

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN İLERİ
TEKNOLOJİ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Sinan Murat CANSUNAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ARALIK 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN İLERİ
TEKNOLOJİ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Sinan Murat CANSUNAR
(501932016)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir GÜLER

ARALIK 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**BEAM-COLUMN JOINTS RETROFITTED WITH ADVANCED
TECHNOLOGICAL MATERIALS**

Ph.D. THESIS

**Sinan Murat CANSUNAR
(501932016)**

Department of Civil Engineering

Structural Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Kadir GÜLER

DECEMBER 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501932016 numaralı Doktora Öğrencisi Sinan Murat CANSUNAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN İLERİ TEKNOLOJİ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Ali SARI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zekai CELEP
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2023

Savunma Tarihi : 14 Aralık 2023



Babama ve Anneme,





ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bilgisini ve tecrübesini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kadir GÜLER'e gösterdiği her türlü destek ve sabrı için teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarının deneylerinde yardımları için İnş. Yük. Müh. Mehmet Fatih ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım. Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde yardımlarını esirgemeyen Dr. Mehmet Mustafa DAŞKIRAN'a teşekkür ederim. Tez çalışması süresince ve tüm aşamalarında tezin başarıya ulaşmasını sağlayan ayrıca her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen Prof.Dr. Hasan ÖZKAYNAK VE Doç.Dr. Mehmet Selim ÖKTEN e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ Bap birimi tarafından lisansüstü tez çalışması kapsamında maddi destek sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Aralık 2023

Sinan Murat CANSUNAR
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY.....	xxix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Çalışmanın Konusu ve Kapsamı	2
1.3 Literatür Özeti	5
1.4 Özgün Değer	13
2. MODEL ÜRETİMİ VE MALZEME DENEYLERİ (ÖN DENEYLER)	15
2.1 Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları	15
2.2 Malzeme Deneyleri (Ön Deneyler)	16
2.2.1 Beton deneyi	16
2.2.2 Donatı çekme deneyleri:	19
2.2.3 Dolgu duvar malzemesi	23
2.2.4 Çerçevelerin 3 tabaka sargı TRM ile sarılması	24
2.2.5 Beton silindir numunelerin 1 kat, 2 kat ve 3 kat TRM ile sarılması	26
2.2.5.1 Tek kat TRM 1KC15 ile sarılan deney numunesi.....	33
2.2.5.2 İki kat TRM 2KC15 ile sarılan deney numunesi	34
2.2.5.3 Üç kat TRM 3KC15 ile sarılan deney numunesi	35
2.2.5.4 Tek kat TRM 1KC26 ile sarılan deney numunesi.....	37
2.2.5.5 İki kat TRM 2KC26 ile sarılan deney numunesi	38
2.2.5.6 Üç kat TRM 3KC26 ile sarılan deney numunesi	39
2.3 2.3 Güçlendirmede Kullanılan Ticari Tekstil ve Harç Ürününün Teknik Özellikleri.....	44
3. ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	49
4. BETONARME ÇERÇEVE DENEYLERİ.....	57
4.1 Genel Giriş	57
4.1.1 Deney parametreleri	64
4.1.1.1 Histeretik davranış	64
4.1.1.2 Zarf eğrisi	64
4.1.1.3 Rijitlik	66
4.1.1.4 Süneklik.....	66
4.1.1.5 Çevrimsel yutulan enerji ve vizkoz sönüm oranı	68
4.2 Numune 1 (1C15 Sünek Referans Çerçeve) Deneyi	70
4.3 Numune 2 (2C15 Gevrek Referans Çerçeve) Deneyi	81
4.4 Numune 3 (5C26 Sünek Referans Çerçeve) Deneyi	94

4.5 Numune 4 (6C26 Gevrek Referans Çerçeve) Deneyi	107
4.6 Numune 5 (8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi	119
4.7 Numune 6 (3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi	130
4.8 Numune 7 (4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi	145
4.9 Numune 8 (9C15 Referans Dolgu Duvarli Çerçeve) Deneyi	156
4.10 Numune 9 (10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi	174
5. ANALİTİK İNCELEME	191
6. SONUÇLAR.....	203
KAYNAKLAR.....	209
ÖZGEÇMİŞ	225



KISALTMALAR

CFRP	: Karbon lifli polimerler
CH	: Kanal no
DBYBHY (2007)	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
FEMA 356	: Federal Emergancy Management Agency
FRCM	: Lifli dokuma takviyeli çimento matrisli kompozit
FRP	: Lifli polimer kompozit
LP	: Lifli Polimer
LVDT	: Yerdeğiştirme ölçer
SG	: Şekildeğiştirme ölçer
TBDY 2108	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TRM	: Tekstil takviyeli harç kompozit



SEMBOLLER

B	: Genişlik
b_w	: Kesit genişliği
D	: Kesit apı
t	: Sargılama kalınlığı
w	: Çatlak genişliği (mm)
Ac	: Kesit alanı
I	: Atalet momenti
E	: Elastisite Modülü
Eccu ret	: Güçlendirilmiş numunenin Elastisite Modülü
Eccu ref	: Referans numunesi Elastisite Modülü
E_D	: Bir evrim için Enerji yutma
E_{s0}	: En büyük Elastik birim yerdeğiştirme enerjisi
EI	: Başlangıç eğilme rijitliği
EA	: Eksenel rijitlik
G	: Ağırlık
H	: Yükseklik
L	: Boy
V	: Kesme kuvveti
P	: Yatay Yük
N	: Eksenel Yük
σ	: Gerilme
f_y	: Donatı akma dayanımı
f_u	: Donatı ekme dayanımı
f_{ck}	: 28 günlük karakteristik silindir beton basınç dayanımı
f_{cc}	: Sargılanmış betonun basınç dayanımı
f_{co}	: Referans numunelerinden elde edilen sargısız beton basınç dayanımı
f_l	: Yanal sargılama gerilmesi
ϵ	: şekildeğiştirme
ϵ_{cu}	: Sargısız referans numunelerinin basınç dayanımına ulaştıktan sonra %15 dayanım kaybının olduğu noktaya karşılık gelen şekildeğiştirme değeri

ϵ_{co}	: Sargısız referans numunelerinin basınç dayanımına ulaştığı en büyük gerilmeye karşılık gelen şekildeğiştirme değeri
ϵ_{cc}	: Sargı etkisindeki şekildeğiştirme
$\epsilon_{ccu,85}$	: Sargılanmış numunelerin basınç dayanımına ulaştıktan sonra %15 dayanım kaybına karşılık gelen şekildeğiştirme değeri
ϵ_y	: Akmaya karşı gelen şekildeğiştirme
ρ	: Yoğunluk
g	: Yerçekimi ivmesi
μ	: Süneklik oranı
δ_u	: Maksimum yerdeğiştirme (mm)
δ_y	: Akma yerdeğiştirme (mm)
δ	: Temele göre tepe yerdeğiştirme (mm)
Δ	: uzama veya kısalma yerdeğiştirme (mm)
θ	: Dönme
χ	: Eğrilik
k	: Rijitlik
ζ	: Eşdeğer vizkoz sönüm oranı
$\mu m/m$	: micro strain = 10^{-6}
a_{duvar}	: Eşdeğer sanal çubuk genişliği
r_d	: Dolgu duvar köşegen uzunluğu (mm)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Nervürlü donatının TS 708 e göre sınır değerleri.....	22
Çizelge 2.2 : 3 kat C15 Sargı numune deney sonuçları	36
Çizelge 2.3 : C15 Beton sınıfı, sargılı ve sargısız numunelerin ortalama mekanik özellikleri	37
Çizelge 2.4 : 3C26 Kat Sargı numune deney sonuçları	40
Çizelge 2.5 : C26 Beton sınıfı sargılı ve sargısız numunelerin ortalama mekanik özellikleri	41
Çizelge 2.6 : Standart yönetmeliklerde yer alan teorik Elastisite Modülü değerleri .	43
Çizelge 2.7 : Güçlendirme amaçlı kullanılan ticari ürün TRM ve tamir harcının mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 3.1 : Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları.	49
Çizelge 4.1 : Test edilen numunelerin özellikleri	59
Çizelge 4.2 : Numune 1 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	75
Çizelge 4.3 : Numune 2 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	88
Çizelge 4.4 : Numune 3 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	99
Çizelge 4.5 : Numune 4 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	112
Çizelge 4.6 : Numune 5 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	124
Çizelge 4.7 : Numune 6 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	136
Çizelge 4.8 : Numune 7 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	148
Çizelge 4.9 : Numune 8 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	162
Çizelge 4.10 : C15 Numunelerin viskoz sönüm oranı ve rijitlik karşılaştırması	173
Çizelge 4.11 : C15 Numunelerin Süneklik, Maksimum yük ve Yutulan Enerji Karşılaştırması	173
Çizelge 4.12 : Numune 9 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	179
Çizelge 4.13 : C26 Numunelerin viskoz sönüm ve rijitlik oranları karşılaştırması .	189
Çizelge 4.14 : C26 Numunelerin Süneklik, Maksimum yük ve Yutulan Enerji Karşılaştırması	189



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kiriş ve kolonun sargı bölgesinde, betonda (a) gevrek ve (b) sünek güç tükenmesi [34]	3
Şekil 2.1 : Temel içinde ankraj bırakılması ve nervürlü donatıların yerleştirilmesi ...	15
Şekil 2.2 : Çerçevelerin imalat aşamaları	15
Şekil 2.3 : Şekil değiştirme ölçerlerin (YFLA5) boyuna donatılara yapıştırılması, bantla korunması ve etiketlenilmesi.....	16
Şekil 2.4 : Çerçeve numunelerinin beton öncesi kalıbın kapatılması.....	16
Şekil 2.5 : Çerçeve numunelere beton dökülmesi	16
Şekil 2.6 : Silindir Numunesi	17
Şekil 2.7 : Beton dökümü sırasında alınan silindir numuneleri	17
Şekil 2.8 : Silindir numunelere başlık yapılması ve düzeltilmesi	17
Şekil 2.9 : Deney düzeneği komprasömetre ve standart beton basınç deneyi.	18
Şekil 2.10 : C15 Gerilme-Şekildeğiştirme	18
Şekil 2.11 : C26 Gerilme-Şekildeğiştirme	19
Şekil 2.12 : MTS Deney düzeneği ve donatıya ekstansometre bağlanması	19
Şekil 2.13 : Nervürlü Donatı numuneleri ve donatıların çizilmesi (çentik izi)	20
Şekil 2.14 : Kopma uzaması ölçümü	20
Şekil 2.15 : Akma, çekme dayanımı ve kopma uzama oranı	20
Şekil 2.16 : Elastisite Modülü ve çekme uzama oranı	21
Şekil 2.17 : Donatının ortalama Elastisite Modülü tayini	21
Şekil 2.18 : Numune donatı çekme deneyi	22
Şekil 2.19 : Tuğlaların deney numunesine uygun olarak kesilmesi ve çerçeve içine duvar örülmesi (Delikler yatay yönde)	23
Şekil 2.20 : Her yüzeyde 7.5mm kalınlık oluşturacak şekilde tek kat sıva yapılması.	23
Şekil 2.21 : Kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin TRM öncesi köşelerinin 10 mm yuvarlatılması ve pah yapımı	24
Şekil 2.22 : TRM öncesi yüzey ıslatıldı ve ilk kat harç öncesi ince bir şerbet tabakası (0.5 mm) serildi.....	24
Şekil 2.23 : İlk kat TRM, kolon kritik uç bölgesinde 200 mm boyunda sarılması.	25
Şekil 2.24 : Toplam 3kat TRM sarıldı. Her kat arasına 5 mm harç kondu.	25
Şekil 2.25 : Çerçevelerde kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin TRM ile sargı yapılması	25
Şekil 2.26 : Kiriş ve kolon uçlarına 200 mm ek bindirme ile 3 kat kesintisiz TRM uygulaması	26
Şekil 2.27 : 3 kat TRM sarılarak güçlendirilmiş çerçevede 15 mm kalınlıkta koruyucu tabaka oluşturulması	26
Şekil 2.28 : Silindir numunelere TRM sarılması.....	27
Şekil 2.29 : Silindir Numunesi 3 kat TRM ile sarılarak 15 mm harç kalınlığı yapımı	27
Şekil 2.30 : Silindir Numunesi 2 kat TRM ile sarılarak 10 mm harç kalınlığı yapımı	27
Şekil 2.31 : Silindir Numunesi bir kat TRM ile sarılarak 5 mm harç kalınlığı yapımı	27
Şekil 2.32 : Farklı tabaka TRM ile sarılmış silindir numunelere başlık yapılması	28
Şekil 2.33 : Beton silindir deney numunesi (Amsler cihazı)	28
Şekil 2.34 : TRM sargı tabakası yerleşimi	29

Şekil 2.35 : Enine şekildeğiştirme ölçümü için CDP 5 ve PL60.....	29
Şekil 2.36 : Düşey şekildeğiştirme ölçümü için 90 derece açı konan LVDT CDP 5	30
Şekil 2.37 : Başlıklara yerleştirilen 4 adet LVDT CDP 50	30
Şekil 2.38 : Deney Düzeneğine Ölçerlerin yerleştirilmesi	31
Şekil 2.39 : Deney düzeneği (Amsler cihazı)	32
Şekil 2.40 : Numuneye delik açılması ve tijlerin yerleştirilmesi	33
Şekil 2.41 : Numuneye LVDT lerin bağlanması	33
Şekil 2.42 : 1KC15 Numune	34
Şekil 2.43 : 1KC15 Numune hasar durumu	34
Şekil 2.44 : 2KC15 Numune	35
Şekil 2.45 : 2KC15 Numune hasar durumu	35
Şekil 2.46 : 3KC15 Numune hasar durumu	36
Şekil 2.47 : 3KC15 Numune hasar durumu	36
Şekil 2.48 : 1KC26 Numune	38
Şekil 2.49 : 1KC26 Numune hasar durumu	38
Şekil 2.50 : 2KC26 Numune hasar durumu	39
Şekil 2.51 : 3KC26 Numune hasar durumu	39
Şekil 2.52 : C15 Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme Karşılaştırması	42
Şekil 2.53 : C26 Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme Karşılaştırması	43
Şekil 2.54 : Ticari ürün (TRM kompozit).....	44
Şekil 3.1 : 1nolu Numunelerin boyuna donatılarına yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin etiketlendirilmesi	51
Şekil 3.2 : Doğu cephesi yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçer yerleşimi ve kanal numaraları (bütün boyutlar mm cinsindedir.)	52
Şekil 3.3 : Batı cephesi yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçerin yerleşimi ve kanal numaraları.....	52
Şekil 3.4 : Numunenin düzlem dışı hareketini ölçme.....	53
Şekil 3.5 : Pistonun ve LVDT'lerin, kesitteki yerleşimi ve boyutları (mm)	54
Şekil 3.6 : Şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik hesabında kullanılan geometri [104] .	55
Şekil 4.1 : Deney düzeneği	57
Şekil 4.2 : DARTEC Hidrolik veren yerdeğiştirme kontrollü yükleme	58
Şekil 4.3 : Numune 1, 2, 3 ve 4 (bütün boyutlar mm cinsindedir).....	60
Şekil 4.4 : Numune 8 (bütün boyutlar mm cinsindedir).....	61
Şekil 4.5 : Numune 6 ve Numune 9 (bütün boyutlar mm cinsindedir)	61
Şekil 4.6 : Numune 5 ve Numune 7 (bütün boyutlar mm cinsindedir)	61
Şekil 4.7 : C15 ve C26 Gevrek numune donatı açılımı (etriyeler seyrek) (bütün boyutlar mm cinsindedir)	62
Şekil 4.8 : C15 ve C26 Sünek numune donatı açılımı (etriyeler sık-bütün boyutlar mm cinsindedir)	62
Şekil 4.9 : Donatı açılımı, kenetlenme ve bindirme boyları (bütün boyutlar mm cinsindedir)	63
Şekil 4.10 : Eğilme etkisi altında Zarf eğrisi üzerinde beton ve donatıdaki hasar sınırları [50].....	65
Şekil 4.11 : Kesme etkisi altında zarf eğrisi üzerinde beton ve donatıdaki hasar sınırları [50].....	65
Şekil 4.12 : Çevrim Rijitliği [50].....	66
Şekil 4.13 : Süneklik [50]	67
Şekil 4.14 : Akma yerdeğiştirmesinin belirlenmesi [50]	68
Şekil 4.15 : Maksimum yerdeğiştirmenin elde edilme yöntemleri[50]	68

Şekil 4.16 : Her bir çevrimde yutulan enerji [50]	69
Şekil 4.17 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri.....	70
Şekil 4.18 : 1 Nolu deney -22.50 mm çekme çevrimi doğu cephesi	76
Şekil 4.19 : -28.50 mm çekme çevrimi batı cephesi	76
Şekil 4.20 : +43.50 mm itme çevrimi doğu cephesi, ileri hasar	77
Şekil 4.21 : -43.50 mm çekme çevrimi batı cephesi, ileri hasar	77
Şekil 4.22 : Numune 1 ileri hasar doğu cephesi	77
Şekil 4.23 : Numune 1 ileri hasar batı cephesi	77
Şekil 4.24 : Numune 1 / 1C15 Sünek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	77
Şekil 4.25 : 1C15 Numune Yatay yük- Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%) Grafiği	78
Şekil 4.26 : 1C15 Numune Zarf Eğrisi	79
Şekil 4.27 : 1C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	79
Şekil 4.28 : 1C15 in Nümerik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması	79
Şekil 4.29 : 1C15 Numune Rijitlik değişimi	80
Şekil 4.30 : 1C15 Numune Yükleme Fonksiyonu	80
Şekil 4.31 : 1C15 Numune Normal Kuvvet-Adım sayısı.....	80
Şekil 4.32 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 8281 kNmm	81
Şekil 4.33 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı	81
Şekil 4.34 : 2C15 Sünek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri.....	82
Şekil 4.35 : +42 mm itme çevrimi doğu cephesi	90
Şekil 4.36 : Güney kolonu alt temel bölgesi ileri hasarı, donatıda burkulma	90
Şekil 4.37 : Numune 2 ileri hasar doğu cephesi kuzey kolonu(kesme çatlakları)....	90
Şekil 4.38 : Numune 2 ileri hasar batı cephesi kuzey kolon temel birleşim bölgesi kabuk beton ezilmesi, donatı burkulması	90
Şekil 4.39 : Numune 2 / 2C15 Gevrek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	90
Şekil 4.40 : 2C15 Numune yatay yük – Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%) Grafiği.....	91
Şekil 4.41 : 2C15 Numune Zarf Eğrisi	91
Şekil 4.42 : 2C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	92
Şekil 4.43 : 2C15 Numunenin Nümerik çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.44 : 2C15 Numune rijitliğinin görelî kat öteleme ile değişimi	92
Şekil 4.45 : 2C15 Numune Yükleme Fonksiyonu	93
Şekil 4.46 : 2C15 Numune Normal Kuvvet- Adım Sayısı	93
Şekil 4.47 : 2C15 Gevrek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 5871 kNmm.....	94
Şekil 4.48 : 2C15 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı	94
Şekil 4.49 : 5C26 Sünek Referans Çerçevenin Çevrim Bilgileri.....	95
Şekil 4.50 : -28.50 mm çekme çevrimi doğu cephesi	101
Şekil 4.51 : +43.50 mm itme çevrimi batı cephesi	101
Şekil 4.52 : -44 mm çekme çevrimi doğu cephesi	101
Şekil 4.53 : -44 mm çekme çevrimi batı cephesi	101
Şekil 4.54 : Deney sonu numune 3 ileri hasar batı cephesi	102
Şekil 4.55 : Numune 3 ileri hasar batı cephesi	102
Şekil 4.56 : Numune 3 ileri hasar doğu cephesi	102
Şekil 4.57 : Numune 3 / 5C26 Sünek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	102
Şekil 4.58 : 5C26 Numune Yatay yük Yerdeğiştirme– Ötelenme oranı (%)	103
Şekil 4.59 : 5C26 Numune Zarf Eğrisi	104

Şekil 4.60 : 5C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	104
Şekil 4.61 : 5C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırması...	105
Şekil 4.62 : 5C26 Numune Rijitlik değişimi	105
Şekil 4.63 : 5C26 Numune Yükleme Fonksiyonu	105
Şekil 4.64 : 5C26 Numune Normal Kuvvet Adım Sayısı	106
Şekil 4.65 : 5C26 Sünek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 16457 kNmm	106
Şekil 4.66 : 5C26 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı ...	107
Şekil 4.67 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri	108
Şekil 4.68 : +43.5 mm itme çevrimi doğu cephesi ileri hasar durumu	114
Şekil 4.69 : +43.50 mm itme çevrimi doğu cephesi ileri hasar durumu	114
Şekil 4.70 : -43.56 mm çekme çevrimi batı cephesi ileri hasar durumu	114
Şekil 4.71 : İleri hasar durumu güney ve kuzey kolonu temel seviyesi donatıda burkulma	114
Şekil 4.72 : Numune 4 ileri hasar doğu cephesi	115
Şekil 4.73 : Numune 4 ileri hasar batı cephesi	115
Şekil 4.74 : Numune 4 / 6C26 Gevrek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	115
Şekil 4.75 : 6C26 Numune yatay yük - Yerdeğiştirme-Ötelenme oranı (%).....	116
Şekil 4.76 : 6C26 Numune Zarf Eğrisi.....	116
Şekil 4.77 : 6C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	117
Şekil 4.78 : 6C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması ..	117
Şekil 4.79 : 6C26 Numune Rijitlik değişimi	117
Şekil 4.80 : 4 Nolu Numune Yükleme Fonksiyonu	118
Şekil 4.81 : 6C26 Numune Normal Kuvvet Adım Sayısı	118
Şekil 4.82 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 10018kNmm	118
Şekil 4.83 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı..	119
Şekil 4.84 : 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri.....	120
Şekil 4.85 : +9.04 mm itme çevrimi doğu cephesi	125
Şekil 4.86 : +9.04 mm itme çevrimi batı cephesi	125
Şekil 4.87 : -9.04 mm çekme çevrimi doğu cephesi	125
Şekil 4.88 : -9.04 mm çekme çevrimi duvarda oluşan X kesme çatlağı	125
Şekil 4.89 : -13.44 mm çekme çevrimi doğu cephesi	125
Şekil 4.90 : -22.10 mm çekme çevrimi doğu cephesi	126
Şekil 4.91 : Numune 5 ileri hasar batı cephesi	126
Şekil 4.92 : Duvarda çapraz biçimli göçme mekanizması	126
Şekil 4.93 : Numune 5 / 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	126
Şekil 4.94 : 8C26 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme-Ötelenme oranı (%)	127
Şekil 4.95 : 8C26 Numune Zarf Eğrisi.....	127
Şekil 4.96 : 8C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	128
Şekil 4.97 : 8C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması ..	128
Şekil 4.98 : 8C26 Numune Rijitlik	128
Şekil 4.99 : 8C26 Numune Yükleme Fonksiyonu	129
Şekil 4.100 : 8C26 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı	129
Şekil 4.101 : 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulan Enerji 13160 kNmm	130
Şekil 4.102 : 8C26 Referans Dolgu Duvarlı Çerçevenin Şekildeğiştirme Ölçer – Ötelenme Oranı	130
Şekil 4.103 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri	131

Şekil 4.104 : Şekildeğiştirme ölçer PL60 ın kolon üst ve alt uç bölgelerine yapıştırılması.....	132
Şekil 4.105 : Şekildeğiştirme ölçer PL60 için alınan kalibrasyon değerleri.....	132
Şekil 4.106 : PL60 şekildeğiştirme ölçer.....	132
Şekil 4.107 : +13.52 mm itme çevrimi doğu cephesi.....	138
Şekil 4.108 : +22.54 mm itme çevrimi doğu cephesi.....	138
Şekil 4.109 : +29,45 mm itme çevrimi doğu cephesi.....	138
Şekil 4.110 : -28.52 mm çekme çevrimi doğu cephesi.....	138
Şekil 4.111 : Numune 6 ileri Hasar doğu cephesi	139
Şekil 4.112 : Numune 6 ileri hasar batı cephesi	139
Şekil 4.113 : Numune 6 / 3C15 Güçlendirilmiş çerçevede meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	139
Şekil 4.114 : 3C15 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme- Ötelenme Oranı (%).....	140
Şekil 4.115 : 3C15 Numune Zarf Eğrisi	140
Şekil 4.116 : 3C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	140
Şekil 4.117 : 3C15 in Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması.....	141
Şekil 4.118 : 3C15 Numune Rijitlik değişimi	141
Şekil 4.119 : 3C15 Numune Yükleme Fonksiyonu	141
Şekil 4.120 : 3C15 Numune Normal Kuvvet - Adım Sayısı.....	142
Şekil 4.121 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulan Enerji 8111 kNmm	142
Şekil 4.122 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı	143
Şekil 4.123 : C15 Güçlendirilmiş Çerçeve - Sünek Referans Çerçeve	143
Şekil 4.124 : C15 Güçlendirilmiş Çerçeve - C15 Gevrek Referans Çerçeve.....	144
Şekil 4.125 : C15 Çerçeve Deneyleri Zarf Eğrisi-Ötelenme Oranı(%) Karşılaştırması	144
Şekil 4.126 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri.....	145
Şekil 4.127 : + 3.58 mm itme çevrimi duvarda meydana gelen b diyagonal kesme çatlağı $w=1.1$ mm olmuştur.	149
Şekil 4.128 : -4.48 mm çekme çevrimi, doğu cephesi duvarın köşe birleşiminden çerçevede meydana getirdiği kesme e' çatlağı $w=0.5$ mm, $P=111.66$ kN yatay yük altında.	149
Şekil 4.129 : -7.2 mm çekme çevriminde doğu cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesinde kesme çatlağı $w=1.6$ mm. Beton kabukta ezilme başlangıcı.	150
Şekil 4.130 : Numune 7 ileri hasar batı cephesi, TRM sargı üzerinde meydana gelen kesme hasarları.....	150
Şekil 4.131 : Numune 7 ileri hasar doğu cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesinde beton çekirdek ezildi.....	150
Şekil 4.132 : TRM üzerinde meydana gelen kesme çatlağı $w=0.3$ mm.....	151
Şekil 4.133 : Numune 7 ileri hasar doğu cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesi çekirdek beton ezilmesi, duvarda X kesme çatlağı meydana geldi	151
Şekil 4.134 : Numune 7 ileri hasar batı cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesi çekirdek beton ezilmesi, duvarda X kesme çatlağı meydana geldi	151
Şekil 4.135 : Numune7 / 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	152
Şekil 4.136 : Duvarda diyagonal biçimli göçme mekanizması	152
Şekil 4.137 : 4C15 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme- Ötelenme oranı (%).....	153
Şekil 4.138 : 4C15 Numune Zarf Eğrisi	153
Şekil 4.139 : 4C15 Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi.....	153

Şekil 4.140 : 4C15 in Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması .	154
Şekil 4.141 : 4C15 Numune Rijitlik değişimi	154
Şekil 4.142 : 4C15 Numune Yükleme Fonksiyonu	154
Şekil 4.143 : 4C15 Numune Normal Kuvvet-Adım Sayısı	155
Şekil 4.144 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulan Enerji 11455 kNmm	155
Şekil 4.145 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin Şekildeğiştirme-Ötelenme Oranı.....	155
Şekil 4.146 : 9C15Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve Çevrim Bilgileri	156
Şekil 4.147 : +13.52 mm itme çevrimi batı cephesi	163
Şekil 4.148 : -17.94 mm çekme çevrimi batı cephesi	163
Şekil 4.149 : -22.54 mm çekme çevrimi batı cephesi	164
Şekil 4.150 : -28.56 mm çekme çevrimi doğu cephesi	164
Şekil 4.151 : Numune 8 ileri hasar doğu cephesi	164
Şekil 4.152 : Numune 8 / 9C15 Dolgu Duvarlı Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	164
Şekil 4.153 : Duvarda köşe kırılması ve yapısal eleman göçmesi sonucu meydana gelen ağır hasar.....	165
Şekil 4.154 : 9C15 Numune yatay yük-Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%).....	165
Şekil 4.155 : 9C15 Numune Zarf Eğrisi.....	166
Şekil 4.156 : 9C15 Referans Duvarlı Çerçeve Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi.....	166
Şekil 4.157 : 9C15 in Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması .	166
Şekil 4.158 : 9C15 Numune Rijitlik değişimi değişimi	167
Şekil 4.159 : 9C15 Numune Yükleme Fonksiyonu	167
Şekil 4.160 : 9C15 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı	167
Şekil 4.161 : 9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve-Yutulan Enerji 15573 kNmm	168
Şekil 4.162 : 9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı	168
Şekil 4.163 : 4C15 Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve – 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve Enerji yutma=11455 kNmm Enerji yutma=15573 kNmm	169
Şekil 4.164 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 1C15 Referans sünek çerçeve Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=8281 kNmm	169
Şekil 4.165 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 2C15 Referans gevrek çerçeve Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=5871 kNmm	170
Şekil 4.166 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 3C15 Güçlendirilmiş çerçeve Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=8111 kNmm	170
Şekil 4.167 : C15 Duvarlı ve Duvarsız Çerçevelerin Zarf Eğrisi karşılaştırması	171
Şekil 4.168 : C15 Duvarlı ve Duvarsız Çerçevelerin Rijitlik Değişimi	171
Şekil 4.169 : C15 Numunelerin Eşdeğer Visköz Sönüm Oranındaki değişimi(%) .	172
Şekil 4.170 : Numune1, Numune2, Numune6, Numune7 ve Numune8 Yutulan Enerji	172
Şekil 4.171 : C15 Numunelerin Enerji Yutma karşılaştırması.....	174
Şekil 4.172 : 10C26 Güçlendirilmiş Gevrek Çerçeve Çevrim Bilgileri	175
Şekil 4.173 : -18.34 mm Çekme çevrimi doğu cephesi.....	181
Şekil 4.174 : -28.50 mm çekme çevrimi batı cephesi.....	181
Şekil 4.175 : +28.50 mm itme çevrimi doğu cephesi	181
Şekil 4.176 : Numune 9 ileri hasar batı cephesi	181

Şekil 4.177 :	Numune 9 meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri	182
Şekil 4.178 :	10C26 Numune Yatay yük–Yerdeğiştirme-Ötelenme oranı(%)	183
Şekil 4.179 :	10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi	183
Şekil 4.180 :	10C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	183
Şekil 4.181 :	10C26 Numune Rijitlik değişimi	184
Şekil 4.182 :	10C26 Numune Yükleme Fonksiyonu	184
Şekil 4.183 :	10C26 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı	184
Şekil 4.184 :	10C26 Güçlendirilmiş çerçeve-Yutulan Enerji 11620 kNmm	185
Şekil 4.185 :	10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı ..	185
Şekil 4.186 :	C26 Sünek Referans Çerçeve – C26 Güçlendirilmiş Çerçeve	186
Şekil 4.187 :	C26 Güçlendirilmiş Çerçeve – C26 Gevrek Referans Çerçeve	186
Şekil 4.188 :	C26 Çerçeve Deneyleri Zarf Eğrisi- Ötelenme Oranı (%) Karşılaştırması	187
Şekil 4.189 :	C26 Duvarlı ve Duvarsız Çerçeve Rijitlik değişimi	187
Şekil 4.190 :	C26 Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranındaki değişim (%).....	188
Şekil 4.191 :	C26 Yutulan Enerji karşılaştırması	188
Şekil 4.192 :	C26 Numunlerin Enerji Yutma karşılaştırması	190
Şekil 5.1 :	Gevrek ve Sünek Referans Çerçeveler Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir).....	192
Şekil 5.2 :	Güçlendirilmiş Çerçevelerin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir).....	192
Şekil 5.3 :	Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevelerin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir).....	192
Şekil 5.4 :	Referans Dolgu Duvarlı Çerçevenin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir).....	193
Şekil 5.5 :	Mevcut ve Güçlendirilmiş Çerçevelerin kesit boyutları (boyutlar mm cinsindedir).....	193
Şekil 5.6 :	Çerçevelerin analizinde dikkate alınan mekanik özellikler	194
Şekil 5.7 :	Analizde C15 için alınan parametreler	195
Şekil 5.8 :	Analizde C26 için alınan parametreler	195
Şekil 5.9 :	SAP2000 de çubuk elemanların tanımlanması ve matematik modeli...	196
Şekil 5.10 :	SAP2000 Kirişlerde P-M3 Plastik Mafsal ataması	196
Şekil 5.11 :	SAP2000 Kolon kesiti liflere ayırma işlemi	197
Şekil 5.12 :	SAP2000 Kiriş kesiti liflere ayırma işlemi	197
Şekil 5.13 :	SAP2000 Numune 9 Kuramsal itme eğrisi	198
Şekil 5.14 :	Yığma duvar modellemesinde eşdeğer sanal basınç çubuğu modellemesi.....	199
Şekil 5.15 :	Çerçevenin Statik modeli	200
Şekil 5.16 :	Duvarlı çerçevenin statik modeli ve eşdeğer sanal basınç çubuğu modeli.....	200



KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN İLERİ TEKNOLOJİ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Ülkemizin mevcut betonarme binalarında görülen en önemli sorunlarından bazıları, düşük beton basınç dayanımına sahip olması, donatıların yüksek karbonlu üretilmesi, kritik bölgelerde yeterli enine donatıların bulunmaması ve aderans koşullarının sağlanmamasıdır. Bu olumsuzluklardan dolayı binanın dayanım ve süneklilik kapasiteleri azalmakta, deprem etkisinde hasarlar oluşmakta ve binalarda can kaybına neden olan kısmi veya toptan göçmeler görülmektedir.

Tez çalışmasında, basınç dayanımı düşük ve basınç dayanımı normal betonarme çerçevelerin kiriş-kolon birleşimleri yerine, potansiyel plastik mafsalların meydana geleceği kiriş ve kolonların kiritik uç bölgeleri güçlendirilmiştir. Betonarme çerçeve sistemin kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin çimento esaslı harçla birlikte uygulanan karbon esaslı kompozitle sarılarak, yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılıp, daha sünek davranması, çerçevenin mukavemetinde önemli ölçüde azalma ve kararsız denge olmaksızın, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını elastik sınırın ötesinde, elastik olmayan davranışla ve tersinir dönüşümlü büyük şekildeğiştirmelerle yutma yeteneği araştırılmıştır. Kiriş-kolon birleşimlerinin, günümüzde şiddetli depremler etkisinde doğrusal olmayan davranış için tasarlanan betonarme çerçevelerin kritik bölgeleri olduğu varsayılmaktadır. Birleşimin hemen üstündeki ve altındaki kolonlarda ve kirişlerde meydana gelen eğilme momentleri sonucu birleşimlerde, kiriş ve kolonlarda büyük yatay ve düşey kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu birleşim bölgeleri eğer doğru tasarlanmadıysa, büyük kesme hasarları kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmada, yeni nesil karbon esaslı liflerin çimento esaslı harçla beraber, kiriş-kolon birleşim bölgelerinden olan kiriş ve kolonların kritik uç bölgelerinin sargı etkisinin katkısının deneysel çalışmalarla binanın kesit sünekliliğini, eleman sünekliliğini, sistem sünekliliğini, birbiri ile ilişkili ve etkileşimli olduğu araştırılmıştır. Bu güçlendirme tekniğinde, eleman bazlı uygulama ile, sistem bazlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez çalışmasının verileri, deprem yönetmeliklerindeki “Kiriş-Kolon Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi” konularına katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

Beton dayanımı düşük ve enine donatı aralığı seyrek yalın (çıplak) çerçevelerde, kiriş ve kolon kritik uçlarının ankrajsız ve tam sargı ile sarılması, dayanımda, rijitlikte, enerji yutma kapasitesinde ve süneklilikte artışlar meydana getirmiştir. Kiriş ve kolon uçlarının güçlendirilmesiyle, birleşim panel bölgesinde etriye bulunmamasının olumsuzluğu belirli oranda ortadan kalkmaktadır. Bu güçlendirme tekniğinde sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve sünekliliği aynı anda artabilmiştir. Düşük beton basınç dayanımı (C15) olan numunelerin TRM ile güçlendirilmesi, davranış, süneklilik ve enerji yutma artışı, beton basınç dayanımı normal numunelere göre (C26) daha etkindir. Düşük beton basınç dayanımlı C15 beton sınıfındaki numunelerde sargı kat sayısı arttıkça, numunenin dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesi(süneklilik) oldukça

yükselmekte, sargı etkisi daha etkin çalışmaktadır. Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.52) de anlaşılacağı üzere, 3 kat ve 2 kat sargılı C15 li numunelerin referans numuneye göre, azalma kolunun eğiminin düştüğü ve basınç bölgesindeki betonun daha büyük basınç birim şekildeğiştirme düzeyine gitmesi sağlanmıştır. Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.53) de anlaşılacağı üzere, 3 kat, 2 kat ve 1 kat sargılı sargılı C26 lı numunelerin referans numuneye göre, azalma kolunun eğiminin aynı düzeyde gittiği görülmüştür. Bu sonuçları çerçeve deneyleri ile karşılaştırdığımızda, 3 kat sargıyla sarılan düşük beton basınç dayanımlı çerçeve, 3 kat sargılı normal beton basınç dayanımlı çerçeveye göre %15 daha fazla şekildeğiştirme kapasitesi(süneklik) artışı göstermiştir. Sargı etkisinin düşük beton basınç dayanımlı çerçevelerde daha etkili çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.



BEAM-COLUMN JOINTS RETROFITTED WITH ADVANCED TECHNOLOGICAL MATERIALS

SUMMARY

The research investigates experimentally the effect of confinement on structural behavior at the ends of beam-column in reinforced concrete (RC) frames. In this dissertation, instead of beam-column joints of reinforced concrete frames with low concrete compressive strength and normal concrete compressive strength, the critical ends of beams and columns where potential plastic hinges will occur were strengthened. In the experimental study, nine specimens consisting of 1/3-scaled RC frames having single-bay, representing the traditional deficiencies of existing buildings constructed without receiving proper engineering service is investigated. The RC frame specimens were produced to represent most of the existing buildings in Turkey that have damage potential. To decrease the probable damage to the existing buildings exposed to earthquakes, the carbon Textile Reinforced Mortar (TRM) strengthening technique (fully wrapping with non-anchored) was used on the ends of the RC frame elements to increase the energy dissipation and deformation capacity. The specimens were tested with deformation controlled under reversed cyclic lateral loading with constant axial loads. They were constructed satisfying the weak column-strong beam condition and consisting of low-strength concrete and normal-strength concrete, such as compressive strength of 15 MPa and 26 MPa. The test results were compared and evaluated considering stiffness, strength, energy dissipation capacity, structural damping, ductility, and damage propagation in detail. Comprehensive investigations of these experimental results reveal that the strengthening of a brittle frame with fully-TRM wrapping with non-anchored was effective in increasing the stiffness, ductility, and energy dissipation capacities of RC bare frames. It was also observed that the frame-only retrofitting with an infill wall is not enough to increase the ductility capacity. In this case, both the frame and infill wall must be retrofitted with TRM composite to increase the stiffness, lateral load carrying, ductility, and energy dissipation capacities of RC frames. The presented strengthening method can be an alternative strengthening technique to enhance the seismic performance of existing or moderately damaged RC buildings. It is expected that the results of this thesis will contribute to the issues of “Strengthening Beam-Column Joint” in earthquake international codes. RC frames, with or without masonry infill walls having low compressive concrete strength were prepared and tested under lateral cycling loading until failure (drift ratio up to 3~5%). The ends of RC frames elements are strengthened by applying carbon TRM by non-anchored fully-wrapped effectiveness of this strengthening is determined by comparing the properties of the original frames and those of the strengthening ones. Experimental and numerical results given in tables and figures were discussed comparatively. The results show that the presented strengthening method which is external jacketing and fully wrapping with a non-

anchored of frames display a promising alternative strengthening technique to enhance the seismic performance of existing buildings having RC frame systems.

RC frame specimens were produced at 1/3-scaled due to the laboratory capacity having brick infill walls. The particle diameter of concrete aggregate, the brick size of the infill wall, and the geometry of the frame members of all specimens were scaled, accordingly. The scaling is accomplished to obtain the actual structural behavior of the frame as much as possible, as pointed out by Gajanan et al. (1999), Noor et al. (1992). Nine different RC frame specimens (Specimen1-Specimen9) were produced and tested under cyclic lateral loading with constant axial loading. Five of the specimens Specimen1(1C15), Specimen2(2C15), Specimen3(5C26), Specimen4(6C26) and Specimen8(9C15) were used as the reference specimens for comparison with the other four retrofitted frames, Specimen5(8C26), Specimen6(3C15), Specimen7(4C15) and Specimen9(10C26). Since frame Specimen1 and Specimen3 have stirrups at the beam-column joints and the spacing at confined zones of the beam and column ends are small (50 mm), a ductile behavior is expected inherently. Details of the specimens are shown in Fig. 4.3, Fig. 4.4, Fig. 4.5 and Fig. 4.6.

All RC frames have the same geometry including the dimensions as shown in Fig. 4.7 and Fig. 4.8. The height of the frame is 1000 mm, and the height and the span of the foundation are 400 mm and 1533 mm, respectively. The column and the beam cross sections are both 100 mm×200 mm, whereas the cross-section of the foundation beam is 400 mm×700 mm. A longitudinal reinforcement of 4Ø8 is used for the columns and the beam whereas, the reinforcement of the foundation is 12Ø12. For the brittle specimens, the spacing of the transverse reinforcement of the columns and the beam is 130 mm and 150 mm, respectively, and the concrete cover is considered 15 mm similar to the literature (Özkaynak 2010), whereas, the specimen, Specimen1 and Specimen3 have a stirrup spacing 50 mm at the confinement zones of frame elements to comply with the Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018). The dimensions and the reinforcement details of the retrofitted specimens Specimen5(8C26) Specimen6(3C15), Specimen7(4C15), and Specimen9(10C26) are shown in Fig. 4.5 and Fig. 4.6. The end sections of the beam and columns were fully wrapped with non-anchored 3-layer TRM composite. Overlapping of the last layer of 200 mm is provided. Strong adhesion was provided by using cement-based mortar to prevent the debonding.

Before wrapping with TRM composite, the corners of rectangular sections of the beam and the columns were rounded to avoid stress concentrations and to ensure the efficiency of confinement (Azam and Soudki 2014, Dang et al. 2020). Otherwise, premature failure can occur. The length of the wrapping zone at the beam is 300 mm, whereas the length of the wrapping zone at the columns is 200 mm. A special mortar having a thickness of 5 mm was applied between the layers of the wrapping to ensure the integration between the layers and the frame. Thus, the total thickness of the wrapping reached 15 mm on each face of the column and beam ends.

The stages of the construction of the specimens are shown in Fig. 2.1, Fig. 2.2, Fig. 2.23, Fig. 2.24, Fig. 2.25 and Fig. 2.27. First of all, the frames of all specimens were produced by placing reinforcements and pouring concrete. Then, TRM composite

wrapping was applied to the Specimen5(8C26), Specimen6(3C15), Specimen7(4C15) and Specimen9(10C26) to generate the retrofitted specimens.

RC frames were tested in the ITU Civil Engineering Faculty Structural and Earthquake Engineering Laboratory. During the tests, the loading protocol accepted by the international codes (ACI 549.4R-13, ACI 440.2R-17, and ASTM. 2016 a) for the RC frames was applied to achieve the desired critical limits of targets as shown in Fig. 4.30.

The test setup is shown in Fig. 4.1 which consists of (i) a strong floor to provide fixed support where the test setup is connected with high tensile bolts and (ii) a reaction wall to apply the cyclic loads on the beam-column joint with the help of (iii) a servo-controlled, 280 kN-capacity hydraulic actuator. In the experimental setup two rollers are used to prevent out-of-plane displacements (Fig. 3.4). The specimens were tested according to the loading protocol given in Fig. 4.30 to simulate the earthquake effect. Loading was applied up to the failure of the specimens. The load-deformation diagram was recorded with the help of a load cell and the actuator. Two high-strength anchor rods with a diameter of Ø18 mm were passed through the holes in the head of the hydraulic transmitter and attached to the end of the specimen with a thick steel plate in order to perform repetitive loading (push and pull loadings). Pre-stressed 24 bolts with a diameter of 18 mm were used to provide the fixed anchorage conditions of the foundation under the lateral loads. The general crack patterns, crack mechanisms, and crack widths at each loading step were observed and the envelopes of force-displacement hysteresis obtained from the quasi-static (QS) tests under deformation control are noted with the numerical readings (Mosalam et al. 1998). The critical events, such as the first diagonal cracking in the infill wall, the first cracking in RC members, and the rebar buckling were observed and noted together with the loading displacements.

CDP-5, CDP-10, CDP-25, and SDP-100 type linear variation displacement transducers (LVDT, Model TML) were used to measure the displacements at different sections of the test specimens. LVDTs were located to receive and record data in both push and pull loading cycles. The general instrumentation layout of the specimens is given in Fig. 3.2 and Fig. 3.3. A total number of 20 LVDTs were installed on each specimen to obtain the displacements and to measure the general lift, slip, and out-of-plane movements for control purposes. Additionally, some of the LVDTs (channels no: 4, 27, 29, and no 30 in Fig. 3.2 and Fig. 3.3) were installed for recording rotational or translational displacements of the foundation due to the rocking motion during the tests. They were mounted on Ø5 anchor rods placed on the specimen during the production stage. In addition, strains were also measured by strain gauges fixed on the longitudinal reinforcement at the ends of the beam and columns (Fig. 3.2 and Fig. 3.3). The results of the experiments are discussed for each specimen in terms of stiffness, strength, energy dissipation capacity, and structural damping. Hysteretic behavior of specimens is obtained under reversible repetitive loads, acting throughout the experiment. Displacements and strains were measured by assuming the load cycles are positive in the push and negative in the pull loop.

A comparison of these figures reveals that the strength and the energy dissipation of Specimen1(1C15), Specimen3(5C26), Specimen6(3C15) and Specimen9(10C26) are

higher than Specimen2(2C15) and Specimen4(6C26), because Specimen2(2C15) and Specimen4(6C26) displays brittle behavior due to the large spacing of the transverse reinforcement. On the other hand, Specimen1(1C15) and Specimen3(5C26) behaves ductile due to the adequate stirrup spacing, and Specimen6(3C15) and Specimen9(10C26) behaves ductile due to the retrofitting by TRM at the ends of the beam and columns. Hysteretic behavior of Specimen7(4C15) and Specimen8(9C15) can be seen in Fig. 4.163. Due to the strengthening of column and beam ends of the frame with infill wall, its rigidity slightly increased. During the test of Specimen7(4C15), the infill wall was crushed at the corner of the frame and the rigidity of the specimen decreased. The infill walls were crushed at the corners of the frame and rigidity of Specimen8(9C15) decreased while in Specimen7(4C15) no crush was observed at the infill wall during the tests, so the behavior of Specimen7(4C15) seems to be less ductile, because of limited damage development on the infill wall (Fig. 4.163). As it is anticipated, the frame with infill wall behaves brittle when compared to bare frames. Strengthening of bare frame specimens at the beam and column ends by wrapping enables more energy dissipation capacity than strengthened frames with infill wall. Experimental results reveals that, the infill walls should also be strengthened with those of frames.

Since the inelastic behavior arises, the stiffness and the strength of the RC frame reduces and the frame system respond to these effects with hysteretic behavior under reversible loads. An envelope of the load-displacement curves of the frame system is obtained by combining the maximum load values occurring in each hysteretic cycles. This curve can be accepted as a unidirectional load-drift ratio curve which shows the damage extent and the overall behavior of the frame system (Fig. 4.167).

Ductility is the ability of a structural system to absorb more energy transmitted from the earthquake motion. It increases as deformations get larger. It is expected that a significant reduction in strength and unstable equilibrium should not appear as the system goes beyond the elastic limit. In the beam-column critical ends where the potential plastic hinges are expected to occur, the ability to consume energy is weakened due to insufficient transverse reinforcement.

During the experiments, the strain gauges are used to measure the strains of the longitudinal reinforcement of the frame elements to observe their behavior. Stiffness is required to limit the lateral displacement in structures and it has a significant impact on structural performance. As seen in Fig. 4.25, Fig. 4.40, Fig. 4.114 for C15 and Fig. 4.58, Fig. 4.75, Fig. 4.178 for C26, the slope of the hysteretic curves decreases as the number of cycles increases, which clearly shows stiffness degradation in both directions for each cycle. The peaks in both directions are connected with a straight line to display the overall behavior of the frame in two directions and the slope of the line was defined as the stiffness of the loop as (Eq 4.1), where P_i^+ and P_i^- correspond to the maximum positive and negative lateral load, and δ_i^+ and δ_i^- denote the maximum positive and negative displacement of each cycle. Energy dissipation ability is one of the most essential properties of structures in point of the seismic-resistant design. In literature, it is of prime importance whether structural members have enough energy dissipation capacity to reach the desired performance target while incorporating the hysteretic behavior of the structural elements. RC frame members have critical

regions close to their joints where the internal effects are high and plastic deformations are expected to develop, i.e., the controlled damages are expected due to bending moments beyond the yielding. As the ductility of the systems increases, more energy can be absorbed and consumed within the sections of the structure, where inelastic deformations take place. Energy dissipation is proportional to the enclosed area of each loop in the hysteretic curves at each drift ratio. Damping is also another property for dissipating their energy. As the damping ratio in structures increases, seismic demands decrease due to the energy dissipation and nonlinear deformations.

As a result, experimental results show that the low and normal strength concrete frames which are inherently brittle can be easily and significantly strengthened to increase the ductility capabilities of the bare frame systems by wrapping the critical beam-column ends with TRM composite. Therefore, the application of TRM wrapping to RC bare frames mainly enhances the ductile behavior and energy dissipation of the existing buildings with low and normal concrete strength and poor reinforcement details (no transverse reinforcement at beam-column joints and no confined zones at the beam-column ends) and workmanship. Experimental results show that confinement of low and normal-strength RC frame member ends by wrapping TRM is a suitable strengthening technique to enhance the shear strength and ductility capacity. Wrapping with TRM composite seems to be a promising strengthening method to increase its ductility capacity. Furthermore, the study shows that the brittle behavior of undamaged existing bare frame systems can be improved by using this wrapping application. The results displayed that the proposed strengthening technique increases the stiffness and the strength of the frame system structures. It was concluded that strengthening should be applied not only to frames but also to infill walls to enhance ductility capacity. For the existing buildings, it is hard to access and apply strengthening to the beam-column joints due to the insufficient transverse reinforcement. This work showed that easy-to-apply strengthening at beam-column ends yields good system behavior. In addition, this confinement technique could be applied in moderately damaged buildings after an earthquake. The results presented in this dissertation are based on a limited number of test specimens. Therefore, further studies should be carried out to determine the effectiveness of TRM composite on the strengthening of RC buildings in seismic zones.



1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir bölgesi, aktif sismik hareketlerin olduğu ve bu bölgelerdeki bina stoğunun büyük bir kısmının 2000 yılı öncesi mühendislik ve fen kurallarına göre inşa edilmediği bilinmektedir. Özellikle, Marmara Bölgesi'nde büyük sismik hareketlere karşı onarılması veya güçlendirilmesi gereken çok fazla betonarme bina vardır. Deprem sonrasında bina hasarlarının çoğunlukla kiriş-kolon birleşim bölgelerinde olduğu görülmüştür. Bu doktora tez çalışması kapsamında, şiddetli depremlere karşı deprem dayanımı düşük mevcut betonarme binaların hizmet dışı kalmadan, oldukça pratik ve uygun maliyetli güçlendirilecek ileri teknolojik bir malzeme ve güçlendirme tekniğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemizde taşıma gücü yetersiz binaların güçlendirilmesinde uygulanan ve en çok tercih edilen geleneksel yöntem, sismik yükler altında dayanım ve rijitliği kaybetmeyen ve mevcut taşıyıcı sistemle birlikte çalışabilecek, betonarme perdelerin taşıyıcı sisteme entegre edilmesidir. Bu tekniğin sakıncası, bina kütlesini arttırarak sismik yükleri büyütmesi, güçlendirme uygulaması sırasında binanın kullanımını zorlaştırması ve güçlendirme sürecinin oldukça uzun olmasıdır.

1.1 Tezin Amacı

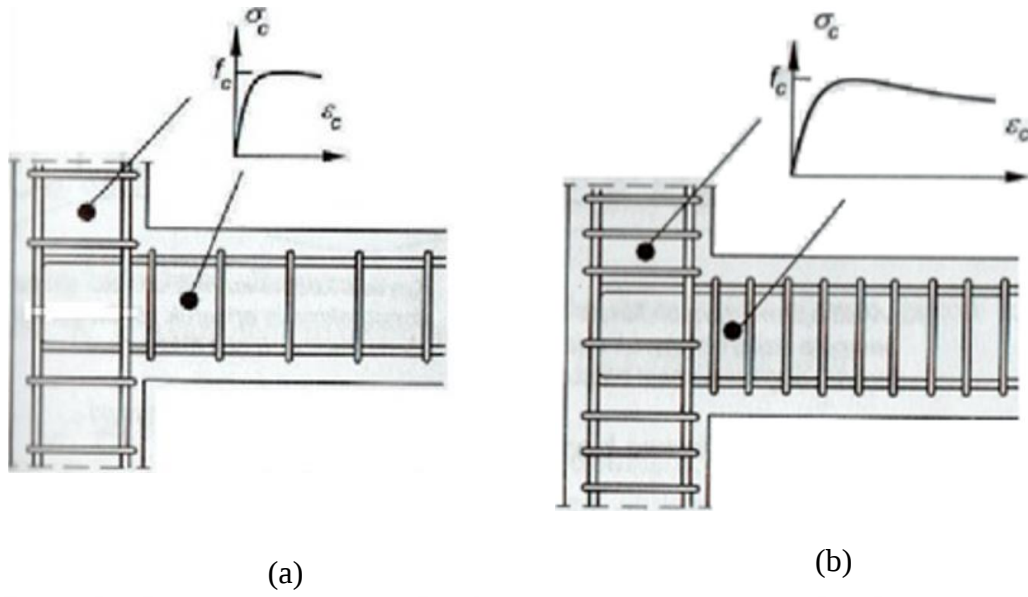
Bu doktora tezinin amacı, monolitik(bir döküm) betonarme çerçeve sistemlerin kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin çimento esaslı harçla birlikte uygulanan karbon esaslı kompozitle güçlendirilerek, yatay yük taşıma kapasiteleri, kesme kuvveti kapasitelerinin arttırılarak, daha sünek davranması, çerçevenin mukavemetinde önemli ölçüde azalma ve kararsız denge olmaksızın, deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını elastik sınırın ötesinde, elastik olmayan davranışla ve tersinir dönüşümlü büyük şekildeğişirmelerle yutma yeteneğini araştırmaktır. Betonarme çerçevelerin yatay yükler etkisindeki deprem davranışı deneysel ve nümerik çalışmalarla incelenmiştir. Nümerik analizler SAP2000 v22.2.0 programı ve SEISMOSTRUCT V2021 doğrusal olmayan yazılım programı ile yapılmıştır. Deneysel çalışmada, deney süresince oluşan hasar mekanizmaları, çatlak krokileri,

enerji yutma değerleri, donatıların akıp akmadığı, rijitlik ve süneklilik değişimleri belirlenmiştir.

Kiriş-kolon birleşimleri yerine, potansiyel plastik mafsalların meydana geleceğı kiriş ve kolonların kiritik uç bölgelerinin güçlendirilmesi tercih edilmiştir. Mevcut binalarda döşeme sistemi de gözönüne alındığında, kiriş-kolon birleşimlerini güçlendirmek daha zordur. Uygulamada mevcut binalarda kiriş-kolon birleşimlerinde döşemenin varlığı yanında, kolon ve kirişlerin geometrik boyutlarının farklı olması, birleşimlere güçlendirme müdahalesini yapmayı zorlaştırmaktadır.

1.2 Çalışmanın Konusu ve Kapsamı

Kiriş-kolon birleşimleri, günümüzde tasarım depremi ya da daha şiddetli depremler altında beklenen doğrusal olmayan davranış için tasarlanan betonarme çerçevelerin kritik bölgeleri olduğu kabul edilmektedir. Birleşimin hemen üstündeki ve altındaki kolon ve kirişlerde meydana gelen iç kuvvetler sonucu birleşimlerde, kolon ve kirişlerde büyük basınç ve kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Eğer birleşim bölgeleri doğru tasarlanmadıysa, büyük kesme hasarları kaçınılmaz olacaktır. Betonarme binalarda kiriş-kolon birleşimleri, tanım olarak kolonun birleşim bölgesinde yüksekliği en fazla olan kiriş boyunca ilgili bölümdür. Literatürde bu birleşime düğüm noktası veya birleşim paneli de denilmektedir. Kiriş-kolon birleşim bölgesi ise tanım olarak birleşimle birlikte, birleşimin komşuluğundaki kolon, kiriş ve döşemelerin uç kısımlarını da kapsar. Bu araştırmanın konusu ve kapsamı, yeni nesil karbon esaslı liflerin çimento esaslı harç kullanılarak uç bölgelerine tespit edilmesiyle, kiriş-kolon birleşim bölgelerinden olan kritik uç bölgelerinin sargı etkisinin deneysel çalışmalarla binanın davranışına katkısını incelemektir. Böylece, betonarme çerçevelerin kesit sünekliliğı, eleman sünekliliğı ve sistem sünekliliğine ilişkin davranışları incelenmiştir. Ülkemizin mevcut betonarme binalarında görülen en önemli sorunlardan bazıları, düşük beton basınç dayanımına sahip olması, donatıların yüksek karbonlu üretilmesi, kritik bölgelerde yeterli enine donatıların bulunmaması ve aderans koşullarının sağlanmaması gelmektedir (Şekil 1.1 (a)) [34] . Bu olumsuzluklardan dolayı, yatay yükler altında binaların dayanım ve süneklilik kapasiteleri azalmakta, hasarlar oluşmakta ve binalarda can kaybına neden olan kısmi veya toptan göçmeler görülmektedir.



Şekil 1.1 : Kiriş ve kolonun sargı bölgesinde, betonda (a) gevrek ve (b) sünek güç tükenmesi [34]

Bu olumsuzlukların çözümü için geliştirilen güçlendirme tekniklerinden biri de, binanın taşıyıcı elemanlarının dıştan sargılanarak güçlendirilmesidir. Betonarme binaların yenilikçi ve ileri teknoloji malzemeleri ile takviyesi/güçlendirilmesi, akademik çalışmalarının tercih sebebidir. Bu ileri teknoloji malzemelerinin başında, lifli polimer kompozitler (FRP) gelmektedir [133] Malzemenin çekme dayanımının yüksek olması, düşük öz ağırlığa sahip olması, tatbik edildiği yüzeyde minimum geometri değişimine neden olması, çevresel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı ve kolay uygulanabilmesi gibi birçok avantajlarının bulunması, lifli polimer kompozitlerin binaların güçlendirilmesinde en önemli malzemelerden bir tanesi yapsa da, bazı olumsuz yönleri de kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Geçmiş deneysel çalışmalarda elde edilen olumsuzluklar; malzemenin yüksek maliyetli olması, malzemedeki polimer matrisin düşük camlaşma sıcaklığı nedeniyle yüksek sıcaklıklardaki taşıma gücü kapasitesini kaybetmesi, kullanılan malzemelerin işçi sağlığına olan olumsuz etkileri, buhar geçirgenliğinin olmaması, yüzeye uygulandıktan sonra sökülebilmesinin zorluğu ve yenilenebilirliğinin kısıtlı olması, sargılandığı taşıyıcı eleman yüzeyinde bulunan hasarın belirlenememesi vb. gibi [139] belirtilebilir.

Bu olumsuzluklar, lifli polimer kompozit malzemenin matrisini oluşturan polimer reçinelerin (epoksi, vinylester, polyester v.b) özellikleri nedeni ile meydana gelmektedir. 2000’li yıllardan sonra bu organik polimer matrisin yerine, inorganik

çimento esaslı harçların kompozit malzemenin matrisi olarak kullanılabileceği ve etkin olabileceği düşünülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu, yüksek dayanımlı liflerden (karbon, aramid, bazalt, cam, v.b) örülmüş dokuma veya tekstillerin çimento esaslı matrislerle birlikte oluşturdukları kompozitin güçlendirme alanında etkin olarak kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır [27] Literatürde genel olarak bu kompozit malzemeler lifli dokuma takviyeli çimento matris (FRCM) veya tekstil takviyeli harç (TRM) olarak isimlendirilmiştir [139] Bu tezde sadece TRM kısaltması tercih edilmiştir. Bu tekstil takviyeli harç kompozitin, çekme gerilmeleri altında davranışını belirleyen parametrelerden bir tanesi de, çimento esaslı harcın çekme dayanımıdır. Çimento harcının çekme altındaki dayanım ve şekildeğiştirmelerini artırmak maksadıyla, içerisine ilave polimer ve lifler konulmaktadır. Bu katkılar sonucu sünekliği artan harcın mekanik özellikleri, kompozit malzemenin de performansına olumlu etki yapmaktadır. Bu araştırmadan çıkacak en önemli sonuç ise, ileri teknolojik bir güçlendirme malzemesi kullanarak, taşıyıcı sistem güvenliği yetersiz betonarme çerçeve sistem binaların hızlı, pratik ve ekonomik bir şekilde güçlendirme tekniğini geliştirmektir.

Geçmiş deneylerde, FRP (*ing.* Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilmiş betonarme taşıyıcı elemanların dayanımda artışlar meydana geldiği görülmüştür. Bu araştırmanın konusu ise lifli polimer ile güçlendirilen binalarda olduğu gibi, güçlendirilmesi gereken binaların hizmet dışı kalmadan, pratik, uygun maliyetli ve beton dayanımı düşük binalarda da etkin olarak kullanılabilecek ileri teknolojik bir kompozit malzeme ve güçlendirme tekniğini geliştirmektir. Dolayısıyla, FRP yerine TRM (*ing.* Textile Reinforced Mortar) veya FRCM (*ing.* Fabric Reinforced Cementitious Matrix) kompozit tercih edilmiştir. Bu sistem, muhtevasında karbon esaslı liflerin meydana getirdiği bir ağ ile uygulandığı yüzeyin fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan uyumlu çalışmasını meydana getiren, organik olmayan matrise sahip çimento esaslı harçtan meydana gelen göz açıklıklı dokuma kompozit bir sistemdir. Yani muhtevasında, matris olarak çimento esaslı malzeme ve donatı olarak farklı türden tekstiller bulunmaktadır. Geçmiş araştırmalar sonucunda, tekstillerin bükümlü, kıvrımlı, çok lifli ve ağ yapılı sistemlerde iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. Bunun sebebi, kompozitin içeriğindeki matris harcının tekstillerin arasına nüfuziyetiyle aderans etkinliğinin artması olarak açıklanabilir. Epoksi kullanılarak yüzeylere tespit edilen FRP sistemlerin aksine bu malzeme nemli ortamlara da tatbik

edilmektedir. Ayrıca bağlayıcı malzemesi çimento esaslı bir harç olmasından dolayı, epoksiye göre yangın dayanımı da lifli polimerlere göre daha fazla avantaja sahiptir. Aynı zamanda TRM kaplaması sonucunda ek bir sıva yüzeyine gerek kalmadan boyaya geçilebilir.

Deprem yönetmeliğimizin TBDY 2018 Bölüm 15 ve TDY2007 Bölüm 7’de deprem etkisi altında mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı için lifli polimer ile güçlendirme yöntemine de yer verilmiştir. Bu teknikte, epoksi vasıtasıyla lifli polimerler (FRP) beton yüzeyine yapıştırılmaktadır. Yurdumuzda yenilikçi bir güçlendirme metodu olan çimento esaslı kompozitlerle (TRM) uygulamalar, mevcut deprem yönetmeliğimizde yer almamaktadır. Bu çalışmada çimento esaslı kompozitler kullanılarak yapılacak güçlendirmeler için nümerik modelleme yöntemleri ve yatay yük taşıma kapasitesi hesapları geliştirilecek ve güncel yönetmeliklerle literatürdeki güncel birleşim bölgesi davranış modelleri ile karşılaştırılacaktır. Sargılama yapılacak çerçevelerin dayanımlarının tipik betonarme binalardaki yetersiz dayanıma sahip betonları temsil etmesi için 15 MPa ve normal beton basınç dayanıma sahip binaları temsil etmesi için beton basınç dayanımı 26 MPa olan çerçeveler üretilmiştir. Bu çalışma, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız mevcut hasarsız çerçeve sistemlere sahip betonarme binaların değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. İleride yapılması planlanan çalışmalarda, aynı tekniğin deprem geçirmiş orta ve hafif hasarlı binaların güçlendirilmesinde de uygulanabileceği düşünülmektedir. Bu doktora çalışmasından elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar, sınırlı sayıda numuneler için geçerli olup, bu malzemenin yapısal güçlendirmedeki etkinliğinin daha iyi belirlenebilmesi için daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

1.3 Literatür Özeti

Dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçevelerin, yatay yükler altındaki deprem davranışı deneysel ve sayısal olarak Özkaynak [104] tarafından incelenmiştir. Bu doğrultuda Türkiye’de mevcut betonarme yapı özelliklerini yansıtması amacıyla, 22 adet 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı çıplak referans çerçeve, dolgu duvarlı referans çerçeve ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri üretilmiştir. Bu numunelere statik ve benzeşik dinamik deney

teknikleri uygulanmıştır. Bu numunelerde çerçeve içine boşluklu dolgu duvarlar örülmüş ve karbon lifli polimerler (CFRP) ile uygun biçimde güçlendirilmiştir. Bu suretle, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji yutma kapasitesindeki artışlara bakılmıştır. Statik deneylerde iki ayrı yük protokolü kullanılmıştır. İki yükleme protokolü birbirinden farklıdır. Tatbik edilen yerdeğiştirme eşiklerindeki tekrar sayısı bu farkı oluşturmaktadır. Çıplak referans çerçeve ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin davranışları statik yükler ve benzeşik dinamik deney tekniği kullanılarak dinamik yükler ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Deney sonucunda rijitlik, dayanım, süneklik, enerji yutma kapasitesi, yapısal sönüm ve hasar/çatlak yerleri açısından FEMA 356 ya göre kıyaslamalı değerlendirilme yapılmıştır. Çıplak referans çerçeve ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin elastik ve elastik ötesi bölgelerinde sönüm, deneysel olarak elde edilmiş ve süneklik oranı ile ilişkisini gösteren bir denkleme dönüştürülmüştür.

Deprem etkisi altındaki betonarme yapıların, karbon lifli çimento esaslı kompozitlerle (CFRC) güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı Ökten [102] tarafından incelenmiştir. Türkiyede 2000 li yıllardan önce yapılan çok sayıda düşük beton basınç değerine sahip, yapı stoğu mevcuttur. Bu amaçla, düşük beton basınç dayanımına sahip (C13 MPa) çerçeveler üretilmiş ve içine güçlendirilmiş duvarlar örülmüş ve yatay yükler altında test edilmiştir. Dolgu duvarlı CFRC kompozitler ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin, yatay yük taşıma kapasiteleri, süneklikleri, rijitlikleri ve enerji yutma kapasiteleri kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir. Deneylerde bölme duvar yüzeyleri, tek taraflı veya çift taraflı olarak CFRC kompozitlerle güçlendirilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda güçlendirme tekniğinin, çerçevelerin birleşim bölgelerindeki hasar dağılımlarına etkisi ve sünek davranışına olumlu katkısına bakılmıştır.

Yetersiz enine sargı ve düşük dayanımlı (C9 MPa) olarak üretilen beton numunelerin, sadece lif takviyeli çimento esaslı püskürtme betonu (GRC) ve bazalt tekstil takviyeli cam lifli püskürtme betonu (BRGRC) ile ayrı ayrı güçlendirilerek (dıştan sargılama) eleman bazdaki etkisi kıyaslamalı olarak Ateş ve Töre [147] tarafından incelenmiştir. Kompozit malzemenin matrisini oluşturan çimento esaslı harcın içine küçük uzunluklarda (24 mm) dilimlenmiş cam lifler eklenmiş ve maksimum agrega çapı $D_{maks}=1.2$ mm seçilmiştir. Harca ilave polimerler eklenmiş ve püskürtme yöntemi ile düzgün lif dağılımı sağlanmıştır. Bu suretle çimento harcının çekme dayanımı standart çimento harçlarına göre artırılmıştır. Püskürtme betonu sayesinde uygulama kolaylığı

artırılmış ve bilhassa erişilmesi zor olan bölgelere ulaşarak güçlendirme imkanı sağlanmıştır. Düşük beton basınç dayanımlı çapı 200 mm, yüksekliği 500 mm olan dairesel kesitli elemanlardan 7 adet üretilmiş, GRC ve BRGRC ile dıştan ankrajsız 200 mm bindirme boyu ile farklı seçeneklerde sarılmıştır. Numuneler monotonik artan eksenel yüklere maruz bırakılmıştır. Ancak bazalt tekstil+cam lifli püskürtme betonu kompozit malzemenin numunelerin alt ve üst bölgelerinden 15 mm yüksekliğindeki kısımları güçlendirilmemiş olup doğrudan bu düşey yüklere temas etmesi önlenmiş ve sadece sargılama etkisi sağlanmıştır.

Deneyisel çalışma sonucunda, sadece cam lifli püskürtme betonu (25 mm kalınlık) ile güçlendirilen numunelerde ve cam lifli püskürtme betonu + bazalt tekstil kompozit ile sargılanan numunelerde eksenel yük basınç dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesinin referans numunelere göre arttığı görülmüştür. Ayrıca tüm numuneler içinde en etkili güçlendirme tekniğinin 3 kat tabaka bazalt tekstil ve cam lifli püskürtme betonla sargılanan numune olduğu görülmüştür.

Lifli polimer kompozit FRP ve lifli dokuma takviyeli çimento matrisi (FRCM) kompozitin, ayrı ayrı betonarme kirişlerin güçlendirilmesindeki katkısına, kesme ve eğilme kapasitelerine etkisi Tommaso ve diğ. [132] tarafından araştırılmıştır. Bunun için, FRP kompozit ve farklı liflerden meydana gelen FRCM kompozit malzemeler ile farklı şekilde güçlendirilen kiriş numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler üç ve dört noktadan eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. FRCM kompozit ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin davranışı, FRP kompozit ile güçlendirilmiş kirişlerle mukayese edilmiştir. Deney sonuçlarına göre FRCM kompozit ile güçlendirilen kirişlerin sünekliğinin, FRP kompozit ile güçlendirilen kirişlere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Seçilen lif tipine göre numunelerde dayanım artışı değişmektedir. Lifli dokuma takviyeli çimento matrisi (FRCM) kompozitin, betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde alternatif bir seçenek olduğu düşünülmektedir. FRCM kompozitlerin, FRP'li kompozitlere göre yangına karşı dayanımda ve çevresel etkilere karşı durabilitelerinde daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Biondodi ve diğ. (2007), [26] çalışmasında, eski bir ton balığı işleme tesisinin onarım ve güçlendirme projesi yapılmıştır. Projede kullanılan güçlendirme malzemesi FRCM kompozitin ticari ürünü olan Ruredil X MESH C10 ve X MESH M25 ürünleridir. X MESH C10 iki dik yönlü derece açılarla ve ağ aralığı 10 mm olan tel demetlerinden meydana gelen karbon lif malzemedir. X MESH M25 ise kompozitin tatbik edileceği

yüzeye yapışabilmesini sağlayan inorganik çimento matrisidir. Çalışma sonucunda X Mesh C 10 kompozitle güçlendirilen tonoz yapının yatay yüklere karşı taşıma kapasitesinin arttığı ve toptan göçmenin engellendiği görülmüştür.

Akhoundi ve diğ. (2021), [4] çalışmasında, tekstil takviyeli harç (TRM) kompozit kullanarak duvarlı çerçevenin düzlem dışı direncini arttırmak amacıyla güçlendirilmesi üzerine deneyler yapılmıştır. Çalışmanın amacı, tekstil takviyeli harç kompozit (TRM) tekniği ile düzlem dışı yönde çelik bağlantılar kullanarak, farklı güçlendirme teknikleri (2 farklı ağ) ile duvarlı çerçeve üzerindeki etkinliğini araştırmaktır. Bunun için, dört adet 1/2 ölçekli numune, bir hava yastığı ile her bir dolgu kütesine döngüsel olarak uygulanan düzlem dışı düzgün yayılı yükler altında, test edilmiştir. Test sonuçlarına göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir; Düzlem dışı yükleme altında dolgu duvara uygulanan TRM tekniği, dolgulu çerçevenin başlangıç rijitliğini önemli ölçüde artırmış, ancak düzlem dışı dayanımdaki artış orta düzeyde kalmıştır. Duvarın dış ve iç elemanları çelik bağlayıcılarla birleştirildiğinde, referans numunenin başlangıç rijitliği ve düzlem dışı direncine göre sırasıyla %25,6 ve %18,8'lik bir artış gözlenmiştir. TRM tekniği, tuğla dolgulu duvarda önemli bir dayanım kaybı olmadan duvarlı çerçevenin şekildeğiştirme kapasitesini artırmıştır. Tekstil takviyeli harç (TRM) kompozitle güçlendirilmiş numuneler, düzlem dışı harekette enerji yutma kapasitelerini referans numunelere göre artırmıştır.

Poggi, C. ve Carozzi, F.G. (2015), [111] çalışmasında yığma yapılarda güçlendirme malzemesi amaçlı kullanılan TRM (FRCM) malzemeye ait PBO, cam ve karbon esaslı tekstiller ile üç tip matris karışımı kullanılarak el yatırması metoduyla kompozitler üretilerek deneyler yapılmıştır. Numuneler çekme testi, pull-off testi ve aderans testleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Düz çekme deneyinde en yüksek dayanım PBO tekstil ile üretilen kompozit numunelerden elde edilmiştir. Bunun nedeni PBO tekstilin mekanik özelliklerinin (dayanım, Elastisite Modülü v.s) diğer tekstillere göre daha yüksek oluşudur. TRM malzemelerin tarihi yapılarda onarım veya güçlendirme malzemesi olarak tercih edilmesi önemli avantajlar (uygulanacak yüzeyle uyumlu olması, buhar geçirgenliği sağlaması ve dış etkilere karşı durabilite dayanımı) sağlamaktadır.

FRP kompozitlerin yığma yapılarda onarım ve güçlendirme malzemesi olarak kullanılmasının bazı olumsuz sonuçları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi kompozitin uygulanacak yüzeyle uyumsuzluk göstermesi ve tipik hasar modunun

gevrek bir şekilde yüzeyden ayrılmasıdır. Bu sebeple, çimento esaslı kompozitler, FRP kompozitlere göre daha avantajlı ve alternatif güçlendirme malzemesi olarak değerlendirilmektedir.

Ludovico, M.D, Prota, A., Manfredi, G. (2010), [89] çalışmasında çimento esaslı kompozit malzemeler, betonarme kolonların güçlendirilmesinde sargı etkisi kazandırdığı için yenilikçi bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple çimento esaslı kompozitlerle sağlanan sargı etkisi taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon, kiriş, döşeme) önemli onarım ve güçlendirme yollarından biri olarak görülmektedir. Farklı sargı yöntemleriyle beton silindir üzerinde sargı etkinliği deneyleri yapılmıştır. Bu yöntemler: 1) Cam esaslı FRP lamina malzeme ile sargılama tekniği; 2) İki doğrultulu bazalt tekstillerin epoksi veya lateks ile emprenye edilerek çimento esaslı malzeme ile yapıştırılması tekniği; 3) Aramid, AR-glass takviyeli çimento esaslı sargılama tekniği; 4) Tekstil takviyesiz çimento esaslı harç teknikleri olarak sıralanmaktadır. Toplamda 23 adet standart (150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde) silindir testleri yapılmıştır. Sargılama yapılacak silindir beton numuneler, beton basınç dayanımları yetersiz olan binaları temsil etmesi için 15 MPa olarak üretilmiştir. Deney sonucunda bazalt teskilin epoksiye emdirilerek çimento esaslı malzemeye yapıştırılması yöntemi süneklik ve basınç dayanımı açısından en etkili yöntem olmuştur. Cam esaslı GFRP lamina yöntemi ile sargılanan numunelerde ise maksimum eksenel şekil değiştirme kapasitesi elde edilmiştir. Ayrıca, tekstil takviyeli ve takviyesiz çimento esaslı sargılama yönteminin diğer yöntemler kadar etkili olamadığı belirtilmiştir.

Garcia, D., et al (2010), [63] çalışmasında, TRM kompozitlerin sargılama etkinliğini belirlemek için 30 adet silindir beton testi yapılmıştır. Beton dayanımları 21 MPa olarak tasarlanmış ve güçlendirme için bazalt takviyeli kompozit kullanılmıştır. Deney sonucunda TRM kompozit malzemenin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesini arttırdığı, ancak FRP kadar etkin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, TRM kompozitlerin hasar modunun daha sünek olduğu gözlenmiştir.

Triantafillou, T.C., et al (2006), [137] çalışmasında, karbon tekstille üretilen çimento ve epoksi esaslı kompozitlerin silindir ve dikdörtgen kesitli numunelerde sargı etkisine bakılmıştır. Silindir numuneler 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde, dikdörtgen numuneler ise 700 mm yüksekliğinde üretilmiştir. Dikdörtgen numunelerin dört köşesi pahlanarak (gerilme yığılmalarını önlemek için) 15 mm yarıçap olarak yuvarlatılmıştır. Numuneler yalın beton olarak sargılanmış ve testleri yapılmıştır.

Deney sonucunda silindir ve dikdörtgen numunelerde TRM kompozitlerin tabaka kat sayısı arttırıldığında sargı etkisinin arttığı, TRM kompozitte kullanılacak matrisin çekme dayanımının artmasıyla sargılamının daha etkin olacağı ve tabaka kat sayısının arttırılması ile epoksi esaslı numunelere benzer etkinlik gösterdiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte birçok sargı etkinliği üzerine sayısal nümerik çalışmalar da yapılarak ampirik formüller elde edilmiştir.

Schladitz, F., et al. (2012), [122] çalışmasında, 1/1 ölçekli betonarme döşeme elemanı TRM kompozitler ile güçlendirilmiştir. Teorik veya sonlu eleman analizleri ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toplamda bir adet referans numune olmak üzere 5 adet numune deneyi yapılmıştır. TRM kompozitin bünyesinde göz açıklığı büyük, karbon ızgara tekstil kullanılmıştır. Farklı kat tabaka sayısı ile güçlendirilen döşeme elemanları dört noktalı eğilme deneyi karşılaştırmalı olarak yapılmış ve numunelerin taşıma kapasiteleri elde edilmiş, yük-sehim grafikleri çizilmiştir. Deney sonucunda güçlendirilen numunelerin taşıma kapasitesi referans numuneye göre oldukça yüksek değerler olarak elde edilmiştir. Ayrıca, TRM kompozit ile güçlendirilen betonarme döşemenin sünekliği de artmıştır. Moment kapasitesi tekstil tabaka kat sayısı ile doğrudan orantılı olarak artmıştır. Yapılan kuramsal ve deneysel karşılaştırmalarla yakınsaklığı sağlanmış ve betonarme döşemelerin TRM kompozitlerle güçlendirilmesi için alternatif bir değerlendirme metodu geliştirilmiştir.

Güçlendirilmiş kiriş-kolon birleşim bölgeleri hakkında yapılan çalışmalar:

Betonarme yapıların kiriş-kolon birleşim bölgelerinin deprem yükleri altındaki davranışını incelemek üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin güçlendirilmesini dikkate alan çalışma sayısı bir hayli sınırlıdır. Bu çalışmalardan, tez çalışması için önemli görülenlerin bazılarına aşağıda değinilmiştir.

Al-Salloum ve diğ. (2011), [8] kiriş-kolon birleşim bölgelerinde tekstil takviyeli harç (TRM) kompozitle sargı etkisi üzerinde çalışmıştır. İki referans numune olmak üzere 1/2 ölçekli betonarme çerçevelerden 5 numune üretilmiş ve yerdeğiştirme kontrollü tersinir yatay yük çevrimleri altında test edilmiştir. Deney sonunda numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kiriş-kolon birleşim bölgelerini güçlendirmek için karbon esaslı CFRP kompozit, cam lif takviyeli GFRP kompozit ve tekstil takviyeli harç TRM kompozitler kullanılmıştır. Tüm kolonlar, bir kat CFRP kompozit, iki kat GFRP kompozit ve iki kat TRM kompozit ile dört taraftan

ve ankrajlı olarak sarılarak güçlendirilmiştir. Kirişler, bir kat CFRP kompozit, iki kat GFRP kompozit ve iki kat TRM kompozit ile 3 yüzeyden sargılı (U sargı) güçlendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre TRM kompozitler ile güçlendirilen seyrek enine donatı aralığına sahip kiriş-kolon birleşim bölgeleri, katman sayısına bağlı olarak, çerçevenin rijitlik, süneklik, kesme kapasitesi ve enerji yutma kapasitesilerini artırmıştır.

Migliacci ve diğ. (1983), [92] çelik elemanlarla betonarme dış kiriş-kolon birleşim bölgesini güçlendirerek davranış üzerinde deneyler yapmışlardır. Çelikten yapılan güçlendirmede, kolon köşelerine çelik köşebentler konulmuş ve bu köşebentler ince çelik lamalar ile birleştirilmiştir. Birleşim bölgesinde yapılan bu sargılamanın etkinliğini geliştirmek için ince çelik lamalar uygulamadan önce ısıtılarak betonarme elemanlara aktif yanal basınç sağlamıştır. Birleşim bölgesindeki çelik sargılamanın sistemin taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitelerini arttırdığı anlaşılmıştır.

Estrada, J.I. (1990), [50] kirişin kesme kapasitesinin eğilme kapasitesine göre büyük olarak üretildiği numunelerde, kiriş-kolon birleşim bölgelerine saplanan kiriş yüzeylerine çelik plakalar çelik ankraj çubuklarla bağlanmış, panel bölgesinde kolonun her iki tarafına çelik elemanlarla guse teşkil edilmiş ve beton yüzeye ankrajlanmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile kirişin boyuna donatılarının yetersiz bindirme boyu olumsuzluklarına rağmen eğilme kapasitesini artırdığı görülmüştür.

Beres ve diğ. (1992), [23] iki farklı güçlendirme metodu ile çalışma yapmışlardır. Birinci metodda iç kiriş-kolon birleşim bölgesinde kirişlerdeki süreksiz donatıların sıyrılmasını önlemeye yönelik tasarımıdır. Birleşim bölgesine saplanan iki kirişin yüzeylerine U kesitli profiller bulonlarla bağlanmıştır. Kolonlarda delikler açılmış ve bu kiriş yüzeylerine bağlanan U profiller demir çubuklar ile birbirine bağlanmıştır. Bu metodda sıyrılma önlenmiş, kesme dayanımı artmış ve dayanımda inen kolun eğiminin azaldığı görülmüştür. İkinci güçlendirme metodunda ise, dış kiriş-kolon birleşimlerde sıyrılmadan kaynaklı dayanım kayıplarını önlemeye yöneliktir. Bu güçlendirmede çelik plakalar kolon yüzeyine ankre edilmiştir. Deney sonuçlarında güçlendirmenin birleşim bölgesinin dayanımını, başlangıç rijitliğini ve enerji yutma kapasitesini artırdığı görülmüştür.

Biddah ve diğ. (1997), [24] altı adet 1/1 ölçekli betonarme çerçeveler üretmiş ve birleşim bölgelerinin deneyini yapmıştır. Numunelerde 2.8 mm ve 3.5 mm kalınlıklarında çelik saç levhalar ile dalgalandırılmış çelik levhalar kullanılarak

güçlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, birleşim bölgesi ve kolon uçları bu çelik levhalarla sarılmıştır. Daha önceki çalışmalardan olan Priestley ve diğ. (1994) tarafından belirtildiği gibi, çelik levhalarla sarılan kolon uçlarının çeliğin sargı etkisini gösterebilmesi için betonun elastik ötesi bölgeye geçmiş olma şartı vurgulanmıştır. Ayrıca, ondüle çelik sac ile sargılama durumunda, sargı etkisinin betonun elastik bölgede yani gerilme düzeylerinin az olduğu bölgelerde kalması gerektiği belirtilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, ondüle çelik sac levhalar ile sarılarak güçlendirilen birleşim bölgelerinin hasar durumu kesmeden sünek davranış olan eğilmeye dönüşmüş ve bu sargılamanın yanal genişlemelerden kaynaklı boyuna donatıların burkulmasını, sıyrılmasını önlemede de etkili olduğu anlaşılmıştır.

Pantelides ve diğ. (1997, 1999), köprü viyadüklerinde kiriş-kolon birleşim bölgelerini lifli polimerler (LP) ile sararak güçlendirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre birleşim bölgesinin kesme kapasitesinin %30 arttığı belirtilmiştir. Geng ve diğ. (1998) iç birleşimleri güçlendirmek için sadece kolon uçlarını LP kompozitleri ile sarmışlar ve deney sonuçlarında dayanım, rijitlik ve süneklikte artış görmüşlerdir.

Alcocer ve Jirsa (1991),[5] dört adet kiriş-kolon birleşim bölgesini beton ve çelik lamalar ile sararak güçlendirmişlerdir. Bu sargılamanın etkili olabilmesi için döşemelerde delikler açılmıştır. Kolon ve kirişlerin etrafında boyuna ve enine donatılar kancalar ve şeritler vasıtasıyla kaynaklanmıştır. Bu güçlendirme metodunun uygulanmasının oldukça zor olduğu ifade edilmiştir. Deney sonuçlarına göre zayıf kolon-kuvvetli kiriş olarak tasarlanan numuneler güçlendirildikten sonra kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışına geçtiği görülmüştür.

Pantelides ve diğ. (2008), [105] 3 farklı özellikte CFRP kompozit kumaş ve CFRP plakalarla güçlendirilen gevrek özellikte 1/1 ölçekte üretilmiş iç kiriş-kolon birleşim bölgelerinin davranışlarını incelemişlerdir. Bu deneylerde kiriş boyuna donatısının panel bölgesindeki kenetlenme boyu eksikliğini, kirişin alt yüzüne yerleştirilen tek doğrultuda uzanan karbon liflerin polimer esaslı epoksi reçine ile lamine edilerek elde edilmiş yüksek elastisite modülüne sahip tek kat CFRP plakalar ile ve panel bölgesi kesme kapasitesinin yetersizliğini birleşim bölgesi yüzeyine diyagonal olarak birbirine dik iki doğrultuda yapıştırdıkları 2 kat CFRP kumaş ile gidermeye çalışmışlardır. Sonuç olarak birleşim bölgesinin kesme kuvveti ve plastik dönme kapasitelerini artırmada lifli polimerlerin çok etkili oldukları, panel bölgesindeki kesme dayanımı ve

elastik rijitliğin azalmasının engellendiği, sünek davranışın meydana geldiği belirtilmiştir.

Triantafillou (2006), [137] 18 adet 1/3 ölçekli numuneler üreterek, LP kompozitler ile güçlendirilmiş kesme-kritik dış kiriş-kolon birleşim bölgelerinin deprem yükleri altında davranışlarını incelemiştir. Kesmeye karşı zayıf olan dış kiriş-kolon birleşim bölgelerinin dıştan LP kompozitlerle sarılması ile dayanım, enerji yutma kapasitesi arttığı ortaya çıkmıştır.

Karayannis ve Sirkellis (2008), [82] 12 adet numune üretmişler ve bu numunelerin kiriş-kolon birleşim bölgelerinde epoksi enjeksiyonunun ve lifli polimerlerin etkinliğini araştırmışlardır. Epoksi enjeksiyonunun LP ile birlikte kullanıldığında, numunelerin dayanım ve enerji yutma kapasitelerinde artışlar olduğu görülmüştür.

1.4 Özgün Değer

Yapılacak araştırmanın özgün değeri, dayandığı hipotezler ve katkılar ile ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın hedef aldığı hipotezler şu şekilde vurgulanmaktadır:

- Binaların sismik etkilere karşı güçlendirilmesi için TRM kompozitlerle güçlendirilen çerçevelerin lineer olmayan davranışını göz önüne alan bir hesap modeli oluşturulabilir.
- Bu çalışmada, TRM kompozitler ile güçlendirmenin projelendirme aşamasında yapı mühendisinin dikkate alarak modellemeye katması, binaların süneklilik ve yatay yük taşıma kapasitesinin artmasına, böylelikle efektif güçlendirme metodunun gerçekleşmesine sebep olabilir.
- Bu tez kapsamında tercih edilen güçlendirme tekniği, uygulamada ısı yalıtım mantolama işlemine benzeyen bir sistemdir. Bu yönteminin pratikte kullanımının yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir. Kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri dört taraftan ve ankrajsız olarak sarılmıştır. Bu açıdan bakıldığında, işin süresi ve uygulama giderleri alternatif yöntemlere göre daha makul düzeyde kalarak, üstünlük sağlayacaktır.
- TRM sistemlerin çimento esaslı bağlayıcılarla üretilmesi sebebiyle, diğer pahalı kimyasal esaslı güçlendirme malzemelerden daha uygun fiyatlı ve sağlıklı yeni nesil teknolojik malzeme olarak kabul edilmektedir.
- TRM kompozitlerle güçlendirilen betonarme çerçevelerin, yerdeğiştirme kontrollü tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışı, nümerik çalışma olarak araştırılmıştır.

Betonarme çerçeveler SAP2000 v22.2.0 ve SeismoStruct 2021 programı ile modellenmiş ve çerçevelerin itme/çekme yatay yük çevrimleri ile taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Nümerik sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılarak yakınsaklığına bakılmıştır.



2. MODEL ÜRETİMİ VE MALZEME DENEYLERİ (ÖN DENEYLER)

Model üretimi ve deneyleri aşağıdaki adımlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.1 Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları

Deney numunelerinin üretimi özel bir atölyede gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamalarının her adımı (Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5) özenle takip edilmiştir. Üretimlerin tamamı bitirildikten sonra, tır vasıtasıyla numuneler İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarına taşınmıştır. Üretim aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir:



Şekil 2.1 : Temel içinde ankraj bırakılması ve nervürlü donatıların yerleştirilmesi



Şekil 2.2 : Çerçevelerin imalat aşamaları



Şekil 2.3 : Şekil değiştirme ölçerlerin (YFLA5) boyuna donatılara yapıştırılması, bantla korunması ve etiketlenilmesi



Şekil 2.4 : Çerçeve numunelerinin beton öncesi kalıbın kapatılması

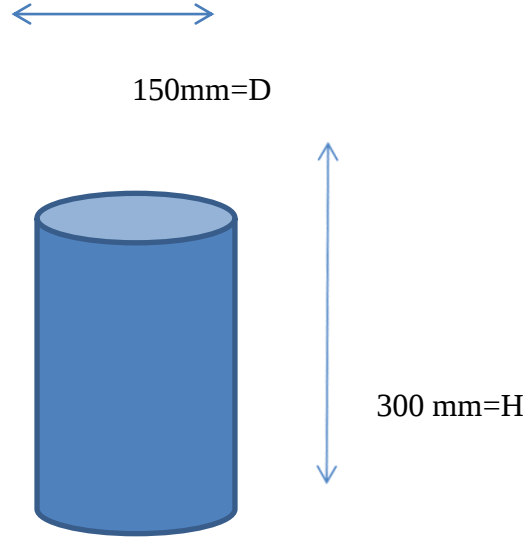


Şekil 2.5 : Çerçeve numunelere beton dökülmesi

2.2 Malzeme Deneyleri (Ön Deneyler)

2.2.1 Beton deneyi

Numune deneyleri, İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Betonun mekanik özelliklerini elde etmek için C15 ve C26 beton sınıfından üçer adet 150 mm × 300 mm ebatlarında (çap/yükseklik=1/2) silindir numuneler kullanılmış ve eksenel yük (N) altındaki davranışları incelenmiştir (Şekil 2.6, Şekil 2.7). Tatbik edilen yük, silindir kesit alanına bölünerek oluşan basınç gerilmeleri hesaplanmıştır. Deney öncesi tüm silindir numunelerde başlık ve düzeltme işlemi yapılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.6 : Silindir Numunesi



Şekil 2.7 : Beton dökümü sırasında alınan silindir numuneleri

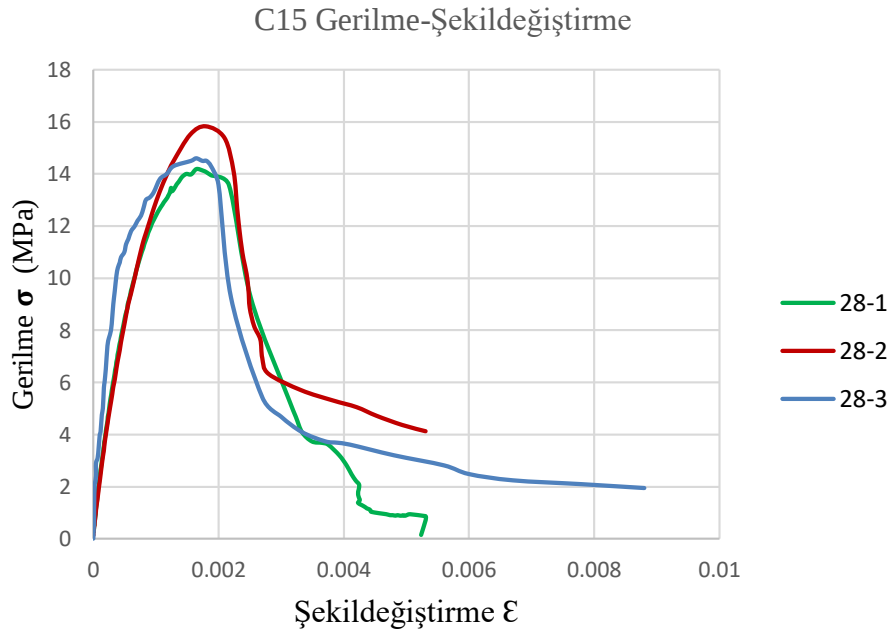


Şekil 2.8 : Silindir numunelere başlık yapılması ve düzeltilmesi

5000 kN kapasiteli Amsler marka cihaz kullanılarak, standart beton basınç deneyleri yapılmıştır. Betonun gerilme-şekildeğiştirme değişiminin belirlenebilmesi için, TML CM-15 ölçüm çerçevesi komprasömetre kullanılmıştır (Şekil 2.9).



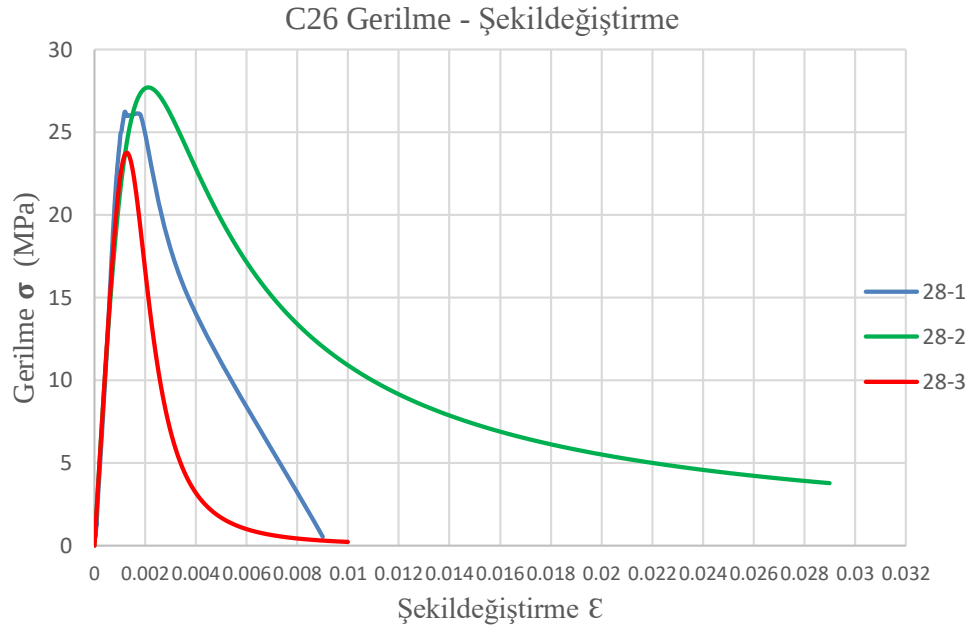
Şekil 2.9 : Deney düzeneği komprasömetre ve standart beton basınç deneyi.



Şekil 2.10 : C15 Gerilme-Şekildeğiştirme

Deney sonucunda 3 numunenin ortalama beton basınç dayanımı 15.01 MPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.10).

Diğer beton sınıfının tespiti için yapılan 3 numunenin ortalama beton basınç dayanımı 26.2 MPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : C26 Gerilme-Şekildeğiştirme

2.2.2 Donatı çekme deneyleri:

Φ8 nervürlü donatı çubuklarından 3 adet 500 mm lik boylarda kesilip çekme deneyi MTS cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.12). Deneyler, TS 708 standardına (Çizelge 2.1) uygun olarak İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12 : MTS Deney düzeneği ve donatıya ekstansometre bağlanması

Deneylerden önce donatı numunelerinin üzeri, uzamaları ölçmek için çentikle çizilmiştir. Her çentik arası 10 mm'dir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Nervürlü Donatı numuneleri ve donatıların çizilmesi (çentik izi)

Donatıların Elastisite Modülünü ve boyuna şekildeğişimlerini sağlıklı okuyabilmek için ekstansometre (uzama ölçer) kullanılmıştır (Şekil 2.12). Donatıların kopma uzaması ve çekme uzaması hesabı için $5 \times \Phi = 5 \times 8 = 40$ mm aralığındaki bölgede ölçüm yapılmıştır.

NUMUNE KODU S420						BOYUN BÖLGESİ KOPMA BÖLGESİ		$d_i = 12.74 \sqrt{G/L}$	
Numune No	Ağırlık gr	Boy mm	Nominal Çap mm	Akma kN	Çekme kN	SonBoy mm	İlkBoy mm	Re.nom	HesapÇap mm
1	209.2	495	8.0	24.9	28.9	52.2	40	420	8.3
2	211.9	500	8.0	24.3	28.5	53.5	40	420	8.3
3	211.9	504	8.0	25.3	29.3	49.3	40	420	8.3

Şekil 2.14 : Kopma uzaması ölçümü

Numunelerin hesap çapı 8.3 mm bulunmuştur. Bu değere göre akma ve çekme gerilmeleri ve Elastisite Modülü hesaplanmıştır (Şekil 2.14, Şekil 2.15, Şekil 2.16).

				Akma Sınırı (Re)		Çekme Dayanımı (Rm)		Çekme Akma Oranı		
Anma Çapı (mm)	Ölçüm Çapı (mm)	Kütle (Kg/m) $=G/L$		Yük kN	σ MPa	Yük kN	σ MPa	Re/Re.nom	Kopma Uzama Oranı %	
1	8	8.3	0.423	24.9	462	28.9	536	1.16	1.10	31%
2	8	8.3	0.424	24.3	450	28.5	528	1.17	1.07	34%
3	8	8.3	0.420	25.3	472	29.3	547	1.16	1.12	23%
				Ortalama $f_y =$		$f_u =$				
				461		537		29.16%		

Şekil 2.15 : Akma, çekme dayanımı ve kopma uzama oranı

Akma dayanımı ortalaması $f_y = 461$ MPa

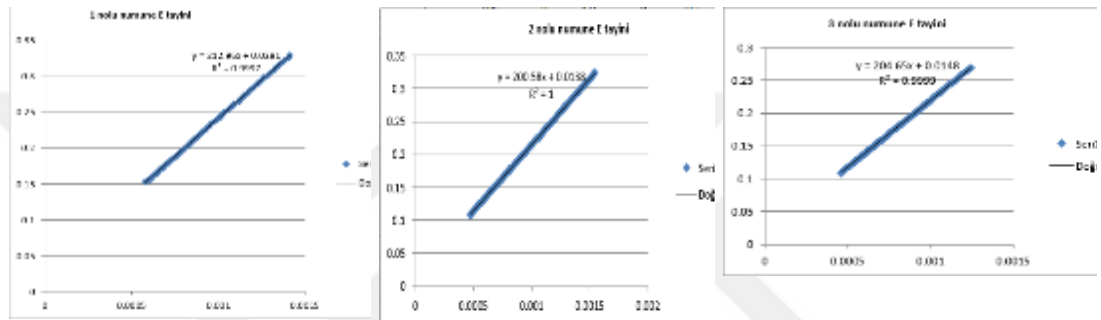
Çekme dayanımı ortalaması $f_u = 537$ MPa

Ortalama akma şekildeğiştirilmesi (mm/mm) $\epsilon_y = 0.0022$ (%0.22)

Anma Kütlesi Kg/m min TSE 708	Anma Kütlesi Kg/m max	E MPa	UZAMA BÖLGESİ		Çekme Uzama Oran %	çeneler arası		
			Çekme uzaması mm	ilk boy mm		Rm/Re	Kopma Yüklü kN	ilk boy mm
0.371	0.418	212960	45.29	40	13.23%	1.16	20.49	316
0.371	0.418	200580	44.45	40	11.13%	1.17	19.52	328
0.371	0.418	204650	44.2	40	10.50%	1.16	22.15	325
		E= 206063			11.62%	1.16	21	

Şekil 2.16 : Elastisite Modülü ve çekme uzama oranı

Elastisite Modülü ortalaması E=206063 MPa elde edilmiştir.

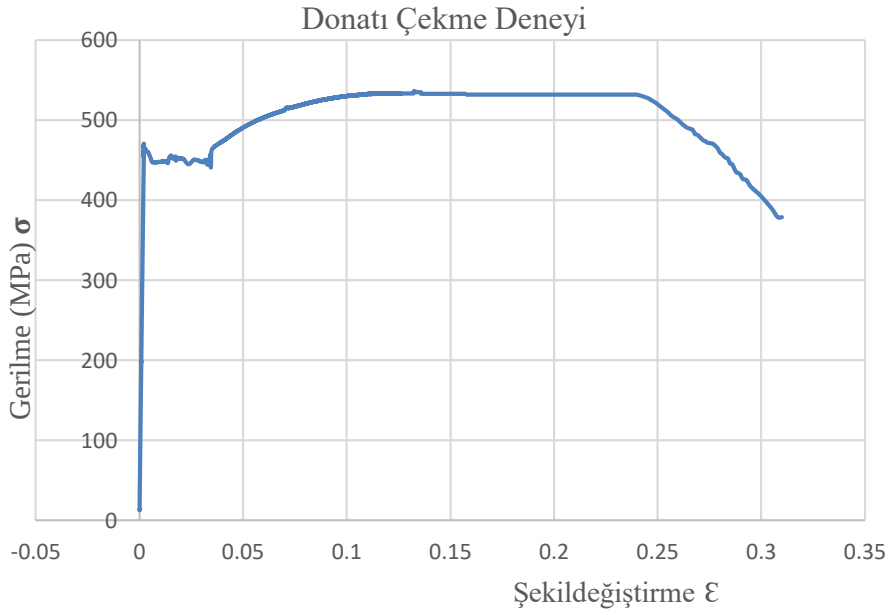


Şekil 2.17 : Donatının ortalama Elastisite Modülü tayini

Uzama kaynakları hem ekstansometre hem de aktivatör kullanılan deneyler için tasarlanmıştır. Uzama ayırma noktasına ulaşana kadar uzama verisi, ekstansometreden alınmıştır. Daha sonrasında deney bitene kadar uzama verisi, aktivatörden alınmıştır. Dolayısıyla, donatının çekme yükü altında gerilme-şekil değiştirme grafiği elde edilirken, 2 grafikten faydalanılmıştır. Birinci grafikte, ilk %7'lik uzamaya kadar olan bölge ekstansometreden elde edilen verilerden elde edilmiştir. Sonraki bölgeler için aktivatör kafalarından elde edilen veriler kullanılıp birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.17, Şekil 2.18).

Çizelge 2.1 : Nervürlü donatının TS 708 e göre sınır değerleri

Tip	Düz yüzeyli			Nervürlü			Profilli _a
Sınıf	S 220	S 420	B 420B	B 420C	B 500B	B 500C	B500A
Akma dayanımı (en az) $R_e(N/mm^2)$	220	420	420	420	500	500	500
Çekme dayanımı (en az) $R_m(N/mm^2)$	340	500	-	-	-	-	550
Çekme dayanımı/akma dayanımioranı R_m/R_e	1,20 (en az)	1,15 (en az)	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ <1,35	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ <1,35	-
Deneysel akmadayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e,act}/R_{e,nom}$ (max)	-	1.30	-	1.30	-	1.30	-
Kopma uzaması (en az) A_5 (%)	18	10	12	12	12	12	5
Maksimum yükte toplam uzama(en az) A_{gt} (%)	-	-	5	7.5	5	7.5	2.5



Şekil 2.18 : Numune donatı çekme deneyi

2.2.3 Dolgu duvar malzemesi

Boyut etkisinden dolayı daha önce doktora tezinde [102] kullanılmış olan standart yatay delikli 13.5 luk blok tuğlalar, 1/3 ölçekli çerçevelere uygun kesilerek küçültülmüştür. Dolgu duvarları tuğlaların delikleri yatayda olacak şekilde örülmüştür (Şekil 2.19, Şekil 2.20). Çerçeve ile dolgu duvar arasında herhangi bir esnek bağlantı oluşturulmamıştır. Blok tuğlalar taşıyıcı özelliği olmayan dolgu duvar malzemesi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.19 : Tuğlaların deney numunesine uygun olarak kesilmesi ve çerçeve içine duvar örülmesi (Delikler yatay yönde)



Şekil 2.20 : Her yüzeyde 7.5mm kalınlık oluşturacak şekilde tek kat sıva yapılması.

2.2.4 Çerçevelerin 3 tabaka sargı TRM ile sarılması

Çerçevelerin TRM ile sarılması, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sargılamadan önce çerçevelerin kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin yüzey hazırlığı aşağıdaki şekilde yapılmıştır (Şekil 2.21, Şekil 2.22).



Şekil 2.21 : Kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin TRM öncesi köşelerinin 10 mm yuvarlatılması ve pah yapımı



Şekil 2.22 : TRM öncesi yüzey ıslatıldı ve ilk kat harç öncesi ince bir şerbet tabakası (0.5 mm) serildi.

Dikdörtgen kesitli kolon ve kirişlerin köşeleri pahlanarak yuvarlatılmıştır. Bu suretle, deney sırasında TRM de meydana gelebilecek gerilme yığılmalarının önüne geçilmiştir. Bu durum çerçeve davranışını etkileyebilecek önemli bir ayrıntıdır. Çerçevelerin kiriş ve kolon birleşim bölgesi kenarından 10 mm boşluk bırakılarak TRM sargı (eksenel yüke maruz bırakmamak ve sadece sargı etkisini incelemek için) yapılmıştır. Kiriş kritik uç bölgesi 300 mm boyunda ve kolon kritik uç bölgesi 200 mm boyunda TRM ile 3 kat kesintisiz sarılmıştır. Son kat TRM in sonuna 200 mm ek bindirme yapılmıştır (Şekil 2.23, Şekil 2.24, Şekil 2.25, Şekil 2.26).

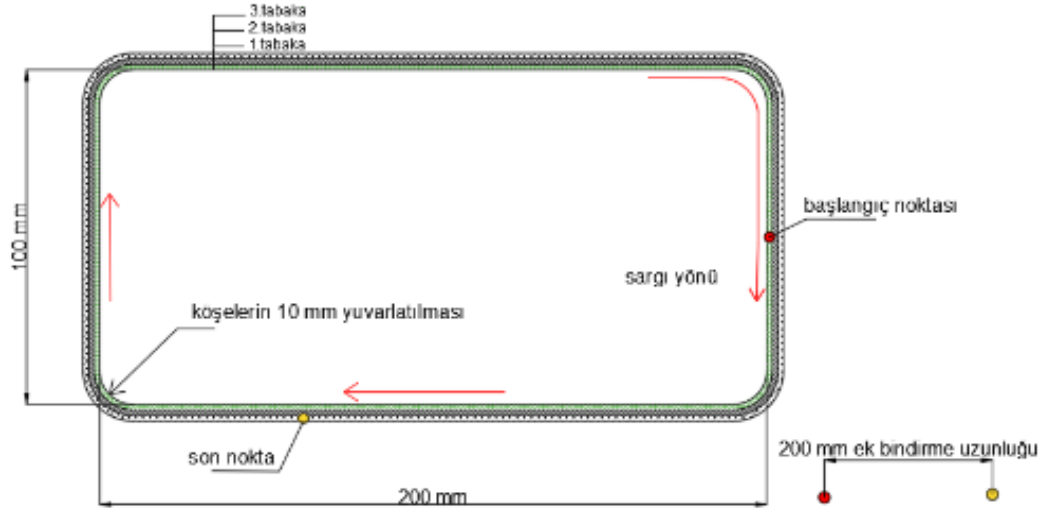


Şekil 2.23 : İlk kat TRM, **Şekil 2.24 :** Toplam 3kat kolon kritik uç bölgesinde TRM sarıldı. Her kat 200 mm boyunda sarılması. arasına 5 mm harç kondu.

Çerçevelerin kiriş ve kolon kritik uçları, 4 yüzeyden sargılı (tam sargı) ve ankrajsız olarak güçlendirilmiştir. Geçmiş literatürlerde, 2 yüzeyden sargılı (yan sargı) ve 3 yüzeyden sargılı (U sargı) ankrajsız güçlendirme tekniklerinin sistem davranışına etkisinin zayıf kaldığı belirtilmiştir [128] Bu nedenle 4 tarafından tam sargı ve ankrajsız teknik seçilerek, ankrajlı uygulamalara göre daha pratik bir güçlendirme tekniği elde edilmiştir.



Şekil 2.25 : Çerçevelerde kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin TRM ile sargı yapılması



Şekil 2.26 : Kiriş ve kolon uçlarına 200 mm ek bindirme ile 3 kat kesintisiz TRM uygulaması



Şekil 2.27 : 3 kat TRM sarılarak güçlendirilmiş çerçevede 15 mm kalınlıkta koruyucu tabaka oluşturulması

Kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM kompozit malzeme ile sarılmıştır (Şekil 2.26). Harç kalınlığı her katta ortalama 4 mm kalınlığındadır. Toplam harç kalınlığı 15 mm dir (Şekil 2.27).

2.2.5 Beton silindir numunelerin 1 kat, 2 kat ve 3 kat TRM ile sarılması

C15 ve C26 beton sınıflarındaki donatısız beton silindir numuneleri ayrı ayrı, bir kat, iki kat ve üç kat TRM ile başlık ve düzeltme yapılarak sarılmıştır (Şekil 2.28, Şekil 2.29, Şekil 2.30, Şekil 2.31, Şekil 2.32). Silindir numunelerinin üretim aşamaları aşağıdaki şekillerdedir:



Şekil 2.28 : Silindir numunelere TRM sarılması



Şekil 2.29 : Silindir Numunesi 3 kat TRM ile sarılarak 15 mm harç kalınlığı yapımı



Şekil 2.30 : Silindir Numunesi 2 kat TRM ile sarılarak 10 mm harç kalınlığı yapımı



Şekil 2.31 : Silindir Numunesi bir kat TRM ile sarılarak 5 mm harç kalınlığı yapımı



Şekil 2.32 : Farklı tabaka TRM ile sarılmış silindir numunelere başlık yapılması



Şekil 2.33 : Beton silindir deney numunesi (Amsler cihazı)

TRM ile sarılan numunelerin, eksenel yük basınç dayanımına, sargı etkisine bağlı boyuna ve enine şekildeğiştirmelerin değişimine, Elastisite Modülüne ve kesit sünekliliğine katkısına bakılmıştır (Şekil 2.33). Silindir numunelere uygulanan eksenel basınç yükünün, TRM ile sarılan yüzeye etkimemesi için harçlı sargı tabakalar, silindir numunenin alt ve üst kısımlarından 10 mm kısa kalacak şekilde 280 mm olarak uygulanmıştır (Şekil 2.34). Numunelerin Elastisite Modülünü elde etmek için gerilme-şekildeğiştirme grafiklerinde beton basınç dayanımının düşük gerilme seviyelerindeki (%5-%40 aralığındaki noktalar arası) en küçük kareler yöntemiyle doğru geçirilip, belirlenen doğrunun eğimi, Elastisite Modülü olarak kabul edilmiştir. Elastisite Modülü, Hooke kanununun geçerli olduğu bölgede $E = \sigma / \epsilon_c$ olarak tanımlanmaktadır. Bu ilişkiden anlaşılacağı üzere Elastisite Modülü, basınç dayanımı ile ilişkili bir kavramdır.



Şekil 2.34 : TRM sargı tabakası yerleşimi

Deneylerde numune üzerinde meydana gelen enine şekildeğişiklikler, 4 noktadan 90 derece açıyla yerleştirilen yerdeğişiklik ölçerler (CDP 5) (Şekil 2.35) ve çevresel şekildeğişiklik için numuneler üzerine 180 derece açıyla yapıştırılan yatay şekildeğişiklik ölçerlerle (PL60) yapılmıştır (Şekil 2.38, Şekil 2.39).



Şekil 2.35 : Enine şekildeğişiklik ölçümü için CDP 5 ve PL60

Düsey şekildeğişiklikler ise 4 noktadan 90 derece açıyla yerleştirilen yerdeğişiklik ölçerler (CDP 5) ile elde edilmiştir (Şekil 2.36).



Şekil 2.36 : Düşey şekildegıştırme ölçümü için 90 derece aç konan LVDT CDP 5

Deneylere başlamadan önce, ön yükleme yapılmıştır. Bu suretle, başlıklarda olabilecek düzensiz oturumların önüne geçilmiştir. Ön yükleme yükü için, beton basınç dayanımını kesit alanı ile çarparak, elde edilen yükün %5 i alınmıştır denklem (2.1). Gerilme-şekildegıştırme eğrisinde iki farklı yol izlenmiştir. Doğrusal bölgede numune üzerindeki düşey yerdegıştirmelerden faydalanılmıştır. Lineer olmayan davranışın elde edilmesinde ise Amsler cihazının başlıklarına yerleştirilen yerdegıştirme ölçerler LVDT (CDP50) kullanılmıştır (Şekil 2.37).



Şekil 2.37 : Başlıklara yerleştirilen 4 adet LVDT CDP 50

C15 beton sınıfı numune için ön yükleme değeri $N = \%5 \times \text{kesit alanı} \times f_{co}$

$$N = 0.05 \times \pi \times D^2/4 \times f_{co} \quad (2.1)$$

$$N = 0.05 \times \pi \times 150^2/4 \times 15.01$$

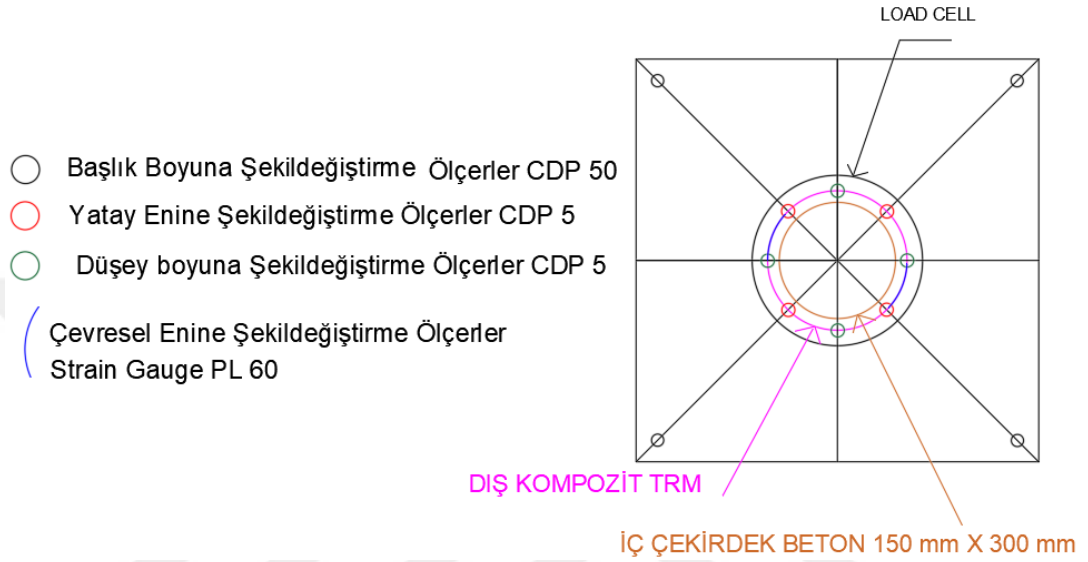
N=13.3 kN etkililmiştir.

C26 beton sınıfı numune için ön yükleme değeri $N = \%5 \times \text{kesit alanı} \times f_{co}$

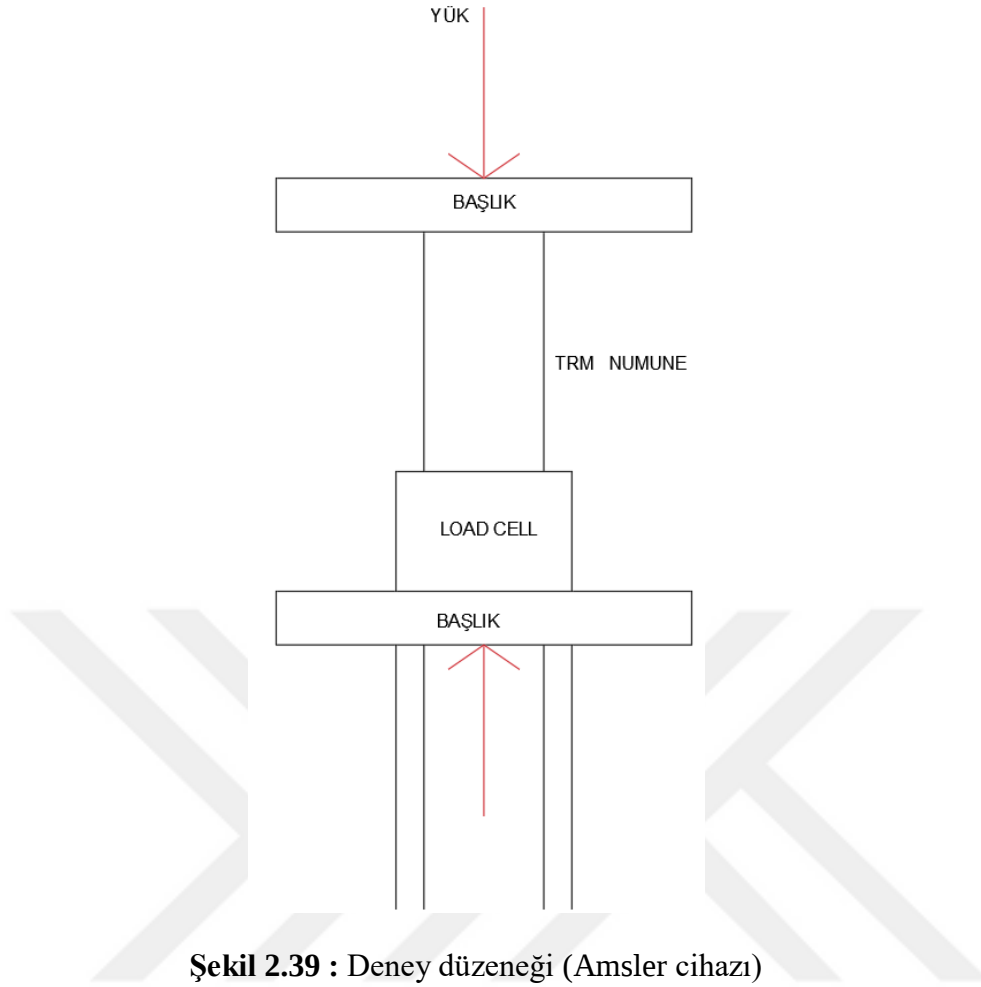
$$N = 0.05 \times \pi \times D^2/4 \times f_{co}$$

$$N = 0.05 \times \pi \times 150^2/4 \times 26.10$$

N=23.05 kN etkililmiştir.



Şekil 2.38 : Deney Düzenine Ölçerlerin yerleştirilmesi



Şekil 2.39 : Deney düzeneği (Amsler cihazı)

Numune üzerindeki yerdeğişirmeler, eksenel basınç yükünün artmasıyla oluşan çatlaklardan dolayı, tijlerde dönmeler başlamış ve inen kol saptanamamıştır. Böylece, iki aşamalı verilerle gerilme-şekildeğiştirme değişimi elde edilebilmiştir. Elastisite Modülü ise lineer bölgede düşük gerilme seviyelerinde (%5-%40), numune üzerine ekilen tijlerle tespit edilmiştir. Burada, tijler numuneye yerleştirilirken, dış kompozit TRM harcının tije temas etmemesi için, harcın içine oyuk açılmış ve arkadaki iç çekirdek betona 60 mm girilerek, içi kimyasal epoksi ile doldurulmuş, TRM li harç tabakasının olduğu bölge (et kalınlığı=5 mm-15 mm) boş bırakılmıştır (Şekil 2.40). Böylece iç çekirdek beton numunenin, sargı etkisiyle, boyuna ve enine şekildeğiştirmeleri sağlıklı olarak ölçülmüştür. Daha sonra numuneye LVDT ler bağlanmıştır (Şekil 2.41). Elde edilen verilerle uyumlu olarak deney sırasında yapılan gözlemlerde, en büyük basınç dayanım değerine ulaşıncaya kadar göz ile görülebilir bir çatlak meydana gelmemiş, en büyük basınç dayanım değeri yakınlarında ilk düşey çatlaklar oluşmuştur. Daha sonraki adımlarda şekildeğiştirme tek bir çatlak üzerinde

yoğunlaşarak gelişmiş ve bu çatlağın genişliğinin aşırı artışı ile birlikte göçme durumu ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.40 : Numuneye delik açılması ve tijlerin yerleştirilmesi



Şekil 2.41 : Numuneye LVDT lerin bağlanması

2.2.5.1 Tek kat TRM 1KC15 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri $N=13.3$ kN etkittirilmiştir (Şekil 2.42, Şekil 2.43).



Şekil 2.42 : 1KC15 Numune



Şekil 2.43 : 1KC15 Numune hasar durumu

3 numunenin ortalaması;

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 15.49 MPa

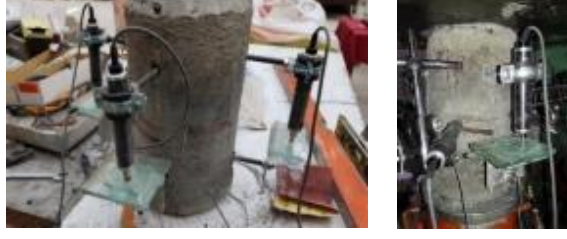
Elastisite Modülü E: 26604 MPa

Şekildeğiştirme ϵ_{cc} : 1.75 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 274 kN

2.2.5.2 İki kat TRM 2KC15 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri N=13.3 kN etkilmiştir (Şekil 2.44, Şekil 2.45).



Şekil 2.44 : 2KC15 Numune



Şekil 2.45 : 2KC15 Numune hasar durumu

3 numunenin ortalaması;

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 18.53 MPa

Elastisite Modülü E: 28525 MPa

Şekildeğiştirme ϵ_{cc} : 1.88 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 331 kN

2.2.5.3 Üç kat TRM 3KC15 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri N=13.3 kN etkittirilmiştir (Şekil 2.46, Şekil 2.47).



Şekil 2.46 : 3KC15 Numune hasar durumu



Şekil 2.47 : 3KC15 Numune hasar durumu

Çizelge 2.2 : 3 kat C15 Sargı numune deney sonuçları

	Eksenel Yük	Basınç dayanımı	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
Numune adı	N (kN)	$\sigma=f_{cc}$ MPa	ϵ_{cc} (%)	E MPa
3K1 C15	463	26.21	2.16	37250
3K2 C15	416	23.15	2.41	39650
3K3 C15	458	25.73	2.13	36821
Ortalama:	445.67	25.03	2.23	37907

3 numunenin ortalaması (Çizelge 2.2);

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 25.03 MPa

Elastisite Modülü E: 37907 MPa

Şekildeğiştirme ε_{cc} : 2.23 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 445.67 kN elde edilmiştir.

C15 numunelerin sargısız referans, 1 kat sargılı, 2 kat sargılı ve 3 kat sargılı sonuçları Çizelge 2.3 de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : C15 Beton sınıfı, sargılı ve sargısız numunelerin ortalama mekanik özellikleri

Numune adı	Eksenel Basınç		Şekildeğiştirme	Elastisite			
	Yük	dayanımı			Modülü		
Numune adı	N	$\sigma=f_c$	ε_c	E			
	(kN)	MPa	(‰)	MPa	Eccu	fcc/fco	$\varepsilon_{cc}/\varepsilon_{co}$
					ret/Eccu		
					ref		
ReferansC15	262	15.01	1.72	17715	1	1	1
1K C15	274	15.49	1.75	26604	1.50	1.03	1.02
2K C15	331	18.53	1.88	28525	1.61	1.23	1.09
3K C15	445	25.03	2.23	37907	2.14	1.67	1.30

2.2.5.4 Tek kat TRM 1KC26 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri N=22.96 kN etkilmiştir (Şekil 2.48, Şekil 2.49).



Şekil 2.48 : 1KC26 Numune



Şekil 2.49 : 1KC26 Numune hasar durumu

3 numunenin ortalaması;

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 36.35 MPa

Elastisite Modülü E:41898 MPa

Şekildeğiştirme ϵ_{cc} : 1.84 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 649 kN

2.2.5.5 İki kat TRM 2KC26 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri N=22.96 kN etkittirilmiştir (Şekil 2.50).



Şekil 2.50 : 2KC26 Numune hasar durumu

3 numunenin ortalaması;

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 36.56 MPa

Elastisite Modülü E: 39844 MPa

Şekildeğiştirme ϵ_{cc} : 2.45 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 652 kN

2.2.5.6 Üç kat TRM 3KC26 ile sarılan deney numunesi

Bu deneyde 3 adet numune kırılmıştır. 3 adet numunenin ortalama beton basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve şekildeğiştirmeler hesaplanmıştır. Ön yükleme değeri N=22.96 kN etkittirilmiştir (Şekil 2.51).



Şekil 2.51 : 3KC26 Numune hasar durumu

Çizelge 2.4 : 3C26 Kat Sargı numune deney sonuçları

	Eksenel Yük	Basınç dayanımı	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
Numune adı	N	$\sigma=f_{cc}$	ϵ_{cc}	E
	(kN)	MPa	(‰)	MPa
3K1 C26	646	36.56	1.69	41433
3K2 C26	594	33.29	2.48	40864
3K3 C26	702	39.32	1.85	40981
Ortalama:	647	36.39	2.01	41093

3 numunenin ortalaması (Çizelge 2.4)

Beton basınç dayanımı f_{cc} : 36.39 MPa

Elastisite Modülü E: 41093 MPa

Şekildeğiştirme ϵ_{cc} : 2.01 ‰

En büyük basınç dayanımına karşı gelen eksenel yük N= 647 kN elde edilmiştir.

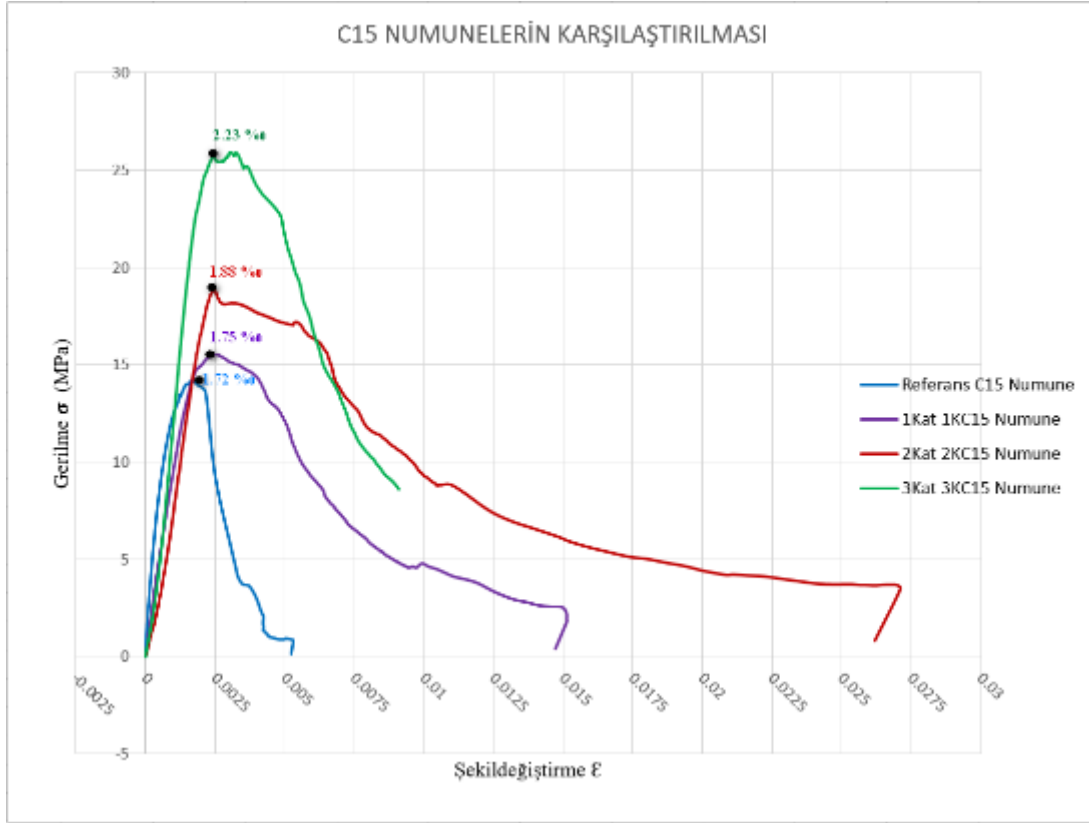
C26 numunelerin sargısız referans,1 kat sargılı,2 kat sargılı ve 3 kat sargılı sonuçları Çizelge 2.5 de verilmiştir.

Çizelge 2.5 : C26 Beton sınıfı sargılı ve sargısız numunelerin ortalama mekanik özellikleri

	Eksenel Yük	Basınç dayanım	Şekil değiştirme	Elastisite Modülü			
Numune adı	N	$\sigma = f_c$	ϵ_c	E			
	(kN)	MPa	(%)	MPa	Eccu ret/Eccu ref	fcc/fco	$\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$
Referans C26	463	26.20	1.82	27224	1	1	1
1K C26	649	36.35	1.84	41898	1.54	1.39	1.01
2K C26	652	36.56	2.45	39844	1.46	1.40	1.35
3K C26	647	36.39	2.01	41093	1.51	1.39	1.10

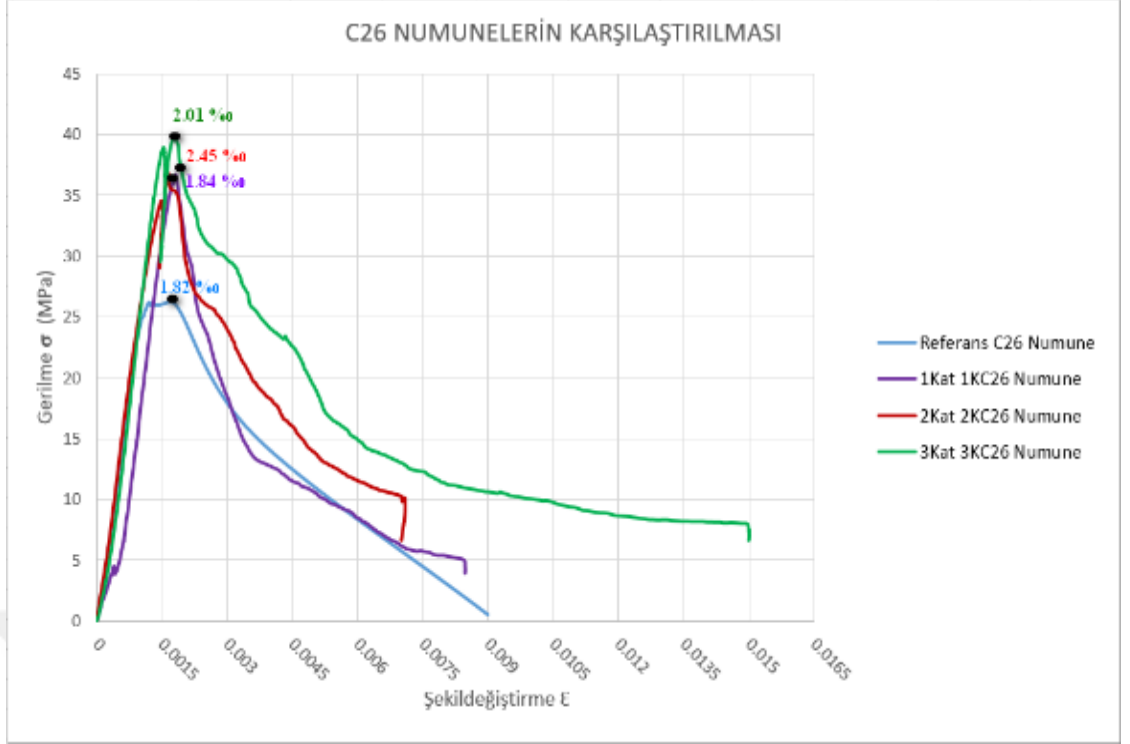
Düşük dayanımlı C15 beton sınıfındaki numunelerde sargı kat sayısı arttıkça, numunenin dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesi (süneklilik) oldukça yükselmekte, sargı etkisi daha etkin çalışmaktadır. 3 kat sargılı C15 numune, referans numuneye göre dayanımda %67 artış göstermiş, şekildeğiştirme kapasitesi ise referans numuneye göre %30 artış göstermiştir. Ancak 2 kat sargılı C15 numune, dayanımda %23 artış göstermiş, şekildeğiştirme kapasitesi ise %9 artmıştır. 1 kat sargılı C15 numunede ise dayanım %3 artmış ve şekildeğiştirme kapasitesi ise %1.7 artmıştır. Normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki numunelerde ise sargı kat sayısının artması etkin olmamaktadır. 1 kat, 2 kat ve 3 kat sargıda dayanım ortalama %40 kadar artmıştır. Ancak normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki 2 kat ve 3 kat sargılı numunelerde maksimum eksenel yükten sonra dayanım yaklaşık %18 azaldıktan sonra tekrar dayanım kazanmış ve yeniden yük taşımaya geçip, ilk bulunduğu maksimum dayanımı da ortalama %4 geçmiştir. Normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki 1 kat sargılı numunede şekildeğiştirme kapasitesi, referans numuneye göre yaklaşık aynı seviyede kalmıştır. 2 kat sargılı C26 numunede şekildeğiştirme kapasitesi, referans numuneye göre %35 artmıştır. 3 kat sargılı C26 numunede ise şekildeğiştirme kapasitesi, referans

numuneye göre %10 artmıştır. Sargı etkisinin düşük dayanımlı betonlarda daha etkili çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.52 : C15 Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme Karşılaştırması

Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.52) de anlaşılacağı üzere, 3 kat ve 2 kat sargılı numunelerin referans numuneye göre, azalma kolunun eğiminin düştüğü(yumuşadığı) ve basınç bölgesindeki betonun kısılması daha büyük birim şekildeğiştirme düzeyine gittiği görülmüştür.



Şekil 2.53 : C26 Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme Karşılaştırması

Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.53) de anlaşılacağı üzere, 3 kat, 2 kat ve 1 kat sargılı numunelerin referans numuneye göre, azalan kolun eğiminin aynı düzeyde gittiği görülmüştür. Dolayısıyla, C15 li numunelerde sargı etkisinin normal dayanımlı betonlara (C26) göre daha efektif olduğu sonucuna varılmıştır.

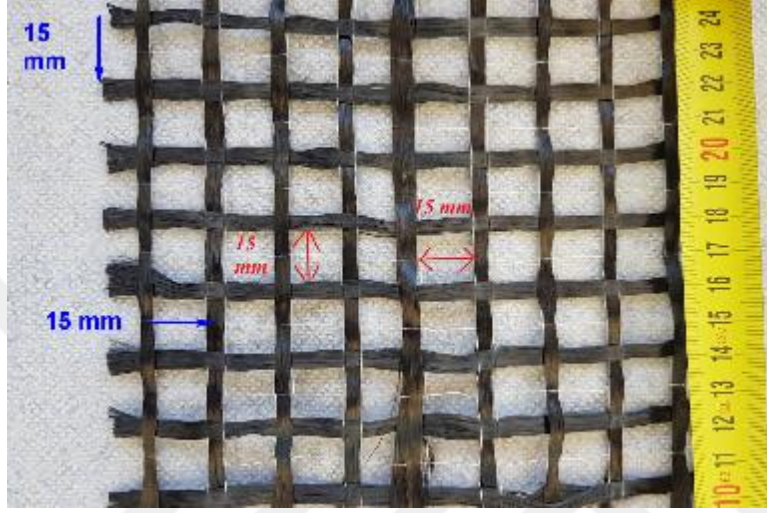
Çizelge 2.6 : Standart yönetmeliklerde yer alan teorik Elastisite Modülü değerleri

	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40
ACI 318-95 *	19003	20156	21246	23754	26021	28106	30047
ACI 318-95 **	21535	22841	24077	26919	29488	31851	34050
TS 500-Şubat 2000	27000	27789	28534	30250	31801	33227	34555
CEB-78	27403	28144	28848	30472	31939	33282	34525
CALTRANS ****	21500	22804	24038	26875	29440	31799	33994
AASHTO *****	18920	20068	21153	23650	25907	27983	29915

TS500 e göre (Çizelge 2.6) C16 betonu için teorik Elastisite Modülü 27000 MPa iken, deney numunesi C15 in Elastisite Modülü 17715 MPa elde edilmiştir. TS500 e göre (Çizelge 2.6) C25 betonu için teorik Elastisite Modülü 30250 MPa iken, deney numunesi C26 nın Elastisite Modülü 27224 MPa elde edilmiştir.

2.3 2.3 Güçlendirmede Kullanılan Ticari Tekstil ve Harç Ürününün Teknik Özellikleri

Bu doktora çalışmasında kullanılan karbon esaslı göz açıklıklı dokuma tekstil ürün (TRM), ticari bir üründür (Şekil 2.54). Malzemeye ait teknik değerler üretici firmadan alınmıştır. Malzemenin beton yüzeyine yapıştırılması için kullanılacak malzeme ise ticari bir ürün olan çimento esaslı tamir harcıdır.



Şekil 2.54 : Ticari ürün (TRM kompozit)

Deneyssel çalışmada kullanılan TRM ve tamir harcına ait teknik bilgi ve karakteristik dayanım özellikleri

Çizelge 2.7 de ayrıntılı olarak verilmektedir:

Çizelge 2.7 : Güçlendirme amaçlı kullanılan ticari ürün TRM ve tamir harcının mekanik özellikleri

Karbon Tekstil	
Lifin Yoğunluğu g/cm ³	1.81
Çekme Dayanımı(MPa)	4900
Elastisite Modülü(GPa)	240
Uzama(%)	1.70
Kalınlık tek yön(mm)	0.45

Çizelge 2.7 (devam) : Güçlendirme amaçlı kullanılan ticari ürün TRM ve tamir harcının mekanik özellikleri

Karbon Tekstil	
Hasır ağırlığı(g/m ²)	200
Ağ aralığı(mm) (Şekil 2.54)	15 x 15
Tamir Harcı	
Basınç Dayanımı (MPa) (UNI EN 196-1)-28 gün	> 70
Elastisite Modülü (GPa)	> 20
Yüzeye Yapışma Dayanımı (MPa)	>3
Eğilme Dayanımı (MPa)	>8

Tanımı (TRM)

Yapısal güçlendirmeler için geliştirilmiş, çift yönlü karbon lifli malzemedir. Çimento/kireç esaslı tamir harçları ile kolaylıkla uygulanabilir.

Kullanım Yerleri

- Betonarme kirişlerin eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilmesinde,
- Betonarme döşemelerin eğilmeye karşı güçlendirilmesi
- Betonarme kolon ve perdelerin kesmeye karşı güçlendirilmesi
- Yığma yapı duvarlarının dayanımlarının ve sünekliklerinin artırılması
- Yığma yapı döşemelerinin eğilmeye karşı güçlendirilmesinde
- Yığma yapı kemerlerinin eğilmeye karşı güçlendirilmesinde
- Yığma yapı kubbe ve tonozların eğilmeye karşı güçlendirilmesinde

Üstünlükleri

- Çok hafiftir ve kullanımı kolaydır.
- Çimento veya kireç esaslı yapısal tamir harçları ile birlikte kullanılarak nemli ve ıslak yüzeylerde uygulanabilir.
- Alkali hidroksit, klorür ve sülfat gibi agresif kimyasallara karşı yüksek direnç gösterir.
- Çimento veya kireç esaslı yapısal tamir harçları ile birlikte kullanıldığı zaman yüksek sıcaklıklarda performans gösterir.

- İki doğrultuda istenilen ölçülerde kolayca kesilebilir (makas veya maket bıçağı ile).

Deneyde kullanılan tamir harcı ise çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve lif takviyeli, tiksotropik (Polimer modifiyeli harç yapışkan ve plastik kıvamda akma yapmayan) yapısal bir tamir harcıdır.

Yapısal Tamir Harcı üstünlükleri

- Yalnız su ile karıştırılır, kolay uygulanır.
- Beton ve donatıya yüksek aderans sağlar.
- Yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- Yüksek tiksotropik özellik gösterir.
- Su geçirimsizdir.
- Donma-çözülme döngüsüne dayanıklıdır.
- Klor ve sülfat ataklarına dayanıklıdır.
- Yağlara karşı dayanıklıdır.
- Büzülme yapmaz.

UYGULAMA YÖNTEMİ

Yüzey Hazırlığı

Yapıların tamir edilecek çimento esaslı yüzeylerinin düzgün, sağlam, taşıyıcı, tozsuz ve temiz olmasına dikkat edilmelidir. Yüzey, aderansı zayıflatacak her türlü yağ, gres, pas ve parafin kalıntılarından iyice temizlenmelidir. Kırılarak oluşturulan yüzeyin kenarları mümkün olduğunca dik kesilmeli, donatıdaki pas temizlenmeli, gerekiyorsa yeni donatı eklenmelidir. Yüzeyde su akıntısı varsa drene edilmeli veya uygun bir tıkaç ile kapatılmalıdır. Uygulama yüzeyi suya doyurulmalı fakat yüzeyde serbest su kalmamalıdır.

Karıştırma

Uygun su miktarı, bir ölçek yardımıyla temiz karıştırma kovaına boşaltılır. Ticari bir ürün olan tamir harcı yavaş yavaş ilave edilerek 400-600 devirli bir karıştırıcı ile homojen ve topaksız bir karışım elde edilinceye kadar 4 dakika karıştırılır. Yaklaşık 4

dakika dinlendirilip tekrar 30 saniye karıştırıldıktan sonra malzeme kullanıma hazır hale gelir.

Uygulama

Hazırlanan harç yüzeye, kalınlığı tek katta 10 mm ile 40 mm arasında olacak şekilde mala ile veya püskürtülerek uygulanır. Daha kalın uygulamalarda ise ilk kat kuruduktan sonra ikinci kat aynı şekilde yüzeye uygulanır. Düzgün yüzey bitişinin istendiği durumlarda, harcın suyunu çekmesi beklenir ve sıvacı fırçası ile suyunu çekmiş harcın üzerine su serpilerek, çelik veya ahşap mala ile yüzey tamamlanır. Atmosfere açık geniş yüzeyler, özellikle sıcak, kuru veya rüzgarlı ortamlar, 24-48 saat süreyle ıslak çuval, su ya da özel kür maddeleri ile hızlı buharlaşmaya karşı korunmalıdır.

Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Tamir harcı ortalama +10 °C - +20 °C sıcaklıkta 30 dakika içinde uygulanmalıdır.
- Dış yüzey uygulamalarında, yüzeyin ilk 24 saat güneşten, rüzgardan, yağmurdan veya dondan korunması gerekir.
- Çimento esaslı sistemlerin çalışma ve reaksiyon süreleri, ortam ve zemin sıcaklığından ve havadaki bağıl nemden etkilenir. Düşük sıcaklıklarda hidrasyon yavaşlar, bu da tava ömrünü ve çalışma süresini uzatır. Yüksek sıcaklıklar, hidrasyonu hızlandırır ve yukarıda belirtilen zaman buna bağlı olarak kısalır. Malzemenin prizini tamamlaması için, ortam ve zemin sıcaklığı izin verilen minimum sıcaklığın altına düşmemelidir.
- Ph değeri 5.5'den düşük olan sıvılarla temas halinde kullanılmamalıdır.
- Geniş yüzeylerde, son kat beton döşeme kaplaması olarak kullanılmamalıdır.

Ambalaj

25 kg'lık polietilen takviyeli kraft torba içindedir.

Depolama

Açılmamış orijinal ambalajında, serin ve kuru ortamda, dondan korunarak depolanmalıdır. Kısa süreli depolamalarda, en fazla 3 paket üst üste konulmalı ve ilk

giren ilk çıkar sistemiyle sevkiyat yapılmalıdır. Uzun süreli depolamalarda ise, paletler üst üste konulmamalıdır.

Raf Ömrü

Uygun depolama koşullarında raf ömrü, üretim tarihinden itibaren 12 aydır. Açılmış ambalajlar uygun depolama koşullarında saklanarak bir hafta içinde kullanılmalıdır.



3. ÖLÇÜM SİSTEMİ

Deney numunelerinin farklı kesitlerinde ortaya çıkan yerdeğiştirmelerin ölçümü için TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25 ve SDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme ölçerler, hem itme hem de çekme çevrimlerinde veri alacak şekilde yerleştirilmiştir. Dartec deneyi ölçümlerinde kullanılan kanal numaraları ve kodları Çizelge 3.1 de verilmiştir. Numunelerin donatılarına yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin etiketlendirilmesi ve açıklamaları şekil 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları.

Dartec Deneyi		
KanalNo	Alet kodları	Açıklama
0	Act-Force (Load-Dartec) - kN	Yatay Yük
1	Act-Displacement(Disp-Dartec)-mm	T=Tepe y.d Doğu Yüzü Orta Görelı Tepe
3	TR-TBM D	Yerdeğiştirme
4	TR-TBE K	Kuzey Kolonundaki Tepe Yerdeğiştirmesi
5	TR-TBM B	Batı Yüzü Orta Görelı Tepe Yerdeğiştirme
7	TR-TBOPL B	Batı Yüzü Sol Düzlem Dışı
8	TR-TBOPR B	Batı Yüzü Sağ Düzlem Dışı
9	Axial Force - kN	Eksenel Yük kN
12	TR-CLUL 1D	M=Orta
13	TR-CLUR 1D	1B=1 Nolu Numune Batı Yüzeyi
14	TR-CLDL 1D	1D=1 Nolu Numune Doğu Yüzeyi
15	TR-CLDR 1D	TR: Transducer
16	SGCLU PL60 1D	
17	TR-CPRZ L(CDP25C)ÇAPRAZ DUVAR L	
18	TR-CPRZ R(CDP25C)ÇAPRAZ DUVAR R	
19	SGCLU PL60 8B	
20	SGCLD PL60 8B	
21	SGCRU PL60 8B	
22	SGCRD PL60 8B	
23	TR-CRUR 1D	C: Kolon
24	TR-CRDL 1B	B: Kiriş
26	TR-CRUL 1D	G: Güney
27	TR-FC K	K: Kuzey

Çizelge 3.1. (devam) : Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları

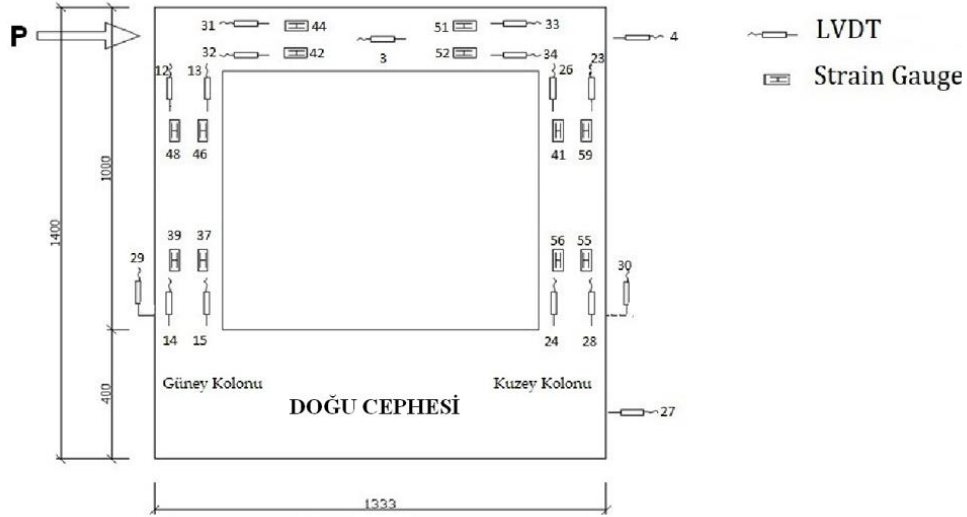
Dartec Deneyi		
KanalNo	Alet kodları	Açıklama
28	TR-CRDR 1D	U: Yukarı
29	TR-V G	D: Aşağı
30	TR-V K	R: Sağ
31	TR-BLHU 1D	L: Sol
32	TR-BLHD 1D	H=Yatay
33	TR-BRHU 1D	FC K=Temel Kuzey
34	TR-BRHD 1D	V G=Global Kalkma Güney
35	SGCRUL 1B	V K=Global Kalkma Kuzey
36	SGCLDL 1B	SG: Şekildeğiştirme
37	SGCLDR 1D	C: Kolon
38	SGCLDR 1B	B: Kiriş 1B=1 Nolu Numune Batı
39	SGCLDL 1D	Cephe
40	SGCRUR 1B	1D=1 Nolu Numune Doğu Cephe
41	SGCRUL 1D	U: Yukarı
42	SGBLHD 1D	D: Aşağı
43	SGBLHD 1B	R: Sağ
44	SGBLHU 1D	L: Sol
45	SGBLHU 1B	H=Yatay
46	SGCLUR 1D	
47	SGCLUR 1B	Strain gauge YFLA5
48	SGCLUL 1D	Strain gauge YFLA5
49	SGCLUL 1B	Strain gauge YFLA5
50	SGBRHU 1B	Strain gauge YFLA5
51	SGBRHU 1D	Strain gauge YFLA5
52	SGBRHD 1D	Strain gauge YFLA5
53	SGBRHD 1B	Strain gauge YFLA5
54	SGCRDL 1B	Strain gauge YFLA5
55	SGCRDR 1D	Strain gauge YFLA5
56	SGCRDL 1D	Strain gauge YFLA5
57	SGCRDR 1B	Strain gauge YFLA5
59	SGCRUR 1D	Strain gauge YFLA5

		ŞEKİL DEĞİŞTİRME ÖLÇER (STRAIN GAUGE=SG) KODLAMALARI			
		BLHU1D	BRHU1D		
		BLHU1B	BRHU1B		
		BLHD1D	BRHD1D		
		BLHD1B	BRHD1B		
CLUL1D	CLUR1D			CRUL1D	CRUR1D
CLUL1B	CLUR1B			CRUL1B	CRUR1B
CLDL1D	CLDR1D			CRDL1D	CRDR1D
CLDL1B	CLDR1B			CRDL1B	CRDR1B

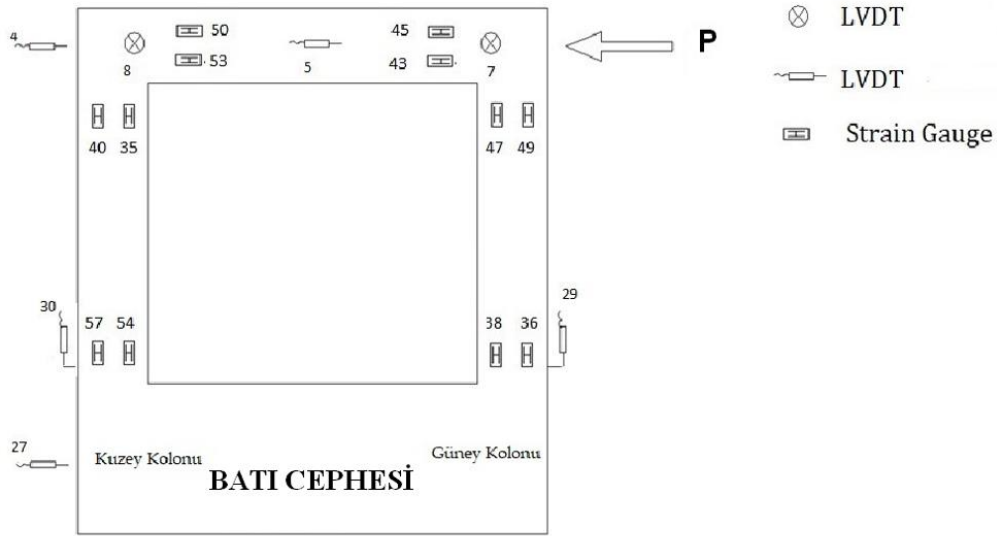
Şekil 3.1 : 1nolu Numunelerin boyuna donatılarına yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin etiketlenilmesi

CLUL1D: 1 NOLU NUMUNE SOL KOLON SOL ÜST DOĞU = CH 48
CLUR1B: 1 NOLU NUMUNE SOL KOLON SAĞ ÜST BATI = CH 47
BLHD1D: 1 NOLU NUMUNE YATAY KİRİŞ SOL ALT DOĞU= CH 32
BRHU1B: 1 NOLU NUMUNE YATAY KİRİŞ SAĞ ÜST BATI = CH 50

Şekil 3.2 ve Şekil 3.2 de Yerdeğiştirme ve Şekildeğiştirme ölçer yerleşimi ve kanal numaraları verilmiştir.



Şekil 3.2 : Doğu cephesi yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçer yerleşimi ve kanal numaraları (bütün boyutlar mm cinsindedir.)



Şekil 3.3 : Batı cephesi yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçer yerleşimi ve kanal numaraları

Deney numunelerinin farklı kesitlerinde oluşan yerdeğiştirmelerin belirlenmesi ve kontrol amaçlı genel kalkma, toptan kayma, düzlem dışı hareketlerin ölçülebilmesi için kiriş ve kolon elemanlarına toplam 20 adet yerdeğiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Kolon ve kiriş uç bölgelerinde oluşan şekildeğiştirme, dönme ve eğriliklerin hesaplanabilmesi için CDP-5 tipi (5 mm) yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirme ölçerler, imalat aşamasında numuneye yerleştirilen

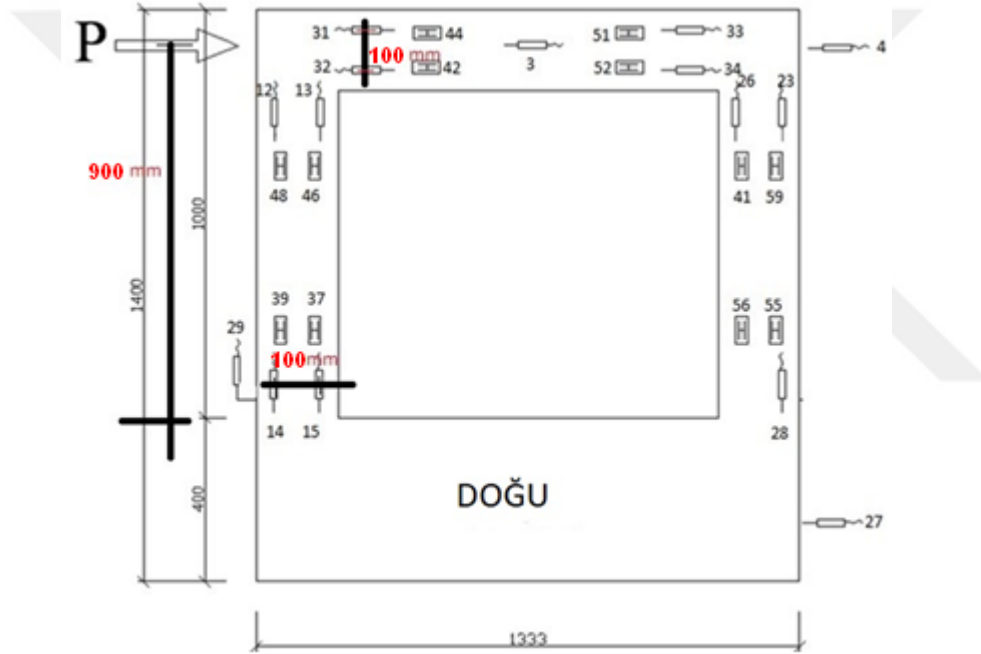
Ø5 lik ankraj çubukların üzerine monte edilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesinin ölçümü için 1 ana, iki de yedek olmak üzere, üç adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır (Kanal 3, Kanal 4, Kanal 5). Kanal 4, numuneye uygulanan yükleme sonucu kiriş ekseninde oluşan tepe yerdeğiştirmesini ölçmekte ve deneylerde bu değere göre grafikler oluşturulmaktadır. Ana yerdeğiştirme ölçerimiz Kanal 4'dür. Kullanılan ölçüm aleti SDP-100 (100 mm) tipindedir. Temele göre gerçekleşen görelî tepe yerdeğiştirmesi CDP-25 (25 mm) tipindeki yerdeğiştirme ölçer ile okunmaktadır (Kanal 27,29,30). Deney sırasında numunede oluşabilecek düzlem dışı hareket, taban kayması ve genel kalkma gibi durumları kontrol etmek üzere Kanal 7, Kanal 8'e yerleştirilen kontrol yerdeğiştirme ölçerleri ile veri alınmıştır. Buna göre Kanal 7 ve Kanal 8 ile düzlem dışı hareket (Şekil 3.4), Kanal 27 ile taban kayması, Kanal 29 ve Kanal 30 ile de genel kalkma değerleri ölçülmüştür. Yerleştirilen LVDT ler sayesinde numunenin yatay yükler altında yerdeğiştirme verileri okunup buradan da şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik gibi değerler hesaplanmıştır. Yapılan yerdeğiştirme okumalarına ilave olarak donatılarda şekildeğiştirme okumaları da yapılmıştır.



Şekil 3.4 : Numunenin düzlem dışı hareketini ölçme

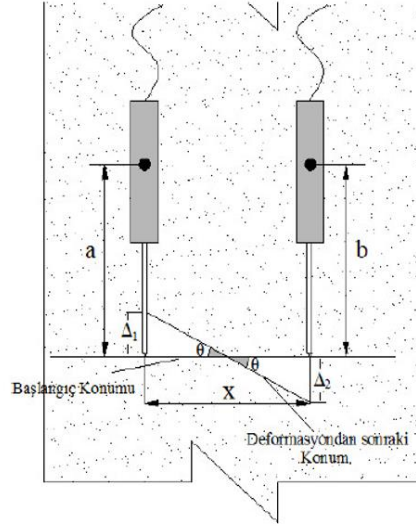
Boyuna donatılara şekildeğiştirme ölçerler (Strain Gauge YFLA5) yapıştırılmadan önce bu bölgeler zımpara ile pürüzsüzleştirilmiş, özel kimyasallarla temizlenmiş ve

sonra şekildeğiştirme ölçerler boyuna donatılara kuvvetli yapıştırıcılarla yapışması sağlanmıştır. Sonrasında su geçirimsiz bantlarla buralar suya karşı yalıtılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerlerin 4'ü kirişin sol mesnet bölgesine doğu batı cephesi, alt ve üst olarak, 4'ü sağ mesnet bölgesinde doğu batı cephesi alt ve üst olarak yapıştırılmıştır. 16 adet şekildeğiştirme ölçer ise doğu cephesi ve batı cephesinde ayrı ayrı olmak üzere, kolon uç bölgelerindeki donatılara yapıştırılmıştır. Bir çerçeveye toplam 24 adet ve simetrik olacak şekilde şekildeğiştirme ölçer tespit edilmiştir. Bu suretle, herhangi bir sebeple okunamayan şekildeğiştirme ölçer olduğunda, simetrisinden faydalanılmıştır. Pistonun temele göre mesafesi ve yerdeğiştirme ölçerlerin birbirlerine mesafesi Şekil 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.5 : Pistonun ve LVDT'lerin, kesitteki yerleşimi ve boyutları (mm)

Donatılara yapıştırılan şekildeğiştirmeler ile donatının noktasal şekildeğiştirmesi belirlenmiştir. Betonarme kiriş ve kolon elemanlarının uçlarına yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (LVDT) ile kesitin ortalama şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik hesabında kullanılan geometri [104]

Şekildeğiştirme ε , yerdeğiştirme ölçerlerden (LVDT) elde edilen uzama veya kısalmaya değerinin, ölçüm boyuna (uzunluğuna) oranı ile hesaplanmaktadır denklem (3.1) ve (3.2). Kesitin dönmesi θ ise, iki yerdeğiştirme ölçerden elde edilen verilerin farkının ölçüm yapılan kesitler arası mesafeye oranlanmasıyla hesaplanmaktadır denklem (3.3). Kesitin eğriliği χ ise iki yerdeğiştirme ölçerden elde edilen şekildeğiştirmeler ε_1 ve ε_2 nin, ara mesafeye oranlanması ile hesaplanmaktadır denklem (3.4).

$$\varepsilon_1 = \Delta_1 / a \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_2 = \Delta_2 / b \quad (3.2)$$

$$\theta = (\Delta_1 - \Delta_2) / x \quad (\text{Radyan}) \text{ dönme} \quad (3.3)$$

$$\chi = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{x} \quad (1/m) \text{ eğrilik} \quad (3.4)$$

Yatay yük yerdeğiştirme grafiklerinin çizilmesinde, temele göre olan göreceli büyüklükler dikkate alınmıştır. Göreceli kat ötelenme oranı denklem (3.5) ile hesaplanmıştır. Burada δ temele göre tepe yatay yerdeğiştirmeyi, h ise kat yüksekliğini belirtmektedir.

$$\text{Göreceli kat ötelenme oranı (\%)} = \frac{\delta}{h} \times 100 \quad (3.5)$$

Donatıların çekme testlerinden akmaya karşı gelen şekildeğiştirme değeri denklem (3.6)

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E} = \frac{461}{206063} = 0.002237 = 2237 \mu\text{m/m (microstrain)} \quad (3.6)$$

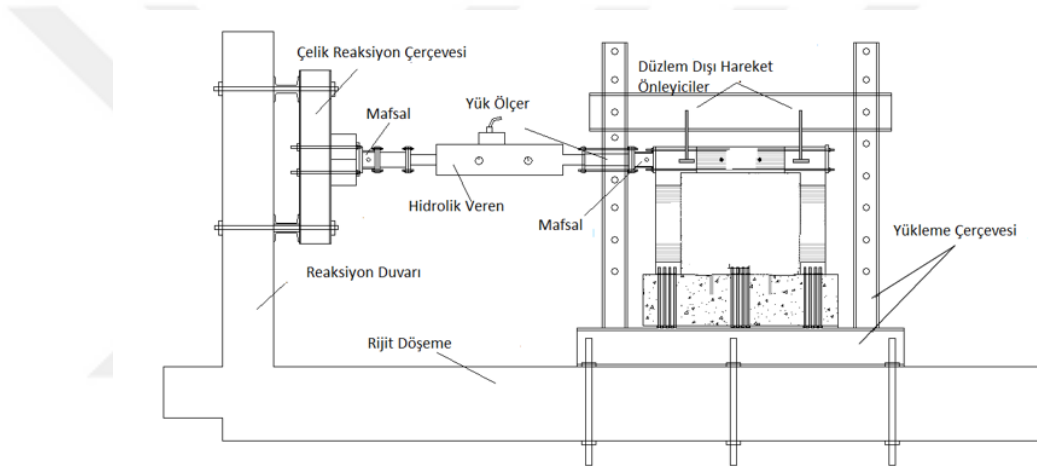
olarak elde edilmiştir. Bütün deneylerde, boyuna donatıların şekildeğiştirmeleri kaydedilmiş ve akıp akmadığı bu değere göre belirlenmiştir. Her deney için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisinden faydalanarak, maksimum yükün %80'ine kadar olan çevrimlerin yığışımı çevrimsel enerji grafikleri çizilmiştir.



4. BETONARME ÇERÇEVE DENEYLERİ

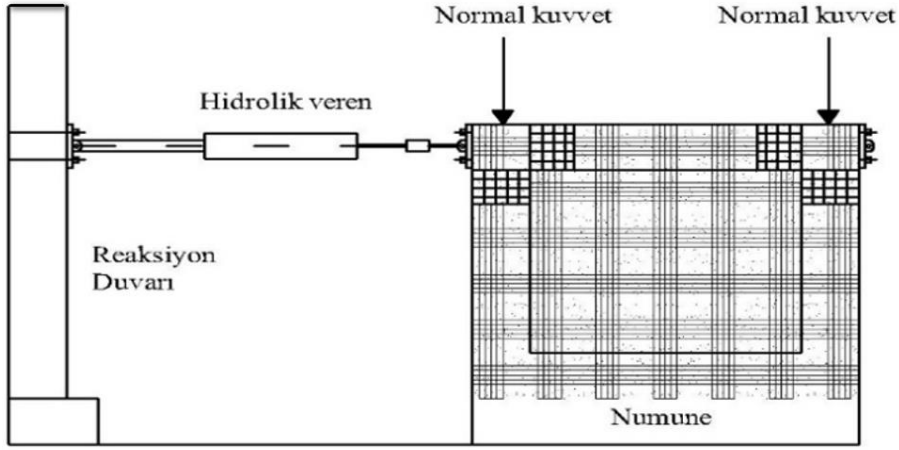
4.1 Genel Giriş

Betonarme çerçeve deneyleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında oluşturulan yükleme düzeneği ile oluşturulmuştur. Karkas yapısı çelik profillerden meydana gelen yükleme çerçevesi, ortaya çıkan reaksiyon kuvvetlerini rijit betonarme döşemeye güvenle aktaracak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Deney düzeneği

Tersinir itme çekme çevrimleri, ± 280 kN yükleme (P) ve ± 94 mm yerdeğiştirme kapasiteli DARTEC hidrolik verenle elde edilmiştir (Şekil 4.2). DARTEC hidrolik verenin tepki kuvvetleri betonarme reaksiyon duvarına iletilmiştir. Hidrolik verenin iki kafasında düzleme dik ve düzlemi doğrultusunda hareket edebilen mafsalları vardır.



Şekil 4.2 : DARTEC Hidrolik veren yerdeğiştirme kontrollü yükleme

Her çevrimde, yüklemeleri tatbik edebilmek için hidrolik verenin, kafalarındaki deliklerden geçebilecek çapı Ø18 mm olan iki tane yüksek çekme mukavemetine sahip ankraj çubuğu, çerçevenin karşı ucundaki 30 mm plakaya sıkıca mekanik olarak ankrajlanmıştır. Kirişlerin uçlarının öngerme ankraj çubuğu ile sıkılması kirişte dayanımı artırarak kuvvetli kiriş zayıf kolon davranışını da sağlamıştır. Yatay yüklere maruz temelin ankastreliğinin sağlanabilmesi için, çapı Ø18 mm olan yüksek çekme mukavemetine sahip 24 adet ankraj bulonları, çift somunla uygulanmıştır. Deneylerde yapılan ölçümlerde, mesnetlenmenin ankastre duruma yakın olduğu tesbit edilmiştir. Düzlem dışı hareketi kısıtlamak için, kiriş seviyesinde doğu ve batı (Şekil 3.4) cephelerinde özel mekanizmalı tekerlekler kullanılmıştır. Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuvarının, araştırma olanakları ve özellikleri şu şekildedir:

- ± 200 kN yükleme ve ± 200 mm yerdeğiştirme kapasiteli, 263 mm/s başlık hızlı 1 adet dinamik veren. Sisteme ait hidrolik pompa ve soğutma ünitesi hazır durumdadır.
- ± 280 kN yükleme ve ± 49 mm yerdeğiştirme kapasiteli, 28 mm/s başlık hızlı, bilgisayar aracılığıyla kontrol edilen 1 adet kuvvet ve yerdeğiştirme kontrollü veren
- ± 250 kN yükleme ve ± 300 mm yerdeğiştirme kapasiteli el ile kontrol edilebilen 2 adet statik veren

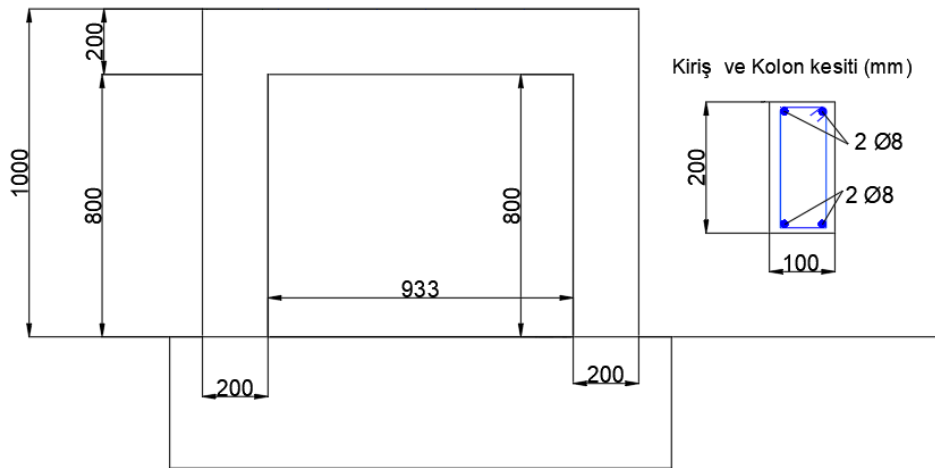
- ± 500 kN yükleme ve ± 150 mm yerdeğiştirme kapasiteli el ile kontrol edilebilen 3 adet statik veren
- Statik deneylerde kullanılabilecek 3 adet data logger ve 3 adet çoğaltma kutusu
- Değişik kapasitelerde 35 adet yerdeğiştirme ölçer ve 10 adet yük ölçer
- Yatay ve düşey doğrultuda titreşim ölçümü yapabilen küçük titreşim ölçüm cihazları
- 15ton kapasiteli kreyn sistemi
- Kalın deney döşemesi
- İki adet 75 ton kapasiteli betonarme reaksiyon duvarı

Yapılan deneylerin sıralaması, özellikleri ve güçlendirme yöntemi Çizelge 4.1 da verilmiştir.

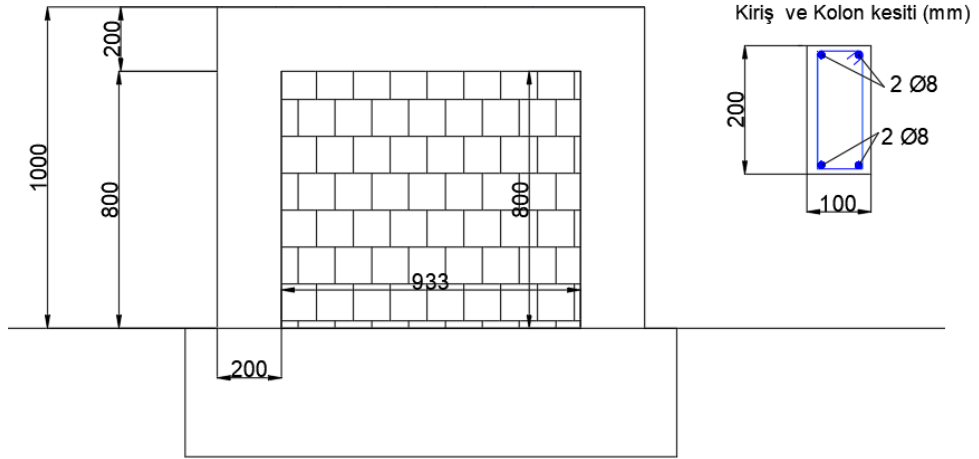
Çizelge 4.1 : Test edilen numunelerin özellikleri

Numune No	Etiket No	Beton Sınıfı (MPa)	Çerçeve Davranışı	Güçlendirme Yöntemi
Numune 1	1	C15	Sünek	Kiriş-kolon birleşim bölgeleri sık etriyeli olan çerçeve, referans numune olarak deney yapıldı
Numune 2	2	C15	Gevrek	Kiriş-kolon birleşim bölgeleri seyrek etriye olan çerçeve, referans numune olarak deney yapıldı
Numune 3	5	C26	Sünek	Kiriş-kolon birleşim bölgeleri sık etriyeli olan çerçeve, referans numune olarak deney yapıldı
Numune 4	6	C26	Gevrek	Kiriş-kolon birleşim bölgeleri seyrek etriyeli olan çerçeve, referans numune olarak deney yapıldı
Numune 5	8	C26	Gevrek	Seyrek etriyeli kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri, 3 kat TRM ile sarıldı içine duvar örölüp deney yapıldı
Numune 6	3	C15	Gevrek	Seyrek etriyeli kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri, 3 kat TRM ile sarıldı deney yapıldı
Numune 7	4	C15	Gevrek	Seyrek etriyeli kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri, 3 kat TRM ile sarıldı içine duvar örölüp deney yapıldı
Numune 8	9	C15	Gevrek	Kiriş-kolon birleşim bölgeleri seyrek etriyeli olan çerçevenin içine duvar örüldü ve referans numune olarak deney yapıldı.
Numune 9	10	C26	Gevrek	Seyrek etriyeli kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri, 3 kat TRM ile sarıldı ve deney yapıldı.

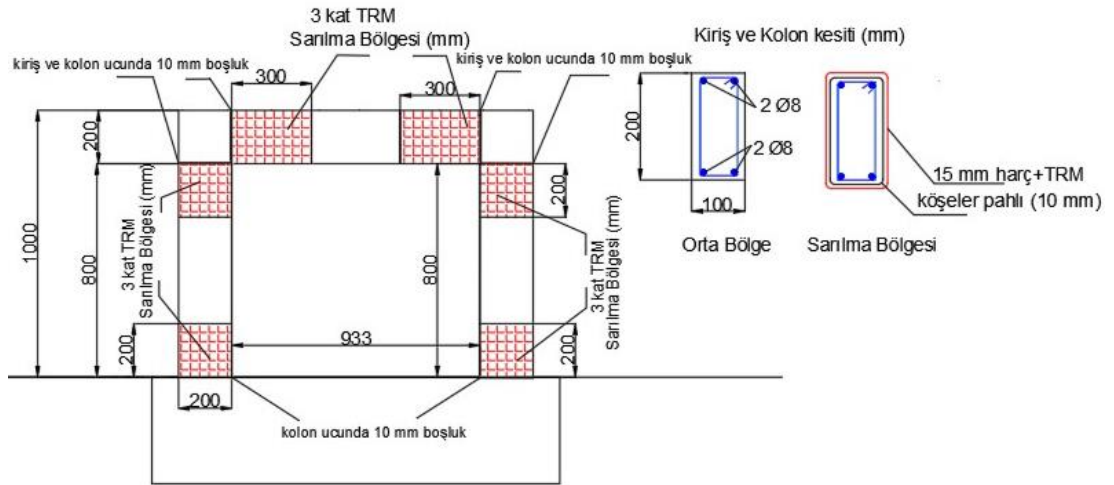
Bu deneyde, 9 adet 1/3 ölçekli tek katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Laboratuvarın kapasitesi ve ekonomik sebeplerden dolayı 1/3 ölçeğinde deneyler tercih edilmiştir. 1/3 ölçekli deney numuneleri, açıklığı 933 mm ve yüksekliği 1000 mm olan betonarme çerçeve ile yüksekliği 400 mm ve açıklığı 1533 mm olan rijit temelden meydana gelmektedir. Kolon kesiti 100×200 mm, kiriş kesiti 100×200 mm ve temel kesiti 400×700 mm dir. Kolon ve kirişlerde 4 adet Ø8 boyuna donatı, temelde ise 12 adet Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatı olarak, kiriş ve kolonlarda Ø8, temelde ise Ø10 kullanılmıştır. Donatılar için bırakılan pas payı ortalama 15 mm dir. Çerçeveler, imalat kolaylığı bakımından özel bir şantiyede üretildikten sonra İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarının bulunduğu yere nakledilmiştir. Deneyde kullanılan çerçevelerin donatı açılımı, geometrik boyutları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



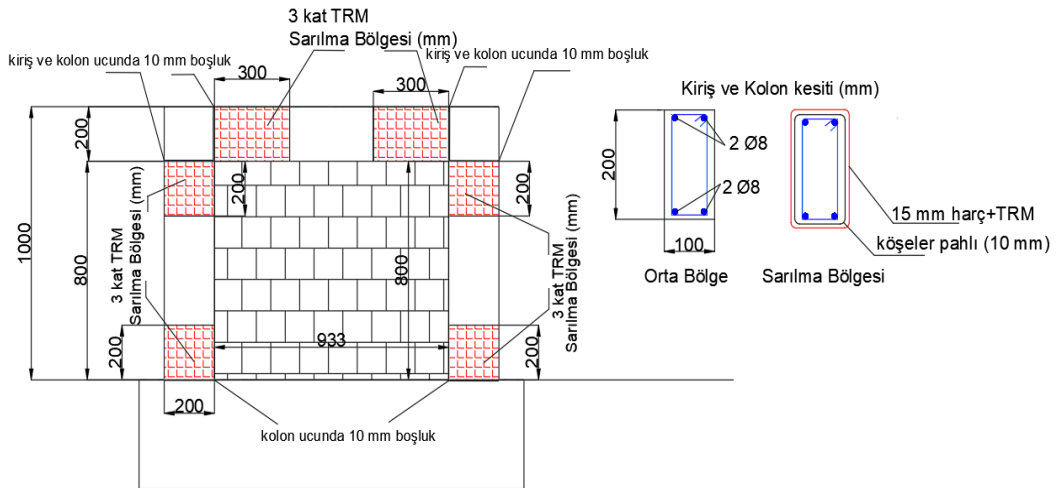
Şekil 4.3 : Numune 1, 2, 3 ve 4 (bütün boyutlar mm cinsindedir)



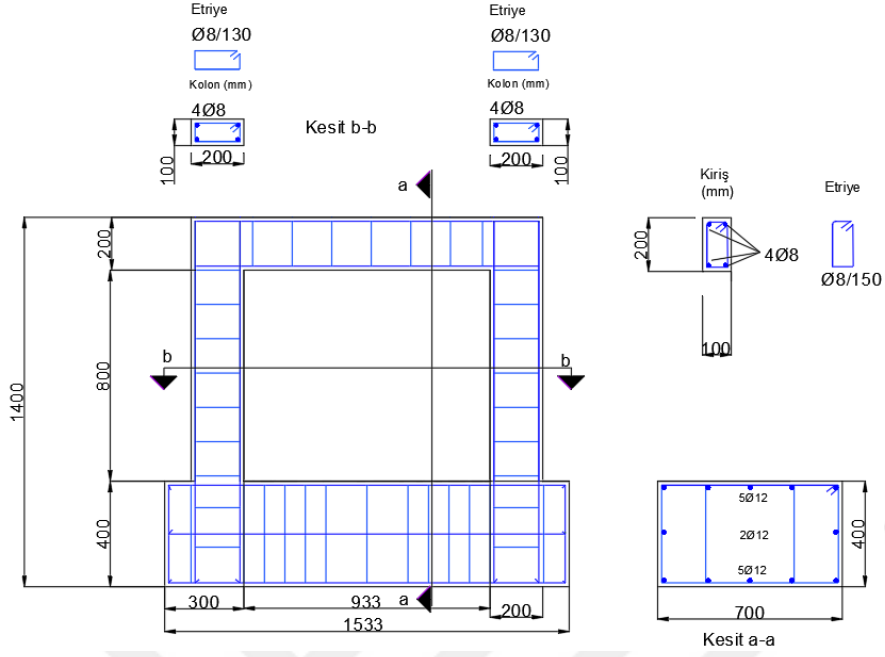
Şekil 4.4 : Numune 8 (bütün boyutlar mm cinsindedir)



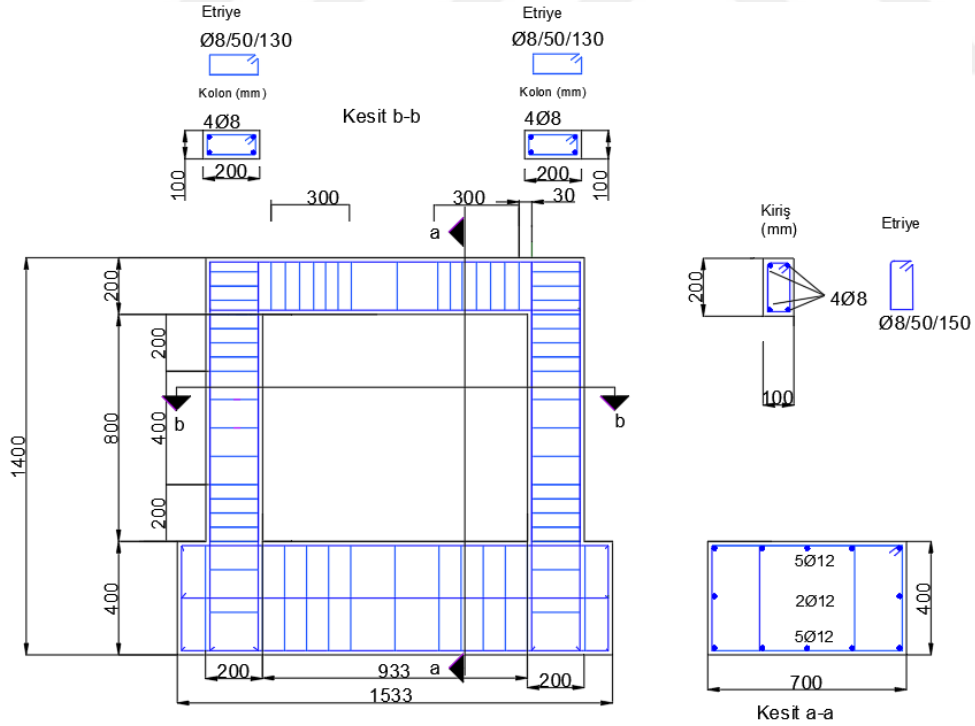
Şekil 4.5 : Numune 6 ve Numune 9 (bütün boyutlar mm cinsindedir)



Şekil 4.6 : Numune 5 ve Numune 7 (bütün boyutlar mm cinsindedir)

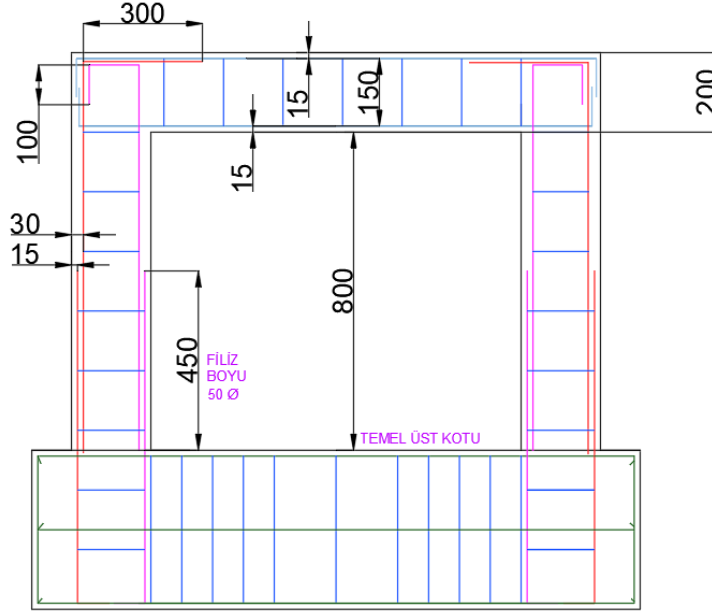


Şekil 4.7 : C15 ve C26 Gevrek numune donatı açılımı (etrijeler seyrek) (bütün boyutlar mm cinsindedir)



Şekil 4.8 : C15 ve C26 Sünek numune donatı açılımı (etrijeler sık-bütün boyutlar mm cinsindedir)

Kiriş ve kolon enine donatı koşulları, 1/3 ölçek dikkate alınarak TBDY 2018 deprem yönetmeliği [126] ve TSE 500-2000 [145] standardına göre belirlenmiştir. Temel sisteminin donatı açılımı, boyutları, çerçeve donatılarının bindirme, kenetlenme ve filiz boyu ise aşağıda verilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Donatı açılımı, kenetlenme ve bindirme boyları (bütün boyutlar mm cinsindedir)

Kiriş ve kolon boyuna donatıların eklenmesine (kenetlenme boyu, bindirme boyu) ilişkin koşullar, TBDY 2018 deprem yönetmeliği ve TSE 500-2000 standardına göre belirlenmiştir.

Çerçeve deneyleri, maksimum taban kesme kuvvetinin %80'ine gelindiğinde sonlandırılmıştır. Betonarme çerçeveler, deney ve ölçüm düzenekleri kullanılarak, yer değiştirme kontrollü ve yükleme protokolü doğrultusunda, numunelere tersinir tekrarlı yükler (itme ve çekme hareketi) altında statik olarak ve kolonlara, malzeme beton sınıfına göre C15 de $N=30$ kN, C26 da $N=52.2$ kN minimum eksenel kuvvet tatbik edilmiştir denklem (4.1).

$$N_d = 0.1 \times A_c \times f_{ck} \quad (4.1)$$

Deneylerde, her yer değiştirme hedefi için bir çevrim tanımlanmıştır. Bir çevrim, bir itme ve bir çekme hareketinden oluşmaktadır. Numunenin Dartec pistonunun kafasının sol taraftan bağlandığı tarafına DOĞU CEPHESİ (Şekil 3.2), diğer arka tarafına ise BATI CEPHESİ (Şekil 3.3) adı verilmiştir. Deneylerde kullanılan

yerdeğiştirme protokolü, istenilen kritik eşik hedeflerine ulaşabilmek için betonarme yapılarla ilgili uluslararası yönetmeliklerin de kabul gördüğü hasar düzey sınırlarına göre tasarlanmıştır[2] [3] [60] [126] [127] Bu suretle ortaya çıkan hasarların çatlak mekanizmaları, genişlikleri ve yerleşimleri, çerçevenin anlamlı yerlerinde olup olmadığına bakılmış, yorumlanmış ve uluslararası yönetmeliklerin öngördüğü çatlak genişlikleriyle karşılaştırılmıştır.

Deney sırasında numunelerde hasar sonucu oluşan çatlaklar harflerle isimlendirilmiş, bu çatlakların gelişimi, başladığı çevrimden itibaren göçme aşamasına kadar takip edilmiştir. Numunede itme ile oluşan ilk çatlak a ile gösterilmiş, sonra oluşan çatlaklara da sırasıyla diğer harfler b, c v.s olarak atanmıştır. Numunenin çekme ile oluşan ilk çatlağı da a' ile gösterilmiş, sonraki çatlaklar da sırasıyla b', c' v.s işareti verilerek isimlendirilmiştir. Çevrim sonunda oluşan çatlakların genişlikleri çatlak ölçer ile ölçülmüş ve çatlak yolunun ilerleyişi kayıt altına alınmıştır. Mavi kalemle çizilmiş çatlaklar itme sırasında, kırmızı kalemle çizilen çatlaklar ise çekme sırasında meydana gelmiştir (Şekil 4.24). İtme yönü pozitif, çekme yönü negatif olarak dikkate alınmış ve oluşan çatlak genişlikleri bu yönlerle göre verilmiştir.

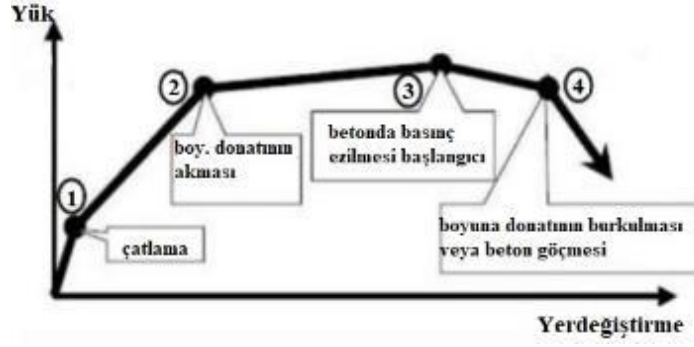
4.1.1 Deney parametreleri

4.1.1.1 Histeretik davranış

Histeretik davranış, deney boyunca etkiyen tersinir tekrarlı yükler altında hesaplanmaktadır. Yük çevrimleri, itmede pozitif, çekmede negative kabulüyle, yerdeğiştirmeler ve şekildeğiştirmeler olarak iki yönlü hesaplanmıştır. Rijitlik, süneklik, dayanım ve enerji yutma kapasitesi gibi parametreler, deneysel çalışmalarda elde edilen bu histeretik davranışın sonucunda hesaplanmıştır.

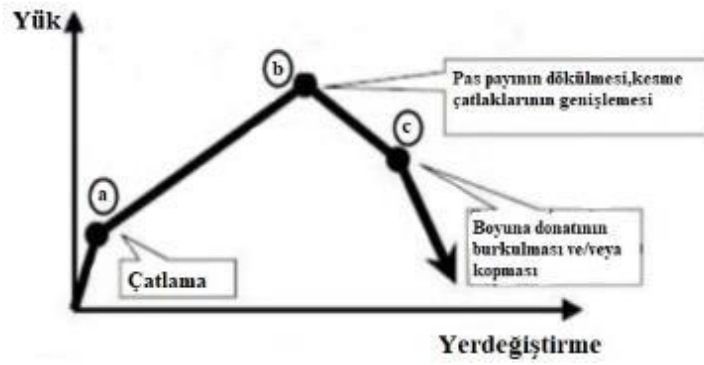
4.1.1.2 Zarf eğrisi

Her bir çevrimde ortaya çıkan yük değerleri bir araya getirilerek, iskelet eğrisi de dediğimiz zarf eğrisi elde edilmektedir. Bu suretle, çerçevede meydana gelen hasarların yerleri bu zarf eğrisi üzerinde belirtilerek, sınır hasar durumları görülmektedir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Tez kapsamında yapılan her deneyde zarf eğrileri oluşturularak, betondaki çatlak, ezilme, kopma, donatıda burkulma ve akma bölgeleri belirtilmiştir.



Şekil 4.10 : Eğilme etkisi altında Zarf eğrisi üzerinde beton ve donatıdaki hasar sınırları [50]

Sünek davranışın hakim olduğu deneylerde, 1 nolu bölgede beton çatlama dayanımına ulaşarak 0.1 mm seviyelerinde çatlaklar görülmüştür. Yatay yükün artmasıyla bu çatlaklar artmıştır. Donatıların akması ise 2 nolu bölgede oluşmuştur. 3 nolu bölgede ise beton basınç ezilmeleri ve kısmi beton paspayı kopmaları görülmüş ve çatlak genişlikleri 2 mm'ye kadar ulaşmıştır. Bu noktadan sonra hasarlar, plastik mafsallık bölgelerinde ($h/2=200/2=100$ mm) yoğunlaşmış ve paspayları dökülmüş, donatılar ise burkulmuştur. 4 nolu bölgede ise yatay yük taşıma kapasitesi kaybolmuş ve çerçeve göçme bölgesine girmiştir.



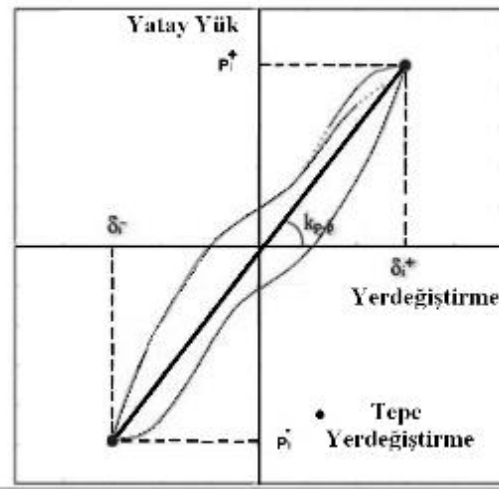
Şekil 4.11 : Kesme etkisi altında zarf eğrisi üzerinde beton ve donatıdaki hasar sınırları [50]

Gevrek davranışın (kesme etkisi) hakim olduğu çerçevelerde ise a bölgesinde beton çatlama dayanımına ulaşmış ve kılcal çatlaklar (0.1 mm- 0.2 mm) gözlenmiştir. İleri yükleme durumlarında, çatlaklar ilerlemiş paspayının ve kesme çatlaklarının görüldüğü b bölgesine ulaşmıştır. Bu nokta aynı zamanda çerçevenin de kesme dayanımına ulaştığı noktadır. İlerleyen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinde, kesme çatlakları daha da büyüyerek 2.5 mm'e kadar varan çatlak genişlikleri gözlenmiştir. C bölgesinde ise donatılarda burkulma oluşmuş ve çerçeve göçme durumuna geçmiştir.

4.1.1.3 Rijitlik

Tanım olarak rijitlik, bir yapıya birim şekildeğiştirme yaptırabilmek için ihtiyaç duyulan kuvvettir. Rijitlik, taşıyıcı sistemin kesit geometrisine ve malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır.

Tüm çerçeve deneylerinde, her çevrimde yatay rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Her bir çevrimin itme ve çekme bölgelerindeki maksimum yük değerleri bir doğru ile birleştirilmiş ve bu doğrunun eğimi, o çevrimin rijitliği (Şekil 4.12) olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12 : Çevrim Rijitliği [50]

$$k_{p-p} = \frac{P_i^+ + |P_i^-|}{\delta_i^+ + |\delta_i^-|} \quad (4.2)$$

Denklem (4.2) de k_{p-p} rijitlik, P_i^+ maksimum pozitif yatay yük, P_i^- maksimum negatif yatay yük, δ_i^+ pozitif yerdeğiştirme, δ_i^- negatif yerdeğiştirme olarak tanımlanmaktadır.

4.1.1.4 Süneklik

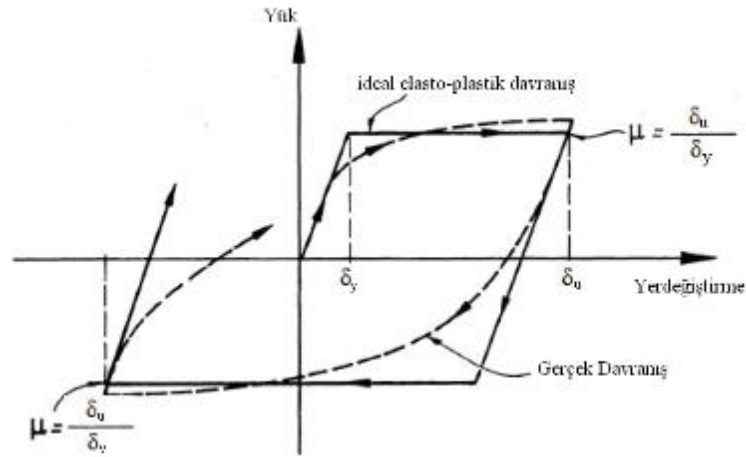
Tanım olarak süneklik, çerçevenin mukavemetinde önemli ölçüde azalma ve kararsız denge olmaksızın, tersinir yükler altında ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını, elastik sınırın ötesinde, elastik olmayan davranışla ve tersinir dönüşümlü büyük şekildeğiştirmelerle yutma yeteneğidir. Süneklik, kesit, eleman ve sistem olarak

tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir. Eleman sünekliliği, donatı detaylarıyla belirlenir. Potansiyel plastik mafsalların olması beklendiği kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinde, enine donatı seyrekliği nedeniyle enerji yutabilme yeteneği zayıflamaktadır. Bu bölgelerin, kompozit elemanlarla sargılanmasıyla süneklilik kapasitesi tekrar artacaktır.

Tez kapsamında, çerçeve deneyleri yapılarak, çerçeve sisteminin süneklilik parametreleri hesaplanmıştır (Şekil 4.13).

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (4.3)$$

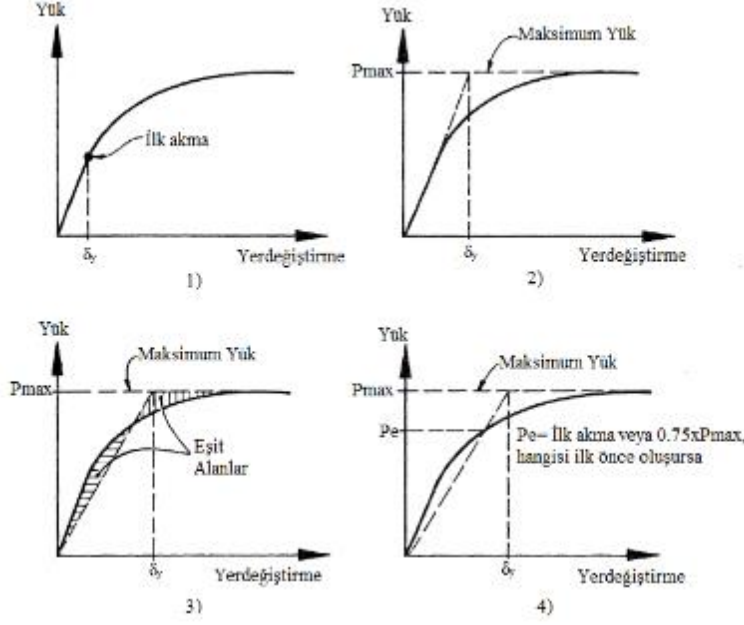
Denklem (4.3) de, μ süneklilik oranı, δ_u maksimum yatay yerdeğiştirme ve δ_y akmaya karşı gelen yerdeğiştirmeyi göstermektedir.



Şekil 4.13 : Süneklilik [50]

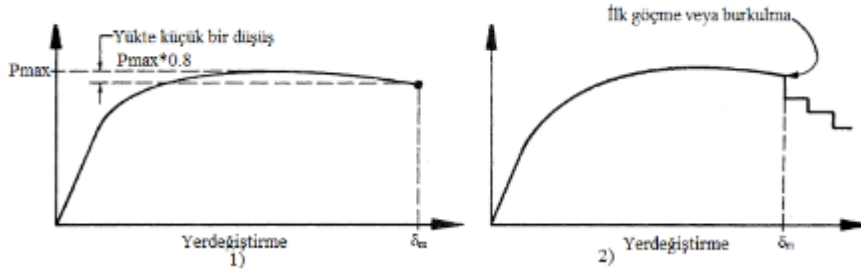
Akma yerdeğiştirmesinin belirlenebilmesi için, kiriş ve kolon elemanlarının boyuna donatılarına yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerler kullanılmıştır.

Fakat literatürde başka yöntemlerle de akmaya denk gelen yerdeğiştirmeler belirlenebilir. Bu yöntemlerden biri de, ilk akma veya maksimum yükün %75 ine karşılık gelen noktalardan hangisi ilk olarak meydana geliyorsa, bu noktalardan geçirilen doğrunun, maksimum yatay yüke karşı geldiği noktanın kesişiminden elde edilen noktadır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Akma yerdeğiştirmesinin belirlenmesi [50]

Maksimum yerdeğiştirmelerin elde edilebilmesi için literatürde kabul görmüş yöntemlerden ikisi tercih edilmiştir. Birinci yöntem, yük taşıma kapasitesinde %20 düşüğe karşılık gelen maksimum yerdeğiştirme değeridir. İkinci yöntem ise, çerçeveyi oluşturan elemanlarda burkulma veya göçme hasar sınırına ulaşılmasıyla elde edilen maksimum yatay yerdeğiştirme değeridir (Şekil 4.15). Bu iki yöntemden hangisi önce ortaya çıkarsa, maksimum yatay yerdeğiştirme olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 4.15 : Maksimum yerdeğiştirmenin elde edilme yöntemleri[50]

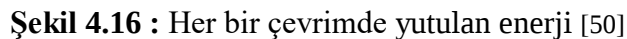
4.1.1.5 Çevrimsel yutulan enerji ve vizkoz sönüm oranı

Enerji tüketimi değeri sistemin sünekliliği ile doğrudan orantılıdır. Yüksek sünek sistemlerde, yapı kararsız davranmadan sönümlenme ile yüksek enerji tüketebilecektir. Tanım olarak sönüm, bir titreşim hareketinde kaybedilen enerji miktarıdır. Sönüm miktarı kullanılan malzemeye, birleşim türlerine ve yapısal olmayan elemanların sistemin rijitliğine olan etkisine bağlıdır. Malzemedeki vizkoz sönüm hız ile orantılıdır. Sürtünme etkisiyle meydana gelen sönüm birleşim bölgelerindeki sönüm

Tez kapsamında, her bir çevrimin yuttuğu enerji hesaplanmıştır (Şekil 4.16). Böylece, eşdeğer vizkoz sönüm oranının belirlenmesinde, her bir çevrimin grafik alanının, maksimum şekildeğiştirme enerjisinin alanına oranı olarak gözönüne alınmıştır (Jacobsen Method) [112]. Eşdeğer vizkoz oranı denklem (4.4) ile hesaplanmıştır.

ζ vizkoz sönüm oranı, E_D her bir kapalı çevrimde yutulan enerji grafiksel alan denklem (4.5), E_{s0} ise en büyük elastik birim yerdeğiştirme enerjisine ait grafiksel alan olarak tanımlanmaktadır (P yatay yük, δ yerdeğiştirme) denklem (4.6).

$$E_{s0} = \frac{P_u \times \delta_u}{2} \quad (4.6)$$



4.2 Numune 1 (1C15 Sünek Referans Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.17).

		itme	çekme	
		→ +	← -	
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.28)	+2.52	-0.27(-0.3)	-11.71
2	+0.54(+0.52)	+7.88	-0.54(-0.60)	-16.91
3	+0.90(+0.92)	+14.67	-0.9(-0.92)	-21.26
4	+1.8(+1.78)	+25.96	-1.8(-1.78)	-29.44
5	+2.7(+2.68)	+33.18	-2.7(-2.86)	-34.94
6	+3.6(+3.68)	+38.38	-3.6(-3.80)	-38.12
7	+4.5(+4.54)	+41.34	-4.5(-4.78)	-41.23
8	+5.4(+5.42)	+43.42	-5.4(-5.38)	-42.24
9	+6.3(+6.26)	+45.28	-6.3(-6.50)	-44.70
10	+7.2(+7.14)	+47.32	-7.2(-7.50)	-44.25
11	+9(+8.98)	+50.42	-9(-9.14)	-47.61
12	+13.5(+13.34)	+57.19	-13.5(-13.64)	-53.82
13	+18(+17.72)	+58.59	-18(-18.1)	-52.81
14	+22.5(+22.74)	+54.92	-22.5(-22.34)	-52.26
15	+28.5(+28.38)	+54.18	-28.5(-29.18)	-53.75
16	+36(+36.62)	+49.91	-36(-36.54)	-48.49
17	+43.5(+43.54)	+44.78	-43.5(-47.24)	-41.63

Şekil 4.17 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri

Numune 1, referans çerçeve olarak, güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi ve gevrek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 17 tam yerdeğiştirme çevrimi (itme-çekme) tatbik edilmiştir. Numunede ‘a’<0.1 mm ilk kılcal çatlak 2.çevrimde doğu cephesinde çekme çevriminde güney kolonu temel seviyesinde oluşmuş, 3. çevrimde itme çevriminde kuzey kolonu üst bölgede ‘a’<0.1 mm kılcal kesme çatlağı oluşmuştur. 3. çevrimde 0.92 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 14.7 kN’dur. Boyuna donatılarda okunan

en büyük şekildeğiştirme değeri 395 μm micro strain (CH 40=batı cephesi kuzey kolonu üst bölgesi dış lif) düzeyindedir. 3. çevrimde 0.92 mm hedef yerdeğiştirme çekme çevriminde güney kolonunda 'b' <0.1 mm eğilme çatlağı oluşmuştur. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 21.2 kN dur. 4. itme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 1.78 mm ulaşıldığında 'b'<0.1 mm kesme çatlağı batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede, 'c' eğilme çatlağı<0.1 mm batı cephesi güney kolonu üst iç kenarda düğüm noktasında oluşmuştur. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük ise 26 kN dur. Bu çevrimde 'a' çatlağı 0.1 mm genişliğe ulaştı. 4. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 1.78 mm ulaşıldığında, 'c' eğilme çatlağı güney kolonu alt temel seviyesinde oluşmuştur. Kuzey kolonu üst bölgede 'd' <0.1 mm eğilme çatlağı meydana gelmiştir. 'b' kesme çatlağı ilerlemiştir. 5. itme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 2.68 mm ulaşıldığında 'd'<0.1 mm eğilme çatlağı güney kolonu üst bölgede oluşmuş, 'b' kesme çatlağı genişliği $w=0.2$ mm e ulaşmış, 'a' çatlağı>0.1 mm in üstüne çıkmıştır. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük ise 33.2 kN dur. 5. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 2.86 mm ulaşıldığında 'c' ve 'd' eğilme çatlakları genişliği $w=0.2$ mm'ye ulaşmış, 'b' eğilme çatlağı ilerlemiş ve dallanmıştır. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük ise 34.94 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1100 μm micro strain (CH 55=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi dış lif) düzeyindedir. 6. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 3.68 mm ulaşıldığında batı cephesi kuzey kolonu alt temel seviyesinde e eğilme çatlağı ($w=0.1$ mm) oluşmuştur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölgede eğilme çatlağı 'd' çatlak genişliği $w=0.2$ mm, b kesme çatlak genişliği $w=0.3$ mm, 'c' eğilme çatlak genişliği $w=0.1$ mm oluşmuş, 'a' kesme çatlağı dallanarak ilerlemiştir. 6. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 3.80 mm ulaşıldığında, doğu cephesi kuzey kolonu alt temel seviyesinde 'e' eğilme çatlağı oluşmuş, 'c' ve 'd' eğilme çatlak genişlikleri $w=0.2$ mm ye ulaşmıştır. Doğu ve batı cephesi güney kolonu üst bölgede 'f' ($w=0.1$ mm) eğilme çatlağı meydana gelmiştir. 7. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 4.54 mm ulaşıldığında, d eğilme çatlağı batı cephesi güney kolonu üst bölgede devam etmiş ve $w=0.3$ mm çatlak genişliği meydana gelmiş, 'c' eğilme çatlağı ise batı cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiş, 'b' kesme çatlağı $w=0.4$ mm olmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede yeni bir eğilme çatlağı 'f' $w<0.1$ mm oluşmuştur. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük 41.34 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2134 μm micro strain (CH 54=batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi iç lif) düzeyindedir ve akma sınırı 2237 μm

micro straine çok yaklaşmıştır. 7.çekme çevriminde ise ‘b’ eğilme çatlakları doğu ve batı cephesi güney kolonu üst bölgesinde ilerlemiş, ‘d’ çatlakları dallanarak kesmeye dönüşmüştür. 8. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 5.42 mm ulaşıldığında doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesinde ‘g’ eğilme çatlakları oluşmuştur. Batı ve doğu cephesi güney kolonu üst bölgesinde ‘d’ çatlakları dallanarak ilerlemiş ve çatlak genişliği $w=0.5$ mm olmuştur. Bu yerdeğiştirmeye denk gelen yatay yük 43.42 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2389 μm micro strain (CH 54=batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi iç lif) düzeyindedir ve akma sınırı 2237 μm micro straini aşarak akmıştır. 8. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 5.38 mm ulaşıldığında, doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesinde ‘d’ çatlakları $w=0.8$ mm genişliğine ulaştı. Batı cephesi kuzey kolonu alt temelde ‘e’ çatlakları ilerlemiş, batı cephesi güney kolonu ‘b’ çatlakları ilerlemiş, ‘a’ çatlaklarında dökülmeler başlamıştır. 9. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 6.26 mm ulaşıldığında batı cephesi kuzey kolonu üst bölgesinde ‘h’ kesme çatlakları $w<0.1$ mm oluşmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1863 μm micro strain (CH 56=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi iç lif) düzeyindedir. 9. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 6.50 mm ulaşıldığında batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede ‘g’ kesme çatlakları $w=0.2$ mm oluşmuş, ‘d’ çatlakları dallanarak $w=0.4$ mm ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1821 μm micro strain (CH 55=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi dış lif) düzeyindedir. 10. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 7.14 mm ulaşıldığında, yatay yük 47.32 kN meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst bölgede ‘d’ eğilme çatlakları ilerledi ve dallanarak kesme çatlaklarına dönüştü, doğu cephesi kuzey kolonu alt bölgede ‘e’ eğilme çatlakları ilerledi. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1925 μm micro strain (CH 56=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi iç lif) düzeyindedir. 10.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 7.50 mm ulaşıldığında batı cephesi kiriş sağ mesnet bölgesi üstte ‘h’ ve ‘ı’ kesme çatlakları $w=0.2$ mm oluşmuştur. 11. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 8.98 mm ulaşıldığında, yatay yük 50.42 kN olmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede ‘f’ çatlakları dallanarak kesme çatlaklarına dönüştü. Batı cephesi güney kolonu üst bölgede ‘h’ kesme çatlakları dallanarak ilerlemiştir. 11. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 9.14 mm ulaşıldığında, yatay yük 47.61 kN olmuştur. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde ‘c’ eğilme çatlakları açılmış ve $w=1$ mm ye ulaşmıştır. Bu noktada temelle kolon arasında kalkmalar başlamıştır. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede ‘d’ kesme çatlakları dallanarak ilerlemiştir. Batı cephesi kiriş sağ mesnette

'ı' kesme çatlağı ilerlemiş ve $w=0.3$ mm çatlak genişliği oluşmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $2007 \mu\text{m}$ micro strain (CH 55=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi dış lif) düzeyindedir. 12. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 13.34 mm ulaşıldığında, yatay yük 57.19 kN olmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölde 'f' kesme çatlağı büyüdü $w=2$ mm, h kesme çatlağı dallandı ve genişliği arttı $w=2$ mm, b çatlağı genişledi $w=0.9$ mm, batı cephesi kiriş sağ mesnet alt tarafta 'j' kesme çatlağı oluştu $w=0.2$ mm, batı cephesi güney kolonu orta bölüme yakın iç lifte 'k' eğilme çatlağı oluştu. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2065 \mu\text{m}$ micro strain (CH 43=batı cephesi kiriş sağ mesnet alt lif), $2134 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif), $2027 \mu\text{m}$ micro strain (CH 56=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi iç lif) düzeyinde ve akma sınırına yaklaşmıştır. 12. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 13.64 mm ulaşıldığında, yatay yük 53.82 kN olmuştur. Batı cephesi güney kolonu orta bölgeye yakın 'j' kesme çatlağı $w=0.2$ mm oluşmuştur, batı cephesi güney kolonu üst bölge 'f' eğilme çatlağı dallanmış, 'b' çatlağı $w=1$ mm genişlemiştir, 'a' çatlağı genişlemiştir. Batı cephesi kiriş sağ mesnet üst bölge 'ı' çatlağı dallanmıştır $w=0.3$ mm. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2125 \mu\text{m}$ micro strain (CH 45=batı cephesi kiriş sağ mesnet üst lif), $2002 \mu\text{m}$ micro strain (CH 48=doğu cephesi güney kolonu üst bölgesi dış lif), $2245 \mu\text{m}$ micro strain (CH 49=batı cephesi güney kolonu üst bölgesi dış lif donatı akmıştır). $2196 \mu\text{m}$ micro strain (CH 59=doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi dış lif) ve $2336 \mu\text{m}$ micro strain (CH 55=doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi dış lif akmıştır) düzeyindedir. 13. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 17.72 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 58.59 kN olmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst bölümde m kesme çatlağı oluştu. Batı cephesi güney kolonu orta bölümde 'k' çatlağı ilerledi. Batı cephesi güney kolonu üst bölümde kesme çatlağı 'ı' oluştu. Batı cephesi güney kolonu temel alt bölgede dikey n çatlağı oluştu ve kabuk betonu ayrışmaya başladı. Doğu cephesi kuzey kolonu orta bölüme yakın yerde iç lifte kesme türü olan 'o' çatlağı oluştu $w=0.2$ mm. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2487 \mu\text{m}$ micro strain (CH 43=batı cephesi kiriş sağ mesnet alt lif donatı akmıştır), $2208 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif). 13. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 18.10 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 52.81 kN meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölge kesme çatlağı olan m' oluştu $w=0.2$ mm. 'a' çatlağı genişledi $w=0.9$ mm. 'ı' çatlağı genişledi. Doğu cephesi kiriş sol

mesnet üst lif 'k' çatlağı $w=1.1$ mm oluştu. Doğu cephesi kiriş sol mesnet üst lif 'l' çatlağı $w=0.9$ mm oluştu. Güney kolonu temel seviyesi büyük kalkmalar oluştu. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2215 \mu\text{m}$ micro strain (CH 45=batı cephesi kiriş sağ mesnet üst lif), $2219 \mu\text{m}$ micro strain (CH 48 doğu cephesi güney kolonu üst bölgesi dış lif), $2446 \mu\text{m}$ micro strain (CH 59=doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi dış lif donatı akmıştır). 14. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 22.74 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 54.91 kN olmuştur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge 'd' çatlağı çok büyüdü $w=2.1$ mm. Doğu cephesi kuzey kolonu orta bölüme yakın yerde iç lifte kesme türü olan 'o' çatlağı alt temele doğru ilerledi. 'b' çatlağı dallandı. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $3173 \mu\text{m}$ micro strain (CH 41=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif donatı akmıştır.), $2329 \mu\text{m}$ micro strain (CH 42= Doğu cephesi kiriş sol mesnet alt lif donatı akmıştır.), $2135 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç donatı lifi akmaya çok yakın ama akmamıştır), $3334 \mu\text{m}$ micro strain (CH 37=Doğu cephesi güney kolonu alt bölge iç lif donatı akmıştır). 14. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 22.34 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 52.26 kN olmuştur. Doğu cephesi kiriş sol mesnet üst lif 'k' çatlağı alt mesnete doğru ilerledi $w=1.2$ mm. Doğu cephesi güney kolonu temel bölgesinde 'c' çatlağı çok büyüdü, temel kolon ayrışmaları arttı. Doğu cephesi kuzey kolonu temel bölgesi 'e' çatlağı arttı, temel kolon ayrışmaları arttı. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2249 \mu\text{m}$ micro strain (CH 44=Doğu cephesi kiriş sol üst mesnet donatı lifi akmıştır.), $2237 \mu\text{m}$ micro strain (CH 45=Batı cephesi kiriş sağ üst mesnet donatı lifi akmıştır.), $2414 \mu\text{m}$ micro strain (CH 48=Doğu cephesi güney kolonu üst bölge dış donatı lifi akmıştır.). 15. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 28.38 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 54.18 kN olmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge birleşim bölgesi iç betonu ezilmiştir. Batı cephesi kiriş sağ mesnet alt taraf 'j' çatlağı ilerlemiştir. Doğu cephesi kiriş sol mesnet alt taraf p kesme çatlağı oluşmuştur $w=0.4$ mm. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değerleri $2065 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif). 15. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 29.18 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 53.75 kN olmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu birleşim bölgesi ezilmiştir. Batı cephesi güney kolonu orta bölge 'm' kesme çatlağı ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölgede kesme çatlağı 'o' çatlağı oluşmuştur, $w=0.3$ mm. 16. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 36.62 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 49.90 kN olmuştur. Güney ve kuzey kolonların

görelî kat ötelemeleri çok büyüktür. Tüm kiriş-kolon birleşim bölgelerinde ‘x’ kesme çatlakları oluşmuştur. Doğu cephesi kiriş sağ mesnet üst bölgede ‘r’ çatlağı oluşmuştur $w=1.3$ mm. 16. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 36.54 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 48.49 kN olmuştur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge j’ kesme çatlağı ilerlemiştir. Temel kolon birleşimleri ezilmiştir. Kalkmalar olmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst bölgede kesme çatlağı olan ‘o’ çatlağı ilerlemiştir. 17. itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 43.54 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 44.78 kN olmuştur. Kolon temel seviyelerinde donatılarda burkulma görülmüş ve iç çekirdek betonları ezilmiştir. 17. çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 47.24 mm ulaşıldığında, maksimum yatay yük 41.63 kN olmuştur. Deney sonlandırılmıştır. Bu durumda çerçeve ileri hasardadır. Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.2 , Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 : Numune 1 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 1 / 1C15			
Ötelen me Oranı (%)	Tepe yerdeğiştir me δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	14.67/-21.20	ilk eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm kolon üst bölgesi çekme yüzünde meydana geldi
0.2	± 1.8	25.96/-29.44	yeni eğilme ve kesme çatlakları $w < 0.1$ mm hem kolon üst bölgede hem de kolon temel birleşiminde meydana geldi
0.5	± 4.50	41.34/-41.23	kolonun üst çekme yüzünde daha önce oluşan eğilme çatlakları ilerledi ve çatlak genişliği $w = 0.3$ mm oldu. Kolonun üst bölgesinde kesme çatlağı $w = 0.4$ mm oldu.
0.8	± 7.2	47.32/-44.25	Bazı eğilme çatlakları dallandı ve kesme çatlağına döndü. Yeni meydana gelen kesme çatlaklarının genişliği $w = 0.2$ mm oldu
1	± 9	50.42/-47.61	Önceki çatlaklar ilerledi, genişledi ve dallandı. Kolon temel yüzünde eğilme çatlağı genişliği $w = 1$ mm oldu. Ayrıca kiriş-kolon birleşim bölgesinde kesme çatlağı $w = 0.3$ mm meydana geldi.
1.5	± 13.5	57.19/-53.82	Önceki çatlaklar ilerledi, genişledi ve dallandı. Kolon üst bölgesindeki kesme çatlağı genişliği $w = 2$ mm oldu. Ayrıca kiriş alt bölgesinde kesme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana geldi ve kolon orta bölgesinde yeni eğilme çatlakları $w = 0.1$ mm meydana geldi. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde betonda ezilmeler başladı.

Çizelge.4.2 (devam) : Numune 1 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 1 / 1C15			
Ötelen me Oranı (%)	Tepe yerdeğiştir me δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemle
2	± 18	58.59/-52.81	Yeni kesme çatlakları hem kirişte hem de kolonda meydana gelmiştir. Kolon temel bölgesinde düşey çatlaklar meydana geldi. Kolon temel basınç bölgesinde ezilmeler başladı.
2.5	± 22.5	54.92/-52.26	Kesme çatlağı genişliği $w=2.2$ mm e çıktı. Hem kiriş-kolon birleşiminde hem de kolon temel bölgesinde betonda ezilmeler başladı.
3	± 27	54.18/-53.75	Kesme çatlakları ilerledi ve genişledi. Kiriş alt yüzeyinde yeni kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde çekirdek betonda ezilme meydana gelmiştir.
3.5	± 31.5	51.20/-50.40	Kesme çatlakları ilerledi ve genişledi Kolonun çekme ve basınç yüzeylerinde betonda dökülmeler başladı.
4	± 36	49.90/-48.49	Kolon üst ucu ile temel arasında büyük görelî kat ötelemeleri meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde kesme çatlakları meydana gelmiştir.
5	± 45	44.78/-41.63	Kolonun alt temel bölgesinde, boyuna donatılarda burkulma olmuştur ve çekirdek beton ezilmiştir. Deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir.



Şekil 4.18 : 1 Nolu deney -22.50 mm çekme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.19 : -28.50 mm çekme çevrimi batı cephesi



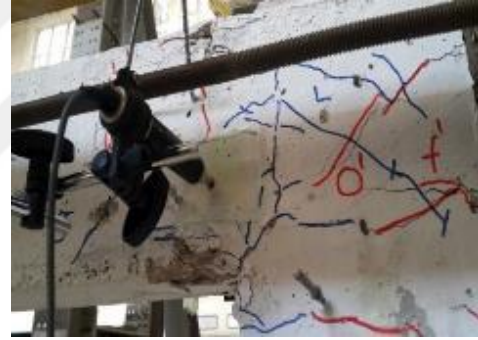
Şekil 4.20 : +43.50 mm
itme çevrimi doğu
cephesi, ileri hasar



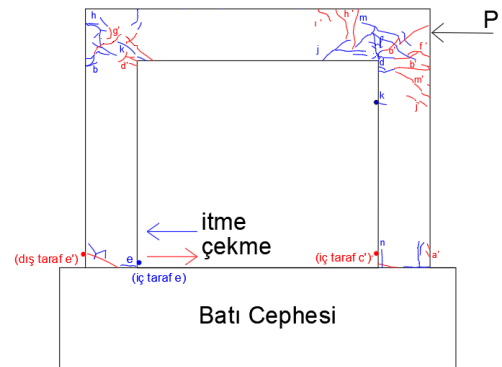
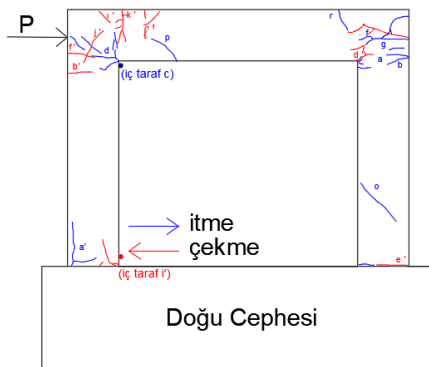
Şekil 4.21 : -43.50
mm çekme çevrimi
batı cephesi, ileri
hasar



Şekil 4.22 : Numune 1 ileri hasar doğu
cephesi

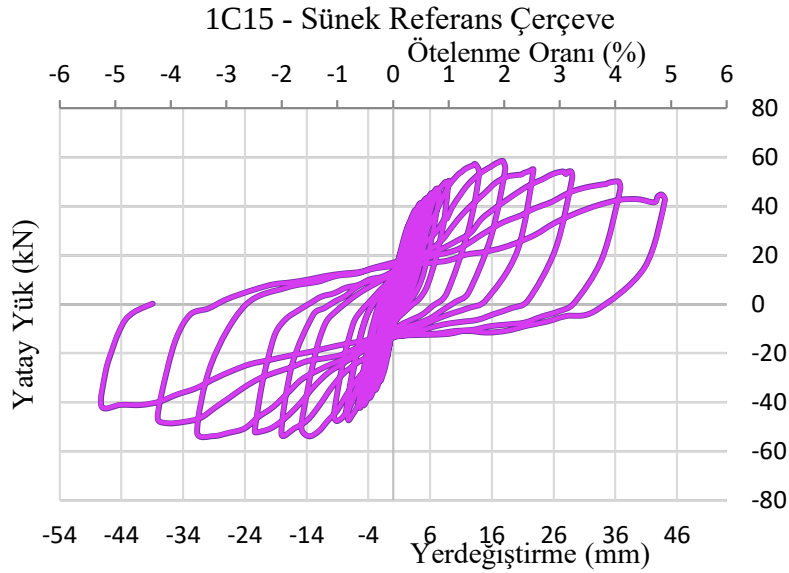


Şekil 4.23 : Numune 1 ileri hasar batı
cephesi

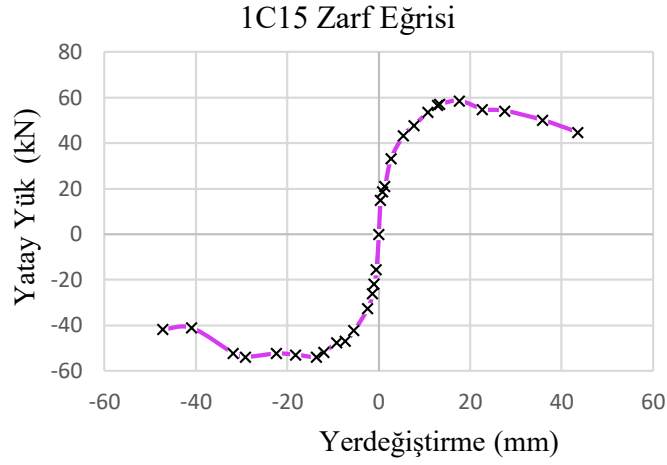


Şekil 4.24 : Numune 1 / 1C15 Sünek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar,
genişlikleri ve yerleri

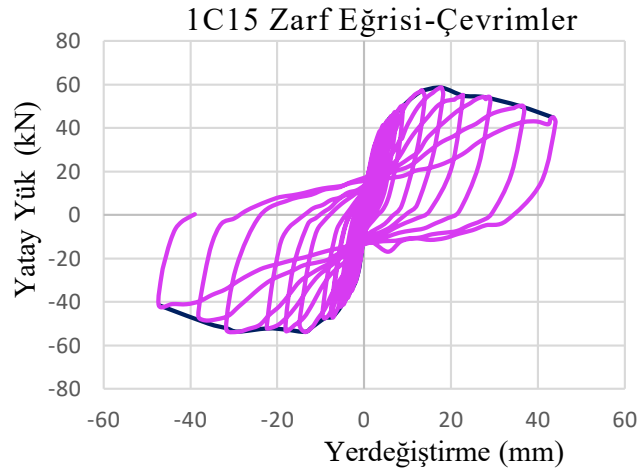
Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi ve kolon uçlarında önce eğilme, ileri hasarlarda ise kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.24). Deney sonunda elde edilen verilerden, çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.25), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.25), zarf eğrisi (Şekil 4.26), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.27), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.28), rijitlik (Şekil 4.29) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.30), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.31), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.32) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



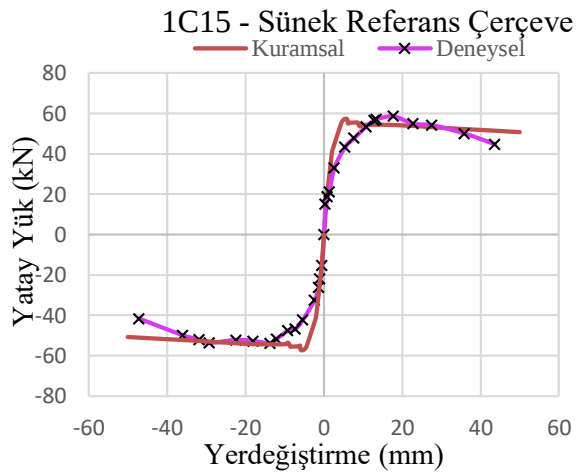
Şekil 4.25 : 1C15 Numune Yatay yük- Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%) Grafiği



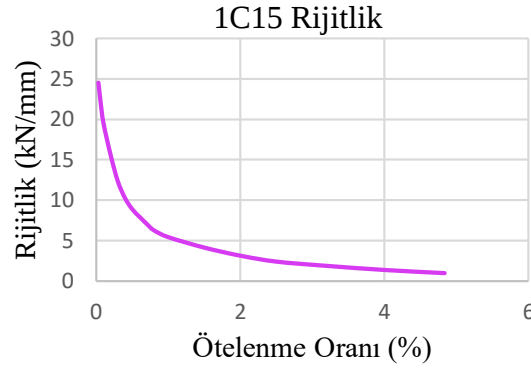
şekil 4.26 : 1C15 Numune Zarf Eğrisi



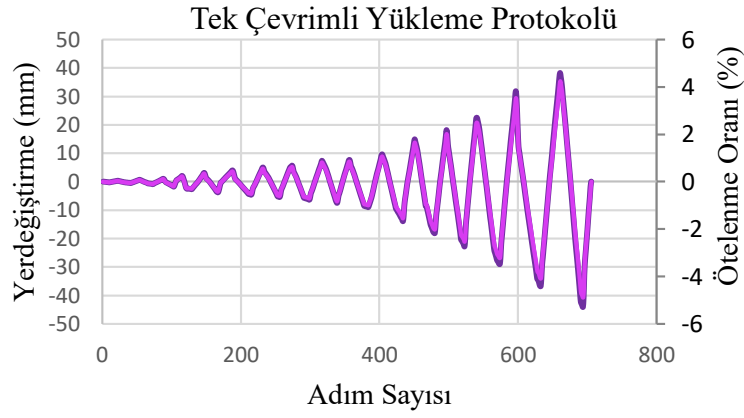
şekil 4.27 : 1C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



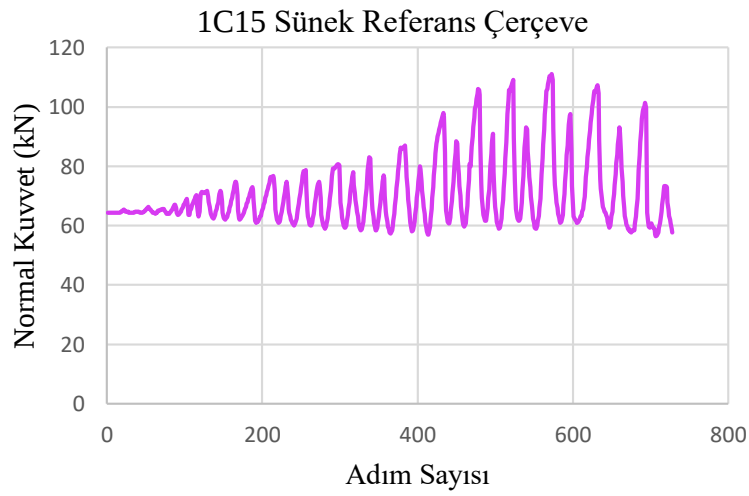
şekil 4.28 : 1C15 in Nümerik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması



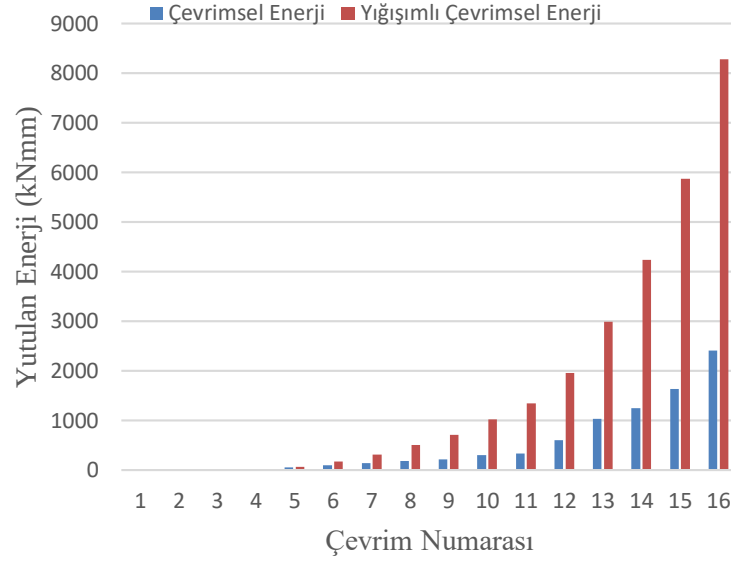
Şekil 4.29 : 1C15 Numune Rijitlik değişimi



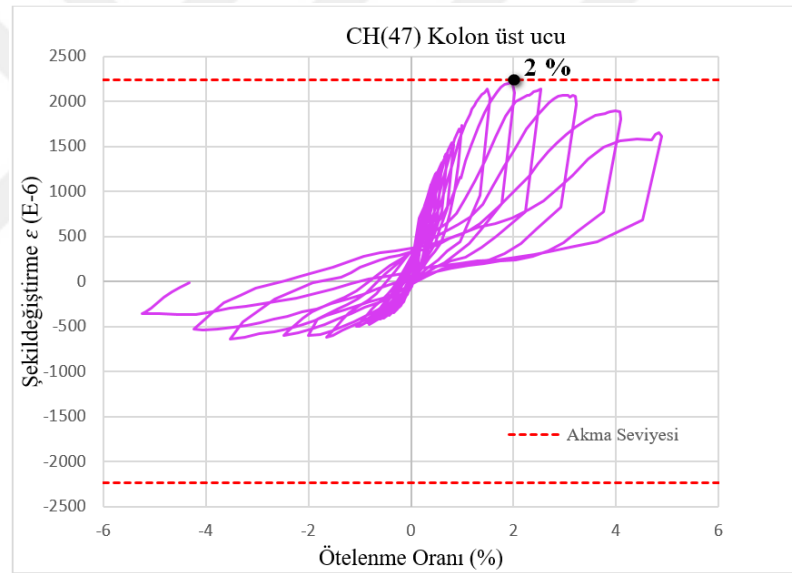
Şekil 4.30 : 1C15 Numune Yükleme Fonksiyonu



Şekil 4.31 : 1C15 Numune Normal Kuvvet-Adım sayısı



Şekil 4.32 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 8281 kNmm



Şekil 4.33 : 1C15 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

47 nolu kanalın bağlı olduğu kolonda boyuna donatı akmaya 2% ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) değerini aşarak ulaşmıştır (Şekil 4.33).

4.3 Numune 2 (2C15 Gevrek Referans Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.34).

		itme			çekme
		→ +			← -
Çevrim No	Tepe yd. mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. mm	Çekme	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.24)	+3.33	-0.27(-0.3)		-3.19
2	+0.54(+0.56)	+6.59	-0.54(-0.58)		-5.83
3	+0.9(+1.06)	+10.15	-0.9(-0.96)		-8.91
4	+1.8(+1.86)	+14.51	-1.8(-1.82)		-14.57
5	+2.7(+2.72)	+19.06	-2.7(-2.84)		-20.28
6	+3.6(+3.54)	+22.3	-3.6(-3.54)		-22.84
7	+4.5(+4.54)	+25.68	-4.5(-4.42)		-29.85
8	+5.40(+5.40)	+24.97	-5.40(-5.36)		-32.70
9	6.30(6.84)	+28.77	-6.30(-6.36)		-34.67
10	7.2(+7.28)	+28.78	-7.20(-7.16)		-35.42
11	9.0(+9.02)	+31.99	-9.0(-8.98)		-38.46
12	13.5(+13.48)	+37.35	-13.50(-13.44)		-42.24
13	18.0(+17.84)	+38.89	-18.0(-18.08)		-42.26
14	22.5(+22.82)	+40.05	-22.5(-22.46)		-40.69
15	28.5(+28.52)	+38.34	-28.50(-28.46)		-38.95
16	36.0(+36.68)	+34.41	-36.0(-36.50)		-38.89
17	43.5(+42.08)	+28.57	-43.5(-41.14)		-35.29

Şekil 4.34 : 2C15 Sünek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri

Numune 2, referans çerçeve olarak, güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi ve sünek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 17 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede ‘a’<0.1 mm ilk kılcal eğilme çatlağı ve ‘b’ kesme çatlağı $w<0.1$ mm 6. itme çevriminde batı ve doğu cephesinde aynı anda güney kolonu üst bölgesi iç lifte oluşmuştur. 6.itme çevriminde batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde c $w<0.1$ mm kılcal düşey çatlak oluşmuştur. 6. Çekme çevriminde a’ eğilme çatlağı $w<0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifte oluşmuş, b’ kesme çatlağı $w<0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifte meydana gelmiştir. 7.itme çevriminde 4.54 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 25.68 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu itme

çevriminde b kesme çatlağı doğu cephesi güney kolonu üst bölgede birleşim bölgesine doğru çatallanarak ilerlemiş, çatlak genişliği $w=0.2$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst bölgede eğilme çatlağı a ise 2.kez ilerlemiş ve çatlak genişliği $w=0.1$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolonu alt bölgede temel seviyesinde d eğilme çatlağı oluşmuştur. 7.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 4.42 mm e ulaşıldığında 29.85 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde, doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede c' kesme çatlağı $w=0.1$ mm oluşmuş ve b' çatlağı 2.kez ilerlemiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge dış lifte d' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesi iç lifte e' kesme çatlağı oluşmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1344 μm micro strain (CH 35=batı cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. 8.itme çevriminde 5.40 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 24.97 kN dur. Bu çevrimde doğu cephesi güney kolonu üst bölgede eğilme çatlağı a ilerlemiş ve çatlak genişliği $w=0.2$ mm olmuştur. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesi dış lifte e çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. 8.çekme çevriminde doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede c' kesme çatlağı $w=0.1$ mm 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte f' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölge dış lifte g' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu alt bölge dış lifte e' kesme çatlağı 2.kez ilerlemiştir. a' eğilme çatlağı burada dallanarak kesme çatlağına dönüşmüştür. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 3184 μm micro strain (CH 52=Doğu cephesi kiriş sağ mesnet alt lif akmıştır.) düzeyindedir. 9.itme çevriminde 6.84 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 28.77 kN dur. Bu çevrimde doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede f kesme çatlağı $w=0.1$ mm oluşmuştur.

Doğu cephesi güney kolonu üst bölge iç lifteki mevcut a eğilme çatlağı dış life doğru 3.kez ilerlemiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge iç lifteki mevcut b kesme çatlağı dış life doğru 3.kez ilerlemiştir, çatlak genişliği $w=0.2$ mm dir. Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lifteki mevcut b çatlağı dış life doğru 2.kez ilerlemiştir, çatlak genişliği $w=0.2$ mm dir. Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lifteki mevcut a çatlağı dış life doğru 3.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu alt bölge dış lifteki mevcut c çatlağı dallanarak ilerlemiştir, çatlak genişliği $w=0.3$ mm dir. Buradaki d eğilme çatlağı ise ilerleyip c ile birleşmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1781 μm micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst

bölge iç lif) düzeyindedir. 9.çekme çevriminde 6.36 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 34.67 kN dur. Bu çevrimde doğu cephesi güney kolonu üst bölge dış lifte g' kesme çatlak w=0.1 mm oluşmuştur. Doğru cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifteki mevcut b' kesme çatlak 3.kez ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgedeki f' kesme çatlak 2.kez ilerlemiş ve kolonun iç lifine ulaşmıştır. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgedeki a' kesme çatlak 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1690 μm micro strain (CH 35=Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif) düzeyindedir. 10.itme çevriminde 7.28 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 28.78 kN dur. Bu çevrimde doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde e düşey çatlak ilerlemiş ve çatlak genişliği w=0.5 mm olmuştur. Doğru cephesi giriş sağ mesnet üst lifinde eğilme çatlak h w=0.1 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesindeki d eğilme çatlak ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1846 μm micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif). 10.çekme çevriminde 7.16 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 35.42 kN dur. Doğru cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifteki mevcut b' kesme çatlak 4.kez ilerlemiştir. Doğru cephesi güney kolonu üst bölge dış lifteki g' çatlak 2.kez ilerlemiş ve çatlak genişliği w=0.1 mm dir. Doğru cephesi giriş sol mesnet üst lifte h' çatlak w=0.2 mm oluşmuştur. Doğru cephesi güney kolonu üst bölge dış lifteki d' çatlak 2.kez ilerlemiş ve çatlak genişliği w=0.1 mm dir. Doğru cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde kesme çatlak olan e' çatlak iç liften dış life doğru w=0.2 mm 3.kez ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte f' kesme çatlak w=0.2 mm 3.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesi i' kesme çatlak oluşmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst bölge dış lifteki g' çatlak 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi giriş sağ mesnet üst lifinde j' eğilme çatlak w=0.1 mm oluşmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifteki a' çatlak dış life doğru 3.kez ilerlemiş ve çatlak genişliği w=0.3 mm olmuştur. Doğru cephesi kuzey kolonu üst bölgede c' kesme çatlak w=0.2 mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1777 μm micro strain (CH 35= Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif). 11.itme çevriminde 9.02 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 31.99 kN dur. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel seviyesi iç lifte i eğilme çatlak w=0.2 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lifteki mevcut b kesme çatlak dış life doğru 3.kez ilerlemiştir, çatlak genişliği w=0.2 mm dir. Batı cephesi güney kolonu alt bölge dış lifteki mevcut c çatlak dallanarak 3.kez ilerlemeye

devam etmiş ve temel düzeyinde hasarlar belirgin hale gelmeye başlamıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2115 μm micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif akmaya yaklaşmıştır). 11.çekme çevriminde 9.04 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 38.26 kN dur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifteki b' kesme çatlağı dallanarak ilerlemiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge c' kesme çatlağı ilerlemiştir ve f' kesme çatlağı ile birleşmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifteki a' çatlağı $w=0.3$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesindeki i' çatlağı 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi kiriş sağ mesnet üst lifteki j' çatlağı 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2035 μm micro strain (CH 35= Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif akmaya yaklaşmıştır). 12.itme çevriminde 13.48 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 37.35 kN dur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif j kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge k eğilme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte l kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölge iç lifte ı çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu alt bölge dış lifteki mevcut c çatlağı dallanarak 4.kez ilerlemeye devam etmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2623 μm micro strain (CH 40= Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif akmıştır). 2325 μm micro strain (CH 47= Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif akmıştır). 7213 μm micro strain (CH 48= Batı cephesi güney kolonu üst bölge iç lif akmıştır). 12.çekme çevriminde 13.44 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 42.24 kN dur. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesi e' kesme çatlağı 4.kez ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifte b' çatlağı 5.kez ilerlemiş ve çatlak genişliği $w=0.5$ mm olmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge l' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölgede k' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge a' kesme çatlağı $w=0.4$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolonu alt bölge iç lifte m' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 4669 μm micro strain (CH 35= Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif akmıştır). 2237 μm micro strain (CH 41=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lif akmıştır). 13.itme çevriminde 17.92 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 38.67 kN dur. Doğu cephesi kiriş sağ mesnet orta lifinde kesme çatlağı n $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge j kesme

çatlağı $w=0.3$ mm 2.kez dış liften iç life doğru ilerlemiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif k eğilme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel seviyesi iç lifte ı eğilme çatlağı $w=0.2$ mm dallanmıştır. Kuzey kolonu temel seviyesinde kabuk kalkmaları gözlenmiştir. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde c ve d çatlakları $w=1$ mm büyümüş ve dallanarak ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölgedeki b eğilme çatlağı $w=0.3$ mm 4.kez ilerleyip iç liften dış life kadar ulaşmıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2056 μm micro strain (CH 59= Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif akmaya yaklaşmıştır). 13.çekme çevriminde 18.08 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 42.26 kN dur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge dış lifte n' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Bu bölgedeki g' kesme çatlak genişliği $w=0.6$ mm olmuş ve ilerlemiştir. Doğu cephesi giriş sol mesnet üst lifindeki h' çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu alt bölge iç lifte m' kesme çatlağı $w=0.3$ mm 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1831 μm micro strain (CH 37=doğu cephesi güney kolonu alt iç lif) düzeyindedir.14.itme çevriminde 22.82 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 40.05 kN dur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge a çatlağı iç liften dış life kadar ilerlemiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge n çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Doğu cephesi giriş sağ mesnet üst lifindeki m çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolonu üst iç lifteki b kesme çatlak genişliği $w=0.7$ mm olmuş ve ve birleşim bölgesinden göçme öncesi büyük bir ses gelmiştir. Kuzey ve güney kolon temel birleşimlerinde ciddi açılmalar $w=4$ mm çatlaklar meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolon alt temel bölgesinde c ve d çatlakların olduğu dış lif betonu kabuk betonu kopmuş iç beton çekirdek ezilmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 7381 μm micro strain (CH 59= Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif akmıştır). 14.çekme çevriminde 22.46 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 40.69 kN dur. Doğu cephesi kuzey kolonu orta bölde o' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge b' çatlak genişliği $w=1.3$ mm olmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesindeki k' kesme çatlağı $w=0.8$ mm e çıkmış ve kabuk atmaları gözlenmiştir. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesindeki kesme çatlağı m' ilerlemiştir. 15.itme çevriminde 28.52 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 38.34 kN dur. Doğu cephesi kuzey kolonu orta bölde o kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Güney kolonu temelle birleştiği bölgelerde göçme

başlangıcı oldu. Batı cephesi kuzey kolon orta bölgede p kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Batı cephesi güney kolon üst bölgede r kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Batı cephesi kuzey kolon kiriş birleşim bölgesinin kabuğu atmıştır. 15.çekme çevriminde 28.46 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 38.95 kN dur. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde m' kesme çatlağı $w=0.9$ mm olup dallanmıştır. 16.itme çevriminde 36.68 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 34.41 kN dur. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgede e çatlağı $w=2.3$ mm çatlak genişliğine ulaşmış. Kabuk beton kopmuş iç çekirdek beton ezilmiştir. Donatılarda burkulma (c ve d çatlaklarının olduğu yerdeki dış lif donatısı) gözlenmiştir. Kolon üst ucu ile temel alt noktası arası büyük görelî kat ötlemeleri meydana gelmiştir (ötelenme oranı %4). Doğu cephesi kuzey kolon alt temel bölgesinde kabuk betonlar atmış. İç lif donatıda burkulma olmuştur. İç çekirdek beton ezilmiştir. 16.çekme çevriminde 36.50 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 38.89 kN dur. Doğu cephesi kuzey kolon üst bölgesi iç lif tarafı kabuk beton dökülmüştür. İç çekirdek beton ezilmiştir. Batı cephesi kuzey kolon üst bölgesi iç lif tarafı kabuk beton dökülmüştür. İç çekirdek beton ezilmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2067 μm micro strain (CH 43= Batı cephesi kiriş sağ mesnet alt donatı) düzeyindedir. 17. Son itme çevriminde 42.08 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 28.57 kN dur. Doğu cephesi güney kolonu üst bölgede n çatlağı $w=0.9$ mm ilerlemiştir. Bu bölgede kabuk betonlar ezilmeye başlamıştır. 17. Son çekme çevriminde 41.14 mm hedef yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 35.29 kN dur. Burada yük sıfıra getirilip deney sonlandırılmıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2545 μm micro strain (CH 42= Doğu cephesi kiriş sol mesnet alt donatı lifi akmıştır), 2279 μm micro strain (CH 43= Batı cephesi kiriş sağ mesnet alt donatı lifi akmıştır) düzeyindedir.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri

Çizelge 4.3, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 de verilmiştir.

.

Çizelge 4.3 : Numune 2 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 2 / 2C15			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	10.15/-8.91	Çatlak gözlenmedi.
0.2	± 1.8	14.51/-14.57	Çatlak gözlenmedi.
0.5	± 4.50	25.68/-29.85	Kiriş ve kolon uçlarında kesme çatlaklar $w=0.2$ mm genişledi, ilerledi ve dallandı. Kolonun alt ve üst tarafında eğilme çatlakları $w=0.1$ mm ilerledi ve genişledi. Önceki eğilme çatlakları ilerledi. Kirişin sağ mesnet bölgesinde yeni bir eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana geldi. Kolon temel bölgesinde düşey çatlaklar $w=0.5$ mm genişledi ve ilerledi. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde kesme çatlakları $w=0.2$ mm ilerledi, genişledi ve dallandı.
0.8	± 7.2	28.78/-35.42	
1	± 9	31.99/-38.26	Kolon temel bölgesinde yeni bir eğilme çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Önceki eğilme çatlakları ilerledi ve genişledi. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde ve kolon temel bölgesinde önceki kesme çatlakları $w=0.3$ mm ilerledi, genişledi ve dallandı.
1.5	± 13.5	37.35/-42.24	Kiriş-kolon birleşim bölgesinde ve kolon temel bölgesinde önceki kesme çatlakları $w=0.5$ mm ilerledi, genişledi ve dallandı. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde yeni bir kesme çatlağı $w=0.2$ mm ve kolon üst ucunda X kesme çatlağı meydana geldi.
2	± 18	38.67/-42.26	Kiriş ve kolon uç bölgelerinde önceki kesme çatlakları $w=0.6$ mm ilerledi, genişledi ve dallandı. Kiriş üst bölgesinde yeni bir kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana geldi. Kiriş ve kolon uç bölgelerinde önceki eğilme çatlakları $w=0.3$ mm ilerledi ve genişledi. Düşey ve eğilme çatlağı birleşti.

Çizelge 4.3. (devam) : Numune 2 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

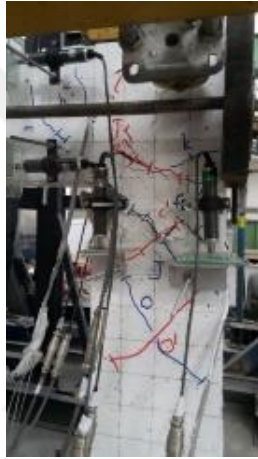
Numune 2 / 2C15			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
			Kolon temel bölgesinde kesme çatlağı $w=4$ mm oldu. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde kesme çatlağı $w=0.8$ mm oldu.
2.5	± 22.5	40.05/-40.69	Kolon orta bölgede yeni bir kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Kabuk betonda dökülmeler başladı. Kolon temel bölgesindeki çekirdek betonda ezilmeler başladı.
3	± 27	38.34/-38.95	Kolon orta bölgede yeni bir kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana geldi. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde ve kolon temel bölgesinde kabuk betonlar döküldü.
3.5	± 31.5	36.10/-38.94	Kolon orta bölgede yeni kesme çatlağı meydana geldi. Kolon temel bölgesinde önceki kesme çatlakları $w=0.9$ mm genişledi ve dallandı. Kesme çatlakları ilerledi, genişledi ve dallandı.
4	± 36	34.40/-38.90	Kolon temel bölgesinde çekme yüzeyi ve basınç yüzeyinde kabuk betonlar döküldü. Kolon üst ucunun temele göre büyük görelî yerdeğiştirmeler meydana geldi. Kolon temel bölgesinde kesme çatlağı $w=2.3$ mm oldu, betonda ayrışmalar gözlemlendi ve boyuna donatıda burkulma meydana geldi.
5	± 45	28.57/-35.29	Çekirdek beton ezilmiştir. Deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir.



Şekil 4.35 : +42 mm itme çevrimi doğu cephesi



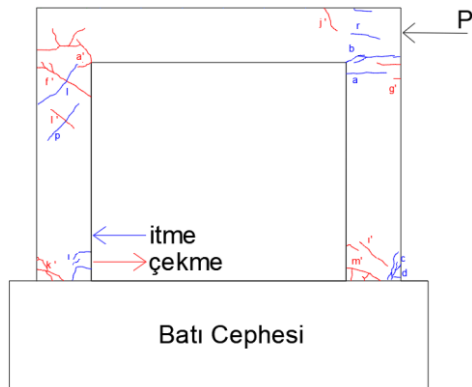
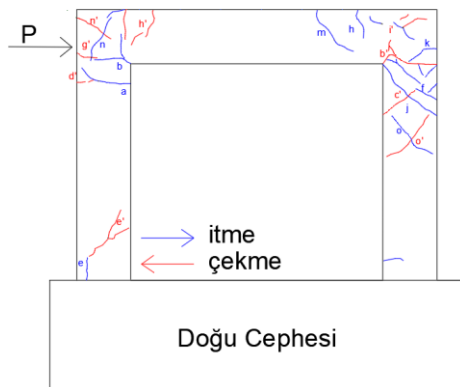
Şekil 4.36 : Güney kolonu alt temel bölgesi ileri hasarı, donatıda burkulma



Şekil 4.37 : Numune 2 ileri hasar doğu cephesi kuzey kolonu(kesme çatlakları)

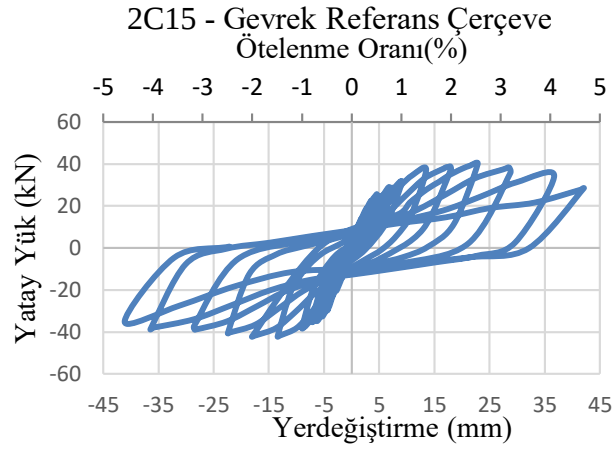


Şekil 4.38 : Numune 2 ileri hasar batı cephesi kuzey kolon temel birleşim bölgesi kabuk beton ezilmesi, donatı burkulması

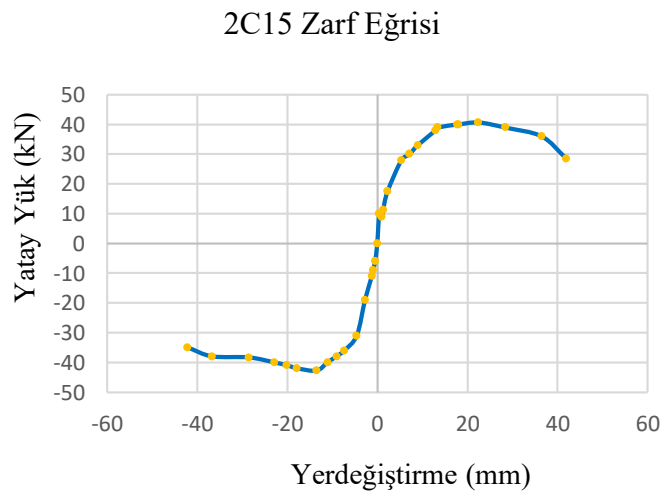


Şekil 4.39 : Numune 2 / 2C15 Gevrek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Kolon üst uçlarında ve alt uçlarında plastik mafsall oluşumu meydana gelmiştir (Mekanizma durumu). Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi ve kolon uçlarında kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.39). Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.40), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.40), zarf eğrisi (Şekil 4.41), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.42), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.43), rijitlik (Şekil 4.44) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.45), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.46), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer-ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.47) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.

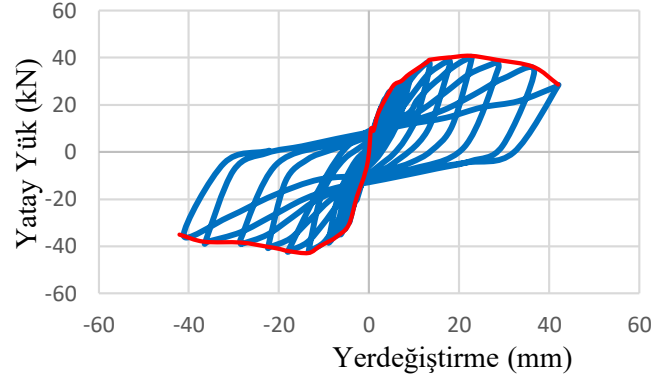


Şekil 4.40 : 2C15 Numune yatay yük – Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%) Grafiği



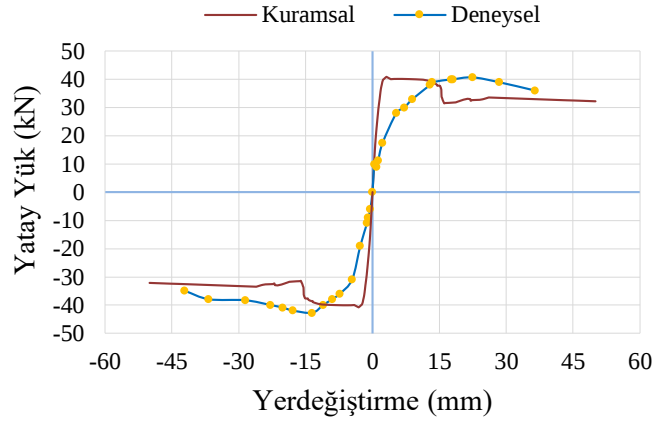
Şekil 4.41 : 2C15 Numune Zarf Eğrisi

2C15 Zarf Eğrisi



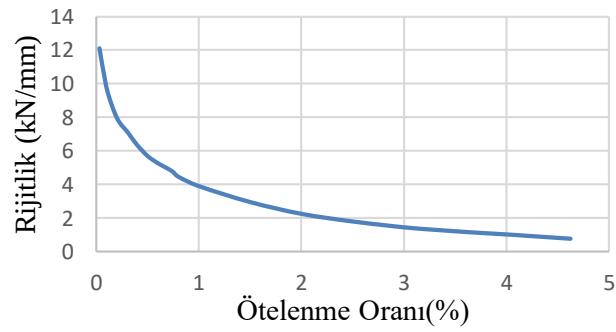
Şekil 4.42 : 2C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi

2C15 - Gevrek Referans Çerçeve



Şekil 4.43 : 2C15 Numunenin Nümerik çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

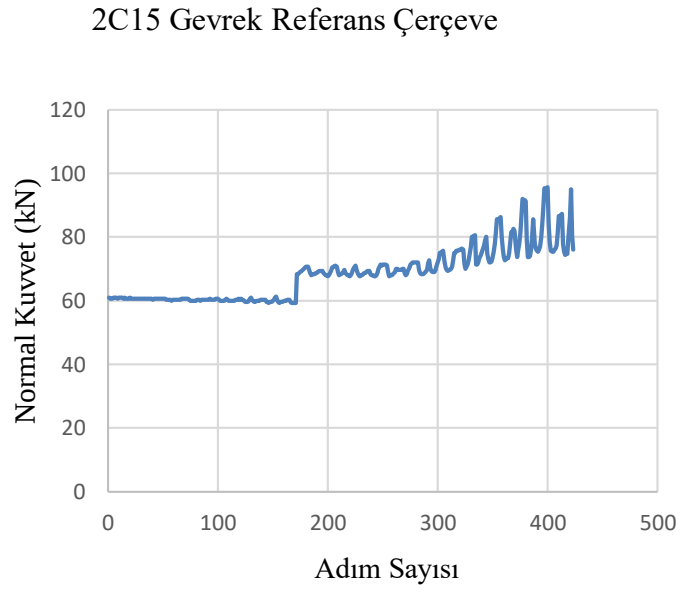
2C15 Rijitlik



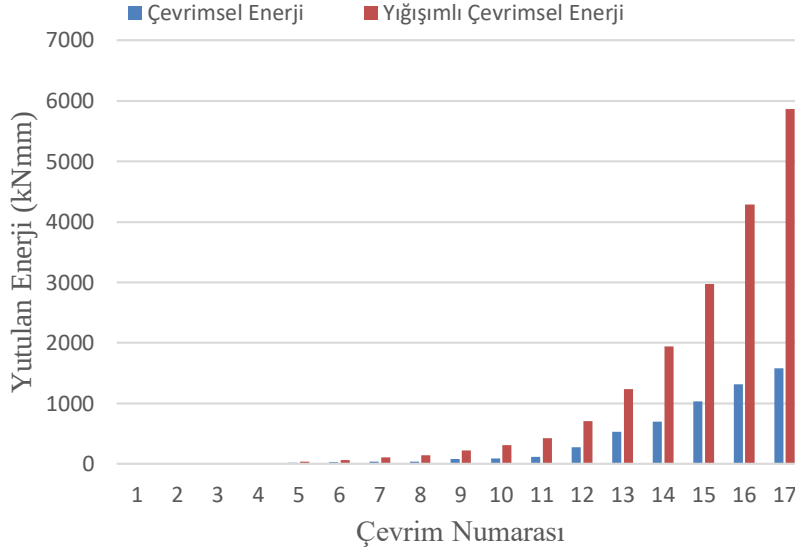
Şekil 4.44 : 2C15 Numune rijitliğinin görece kat ötelenmesi ile değişimi



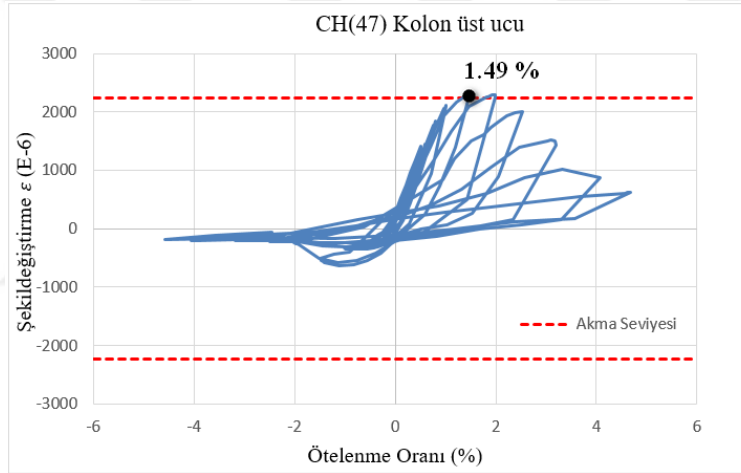
Şekil 4.45 : 2C15 Numune Yükleme Fonksiyonu



Şekil 4.46 : 2C15 Numune Normal Kuvvet- Adım Sayısı



Şekil 4.47 : 2C15 Gevrek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 5871 kNmm



Şekil 4.48 : 2C15 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

47 nolu kanalın bağlı olduğu boyuna donatı 1.49% ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) değerini aşarak akmaya ulaşmıştır (Şekil 4.48).

4.4 Numune 3 (5C26 Sünek Referans Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.49 de verilmiştir.

Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	itme	Tepe yd. Çekme mm	çekme
		→ +		← -
Uygulanan Yük (kN)			Uygulanan Yük (kN)	
1	+0.27(+ 0.28)	+8.47	-0.27(- 0.30)	-9.84
2	+0.54(+ 0.60)	+13.07	-0.54(- 0.74)	-15.44
3	+0.90(+ 0.84)	+16.00	-0.90(- 0.96)	-18.53
4	+1.80(+ 1.88)	+23.1	-1.80(- 1.84)	-24.36
5	+2.70(+ 2.94)	+28.71	-2.70(- 2.94)	-29.42
6	+3.60(+ 3.56)	+31.53	-3.60(-3.34)	-31.86
7	+4.50(+ 4.36)	+35.50	-4.50(- 4.60)	-35.97
8	+5.40(+ 5.38)	+38.50	-5.40(-5.68)	-37.42
9	+6.30(+ 6.26)	+39.68	-6.30(-6.72)	-38.31
10	+7.20(+ 7.22)	+40.91	-7.20(-7.42)	-39.09
11	+9.00(+8.84)	+44.05	-9.00(- 9.04)	-42.05
12	+13.50(+13.54)	+49.29	-13.50(- 14.08)	-47.42
13	+18.00(+ 18.44)	+53.86	-18.00(- 18.54)	-44.98
14	+22.50(+22.44)	+52.67	-22.50(- 22.30)	-53.15
15	+28.50(+ 28.64)	+58.37	-28.50(- 28.32)	-59.06
16	+36.00(+ 36.26)	+58.99	-36.00(- 35.74)	-59.46
17	+43.50(+ 43.18)	+57.98	-43.50(- 44.12)	-56.95
18	+46.80(+ 49.24)	+53.25	-46.80(- 47.20)	-51.32
19	+52.50(+ 52.00)	+47.98	-52.50(- 52.12)	-47.05

Şekil 4.49 : 5C26 Sünek Referans Çerçevenin Çevrim Bilgileri

Numune 3, referans çerçeve olarak, güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi ve gevrek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 19 tam yerdeğiştirme çevrimi(itme-çekme) tatbik edilmiştir. Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Numunede a' ilk kılcal eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm 7. çekme çevrimde batı cephesinde kuzey kolunu temel seviyesinden 12 cm yukarda oluşmuştur. 7.çekme çevrimde 4.50 mm tepe

yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 35.97 kN dur. 8.çekme çevrimde doğu cephesi güney kolonu üst bölgede kılcal eğilme çatlağı b' $w < 0.1$ mm, doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede c' kılcal kesme çatlağı $w < 0.1$ mm ve d' kesme çatlağı $w = 0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede oluşmuştur. 8.çekme çevrimde 5.40 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 37.42 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1861 μ m micro strain (CH 41=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. 9. çevrimde 6.30 mm hedef yerdeğiştirme itme çevriminde kuzey kolonu iç yüzeyde a eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm oluşmuştur. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük değeri ise 39.68 kN dur. 9. çekme çevriminde e' eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm kuzey kolonu üst iç yüzeyde oluşmuştur. 10.itme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 7.20 mm ulaşıldığında b eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede oluşmuştur. c eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt bölgede, d kesme çatlağı $w < 0.1$ mm batı cephesi kiriş sağ üst bölgesinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirmeye karşı gelen yatay yük ise 40.91 kN dur. 10.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 7.20 mm ulaşıldığında f' kesme çatlağı $w = 0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede, g' eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede oluşmuştur. 11.itme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 9.00 mm ulaşıldığında e eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede, f eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede oluşmuştur. b eğilme çatlağı $w = 0.2$ mm olmuş ve ilerlemiştir. Bu itme çevriminde a eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm ve c eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm birleşmiştir. 11.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 9.00 mm ulaşıldığında d' kesme çatlağı $w = 0.3$ mm ilerlemiştir. e' eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm ve g' eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm ilerlemiştir. Bu çevrimde yatay yük değeri ise 42.05 kN okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2260 μ m micro strain (CH 41=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir ve donatı akmıştır. 12.itme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 13.50 mm ulaşıldığında e eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm ilerlemiştir. f eğilme çatlağı $w = 0.3$ mm ilerlemiştir. g eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede oluşmuştur. h kesme çatlağı $w = 0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede oluşmuştur. 12.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirmeye 13.50 mm ulaşıldığında h' kesme çatlağı $w = 0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. c' kesme çatlağı $w = 1.1$ mm dallanarak ilerlemiştir. d' kesme çatlağı $w = 0.8$ mm dallanarak ilerlemiştir. f' kesme çatlağı ilerlemiş ve d' kesme çatlağı ile birleşmiştir. 13.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme

18.00 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 53.86 kN okunmuştur. Bu çevrimde kolon temel birleşimlerinde kalkmalar başlamıştır h kesme çatlağı ilerlemiş $w=0.6$ mm olmuştur. f eğilme çatlağı $w=1.1$ mm olmuştur. ı eğilme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. i kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede oluşmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2339 μm micro strain (CH 59=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi dış lif) düzeyindedir ve donatı akmıştır. 13.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 18.00 mm e ulaşıldığında c' kesme çatlağı ilerlemiştir. h' kesme çatlağı $w=0.2$ mm ilerlemiştir. ı' eğilme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. i' eğilme çatlağı doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. j' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kiriş sağ bölgede meydana gelmiştir. 14.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 22.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 52.67 kN okunmuştur.

Bu çevrimde i kesme çatlağı $w=2.2$ mm e ulaşmıştır. j eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kiriş sağ bölgede meydana gelmiştir. k kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt bölgede meydana gelmiştir. l kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. m kesme çatlağı $w=0.6$ mm doğu cephesi kuzey kolonu alt bölgede meydana gelmiştir. e eğilme çatlağı ve h kesme çatlağı $w=0.6$ mm ilerlemiştir. f eğilme çatlağı $w=1.2$ mm ilerlemiştir. 14.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 22.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 53.15 kN okunmuştur. k' kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. l' eğilme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. c' kesme çatlağı $w=1.2$ mm ilerlemiştir. d' kesme çatlağı $w=0.8$ mm dallanmıştır ve ilerlemiştir. g' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm ilerlemiştir. Kolon temel seviyesinde kalkmalar artmıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2306 μm micro strain (CH 45=Batı cephesi kiriş sağ bölgesi dış lif) düzeyindedir ve donatı akmıştır. 15.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 28.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 58.37 kN okunmuştur. n eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kiriş sağ bölgesinde meydana gelmiştir. o kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. p dikey çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. j eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ilerlemiştir. r eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kiriş sağ bölgede meydana gelmiştir. s kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu alt

temel bölgesinde meydana gelmiştir. ℓ kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. e eğilme çatlağı ilerlemiştir. 15.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 28.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 59.06 kN okunmuştur. m' kesme çatlağı $w=0.7$ mm batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde meydana gelmiştir. Kuzey kolonunda büyük kolon temel kalkmaları meydana gelmiştir. j' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm ilerlemiştir. b' eğilme çatlağı $w=1.2$ mm olmuştur. 16.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 36.00 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 58.99 kN okunmuştur. f eğilme çatlağı $w=2$ mm ilerlemiştir. o kesme çatlağı $w=0.2$ mm ilerlemiştir. k kesme çatlağı $w=1.4$ mm genişlemiştir. p dikey çatlağı ilerlemiştir. 16.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 36.00 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 59.46 kN okunmuştur. n' kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o' kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. f' kesme çatlağı $w=0.3$ mm 3.kez ilerlemiştir.

Kuzey kolonu temel bölgesinde kalkmalar artmıştır. 17.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 43.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 57.98 kN okunmuştur. r kesme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. s kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonunda üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. t kesme çatlağı $w=0.5$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o kesme çatlağı $w=0.2$ mm ikinci kez ilerlemiştir. 17.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 43.50 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 56.95 kN okunmuştur. j' çatlağı dallanmış ve kesme çatlağı $w=0.7$ mm olarak kiriş-kolon birleşim bölgesine ilerlemiştir. 18.itme çevriminde hedef yerdeğiştirme 46.80 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 53.25 kN okunmuştur. 18.çekme çevriminde hedef yerdeğiştirme 46.80 mm e ulaşıldığında yatay yük değeri 51.32 kN okunmuştur. Bu seviyede kolon temel bölgesinde donatılarda burkulma gözlenmiştir. j çatlağı dallanmıştır. Numune ileri hasar bölgesindedir.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.4, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Numune 3 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

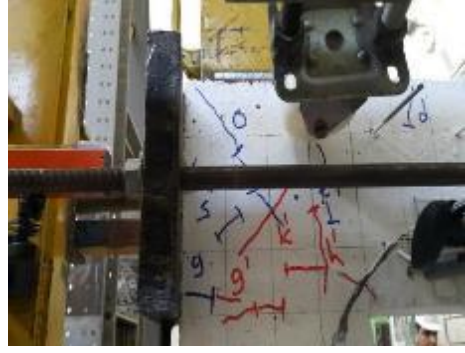
Numune 3 / 5C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	16.00/-18.53	Çatlak görülmemiştir.
0.2	± 1.8	23.10/-24.36	Çatlak görülmemiştir.
0.5	± 4.50	35.50/-35.97	a' eğilme çatlağı $w < 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu temel seviyesinde meydana gelmiştir.
0.8	± 7.2	40.91/-39.09	Bu çevrimde kılcal eğilme ve kesme çatlakları $w < 0.1$ mm kolon alt ve üst bölgelerde meydana gelmiştir.
1	± 9	44.05/-42.05	Bu çevrimde yeni kılcal eğilme çatlakları $w < 0.1$ mm kolon üst ve alt bölgelerde meydana gelmiştir. Önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme çatlaklar ilerlemiş ve $w = 0.1$ mm genişlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede kesme çatlağı $w = 0.3$ mm olmuştur. Donatı akmıştır.
1.5	± 13.5	49.29/-47.42	Bu çevrimde önceki eğilme çatlakları ilerlemiştir. Yeni kesme çatlakları kuzey ve güney kolon üst bölgede meydana gelmiştir. c' kesme çatlağı $w = 1.1$ mm dallanarak ilerlemiştir. d' kesme çatlağı $w = 0.8$ mm dallanarak ilerlemiştir. f' kesme çatlağı ilerlemiş ve d' kesme çatlağı ile birleşmiştir.
2	± 18	53.86/-44.98	Bu çevrimde kolon temel birleşimlerinde kalkmalar başlamıştır. h kesme çatlağı ilerlemiş $w = 0.6$ mm olmuştur. f eğilme çatlağı $w = 1.1$ mm olmuştur. Önceki çevrimlerde meydana gelen kesme çatlakları ilerlemiştir.
2.5	± 22.5	52.67/-53.15	Bu çevrimde batı cephesi güney kolonu üst bölgede i kesme çatlağı $w = 2.2$ mm genişlemiştir. k kesme çatlağı $w = 0.4$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt bölgede meydana gelmiştir. m kesme çatlağı $w = 0.6$ mm doğu cephesi kuzey kolonu alt bölgede meydana gelmiştir. Kolon temel seviyesinde kalkmalara artmıştır.

Çizelge 4.4 (devam) : Numune 3 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

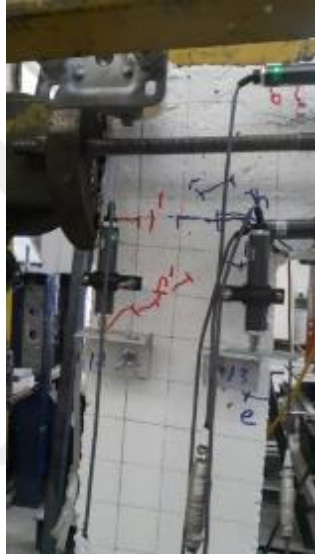
Numune 3 / 5C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
3	± 27	58.37/-59.06	Bu çevrimde önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları ilerlemiş ve dallanmıştır. Yeni kesme ve eğilme çatlakları $w=0.2$ mm kiriş-kolon birleşimlerinde meydana gelmiştir. Kuzey kolonunda büyük kolon temel kalkmaları meydana gelmiştir.
3.5	± 31.5	55.49/-55.78	Daha önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları genişleyerek ilerlemiştir.
4	± 36	58.99/-59.46	Bu çevrimde eğilme çatlakları $w=2$ mm, kesme çatlakları $w=1.4$ mm olmuştur. Kuzey kolonu temel bölgesinde kalkmalar artmıştır.
5	± 45	57.98/-56.95	Bu çevrimde yeni eğilme ve kesme çatlakları $w=0.7$ mm meydana gelmiştir. Bu seviyede kolon temel bölgesinde donatılarda burkulma gözlenmiştir.



Şekil 4.50 : -28.50 mm çekme çevrimi doğu cephesi



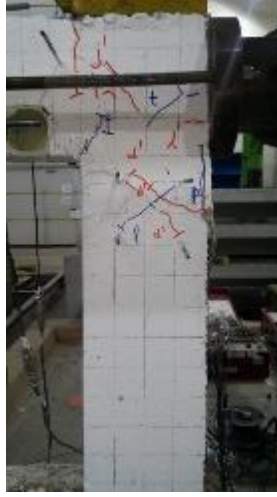
Şekil 4.51 : +43.50 mm itme çevrimi batı cephesi



Şekil 4.52 : -44 mm çekme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.53 : -44 mm çekme çevrimi batı cephesi



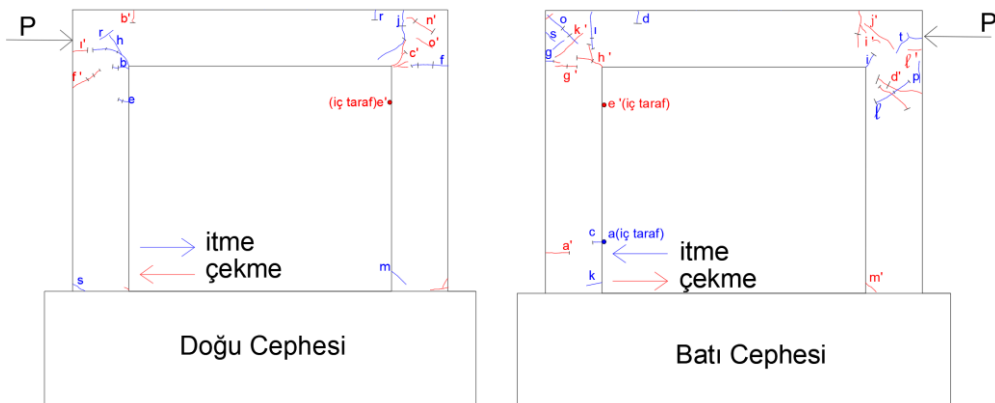
Şekil 4.54 : Deney sonu numune 3 ileri hasar batı cephesi



Şekil 4.55 : Numune 3 ileri hasar batı cephesi

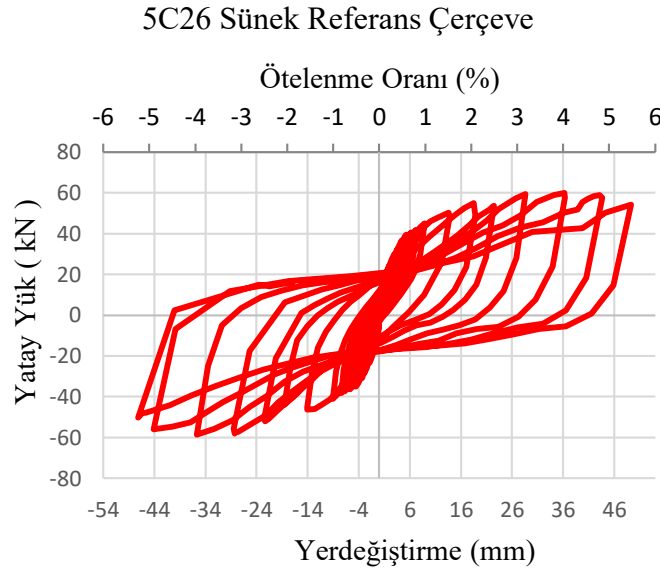


Şekil 4.56 : Numune 3 ileri hasar doğu cephesi



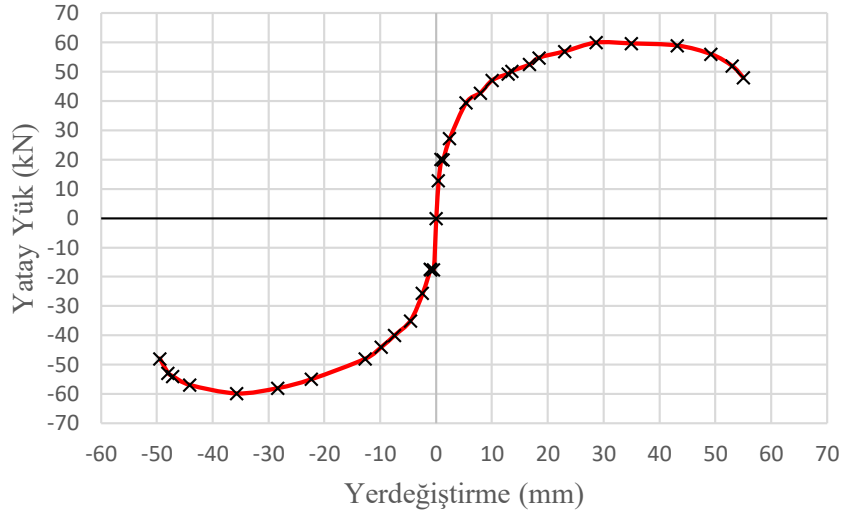
Şekil 4.57 : Numune 3 / 5C26 Sünek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi ve kolon uçlarında eğilme+kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.57). Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.58), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.58), zarf eğrisi (Şekil 4.59), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.60), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.61), rijitlik (Şekil 4.62) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.63), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.64), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer-ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.65) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



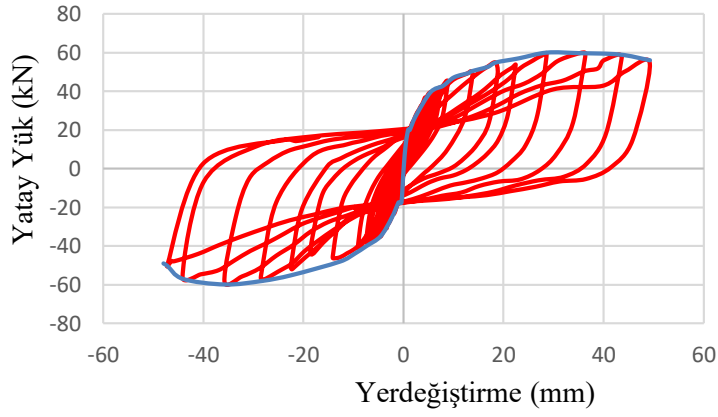
Şekil 4.58 : 5C26 Numune Yatay yük Yerdeğiştirme– Ötelenme oranı (%)

5C26 Zarf Eğrisi

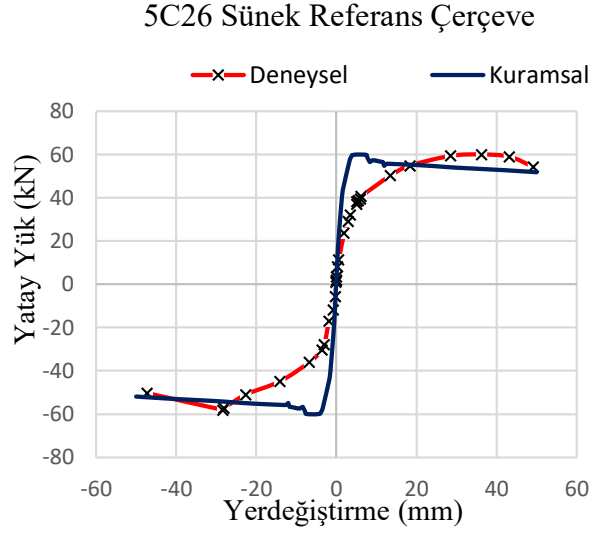


Şekil 4.59 : 5C26 Numune Zarf Eğrisi

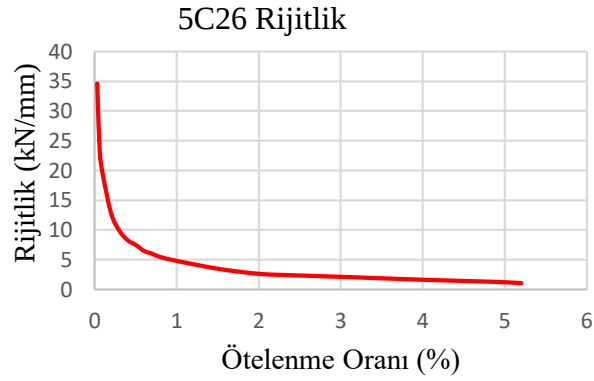
5C26 Zarf Eğrisi-Çevrimler



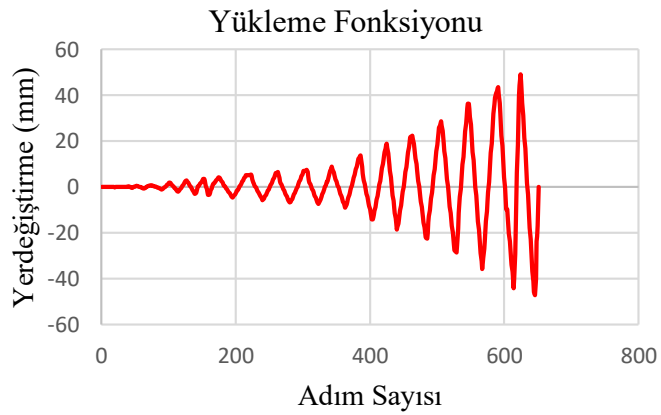
Şekil 4.60 : 5C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



Şekil 4.61 : 5C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırması

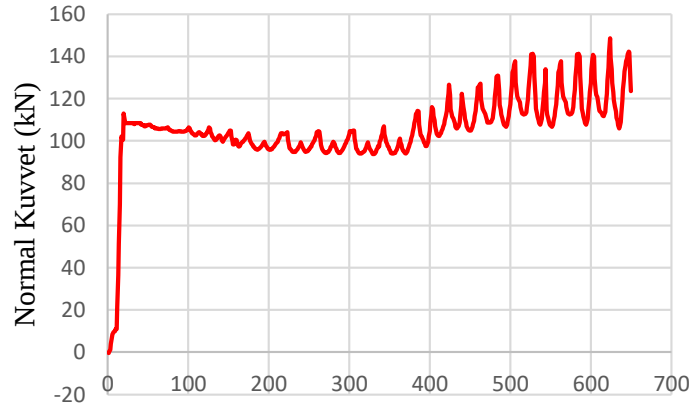


Şekil 4.62 : 5C26 Numune Rijitlik değişimi



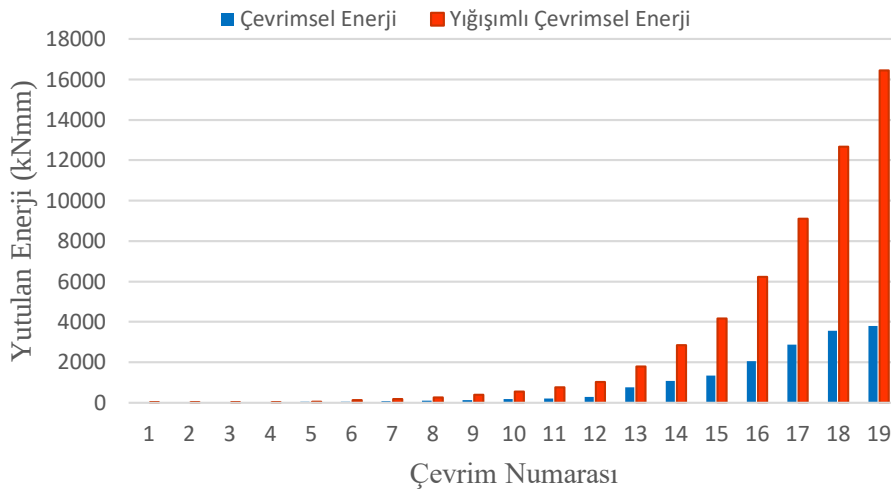
Şekil 4.63 : 5C26 Numune Yükleme Fonksiyonu

5C26 Sünek Referans Çerçeve

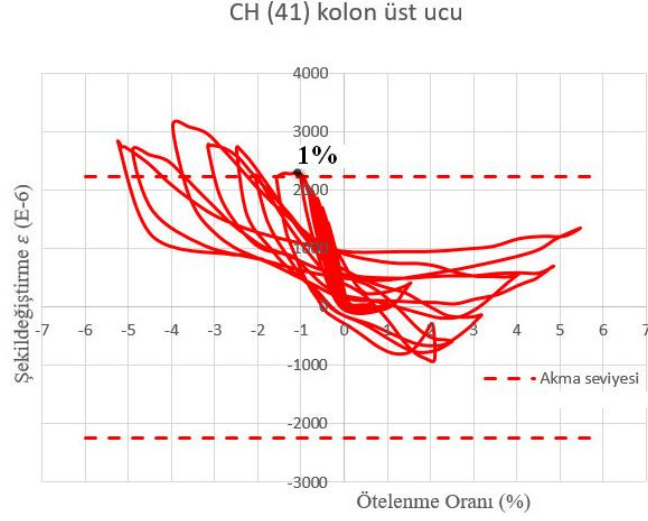


Adım Sayısı

Şekil 4.64 : 5C26 Numune Normal Kuvvet Adım Sayısı



Şekil 4.65 : 5C26 Sünek Referans Çerçeve-Yutulmuş Enerji 16457 kNmm



Şekil 4.66 : 5C26 Sünek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

41 nolu kanal bağlı olduğu kolonda boyuna donatı %1 ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) değerini aşarak akmaya ulaşmıştır (2260 $\mu\text{m/m}$ micro strain) (Şekil 4.66).

4.5 Numune 4 (6C26 Gevrek Referans Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.67 da verilmiştir.

		itme			çekme
		→+			←-
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)	
1	+0.27(+ 0.26)	+6.64	-0.27(- 0.28)	-5.42	
2	+0.54(+ 0.68)	+14.16	-0.54(- 0.66)	-10.03	
3	+0.90(+ 0.92)	+17.26	-0.90(- 0.98)	-12.71	
4	+1.80(+ 1.80)	+23.12	-1.80(- 1.88)	-19.60	
5	+2.70(+ 2.72)	+27.50	-2.70(- 2.76)	-24.41	
6	+3.60(+ 3.58)	+31.35	-3.60(-3.58)	-27.49	
7	+4.50(+ 4.48)	+34.45	-4.50(- 4.56)	-30.98	
8	+5.40(+ 5.38)	+36.95	-5.40(-5.38)	-32.39	
9	+6.30(+ 6.34)	+39.16	-6.30(-6.32)	-33.22	
10	+7.20(+ 7.22)	+41.09	-7.20(-7.22)	-33.64	
11	+9.00(+8.98)	+43.87	-9.00(- 9.0)	-34.43	
12	+13.50(+13.56)	+48.11	-13.50(- 13.50)	-38.20	
13	+18.00(+ 18.02)	+52.65	-18.00(- 18.12)	-41.17	
14	+22.50(+22.54)	+53.50	-22.50(- 22.56)	-41.29	
15	+28.50(+ 28.36)	+54.20	-28.50(- 28.74)	-43.35	
16	+36.00(+ 35.98)	+55.39	-36.00(- 36.02)	-40.77	
17	+43.50(+ 43.60)	+48.71	-43.50(- 43.48)	-34.88	

Şekil 4.67 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve Çevrim Bilgileri

Numune 4 referans çerçeve olarak, güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi ve sünek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 17 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede a' ilk kılcal eğilme çatlakları $w < 0.1$ mm 7. çekme çevriminde batı cephesi kiriş sağ bölgede meydana gelmiştir. b' eğilme çatlakları doğu cephesi güney kolonu üst bölgede ve kolon dış yüzünde meydana gelmiştir. 7.çekme çevriminde 4.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 30.98 kN dur. 8. itme çevriminde 5.40 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 36.95 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1049 μ m micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. a kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. b eğilme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst iç lifte meydana gelmiştir. c kesme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst dış lifte meydana gelmiştir. 8. çekme çevriminde 5.40 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 32.39 kN dur. c' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst iç lifte meydana gelmiştir. d' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üstte meydana gelmiştir. e' kesme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst iç yüzeyde meydana gelmiştir. f' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst dış lifte meydana gelmiştir. 9. itme çevriminde 6.30 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 39.16 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1197 μ m micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. d kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. 9. çekme çevriminde 6.30 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 33.22 kN dur. b' kesme çatlakları $w=0.1$ mm ilerlemiştir. c' kesme çatlakları genişliği $w=0.5$ mm olmuştur. g' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu alt dış lifte meydana gelmiştir. h' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt bölgede meydana gelmiştir. i' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 10. itme çevriminde 7.20 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 41.09 kN dur. a kesme çatlakları $w=0.3$ mm ikinci ilerlemiştir. e eğilme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte meydana gelmiştir. 10. çekme çevriminde 7.20 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 33.64 kN dur. ı' eğilme çatlakları $w=0.5$ mm doğu cephesi güney kolonu temel

seviyesinde meydana gelmiştir. j' kesme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 11. itme çevriminde 9.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 43.87 kN dur. a kesme çatlağı $w=0.3$ mm üçüncü kez kiriş-kolon birleşim bölgesinin içine doğru ilerlemiştir. f kesme çatlağı $w=0.4$ mm doğu cephesi güney kolonu alt kolon dış yüzeyinde meydana gelmiştir. g eğilme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst dış lifte meydana gelmiştir. h kesme çatlağı $w=0.7$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. ı kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 11. çekme çevriminde 9.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 34.43 kN dur. i' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. c' çatlak genişliği $w=0.7$ mm olmuştur. k' kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. l' kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1550 μ m micro strain (CH 35=Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. 12. itme çevriminde 13.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 48.11 kN dur. a kesme çatlağı $w=0.4$ mm dallanarak kiriş-kolon birleşim bölgesinin içine doğru dördüncü kez ilerlemiştir. g eğilme çatlağı $w=0.7$ mm olmuştur. b eğilme çatlağı $w=0.3$ mm olmuş ve dallanmıştır. i eğilme çatlağı $w=0.6$ mm batı cephesi güney kolonu alt dış lifte meydana gelmiştir. f kesme çatlağı $w=1$ mm olmuştur. 12. çekme çevriminde 13.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 38.20 kN dur. b' kesme çatlağı $w=0.4$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. m' eğilme çatlağı $w=1$ mm batı cephesi güney kolonu alt iç yüzeyde meydana gelmiştir. n' kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. Kolon temel seviyesinde kalkmalar artmıştır. j' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. k' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ikinci kez ilerlemiştir. u' eğilme çatlağı $w=1$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt dış lifte meydana gelmiştir.

13. itme çevriminde 18.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 52.65 kN dur. f kesme çatlağı $w=1.2$ mm ilerlemiş ve i eğilme çatlağı $w=1.2$ mm ile birleşmiştir. j kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. h kesme çatlağı $w=1.5$ mm ikinci kez ilerlemiştir. k kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon

birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. 13. çekme çevriminde 18.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 41.17 kN dur. k' kesme çatlağı $w=1.6$ mm olmuştur. a' eğilme çatlağı $w=0.3$ mm ikinci kez ilerlemiştir. o' eğilme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. p' kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. r' kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. h' eğilme çatlağı ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $1573 \mu\text{m}$ micro strain (CH 35=Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. 14. itme çevriminde 22.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 53.50 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $1871 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. Bu çevrimde i eğilme çatlağı $w=2.6$ mm olmuştur. l kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde iç lifte meydana gelmiştir. m kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. k kesme çatlağı $w=2$ mm ilerlemiştir. j kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. g eğilme çatlağı $w=2$ mm ilerlemiştir. 14. çekme çevriminde 22.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 41.29 kN dur. Bu çevrimde k' kesme çatlağı $w=2.3$ mm olmuştur. t' eğilme çatlağı $w=0.7$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde dış lifte meydana gelmiştir. s' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kiriş sol üst bölgede meydana gelmiştir. v' kesme çatlağı $w=0.7$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. r' kesme çatlağı $w=0.5$ mm ikinci kez ilerlemiştir. h' eğilme çatlağı $w=1.2$ mm dallanmıştır. n' kesme çatlağı $w=0.7$ mm ilerlemiştir. 15. itme çevriminde 28.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 54.20 kN dur. h kesme çatlağı $w=1.4$ mm olmuştur. g eğilme çatlağı $w=2.5$ mm olmuştur. n kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kiriş sağ üst bölgede meydana gelmiştir. a kesme çatlağı $w=0.7$ mm dallanmıştır. l kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. o dikey çatlağı $w=0.5$ mm doğu cephesi güney kolonu dış yüzeyde meydana gelmiştir. 15. çekme çevriminde 28.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 43.35 kN dur. r' kesme çatlağı $w=0.7$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. u' eğilme çatlağı $w=2$ mm dallanmıştır. k' kesme çatlağı $w=2.5$ mm olmuştur. m' eğilme çatlağı $w=2.1$ mm olmuş ve ı' eğilme çatlağı $w=2.2$ mm ile birleşmiştir. Temel kolon seviyelerinde büyük kalkmalar olmuştur. 16. itme çevriminde 36.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 55.39 kN

dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1931 μm micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. Akma olmamıştır. Bu çevrimde h kesme çatlakları $w=2$ mm dallanarak ilerlemiştir. m kesme çatlakları $w=1$ mm ilerlemiştir. j kesme çatlakları $w=0.3$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. 16. çekme çevriminde 36.00 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 40.77 kN dur. a' eğilme çatlakları $w=0.7$ mm dallanmıştır. v' kesme çatlakları $w=0.7$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. y' kesme çatlakları $w=0.5$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. t' eğilme çatlakları $w=2$ mm ilerlemiştir. s' eğilme çatlakları $w=0.3$ mm ilerlemiştir. o' kesme çatlakları $w=0.3$ mm ilerlemiştir. 17. itme çevriminde 43.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 48.71 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1706 μm micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst bölgesi iç lif) düzeyindedir. Akma olmamıştır. p dikey çatlakları $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu üst bölgede meydana gelmiştir. i ve f eğilme çatlakları $w=2.7$ mm birleşmiştir. g eğilme çatlakları $w=2.7$ mm olmuştur. Güney kolonu temel seviyesi dış lifteki donatılar burkulmuştur. 17. çekme çevriminde 43.50 mm tepe yerdeğiştirmesine denk gelen yatay kuvvet 34.88 kN dur. a' eğilme çatlakları $w=0.7$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. Kuzey kolonu temel seviyesi iç lifteki donatılar burkulmuştur. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.5, Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71, Şekil 4.72, Şekil 4.73, Şekil 4.74 de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Numune 4 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 4 / 6C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme $\delta(\text{mm})$ itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	17.26/-12.71	Çatlak görülmemiştir.
0.2	± 1.8	23.12/-19.60	Çatlak görülmemiştir.
0.5	± 4.50	34.45/-30.98	a' ilk kılcal eğilme çatlakları $w < 0.1$ mm batı cephesi kiriş sağ bölgede meydana gelmiştir.
0.8	± 7.2	41.09/-33.64	Önceki çevrimlerde meydana gelen kesme çatlakları ilerlemiştir. Kiriş-kolon birleşimlerinde kesme çatlakları meydana gelmiştir.

Çizelge 4.5 (devam) : Numune 4 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 4 / 6C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
1	± 9	43.87/-34.43	Bu çevrimde, a kesme çatlağı $w=0.3$ mm üçüncü kez kiriş-kolon birleşim bölgesinin içine doğru ilerlemiştir. f kesme çatlağı $w=0.4$ mm doğu cephesi güney kolonu alt kolon dış yüzeyinde meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşiminde a kesme çatlağı $w=0.4$ mm dallanarak ilerlemiştir. Yeni eğilme çatlakları meydana gelmiş. Önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme çatlakları genişleyerek ilerlemiştir. Kiriş-kolon birleşimlerinde yeni kesme çatlakları $w=0.2-0.3$ mm meydana gelmiştir. k' kesme çatlağı genişleyerek $w=1.6$ mm batı cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. m kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. k kesme çatlağı $w=2$ mm ilerlemiştir. Yeni eğilme ve kesme çatlakları meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşiminde h kesme çatlağı $w=1.4$ mm ve doğu cephesi kuzey kolonu üst dış lifte g eğilme çatlağı $w=2.5$ mm genişlemiştir. Temel kolon seviyelerinde büyük kalkmalar olmuştur.
1.5	± 13.5	48.11/-38.20	
2	± 18	52.65/-41.17	Önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları dallanarak ilerlemiştir. Bu çevrimde h kesme çatlağı $w=2$ mm dallanarak ilerlemiştir. m kesme çatlağı $w=1$ mm ilerlemiştir. Güney kolonu temel seviyesi dış lifteki donatılar burkulmuştur. Kuzey kolonu temel seviyesi iç lifteki boyuna donatılar burkulmuştur. Deney sonlandırılmıştır.
2.5	± 22.5	53.50/-41.29	
3	± 27	54.20/-43.35	
3.5	± 31.5	51.42/-37.14	
4	± 36	55.39/-40.77	
5	± 45	48.71/-34.88	



Şekil 4.68 : +43.5 mm itme çevrimi doğu cephesi ileri hasar durumu



Şekil 4.69 : +43.50 mm itme çevrimi doğu cephesi ileri hasar durumu



Şekil 4.70 : -43.56 mm çekme çevrimi batı cephesi ileri hasar durumu



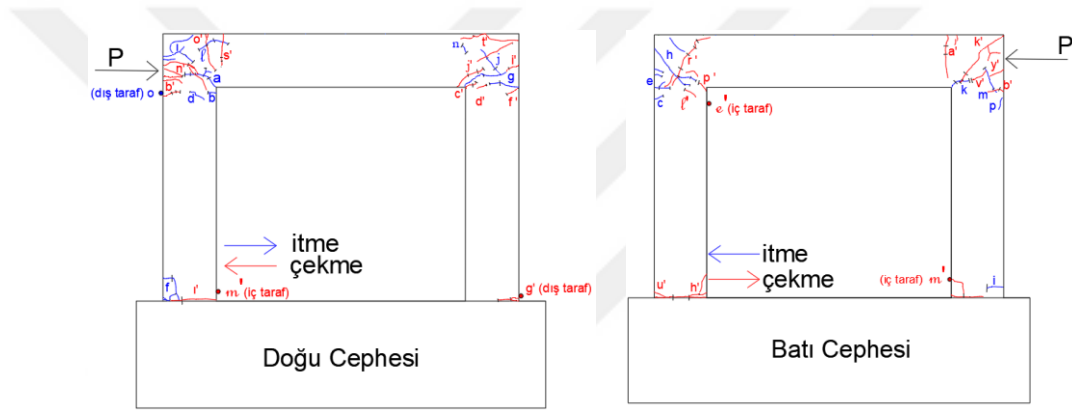
Şekil 4.71 : İleri hasar durumu güney ve kuzey kolonu temel seviyesi donatıda burkulma



Şekil 4.72 : Numune 4 ileri hasar doğu cephesi



Şekil 4.73 : Numune 4 ileri hasar batı cephesi

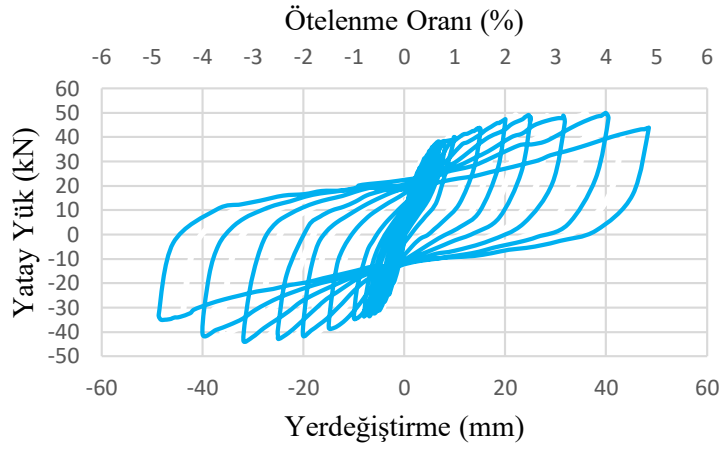


Şekil 4.74 : Numune 4 / 6C26 Gevrek Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi ve kolon altlarında kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.74).

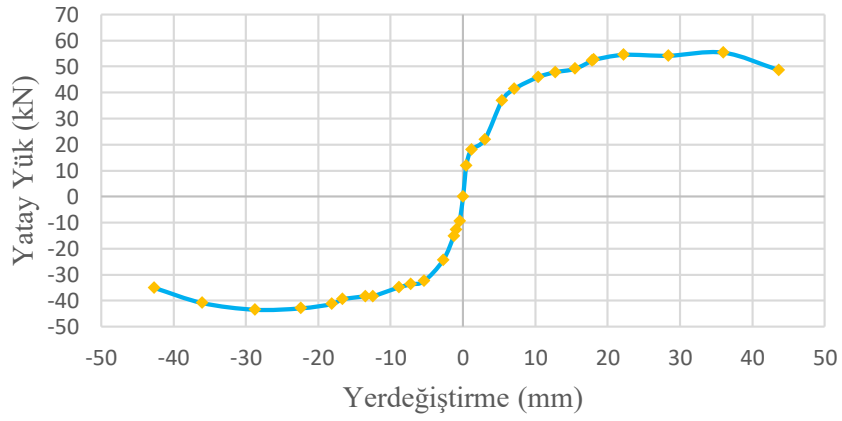
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.75), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.75), zarf eğrisi (Şekil 4.76), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.77), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.78), rijitlik (Şekil 4.79) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.80), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.81), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.82) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.

6C26 Gevrek Referans Çerçeve



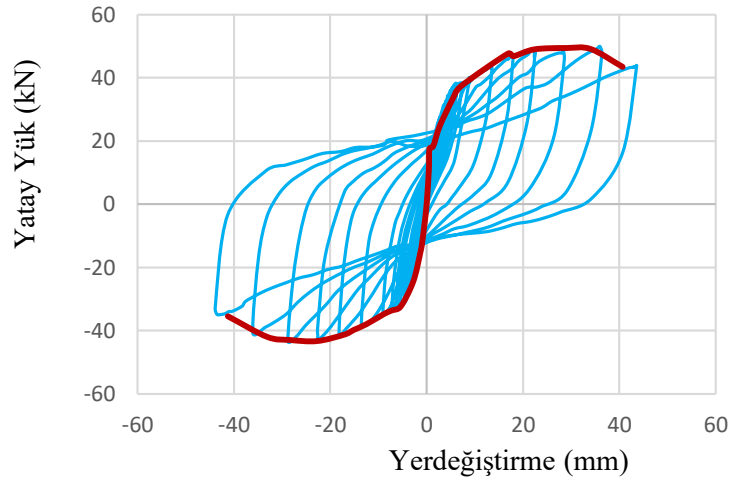
Şekil 4.75 : 6C26 Numune yatay yük - Yerdeğiştirme-Ötelenme oranı (%)

6C26 Zarf Eğrisi

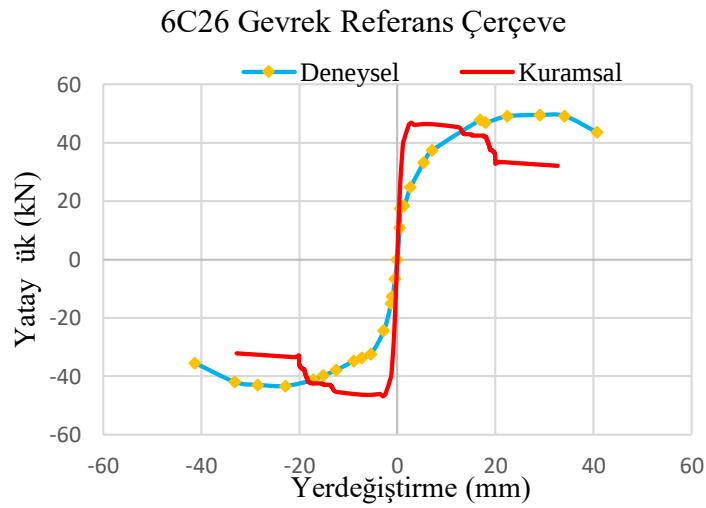


Şekil 4.76 : 6C26 Numune Zarf Eğrisi

6C26 Zarf Eğrisi

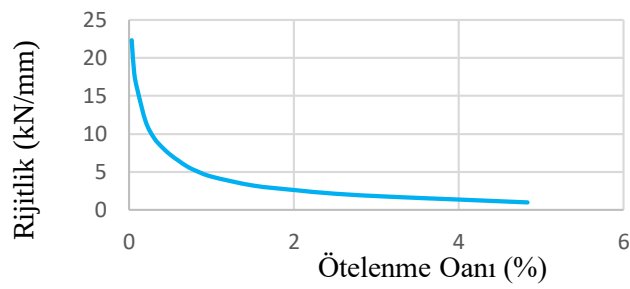


Şekil 4.77 : 6C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



Şekil 4.78 : 6C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

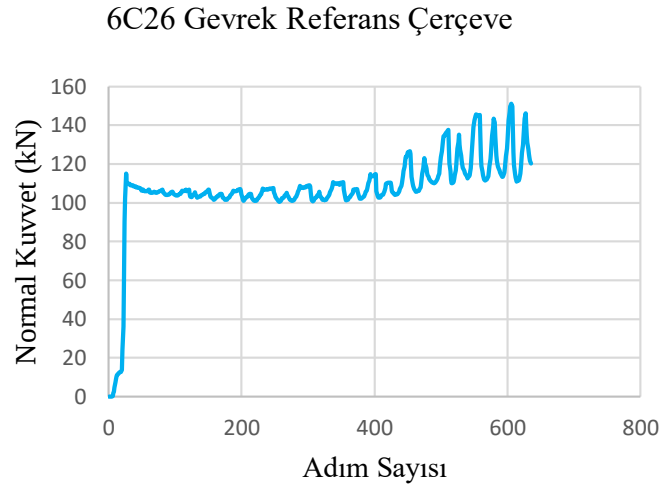
6C26 Rijitlik



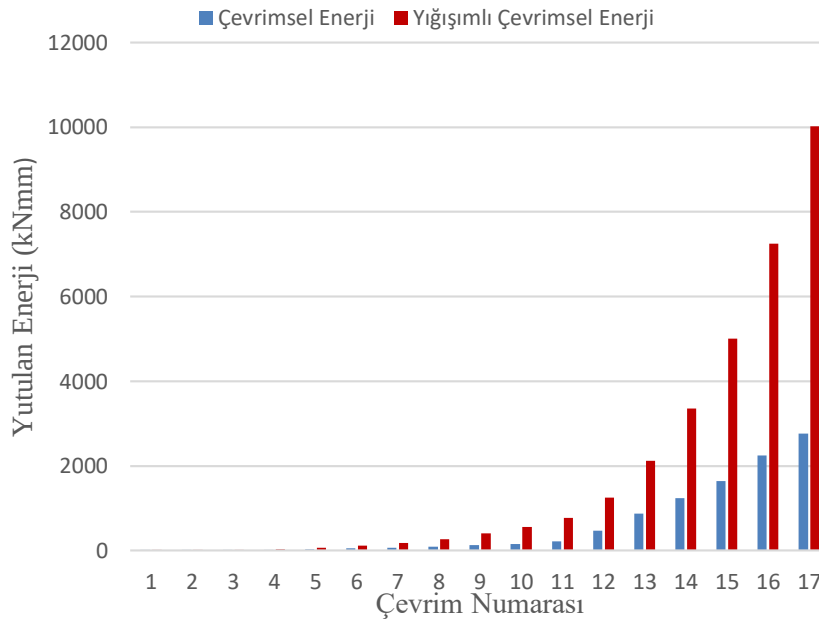
Şekil 4.79 : 6C26 Numune Rijitlik değişimi



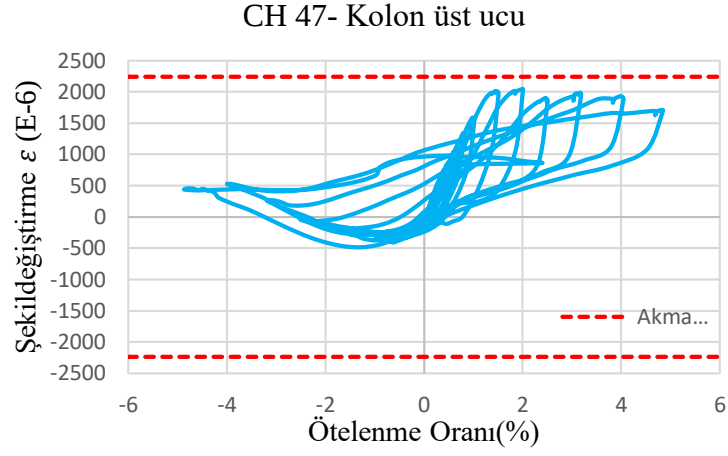
Şekil 4.80 : 4 Nolu Numune Yüklem Fonksiyonu



Şekil 4.81 : 6C26 Numune Normal Kuvvet Adım Sayısı



Şekil 4.82 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve-Yutulan Enerji 10018kNmm



Şekil 4.83 : 6C26 Gevrek Referans Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

47 nolu kanalın bağlı olduğu boyuna donatı akmaya ulaşmamış ama sınıra çok yaklaşmıştır(Şekil 4.83).

4.6 Numune 5 (8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.84 de verilmiştir.

itme →+			çekme ←-	
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(0.26)	+17.51	-0.27(-0.28)	-16.14
2	0.54(0.52)	+27.72	-0.54(-0.56)	-27.17
3	+0.9(0.90)	+39.25	-0.9(-0.90)	-36.42
4	+1.8(1.82)	+55.63	-1.8(-1.88)	-60.59
5	+2.7(2.72)	+70.84	-2.7(-2.68)	-77.22
6	3.6(3.58)	+81.79	-3.6(-3.70)	-94.18
7	+4.5(4.50)	+101.75	-4.5(-4.48)	-113.38
8	+5.4(5.30)	+112.75	-5.4(-5.36)	-120.68
9	+6.3(6.28)	+117.34	-6.30(-6.28)	-127.58
10	+7.2(7.20)	+129.48	-7.20(-7.32)	-147.24
11	+9(9.04)	+146.04	-9(-8.80)	-165.95
12	+13.5(13.32)	+158.89	-13.50(-13.44)	-157.97
13	+18(17.98)	+153.99	-18(-18.1)	-150.22
14	+22.5(22.54)	+99.43	-22.5(-23.26)	-96.70

Şekil 4.84 : 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri

Kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM kompozit malzeme ile sarılmıştır.

Harç kalınlığı her katta 4 mm kalınlığındadır. Toplam harç kalınlığı 15 mm dir.

Numune 5 dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi, çerçeve deney numuneleri ile karşılaştırmak amacıyla üretilmiştir. Numuneye 14 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. İlk 8 itme çekme çevriminde çerçevede ve duvarda çatlak

görülmemiştir. Ancak 5.itme çevriminde boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 4850 μm micro strain (CH 44=Doğu cephesi kiriş üst sol mesnet donatı lifi akmış) düzeyindedir. Bu aşamada çerçevede meydana yatay yük 70.84 kN dur. 8. çekme çevriminde 5.40 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında yatay yük değeri 120.68 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 5155 μm micro strain (CH 48=Doğu cephesi güney kolonu üst dış lif donatı akmış) düzeyindedir. 9.çekme çevriminde 6.28 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında yatay yük değeri 127.58 kN dur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2237 μm micro strain (CH 59=Doğu cephesi kuzey kolonu üst dış lif donatı akmış) düzeyindedir.

Ana çatlaklardan önce duvar çerçeve birleşimlerinde sürtünmeye bağlı çatlaklar başladı. Numunede a' w=0.1 mm ilk kılcal kesme çatlağı 9.çekme çevriminde doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lif duvar birleşimi duvar tarafında ve kolonda meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu orta bölge b' kesme çatlağı w=0.2 mm hem duvarda hem de kolonda meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde bölgesinde c' kesme çatlağı w<0.1 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu orta bölgede d' kesme çatlağı w<0.1 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde e' kesme çatlağı w<0.1 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst bölgede f' eğilme çatlağı w<0.1 mm meydana gelmiştir. 10.itme çevriminde 7.20 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 129.48 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi güney kolonu orta bölge a kesme çatlağı w=0.2 mm duvar kolon birleşiminde ve kolonda meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde b kesme çatlağı w=0.2 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu orta bölge c eğilme çatlağı w=0.2 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst iç lifte d eğilme çatlağı w=0.1 mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu orta bölgede dış lifte e kesme çatlağı w=0.1 mm ve dış lifte f eğilme çatlağı w=0.1 mm, alt bölgede ise dış lifte g eğilme çatlağı w=0.1 mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu alt dış lifte h eğilme çatlağı w=0.1 mm meydana gelmiştir. 10.çekme çevriminde 7.32 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 147.24 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde doğu cephesi duvarda köşe x çatlağının ilk diyagonal kolu oluşmuştur. b' kesme çatlağı w=0.5 mm duvarda ikinci kez ilerlemiş ve kolonda w=0.5 mm çatlak genişliği olmuştur. Doğu cephesi kuzuey kolonu orta bölgeye yakın üst

bölgede g' eğilme çatlakları $w=0.3$ mm, alt bölgede h' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. a' kesme çatlakları $w=0.6$ mm olmuş ve dallanarak ikinci kez ilerlemiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde ı' kesme çatlakları $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu alt bölgede i' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde j' kesme çatlakları $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. e' kesme çatlakları $w=0.5$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst dış lifte k' eğilme çatlakları $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu orta bölgede l' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $2496 \mu\text{m}$ micro strain (CH 47=Batı cephesi güney kolonu üst iç lif donatı akmış) düzeyindedir. 11.itme çevriminde 9.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 146.04 kN yatay yük değeri okunmuştur. ı kesme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. c eğilme çatlakları dallanarak kesme çatlaklarına $w=0.2$ mm dönüşmüştür. Bu çevrimde CH 18(köşegen LVDT) i kaybedilmiştir. 11.çekme çevriminde 9.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 163.38 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde duvarda yatay yükten dolayı köşegenlerde oluşan yüksek basınç gerilmeleri yönünde diagonal çapraz çatlak $w=2.9$ mm meydana gelmiştir. l' kesme çatlakları $w=0.7$ mm olmuştur. d' kesme çatlakları $w=0.4$ mm olmuştur. m' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi kiriş orta üst bölgede meydana gelmiştir. n' kesme çatlakları $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kiriş sağ üst bölgede meydana gelmiştir. p1' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm batı cephesi kiriş orta üst bölgede meydana gelmiştir. 12.itme çevriminde 13.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 154.7 kN yatay yük değeri okunmuştur. Duvar da düzlem dışı hareket başlamıştır. Diagonal çatlak genişliği $w=3.3$ mm olmuştur (CH 17 e paralel diagonal çatlak). c kesme çatlakları $w=1.3$ mm olmuş ve dallanarak ilerlemiştir. i kesme çatlakları $w=0.2$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Duvar da temel seviyesinde kesme çatlakları $w=1.2$ mm genişliğine ulaşmıştır. j sürtünme çatlakları $w=0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu duvar arasında meydana gelmiştir. Bu itme çevriminde köşe duvardaki büyük basınç gerilmelerinden dolayı b kesme çatlakları $w=1.8$ mm dallanmış ve ilerlemiştir. e kesme çatlakları $w=1.6$ mm e ulaşmıştır. ı kesme çatlakları $w=0.7$ mm ikinci kez ilerlemiştir. 12.çekme çevriminde 13.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 157.97 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde diagonal çatlakların genişliği $w=3.5$ mm olmuştur. Duvar da

diagonal çatlakların sayısı artmıştır. p' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. r' kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu orta bölgede duvarla kolon arasında meydana gelmiştir. s' kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu alt bölgede duvarla kolon arasında meydana gelmiştir. ş' kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. m' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ikinci kez ilerlemiştir. ı' kesme çatlağı $w=0.9$ mm ilerlemiştir. t' kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi güney kolonu orta dış lifte meydana gelmiştir. Bu çevrimde batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde beton kabuklar dökülmeye başlamıştır. Duvarda belli bölgelerde tuğla parçaları kopmaya başladı. 13.itme çevriminde 18.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 153.99 kN yatay yük değeri okunmuştur. k kesme çatlağı $w=0.3$ mm, l kesme çatlağı $w=1.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. m kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. n kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o kesme çatlağı $w=0.6$ mm batı cephesi güney kolonu üst sarılma bölgesi TRM kompozitin olduğu bölgede meydana gelmiştir. 13.çekme çevriminde 18.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 150.22 kN yatay yük değeri okunmuştur. p' eğilme çatlağı $w=0.5$ mm dallanmıştır. u' kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. y' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kiriş orta bölge üstte meydana gelmiştir. z' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi kiriş orta bölge üstte meydana gelmiştir. l' eğilme çatlağı $w=2$ mm olmuş ve dallanarak sarılma bölgesi TRM kompozitlere kadar ilerlemiştir. 14.itme çevriminde 22.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 99.43 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde CH17(köşegen LVDT) kaybedildi. Temel kolon birleşimlerinde TRM kompozit sargılaması nedeniyle kalkma gözlemlenmedi. Duvardan büyük sıva ve tuğla parçaları dökülmüştür. 14.çekme çevriminde 22.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 96.70 kN yatay yük değeri okunmuştur. s' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ve sarılma bölgesi TRM kompozitin içine kadar ilerlemiştir. Numunede ileri hasar durumu meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki çekirdek betonlar ezilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.6, Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90, Şekil 4.91, Şekil 4.93 de verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Numune 5 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 5 / 8C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	39.25/-36.42	Çatlak görülmemiştir.
0.2	± 1.8	55.63/-60.59	Çatlak görülmemiştir.
0.5	± 4.50	101.75/-113.38	Çatlak görülmemiştir.
0.8	± 7.2	129.48/-147.24	Bu çevrimde doğu cephesi duvarda köşe x çatlağının ilk diyagonal kolu oluşmuştur. b' kesme çatlağı $w=0.5$ mm duvarda ikinci kez ilerlemiş ve kolonda $w=0.5$ mm çatlak genişliği olmuştur. Doğü cephesi güney kolonu orta bölgede a kesme çatlağı $w=0.2$ mm ve kiriş-kolon birleşiminde b kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir.
1	± 9	146.04/-163.37	Önceki çevrimlerde meydana gelen eğilme ve kesme çatlakları dallanarak ilerlemiştir. Duvarda yatay yükten dolayı köşegenlerde oluşan yüksek basınç gerilmeleri yönünde diagonal çapraz çatlağı $w=2.9$ mm meydana gelmiştir.
1.5	± 13.5	154.70/-157.97	Duwarda düzlem dışı hareket başlamıştır. Diyagonal çatlak genişliği $w=3.3$ mm olmuştur. p' eğilme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Beton kabuklar dökülmeye başlamıştır. Duvarda belli bölgelerde tuğla parçaları kopmaya başladı.
2	± 18	153.99/-150.22	l kesme çatlağı $w=1.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o kesme çatlağı $w=0.6$ mm batı cephesi güney kolonu üst sarılma bölgesi TRM kompozitin olduğu bölgede meydana gelmiştir.
2.5	± 22.5	99.43/-96.70	Temel kolon birleşimlerinde TRM kompozit sargılaması nedeniyle kalkma gözlemlenmedi. Duvardan büyük sıva ve tuğla parçaları dökülmüştür. s' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ve sarılma bölgesi TRM kompozitin içine kadar ilerlemiştir. Numunede ileri hasar durumu meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki çekirdek betonlar ezilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.85 : +9.04 mm itme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.86 : +9.04 mm itme çevrimi batı cephesi



Şekil 4.87 : -9.04 mm çekme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.88 : -9.04 mm çekme çevrimi duvarda oluşan X kesme çatlağı



Şekil 4.89 : -13.44 mm çekme çevrimi doğu cephesi

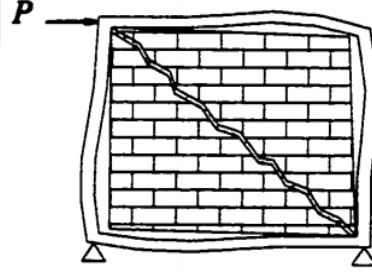


Şekil 4.90 :-22.10 mm çekme çevrimi doğu cephesi

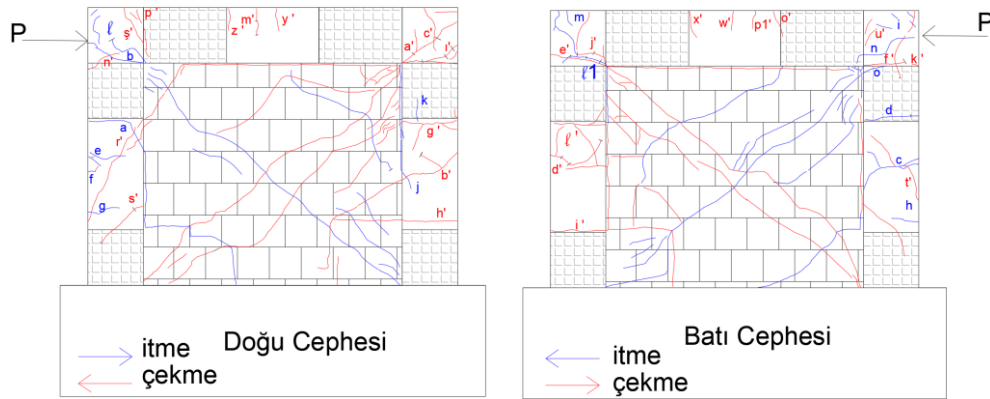


Şekil4.91 : Numune 5 ileri hasar batı cephesi

Bu deneyde duvarlarda çapraz biçimli göçme meydana gelmiştir. Çapraz göçme, duvar köşegenlerinde yüksek basınç gerilmeleri altında meydana gelmektedir (Şekil 4.92). Dolgu duvarın merkezinde meydana gelen çatlak, basınç çaprazına paralel olarak ilerler. Yerdeğiştirmelerin artmasıyla, çapraz çatlaklar karşılıklı iki köşeye ulaşana kadar yayılırlar. Çapraz çatlaklar, sanal eşdeğer basınç çubuğu davranış modelini göstermektedir.



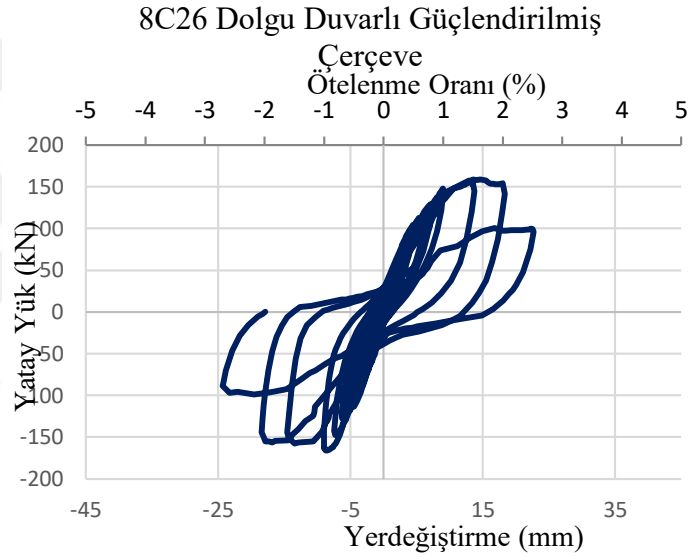
Şekil 4.92 : Duvarda çapraz biçimli göçme mekanizması



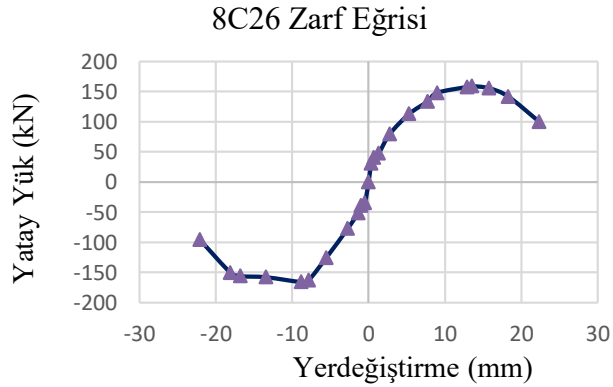
Şekil 4.93 : Numune 5 / 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi, kolon ortası ve duvarda diagonal kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.93).

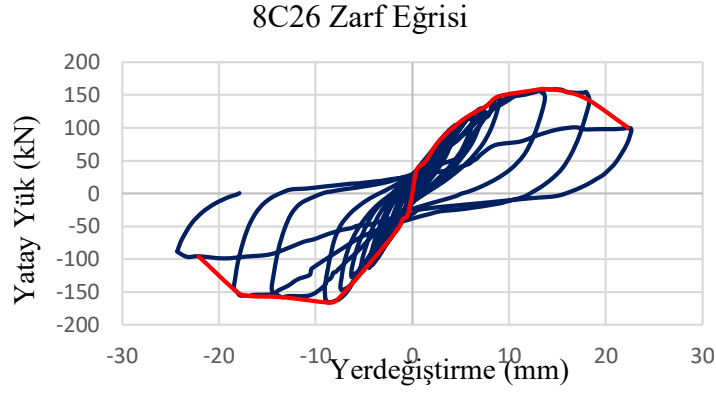
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.94), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.94), zarf eğrisi (Şekil 4.95), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.96), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.97), rijitlik (Şekil 4.98) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.99), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.100), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.101) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



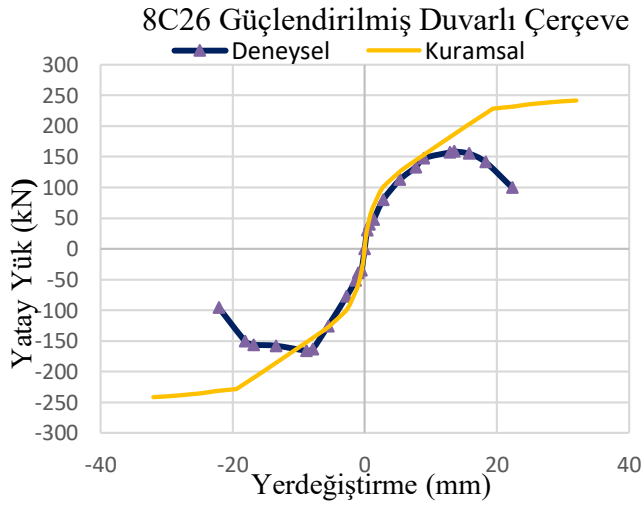
Şekil 4.94 : 8C26 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme-Ötelenme oranı (%)



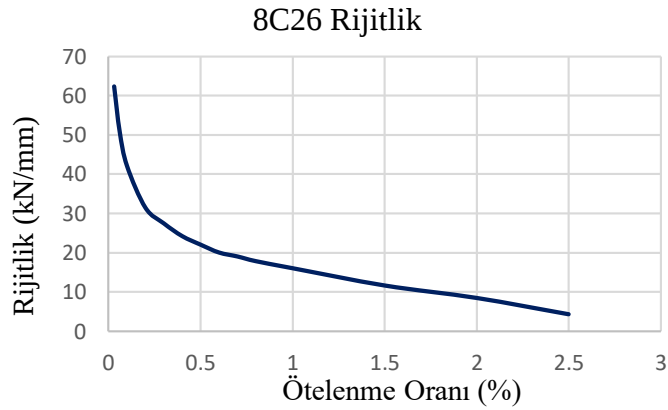
Şekil 4.95 : 8C26 Numune Zarf Eğrisi



Şekil 4.96 : 8C26 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi

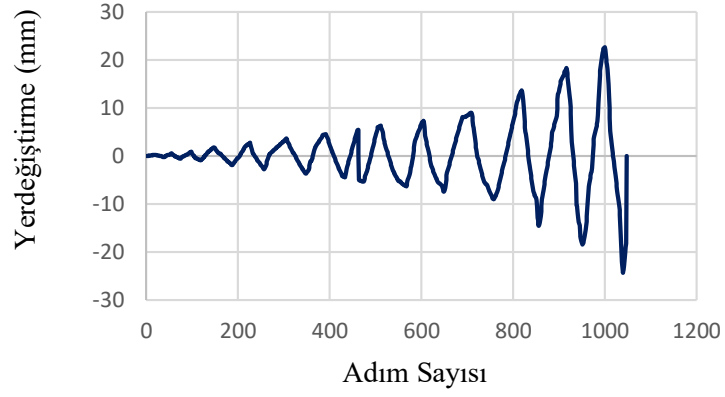


Şekil 4.97 : 8C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

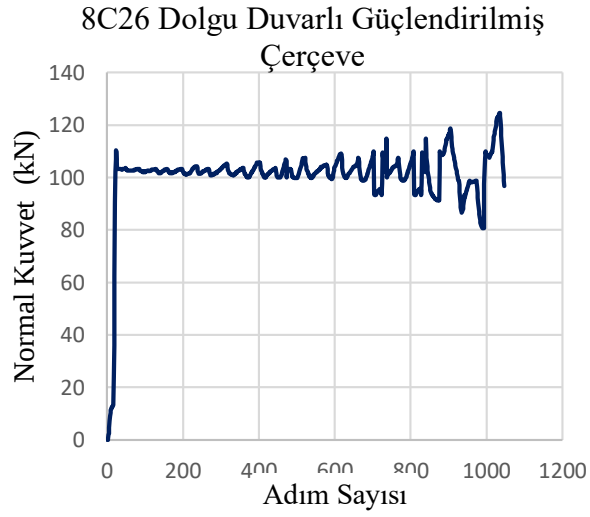


Şekil 4.98 : 8C26 Numune Rijitlik

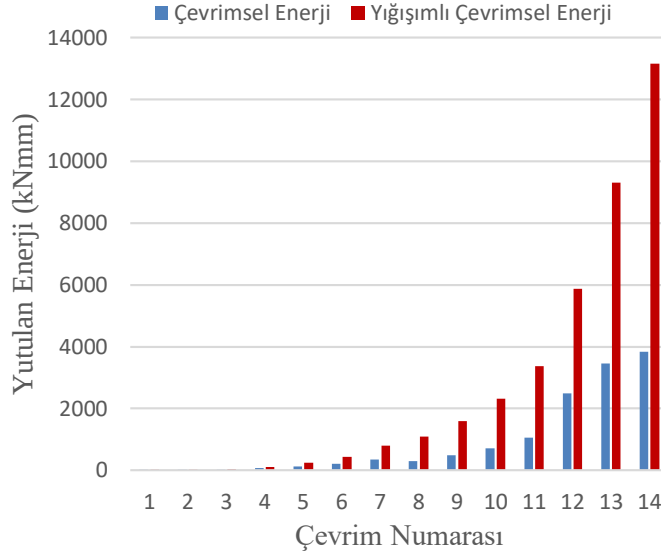
Yükleme Fonksiyonu



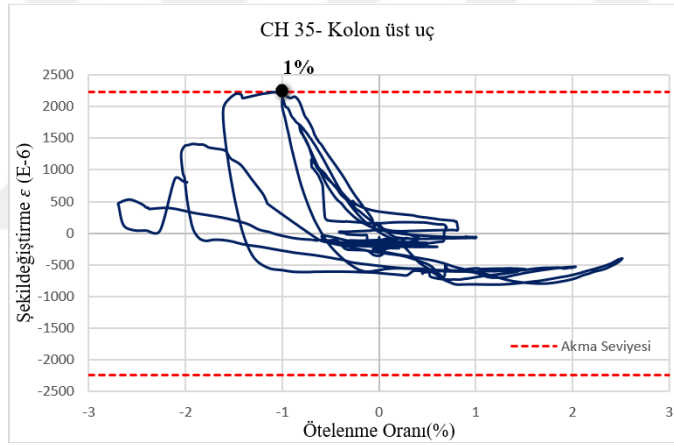
Şekil 4.99 : 8C26 Numune Yükleme Fonksiyonu



Şekil 4.100 : 8C26 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı



Şekil 4.101 : 8C26 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulan Enerji 13160 kNmm



Şekil 4.102 : 8C26 Referans Dolgu Duvarlı Çerçevenin Şekildeğiştirme Ölçer – Ötelenme Oranı

35 nolu kanalın bağlı olduğu kolonda boyuna donatı 1% ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) aşarak akmaya ulaşmıştır(Şekil 4.102).

4.7 Numune 6 (3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.103 de verilmiştir.

itme → +			çekme ← -	
Çevrim No	Tepe yd. itme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.26)	+11.26	-0.27(-0.28)	-12.50
2	0.54(+0.54)	+21.15	-0.54(-0.58)	-20.49
3	+0.9(+0.88)	+31.21	-0.9(-0.88)	-26.11
4	+1.8(+1.80)	+45.82	-1.8(-1.82)	-41.61
5	+2.7(+2.70)	+57.05	-2.7(-2.66)	-50.82
6	+3.6(+3.74)	+64.76	-3.6(-3.68)	-57.49
7	+4.5(+4.34)	+67.67	-4.5(-4.60)	-59.43
8	5.4(+5.38)	+65.39	-5.4(-5.50)	-60.39
9	6.3(+6.46)	+62.51	-6.30(-6.30)	-62.68
10	7.2(+7.18)	+62.89	-7.20(-7.16)	-59.93
11	9(+8.98)	+67.58	-9(-9.16)	-60.20
12	13.5(+13.52)	+62.26	-13.50(-13.56)	-68.35
13	18(+18.02)	+56.16	-18(-18.00)	-57.53
14	22.5(+22.64)	+54.33	-22.5(-22.66)	-58.41
15	28.5(+30.32)	+51.27	-28.50(-28.52)	-54.85
16	36(+36.08)	+52.51	-36(-36.08)	-49.20

Şekil 4.103 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri

Kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM kompozit malzeme ile sarılmıştır.

Harç kalınlığı her katta 4 mm kalınlığındadır. Toplam harç kalınlığı 15 mm dir.

Deney sırasında güçlendirilmiş bölge üzerindeki şekildeğiştirmelerin takibi için TRM sargı tabakası yüzeyine şekildeğiştirme ölçerler (Şekil 4.104 ve Şekil 4.106) yapıştırılmıştır. Kalibrasyon değerleri üretici firmadan alınmıştır (Şekil 4.105).



Şekil 4.104 : Şekildeğiştirme ölçer PL60'ın kolon üst ve alt uç bölgelerine yapıştırılması.

TYPE	PL-60-11-1LJC-F		
LOT NO.	P207711	GAUGE LENGTH	60 mm
GAUGE FACTOR	2.08	±1	%
GAUGE RESISTANCE	120±0.5	Ω	QUANTITY 10
TEMP. COMPENSATION FOR	11	×10 ⁻⁶ /°C	TEST CONDITION 23°C 50%RH
TRANSVERSE SENSITIVITY	0.8	%	BATCH NO. RA02H
LEAD WIRES	10/0.12 2W 1m r=0.32(Ω/m)		



Şekil 4.105 : Şekildeğiştirme ölçer PL60 için alınan kalibrasyon değerleri

Şekil 4.106 : PL60 şekildeğiştirme ölçer

Numune 6 güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi, sünek referans çerçeve deney numunesi ve gevrek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 16 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede a'

$w < 0.1$ mm ilk kılcal kesme çatlağı 4.çekme çevriminde doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgesi iç lifte oluşmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge iç lifte b'(a' ne simetriktir) $w < 0.1$ mm kesme çatlağı oluşmuştur. 5.itme çevriminde 2.70 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 57.05 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu itme çevriminde a ve b çatlağı $w < 0.1$ mm doğu ve batı cephesi güney kolonu üst bölgede iç lifte simetrik olarak meydana gelmiştir. 5.çekme çevriminde 2.66 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 50.82 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde a' çatlağı ve b' simetrik olarak $w = 0.1$ mm 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 3477 μ m micro strain (CH 45=Batı cephesi kiriş sağ mesnet üst donatı lifi akmış), 3793 μ m micro strain (CH 57=Batı cephesi kuzey kolonu alt dış donatı lifi akmış) düzeyindedir. 6.itme çevriminde 3.74 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 64.76 kN yatay yük değeri okunmuştur. a kesme çatlağı $w = 0.1$ mm 2.kez ilerledi. b kesme çatlağı $w = 0.1$ mm dallanarak 2.kez ilerledi. Batı cephesi kiriş sol mesnet üst birleşim bölgesinde c kesme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2350 μ m micro strain (CH 54=Batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölge iç donatı lifi akmış) düzeyindedir. 6.çekme çevriminde 3.68 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 57.49 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' çatlağı $w = 0.2$ mm bu çevrimde 3.kez ilerledi. b' çatlağı $w = 0.3$ mm 3.kez dallanarak ilerledi. Doğü cephesi kiriş sol mesnet, üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde c' kesme çatlağı $w = 0.1$ mm meydana geldi. Batı cephesi kiriş sağ üst mesnet bölgesinde d' eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm meydana geldi. Batı cephesi güney kolon kiriş birleşim bölgesinde e' ve f' eğilme çatlakları $w = 0.1$ mm meydana geldi. Güçlendirilen çerçevede, çatlaklar birleşim bölgelerinde görülmeye başladı. Kolon ve kiriş uç sarılma bölgelerinde TRM li malzemedan dolayı arkadaki çatlakların olup olmadığı hakkında bir fikir oluşmamıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1615 μ m micro strain (CH 36=Batı cephesi güney kolon alt dış lif) düzeyindedir). 7.itme çevriminde 4.34 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 67.67 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğü cephesi kuzey kolon üst bölge dış lifte d kesme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte e eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm meydana geldi. a ve b kesme çatlağı $w = 0.2$ mm 3.kez ilerledi. c kesme çatlağı $w = 0.2$ mm 2.kez kiriş üst mesnet bölgesinden kiriş alt bölgeye doğru ilerledi. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1269 μ m micro strain (CH 48=Doğü cephesi güney kolonu üst dış lif) düzeyindedir. 7.çekme çevriminde 4.60 mm hedef yerdeğiştirmeye

ulaşıldığında 59.43 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' çatlağı $w=0.2$ mm bu çevrimde 4.kez ilerledi. c' kesme çatlağı $w=0.1$ mm 2.kez ilerledi. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi dış lifinde g' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana geldi. b' çatlağı $w=0.4$ mm e çıktı. d' ve e' eğilme çatlakları $w=0.2$ mm 2.kez ilerledi. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 1634 μm micro strain (CH 52=Doğu cephesi kiriş sağ mesnet alt donatı lifi) düzeyindedir. 8.itme çevriminde 5.38 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 65.39 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolon üst bölge dış lifte d kesme çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. e çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerledi. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 1247 μm micro strain (CH 59=Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lif) düzeyindedir. 8.çekme çevriminde 5.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 60.39 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolon üst birleşim bölgesinde h' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolon üst birleşim bölgesinde ı' çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. g' çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 2165 μm micro strain (CH 37=Doğu cephesi güney kolonu alt iç lif akmaya çok yaklaşmış) düzeyindedir. 9.itme çevriminde 6.46 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 62.51 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede f kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. d çatlağı $w=0.2$ mm 3.kez dallanmıştır. a çatlağı $w=0.2$ mm 4.kez dallanarak ilerlemiştir. e çatlak genişliği $w=0.3$ mm olmuştur. 9.çekme çevriminde 6.30 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 62.68 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' çatlağı $w=0.5$ mm e ulaşmıştır. c' kesme çatlağı $w=0.2$ mm 3.kez ilerledi. Doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede i' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. b' çatlağı $w=0.5$ mm dir. Batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde j' ve k' $w=0.1$ mm kesme çatlakları meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 2378 μm micro strain (CH 37=Doğu cephesi güney kolonu alt iç lif akmış), 7048 μm micro strain (CH 36=Batı cephesi güney kolonu alt dış lif akmış), 2471 μm micro strain (CH48=Doğu cephesi güney kolonu üst dış lif akmış) düzeyindedir. 10.itme çevriminde 7.18 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 62.89 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesinde ayrışmalar başladı. Doğu cephesi kuzey kolon üst birleşim bölgesinde g eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana geldi. 10.çekme çevriminde 7.16 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 59.93 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede m' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana

gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede n' kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. k' çatlağı dallanarak 2.kez ilerlemiştir. Batı cephesi güney kolon üst birleşim bölgede o' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiş ve e' çatlağı ile birleşmiştir. 11.itme çevriminde 8.98 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 67.58 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede h kesme çatlağı meydana gelmiştir. g çatlağı $w=0.2$ mm 2.kez ilerlemiştir. d çatlağı ilerlememiş ancak çatlak genişliği $w=0.4$ mm olmuştur. e çatlağı $w=0.3$ mm 3.kez dallanarak ilerlemiştir. 11.çekme çevriminde 9.16 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 47.87 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede p' kesme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. n' kesme çatlağı $w=0.7$ mm 2.kez ilerlemiştir. 12.itme çevriminde 13.52 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 62.26 kN yatay yük değeri okunmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede ı kesme çatlağı $w=0.6$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede i kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. a çatlak genişliği $w=0.6$ mm olmuştur. Bu panel bölgesinde kabuklar dökülmeye başlamıştır. e çatlağı $w=0.5$ mm olmuştur. 12.çekme çevriminde 13.56 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 68.35 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede r' kesme çatlağı $w=0.2$ mm ve s' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede t' kesme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolon üst birleşim bölgesi kabuk atmaya başlamıştır. 13.itme çevriminde 18.02 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 56.15 kN yatay yük değeri okunmuştur. a kesme çatlağı $w=0.8$ mm olmuştur. Batı cephesi kuzey kolonu üst TRM kompozit ile sarılma bölgesi başlangıcında j kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Hemen üstünde kiriş-kolon birleşim bölgesinde k kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. 13.çekme çevriminde 18 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 59.02 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde yeni bir çatlak meydana gelmemiştir. 14.itme çevriminde 22.64 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 54.33 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi güney kolonu orta bölgede l kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede m kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede n kesme çatlağı $w=0.5$ mm ve o kesme çatlakları $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst TRM kompozit ile sarılma bölgesi başlangıcında p kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. 14.çekme çevriminde 22.66 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 58.41

kN yatay yük değeri okunmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede u' çatlakları $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. 15.itme çevriminde 30.32 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 51.27 kN yatay yük değeri okunmuştur. Batı cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde kalkmalar başladı. Güney kolonu ve kuzey kolonu kiriş-kolon birleşim panel bölgesi kabukları kalktı. 15.çekme çevriminde 28.52 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 54.85 kN yatay yük değeri okunmuştur. h' çatlakları $w=2.2$ mm olmuştur. a' çatlakları $w=2.6$ mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1998 μm micro strain (CH 39=Doğu cephesi güney kolonu alt dış lifi akmaya çok yaklaşmış) düzeyindedir. 16.itme çevriminde 36.08 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 52.51 kN yatay yük değeri okunmuştur. Her iki kolonun da kiriş-kolon birleşim bölgelerinde iç çekirdekler ezilmiştir. İleri hasar durumu gözlenmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2294 μm micro strain (CH 39=Doğu cephesi güney kolonu alt dış lifi akmış) düzeyindedir. 16.çekme çevriminde 36.08 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 49.21 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır. Tüm çevrimlerde kolon temel bölgesi TRM ile sarılı olduğu için herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. Güçlendirme malzemesinin altında olduğu düşünülmektedir.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.7, Şekil 4.107, Şekil 4.108, Şekil 4.109, Şekil 4.110, Şekil 4.111, Şekil 4.112, Şekil 4.113 de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Numune 6 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 6 / 3C15			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme $\delta(\text{mm})$ itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	31.21/-26.11	Bu çevrimde çatlak görülmemiştir.
0.2	± 1.8	45.82/-41.61	İlk kesme çatlakları $w < 0.1$ mm kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 4.7 (devam) : Numune 6 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 6 / 3C15			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
			Bir önceki hedef yerdeğiştirme 2.70 mm de hem kirişin sağ yüzü hem de kolon temel bölgesindeki boyuna donatılarda akma meydana gelmiştir.
0.5	± 4.50	67.67/-59.43	Bu çevrimde ise önceki kesme çatlakları $w=0.2$ mm ilerledi, genişledi ve dallandı. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde yeni bir kesme çatlağı $w=0.2$ mm ve eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinde TRM kompozit ile sarılmış yüzeylerde herhangi bir çatlak olup olmadığı belirlenememiştir. Çatlaklar kiriş-kolon birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.
0.8	± 7.2	62.89/-59.93	Kiriş-kolon birleşim bölgesinde yeni bir eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ve kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. Daha önce meydana gelen çatlaklar ilerlemiş ve dallanmıştır.
1	± 9	67.58/-60.2	Kiriş-kolon birleşim bölgesinde beton ezilmeye başlamış, yeni bir kesme çatlağı meydana gelmiş ve önceki çatlaklar ilerlemiş, genişlemiş $w=0.7$ mm ve dallanmıştır.
1.5	± 13.5	62.26/-68.35	Kiriş-kolon birleşim bölgesinde kabuk beton dökülmeye başlamış, yeni bir kesme çatlağı $w=0.6$ mm meydana gelmiş ve diğer çatlaklar ilerlemiş, genişlemiş $w=0.6$ mm ve dallanmıştır.
2	± 18	56.16/-57.53	Kolonun üst yüzündeki TRM sargı tabakası yüzeyinde ilk kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Önceki çatlaklar genişlemiştir $w=0.9$ mm.
2.5	± 22.5	54.33/-58.41	Kolon orta bölgesinde yeni bir kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Ayrıca, kiriş-kolon birleşim bölgesinde yeni bir kesme çatlağı $w=0.5$ mm meydana gelmiştir. Kolon üst sargı bölgesinde TRM yüzeyinde yeni bir kesme çatlağı meydana gelmiştir.
3	± 27	51.27/-54.85	Birleşim bölgelerinde kabuk betonlar dökülmüştür. Çekirdek beton ezilmiştir. Önceki kesme çatlağı $w=0.6$ mm genişlemiştir. Kolon temel bölgesinde $w=3.6$ mm çatlak meydana gelmiştir.
3.5	± 31.5	52.00/-52.25	Kesme çatlakları ilerledi, genişledi ve dallandı.
4	± 36	52.51/-49.20	Deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir.



Şekil 4.107 :
+13.52 mm itme
çevrimi doğu
cephesi



Şekil 4.108 :
+22.54 mm
itme çevrimi
doğu cephesi



Şekil 4.109 : +29,45 mm itme
çevrimi doğu cephesi



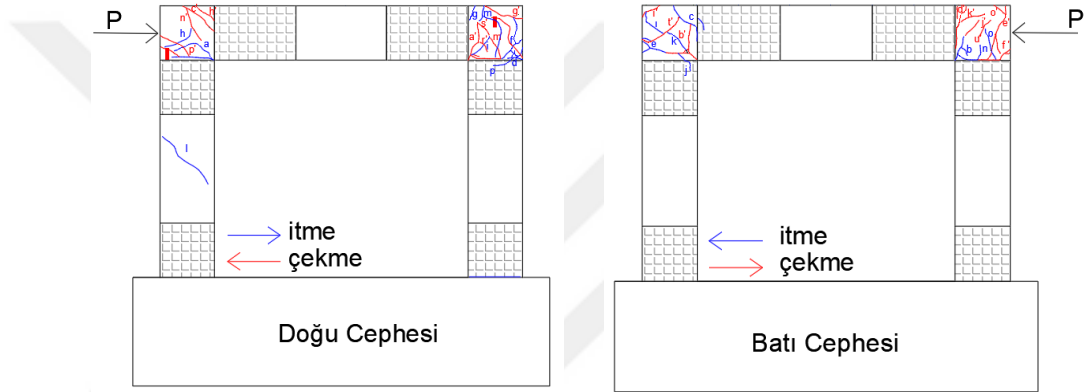
Şekil 4.110 : -28.52 mm
çekme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.111 : Numune 6 ileri Hasar doğu cephesi



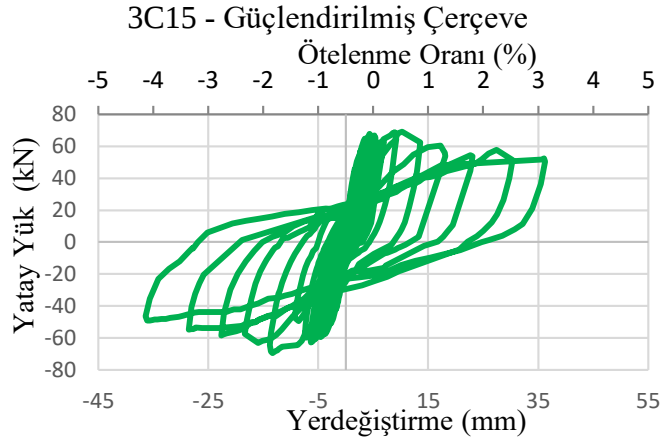
Şekil 4.112 : Numune 6 ileri hasar batı cephesi



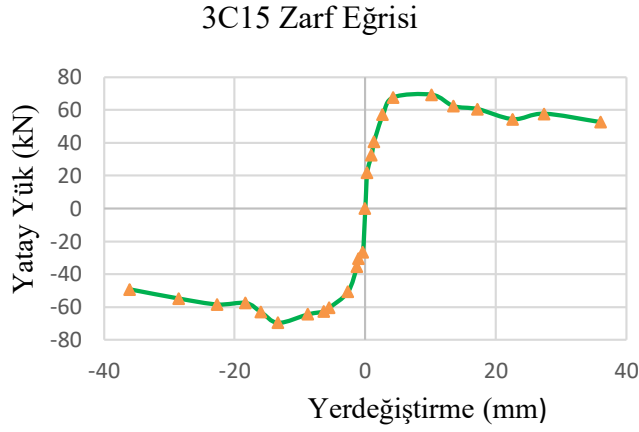
Şekil 4.113 : Numune 6 / 3C15 Güçlendirilmiş çerçevede meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesinde eğilme+kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir. Kirişin orta bölgesinde hasar meydana gelmemiştir. Kolonlarda 1 çatlak (hafif hasar $w=0.2$ mm, %2.5 ötelenme oranı seviyesinde) dışında hasar meydana gelmemiştir (sınırlı hasar) (Şekil 4.113).

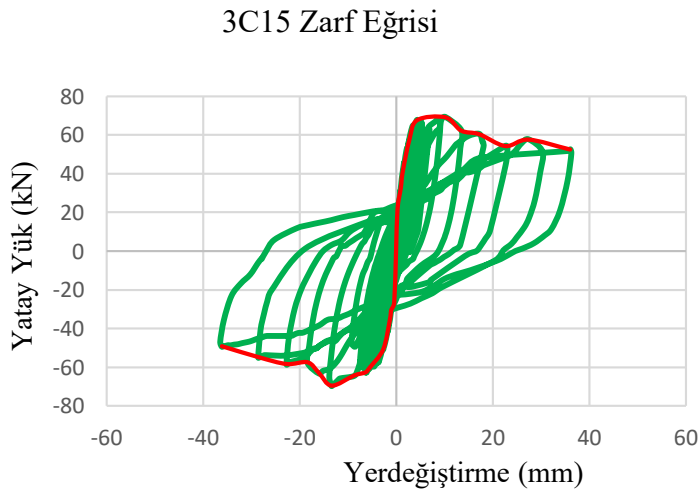
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.114), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.114), zarf eğrisi (Şekil 4.115), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.116), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.117), rijitlik (Şekil 4.118) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.119), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.120), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.121) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



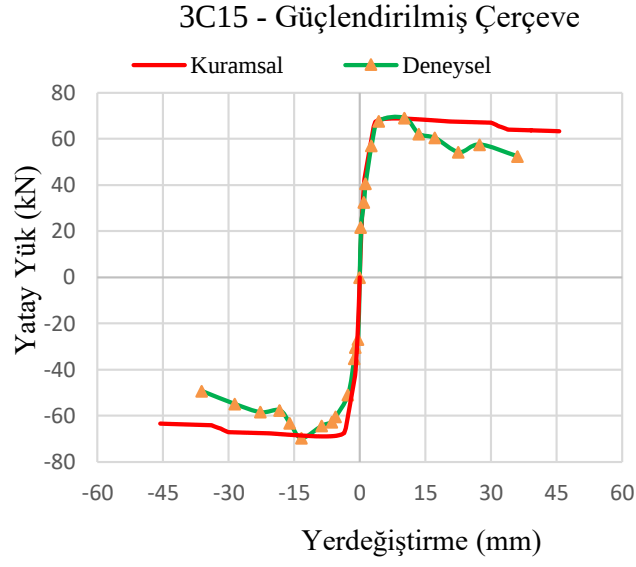
Şekil 4.114 : 3C15 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme- Ötelenme Oranı (%)



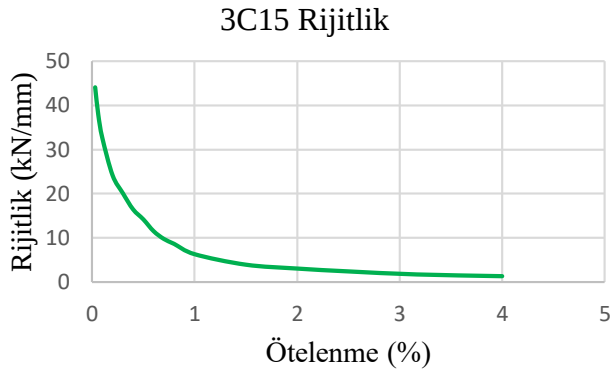
Şekil 4.115 : 3C15 Numune Zarf Eğrisi



Şekil 4.116 : 3C15 Numune Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



Şekil 4.117 : 3C15 in Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 4.118 : 3C15 Numune Rijitlik değişimi

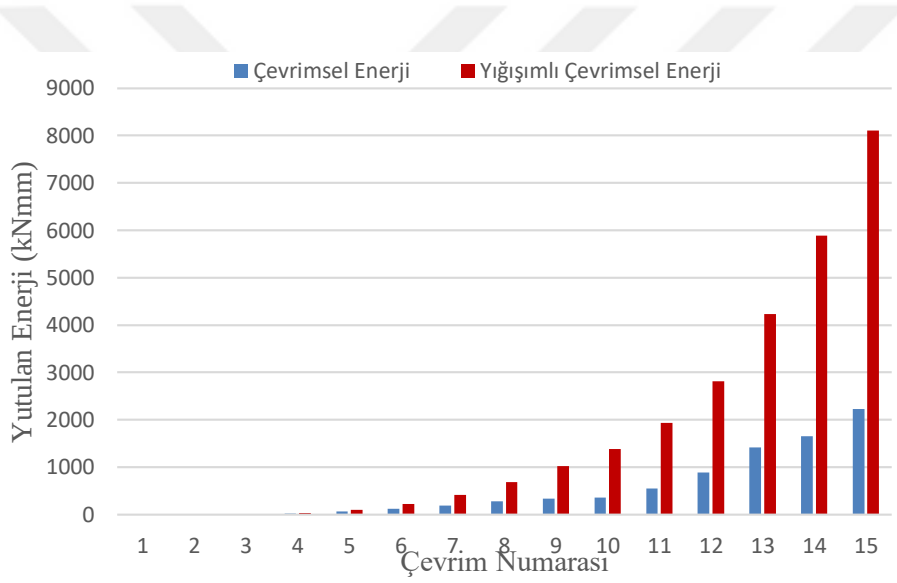


Şekil 4.119 : 3C15 Numune Yükleme Fonksiyonu

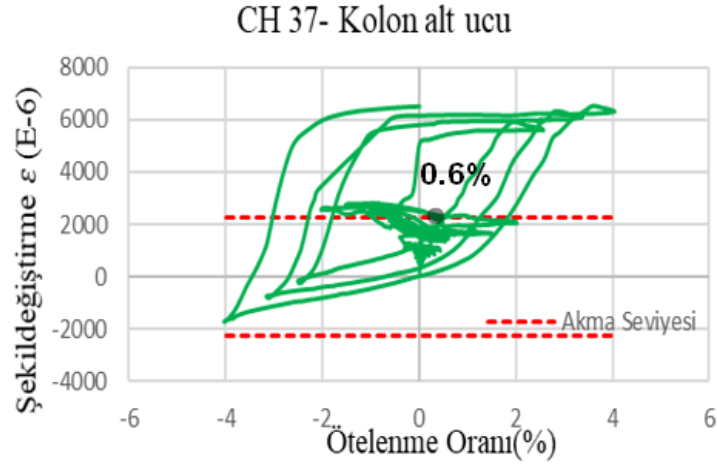
3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve



Şekil 4.120 : 3C15 Numune Normal Kuvvet - Adım Sayısı

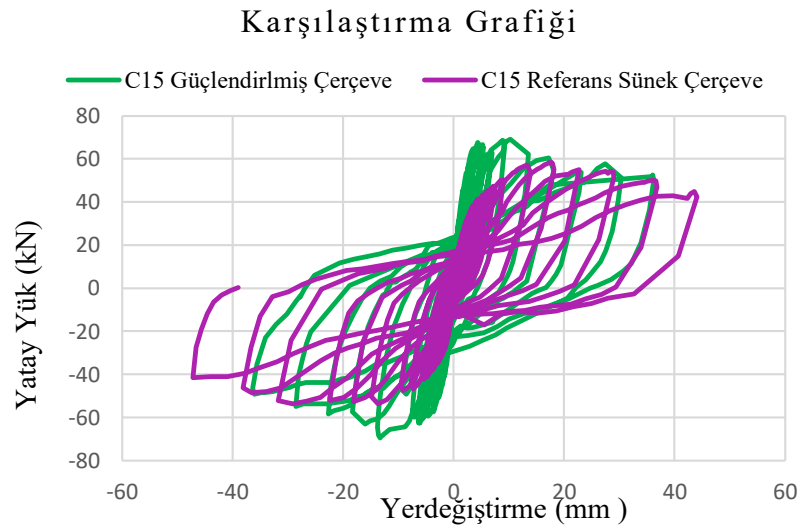


Şekil 4.121 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulan Enerji 8111 kNmm



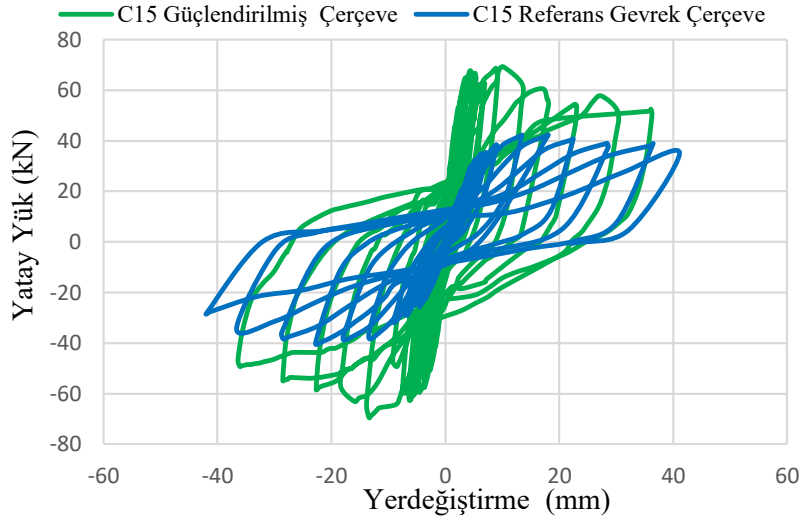
Şekil 4.122 : 3C15 Güçlendirilmiş Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

37 nolu kanalın bağlı olduğu boyuna donatı %0.6 ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) değerini aşarak akmaya ulaşmıştır (2260 $\mu\text{m/m}$ micro strain) (Şekil 4.122). Daha önce deneyleri yapılan referans numuneleri ile karşılaştırıldığında güçlendirilen çerçeve, sünek referans çerçeveye uyumlu sünek davranış göstermiştir (Şekil 4.123). Gevrek referans çerçeveye göre hem dayanım da hem de süneklilik de artış göstermiştir (Şekil 4.124).



Şekil 4.123 : C15 Güçlendirilmiş Çerçeve - Sünek Referans Çerçeve
Enerji yutma=8111 kNmm Enerji yutma=8281 kNmm

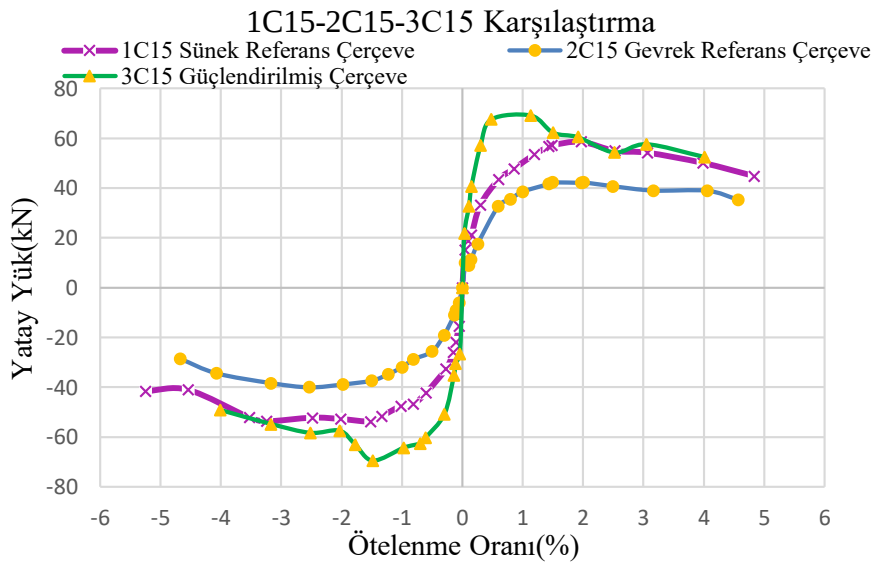
Karşılatırma Grafiği



Şekil 4.124 : C15 Güçlendirilmiş Çerçeve - C15 Gevrek Referans Çerçeve

Enerji yutma=8111 kNmm Enerji yutma=5871 kNmm

3 çerçeve deneyinin (1C15-2C15-3C15) zarf eğrileri karşılaştırıldığında, sünek çerçeve (1C15), gevrek çerçeveye (2C15) göre daha sünek davranmış, %5 ötelenme oranına kadar gitmiş ve dayanım azalması ile ilgili inen kolun daha yumuşak eğimli olduğu görülmüştür. Sonradan güçlendirilen gevrek çerçevenin (3C15) ise diğer çerçevelere göre dayanımda ve enerji yutma kapasitesinde artış gözlenmiştir. Ancak ötelenme oranı %4'e kadar gitmiştir (Şekil 4.125).



Şekil 4.125 : C15 Çerçeve Deneyleri Zarf Eğrisi-Ötelenme Oranı(%) Karşılaştırması

4.8 Numune 7 (4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.126 de verilmiştir.

itme → +			çekme ← -	
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.28)	+16.66	-0.27(-0.30)	-15.13
2	0.54(+0.54)	+25.78	-0.54(-0.60)	-25.99
3	+0.9(+0.90)	+37.22	-0.9(-0.90)	-35.21
4	+1.8(+1.70)	+56.45	-1.8(-1.90)	-59.36
5	+2.7(+2.76)	+70.12	-2.7(-2.72)	-77.87
6	+3.6(+3.70)	+82.41	-3.6(-3.52)	-94.21
7	+4.5(+4.34)	+101.88	-4.5(-4.51)	-111.66
8	5.4(+5.38)	+110.11	-5.4(-5.56)	-152.00
9	6.3(+6.46)	+120.44	-6.30(-6.44)	-127.14
10	7.2(+7.18)	+127.88	-7.20(-7.18)	-145.97
11	9(+8.98)	+147.88	-9(-9.12)	-94.01
12	13.5(+13.52)	+100.30	-13.50(-13.40)	-93.62
13	18(+18.02)	+95.20	-18(-18.06)	-92.64
14	22.5(+22.64)	+92.24	-22.5(-22.50)	-91.10
15	28.5(+28.48)	+89.10	-28.50(-28.56)	-85.30

Şekil 4.126 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve Çevrim Bilgileri

Kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM kompozit malzeme ile sarılmıştır.

Harç kalınlığı her bir kat için 4 mm kalınlıktadır. Toplam harç kalınlığı 15 mm'dir.

Numune 7 dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve, referans dolgu duvarlı çerçeve deney numunesi ile mukayese etmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 15 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede a' w=0.1 mm ilk kesme çatlağı 2. çekme çevriminde 0.54 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, doğu cephesinde duvarda oluşmuştur. b' w=0.1 mm kesme çatlağı batı cephesi güney kolonu tarafı duvarda olmuştur. 3.itme ve çekme çevriminde 0.90 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında yeni çatlak oluşmamıştır. 4. çekme çevriminde 1.88 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 59.36 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde c' kesme çatlağı w=0.1 mm doğu cephesi kuzey kolonu alt duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiş, a' kesme çatlağı ve b' kesme çatlağı ilerlemiştir. Çerçeve duvar birleşimlerinde sürtünmeye bağlı çatlaklar olmuştur. d' kesme çatlağı w=0.1 mm batı cephesi kuzey kolonu alt tarafta duvar tarafında meydana gelmiştir. 5. itme çevriminde 2.72 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 70.12 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde a kesme çatlağı w=0.3 mm doğu cephesi duvar tarafında diyagonal olarak meydana gelmiştir. b kesme çatlağı w=0.3 mm batı cephesi duvar tarafında diyagonal olarak meydana gelmiş ve güney kolonu üst tarafta betonda ilerlemiştir. 5. çekme çevriminde 2.68 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 77.87 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde e' kesme çatlağı w=0.2 mm doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede betonda meydana gelmiştir. f' kesme çatlağı w=0.1 mm batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede betonda meydana gelmiştir. b' kesme çatlağı ilerlemiş ve w=0.7 mm olmuştur. 6. itme çevriminde 3.58 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 82.41 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde c kesme çatlağı w=0.2 mm doğu cephesi güney kolonu üst bölgede betonda meydana gelmiş, d çatlağı doğu cephesi duvarda üst bölgede meydana gelmiştir. e kesme çatlağı w=0.2 mm batı cephesi güney kolonu üst sargı bölgesi TRM üzerinde meydana gelmiştir. Duvarda meydana gelen b kesme çatlağı bu çevrimde genişlemiş ve w=1.1 mm olmuştur. 6. çekme çevriminde 3.70 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 94.21 kN yatay yük değeri okunmuştur. g' kesme çatlağı w=0.3 mm batı cephesi duvarda diyagonal olarak meydana gelmiştir. h' kesme çatlağı w=0.3 mm doğu cephesi duvarda ve diyagonal olarak meydana gelmiştir. 7.itme çevriminde 4.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 101.88 kN yatay yük değeri okunmuştur.

7. çekme çevriminde 4.48 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 111.66 kN yatay yük değeri okunmuştur. h' kesme çatlağı duvarda diyagonal $w=0.7$ mm olmuştur. e' kesme çatlağı kiriş-kolon birleşim bölgesinde betonda $w=0.5$ mm olmuştur. 8.itme çevriminde 5.30 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 110.11 kN yatay yük değeri okunmuştur.

8. çekme çevriminde 5.36 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 119.98 kN yatay yük değeri okunmuştur. h' kesme çatlağı $w=0.9$ mm olmuştur. e' kesme çatlağı $w=0.9$ mm olmuştur. ı' $w=0.1$ mm eğilme çatlağı batı cephesi kuzey kolonu orta bölge de meydana gelmiştir. 9. itme çevriminde 6.28 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 120.44 kN yatay yük değeri okunmuştur. 9. çekme çevriminde 6.28 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 127.14 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde yeni bir çatlak oluşmamıştır.

10. itme çevriminde 7.32 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 127.88 kN yatay yük değeri okunmuştur. 10.çekme çevriminde 7.32 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 145.97 kN yatay yük değeri okunmuştur. e' kesme çatlağı $w=1$ mm ilerlemiştir. f' çatlağı betonda dallanarak ilerlemiştir. i' kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst sargı bölgesi TRM üzerinde meydana gelmiştir. 11.itme çevriminde 8.96 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 147.88 kN yatay yük değeri okunmuştur. 11. çekme çevriminde 8.28 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 94.01 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde ani dayanım kaybı meydana gelmiştir.

12. itme çevriminde 13.52 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 100.30 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde e çatlağı TRM üzerinde ilerlemiştir. 12.çekme çevriminde 13.40 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 93.62 kN yatay yük değeri okunmuştur. i' çatlağı TRM üzerinde ilerlemiştir.

13. itme çevriminde 18.02 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 95.20 kN yatay yük değeri okunmuştur. 13.çekme çevriminde 18.06 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 92.64 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde j' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu orta bölgede meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu birleşim bölgesinde beton ezilmiştir. Kabuk atmaları meydana gelmiştir. i' çatlağı dallanarak ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede beton ezilmiştir ve kabuk atmıştır. 14.itme çevriminde 22.64 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 92.24 kN yatay yük değeri okunmuştur.

14. çekme çevriminde 22.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında, 91.50 kN yatay yük değeri okunmuştur. j' eğilme çatlağı ilerlemiştir. i' çatlağı dallanarak ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2270 μm micro strain (CH46=Doğu cephesi güney kolonu üst bölge iç donatı lifi akmış) düzeydedir. 15.çekme çevriminde 28.56 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 85.30 kN yatay yük değeri okunmuştur. Kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki iç çekirdek beton ezilmiştir. Bu aşamada deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir. Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.8, Şekil 4.127, Şekil 4.128, Şekil 4.129, Şekil 4.130, Şekil 4.131, Şekil 4.132, Şekil 4.133, Şekil 4.134, Şekil 4.135 de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Numune 7 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 7 / 4C15			
Ötelen me Oranı (%)	Tepe yerdeğiştir me $\delta(\text{mm})$ itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	37.22/-35.21	Bu çevrimde çatlak görülmemiştir.
0.2	± 1.8	56.45/-59.36	Bu çevrimde doğu cephesi kuzuey kolonu alt duvar birleşiminde duvar tarafında c' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiş, daha önceki çevrimlerde meydana gelen kesme çatlakları ilerlemiştir. Çerçeve duvar birleşiminde sürtünme çatlakları olmuştur.
0.5	± 4.50	101.88/-111.66	Bu çevrimde duvarda diyagonal h' kesme çatlağı $w=0.7$ mm meydana gelmiştir. Kiriş-kolon birleşiminde e' kesme çatlağı $w=0.5$ mm meydana gelmiştir.
0.8	± 7.2	127.88/-145.97	Bu çevrimde e' kesme çatlağı $w=1$ mm ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst sargı bölgesi TRM kompozitte i' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir.
1	± 9	147.88/-94.01	Bu çevrimde çerçevede ani dayanım kaybı meydana gelmiştir.
1.5	± 13.5	100.30/-93.62	Bu çevrimde TRM kompozitte mevcut çatlaklar ilerlemiştir.
2	± 18	95.20/-92.64	Kuzey kolonu orta bölgede j' eğilme çatlağı $w=0.1$ meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu birleşim bölgesinde beton ezilmiştir. Kabuk atmaları meydana gelmiştir. i' çatlağı dallanarak ilerlemiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgede beton ezilmiştir ve kabuk atmıştır.
2.5	± 22.5	92.24/-91.50	j' eğilme çatlağı ilerlemiştir.

Çizelge 4.8 (devam) : Numune 7 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

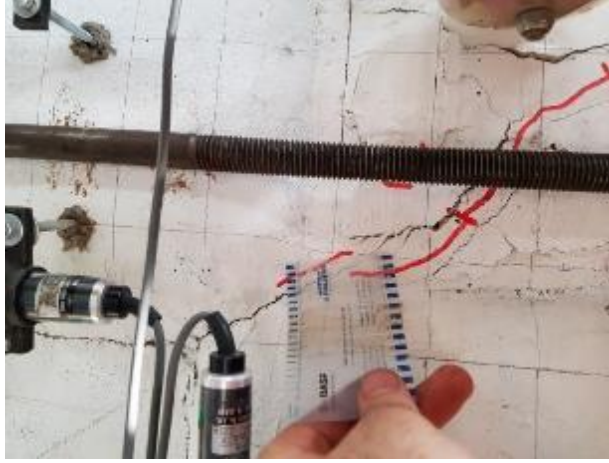
Numune 7 / 4C15			
Ötelen me Oranı (%)	Tepe yerdeğiş tirme δ (mm) itme/çe kme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
3	± 27	89.10/-85.30	Kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki iç çekirdek beton ezilmiştir. Bu aşamada deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir.



Şekil 4.127 : + 3.58 mm itme çevrimi duvarda meydana gelen b diyagonal kesme çatlağı $w=1.1$ mm olmuştur.



Şekil 4.128 : -4.48 mm çekme çevrimi, doğu cephesi duvarın köşe birleşiminden çerçevede meydana getirdiği kesme e' çatlağı $w=0.5$ mm, $P=111.66$ kN yatay yük altında.



Şekil 4.129 : -7.2 mm çekme çevriminde doğu cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesinde kesme çatlağı $w=1.6$ mm. Beton kabukta ezilme başlangıcı.



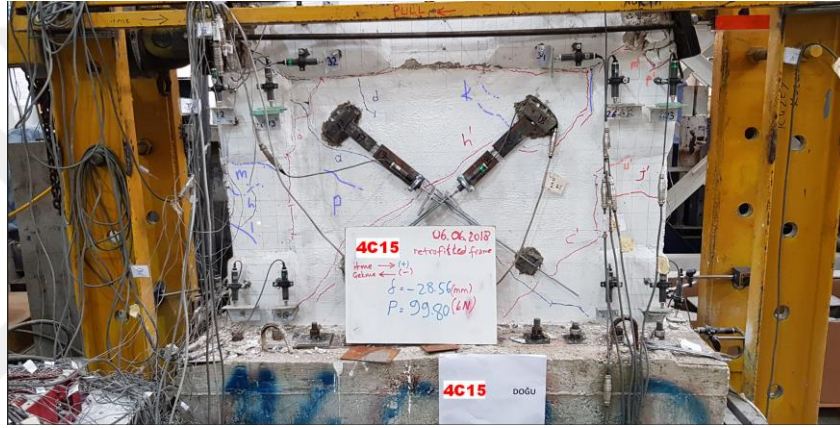
Şekil 4.130 : Numune 7 ileri hasar batı cephesi, TRM sargı üzerinde meydana gelen kesme hasarları



Şekil 4.131 : Numune 7 ileri hasar doğu cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesinde beton çekirdek ezildi.



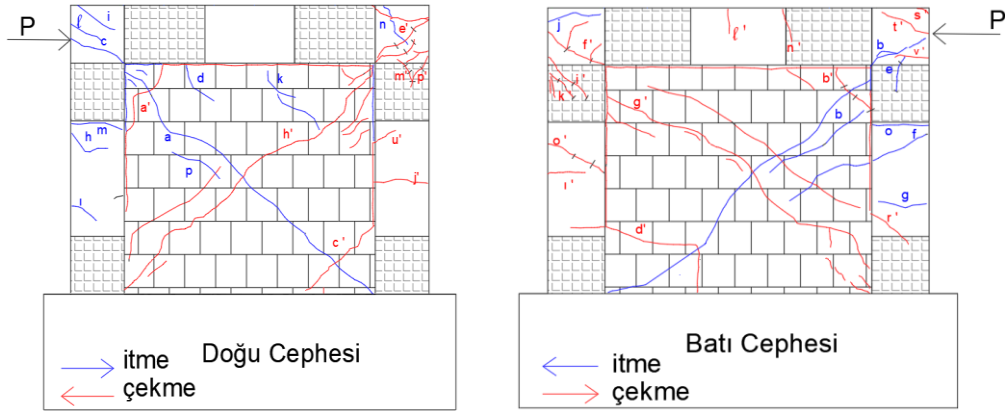
Şekil 4.132 : TRM üzerinde meydana gelen kesme çatlağı $w=0.3$ mm



Şekil 4.133 : Numune 7 ileri hasar doğu cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesi çekirdek beton ezilmesi, duvarda X kesme çatlağı meydana geldi



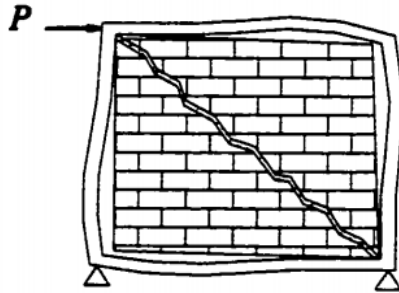
Şekil 4.134 : Numune 7 ileri hasar batı cephesi, kiriş-kolon birleşim bölgesi çekirdek beton ezilmesi, duvarda X kesme çatlağı meydana geldi



Şekil 4.135 : Numune7 / 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

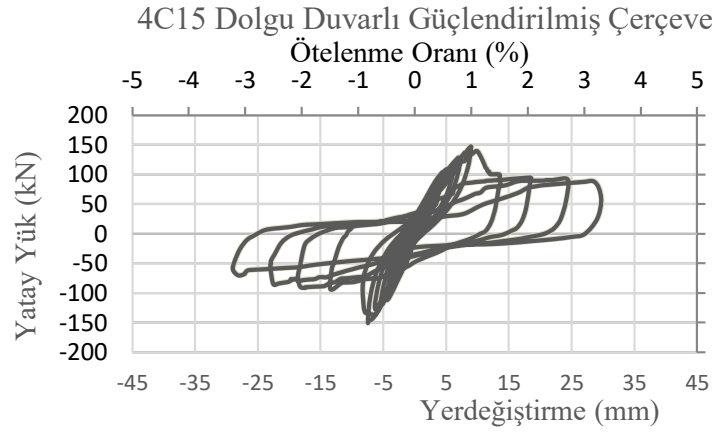
Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi, kolon ortası ve duvarda diagonal kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.135).

Bu deneyde duvarda çapraz biçimli göçme meydana gelmiştir (Şekil 4.136). Çapraz göçme, duvar köşegenlerinde yüksek basınç gerilmeleri altında meydana gelmektedir.

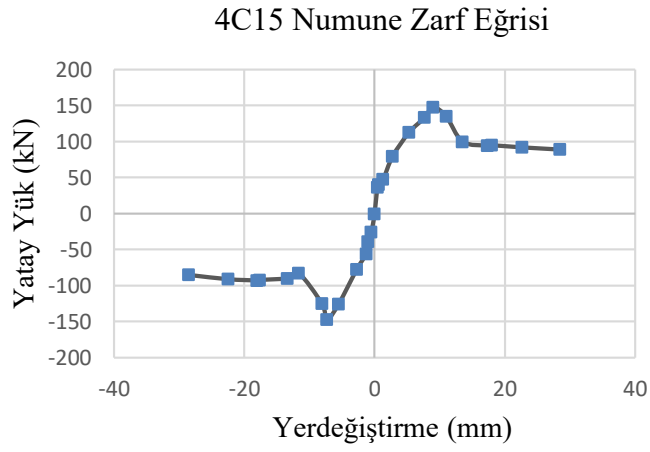


Şekil 4.136 : Duvarda diyagonal biçimli göçme mekanizması

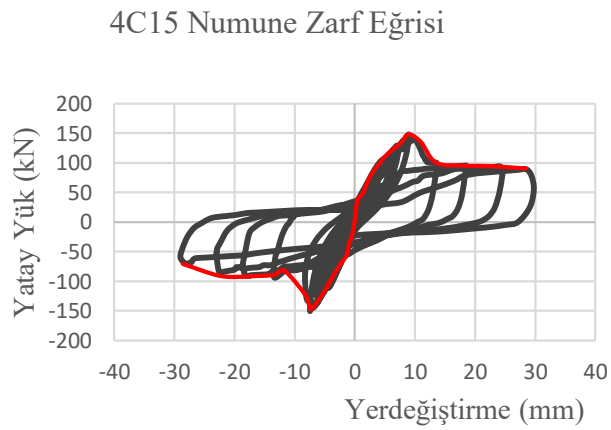
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.137), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.137), zarf eğrisi (Şekil 4.138), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.139), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.140), rijitlik (Şekil 4.141) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.142), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.143), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.144) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



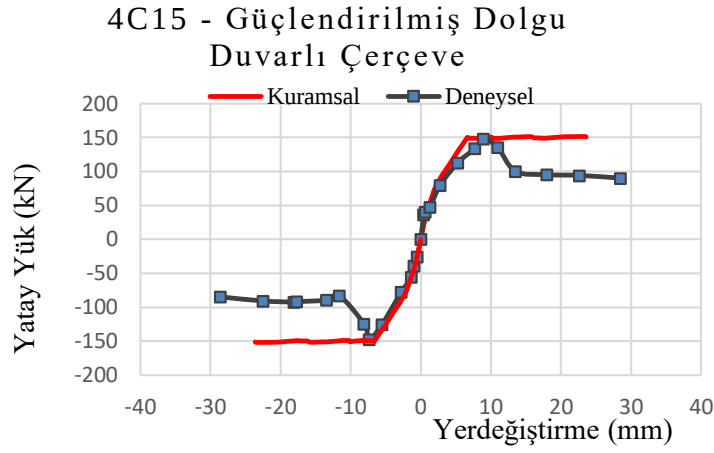
Şekil 4.137 : 4C15 Numune Yatay yük-Yerdeğiştirme- Ötelenme oranı (%)



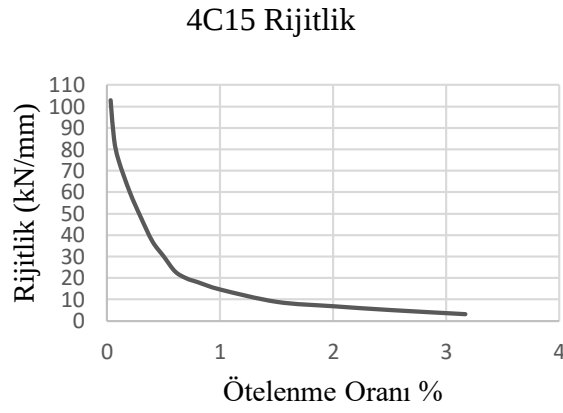
Şekil 4.138 : 4C15 Numune Zarf Eğrisi



Şekil 4.139 : 4C15 Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



Şekil 4.140 : 4C15 in Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

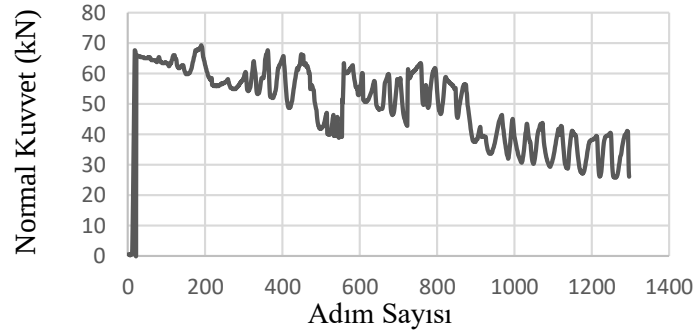


Şekil 4.141 : 4C15 Numune Rijitlik değişimi

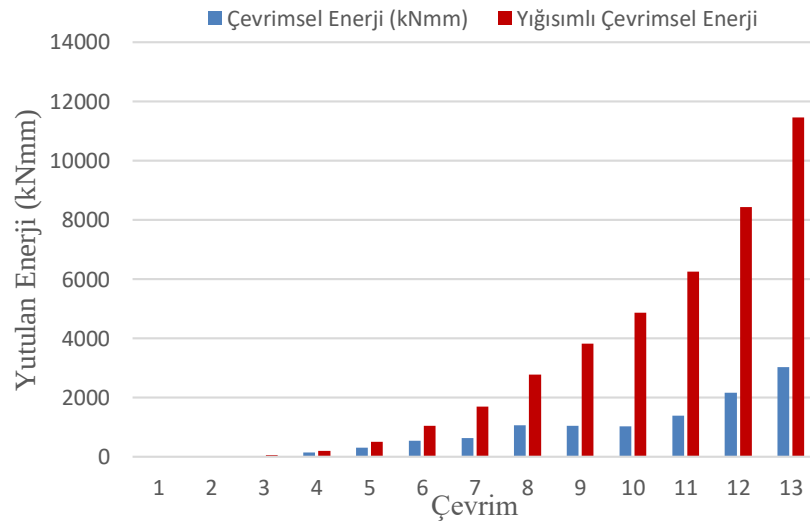


Şekil 4.142 : 4C15 Numune Yükleme Fonksiyonu

4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve

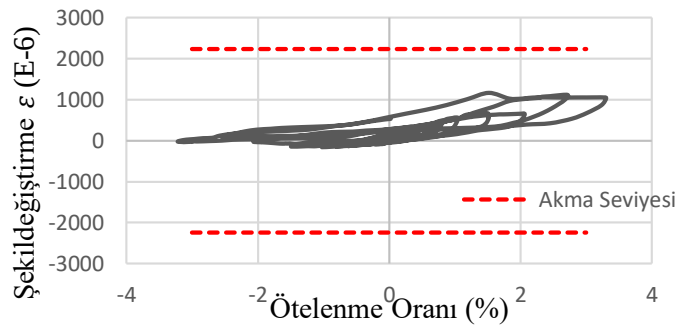


Şekil 4.143 : 4C15 Numune Normal Kuvvet-Adım Sayısı



Şekil 4.144 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçeve-Yutulmuş Enerji 11455 kNmm

CH 41- Kolon üst ucu



Şekil 4.145 : 4C15 Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin Şekildeğiştirme-Ötelenme Oranı

41 nolu kanalın bağlı olduğu kolonda boyuna donatı akmaya ulaşamamıştır (Şekil 4.145).

4.9 Numune 8 (9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.146 de verilmiştir.

itme → +			çekme ← -	
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.26)	+26.57	-0.27(-0.26)	-28.49
2	0.54(+0.54)	+41.61	-0.54(-0.56)	-49.46
3	+0.9(+0.94)	+60.18	-0.9(-0.88)	-66.18
4	+1.8(+1.86)	+82.23	-1.8(-1.82)	-81.79
5	+2.7(+2.68)	+91.66	-2.7(-2.72)	-83.67
6	+3.6(+3.60)	+81.20	-3.6(-3.62)	-89.44
7	+4.5(+4.48)	+93.21	-4.5(-4.50)	-97.54
8	+5.4(+5.26)	+107.63	-5.4(-5.42)	-122.62
9	+6.3(+6.44)	+112.60	-6.30(-6.30)	-126.60
10	+7.2(+7.24)	+116.97	-7.20(-7.22)	-131.13
11	+9(+9.16)	+133.56	-9(-9.1)	-131.64
12	+13.5(+13.54)	+126.72	-13.50(-13.42)	-134.11
13	+18(+17.36)	+126.85	-18(-17.94)	-93.50
14	+22.5(+23.32)	+103.48	-22.5(-22.62)	-81.99
15	+28.5(+29.34)	+72.28	-28.50(-28.56)	-72.55

Şekil 4.146 : 9C15Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve Çevrim Bilgileri

Numune 8 referans dolgu duvarlı çerçeve deney numunesi, güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve deney numunesi ve çerçeve deney numuneleri ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 15 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede a $w < 0.1$ mm ilk kılcal sürtünme çatlağı 3.itme çevriminde doğu cephesi kuzey kolonu alt bölgesi iç lif duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiştir. 3.çekme çevriminde 0.88 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 66.18 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde a' sürtünme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst iç lif duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiş, b' sürtünme çatlağı $w = 0.1$ mm doğu cephesi giriş orta alt lif duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiştir. c' kesme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi duvarda ve alt temele yakın tarafta meydana gelmiş, d' kesme çatlağı $w = 0.1$ mm batı tarafı giriş alt lif ve duvar tarafında meydana gelmiş, e' çatlağı $w = 0.1$ mm batı tarafı duvarda ve alt temele yakın yerde meydana gelmiştir. 4.itme çevriminde 1.86 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 82.23 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde b sürtünme çatlağı $w < 0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst iç lif duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiş, c sürtünme çatlağı $w = 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu iç lif ile giriş alt lif duvar birleşimi duvar tarafında meydana gelmiştir. 4.çekme çevriminde 1.8 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 81.79 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde a' çatlağı doğu cephesi güney kolonu duvar birleşimi boyunca temele kadar ilerledi. b' çatlağı $w = 1$ mm çapraz ilerleyerek kesme çatlağına döndü ve doğu cephesi güney kolonu orta noktasına kadar duvarda köşe çatlağına neden olmuştur. c' çatlağı ilerleyerek doğu cephesi kuzey kolonu orta bölgesi duvar birleşimine kadar ilerledi. f' sürtünme çatlağı $w = 0.1$ mm batı cephesi güney kolonu orta bölge duvar birleşimi duvarda meydana gelmiştir. d' kesme çatlağı $w = 0.7$ mm batı cephesi tarafında güney kolonu alt bölgeye kadar ilerleyerek f' çatlağıyla birleşti. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1053 μm micro strain (CH 53=Batı cephesi giriş sol alt mesnet lifi) düzeyindedir. 5.itme çevriminde 2.68 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 91.66 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde b çatlağı doğu cephesi kuzey kolonu duvar birleşimi duvar tarafında 2.kez ilerlemiştir. c çatlağı batı cephesi kuzey kolonu alt taraflara kadar duvarda 2.kez ilerlemiştir. 5.çekme çevriminde 2.72 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 83.67 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğru cephesi kuzey kolonu orta bölge kolon tarafında g' kesme çatlağı $w = 0.1$ mm meydana gelmiştir. b' kesme çatlağı $w = 1.3$ mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1545 μm micro strain (CH

53=Batı cephesi kiriş sol alt mesnet lifi) düzeyindedir. 6.itme çevriminde 3.6 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 81.20 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde herhangi bir yeni çatlak oluşumu olmamıştır. 6.çekme çevriminde 3.62 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 89.44 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde h' kesme çatlakı $w < 0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi iç lifte kolonda meydana gelmiştir.

i' kesme çatlakı $w < 0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi kolonda meydana gelmiştir. i' eğilme çatlakı $w = 0.1$ mm batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. j' kesme çatlakı $w = 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi kolon tarafında meydana gelmiş, k' kesme çatlakı da $w = 0.1$ mm batı cephesi kiriş sol mesnet alt bölgesi kirişte meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1684 μm micro strain (CH 53=Batı cephesi kiriş sol alt mesnet lifi) düzeyindedir. 7.itme çevriminde 4.48 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 93.21 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde b sürtünme çatlakı $w = 0.9$ mm doğu cephesi kuzey kolonu duvar birleşimi duvar tarafında 3.kez ilerlemiştir. 7.çekme çevriminde 4.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 97.55 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde duvarda b' kesme çatlakı $w = 1.8$ mm e ulaşmıştır. h' kesme çatlakı dallanarak kolonda 2.kez ilerlemiştir. g' kesme çatlakı $w = 0.4$ mm olmuştur. d' kesme çatlakı $w = 1.4$ mm duvarda olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1778 μm micro strain (CH 53=Batı cephesi kiriş sol alt mesnet lifi) düzeyindedir. 8.itme çevriminde 5.26 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 107.63 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde c çatlakı batı cephesi kuzey kolonu alt temel seviyesine kadar duvarda 3.kez ilerlemiştir. 8.çekme çevriminde 5.42 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 122.62 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde j' kesme çatlakı $w = 0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi kolon tarafında 2.kez ilerlemiştir. i' kesme çatlakı $w = 0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi kolonda 2.kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1850 μm micro strain (CH 53=Batı cephesi kiriş sol alt mesnet lifi) düzeyindedir. 9.itme çevriminde 6.24 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 110.4 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde herhangi bir yeni çatlak oluşmamıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2312 μm micro strain (CH 44= Doğu cephesi kiriş sol üst mesnet donatı lifi akmış) düzeyindedir. 9.çekme çevriminde 6.30 mm hedef

yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 126.6 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde b' kesme çatlağı $w=2.3$ mm olmuştur. g' çatlağı $w=0.5$ mm dallanmıştır. d' kesme çatlağı $w=1.9$ mm duvarda olmuştur. 10.itme çevriminde 7.24 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 116.97 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde herhangi bir yeni çatlak oluşmamıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2238 μ m micro strain (CH 51=Doğu cephesi kiriş sağ üst mesnet donatı lifi akmış) düzeyindedir. 10.çekme çevriminde 7.22 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 131.13 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde k' kesme çatlağı $w=0.2$ mm dallanarak 2.kez ilerlemiştir. j' kesme çatlağı 3.kez ilerlemiştir. 11.itme çevriminde 9.16 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 133.56 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde doğu cephesi kuzey kolonu duvar birleşimin olduğu yerde b çatlağı duvar kolon ekleri bariz görülecek şekilde açılmıştır. Bu çevrimde herhangi bir yeni çatlak oluşmamıştır. 11.çekme çevriminde 9.10 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 131.64 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde doğu cephesi kuzey kolonu orta bölgede l' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ve m' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm kolonda meydana gelmiştir. b' kesme çatlağı $w=2.9$ mm duvarda olmuştur. b' çatlağının olduğu kiriş duvar sınırı belirgin ortaya çıkmıştır. Doğu cephesi güney kolonu alt temel bölgesinde n' kesme çatlağı $w=0.1$ mm kolonda meydana gelmiştir. Doğu cephesi kiriş üst orta bölgede o' kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte p' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst uç bölge dış lifte r' kesme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst uç bölge dış lifte s' kesme çatlağı $w=0.3$ mm, kolon orta bölümde t' ve u' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. b' kesme çatlağı duvarda $w=3$ mm e çıkmıştır. Batı cephesi kiriş orta bölgede v' kesme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 5171 μ m micro strain (CH 56=Doğu cephesi kuzey kolonu alt dış donatı lifi akmış) düzeyindedir. 12.itme çevriminde 13.56 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 123 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi güney kolonu alt temel hizası duvarda d kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu kolon orta bölgede e kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst dış lifte kolonda f kesme çatlağı $w=0.2$ mm, g eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ve o eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst dış lifte h eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesinde r eğilme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu

üst iç lifte ı kesme çatlağı $w=0.2$ mm, i kesme çatlağı $w=0.1$ mm, j kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolon orta bölge dış lifte aynı anda k eğilme çatlağı $w=0.1$ mm, l eğilme çatlağı $w=0.1$ mm ve m eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi güney kolonu alt temel seviyesi duvarda n kesme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kiriş orta üst bölgede p kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $2699 \mu\text{m}$ micro strain (CH 48=Doğu cephesi güney kolonu üst dış donatı lifi akmış) düzeyindedir. 12.çekme çevriminde 13.52 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 133.7 kN yatay yük değeri okunmuştur. m' eğilme çatlağı 3.kez ve l' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm 2.kez kolonda ilerlemiştir. b' çatlağı $w=3.5$ mm olmuştur. Doğu cephesi kiriş orta üst bölgede y' kesme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu alt temel bölgesi dış lifte kolonda w' kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede s' kesme çatlak genişliği $w=0.4$ mm olmuştur, bu kolonun orta bölümündeki t' ve u' eğilme çatlakları $w=0.1$ mm 2.kez ilerlemiştir. v' kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi kiriş orta bölgede 2.kez dallanmıştır. Batı cephesi güney kolonu iç duvar birleşiminde x' eğilme çatlağı $w=0.3$ mm duvarda meydana gelmiştir. d' kesme çatlağı $w=3.5$ mm olmuştur. r' kesme çatlağı $w=0.7$ mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri $3651 \mu\text{m}$ micro strain (CH 53=Batı cephesi kiriş sol alt donatı lifi akmış), $5075 \mu\text{m}$ micro strain (CH 59=Doğu cephesi kuzey kolonu üst dış lif akmış) düzeyindedir. 13.itme çevriminde 17.96 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 125.83 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kiriş üst sol bölgede s kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu üst bölge dış lifte t kesme çatlağı $w=0.4$ mm meydana gelmiştir. f kesme çatlağı $w=0.4$ mm e çıkmıştır. Doğu cephesi güney kolonu orta bölgede u eğilme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst bölgede v kesme çatlağı $w=0.3$ mm (s' çatlağına dik) meydana gelmiştir. m çatlağı 2.kez ilerledi $w=0.2$ mm. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgeden orta bölgeye doğru iç lifte $w_1=0.4$ mm kesme çatlağı(r' çatlağına dik) meydana gelmiştir. 13.çekme çevriminde 17.94 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 93.5 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde çerçeve ani dayanım kaybı yaşamıştır. Doğu cephesi güney kolon duvar birleşiminde xa' kesme çatlağı meydana gelmiştir. Bu bölgedeki kiriş ve kolon köşesindeki duvar parçacıkları dökülmeye başlamıştır. m' çatlağı 3.kez ilerlemiştir. s' çatlağı $w=1.1$ mm olmuştur. j' çatlak genişliği $w=3.2$ mm olmuştur. v' çatlak genişliği $w=0.5$ mm

olmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede x_b' kesme çatlağı $w=0.5$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölge dış lifte p' eğilme çatlağı $w=0.5$ mm olmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst uç bölgede r' kesme çatlağı $w=2.4$ mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 2009 μm micro strain (CH 35=Batı cephesi kuzey kolonu üst iç lif akmaya çok yaklaşmış) düzeyindedir. 14.itme çevriminde 23.32 mm hedef yer değiştirmeye ulaşıldığında 103.48 kN yatay yük değeri okunmuştur. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede y kesme çatlağı $w=0.6$ mm (r' çatlağına dik) meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolonu orta bölgede z kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst bölgede w kesme çatlağı (r' çatlağına dik) $w=0.7$ mm meydana gelmiştir. m çatlağı $w=0.5$ mm olmuştur. i çatlağı $w=0.7$ mm olmuştur. Batı cephesi güney kolon alt temel hizasında x_a çatlağı meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesinde x çatlağı meydana gelmiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 2928 μm micro strain (CH 41=Doğu cephesi kuzey kolonu üst iç lif donatı akmış), 14018 μm micro strain (CH 57=Batı cephesi kuzey kolonu alt dış lif donatı akmış) düzeyindedir. 14.çekme çevriminde 22.54 mm hedef yer değiştirmeye ulaşıldığında 81.22 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde batı cephesi duvarın güney kolonu tarafında köşe ezilmesi olmuştur. Sıvalar dökülmüştür. Kuzey kolonu arka sırt tarafı (100 mm genişliğin olduğu yer) x_c' kesme çatlağı $w=0.7$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolon tarafı duvarın köşe ezilmesi meydana gelmiştir. Kuzey kolon üst bölge iç lifteki donatı burkulmuştur. Batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgede x_d' kesme çatlağı $w=0.2$ mm olmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 5672 μm micro strain (CH35=Batı cephesi kuzey kolonu üst iç lif donatı akmış) düzeyindedir. 15.itme çevriminde 28.24 mm hedef yer değiştirmeye ulaşıldığında 71.42 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde duvarın her iki köşesi bariz bir şekilde ezilmiştir. Duvar düzlemi dışı batı cephesine doğru hareket etmiştir. Her iki kolonun üst bölgesi alt temel bölgesine göre daha çok kesme hasarına uğramıştır. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 2270 μm micro strain (CH46=Doğu cephesi güney kolonu üst bölge iç donatı lifi akmış) düzeydedir. 15.çekme çevriminde 28.56 mm hedef yer değiştirmeye ulaşıldığında 72.56 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekil değiştirme değeri 4532 μm micro strain (CH42=Doğu cephesi kiriş alt donatı lifi akmış), 3762 μm micro strain (CH43=Batı cephesi kiriş sağ alt mesnet donatı lifi akmış) düzeydedir. Kuzey kolonu üst bölge iç

ve dış donatıları burkulmuştur. Bu aşamada deney aletlerinin zarar görmemesi için deneye son verilmiştir.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.9, Şekil 4.147, Şekil 4.148, Şekil 4.149, Şekil 4.150, Şekil 4.151, Şekil 4.152 de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Numune 8 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 8 / 9C15			
Ötele nme Oranı (%)	Tepe yerdeğiş tirme δ (mm) itme/çek me	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	60.18/-66.18	Bu çevrimde ilk kılcal çatlak $w < 0.1$ mm çerçeve duvar birleşim bölgesinde meydana gelmiştir.
0.2	± 1.8	82.23/-81.79	Bu çevrimde b' çatlağı kesme çatlağına $w = 1$ mm dönüşüp duvarda köşe kırılmasına sebep olmuştur.
0.5	± 4.50	93.21/-97.54	b' kesme çatlağı $w = 1.8$ mm genişlemiştir. Doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesinde h' kesme çatlağı dallanarak ilerlemiştir.
0.8	± 7.2	116.97/-131.13	Bu çevrimde önceki çevrimlerde meydana gelen kesme çatlakları $w = 0.2$ mm dallanarak ilerlemiştir.
1	± 9	133.56/-131.64	Bu çevrimde doğu cephesi kuzey kolonu orta bölgede l' eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm ve m' eğilme çatlağı $w = 0.1$ mm kolonda meydana gelmiştir. Duvarda kesme çatlağı $w = 2.9$ mm meydana gelmiştir. Doğu cephesi güney kolon alt uç bölgede kesme çatlağı $w = 0.1$ mm, kuzey kolonu üst uç bölgede kesme çatlağı $w = 0.3$ mm meydana gelmiştir.
1.5	± 13.5	126.72/-134.11	Bu çevrimde doğu cephesi güney kolonu alt uç bölgede d kesme çatlağı $w = 0.4$ mm ve orta bölgede e kesme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kiriş-kolon birleşiminde r eğilme çatlağı $w = 0.2$ mm ve doğu cephesi kiriş orta bölge üstte p kesme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana gelmiştir. Kolon-duvar bölgesinin köşesinde $w = 3,5$ mm genişleyen kesme çatlağı duvar tarafında meydana gelmiştir.
2	± 18	125.83/-92.38	Bu çevrimde güney kolonu üst bölge dış lifte t kesme çatlağı $w = 0.4$ mm, orta bölgede u eğilme çatlağı $w = 0.2$ mm meydana gelmiştir. Kuzey kolonu üst bölge iç lifte kesme çatlağı $w = 0.4$ mm meydana gelmiştir. Çekme çevriminde çerçevede ani dayanım kaybı yaşanmıştır. Çerçeve duvar birleşiminde duvar parçacıkları dökülmüştür. Önceki çevrimlerde meydana gelen çatlaklar genişleyerek ilerlemiştir.

Çizelge 4.9 (devam) : Numune 8 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 8 / 9C15			
Ötele nme Oranı (%)	Tepe yerdeğiş tirme δ (mm) itme/çek me	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
2.5	± 22.5	103.48/-81.99	Bu çevrimde güney kolonu orta bölgede yeni z kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Kuzey kolonu üst bölgede y kesme çatlağı $w=0.6$ mm ve w kesme çatlağı $w=0.7$ mm meydana gelmiştir. Kolon temel bölgesinde kesme çatlakları meydana gelmiştir. Batı cephesi kuzey kolon tarafı duvarda köşe ezilmesi meydana gelmiştir.
3	± 27	72.28/-72.55	Bu çevrimde duvarın her iki köşesi bariz olarak ezilmiştir. Duvarda düzlem dışı hareket etmiştir. Güney ve kuzey kolonları üst bölgede büyük kesme hasarları görülmüştür. Boyuna donatılar burkulmuştur. Deneye son verilmiştir.



Şekil 4.147 :
+13.52 mm itme
çevrimi batı
cephesi



Şekil 4.148 : -
17.94 mm
çekme çevrimi
batı cephesi



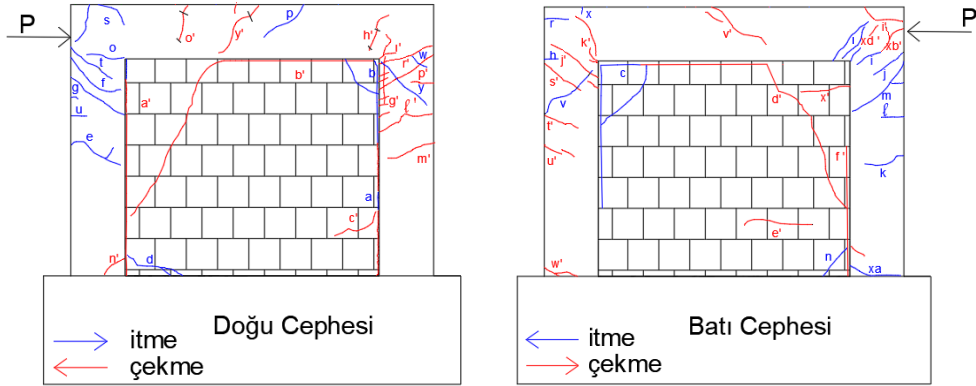
Şekil 4.149 : -22.54 mm çekme çevrimi batı cephesi



Şekil 4.150 : -28.56 mm çekme çevrimi doğu cephesi



Şekil 4.151 : Numune 8 ileri hasar doğu cephesi

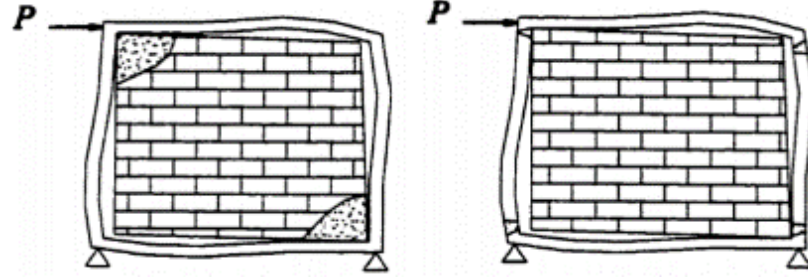


Şekil 4.152 : Numune 8 / 9C15 Dolgu Duvarlı Referans Çerçeve meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesi, kolon ortası ve duvarda köşe bölgesinde kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir (Şekil 4.152).

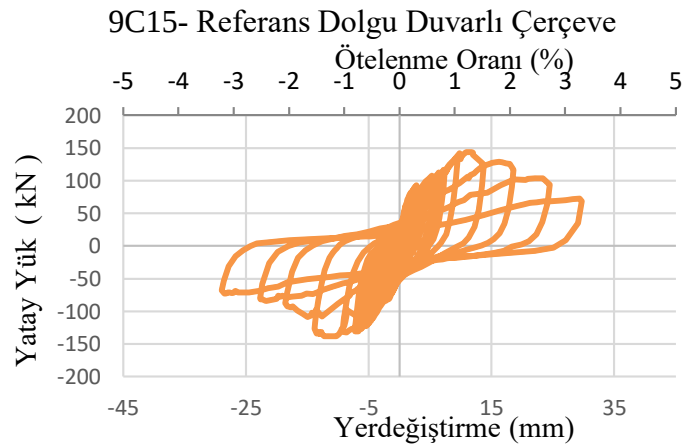
Bu deneyde, duvarda köşe kırılması gerçekleşmiştir. Köşe kırılması (Şekil 4.153), çerçevenin iki köşesinde yüksek gerilme birikmesiyle oluşur. Rijitliği daha büyük olan

kiriş ve kolonlarda köşe ezilmesi küçük bir bölgede meydana gelirken, rijitliği zayıf olan çerçevelerde köşe kırılması daha geniş bir alanda olabilir ve hasar mekanizması betonarme çerçeveye geçebilir. Ötelenme oranı artarken köşedeki duvar elemanları kısmen düşebilir.

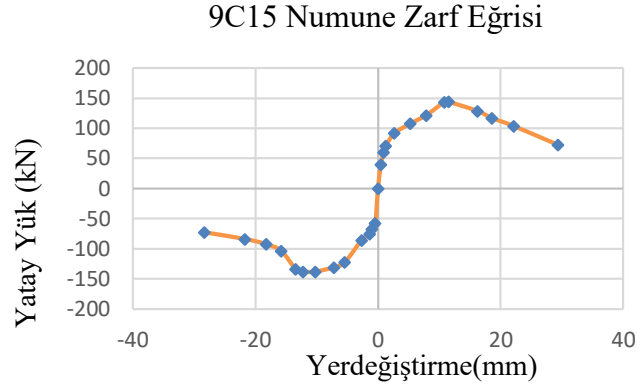


Şekil 4.153 : Duvarda köşe kırılması ve yapısal eleman göçmesi sonucu meydana gelen ağır hasar

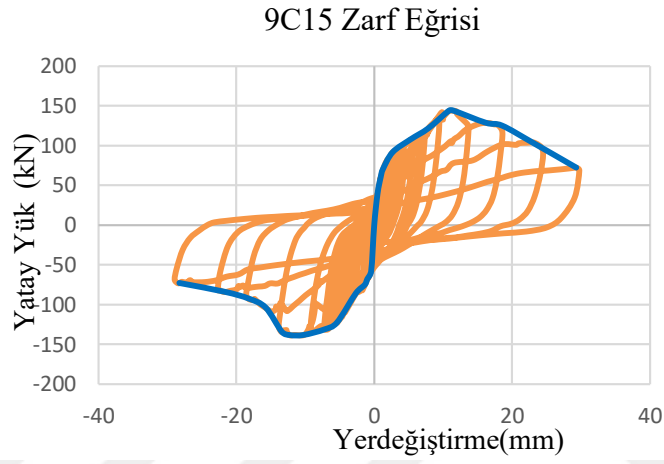
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.154), yatay yük-ötelenme oranı (%), zarf eğrisi (Şekil 4.155), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.156), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.157), rijitlik (Şekil 4.158) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.159), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.160), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer- ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.161) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



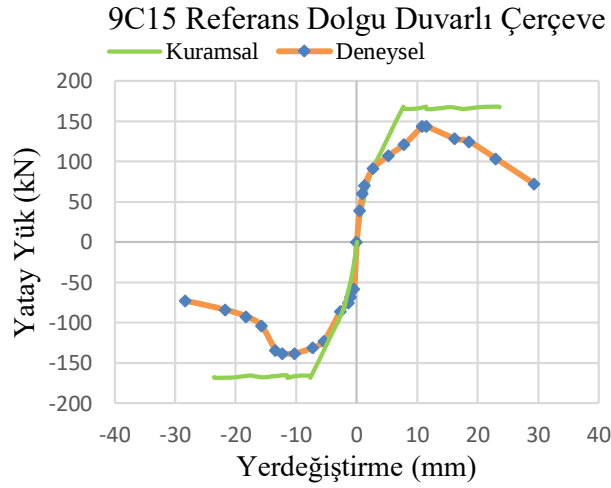
Şekil 4.154 : 9C15 Numune yatay yük-Yerdeğiştirme-Ötelenme Oranı (%)



Şekil 4.155 : 9C15 Numune Zarf Eğrisi

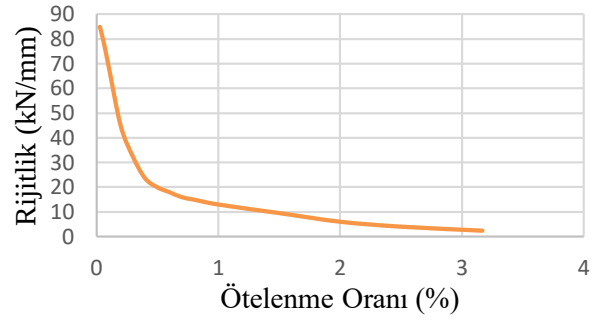


Şekil 4.156 : 9C15 Referans Duvarlı Çerçeve Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



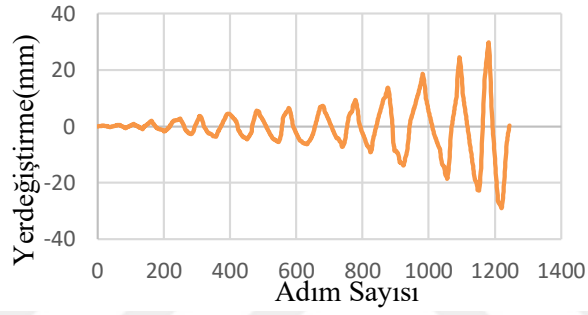
Şekil 4.157 : 9C15 in Nümerik Çözüm ve Deneyisel Sonuçların Karşılaştırılması

9C15 Rijitlik



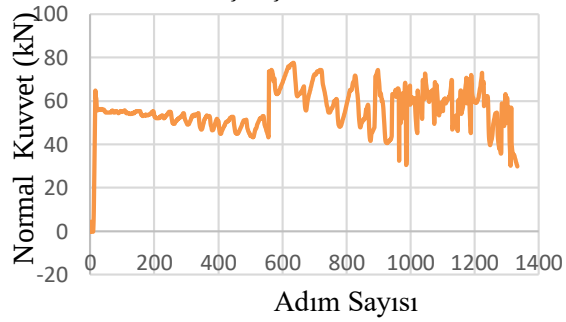
Şekil 4.158 : 9C15 Numune Rijitlik değişimi değişimi

Yükleme Fonksiyonu

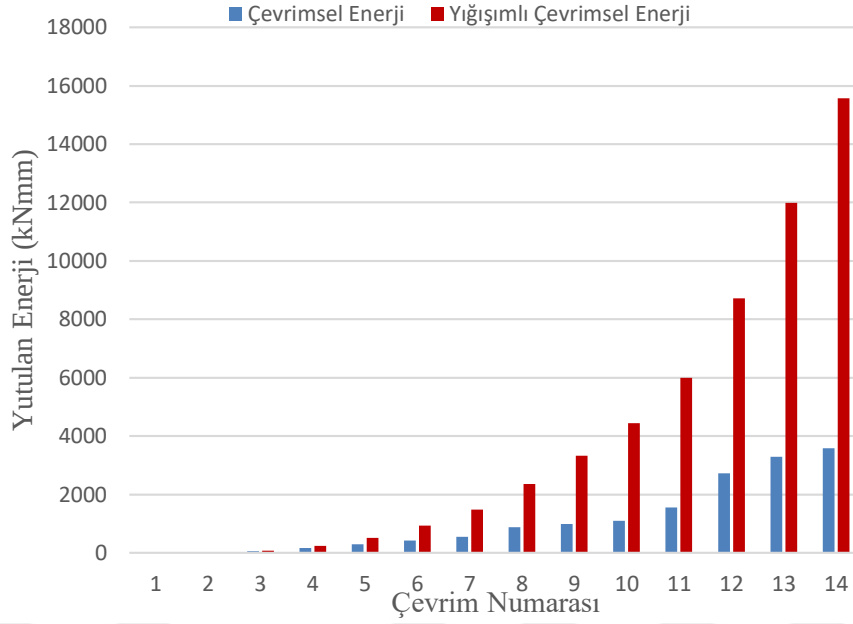


Şekil 4.159 : 9C15 Numune Yükleme Fonksiyonu

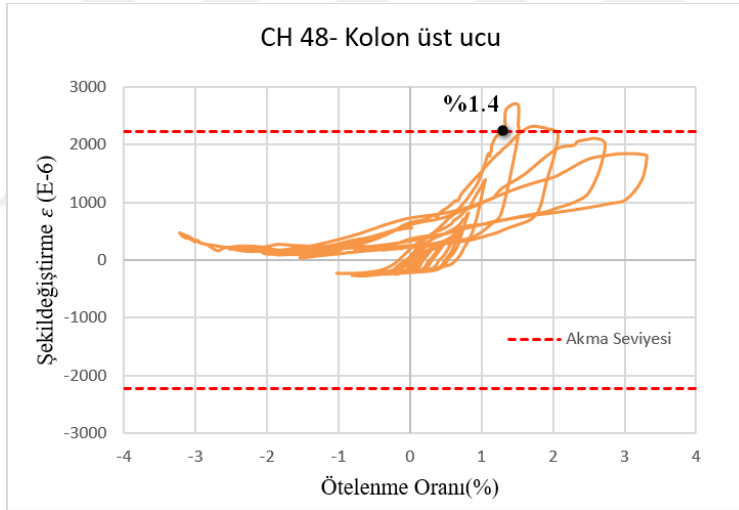
9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve



Şekil 4.160 : 9C15 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı



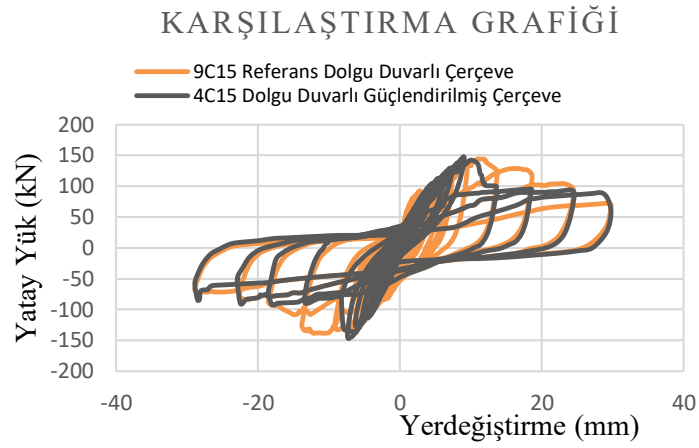
Şekil 4.161 : 9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve-Yutulan Enerji 15573 kNmm



Şekil 4.162 : 9C15 Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

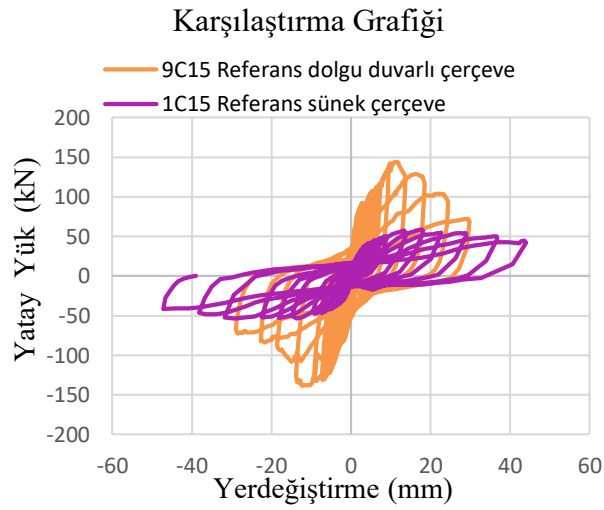
48 nolu kanalın bağlı olduğu kolonda boyuna donatı 1.4% ötelenme oranı seviyesinde akmaya ulaşmıştır (Şekil 4.162).

Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ile referans dolgu duvarlı çerçeve karşılaştırıldığında (Şekil 4.163), tek başına çerçevelerin güçlendirilmesi, duvarlı çerçevede başlangıç rijitliğini artırmış, ancak süneklik artmamıştır. Bu durumda sistemin sünekliğini artırmak için duvarların da güçlendirilmesi gerekmektedir. Sadece çerçevelerin güçlendirilmesi, beklenen iyileştirmeyi sağlamamakta ve yetersiz kalmaktadır.

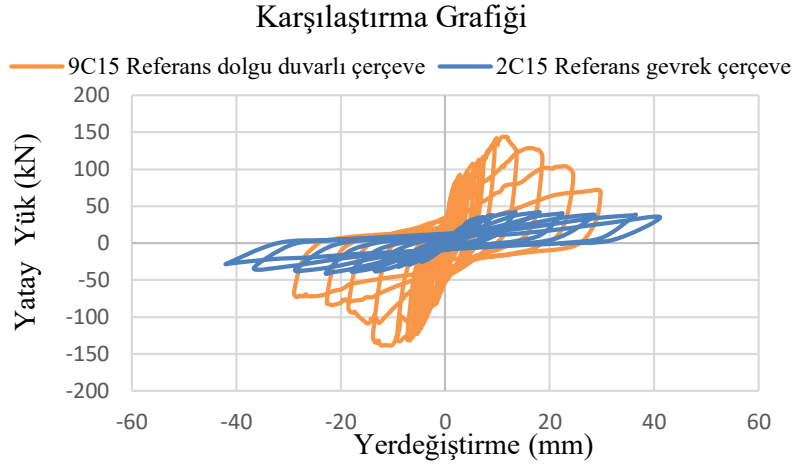


Şekil 4.163 : 4C15 Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve – 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve Enerji yutma=11455 kNmm Enerji yutma=15573 kNmm

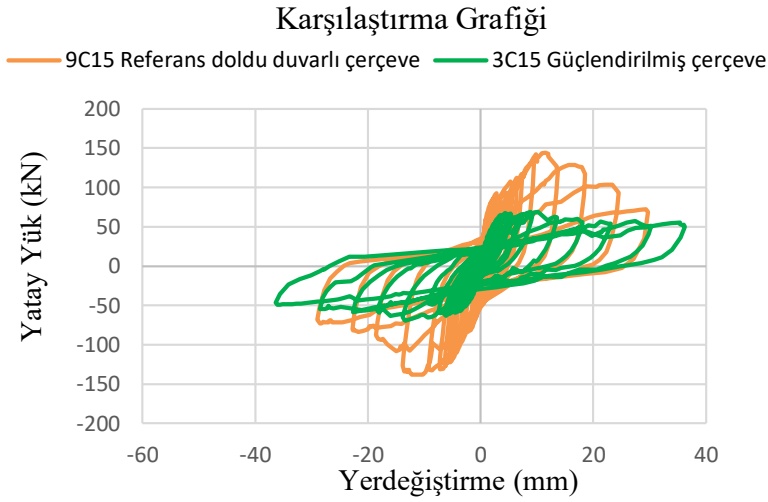
Referans dolgu duvarlı çerçevenin sünek referans çerçeveyle (Şekil 4.164), gevrek referans çerçeveyle (Şekil 4.165) ve güçlendirilmiş çerçeveyle (Şekil 4.166) olan karşılaştırması aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.164 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 1C15 Referans sünek çerçeve Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=8281 kNmm

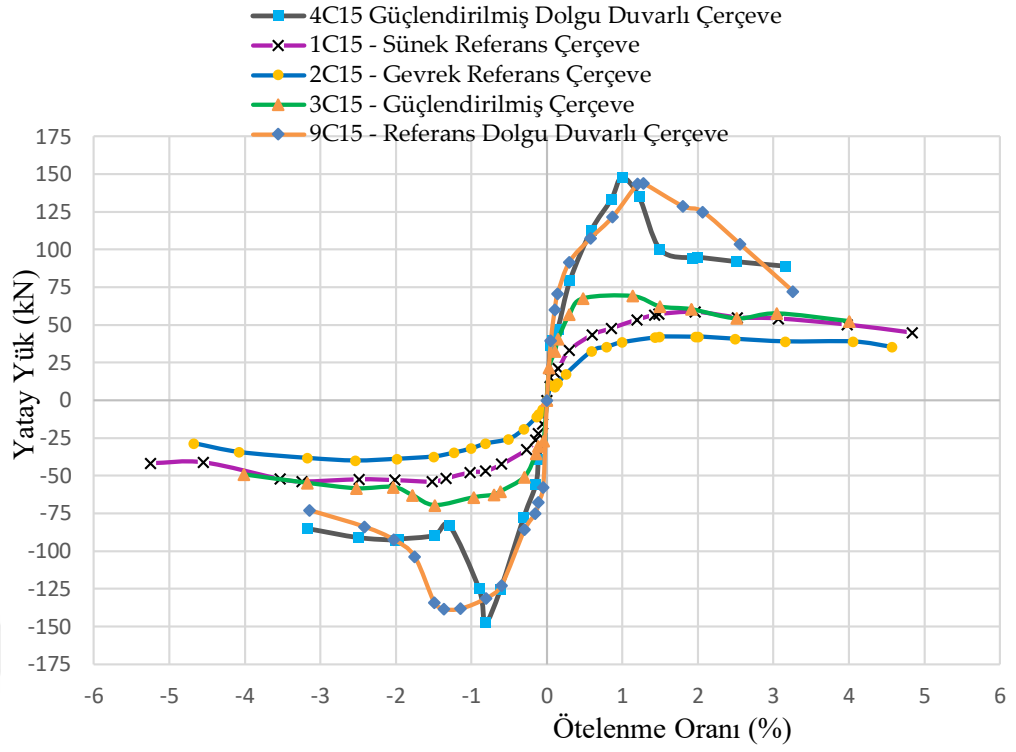


Şekil 4.165 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 2C15 Referans gevrek çerçeve
Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=5871 kNmm

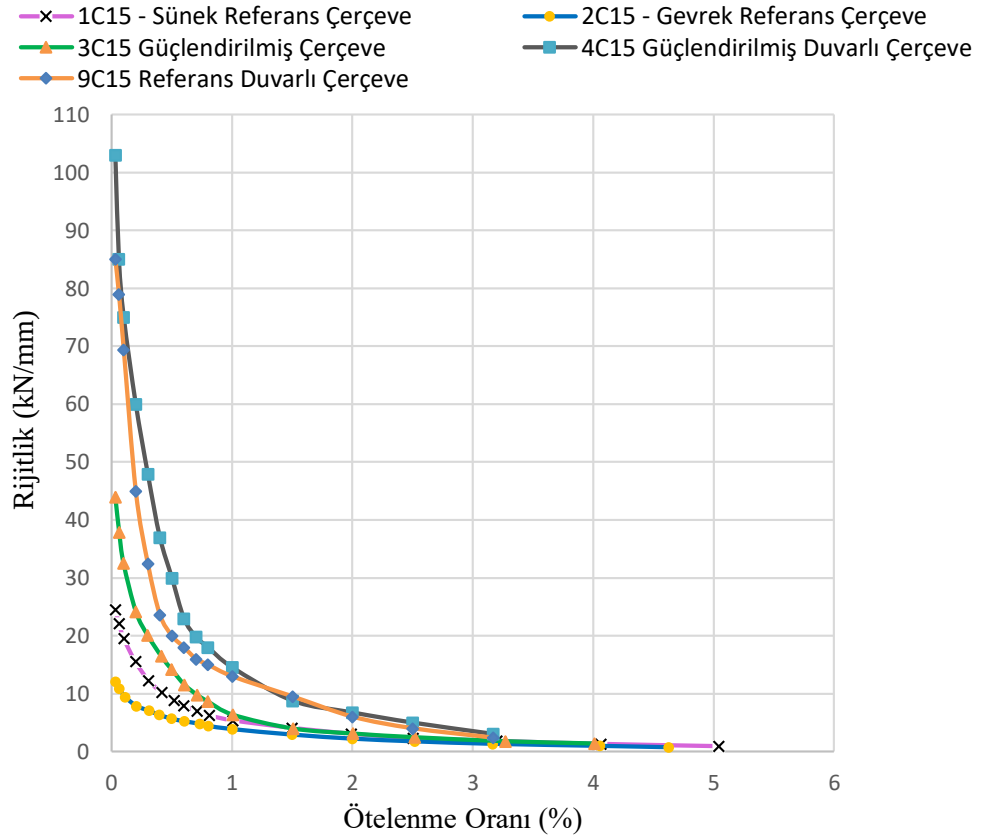


Şekil 4.166 : 9C15 Referans dolgu duvarlı çerçeve – 3C15 Güçlendirilmiş çerçeve
Enerji yutma=15573 kNmm Enerji yutma=8111 kNmm

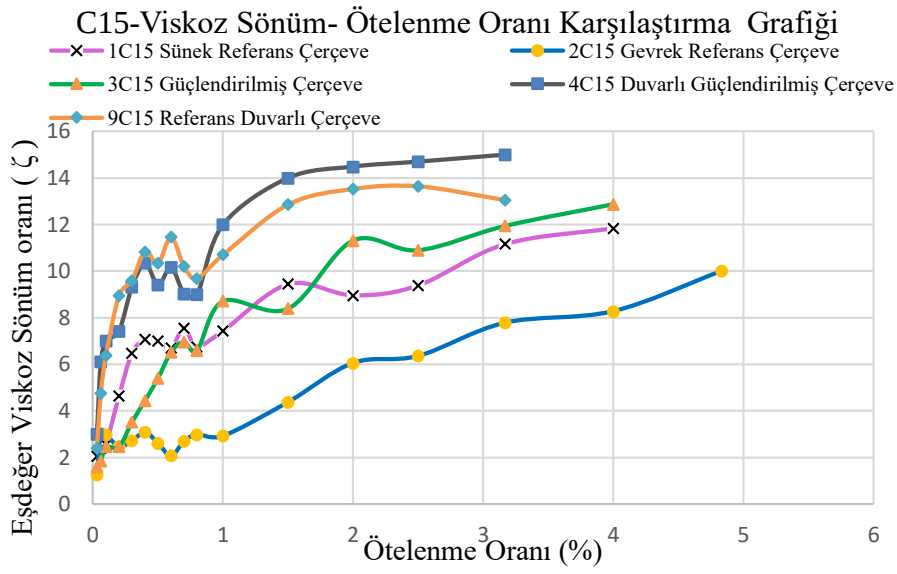
C15 li duvarlı ve duvarsız çerçevelerin zarf eğrileri, rijitlikleri, vizkoz sönüm oranları ve enerji yutma garfikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.167, Şekil 4.168, Şekil 4.169, Şekil 4.170 verilmiştir.



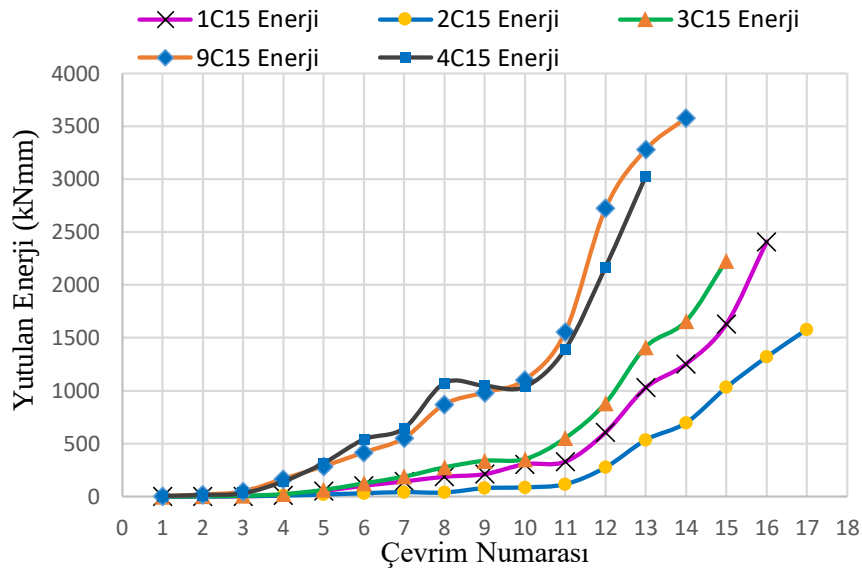
Şekil 4.167 : C15 Duvarlı ve Duvarsız Çerçevelerin Zarf Eğrisi karşılaştırması



Şekil 4.168 : C15 Duvarlı ve Duvarsız Çerçevelerin Rijitlik Değişimi



Şekil 4.169 : C15 Numunelerin Eşdeğer Visköz Sönüm Oranındaki değişimi(%)



Şekil 4.170 : Numune1, Numune2, Numune6, Numune7 ve Numune8 Yutulan Enerji

Çizelge 4.10 : C15 Numunelerin viskoz sönüm oranı ve rijitlik karşılaştırması

Etiket No / Numune No	Öteleme Oranı %	Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı % ζ	Rijitlik kN/mm k	Viskoz Oranı *	Rijitlik Oranı *
2 / 2C15	1	2.93	3.89	1.00	1.00
	2	6.05	2.24	1.00	1.00
	4	8.27	1.00	1.00	1.00
1 / 1C15	1	7.43	5.41	2.54	1.39
	2	8.96	3.11	1.48	1.39
	4	11.85	1.34	1.43	1.34
6 / 3C15	1	8.72	6.36	2.98	1.63
	2	11.32	3.12	1.87	1.39
	3	12.88	1.41	1.84	1.41
8 / 9C15	1	10.71	13.00	1.00	1.00
	2	13.53	6.00	1.00	1.00
	3	13.06	2.40	1.00	1.00
7 / 4C15	1	12.00	14.55	1.12	1.12
	2	14.48	6.75	1.07	1.13
	3	15.00	3.05	1.15	1.27

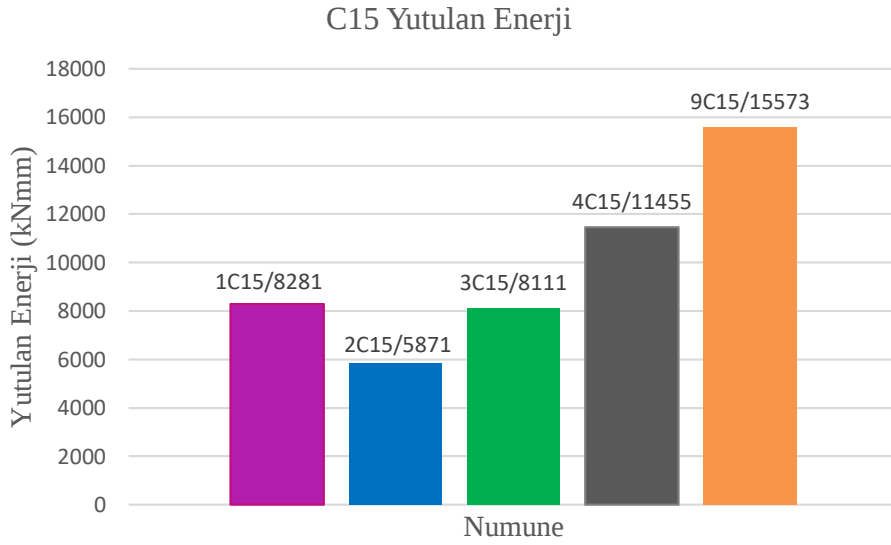
*1 ve 6 nolu numuneler 2 nolu numune ile karşılaştırılmıştır. 7 nolu numune 8 nolu numune ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.11 : C15 Numunelerin Süneklik, Maksimum yük ve Yutulan Enerji Karşılaştırması

Numune No/ Etiket No	Yutulan Enerji kNmm	Maksimum Yerdeğiştirme δ_u (mm)	Akma Yerdeğiştirme δ_y (mm)	Süneklik Faktörü μ	Maksimum Yük P (kN)	Enerji Oranı *	Süneklik Oranı *	Maksimu m Yük Oranı *
		itme / çekme	itme / çekme	Ortalama	itme / çekme			
2 / 2C15	5871	38.75 / 39.41	10.72 / 6.88	4.67	40.05/42.26	1.00	1.00	1.00/1.00
1 / 1C15	8281	40.84 / 39.25	6.80 / 6.33	6.17	58.59/53.82	1.41	1.32	1.46/1.27
6 / 3C15	8111	30.12 / 27.15	3.30 / 4.05	7.92	67.67/68.35	1.38	1.70	1.69/1.62
8 / 9C15	15573	18.80 / 15.23	6.80 / 5.10	2.85	133.56/134.11	1.00	1.00	1.00/1.00
7 / 4C15	11455	7.41 / 7.50	4.10 / 3.60	1.95	147.88/145.97	0.74	0.68	1.10/1.09

*1 ve 6 nolu numuneler 2 nolu numune ile karşılaştırılmıştır. 7 nolu numune 8 nolu numune ile karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle hazırlanan Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 deki tablolarda, C15 li numunelerin birbirleriyle olan karşılaştırmaları ve artış oranları görülmektedir. Bu oranlara göre güçlendirilmiş gevrek numune (3C15) süneklilikte, enerji yutma kapasitesinde, rijitlikte, yatay yük taşıma kapasitesinde ve viskoz sönüm oranında önemli bir performans artışı göstermiştir. Buna mukabil, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevede (4C15) ise bu oranlar elde edilememiştir.



Şekil 4.171 : C15 Numunelerin Enerji Yutma karşılaştırması

Zarf eğrisi (Şekil 4.167), Rijitlik eğrisi (Şekil 4.168), Eşdeğer Viskoz Sönüm oranları (Şekil 4.169) ve Yutulan enerji (Şekil 4.170, Şekil 4.171) eğrilerinden de açıkça görüleceği üzere güçlendirilmiş çerçeve, gevrek referans çerçeveye göre dayanım, rijitlik ve süneklilikte artış elde edilmiştir. Ancak güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve, referans dolgu duvarlı çerçeve ile karşılaştırıldığında beklenen artış olmamıştır. Bu nedenle dolgu duvarların da aynı anda güçlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.10 Numune 9 (10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve) Deneyi

Deneyde kullanılan itme çekme çevrim bilgileri Şekil 4.172 de verilmiştir.

İtme			Çekme	
→ +			← -	
Çevrim No	Tepe yd. İtme mm	Uygulanan Yük (kN)	Tepe yd. Çekme mm	Uygulanan Yük (kN)
1	+0.27(+0.28)	+13.87	-0.27(-0.26)	-15.35
2	0.54(+0.54)	+27.50	-0.54(-0.58)	-28.42
3	+0.9(+0.90)	+38.39	-0.9(-0.9)	-35.92
4	+1.8(+1.8)	+55.74	-1.8(-1.8)	-53.07
5	+2.7(+2.74)	+65.45	-2.7(-2.76)	-65.78
6	+3.6(+3.62)	+72.11	-3.6(-3.60)	-70.59
7	+4.5(+4.48)	+75.04	-4.5(-4.46)	-74.54
8	+5.4(+5.34)	+76.40	-5.4(-5.46)	-73.60
9	+6.3(+6.24)	+74.88	-6.30(-6.36)	-78.64
10	+7.2(+7.22)	+78.81	-7.20(-7.20)	-83.00
11	+9(+9)	+74.79	-9(-9)	-83.25
12	+13.5(+13.54)	+82.94	-13.50(-13.24)	-79.45
13	+18(+18.26)	+69.51	-18(-18.34)	-63.01
14	+22.5(+22.44)	+67.36	-22.5(-22.94)	-63.35
15	+28.5(+27.44)	+57.64	-28.50(-28.52)	-54.85
16	+31.5(+30.32)	+51.36	-32.5(-30.94)	-53.35

Şekil 4.172 : 10C26 Güçlendirilmiş Gevrek Çerçeve Çevrim Bilgileri

Numune 9 güçlendirilmiş çerçeve deney numunesi, gevrek referans çerçeve deney numunesi ve sünek referans çerçeve deney numunesi ile mukayese edilmek amacıyla üretilmiştir. Numuneye 16 tam yerdeğiştirme çevrimi tatbik edilmiştir. Numunede a' kesme çatlağı $w=0.3$ mm 4. çekme çevrimde batı cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. b' kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. 4.çekme çevriminde 1.80 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 53.07 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2355 μ m micro strain (CH 37=Doğu cephesi güney kolonu alt iç lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır.

5.itme çevriminde 2.70 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 65.45 kN yatay yük değeri okunmuştur. a kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. b kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. 5.çekme çevriminde 2.70 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 65.78 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' kesme çatlağı $w=0.3$ mm dallanmış ve ilerlemiştir. b' kesme çatlağı $w=0.3$ mm dallanmış ve ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1928 μ m micro strain (CH 51=Doğu cephesi kiriş sağ üst lifi) düzeyindedir. 6.itme çevriminde 3.60 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 72.11 kN yatay yük değeri okunmuştur. a kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. b kesme çatlağı $w=0.4$ mm dallanmış ve ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 1975 μ m micro strain (CH 55=Doğu cephesi kuzey kolonu alt dış lifi) düzeyindedir. 6.çekme çevriminde 3.60 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 70.59 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. b' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ikinci kez ilerlemiştir. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2237 μ m micro strain (CH 51=Doğu cephesi kiriş sağ üst lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır. 7.itme çevriminde 4.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 75.04 kN yatay yük değeri okunmuştur. c kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. d eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üstte meydana gelmiştir. e eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. f eğilme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. a kesme çatlağı $w=0.3$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. 7.çekme

çevriminde 4.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 74.54 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' kesme çatlağı $w=0.3$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. c' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. d' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. e' kesme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 8.itme çevriminde 5.40 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 76.40 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2237 μm micro strain (CH 55=Doğu cephesi kuzey kolonu alt dış lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır. f eğilme çatlağı $w=0.3$ mm dallandı, ilerledi ve kesme çatlağına dönüştü. b kesme çatlağı $w=0.5$ mm üçüncü kez kiriş-kolon birleşim bölgesinin içerisine doğru ilerledi. a kesme çatlağı $w=0.9$ mm olmuştur. e eğilme çatlağı dallandı ve kesme çatlağına $w=0.4$ mm dönüştü. 8.çekme çevriminde 5.40 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 73.60 kN yatay yük değeri okunmuştur. e' kesme çatlağı $w=0.3$ mm ilerlemiştir. 9.itme çevriminde 6.30 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 74.88 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2419 μm micro strain (CH 39=Doğu cephesi güney kolonu alt dış lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır. c kesme çatlağı $w=0.3$ mm dallanmış ve a' çatlağı ile birleşmiştir. g kesme çatlağı $w=0.1$ mm batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. h eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi güney kolonu orta bölgenin 7 cm altında dış lifte meydana gelmiştir. e çatlağı ilerlemiş ve b' kesme çatlağı ile birleşmiştir. a kesme çatlağı $w=1.0$ mm olmuştur. 9.çekme çevriminde 6.30 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 78.64 kN yatay yük değeri okunmuştur. f' eğilme çatlağı $w=0.1$ mm doğu cephesi kuzey kolonu orta bölgenin 7 cm altında dış lifte meydana gelmiştir. g' kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. e' kesme çatlağı a kesme çatlağı ile birleşmiştir. 10.itme çevriminde 7.20 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 78.81 kN yatay yük değeri okunmuştur. f kesme çatlağı $w=0.3$ mm üçüncü kez ilerlemiştir. a kesme çatlağı $w=0.9$ mm d' eğilme çatlağı ile birleşmiştir. Bu çevrimde kolon temel seviyelerinde kalkmalar başlamıştır. 10.çekme çevriminde 7.20 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 83.00 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 2254 μm micro strain (CH 44=Doğu cephesi kiriş sol üst lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır. a' kesme çatlağı $w=1.5$ mm olmuştur. b' kesme çatlağı $w=1.4$ mm olmuştur. e' kesme çatlağı $w=0.4$ mm olmuştur. 11.itme çevriminde 9.00 mm hedef

yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 74.79 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde f kesme çatlağı $w=0.6$ mm olmuştur. g kesme çatlağı $w=0.4$ mm dallanmıştır ve ilerlemiştir. b kesme çatlağı $w=1.5$ mm olmuştur. ı kesme çatlağı $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu orta bölge dış lifte meydana gelmiştir. a kesme çatlağı $w=1.40$ mm olmuştur. d eğilme çatlağı $w=0.40$ mm olmuş ve b' kesme çatlağı $w=0.5$ mm birleşmiştir. 11.çekme çevriminde 9.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 83.25 kN yatay yük değeri okunmuştur. a' kesme çatlağı $w=1.6$ mm olmuştur. h' kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi güney kolonu st birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. ı' kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Kolon temel seviyesinde kalkmalar artmıştır. e' kesme çatlağı $w=0.5$ mm olmuştur. 12.itme çevriminde 13.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 82.94 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde f kesme çatlağı $w=0.9$ mm olmuştur. i kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi güney kolonu st sarılma bölgesi TRM kompozitte meydana gelmiştir. j eğilme çatlağı $w=0.2$ mm güney kolonu dış yüz orta bölgede meydana gelmiştir. ı kesme çatlağı $w=0.2$ mm dallanarak ilerlemiştir. a kesme çatlağı $w=1.70$ mm olmuştur. k kesme çatlağı $w=0.4$ mm doğu cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir.  kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. e kesme çatlağı $w=0.9$ mm olmuştur. h eğilme çatlağı $w=0.2$ mm ikinci kez ilerlemiştir. 12.çekme çevriminde 13.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 79.45 kN yatay yük değeri okunmuştur. i' kesme çatlağı $w=0.4$ mm batı cephesi güney kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. j' kesme çatlağı $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. f' kesme çatlağı $w=0.2$ mm ikinci kez ilerlemiştir. k' kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. ' kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesin dış lifte meydana gelmiştir. h' kesme çatlağı $w=0.6$ mm olmuş ve dallanmıştır.

13.itme çevriminde 18.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 69.51 kN yatay yük değeri okunmuştur. m kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi kuzey kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. n kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu st birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. o eğilme çatlağı $w=0.2$ mm güney kolonu dış yüzeyde alt bölgede meydana gelmiştir.  kesme çatlağı $w=1.3$ mm olmuştur. p kesme çatlağı $w=0.3$ mm doğu cephesi kiriş sol alt bölgede meydana gelmiştir. Bu

çevrimde kiriş-kolon birleşim bölgelerinde çekirdek betonda ezilmeler başlamıştır. 13.çekme çevriminde 18.00 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 63.01 kN yatay yük değeri okunmuştur. o' kesme çatlakları $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt bölge dış lifte meydana gelmiştir. m' kesme çatlakları $w=0.2$ mm, n' kesme çatlakları $w=0.2$ mm, p' kesme çatlakları $w=0.2$ mm, r' kesme çatlakları $w=0.7$ mm ve s' dikey çatlakları $w=0.2$ mm batı cephesi kuzey kolonu alt sarılma bölgesinde TRM kompozitte meydana gelmiştir. ş' dikey çatlakları $w=0.2$ mm batı cephesi güney kolonu alt sarılma bölgesi iç yüzey TRM kompozitte meydana gelmiştir. i' kesme çatlakları $w=1$ mm olmuştur. t' kesme çatlakları $w=0.7$ mm doğu cephesi kuzey kolonu üst kiriş-kolon birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. u' kesme çatlakları $w=0.7$ mm doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesi dış lifte meydana gelmiştir. 14.itme çevriminde 22.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 67.36 kN yatay yük değeri okunmuştur. Boyuna donatılarda okunan en büyük şekildeğiştirme değeri 7444 μm micro strain (CH 42=Doğu cephesi kiriş sol alt lifi) düzeyindedir. Donatı akmıştır. m kesme çatlakları $w=0.4$ mm ilerlemiştir. o eğilme çatlakları $w=0.3$ mm batı cephesi güney kolonu alt bölge dış lifte meydana gelmiştir. p kesme çatlakları $w=0.2$ mm doğu cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. r kesme çatlakları $w=0.5$ mm batı cephesi güney kolonu üst birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Kuzey kolonu doğu cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesi betonun kabuğu dökülmüştür. Çekirdek beton ezilmiştir. 14.çekme çevriminde 22.50 mm hedef yerdeğiştirmeye ulaşıldığında 63.00 kN yatay yük değeri okunmuştur. Kuzey kolonu doğu ve batı cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesi betonun kabukları dökülmüştür. Temelde kalkmalar büyümüştür. Numune ileri hasar durumundadır.

Deney sırasında meydana gelen hasar seviyeleri, çatlak genişlikleri ve yerleri Çizelge 4.12, Şekil 4.173, Şekil 4.174, Şekil 4.175, Şekil 4.176, Şekil 4.177 de verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Numune 9 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 9 / 10C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme $\delta(\text{mm})$ itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.1	± 0.90	38.39/-35.92	Bu çevrimde çatlak görülmemiştir.

Çizelge 4.12 (devam) : Numune 9 oluşan çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Numune 9 / 10C26			
Ötelenme Oranı (%)	Tepe yerdeğiştirme δ (mm) itme/çekme	Yatay Yük P(kN) itme/çekme	Gözlemler
0.2	± 1.8	55.74/-53.07	İlk kesme çatlağı $w=0.3$ mm batı ve doğu cephesi kuzey kolonu üst birleşim bölgesi iç lifte meydana gelmiştir. Donatı akmıştır.
0.5	± 4.50	75.04/-74.54	Bu çevrimde ise önceki kesme çatlakları ilerlemiş, genişlemiş ve dallanmıştır. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde yeni kesme çatlakları $w=0.1$ mm ve eğilme çatlağı $w=0.1$ mm meydana gelmiştir. Kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinde TRM kompozit ile sarılmış yüzeylerde herhangi bir çatlak olup olmadığı belirlenememiştir. Çatlaklar kiriş-kolon birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.
0.8	± 7.2	78.81/-83.00	Bu çevrimde f kesme çatlağı üçüncü kez ilerlemiştir. Temel kolon seviyelerinde kalkmalar başlamıştır. Kesme çatlakları $w=1.5$ mm e çıkmıştır.
1	± 9	74.79/-83.25	Bu çevrimde doğu cephesi güney kolonu orta bölgede 1 kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Önceki çevrimlerde meydana gelen kesme ve eğilme çatlakları ilerlemiş, genişlemiş ve dallanmıştır. Kolon temel seviyesinde kalkmalar artmıştır.
1.5	± 13.5	82.94/-79.45	Bu çevrimde batı cephesi güney kolunu üst sarılma bölgesi TRM kompozitte kesme çatlağı $w=0.2$ mm meydana gelmiştir. Bu çevrimde yeni kesme çatlakları $w=0.4$ mm meydana gelmiştir.
2	± 18	69.51/-63.01	Bu çevrimde kiriş-kolon birleşim bölgelerinde çekirdek betonda ezilmeler başlamıştır. Batı cephesi kuzey kolonu ve güney kolonu alt sarılma bölgesinde TRM kompozitte $w=0.2$ mm kesme çatlakları meydana gelmiştir. Önceki çevrimlerde meydana gelen kesme çatlakları $w=1$ mm e ulaşmıştır.
2.5	± 22.5	67.36/-63.35	Bu çevrimde batı cephesi güney kolonu alt bölgede dış lifte eğilme çatlağı $w=0.3$ mm meydana gelmiştir. Kuzey kolonu doğu cephesi kiriş-kolon birleşim bölgesi betonun kabuğu dökülmüştür. Çekirdek beton ezilmiştir. Temelde kalkmalar artmıştır.



Şekil 4.173 : -18.34 mm Çekme çevrimi doğu cephesi



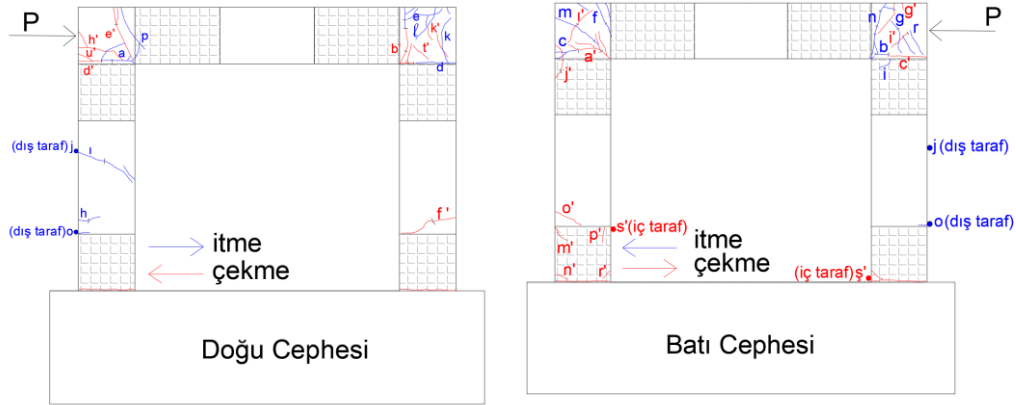
Şekil 4.174 : -
28.50 mm çekme
çevrimi batı
cephesi



Şekil 4.175 : +28.50
mm itme çevrimi
doğu cephesi



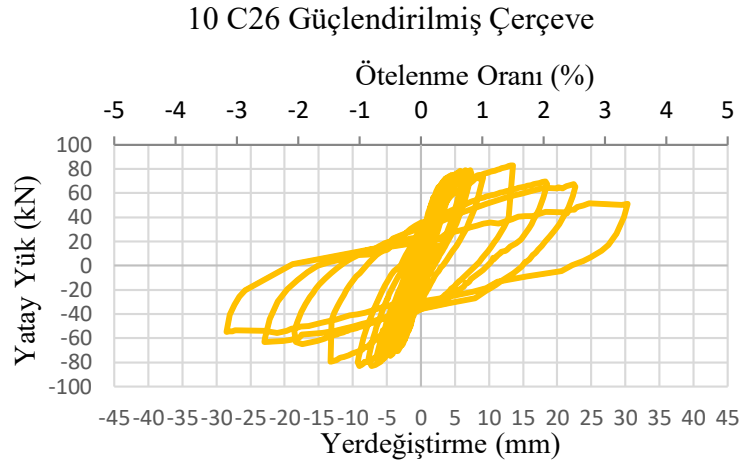
Şekil 4.176 : Numune 9 ileri hasar batı cephesi



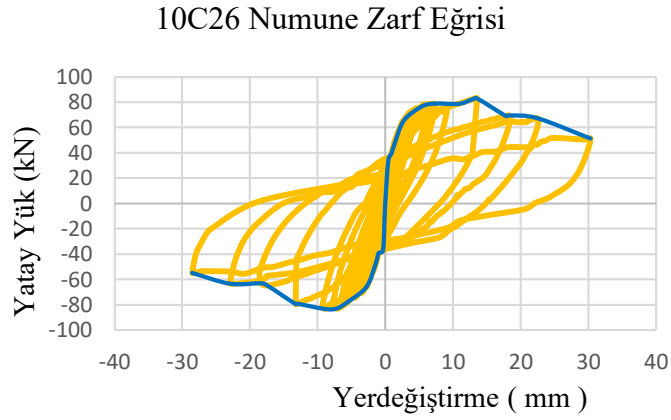
Şekil 4.177 : Numune 9 meydana gelen çatlaklar, genişlikleri ve yerleri

Çerçeve genelinde özellikle de panel bölgesinde eğilme+kesme çatlaklarının ağırlıklı olduğu bir davranış gözlenmiştir. Kirişin orta bölgesinde hasar meydana gelmemiştir. Kolonlarda ı kesme çatlağı (hafif hasar $w=0.2$ mm, %1 ötelenme oranı seviyesinde), h eğilme çatlağı (hafif hasar $w=0.1$ mm %0.7 ötelenme oranı seviyesinde), f' ve o' kesme çatlağı (hafif hasar $w=0.2$ mm %2 ötelenme oranı seviyesinde) meydana gelmiştir (sınırlı hasar) (Şekil 4.177).

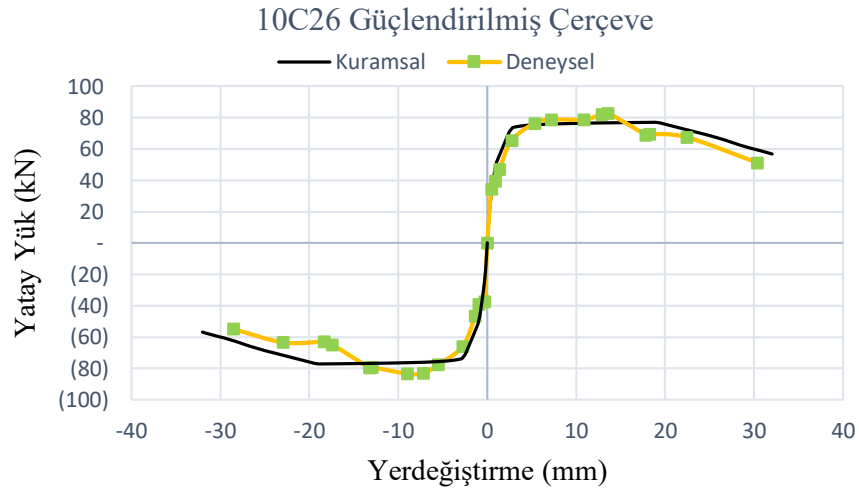
Deney sonunda elde edilen verilerden çerçeveye ait yatay yük-yerdeğiştirme (Şekil 4.178), yatay yük-ötelenme oranı (%) (Şekil 4.178), zarf eğrisi çevrim ilişkisi (Şekil 4.179), nümerik çözüm ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Şekil 4.180), rijitlik (Şekil 4.181) yükleme fonksiyonu (Şekil 4.182), normal kuvvet-adım sayısı (Şekil 4.183), her bir çevrimde enerji yutma ve toplam enerji ile şekildeğiştirme ölçer-ötelenme oranı grafikleri (Şekil 4.184) %80 maksimum yükün değerine ulaşıldığı sınıra göre çizilmiştir.



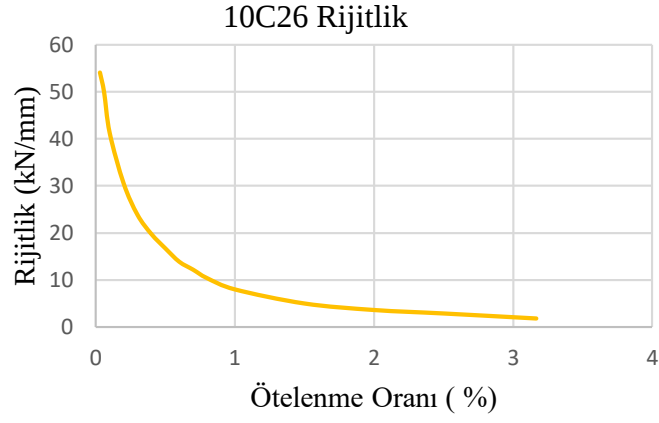
Şekil 4.178 : 10C26 Numune Yatay yük–Yerdeğiştirme–Ötelenme oranı(%)



Şekil 4.179 : 10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve Zarf Eğrisi Çevrim İlişkisi



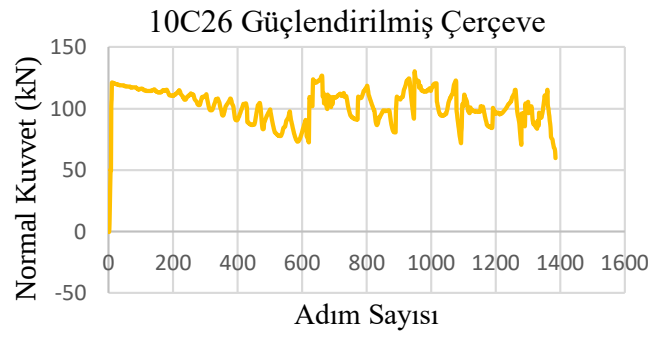
Şekil 4.180 : 10C26 nın Nümerik Çözüm ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması



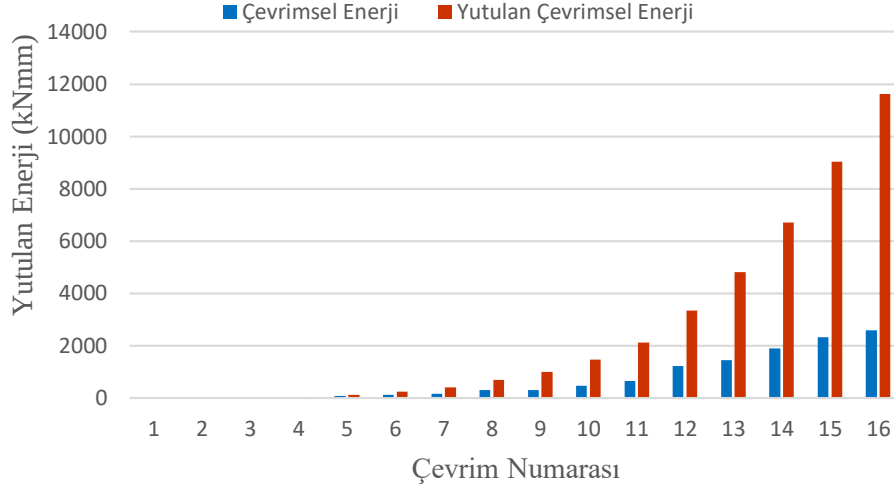
Şekil 4.181 : 10C26 Numune Rijitlik değişimi



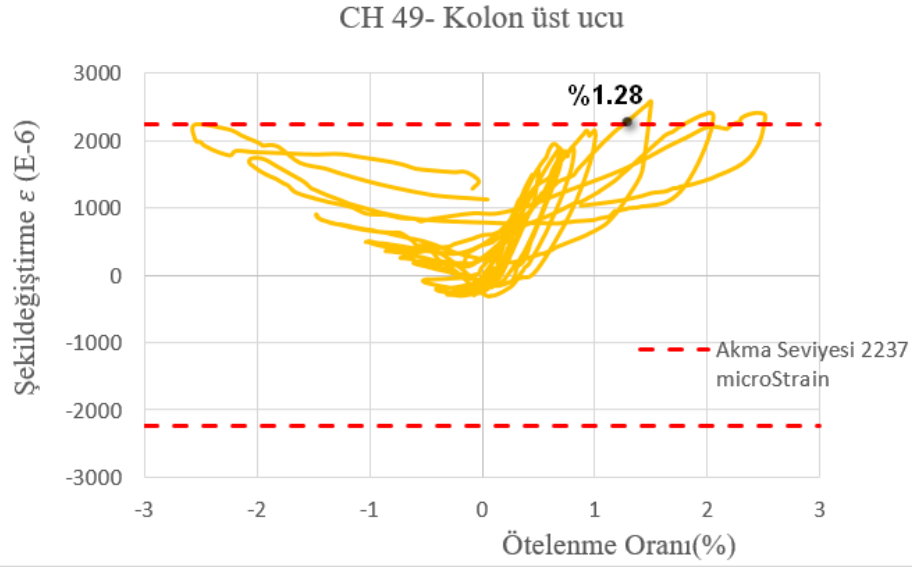
Şekil 4.182 : 10C26 Numune Yükleme Fonksiyonu



Şekil 4.183 : 10C26 Numune Normal Kuvvet – Adım Sayısı



Şekil 4.184 : 10C26 Güçlendirilmiş çerçeve-Yutulan Enerji 11620 kNmm

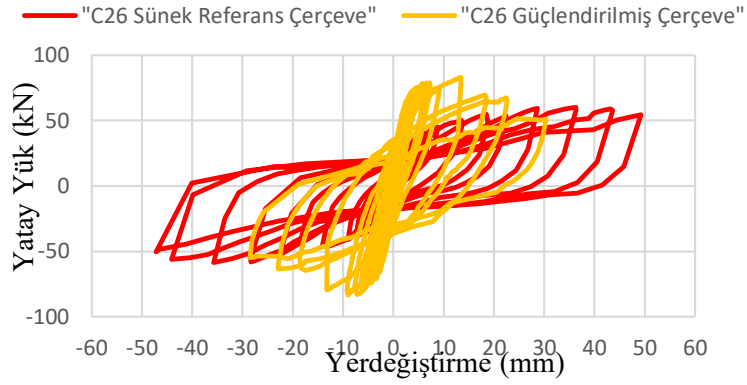


Şekil 4.185 : 10C26 Güçlendirilmiş Çerçeve Şekildeğiştirme – Ötelenme Oranı

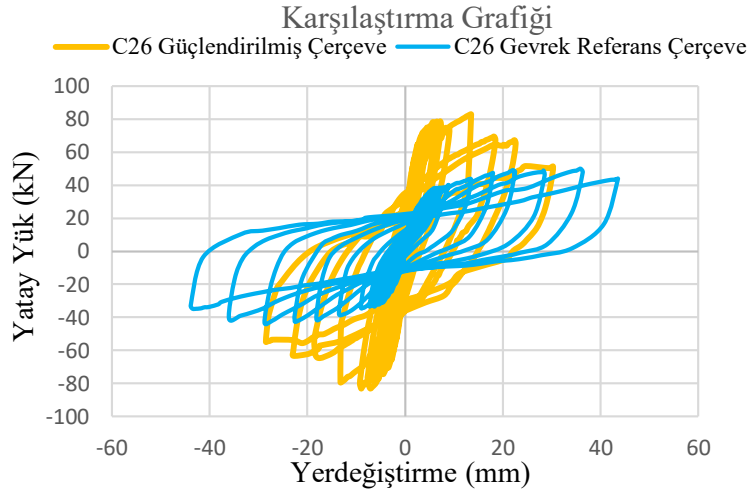
49 nolu kanalın bağlı olduğu kolonda boyuna donatılarda akmaya 1.28% ötelenme oranı seviyesinde denklem (3.6) değerini aşarak ulaşılmıştır (Şekil 4.185).

Güçlendirilmiş çerçeveye daha önce deneyleri yapılan referans çerçeveler karşılaştırıldığı zaman aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.186, Şekil 4.187).

KARŞILAŞTIRMA GRAFİĞİ

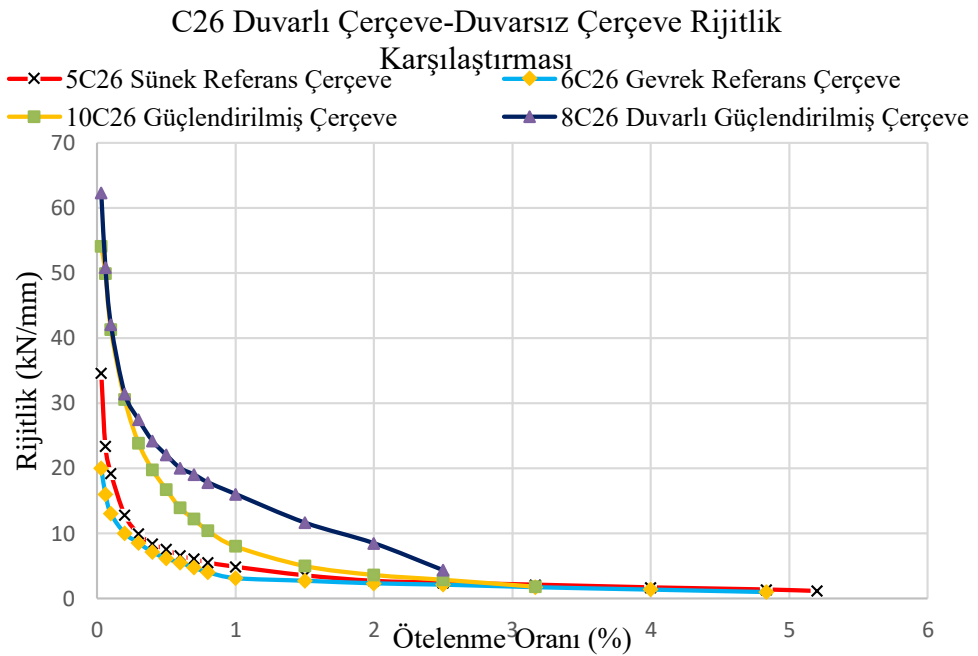
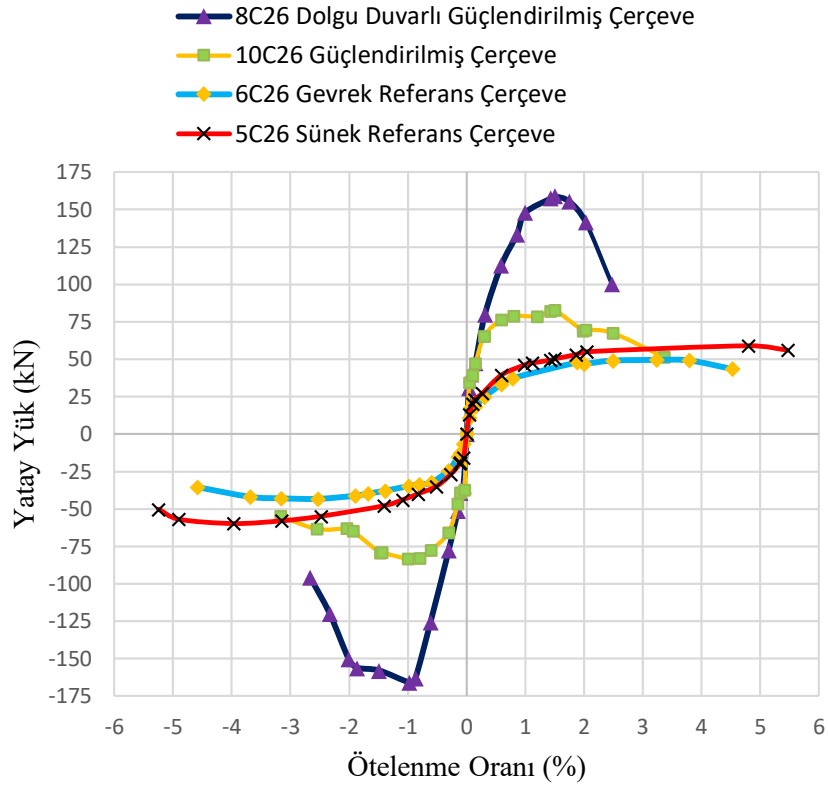


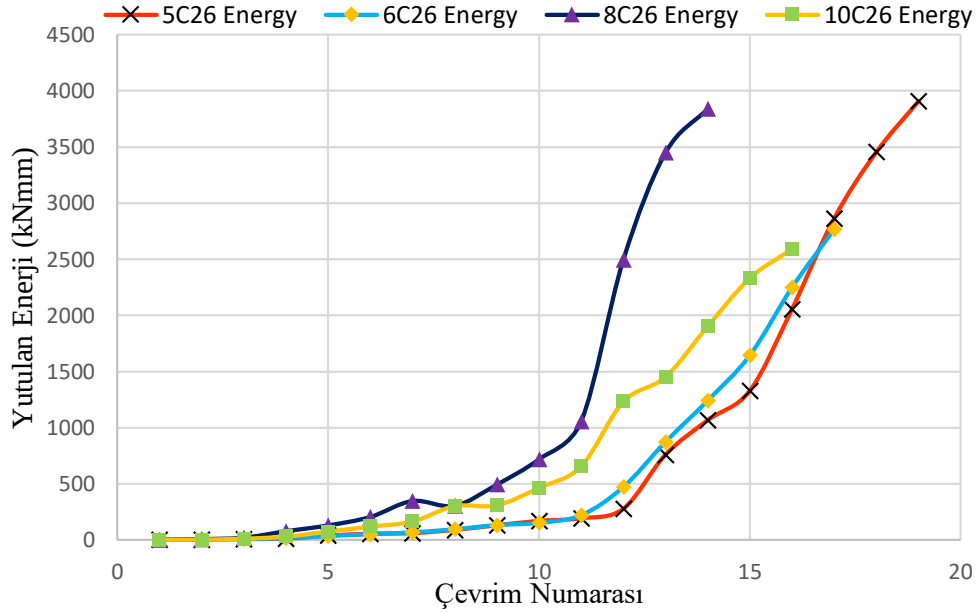
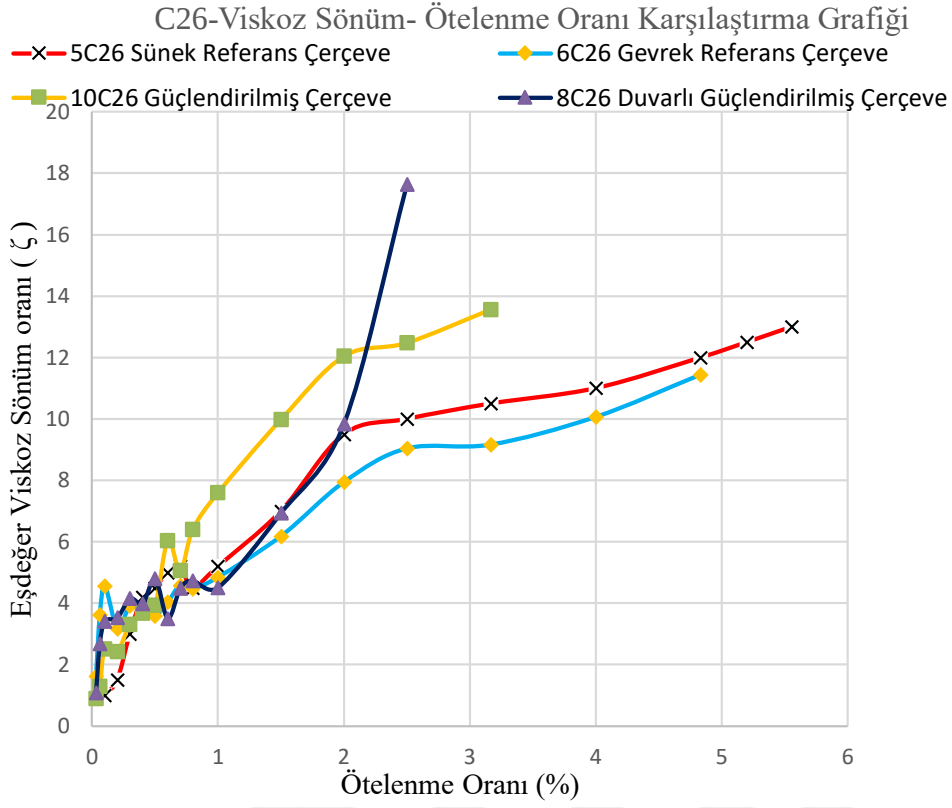
Şekil 4.186 : C26 Sinek Referans Çerçeve – C26 Güçlendirilmiş Çerçeve
Enerji Yutma 16457 kNmm Enerji Yutma 11620 kNmm



Şekil 4.187 : C26 Güçlendirilmiş Çerçeve – C26 Gevrek Referans Çerçeve
Enerji yutma 11620 kNmm Enerji yutma 10018 kNmm

C26 li duvarlı ve duvarsız çerçevelerin zarf eğrileri, rijitlikleri, vizkoz sönüm oranları ve enerji yutma garfikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.188, Şekil 4.189, Şekil 4.190 ve Şekil 4.191 verilmiştir.





Çizelge 4.13 : C26 Numunelerin viskoz sönüm ve rijitlik oranları karşılaştırması

Etiket No / Numune No	Öteleme Oranı %	Eşdeğer Viskoz Sönüm Oranı % ζ	Rijitlik kN/mm k	Viskoz Oranı *	Rijitlik Oranı *
4 / 6C26	1	4.84	3.10	1.00	1.00
	2	7.94	2.30	1.00	1.00
	4	10.06	1.34	1.00	1.00
3 / 5C26	1	5.35	4.81	1.11	1.55
	2	9.50	2.65	1.20	1.15
	4	11.00	1.65	1.09	1.23
9 / 10C26	1	7.60	8.00	1.57	2.58
	2	12.04	3.62	1.52	1.57
	3	13.56	1.81	1.51	1.13
5 / 8C26	1	4.51	16.00	0.93	5.16
	2	9.85	8.43	1.24	3.67
	3	17.63	4.28	1.96	2.68

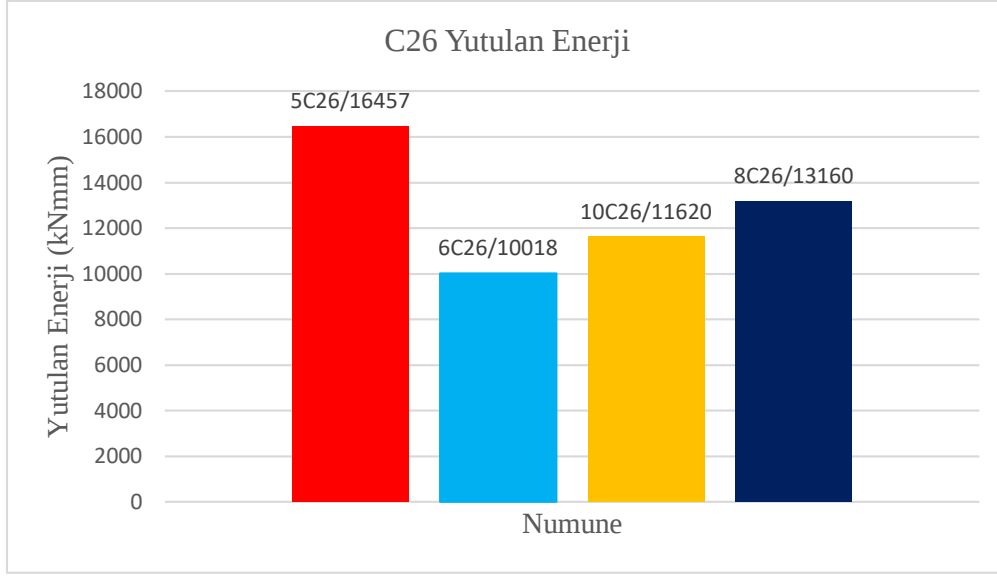
*3,9,5 nolu numuneler 4 nolu numune ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.14 : C26 Numunelerin Süneklik, Maksimum yük ve Yutulan Enerji Karşılaştırması

Numune No/ Etiket No	Yutulan Enerji kNmm	Maksimum Yerdeğiştirme δ_u (mm)	Akma Yerdeğiştirme δ_y (mm)	Süneklilik Faktör μ	Maksimum Yük P (kN)	Enerji Oranı *	Süneklilik Oranı *	Maksimum Yük Oranı *
		itme / çekme	itme / çekme	Ortalama	itme / çekme			
4 / 6C26	10018	43.08 / 40.52	9.82 / 9.36	4.36	55.39/43.35	1.00	1.00	1.00/1.00
3 / 5C26	16457	55.51 / 49.98	10.95 / 11.15	4.78	58.99/59.46	1.64	1.10	1.06/1.37
9 / 10C26	11620	23.31 / 19.82	3.35 / 3.33	6.46	82.94/83.25	1.16	1.48	1.49/1.92
5 / 8C26	13160	19.68 / 19.78	8.06 / 7.2	2.59	158.89/165.95	1.31	0.59	2.87/3.83

*3,9,5 nolu numuneler 4 nolu numune ile karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle hazırlanan Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 deki tablolarda, C26 lı numunelerin birbirleriyle olan karşılaştırmaları ve artış oranları görülmektedir. Bu oranlara göre güçlendirilmiş gevrek numune (10C26) süneklilikte, rijitlikte, yatay yük taşıma kapasitesinde ve sönümde önemli bir performans göstermiştir. Buna mukabil, enerji yutma kapasitesindeki artış 1.16 seviyesinde kalmıştır. Sünek referans numune ise (5C26) diğer numunelere göre enerji yutma kapasitesi çok yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.192 : C26 Numunlerin Enerji Yutma karşılaştırması

3 çerçeve deneyinin (5C26-6C26-10C26) zarf eğrisi (Şekil 4.188), rijitlik eğrisi (Şekil 4.189), Eşdeğer Viskoz Sönüm oranları (Şekil 4.190) ve Yutulan enerji eğrileri (Şekil 4.191, Şekil 4.192) karşılaştırıldığında, sünek çerçeve (5C26), gevrek çerçeveye(6C26) göre daha sünek davranmış, %5.5 ötelenme oranına kadar gitmiş ve dayanım azalması ile ilgili kolun daha yumuşak eğimli olduğu görülmüş, yuttuğu enerji ise diğer numunelere göre çok büyük olmuştur. Güçlendirilen gevrek çerçevede (10C26) ise diğer çerçevelere göre dayanımda ve süneklilikte artışlar gözlenmiş, özellikle rijitliğe katkısı belirgin olmuştur. Ancak dayanım ve rijitlik artışından dolayı ötelenme oranı %3.3 e kadar gitmiş, yuttuğu enerji daha az olmuştur.

Daha önce yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, düşük beton basınç dayanımı (C15) olan numunelerin TRM ile güçlendirilmesi sonucu dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi artışı, beton basınç dayanımı normal numunelere göre (C26) daha kolaydır.

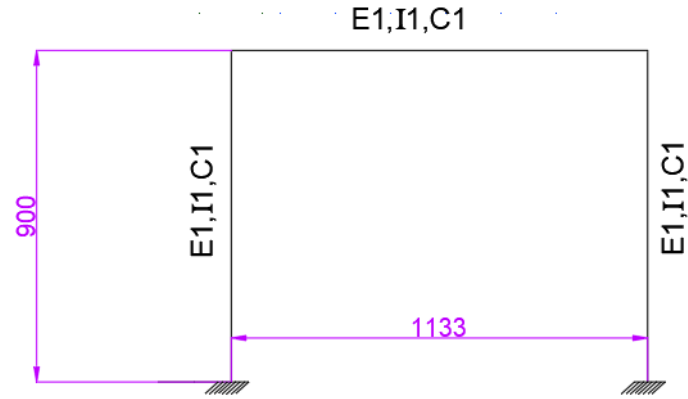
Deneyler sırasında güçlendirilmiş veya güçlendirilmemiş çıplak çerçeveler ve dolgu duvarlı çerçevelerin, itme ve çekme çevrimlerinde, aynı hedef tepe yerdeğiştirmelerine gidilirken maksimum yatay yüklerin aynı olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin, çıplak çerçevelerde beton pas paylarının aynı olmaması ve duvarlı çerçevelerde ise tuğla ile betonarme çerçeve arasındaki sürtünmeye bağlı ayrışmalardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

5. ANALİTİK İNCELEME

TBDY 2018 ve TDY 2007 Deprem yönetmelikleri mevcut binaların değerlendirilmesine ilişkin bölümler içermektedir. Bu yönetmeliklerde, güçlendirme için beton yüzeylerine epoksi ile lifli polimer uygulamasına yer verilmektedir. Ancak, TBDY 2018 Bölüm 15, EK 15B.5 de kiriş-kolon birleşim bölgelerinin LP (lifli polimer) ile güçlendirme konusu yeterince ayrıntı içermemektedir. Ülkemizde mevcut yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarında yeni bir güçlendirme tekniği olan kompozitlerin çimento esaslı harçlar kullanılarak eleman güçlendirmesi için yapılan uygulamalar, yukarıda belirtilen yönetmeliklerde bulunmamaktadır. Bu bölümde TRM kompozitler için gerekli modelleme detayları ve yatay yük taşıma kapasitesi hesabı yönetmelik doğrultusunda geliştirilecektir. Betonarme çerçeveler, SAP2000 v22.2.0 ve SeismoStruct 2021 analiz programı ile sayısal olarak modellenerek, çerçevelerin tersinir tekrarlı yatay yükler altındaki yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Sayısal hesap sonuçları, deneylerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

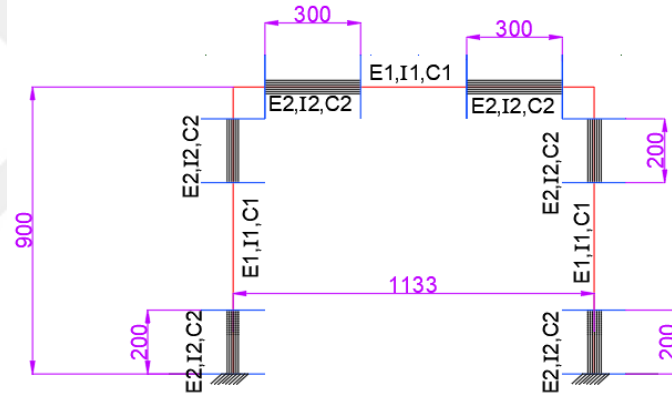
Referans çerçeveler ve güçlendirilmeyen bölgelerin Elastisite Modülü E_1 , beton basınç dayanımı C_1 , atalet momenti I_1 ve donatı akma dayanımları f_{y1} , deney sonucu bulunan değerlere göre hesaplanmıştır. 3 kat TRM ile sarılmış bölgelerin mekanik özellikleri (E_2, I_2, C_2) ve kesit boyutları deney sonucu bulunan değerlere göre ele alınmıştır (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5).

NUMUNE 1,2,3 VE 4



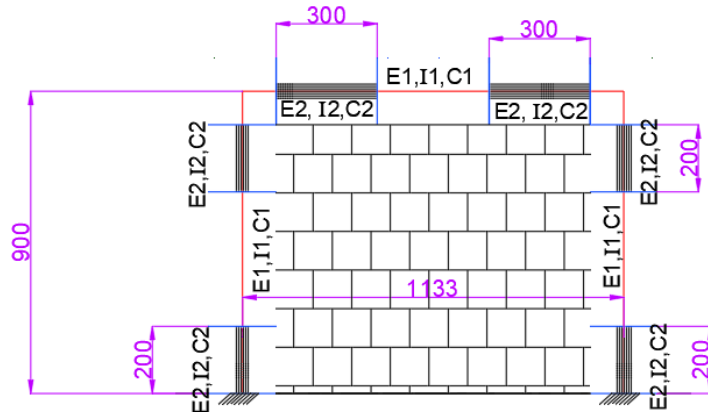
Şekil 5.1 : Gevrek ve Sünek Referans Çerçeveler Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir)

NUMUNE 6 VE 9



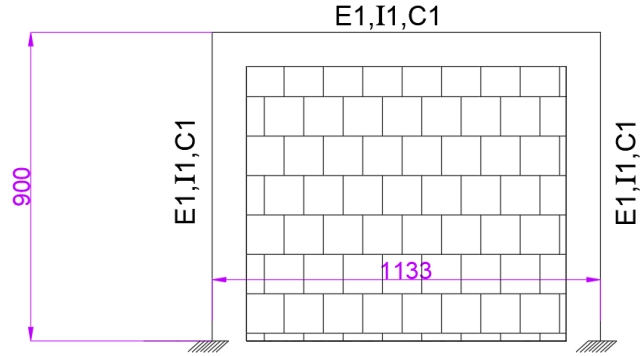
Şekil 5.2 : Güçlendirilmiş Çerçevelerin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir)

NUMUNE 5 VE 7

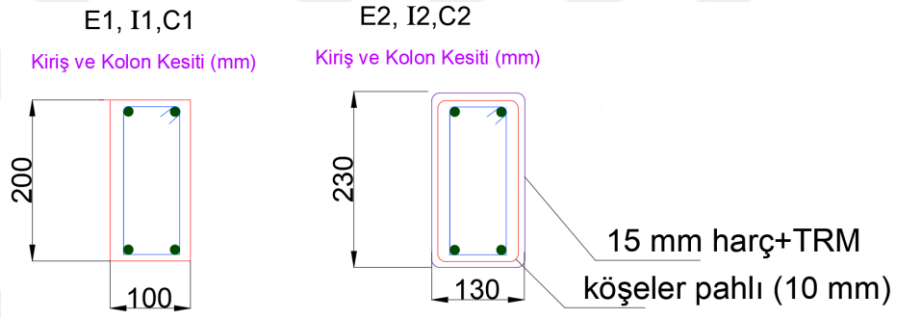


Şekil 5.3 : Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevelerin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir)

NUMUNE 8



Şekil 5.4 : Referans Dolgu Duvarlı Çerçevenin Mekanik Özellikleri (boyutlar mm cinsindedir)



Şekil 5.5 : Mevcut ve Güçlendirilmiş Çerçevelerin kesit boyutları (boyutlar mm cinsindedir)

Çerçevelerin analizinde dikkate alınan mekanik özellikler ise kapsamlı ve tablo halinde Şekil 5.6 verilmiştir:

			Donatının mekanik özellikleri			Betonun mekanik özellikleri				I1	I2	
			E	f _y	f _u	E1	E2	f _{co}	f _{cc}	bh ³ /12	bh ³ /12	
Numune	Etiket	Beton Sınıfı	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	mm ⁴	mm ⁴	Güçlendirme Yöntemi
Numune 1	1	C15	206063	461	537	17715	-	15.01	-	6.67E+07	-	Sünek Referans Çerçeve deneyi yapıldı
Numune 2	2	C15	206063	461	537	17715	-	15.01	-	6.67E+07	-	Gevrek Referans Çerçeve deneyi yapıldı
Numune 3	5	C26	206063	461	537	27224	-	26.20	-	6.67E+07	-	Sünek Referans Çerçeve deneyi yapıldı
Numune 4	6	C26	206063	461	537	27224	-	26.20	-	6.67E+07	-	Gevrek Referans Çerçeve deneyi yapıldı
Numune 5	8	C26	206063	461	537	27224	41093	26.20	36.39	6.67E+07	1.32E+08	Gevrek Çerçevenin kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM ile sarılıp içine duvar örülüp deney yapıldı
Numune 6	3	C15	206063	461	537	17715	37907	15.01	25.03	6.67E+07	1.32E+08	Gevrek Çerçevenin kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM ile sarılıp deney yapıldı
Numune 7	4	C15	206063	461	537	17715	37907	15.01	25.03	6.67E+07	1.32E+08	Gevrek Çerçevenin kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM ile sarılıp içine duvar örülüp deney yapıldı
Numune 8	9	C15	206063	461	537	17715	-	15.01	-	6.67E+07	-	Gevrek Referans Çerçevenin içine duvar örülüp deney yapıldı
Numune 9	10	C26	206063	461	537	27224	41093	26.20	36.39	6.67E+07	1.32E+08	Gevrek Çerçevenin kiriş ve kolon kritik uç bölgeleri 3 kat TRM ile sarılıp deney yapıldı

Şekil 5.6 : Çerçevelerin analizinde dikkate alınan mekanik özellikler

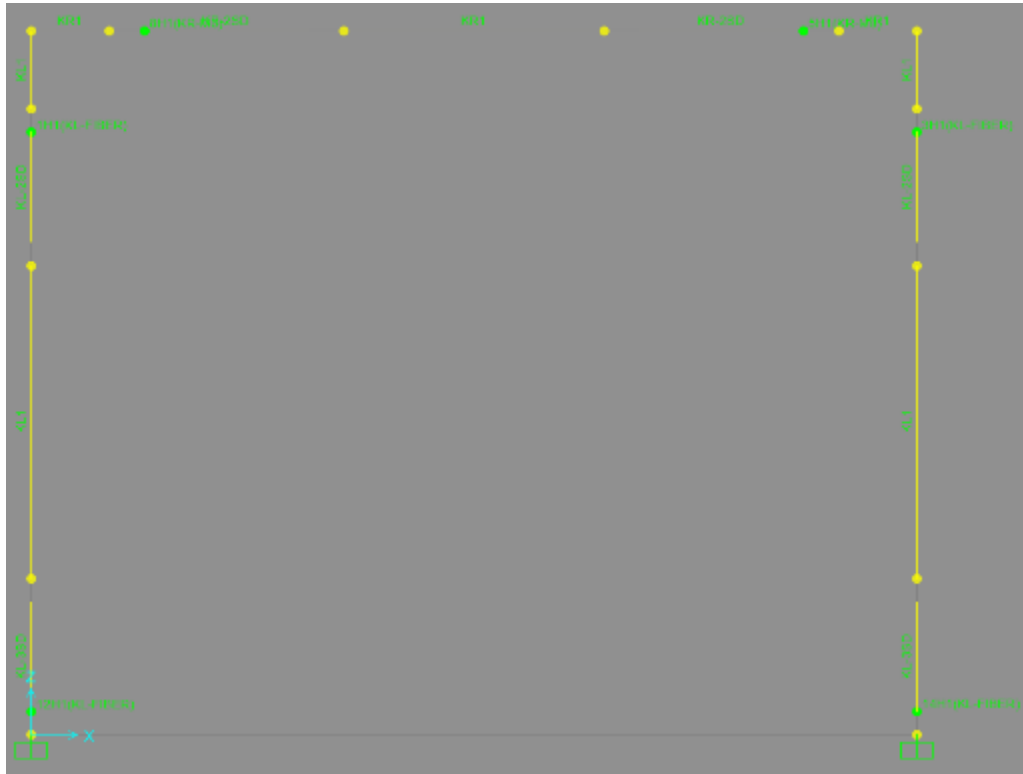
	Eksenel Yük	Basınç dayanım	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü			
Numune adı	N	f	ϵ_c	E			
	(kN)	MPa	(‰)	MPa	Eccu ret/Eccu ref	f _{cc} /f _{co}	ϵ_{cc} / ϵ_{co}
Referans C15	262	$f_{co} = 15.01$	1.72	17715	1	1	1
3K C15	445	$f_{cc} = 25.03$	2.23	37907	2.14	1.67	1.30

Şekil 5.7 : Analizde C15 için alınan parametreler

	Eksenel Yük	Basınç dayanım	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü			
Numune adı	N	f	ϵ_c	E			
	(kN)	MPa	(‰)	MPa	Eccu ret/Eccu ref	f _{cc} /f _{co}	ϵ_{cc} / ϵ_{co}
Referans C26	463	$f_{co} = 26.2$	1.82	27224	1	1	1
3K C26	647	$f_{cc} = 36.39$	2.01	41093	1.51	1.39	1.10

Şekil 5.8 : Analizde C26 için alınan parametreler

Sap 2000 V.22.2.0 analiz programında malzeme modelinin elde edilmesinde, çerçevelerin güçlendirilen ve güçlendirilmeyen bölgelerdeki Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 deki parametreler dikkate alınmıştır. Kiriş uçlarına, öngerme yükünü temsil etmesi için eksenel yük (50 kN) tanımlanmıştır. Referans numunelerin ve güçlendirilmiş numunelerin matematik modelinde (Şekil 5.9), kolon ve kiriş kesitleri liflere ayrılmış (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12) ve yığılı plastik mafsallar (Şekil 5.10) atanmıştır. Bu suretle itme eğrisi elde edilebilmiştir (Şekil 5.13). Statik itme analizi, her adımda yatay yükler artırılarak, rijitlik ve dayanım değişimine bakılıp yapısal elemanlarda lineer olmayan malzeme özelliklerini de gözönüne alarak belirli bir hedef performans değeri için yapılan nümerik bir yöntemdir.



Şekil 5.9 : SAP2000 de çubuk elemanların tanımlanması ve matematik modeli

S Frame Hinge Property Data for 5H1 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.07
D-	-0.2	-0.05
C-	-1.15	-0.025
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.15	0.025
D	0.2	0.05
E	0.2	0.07

☒ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Positive

Moment SF: 9129841.

Rotation SF: 1.

Negative

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy

☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Positive

3.000E-03

0.012

0.015

Negative

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☐ Relative Length

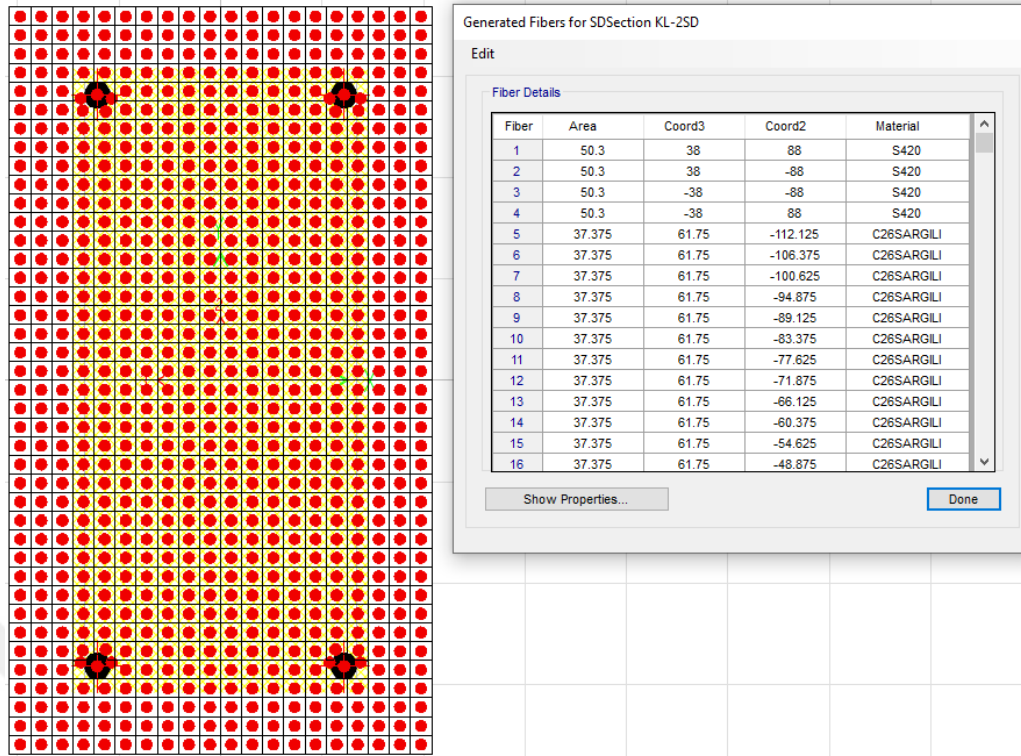
Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type: Takeda

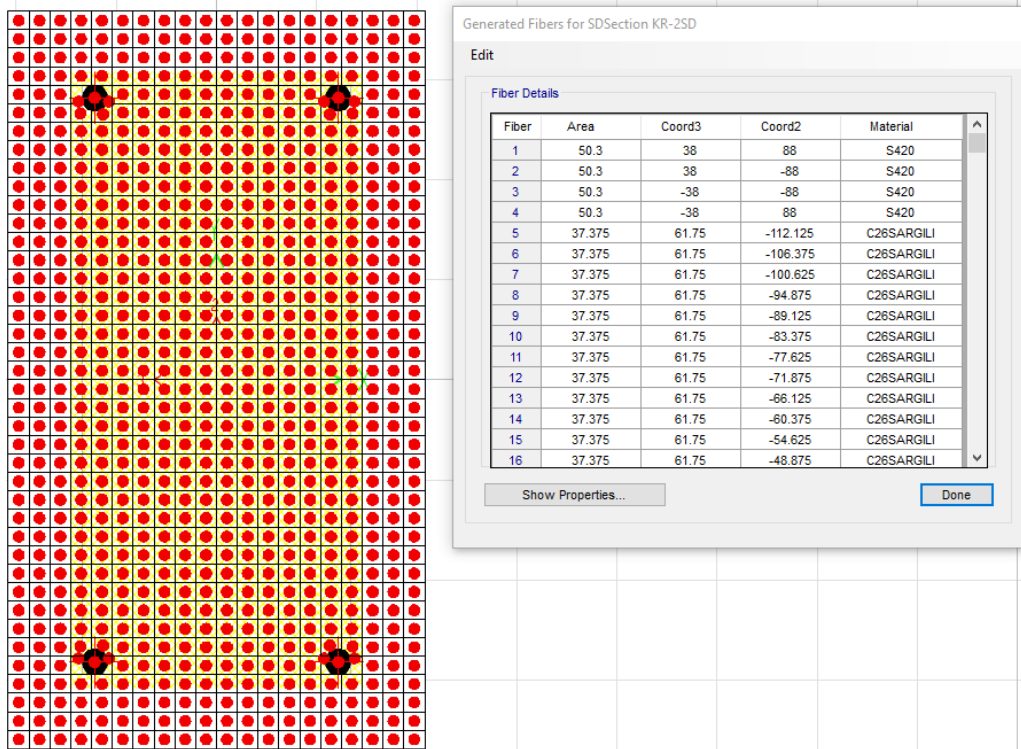
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

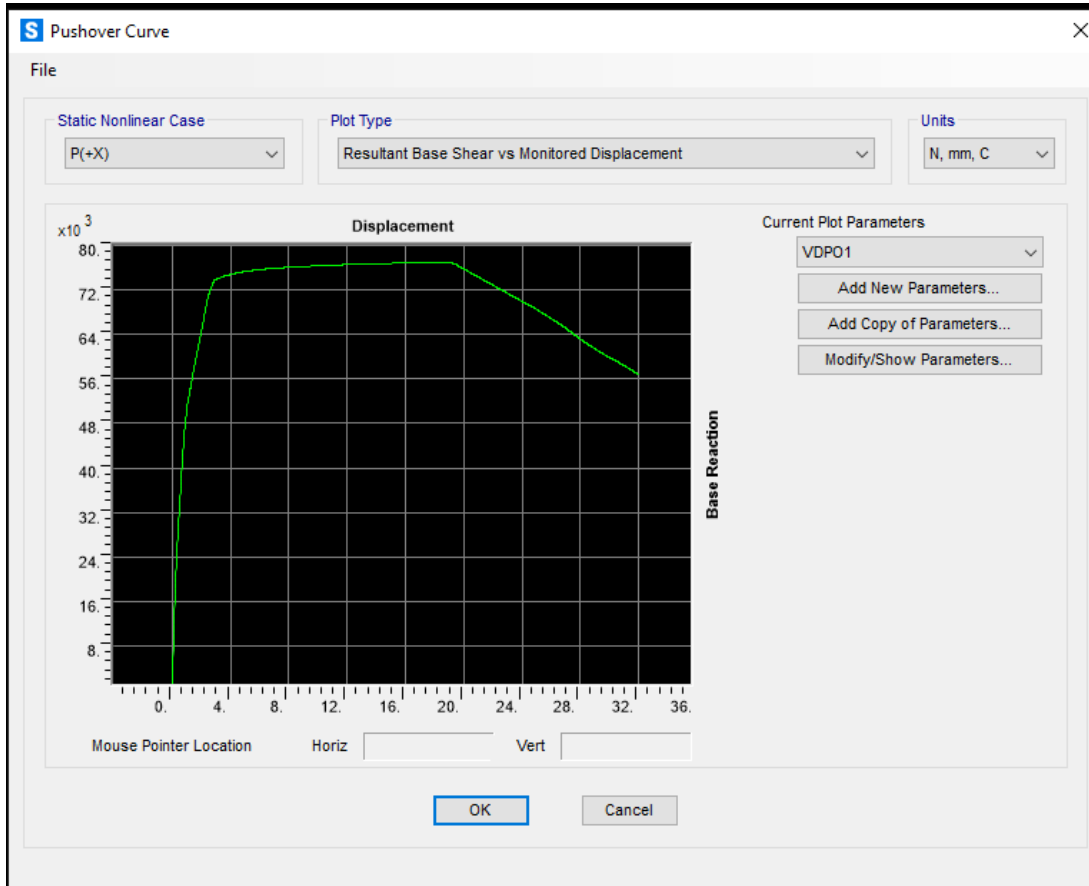
Şekil 5.10 : SAP2000 Kirişlerde P-M3 Plastik Mafsal ataması



Şekil 5.11 : SAP2000 Kolon kesiti liflere ayırma işlemi

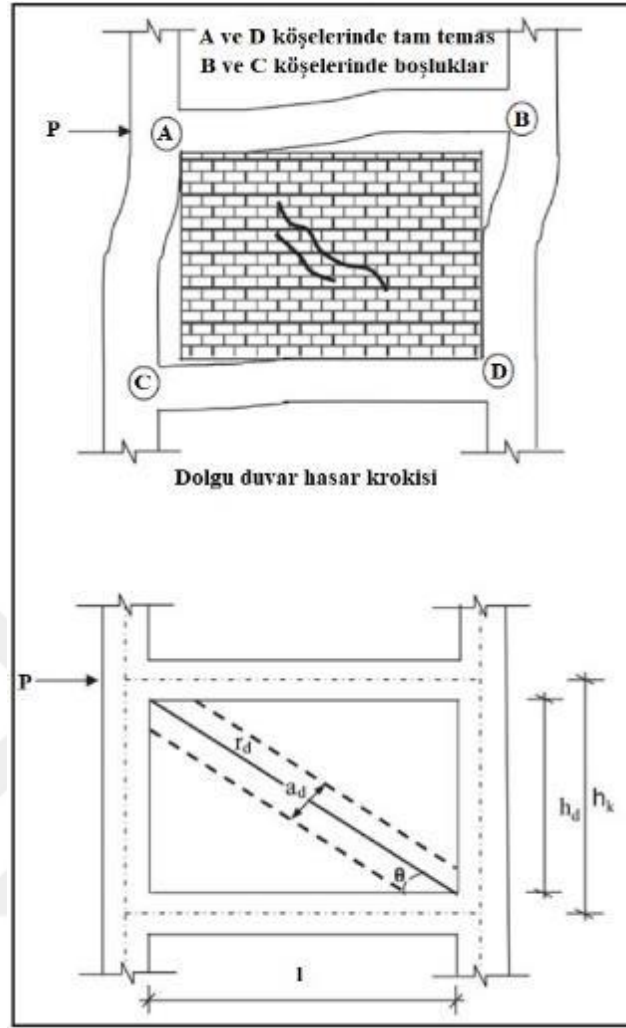


Şekil 5.12 : SAP2000 Kiriş kesiti liflere ayırma işlemi



Şekil 5.13 : SAP2000 Numune 9 Kuramsal itme eğrisi

Geçmişte yapılan deneysel ve teorik çalışmalar ışığında, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerinin modellenmesi 2 farklı yolla yapılmaktadır. Bunlardan ilki sonlu elemanlar, ikincisi ise daha pratik ve kolay uyarlanan eşdeğer basınç çubuğu yöntemidir. Bu yöntemde, kat düğüm noktasına etki eden yatay yükün, etki ettiği düğüm noktasından köşegenin altındaki çapraz ucuna çizilen bir basınç çubuğu kabulüdür. Modellemede ikinci yöntem (Şekil 5.14) tercih edilmiştir. Duvarlı çerçevenin statik modeli (Şekil 5.15) ve eşdeğer sanal basınç çubuğu modeli (Şekil 5.16) yönetmelikteki ilgili formüllerden denklem (5.1) den hesaplanmıştır.



Şekil 5.14 : Yığma duvar modellemesinde eşdeğer sanal basınç çubuğu modellemesi

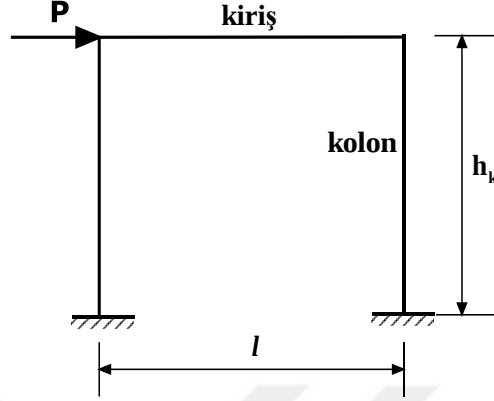
Eşdeğer basınç çubuğu denklemleri (5.1) ve (5.2), aşağıdaki bağıntılarla hesaplanacaktır. Bu formüller TBDY 2018 Bölüm 15C.2.1 denklem 15C.1 ve denklem 15C.2 den alınmıştır.

$$a_{duvar} = 0.175 \times (\lambda_{duvar} \times h_k)^{-0.4} \times r_d \quad (5.1)$$

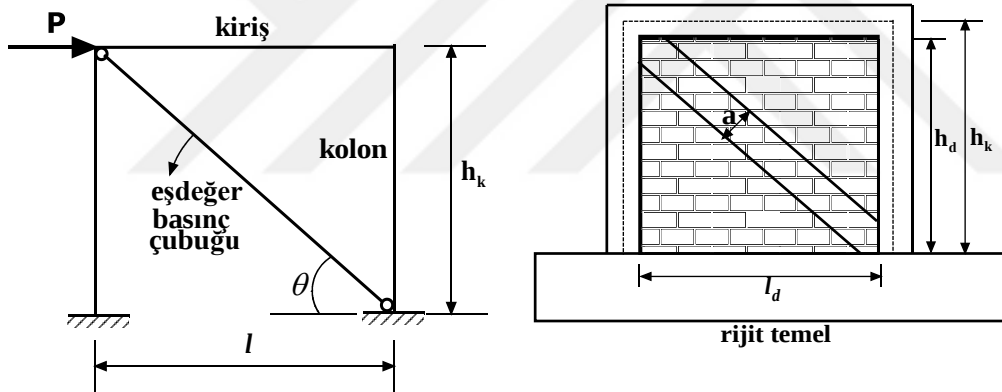
$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar} \times t_{duvar} \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_k \times h_{duvar}} \right]^{1/4} \quad (5.2)$$

Bu bağıntılarda a_{duvar} eşdeğer sanal çubuk genişliği(mm), h_k kolon boyu (mm), h_{duvar} duvar boyu (mm), r_d dolgu duvar köşegen uzunluğu (mm), t_{duvar} duvar kalınlığı

(mm), I_k kolon atalet momenti (mm^4), E_{duvar} duvar Elastisite Modülü (N/mm^2), θ eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır.



Şekil 5.15 : Çerçevenin Statik modeli



Şekil 5.16 : Duvarlı çerçevenin statik modeli ve eşdeğer sanal basınç çubuğu modeli

Yatay yük etkisi altındaki duvarlı çerçevede, etki yönündeki basınç kuvvetini alan eşdeğer sanal basınç çubuğunun genişliği, yönetmelikteki ilgili formüllerden denklem (5.1) den hesaplanmıştır.

C15 için Sanal basınç çubuğu genişliği(a) olarak;

$$E_c = 17715 \text{ MPa (C15)}$$

$$E_{duvar} = 4050 \text{ MPa}$$

$$t_{\text{duvar}}=85 \text{ mm}$$

$$\text{Sıva harç kalınlığı} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Toplam kalınlık } t=100 \text{ mm}$$

$$\tan(\Theta)=0.794351$$

$$\Theta = 0.671287$$

$$\sin 2\Theta = 0.97407$$

$$I_k=6.67\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$h_{\text{duvar}}=800 \text{ mm}$$

$$h_k=900 \text{ mm}$$

$$r_d=1446.959 \text{ mm}$$

$$L=1133 \text{ mm}$$

$$E_{\text{duvar}} \times t_{\text{duvar}} \times \sin 2\theta=394498.4$$

$$4 \times E_c \times I_k \times h_{\text{duvar}}=3.78\text{E}+15$$

$$\lambda_{\text{duvar}}=\left[\frac{E_{\text{duvar}} \times t_{\text{duvar}} \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_k \times h_{\text{duvar}}}\right]^{1/4}$$

$$\lambda_{\text{duvar}}=0.003196$$

$$a_{\text{duvar}}=0.175 \times (\lambda_{\text{duvar}} \times h_k)^{-0.4} \times r_d$$

$$a_{\text{duvar}}=165.93 \text{ mm}$$

C26 Sanal basınç çubuğu genişliği olarak;

$$E_c=27224 \text{ MPa(C26)}$$

$$E_{\text{duvar}}=4050 \text{ MPa}$$

$$t_{\text{duvar}}=85 \text{ mm}$$

$$\text{Sıva harç kalınlığı} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Toplam kalınlık } t=100 \text{ mm}$$

$$\tan(\Theta)=0.794351$$

$$\Theta = 0.671287$$

$$\sin 2\Theta = 0.97407$$

$$I_k = 6.67E+07 \text{ mm}^4$$

$$h_{\text{duvar}} = 800 \text{ mm}$$

$$h_k = 900 \text{ mm}$$

$$r_d = 1446.959 \text{ mm}$$

$$L = 1133 \text{ mm}$$

$$E_{\text{duvar}} \times t_{\text{duvar}} \times \sin 2\theta = 394498.4$$

$$4 \times E_c \times I_k \times h_{\text{duvar}} = 5.81E+15$$

$$\lambda_{\text{duvar}} = \left[\frac{E_{\text{duvar}} \times t_{\text{duvar}} \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_k \times h_{\text{duvar}}} \right]^{1/4}$$

$$\lambda_{\text{duvar}} = 0.002871$$

$$a_{\text{duvar}} = 0.175 \times (\lambda_{\text{duvar}} \times h_k)^{-0.4} \times r_d$$

$$a_{\text{duvar}} = 173.22 \text{ mm}$$

Sanal basınç çubuğu genişliği olarak alınmıştır. Dolgu duvarın mekanik özellikleri daha önce yapılan doktora tez çalışmasından alınmıştır [102] Bu verilere göre çerçevenin statik itme analizi hesaplanmış, yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri çizilmiş ve deneylerle elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Kuramsal veriler ile deneysel verilerin uyum içinde olduğu ve yakınsadığı görülmüştür (Şekil 4.28, Şekil 4.117, Şekil 4.140, Şekil 4.157, Şekil 4.180).

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, 9 adet 1/3 ölçekli tek katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Gevrek çerçeveler sadece etriyelerin seyrek aralıkla teşkili ile sağlanmıştır. Bunun dışında çerçevelerin tamamında aderans koşulları, donatı kenetlenme boyları, bindirme boyları ve etriye uçlarının 135⁰ kanca yapılması kurallarına uyulmuştur. Betonarme çerçeve sistemlerin kiriş ve kolon kritik uç bölgelerinin çimento esaslı harçla birlikte uygulanan karbon esaslı kompozitle güçlendirilmesi, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve sünekliğini artırmıştır. Aynı zamanda, enerji yutma kapasitelerinde de artış sağlanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler şu şekilde sıralanmıştır:

- 1) TRM kompozit ile yapılan alternatif güçlendirme hızlı, pratik ve ekonomik bir güçlendirme tekniğidir. Bu güçlendirme tekniğinde, eleman bazlı uygulama yöntemi ile sistem bazlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez çalışmasının verileri, deprem yönetmeliklerindeki “Kiriş-Kolon Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi” konularına katkıda bulunacağı öngörülmektedir.
- 2) Bu tezde kullanılan TRM kompozit, epoksiyi devre dışı bıraktığı için güçlendirmede FRP nin ekonomik ulaşabilme sorununu bir nebze ortadan kaldırıp ekonomik bariyerlere takılmasını engellemekte, maliyetler ucuzlayabilmektedir. Bu sayede TRM kompozitlere erişilebilme olanağı artabilecektir.
- 3) Düşük beton basınç dayanımlı ve enine donatı aralığı seyrek yalın (çıplak) çerçevelerde, kiriş ve kolon kritik uçlarının ankrajsız ve tam sargı ile sarılması, dayanımda, rijitlikte, enerji yutma kapasitesinde ve süneklikte ciddi artışlar meydana getirmiştir. Kiriş ve kolon uçlarının güçlendirmesiyle birleşim panel bölgesinde etriye bulunmamasının olumsuzluğu, belirli oranda ortadan kalkmıştır. Bu güçlendirme tekniğinde, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve sünekliği aynı anda artabilmektedir. Sonuç olarak, göçme sonrası yapısal eleman bütünlüğü korunarak can kayıplarının azaltılması hedeflenmektedir.
- 4) Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler, enerji yutma kapasitesine göre değerlendirildiğinde, sünek çıplak çerçeve ve güçlendirilmiş çıplak çerçevelerin

enerji yutma kapasitesi, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.4 kat artmıştır. Sünek çıplak çerçevenin ve güçlendirilmiş çıplak çerçevenin enerji yutma kapasiteleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, mevcut yapı stoğunda bulunan düşük dayanımlı ve etriyeleri seyrek olan çıplak çerçeveler, güçlendirildiği takdirde sünek çerçeve gibi davranacağı görülmektedir. Referans dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevenin enerji yutma kapasiteleri karşılaştırıldığında, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevenin güçlendirme sonrası enerji yutma kapasitesi artmamıştır. Yani, sadece çerçevelerin güçlendirilmesi dolgu duvarlı çerçeve sisteme katkı yapmamıştır. Dolayısıyla, dolgu duvarların da mutlaka çerçeve ile birlikte güçlendirilmesi gerekmektedir.

5) Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler, ortalama sünekliliğe göre değerlendirildiğinde, sünek çıplak çerçeve, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.32 kat daha sünektir. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.70 kat daha sünektir. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.29 kat daha sünektir. Bunun yanında dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise referans dolgu duvarlı çerçeveye göre daha sünek davranmamıştır.

6) Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler güçlendirildiğinde yatay yük taşıma kapasitesinde artış olmuştur. Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler, ortalama maksimum tepe yüküne göre değerlendirildiğinde sünek çıplak çerçeve, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.37 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.65 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve, sünek çıplak çerçeveye göre 1.21 kat artmıştır. Bunun yanında dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise referans dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.10 kat artmıştır.

7) Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçevelerin eşdeğer viskoz sönüm oranına göre değerlendirildiğinde, %1 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 2.53 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 2.97 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.17 kat sönüm artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise referans dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.12 kat sönüm artmıştır. %2 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.48 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.87 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.26 kat sönüm artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise referans dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.07 kat sönüm artmıştır.

8) Düşük beton basınç dayanımına sahip çerçeveler rijitliklerine göre değerlendirildiğinde, %1 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.39 kat daha rijit olup, rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.63 kat rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.17 kat rijitliği artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve referans dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.12 kat rijitliği artmıştır. %2 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve ve güçlendirilmiş çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.39 kat rijitliği artmıştır. Sünek çıplak çerçeve ve güçlendirilmiş çıplak çerçeve bu ötelenme oranında aynı rijitlik çıkmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve, referans dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.13 kat rijitliği artmıştır.

9) Düşük beton basınç dayanımı (C15) olan numunelerin TRM ile güçlendirilmesi, davranış, süneklik ve enerji yutma artışı açısından beton basınç dayanımı normal numunelere göre (C26) daha etkindir. 3 çerçeve deneyinin (5C26-6C26-10C26) zarf eğrisi, rijitlik eğrisi ve yutulan enerji eğrileri karşılaştırıldığında, sünek çerçeve (5C26), gevrek çerçeveye (6C26) göre daha sünek davranmış, %5.5 ötelenme oranına kadar gitmiş ve dayanım azalması ile ilgili kolun daha yumuşak eğimli olduğu görülmüş, yuttuğu enerji ise diğer numunelere göre çok büyük olmuştur. Güçlendirilen gevrek çerçevede (10C26) ise diğer çerçevelere göre dayanımda ve süneklilikte artışlar gözlenmiş, özellikle rijitliğe katkısı belirgin olmuştur. Ancak dayanım ve rijitlik artışından dolayı ötelenme oranı %3.3 e kadar gitmiş, enerji yutma kapasitesi daha az artmıştır.

10) Normal beton basınç dayanımına sahip çerçevelerin, enerji yutma kapasitesine göre değerlendirildiğinde sünek çıplak çerçeve, güçlendirilmiş çıplak çerçeveye göre 1.41 kat, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.64 kat daha fazla enerji yutmuştur. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.16 kat daha fazla enerji yutmuştur.

11) Normal beton basınç dayanımına sahip çerçeveler, ortalama sünekliliğe göre değerlendirildiğinde, sünek çıplak çerçeve, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.10 kat daha sünektir. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.48 kat daha sünektir. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.35 kat daha sünektir.

12) Normal beton dayanımına sahip çerçeveler güçlendirildiğinde yatay yük taşıma kapasitesinde artış olmuştur. Normal beton basınç dayanımına sahip

çerçevelerin, ortalama maksimum tepe yüküne göre değerlendirildiğinde sünek çıplak çerçeve, gevrek çıplak çerçeveye göre 1.20 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.68 kat artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve, sünek çıplak çerçeveye göre 1.40 kat artmıştır. Bunun yanında dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 3.29 kat yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır.

13) Normal beton basınç dayanımına sahip çerçevelerin eşdeğer viskoz sönüm oranına göre değerlendirildiğinde, %1 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.11 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.57 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.42 kat sönüm artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre %7 daha az sönüm çıkmıştır. %2 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.20 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.51 kat sönüm artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.26 kat sönüm fazla çıkmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.24 kat sönüm artmıştır.

14) Normal beton basınç dayanımına sahip çerçevelerin rijitliğe göre değerlendirildiğinde, %1 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.55 kat rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 2.58 kat rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.66 kat rijitliği artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 5.16 kat rijitliği artmıştır. %2 ötelenme oranı seviyesinde, sünek çıplak çerçeve gevrek çıplak çerçeveye göre 1.15 kat rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 1.57 kat rijitliği artmıştır. Güçlendirilmiş çıplak çerçeve sünek çıplak çerçeveye göre 1.37 kat rijitliği artmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve ise gevrek çıplak çerçeveye göre 3.66 kat rijitliği artmıştır.

15) Düşük beton basınç dayanımlı C15 beton sınıfındaki numunelerde sargı kat sayısı arttıkça, numunenin dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesi(süneklik) oldukça yükselmekte, sargı etkisi daha etkin çalışmaktadır. Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.52) de anlaşılabacağı üzere, 3 kat ve 2 kat sargılı C15 li numunelerin referans numuneye göre, azalma kolunun eğiminin düştüğü(yumuşadığı) ve basınç bölgesindeki betonun daha büyük basınç birim şekildeğiştirme düzeyine gitmesi

sağlanmıştır. Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinden (Şekil 2.53) de anlaşılaçağı üzere, 3 kat, 2 kat ve 1 kat sargılı sargılı C26 lı numunelerin referans numuneye göre, azalma kolunun eğiminin aynı düzeyde gittiğı görölmüştür. 3 kat sargılı C15 numune, referans numuneye göre dayanımda %67 artış göstermiş, şekildeğiştirme kapasitesi ise referans numuneye göre %30 artış göstermiştir. 2 kat sargılı C15 numune, dayanımda %23 artış göstermiş, şekildeğiştirme kapasitesi ise %9 artmıştır. 1 kat sargılı C15 numunede ise dayanımda %3 artış ve şekildeğiştirme kapasitesinde %1.7 artmıştır. Normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki numunelerde ise sargı kat sayısının artması etkin olmamaktadır. 1 kat, 2 kat ve 3 kat sargıda dayanım ortalama %40 kadar artmıştır. Ancak normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki 2 kat ve 3 kat sargılı numunelerde maksimum aksenal yükten sonra dayanım yaklaşık %18 azaldıktan sonra tekrar dayanım kazanmış ve yeniden yük taşımaya geçip, ilk bulunduğı maksimum dayanımı da ortalama %4 geçmiştir. Normal dayanımlı C26 beton sınıfındaki 1 kat sargılı numunede şekildeğiştirme kapasitesi, referans numuneye göre yaklaşık aynı seviyede kalmıştır. 2 kat sargılı C26 numunede şekildeğiştirme kapasitesi, referans numuneye göre %35 artmıştır. 3 kat sargılı C26 numunede ise şekildeğiştirme kapasitesi, referans numuneye göre % 10 artmıştır. Bu sonuçları, çerçeve deneyleri ile karşılaştırdığımızda, 3 kat sargıyla sarılan düşük beton basınç dayanımlı çerçeve,3 kat sargılı normal beton basınç dayanımlı çerçeveye göre %15 daha fazla şekildeğiştirme kapasitesi(süneklik) artışı göstermiştir. Sargı etkisinin düşük beton basınç dayanımlı numunelerde daha etkili çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.

16) İleride yapılacak çalışmalarda 1/1 ölçekli çerçeve numuneler tasarlanacaktır. Aynı tekniğin deprem geçirmiş hafif ve orta hasarlı binaların güçlendirilmesinde de uygulanabileceğı düşünülmektedir. Sargı kat sayısı 2 ve 4 olan TRM kompozitlerle güçlendirilmiş çerçeve numuneler üretilip, etkinliğı araştırılacaktır. Dolgu duvarların da farklı tipte güçlendirilerek, güçlendirilmiş çerçeve içindeki etkinliğı araştırılacaktır. Kolonların kritik uç bölgeleri tam sargı ve ankrajsız, kirişlerin kritik uç bölgeleri U sargı ve ankrajla üretilip, TRM kompozitlerin etkinliğine bakılacaktır. Çerçeve kirişlerinin tablalı kesit olarak üretilip TRM altında etkinliğine bakılacaktır. Bindirme boyu ve kenetlenme boyunun yetersiz, etriye kancasının 90⁰ olduğı çerçevelerde, TRM kompozitin etkinliğine bakılacaktır. Dayanım ve rijitlik yönünden üstün fakat kırılgan ve pahalı karbon esaslı TRM tekstilin, uzama şekildeğiştirme yeteneğı daha üstün ve ucuz farklı mekanik özellikleri olan malzemeler ile bir araya getirilerek, hibrit bir sargı malzemesi geliştirip daha ekonomik bir güçlendirme tekniğı araştırılacaktır.

Çerçevenin sadece kolonları TRM ile güçlendirilecek. Kirişlere müdahale edilmeyecek. Bu suretle hasarların panel yerine kiriş uçlarında toplanması hedeflenecek ve davranışa bakılacaktır. TRM kompozitin dışında farklı güçlendirme malzemelerinden olan çelik plaka ya da çelik lama şeritlerle kiriş ve kolonların kritik uç bölgeleri tam sargı ve ankrajlı olarak etkinliği araştırılacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Abegaz, A.Z.** (2013). Advanced Fiber Reinforced Composites as Confining Systems for RC Columns, (*Doctoral Dissertation*), *University of Miami*, Florida, USA.
- [2] **ACI 549.4R-13** Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures. December 2013.
- [3] **ACI 440.2R-17** Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening Concrete Structures. May 2017.
- [4] **Akhoundi, F., Silva, L.M., Vasconcelos, G. and Lourenço, P.** (2021), "Out-of-plane strengthening of masonry infills using textile reinforced mortar (TRM) technique", *Int. J. Arch. Herit.*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1922782>.
- [5] **Alcocer, S.M. ve Jirsa, J.O.** (1993). Strength of reinforced concrete frame connections rehabilitated by jacketing, *ACI Structural Journal*, 90(3), 249–261.
- [6] **Al-Jamous, A., Ortlepp, R., Ortlepp M.** (2006). Experimental Investigations About Construction Members Strengthened With Textile Reinforcement, *1st International conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC)*, (pp.161-169). Aachen University, Aachen.
- [7] **Almousallam, T. ve Al-Salloum Y.** (2007). Behavior of FRP Strengthened Infill Walls Under In-plane Seismic Loading, *American Society of Civil Engineers Journals Vol. 11, no.3*.
- [8] **Al-Salloum, Y.A., Siddiqui, N.A., Elsanadedy, H.M., Abadel, A.A., Aqel, M.A.** (2011). Textile-Reinforced Mortar versus FRP as Strengthening Material for Seismically Deficient RC Beam-Column Joints, *Journal of Composites for Construction*, 15(6), 920-933.
- [9] **Altin, S., Anil, O., Kara, M.E. ve Kaya, M.** (2008). An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips, *Composites Part B: Engineering* 39, 680-693.
- [10] **Anil, Ö. & Altin, S.** (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29(3), 449–460. [doi:10.1016/2006.05.011](https://doi.org/10.1016/2006.05.011).

- [11] **Antonopoulos, C.P., ve Triantafillou, T.C.** (2003). Experimental investigation of FRP-strengthened RC beam-column joints, *Journal of Composites for Construction*, 7(1), 39–49.
- [12] **Aref, A.J., A.M. ASCE?, and Woo-Young Jung** (2003). Energy-Dissipating Polymer Matrix Composite-Infill Wall System for Seismic Retrofitting. *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, no. 4, pp. 440-448
- [13] **Arya, C., Clarke, J. L., Kay, E. A., & O'Regan, P. D.** (2002). TR 55: Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: Review. *Engineering Structures*, 24 (7), 889–900. doi:10.1016/S0141-0296(02)00027-5.
- [14] **ASTM E519 – 00**, (2000). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. *ASTM International, West Conshohocken, PA*, 2000, pp.1-5.
- [15] **Atmaca, S.** (2007). The Strengthening of Brick Infilled RC Frames with Different Aspect Ratios by means of CFRP Overlays. PhD Thesis Submitted to the Institute for Graduate Studies in Science and Engineering in Graduate Program in Civil Engineering Boğaziçi University 2007.
- [16] **ATC-40**, (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [17] **Basalo, F.D.C., Matta, F., : Nanni A.**(2012). Fiber reinforced cement-based composite system for concrete confinement, *Construction and Building Materials*, 32, 55-65
- [18] **Balsamo, A., Colombo, A., Manfredi, G., Negro, P., Prota, A.** (2005). Seismic behavior of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates, *Engineering Structures*, 27, 769–780.
- [19] **Bastemir. İ.**, (2009). Büyük Atalet Kuvvetleri Etkisindeki Bölme Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [20] **Beklen, C. ve Çağatay, İ. H.** (2009). Çerçevelerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi. *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak.Dergisi*, 24 (1-2), 77–90
- [21] **Benjamin, J. & William, H.** (1957). The behavior of one story reinforced concrete shear wallstle. *Journal of the Structural Division of the American Society of Civil Engineers*, 83 (3), 1–30

- [22] **Bentur A and Mindess S** (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites, 2nd Ed., Taylor & Francis, New York*
- [23] **Beres, S., El-Borgi, R. N.,** (1992). Experimental Results of Repaired and Retrofitted Beam-Column Joint Tests in Lightly Reinforced Concrete Frame Buildings. Technical Report National Center For Earthquake Engineering Research. State University of New York at Buffalo
- [24] **Biddah, A., Ghobarah, A., Aziz T.,**(1997). Upgrading of Nonductile Reinforced Concrete Frame Connections, *Journal of Structural Engineering*, 123(8) [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1997\)123:8\(1001\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1997)123:8(1001))
- [25] **Binici, B., Özcebe, G., and Özçelik, R.,** (2007). Analysis and Design of FRP Composites for Seismic Retrofit of Infill Walls in Reinforced Concrete Frames, *Composites, Part B Vol. 38*, pp. 575-583.
- [26] **Biondo, A. S. & Cusenza, A. M. C.** (2007). Restoration of the Florio Tuna Plant on the Island of Favignana (Trapani). Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (pp. 1–9). Patra, Greece : University of Patras.
- [27] **Bournas D A, Lontou P V, Papanicolaou C G, Triantafillou T C** (2007) “Textile-Reinforced Mortar (TRM) versus FRP Confinement in Reinforced Concrete Columns.”, *ACI Structural Journal*, 104:6, 740-748
- [28] **Bournas, D.A. and Triantafillou, T.C.**(2011). Bar Buckling in RC Columns Confined with Composite Materials, *Journal of Composites for Construction*, 15(3), 393-403
- [29] **Büyüköztürk, O., Yüksel, E., Özkaynak, H.,** (2009). Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Güçlendirilmesinde Farklı Lifli Polimer Uygulamaları. *Prof. Dr. Nahit Kumbasar İçin Betonarme Yapılar Semineri*, Ekim 2009, İstanbul.
- [30] **Büyüköztürk, O., Dindar, A.A., Ozkaynak, H., Yalçın, C., Yüksel, E.,** 2008. Energy Based Analysis of RC Structures. *8th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Famagusta, North Cyprus, September 2008.
- [31] **Bramshuber, W., Brockmann, T., Hegger, J., Molter, M.** (2002). Investigation on textile reinforced concrete, *Beton* 52, 9, 424-426.
- [32] **Bruckner A., Ortlepp, R., Curbach, M.** (2006). Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear, *Materials and Structures (RILEM)*, 39, 741-748

- [33] **Carozzi, F.G, Milani, G., Poggi, C** (2014). Mechanical properties and numerical modelling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structure, *Composite Structures*, 107, 711-725
- [34] **Celep, Z.,** (2017). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, *Beta Basım Yayınevi*, İstanbul.
- [35] **Celep, Z., B. Taskin and A. İlki,** (2011) “Failure of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) Earthquakes in Turkey.” *Eng. Fail. Anal* 18(3):868-889. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.11.001> .
- [36] **Ceyhan, A.,** (2008). Yapısal Elemanların Deprem Etkisindeki Davranışlarının Belirlenmesinde Benzeşik Dinamik Deney Tekniği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [37] **Chadwell, C.B., Imbsen and Associates,** (2002). XTRACT-Cross Section Analysis Software for Structural and Earthquake Engineering, <http://www.imbsen.com/xtract.htm>, 10 Temmuz 2006.
- [38] **Chen, B., Wu, K., & Yao, W.** (2004). Conductivity of carbon fiber reinforced cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 26 (4),291–297.[doi:10.1016/S0958-9465\(02\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00138-5)
- [39] **Chen, S., Jeng, V., Chen, S., & Chen, C.** (2001). Seismic assessment and strengthening method of existing RC buildings in response to code revision. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3, 67–77.
- [40] **Choi, H., Nakano, Y., and Takahashi, N.,** (2006). Residual Seismic Capacity of RC Frames with Unreinforced block wall based on their crack widths. *Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center. Institute of Industrial Science*, University of Tokyo. No.39, pp.33-48.
- [41] **Chopra, A.K.,** (2001). Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering. *Second Edition, Prentice Hall; Englewood*.
- [42] **Colajanni P., Domenico, F.D., Recupero, A., Spinella, N** (2014). Concrete columns confined with fibre reinforced cementitious mortars: Experimentation and modelling, *Construction and Building Materials*, 52, 375-384.

- [43] **Contamine, R., Si Larbi, A., Hamelin, P.** (2013). Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams, *Engineering Structures*, 46, 447-458.
- [44] **Corazao, M. Ve Durrani, A.** (1989). Repair and strengthening of beam-to-column connections subjected to earthquake loading, *NCEER Report No. NCEER-89-13*.
- [45] **Coza, H.** (2009). Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi (Doktora tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [46] **Crisafulli, F. J. & Carr, A. J.** (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40 (2), 69–77
- [47] **Crisafulli, F.J.** (1997). Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills, PhD Thesis, *University of Canterbury*, New Zealand.
- [48] **Çılı, F., Karadoğan, H. F., Geçili, G. E.,** (2007). Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tübitak Mag Proje 104M562*.
- [49] **Darılmaz, K.** (2012). Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş, *SAGE Yayınevi*.
- [50] **Daşkiran, M.** (2018) Çimento Esaslı Kompozitlerden Üretilen Yapı Elemanlarının Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul. **Doktora tezi**
- [51] **Ehsani, M., Saadatmanesh, H., & Al-Saidy, A.** (1997). Shear behavior of URM retrofitted with FRP overlays. *Journal of Composites for Construction*, 1(1), 17–25.
- [52] **ElGawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M.,** (2007). Static Cyclic Response of Masonry Walls Retrofitted with Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*. Vol. 11, no.1, pp. 50-61.
- [53] **Erdem I., Akyuz U., Ersoy U and Ozcebe G.,** (2003). A Comparative Study on Strengthening of RC Frames. NATO SfP 977231 Project: "Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings", NATO Science Series, IV. *Earth and Environmental Sciences-Vol.29*, pp.407-432.

- [54] **Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., Ozcebe, G.,** (2006). An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames. *Engineering Structures*, Vol. 28, pp. 1843-1851.
- [55] **Erol, G.,** (2010). Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeveler. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [56] **Ersoy, U ve Uzsoy, Ş.,** (1971). Dolgulu Çerçevelerin Davranış Mukavemeti, Ankara
- [57] **Ersoy, H. Y.,** (2001). Kompozit Malzeme, İstanbul
- [58] **Fardis, M.N., and Panagiotakos, T.B.** (1996). Seismic Design and Response of bare and masonry-infilled reinforced concrete buildings. PartII: Infilled Structures. *Journal of Earthquake Engineering*. vol.1, no.3, pp. 475-503.
- [59] **Fajfar, P., Vidic, T., and Fischinger, M.,** (1991). On the Energy Input into Structures. *Proceedings of the Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand, Vol. 1, pp. 81-92.
- [60] **FEMA-356.** (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Prepared by ASCE Reston, Virginia Prepared for *Federal Emergency Management Agency* Washington, D.C.
- [61] **FEMA-440** (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for *American Society of Civil Engineers for Federal Emergency*, Washington, D.C.
- [62] **Gajanan Sabnis, Harry G. Editor Harris, Richard N. White;** (1999). Structural Modeling and Experimental Techniques.
- [63] **Garcia, D., Alonso, P., San-Jose J.T., Garmendia, L., Perlot, C.** (2010). Confinement of medium strength concrete cylinders with basalt Textile Reinforced Mortar, *ICPIC 2010 – 13th International Congress on Polymers in Concrete*, (pp.643-650). Portugal
- [64] **Garevski, M., Paskalov, A., Talaganov, K. and Hristovski, V.,** (2003). Experimental and Analytical Investigation of 1/3-Model R/C Frame- Wall Building Structures – PART I(Model Design and Analytical Evaluation of Dynamic Characteristics of the Model). NATO SfP 977231 Project: "Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings", *NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences-Vol.29*, pp. 487-498.

- [65] **Ghobarah, A., and Said, A.** (2002). Shear strengthening of beam–column joints, *Engineering Structures*, 24(7), 881–888.
- [66] **Güler K., and Altan M.** (2004) “An examination of damages of reinforced concrete consold buildings in Turkey due to 17 August 1999 Kocaeli Earthquake” 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No.2644
- [67] **Güler K., Tekeli H., Dilmaç H., and Demir F.** (2013) “ The effects of Material Properties on Building Performance”. 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, Epoka University, Tirana, Albania
- [68] **Güler, K., Yüksel, E., and Koçak, A.,** (2008). Estimation of the Fundamental Vibration Period of Existing RC Buildings in Turkey Utilizing Ambient Vibration Records. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.12 (S2), pp.1-11.
- [69] **Gülkan, P., Wasti, T.,** (1993). Çerçeve Dolgu Etkileşmesi, Lineer Olmayan İrdeleme. *Türkiye İnşaat Mühendisleri XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı*, Ankara, pp. 39-52.
- [70] **Gülkan, P., and Sozen, M.A.,** (1974). Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions. *Journal of American Concrete Institute*. Vol.27, no.4, pp. 601-609.
- [71] **Gülkan, P., and Sozen, M.A.,** (1971). Response and Energy-Dissipation of Reinforced Concrete Frames Subjected to Strong Base Motions. *Technical Report. Univesity of Illinois*. Urbana, Ullinois.
- [72] **Ghobarah, A., Aziz, T. S., Biddah, A.** (1996). Seismic rehabilitation of reinforced concrete beam–column connections, *Earthquake Spectra*, 12(4), 761–780
- [73] **Ghosh, A.K., AMDE, M.,** (2002). Finite Element Analysis of Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering*, Vol.128, pp. 881-889.
- [74] **Hashemi, A. and Mosalam, K.M.,** (2007). Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Including Effects of Masonry Infill Walls. *PEER Technical Report 2007/100*, July 2007, 255 pp.
- [75] **Hemant B., Kaushik, Durgesh C. Rai, and Sudhir K. Jain,** (2006). Code Approaches to Seismic Design of Masonry-Infilled Reinforced Concrete

Frames. *Earthquake Engineering Research Institute. Earthquake Spectra*, Vol.22, no. 4, pp. 961–983..

- [76] **Holmes, M.**, (1961). Steel Frames With Brickwork And Concrete Infilling. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, London, England, Part2, Vol. 19, pp.473-478.
- [77] **Holmes, M.**, (1963). Combined Loading on Infilled Frames. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, Vol. 25, pp. 31-38.
- [78] **Bedirhanoglu I, Kumbasar N** (2009) “Seismic retrofit of brittle and low strength RC columns using fiber reinforced polymer and cementitious composites”, *Advances in Structural Engineering*, 12(3):325-347
- [79] **Karadoğ an, H.F., Yüks el, E.** (2001). Bölme Duvarlı Betonarme Ç erç eveler Ü zerinde Gerçekleştirilen Bazı Deney sel Ç alı ş malar. *Mevcut Yapı ların Deprem Y üklerine Karşı Gü ç lendirilmesi ve Ç ı kmalı Binalardaki Sorunlar Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 5 Temmuz, pp. 104-124.
- [80] **Karadoğ an, H.F., Pala, S., Yüks el, E., Mowrtage, W., Teymur, P., Erol, G., Taskın, K., Comlek, R.**, (2009). Improved Infill Walls and Rehabilitation of Existing Low Rise Buildings, Seismic Risk Assessment and Retrofitting with Special Emphasis on Existing Low Rise Structures, pp. 387-426, *Springer*, ISBN:978-90-481-2680-4.
- [81] **Karadoğ an, H.F., Pala, S., Yüks el, E., Durgun, Y.** (2015). Yapı sal Ç özü mleme Cilt 2, *Birs en Yayın evi*, İstanbul.
- [82] **Karayannis C. G., Sirkelis G. M.**, (2008) Strengthening and Rehabilitation of RC Beam-Column joints using Carbon-FRP jacketing and Epoxy Resin injection. *EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS*, WILEY, 769-790. DOI: 10.1002/eqe.785
- [83] **Kakaletsis, D.J. and G. Karayannis, C.** (2009). Experimental Investigation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Openings. *ACI Structural Journal*.
- [84] **Kakaletsis, D.** (2012). Comparison of CFRP and alternative seismic retrofitting techniques for bare and infilled RC frames. *Journal of Composites for Construction*, 15 (4), 565–577. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000196.
- [85] **Kesner, K. & Billington, S. L.** (2005). Investigation of infill panels made from engineered cementitious composites for seismic strengthening and retrofit. *Journal of structural engineering*, (November), 1712–1720. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:11(1712)

- [86] **Larbi, A.S., Agbossoub, A.B., Hamelina, P.**(2013). Experimental and numerical investigations about textile-reinforced concrete and hybrid solutions for repairing and/or strengthening reinforced concrete beams, *Composite Structures*, 99, 152–162.
- [87] **Lestuzzi P. and Bachmann H.**, (2007). Displacement ductility and energy assesment from shaking table tests on RC structural walls. *Engineering Structures*. Vol. 29, no. 8, pp. 1708-1721.
- [88] **Ludovico, M.D., Polese, M., D’Aragona, M.G., Prota,A., Manfredi,G.** (2013).A proposal for plastic hinges modification factors for damaged RC columns, *Engineering Structures*, 51, 99-112.
- [89] **Ludovico, M.D, Prota, A., Manfredi, G.** (2010). Structural Upgrade Using Basalt Fibers for Concrete Confinement, *Journal of Composites for Construction (ASCE)*, 14 (5), 541-552.
- [90] **Mander, J. B. ,Panthaki, F. D., Kasalanati, A.**(1993).Low Cycle Fatigue Behaviour of Reinforcing Steel, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6(4), 453-468.
- [91] **Matteis, G. De, A. Formisano and F. M. Mazzolani**, 2008. An innovative methodology for seismic retrofitting of existing RC buildings by metal shear panels. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* Vol.38 no.1, pp.61 – 78.
- [92] **Migliacci, A., Antonucci, R., Maio,N. A., Napoli, P., Ferretti, A.S., Via, G.** (1983). Repair techniquesof reinforced concrete beam–column joints, Final Report, *IABSESymposium on Strengthening of Building Structures-Diagnosis and Therapy*, (pp. 355–362).Venice, Italy
- [93] **Milani, G., Milani, E., Tralli, A.**(2010). Approximate limit analysis of full scale FRP reinforced masonry buildings through a 3D homogenized FE package, *Composite Structures*, 92, 918–935.
- [94] **Mobahsher, B.** (2000). Micromechanical modeling of angle ply cement-based composites, *Proceedings of the 6th International Sympsium on Brittle Matrix Comp (BMC6)*, (pp.62-77). Warsaw, Poland
- [95] **Mobahsher, B., Pahilajani, J., Peled, A.** (2006). Analytical simulation of tensile response of fabric-reinforced cement based composites, *Cement and Concrete Composites*, 28, 77-89
- [96] **Mosalam K.M., White R.N., Gergely P.**, (1998). Static response of infilled frames using quasi-static experimentation. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. Vol. 123, no. 11, pp. 1462–1469.

- [97] **Mukherjee, A., and Joshi, M.** (2005). FRP reinforced concrete beam–column joints under cyclic excitation, *Composite Structures*, 70, 185–199.
- [98] **Nakano, Y., Choi, H., and Takahashi, N.**, (2007). Residual Seismic Capacity Estimation of RC Frames with Concrete Block Infill Based on their crack widths. Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center. Institute of Industrial Science, University of Tokyo. No.40, pp.15-24.
- [99] **Noor, F.A., Boswell, L.F.**, (1992). Small Scale Modeling of Concrete Structures. Elsevier Science Publisher Ltd.
- [100] **Nurtuğ, A. and Sucuoğlu, H.**, (1995). Prediction of Seismic Energy Dissipation in SDOF Systems. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 24, pp. 1215-1223.
- [101] **Ombres, L. ve Verre, S.** (2015). Structural behaviour of fabric reinforced cementitious matrix(FRCM) strengthened concrete columns under eccentric loading, *Composites Part B*, 75, 235-249.
- [102] **Ökten, M. S.**, (2013). Lifli Çimento Esaslı Kompozitlerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Deneysel İncelenmesi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- [103] **Özsayın, B.**, (2010). Boşluklu Tuğla Duvarların Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesi ve Davranışta Harç Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [104] **Özkaynak, H.** (2010). Dolgu duvarlı lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [105] **Pantelides C. P., et al** (2008) Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Interior Beam-Column Joints with FRP Composites. *Journal of Composites For Construction*, 12(4) 435-445. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2008) 12:4(435)
- [106] **Papanicolaou, C.G., Triantafillou, T.C., Papathanasiou, M., Karlos, K.** (2007). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading, *Materials and Structures*, 41, 143–57.
- [107] **Peled, A.** (2009). Cement Penetrability Characteristics in Textile Cement Systems, 4th Collogium on Textile Reinforced Structures (CTRS4), 99-114

- [108] **Peled, A. ve Mobasher, B.** (2005). Pultruded Fabric-Cement Composites, *ACI Materials Journal*, 102(1), 15-23
- [109] **Peled, A. ve Mobasher, B.** (2007). Tensile Behavior of Fabric Cement-Based Composites: Pultruded and Cast, *Journal of Materials in Civil Engineering* (ASCE), 19(4), 340-348
- [110] **Pettinga, J.D. and Priestly, M.J.N.,** (2005). Dynamic Behaviour of Reinforced Concrete Frames Designed with Direct Displacement-Based Design. *Journal of Earthquake Engineering*. Vol.9, no. 2, pp. 309-330.
- [111] **Poggi, C. ve Carozzi, F.G.** (2015). Mechanical properties and debonding strength of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for masonry strengthening, *Composites: Part B*, 70, 215-230. undi ve diğ. (2021), [4]
- [112] **Priestly M. J. N., Calvi G. M., Kowalsky M. J.,** (2007). Direct Displacement-Based Seismic Design of Structures. IUSS Press, Pavia, Italy.
- [113] **Prota, A., Nanni, A., Manfredi, G., Cosenza, E.** (2003). Capacity assessment of RC subassembly upgraded with CFRP, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22(14), 1287–1304.
- [114] **Prota, A., Nanni, A., Manfredi, G., Cosenza, E.** (2004). Selective upgrade of under designed reinforced concrete beam–column joints using carbon fiber reinforced polymers, *ACI Structural Journal*, 101(5), 699–707.
- [115] **Ritchie, P., Thomas, D., Lu, L., & Connelly, G.** (1991). External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics. *Structural Engineering*, 88, 490–500.
- [116] **Saadmantesh, H.** (1991). Fiber composites of new and existing structures, *ACI Structural Journal*, 91(3), 346–354.
- [117] **SAP2000 v22.2**, Structural Analysis Program, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [118] **Saneinejad, A.,** (1990). Non-linear Analysis of Infilled Frames. PhD Thesis. Department of Civil Engineering and Structural Engineering University of Sheffield. United Kingdom.
- [119] **Saneinejad, A. and Hobbs, B.,** (1995). Inelastic Design of Infilled Frames. *Journal Structural Engineering*, ASCE, Vol. 121, No.4, pp.634-650.

- [120] **SeismoStruct.** Finite Element Package v.21R1. Seismosoft Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy.
- [121] **Serrato, F. and Saatcioglu, M.** (2004). Seismic Retrofit of Masonry Infill Walls in Reinforced Concrete Frames. Research Report No: OCCERC 04-31, The Ottawa-Carleton Earthquake Engineering Research Centre, Department of Civil Engineering, the University of Ottawa, Ottawa, Canada, pp. 105.
- [122] **Schladitz, F., Frenzel, M., Ehlig, D. Curbach, M.** (2012). Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete, Engineering Structures, 40, 317-326
- [123] **Sneed, L.H., D’Antino, T., Carloni, C.** (2014) Experimental Investigation of FRCM-Concrete Interfacial Debonding, ACI Materials Journal, 298, 1-14.
- [124] **Sucuoglu H, Nurtug A.,** (1995). Earthquake ground motion characteristics and seismic energy dissipation. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 24, pp. 1195-1213.
- [125] **Taştan, D.,** (2008). Bölme Duvarlı Çerçevelerin Güçlendirilmesinde Alternatif CFRP Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [126] **TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,** AFAD, Ankara.
- [127] **TDY, 2007.** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara.
- [128] **Tetta, Z., and Bournas, D.** 2016. “TRM versus FRP jacketing in shear strengthening of concrete members subjected to high temperatures.” Elsevier Composites Part B 106: 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.026>
- [129] **TS EN 196-1** (2016). Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini.
- [130] **TS EN 196-2** (2016). Çimento Deney Metotları-Bölüm 2: Dayanım Tayini.
- [131] **TS EN ISO 13934-1** (2013). Tekstil-Kumaşların gerilme özellikleri Bölüm1: En büyük kuvvetin ve en büyük kuvvet altında boyca uzamanın tayini-şerit metodu.
- [132] **Tommaso, A. Di, Focacci, F., & Mantegazza, G.** (2007). FRCM versus FRP composites to strengthen rc beams: a comparative analysis. Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (pp. 1–10). Patras, Greece.

- [133] **Toutanji H A**, (1999) “Stress-Strain Characteristics of Concrete Columns Externally Confined with Advanced Fiber Composite Sheets,” *ACI Materials Journal*, 96(3), 397–404
- [134] **Trapko, T.** (2013). Stress-strain model for FRCM confined concrete elements, *Composites: Part B*, 45, 1351-1359
- [135] **Trapko, T.** (2013). Fibre Reinforced Cementitious Matrix confined concrete elements, *Materials and Design*, 44, 382-391.
- [136] **Triantafillou, Thanasis C.**, (1998). Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates. *Journal of Composites and Construction*, Vol. 2, No. 2, pp. 96-104.
- [137] **Triantafillou, T.C., Papanicolaou C G, Zissinopoulos P, and Laourdekis T** (2006) “Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets,” *ACI Structural Journal*, 103(1): 28-37
- [138] **Triantafillou. T., Papanicolaou, C.** (2005). Textile reinforced mortars (TRM) versus fiber reinforced polymers (FRP) as strengthening materials of concrete structures, *Seventh Int Symp Fiber-Reinforced Polymer Reinforced Concrete Structures*, (pp.99–118). Kansas, Missouri, USA.
- [139] **Triantafillou, T.C., and Papanicolaou C G** (2006) “Shear Strengthening of Reinforced Concrete Members with Textile Reinforced Mortar (TRM),” *Materials and Structures*, 39(1): 93-103
- [140] **Triantafillou, T.C., and Papanicolaou C.G., Zissimopoulos, P., Laourdekis, T.** (2006). Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets, *ACI Structural Journal*, 103(1), 28-37
- [141] **Triantafillou, T.C.** (2004). Recent developments in strengthening of concrete structures with advanced composites textile-reinforced mortar (TRM) jacketing, *Proceedings of the international conference on structural composites for infrastructure applications*. Alexandria, Egypt, December.
- [142] **Triantafillou, T.C.** (2011). A new generation of composite materials as alternative to fiber reinforced polymers for strengthening and seismic retrofitting of structures, *A vision for the future*. Springer-Verlag London Limited.

- [143] **Triantafillou, T.** (2012). Textile-based composite versus FRP as strengthening and seismic retrofitting materials for concrete and masonry structures, *Journal of Composite Construction*, 86, 560–568.
- [144] **Triantafillou, T.C.** (2016). *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, 1st edition, Woodhead Publishing.
- [145] **TS 500**, (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [146] **TS 498** (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [147] **Töre E, Ateş A.O.** (2015) Bildiri 8th National Conference on Earthquake Engineering, İstanbul- Turkey
- [148] **Uang, C.M. and Bertero, V.V.**, (1990). Evaluation of Seismic Energy in Structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol.19, pp. 77-90.
- [149] **Williams, M.S., Blakeborough, A.**, (2001). Laboratory Testing of Structures Under Dynamic Loads: *An Introductory Review. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 359: 1651-1669.
- [150] **Yalcin, C., Yuksel, E., Dindar, A. A., Ozkaynak, H. and Buyukozturk, O.**, (2008). Seismic Energy Demand Mapping of Regions Using Energy-Based Methodology. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China
- [151] **Yeh, F.Y., Chang, K.C.** (2012) Size and shape effects on strength and ultimate strain in FRP confined rectangular concrete columns. *Journal of Mechanics*.
- [152] **Yıldız, D. H.**, (2008). *Bina Deprem Performanslarını Değerlendiren Yöntemlerin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [153] **Yuksel, E., Ozkaynak, H., Büyüköztürk, O., Yalçın, C., Dindar, A.A., Sürmeli, M., Taştan, D.**, (2009). Performance of Alternative CFRP Retrofitting Schemes Used in Infilled RC Frames”, *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp.596-609.
- [154] **Yuksel, E.**, (1998). *Bazı Düzensizlikleri İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [155] **Yüksel, E., Erol, G., Demir, C., Karadogan, H.F.,** (2005). Seismic Retrofit of Infilled Reinforced Concrete Frames with CFRP Composites. NATO Workshop, Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Istanbul.
- [156] **Walk-Laufer,B., Orlowsky, J., Raupach, M.** (2003). Increase of bond properties within the roving in textile reinforced concrete, 15. Internationale Baustofftagung, 2, 281-290.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Sinan Murat CANSUNAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1991, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat
- **Yükseklisans** : 1993, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği programı
- **Yükseklisans** : 1992, İstanbul Üniversitesi, İşletme İktisadi Enstitüsü ,

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1991 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Bölüm 3.sü.
- 1992 İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Bölüm 3.sü

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Cansunar S.M, Güler K. 2022. Experimental Investigation of a frame retrofitted with carbon textile reinforced mortar, *Eartquakes and Structures An International Journal Techno-Press*, Volume 23, Number 5, November 2022(<http://www.techno-press.org/?page=container&volumeno=23/5&journal=eas> pages 473-491 doi: 10.12989/eas.2022.23.5.473)