

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGADAN ÜRETİLMİŞ TAM ÖLÇEKLİ
KOLONLARIN YANGIN ETKİSİ ALTINDAKİ DEPREM PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göktuğ ÜNAL

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2018

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGADAN ÜRETİLMİŞ TAM ÖLÇEKLİ
KOLONLARIN YANGIN ETKİSİ ALTINDAKİ DEPREM PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Göktuğ ÜNAL
(802151214)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

HAZİRAN 2018

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802151214 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Göktuğ ÜNAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGADAN ÜRETİLMİŞ TAM ÖLÇEKLİ KOLONLARIN YANGIN ETKİSİ ALTINDAKİ DEPREM PERFORMANSI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alper İLKİ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Güray ARSLAN**

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ömer Tuğrul TURAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2018**

Savunma Tarihi : **6 Haziran 2018**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, çalışmalarımın her aşamasında ilgisini, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Hocam Prof. Dr. Alper İLKİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Gerek çalışmalarımın tüm aşamalarında, gerekse meslek yaşamımda tecrübeleriyle bana ışık tutan Arş. Gör. Uğur DEMİR'e, tez çalışmam kapsamında değerli vaktini hiçbir zaman esirgemeyen, Dr. İnş. Müh. Çağlar GÖKSU AKKAYA'ya, deney çalışmalarında yardım ve destekte bulunan Yüksek İnş. Müh. Ergün BİNBİR'e teşekkür ederim. TÜBİTAK-216M535 nolu hızlı destek projesi kapsamındaki deneysel çalışmamda mali desteklerinden dolayı, ayrıca Allianz Sigorta, Yapı Merkezi ve Türk Ytong Sanayi A.Ş.'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Sinan Emre ÇANKAYA ve Arş. Gör. Eyyup Ensar BAŞAKIN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden desteğini sakınmayan ve her zaman yanımda olan, başta sevgili annem, babam ve kardeşim olmak üzere tüm aileme ayrıca teşekkür ederim.

Haziran 2018

Göktuğ ÜNAL
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. NUMUNE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	7
2.1 Giriş.....	7
2.2 Beton	7
2.3 Çelik.....	8
2.4 Numune Üretimi.....	9
3. YANGIN DENEYLERİ.....	17
3.1 Giriş.....	17
3.2 Deney Düzenegi	18
3.3 Deneyler	19
3.1.1 Otuz dakikalık yangın senaryosu	19
3.1.2 Altmış dakikalık yangın senaryosu	22
3.1.3 Doksan dakikalık yangın senaryosu.....	24
3.4 Silindir Numunelerin Deney Sonuçları	26
4. DEPREM DENEYLERİ.....	31
4.1 Giriş.....	31
4.2 Deney Düzenegi	31
4.3 Genel Gözlemler	34
4.3.1 Referans numunesi (GDA-REF).....	34
4.3.1.1 Deney gözlemleri	34
4.3.1.2 Deney sonuçları.....	40
4.3.2 Otuz dakika yangına maruz bırakılan numune (GDA-30M)	49
4.3.2.1 Deney gözlemleri	49
4.3.2.2 Deney sonuçları.....	56
4.3.3 Altmış dakika yangına maruz bırakılan numune (GDA-60M)	64
4.3.3.1 Deney gözlemleri	64
4.3.3.2 Deney sonuçları.....	74
4.3.4 Doksan dakika yangına maruz bırakılan numune (GDA-90M).....	82
4.3.4.1 Deney gözlemleri	82
4.3.4.2 Deney sonuçları.....	89
4.4 Teorik Hesaplar	96

5. DEĞERLENDİRME	101
5.1 Giriş	101
5.2 Gözlem Hasarlarının Karşılaştırılması	102
5.3 Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması	103
5.4 Moment-Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması	105
5.5 Enerji Yutma Kapasitelerinin Karşılaştırılması.....	105
5.6 Kalıcı Yerdeğiştirme/Hedef Yerdeğiştirme Oranı Öteleme Oranı İlişkilerinin Karşılaştırılması.....	105
5.7 Numunelerin Rijitlik Öteleme Oranı İlişkilerinin Karşılaştırılması.....	106
5.8 Numune Sünekliklerinin Karşılaştırılması	106
6. SONUÇLAR	113
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	119



KISALTMALAR

CTIF	: Uluslararası Yangın ve Kurtarma Birliği
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
EPA	: Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
TS	: Türk Standartları
Ö.O	: Öteleme Oranı
GDA	: Geri Dönüşümlü Agregası
DA	: Doğal Agregası



SEMBOLLER

δ_{res}	: Kalıcı yerdeğiştirme
δ_{un}	: Hedef yerdeğiştirme
Δ	: Yerdeğiştirme
l	: Donatı uzunluğu
n	: Donatı adedi
s	: Etriye aralığı
b	: Kesit genişliği
h	: Kesit yksekliği
d	: Kesit derinliği
t	: Zaman
T	: Sıcaklık
P	: Yatay yk
L	: Kolon yksekliği
E_c	: Betonun elastisite modl
ϵ_c	: Betonun birim Őekildeęiřtirmesi
M	: Moment
Δ_y	: Akma yerdeğiştirmesi
Δ_p	: Plastik yerdeğiştirme
l_p	: Plastik mafsall uzunluğu
Φ_m	: Maksimum eğrilik
Φ_y	: Akma eğrililiği



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 2015 yılı dünya geneli yangın sayıları.	2
Çizelge 1.2 : 2008-2018 yılları arasındaki Türkiye'deki yapısal yangınlar.	3
Çizelge 2.1 : Beton özellikleri.	8
Çizelge 2.2 : Agregaların granülometrik bileşimleri ve kombine karışım gradasyonu.	8
Çizelge 3.1 : ISO-834 zamana bağlı sıcaklık değişimi.	18
Çizelge 4.1 : Yükleme adımları.	33
Çizelge 4.2 : GDA-REF numunesi kalıcı yerdeğiştirmeler.	47
Çizelge 4.3 : GDA-REF numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.	48
Çizelge 4.4 : GDA-30M numunesi kalıcı yerdeğiştirmeler.	62
Çizelge 4.5 : GDA-30M numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.	63
Çizelge 4.6 : GDA-60M numunesi kalıcı yerdeğiştirmeler.	80
Çizelge 4.7 : GDA-60M numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.	81
Çizelge 4.8 : GDA-90M numunesi kalıcı yerdeğiştirmeler.	95
Çizelge 4.9 : GDA-90M numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.	96
Çizelge 5.1 : Kolonların öteleme oranına göre hasar karşılaştırması.	103
Çizelge 5.2 : GDA-30M düzeltilmiş yatay kuvvet değeri.	104
Çizelge 5.3 : Deney numunelerinin süneklik değeri.	107
Çizelge 5.4 : Deney numunelerinin dayanım azalması ve kalıcı yerdeğiştirme seviyeleri.	107



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Φ 18 çaplı S420 betonarme çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.....	9
Şekil 2.2 : Kolon donatı düzeni ve detayı.....	10
Şekil 2.3 : Temel üst görünüşü.	11
Şekil 2.4 : Temel A-A kesiti.	11
Şekil 2.5 : Temel B-B kesiti.	12
Şekil 2.6 : Temel C-C kesiti.	12
Şekil 2.7 : Temel D-D kesiti.	12
Şekil 2.8 : Isıl çift yerleşim planı.....	13
Şekil 2.9 : a) Donatı kafesi ve b) ısııl çift yerleşimi.	14
Şekil 2.10 : a) Beton dökümü ve b) üretim sonrası görünüş.	14
Şekil 3.1 : ISO-834 yangın eğrisi.	17
Şekil 3.2 : Fırının a) dış ve b) iç görünümü.	19
Şekil 3.3 : 30 dakika yangın deneyi öncesi fırın yerleşimi.....	20
Şekil 3.4 : 30 dakika yangın deneyi sırasında gözlem penceresinden görünüm.	20
Şekil 3.5 : 30 dakika yangın sonrası hasar görünümü.	21
Şekil 3.6 : 30 dakika yangına maruz bırakılan kolonun iç sıcaklık seviyeleri.	22
Şekil 3.7 : 60 dakika yangın deneyi öncesi fırın yerleşimi.	22
Şekil 3.8 : 60 dakika yangın sonrası hasar görünümü.	23
Şekil 3.9 : 60 dakika yangına maruz bırakılan kolonun iç sıcaklık seviyeleri.	24
Şekil 3.10 : 90 dakika yangın deneyi öncesi fırın yerleşimi.	24
Şekil 3.11 : 90 dakika yangın sonrası hasar görünümü.	25
Şekil 3.12 : 90 dakika yangın sonrası silindir numuneler.	25
Şekil 3.13 : 90 dakika yangına maruz bırakılan kolonun iç sıcaklık seviyeleri.	26
Şekil 3.14 : C-REF numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	27
Şekil 3.15 : C-30M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	27
Şekil 3.16 : C-60M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	28
Şekil 3.17 : C-90M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	28
Şekil 3.18 : Silindir numunelerin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.	29
Şekil 4.1 : Yarı-statik deney düzeneği ve yerdeğiştirmeölçer şeması.	32
Şekil 4.2 : Yükleme protokolü.	33
Şekil 4.3 : Batı (W) yüzü ve doğu (E) yüzü, hasarsız ve ilk eğilme çatlakları (%5 öteleme oranı) oluştuktan sonraki durumu.	35
Şekil 4.4 : GDA-REF %1 öteleme oranı itme sonrası doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde oluşan eğilme çatlakları.	35
Şekil 4.5 : %2 öteleme oranı çekme sonrası kuzey (N) yüzünde oluşan ezilme hasarı.	36
Şekil 4.6 : GDA-REF %3 öteleme oranı çekme sonrası doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde oluşan eğilme çatlakları.	37
Şekil 4.7 : GDA-REF %5 öteleme oranı itme sonrası kuzey (N) yüzünde oluşan ezilme hasarı.	37

Şekil 4.8 : GDA-REF%5 öteleme oranı çekme sonrası batı (W) yüzünde oluşan ezilme hasarı.	38
Şekil 4.9 : GDA-REF %6 öteleme oranı itme sonrası güney (S) ve doğu (E) birleşimindeki donatı burkulması	39
Şekil 4.10 : GDA-REF%7 öteleme oranı itme sonrası güney (S) ve doğu (E) birleşimindeki donatı burkulması.	39
Şekil 4.11 : GDA-REF deney sonu P=0 iken numunenin hasar durumu	40
Şekil 4.12 : GDA-REF yük-yerdeğiştirme ilişkisi.	42
Şekil 4.13 : GDA-REF zarf eğrisi.	43
Şekil 4.14 : GDA-REF 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi..	44
Şekil 4.15 : GDA-REF 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	44
Şekil 4.16 : GDA-REF 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	44
Şekil 4.17 : GDA-REF numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi. ..	45
Şekil 4.18 : GDA-REF numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.	46
Şekil 4.19 : GDA-30M deney öncesi ve %0.5 öteleme oranı ilk eğilme çatlakları oluşuktan sonraki durumu.	49
Şekil 4.20 : GDA-30M numunesi %1 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	50
Şekil 4.21 : GDA-30M numunesi %2 öteleme oranı itme çevrimi güney (S) yüzündeki ezilme başlangıcı.	51
Şekil 4.22 : GDA-30M numunesi %3 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	51
Şekil 4.23 : GDA-30M numunesi %4 öteleme oranı çekme çevrimi hasar görünümü.	52
Şekil 4.24 : GDA-30M %5 öteleme oranı çekme sonrası kuzey (N) ve batı (W) birleşimindeki donatı burkulması.	53
Şekil 4.25 : GDA-30M numunesi %5 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü	53
Şekil 4.26 : GDA-30M numunesi %6 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	54
Şekil 4.27 : GDA-30M numunesi deney sonrası numunenin durumu (P=0, $\delta=65.1$ mm).	55
Şekil 4.28 : GDA-30M %6 öteleme oranı çekme sonrası güney (N) ve batı (W) birleşimindeki donatı burkulması.	55
Şekil 4.29 : GDA-30M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.	57
Şekil 4.30 : GDA-30M zarf eğrisi.	58
Şekil 4.31 : GDA-30M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	59
Şekil 4.32 : GDA-30M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	59
Şekil 4.33 : GDA-30M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	59
Şekil 4.34 : GDA-30M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi. ..	60
Şekil 4.35 : GDA-30M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.	61
Şekil 4.36 : GDA-60M deney öncesi görünümü.	64
Şekil 4.37 : GDA-60M numunesi %0.5 öteleme oranı kuzey (N) ve güney (S) yüzlerinin hasar görünümü.	65
Şekil 4.38 : GDA-60M numunesi %1 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	65
Şekil 4.39 : GDA-60M numunesi %1 öteleme oranı çekme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	66

Şekil 4.40 :	GDA-60M numunesi %2 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	67
Şekil 4.41 :	GDA-60M numunesi %3 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	67
Şekil 4.42 :	GDA-60M numunesi %4 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	68
Şekil 4.43 :	GDA-60M numunesi %5 öteleme oranı itme güney-doğu (S-E) ve güney-batı(N-E) köşelerindeki donatı burkulması.	69
Şekil 4.44 :	GDA-60M numunesi %5 öteleme oranı yüksüz durumdaki ($P=0$, $\delta=26.77$ mm) hasar görünümü.	69
Şekil 4.45 :	GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı ve itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.	70
Şekil 4.46 :	GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı çekme kuzey-doğu (N-E) köşelerindeki donatı burkulması.	71
Şekil 4.47 :	GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı yüksüz durumdaki ($P=0$, $\delta=41.21$ mm) hasar görünümü.	71
Şekil 4.48 :	GDA-60M %7 öteleme oranı itme kuzey-doğu (N-E) köşelerindeki donatı burkulması.	72
Şekil 4.49 :	GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.	72
Şekil 4.50 :	GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.	72
Şekil 4.51 :	GDA-60M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.	75
Şekil 4.52 :	GDA-60M zarf eğrisi.	76
Şekil 4.53 :	GDA-60M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	77
Şekil 4.54 :	GDA-60M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	77
Şekil 4.55 :	GDA-60M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	77
Şekil 4.56 :	GDA-60M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi. .	78
Şekil 4.57 :	GDA-60M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.	79
Şekil 4.58 :	GDA-90M deney öncesi görünümü.	83
Şekil 4.59 :	GDA-90M numunesi %1 öteleme oranı çekme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.	83
Şekil 4.60 :	GDA-90M numunesi %2 öteleme oranı kuzey (N) ve güney (S) yüzlerinin hasar görünümü.	84
Şekil 4.61 :	GDA-90M numunesi %2 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.	84
Şekil 4.62 :	GDA-90M numunesi %3 öteleme oranı güney (S) ve kuzey (N) yüzlerinin hasar görünümü.	85
Şekil 4.63 :	GDA-90M numunesi %3 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	85
Şekil 4.64 :	GDA-90M numunesi %4 öteleme oranı itme kuzey-batı (N-W) köşesindeki hasar görünümü.	86
Şekil 4.65 :	GDA-90M numunesi %4 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	86
Şekil 4.66 :	GDA-90M numunesi %5 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	87
Şekil 4.67 :	GDA-90M numunesi %5 öteleme oranı çekme güney (S) yüzündeki hasar görünümü.	88

Şekil 4.68 :	GDA-90M numunesi %6 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.	88
Şekil 4.69 :	GDA-90M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.	90
Şekil 4.70 :	GDA-90M zarf eğrisi.	91
Şekil 4.71 :	GDA-90M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	92
Şekil 4.72 :	GDA-90M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	92
Şekil 4.73 :	GDA-90M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.	92
Şekil 4.74 :	GDA-90M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi. ..	93
Şekil 4.75 :	GDA-90M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.	94
Şekil 4.76 :	Mander beton modeli.	97
Şekil 4.77 :	Donatı çeliği modeli.	97
Şekil 4.78 :	Konsol kolonlarda moment-eğrilik ve yerdeğiştirme ilişkileri.	98
Şekil 4.79 :	Deney numunelerinin teorik yük-yerdeğiştirme ilişkisi (1. durum). ...	99
Şekil 4.80 :	Deney numunelerinin teorik yük-yerdeğiştirme ilişkisi (2. durum). .	100
Şekil 5.1 :	Deney numunelerinin %2 öteleme oranındaki hasar durumu.	102
Şekil 5.2 :	Deney numunelerinin rijitlik öteleme oranı ilişkisi.	106
Şekil 5.3 :	Deney numunelerinin yük-yerdeğiştirme ilişkileri.	108
Şekil 5.4 :	Deney numunelerinin zarf eğrileri.	109
Şekil 5.5 :	Deney numunelerinin 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkileri. .	110
Şekil 5.6 :	Deney numunelerinin 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkileri.	110
Şekil 5.7 :	Deney numunelerinin 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkileri .	110
Şekil 5.8 :	Deney numunelerinin enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi. .	111
Şekil 5.9 :	Deney numunelerinin kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.	112

GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGADAN ÜRETİLMİŞ TAM ÖLÇEKLİ KOLONLARIN YANGIN ETKİSİ ALTINDAKİ DEPREM PERFORMANSI

ÖZET

Artan endüstrileşme dikkate alındığında, sınırlı doğal kaynakların etkin kullanımı yenilenebilir enerji konusunu gündeme getirmiştir. Yapı mühendisliği perspektifinden bakıldığında, yapılar deprem, kentsel dönüşüm vb. nedenlerle yıkıldığında ekonomi ve çevre için ağır bir yük olan atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Örneğin, atık miktarı Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için 2003 yılında 170 milyon ton, Kanada için 2008 yılında 17.3 milyon ton olarak rapor edilmiştir [Cree vd, 2013]. Ülkemizde ise 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun”un yürürlüğe girmesi ile kentsel dönüşüm projeleri kapsamında önümüzdeki 20 yıl içinde yaklaşık 6.5 milyon konutun yıkılarak yeniden inşası planlanmakta ve sonuç olarak yaklaşık 500 milyon ton yıkıntı atığının ortaya çıkması beklenmektedir [www.csb.gov.tr].

Atıkların çevre ve insan sağlığı için bir risk oluşturmadan, yerel ekonomi için değer kazandıracak bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim planlarının oluşturulması, temel bir milli politika haline gelmektedir. Son yıllarda, ABD, Japonya ve Avrupa Birliği'nin de içinde olduğu endüstrileşmiş ülkeler, yapı malzemelerinde karbon ayak izinin azaltılması gibi sürdürülebilirlik temasına dayanan nedenlerle, inşaat ve yıkıntı atıklarının beton yapımında kullanımı konusundaki çalışmaları teşvik etmektedirler. Bu yüzden gelecek yıllarda, yeni binaların yapımında inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülerek kullanımı ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından önemli bir alan haline gelecektir. Türkiye’de de atık yönetimi, giderek artan bir şekilde çevre koruma politikaları arasında ağırlıklı bir öneme sahip olmaktadır. Yürürlüğe giren “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi” projesi inşaat ve yıkıntı atıklarından kaynaklanacak olan çevre sorunlarının giderilmesi, kısıtlı depolama sorununa katkı sağlanması ve bu atıkların ekonomik faydaya dönüştürülmesini amaçlamaktadır [Resmi Gazete 12.01.2013-28586]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, inşaat ve yıkıntı atığı betonun geri dönüştürülmesi ile elde edilen agreganın (GDA) yeniden beton üretiminde kullanımı ile ilgili standartlar oluşmasını sağlamıştır [EN 1262, BS 8500-2, DIN 4226-100]. İlgili standartlar, GDA'nın yapısal betonda kullanımını içermemektedir, ancak, GDA'nın kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır.

Literatürde, GDA ile üretilmiş betonların, doğal agregalar (DA) ile üretilmiş betonlarla benzer performansla sahip olabileceklerini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, GDA'nın sürdürülebilir şekilde kullanımı konusunda da zemin hazırlamak önemlidir. Bir yapının servis ömrü boyunca deprem ve yangın geçirme riski bulunmaktadır. 2015 yılında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı tarafından yayınlanan rapora göre, 2010-2015 yılları arasında İstanbul’da meydana gelen yapısal yangın sayısı yaklaşık 60.000’dir. Benzer durumlar dünyanın birçok ülkesinde de görülmektedir [Hall, 2001]. Yangınların büyük çoğunluğunda, yapı

elemanlarının beton, yapı çeliği gibi malzemelerinde bozulmalar ve termal genişlemelere bağlı olarak yapısal hasarlar gözlenmekte ve bu değişiklikler yapıların deprem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Kısa dönem içerisinde kullanılmaya başlaması ekonomik ve çevreye olacak olan katkısı dolayısıyla büyük bir kazanım olacak olan GDA ile inşaa edilen yapıların yangın güvenliği ve dayanımı konusunda literatürde yer alan çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Bu durum, GDA ile inşaa edilen yapıyı kullananların can güvenliğini ve yapısal elemanların hasar görmeden güvenli şekilde çalışmaya devam etmesini riske atabilecektir. Ülkemiz, dünyanın en aktif faylarından birisi olan Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde yer almaktadır ve her yıl irili ufaklı çok sayıda deprem meydana gelmektedir. Bu nedenle, GDA kullanılarak imal edilmiş olan yapılarda can güvenliğinin sağlanması için, her yangından sonra yapısal hasarın tespit edilmesi ve hasar tespiti safhasında, yapının kalıcı performansının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi, yapının tamir edilmesi, güçlendirilmesi veya yıkılıp yeniden yapılmasına karar verilmesi gerekmektedir.

Tezin amacı, literatürde daha önce az sayıda araştırmaya konu olmuş olan, GDA ile üretilen, depremde birincil derecede öneme sahip betonarme kolonların yangın sonrası deprem davranışını deneysel olarak ortaya koymak ve yangın sonrası hasar tespiti esnasında yapının onarım, güçlendirme veya yıkılıp yeniden yapılması işlemlerinden en güvenli ve ekonomik olanının tespit edilmesine katkı sunmaktır.

SEISMIC PERFORMANCE OF FULL-SCALE FIRE-EXPOSED REINFORCED CONCRETE COLUMNS PRODUCED BY RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

SUMMARY

Considering the ever-increasing industrialization, efficient use of limited natural resources has raised the issue of effective use of renewable energy. Even from the perspective of structural engineering, the demolition of structures due to earthquakes, urban transformation etc. results in waste materials, imposed on the economy. This sort of waste was reported as 170 million tons in United States of America (US) in 2003 [Cree et al, 2013]. and 17.3 million tons in 2008 in Canada [Canada Ministry of Industry, 2008]. In Turkey, for the next 20 years, approximately 6.5 million apartments are planned to be demolished within the scope of Urban Transformation Law (06/05/2012 - 6306). At the end of this process, it is assumed that approximately 500 million tons of debris [www.csb.gov.tr] will emerge.

Planning for waste management becomes an important national policy, aiming to convert the waste materials as in input to create value-added products for the local economy, without creating a risk to the environment and human health. In recent years, developed countries such as US, Japan and the European Union, promote research on the use of concrete production with demolition waste, based on the theme of sustainability and reducing the carbon footprint of building materials. Therefore, in the next few years, the use of recycled waste in the construction of new buildings will be useful to ensure the economic and environmental sustainability. The waste management in Turkey is among the environmental protection policies, with increasing importance. In the scope of the project "The Assessment of Building and Demolition Waste", it has been aimed to eliminate environmental problems that will result from construction and demolition waste, contribution to the limited waste storage problems, and conversion of the waste to an economical benefit [Official Gazette, 12.01.2013-28586]. Studies on utilization of Recycled Aggregates (GDA) from demolition waste in new constructions led to the development of standards on this subject [EN 1262, BS 8500-2, DIN 4226-100].

In literature, there are studies demonstrating that the performances of reinforced concrete members constructed with GDA and DA are similar. However, it is also important to ensure the sustainability of GDA usage in concrete. During the service life of a structure, there might be risks such as, earthquake and fire. The number of structural fires between 2010 and 2015 was reported as 60.000 by Istanbul Metropolitan Municipality Fire Department. A similar situation is observed in many countries in the world [Hall, 2001]. In the majority of these fires, it is known that structural damage may be observed depending on the deterioration and thermal expansion of the materials such as concrete and steel rebar of the reinforced concrete structural elements, thereby adversely affecting the seismic performance of the structures. Research on post-fire performance of GDA which may risk the life of the residents and the fire safety of the structures is very limited. Turkey is located on one

of the world's most active faults, and thus at high risk of earthquakes and fires caused by earthquakes. Therefore, for the life safety of the residents, who are living at the structures incorporating GDA, after fire, damage assessment must be immediately carried out by experts, the residual performance of the structure must be obtained and decisions should be given whether to repair, strengthen or demolish the entire structure.

The purpose of the thesis, which has been the subject of very limited research in literature, is to investigate the post fire seismic behavior of reinforced concrete columns, constructed using GDA, by experimental techniques, and to contribute to the identification of the safest and the most economical process (repair, strengthen or reconstruct the structure) after fire.



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada sürdürülebilirlik sorunları, yenilenemeyen kaynakların tükenmesi ve iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu süreçte atıkların doğru yönetilmesi, geri dönüşümle kazandırma çabaları, çevrenin korunması ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir nitelik kazanmasında son derece önemlidir. Doğal kaynaklarımızın gitgide azalması, dikkatli kullanılmadıkları takdirde tükenecek olması ve bu kaynakların kendini yenileme özelliğinin sınırlı olması geri dönüşümün önemini göstermektedir. Günümüzde geri dönüşüm, endüstriyel atıklarının yanı sıra inşaat atıkları için de önem taşımaktadır. İnşaat ve yıkım atığının bertaraf edilmesi, ciddi bir sosyal, ekonomik ve çevresel sorun haline gelmiştir. Dünya genelinde inşaat ve inşaat endüstrilerinin yıkım malzemelerini içeren önemli bir atık oluşumu söz konusudur. Örneğin, Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA) verilerine göre, 2003 yılında ABD’de yaklaşık 170 milyon ton inşaat yıkım atığı üretmiştir. Kanada’da, inşaat, yenileme ve yıkım atıkları 2004 yılında 15,5 milyon ton, 2008’de ise 17,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir ve bu da atık üretiminde sürekli bir artış olduğunu göstermektedir. Ülkemizde ise 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanunu’nun yürürlüğe girmesi ile kentsel dönüşüm projeleri kapsamında önümüzdeki 20 yıl içinde yaklaşık 6.5 milyon konutun yıkılarak yeniden inşası planlanmakta ve sonuç olarak yaklaşık 500 milyon ton yıkıntı atığının ortaya çıkması beklenmektedir [www.csb.gov.tr]. Bu tahminler dikkate alındığında, başta beton olmak üzere inşaat malzemelerine olan ihtiyacın artacağı açıktır. Yıkılan konutların yerine yeni yapılacak yapılar için de milyonlarca ton DA ihtiyacı doğmakta, yeni DA temini için ise çok miktarda enerji tüketilmekte ve beton santraline transferi için kullanılan araçlardan çıkan insan sağlığını tehdit eden gazlar çevreye zarar vermektedir. Yıkıntı atıklarının çevre ve insan sağlığı için bir risk oluşturmaması ve yerel ekonomi için değer kazandıracak bir girdiye dönüştürülmesi, bu yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi ile mümkündür. Yıkıntı atıklarının geri dönüştürülerek agrega elde edilmesi ve elde edilen agreganın yeni beton üretiminde kullanılması dünyada giderek yaygınlaşmaktadır.

Öte yandan, ülkemizde ve dünyada yangın, gerek insan yaşamı açısından, gerekse maddi yönden büyük kayıplara yol açar. Her yıl çok sayıda konut ve işyeri yanmakta; bunun sonucunda maddi zarar ve yapısal hasar meydana gelmekte, daha önemlisi telafisi mümkün olmayan can kaybı olmaktadır. İnsan yaşamı ile birlikte, maddi ve manevi kayıplar dikkate alındığında, yangın olayının ne kadar önemli olduğu ve tüm yapılarda yapısal yangın güveniliğinin sağlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yangın sonrası oluşan yapısal hasarın maddi boyutları, hem yapı sahipleri hem de sigorta şirketlerini olumsuz etkilemektedir. Endüstriyel yapılarda çıkacak yangınlarda maddi kayıp daha fazla olmaktadır. Bunun sonucunda ise sigorta şirketleri için güçlendirme ve yıkım-yapım maliyetleri arasındaki ciddi farklar doğmaktadır.

Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere, 2015 yılı Uluslararası Yangın ve Kurtarma Birliği (CTIF) verilerine göre, dünya genelinde yangınlar incelendiğinde ise oluşan yangınların büyük çoğunluğunu yapısal yangınların oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca oluşan yangınların %95’inde can kayıpları olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 1.1 : 2015 yılı dünya geneli yangın sayıları.

Ülke	Yapısal yangın	Araç	Orman	Çöp	Diğer	Yapısal yangın(%)
Avusturya	19.123	1.584	883	-	288	77.7
Beyaz Rusya	5.318	458	1.218	-	345	72.5
Bulgaristan	3.737	2.262	156	6.348	7.411	12.3
Hırvatistan	3.430	716	304	2.279	1.224	28.2
Çekya	4.405	2.101	1.748	5.266	5.540	21.9
Estonya	1.658	374	102	1.722	258	29.8
Finlandiya	5.209	2.200	746	730	1.631	46.4
Macaristan	8.789	726	5.317	1.168	5.056	41.7
Letonya	903	561	693	1.473	3.818	8.2
Linkeştayn	17	2	-	6	11	40.5
Litvanya	676	1.088	318	2.614	3.934	5.6
Moldova	1.383	242	-	-	191	76.2
Zelanda	5.413	4.815	-	-	-	35.3
Polonya	29.963	8.463	11.367	24.203	75.921	16.2
Romanya	2.402	1.744	489	2.554	8.207	10.8
Rusya	118.445	20.817	12.337		2.540	76.8
Singapur	3.403	-	-		1.201	73.9
Slovenya	3.647	720	489	531	832	52.2
İsveç	9.497	4.526	1.243	2.305	3.712	41.7
Ukrayna	34.235	3.702	3.813		2.204	41.1
Amerika	501.500	204.500	-	163.000	179.500	37.3

Ayrıca, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı'nın raporuna göre son 10 yıla ait yangın verilerinde yangın kaynaklı yapısal hasarlar, yangınların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Oluşan yangın sayıları dikkate alındığında, oluşan yapısal yangın sayısı ve yüzdesi her geçen yıl artış göstermektedir. Son 10 yıllık verilere göre yapısal yangınlar kendi aralarında incelendiğinde ise yaklaşık olarak %41'i konut, %1'i fabrika ve %58'i diğer bina yangınları olduğu görülmüştür. (Çizelge 1.2)

Çizelge 1.2 : 2008-2018 yılları arasındaki Türkiye'deki yapısal yangınlar.

Yıl	Konut	Fabrika	Diğer bina	Yapısal yangın	Toplam yangın	Yapısal yangın oranı (%)
2008	4.779	166	6.200	11.145	24.889	45
2009	4.665	110	6.389	11.164	30.089	37
2010	4.815	122	5.922	10.859	20.046	54
2011	5.394	131	7.012	12.537	26.444	47
2012	5.129	136	7.069	12.334	25.469	48
2013	4.902	159	7.853	12.914	27.717	47
2014	5.261	123	7.869	13.253	22.848	58
2015	5.869	157	8.957	14.983	26.978	56
2016	5.910	153	8.887	14.950	28.586	52
2017	5.762	166	9.224	15.152	25.073	60

Bir inşaat malzemesi olarak GDA, beton üretiminde kullanımının araştırılmasında artan bir ilgi vardır. Yapılan çalışmalar çoğunlukla geri dönüşümlü agreganın kimyasal, fiziksel, mekanik ve geometrik özelliklerinin araştırılmasına yöneliktir. Fakat, yangın etkisi altındaki davranışı ve yangına maruz kalan yapı elemanlarının deprem performansına yönelik çalışmalar kısıtlıdır. Ancak, yüksek sıcaklık performansı da dahil olmak üzere, deprem performansı hakkındaki kısıtlı bilgi nedeniyle, GDA kullanımı hala sınırlıdır.

Geri dönüşümlü agreganın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri doğal agregadan farklı olabilmektedir. Bu iki malzeme (GDA ve DA) arasındaki temel fark GDA etrafındaki çimento harcının oluşudur. Geri dönüşümlü agregaların elde edildikleri kaynak ve tabii tutuldukları işlemlere bağlı olarak, su emme oranı, özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, aşınma ve parçalanmaya karşı direnci, ince madde oranı, organik malzeme içeriği, betona zararlı olabilecek kimyasal madde içeriğinin yönetmeliklerce belirtilen kabul edilebilir sınırların içerisinde olabileceği belirtilmiştir (Poon vd. 2007, Evangelista ve Brito 2007, Lopez vd. 2009, Malesev vd. 2010). Yapılan araştırmalarda, GDA ile üretilen betonun mekanik özellikleri ile DA ile üretilmiş

betonun mekanik özellikleri karşılaştırıldığında, basınç dayanımının DA ile üretilmiş betondan %25 daha düşük (Ajdukiewicz ve Kliszczewicz 2002, Rahal 2007, Yang vd. 2008), elastisite modülünün DA ile üretilmiş betondan %45 daha düşük olduğu (Ajdukiewicz ve Kliszczewicz 2002, Rahal 2007, Yang vd. 2008) belirtilmiştir. Geri dönüşümlü agrega ile üretilen kolonların deprem etkileri altındaki performansı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar kısıtlı sayıdadır (Xiao vd. 2012, Soleimani vd. 2016, Sarıbaş vd., 2017). Xiao vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, GDA (iri agreganın %100'ü) katkılı beton ile üretilen kolonun sünekliğinin ve yatay yük kapasitesinin DA kullanılarak üretilen kolonun sünekliği ve yatay yük kapasitesinden sırasıyla %23 ve %8 oranında daha az olduğu gözlenmiştir Soleimani vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, ikisi GDA'dan (19MPa silindir basınç dayanımı) ve ikisi DA'dan (31 MPa silindir basınç dayanımı) üretilmiş tam ölçekli 4 betonarme kolonun yarı-statik deneyleri yapılmış ve %4 öteleme oranına kadar eğilme ve kesme kapasitesinde aynı davranışı gösterdiği görülmüştür. Sarıbaş vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada biri tamamı DA'dan diğeri ise 5-12 mm çapı aralığında tamamı GDA'dan (iri agrega karışım oranı %50) olan iki kolona deprem testleri uygulanmış ve iki kolonun enerji yutma kapasitesi, süneklik ve yatay yük-yerdeğiştirme davranışı bakımından benzer deprem performansı gösterdiği vurgulanmıştır. Geri dönüşümlü agreganın deprem, yangın gibi afetlerde alacağı hasarın yapının davranışını nasıl etkileyeceği henüz tam olarak ortaya konmamıştır.

Yapıların yangın etkisi altındaki davranışı, yangın sırasındaki ve yangına maruz kalıp soğuduktan sonraki davranış olmak üzere 2 ana başlık altında toplanabilir. Literatürde GDA ile üretilmiş küçük ölçekli yapı elemanlarının yangın sırasındaki davranışını (Xiao ve Zhang 2007, Zega ve Di Maio 2010, Ho ve Tsai 2011) ve yangın sonrasındaki davranışını (Vieira vd. 2011, Marquez vd. 2013) konu alan az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Literatürden edinilen bilgi, yangın sonrası deprem davranışını etkileyen en önemli etkenlerden olan beton basınç dayanımının, yangından 30 gün sonrasına kadar azalma eğiliminde olduğunu, bu 30 günlük süre tamamlandıktan sonra ise, yaklaşık olarak 6 ay boyunca artmaya devam ettiğini ve bu süre zarfında yangından önceki dayanımına yakın değerlere ulaştığını göstermektedir (Malhotra 1956, Harada vd. 1972). Bunun nedeni, havadaki nem ile betondaki çimentonun reaksiyona girmesi ve bozunan C-S-H bileşenlerinin bu hidrasyon sonucunda yeniden oluşmasıdır. Yangından sonraki

60 günlük sürenin yapı elemanı açısından en kritik zaman olması nedeniyle, yangın sonrası deprem performansının yangından 60 gün sonra incelenmesi planlanmaktadır. Böylece, deneysel çalışmadan, yangın sonrası hasar tespiti aşamasında yapının performansı hakkında karar verme yetkisi olan ilgili yapı mühendisinin güvenli ve doğru karar mekanizmaları geliştirmesine yardımcı olunacak veriler elde edilmesi planlanmaktadır.

Sonuç olarak, yangın hasarının deprem performansına etkisi ise literatürde GDA için henüz araştırılmamış bir konudur. Geri dönüştürülmüş agreganın, çevre ve ekonomiye yapacağı önemli katkı sebebiyle, yakın zamanda yaygın olarak kullanılmaya başlanacağı açıktır. Bu sebeple, bu tezde, GDA ile üretilmiş betonarme kolonlarda yangın hasarının deprem performansına etkisine, GDA ile üretilmiş betonarme kolonlarda yangına yönelik tasarım yapılmasına, deprem sonrası meydana gelen yangınlarda oluşan can kaybının ve ekonomik kayıpların en aza indirgenmesine yönelik önemli çıkarımlarda bulunulacaktır.

Ülkemizde bulunan faylanmanın neden olduğu depremsellik göz önüne alındığında, betonarme yapı elemanlarının yangın geçirdikten sonra servis ömrü boyunca çok sayıda depreme maruz kalabileceği bilinmektedir. Geri dönüşümlü agrega ile üretilen kolonların yangın sonrası deprem etkilerini temsil eden yatay yükler altındaki yapısal davranışı bugüne kadar incelenmemiştir. Bu davranışın ortaya konması, deprem güvenliğinin yanı sıra yangın sonrası deprem güvenliğinin de dikkate alınarak yapıyı kullananların can güvenliğini sağlamanın önünü açacaktır.

Yangın sonrasında, hasar görmüş yapılarda detaylı bir yapısal durum incelemesi yapılması gerekmektedir. Bu tezde, yangın hasarının GDA ile üretilen kolonların deprem performansına etkisi belirleneceğinden, yangın sonrası deprem performansının değerlendirilmesi hususunda onarım, güçlendirme veya yıkıp yeniden yapma seçeneklerinden hangisinin uygulanacağını belirlenmesi ve bunun en ekonomik şekilde planlaması açısından önemli bir adım atılması planlanmaktadır.



2. NUMUNE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

2.1 Giriş

Deneysel program yangın deneyleri ve deprem deneyleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 1 Ağustos 2016 tarihinde Yapı Merkezi özel hazır beton tesisinde döküldükten sonra, 1 Ekim 2017 tarihinde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Tuzla Kampüsü Yangın ve Akustik Laboratuvarında ilk yangın testi yapılmıştır. Yangın deneyleri birer hafta aralıklı olacak şekilde 3 haftada tamamlanmıştır. Yangın deneyleri tamamlanan numunelere 60 gün sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yarı statik deprem deneyleri uygulanmış ve 3 haftada tamamlanmıştır.

2.2 Beton

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi, GDA'nın ağırlıkça karışım oranı %50, betonun maksimum agrega çapı 22.4 mm, çimento tipi CEM-I 42.5R olacak şekilde tasarım yapılmıştır. 11-22 mm çaplar arasındaki agregaların tamamı DA'dan, 5-11 mm çaplar arasındaki agregaların tamamı da GDA'dan oluşmaktadır. Beton üretiminde kullanılan DA'lar Yapı Merkezi özel hazır beton tesisinin stoğundaki agregalardan, GDA'lar ise İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı deney atıklarından elde edilmiştir. GDA'lar yıkanma işlemi görmeden, DA ve kum ise yıkanmış olarak karışıma dahil edilmiştir. Ayrıca, agrega tipine göre değişkenlik gösteren su emme kapasitesi, karışıma ait agrega, çimento ve uçucu kül yoğunlukları Yapı Merkezi özel hazır beton tesisi laboratuvarında belirlenmiştir. Klor muhtevası çimento, agrega, katkı malzemesi ve su için ölçülmüş olup sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. Üretilen beton TS EN 206-1, TS 13515, TS 706 EN 12620 şartnamelerine uygun olarak tasarlanmıştır. Çizelge 2.2, agregaların granülometrik bileşimleri ve kombine karışım gradasyonu elekten geçen yüzde miktarlarını ifade etmektedir.

Çizelge 2.1 : Beton özellikleri.

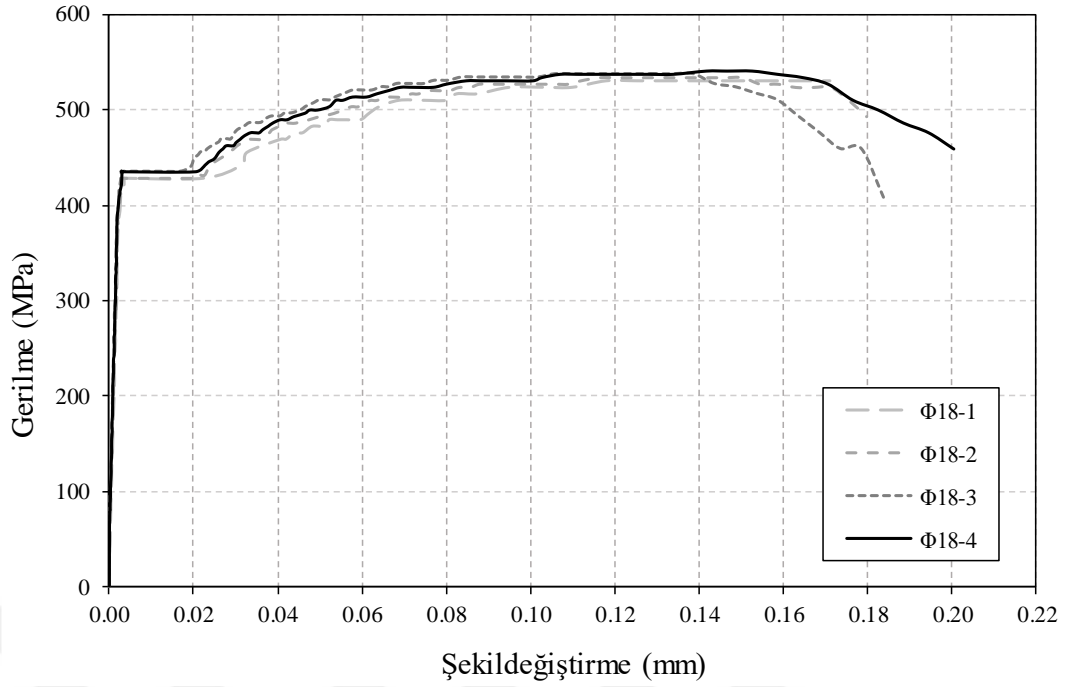
Malzeme Türü	Karışım (kg/m ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Su Emme (%)
Normal Agregası (11-22 mm)	474	2.71	0.66
GDA (5-11 mm)	509	2.71	0.70
Yıkanmış Kum (0-4 mm)	395	2.69	0.87
Dağ Kumu (0-2 mm)	520	2.54	1.73
Uçucu Kül	50	2.34	-
Çimento	270	3.16	-
Su	97	-	-
Akışkanlaştırıcı (Glenium ACE 450)	3.2	-	-
Su/Çimento	0.36	-	-
Slump (cm)	20	-	-
Klor Muhtevası (%)	0.029	-	-

Çizelge 2.2 : Agregaların granülometrik bileşimleri ve kombine karışım gradasyonu.

Elek Çapı (mm)	11-22 mm Normal Agregası	5-11 mm GDA	0-4 mm Yıkanmış Kum	0-2 mm Dağ Kumu	Kombine Karışım Gradasyonu
31.500	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
22.400	97.1	100.0	100.0	100.0	99.2
16.000	64.5	100.0	100.0	100.0	90.8
11.200	10.1	97.8	100.0	100.0	76.0
8.000	0.9	52.7	99.7	100.0	62.6
4.000	0.4	2.1	91.2	99.6	45.7
2.000	0.3	1.7	59.8	98.4	38.7
1.000	0.3	1.7	35.8	91.6	31.9
0.500	0.3	1.7	19.8	82.8	26.2
0.250	0.2	1.6	9.0	34.7	11.4
0.125	0.2	1.4	2.3	2.2	1.5
0.063	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.3 Çelik

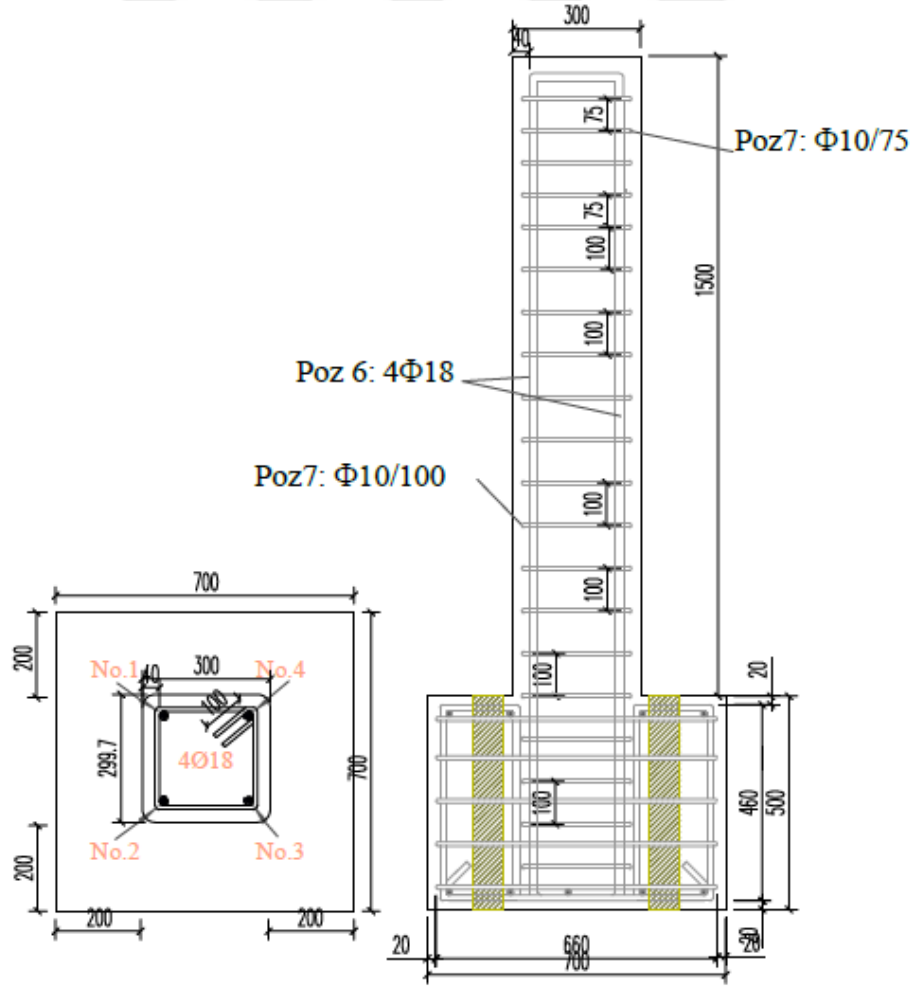
Kolon üretiminde S420 nervürlü betonarme çeliği kullanılmıştır. Kullanılan $\Phi 18$ çaplı betonarme çeliğinden 4 adet numune alınmış ve İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında donatı çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 2.1’de dört numunenin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Φ18 çaplı S420 betonarme çeliği gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

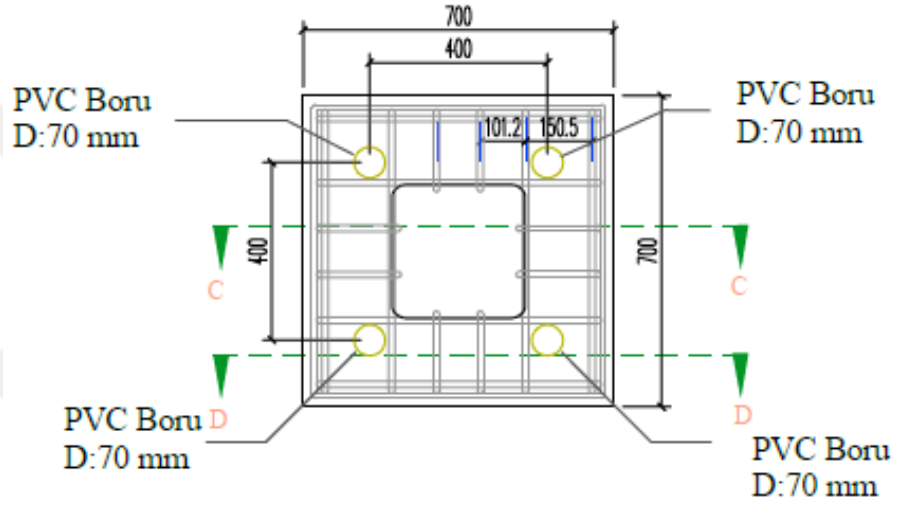
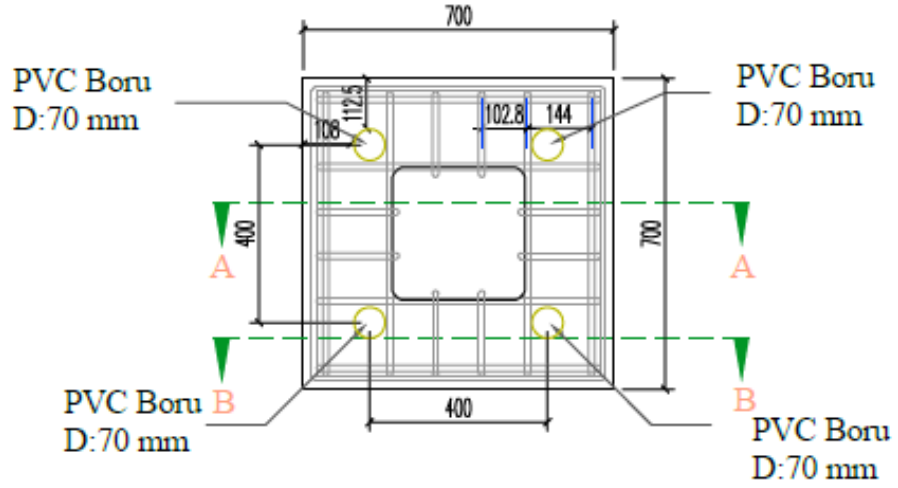
2.4 Numune Üretimi

Dört adet GDA'dan üretilmiş olan tam ölçekli kolon ve 12 adet standart silindir numunenin dökümü yapılmıştır. Kolonlar, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007)'e uygun olarak tasarlanmıştır. Numunedeki hasarın kolonda oluşması için temeller oldukça güvenli tarafta kalacak şekilde tasarlanmıştır. Kolon uç bölgelerinde 75 mm, orta bölgede ise 100 mm arayla etriye kullanılmıştır. Kolonlar eğilme kritik olarak tasarlanmıştır. Kesme kuvvetinden kaynaklı lokal hasarların önlenmesi amacıyla, hidrolik iticinin etkileceği kolon uç bölgelerinde etriyeler sıklaştırılmıştır. Boyuna donatılar Φ18, etriyeler Φ10 ve temel donatıları Φ14 çapındadır. Kolonda gövde donatısı kullanılmamıştır. Kullanılan etriyeler 135° ve 100 mm kancalı olarak yerleştirilmiştir. Temel yüksekliği 500 mm, genişliği 700×700 mm boyutlarındadır. Kolonun temelden yüksekliği 1500 mm'dir. Hidrolik iticinin etkitildiği nokta temel seviyesinden 1200 mm yüksekliktedir. Kolon kesit boyutları 300×300 mm'dir (Şekil 2.2). Kolon paspayı 40 mm, temel paspayı ise 20 mm'dir. Yarı-statik deneyler için kolonu ankraj bulonlarıyla sabitlemek amacıyla temelin her köşesinde 70 mm çapında PVC boru temel yüksekliğince yerleştirilmiştir. Donatı düzeni ve detayları Şekil 2.2'de, temel üst görünüşü Şekil 2.3'de, temel kesitleri sırasıyla Şekiller 2.4-5-6-7'de verilmiştir.

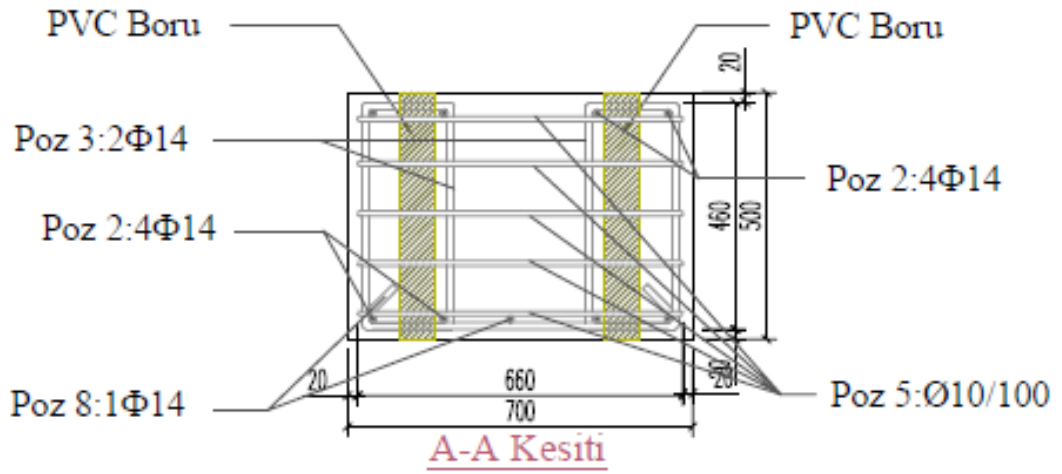


	Poz 1 4Ø14 l=2400 mm n=4		Poz 6 4Ø18 l=3185 mm n=4
	Poz 2 4Ø14 l=2344 mm n=4		Poz 7 Ø10/100 l=1160 mm n=20
	Poz 3 4Ø14 l=1492 mm n=4		Poz 8 2Ø14 l=840 mm n=2
	Poz 4 4Ø14 l=1436 mm n=4		Poz 9 4Ø14 l=1000 mm n=4
	Poz 5 Ø10/100 l=2840 mm n=5		Kaldırma Kancası

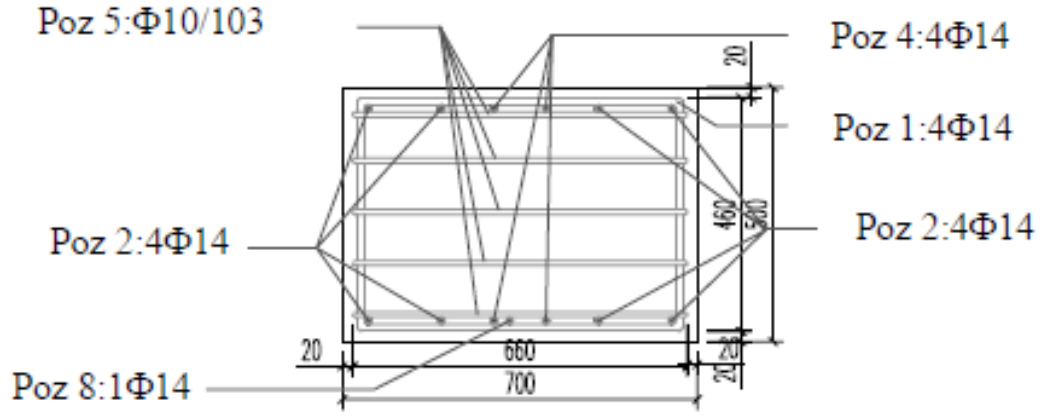
Şekil 2.2 : Kolon Donatı Düzeni ve Detayı



Şekil 2.3 : Temel Üst Görünüşü

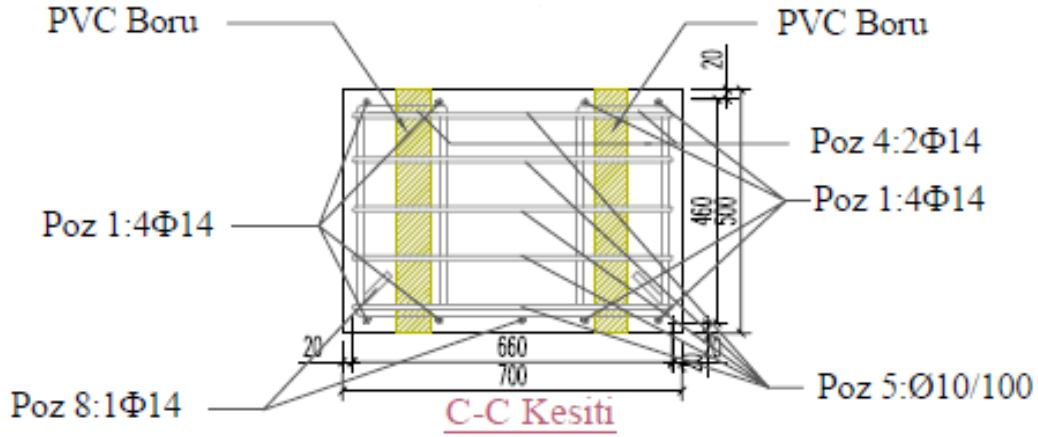


Şekil 2.4 : Temel A-A Kesiti



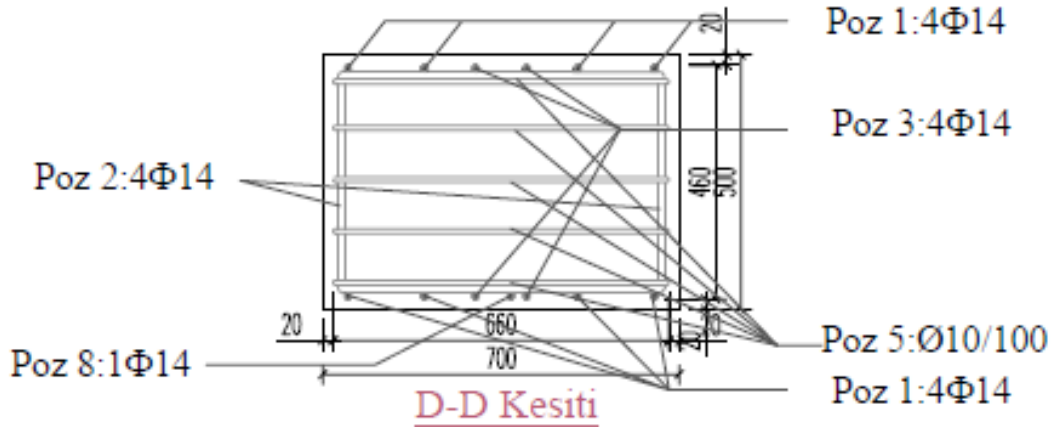
B-B Kesiti

Şekil 2.5 : Temel B-B Kesiti



C-C Kesiti

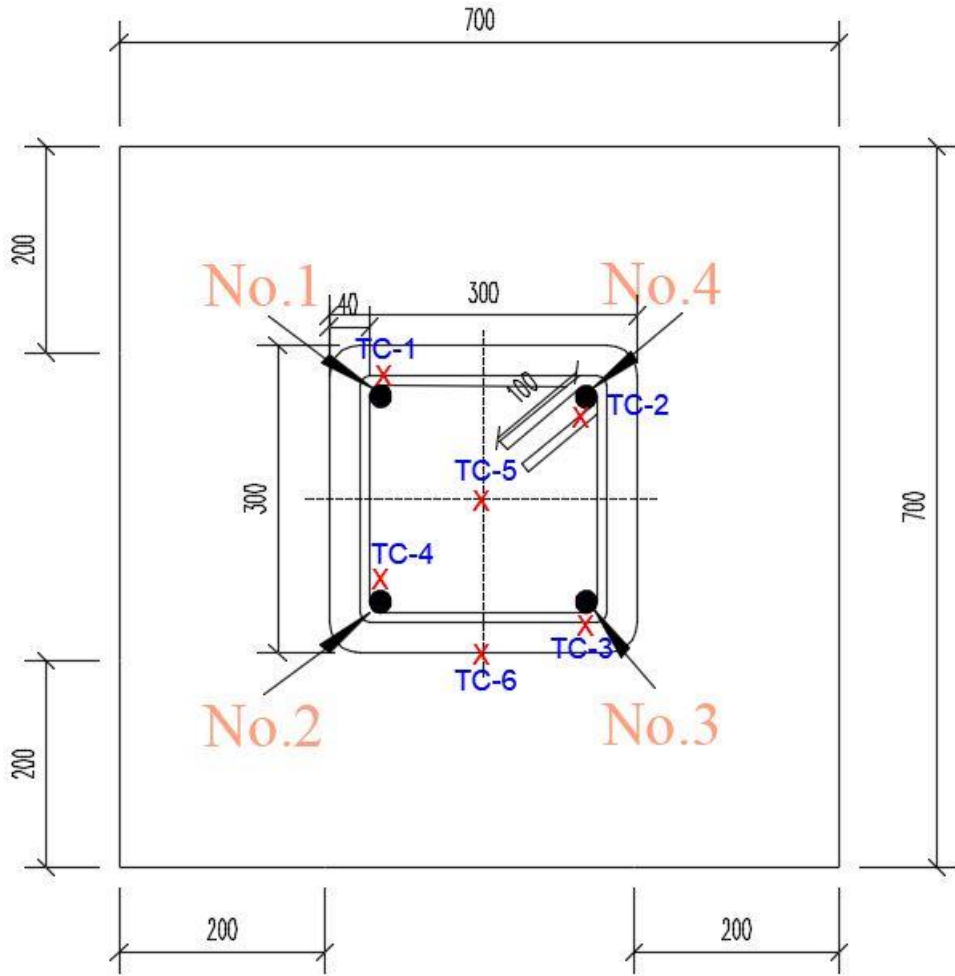
Şekil 2.6 : Temel C-C Kesiti



D-D Kesiti

Şekil 2.7 : Temel D-D Kesiti

Kolonun donatı yerleşimi tamamlandıktan sonra ısııl çift yerleştirilmiştir (Şekil 2.7 a,b). Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, boyuna donatılara şaşırtmalı olarak ikisi iç ve ikisi dış bölüm (TC-1, TC-2, TC-3 ve TC-4), kolon merkezi (TC-5) ve kolon yüzeyi (TC-6) olmak üzere 3 kolona 6’şar tane ısııl çift yerleştirilmiştir. Bu işlemlerden sonra numuneler kalıba alınıp beton dökümü yapılmış ve üretim tamamlanmıştır. (Şekil 2.9-10). Dört kolonun üretimi tamamlandıktan sonra 12 adet silindir numunelerin kalıba alma ve beton dökme işlemi tamamlanmıştır. Silindir numuneler 300 mm yüksekliğinde ve 150 mm çapındadır.



Şekil 2.8 : Isıl çift yerleşim planı.



Şekil 2.9 : a) Donatı kafesi ve b) ısıt çift yerleşimi.



Şekil 2.10 : a) Beton dökümü ve b) üretim sonrası görünüş.

Numuneler REF, GDA-30m, GDA-60m, GDA-90m olarak isimlendirilmiştir. 30m otuz dakika,60m altmış dakika,90m doksan dakika yangına maruz bırakılma süresini ifade etmektedir.

Ayrıca, silindir numuneler C-REF, C-30M, C-60M ve C-90M olmak üzere kolonlarla aynı notasyona uyacak şekilde isimlendirilmiştir. Her grup için 3 adet silindir numune üretilmiştir.





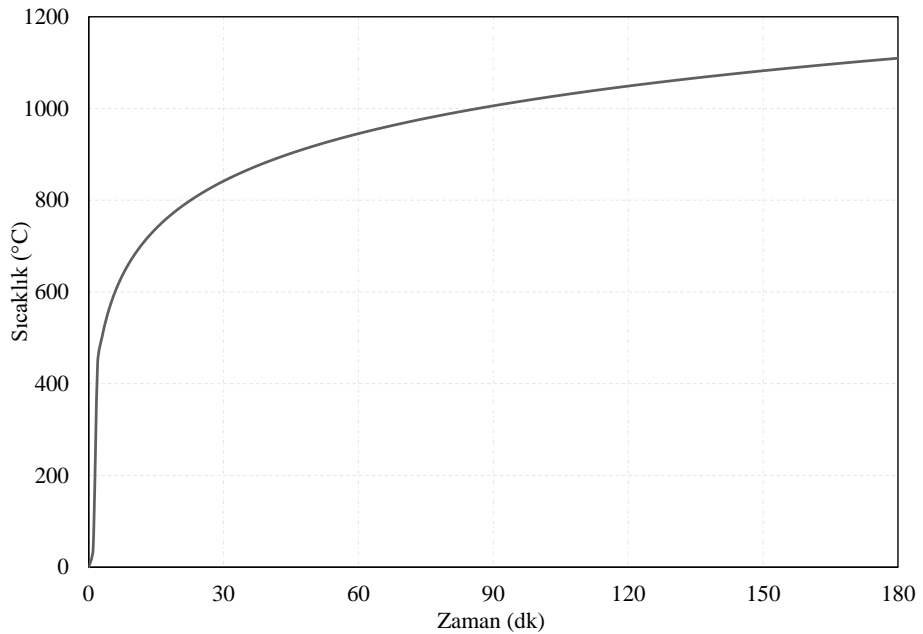
3. YANGIN DENEYLERİ

3.1 Giriş

Tam ölçekli yapı elemanlarının, tüm parametrelerinin kontrol edildiği yüksek kapasiteli fırınlarda, bir yapıda gerçekleşebilecek eşdeğer bir yangına maruz bırakılması sağlanabilmektedir. Deney fırınında, bir oda içerisinde meydana gelebilecek tipik bir yangın standardize edilmektedir. Süreye bağlı olarak fırın içerisindeki sıcaklık belli bir eğriyi takip ederek yükselmektedir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)'nun yayınladığı “ISO 834-11:2014 - Yangına Dayanıklılık Testleri-Bina İnşaat Elemanları-Bölüm 11: Yangından Korunmanın Yapısal Çelik Elemanlarına Göre Değerlendirilmesi için Özel Şartlar” bölümünde yer alan Zaman(t)/Sıcaklık(T) yangın eğrisi,

$$T=345.\log(8t+1)+20 \quad (3.1)$$

formülüyle ifade edilir. ISO 834 standart yangın eğrisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Çizelge 3.1, 30’ar dakikalık zaman aralıklarına karşılık gelen sıcaklık değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.1 : ISO 834-Yangın Eğrisi.

Çizelge 3.1 :ISO-834 zamana bağlı sıcaklık değişimi.

Yangına maruz kalma süresi (dk)	Sıcaklık (°C)
30	842
60	945
90	1006
120	1049
150	1082
180	1110

3.2 Deney Düzenegi

Kolon ve silindir numuneler üretimden 14 hafta sonra yangın deneyleri için Türk Standartları Enstitüsü Tuzla Kampüsü Yangın ve Akustik Laboratuvarına taşınmıştır. Laboratuvar, yüksek sıcaklık kapasitesi ve ISO 834 yangın eğrisini birebir takip edebilecek tasarıma sahip olan 4 m×6 m boyutlarında, gaz betonla istenilen yükseklikte yapılabilecek yangın fırınına sahiptir (Şekil 3.2-a). Deney esnasında sabit 20 Pascal basınç olması amacıyla basıncı dengeleyen 1 adet basınç ayar kapağı ve yangın fırınının dış bölümünde basınçölçer, fırına ısı veren 6 adet brülör, fırın iç sıcaklığını deney süresince ölçmek için 8 adet K tipi NiCr-Ni ısı çifti ve 2 adet gözlem penceresi mevcuttur (Şekil 3.2b). Kolonların orta seviyesinde, donatı iç ve dış olmak üzere 4 adet, kesit merkezinde 1 adet, kolon yüzeyinde ise 1 adet K tipi NiCr-Ni ısı çifti yerleştirilmiştir. -200°C ve +1200°C arasında anlık sıcaklık ölçüm almayı sağlayan ısı çiftleri, yangın deneyleri sırasında fırının iç sıcaklığı, kesitteki sıcaklık dağılımını ve donatının maruz kaldığı sıcaklığı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Isı yalıtımını sağlamak amacıyla fırın iç duvarlarında gazbeton, çatı plâğında ise donatılı gazbeton kullanılmıştır. Yangın deneyleri arasında birer hafta olup, 3 haftada deneyler tamamlanmıştır. Öte yandan, eksenel yük uygulanmaması durumunda daha güvenli tarafta kalınacak olması sebebiyle yangın deneyleri sırasında kolonlara eksenel kuvvet uygulanmamıştır (Abrams, 1971, Hertz, 2005).



Şekil 3.2 : Fırının a) dış ve b) iç görünümü.

3.3 Deneyler

Üretilen numuneler ISO-834 standart yangın eğrisini takip edecek şekilde 30, 60 ve 90 dakikalık 3 farklı yangın senaryosunda test edilmiştir ve tüm yangın senaryolarında fırın içi sıcaklık değerlerinin ISO-834 standart yangın eğrisiyle uyumlu olduğu görülmüştür. Kolon temelleri yangın deneyleri sırasında hasar oluşmaması için 1200°C'ye kadar dayanıklı yangın battaniyesi ile sarılmıştır. Numuneler fırına yerleştirilmiş ve deney esnasında gözlem penceresinden numuneler gözlenmiştir. Ayrıca, fırın içindeki ve numuneler üzerindeki ısı çiftlerinden alınan anlık veriler ile sıcaklık değişimleri takip edilmiştir.

3.3.1 Otuz Dakikalık Yangın Senaryosu

Deney öncesinde tüm numuneler fırına yerleştirilip ısı çiftleri veri aktarıcılara bağlandıktan sonra fırının üstü ısı yalıtımlı çatı plaklarıyla kapatılmıştır. Deney öncesi sistem kontrolü yapılmıştır. Deney öncesi fırın fotoğrafları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 : 30 dakikalık yangın senaryosu deneyi öncesi fırın içi numune yerleşimi.

Deney esnasında numuneler gözlem penceresinden izlenmiştir. Deneyin 20. dakikasında kolon köşelerinde ışıma kaynaklı renk değişimi gözlemlenmiştir. Deney süresince numunelerde belirgin bir hasar oluşumu görülmemiştir. Fırının gözlem penceresinden görünümü Şekil 3.4’te yer almaktadır.



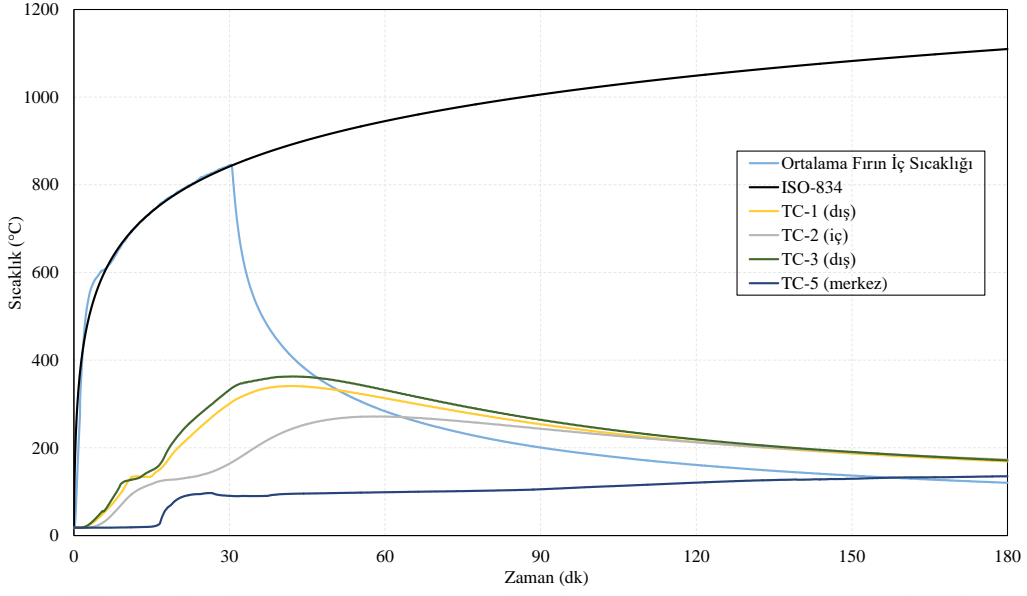
Şekil 3.4 : 30 dakikalık yangın deneyi sırasında gözlem penceresinden görünüm.

Deney tamamlandıktan sonra fırın kapağı açılmadan kendi ortam sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra fırın kapağı açılıp numunelerin tüm yüzleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kolon numunesinin yüzlerinde pullanma olmadığı fakat kılcal çatlakların olduğu gözlenmiştir. Silindir numunelerde ise yüzeysel çatlaklarının olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : 30 dakikalık yangın senaryosuna maruz kalan numunelerin görünümü.

Kolon numunesine yerleştirilen 2 adet donatı iç bölgesi (TC-2 ve TC-4), 2 adet donatı dış bölgesi (TC-1 ve TC-3) ve 1 adet kesit merkezi (TC-5) ve 1 adet yüzeydeki (TC-6) ısı çiftlerinden veri alınmıştır (Şekil 2.8). Donatı iç bölgesinde yer alan TC-4 ısı çiftleri deney esnasında koptuğu için sıcaklık ölçümleri yapılamamıştır. Tahmin edildiği gibi donatı dış yüzünde sıcaklık değerleri donatı iç yüzeyine göre daha fazla artış göstermiş ve deney sonunda ise yaklaşık 330°C'ye ulaşmıştır. Donatı iç bölgesinde ise hem donatının sıcaklık artışını önlemesi hem de kolon yüzüne uzaklığından dolayı sıcaklık 180°C seviyesinde kalmıştır. Kesit merkezindeki sıcaklığın yaklaşık olarak 100°C mertebelerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : 30M kolonu ölçülen iç sıcaklık değerleri.

3.3.2 Altmış dakikalık yangın senaryosu

Bir önceki deneye paralel olarak, GDA-60M ve 3 adet C-60M fırına yerleştirilip ısı çiftleri veri aktarıcısına bağlandıktan sonra fırının üstü ısı yalıtımlı çatı plaklarıyla kapatılmıştır. Deney öncesi sistem kontrolü yapılmıştır. Deney öncesi fırın fotoğrafları Şekil 3.7’de verilmiştir.



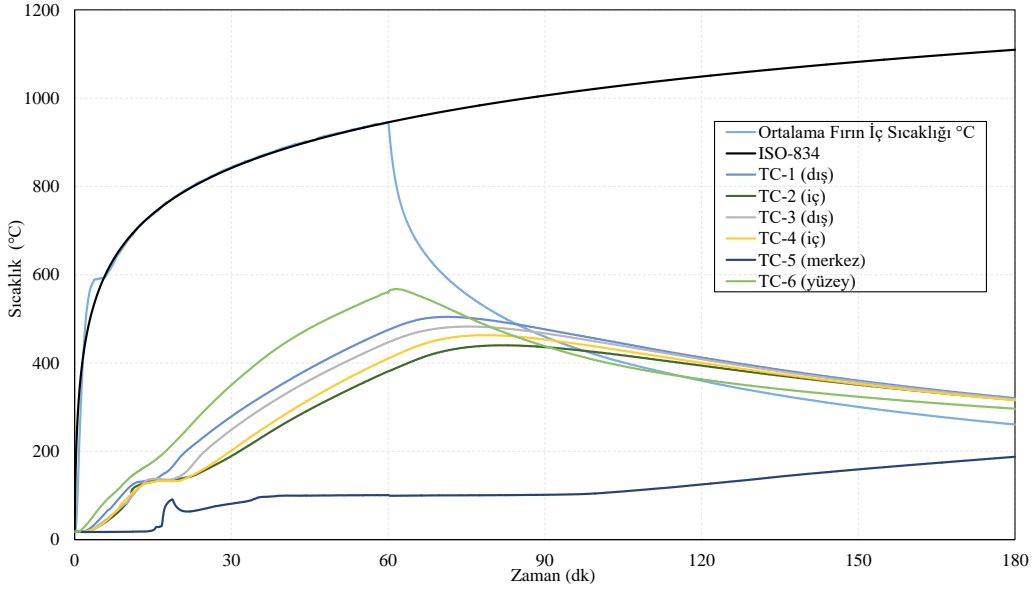
Şekil 3.7 : 60 dakikalık yangın senaryosu deneyi öncesi numunelerin fırın içi yerleşimi.

Deney sırasında gözlem penceresinden numuneler izlenmiştir. Bu gözleme göre oluşan hasar otuz dakikalık yangın senaryosu deneyi sonrası numunelerde oluşan hasar ile aynıdır. Numuneler yangına maruz bırakılıp doğal hava şartlarında soğuduktan sonra tüm kolon yüzeylerinde kılcal çatlakların olduğu, köşelerinde ise daha yoğun olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.8). Silindir numunelerden birinin tamamen parçalandığı ve diğerlerinde ise yüzeysel çatlakların yoğun olduğu görülmüştür.



Şekil 3.8 : 60 dakikalık yangın senaryosu deneyi sonrası numune görünümü.

Numune kesit yüzeyine (TC-6), kesit merkezine (TC-5), donatı iç yüzeyine (TC-2, TC-4), donatı dış yüzeyine (TC-1, TC-3) yerleştirilen ısı çiftlerinin tamamından ölçüm alınmıştır. Donatı dışındaki ortalama sıcaklığın 470 °C'ye, donatı içinde ortalama sıcaklığın 400 °C'ye ulaştığı görülmektedir. Yangına maruz kalma süresi arttıkça donatı iç ve dış sıcaklıkları arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, zamana bağlı olarak kesitin daha fazla etkilenmesi ve sıcaklığın kesit merkezine doğru ilerlemesidir. Ayrıca, fırın sıcaklığı ISO-834 standart yangın eğrisini uygun bir şekilde takip etmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : 60M kolonu ölçülen iç sıcaklık değerleri.

3.3.2 Doksan Dakikalık Yangın Senaryosu

GDA-90M ve 3 adet C-90M fırına yerleştirilip ısıl çiftler veri aktarıcısına bağlandıktan sonra fırının üstü ısı yalıtımlı çatı plaklarıyla kapatılmıştır. Deney öncesi sistem kontrolü yapıldıktan sonra deney başlatılmıştır. Deney öncesi fırın içi fotoğrafları Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10 : 90 dakika yangın senaryosu deneyi öncesi fırın içi numune yerleşimi.

Deneyin ilk 60 dakikasında bir önceki deney numuneleriyle benzer hasarlar görülmüş, sonrasında ise kolon kenarlarında dökülmeler ve yüzeydeki pullanmalar artış göstermiştir. Doğal hava şartlarında soğumaya bırakılan numuneler 1 gün sonra incelenmiş ve kesitin her iki yönde yaklaşık 5 mm kesit kaybı olduğu görülmüştür (Şekil 3.11). Silindir numunelerde ise hasarın çok fazla olduğu, numune boyunda yaklaşık 15 mm, çapında ise 10 mm azalma olduğu görülmüştür (Şekil 3.12).

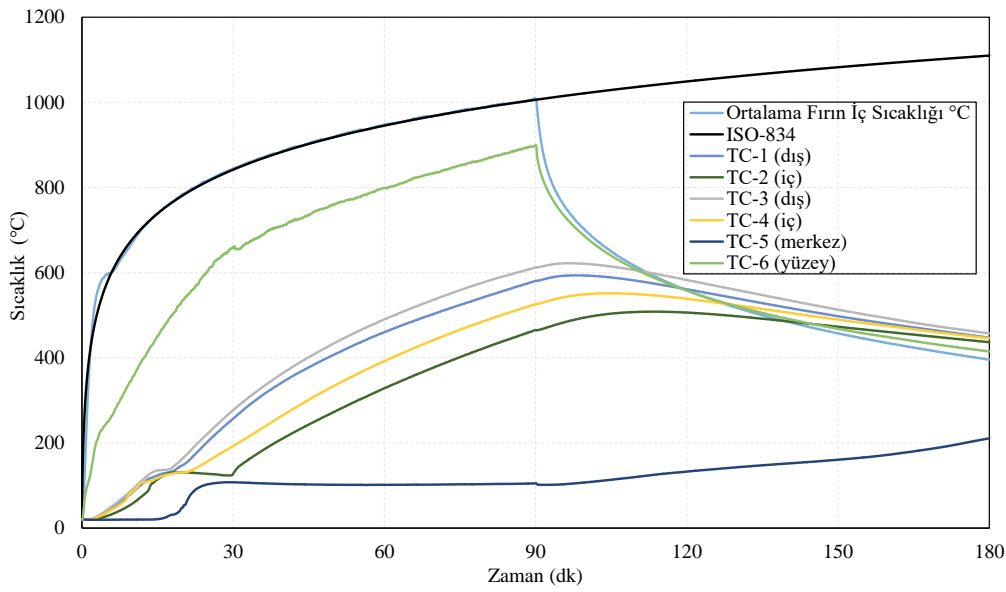


Şekil 3.11 : 90 dakikalık yangın senaryosu deneyi sonrası numune görünümüleri.



Şekil 3.12 : 90 dakikalık yangın senaryosu deneyi sonrası silindir numunelerin görünümüleri.

Doksan dakikalık yangın senaryosunda, önceki yangın senaryolarına benzer şekilde kesit yüzeyine (TC-6), kesit merkezine (TC-5), donatı iç yüzeyine (TC-2, TC-4), donatı dış yüzeyine (TC-1, TC-3) yerleştirilen ısı çiftlerinin tamamından ölçüm alınmıştır. Doksan dakikalık deneyde elde edilen sonuçlar 60 dakika yangına maruz bırakılan numunelerle kıyaslandığında sıcaklıkölçer pozisyonlarındaki sıcaklık farkları bakımından uyumlu sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Donatı dış yüzündeki ortalama sıcaklık 590 °C, donatı iç yüzündeki ortalama sıcaklık 500 °C mertebelerinde ölçülmüştür. Ayrıca, ISO-834 eğrisi ile fırın içi sıcaklığın örtüştüğü görülmüştür (Şekil 3.13).

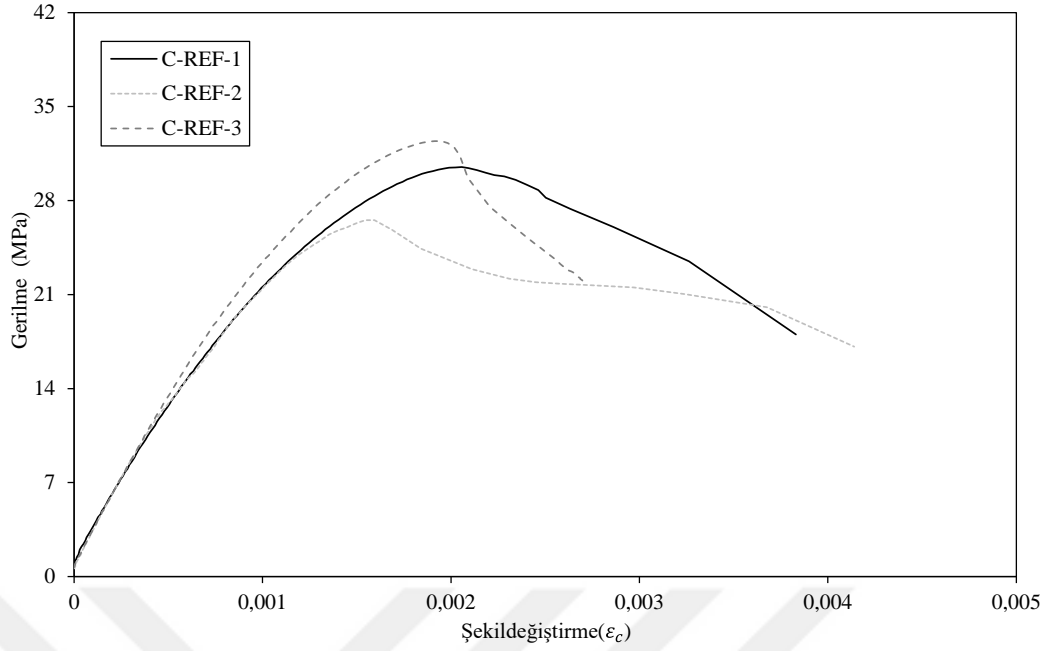


Şekil 3.13 : 90M kolonu ölçülen sıcaklık seviyeleri.

3.4 Silindir Numunelerinin Deney Sonuçları

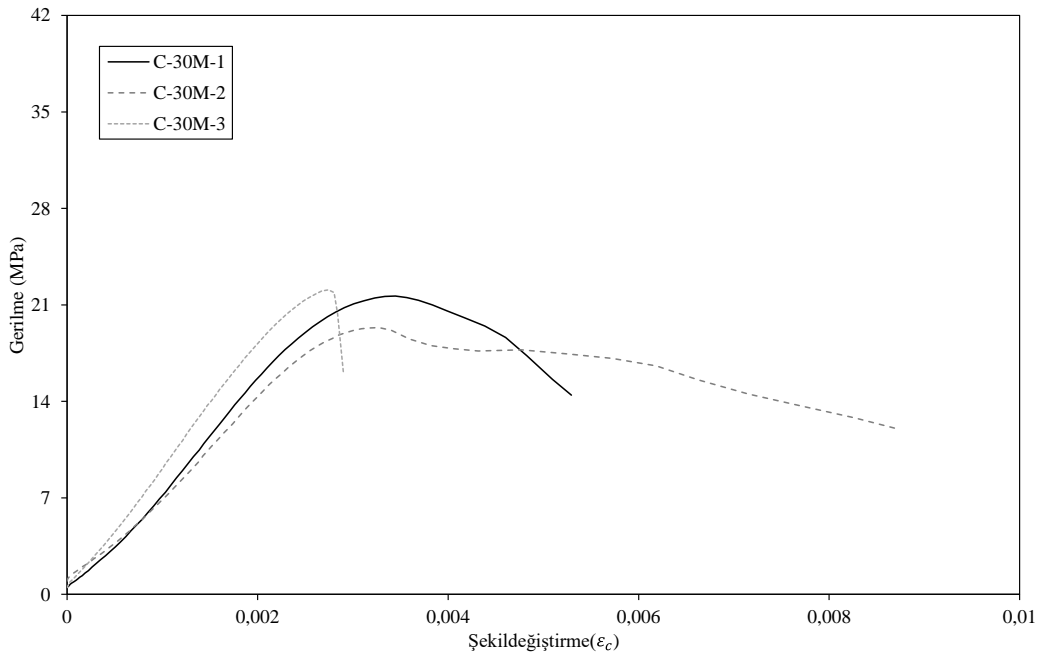
Her yangın senaryosunu temsil eden üçer adet C-REF, C-30M, C-90M ve 2 adet C-60M numuneleri yangına maruz kaldıktan sonraki 60. gününde basınç deneyi netabı tutulmuştur ve her numune için gerilme-şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiştir.

C-REF numunelerinin basınç deneyi numune üretiminden 16 ay sonra gerçekleştirilmiştir. Her üç numune için benzer gerilme-şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiş, numunelerin beklenildiği gibi ortalama 30 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Tüm referans numunelerine ait gerilme-şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



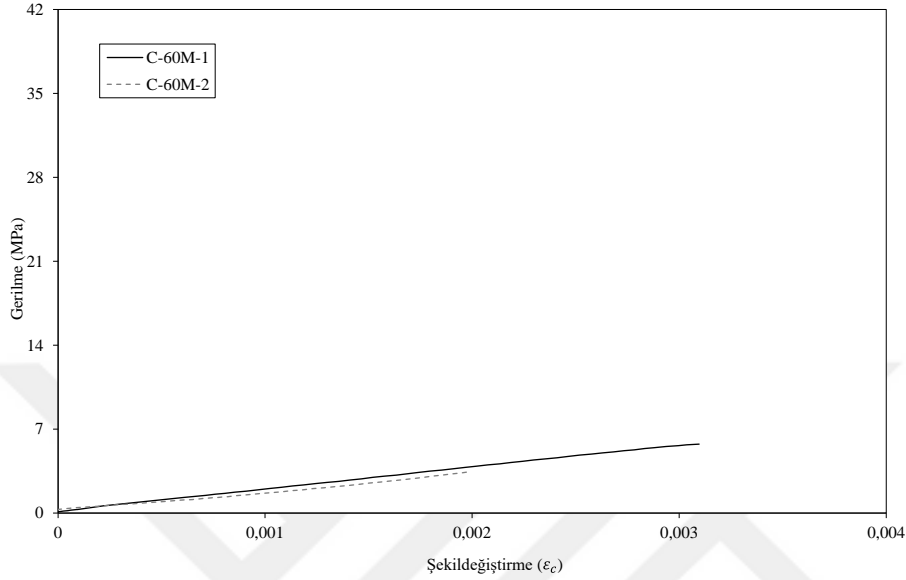
Şekil 3.14 : C-REF numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

C-30M numunelerinin basınç deneyi, numuneler 30 dakikalık yangın senaryosu deneyine maruz kaldıktan 60 gün sonra yapılmıştır. Tüm numuneler için benzer gerilme-şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiş ve numunelerin yaklaşık 20 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. C-30M numunelerine ait gerilme-şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



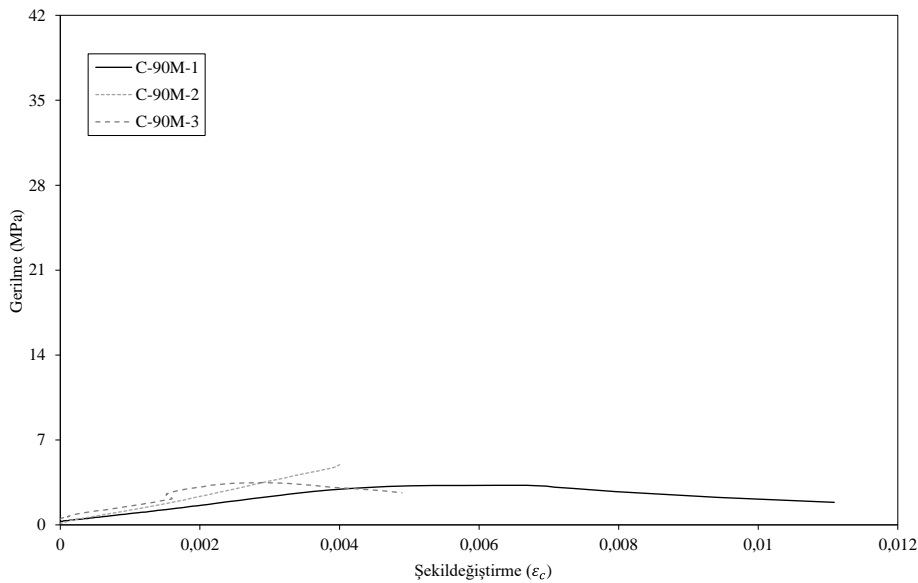
Şekil 3.15 : C-30M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

C-60M numunelerinin basınç deneyi, numuneler 60 dakikalık yangın senaryosu deneyine maruz kaldıktan 60 gün sonra yapılmıştır. Her iki numunenin de 6 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. C-60M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



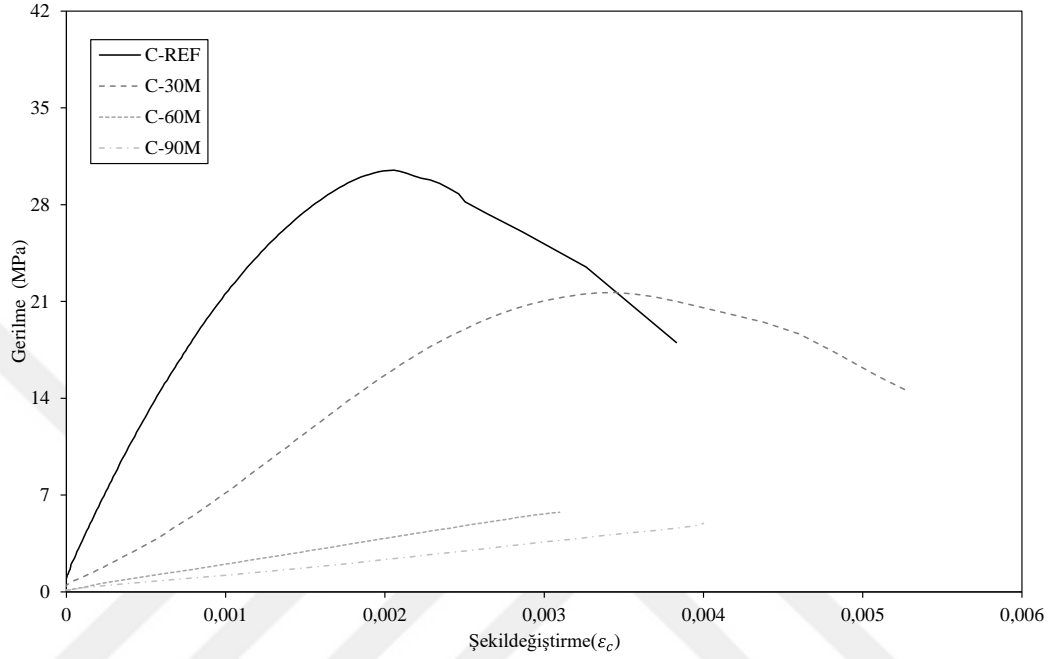
Şekil 3.16 : C-60M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

C-90M numunelerinin basınç deneyi, numuneler 90 dakikalık yangın senaryosu deneyine maruz kaldıktan 60 gün sonra yapılmıştır. Her iki numunenin de 4 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. C-90M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : C-90M numuneleri gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

Tüm silindir numunelerin gerilme-şekildeğiştirme grafikleri incelendiğinde C-60M ve C-90M numunelerinin sonuçlarının diğer numune sonuçlarından oldukça farklı olduğu görülmektedir. Tahmin edildiği gibi yangına maruz kalma süresi arttıkça dayanımda azalma olduğu görülmüştür. Şekil 3.18’de her yangın senaryosuna ait silindir numunelerin ortalama deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.18 : Silindir numunelerinin ortalama gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.



4. DEPREM DENEYLERİ

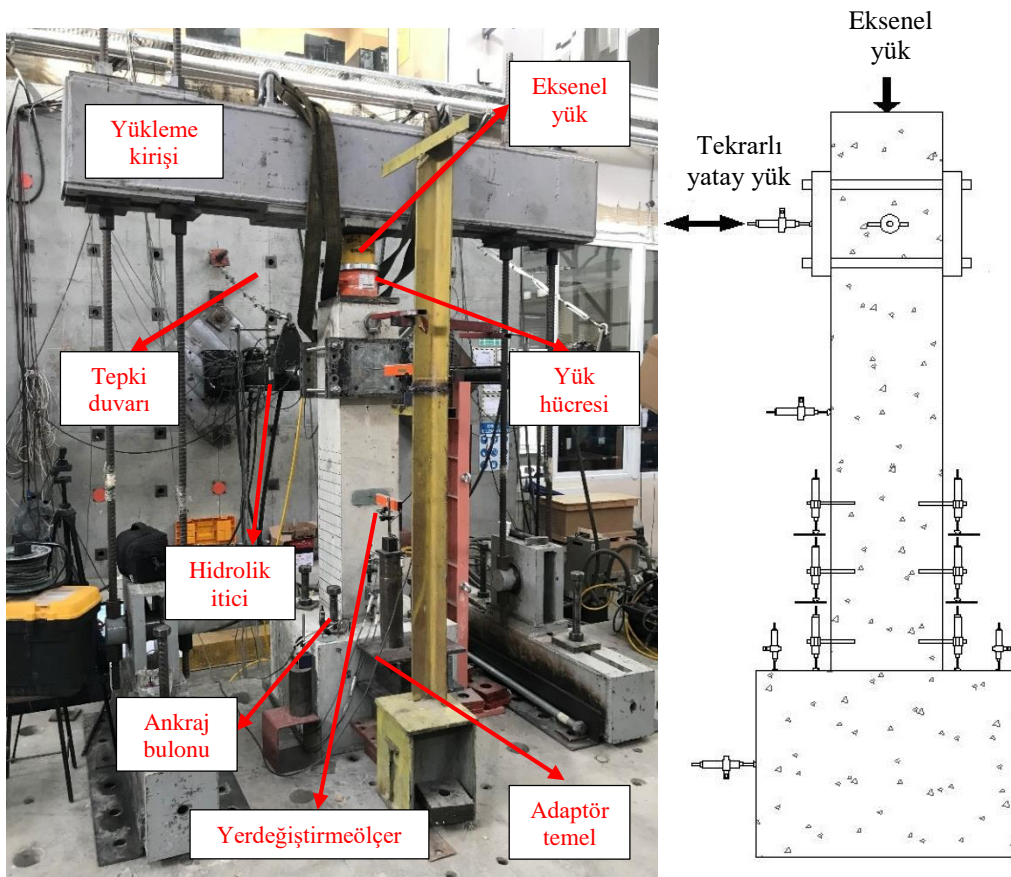
4.1 Giriş

Üç farklı yangın senaryosu deneyine tabi tutulan (30-60-90 dakika) (30M, 60M ve 90M) ve yangına maruz bırakılmayan (REF) tam ölçekli kolon numunelerinin yangın sonrası deprem performanslarının değerlendirilmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında sabit aksenal yük ve tersinir yatay çevrimler altında yarı-statik deneyler uygulanmıştır. Yangına maruz kalmış yapıların, yangın sonrası performans değerlendirmesi, kesit sıcaklık dağılımı gibi parametreler yaklaşık olarak 60 günde değerlendirilmektedir. Bu sebeple, deprem deneyleri yangın senaryolarından 60 gün sonra yapılmıştır. Yarı-statik deneyler, konsol kolonların kuvvet veya deplasman kontrollü olarak histeresis eğrileri, yatay kuvvet kapasitesi, moment-eğrilik ilişkisi, enerji yutma kapasitesi gibi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemlerden biridir. Deneyde, öngörülen yükleme protokolüne göre kuvvet değerleri elde edilmiş ve oluşan çatlakların özellikleri (yön, genişlik, konum vs) kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, deney günü İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında silindir numunelerin basınç dayanım testi yapılmıştır.

4.2 Deney Düzenegi

Numuneler, sabit aksenal yük (kolon aksenal yük kapasitesinin %20'si) ve yatay çevrimsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Yatay yük, MTS hidrolik itici kullanılarak (kuvvet kapasitesi ± 250 kN, maksimum deplasman ± 300 mm), kolon ve temel birleşim noktasının yaklaşık 1200 mm üstünden uygulanmıştır. Deney sırasında kolon üzerine yerleştirilen yerdeğiştirmeölçerler ile deplasman ölçümü yapılmıştır. Kolon yüksekliği boyunca 1 adet tepe noktasına, 1 adet kolon orta noktasına, 1 adet temel ötelenmesi yerdeğiştirmesini ölçümü amacıyla toplam 4 adet yatay doğrultuda, kolon ön ve arka yüzü olmak üzere temel üstünden sırasıyla 20 mm, 150 mm, 300 mm yükseklikte ölçüm yapan 4 adet kolon ön yüzünde, 4 adet kolon arka yüzünde olmak üzere toplam 8 adet düşey doğrultuda yerdeğiştirmeölçer yerleştirilmiştir. Yatay yerdeğiştirmeölçerlerin üç adedi düzlem içi yatay deplasmanları ölçmek için kolon yüksekliği ve temel üstü boyunca, bir adedi ise düzlem dışı yerdeğiştirmeleri ölçmek için kullanılmıştır. Düşey

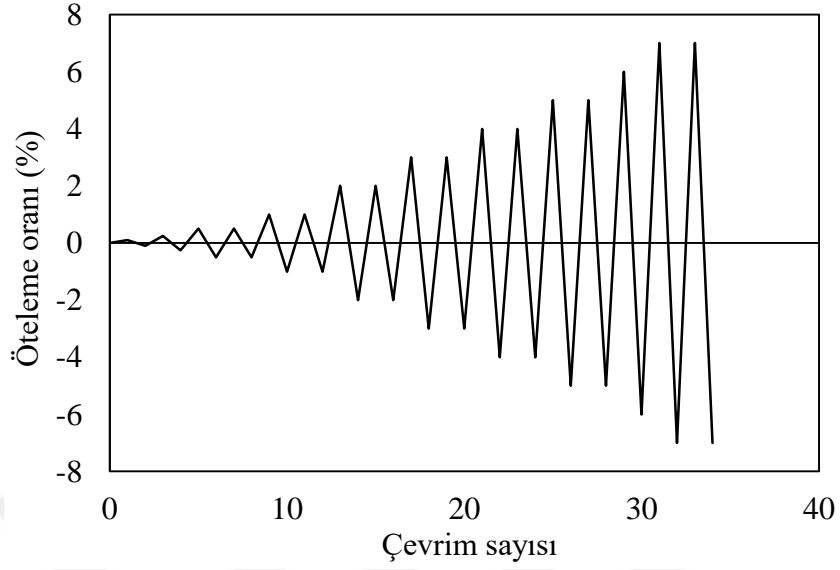
yerdeğiştirmeölçerlerin altı adedi potansiyel plastik mafsallardaki ($0.5h$; h : kolon genişliği) yerdeğiştirmeleri, diğer iki adedi ise yatay yükleme esnasında temel dönmelerinin ölçümü için kullanılmıştır. Ayrıca, deney sırasında kolon dönmelerini engellemek amacıyla kolon, temel köşelerinde yer alan boşluklardan tijlerle yere sabitlenmiştir. Eksenel kuvvet sistemi, yük aktaran yükleme kirişi ve mafsallı birleşime sahip temellerle oluşturulmuştur. Elle ayarlanan hidrolik kriko ile hedef eksenel kuvvet değerine ulaşılmıştır ve yük okuma elemanı (load cell) takip edilmiştir. Eksenel yük, yatay yük ve yerdeğiştirmeölçer değerleri veri kaydediciyle (data logger) anlık olarak izlenmiştir. Deneydüzeneği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Yarı-statik deney düzeneği ve yerdeğiştirmeölçer Şeması.

Yarı-statik deneylerde, ACI-374 (2009) tarafından önerilen yükleme protokolü kullanılmıştır (Şekil 4.2). İtme ve çekme yönlerinde deplasman hedefli yüklemeler uygulanmıştır. Öteleme oranı, öteleme miktarının kolon boyuna bölümünden (Δ/l) elde edilmiştir. Yükleme protokolüne göre % 0.5 öteleme oranından itibaren her çevrimsel yükleme 2 kez tekrarlanmıştır. Deneylerde ileri hasar seviyesine karşı gelen %7 öteleme oranına (deplasman değeri olarak 84 mm) kadar çevrimsel yükleme

yapılmıştır. Çizelge 4.1’de öteleme oranına karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2 : Yükleme protokolü.

Çizelge 4.1 : Yükleme adımları.

Adım	Öteleme oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)
1	-0.1	-1.2
2	0.1	1.2
3	-0.25	-3
4	0.25	3
5	-0.5	-6
6	0.5	6
7	-0.5	-6
8	0.5	6
9	-1	-12
10	1	12
11	-1	-12
12	1	12
13	-2	-24
14	2	24
15	-2	-24
16	2	24
17	-3	-36
18	3	36
19	-3	-36
20	3	36
21	-4	-48
22	4	48
23	-4	-48
24	4	48

25	-5	-60
26	5	60
27	-5	-60
28	5	60
29	-6	-72
30	6	72
31	-6	-72
32	6	72
33	-7	-84
34	7	84
35	-7	-84
36	7	84

4.3 Genel Gözlemler

Tüm numunelere aksenal yük olarak yangına maruz bırakılmayan kolunun (REF) aksenal yük taşıma kapasitesinin %15'ine karşılık gelen 567 kN değerinde kuvvet uygulanmıştır. Her çevrimin itme ve çekme hedef deplasmanlarında ve yüksüz durumda numunenin tüm yüzlerinde hasar kontrolü yapılmıştır.

4.3.1 Referans Numunesi (REF)

Deney 24.11.2017 tarihinde ve üretimden 14 ay sonra yangına maruz bırakılmayan ve referans numunesi olarak üretilen REF ile gerçekleştirilmiştir. Hedef yerdeğiştirmelere ulaşıldığında numunenin tüm yüzeylerinde oluşan hasarlar incelenmiştir.

4.3.1.1 Deney Gözlemleri

Deney başlamadan önce numunenin tüm yüzleri incelenmiş ve herhangi bir hasarın olmadığı görülmüştür (Şekil 4.3-a). Deneyin başlamasıyla birlikte, hedef yerdeğiştirmeye giderken numunenin yüzeyleri gözlemlenmiş, hedef yerdeğiştirmede numunenin gözlem yüzeyleri olan doğu (E) ve batı (W) yüzleri fotoğraflanmış, çatlak oluşmuşsa krokiye çizilmiş ve çatlak genişliği ölçülüp not edilmiştir. Fotoğraftaki oklar, kuvvetin uygulanma yönünü, mavi renk itme, kırmızı renk çekme çevrimlerinde çekildiğini temsil etmektedir.

Deneye ilk adım olarak % 0.1 öteleme oranına karşılık gelen 1.2 mm hedef yerdeğiştirmeye itilerek başlanmıştır. İlk kılcal çatlağın, 0.1 mm genişliğinde ve % 0.5 çekme çevriminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.3-b). İtme çevriminde ise ilk

çatlak %1 öteleme oranında 0.1 mm genişliğinde meydana gelmiştir. Ayrıca, güney (S) yüzünde ise enine eğilme çatlakları oluşmuştur.



Şekil 4.3 : GDA-REF batı (W) yüzü ve doğu (E) yüzü, hasarsız ve ilk eğilme çatlakları (%0.5 öteleme oranı) oluşuktan sonraki durumu.

Bundan sonraki öteleme adımlarında itme ve çekmede yaklaşık olarak simetrik eğilme çatlakları oluşmuştur. %1 öteleme oranında, ikinci çevrimlerde itme ve çekme adımlarında kılcal eğilme çatlakları artış göstermiştir (Şekil 4.4).



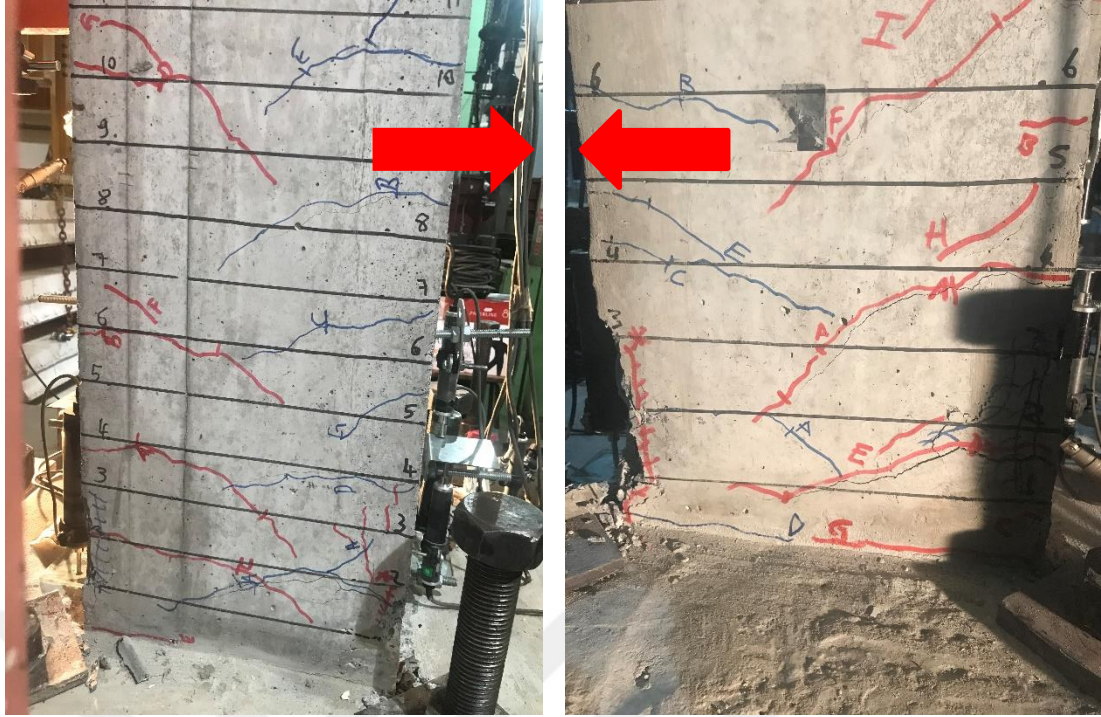
Şekil 4.4 : GDA-REF %1 öteleme oranı itme sonrası doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde oluşan eğilme çatlakları.

Deneyin devamında %2 öteleme oranında itme ve çekme çevrimlerinde numunenin temel ile birleşim bölgesinde güney (S) ve kuzey (N) yüzlerinde ezilme başlangıcı gözlemlenmiştir. Temel-kolon birleşim bölgesinde 0.1 mm'den küçük çatlaklar oluşmuştur. P=0 yük değerinde kalıcı deformasyon değeri 2.5 mm olduğu görülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : GDA-REF %2 öteleme oranı çekme sonrası kuzey(N) yüzünde oluşan ezilme hasarı.

Pasayında beton dökülmeleri %3 öteleme oranında başlamış ve mevcut çatlakların uzunluğunda ve genişliğinde artış meydana gelmiştir. Buna ek olarak, yeni kılcal eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür. Bu adımdan sonraki çevrimlerde taban çatlağı ve plastik mafsallardaki çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. Şekil 4.6'da %3 öteleme oranı 36 mm çekme hedef deplasmanındaki eğilme çatlakları görülmektedir. Çatlak ölçümleri yapıldıktan sonra P=0 kN durumunda kalıcı deformasyon değeri 5.6 mm ölçülmüştür.



Şekil 4.6 : GDA-REF %3 öteleme oranı çekme sonrası doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde oluşan eğilme çatlakları.

%5 öteleme oranında 36 mm hedef yerdeğiştirmeye itme çevriminde kuzey (N) yüzünde plastik mafsallık bölgesindeki paspayı tabakasında dökülme başlangıcı meydana gelmiştir (Şekil 4.7). Plastik mafsallık bölgesindeki çatlaklar 2mm mertebesine ulaşmış, üst bölgede ise çatlak genişliğinde bariz bir artış gözlenmemiştir.



Şekil 4.7 : GDA-REF %5 öteleme oranı itme sonrası kuzey (N) yüzünde oluşan ezilme hasarı.

Bu adımdan sonraki çevrimde $P=0$ yük değerinde kalıcı deformasyon değeri 25.6 mm düzeyinde olduğu görülmüştür. %5 öteleme oranının çekme çevrimine giderken kolonun doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde de paspayında dökülmeler oluşmuştur. 60 mm hedef deplasmandaki doğu (E) yüzündeki hasarın olduğu durum Şekil 4.8'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : GDA-REF %5 öteleme oranı çekme sonrası batı (W) yüzünde oluşan ezilme hasarı.

%6 öteleme oranı 72 mm hedef deplasmanı ilk itme çevriminde plastik maafsız bölgesindeki beton örtüsü tamamen dökülmüş, boyuna donatı ve etriyeler gözle görünür duruma gelmiştir. Beton örtüsünün kaldırılmasıyla birlikte aynı öteleme oranının ikinci çevriminde güney (S) ve doğu (E) yüzlerinin birleşim bölgesindeki donatının 5-10 cm arası yükseklikte burkulmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4.9). %6 öteleme oranı itme ve çekme çevrimlerinde yüksüz durumdaki kalıcı deplasmanlar sırasıyla 40.8 mm ve 43.4 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9 : GDA-REF %6 öteleme oranı itme sonrası güney (S) ve doğu (E) birleşimindeki donatı burkulması.

%7 öteleme oranı ilk itme çevriminde basınç bölgesindeki boyuna donatıların tamamı burkulmuştur (Şekil 4.10). Aynı çevrim pikindeki yatay yük değerinin maksimum yük değerine oranla %45 mertebelerinde düşüşün olduğu gözlemlenmiştir. Temel-kolon ara yüzeyindeki beton örtüsünün 30 cm yükseklik boyunca döküldüğü gözlemlenmiştir. %7 öteleme oranının ikinci itme pikinde deney sonlandırılmıştır. Deney bitiminde $P=0$ kN iken numunede 59.7 mm kalıcı yerdeğiştirme bulunmaktadır. Bu değer de hedef yerdeğiştirme değeri olan 84 mm'nin %71'ine karşılık gelmektedir. Deney bitimindeki numunenin son durumu Şekil 4.11'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : GDA-REF %7 öteleme oranı itme sonrası güney (S) ve doğu (E) birleşimindeki donatı burkulması.



Şekil 4.11 : GDA-REF deney sonu $P=0$ kN iken numunenin hasar durumu.

4.3.1.2 Deney Sonuçları

Kolon numunelerin tabandan 1200 mm yüksekliğe yerleştirilen yerdeğiştirmeölçerden alınan data, aksenal kuvvet değeri, yatay ve düşey olarak yerleştirilmiş yerdeğiştirmeölçerlerden eş-zamanlı olarak alınan veri kanallar aracılığıyla veri toplayıcıya (data logger) aktarılmıştır. Bu verilerden, yine ölçülmüş veriler olan, rijit döşemeye sabitlenmiş temelin dönmesi ve öteleme değerleri çıkarılmış, net yer değiştirmeler elde edilmiştir. Numunenin yerdeğiştirme-yatay kuvvet ilişkisi Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.13’de ise hedef yerdeğiştirmelere karşılık gelen en büyük yatay yükler zarf eğrisiyle ifade edilmiştir.

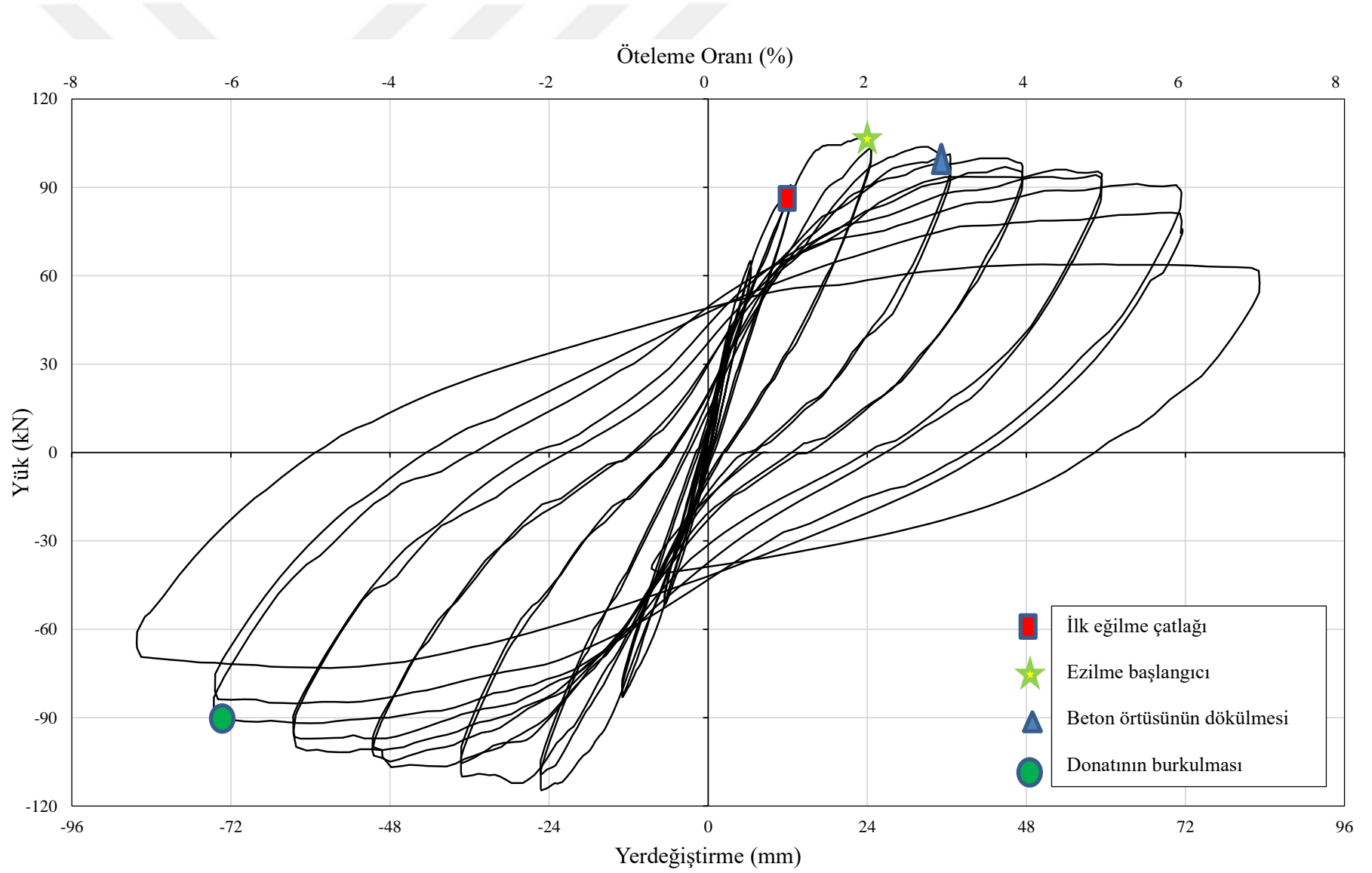
Grafik incelendiğinde, itme ve çekme çevrimlerinde öteleme oranı %2’ye kadar yatay kuvvet artmıştır. Bundan sonraki adımlarda ise yatay kuvvet azalmıştır. Bu yatay yük kaybının plastik mafsal bölgesindeki hasarların artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yatay yük azalışı maksimum değere göre %6 öteleme oranında %29’unu kaybettiği görülmüştür. Bu ani azalışın beton örtüsünün hasar alıp donatı burkulmasının gerçekleşmesi sonucu olduğu anlaşılmıştır. Numune üzerinde potansiyel plastik mafsal bölgesine yerleştirilen düşey yerdeğiştirmeölçerlerden alınan

veriler ile moment-eğrilik ilişkisi elde edilmiştir. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ve kalıcı yerdeğiştirme hesaplanmıştır.

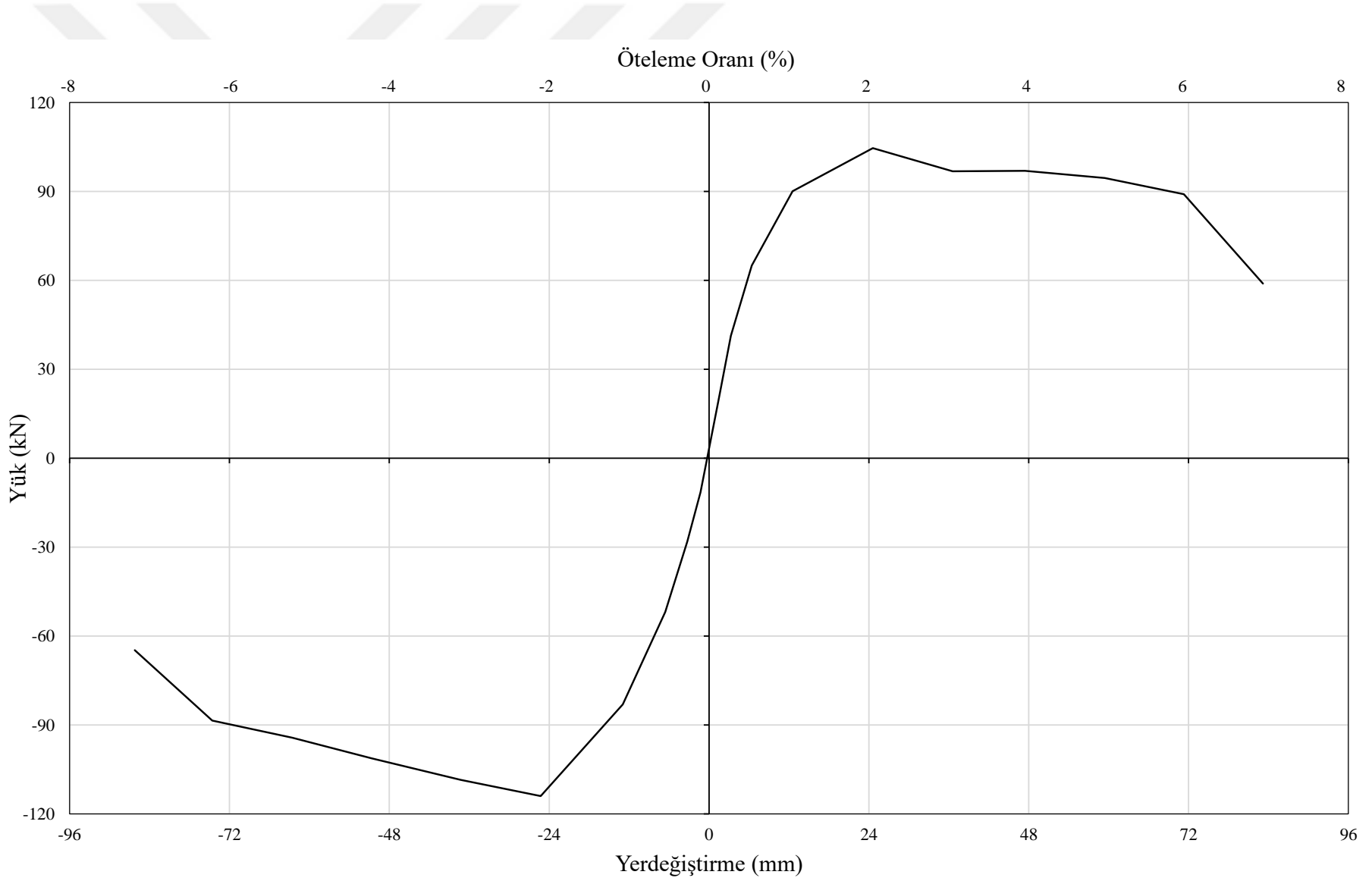
Bu numunenin deneyi sırasında, numunenin düzlem dışı hareketi de yerdeğiştirmeölçer ile takip edilmiştir. %2 öteleme oranına kadar düzlem dışı hareketi yüklemenin yapıldığı tabandan 1200 mm yüksekliğinde ihmal edilebilir ölçütte, 1 mm'nin altında kalmıştır. Taban çatlağının genişlemesiyle birlikte numune rijitliğini yitirmeye başlamış, düzlem dışı hareket gözle görülür büyüklüğe ulaşmıştır. Ölçülen en büyük düzlem dışı hareket (18.39 mm) %7 öteleme oranı itme çevrimine gidilirken elde edilmiştir.

Numunede gözlenen ve ölçülen en büyük hasar kolon-temel birleşiminde oluşmuştur. Numuneye yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer aracılığıyla, numunenin moment-eğrilik ilişkisi çizilmiştir. En büyük hasarın olduğu 0-20 mm ve 20-150 mm, 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi sırasıyla Şekiller 4.14-15-16'te verilmiştir.

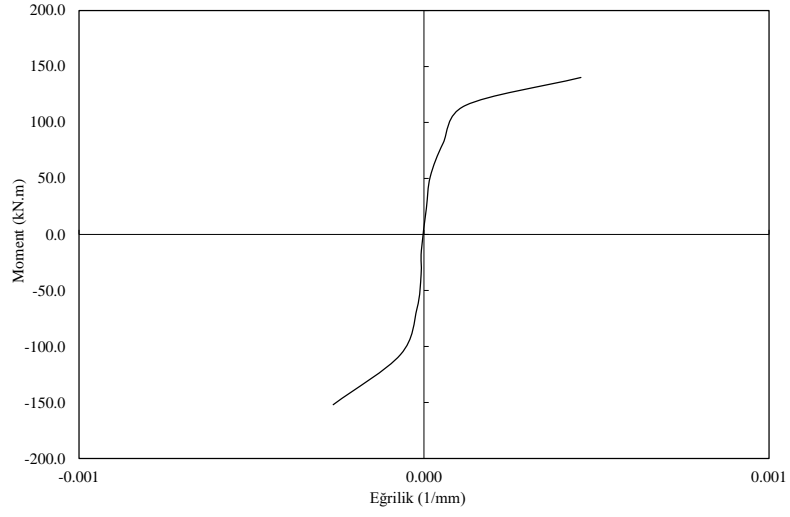
Şekil 4.17'te enerji yutma kapasitesi-öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.18'de ise kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Her iki grafik bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.



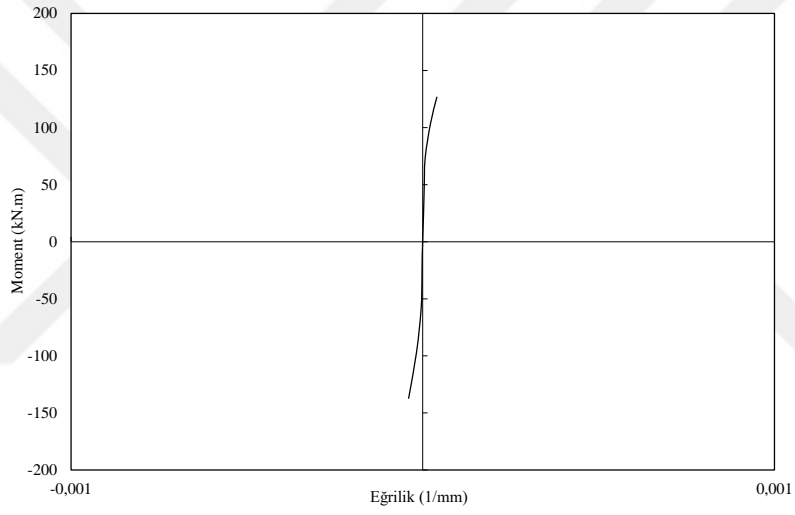
Şekil 4.12 : GDA-REF yük-yerdeğiştirme ilişkisi.



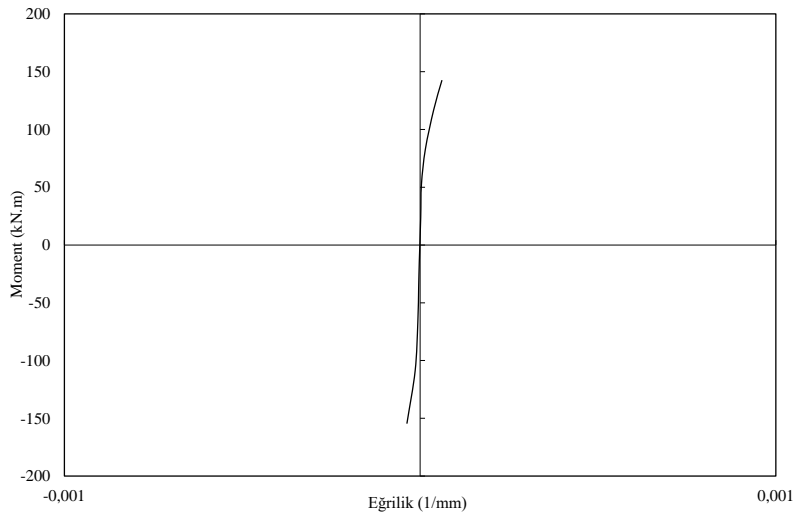
Şekil 4.13 : GDA-REF zarf eğrisi.



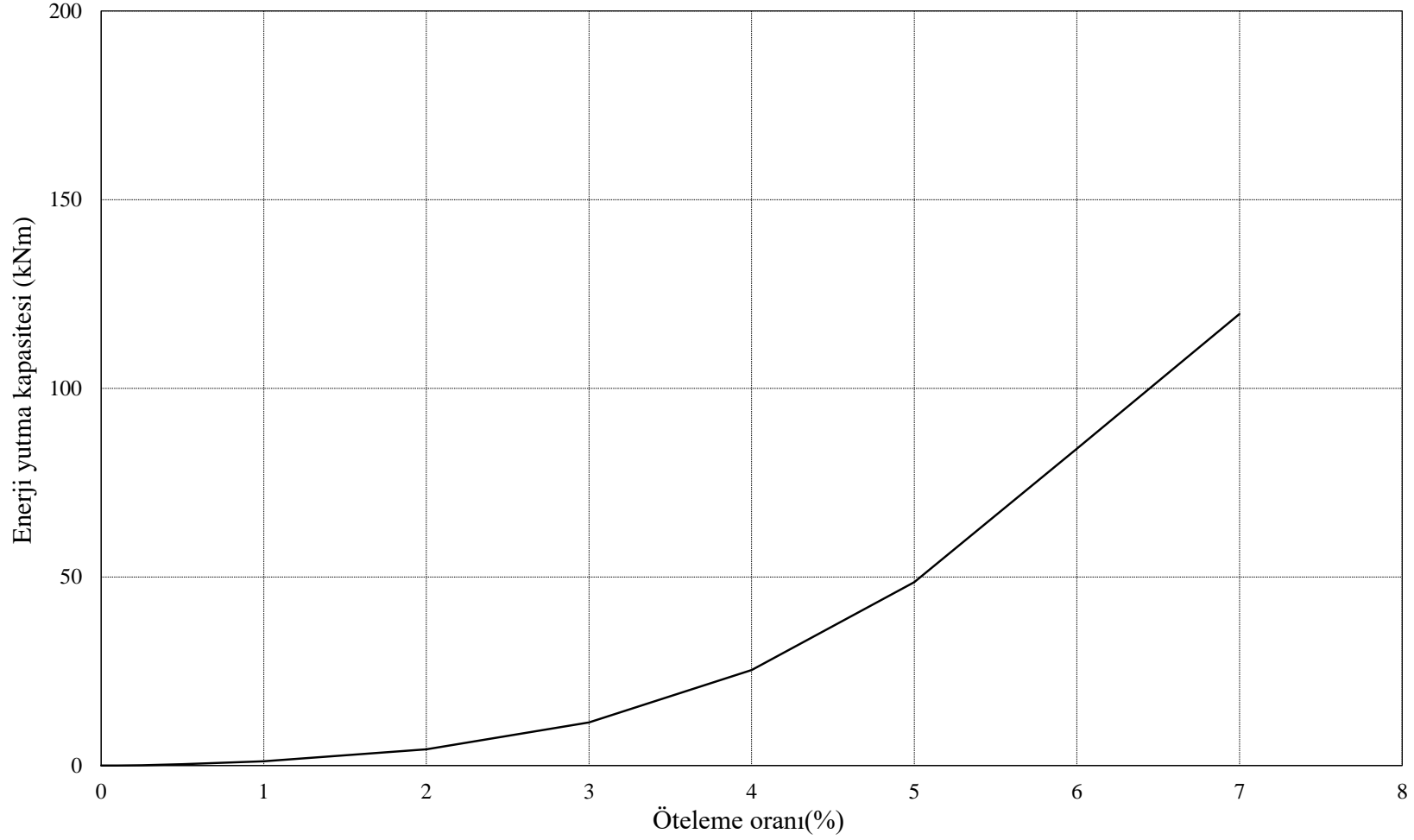
Şekil 4.14 : GDA-REF 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



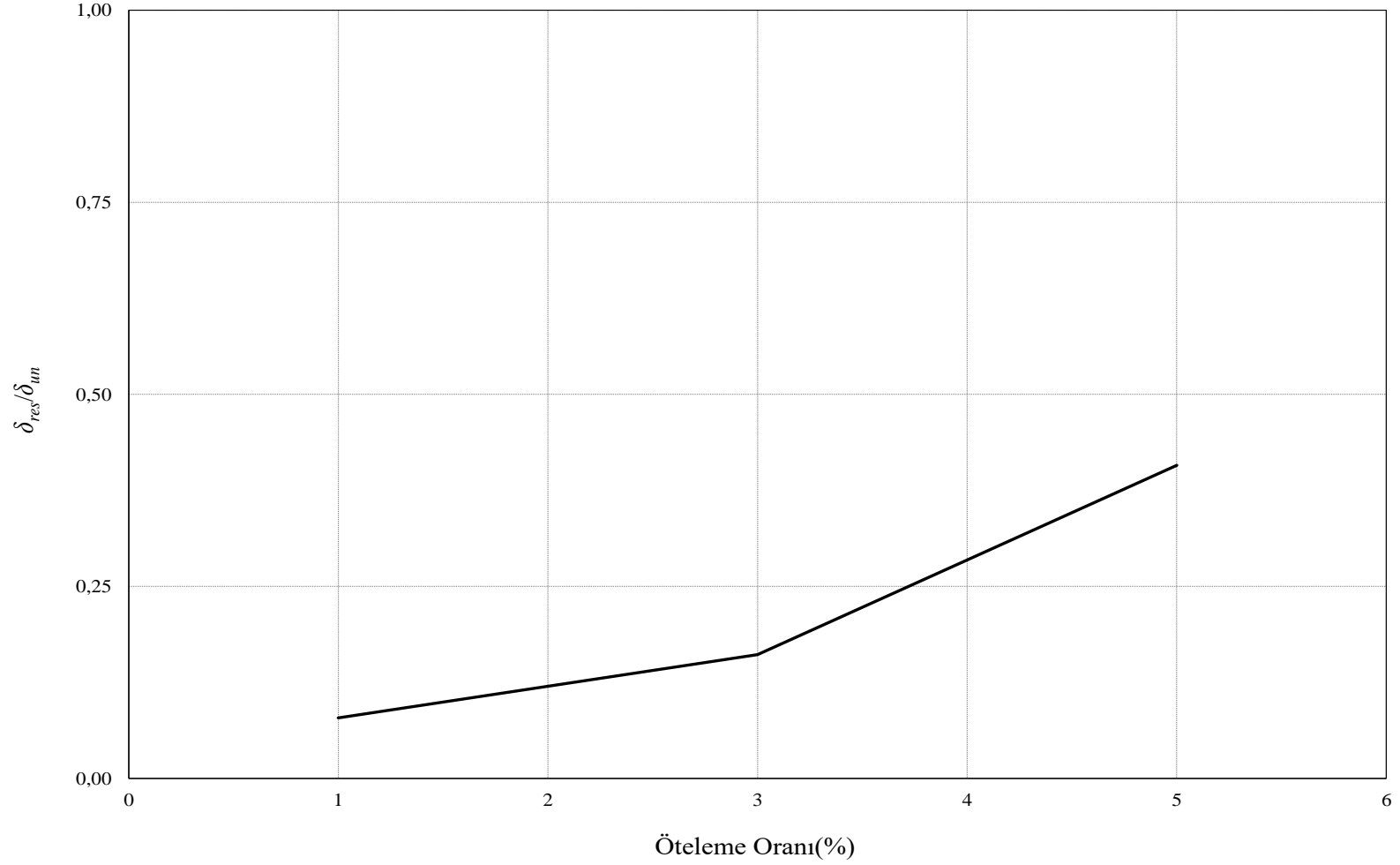
Şekil 4.15 : GDA-REF 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.16 : GDA-REF 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.17 : GDA-REF numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi.



Şekil 4.18 : GDA-REF numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.

Çizelge 4.2, GDA-REF kolonunun her çevriminde P=0 kN iken kalıcı yerdeğıştirmeleri göstermektedir.

Çizelge 4.2 : GDA-REF numunesi kalıcı yerdeğıştirmeler.

Öteleme oranı (%)	Hedef yerdeğıştirme (mm)	Kalıcı yerdeğıştirme (mm)
-0.01	-1.2	-0.34
0.01	1.2	0.05
-0.025	-3	-0.53
0.025	3	0.14
-0.05	-6	-0.81
0.05	6	0.45
-0.1	-12	-1.43
0.1	12	0.60
-0.2	-24	-3.05
0.2	24	2.31
-0.3	-36	-5.82
0.3	36	7.11
-0.4	-48	-11.45
0.4	48	14.89
-0.5	-60	-25.63
0.5	60	26.05
-0.6	-72	-42.09
0.6	72	41.95
-0.7	-84	-59.56
0.7	84	58.22

Çizelge 4.3 : GDA-REF numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.

Öteleme oranı (%)	Yatay kuvvet (kN)	Hedef yerdeğiştirme (mm)	Düzeltilmiş yerdeğiştirme (mm)
-0.01	-11.45	-1.2	-1.282
0.01	18.88	1.2	1.372
-0.025	-28.13	-3	-3.27
0.025	41.34	3	3.3
-0.05	-51.87	-6	-6.56
0.05	65	6	6.42
-0.05	-51.27	-6	-6.56
0.05	62.81	6	6.42
-0.1	-83.1	-12	-12.93
0.1	90.08	12	12.54
-0.1	-82.5	-12	-12.92
0.1	88.8	12	12.54
-0.2	-113.97	-24	-25.27
0.2	104.6	24	24.61
-0.2	-108.68	-24	-25.27
0.2	103.4	24	24.59
-0.3	-108.57	-36	-37.27
0.3	96.82	36	36.58
-0.3	-104.32	-36	-37.27
0.3	99.91	36	36.58
-0.4	-108.57	-48	-50.65
0.4	96.99	48	47.46
-0.4	-104.31	-48	-49.25
0.4	93.5	48	47.48
-0.5	-94.3	-60	-62.57
0.5	94.56	60	59.41
-0.5	-95.19	-60	-62.58
0.5	88.87	60	59.36
-0.6	-88.5	-72	-74.59
0.6	89.09	72	71.29
-0.6	-81	-72	-74.39
0.6	78.57	72	71.47
-0.7	-64.8	-84	-86.24
0.7	58.89	84	83.19

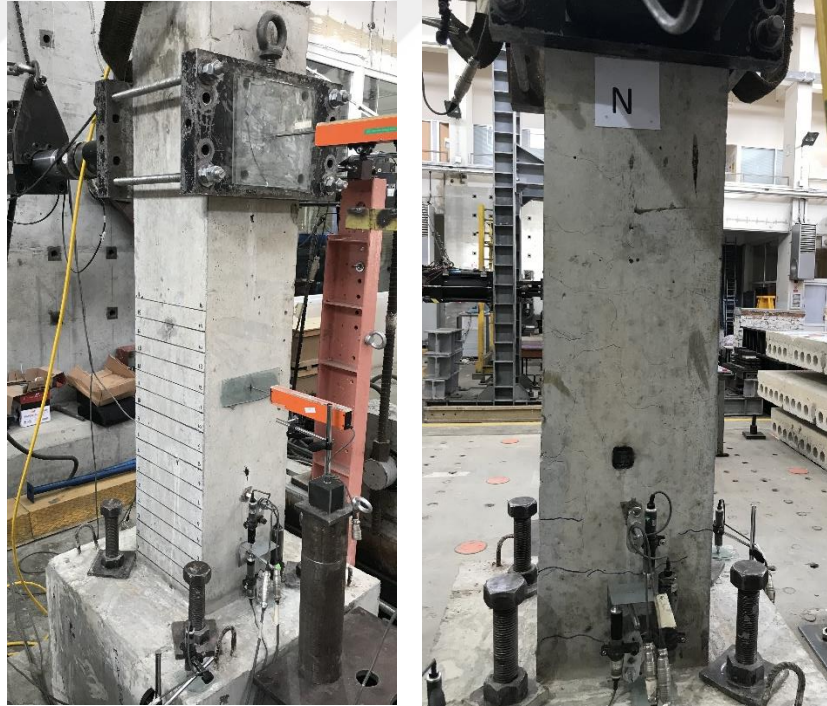
4.3.2 30 Dakika yangın senaryosuna maruz bırakılan kolon numunesi (30M)

Otuz dakika yangın senaryosuna maruz bırakılmış kolon numunesi (30M) yangına maruz bırakıldıktan 60 gün sonra 1 Aralık 2017 tarihinde yarı-statik deneye tabi tutulmuştur.

4.3.2.1 Deney gözlemleri

Deneye başlamadan önce numunede yüzeysel çatlaklar gözlenmiştir. Yangın deneyleri sonrasında oluşan yüzeysel çatlaklar deprem deneyleri sırasında oluşacak hasarlarla karıştırılmaması için işaretlenmiştir. Deney sırasında numune gözlenmiş, hedef öteleme oranlarında fotoğraf çekilmiş, çatlak krokisi işlenmiş ve çatlak genişliği ölçülerek not edilmiştir.

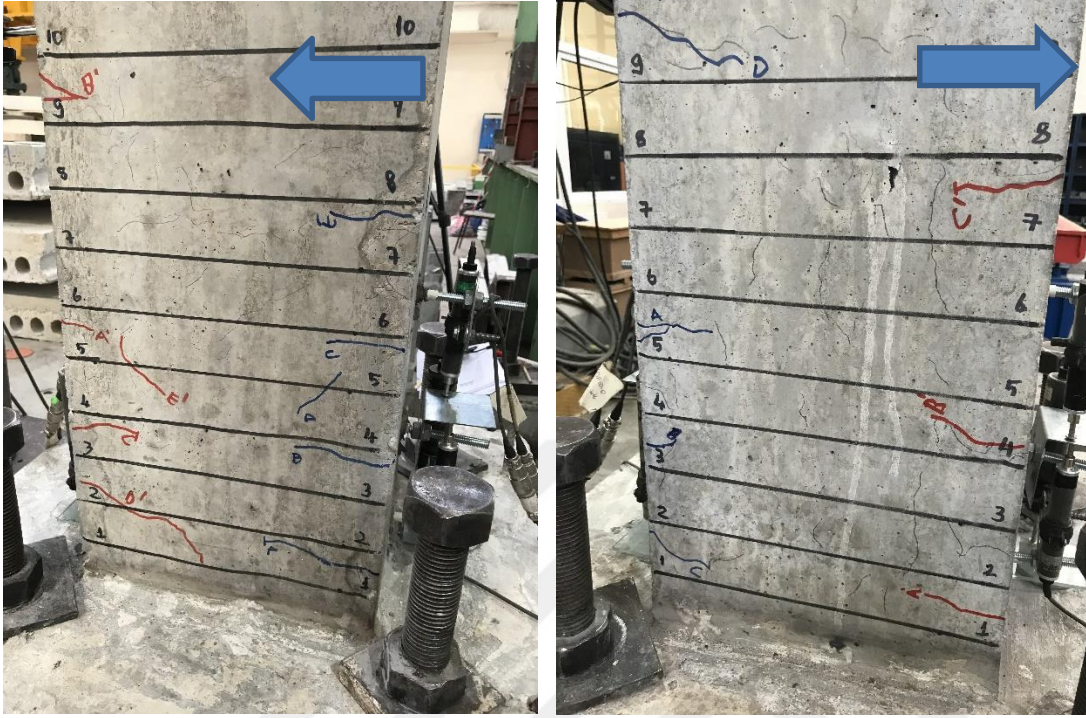
Deneyin ilk iki çevriminde (öteleme oranı %0.1 ve %0.25) çatlak oluşmamıştır. %0.5 öteleme oranı itme çevrimine gidilirken kuzey (N) yüzünde 3 adet yatay eğilme çatlağı ve temel kolon birleşiminde çatlak oluşumu gözlenmiştir. Numunenin deney öncesi ve %0.5 öteleme oranındaki ilk oluşan çatlakların yer aldığı fotoğraflar Şekil 4.19'de verilmiştir.



Şekil 4.19 : GDA-30M deney öncesi ve %0.5 öteleme oranı ilk eğilme çatlakları oluşuktan sonraki durumu.

Bundan sonraki öteleme adımlarında çekme ve itmede yaklaşık olarak simetrik eğilme çatlakları oluşmuştur.

% 1 öteleme oranı itme çevriminde doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde çatlaklar belirgin hale gelmiş ve yaklaşık 0.3 mm genişliğinde çatlakların oluştuğu görülmüştür. Şekil 4.20'de %1 öteleme oranı itme çevrimindeki çatlak görünümü verilmiştir.



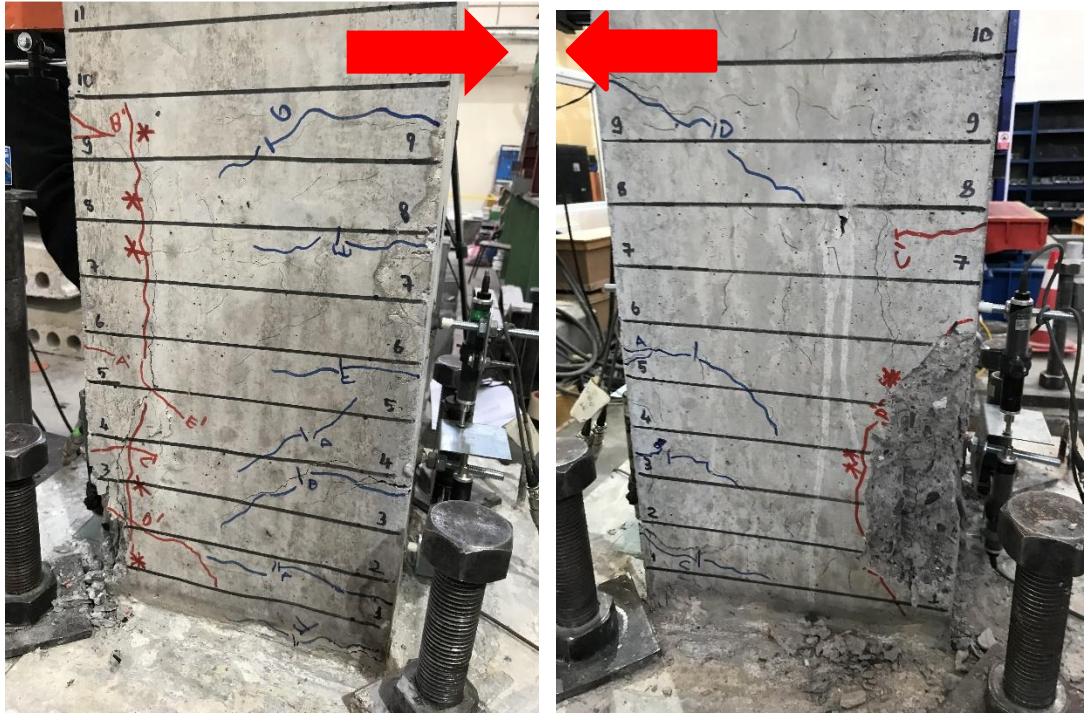
Şekil 4.20 : GDA-30M numunesi %1 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

%1 öteleme oranı itme ve çekme çevrimleri tamamlandıktan sonra kalıcı yerdeğiştirmeyi belirlemek için $P=0$ kN durumuna getirilmiştir ve kalıcı yerdeğiştirmenin 0.3 mm olduğu belirlenmiştir. %2 öteleme oranı ikinci itme çevriminde basınç bölgesinde kolon-temel arayüzünden 30 cm mesafede, yaklaşık 84 kN yatay yük etkisi altında beton örtüsünün hasar gördüğü ve çekme çevriminde basınç bölgesinde ezilme başlangıcı olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.21). Daha sonra $P=0$ yüksüz duruma getirilerek, kalıcı deplasman değerinin 14.8 mm olduğu görülmüştür.

%3 öteleme oranındaki çevrimlerde ise sadece mevcut çatlakların daha da ilerlediği ve çatlak genişliklerinde artış olduğu görülmüştür. İtme ve çekme çevrimlerindeki hasar görünümleri Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 : GDA-30M numunesi %2 öteleme oranı itme çevrimi güney (S) yüzündeki ezilme başlangıcı.



Şekil 4.22 : GDA-30M numunesi %3 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

%4 öteleme oranının ilk itme çevriminde kolon köşelerinde beton örtüsünde dökülmelerin olduğu ve boyuna donatılar basınç bölgesinde gözle görünür hale gelmiştir. Kolonun kuzey (N)-batı (W) ve kuzey (N)-doğu (E) bölgelerinin kolon-temel birleşim bölgesinin başlangıcından yaklaşık 45 cm yükseklik boyunca beton örtüsünün döküldüğü, boyuna donatı ve etriyeler görünür duruma geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : GDA-30M numunesi %4 öteleme oranı çekme çevrimi hasar görünümü.

Deneyin devamında, %5 öteleme oranına kadar mevcut çatlakların uzunluğunun yaklaşık olarak 40 mm ilerlediği görülmüştür. %5 öteleme oranında ise beton kabuk örtüsü tamamen kalkmış ve donatı burkulmasının başladığı gözlenmiştir (Şekil 4.24). Beton örtüsünün dökülmesinden kaynaklı olarak çatlak ölçümleri yapılamamış ve bu çevrimden sonra kroki üzerinde çatlak çizimleri yapılamamıştır. $P=0$ kN duruma getirildiğinde ise kalıcı yerdeğiştirme 10.7 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.25'te %5 öteleme oranı itme ve çekme çevrimlerindeki hasar görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.24 : %5 öteleme oranı çekme sonrası kuzey (N) ve batı (W) birleşimindeki donatı burkulması.



Şekil 4.25 : GDA-30M numunesi %5 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

%6 öteleme oranının ilk çekme çevriminde, kolonun maksimum yatay kuvvet kapasitesinin yaklaşık olarak %30'unu kaybettiği görülmüştür. İlk çevrimde donatı burkulmasının daha da belirginleştiği ve bundan dolayı ikinci çevrimde yatay kuvvet

kapasitesinin yaklaşık olarak %60'ını kaybettiği göz önünde bulundurularak deney sonlandırılmıştır (Şekil 4.26). $P=0$ kN duruma getirilerek kalıcı yerdeğiştirme miktarının 65.1 mm mertebesinde olduğu görülmüştür. Deney sonunda numunenin hasar fotoğraflarını gösteren fotoğraflar Şekil 4.27'de, donatı burkulmasının son durumu ise Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.26 : GDA-30M numunesi %6 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.



Şekil 4.27 : GDA-30M numunesi deney sonrası numunenin durumu ($P=0$, $\delta=65.1$ mm).



Şekil 4.28 : GDA-30M %6 öteleme oranı çekme sonrası güney (N) ve batı (W) birleşimindeki donatı burkulması.

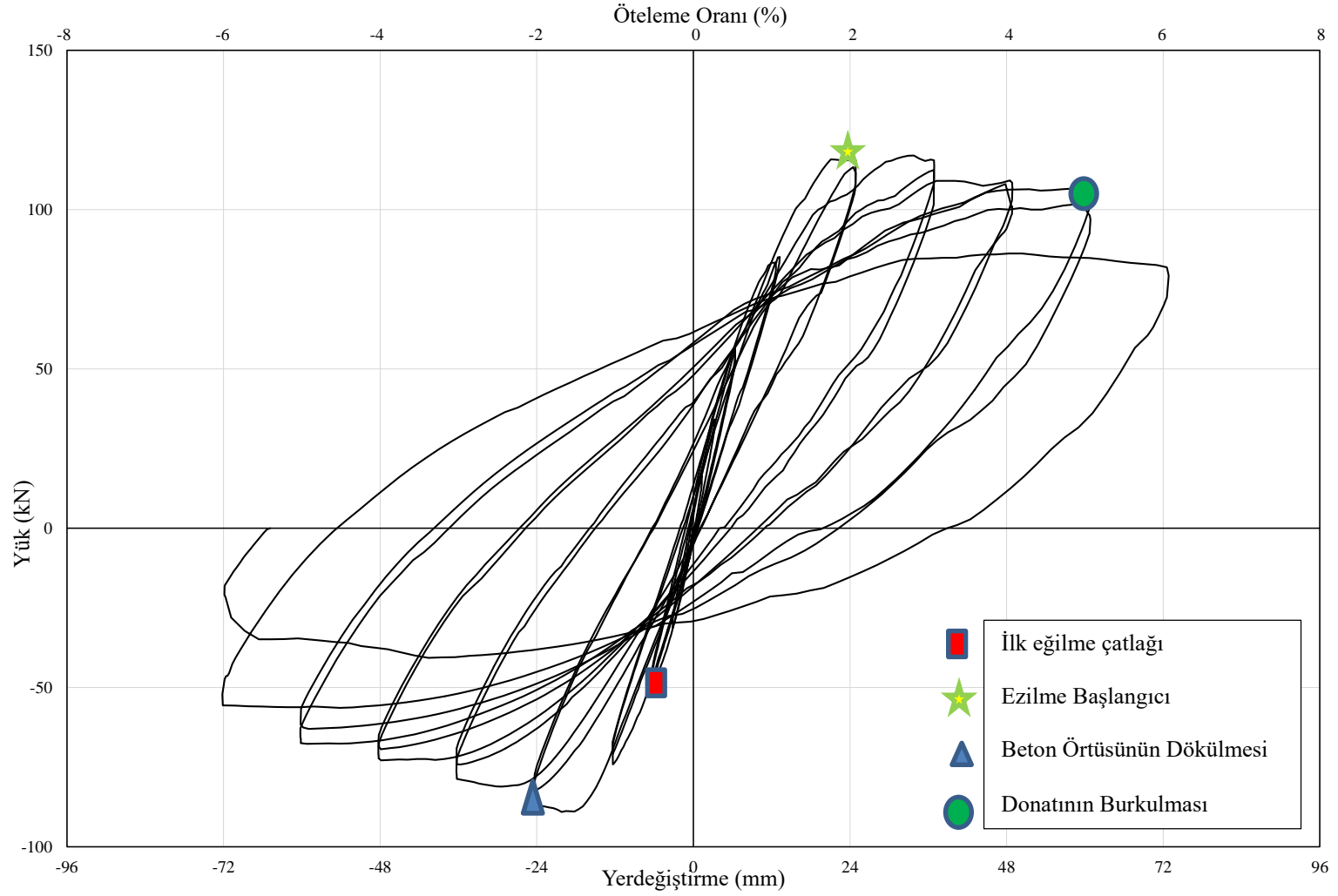
4.3.2.2 Deney sonuçları

Temel-kolon birleşim bölgesinden 1200 mm yükseklikteki yerdeğiştirme ölçümü esas alınarak yapılan yerdeğiştirmeler, temel dönmesi ve temel ötelemesi de dikkate alınarak, numunenin yerdeğiştirme-yatay kuvvet ilişkisi Şekil 4.29'daki gibi elde edilmiştir. Numunenin zarf eğrisi ise Şekil 4.30'da verilmiştir.

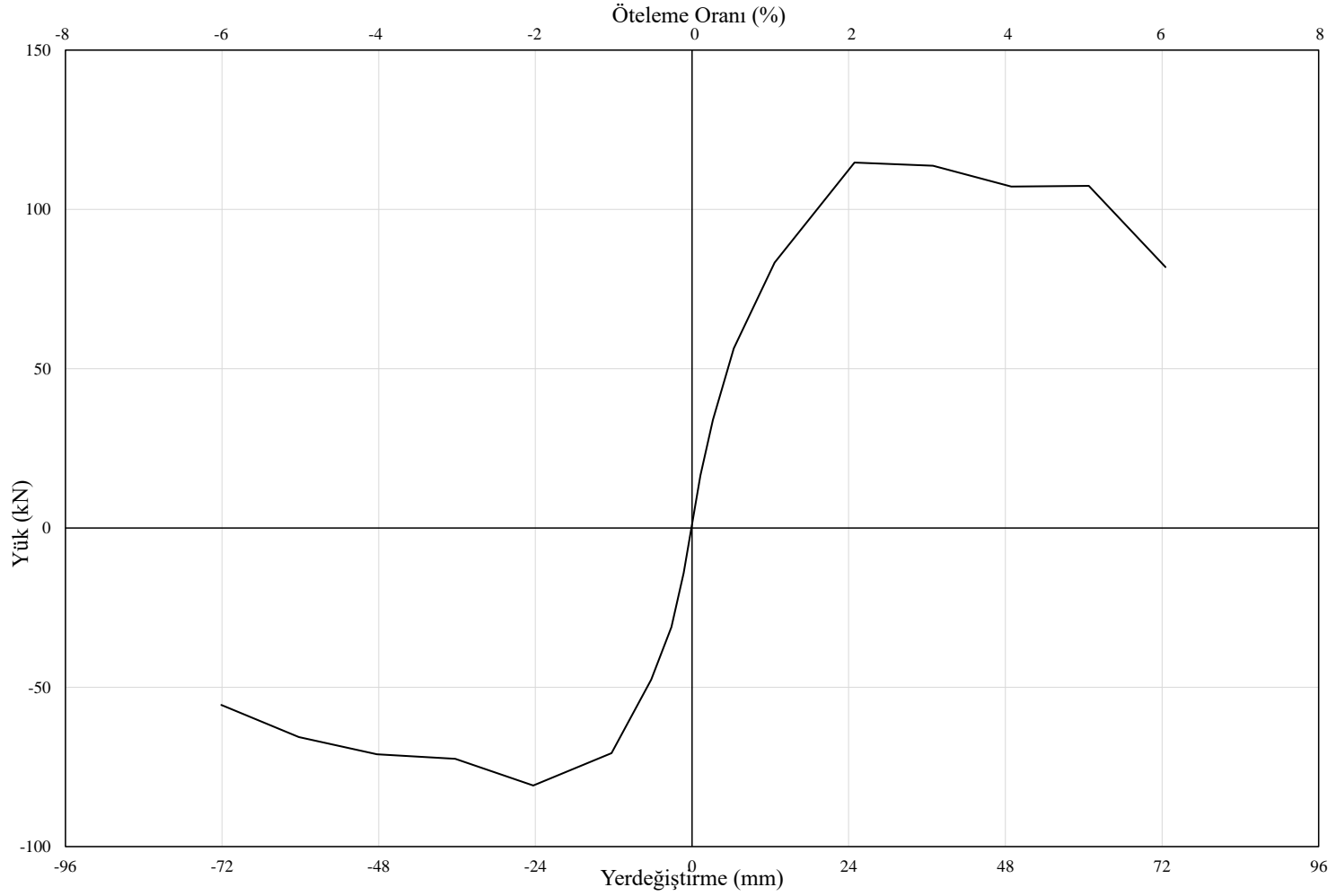
İtme ve çekmede %2 öteleme oranı (24 mm) hedef deplasmanına kadar yük artışı olmuştur. Bundan sonraki adımlarda yük-yerdeğiştirme eğrisi yataylaşmıştır. Yatay yük %5 öteleme oranına kadar %31'ini kaybetmiş, burkulmadan dolayı ani azalması sebebiyle deney sonlandırılmıştır. Numune üzerine yerleştirilen düşey yerdeğiştirmeölçerlerden alınan verilerle yapılan hesaplamalarda moment-eğrilik ilişkisi çıkarılmıştır (Şekiller 4.31-32-33). Tüm veriler elde edilip, hesaplamalar yapıldıktan sonra enerji yutma kapasitesi, kalıcı yerdeğiştirme, zarf eğrisi elde edilmiştir.

Deney süresince düzlem dışı yerdeğiştirmeölçer takip edilmiş ve %6 öteleme oranından sonra sağlıklı veri alınamamıştır. Numunede %2 öteleme oranı çekme çevriminde oluşan beton örtüsündeki hasar, kolonda ciddi bir rijitlik kaybı olmasına ve bunun sonucunda yatay kuvvetin düşmesine neden olmuştur.

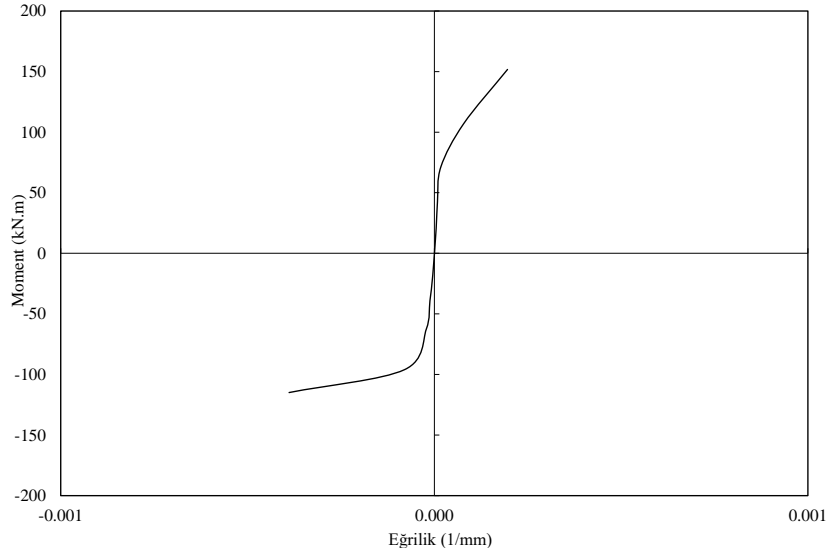
Şekil 4.34'te enerji yutma kapasitesi-öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.35'te ise kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Her iki grafik bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.



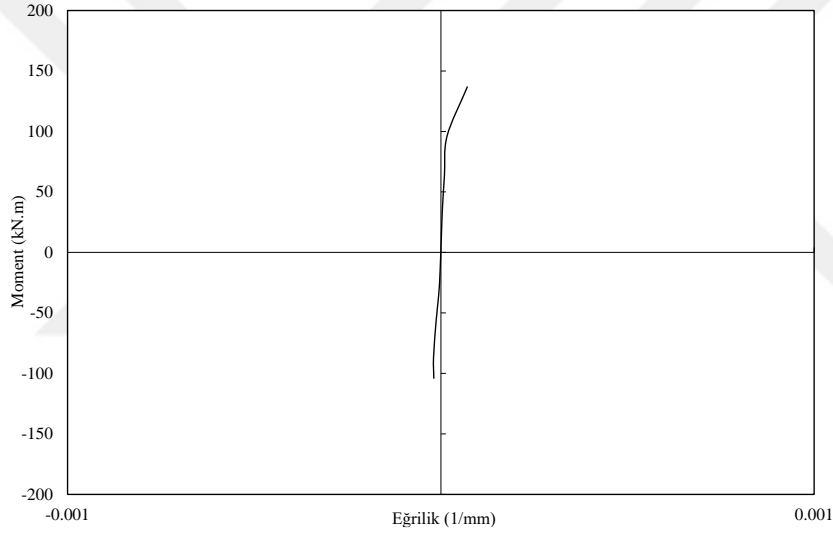
Şekil 4.29 : GDA-30M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.



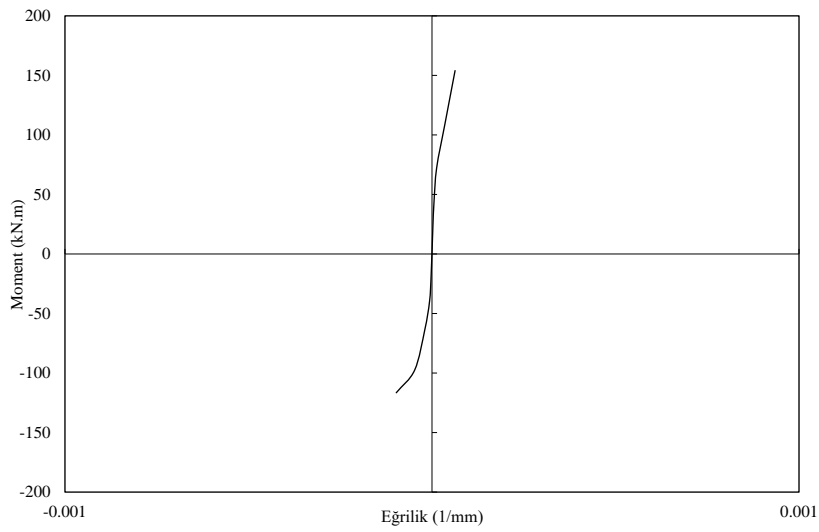
Şekil 4.30 : GDA-30M zarf eğrisi.



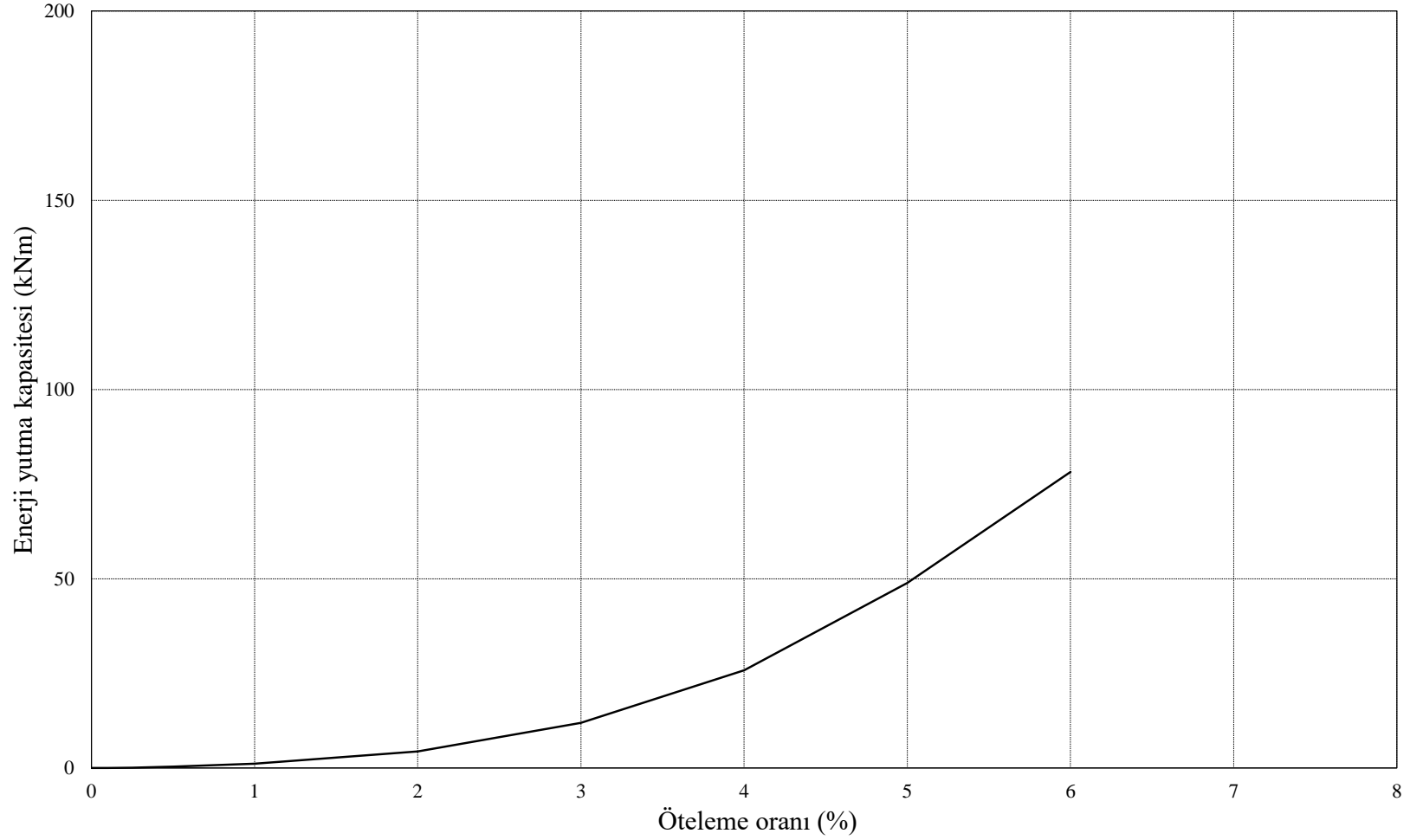
Şekil 4.31 : GDA-30M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



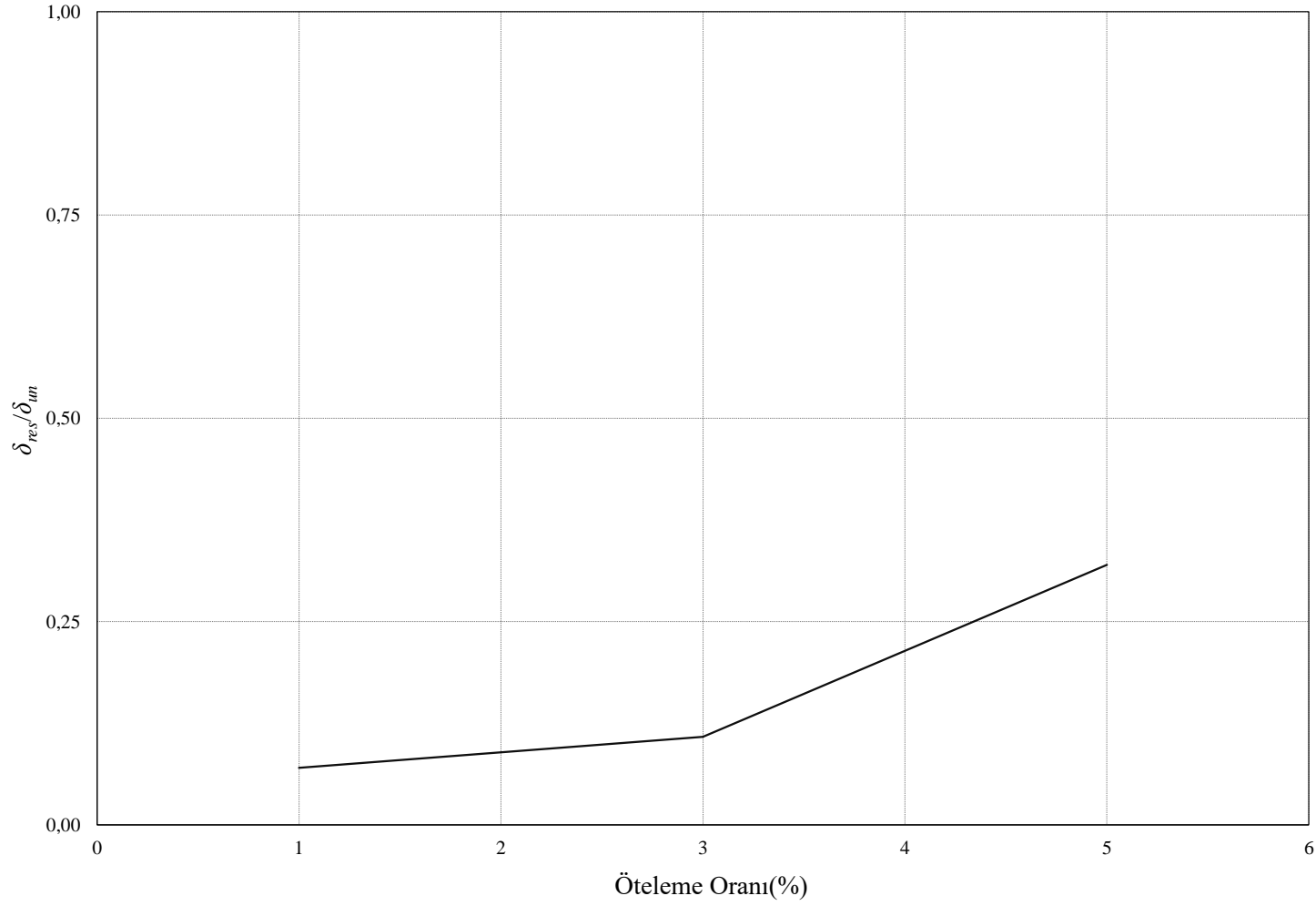
Şekil 4.32 : GDA-30M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.33 : GDA-30M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.34 : GDA-30M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi.



Şekil 4.35 : GDA-30M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.

Çizelge 4.4, GDA-30M kolonunun her çevriminde P=0 yüksüz durumdayken kalıcı yerdeğıştirmeleri göstermektedir.

Çizelge 4.4 : GDA-30M numunesi kalıcı yerdeğıştirmeler.

Öteleme oranı (%)	Hedef yerdeğıştirme (mm)	Kalıcı yerdeğıştirme (mm)
-0.1	-1.2	-0.33
0.1	1.2	0.19
-0.25	-3	-0.59
0.25	3	0.36
-0.5	-6	-0.86
0.5	6	0.38
-1	-12	-1.61
1	12	0.39
-2	-24	-6.16
2	24	0.85
-3	-36	-15.98
3	36	5.86
-4	-48	-26.23
4	48	10.90
-5	-60	-39.50
5	60	22.18
-6	-72	-64.85
6	72	38.88

Çizelge 4.5 : GDA-30M numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.

Öteleme oranı	Yatay kuvvet (kN)	Hedef yerdeğiştirme (mm)	Düzeltilmiş yerdeğiştirme (mm)
-0.01	-16.5	-1.2	-1.29
0.01	14.19	1.2	1.29
-0.025	-33.94	-3	-3.22
0.025	31.15	3	-3.217
-0.05	-49.22	-6	-6.26
0.05	59.39	6	-6.39
-0.05	-47.58	-6	-6.25
0.05	55.69	6	6.40
-0.1	-74.13	-12	-12.34
0.1	83.31	12	12.67
-0.1	-70.73	-12	-12.32
0.1	83.25	12	12.66
-0.2	-84.23	-24	-24.39
0.2	114.71	24	24.89
-0.2	-80.85	-24	-24.33
0.2	111.55	24	24.88
-0.3	-76.58	-36	36.31
0.3	113.69	36	36.90
-0.3	-72.5	-36	-36.28
0.3	110.49	36	36.89
-0.4	-71.03	-48	-48.29
0.4	107.13	48	48.89
-0.4	-67.38	-48	-48.28
0.4	100.99	48	48.87
-0.5	-65.64	-60	-60.22
0.5	107.39	60	60.81
-0.5	-61.05	-60	-60.21
0.5	96.89	60	60.85
-0.6	-55.56	-72	-72.12
0.6	81.88	72	72.55

4.3.3 60 Dakika Yangın Senaryosuna Maruz Bırakılan Kolon Numunesi (60M)

60 dakika yangın senaryosuna maruz bırakılmış 60M numunesi yangına maruz bırakıldıktan 60 gün sonra 7 Aralık 2017 tarihinde yarı-statik deney yapılmıştır.

4.3.3.1 Deney Gözlemleri

(Şekil 4.36). Yangın kaynaklı yüzeysel çatlaklar işaretlenmiştir. Yangına maruz kalan kolonun deney sırasında hidrolik iticinin itme bölgesinde kesme kuvveti kaynaklı hasarlar oluşmaması için deney gününden bir hafta önce numunenin üst bölümü tamir harcıyla sıvanmıştır. Deney sırasında numune gözlenmiş, hedef öteleme oranlarında fotoğraf çekilmiş, çatlak krokisi işlenmiş ve çatlak genişliği ölçülerek not edilmiştir.

Deneyin ilk iki çevriminde (öteleme oranı %0.1 ve %0.25) çatlak oluşumu gözlenmemiştir. %0.5 öteleme oranı, 6 mm hedef deplasmanı itme ve çekme çevrimine gidilirken kuzey (N) ve güney (S) yüzünde ikinci etriye hizasında (~ 20cm) simetrik olarak yatay eğilme çatlağı ve temel kolon birleşiminde 0.1 mm mertebelerinde çatlak oluşumu gözlenmiştir. Numunenin %0.5 öteleme oranındaki kuzey (N) ve güney (S) yüzündeki ilk oluşan çatlakların yer aldığı fotoğraflar Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.36 : GDA-60M deney öncesi görünümü.



Şekil 4.37 : GDA-60M Numunesi %0.5 öteleme oranı kuzey (N) ve güney (S) yüzlerinin hasar görünümü.

GDA-60M kolonunun doğu (E) ve batı (W) yüzlerindeki ilk çatlaklar %1 öteleme oranı 12 mm itme hedef yerdeğiştirmesinde oluşmuştur. Bu öteleme oranının ilk itme çevriminde doğu (E) ve batı (W) olmak üzere üçer adet yaklaşık 3 mm genişliğinde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Çatlak oluşumunun fotoğrafları Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



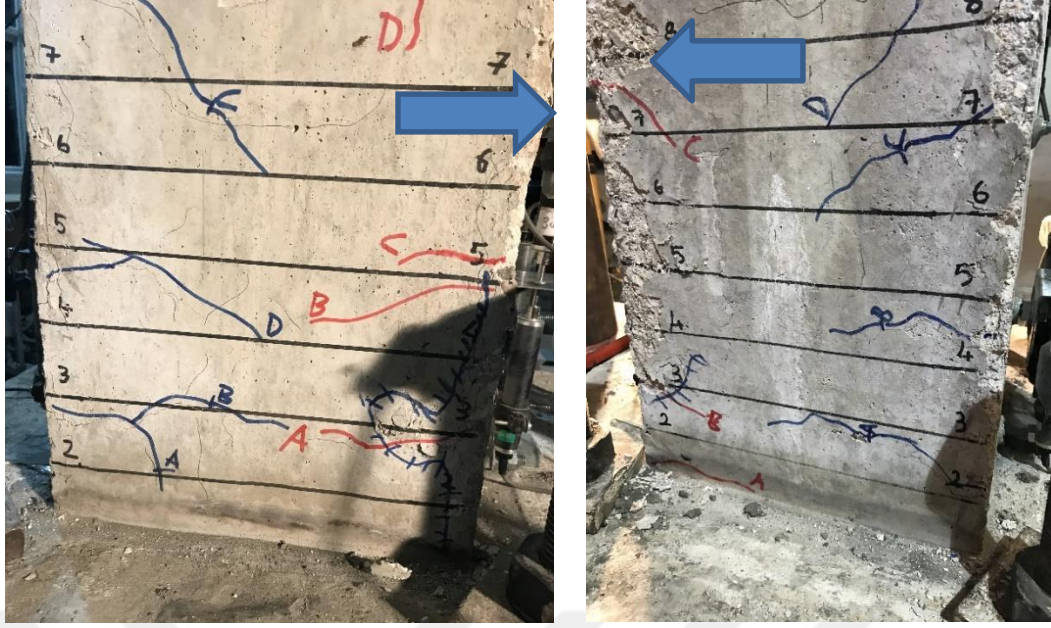
Şekil 4.38 : GDA-60M numunesi %1 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

Aynı öteleme oranına ait çekme çevriminde ise kuzey (N) ve doğu (E) yüzlerinde 3'er adet, batı (W) yüzünde ise 4 adet eğilme çatlakları oluştuğu görülmüştür. Doğu (E) yüzündeki eğilme çatlakları sırasıyla 0.3-0.3-0.2 mm, batı (W) yüzündeki eğilme çatlakları ise 0.4-0.2-0.2-0.3 mm ölçülmüştür. Şekil 4.39'da %1 öteleme oranı çekme çevrimindeki eğilme çatlakları gösterilmiştir. İkinci çevrimde ise yeni çatlakların oluşmadığı, mevcut çatlakların genişliğinin arttığı gözlenmiştir.



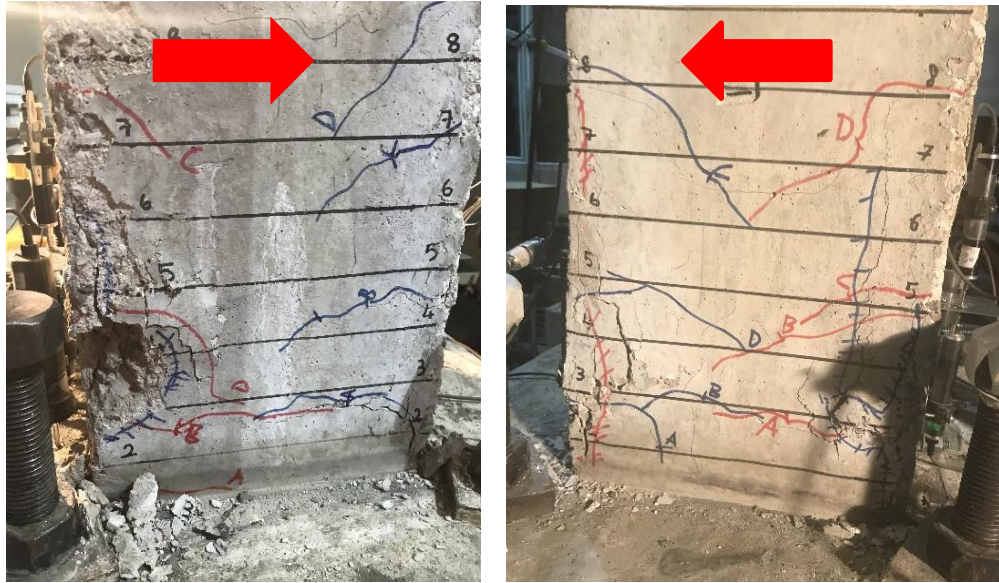
Şekil 4.39 : GDA-60M numunesi %1 öteleme oranı çekme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

Şekil 4.40'ta görüldüğü üzere, %2 öteleme oranı itme çevriminde batı (W) ve doğu (E) yüzlerinde ezilme başlangıcı görülmüştür. Güney (S) yüzünde 15 cm uzunluğunda düşey ezilme çatlakları ,aynı yüzün temelden 20 cm yükseklikte yatay eğilme çatlakları ve tabanda ise ezilme başlangıcı olmuştur. Aynı öteleme oranının ikinci çevriminde dökülmeler meydana gelmiştir. Yüksüz (P=0 kN) duruma getirilerek kalıcı yerdeğiştirme değeri 3.7 mm ölçülmüştür.



Şekil 4.40 : GDA-60M numunesi %2 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

%3 öteleme oranı itme çevriminde kolon köşelerinde 10 cm uzunluğunda parça ayrılmaları meydana gelmiştir. %2 öteleme oranındaki mevcut çatlakların genişlikleri artmış olup, yeni çatlak oluşmamıştır. 36 mm hedef yerdeğiştirmesinden sonra yüksüz ($P=0$ kN) konuma getirilerek çatlak ölçümü ve kalıcı yerdeğiştirmeye mesafesi (9.34 mm) not edilmiştir. Şekil 4.41’de doğu (E) ve batı (W) yüzlerindeki parça ayrılmaları gösterilmektedir. Yatay kuvvet değerinde önceki adımlara göre bariz bir azalma görülmemiştir.



Şekil 4.41 : GDA-60M numunesi %3 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

%4 öteleme oranı itme ve çekme çevrimlerinde mevcut çatlakların genişlikleri artmış ve kolon köşelerinde beton örtüsünün döküldüğü görülmüştür. Bu durum Şekil 4.42’de görülmektedir. 48 mm hedef yerdeğiştirmeli itme çevriminde 97.8 kN, çekme 93.8 kN yatay kuvvet taşıdığı görülmüştür. Bu durum, %2 ve %3 öteleme oranlarına göre neredeyse aynı yatay kuvvetle tamamladığı yorumlanmıştır. Yüksüz durumda kalıcı yerdeğiştirme değeri 17.43 mm olarak ölçülmüştür.

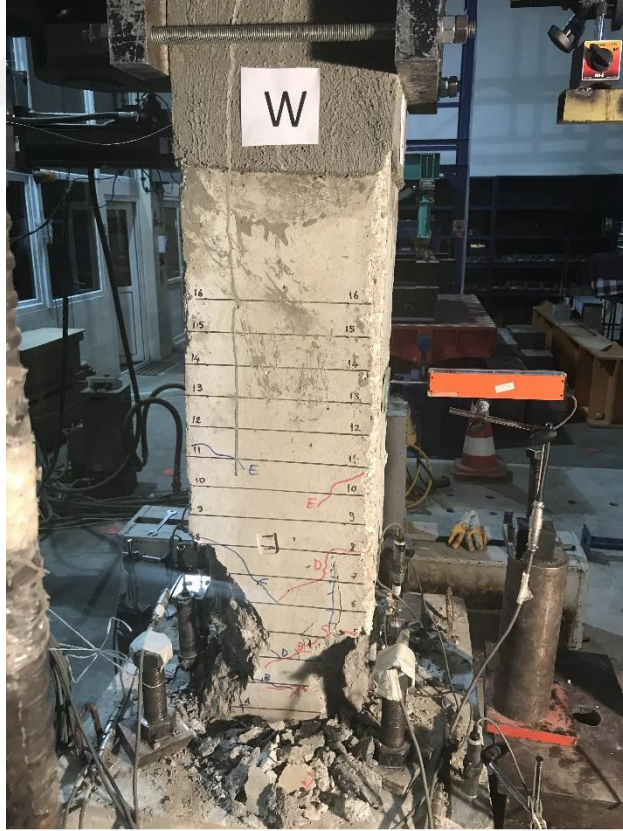


Şekil 4.42 : GDA-60M numunesi %4 öteleme oranı itme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

%5 öteleme oranının ilk çekme çevriminde doğu (E) ve kuzey (N) birleşim bölgesinde gözle görülür şekilde donatı burkulması olduğu görülmüştür. Kuzey (N) ve batı (W) birleşim bölgesindeki beton örtüsünün dökülmemesinden dolayı bu bölgedeki donatının burkulup burkulmadığı hakkında yorum yapılamamıştır. Aynı öteleme oranının ikinci çevrimi itmede güney-doğu (S-E) ve güney-batı (N-E) köşesinde burkulma olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.43). Çekme çevriminde ise kuzey (N) yüzünde ezilmeden kaynaklı belirgin donatı burkulması olduğu görülmüştür. Çevrimler tamamlandıktan sonra sistem yüksüz duruma getirilerek kalıcı yerdeğiştirme değeri 26.77 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.44). Yatay kuvvet değeri, %2 öteleme oranındaki maksimum yatay kuvvet değerinin yaklaşık %10’unu kaybettiği görülmüştür.



Şekil 4.43 : GDA-60M numunesi %5 öteleme oranı itme güney-doğu(S-E) ve güney-batı(N-E) köşelerindeki donatı burkulması.



Şekil 4.44 : GDA-60M numunesi %5 öteleme oranı yüksüz durumdaki ($P=0$, $\delta=26.77\text{mm}$) hasar görünümü.

%5 öteleme oranının iki çevrimi de tamamlandıktan sonra %6 öteleme oranı itme çevrimiyle deneye devam edilmiştir. Bu öteleme oranının itme ve çekme çevrimlerinde numunenin plastik mafsalsal bölgesi tamamen hasar aldığı görülmüştür. Plastik mafsalsal bölgesinin üst bölümünde bulunan çatlak genişlikleri ölçülmüş ve çatlak genişliklerinin bir önceki adımda olduğu gibi aynı genişlikte olduğu görülmüştür. Kolonun tüm yüzlerindeki plastik mafsalsal bölgesindeki beton örtüsü döküldüğünden dolayı çatlak ölçümü bu seviyeden sonra yapılamamıştır. Şekil 4.45'te doğu (E) ve batı (W) yüzlerindeki hasarlar görülmektedir. Şekil 4.46'da görüldüğü gibi, basınç bölgesinde donatı burkulması belirgin hale geldi ve buna bağlı olarak yatay kuvvet, maksimum değerinin %30'unu kaybettiği ve kalıcı yerdeğiştirmenin 41.21 mm düzeylerinde olduğu görülmüştür. Şekil 4.47'de P=0 kN durumdaki hasar durumu verilmiştir.



Şekil 4.45 : GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.



Şekil 4.46 : GDA-60M numunesi %6 öteleleme oranı çekme kuzey-doğu (N-E) köşelerindeki donatı burkulması.



Şekil 4.47 : GDA-60M numunesi %6 öteleleme oranı yüksüz durumdaki ($P=0$ kN, $\delta=41.21$ mm) hasar görünümü.

%7 öteleme oranı donatı burkulmasının görünümü Şekil 4.48'te gösterilmiştir. Bu çevrime ait ilk itme çevriminde donatının tamamen burkulmasına bağlı olarak, yatay kuvvet değerinin yaklaşık %60'ını kaybettiği görülmüştür. Hasar görünümü Şekil 4.49'da gösterilmiştir. İtme çevrimi tamamlandıktan sonra P= kN konumunda kalıcı yerdeğiştirme değeri 58.23 mm ölçülmüştür. Daha sonra çekme çevrimine geçilmiş ve aynı yatay kuvvet kaybının olduğu görülmüştür. Çekme çevriminden sonra yüksüz durumda kalıcı yerdeğiştirme değeri 67.4 mm ölçülmüştür. Numunede çok hasar gözlemlendiğinden güvenliği sağlamak açısından P=0 kN konumuna getirilerek deney sonlandırılmıştır. Deney sonu fotoğrafları Şekil 4.50'de görülmektedir.



Şekil 4.48 : GDA-60M numunesi %7 öteleme oranı itme kuzey-doğu (N-E) köşelerindeki donatı burkulması.



Şekil 4.49 : GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.



Şekil 4.50 : GDA-60M numunesi %6 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.

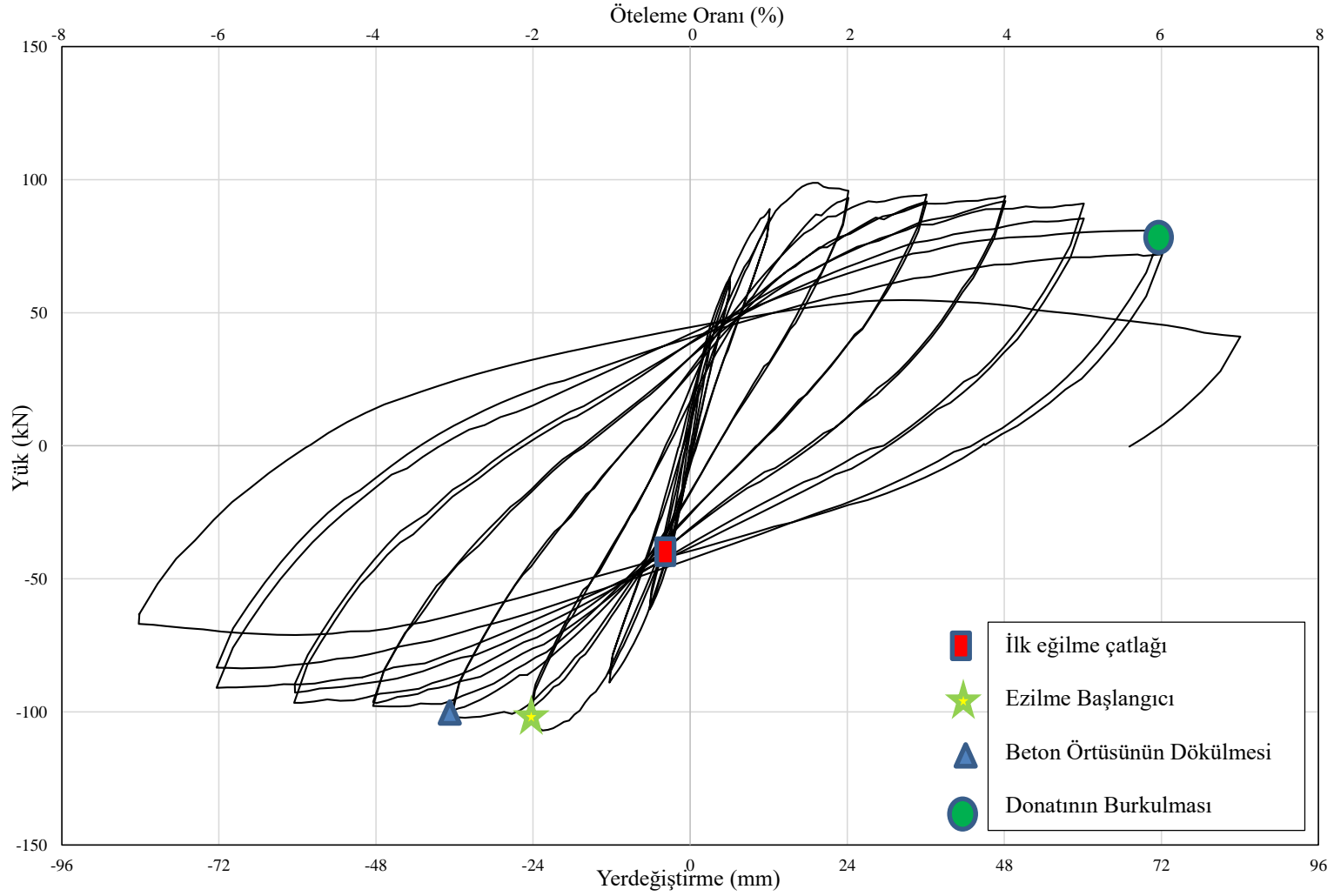
4.3.3.2 Deney sonuçları

Ana yerdeğiştirmeölçerden alınan verilerden, temel dönme ve ötelemesinin çıkarılması sonucu elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 4.51’de görölmektedir. Numunenin zarf eğrisi Şekil 4.52’de verilmiştir. Yük-yerdeğiştirme ilişkisi incelendiğinde, numunenin maksimum yatay yüke %2 öteleme oranında ulaştığı ve daha sonraki öteleme oranlarında yavaşça azaldığı görölmüştür. Daha sonraki bölümde, numuneler karşılaştırılırken bu konuya daha fazla değinilecektir.

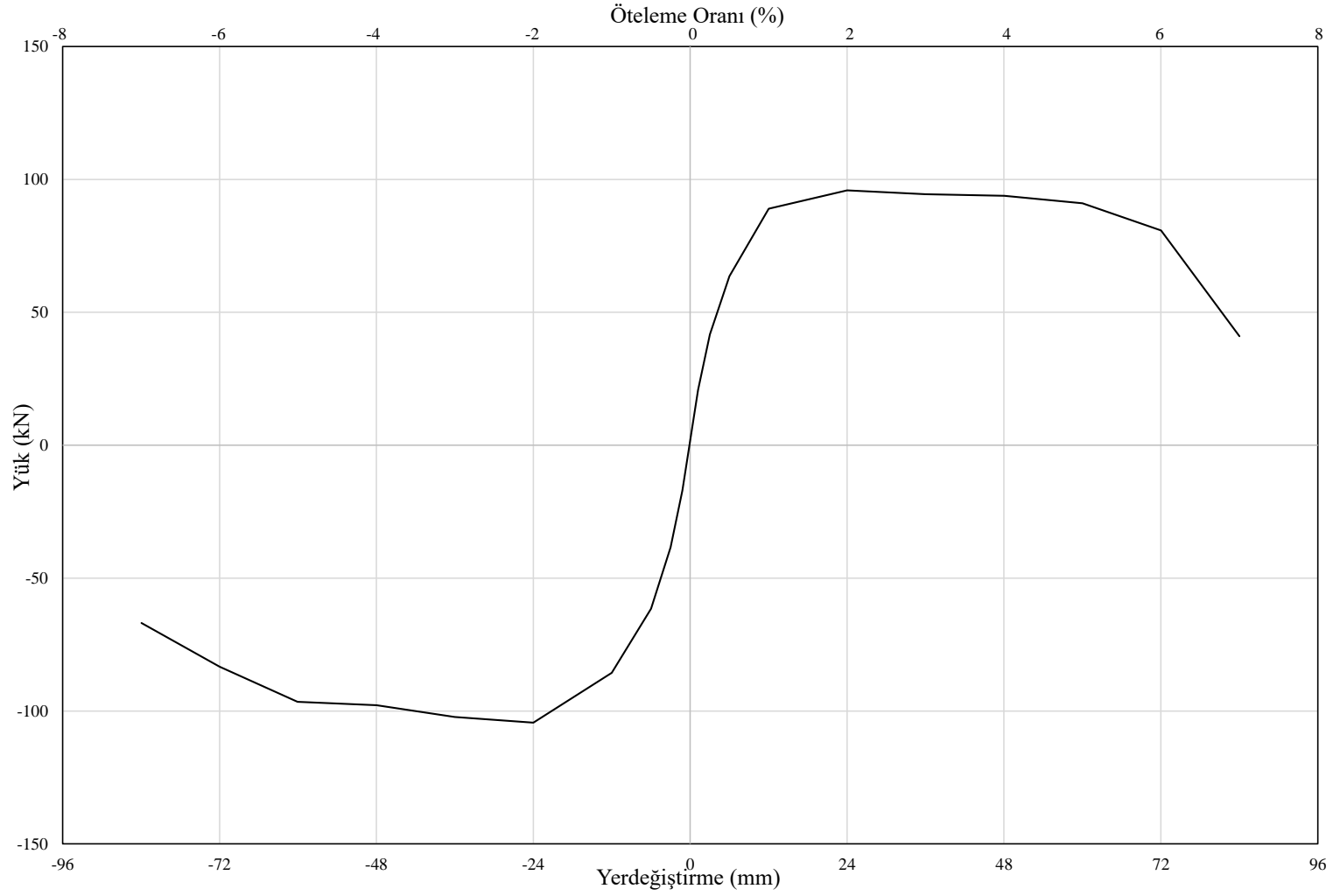
Yatay kuvvetin, tabandaki yerdeğiştirmeölçere mesafesiyle çarpımıyla moment, yerdeğiştirmeölçerden alınan verinin, tabandan düşey mesafeye bölünmesi ve her iki yüzdeki bu değerin kolonun yükleme etkin yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen eğrilikler sırasıyla 0-20, 20-150, 150-300 mm konumlarında Şekil 4.53-54-55’te verilmiştir.

Şekil 4.56’da enerji yutma kapasitesi-öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.57’de ise kalıcı yerdeğişirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Her iki grafik bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

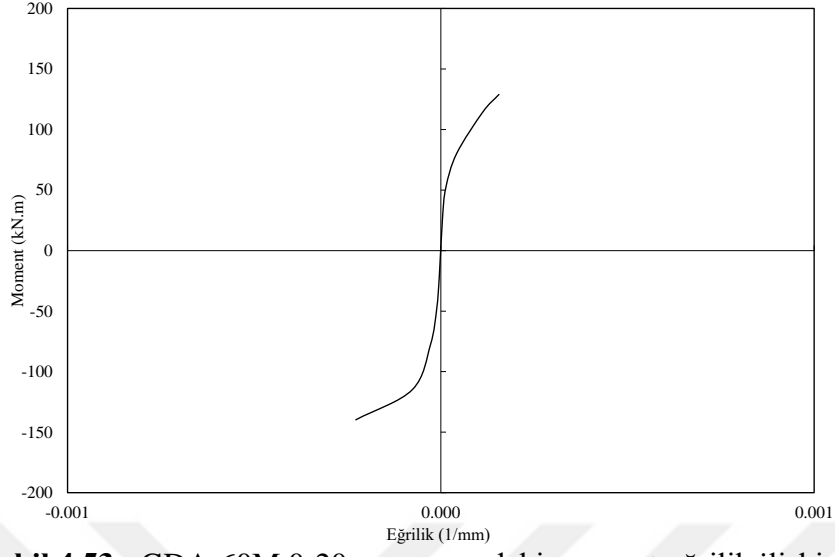
Çizelge 4.7’de numunenin hedef yerdeğiştirme-öteleme oranlarındaki yatay yükü ve düzeltilmiş yerdeğiştirmeler verilmiştir.



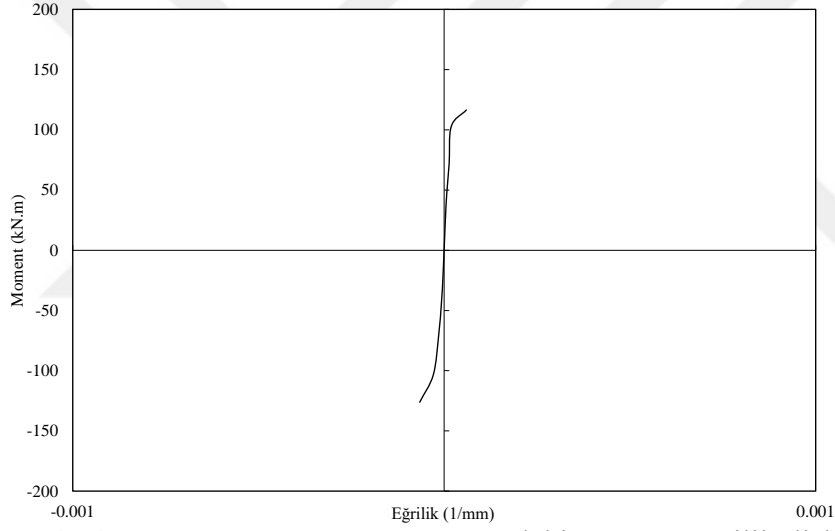
Şekil 4.51 : GDA-60M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.



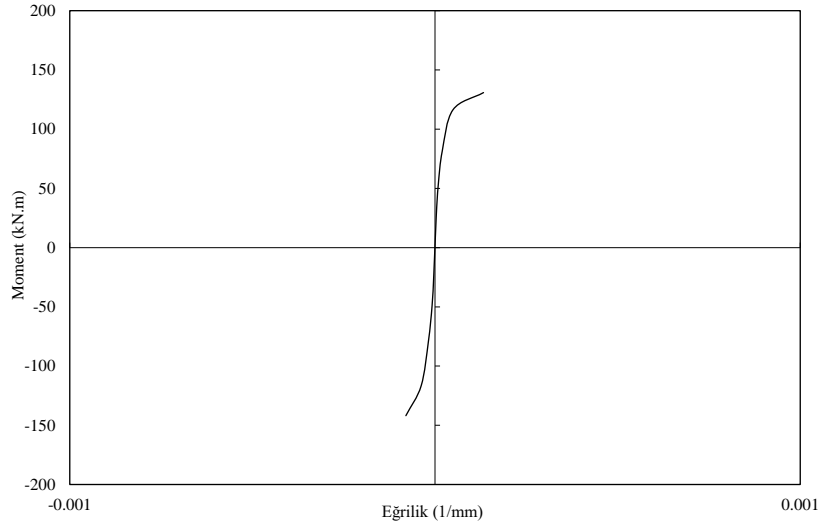
Şekil 4.52 : GDA-60M zarf eğrisi.



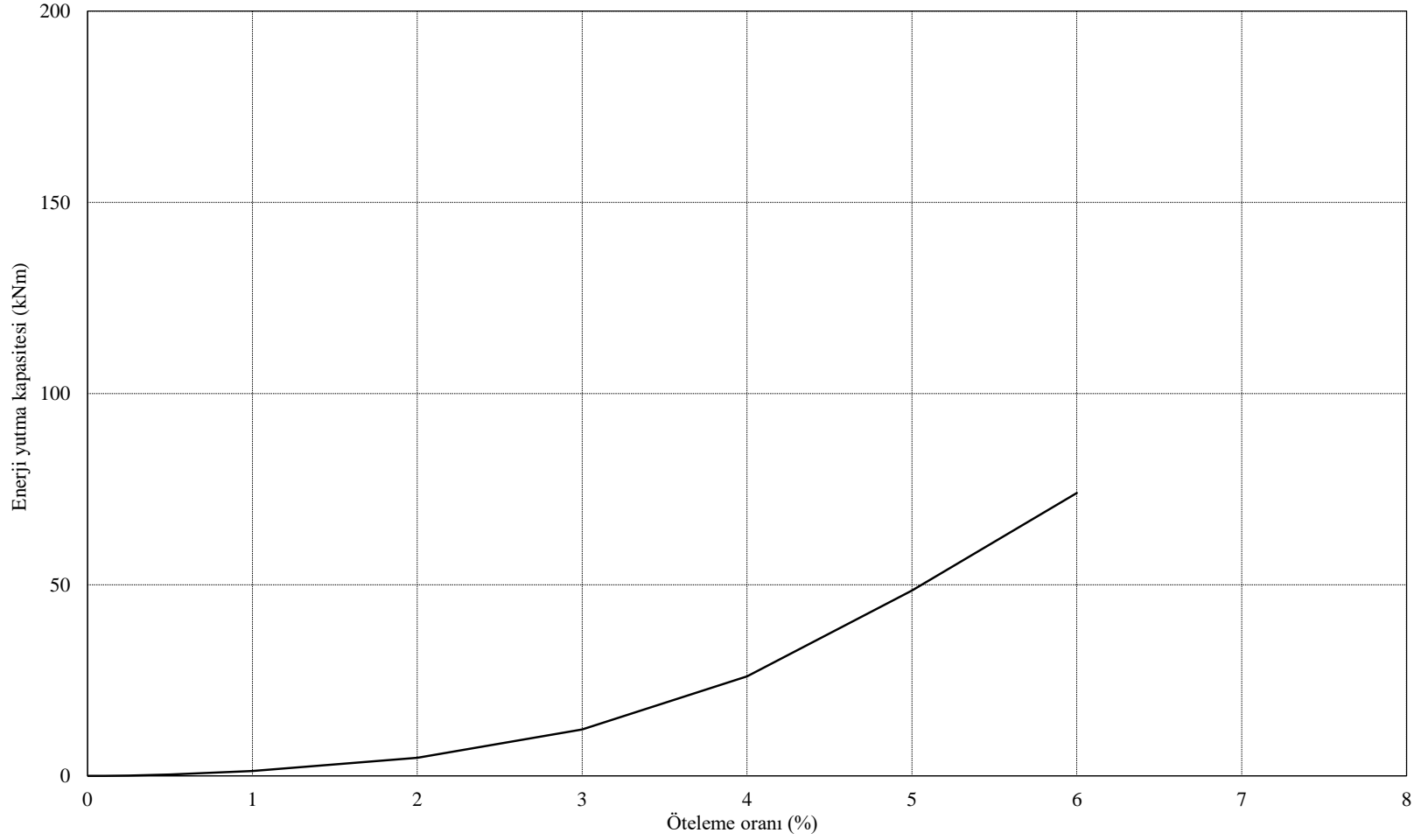
Şekil 4.53 : GDA-60M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



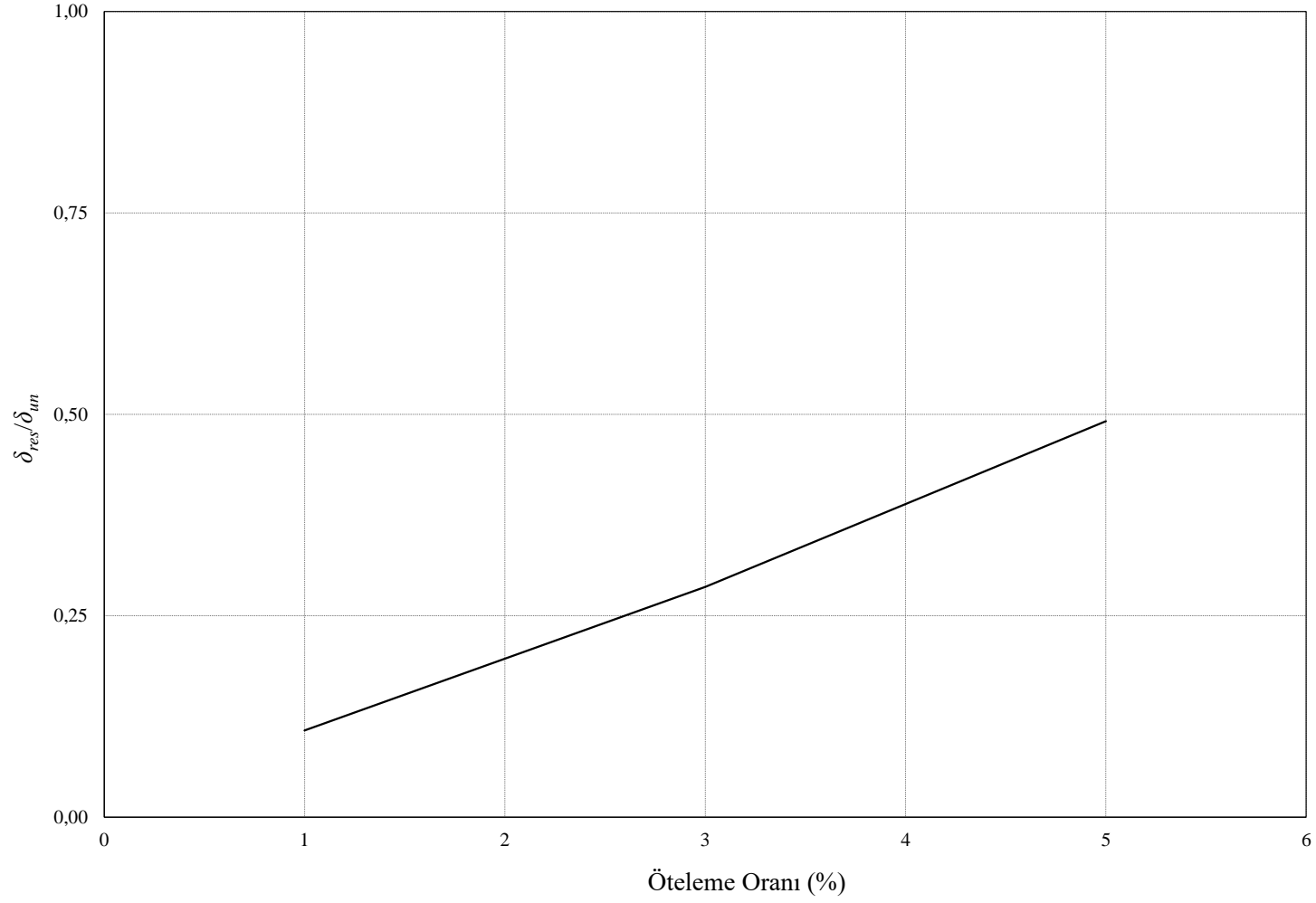
Şekil 4.54 : GDA-60M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.55 : GDA-60M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.56 : GDA-60M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi.



Şekil 4.57 : GDA-60M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.

Çizelge 4.6, GDA-60M kolonunun her çevriminde P=0 yüksüz durumdayken kalıcı yerdeğıştirmeleri göstermektedir.

Çizelge 4.6 : GDA-60M Numunesi Kalıcı Yerdeğıştirmeler

Öteleme oranı (%)	Hedef yerdeğıştirme (mm)	Kalıcı yerdeğıştirme (mm)
-0.01	-1.2	0.33
0.01	1.2	0.10
-0.025	-3	-0.68
0.025	3	-0.32
-0.05	-6	-0.62
0.05	6	0.47
-0.1	-12	-1.01
0.1	12	0.81
-0.2	-24	-3.19
0.2	24	4.11
-0.3	-36	-9.19
0.3	36	10.21
-0.4	-48	-16.28
0.4	48	18.78
-0.5	-60	-26.29
0.5	60	29.56
-0.6	-72	-40.87
0.6	72	44.90
0.7	-84	-58.76

Çizelge 4.7 : GDA-60M numunesi hedef yerdeğiştirme-yük değeri.

Öteleme oranı (%)	Yatay kuvvet (kN)	Hedef yerdeğiştirme (mm)	Düzeltilmiş yerdeğiştirme (mm)
-0.01	-17.07	-1.2	-1.23
0.01	20.78	1.2	1.23
-0.025	-38.46	-3	-3.10
0.025	41.67	3	3.07
-0.05	-61.53	-6	-6.20
0.05	63.59	6	6.12
-0.05	-61.00	-6	-6.17
0.05	61.54	6	6.11
-0.1	-89.05	-12	-12.32
0.1	88.99	12	12.15
-0.1	-85.63	-12	-12.34
0.1	85.67	12	12.17
-0.2	-104.43	-24	-24.51
0.2	95.87	24	24.19
-0.2	-99.16	-24	24.46
0.2	93.17	24	24.20
-0.3	-102.23	-36	-36.50
0.3	94.46	36	36.15
-0.3	-99.72	-36	-36.46
0.3	-91.83	36	36.15
-0.4	-97.84	-48	-48.45
0.4	93.84	48	48.19
-0.4	-96.37	-48	-48.43
0.4	91.99	48	48.18
-0.5	-96.58	-60	-60.50
0.5	91.05	60	60.16
-0.5	-89.56	-60	-60.14
0.5	-85.44	60	60.41
-0.6	-90.99	-72	-72.3
0.6	80.80	72	72.13
-0.6	-83.37	-72	-72.35
0.6	72	72	72.16
-0.7	-66.92	-84	-84.24
0.7	40.99	84	84.07

4.3.4 90 Dakika Yangına Maruz Bırakılan Numune (GDA-90M)

90 dakika yangın senaryosuna maruz bırakılmış 90M numunesi yangına maruz bırakıldıktan 63 gün sonra 17 Aralık 2017 tarihinde yarı-statik deneye tabi tutulmuştur.

4.3.4.1 Deney Gözlemleri

Yangın kaynaklı yüzeysel çatlaklar deprem testleri sırasında oluşacak çatlaklarla karıştırılmaması amacıyla yüzeyindeki çatlaklı beton tabakası traşlanmıştır. Yangına maruz kalan kolonun deney sırasında hidrolik iticinin itme bölgesinde kesme kuvveti kaynaklı hasarlar oluşmaması ve hasar dağılımını kolon boyunca elde edebilmek için deney gününden bir hafta önce numunenin üst bölümü FRP kumaş ile iki kat sarılmıştır. Deney sırasında numune gözlenmiş, hedef öteleme oranlarında fotoğraf çekilmiş, çatlak krokisi işlenmiş ve çatlak genişliği ölçülerek not edilmiştir.

Deneyin ilk dört çevriminde (öteleme oranı %0.1, %0.25 ve %0.5) çatlak oluşumu gözlenmemiştir. %1 öteleme oranı, 12 mm hedef deplasmanı itme çevrimine gidilirken kuzey (N) yüzünde ikinci etriye hizasında (~ 20cm) yatay eğilme çatlağı ve temel kolon birleşiminde 0.1 mm mertebelerinde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Çekme çevriminde ise itme çevrimine paralel olarak ikinci etriye hizasında (~ 20cm) 0.1mm genişliğinde çatlak meydana gelmiştir. Numunenin %1 öteleme oranı itme ve çekme ikinci çevrimlerinden sonraki doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde oluşan 0.2 mm genişliğindeki çatlakların yer aldığı fotoğraflar Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.58 : GDA-90M numunesinin deney öncesi görünümü.



Şekil 4.59 : GDA-90M numunesi %1 öteleme oranı çekme batı (W) ve doğu (E) yüzlerinin hasar görünümü.

%2 öteleme oranı 24 mm hedef yerdeğiştimeli ilk itme çevriminde kuzey (N) yüzünde ve çekme çevriminde güney (S) yüzünde ezilme başlangıcı gözlemlendi (Şekil 4.60). İtme çekme çevrimleri sonunda 0.2 mm genişliğinde doğu (E) ve batı (W) yüzünde üçer adet itme çatlağı, çekme çevrimleri sonunda 0.3 mm genişliğinde üçer adet çekme çatlağı meydana gelmiştir (Şekil 4.61). Yatay kuvvet değeri itme ve çekme çevrimi ortalaması yaklaşık 95 kN'dir. Çevrim tamamlandıktan sonra sistem yüksüz duruma getirilip kalıcı yerdeğiştirme 3.77 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.60 : GDA-90M numunesi %2 öteleme oranı kuzey (N) ve güney (S) yüzlerinin hasar görünümü.



Şekil 4.61 : GDA-90M numunesi %2 öteleme oranı itme çevrimi batı (W) ve doğu (E) yüzlerindeki hasar görünümü.

%3 öteleme oranı 36 mm hedef yerdeğiştirmesinde itme ve çekme çevriminde kolonun güney (S) ve kuzey (N) yüzünde parça dökülmeleri meydana gelmiştir (Şekil 4.62). Doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde ise mevcut çatlakların genişlikleri yaklaşık olarak 0.5 mm seviyelerine geldiği görülmüştür (Şekil 4.63). Yatay kuvvet değeri itme ve çekme çevrimi ortalaması yaklaşık 95 kN'dir. Sistem yüksüz duruma getirildiğinde ise 8.5 mm kalıcı yerdeğiştirme mevcuttur. Diğer çevrime gidilirken $P=0$ kN durumunda temel bulonları sıkılmış, temel dönmesi ve ötelemesi kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.62 : GDA-90M numunesi %3 öteleme oranı güney (S) ve kuzey (N) yüzlerinin hasar görünümü.



Şekil 4.63 : GDA-90M numunesi %3 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

%4 öteleme oranı ilk itme çevriminde kuzey-batı (N-W) birleşim bölgesinde beton örtüsünde parça kopmaları meydana gelmiştir (Şekil 4.64). Fakat, donatılar hala gözle görünür duruma gelmemiştir. Doğu (E) ve batı (W) yüzlerinde ezilmeler olmuş ve mevcut çatlaklarda maksimum 1.6 mm genişliğindedir (Şekil 4.65). Yüksüz durumda kalıcı yerdeğiştirme miktarı 18.39 mm ölçülmüştür. Yatay kuvvet değeri itme ve çekme çevrimi ortalaması yaklaşık 94 kN'dir.

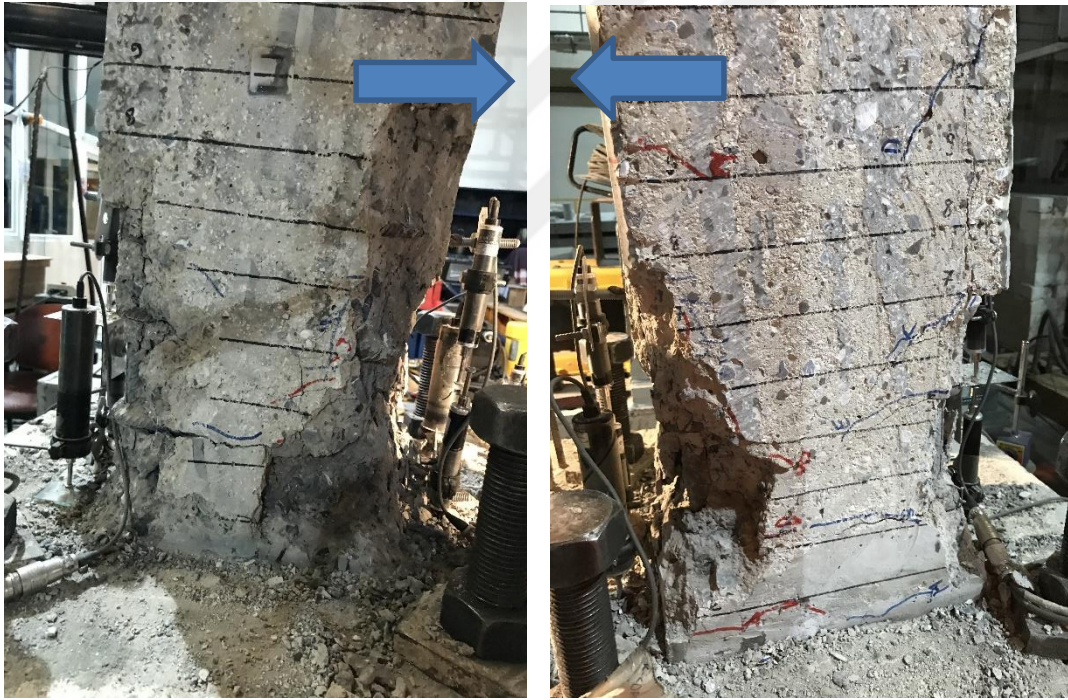


Şekil 4.64 : GDA-90M numunesi %4 öteleme oranı itme kuzey-batı (N-W) köşesindeki hasar görünümü.



Şekil 4.65 : GDA-90M numunesi %4 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

%5 öteleme oranının ilk çekme çevriminde kolon temelinden 150-300 mm yükseklikleri arasındaki yerdeğiştirmeölçerden sağlıklı veri alınamamıştır. İtme çevrimi pikinde kuzey-batı (N-W) köşesinde burkulma başlangıcı saptanmıştır. İkinci itme pikinde ise kuzey-batı (N-W) köşesinde burkulma daha belirgin hale gelmiş, kuzey-doğu (N-E) köşesinde burkulma başlangıcı olduğu görülmüştür (Şekil 4.66). Aynı öteleme oranının ikinci çekme pikinde güney (S) yüzünde her iki donatıda da belirgin burkulma gözlenmiştir (Şekil 4.67). Hedef yerdeğiştirmenin 60 mm olduğu bu öteleme oranında plastik mafsallık bölgesi dışındaki kabuk beton oldukça hasar almıştır. Bu seviyeden sonra ezilmeler ve dökülmeler arttığından dolayı sağlıklı bir şekilde çatlak ölçümü yapılamamıştır. Yatay yük değeri itme ve çekmede yaklaşık %10'unu kaybetmiştir. Her çevrimde yüksüz durumda sistem durdurulmuş ve kalıcı yerdeğiştirme kaydedilmiştir. Bu öteleme oranında kalıcı yerdeğiştirme yaklaşık olarak 30 mm düzeyindedir.



Şekil 4.66 : GDA-90M numunesi %5 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.



Şekil 4.67 : GDA-90M numunesi %5 öteleme oranı çekme güney (S) yüzündeki hasar görünümü.

%6 öteleme oranı 72 mm hedef deplasmanlı itme çevriminde bir önceki adımdan farklı hasara rastlanmamıştır. İlk çekme çevriminde kuzey (N) yüzündeki donatılar burkulmuştur. Çevrimler tamamlandığında yatay kuvvetin %15 düştüğü, kalıcı yerdeğiştirmenin 42.25 mm olduğu görülmüştür. Şekil 4.68'de %6 öteleme oranı sonundaki doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.68 : GDA-90M numunesi %6 öteleme oranı doğu (E) ve batı (W) yüzlerinin hasar görünümü.

Bu adımdan sonra %7 öteleme oranı itme çevrimiyle devam edilmiştir. Pik değerde yatay yük değerinin %45 azaldığı, yüksüz duruma getirildiğinde kalıcı yerdeğiştirmenin 46.01 mm olduğu görülmüştür. İlk çekme çevriminde ise 47 mm yerdeğiştirmede yatay yük değerinin %55 azaldığı görülmüş ve sistem güvenliği açısından hedef yerdeğiştirmeye gidilememiştir.

4.3.4.2 Deney Sonuçları

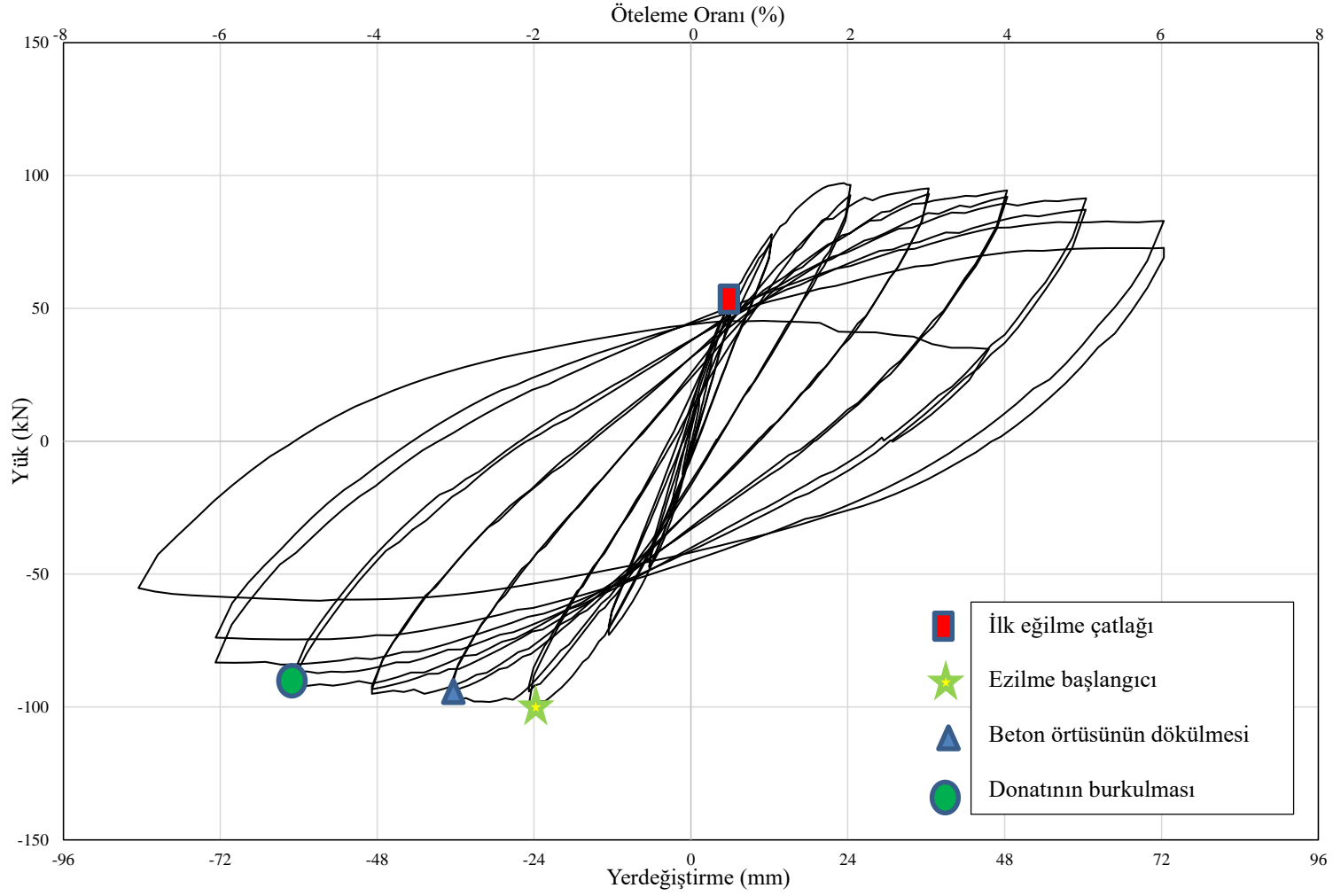
Data toplayıcı aracılığıyla, yükleme sisteminden alınan veri, temel dönmesi ve ötelemesi çıkartılmış ve numunenin yük-yerdeğiştirme ilişkisi grafik haline getirilmiştir (şekil 4.69). Zarf eğrisi, her öteleme oranındaki tüm çevrimlerin yük-yerdeğiştirme ilişkisindeki pik değerlerin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. şekil 4.70’de zarf eğrisi üzerinde beton örtüsünün ilk dökülmesi, donatı burkulması ve ilk çatlak oluşumu grafik üzerinde belirtilmiştir.

Grafik incelendiğinde, %2 öteleme oranına kadar yük artışı görülmüş, daha sonra %6 öteleme oranında %25’ini kaybettiği görülmüştür. Bunun sebebi ise kolonun %2 öteleme oranından sonra plastik mafsalsal bölgedeki deformasyonların artışı, yani plastik davranışın daha hakim olmasından kaynaklı olduğu düşünölmektedir.

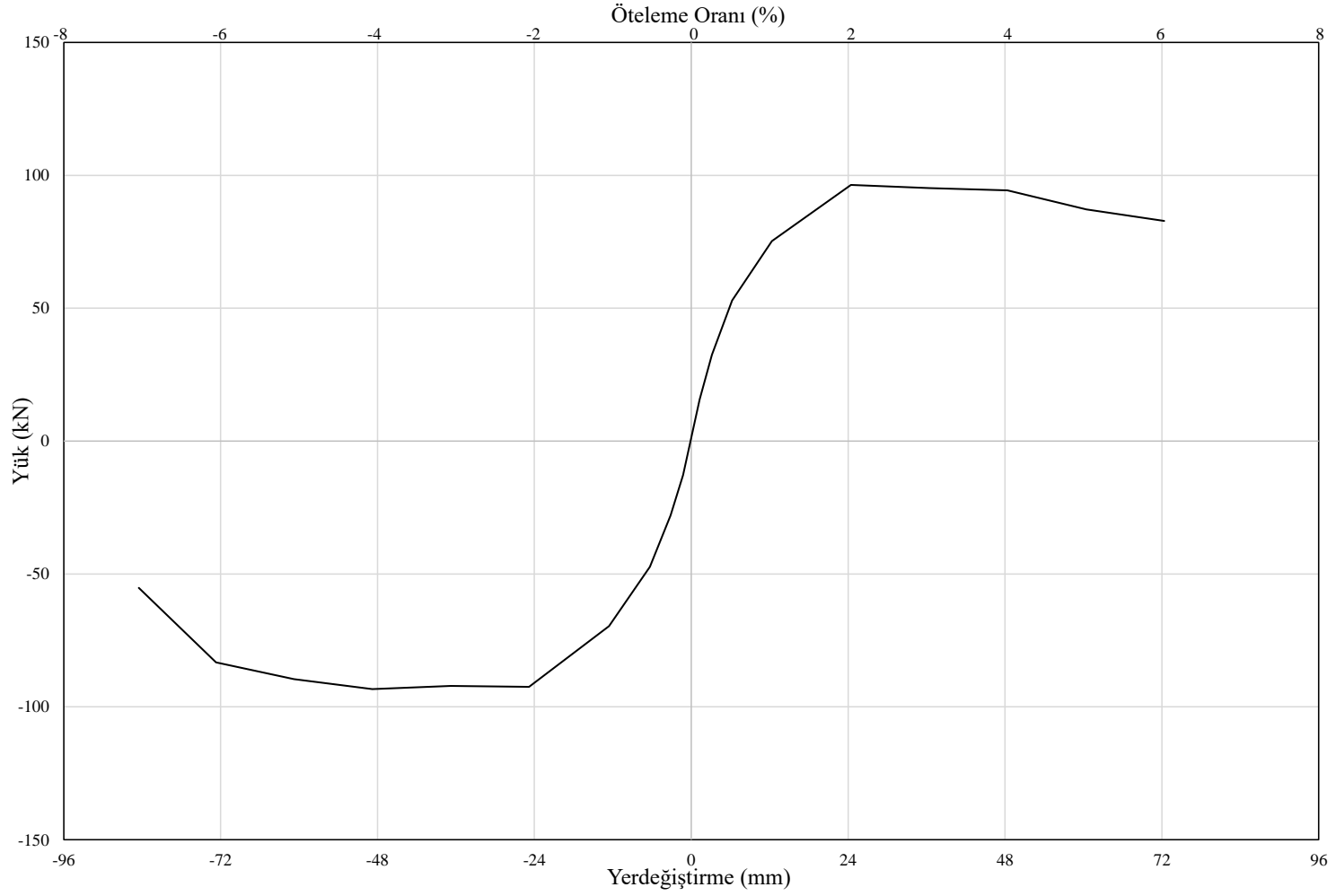
GDA-90M numunesine ait moment-eğrilik ilişkisi 0-20, 20-150 ve 150-300 mm arası olmak üzere üç bölümde incelenmiştir. Moment-eğrilik değerleri tahmin edildiği gibi, kolon temelinden plastik mafsalsal bölgesinin üst kısmına gidildikçe azaldığı görölmektedir (şekil 4.71-72-73).

şekil 4.74’de enerji yutma kapasitesi-öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. şekil 4.75’de ise kalıcı yerdeğişirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi verilmiştir. Her iki grafik bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

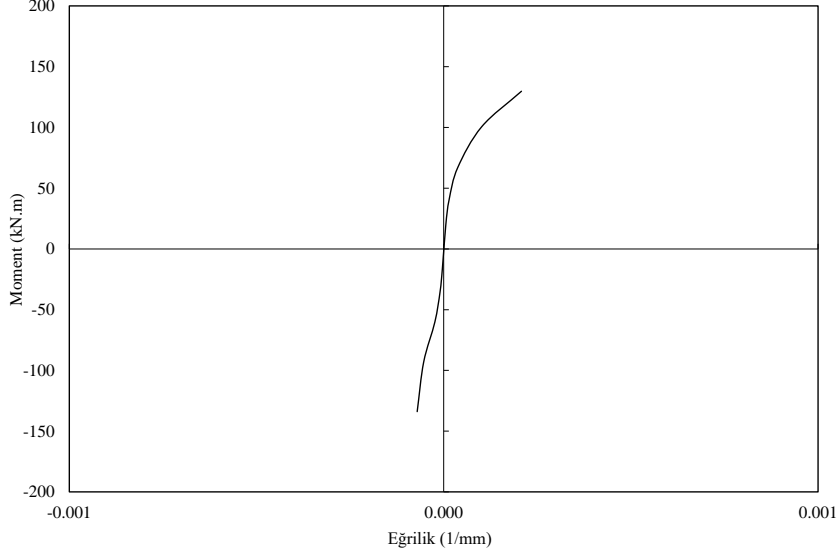
Çizelge 4.8’de numunenin hedef yerdeğiştirme-öteleme oranlarındaki yatay yükü ve düzeltilmiş yerdeğiştirmeler verilmiştir.



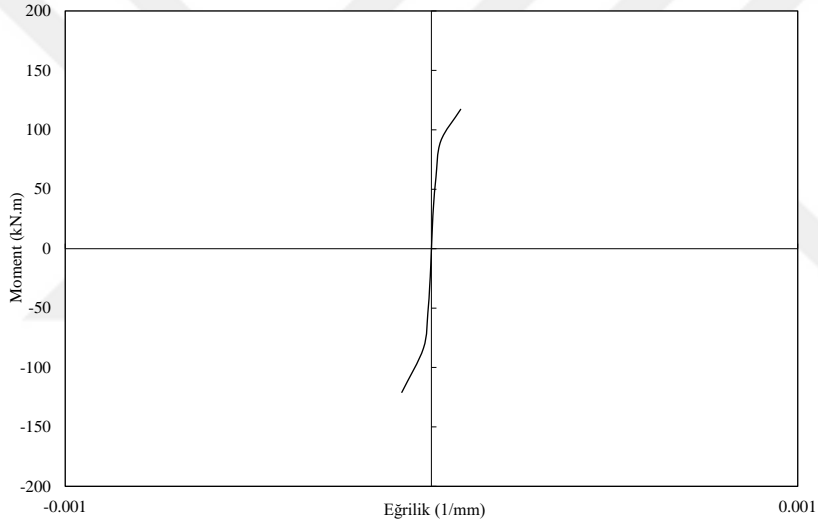
Şekil 4.69 : GDA-90M yük-yerdeğiştirme ilişkisi.



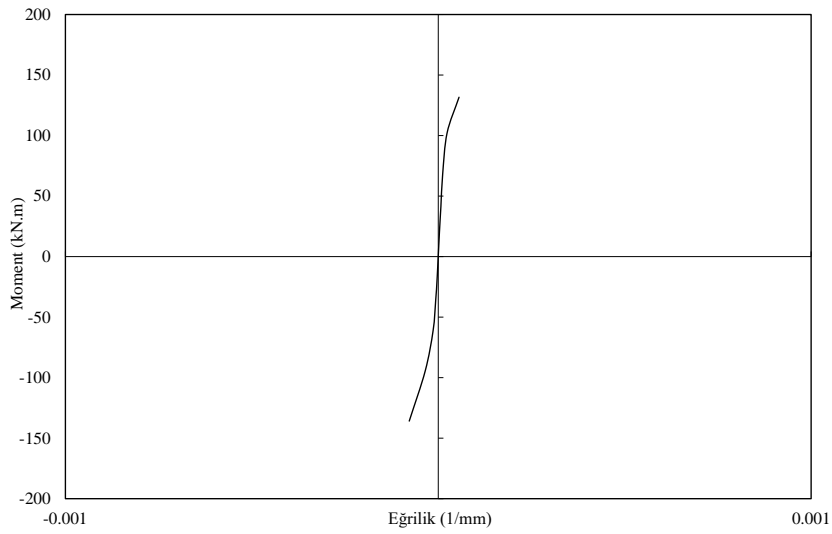
Şekil 4.70 : GDA-90M zarf eğrisi.



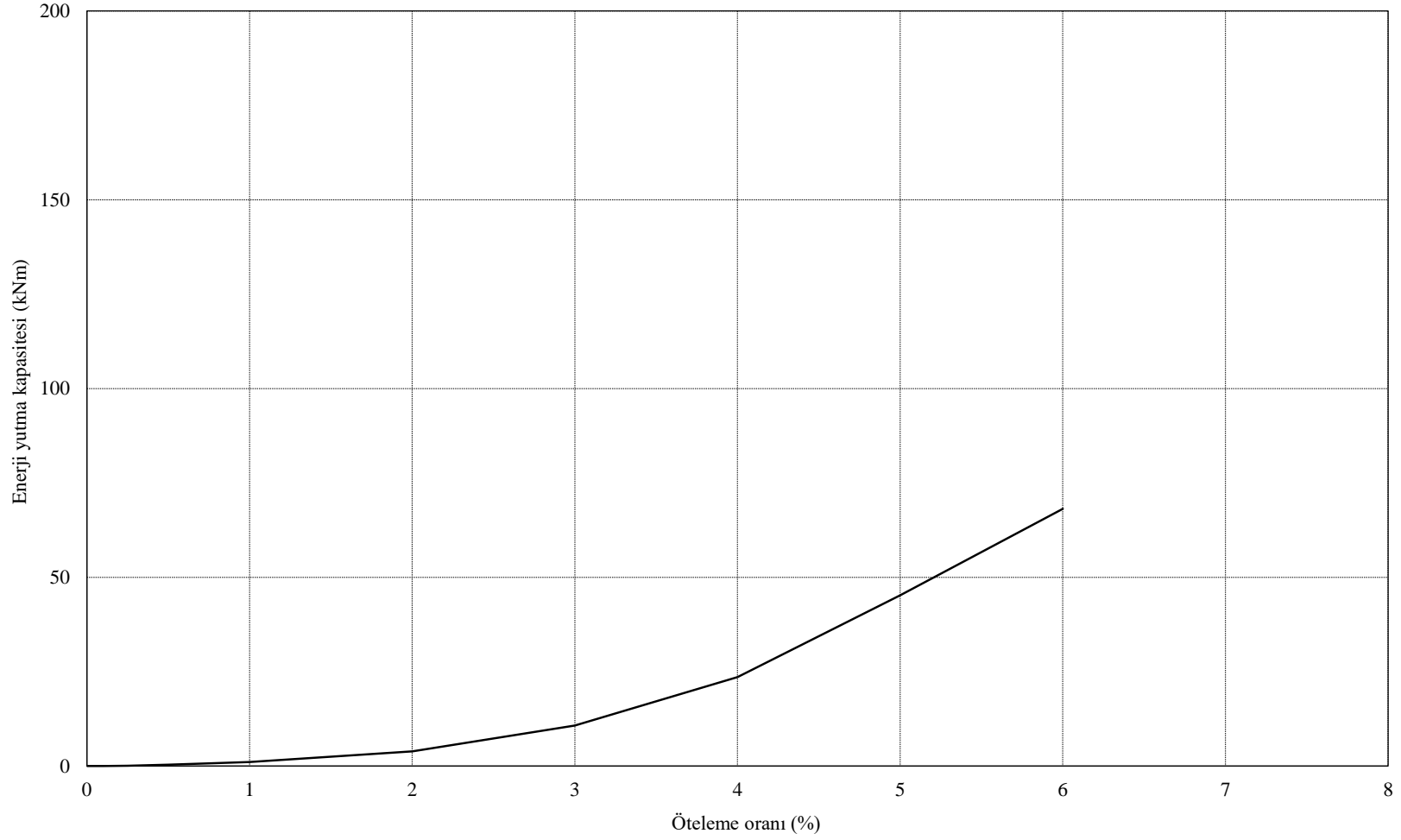
Şekil 4.71 : GDA-90M 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



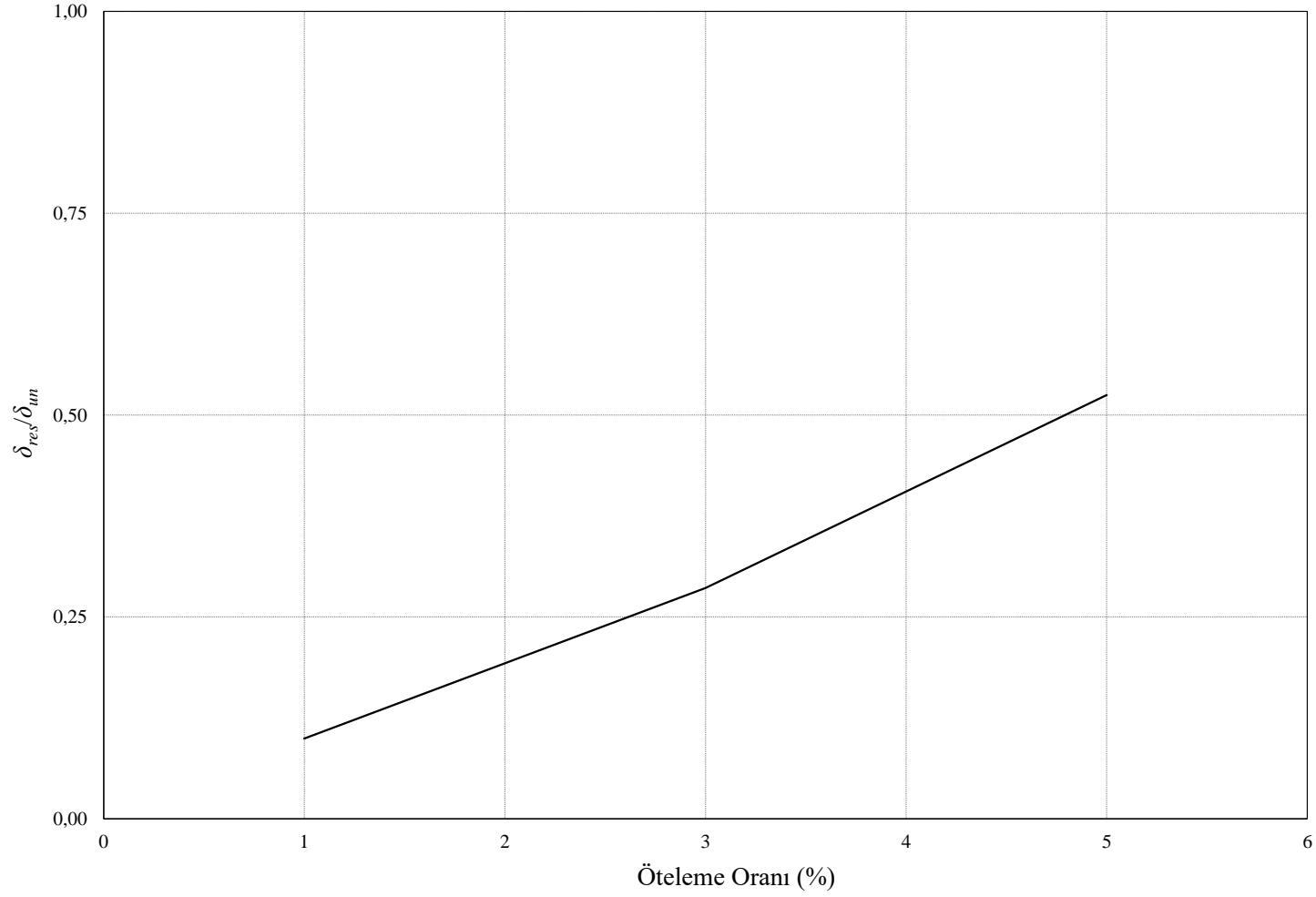
Şekil 4.72 : GDA-90M 20-150 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.73 : GDA-90M 150-300 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.74 : GDA-90M numunesi enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi.



Şekil 4.75 : GDA-90M numunesi kalıcı yerdeğiştirme/hedef yerdeğiştirme oranı öteleme oranı ilişkisi.

Çizelge 4.8, GDA-90M kolonunun her çevriminde P=0 yüksüz durumdayken kalıcı yerdeğıştirmeleri göstermektedir.

Çizelge 4.8 : GDA-90M Numunesi Kalıcı Yerdeğıştirmeler

Öteleme oranı (%)	Hedef yerdeğıştirme (mm)	Kalıcı yerdeğıştirme (mm)
-0.01	-1.2	-0.32
0.01	1.2	0.14
-0.025	-3	-0.69
0.025	3	0.32
-0.05	-6	-0.75
0.05	6	0.53
-0.1	-12	-1.16
0.1	12	0.82
-0.2	-24	-2.72
0.2	24	3.97
-0.3	-36	-8.56
0.3	36	10.24
-0.4	-48	-15.74
0.4	48	-18.88
-0.5	-60	-26.02
0.5	60	30.68
-0.6	-72	-43.37
0.6	72	46.02
-0.7	-84	-59.77

Çizelge 4.9 : GDA-90M Numunesi Hedef Yerdeğiştirme-Yük Değeri

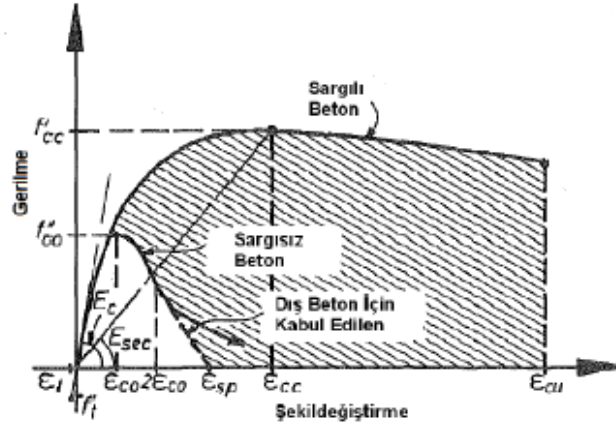
Öteleme oranı (%)	Yatay kuvvet (kN)	Hedef yerdeğiştirme (mm)	Düzeltilmiş yerdeğiştirme (mm)
-0.01	-12.74	-1.2	-1.26
0.01	15.69	1.2	1.27
-0.025	-27.96	-3	-3.16
0.025	32.45	3	3.15
-0.05	-47.27	-6	-6.34
0.05	52.93	6	6.24
-0.05	-47.21	-6	-6.34
0.05	52.07	6	6.23
-0.1	-69.59	-12	-12.57
0.1	75.29	12	12.33
-0.1	-71.57	-12	-12.57
0.1	77.95	12	12.37
-0.2	-92.42	-24	-24.82
0.2	96.43	24	24.42
-0.2	-99.96	-24	-24.85
0.2	-92.58	24	24.41
-0.3	-92.14	-36	-36.82
0.3	95.21	36	36.41
-0.3	-94.15	-36	-36.83
0.3	-93.10	36	36.42
-0.4	-93.36	-48	-48.81
0.4	94.38	48	48.40
-0.4	-92.29	-48	-48.82
0.4	92.03	48	48.42
-0.5	-89.52	-60	-60.78
0.5	87.15	60	60.42
-0.5	-87.30	-60	-60.80
0.5	91.42	60	60.47
-0.6	-83.25	-72	72.72
0.6	82.88	72	72.37
-0.6	-73.91	-72	-72.69
0.6	72.74	72	72.36
-0.7	-55.25	-84	-84.52

4.4 Teorik Hesaplar

Numunelerin tasarlanmasında, yangına maruz kalma süresine bağlı olarak deprem performansının daha iyi gözlemlenebilmesi için uygulanan yatay kuvvete bağlı oluşacak kesme kuvvetinin etriye ve beton tarafından rahat bir şekilde karşılanması

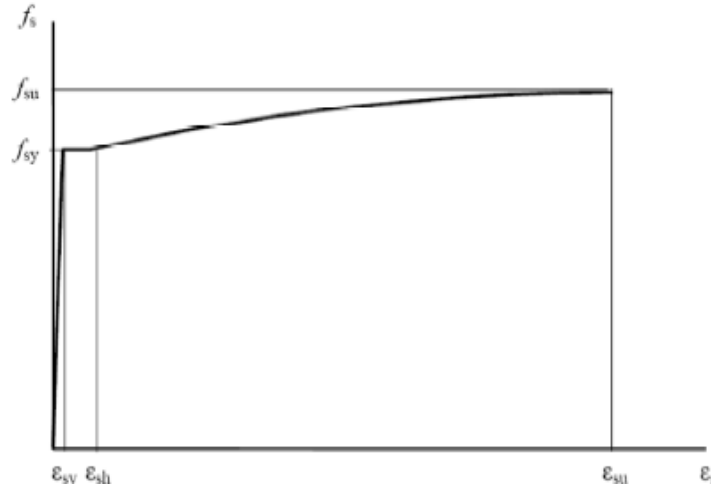
istenmiştir. Moment-eğrilik değerlerinin teorik olarak elde edilebilmesi için XTRACT kesit analiz programı kullanılmıştır.

Program, analizde sargılı beton için Mander Beton Modeli'ni kullanmaktadır. Şekil 4.76'da genel hatlarıyla Mander Beton Modeli gerilme-şekildeğiştirme eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.76 : Mander beton modeli.

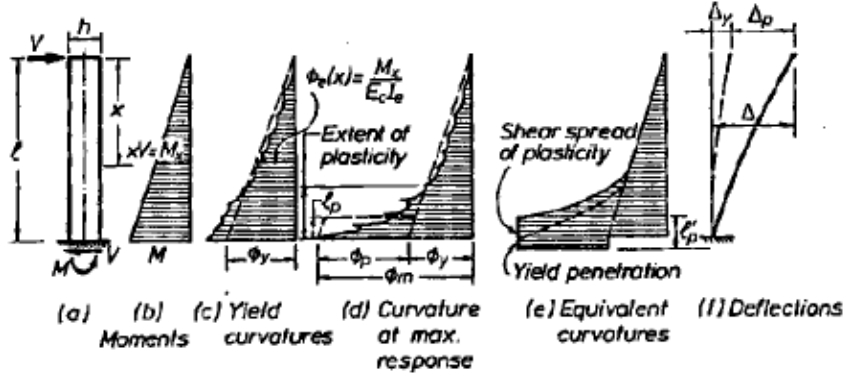
Analiz programında, donatı çeliğinin tanımlanmasında ise Şekil 4.77'de gösterilen donatı çeliği modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.77 : Donatı çeliği modeli.

Programa girilen malzeme bilgileri, genel malzeme bilgileri ve bu deneysel çalışma için üretilmiş malzemelerin deney sonuçlarına dayanmaktadır.

Şekil 4.78’de konsol kolonlarda moment-eğrilik ve yerdeğiştirme ilişkileri, elastik ve plastik bölge olmak üzere iki ayrı bölümde incelenmiştir (T.Paulay, M.J.N Priestley, 1990).



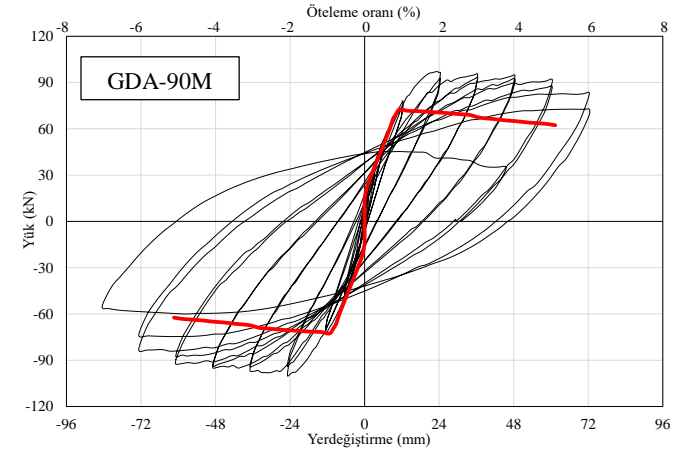
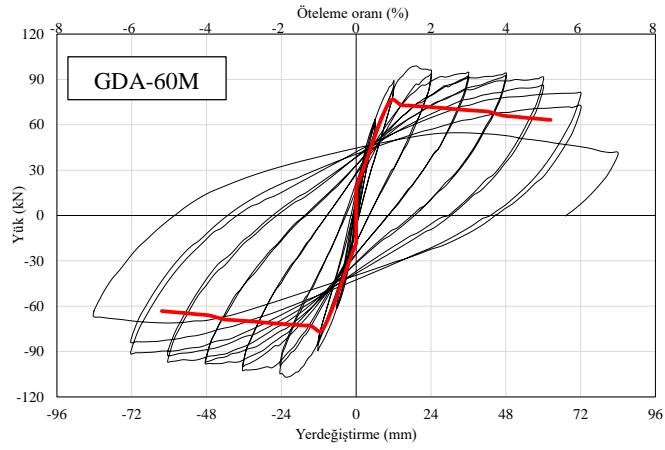
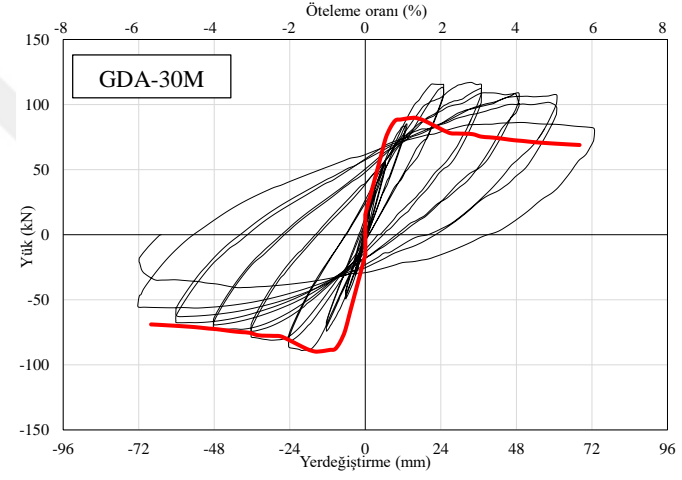
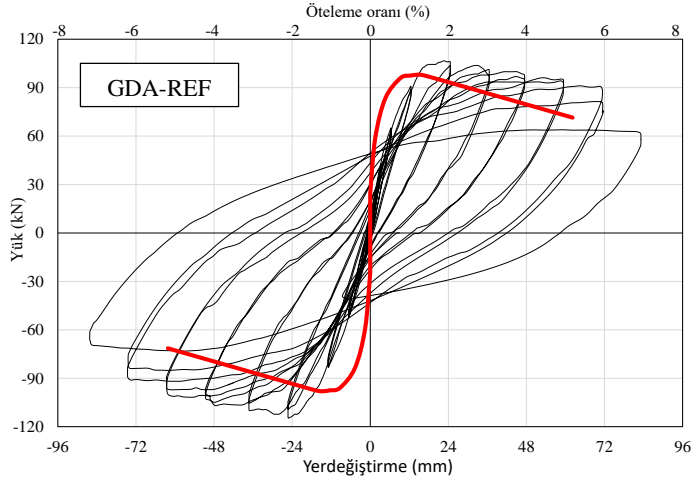
Şekil 4.78 : Konsol kolonlarda moment-eğrilik ve yerdeğiştirme ilişkileri.

Maksimum yatay kuvvete karşılık gelen yük değerine karşılık gelen eğrilik değerine kadar elastik bölge kabulü yapılmış olup, bu noktadan sonraki eğrilikler ise plastik bölge olarak değerlendirilmiştir. Elastik ve plastik bölgelere ayrılmış bölümlerin eğrilik değerlerine bağlı olarak yerdeğiştirme miktarının elde edilmesine ait formüller sırasıyla (4.1) ve (4.2)’de verilmiştir.

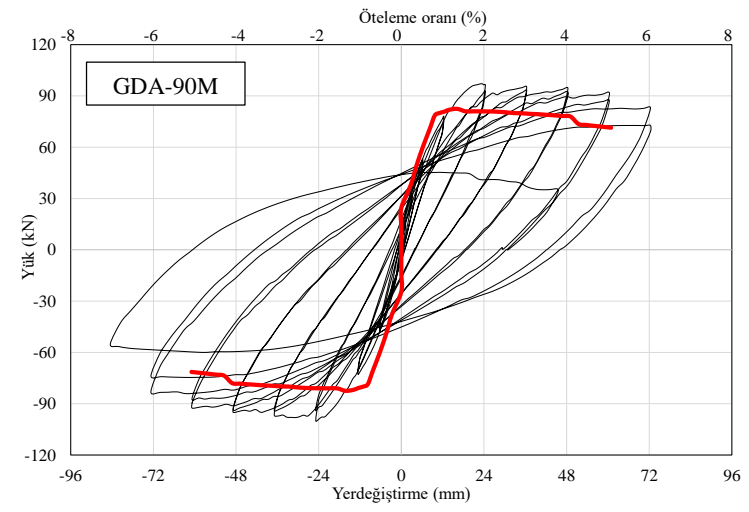
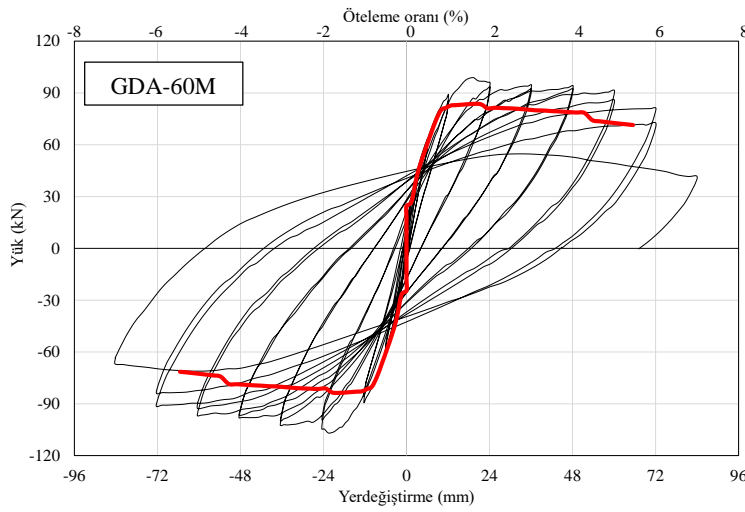
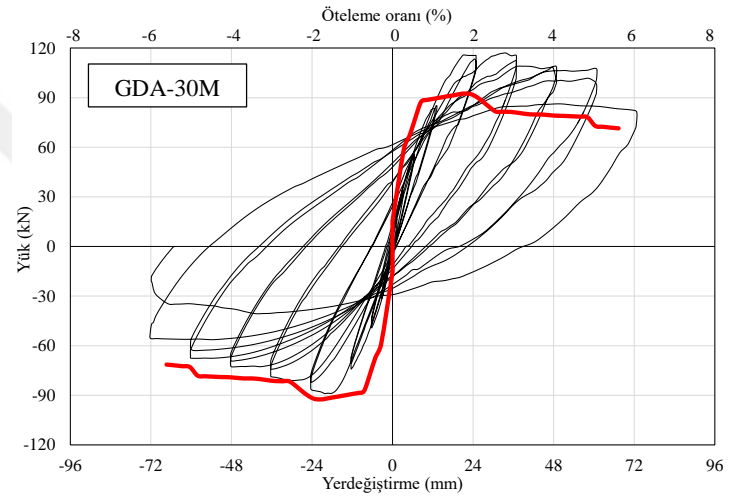
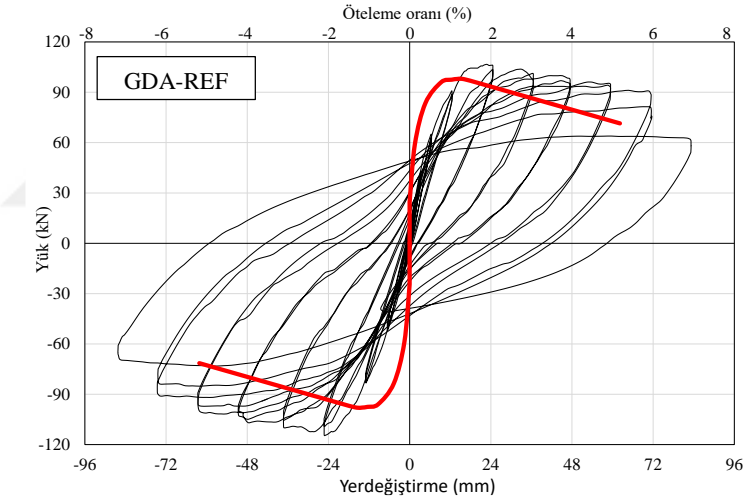
$$\Delta_y = \Phi_y l^2 / 3 \quad (4.1)$$

$$\Delta_p = (\Phi_m - \Phi_y) l_p (l - l_p) \quad (4.2)$$

Tüm yangın senaryolarında test edilen silindir numunelerin basınç dayanımları kolon merkezindeki basınç dayanımı temsil etmediği düşüncesiyle, teorik hesaplamalarda XTRACT modeli iki farklı yaklaşımla oluşturulmuştur. İlk yaklaşımda beton örtüsü yangına maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımı, sargılı bölümde ise referans numunesi ve o yangın senaryosundaki silindir basınç dayanımının ortalaması alınarak her bir yangın senaryosu için oluşacak yük-yerdeğiştirme ilişkisi hesaplanmıştır (Şekil 4.79). İkinci yaklaşımda ise, beton örtüsünün dayanımı ilk yaklaşımla aynı olup, sargılı bölgenin basınç dayanımı referans numunelerinin basınç dayanımı dikkate alınarak yük-yerdeğiştirme ilişkisi hesaplanmıştır (Şekil 4.80).



Şekil 4.79 : Deney numunelerinin teorik yük-yerdeğiştirme ilişkisi (1. durum).



Şekil 4.80 : Deney numunelerinin teorik yük-yerdeğiştirme ilişkisi (2. durum).

5. DEĞERLENDİRME

5.1 Giriş

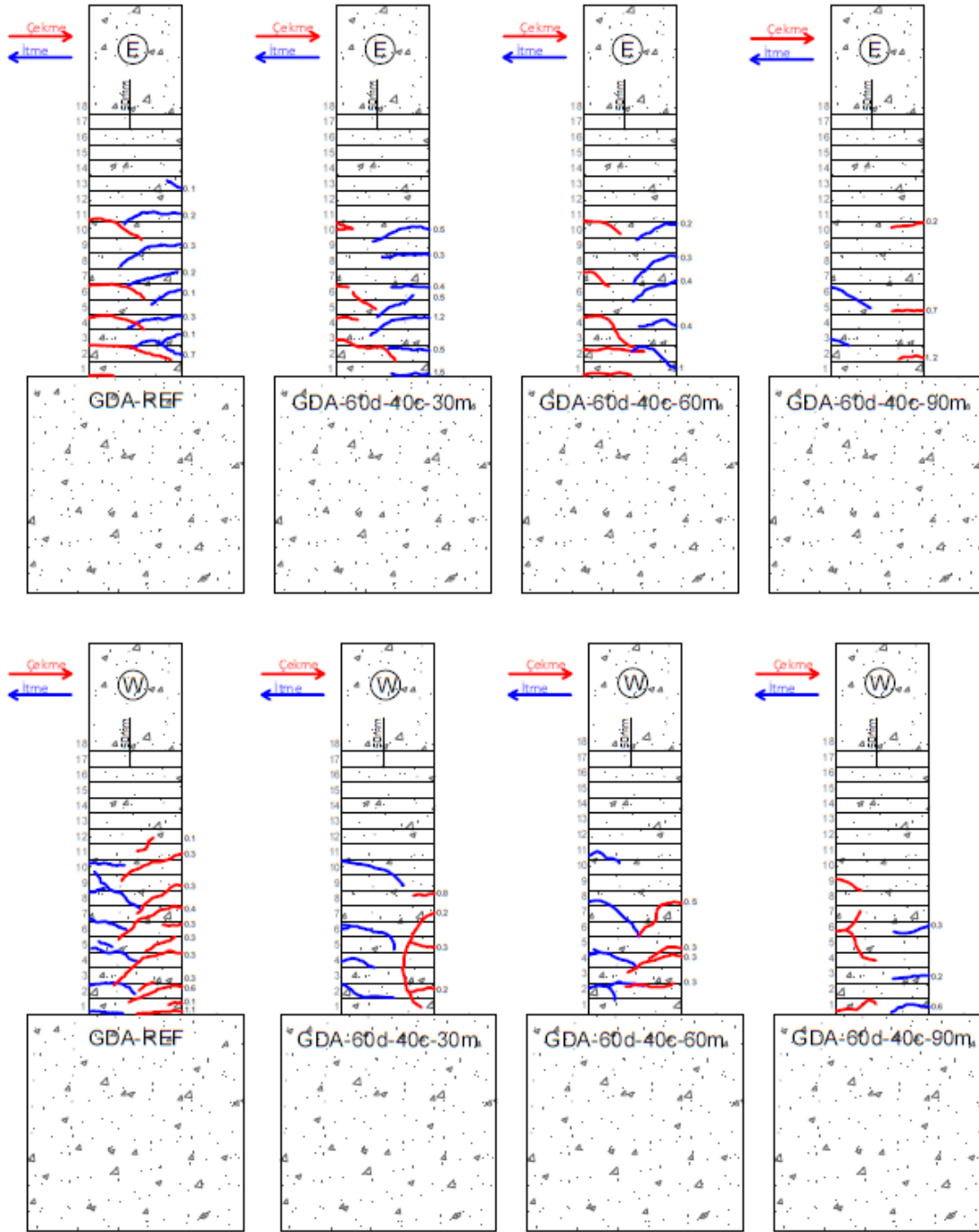
Bu bölümde, deneysel çalışmada test edilmiş 4 tam ölçekli kolon numunesi gözlemler ve ölçümler açısından birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

5.2 Gözlem Hasarlarının Karşılaştırılması

Yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında incelenen kolon numunelerinin tümünde, basit eğilme davranışı ve eğilme çatlakları belirgin bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Tüm numunelerin %2 öteleme oranındaki hasar durumu çizimleri Şekil 5.1'de verilmiştir.

Numunelerin tümü %2 öteleme oranına kadar benzer davranış göstermiş ve maksimum yatay kuvvete bu öteleme oranında ulaşmışlardır. Ayrıca, yangına maruz kalma süresi arttıkça yatay kuvvet taşıma kapasitesinin azaldığı görülmüştür (Şekil 5.3). Tüm numunelerde eğilme kaynaklı göçme modu gözlemlenmiştir.

İlk eğilme çatlağı, beton ezilmesi, beton örtüsünün dökülmesi ve donatı burkulması gibi önemli aşamalar önceki bölümlerde yük-yerdeğiştirme grafiği üzerinde işaretlenmiştir. GDA-REF numunesinde ilk eğilme çatlakları %0.5 itme öteleme oranında taban bölgesinde, GDA-30M numunesinde %0.5 itme öteleme oranında ilk etriye hizasında, GDA-60M numunesinde %1 itme öteleme oranında ikinci ve üçüncü etriye hizasında, GDA-90M numunesi ise %1 itme öteleme oranında temelden 45 cm yüksekliğe kadar dağınık halde çatlaklar mevcuttur. Numunelerin davranışlarını belirleyen, temel kolon birleşiminde, plastik mafsallık bölgesinde oluşan çatlaktır. Tüm numunelerde esas enerji yutumu bu bölgede gerçekleşmiştir. Numunelerin göçme şekillerinin birbiriyle benzerlik gösterdiği, hasar oluşumlarının ve gelişimlerinin yakın davranış gösterdiği söylenebilir. Çizelge 5.1'de tüm kolon numunelerin yarı-statik deneyler sırasında oluşan hasarların hangi öteleme oranında oluştuğunu karşılaştırmalı şekilde göstermektedir.



Şekil 5.1 : Deney numunelerinin %2 öteleme oranındaki hasar durumu.

Çizelge 5.1 : Kolonların öteleme oranına göre hasar karşılaştırması.

Göçme Mekanizması	Numuneler			
	GDA-REF	GDA-30M	GDA-60M	GDA-90M
İlk eğilme çatlakları	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5
Beton örtüsünün ezilmesi	%2	%2	%2	%1
Beton örtüsünün dökülmesi	%3	%2	%3	%3
Donatı burkulması	%6	%5	%5	%5
İtmedeki maksimum dayanım	%2	%2	%2	%2

5.3 Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

Dört numunenin yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 5.3'te ve numunelere ait zarf eğrilerinin gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir. İlk itme çevrimleri incelendiğinde yangına maruz kalma süresi arttıkça numunenin yatay yük taşıma değerinin düştüğü gözlenmiştir. Beklenildiği gibi GDA-REF numunesinin, yangına maruz kalan GDA-30M, GDA-60M ve GDA-90M numunelerinden daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Yangına maruz bırakılan GDA-30M, GDA-60M ve GDA-90M numuneleri arasında, maksimum yatay kuvvetler arasında bariz bir fark gözlemlenmemiştir. Yük taşıma kapasitesindeki azalma, sadece yangına maruz kalma süresiyle doğru orantılı değildir. Bu durum, yangın sonrası soğumaya bağlı olarak donatı çeliğinin dayanım kazanmasına da bağlıdır. GDA-30M numunesi deney düzeneğinde oluşan aksaklık nedeniyle yük ve yerdeğiştirme parametreleri sağlıklı bir şekilde elde edilememiştir. Bu durumu düzeltilebilmek için zarf eğrisinin hesabında her hedef deplasman sonundaki itme ve çekme piklerine karşı gelen yatay yük değerinin ortalaması alınmıştır (Çizelge 5.2). Numunelerin öteleme oranlarındaki dayanım kayıpları dayanım kayıpları Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2 : GDA-30M numunesi düzeltilmiş yatay kuvvet değerleri.

Öteleme oranı (%)	Yatay kuvvet (kN)	Düzeltilmiş yatay kuvvet (kN)
-0.01	-16.5	-15.35
0.01	14.19	15.35
-0.025	-33.94	-32.55
0.025	31.15	32.55
-0.05	-49.22	-54.31
0.05	59.39	54.31
-0.05	-47.58	-51.64
0.05	55.69	51.64
-0.1	-74.13	-78.72
0.1	83.31	78.72
-0.1	-70.73	-76.99
0.1	83.25	76.99
-0.2	-84.23	-99.47
0.2	114.71	99.47
-0.2	-80.85	-96.2
0.2	111.55	96.2
-0.3	-76.58	-95.14
0.3	113.69	95.14
-0.3	-72.5	-91.50
0.3	110.49	91.50
-0.4	-71.03	-89.08
0.4	107.13	89.08
-0.4	-67.38	-84.19
0.4	100.99	84.19
-0.5	-65.64	-86.52
0.5	107.39	86.52
-0.5	-61.05	-78.97
0.5	96.89	78.97
-0.6	-55.56	-68.72
0.6	81.88	68.72

5.4 Moment-Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması

Tüm numunelerin moment eğrilik ilişkileri temel seviyesinden itibaren 0-20 mm, 20-150 mm ve 150-300 mm yükseklikleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekiller 5.5-6-7). Beklenildiği gibi plastik mafsallardaki eğriliklerin fazla, üst kısımlara doğru gittikçe daha az olduğu görülmüştür. Tüm numunelerin 0-20 mm seviyesinde moment-eğrilik grafikleri incelendiğinde tüm kolonların yaklaşık aynı eğriliğe sahip olduğu görülmektedir. Fakat, 20-150 mm seviyesine çıkıldığında yangına maruz kalma süresi arttıkça eğrilik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı durum 150-300 mm arasındaki eğrilikler için de geçerlidir.

5.5 Enerji Yutma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Numunenin, yük yerdeğiştirme grafiklerinin altında kalan alan, lineer olarak toplanması ile numunenin enerji yutma miktarı bulunmuştur. Tüm numunelerin enerji yutma kapasiteleri Şekil 5.8'de toplu halde gösterilmiştir. Tahmin edildiği gibi yangına maruz kalma süresi arttıkça enerji yutma kapasitelerinin düştüğü görülmüştür. Yangın hasarının numunelerinin enerji yutma kapasiteleri üzerindeki etkisi, özellikle %4 öteleme oranından sonra belirginleşmiştir.

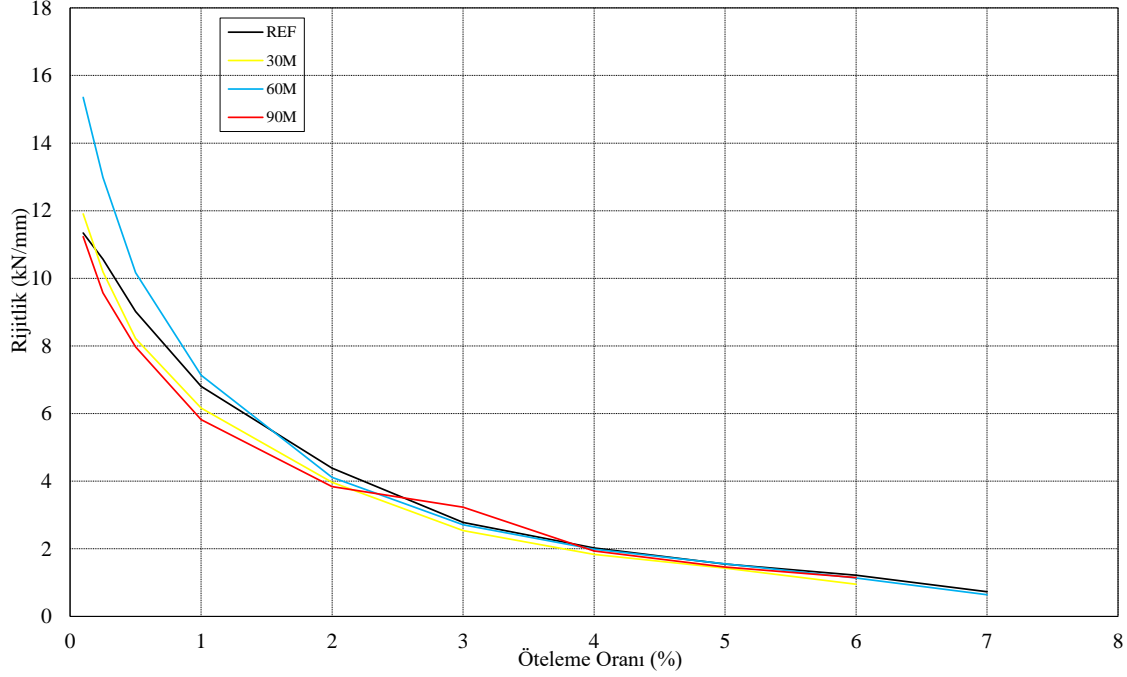
5.6 Kalıcı Yerdeğiştirme/Hedef Yerdeğiştirme Oranı Öteleme Oranı İlişkilerinin Karşılaştırılması

Numunelerin hedef yerdeğiştirmeden sonra, tekrarlı yükleme sırasında yatay yükün sıfır olduğu anki yerdeğiştirmeleri, bir önceki çevrimde gidilen yerdeğiştirmeye bölünerek, öteleme oranlarındaki kalıcı yerdeğiştirme miktarları Şekil 5.9'da görülmektedir ve öteleme oranlarına karşılık gelen oranlar Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

GDA-REF numunesi, yangına maruz kalan GDA-30M, GDA-60M ve GDA-90M kolonlarına göre daha az kalıcı yerdeğiştirmeye sahip olduğu söylenebilir. Yangına maruz kalan numuneler arasında, ilk hedef yerdeğiştirmelerdeki kısmi farklar dışında %3 öteleme oranına kadar benzer davranış gösterdiği, bu öteleme oranından sonra yangına maruz kalma süresi arttıkça kalıcı yerdeğiştirmelerin arttığı gözlemlenmiştir.

5.7 Numunelerin Rijitlik Öteleme Oranı İlişkilerinin Karşılaştırılması

Numunelerin aynı öteleme oranlarındaki itme ve çekme yatay kuvvetinin mutlak toplamının, aynı öteleme oranlarındaki yerdeğiştirmenin işaretli sayısal toplamına bölünmesiyle numunenin o öteleme oranındaki rijitliği elde edilmiştir. Bütün numunelerin rijitlik öteleme ilişkisi toplu halde Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Deney numunelerinin rijitlik öteleme oranı ilişkileri.

İlk öteleme oranlarında, numunelerin rijitlikleri birbirinden farklı değerdedir. GDA-60M numunesinin %1 öteleme oranına kadar rijitliğinin fazla olmasının sebebi boyuna donatı yerleşiminin uygulamada farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Bunun haricinde, numuneler yön değiştiren tekrarlı yüklemeler boyunca benzer rijitlik davranışı göstermişlerdir.

5.8 Numune Sünekliklerinin Karşılaştırılması

Numune düktiliteleri, her numunenin zarf eğrileri üzerinde maksimum yatay kuvvet değerinin %80’ine karşılık gelen Δ_u yerdeğiştirmesinin, Δ_y akma yerdeğiştirmesine bölümünden elde edilmiştir (Sheikh vd, 2005). Bu hesaplamalar her numunenin itme ve çekme bölgeleri için ayrı ayrı yapılarak, ortalama değerler dikkate alınmıştır. Çizelge 5.3’te her numunenin süneklik değerleri verilmiştir.

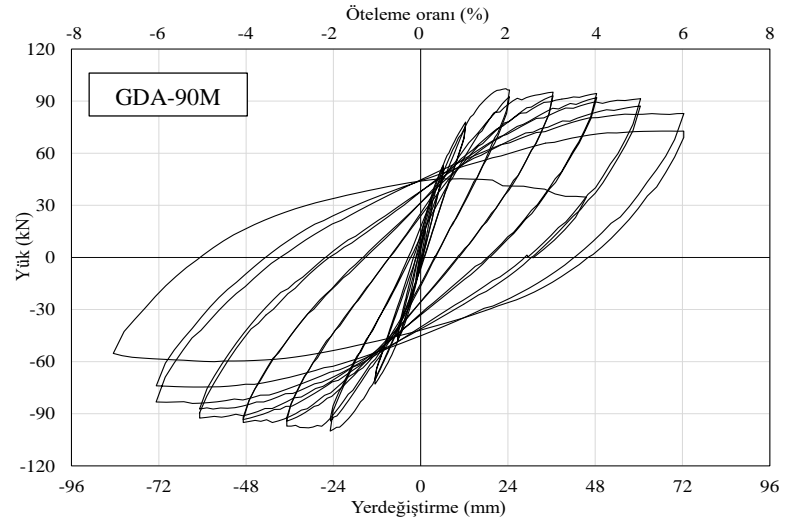
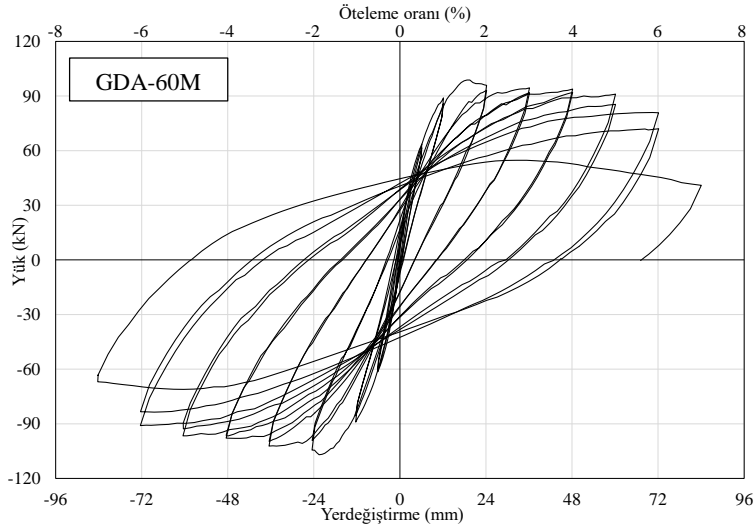
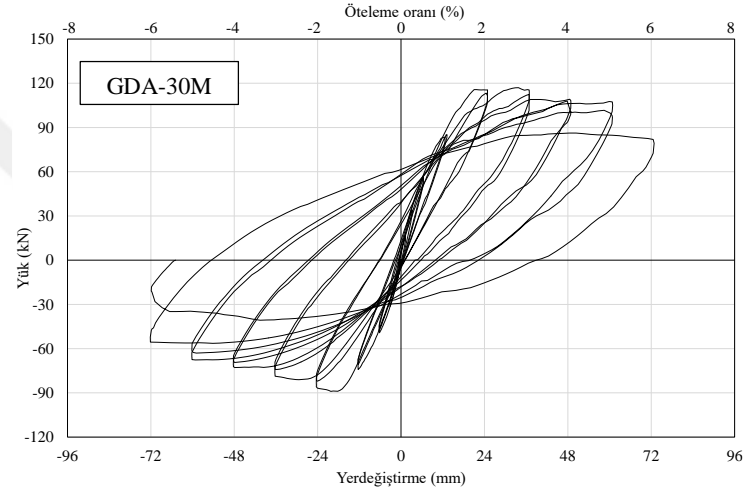
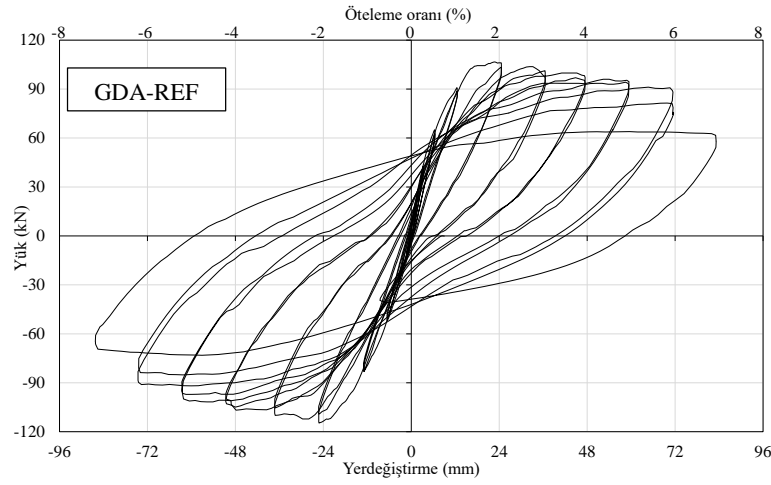
Çizelge 5.3 : Deneş numunelerinin süneklik değeri.

Numune	Düktilite (μ)
GDA-REF	5.30
GDA-30M	5.03
GDA-60M	7.06
GDA-90M	5.69

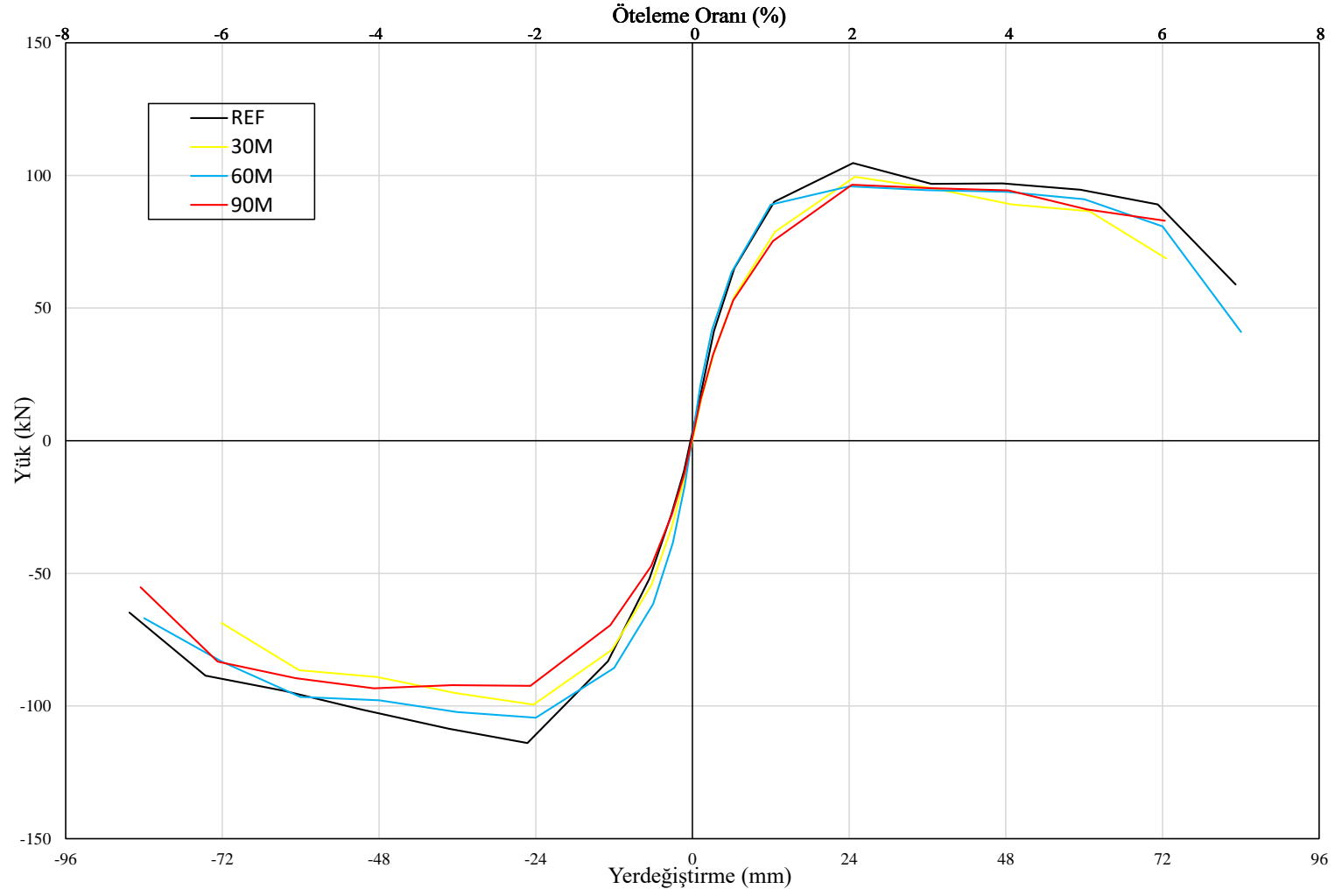
GDA-60M numunesinin süneklik değeri diğer numunelere kıyasla daha fazla olmasının sebebi, donatı yerleşiminin üretimde uygun yapılmamasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Çizelge 5.4 : Deneş numunelerinin dayanım azalması ve kalıcı yerdeğıştirme seviyeleri.

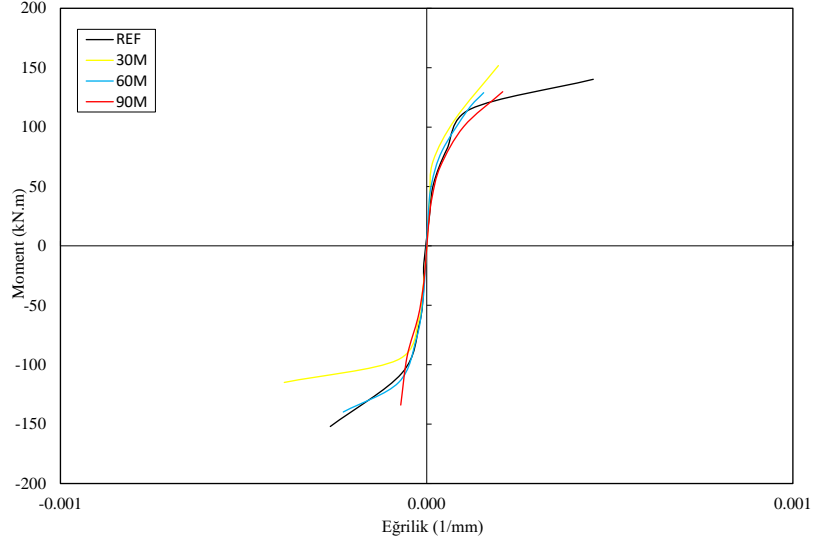
Göçme Mekanizması	Numuneler			
	GDA-REF	GDA-30M	GDA-60M	GDA-90M
Dayanım azalması (-%3)	%8	%8	%5	%8
Dayanım azalması (%3)	%5	%8	%4	%4
Dayanım azalması (-%4)	%9	%15	%8	%8
Dayanım azalması (%4)	%11	%15	%4	%5
Dayanım azalması (-%5)	%17	%21	%14	%13
Dayanım azalması (%5)	%15	%21	%11	%10
Dayanım azalması (-%6)	%29	%31	%20	%26
Dayanım azalması (%6)	%25	%31	%25	%25
İtmedeki maksimum dayanım (kN)	-113.97 (ö.o. -%2)	-99.47 (ö.o. -%2)	-104.43 (ö.o. -%2)	-99.96 (ö.o. -%2)
Çekmedeki maksimum dayanım (kN)	104.6 (ö.o. %2)	99.47 (ö.o. %2)	95.87 (ö.o. %2)	96.43 (ö.o. %2)
δ_{res}/δ_{un} (-%1)	0.110	0.112	0.134	0.185
δ_{res}/δ_{un} (%1)	0.079	0.112	0.107	0.099
δ_{res}/δ_{un} (-%3)	0.142	0.257	0.268	0.235
δ_{res}/δ_{un} (%3)	0.161	0.257	0.286	0.286
δ_{res}/δ_{un} (-%5)	0.327	0.471	0.419	0.420
δ_{res}/δ_{un} (%5)	0.408	0.471	0.492	0.525



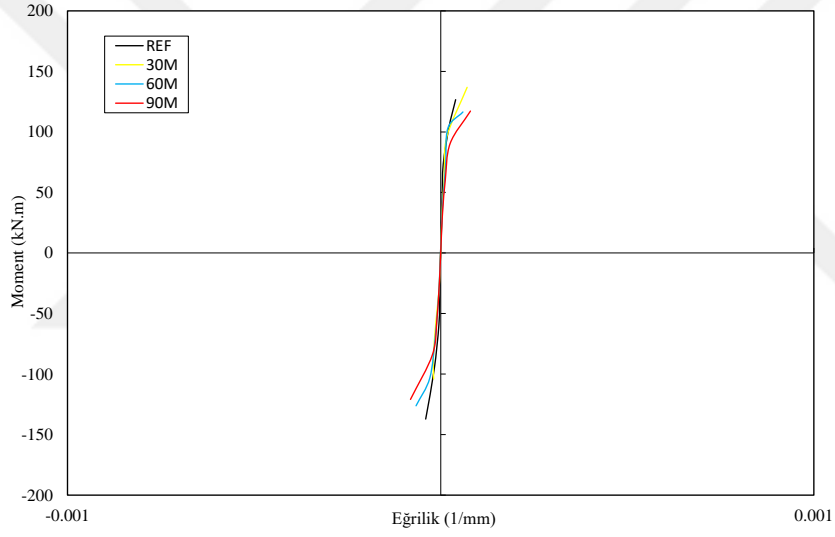
Şekil 5.3 : Deney numunelerinin yük-yerdeğiştirme ilişkileri.



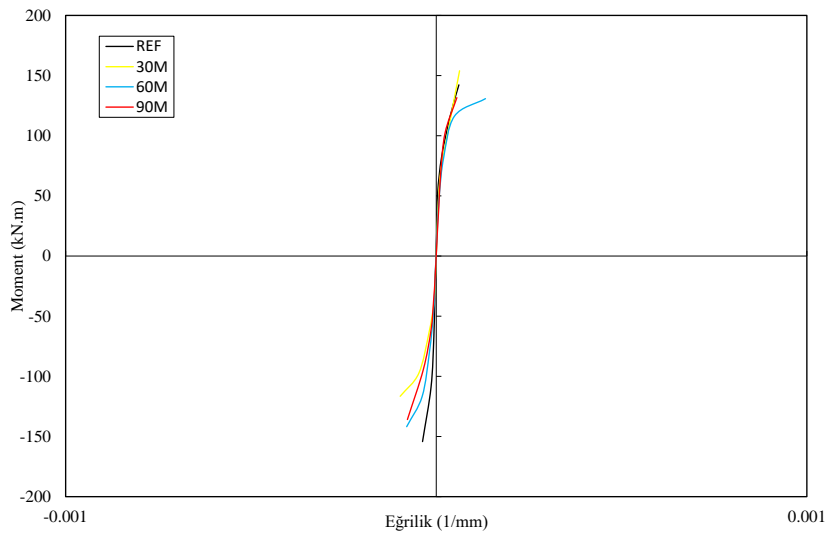
Şekil 5.4 : Deney numunelerinin zarf eğrileri.



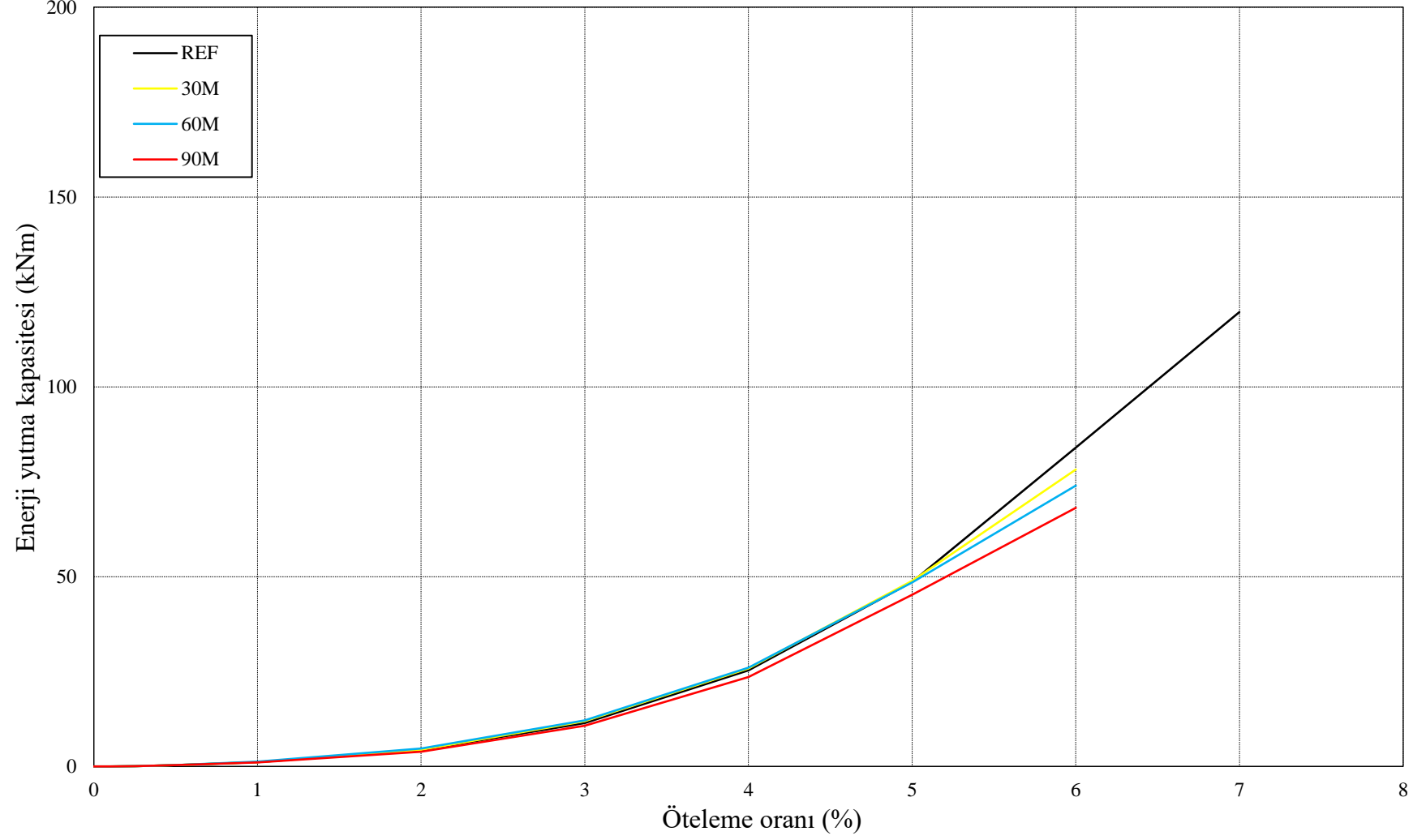
Şekil 5.5 : Deney numunelerinin 0-20 mm arasındaki moment-eğrilik ilişkileri.



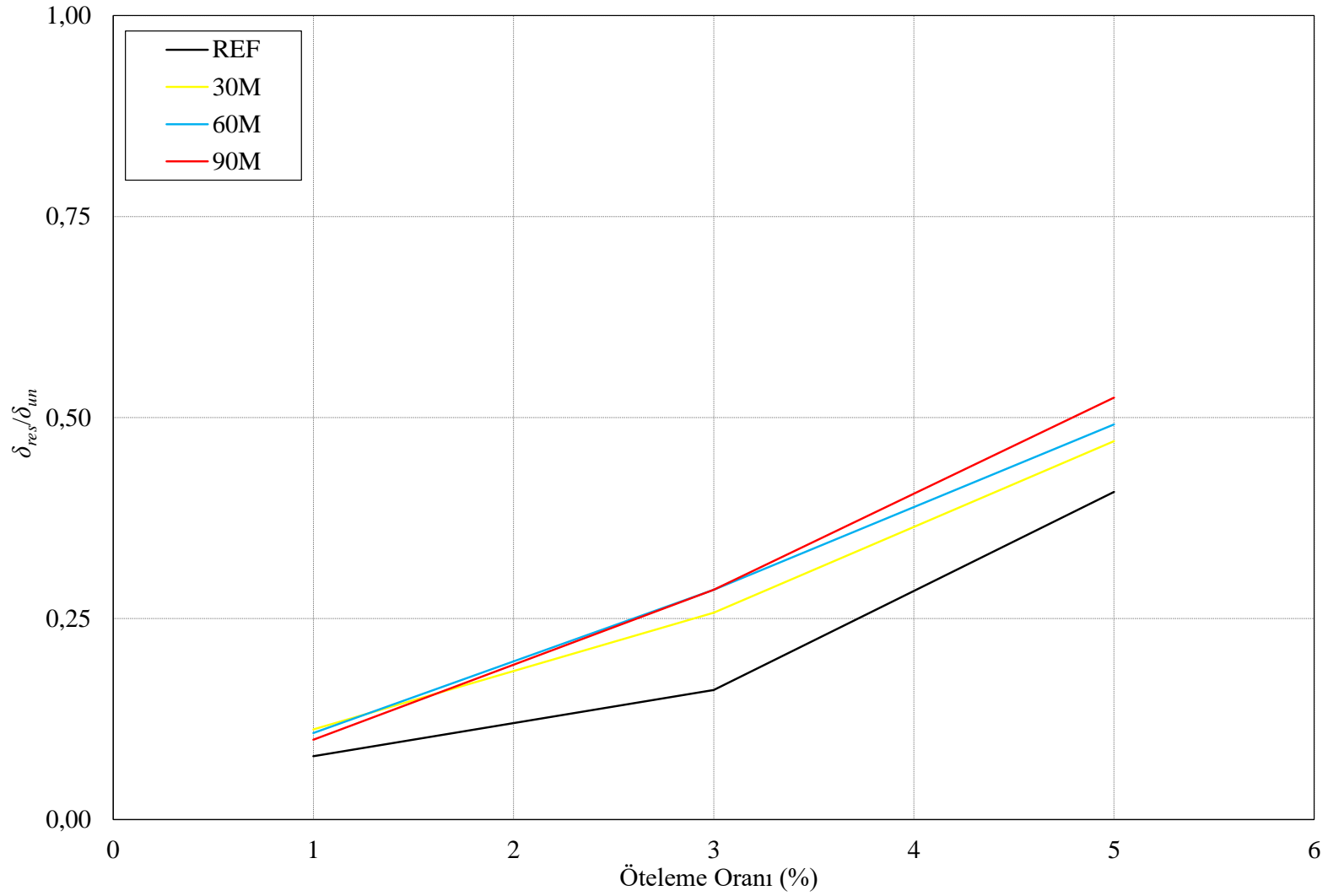
Şekil 5.6 : Deney Numunelerinin 20-150 mm Arasındaki Moment-Eğrilik İlişkileri



Şekil 5.7 : Deney Numunelerinin 150-300 mm Arasındaki Moment-Eğrilik İlişkileri



Şekil 5.8 : Deney numunelerinin enerji yutma kapasitesi öteleme oranı ilişkisi.



Şekil 5.9 : Deneş numunelerinin kalıcı yerdeğişirme/hedef yerdeğişirme oranı öteleme oranı ilişşisi

6. SONUÇLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda geri dönüşümlü agregadan üretilmiş tam ölçekli kolonların yangın etkisi altındaki deprem performansı tekrarlı tersinir yükler altında incelenmiştir. Deney numuneleri yönetmeliklere göre eğilme kritik davranış gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Üretilen dört kolonun üçü Türk Standartları Enstitüsü Tuzla Kampüsü Yangın ve Akustik Laboratuvarında belirli yangın senaryolarında ayrı ayrı yakıldıktan sonra deprem deneyleri yapılmıştır. Numuneler %7 öteleme oranına kadar ulaşabilmişlerdir. Numunelerin; hasar, dayanım, kalıcı yerdeğiştirme, enerji yutma kapasiteleri ve elde edilen veriler önceki bölümlerde ayrıntısıyla incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Tüm numunelerde göçmeyi belirleyen faktörün plastik mafsal bölgesinin hasara uğrayıp, donatı burkulması kaynaklı olduğu görülmüştür.
- 2) Yangına maruz bırakılan kolonlarda, yangın şiddetinin artmasıyla birlikte yatay yük taşıma kapasitelerinde azalma görülmüştür. Bu azalma %6 öteleme oranı için yapılan karşılaştırma sonucunda 60 ve 90 dakika yangına maruz kalan numuneler için sırasıyla %20 ve % 27 olarak belirlenmiştir. Bu azalma, betonun eğilme kapasitesine yaptığı katkı nedeniyle, donatı akmaya ulaşincaya kadar (yaklaşık %2 öteleme oranı) devam etmiş, sonrasında ise referans numunesine benzer bir eğilim izlenmiştir. Bunun nedeni, donatının yangından etkilenmemiş olmasından kaynaklıdır. Eğilme kapasitesine donatının katkısının daha büyük olduğu gerçeğinden yola çıkarak, yeterli paspayı kullanılması ve donatının yangından korunması durumunda GDA ile üretilmiş kolonlarda yangın hasarının can kaybına neden olmayacak şekilde telafi edilmesinin mümkün olacağı değerlendirilmektedir.

- 3) Deneysel numunelerde, yangın hasarının eleman sünekliğine negatif bir etkisinin olmadığı, aksine yangına maruz kalan kolonların eleman sünekliğinde %7 ile %33 arasında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.
- 4) Tüm numunelerin eriştiği %6 öteleme oranı için yapılan karşılaştırma sonucunda, deprem enerjisini karşılama ve söndürme konusunda gösterge konumundaki kümülatif enerji yutma kapasitelerinde, yangın şiddetindeki artışa paralel olarak azalma gözlemlenmiştir. Otuz, altmış ve doksan dakika yangına maruz bırakılan numunelerde enerji yutma kapasitesi açısından sırasıyla %7, %12 ve %19 kayıp gözlemlenmiştir.
- 5) Numuneler arasındaki %5 öteleme oranı için yapılan karşılaştırma neticesinde, kalıcı yerdeğiştirmeler bakımından 30, 60 ve 90 dakika yangına maruz bırakılan numunelerde sırasıyla %15, %21 ve %29 artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yük-yerdeğiştirme çevrimleri incelendiğinde bu sonuç net bir şekilde görülebilir. Referans numunesinde %3 öteleme oranına kadar belirgin bir kalıcı yerdeğiştirme kaydedilmezken, yangına maruz bırakılan numunelerde %1 öteleme oranından itibaren kalıcı yerdeğiştirmeler artma eğilimindedir. Yangın sonrası deprem geçiren GDA ile üretilmiş yapılarda kullanılabilirlik bakımından da bir değerlendirme yapılması gerekli görülmektedir.
- 6) Yapılan deneysel çalışma sonucunda, GDA ile üretilmiş betonarme yapılarda yeterli paspayı kullanılması durumunda, 30, 60 ve 90 dakikalık standart ISO-834 yangınları için yangın sonrası deprem davranışlarının basit onarım yöntemleriyle iyileştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Süneklik bakımından herhangi bir kayıp olmaması ve yatay yük taşıma kapasitelerinde gözlemlenen kayıpların yönetmelikler tarafından verilen sınırlara kıyasla ileri öteleme oranlarında meydana gelmiş olması nedeniyle, GDA ile üretilmiş kolonların yangın sonrası deprem performansları açısından kullanımında bir sakınca olmadığı görülmüştür. Benzer performans kayıplarının normal agrega ile üretilmiş yapı elemanlarında da görülebileceği öngörülebilir.

Yapılan bu değerlendirme, deneye tabi tutulan 4 adet numune için geçerlidir. Daha genel yargıya ulaşmak için farklı parametreler altında deney sayıları arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Cree, D., Green, M., & Noumowé, A.** (2013). Residual strength of concrete containing recycled materials after exposure to fire: a review. *Construction and Building Materials*, 45, 208-223.
- Lard, C. F., Hall, C. R., & Salin, V.** (2001). The Economic Impact Of The Red Import Fire Ant On The Homescape, Landscape, And The Urbanscape Of Selected Metroplexes Of Texas (No. 23994). *Texas A&M University, Department of Agricultural Economics*.
- Kou, S. C., Poon, C. S., & Chan, D.** (2007). Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(9), 709-717.
- Evangelista, L., & De Brito, J.** (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and concrete composites*, 29(5), 397-401.
- López-Gayarre, F., Serna, P., Domingo-Cabo, A., Serrano-López, M. A., & López-Colina, C.** (2009). Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties. *Waste management*, 29(12), 3022-3028.
- Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S.** (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. *Sustainability*, 2(5), 1204-1225.
- Ajdukiewicz, A., & Kliszczewicz, A.** (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and concrete composites*, 24(2), 269-279.
- Rahal, K.** (2007). Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. *Building and environment*, 42(1), 407-415.
- Yang, K. H., Chung, H. S., & Ashour, A. F.** (2008). Influence of Type and Replacement Level of Recycled Aggregates on Concrete Properties.
- Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X.** (2012). An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). *Construction and Building Materials*, 31, 364-383.
- Soleimani F., McKay C., Yang C.S.W, Kurtis E., DesRoches R., & Kahn L.F.** (2016) Cyclic Testing and Assessment of Columns Containing Recycled Concrete Debris. *ACI Structural Journal*, 113-S86
- Saribas, I., Goksu, C., & Ilki, A.** Seismic Performance of Full-Scale Recycled Aggregate Concrete Columns.

- Xiao, J. Z., & Zhang, C. Z.** (2007). Fire damage and residual strengths of recycled aggregate concrete. In *Key Engineering Materials* (Vol. 348, pp. 937-940). Trans Tech Publications.
- Zega, C. J., Villagrán-Zaccardi, Y. A., & Di Maio, A. A.** (2010). Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. *Materials and Structures*, 43(1-2), 195-202.
- Ho, C. M., & Tsai, W. T.** (2011). Recycled concrete using crushed construction waste bricks subject to elevated temperatures. In *Advanced Materials Research* (Vol. 152, pp. 1-10). Trans Tech Publications.
- Vieira, J. P. B., Correia, J. R., & De Brito, J.** (2011). Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled concrete coarse aggregates. *Cement and Concrete Research*, 41(5), 533-541.
- Malhotra, H. L.** (1956). The effect of temperature on the compressive strength of concrete. *Magazine of concrete research*, 8(23), 85-94.
- Harada, T., Takeda, J., Yamane, S., & Furumura, F.** (1972). Strength, elasticity and thermal properties of concrete subjected to elevated temperatures. *Special Publication*, 34, 377-406.
- Abrams, M. S.** (1971). Compressive strength of concrete at temperatures to 1600F. *Special Publication*, 25, 33-58.
- Hertz, K. D.** (2005). Concrete strength for fire safety design. *Magazine of Concrete Research*, 57(8), 445-453.
- Memon, M. S., & Sheikh, S. A.** (2005). Seismic resistance of square concrete columns retrofitted with glass fiber-reinforced polymer. *ACI structural journal*, 102(5), 774.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Göktuğ Ünal
Doğum Tarihi ve Yeri : Erzincan 1989
E-posta : goktug.unal@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği