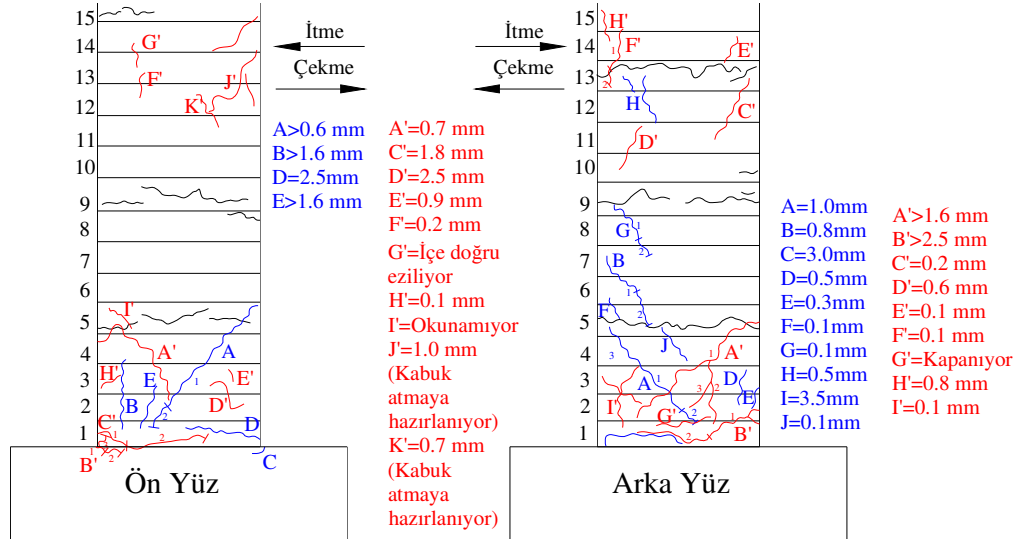


Şekil 4.34 : -%3.00 Öteleme Oranına ait Çatlak Krokisi

54.0 mm yerdeğiştirme hedefine gidilirken (öteleme oranı %4.50) numune düzlem dışına doğru aşırı yerdeğiştirme yapmıştır. Olası kazaların önüne geçmek için aksenal yük azaltılarak deney sonlandırılmıştır. Deney sonu numunenin görünümü Şekil 4.35'te, deney sonunda oluşan çatlakların gösterildiği çizim Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.35 : Deney Sonu Numune Görünümü (Öteleme Oranı %4.50)



Şekil 4.36 : Deney Sonu Çatlak Krokisi (Öteleme Oranı %4.50)

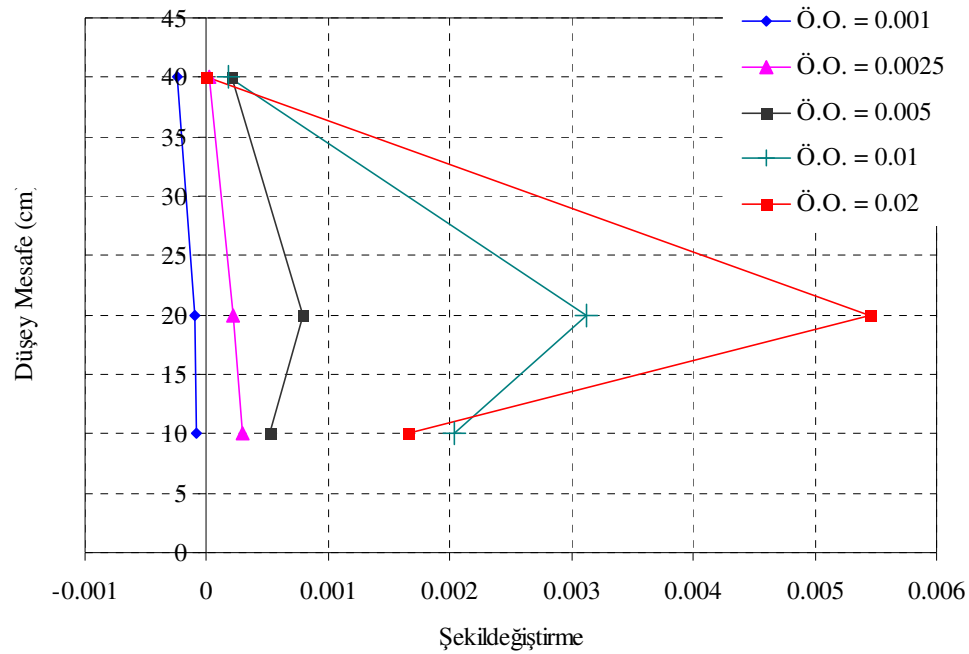
LS-C2 numunesinin davranışının daha kolay izlenebilmesi ve diğer numunelerle karşılaştırılması için deney sırasındaki davranışı özet olarak Tablo 4.9'de verilmiştir.

Tablo 4.9 : LS-C2 Numunesinin Davranışının Özeti

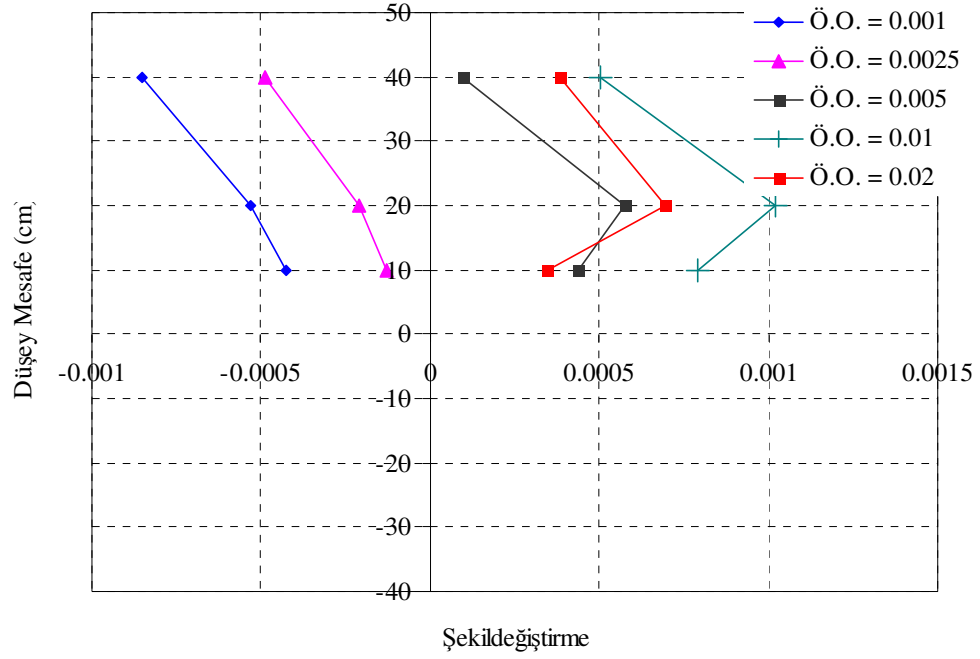
Öteleme Oranı (ÖÖ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.10	± 1.2	5.3 / -5.2	Çatlak yok.
ÖÖ = %0.25	± 3.0	10.7 / -9.8	Çatlak yok.
ÖÖ = %0.50	± 6.0	14.6 / -13.2	Her iki yüzeyde etriye seviyesinde kayma çatlakları oluştu. ($\delta = -5$ mm'de F=12 kN)
ÖÖ = %0.75	± 9.0	16.5 / -14.5	Kolon tabanında kılcal ayrılmalar belirdi. Kolon köşelerinde düşey çatlaklar görüldü.
ÖÖ = %1.00	± 12.0	16.7 / -14.3	Tabanda görülen ayrılma bir miktar daha arttı.
ÖÖ = %1.50	± 18.0	16.8 / -13.4	Tabandaki ayrılma bir miktar büyüdü.
ÖÖ = %2.00	± 24.0	15.5 / -12.8	Kesme hasarı ilerledi.
ÖÖ = %2.50	± 30.0	14.5 / -12.4	Basınç bölgesinde düşey çatlaklar görüldü, beton örtüsü dökülmeye ve ezilmeye başladı.
ÖÖ = %3.00	± 36.0	14.4 / -12.8	Basınç bölgesinde ezilme devam etti. Köşelerde kabuk betonu döküldü.
ÖÖ = %4.50	± 54.0	Tepe noktasına ulaşamadı.	Numune düzlem dışında aşırı yerdeğiştirme yaptı, eksenel yük azaltılıp deney sonlandırıldı.

LS-C2 numunesine ait filiz donatısı üzerine yerleştirilen şekildeğiştirmeölçerlerden alınan değerlere göre, itmede en büyük şekildeğiştirme; temel üst kotundan itibaren +200 mm'ye yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer üzerinde, F=12.0 kN değerinin

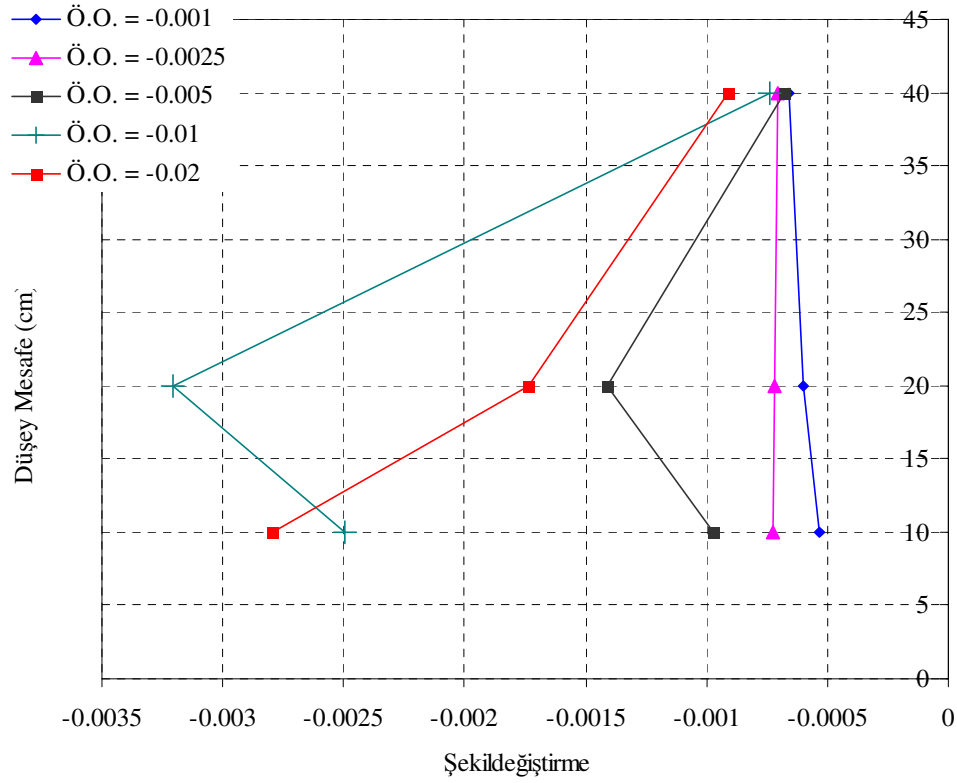
okunduğu 0.040 öteleme oranında 0.00654 olarak belirlenmiştir. Çekmede ise $F=-9.6$ kN değerinin okunduğu -0.035 öteleme oranında -0.00389 olarak okunmuştur. Kolon üzerine yapılandırılan şekil değiştirmeölçerlerde ise en büyük okuma; itmede temel üst kotundan itibaren +200 mm'ye yapılandırılan şekil değiştirmeölçer üzerinde, 0.010 öteleme oranında 0.00102, çekmede temel üst kotundan itibaren +100 mm'ye yapılandırılan şekil değiştirmeölçer üzerinde, -0.040 öteleme oranında 0.00740 olarak okunmuştur. Şekil 4.37'de çekme ve Şekil 4.39'da itmede olmak üzere filiz donatısı, Şekil 4.38'de çekme ve Şekil 4.40'ta itmede olmak üzere kolon donatısı üzerine yerleştirilen şekil değiştirmeölçerlerden okunan değerler gösterilmektedir.



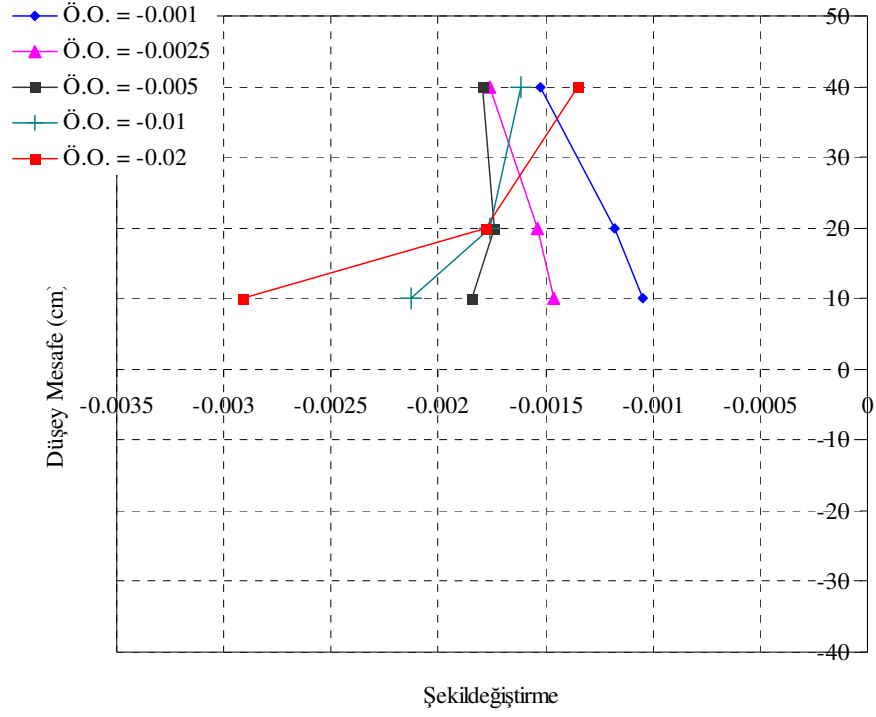
Şekil 4.37 : LS-C2 İtmede Filiz Donatısı Şekil Değiştirmeleri



Şekil 4.38 : LS-C2 İtmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri

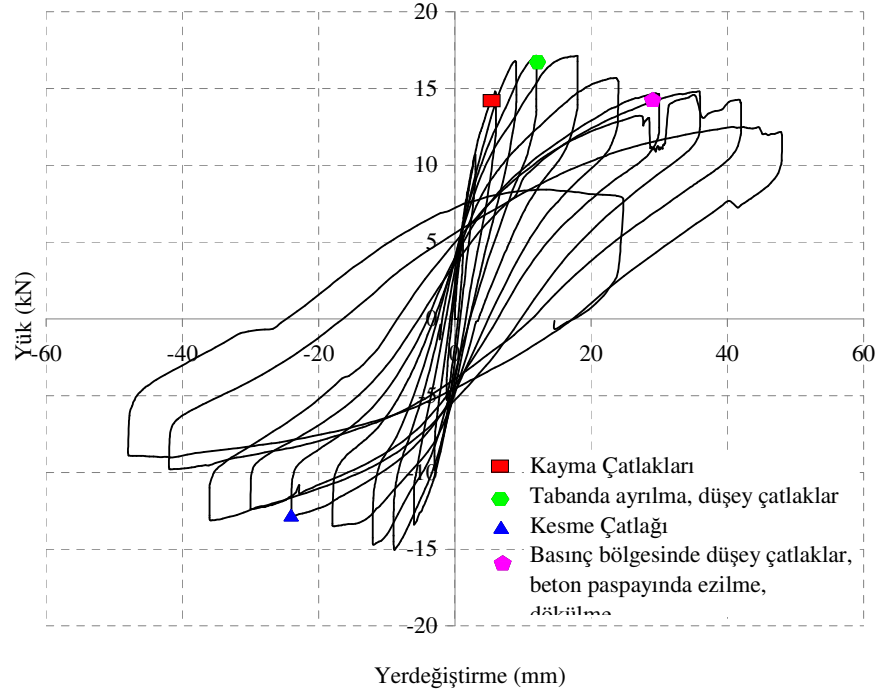


Şekil 4.39 : LS-C2 Çekmede Filiz Donatısı Şekildeğiştirmeleri



Şekil 4.40 : LS-C2 Çekmede Kolon Donatısı Şekildeğiştirmeleri

Şekil 4.41’de LS-C2 numunesine ait yük, yerdeğiştirme ve öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Numunenin en büyük yük tasıma kapasitesi 16.8 kN dur. Bu yüke %1.50 öteleme oranında ulaşılmıştır.

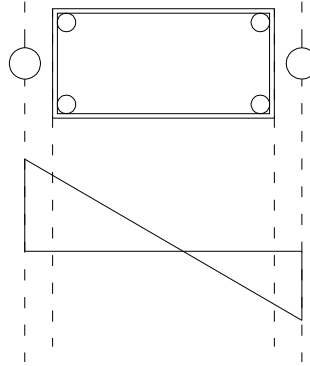


Şekil 4.41 : Yük Yerdeğiştirme İlişkisi

Şekil 4.41'den çevrim sıkışmasının diğer numunelere göre daha az olduğu, bu nedenle daha az enerji yutulduğu, donatı şekil değiştirmelerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Korozyon nedeni ile aderansın beklenenin tersine artmasından dolayı dayanım daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir.

Numunede kayma çatlaklarının oluşması, numunenin eğilmeden göçmemiş olabileceğini akla getirmiştir. Bunun için bazı kontroller yapılmıştır.

İlk olarak dayanım kaybına bakılmıştır. Kesme çatlakları oluşuktan sonra numune ileriki çevrimlerde yük almaya devam etmiş, yani kesme çatlakları sonucu yük düşmemiştir. İkinci olarak düşey çatlaklara bakılmıştır. Her iki yüzde de düşey çatlaklar çekmede meydana gelmiş, bu da çatlakların ezilmeden oluşmadığını göstermiştir. Son olarak; düşey yer değiştirme ölçer değerlerinden faydalanılmıştır. Şekil 4.42'de şematik olarak gösterildiği gibi kolon dışında okunan yer değiştirmelerden yararlanılarak, eğilmeden önce düzlem kabul edilen kesitin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı kabulü ile kolon beton yüzeyine çekilerek betonda okunması gereken gerçek değerlere ulaşılmıştır. Burada da itmede ve çekmede; $\epsilon_c < 0.003$ olduğu için ezilme olmadığı görülmüştür.



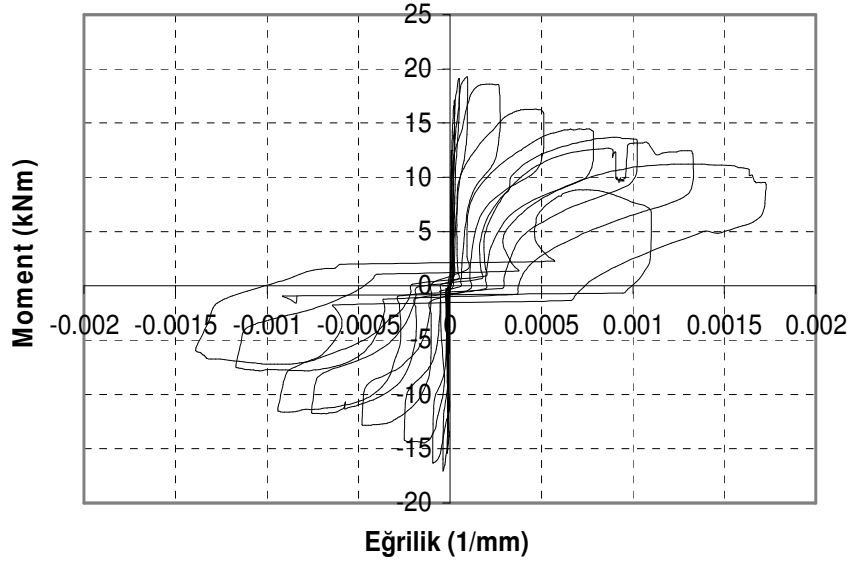
Şekil 4.42 : Yerdeğiştirmeölçer Okumalarının Beton Yüzüne Çekilmesi

Yerdeğiştirmeölçer ile beton yüzeyi arası mesafeler Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Yerdeğiştirmeölçer ile Beton Yüzeyi Arası Mesafe

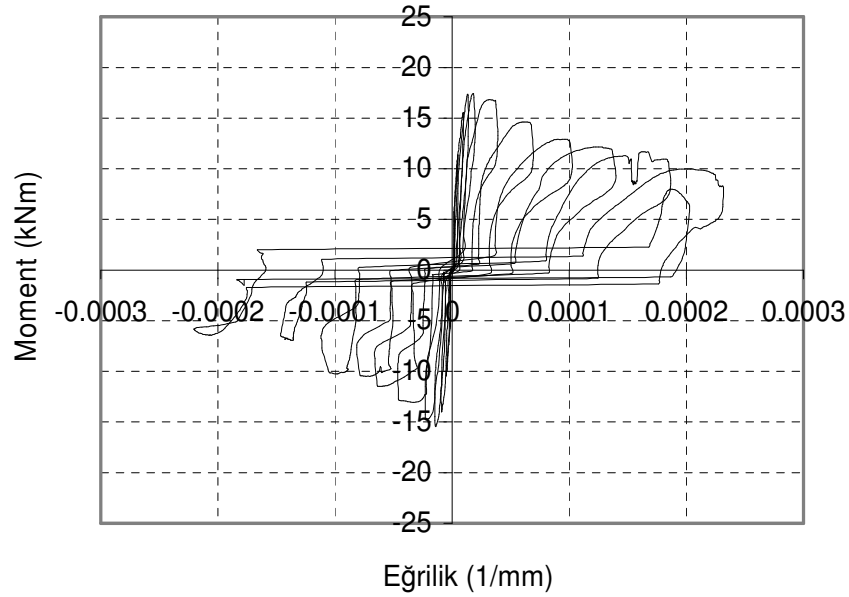
X₁₁ (mm)	38
X₁₂ (mm)	40
X₁₃ (mm)	38
X₂₁ (mm)	40
X₂₂ (mm)	40
X₂₃ (mm)	40

Şekil 4.43'de LS-C2 numunesine ait yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 20 mm mesafedeki moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



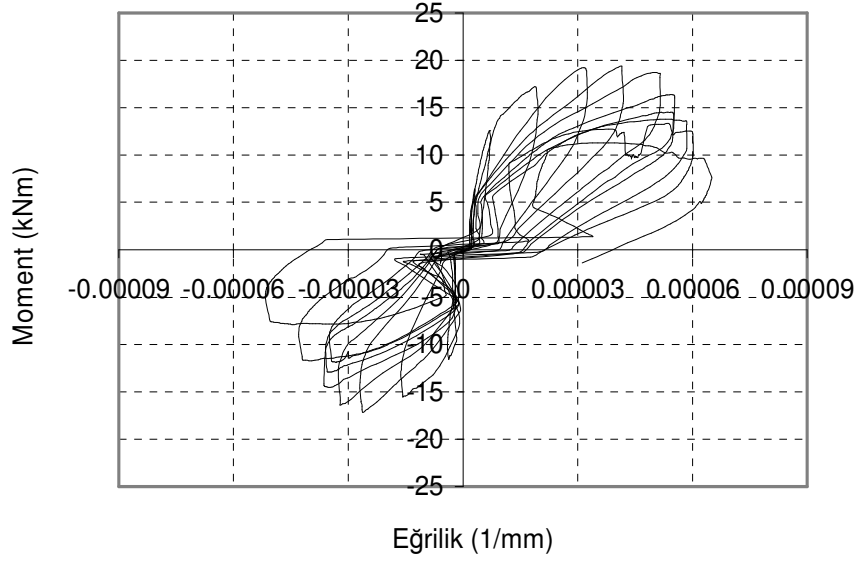
Şekil 4.43 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~20 mm)

Şekil 4.44’de LS-C2 numunesine ait yerdeğiştirmelerden elde edilen temel üst kotundan 150 mm mesafedeki moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.44 : Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu ~150 mm)

Şekil 4.45’de LS-C2 numunesine yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen temel üst kotundan 300 mm mesafedeki moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.45 : Moment-Eğrilik ilişkisi (Ölçüm Boyu ~300 mm)

LS-C2 numunesinde moment eğrilik ilişkilerine bakıldığında; temel üst kotundan 300 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-5} mertebesinde kalırken; 20 mm mesafeden okunan ölçümler 10^{-3} mertebelerine çıkmıştır. LS-C2 numunesinde de hasarın temel kolon birleşim bölgesinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.11 : LS-C2 İtmede Çatlak Gelişimi

Ö. O	Ön Yüz		Arka Yüz	
	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
0.10%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.25%		Çatlak yok		Çatlak yok
0.50%	A : 0.2	A : İtmede çekme bölgesinde, temel üst kotundan 250 mm yukarıdan 100mm'ye doğru diyagonal çatlak	A : 0.2 B : 0.2	A : İtmede çekme bölgesinde, temel üst kotundan 250 mm yukarıdan 100 mm'ye doğru diyagonal çatlak B : 300 mm'de diyagonal çatlak
0.75%	A : 0.1 B : 0.1	B : İtmede basınç bölgesinde 50 - 150 mm arasında düşey çatlak	A : 0.4 B : 0.4 C : 0.1 D : 0.1	C : Kolon - temel birleşim bölgesinde pah kısmında D : İtmede basınç bölgesinde 150 mm'de düşey çatlak
1.00%	A : 0.4 B : 0.2		A : 0.4 B : 0.5 C : 0.1 D : 0.1 E : 0.1 F : 0.1 G : 0.1 H : 0.1	E : İtmede basınç bölgesinde 150 mm'de düşey çatlak F : İtmede çekme bölgesinde 250 mm'de diyagonal çatlak G : İtmede çekme bölgesinde 400 mm'de diyagonal çatlak H : İtmede çekme bölgesinde 600 mm'de düşey çatlak
1.50%	A : 0.6 B : 0.4 D : 0.5	C : Kolon - temel birleşim bölgesinde pah kısmında D : İtmede çekme bölgesinde temelden 25 mm yukarıda yatay çatlak.	A : 0.6 B : 0.6 C : 0.6 D : 0.1 E : 0.1 F : 0.1	G : 0.1 H : 0.2 I : 0.6 J : 0.1 I : 25 mm'de yatay çatlak J : Kolon orta bölgesinde 200 mm'de diyagonal çatlak.
2.50%	A : 0.6 B : 0.9 D : 1.8 E : 0.5	E : Orta bölgede 100mm mesafede düşey çatlak.	A : 0.9 B : 0.6 C : 2.0 D : 0.4 E : 0.1	F : 0.1 G : 0.1 H : 0.2 I : 2.0 J : 0.1
4.00%	A > 2.0 B > 1.6 D : 2.5 E > 1.6		A : 1.0 B : 0.8 C : 3.0 D : 0.5 E : 0.3	F : 0.1 G : 0.1 H : 0.5 I : 3.5 J : 0.1

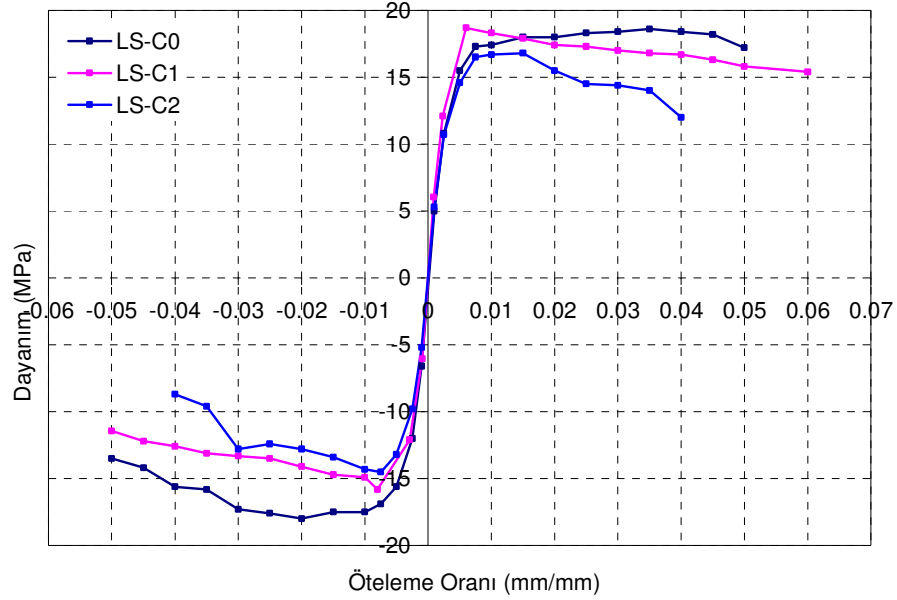
Tablo 4.12 : LS-C2 Çekmede Çatlak Gelişimi

Ö. O.	Ön Yüz		Arka Yüz	
	Çatlak	Açıklama	Çatlak	Açıklama
-0.10%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.25%		Çatlak yok		Çatlak yok
-0.50%	A' : 0.2	A' : İtmede basınç bölgesinde temel üst kotundan 200 - 150 mm arasında diyagonal çatlak.	A' : 0.2	A' : İtmede basınç bölgesinde temel üst kotundan 200 - 150 mm arasında diyagonal çatlak.
-0.75%	A' : 0.5 B' : 0.1	B' : İtmede basınç bölgesinde pah bölgesinde	A' : 1.0	
-1.00%	A' : 0.6 B' : 0.2 C' : 0.1	C' : İtmede basınç bölgesinde 50 mm'de	A' : 0.9 B' : 0.3 C' : 0.1 D' : 0.1 E' : 0.1 F' : 0.1	B' : İtmede basınç bölgesinde 50 - 100 mm arasında diyagonal çatlak. C' : İtmede basınç bölgesinde temel üst kotundan 600 mm'de diyagonal çatlak. D' : İtmede çekme bölgesinde 600 mm'de diyagonal çatlak. E' : İtmede basınç bölgesinde
-2.50%	A' : 0.6 B' : 2.0 C' : 1.8 D' : 0.9 E' : 0.9	F' : 0.2 G' > 0.1 H' : 0.1 J' : 0.1	A' : 1.6 B' : 2.5 C' : 0.2 D' : 0.2	E' : 0.1 F' : 0.1 G' : 0.7 G' : Kolon orta bölgesinde 50 mm'de yatay çatlak.
-3.00%	A' : 0.7 B' > 2.0 C' > 1.8 D' : 2.5 E' : 3.0	F' : 0.1 G' > 0.1 H' > 0.1 J' : 1.0 K' : 0.7	A' > 1.6 B' : 2.5 C' : 0.2 D' : 0.2 E' : 0.1 F' : 0.1	G' : 1.4 H' : 0.7 I' : 0.1 H' : İtmede çekme bölgesinde 750 mm'de diyagonal çatlak. I' : İtmede çekme bölgesinde 100 mm'de düşey çatlak.
-3.50%	A' > 0.7 B' > 2.0 C' > 1.8 D' : 2.5 E' > 3.0	F' > 0.1 G' > 0.1 H' > 0.1 J' : 1.0 K' > 0.7	A' > 1.6 B' > 2.5 C' : 0.1 D' : 0.6 E' : 0.1	F' : 0.1 G' : 1.0 H' : 0.8 I' : 0.1

4.4. Karşılaştırmalar

4.4.1. Dayanım – Öteleme Oranı

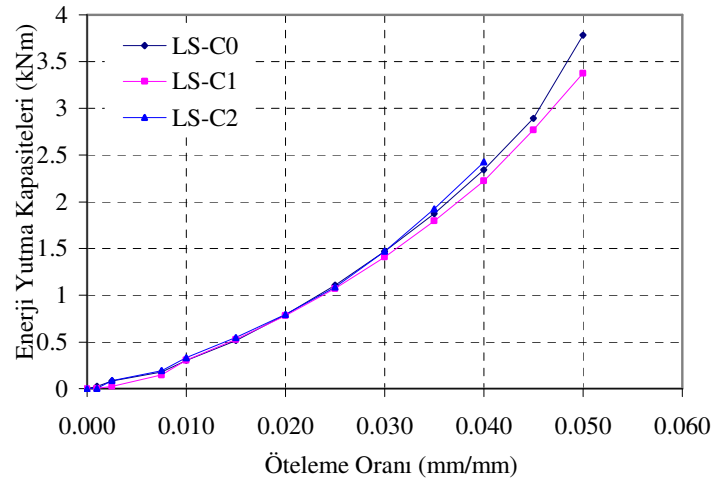
Şekil 4.46'te çevrim sonlarında okunan yüklerin öteleme oranlarına göre nasıl değiştiği görülmektedir. Özellikle ikinci seviye korozyon numunesinin dayanımındaki düşüş açık bir şekilde görülmektedir. Referans numunesi ise hem en büyük yüke diğer numunelere göre ileri çevrimlerde ulaşmış hem de dayanım kaybı daha geç olmuştur. Korozyon nedeni ile aderansın artması sonucu göçme, kesme etkileri ile oluşmuş ve daha gevrek bir dayanım kaybı gerçekleşmiştir.



Şekil 4.46 : Dayanım - Öteleme Oranı İlişkisi

4.4.2. Enerji Yutma Kapasiteleri

Şekil 4.47’de deney numuneleri enerji yutma kapasiteleri açısından karşılaştırılmıştır. Enerji yutma kapasiteleri yük – yerdeğiştirme eğrilerinin altında kalan alan olarak hesaplanmış olup birimi kNm’dir. Enerji yutma kapasiteleri bakımından numuneler arasında bir fark görülmemektedir. Bunun sebebinin çevrim sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.47 : Enerji Yutma Kapasiteleri

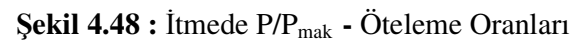
Daha iyi anlaşılması açısından numunelerin enerji yutma kapasiteleri Tablo 4.13’de verilmiştir. Tabloda öteleme oranları (Ö. O.) mm/mm cinsindendir.

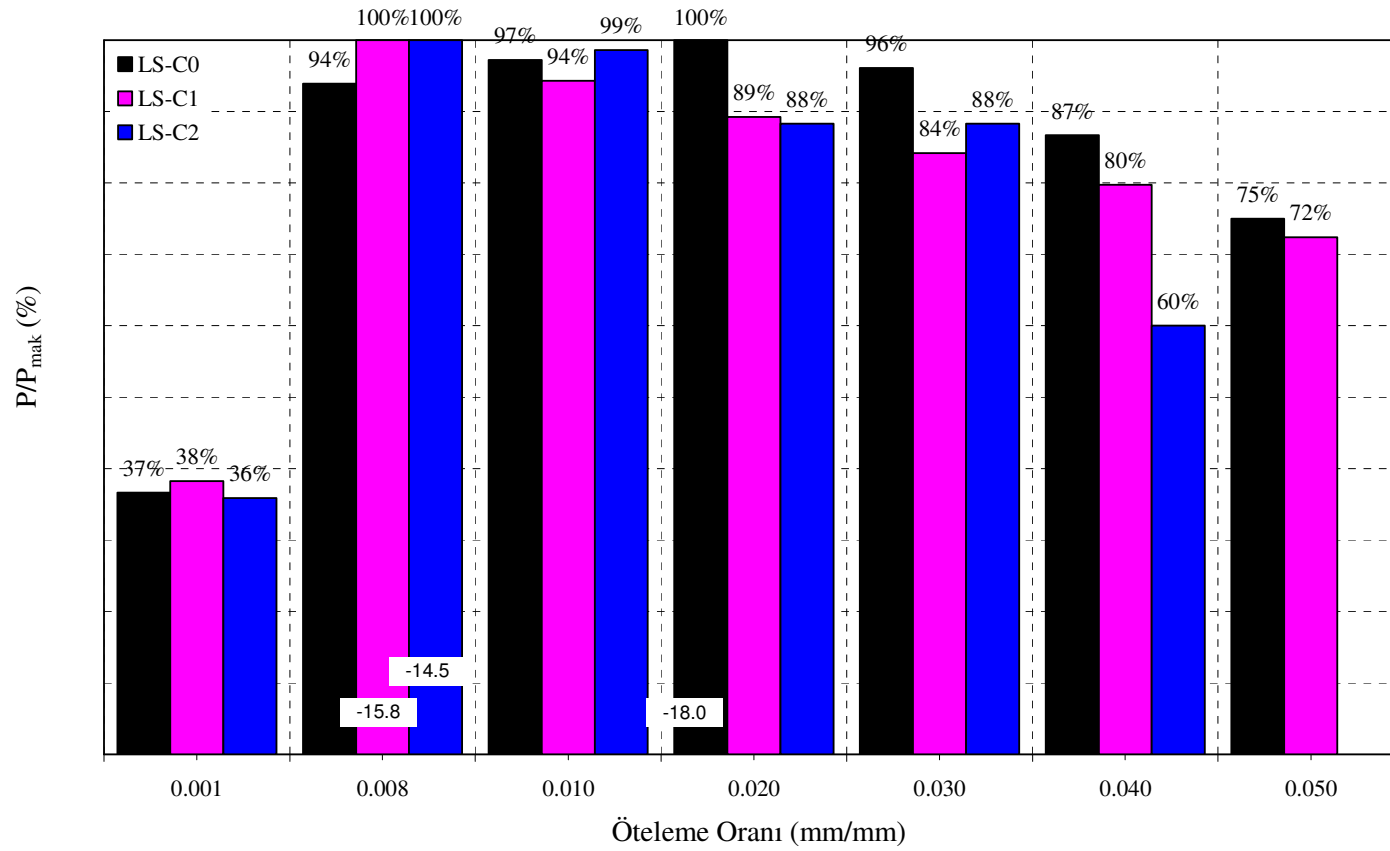
Tablo 4.13 : Enerji Yutma Kapasiteleri

Ö. O.	± 0.001	± 0.0025	± 0.01	± 0.015	± 0.02	± 0.025	± 0.03	± 0.035	± 0.04
LS-C0	0.0242	0.0840	0.3040	0.5160	0.7930	1.1080	1.4720	1.8720	2.3440
LS-C1	0.0043	0.0250	0.3070	0.5270	0.7820	1.0730	1.4080	1.7970	2.2250
LS-C2	0.0026	0.0880	0.3330	0.5470	0.7960	1.0870	1.4700	1.9230	2.4270

4.4.3. Dayanım Kayıpları

Şekil 4.48’de itmede, Şekil 4.49’de çekmede gözlenen F/F_{mak} - öteleme oranı ilişkileri görülmektedir. Grafiklerde düşey eksendeki F değeri; her tepe noktasında ulaşılan o çevrime ait en büyük yükü, F_{mak} ise tüm deneyde karşılaşılan en büyük yatay yük değerini göstermektedir. Tüm numunelere ait F/F_{mak} - öteleme oranı ilişkilerine bakıldığında, LS-C0 numunesi diğer iki numuneye oranla daha ileri seviyelerdeki çevrimlerde (daha yüksek öteleme oranında) en büyük yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu numunedeki dayanım kaybı, korozyona uğramış numunelere göre daha az, daha yavaş ve daha geç ortaya çıkmıştır. Örnek olarak 0.04 öteleme oranlarına karşı gelen F/F_{mak} değerleri; LS-C0 için %99, LS-C1 için %89, LS-C2 numune için ise %71’dir.





Şekil 4.49 : Çekmede $P/P_{\max}$ - Öteleme Oranları

Şekil 4.48 ve Şekil 4.49 grafiklerinden yola çıkılarak numunelerin dayanım kayıplarını da görmek mümkündür. Karşılaştırma açısından kolaylık sağlaması için itmede öteleme oranlarına göre dayanım kayıpları Tablo 4.14'te, çekmede Tablo 4.15'te birlikte verilmiştir.

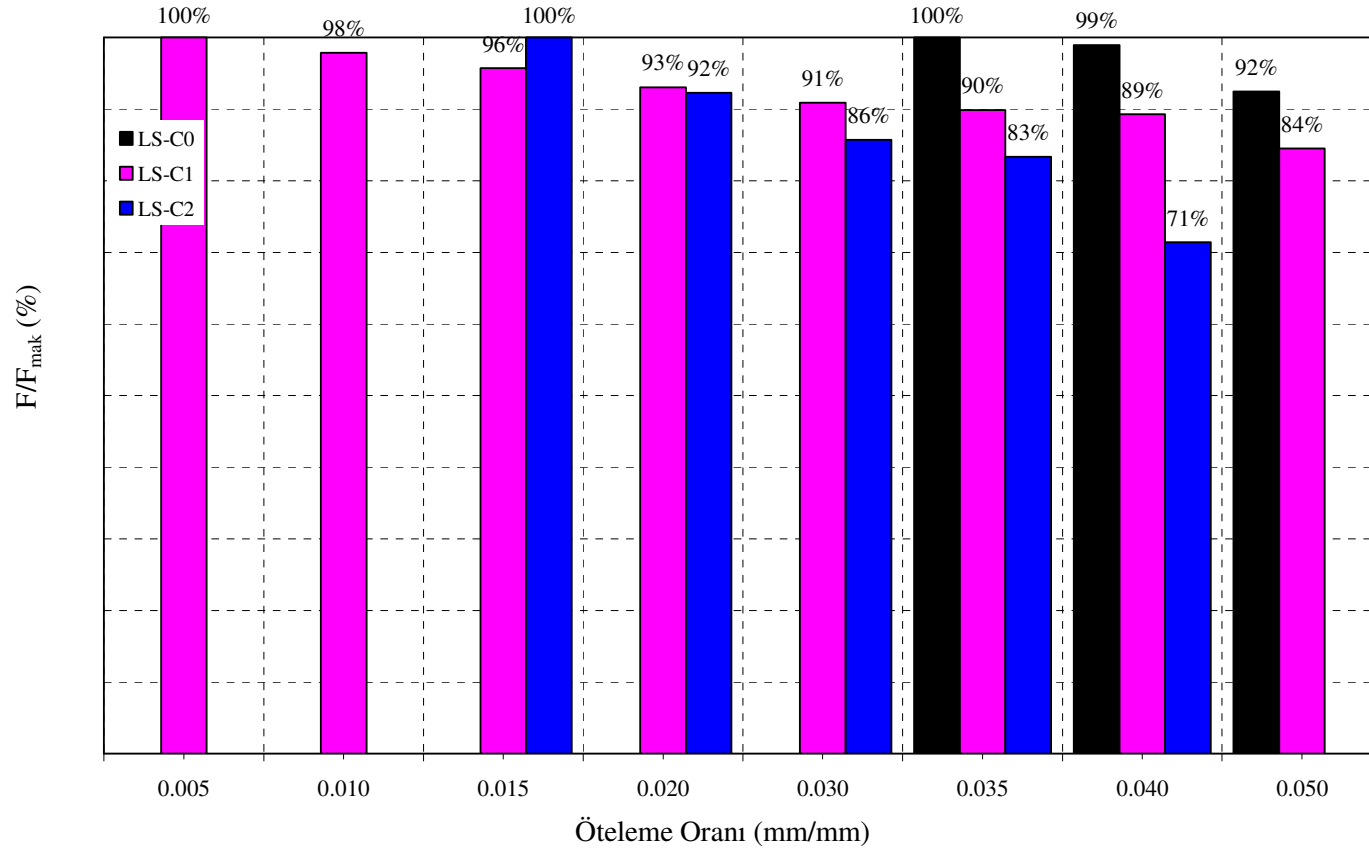
Tablo 4.14: İtmede Dayanım Kayıpları (%)

	Öteleme Oranı (mm/mm)						
Numune	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050
LS-C0	-	-	-	-	1	2	8
LS-C1	7	7	9	10	11	13	16
LS-C2	8	14	14	17	29	*	*

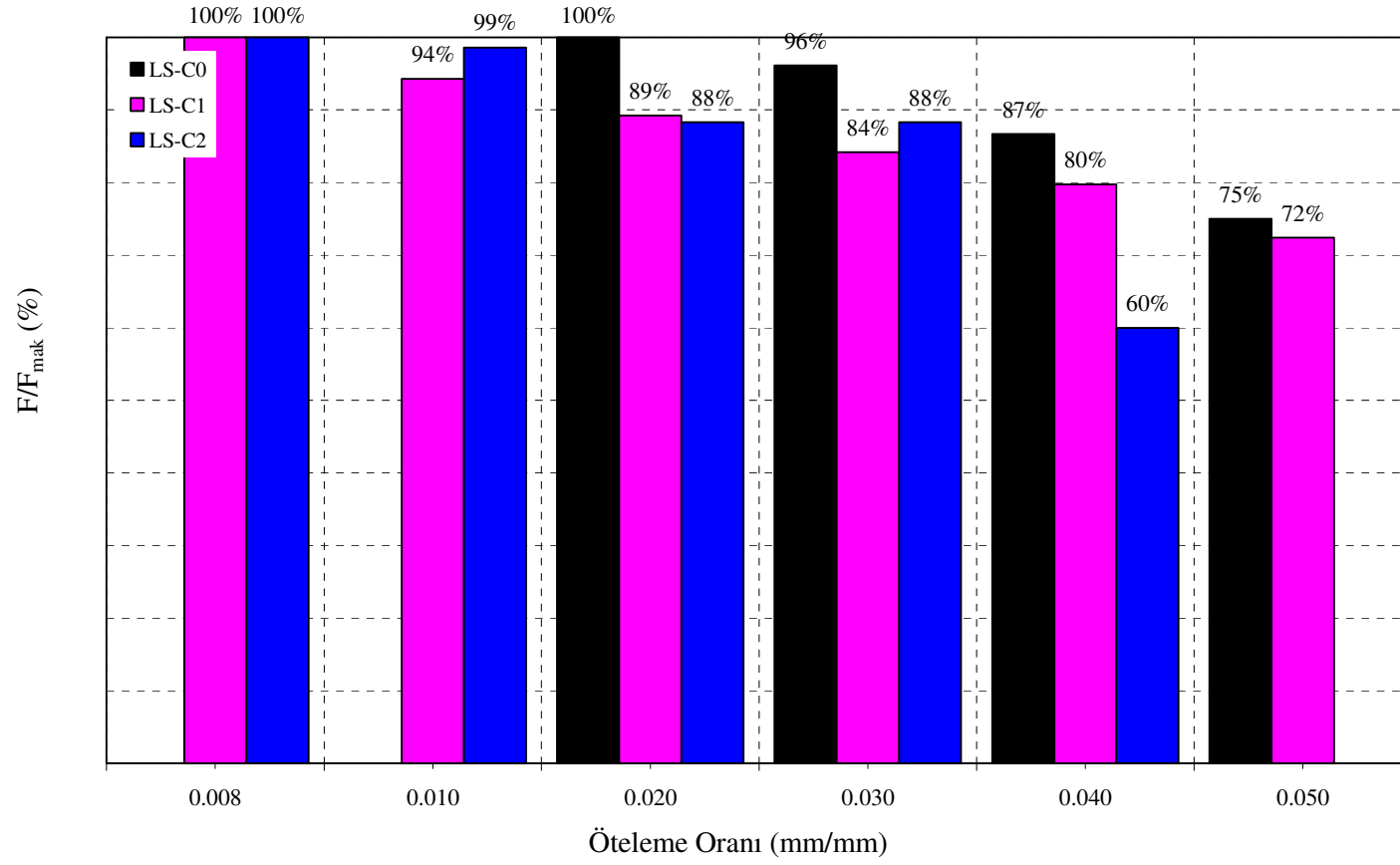
Tablo 4.15: Çekmede Dayanım Kayıpları (%)

	Öteleme Oranı (mm/mm)						
Numune	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050
LS-C0	-	-	-	2	4	12	13
LS-C1	6	7	11	15	16	17	20
LS-C2	1	8	12	14	12	*	*

* : Numune düzlem dışında aşırı yerdeğiştirme yaptığı için eksenel yük azaltılıp deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.50 : İtmede Dayanım Kayıpları



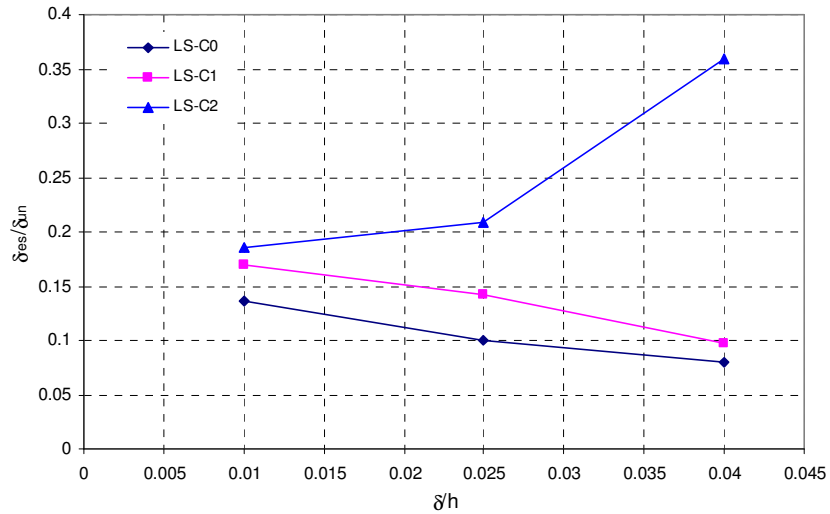
Şekil 4.51 : İtmede Dayanım Kayıpları

4.4.4. Kalıcı Yerdeğiştirme

Deney esnasında çeşitli öteleme oranlarında ve deney sonunda, numunede oluşan kalıcı yerdeğiştirmeler ölçülmüş ve Tablo 4.16’da verilmiştir. Bu karşılaştırma Şekil 4.52’da grafik olarak verilmiştir. Tablo 4.16’da; δ_{un} , her bir çevrimin tepe noktasında okunan yük değerine karşılık gelen yerdeğiştirme değeridir. Buna karşılık; δ_{res} değeri ise δ_{un} değerine ait çevrimde $F=0$ mertebesinde; yani yükün kaldırıldığı anda okunan, numunenin yapmış olduğu kalıcı yerdeğiştirmedir (Şekil 4.53).

Tablo 4.16: Kalıcı Yerdeğiştirme Değerleri

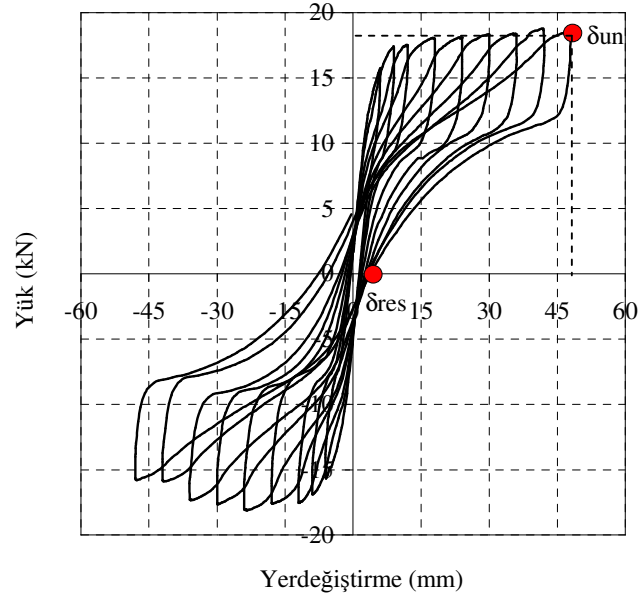
Numune	δ/h (mm/mm)		
	0.01	0.025	0.04
	δ_{res}/δ_{un} (mm/mm)		
LS-C0	0.137	0.101	0.080
LS-C1	0.170	0.142	0.098
LS-C2	0.186	0.208	0.360



Şekil 4.52 : Kalıcı Yerdeğiştirme

Birinci dereceden korozyona maruz bırakılmış LS-C1 numunesi, LS-C0 numunesine oranla 0.01 öteleme oranında %24, LS-C2 numunesi %36 oranında kalıcı yerdeğiştirme yaptığı görülmüştür. Öteleme oranının 0.04 olduğu durumda numuneler karşılaştırıldığında, LS-C0 numunesine göre LS-C1 numunesi %23, LS-C2 numunesi ise %350 oranlarında kalıcı yerdeğiştirmeler yaptığı görülmüştür. Buna bağlı olarak; Şekil 4.52’da en çok sıyrılmanın LS-C0 numunesinde, orta düzey sıyrılmanın LS-C1’de, en az sıyrılmanın da LS-C1’de olduğu görülmektedir.

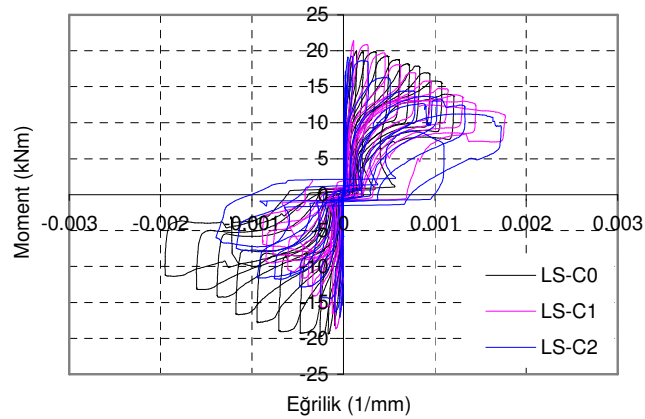
Buradan korozyon arttıkça sürtünmenin arttığı ve bu durumun da aderans dayanımını arttırdığı gözlenmektedir.



Şekil 4.53 : Örnek Bir Yük Yerdeğiştirme Grafiği

4.4.5. Moment Eğrilik İlişkileri

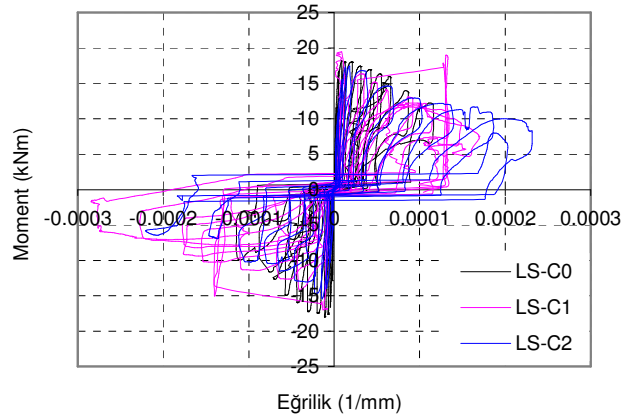
Şekil 4.54'de deney numunelerine ait temel üst kotundan 20mm mesafeye yerleştirilmiş yerdeğiştirmeölçerlerden alınan okumalardan elde edilen moment eğrilik grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.54 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~20 mm)

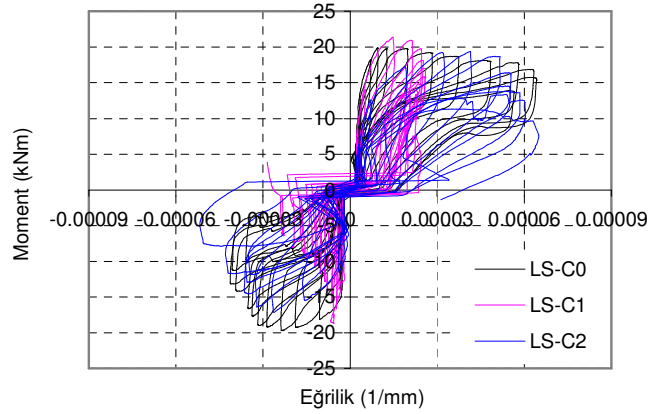
Korozyona maruz bırakılmamış numunenin korozyonlu numunelere göre daha az hasar yaptığı görülmektedir. İtmede eğrilik birbirine çok yakınken çekmede korozyona uğramamış numunenin daha az hasar yaptığı açık bir şekilde

görülmektedir. Şekil 4.55’de temel üst kotundan 150 mm yukarıda ölçülen değerlere göre çizilen moment – eğrilik grafiği verilmiştir.



Şekil 4.55 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~150 mm)

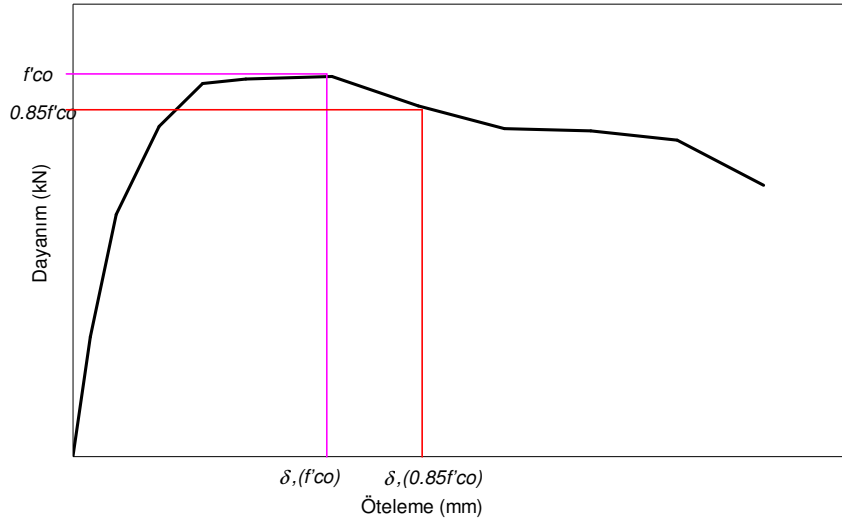
Şekil 4.56’de temel üst kotundan 150 mm yukarıda ölçülen değerlere göre çizilen moment – eğrilik grafiği verilmiştir.



Şekil 4.56 : Moment-Eğrilik İlişkileri (Ölçüm Boyu ~300 mm)

Temel üst kotundan 300 mm yukarıdan alınan ölçümlere göre LS-C1 numunesinin kolon orta bölgesindeki hasarın diğer numunelere göre çok küçük boyutlarda olduğu görülmektedir.

4.4.6. Süneklik



Şekil 4.57 : Süneklik Değerlerinin Hesabında Kullanılan Şekildeğiştirmeler

Tüm elemanlar için süneklik değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 4.17 verilmiştir. Buradaki süneklik değerleri denklem (4.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\varepsilon_c(0.85f'_{co})}{\varepsilon_c(f'_{co})} \quad (4.4)$$

Denklemde; μ , sünekliği; $\varepsilon_c(0.85f'_{co})$, ilgili numunenin yatay yük - yatay şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde dayanımın 0.85'i seviyesine karşılık gelen yatay şekildeğiştirme değerini; $\varepsilon_c(f'_{co})$ ise numunenin en büyük dayanımına karşılık gelen yatay şekildeğiştirme değerini simgelemektedir. LS-C1 numunesi 0.006 öteleme oranında en büyük yüke ulaşmış olup LS-C0 numunesi 0.035 ve LS-C2 numunesi 0.015 öteleme oranında ulaşmıştır. LS-C1 numunesinin dayanımını kaybetmesi rölatif olarak diğer numunelere göre daha geç olduğu için daha sünek gözükmektedir.

Tablo 4.17 : Numunelerin Şekildeğiştirme Değerleri

Numune	Ö. O.	$\varepsilon_c(f'_{co})$	Ö. O.	$\varepsilon_c(0.85f'_{co})$	μ
LS-C0	0.035	0.14	0.05	0.2	1.43
LS-C1	0.006	0.023	0.025	0.1	4.28
LS-C2	0.015	0.06	0.02	0.08	1.33

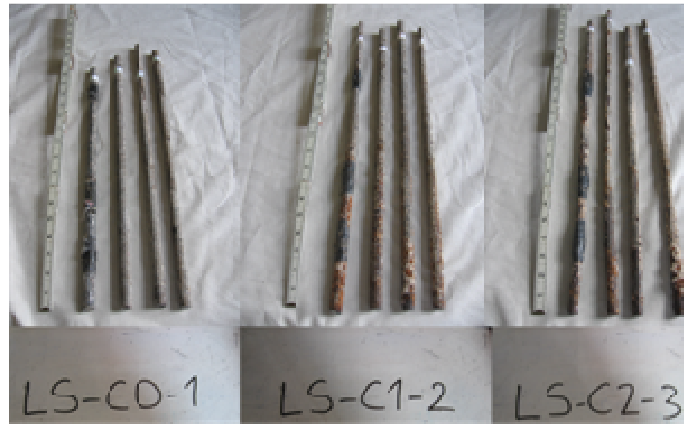
4.4.7. Deney Sonu Çatlak Durumları

Tablo 4.18 : Deney Sonu Çatlak Durumları

Ön Yüz			
İtmede Basınç Bölgesi	h:20 mm	h:150 mm	h:300 mm
LS-C0	>3.5 mm	yatay çatlak yok	30 mm kadar altında 1mm
LS-C1	>3.5 mm	15 mm altında 1.2mm	çatlak yok
LS-C2	2mm	15 mm altında 0.1mm	çatlak yok
İtmede Çekme Bölgesi	h:20 mm	h:150 mm	h:300 mm
LS-C0	>3mm	yatay çatlak yok	70 mm altında 2mm
LS-C1	10mm	yatay çatlak yok	çatlak yok
LS-C2	2.5mm	yatay çatlak yok	çatlak yok
Arka Yüz			
İtmede Basınç Bölgesi	h:20 mm	h:150 mm	h:300 mm
LS-C0	5.5mm	yatay çatlak yok	40 mm kadar altında 1.2mm
LS-C1	>3.5	5 mm kadar altında >3.5mm	çatlak yok
LS-C2	2.5mm	yatay çatlak yok	40 mm kadar altında eğik 1.6mm
İtmede Çekme Bölgesi	h:20 mm	h:150 mm	h:300 mm
LS-C0	4mm	yatay çatlak yok	40 mm kadar altında 2.5mm
LS-C1	10mm	çatlak yok	20-22mm altında .3 mm
LS-C2	3mm	yatay çatlak yok	yatay çatlak yok

4.4.8. Donatı Çekme Deneyleri

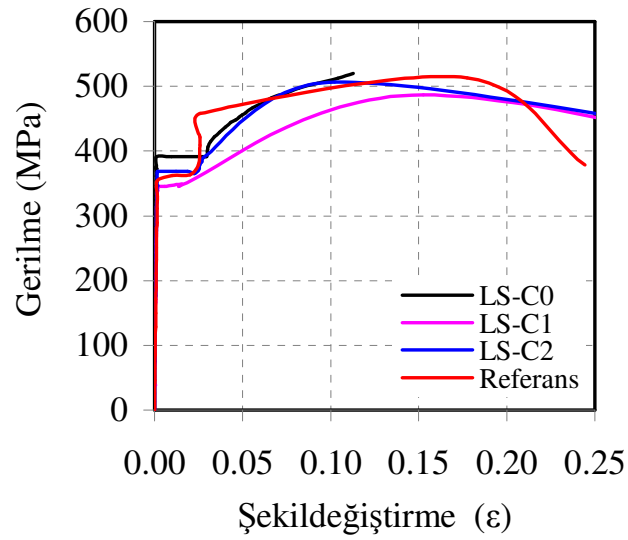
Deneylerden sonra her numuneden birleşim bölgesine yakın bölgeden spiral ile yaklaşık 200 mm boyunda kesilerek çıkarılan donatıların uçları eğe ile düzeltilmiştir. Fotoğrafları çekilip, ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 4.58). Bu numuneler üzerinde çelik çekme deneyleri uygulanmış (Şekil 4.59) ve deney öncesi çekilen donatılarla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.60). Korozyonsuz donatılarının gerilme - şekildeğiştirme eğrileri ve mekanik özellikleri Bölüm 3.1.3.2’de verilmiştir.



Şekil 4.58 : Numunelerden Kesilen Boyuna Donatılar



Şekil 4.59 : Çelik Çekme Deneyleri



Şekil 4.60 : Gerilme Şekildeğiştirmelerin Karşılaştırılması

Referans donatısı LS-C1 ve LS-C1 numunelerinden maksimum gerilme olarak daha büyük olmasına karşın daha az sünek bir davranış göstermiştir. LS-C0 numunesinden alınan donatı referans donatısına yakın bir eğilim göstermiştir. Ancak, her numuneye ait dört adet donatı bulunması sebebi ile yapılan deney sayısının az olması yorum yapmayı zorlaştırmaktadır.

5. SONUÇLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında, korozyonun betonarme kolonların deprem performansına etkisi sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında incelenmiştir. Deney numuneleri, ülkemizdeki mevcut yapıların özelliklerini yansıtmak üzere beton dayanımı düşük, düz yüzeyli donatılar kullanılarak, enine donatısı yetersiz olarak üretilmiştir. Numuneler temel üzerine oturmuş konsol kolon olarak üretilmiştir. Deney numunelerinden biri referans numunesi olarak dışarıdan hiç bir etki yapılmadan, diğer ikisi beton dökümü esnasında beton karışımına CaCl_2 katılıp daha sonra hızlandırılmış korozyon işlemine tabi tutularak üretilmiştir. Üretilen 3 adet numune, göçmeye kadar zorlanmış, dayanım, süneklik, enerji yutma ve rijitlik değişimleri ile hasar oluşumları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiş olup, bu bölümde önemli sonuçlar özetlenmiştir.

1. Referans numunesi hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmış numunelere göre dayanımının daha yüksek olduğu ve en büyük yüke daha büyük öteleme oranlarında ulaştığı görülmüştür. Korozyon nedeni ile aderansın artması sonucu daha gevrek bir dayanım kaybı gerçekleşmiştir.
2. Çevrim sıkışmasının etkisi ile enerji yutma kapasiteleri arasında bir fark görülmemiştir. İleri seviye korozyona uğratılmış numunede çevrim sıkışması daha az olması sebebi ile diğer numuneler ile aynı seviyede enerji yutmuştur.
3. Tüm numunelere ait P/P_{mak} - öteleme oranı ilişkilerine bakıldığında, LS-C0 numunesi diğer iki numuneye oranla daha ileri seviyelerdeki çevrimlerde (daha yüksek öteleme oranında) en büyük yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu numunedeki dayanım kaybı, korozyona uğramış numunelere göre daha az, daha yavaş ve daha geç ortaya çıkmıştır. Örnek olarak 0.04 öteleme oranlarına karşı gelen P/P_{mak} değerleri; LS-C0 için %99, LS-C1 için %89, LS-C2 numune için ise %71'dir.

4. Farklı öteleme oranlarında alınan, numunelerin tepe noktalarında okunan yük değerlerine karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında korozyona maruz bırakılmamış numuneye göre birinci düzey korozyon numunesi LS-C1, %23; ikinci düzey korozyon numunesi LS-C2 ise %350 oranında kalıcı yerdeğiştirme yaptığı görülmüştür. Buna bağlı olarak ikinci derece korozyon düzeyine sahip numunede büyük ölçüde sıyrılma olduğu görülmüştür.
5. Deney numunelerinden, temel üst kotundan 20, 150 ve 300 mm üstüne yerleştirilmiş yerdeğiştirmeölçer okumalarından elde edilen değerlere göre moment – eğrilik grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden, temel kolon birleşim bölgesinde eğriliğin arttığı ve çatlakların bu bölgede daha yoğun olduğunu görülmüştür.
6. Deneyler sonunda yapılan değerlendirmeler sadece denenen üç adet numune içindir. Daha genel bilgiye sahip olmak için yapı elemanlarının yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altındaki performansını değiştirebilecek diğer parametreler kullanılarak deney sayıları artırılmalıdır. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmek üzere, korozyon seviyesinin arttırarak daha çok sayıda deney yapılması planlanmaktadır.
7. Projelendirme sırasında alınacak bazı önlemlerle korozyon hasarını oluşmadan önlemek mühendislik açısından daha etkili bir yöntem olacağı düşünülmektedir. Bunlar:
 - Standartlara uygun ve yeterli kalınlıkta pas payının bırakılması,
 - Su/çimento oranı 0.40'tan daha az ve sıvı sürükleyici katkıların uygun olarak kullanımı ile Geçirimsiz yüksek kaliteli beton kullanımı,
 - Beton dökümünde vibratör kullanımı, bakım kurallarına uyulması
 - Betonda, katkı türü korozyon inhibitörlerinin kullanılması,
 - Kaliteli donatı çeliği kullanılması ve donatının korunması,
 - Betonun kullanım amacına göre yüzeyini koruyucu kimyasallarla kaplanması,

- Çevresel etkiler göz önünde bulundurularak TS-EN-206’da verilen etki faktörlerine göre uygun çimento seçilmesi,

olarak sıralanabilir.

KAYNAKLAR

ACI-222R-01, 2001. Protection of metals in concrete against corrosion, American Concrete Institute, Detroit.

ASTM-C876, 1999. Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete, The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

ASTM-G15-04, 2004. Standard terminology relating to corrosion and corrosion testing, The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

ASTM-G46-94, 1994. Standard guide for examination and evaluation of pitting corrosion, The American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

Bonacci, J.F., 1998. Laboratory simulations of corrosion in reinforced concrete and repair with CFRP wraps, CSCE 1998 Annual Structural Speciality Conference, Montreal, 653-662.

Bousias, S. N. Spathis, N. A., Triantafillou, T. C., Fardis, M. N., and O'Regan, B., 2002. FRP Retrofitting of Rectangular RC Columns with or without Corrosion, ACI.

Bousias, S.N., Spathis, N.A., Triantafillou, T.C. and Fardis, M.N., 2002. Seismic retrofitting of corrosion-damaged RC columns, 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, 9-13 Eylül 2002.

Building Code Requirements For Structural Concrete, ACI 318-99 and ACI 318r-99.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Dağıtım, İstanbul.

Dilmaç, Ş., 2002. Yapı fiziği hasarları ders notları, Trakya Üniversitesi Çorlu Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Çorlu.

Doruk, M., 1982. Korozyon ve önlenmesi, ODTÜ, Ankara.

Ersoy, U. ve Özcebe G., 2004. Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk deprem yönetmeliğine (1998) göre hesap, Evrim Matbaası, İstanbul.

Gedikli, Ü., 2004. Molibdenin sulu ortamdaki korozyonuna ph ve sülfürün etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Gulikers, J., 2005. Theoretical considerations on the supposed linear relationship between concrete resistivity and corrosion rate of steel reinforcement. Materials and Corrosion, 56, No.6.

Harajli, M.H. and Rteil, A.A., 2004. Effect of confinement using fiber-reinforced polymer or fiber-reinforced concrete on seismic performance of gravity load-designed columns, American Concrete Institute, V.101, No.1.

Iacobucci, R. D. ve Sheikh, S. A., 2003. Retrofit of square concrete columns with carbon fiber-reinforced polymer for seismic resistance, American Concrete Institute, V.100, No.6.

Jones, D.A., 1996. Principles and Prevention of Corrosion, Prentice Hall Inc, NJ.

Li, C. Q., 2000. Corrosion initiation of reinforcing steel in concrete under natural salt spray and service loading-results and analysis, American Concrete Institute, V.97, No.6.

MEGEP, 2005. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi-Korozyon, Ankara.

Odabaşı T.,erişim yılı 2007, Katodik koruma sisteminin tanıtımı, Botaş BTC Proje Direktörlüğü CMT İnşaatı.

Pantazopoulou, S.J., Bonacci, J.F., Sheikh, S., Thomas, M.D.A. and Hearn, N., 2001. Repair of corrosion damaged columns with FRP wraps, Journal of Composites for Construction, Vol.5, No.1.

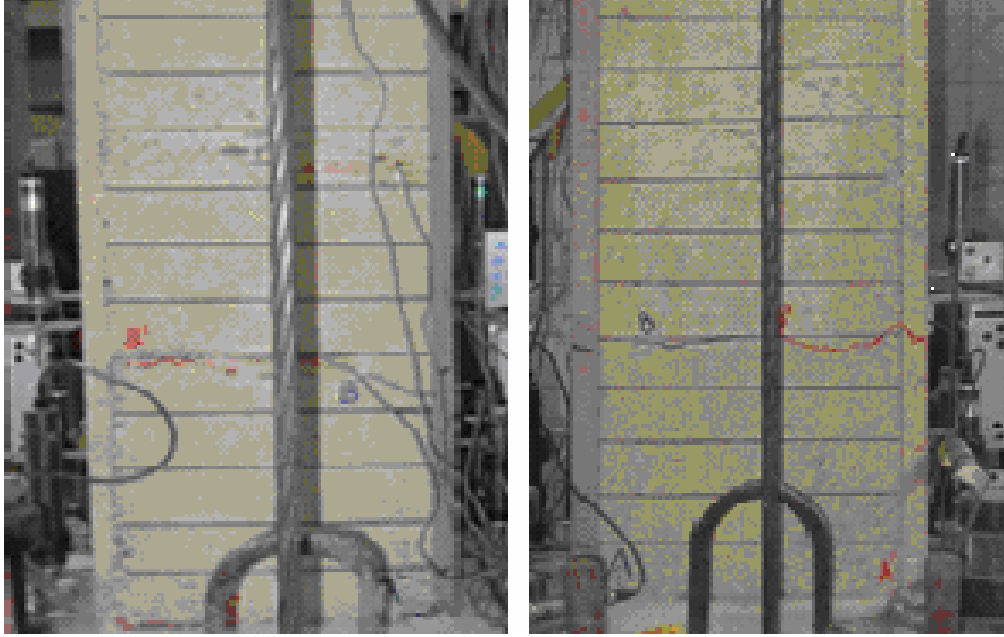
Qian, S.Y. and Chagnon, N., 2001. Evaluation of corrosion of reinforcement in repaired concrete, 9th International Conference and Exhibition, Structural Faults and Repair, London, 4-6 July 2001.

Rosenberg, A., Hansson, C.M. and Andrade, C., 1989. Materials science of concrete-I, The American ceramic society, Westerville,.

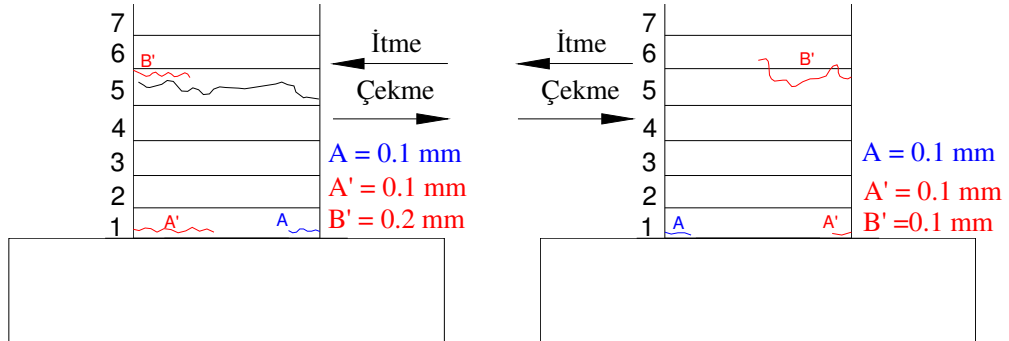
- Schiessl, P.**, 1988, “Corrosion of Steel in Concrete” Chapman and Hall
- Sokullu, E.**, 2005. Depreme karşı yapılarda elektro-restorasyon uygulaması.
- Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. and Jin, L.** 1996. Seismic strengthening of circular bridge pier models with fiber composites, American Concrete Institute, V.93, No.6.
- Şengil, A.**, 1992. Korozyon, Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası, Sakarya.
- Tastani, S. P. and Pantazopoulou, S. J.**, 2004. Experimental evaluation of FRP jackets in upgrading RC corroded columns with substandard detailing, Engineering Structures, Vol. 26, 817–829.
- Tsukuda, S., Kashino, N., Tamura, H. and Nagayama M.**, 1993. Evaluation method for steel corrosion in concrete by electrochemical corrosion monitoring system, 6th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Omiya, 26-29 October 1993.
- Tullmin, M.A.A., Hansson, C.M ve P.R. Roberge**, 1996. Electrochemical Techniques for Measuring Reinforcing Steel Corrosion, InterCorr/96
- www.concretecorrosion.net/html_en/maitrise/potent.htm**, erişim yılı 2007
- www.arkitera.com**, erişim yılı 2007
- www.korozyon.org**, erişim yılı 2007
- www.korozyonderneği.org.tr**, erişim yılı 2007
- Wootton, I. A., Spainhour, L. K. and Yazdani N.**, 2003. Corrosion of steel reinforcement in carbon fiber-reinforced polymer wrapped concrete cylinders, Journal of Composites for Construction, Vol 7, No.4.
- Yau, G. and Sheikh, S.A.**, 2002. Seismic behavior of concrete columns confined with steel and fiber reinforced polymers, American Concrete Institute, V.99, No.1.

EK A. ÇEVİRİM SONU ÇATLAK RESİM VE ÇİZİMLERİ

LS-C0



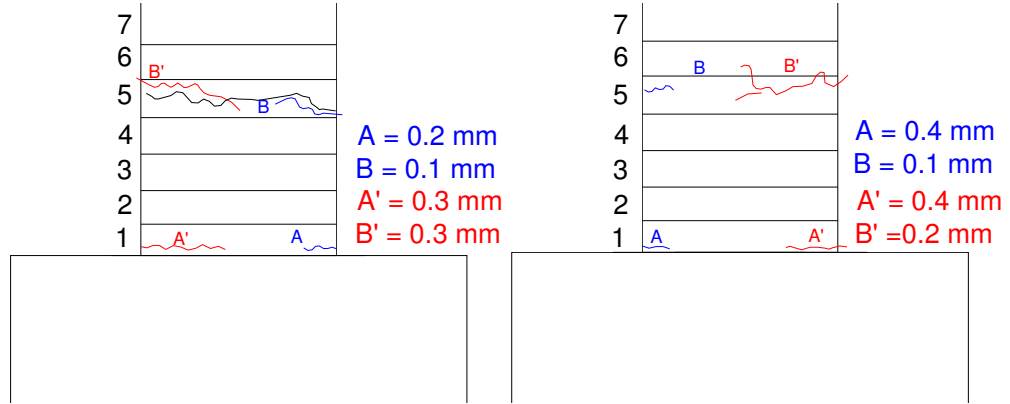
Şekil Ek A. 1 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 0.5)



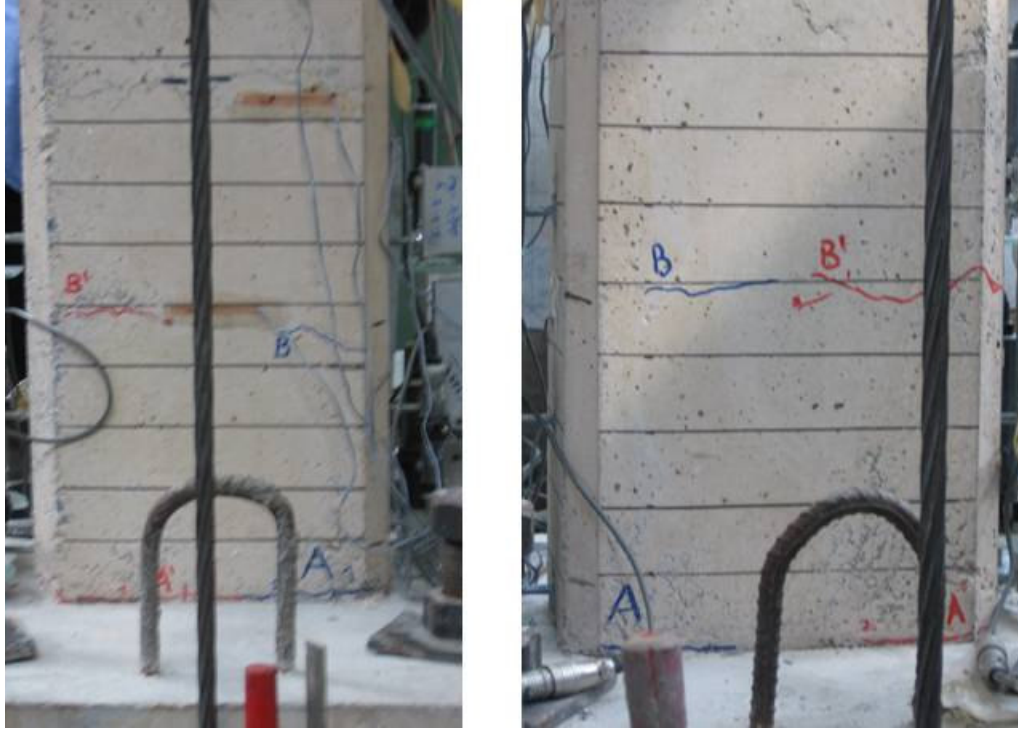
Şekil Ek A. 2 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 0.5)



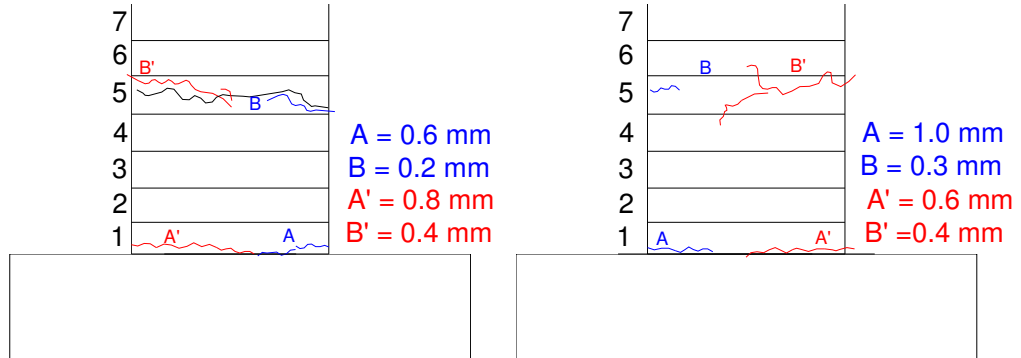
Şekil Ek A. 3 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 0.75)



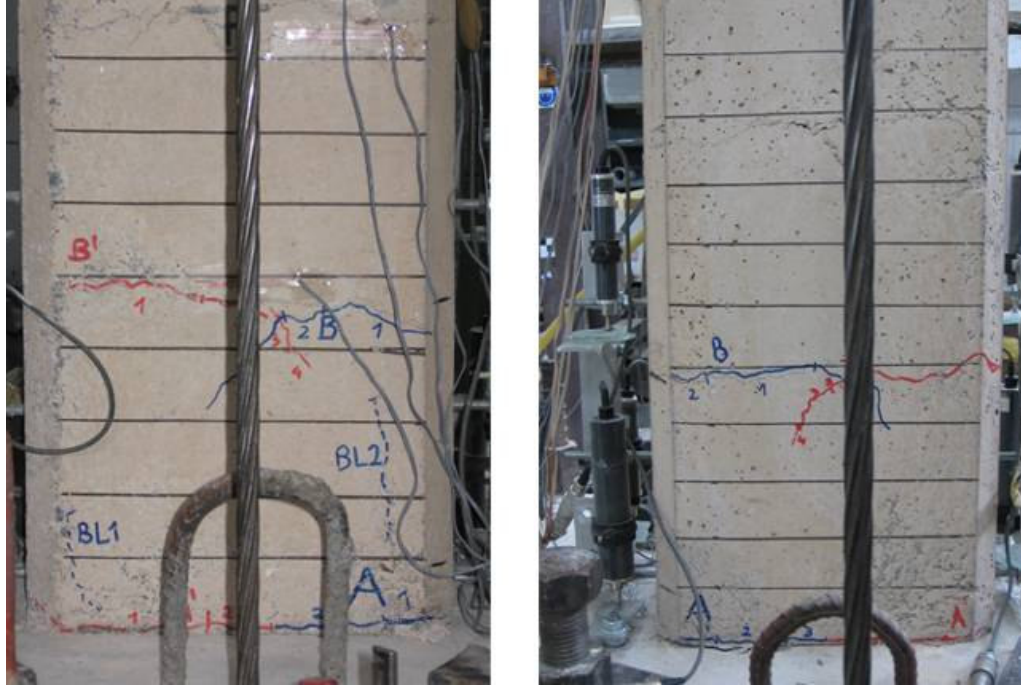
Şekil Ek A. 4 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 0.75)



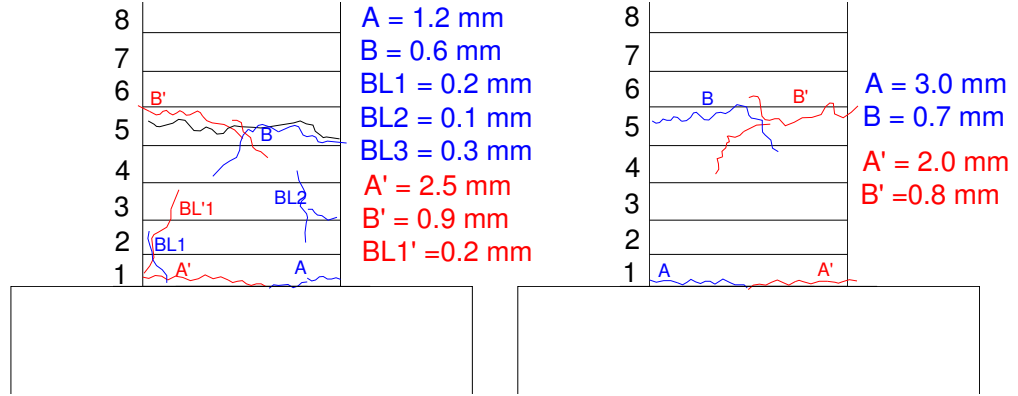
Şekil Ek A. 5 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 1.00)



Şekil Ek A. 6 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 1.00)



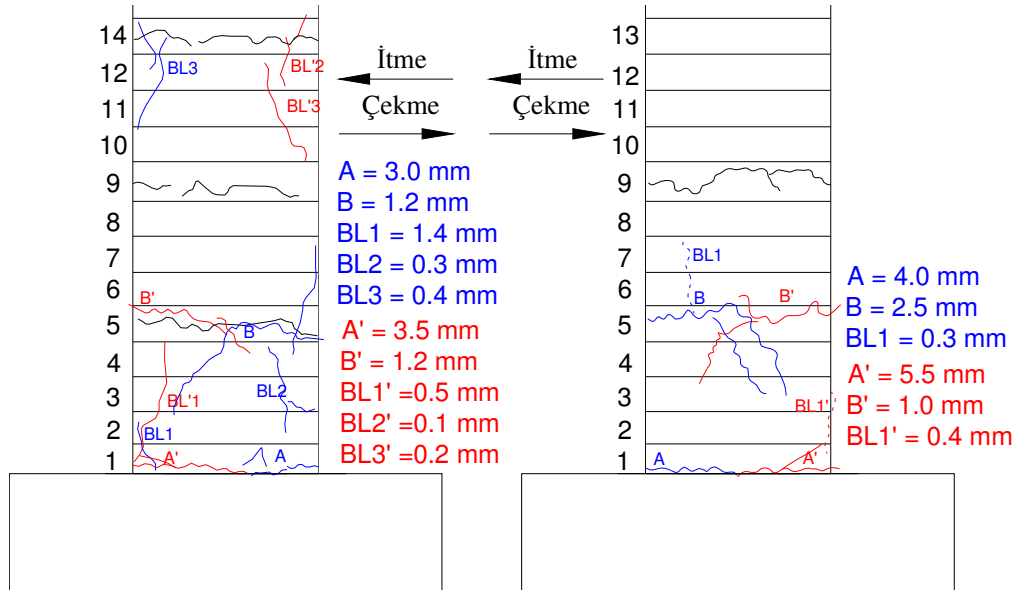
Şekil Ek A. 7 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 2.00)



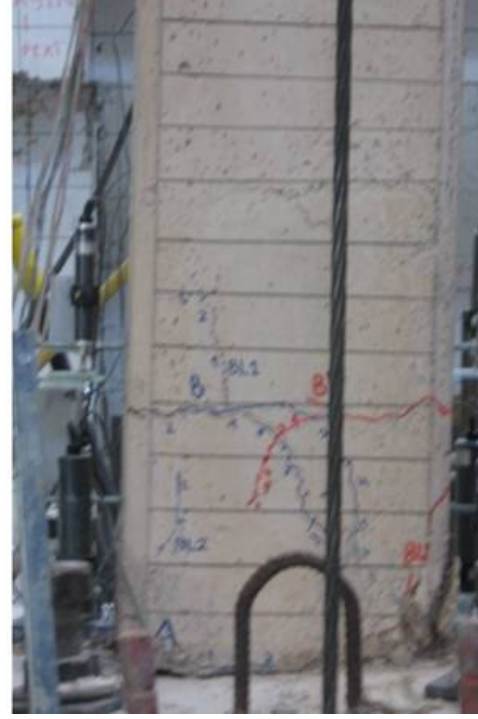
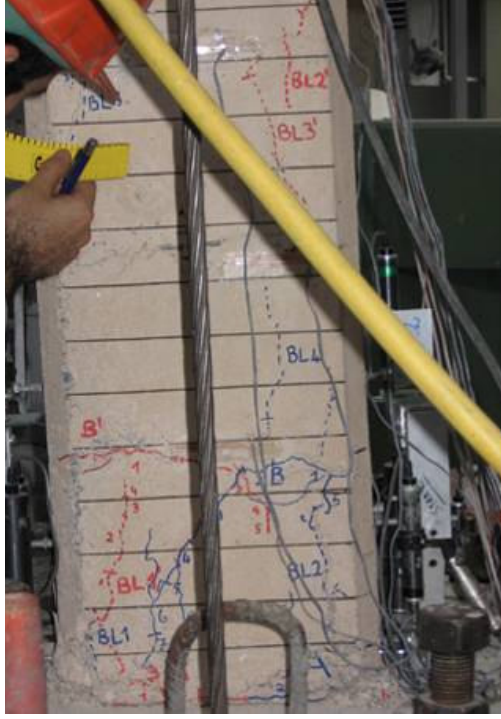
Şekil Ek A. 8 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 2.00)



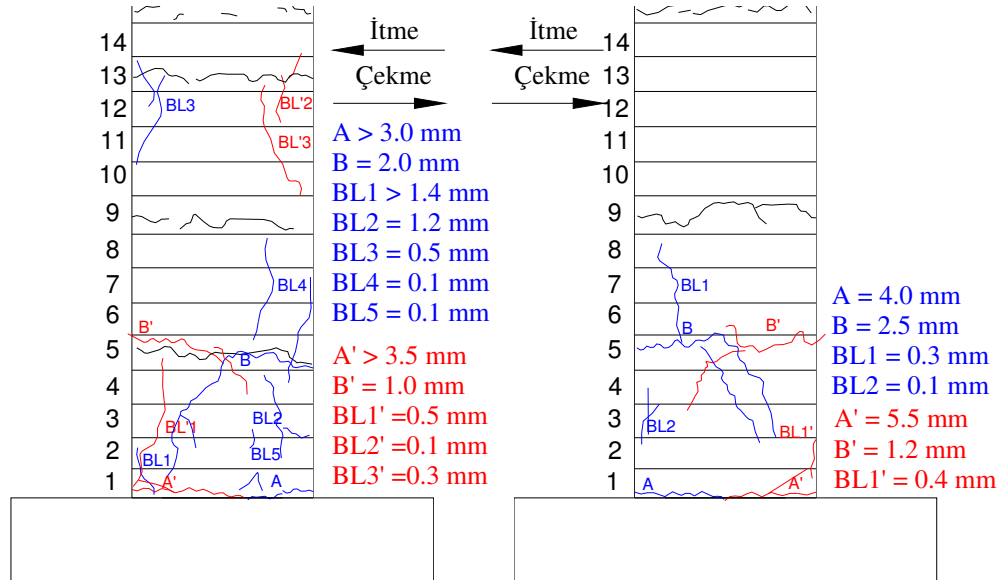
Şekil Ek A. 9 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 3.50)



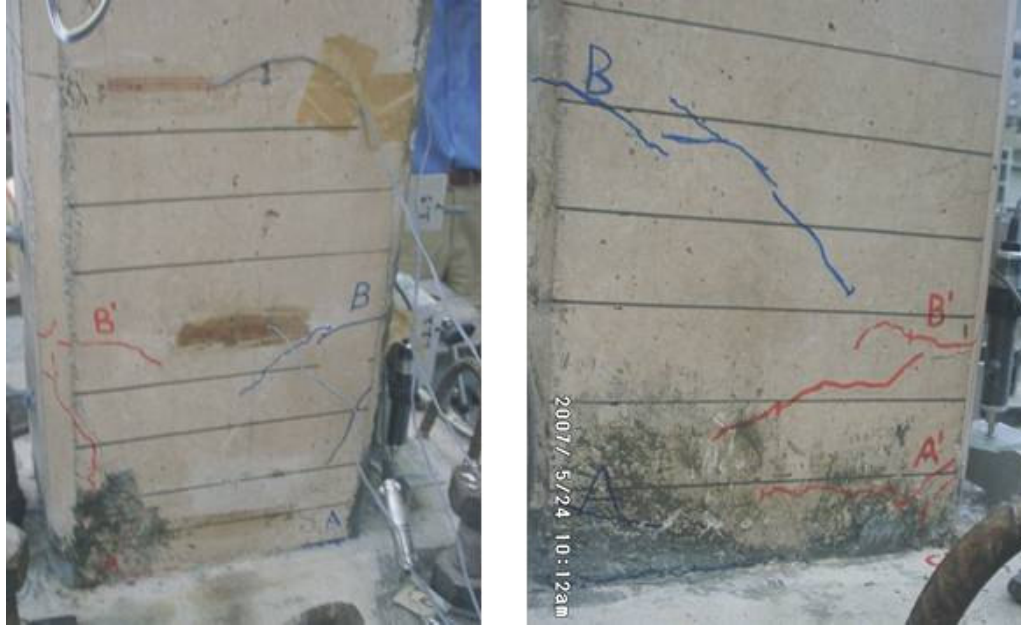
Şekil Ek A. 10 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 3.50)



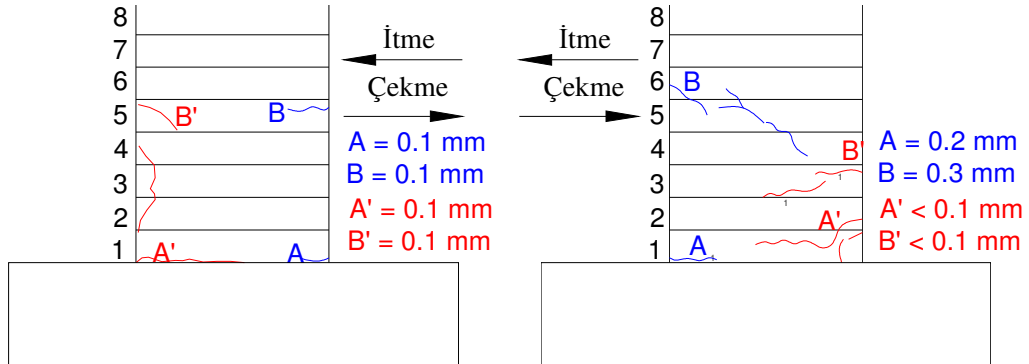
Şekil Ek A. 11 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 5.00)



Şekil Ek A. 12 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 5.00)



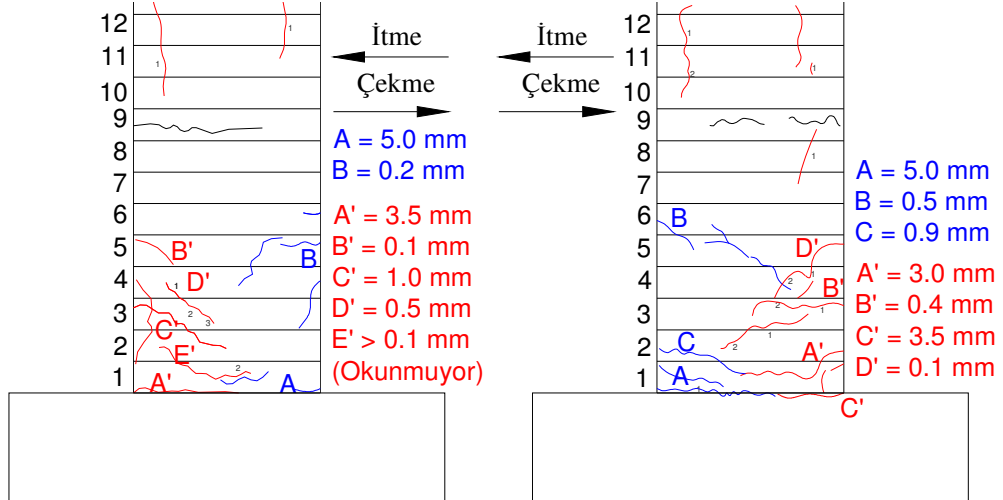
Şekil Ek A. 13 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 0.80)



Şekil Ek A. 14 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 0.80)



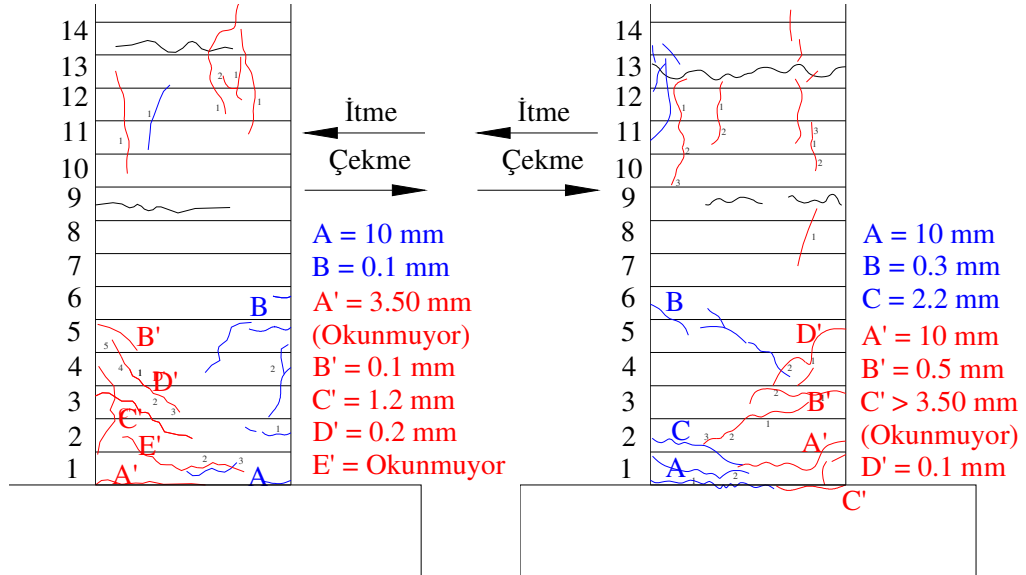
Şekil Ek A. 15 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 3.00)



Şekil Ek A. 16 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 3.00)



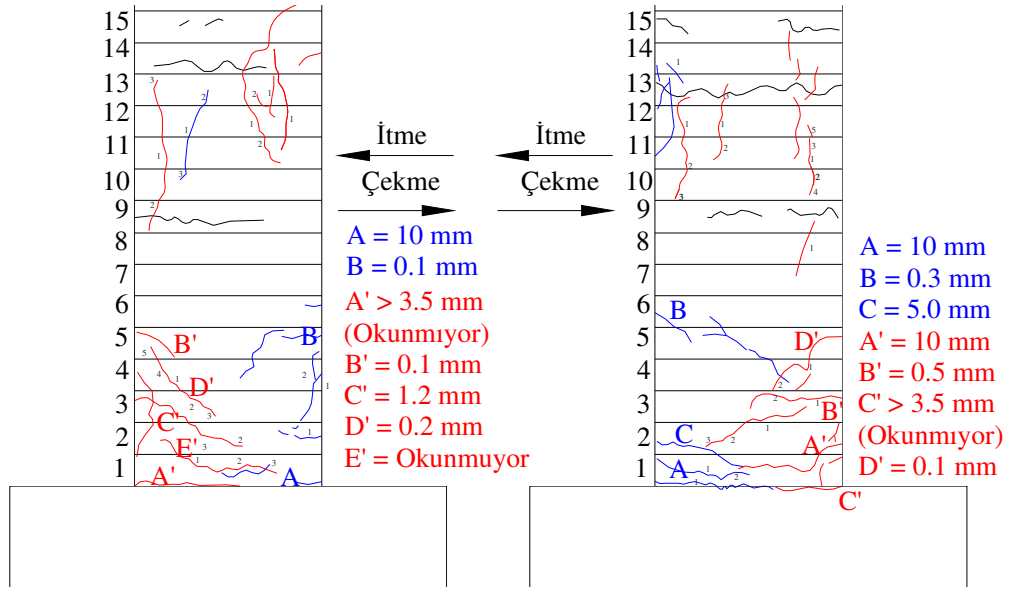
Şekil Ek A. 17 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 4.50)



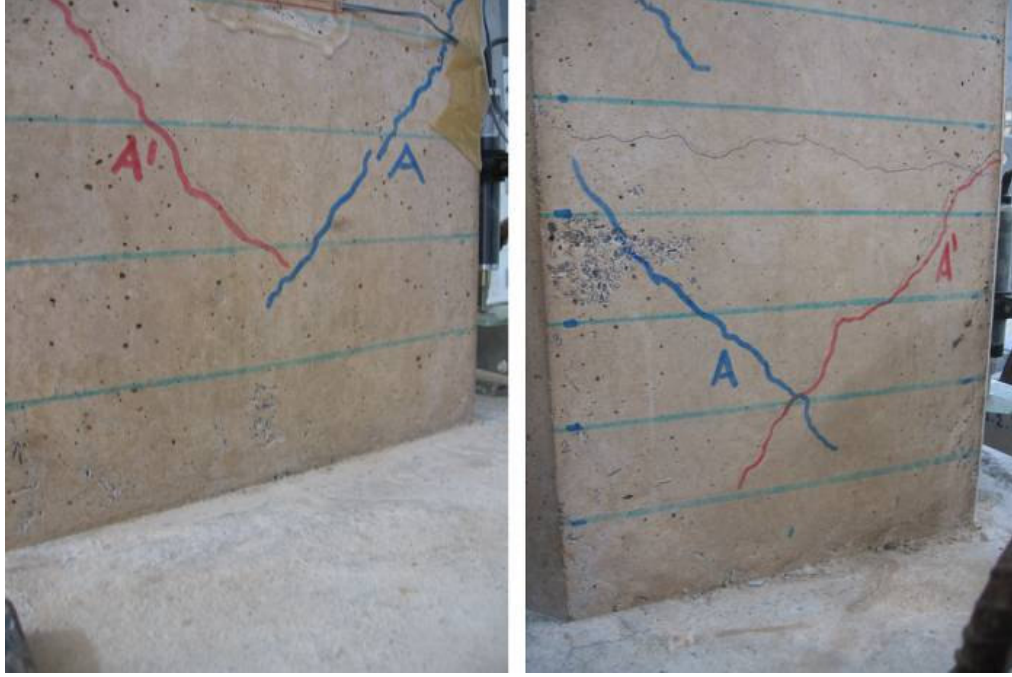
Şekil Ek A. 18 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 4.50)



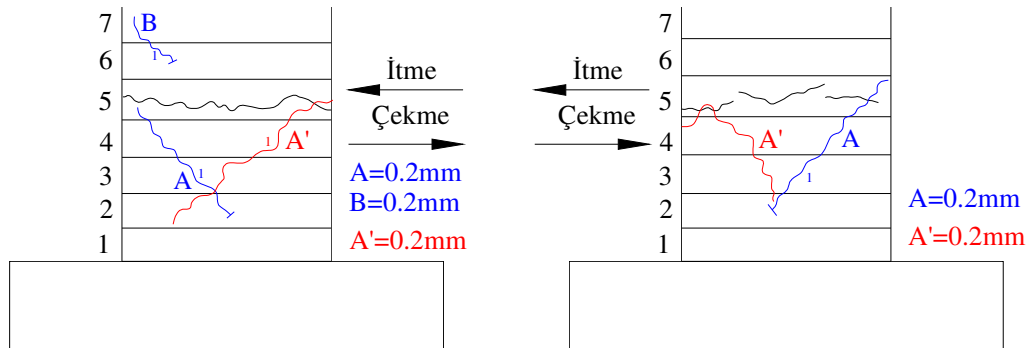
Şekil Ek A. 19 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 5.00)



Şekil Ek A. 20 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 5.00)



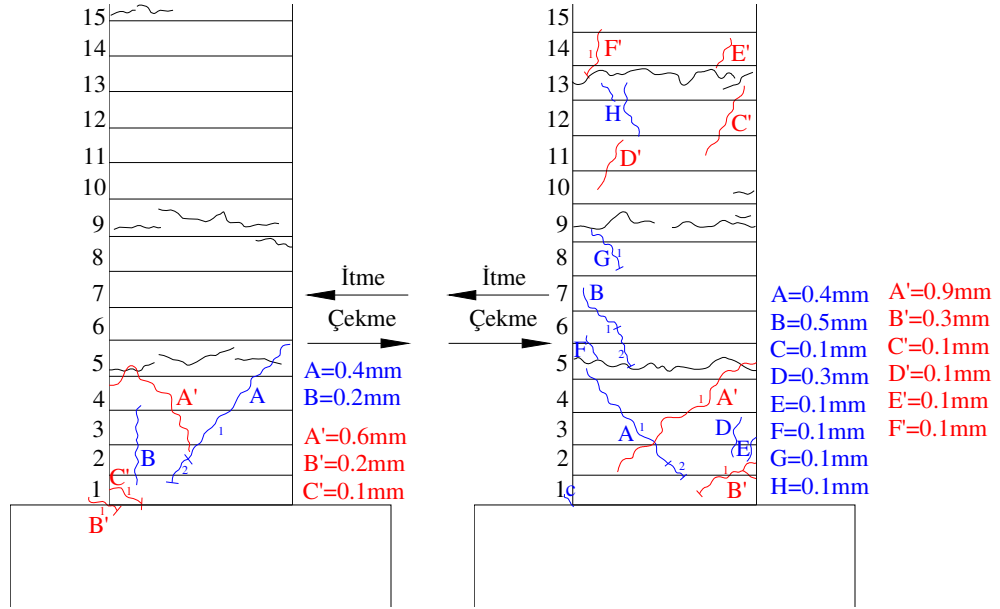
Şekil Ek A. 21 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 0.50)



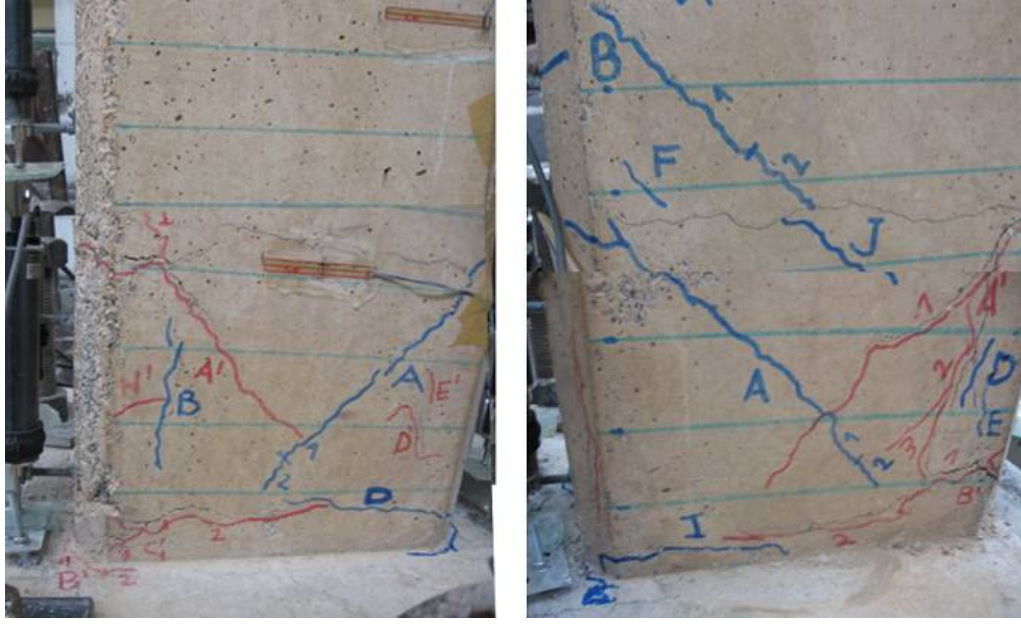
Şekil Ek A. 22 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 0.50)



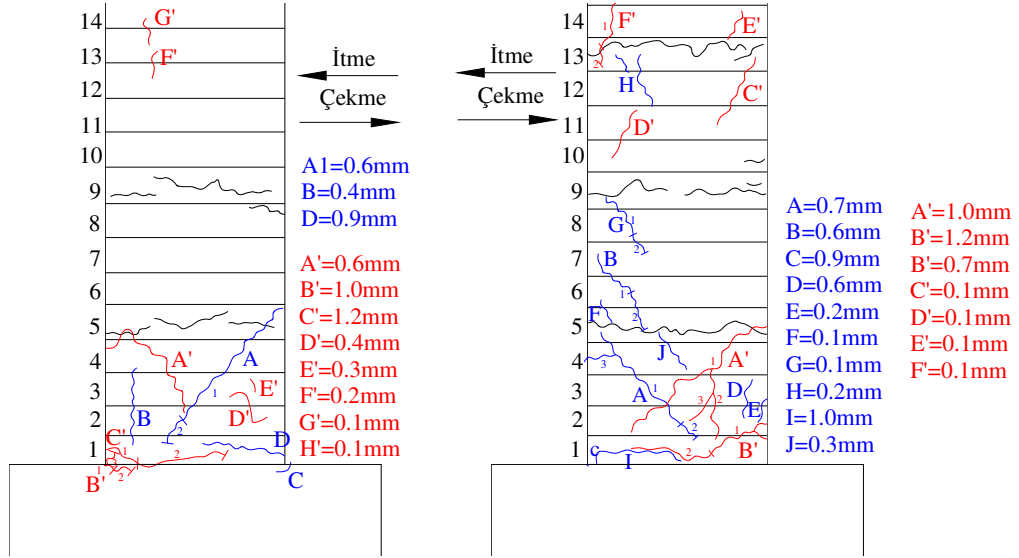
Şekil Ek A. 23 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 1.00)



Şekil Ek A. 24 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 1.00)



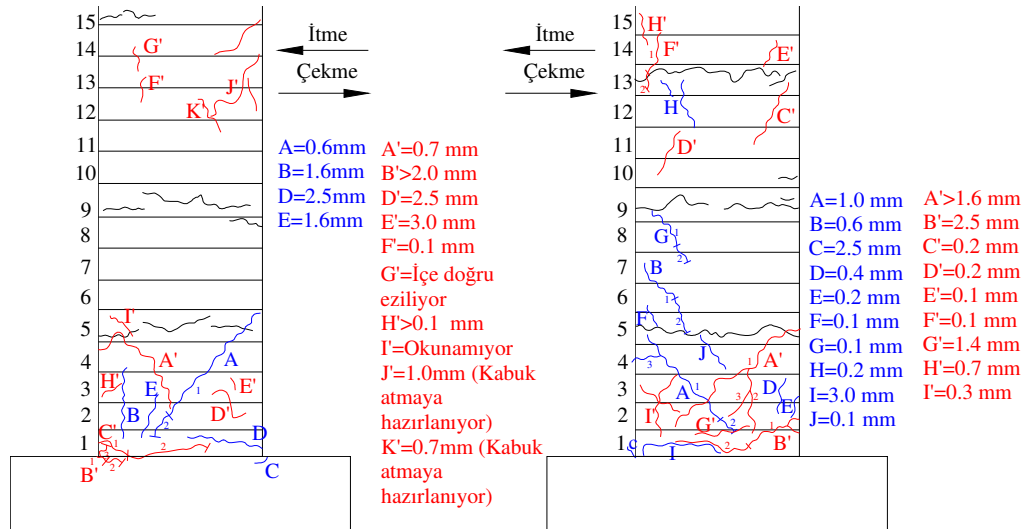
Şekil Ek A. 25 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 2.00)



Şekil Ek A. 26 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 2.00)



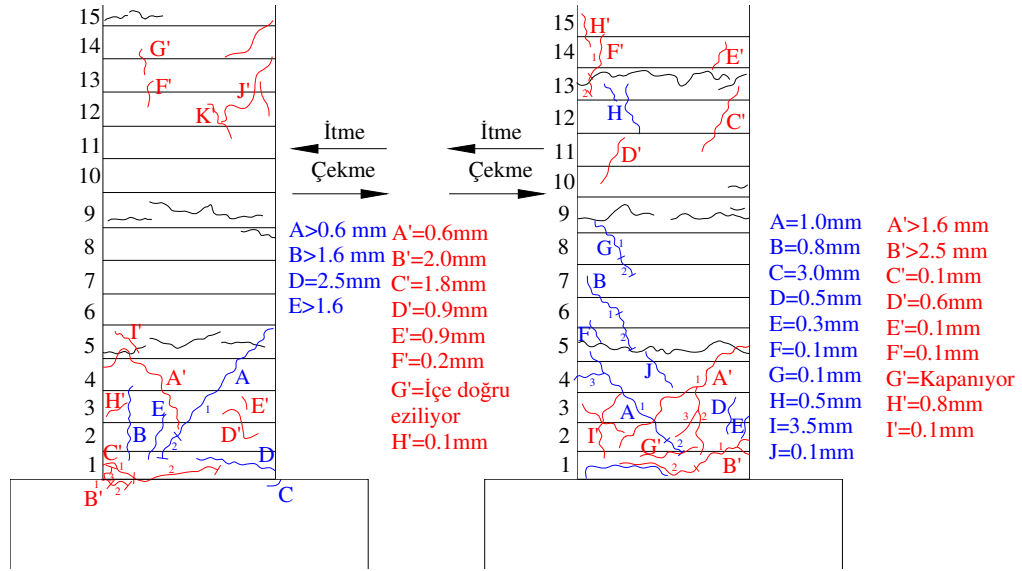
Şekil Ek A. 27 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 3.00)



Şekil Ek A. 28 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 3.00)



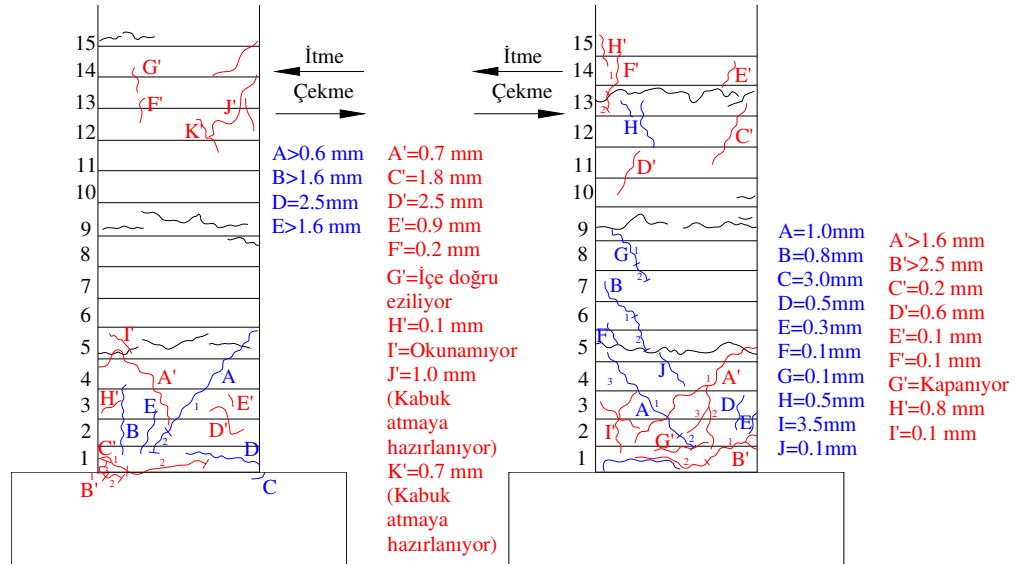
Şekil Ek A. 29 : Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 4.00)



Şekil Ek A. 30 : Çatlak Krokisi (Ö.O. : % 4.00)



Şekil Ek A. 31 : Deney Sonu Numune (Ö.O. : % 4.50)



Şekil Ek A. 32 : Deney Sonu Çatlak Bölgesi (Ö.O. : % 4.50)

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır Demirtaş, 1981 yılında Edirne’de doğmuştur. 1997 yılında Bilfen Lisesinden mezun olduktan sonra aynı sene Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazanmış 2004 yılında bu bölümden mezun olmuştur. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği programında yüksek lisansa başlamıştır.