

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN DOLGU
DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN TERSİNİR TEKRARLI YÜKLER
ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemil ÖZKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

MART 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN DOLGU
DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN TERSİNİR TEKRARLI YÜKLER
ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cemil ÖZKAN
(501091219)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU

MART 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091219 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cemil ÖZKAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN TERSİNİR TEKRARLI YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat DEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Mart 2012**
Savunma Tarihi : **23 Mart 2012**

Dedem'e,

ÖNSÖZ

Doğal afetler arasında en zarar verici olanı depremlerdir. Depremler, dünyanın oluşmasından günümüze hep olmuş ve dünyanın sonuna kadar hep olacaktır. Çünkü, yeryüzü sürekli hareket halinde olan plaklardan oluşmuştur. Bu plakların hareketi insan gücü ile engellenemeyeceğinden, depremlerin meydana gelmesi de hiçbir zaman engellenemeyecektir.

Ancak depremlerin engellenememesi, depremlerin sürekli can ve mal kaybına sebep olacağı anlamına gelmez. Depremlere karşı tedbirli ve bilinçli olmak, depremlere dayanıklı yapılar inşa etmek ve deprem bölgelerinden uzak yerleşim yerleri oluşturmak depremlerin meydana getireceği riskleri ortadan kaldıracaktır. Bunları yapabilmek için de çeşitli mühendislik hizmetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Donanımlı mühendislik hizmetlerinden asgari düzeyde yararlanmış yapılar, depremlerde kolay kolay can kaybına sebebiyet vermez. Çünkü mühendislikte ilk görev, yapıları can kaybı olmayacak şekilde projelendirmek ve inşa etmektir.

Mühendisliğin bir diğer görevi ise depremlere ve diğer tüm doğal afetlere karşı dayanıklı yapıları, minimum ekonomik koşullarla oluşturabilmektir. Bunun için mühendislerin sürekli arayış içinde olması ve doğal afetlerde can kaybının olmaması için ekonomik alternatif koşullar ve çözümler üretebilmesi gerekmektedir.

Dolayısıyla bu çalışmayı, depremlere veya başka herhangi bir doğal afete karşı zayıf olan yapıların güçlendirilmesine alternatif bir çözüm oluşturabilmek amacıyla hazırladım. Deneysel olarak çalıştığım bu tezde, çimento esaslı kompozitlerin, zayıf yapıların güçlendirilmesinde daha ekonomik bir güçlendirme yöntemi olarak kullanılmasını amaçladım. Hazırladığım bu çalışmanın, doğal afetler karşısında insanların yararlanabileceği bir kaynak olmasını diliyorum.

Ayrıca bu tez çalışmasının meydana gelmesinde değerli fikir ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU'na teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Aynı zamanda laboratuvar çalışmalarında beraber çalıştığım ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın İnş. Yük. Müh. M. Selim ÖKTEN'e ve İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı, başta Sayın Lab. Teknisyeni Ahmet ŞAHİN ve Sayın İnş. Yük. Müh. Hakan SARUHAN olmak üzere tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Ve son olarak, her ihtiyaç duyduğumda desteği ve sevgisiyle yanımda olan anneme ve ailemin tüm bireylerine ayrı ayrı sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2012

Cemil ÖZKAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xxiii
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	2
1.4 CMG sisteminin özellikleri.....	5
2. DOLGU DUVAR NUMUNE DENEYLERİ	7
2.1 Genel Bilgi	7
2.2 Duvar Numunelerinin Üretimi	8
2.2.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri	9
2.2.2 Güçlendirilmiş duvar numuneleri.....	9
2.3 Dolgu Duvar Güçlendirme Şekilleri ve Grupları	11
2.4 Malzeme Deneyleri	15
2.4.1 Harç deneyleri	15
2.4.2 Tuğla deneyleri.....	16
2.4.3 Güçlendirme (CMG) harcı deneyleri.....	17
2.5 Deney Düzeneği	18
2.5.1 Yükleme düzeneği	18
2.5.2 Ölçüm Düzeneği.....	19
2.6 Diyagonal Kayma Deneyleri.....	20
2.6.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri (V.Grup) kayma deneyleri	22
2.6.2 Güçlendirilmiş duvar kayma deneyleri.....	25
2.6.2.1 I. Grup numuneleri kayma deneyleri	25
2.6.2.2 II.Grup numuneleri kayma deneyleri	29
2.6.2.3 III. Grup numuneleri kayma deneyleri	33
2.6.2.4 IV.Grup numuneleri kayma deneyleri	37
2.7 Dolgu Duvar Numuneleri Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	41
2.7.1 KN ve S-2-1 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	41
2.7.2 KN ve S-2-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	43
2.7.3 KN ve S-1-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	44
2.7.4 KN ve S-D-2-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	45
2.8 Sonuç	46
3. DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVE NUMUNE DENEYLERİ ..51	
3.1 Genel Bilgi	51

3.2 Betonarme Çerçevelerin Üretimi	53
3.2.1 Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi	55
3.3 Numunelerin Genel Özellikleri.....	58
3.3.1 Güçlendirilmemiş numuneler	61
3.3.2 Güçlendirilmiş numuneler	61
3.4 Malzeme Deneyleri	63
3.4.1 Sıva harcı deneyleri.....	64
3.4.2 Tuğla deneyleri	65
3.4.3 CMG harcı deneyleri.....	66
3.4.4 Donatı çekme deneyi.....	67
3.4.5 Beton basınç ve elastisite modülü deneyleri.....	68
3.5 Betonarme Çerçeve Numuneleri Deney Düzeneği	70
3.5.1 Ölçüm düzeneği	70
3.5.2 Yükleme düzeneği.....	73
3.5.3 Yükleme protokolü	75
3.6 Statik Çerçeve Deneyleri.....	76
3.6.1 Çıplak/Yalın çerçeve deneyi.....	77
3.6.2 Dolgu duvarlı çerçeve deneyi	82
3.6.3 SRG-2-1-A kodlu çerçeve deneyi.....	88
3.6.4 SRG-2-2-A kodlu çerçeve deneyi.....	93
3.6.5 SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve deneyi.....	98
3.6.6 SRG-1-2 kodlu çerçeve deneyi.....	103
3.7 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	109
3.7.1 Çıplak betonarme çerçeve	109
3.7.2 Dolgu duvarlı betonarme çerçeve	111
3.7.3 SRG-2-1-A kodlu betonarme çerçeve	114
3.7.4 SRG-2-2-A kodlu betonarme çerçeve	116
3.7.5 SRG-D-2-2-A kodlu betonarme çerçeve	119
3.7.6 SRG-1-2 kodlu betonarme çerçeve	121
3.8 Numune Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Sonuç	124
4. SONUÇ	129
KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	133

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
AR	: Alkali Resistant (Alkali Dayanımlı)
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM E 519-02	: Yığma Yapılar İçin Kayma Gerilmesi Deney Tekniği
BA	: Betonarme
CMG	: Cement Based Matrix-Coated Alkali Resistant Glass Grid System (Alkali Dayanımlı Cam Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit)
CFRC	: Karbon tekstil ile güçlendirilmiş betonarme (Carbon Fiber Reinforced Concrete)
CFRP	: Karbon Lif Takviyeli Polimer
DBYBHY'07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
FRP	: Lif Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Lif Takviyeli Polimer
LVDT	: Linear Variable Differential Transducer (Yerdeğiştirme ölçer)
RC	: Reinforced Concrete
SRG45	: Strengthen Reinforced Grid
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS	: Türk Standartları
TS-EN	: Türk Standartları-European Norm

SEMBOLLER

A_n	: Duvar net en kesit alanı
P	: Uygulanan yük
w	: Numune genişliği
h	: Numune yüksekliği
t	: Numune toplam kalınlığı
n	: Numune enkesit alanı doluluk oranı
τ	: Kayma gerilmesi
G	: Kayma modülü
γ	: Kayma şekil değıştirmesi
ΔV	: Numunede, yerdeğıştirme ölçerlerden elde edilen düşey ölçüm boyunda meydana gelen değışim
ΔH	: Numunede, yerdeğıştirme ölçerlerden elde edilen yatay ölçüm boyunda meydana gelen değışim
g_v	: Yerdeğıştirme ölçerin başlangıç düşey boyu
g_h	: Yerdeğıştirme ölçerin başlangıç yatay boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : CMG sistemindeki alkali dayanımlı cam liflerden oluşan tekstil malzemesi ağın (SRG45) mekanik ve fiziksel özellikleri.	6
Çizelge 1.2 : CMG sistemindeki çimento hamuru içeriği ve oranları.	6
Çizelge 2.1 : Deney grupları.	14
Çizelge 2.2 : Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan beton harcı basınç deneyi sonuçları.	16
Çizelge 2.3 : Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlaların delik doğrultusunda yapılan basınç deneyi sonuçları.	17
Çizelge 2.4 : Duvar numunelerinin güçlendirmesinde kullanılan CMG sistemindeki çimento hamuru standart basınç deneyi sonuçları.	18
Çizelge 2.5 : KN numuneleri deney sonuçları.	23
Çizelge 2.6 : KN numuneleri istatistiksel değerleri.	23
Çizelge 2.7 : S-2-1 numuneleri deney sonuçları.	25
Çizelge 2.8 : S-2-1 numuneleri istatistiksel değerleri.	26
Çizelge 2.9 : S-2-2 numuneleri deney sonuçları.	29
Çizelge 2.10 : S-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.	30
Çizelge 2.11 : S-1-2 numuneleri deney sonuçları.	33
Çizelge 2.12 : S-1-2 numuneleri istatistiksel değerleri.	33
Çizelge 2.13 : S-D-2-2 numuneleri deney sonuçları.	38
Çizelge 2.14 : S-D-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.	38
Çizelge 2.15 : S-2-1 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.	42
Çizelge 2.16 : S-2-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.	44
Çizelge 2.17 : S-1-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.	45
Çizelge 2.18 : S-D-2-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.	46
Çizelge 3.1 : Üretilen BA çerçeve numuneleri ve özellikleri.	60
Çizelge 3.2 : Dolgu duvarların üretiminde kullanılan harcın basınç deneyi sonuçları.	65
Çizelge 3.3 : Dolgu duvarların üretiminde kullanılan tuğlaların basınç deneyi sonuçları.	66
Çizelge 3.4 : CMG sistemindeki çimento hamuru basınç deneyi sonuçları.	67
Çizelge 3.5 : Çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun basınç deneyi sonuçları.	69
Çizelge 3.6 : Çerçeve numunelerinde kullanılan yer değiştirme ölçer listesi.	72
Çizelge 3.7 : Çıplak çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	81
Çizelge 3.8 : Dolgu duvarlı BA çerçeve deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	86
Çizelge 3.9 : SRG-2-1-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	91

Çizelge 3.10 :	SRG-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	96
Çizelge 3.11 :	SRG-D-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	102
Çizelge 3.12 :	SRG-1-2 kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.	108
Çizelge 3.13 :	Çıplak BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.	109
Çizelge 3.14 :	Dolgu duvarlı BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.	112
Çizelge 3.15 :	SRG-2-1-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.	116
Çizelge 3.16 :	SRG-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.	118
Çizelge 3.17 :	SRG-D-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.	121
Çizelge 3.18 :	SRG-1-2 kodlu betonarme çerçeve numunesi yükleme protokolü..	123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : SRG45 tekstil malzemesi.	5
Şekil 2.1 : Duvar numunesi.	7
Şekil 2.2 : Güçlendirilmiş numunelerin kod açılımı.	8
Şekil 2.3 : Referans numunelerinin kod açılımı.	8
Şekil 2.4 : Güçlendirilmemiş KN kodlu referans (şahit) duvar numuneleri.	10
Şekil 2.5 : DBYBHY 2007’ye göre uygulanmış SRG45 ankrajlar.	10
Şekil 2.6 : Dolgu duvar numuneleri güçlendirme aşamaları a) Islatılmış duvar yüzeyi ve ankraj delikleri, b), c) ve d) ankraj uygulama aşamaları.	11
Şekil 2.7 : Ağın (SRG45) harcın içine iyice yerleştirilmesi ve harç ile ağın üzerinin kapatılması.	11
Şekil 2.8 : İki taraftan bir kat CMG ile ankrajlı güçlendirilmiş (I. Grup) duvar numuneleri.	12
Şekil 2.9 : İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı güçlendirilmiş (II. Grup) duvar numuneleri.	12
Şekil 2.10 : Bir taraftan iki kat CMG ile güçlendirilmiş (III. Grup) duvar numuneleri.	13
Şekil 2.11 : İki taraftan iki kat CMG ile diyagonal olarak ankrajlı güçlendirilmiş (IV. Grup) duvar numunesi.	13
Şekil 2.12 : Standart basınç deneylerinde kullanılan press makinesi.	15
Şekil 2.13 : Dolgu duvar numunelerinin üretiminde kullanılan beton harcı standart basınç deneyleri.	16
Şekil 2.14 : Dolgu duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlaların basınç deneyleri.	16
Şekil 2.15 : Dolgu duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan çimento hamuru basınç deneyleri.	17
Şekil 2.16 : Yükleme düzeneği.	19
Şekil 2.17 : Yerdeğiştirme ölçerler (LVDT).	20
Şekil 2.18 : Deney numunesi üzerindeki (LVDT) yerdeğiştirme ölçer yerleri.	20
Şekil 2.19 : KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	23
Şekil 2.20 : KN-1 numunesinin arka yüzünde oluşan çatlaklar a) a çatlağı, b) b çatlağı.	24
Şekil 2.21 : KN-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) arka yüz, b) ön yüz.	24
Şekil 2.22 : KN-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.	24
Şekil 2.23 : S-2-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	26
Şekil 2.24 : S-2-1-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar, c) arka yüzdeki çatlaklar	27
Şekil 2.25 : S-2-1-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.	27
Şekil 2.26 : S-2-1-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar, c) arka yüzündeki çatlaklar.	28
Şekil 2.27 : S-2-1-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüzü.	28
Şekil 2.28 : S-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	29

Şekil 2.29 : S-2-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.	31
Şekil 2.30 : S-2-2-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) kopan ankraj.	31
Şekil 2.31 : S-2-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.	32
Şekil 2.32 : S-2-2-2 numunesinde göçme anında kopan ankrajlar.	32
Şekil 2.33 : S-2-2-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.	33
Şekil 2.34 : S-1-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	34
Şekil 2.35 : S-1-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.	34
Şekil 2.36 : S-1-2-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) arka (güçlendirilmiş) yüz, b) ön (güçlendirilmemiş) yüz.	35
Şekil 2.37 : S-1-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön (güçlendirilmemiş) yüzdeki çatlaklar ve c) arka (güçlendirilmiş) yüzdeki çatlaklar.	36
Şekil 2.38 : S-1-2-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön (güçlendirilmemiş) yüz, b) arka (güçlendirilmiş) yüz.	37
Şekil 2.39 : S-D-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	37
Şekil 2.40 : S-D-2-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar ve c) arka yüzdeki çatlaklar.	39
Şekil 2.41 : S-D-2-2-1 numunesi göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.	39
Şekil 2.42 : S-D-2-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar.	40
Şekil 2.43 : S-D-2-2-2 numunesi göçme sonrası kopan ankrajlar.	40
Şekil 2.44 : S-D-2-2-2 numunesi göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.	41
Şekil 2.45 : S-2-1 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	42
Şekil 2.46 : S-2-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	43
Şekil 2.47 : S-1-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	44
Şekil 2.48 : S-D-2-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	46
Şekil 2.49 : Deney gruplarının ortalama kayma dayanımı değerleri.	47
Şekil 2.50 : Deney gruplarının ortalama kayma modülü değerleri.	48
Şekil 2.51 : CMG ile güçlendirilmiş S kodlu numuneler ile güçlendirilmemiş KN kodlu numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	48
Şekil 3.1 : Betonarme çerçeve numune boyutları ve donatı açılımı.	51
Şekil 3.2 : Üretilen betonarme çerçeve numuneleri.	52
Şekil 3.3 : BA çerçevelere ilave edilen dolgu duvarlarda kullanılan tuğla numunesi.	52
Şekil 3.4 : BA çerçeveler a) kolon-kiriş donatıları, b) ve c) çerçeve kalıpları, d) betonu dökülmüş çerçeve numuneleri.	54
Şekil 3.5 : Betonarme çerçeve numunelere dolgu duvar örülmesi.	55
Şekil 3.6 : Ankrajlı olarak güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri a) ankraj deliklerinin açılması, b) ankraj uygulaması.	56
Şekil 3.7 : DBYBHY'e göre uygulanmış SRG45 ankrajlar.	56
Şekil 3.8 : Dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunelerinin çeşitli şekillerde CMG ile güçlendirilmesi.	57

Şekil 3.9 : Güçlendirilen BA çerçeve numunelerin kod açılımı.	58
Şekil 3.10 : Çıplak/Yalın olarak bırakılmış referans (şahit) numunesi.	59
Şekil 3.11 : Dolgu duvarlı referans (şahit) numunesi.	59
Şekil 3.12 : İki taraftan bir kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş BA çerçeve.	61
Şekil 3.13 : İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş BA çerçeve.	62
Şekil 3.14 : Bir taraftan iki kat CMG ile güçlendirilmiş BA çerçeve.	62
Şekil 3.15 : İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı ve diyagonal olarak güçlendirilmiş BA çerçeve.	63
Şekil 3.16 : Standart basınç deneylerinde kullanılan press makinesi.	63
Şekil 3.17 : Standart donatı çekme deneylerinde kullanılan düzeneç.	64
Şekil 3.18 : Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisini elde etmek için kullanılan düzeneç.	64
Şekil 3.19 : Dolgu duvarların üretiminde ve sıvasında kullanılan çimento harcının standart basınç deneyleri.	65
Şekil 3.20 : Dolgu duvarların üretiminde kullanılan tuğlaların standart basınç deneyleri.	65
Şekil 3.21 : Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CMG harcı basınç deneyleri.	66
Şekil 3.22 : Betonarme çerçevelerin üretiminde kullanılan donatıların çekme deneyleri a) strain gauge, b) mekanik çekme aleti.	68
Şekil 3.23 : Betonarme çerçevelerin üretiminde kullanılan donatıların ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi.	68
Şekil 3.24 : Betonarme çerçevelerde kullanılan betonun basınç deneyleri.	69
Şekil 3.25 : Betonarme çerçevelerde kullanılan betonun gerilme-şekil değiştirme eğrileri.	70
Şekil 3.26 : Deney numunesinin her iki yüzüne ve temele yerleştirilmiş yerdeğiştirme ölçerlerin (LVDT) yerleri ve kanal numaraları	71
Şekil 3.27 : Donatılara yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) yerleri ve kanal numaraları.	73
Şekil 3.28 : Deney düzeneği.	74
Şekil 3.29 : Deney düzeneği.	75
Şekil 3.30 : Deneylerde uygulanan yer değiştirme protokolü (ÖZKAYNAK 2010).	75
Şekil 3.31 : Deneylerde uygulanan itme-çekme yönleri ve kalem renkleri.	76
Şekil 3.32 : Çıplak çerçeve numunesinde 7. ve 8. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.	78
Şekil 3.33 : Çıplak çerçeve numunesinde 9. çevrimde kolon-kiriş birleşim durumları.	78
Şekil 3.34 : Çıplak çerçeve numunesinde 11. ve 12. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve numune hasar durumu.	79
Şekil 3.35 : Çıplak çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.	79
Şekil 3.36 : Çıplak çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.	80
Şekil 3.37 : Dolgu duvarlı çerçeve numunesinde 2. ve 3. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.	83
Şekil 3.38 : Dolgu duvarlı çerçeve numunesinin 9. ve 10. çevrimlerdeki hasar durumu.	84
Şekil 3.39 : Dolgu duvarlı çerçeve numunesinde 10. ve 11. çevrimlerdeki hasar durumu.	85
Şekil 3.40 : Dolgu duvarlı çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.	85
Şekil 3.41 : Dolgu duvarlı çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.	87
Şekil 3.42 : SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesinde 4. ve 5. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.	88

Şekil 3.43 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesinde 9. ve 10. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve mevcut çatlakların durumu.....	89
Şekil 3.44 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.	90
Şekil 3.45 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar..	92
Şekil 3.46 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 5. ve 6. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.....	93
Şekil 3.47 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde son çevrimlerdeki hasar durumu.....	95
Şekil 3.48 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.	95
Şekil 3.49 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar..	97
Şekil 3.50 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 2., 3., ve 4. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.....	98
Şekil 3.51 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 6. ve 7. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve mevcut çatlakların durumu.....	99
Şekil 3.52 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde son çevrimlerdeki çatlak ve hasar durumu.	99
Şekil 3.53 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.	100
Şekil 3.54 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar...	101
Şekil 3.55 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 4. ve 5. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.....	103
Şekil 3.56 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 8. ve 9. çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	104
Şekil 3.57 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 10. ve 11. çevrimlerdeki çatlaklar ve numune hasar durumu.	105
Şekil 3.58 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde deney sonu hasar durumu a) ön yüz, b) arka yüz, c) kolon dibi, d) kolon yüzü.	106
Şekil 3.59 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi deneyi sonunda, kolonlardaki hasar durumu.....	107
Şekil 3.60 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.	107
Şekil 3.61 :	Çıplak çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.	110
Şekil 3.62 :	Çıplak çerçeve numunesi zarf eğrisi.....	110
Şekil 3.63 :	Çıplak çerçeve numunesi enerji çizelgesi.	111
Şekil 3.64 :	Dolgu duvarlı çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.	112
Şekil 3.65 :	Dolgu duvarlı çerçeve numunesi zarf eğrisi.	113
Şekil 3.66 :	Dolgu duvarlı çerçeve numunesi enerji çizelgesi.....	113
Şekil 3.67 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.	114
Şekil 3.68 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.	115
Şekil 3.69 :	SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.	115
Şekil 3.70 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi yük-yer değiştirme ilişkisi.	117
Şekil 3.71 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.	117
Şekil 3.72 :	SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.	118
Şekil 3.73 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.	119
Şekil 3.74 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.	120
Şekil 3.75 :	SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.	120
Şekil 3.76 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi. ..	122
Şekil 3.77 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.	122
Şekil 3.78 :	SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.....	123

Şekil 3.79 : Tüm BA çerçeve numunelerinin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri. ..	124
Şekil 3.80 : BA çerçeve numunelerinde ulaşılan maksimum yük.....	125
Şekil 3.81 : Çerçeve numunelerinin tükettiği toplam enerji.	126

ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN TERSİNİR TEKRARLI YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

ÖZET

Türkiye, coğrafi olarak büyük bir deprem bölgesidir. Başta Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları olmak üzere birçok fay ve deprem bölgesi barındırdığı için dünyada sismik aktivitesi en yüksek bölgelerden biridir. Dolayısıyla, ülkemizde yapıların projelendirilmesinde ve inşasında mühendislik hizmetleri hayati önem taşımaktadır.

Yaşadığımız coğrafyanın tarihine bakıldığında büyük ölçekli depremlerin dışında orta ölçekli ve hatta küçük ölçekli depremlerin de can ve mal kaybına sebep olduğu görülmüştür. Bu durum, yurdumuzdaki (özellikle kırsal kesimlerinde) çoğu yapının mühendislik hizmeti görmemiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Dolayısıyla, yaşadığımız coğrafyadaki mevcut yapıların çoğu, mühendislik hizmeti görmediğinden ve herhangi bir denetim mekanizmasından geçmediğinden dolayı, düşük dayanımlı beton ve yetersiz donatı ile inşa edilen yapılar olup, can ve mal kaybı için büyük risk taşımaktadırlar.

Hal böyle iken, risk faktörlerini azaltmak veya tamamen kaldırmak için bu yetersiz dayanımlı ve zayıf yapıların depremlere karşı güçlendirilmesi gerekmektedir. Ancak yurdumuzdaki mevcut yapı stoku düşünüldüğünde, bu güçlendirme işlemleri ülke ekonomisini önemli derecede etkileyecektir. Bunun için, güçlendirme ihtiyacı olan yapıların güçlendirilmesi, önemli derecede düşük maliyetli ve yeterli derecede güvenli olmak zorundadır.

İşte bu tez çalışması, zayıf yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde alternatif bir güçlendirme yöntemi oluşturmayı ve aynı zamanda güçlendirme işleminin ekonomik olarak da daha az maliyetli olmasını amaçlamıştır.

Bu tez çalışması için İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği laboratuvarında deneysel olarak çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, denenmek için 10 adet 755x755 mm ölçekli bölme duvar numunesi ile 6 adet 1/3 ölçekli, tek açıklı, tek katlı betonarme çerçeve numunesi üretilmiştir. Deney numunelerindeki betonarme çerçeveler, ülkemizin mevcut yapı stokunda sıkça karşılaştığımız gibi düşük dayanımlı betona sahip zayıf kolon, kuvvetli giriş şeklinde üretilmiştir.

Üretilen bu numunelerden bazıları, alternatif bir güçlendirme tekniği olan çimento esaslı kompozitler (CMG) ile güçlendirilmiş ve bu güçlendirme yönteminin numune dayanımlarına olan etkileri, güçlendirilmeyen şahit numuneler ile karşılaştırılarak incelenmiştir.

Yeni bir güçlendirme tekniği olarak çimento esaslı kompozitler (CMG), çimento harcı ve liflerden oluşan kare boşluklu ağ şeklinde dokunmuş özel tekstillerden oluşmaktadır. Bu sistemle üretilen kompozitlerin detaylı bir yüzey hazırlığı veya titiz bir işçilik gerektirmemesi, yangına karşı dayanımının karbon elyafi ve epoksiden

oluşan kompozitlere göre oldukça yüksek olması, özellikle nem gibi atmosferik koşullardan etkilenmemesi ve ara yüzeyde çok iyi bir yapışma sağlaması gibi avantajlara sahiptir.

Bu çalışmada çimento esaslı kompozit (CMG), özel bir şirkette üretilen ticari adı SRG45 olan alkali dayanımlı cam lifli tekstil malzemesi ve çimento hamurundan oluşmaktadır. Çimento hamuru, çimento, kum, su, akışkanlaştırıcı ve belli bir miktar silica fume içermektedir.

Ayrıca, duvar ve çerçeve numunelerinin güçlendirmesinde, CMG sistemler, deprem yönetmeliğimizin önerdiği ankraj uygulamasına uyularak SRG45'ten oluşan ankrajlarla bölme duvarlara uygulandı.

Birinci aşamada, 10 adet 755 mm x 755 mm boyutlarındaki bölme duvar numunesi diyagonal kayma etkisi altında denenmiş ve CMG ile farklı şekillerde güçlendirilmiş numunelerin kayma dayanımlarına ve rijitliklerine etkisi incelenmiştir. Çıkarılan sonuçlara bakıldığında, CMG ile güçlendirilmiş numunelerin şahit numunelere göre kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modüllerinde önemli derecede artışlar olmuştur.

İkinci aşamada 6 adet 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklı betonarme çerçeve numunesi tekrarlı yatay yükler etkisinde denenmiştir. Birer adet dolgu duvarsız (yalın/çıplak çerçeve) ve dolgu duvarlı betonarme çerçeve referans numuneleridir. Diğer 4 adet betonarme çerçeve numunesi CMG ile farklı şekillerde güçlendirilmiş ve bu farklı güçlendirme şekilleri ile bağlantı detaylarının etkisi referans numuneleriyle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Betonarme çerçeve numunelerinin deneysel verilerinden elde edilen yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrileri, zarf eğrileri; başlangıç rijitliği ve yatay yük taşıma kapasiteleri gibi parametrelerde referans numunelere göre oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

BEHAVIOR OF RC FRAMES WITH INFILL WALLS STRENGTHENED BY CEMENT BASED COMPOSITES UNDER REVERSED CYCLIC LOADS

SUMMARY

Geographically, Turkey is a large earthquake zone. Due to the the existence of severe earthquake faults, such as North Anatolian and East Anatolian Faults, in the Alphin region, Turkey is considered as one of the countries which have highly seismic activities. For this reason, engineering services are vitally important in design and construction of the buildings in Turkey.

When the history of the region where we live is studied, it is seen that not only high scale earthquakes but also moderate or even small scale earthquakes have caused loss of properties and casualties. This situation leads a consequence that the majority of the buildings in Turkey, especially in rural areas, have not taken any engineering service.

Due to the lack of the engineering services and inspection, the vast number of the existing structures in this region have been constructed with low strength concrete and insufficient reinforcement. So, these structures pose a risk for life and property.

In this case, in order to decrease or remove the risk factors, it is required that the weak structures or those with insufficient strength should be retrofitted against the earthquakes. However, if the stock of existing structures is considered, these retrofitting processes may effect the country economy significantly. For this purpose, the retrofitting of the corresponding structures must be substantially low-cost and secure enough.

In this study, the purpose was to produce an alternative and cost-effective way to retrofit the vulnerable structures against the earthquakes.

The experimental study which is presented in this thesis was conducted at Istanbul Technical University, Earthquake and Structural Engineering Laboratory. For the study, 10 infill wall specimens with 755x755 mm size and 6 1/3 scaled reinforced concrete frames with single storey and single bay were produced. While some of these specimens were retrofitted by cement based composites (CMG) which can be an alternative retrofitting method, the others were tested as reference specimen. Finally, the efficiency of the applied retrofitting methods were investigated by comparing to the reference specimens' test results.

As a new retrofitting technique, the CMG consist of a combination of cement mortar and some special textile which is woven by the fibres such a square shape net. This retrofitting system has some clear advantages. The composites produced by this system do not require a detailed surface preperation or a fine labour. It has a higher fire strength than the composites which are formed by carbon fibre and epoxy. It is not affected by the atmospheric conditions such as humidty and it provides a quite effective adhesion on interface.

The fabric used in this study was produced by a private company with a commercial name; SRG45. The CMG system consists of glass fabric with alkaline resistance and cement paste. The cement paste includes cement, sand, water, plasticizer and an amount of silica fume.

On the other hand, this composite system was applied for the retrofitting of infill walls specimens and infill wall within the reinforced concrete frames by using the anchorage application which is suggested in Turkish Seismic Code. The anchorages were produced by SRG45 fabric.

At the first stage of the experimental study, 10 infill wall specimens were produced. For the production of the wall specimens, thin-walled bricks with 190 mm x 190 mm x 135 mm size and standard cement mortar were used. After the production of the wall specimens, they were plastered by using the same cement mortar up to 10 mm thickness. Afterthere, these plastered equilateral specimens were divided into 5 different groups. Amongst these groups, the first group of specimens were labeled as S-2-1 and retrofitted by 1 ply of the CMG layer with anchorage on both sides. Additionally, while the second group specimens, namely S-2-2, were retrofitted by 2 plies of CMG layers with anchorage on both sides, the third group specimens, which were labeled as S-1-2, were retrofitted by 2 plies of the CMG without anchorage on one side. The specimens in the fourth group were S-D-2-2 specimens which were retrofitted by 2 plies of CMG with anchorage on both sides but diagonally. The width of the diagonal straps were 30 cm. The last group of specimens, fifth group, were lefted to be tested as reference specimens for the purpose of making comparisons to reveal the efficiency of the retrofitting methods.

Each group out of these five groups consisted of 2 similar specimens. All these infill wall specimens were tested under diagonal compression according to ASTM E 519-02. The effect of CMG systems applied in different ways on the shear strength and stiffness was observed.

The test results were evaluated to obtain shear stress - shear strain relationships and shear modulus. After comparisons, it was observed that a significant enhancement was provided in terms of experimental parameters especially on shear stresses between reference and the retrofitted specimens.

As a second stage in the study, 6 numbers of 1/3 scaled reinforced concrete frames with single storey and single bay were produced and tested under reversed cyclic lateral loads. One bare reinforced concrete frame and one reinforced concrete frame with plastered infill wall was selected as reference specimen. The remaining 4 reinforced concrete frames were retrofitted with CMG in different types. The retrofit type and the effect of strengthened details were investigated in comparison with the reference specimens.

The size of the frame specimens were 1000 mm height and 933 mm bay width. Also they had strong foundations with 400 mm height and 1533 mm length. The column, beam and foundation cross sections were 100x200 mm, 100x200 mm and 400x700 mm, respectively., While 4 longitudinal reinforcing bars with Ø8 diameter were used for the columns and the beams, 12 longitudinal reinforcing bars with Ø12 diameter were used for the foundations. The transverse reinforcement were selected as Ø8/140 mm for the columns and the beams, Ø10 for the foundations. The concrete used for the production as a representative of the existing reinforced concrete structures built in Turkey. On the other hand, the frame specimens had strong beam - weak column deficiency.

The reinforced concrete frame specimens were produced in a construction site environment. All these frame specimens were produced as bare frames initially. After that, one of these bare reinforced concrete frames was selected as a reference specimen, others were added infill walls. For production of infill walls, thin-walled bricks with 1/3 size and standard cement mortar were used. After the production of the wall in the frames, they were plastered by using the same cement mortar up to 10 mm thickness. And one reinforced concrete frame with infill wall was selected as reference specimen. Thus, one bare reinforced frame specimen and one reinforced frame specimen with infill wall were selected as reference specimens. The remaining 4 reinforced concrete frames were retrofitted with CMG in different types.

The frame specimens which retrofitted with CMG system were named according to retrofit shames. Thus, the reinforced frame specimen which named SRG-2-1-A was retrofitted by 1 ply of the CMG layer with anchorage on both sides. Additionally, while the second specimen, namely SRG-2-2-A, was retrofitted by 2 plies of CMG layers with anchorage on both sides, the third specimen, which was labeled as SRG-1-2, was retrofitted by 2 plies of the CMG without anchorage on one side. The last specimen was S-D-2-2 specimens which were retrofitted by 2 plies of CMG with anchorage on both sides but diagonally. The width of the diagonal straps were 30 cm.

A considerable improvement was attained in terms of the top displacement- lateral load relationships which were obtained via the tests of the reinforced concrete frame specimens, the envelope curves, the initial stiffnesses and the lateral load bearing capacities , especially for the specimen SRG-2-2-A , in comparison with the reference frame specimens and other retrofitted frame specimens.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

1.1 Genel

Tarih boyunca meydana gelen depremlerde, sadece yapıların taşıyıcı sistemlerinin çökmesiyle değil aynı zamanda mimari nedenlerle üretilmiş taşıyıcı olmayan dolgu duvarların düzlem dışı hareket ederek yıkılmasıyla da can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Bu nedenle yapıların taşıyıcı sistemlerinin yanında sadece mimari özelliği olan dolgu duvarlarının da yıkılmadan ayakta durması gerekir. Aynı zamanda mimari nedenlerle üretilmiş taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar her ne kadar statik hesaplamalarda ihmal edilseler de daha önceki çalışmalar dolgu duvarlı bir betonarme çerçevenin dolgu duvarsız betonarme çerçeveye (yalın/çıplak çerçeve) göre daha fazla enerji tükettiğini ortaya koymuştur.

Mimari nedenlerle üretilmiş taşıyıcı olmayan dolgu duvarların statik hesaplamalarda ihmal edilmemesi ve düzlem dışı hareketlerinin engellenmesi için birçok farklı çalışmalar yapılmıştır. Hasarlı veya yeterli dayanım ve süneklik özelliklerine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesinde taşıyıcı olmayan dolgu duvarların çeşitli güçlendirme yöntemleriyle güçlendirilerek yapının taşıyıcı sistemine dâhil edilmesi birçok araştırmacının konusu olmuş ve bu konu üzerinde hala çalışılmaya devam edilmektedir.

Ülkemiz sismik aktivitesi yüksek bir bölge olmasına rağmen mevcut pek çok betonarme yapıların yeterli bir mühendislik hizmeti görmediği, malzeme dayanımlarının yönetmeliklerde öngörülen değerlerden oldukça düşük olduğu, donatı miktarı ile düzenlemelerinin yetersiz kaldığı ve herhangi bir denetim mekanizmasından geçmediği düşünülürse, bu mevcut yapıların büyük bölümünün depreme karşı güçlendirilmesi gereği ortaya çıkacaktır. Tabi bu da hem ekonomik olarak hem de zaman olarak büyük rakamlar gerektirdiği gibi yapıların bağımsız bölümlerin işlevlerini de oldukça olumsuz etkilediği bilinmektedir. Dolayısıyla daha ekonomik, daha pratik, daha kullanışlı ve hızlı bir güçlendirme yöntemi geliştirilmesine sürekli gereksinim duyulmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Deneyssel olarak çalışılan bu tez, ülkemizde büyük deprem riski taşıyan mevcut betonarme binaların taşıyıcı olmayan dolgu duvarların çimento hamuru ve alkali dayanımlı cam tekstilden (SRG45) oluşan çimento esaslı kompozitler (CMG) ile güçlendirilmesi düşünülmüştür. Böyle bir güçlendirme yöntemi ile betonarme binaların deprem performansının çok daha ekonomik, pratik ve bağımsız bölümlerin kullanım işlevlerini olabildiğince etkilemeden deprem yüklerine benzer tekrarlı yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılması, yatay yer değiştirme miktarlarının önemli ölçüde azaltılması, enerji yutma kapasitelerinin ve yatay öteleme rijitliğinin artırılması açısından iyileştirilmesi, araştırmanın başlıca hedefleri olarak belirlenmiştir. Bu hedefler için üretilen 1/3 ölçekli 6 adet tek açıklıklı betonarme çerçeve ile 10 adet 755*755 mm ölçekli, tuğla ile örülmüş dolgu duvarlar deney programı çerçevesinde üretilmiştir. Betonarme çerçeve numunelerinde, kolonlara belli bir değerde eksenel yük uygulanırken, çerçevenin üst düğüm noktasından deplasman kontrollü, tersinir tekrarlı yükler uygulanmıştır. Dolgu duvar numunelerinde ise diyagonal kayma etkisi altında denenmiştir.

1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

El-Dakhakhni ve diğ. (2005), yığma duvarların ve dolgu duvarlı çelik çerçevelerin davranışını belirlemek üzere deneyler yapmıştır. Birinci adımda 24 adet basınç ve kayma deneyi yapılmış, ikinci adımda 5 adet yalın ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve test edilmiştir. Güçlendirme için kompozit lamine elemanlar kullanılmıştır. Güçlendirmenin rijitlik ve dayanım artışı yanında, genel davranış eğrisinin azalan kolu üzerinde de etkili olduğu görülmüştür.

Hashemi ve Mosallam (2006), sarsma tablasında dolgu duvarlı betonarme çerçeve deneylerini gerçekleştirmiştir. Deney numunesi bir prototip yapının $\frac{3}{4}$ geometrik ölçekle küçültülmüş haline karşı gelmektedir. Yapılan deneyssel çalışmanın sonuçları bilgisayar programında oluşturulan matematik model ile karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarların yapının dayanım, rijitlik ve enerji tüketme özelliklerine önemli katkılarda bulunduğu, bu nedenle tasarım aşamasında dikkate alınmalarının gerekliliği belirtilmiştir. İncelenen numunelerde, dolgu duvarların yapı yatay rijitliğini 3.8 kat artırdığı, doğal titreşim periyodunu %50 oranında azalttığı, kritik

sönüm oranını %5-12 seviyelerine yükselttiği ve sistem içinde sönen enerjiyi önemli oranda artırdığı belirtilmiştir.

Pujol ve diğ. (2008), 1/1 ölçekli dolgu duvarlı 3 katlı 3 boyutlu bir yapıyı statik yükler etkisinde denemiş ve sonuçları yalın betonarme sistem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarların, yalın betonarme çerçeve sistem dayanımını %100, başlangıç rijitliğini %500 oranında artırdığı belirtilmiştir. Deneysel olarak incelenen sistemler kuramsal olarak da incelenmiş ve deney sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Erol (2010), tek katlı-tek açıklıklı ve iki katlı-tek açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri tersinir tekrarlı yatay yükler etkisinde denemiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar; yatay yük taşıma kapasitesi, yatay rijitlik ve göçme şekilleri bakımlarından referans numunelerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Almusallam ve Al-Salloum (2007), betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin FRP ile güçlendirilmesi konusunu çalışmıştır. Deneylerde 1/2 ölçekli betonarme ve 1/1 ölçekli dolgu duvarlar kullanılmıştır. İlk numune kontrol numunesi olarak oluşturulmuş, dolgu duvarlı betonarme çerçeve olup yatay yükler etkisinde denenmiştir. İkinci numune, kontrol numunesinin onarılıp cam elyafı lifli polimer (GFRP) ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. Üçüncü numune ise dolgu duvarların GFRP kullanılarak güçlendirilmesi ile elde edilmiştir. GFRP şeritler 300 mm genişliğinde harç derzlerine paralel olarak 2100×300 mm boyutlarında hazırlanmış ve epoksi reçinesi ile yapıştırılmıştır. Birinci numune 417 kN yatay yük taşıyabilirken 11 mm tepe yer değiştirmesi yapmıştır. İkinci numune ise 442 kN yatay yük taşıırken 16.2 mm tepe yer değiştirmesi yapmıştır. Üçüncü numune 371 kN yatay yük taşıırken 21.8 mm tepe yer değiştirmesi yapmıştır. Bu sonuçlar kontrol numunesine ait değerlere oranlandığında, sistem sünekliğinin onarılıp güçlendirilen numunede yaklaşık 1.5 kat, sadece güçlendirilen numunede ise 2 kat arttığı tespit edilmiştir.

Yücesan (2005), özel olarak imal edilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yer değiştirme çevrimleri etkisindeki davranışını incelemiştir. Yüksek dayanımlı tuğla ve harç birleşiminden oluşan bu kompozit duvarların; elastisite modülü, poisson oranı, farklı normal kuvvetler altındaki kayma kuvveti dayanımı, kayma modülü gibi

mekanik özelliklerini ortaya çıkarmak üzere 6 farklı deney grubu tasarlamış ve denemiştir. Sonuç olarak yüksek dayanımlı tuğla ve harçtan oluşan dolgu duvara ait önemli mekanik özellikler ortaya koymuştur. Diyagonal basınç deneyindeki verilerden duvarın betonarme çerçeve içinde nasıl davranacağına ait önemli parametreler elde etmiş ve betonarme çerçeve içindeki duvar ile diyagonal basınç deneyi uygulanan numunenin paralel davranışlar sergilediği saptanmıştır.

Özkaynak (2010), dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçevelerin yatay yükler etkisindeki deprem davranışı deneysel ve kuramsal olarak incelemiştir. Bu amaçla ülkemizdeki betonarme yapı özelliklerini yansıtacak şekilde üretilen, 22 adet 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı yalın, dolgu duvarlı ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri statik ve benzeşik dinamik deney teknikleri kullanılarak laboratuarda denemiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerde yaygın olarak kullanılan boşluklu dolgu duvarlar karbon lifli polimerler (CFRP) ile uygun biçimde güçlendirildiklerinde; dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesindeki artışla yapısal elemanlara dönüştüğünü ortaya koymuştur. İlk aşamada 6 adet statik deney yaparak en uygun CFRP uygulama biçimleri belirlemiş, ikinci aşamada 16 adet numune üzerinde statik ve benzeşik dinamik deneyler yapmıştır.

Sevil ve diğ. (2010), tek açıklıklı-iki katlı betonarme çerçeveler düşey ve depremi andıran tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmiş, sıvanmamış ve sıvanmış boşluklu tuğla dolguların BA çerçeveli deney elemanlarının dayanım ve davranışlarına olan etkilerini irdelemiştir. Yapılan kuramsal çalışmaların sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırmıştır.

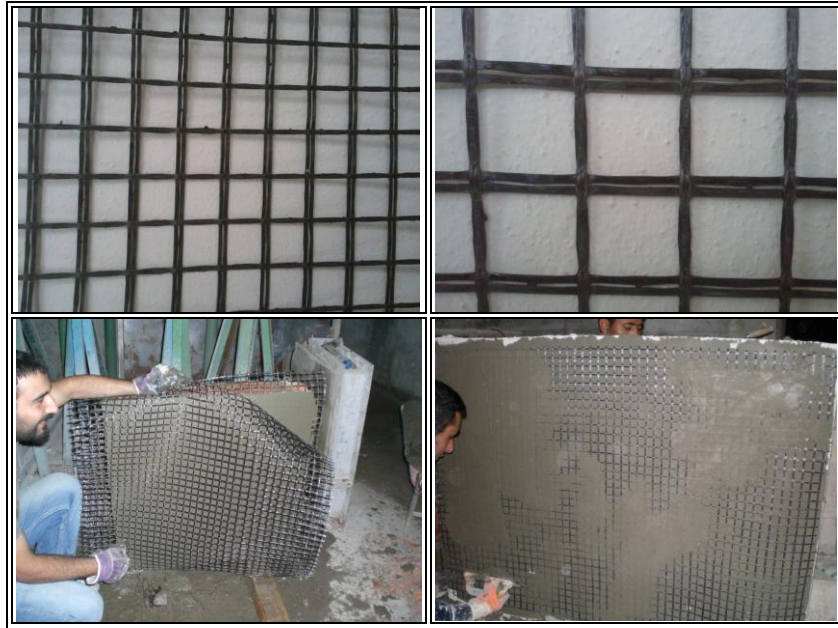
Prota ve diğ. (2006), çimento esaslı kompozitler ile (CMG) çeşitli şekillerde güçlendirilmiş tuf tuğlalı yığma duvarlarla çalışmıştır. Çalışmalarında alkali dayanımlı cam tekstil malzemesi (SRG45) kullanmış ve elde edilen verileri birbiriyle karşılaştırmışlardır. Deney çalışmasında ilk adım olarak, kullandıkları malzemenin genel karakteristiğini belirlemek amacıyla malzeme deneyleri, ikinci aşamada tek eksenli deneyler ve son aşamada kayma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinde, 1.03 m×1.03 m×250 mm ebatlarında tuf tuğladan yapılmış yığma duvar numuneleri denemişlerdir. Sonuç olarak, numunelerin dayanım ve sünekliklerinde artış elde edilmiştir.

Yüksel ve diğ. (2009), karbon lifli polimerler (CFRP) ile çeşitli şekillerde güçlendirilmiş betonarme çerçeve numuneleriyle çalışmıştır. Toplam 6 adet tek katlı-tek açıklıklı ve 1/3 ölçekli betonarme çerçeveyi yarı statik olarak denemişlerdir. Deney sonucunda, CFRP ile güçlendirilen numunelerin dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinde önemli artışlar elde edilmiştir.

Lignola ve diğ. (2009), tuf malzemeden ve boyutları 25x103x103cm oluşan yığma duvarları CMG sistemi ile güçlendirmiştir. Eksenel yüklemeyle denenen numunelerin CMG ile güçlendirilmiş olanlarında güçlendirilmemiş numunelere göre %90 oranında göçme yükü artışı sağlanmıştır.

1.4 CMG sisteminin özellikleri

Deney numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan CMG sistemi, içinde cam liflerden oluşan bir ağ bulunan ve bu ağ ile uygulandığı duvar yüzeyinin kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak uyum içinde birleşmesini sağlayan, inorganik matrisi oluşturan çimento esaslı harçtan oluşan bir sistemdir. Aşağıdaki tablolarda cam liflerden oluşan tekstil malzemesinin (Lignola ve diğ. 2009) ve çimento esaslı harcın mekanik özellikleri ve içerikleri sırasıyla verilmiştir (Çizelge 1.1, Çizelge 1.2). Cam liflerden oluşan tekstil malzemesi (AR Glass Fiber) aynı zamanda alkali reaksiyonlara karşı dayanıklıdır. Ticari adı SRG45 olup özel bir fabrikada üretilmektedir.



Şekil 1.1: SRG45 tekstil malzemesi.

Çizelge 1.1: CMG sistemindeki alkali dayanımlı cam liflerden oluşan tekstil malzemesi ağın (SRG45) mekanik ve fiziksel özellikleri.

Tekstildeki ağların ebatları (mm×mm)	25.4×25.4
Tekstil malzemesinin Elastisite Modülü (GPa)	72
Ağdaki maksimum uzama (%)	1.78
Tekstildeki her bir ağın kesit alanı (mm ²)	0.896
Tekstil malzemesinin Çekme Mukavemeti (MPa)	1276

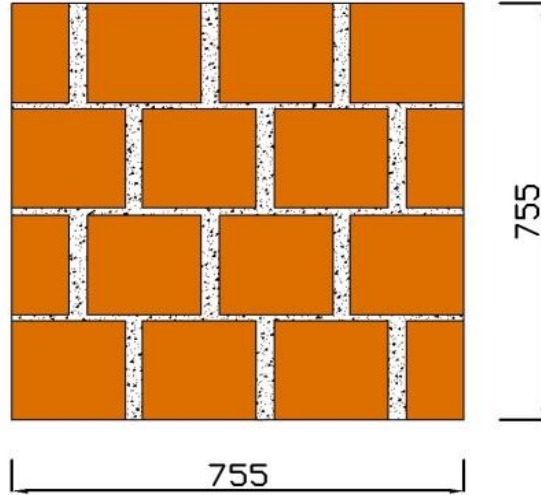
Çizelge 1.2: CMG sistemindeki çimento hamuru içeriği ve oranları.

Su miktarı oranı (gr)	800
Çimento miktarı oranı (gr)	2000
Kum miktarı oranı (gr)	3000
Silica fume miktarı oranı (gr)	200
Akışkanlaştırıcı miktarı oranı (gr)	10

2. DOLGU DUVAR NUMUNE DENEYLERİ

2.1 Genel Bilgi

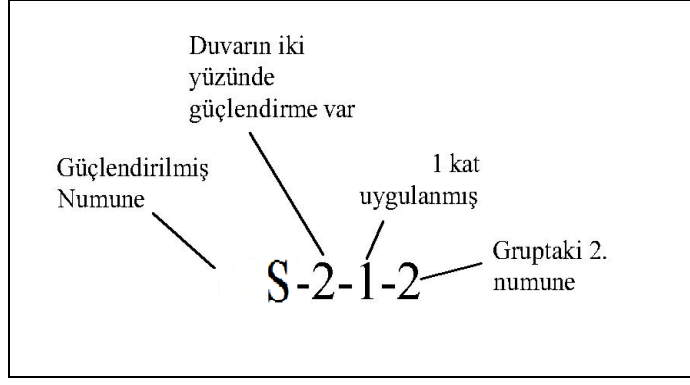
Yapılan deneysel çalışmanın bu ilk bölümünde, genellikle betonarme çerçevelerin içine örülen ve mimari amaçlarla yapıda çeşitli bölmeler oluşmasını sağlayan dolgu duvarlar denendi. Bu ön deneyler için toplam 10 adet eşkenar dörtgen duvar numunesi hazırlandı. Dolgu duvar numuneleri birbirlerine eş olarak 755mmx755 mm boyutlarında aynı tuğla ve aynı çimento harçları kullanılarak üretildi (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Duvar numunesi.

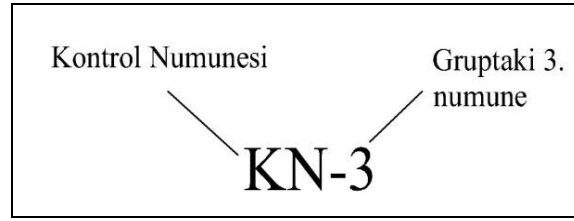
Üretilen dolgu duvar numuneleri, toplam 5 grup olarak sınıflandırılarak denenmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deney gruplarından 4 tanesi CMG ile güçlendirilen numunelerden oluşmakta, 1 tanesi ise güçlendirilmemiş yani şahit numunelerden oluşmaktadır. Her bir deney grubu 2 adet eş duvar numunesinden meydana gelmektedir.

Güçlendirilmiş numuneler “S” kodu ile gösterilmektedir. S kodundan sonra gelen ilk rakam duvarın bir veya iki yüzünün güçlendirildiğini, ikinci rakam güçlendirmenin bir veya iki kat olduğunu, üçüncü rakam ise gruptaki numune numarasını göstermektedir. Güçlendirilmiş numunelerin kod açılımı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: Güçlendirilmiş numunelerin kod açılımı.

Güçlendirilmemiş numuneler referans (şahit) numuneleridir ve “KN” kodu ile gösterilmektedir. Bu numunelerde duvarın herhangi yüzünde güçlendirme olmadığı için KN kodundan sonra tek rakam bulunmaktadır. Bu rakam gruptaki numune numarasını göstermektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Referans numunelerinin kod açılımı.

Duvar numuneleri deneyleri sırasında, deney düzeneğindeki yükleme başlığının düzgün oturabilmesi için duvar köşelerine başlık yapılmıştır. Tüm dolgu duvar numuneleri laboratuvar ortamında üretilip muhafaza edilmiştir.

2.2 Duvar Numunelerinin Üretimi

Duvar numunelerinin yapımında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ince cidarlı 190mmx190mmx135mm boyutlarındaki tuğlalar ve çimento harcı kullanıldı. Duvar örme işleminden önce numunenin üretiminde kullanılan tüm tuğlalar beton harcıyla aderansını arttırmak amacıyla ıslatıldı. Duvar numuneleri 4 sıra tuğla ile örülmüş ve her sırada yan yana 3.5 adet tuğla kullanılmıştır. Çelik çerçeve kalıplarının içine örülen numunelerin su terazisi yardımıyla imalatının düzgün olması sağlanmıştır. Bir üst sıraya geçerken tuğla üzerine dışarıya taşmayacak şekilde harç serilmiş ve düşey derzler bir birinin üstüne gelmeyecek şekilde bir üst sıranın tuğlaları şaşırtılarak yerleştirilmiştir. Tuğlalar harcın üzerine iyice bastırılarak oturtulmuştur. Yatay derz kalınlığı 5 mm, düşey derz kalınlığı ise 10 mm dir. Duvar numunelerinin örme

işleminde tuğlalar delikler yatay olacak şekilde, ancak son sıradaki tuğlalar mevcut uygulamalarda da yapıldığı gibi delikleri dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın konusu olan güçlendirme tekniğinin, mevcut yapılarda uygulanabilirliğinin kolay ve pratik olması açısından, örme işlemi bittikten sonra duvar yüzeyi kalınlığı 10 mm olacak şekilde çimento harcı ile sıvanmıştır.

Bu işlemlerden sonra güçlendirilecek duvar yüzlerine çimento esaslı kompozitlerle (CMG) çeşitli şekillerde güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Temel deney değişkenleri; CMG güçlendirmesinin, duvarın bir veya iki yüzüne uygulanması ve tabaka (kat) sayısıdır. Deney numuneleri 5 gruba ayrılmıştır. Her grupta 2 adet duvar numunesi bulunmaktadır. Deney gruplarına ait bilgi Bölüm 2.3'ten itibaren ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.2.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri

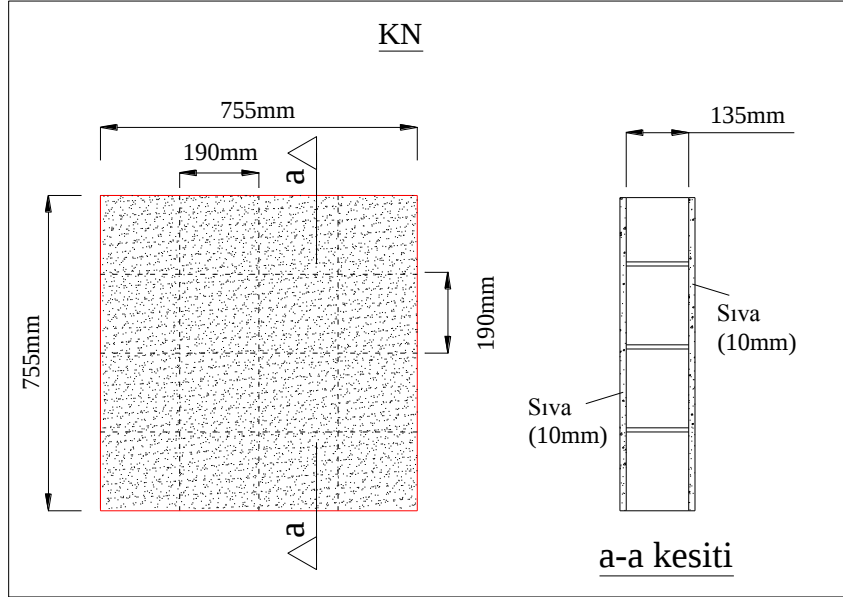
Bu çalışma kapsamında üretilen 5 grup dolgu duvar numunelerinden bir grubu (V. Grup) güçlendirilmemiş KN kodlu referans numunelerinden meydana gelmektedir. Bu grup, her iki yüzü sıvalı halde bırakılmış, güçlendirilmemiş 2 adet deney numunesinden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu gruptaki numuneler, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametrelerinin güçlendirilmiş duvar numuneleri ile karşılaştırılması açısından kontrol numuneleridir. Bu numunelerin üretim aşamaları Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibidir.

2.2.2 Güçlendirilmiş duvar numuneleri

Güçlendirilmemiş referans numunelerini içeren V. grup hariç geriye kalan 4 grup duvar numunesi CMG ile çeşitli şekillerde güçlendirilmiştir. Güçlendirme biçimine göre her grupta 2 adet duvar numunesi olacak şekilde numuneler gruplandırılmıştır.

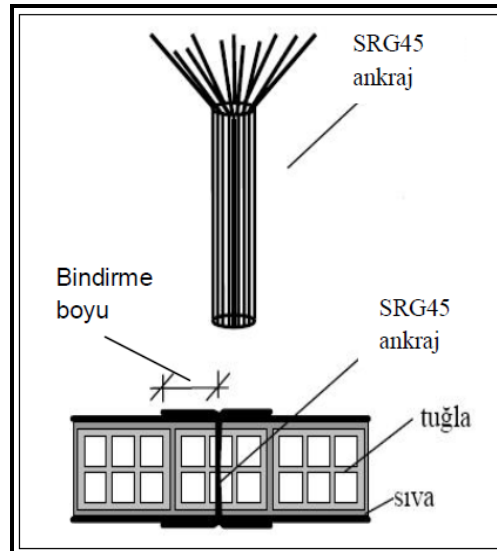
Güçlendirme işleminde ilk olarak; alkali dayanımlı cam tekstil (SRG45) malzemesi, yapıştırılacağı duvar yüzeyinin boyutlarına uygun olarak kesildi. Ankrajlı olarak güçlendirilen duvarlarda ankraj delikleri açmak için duvarların köşelerinden birbirilerini kesen doğrular çizilmiş, bu doğruların kesiştiği noktada (duvarın ortası) 1 tane olmak üzere ve doğruların üzerinde köşeden 30 cm (duvarın ortasına doğru) içeride olacak şekilde 4 tane, toplam 5 ankraj deliği delinmiştir (Şekil 2.6a). Numunelerde ankraj uygulaması, güçlendirme malzemesi olan SRG45 tekstil malzemesinden 45x20 cm ebatlarında parçalar kesilerek yapıldı. Bu ankraj

parçalarının içine çimento esaslı harçtan doldurularak duvar numunelerinde açılan ankraj deliklerinden geçirilerek hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.6b). Ankrajlar 2007 yılında yayınlanan DBYBHY' e göre uygulanmıştır (Şekil 2.5).

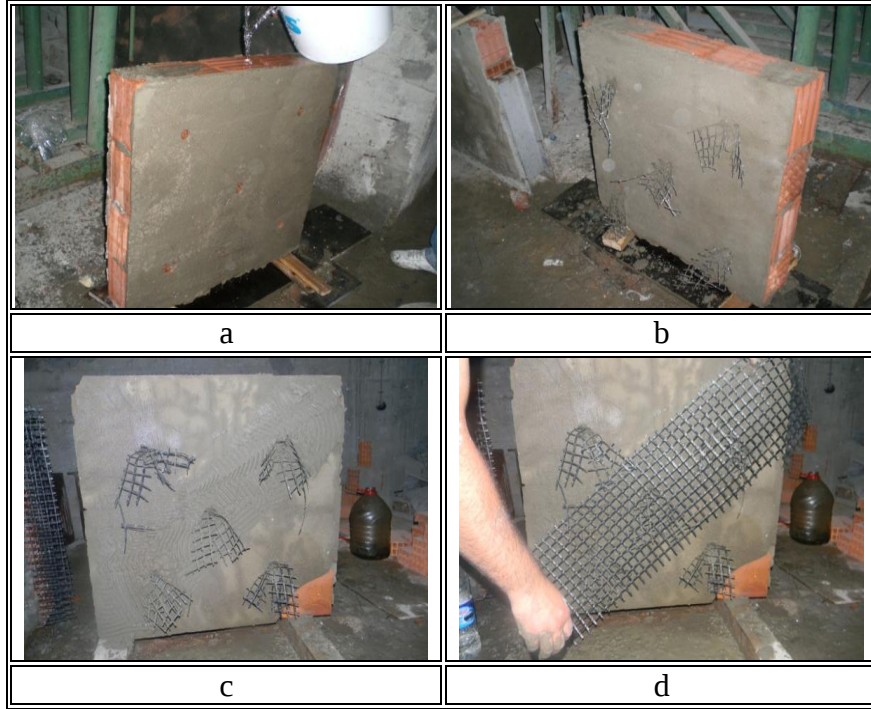


Şekil 2.4: Güçlendirilmemiş KN kodlu referans (şahit) duvar numuneleri.

Daha sonra ağın uygulanacağı duvar yüzeyi suyla ıslatılmıştır (Şekil 2.6a). Hazırlanan çimento harcı yaklaşık 2 mm kalınlığında olmak üzere uygulanacağı yüzeye sürülmüştür. Ağ bu harcın içine yatay olacak şekilde iyice yerleştirilip ankrajlar uygulandıktan sonra üzeri tekrar yaklaşık 2 mm kalınlığında çimento harcı ile kaplanmıştır (Şekil 2.7). Aynı işlem, iki yüzü de güçlendirilen numunelerin diğer yüzü ile iki katlı güçlendirilen numunelerin ikinci katı için de sırasıyla uygulanmıştır.



Şekil 2.5: DBYBHY 2007'ye göre uygulanmış SRG45 ankrajlar.



Şekil 2.6: Dolgu duvar numuneleri güçlendirme aşamaları a) Islatılmış duvar yüzeyi ve ankraj delikleri, b), c) ve d) ankraj uygulama aşamaları.

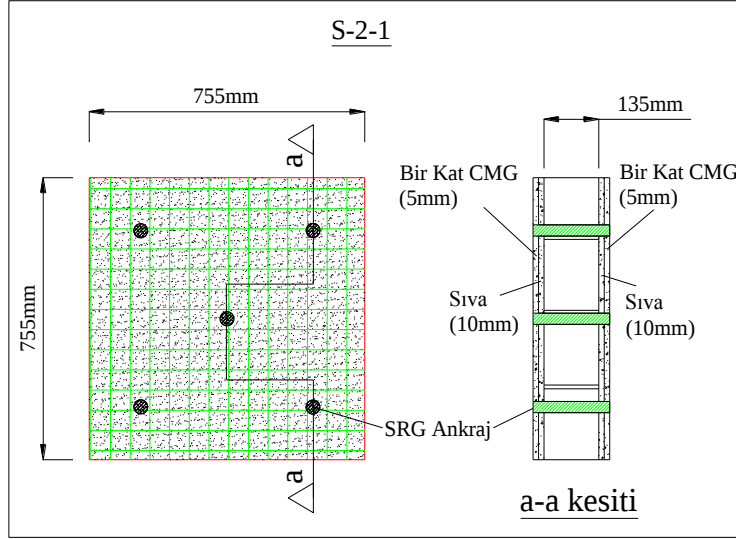
2.3 Dolgu Duvar Güçlendirme Şekilleri ve Grupları

Yukarıda üretim aşamaları anlatılan dolgu duvar numuneleri, aynı tuğla ve beton harcı kullanılarak bir birlerine eş olarak üretilmiş ve laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir.

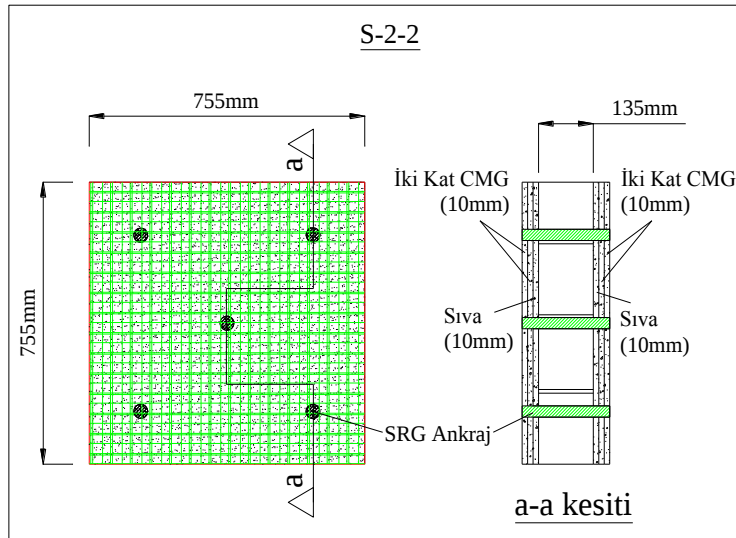


Şekil 2.7: Ağın (SRG45) harcın içine iyice yerleştirilmesi ve harç ile ağın üzerinin kapatılması.

Toplam 10 adet 755 mm×755 mm ebatlarında numune üretilmiş ve bu numuneler güçlendirme şekillerine göre 5 gruba ayrılmıştır. Bu 5 gruptan biri referans numunelerini içermekte, diğer 4 grup ise güçlendirilmiş numunelerden meydana gelmektedir. Referans numuneleri, güçlendirilmiş numunelerin deneysel parametrelerindeki artış veya azalışı belirlemek amacıyla üretilen numunelerdir. Buna göre, dolgu duvar numunelerinden oluşan deney grupları aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.8: İki taraftan bir kat CMG ile ankrajlı güçlendirilmiş (I. Grup) duvar numuneleri.

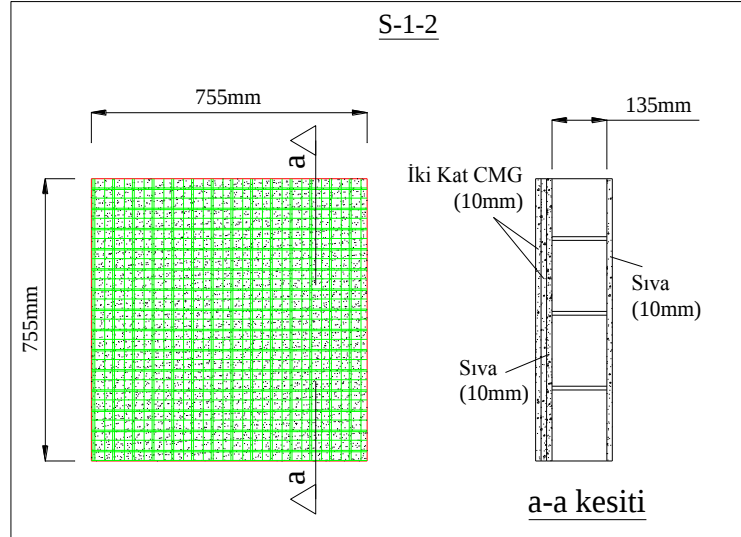


Şekil 2.9: İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı güçlendirilmiş (II. Grup) duvar numuneleri.

I. Grup, 2 adet S-2-1 kodlu duvar numunelerinden oluşmaktadır. Bu numunelerin iki yüzü bir kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiştir (Şekil 2.8). Gruptaki

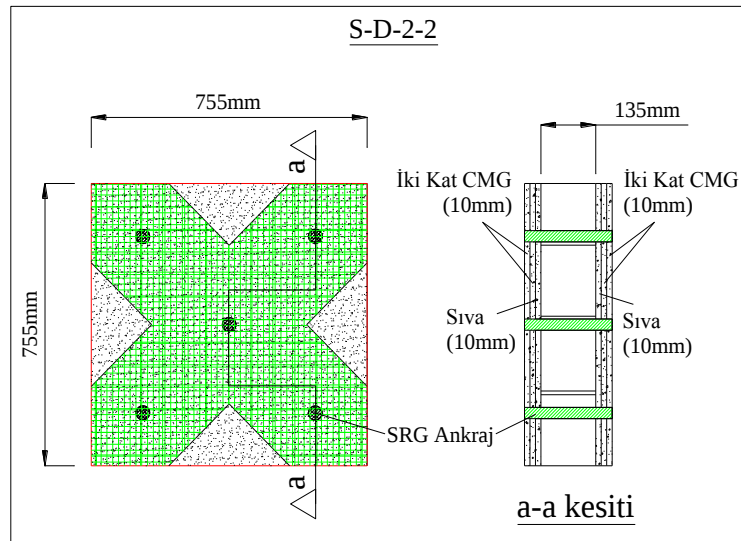
numuneler, üretim sırasına göre S-2-1-1 ve S-2-1-2 olarak kodlanmış ve bu yine sıralamayla denenmiştir. Numunelerin kod açılımı için Şekil 2.2'ye bakılabilir.

II. Grup, 2 adet S-2-2 kodlu duvar numunelerini içermektedir. Bu duvar numunelerinin iki yüzü iki kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiştir. Numunenin güçlendirme açılımı Şekil 2.9'da görülebilir. Gruptaki numuneler, sırasıyla S-2-2-1 ve S-2-2-2 olarak kodlanmış ve aynı sırayla denenmiştir.



Şekil 2.10: Bir taraftan iki kat CMG ile güçlendirilmiş (III. Grup) duvar numuneleri.

III. Grup, S-1-2 kodlu 2 adet duvardan oluşmaktadır. Bu grubun numuneleri, bir yüzü iki kat CMG ile ankrajsız olarak güçlendirilmiştir ve aynı zamanda ankrajsız olarak güçlendirilen tek gruptur (Şekil 2.10). Numuneler S-1-2-1 ve S-1-2-2 olarak kodlanıp, sırayla denenmiştir.



Şekil 2.11: İki taraftan iki kat CMG ile diyagonal olarak ankrajlı güçlendirilmiş (IV. Grup) duvar numunesi.

IV. Grup, S-D-2-2 kodlu duvar grubudur. Buna göre, bu numunelerin iki yüzü iki kat CMG ile diyagonal ve ankrajlı olarak güçlendirilmiştir (Şekil 2.11). Grup, toplam 2 adet duvar numunesinden oluşmakta ve bu numuneler sırasıyla S-D-2-2-1 ve S-D-2-2-2 olarak kodlanmıştır. Diyagonal şeritler 30 cm genişliğindedir.

Çizelge 2.1: Deney grupları.

Deney Grupları	Numune adı	CMG Uygulama Şekli	CMG Tekstil Malzemesi (Ticari Adı)	Güçlendirme Harcı
I	S-2-1-1 S-2-1-2	İki taraftan bir kat Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Silica Fume, Kum, Su, Akışkanlaştırıcı)
II	S-2-2-1 S-2-2-2	İki taraftan İki kat Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Silica Fume, Kum, Su, Akışkanlaştırıcı)
III	S-1-2-1 S-1-2-2	Bir taraftan iki kat	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Silica Fume, Kum, Su, Akışkanlaştırıcı)
IV	S-D-2-2-1 S-D-2-2-2	İki taraftan iki kat Diyagonal Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Silica Fume, Kum, Su, Akışkanlaştırıcı)
V	KN-1 KN-2	Güçlendirme yok	-	Sıva Harcı (Çimento, Su, Kum)

V. Grup, son grup olup, referans numunelerini içeren KN kodlu duvar grubudur. Toplam 2 adet numuneden oluşmaktadır. Numuneler, KN-1 ve KN-2 olarak kodlanmıştır. Bu numuneler güçlendirilmemiş, sadece sıvalı halde bırakılmıştır.

Diğer tüm güçlendirilen numuneler bu numunelerle kıyaslanmış ve çıkan sonuçlara göre değerlendirilmişlerdir. Numunelerin özellikleri Şekil 2.4'te görülmektedir.

Ayrıca, bütün deney grupları Çizelge 2.1'de, gruplardaki numune kodları, güçlendirilmiş numunelerin güçlendirilme şekilleri, güçlendirme malzemesi ve sıva harçları içeriği gibi özellikler grup sırasına göre özetlenmiştir.

2.4 Malzeme Deneyleri

Dolgu duvar numunelerinin üretimi aşamasında kullanılan beton harcı ve tuğla örnekleri ile güçlendirilen numunelerde kullanılan CMG harcından, malzeme karakteristiğini belirlemek amacıyla örnekler alındı. Malzeme deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan aletler ile yapıldı. Standart basınç dayanımları Şekil 2.12'de gösterilen 500 kN kapasiteli elektronik pres makinesiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12: Standart basınç deneylerinde kullanılan press makinesi.

2.4.1 Harç deneyleri

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan beton harcı basınç dayanımının belirlenebilmesi için toplam 4 adet standart silindir (150×300 mm) numunesi alındı. Bütün dolgu duvar numunelerinde, tuğla aralarında ve tuğla üstü sıva olarak aynı beton harcı kullanıldı.

Beton harcı silindir numuneleri 28. gün sonunda pres makinasında denenmiş ve elde edilen basınç dayanımları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Bu durum da, 28 gün sonunda ki beton harcı basınç dayanımı, alınan 4 silindir numunesinin ortalaması olarak 6.97 MPa bulunmuştur.

Çizelge 2.2: Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan beton harcı basınç deneyi sonuçları.

DOLGU DUVAR BETON HARCİ				
NUMUNE ADI	H Yükseklik (mm)	d Çap (mm)	Pmax (kN)	σmax (MPa)
1	300	150	125.80	7.12
2			127.90	7.24
3			117.10	6.63
4			121.60	6.88
Ortalama σ (MPa)				6.97



Şekil 2.13: Dolgu duvar numunelerinin üretiminde kullanılan beton harcı standart basınç deneyleri.

2.4.2 Tuğla deneyleri

Duvar numunelerinin yapımında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ince cidarlı 190mmx190mmx135mm boyutlarındaki tuğlalar kullanılmıştır.



Şekil 2.14: Dolgu duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlaların basınç deneyleri.

Deney numunelerinin üretimi sırasında kullanılan tuğlaların delik doğrultusundaki basınç dayanımının belirlenebilmesi için 7 adet tekli tuğla denendi (Şekil 2.14).

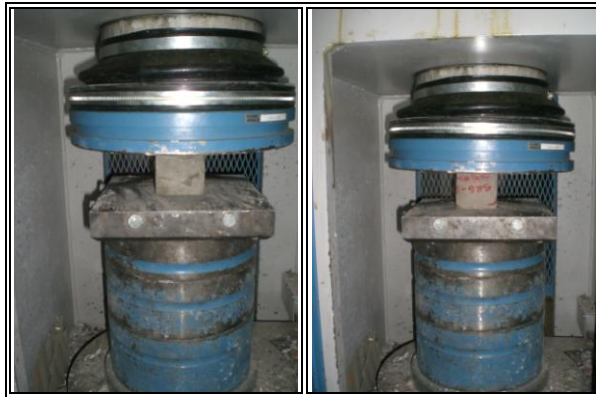
Çizelge 2.3: Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlaların delik doğrultusunda yapılan basınç deneyi sonuçları.

TUĞLA NUMUNELERİ		
NUMUNE ADI	P _{max} (kN)	σ _{max} (MPa)
1	230.40	8.59
2	175.60	6.55
3	203.00	7.57
4	175.00	6.52
5	207.90	7.75
6	198.00	7.38
7	180.80	6.74
Ortalama σ (MPa)		7.30

Basınç deneyi gerçekleştirilmeden önce tuğla numunelerinin delikli yüzeylerinde düzgün bir yüzey oluşturmak amacıyla alçı kullanılarak düz yüzeyli başlıklar yapıldı. Hazırlanan tuğla numuneleri delik doğrultusunda pres makinesine konularak basınç deneyi gerçekleştirildi. Tuğla basınç deneyi sonuçları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

2.4.3 Güçlendirme (CMG) harcı deneyleri

Duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan CMG sistemindeki güçlendirme harcından duvar numunelerinin üretimi sırasında 70mmx70mmx70mm ebatlarında küp numuneler alınmıştır. Bu küp numuneler de yine aynı şekilde pres makinesinde denenmiş ve basınç değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Dolgu duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan çimento hamuru basınç deneyleri.

CMG sisteminde kullanılan çimento hamuru basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4: Duvar numunelerinin güçlendirmesinde kullanılan CMG sistemindeki çimento hamuru standart basınç deneyi sonuçları.

CMG HARCİ NUMUNELERİ			
NUMUNE ADI	Ebatlar (mm)	Pmax (kN)	σmax (MPa)
1	70*70*70	85.20	17.39
2		115.10	23.49
3		80.80	16.50
4		94.20	19.23
5		122.40	24.98
6		96.60	19.72
7		107.60	21.96
8		78.30	15.99
9		108.60	22.16
10		83.10	16.96
11		111.80	22.82
12		84.90	17.32
13		86.50	17.65
14		114.40	23.35
15		81.10	16.54
16		108.60	22.17
Ortalama σ (MPa)			19.89

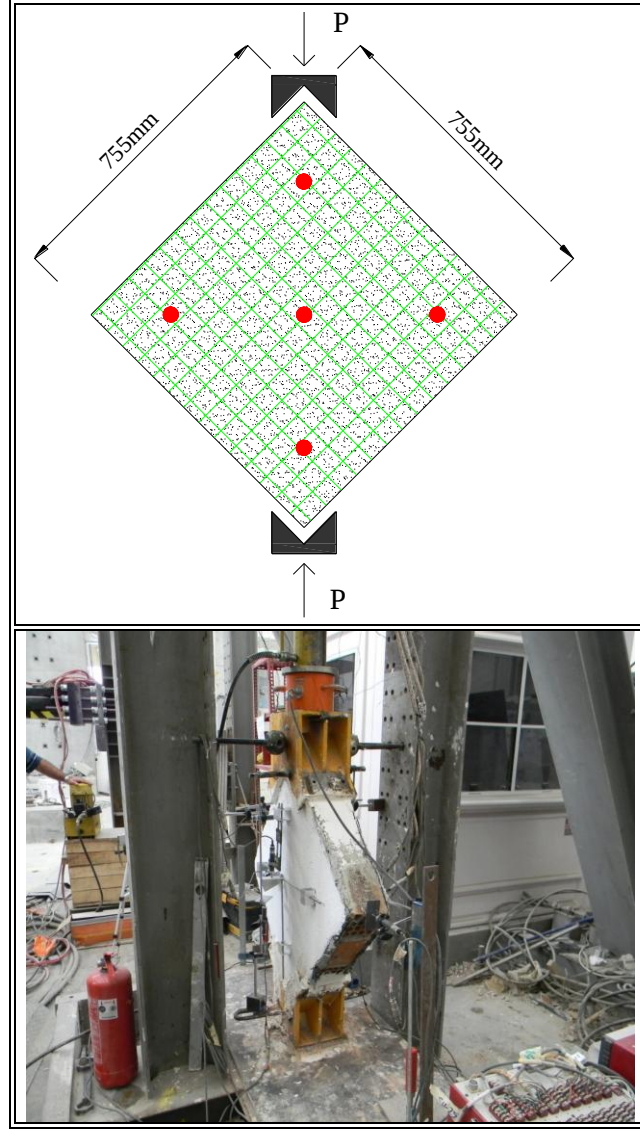
2.5 Deney Düzenegi

2.5.1 Yükleme düzenegi

Deneyisel çalışmanın bu ilk bölümü ‘Diyagonal Kayma Deneyleri’nden oluşmaktadır. Deneylerde ASTM-E 519-02 (2002)’de tarif edilen yığma yapılar için önerilen, kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Diyagonal kayma deneylerinde, 755 mm x 755 mm boyutlarındaki dolgu duvar numuneleri 45° döndürülerek düşey basınç kuvveti etkisinde monotonik artan yükler altında test edilmiştir (Şekil 2.16). Bu yükler altında numuneler göçmeye kadar zorlanmış ve doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır.

Deneyler sırasında yükleme 500 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile yapılmış ve yük değerleri 500 kN kapasiteli bir yük ölçer (Load Cell) kullanılarak ölçülmüştür.

Yükleme adımları, yüklem hızı sabit tutulmaya çalışılarak, saniyede 10 kN'luk artımlar ile uygulanmıştır. Numunenin göçme yükünün yaklaşık %30'una kadar iki kez yüklem-boşaltma yapılmış, üçüncü çevrimde numune göçme yüküne kadar yüklenmiştir.



Şekil 2.16: Yüklem düzeneği.

2.5.2 Ölçüm Düzeneği

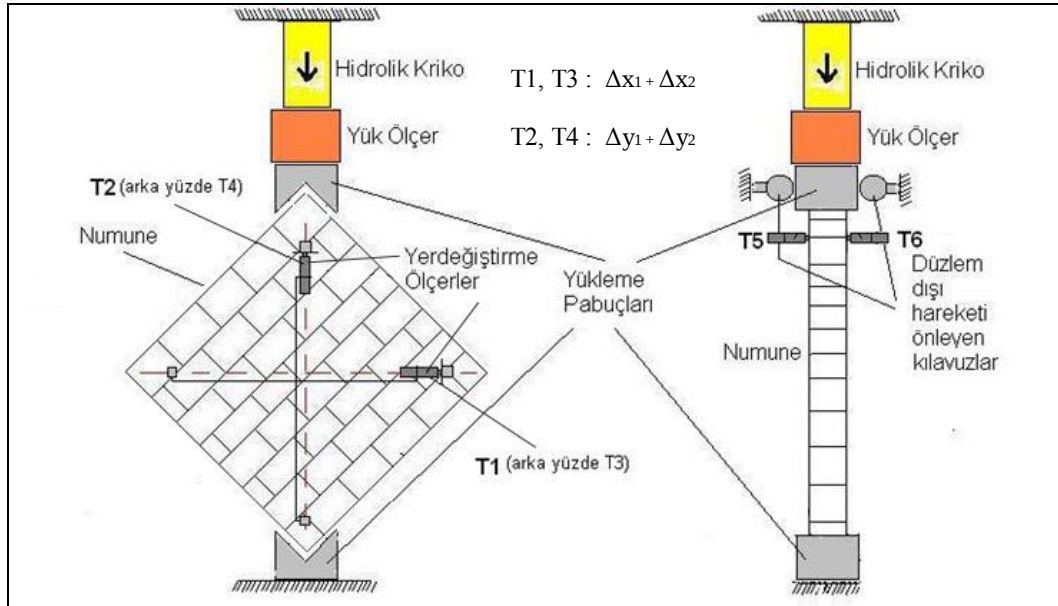
Dolgu duvar numunelerinin düşey ve yatay yer değiştirmeleri, numunenin her iki yüzüne yerleştirilen toplam 4 adet 10 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçer (LVDT) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.18).

Numunelerin düzlem dışı hareketini kontrol edebilmek amacı ile 2 adet 10 mm kapasiteli LVDT yer değiştirme ölçer ile düzlem dışı yer değiştirmeler de ölçülmüştür (Şekil 2.18). Her bir düşey yük artımında, yük ölçer ve yer değiştirme

ölçerler ile ölçülen değerler veri toplayıcı (Data Logger) ile bilgisayara aktarılmış ve özel bir bilgisayar programı kullanılarak kaydedilmiştir. Her yükleme adımında çatlak oluşumları ve deney sonunda numunenin göçme şekli detaylı olarak kaydedilmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 2.17: Yerdeğiştirme ölçerler (LVDT).



Şekil 2.18: Deney numunesi üzerindeki (LVDT) yerdeğiştirme ölçer yerleri.

2.6 Diyagonal Kayma Deneyleri

Dolgu veya yığma duvarlarda kayma deneyleri; denenen numunelerin, kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirme ilişkisi ile kayma modülü ve göçme modu ile ilgili deneysel ve analitik çalışmalardır. Bu özelliklerin belirlenmesinde literatürde

kullanılan denklem ve semboller aşağıda açıklanmaktadır. Buna göre kayma gerilmesi (τ)

$$\tau = \frac{0.707P}{A_n} \quad (2.1)$$

Burada,

$P \rightarrow$ uygulanan yük (kN),

$A_n \rightarrow$ duvar net en kesit alanıdır (mm^2).

Kayma en kesit alanı A_n ise denklem 2.2’de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$A_n = [(w+h)/2].t.n \quad (2.2)$$

Burada,

$w \rightarrow$ numune genişliği (mm), $h \rightarrow$ numune yüksekliği (mm),

$t \rightarrow$ numune toplam kalınlığı (mm) ve $n \rightarrow$ numune enkesit alanı doluluk oranıdır.

Kayma şekil değiştirmesi (γ) ise numunede oluşan düşey birim kısalma ile yatay birim uzamanın toplamına bağlı olarak hesaplanmıştır. Buna göre kayma şekil değiştirmesi (γ) denklem 2.3’te görüldüğü gibidir;

$$\gamma = [(\Delta V/g_v) + (\Delta H/g_h)] \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklemde;

$(\Delta V) \rightarrow$ numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim (mm)

$(\Delta H) \rightarrow$ numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim (mm)

$g_v \rightarrow$ yerdeğiştirme ölçerin başlangıç düşey boyu (mm)

$g_h \rightarrow$ yerdeğiştirme ölçerin başlangıç yatay ölçüm boyu (mm) olarak verilmiştir.

Kayma modülü (G), kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde, duvar numunelerinin maksimum kayma dayanımlarının %5 ile %30’u arasındaki eğim olarak tanımlanmıştır.

Bu eğriler, yer değiştirme ölçerler ile toplanan veriler değerlendirilip kullanılarak çizilmiştir.

Yukarıda hazırlanma aşamaları anlatılan dolgu duvar numunelerinden oluşan 5 duvar grubu, diyagonal kayma deneyleri altında denenmiştir. Deneyler ASTM-E 519-02 (2002)'de tarif edilen deney tekniğine uygun olarak yapılmıştır.

Diyagonal kayma deneyleri, hazırlanan duvar numunelerinin, 45° döndürülerek düşey basınç kuvveti etkisinde monotonik olarak artan yükleme altında denenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yükleme, motorlu bir krika yardımıyla, yükleme hızı sabit tutularak, 10 kN'luk artımlarla yapılmış ve bu yükleme yük ölçer (load cell) ile kontrol edilmiştir. Bu yükleme altında, numunenin göçme yükünün yaklaşık %30'una kadar iki kez yükleme-boşaltma yapılmış daha sonra numuneler göçmeye kadar zorlanmış ve doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır.

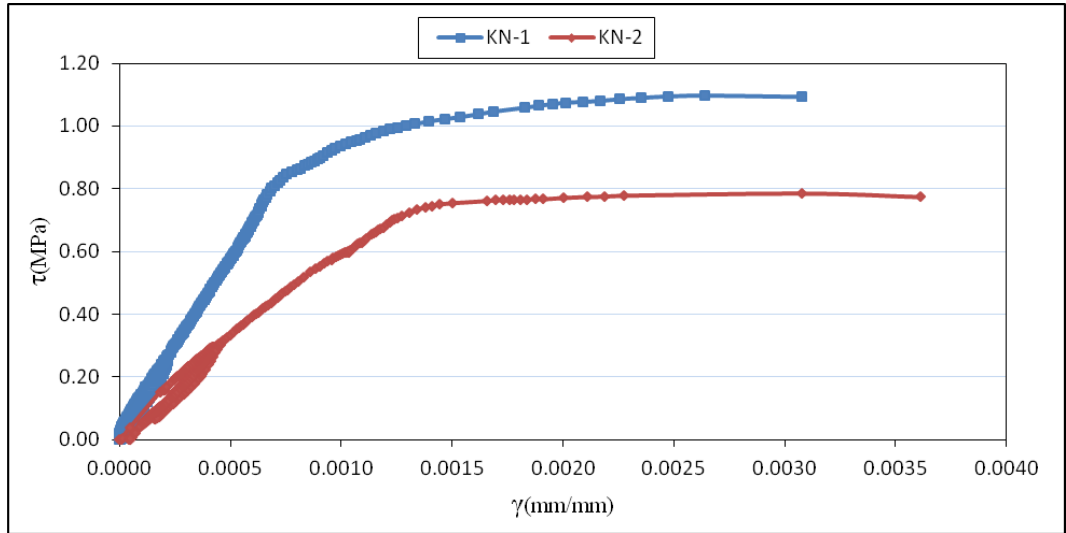
Kayma deneylerinde, duvar numunelerinin yüzeylerinde oluşan çatlaklar gözlenerek kalemle işaretlenmiş ve resimlendirilmiştir. Çatlaklar harfler ile adlandırılmıştır. Numunede ilk oluşan çatlak 'A' harfi ile adlandırılıp, sırasıyla diğer harfler verilerek çatlaklar belirtilmiştir. Duvar numunesinin, laboratuvar deney alanına bakan yüzeyi 'ön yüz', laboratuvar araç giriş-çıkış ana kapısına bakan yüzeyi ise 'arka yüz' olarak adlandırılmıştır.

2.6.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri (V.Grup) kayma deneyleri

Diyagonal kayma deneylerinde ilk olarak, güçlendirilmemiş duvar numunelerinin oluşturduğu V. Grup denenmiştir. V. Grup duvar numuneleri, KN kodlu kontrol (referans-şahit) numuneleri olup 2 adet üretilmiştir. Numuneler diyagonal basınç yükü altında denenmiş, bu yük altında duvar numunesinin davranışı gözlemlenmiştir.

Bu numunelerin üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler tarafından, deney esnasında kaydedilen değerler kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri eğrisi çizilmiştir (Şekil 2.19).

V. Grup duvar deneyleri sırasında elde edilen veriler deney sonunda değerlendirilerek, bu gruptaki numunelerin deneysel parametreleri hesaplanmış, bu deneysel parametreler Çizelge 2.5'de, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.19: KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Çizelge 2.5: KN numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
KN-1	1.10	0.26	1185
KN-2	0.78	0.31	702

V. Grupta yer alan duvar numuneleri KN-1 ve KN-2 olarak adlandırıldı. Dolgu duvar grupları, Bölüm 2.3 ve Çizelge 2.1’de ayrıntılı olarak görülebilmektedir. V. Grupta ilk olarak KN-1 kodlu duvar numunesi denendi ve deney sırasında numunede gözlenen durumlar ayrıntılı olarak kaydedildi.

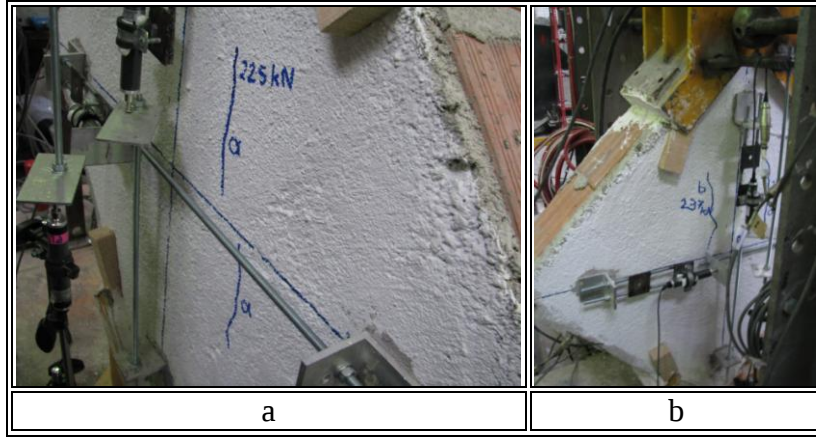
Çizelge 2.6: KN numuneleri istatistiksel değerleri.

İstatistiksel değerler	Ortalama değerleri
$\tau_{\max}$ (MPa)	0.94
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.29
G(MPa)	944

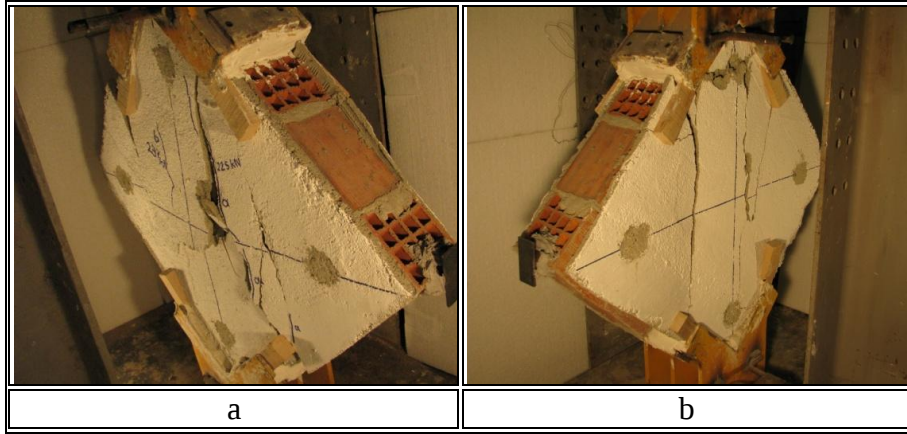
KN-1 numunesinde deney süresince aşağıdaki olaylar gözlenmiştir.

Numunede ilk çatlak 3. Yükleme çevriminde, 225 kN’da numunenin arka yüzünde meydana geldi. Bu çatlak “a” çatlağı olarak işaretlendi (Şekil 2.20a). Çatlağın genişliği 0.1mm olarak ölçüldü. 230 kN’da numuneden yüksek çatırdama sesleri geldi. 237 kN’da yine numunenin arka yüzünde “b” çatlağı oluştu (Şekil 2.20b). Çatlak genişliği 0.1 mm’den küçüktür. 245 kN’da, çatlaklara paralel bir şekilde

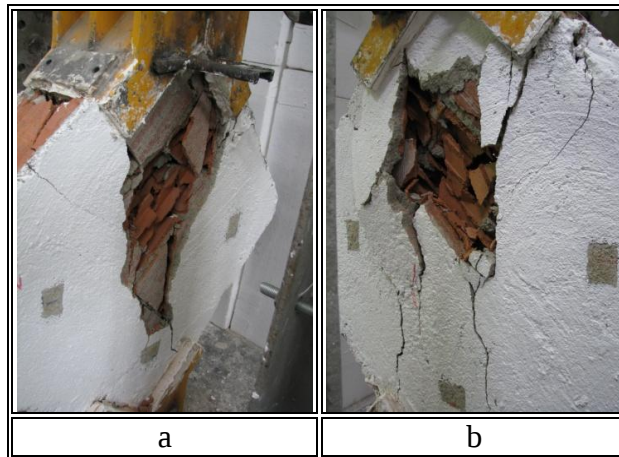
meydana gelen ani çatlaklar sonucu, numunede gevrek bir göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2.20: KN-1 numunesinin arka yüzünde oluşan çatlaklar a) a çatlağı, b) b çatlağı.



Şekil 2.21: KN-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) arka yüz, b) ön yüz.



Şekil 2.22: KN-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.

V. Gruptaki bir diğer numune olan KN-2 numunesinin deneyinde meydana gelen önemli gözlemler ise şöyle özetlenebilir. 2. yükleme çevriminde, 50 kN’da,

numuneden ilk çatlama sesi duyulmuştur. 3. çevrim 128 kN’da ise ikinci çatlama sesi gelmiştir. Sırasıyla 140 kN, 196 kN, 205 kN, 214 kN ve 219 kN’da çatlama sesleri devam etmiştir. 230 kN’da üst başlıktan, başlık ile numunenin tam olarak oturmasını sağlamak için yerleştirilen alçı dökülmeye başladı. 236 kN’da sıva dökülmesi başlamıştır. 256 kN’da numune ani bir patlamayla, düşeyde oluşan büyük yarılma sonucu göçmüştür. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.22’de verilmiştir.

2.6.2 Güçlendirilmiş duvar kayma deneyleri

Güçlendirilmiş duvar numunelerinin diyagonal basınç etkileri altında denenmesi durumundaki davranış bu bölümde özetlenmiştir. I., II., III. ve IV. Gruplarda yer alan S kodlu numuneler 2’şer adet olarak üretilmiştir. Bu gruplar hakkında geniş bilgi için Bölüm 2.3 ve Çizelge 2.1’e bakılabilir. Bu numunelerin üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler yardımıyla, deney esnasında kaydedilen değerler kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri verilmiş ve aynı zamanda deneysel parametreler hesaplanmıştır.

2.6.2.1 I. Grup numuneleri kayma deneyleri

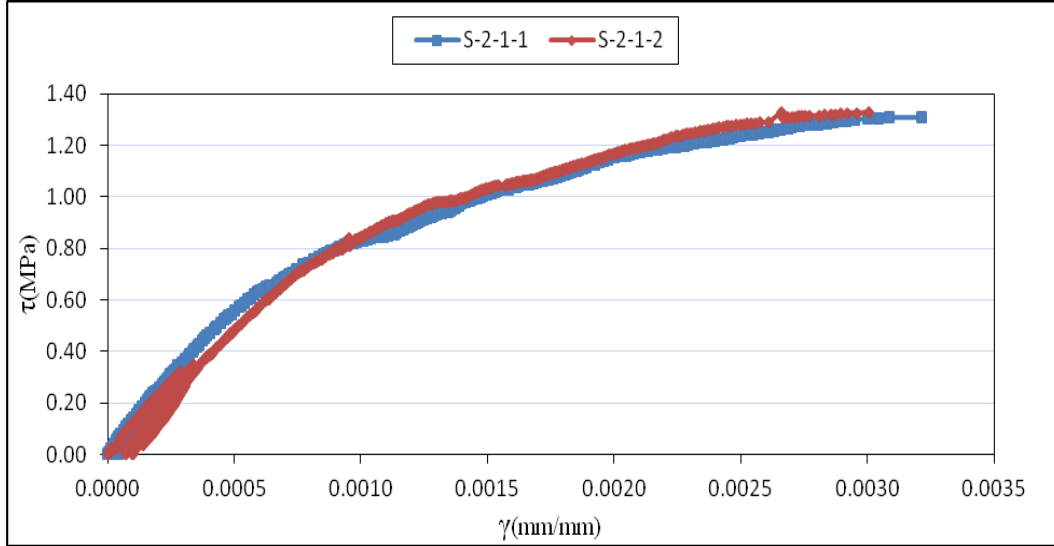
Bu grupta iki adet, iki taraftan bir kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş S-2-1-1 ve S-2-1-2 kodlu duvar numuneleri bulunmaktadır. Bu numuneler, sırasıyla diyagonal kayma etkileri altında denenmiş ve elde edilen verilerle numunelere ait eğriler ve deneysel parametreler hesaplanarak bir birleriyle ve referans numuneleriyle mukayese edilerek çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneyler sırasında meydana gelen önemli olaylar da gözlenmiş ve aşağıda geniş bir şekilde özetlenmiştir.

İlk olarak, bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri Şekil 2.23’te verilmiştir.

Yine aynı verilerle hesap edilerek elde edilen, numunelere ait deneysel parametreler Çizelge 2.7’de, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.8’de görülebilir.

Çizelge 2.7: S-2-1 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
S-2-1-1	1.309	0.32	1217.05
S-2-1-2	1.328	0.30	1214.40



Şekil 2.23: S-2-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri.

Çizelge 2.8: S-2-1 numuneleri istatistiksel değeri.

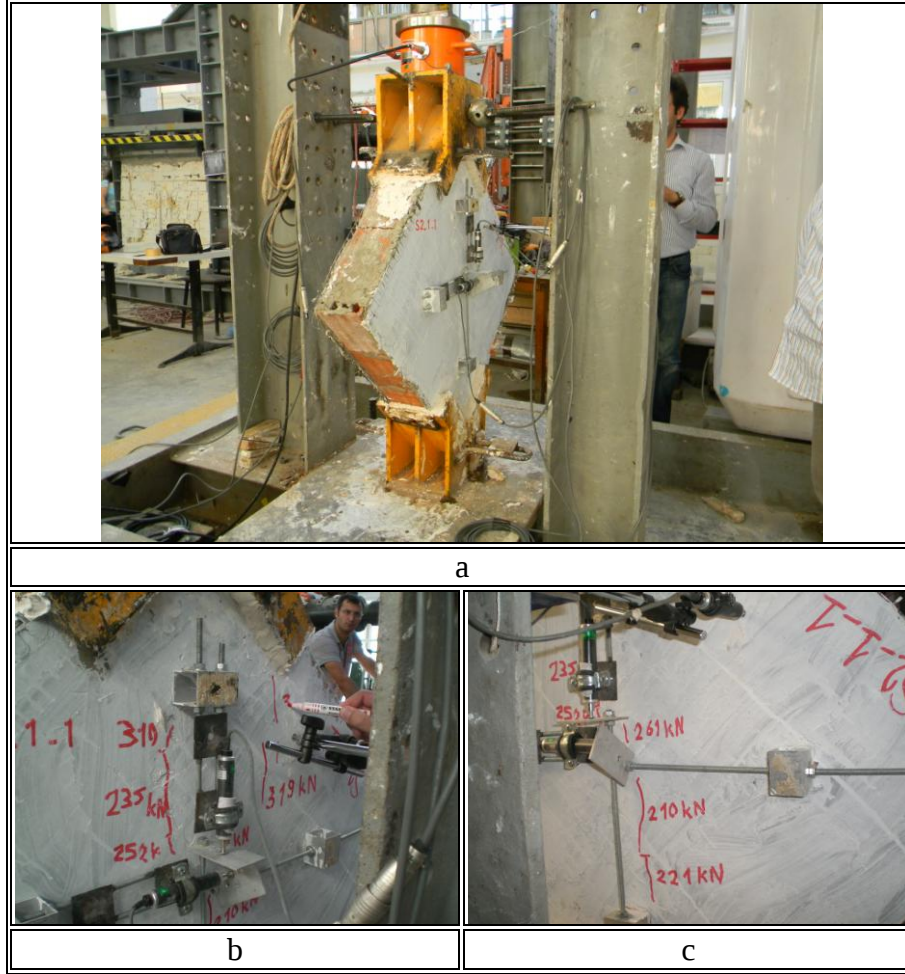
İstatistiksel değeri	Ortalama değeri
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.32
$\gamma_{\max}$ (mm/mm)(%)	0.31
G(MPa)	1215.73

Son olarak, bu duvar numunelerinin deneyleri sırasında öne çıkan önemli olaylar ise şöyle özetlenebilir.

Bu grupta ilk olarak denenen S-2-1-1 numunesinden ilk ses 3. yükleme çevriminde 163 kN'da numunenin gövdesinden ve tuğladan çatlama olarak gelmiştir. 203 kN'da çatlama sesi tekrarlamıştır. 210 kN'da numunenin her iki yüzünde genişliği 0.1 mm olan A çatlağı oluşmuştur. 221 kN'da bu çatlak aşağıya doğru ilerlemeye başlamıştır. 235 kN'da arka yüzde genişliği 0.1 mm olan B çatlağı oluşmuştur. 240 kN'da numuneden çatlama sesi gelmiştir. 250 kN'da numunenin arka yüzünde C çatlağı oluşmuştur. 261 kN'da C çatlağı 0.1 mm olarak ölçülmüştür. 287 kN'da bu çatlak ilerlemeye başlamıştır. 305 kN'da ön yüzde A çatlağını devamı olarak D çatlağı oluşmuştur. Bu çatlak 316 kN'da 0.3 mm genişliğe ulaşmıştır. 319 kN'da numunenin arka yüzünde E çatlağı oluşmuştur. 326 kN'da numune ani ve gevrek bir biçimde patlayarak göçmüştür.

Grupdaki diğer numune olan S-2-1-2 deneyinde ise 2. yükleme çevriminde 72 kN'da çerçeveden ses geldi. 3. yükleme çevriminde ilk ses 162 kN'da içsel bir çatlama sesi

olarak gelmiştir. Sırasıyla, çatlama sesleri 190 kN, 209 kN, 213 kN ve 221 kN’da duyulmuştur.



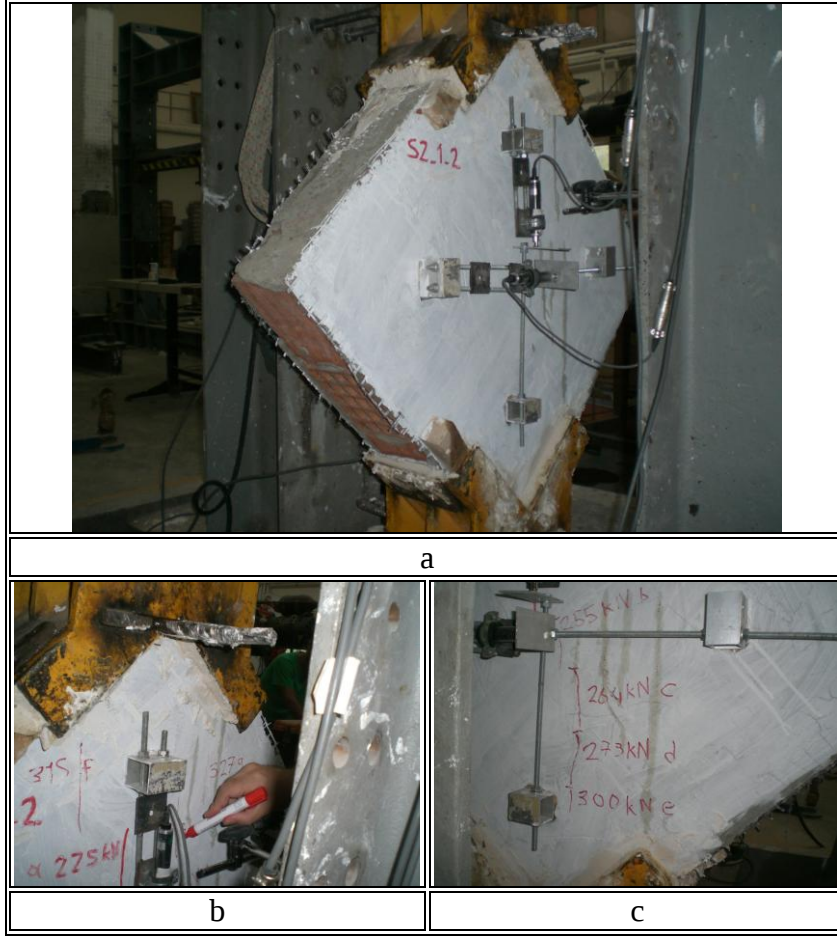
Şekil 2.24: S-2-1-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar, c) arka yüzdeki çatlaklar



Şekil 2.25: S-2-1-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.

İlk çatlak olan A çatlağı, 225 kN’da numunenin arka yüzünde görülmüş ve 0.1 mm’den küçük olarak ölçülmüştür. Aynı A çatlağı 242 kN’da genişleyerek 0.1 mm’

ye ulaşmıştır. Bu değerden sonra ön yüzde bulunan cam liflerdeki gerilmeler ve kabarmalar gözle farkedilebilir hale gelmiştir.



Şekil 2.26: S-2-1-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar, c) arka yüzündeki çatlaklar.



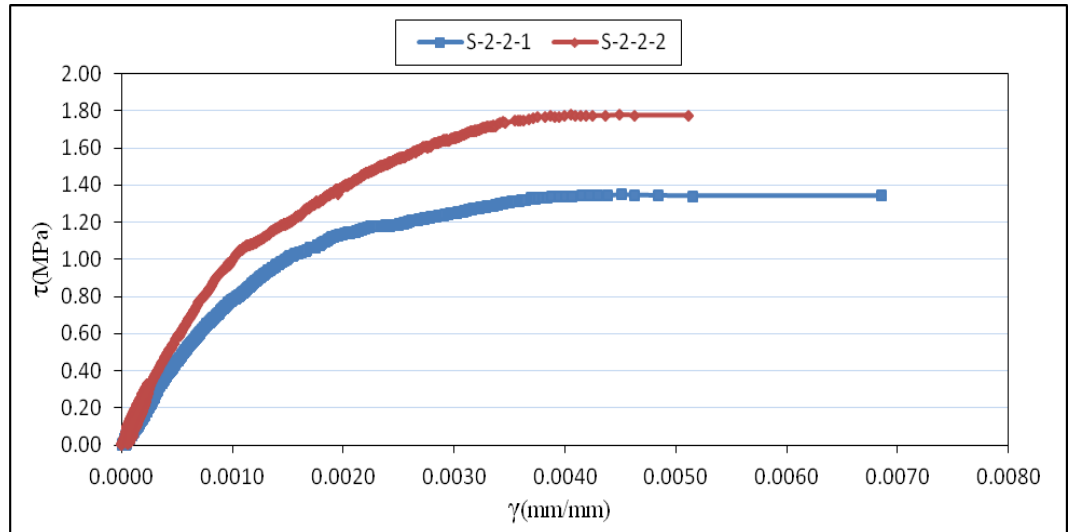
Şekil 2.27: S-2-1-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüzü.

255 kN’da numuneden yine çatlama sesi gelmiş ve A çatlağı 0.2 mm’ye genişlemiştir. Yine 255 kN’da numunenin arka yüzünde B çatlağı oluşmuştur. 264 kN’da arka yüzde C çatlağı oluşmuştur. Bu çatlağın genişliği 0.1 mm’den küçüktür.

268 kN'da A çatlağı 0.3 mm, B çatlağı 0.1 mm ve C çatlağı 0.1 mm'den küçük olarak ölçülmüştür. 273 kN'da D çatlağı meydana gelmiştir. Yine 273 kN'da bu sefer ön yüzde genişliği 0.1 mm den küçük olan A' çatlağı oluşmuştur. 292 kN'da A, B ve C çatlakları 0.1 mm daha genişlemişlerdir. 300 kN'da arka yüzde E çatlağı oluşmuştur. Bu değerden sonra sırasıyla 315 kN'da F çatlağı, 327 kN'da G çatlağı ve 328 kN'da H çatlağı oluşmuştur. Bu çatlakların genişliği 0.1 mm'den küçüktür. 331 kN'da numune ani ve gevrek bir biçimde patlayarak göçmüştür (Şekil 2.27).

2.6.2.2 II.Grup numuneleri kayma deneyleri

II. grup numuneleri, iki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş S-2-2-1 ve S-2-2-2 numuneleridir. Bu numuneler 2 kat CMG ile güçlendirilmiştir. Bu gruba ait, diyagonal basınç deneylerinden elde edilen eğriler ve parametreler sırası ile aşağıda verilmiş ve aynı zamanda deney esnasında numunelerde meydana gelen önemli durumlar özetlenmiştir.



Şekil 2.28: S-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

İlk olarak S-2-2-1 numunesi daha sonra S-2-2-2 numunesi denenmiştir. Bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri Şekil 2.28' de görülmektedir.

Çizelge 2.9: S-2-2 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
S-2-2-1	1.35	0.45	958.75
S-2-2-2	1.78	0.40	1608.73

Yine aynı numunelere ait, deney esnasında toplanan verilerle elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.9’da, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.10’da verilmiştir.

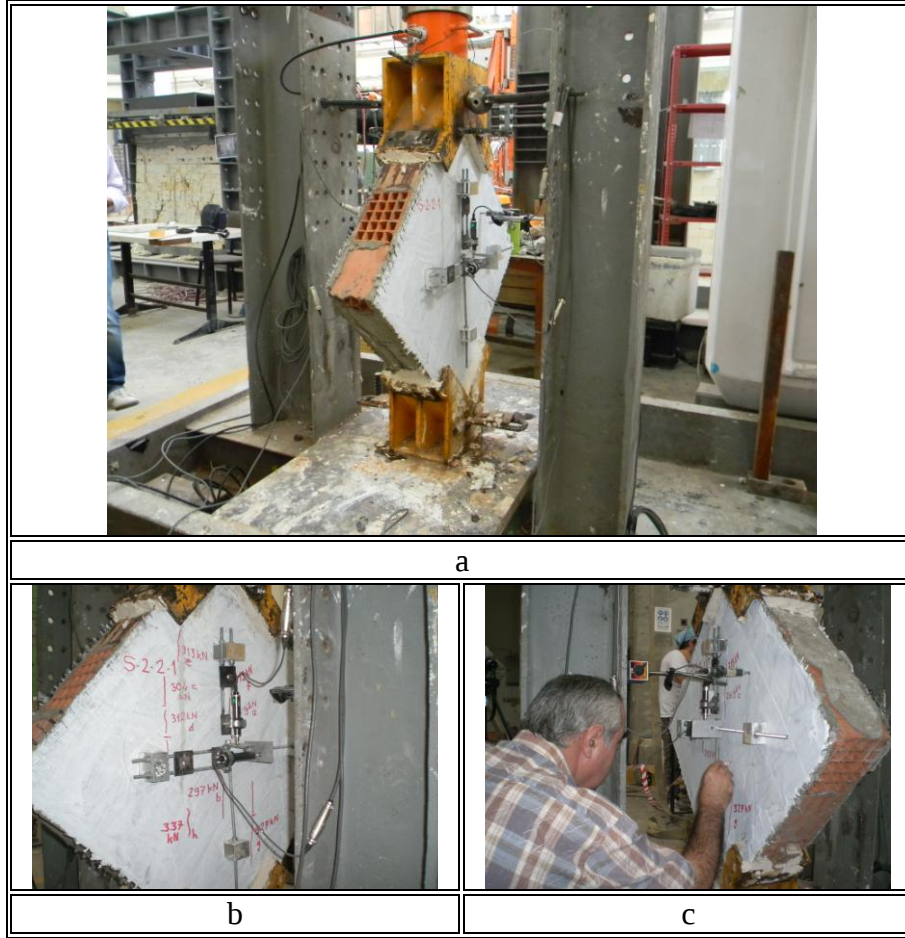
Çizelge 2.10: S-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.

İstatistiksel değerler	Ortalama değerleri
$\tau_{\max}(\text{MPa})$	1.56
$\gamma_{\tau_{\max}}(\text{mm/mm})(\%)$	0.43
G(MPa)	1283.74

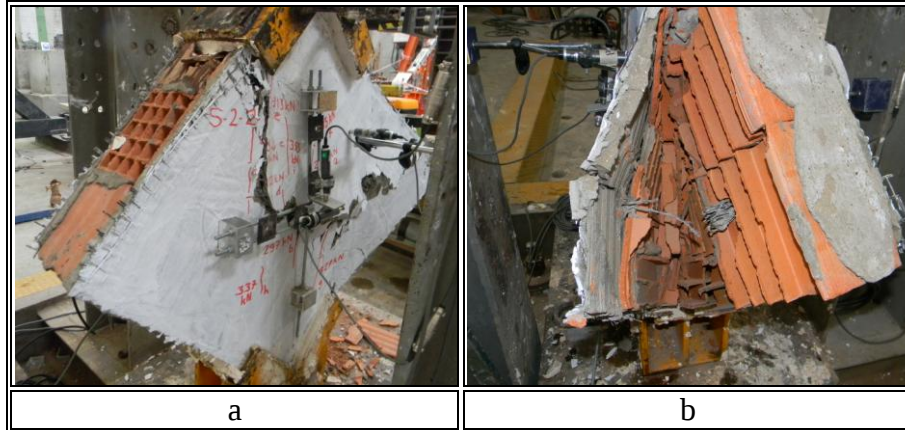
Bu gruptaki ilk denenen numune olan S-2-2-1 deneyinde öne çıkan önemli olaylar şöyle özetlenebilir.

3. Yükleme çevriminde 252 kN’a kadar herhangi bir şey gözlemlenmedi. 269 kN’da arka yüzde ilk çatlak olan A çatlağı oluştu. 297 kN’da numuneden çatlama sesi geldi ve arka yüzde B çatlağı oluştu. 304 kN’da arka yüzde C çatlağı oluştu. 310 kN’da numuneden çatlama sesi geldi. 312 kN’da arka yüzde D çatlağı oluştu. 313 kN’da E çatlağı, 315 kN’da F çatlağı oluştu. 320 kN’da ön yüzde genişliği 0.1 mm den küçük A’ çatlağı oluştu. 326 kN’da numuneden ses geldi. 327 kN’da arka yüzde 0.1 mm genişliğinde G çatlağı oluştu. 337 kN’da arka yüzde H çatlağı oluştu ve ön yüzdeki A’ çatlağı ilerlemeye başladı. 340 kN’da ön yüzde genişliği 0.1 mm’den küçük B’ çatlağı oluştu. 350 kN’da numuneden çatlama sesi geldi. 355 kN’da arka yüzde İ çatlağı oluştu. Yine 355 kN’da ön yüzdeki A’ çatlağı ilerledi. Numune 355 kN’da büyük bir patlama ile CMG katmanının duvardan ayrılması sonucu göçtü. Numuneye uygulanan ankrajlarda kopma meydana geldi (Şekil 2.30b).

Grubun ikinci numunesi olan S-2-2-2 numunesi deneyinde ise 3. yükleme çevriminde 127 kN’da ön ve arka yüzdeki mevcut rötre çatlakları genişleyerek 0.1 mm’ye ulaştı. Sırasıyla 150 kN, 164 kN, 200 kN, 235 kN ve 263 kN’da numuneden çatlama sesleri duyuldu. 270 kN’da mevcut rötre çatlakları 0.2 mm genişliğe ulaştı. 296 kN’da numuneden çatlama sesi geldi ve arka yüzde rötre çatlakları ilerlemeye başladı. 299 kN’da ön yüzde 0.1 mm den küçük A’ çatlağı oluştu. 305 kN’da mevcut rötre çatlakları normal çatlaklara dönüşmeye başladı ve yine aynı yükte numunenin arka yüzünde genişliği 0.3 mm olan A çatlağı ile genişliği 0.2 mm olan B çatlağı meydana geldi.



Şekil 2.29: S-2-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.



Şekil 2.30: S-2-2-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) kopan ankraj.

323 kN'da numuneden çatlama sesi geldi, A ve B çatlaklarının genişliği değişmedi. 330 kN'da A' çatlağının genişliği 0.1 mm oldu. Yine 330 kN'da arka yüzdeki A ve B çatlaklarının genişliği 0.3 mm olarak ölçüldü. 342 kN'da A ve B çatlaklarının genişliği 0.4 mm oldu. 365 kN'da arka yüzdeki A çatlağı ilerlemeye başladı. 380 kN'da A ve B çatlaklarının genişliği 0.5 mm olarak ölçüldü.



Şekil 2.31: S-2-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.



Şekil 2.32: S-2-2-2 numunesinde göçme anında kopan ankrajlar.

Yine 380 kN'da ön yüzdeki A' çatlağının genişliği 0.2 mm oldu. 390 kN'da numuneden çatlama sesi geldi. 421 kN'da ön yüzdeki A' çatlağının genişliği 0.3 mm

olarak ölçüldü. 422 kN'da arka yüzde genişliği 0.1 mm olan C çatlakı meydana geldi. 430 kN'da C çatlakı giderek ilerlemeye başladı. 442 kN'da arka yüzde D çatlakı oluştu. 443 kN'da numune büyük bir patlama sonucu ani bir şekilde göçtü (Şekil 2.33). Numuneye uygulanan ankrajlarda kopma gözlemlendi (Şekil 2.32). Ayrıca numunenin üretimi sırasında oluşmuş rötre çatlaklarının genişlemesi de göçmeyi hızlandırmıştır.



Şekil 2.33: S-2-2-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.

2.6.2.3 III. Grup numuneleri kayma deneyleri

Bu duvar grubu ankrajsız olarak üretilen tek gruptur. Bu grup, bir yüzlerinin iki kat CMG ile güçlendirilmiş S-1-2-1 ve S-1-2-2 kodlu numuneleri içermektedir. Numuneler sırasıyla diyagonal basınç deneyleri altında denenmiş ve çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

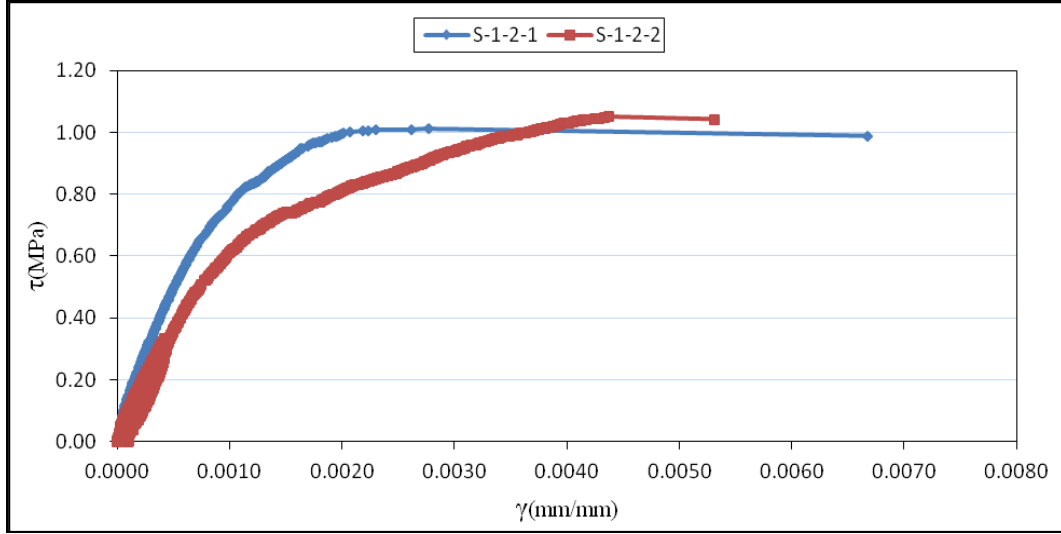
Çizelge 2.11: S-1-2 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
S-1-2-1	1.01	0.28	1122.4
S-1-2-2	1.05	0.43	727.59

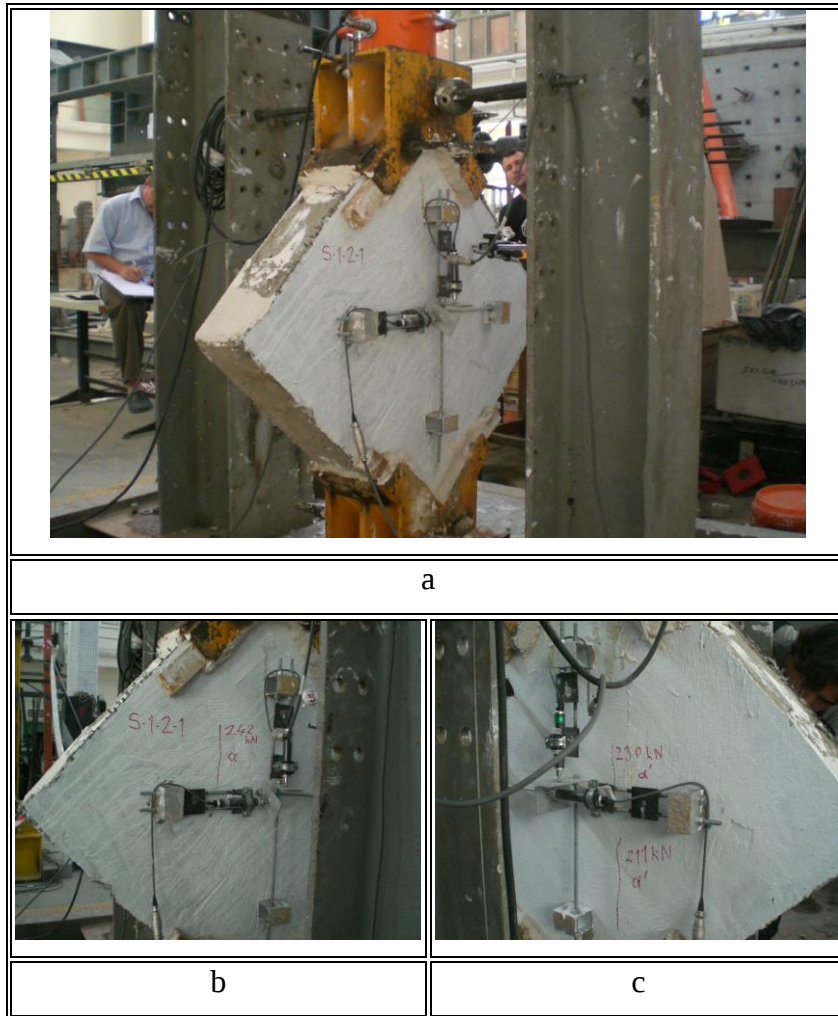
Çizelge 2.12: S-1-2 numuneleri istatistiksel değerleri.

İstatistiksel değerler	Ortalama değerleri
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.03
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.36
G(MPa)	925

Bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 2.34'te görülmektedir.



Şekil 2.34: S-1-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

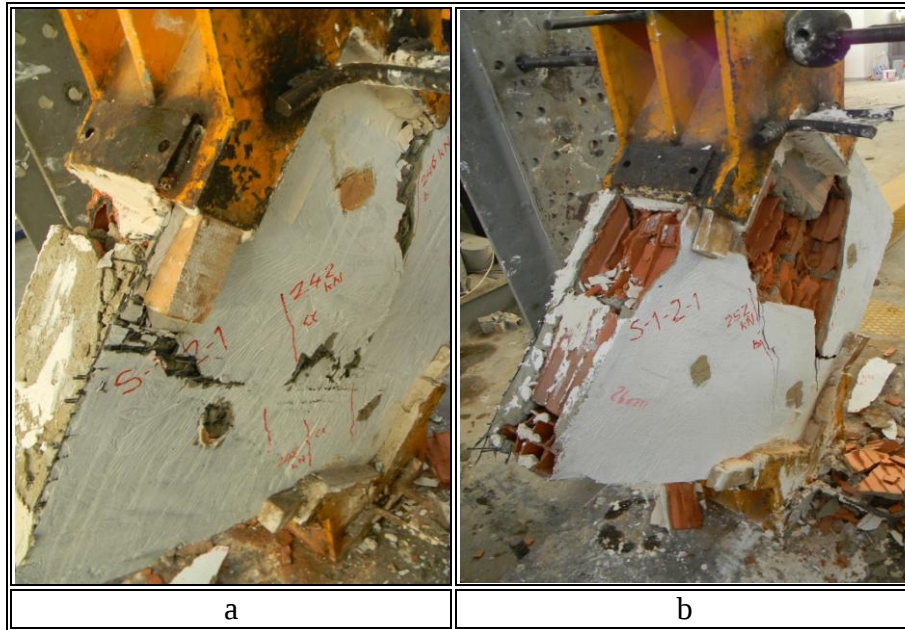


Şekil 2.35: S-1-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzündeki çatlaklar ve c) arka yüzündeki çatlaklar.

Numunelerin deneylerinden elde edilen verilerle, numunelerin deneysel parametreleri elde edilmiş ve Çizelge 2.11’de verilmiştir. Aynı zamanda bu deneysel parametrelerin istatistiksel değerleri de Çizelge 2.12’de verilmektedir.

Grubun denenen ilk numunesi olan S-1-2-1 kodlu numune deneyinde gözlemlenen önemli durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir. Numunede 3. yükleme çevrimi 164 kN’a kadar herhangi bir şey gözlemlenmemiştir. Numuneden ilk ses 180 kN’da çatlama sesi olarak gelmiştir. Bu ses sırasıyla 195 kN, 198 kN, 203 kN ve 220 kN’da tekrar etmiştir. İlk çatlak olan A’ çatlağı 211 kN’da numunenin ön yüzünde (güçlendirilmemiş yüz) 0.1 mm genişliğinde oluşmuştur.

Numuneden sırasıyla 236 kN, 242 kN ve 248 kN’da sesler gelmiştir. Numunenin güçlendirilmiş yüzü olan arka yüzünde ilk ve tek çatlak 242 kN meydana gelen ve genişliği 0.1 mm olan A çatlağı olmuştur. 252 kN’da yine numunenin ön yüzünde B’ çatlağı oluşmuş ve numune bu değerde gevrek bir biçimde göçmüştür. Numunenin, güçlendirilmemiş yüzünde duvar tuğlaları kırılarak dökülmüş ancak güçlendirilmiş yüzünde büyük bir yarıлма olmasına rağmen dökülme veya kırılma olmamıştır.



Şekil 2.36: S-1-2-1 numunesinin göçme sonrası durumu a) arka (güçlendirilmiş) yüz, b) ön (güçlendirilmemiş) yüz.

Gruptaki bir diğer numune, S-1-2-2 kodlu numunedir. Numune deneyi yapılmadan önce, numunenin üretimi sırasında, su/çimento oranı ve sıcaklık faktörlerinden kaynaklanan ve oldukça fazla olan rötre çatlakları, deney esnasında meydana gelecek çatlaklarla karıştırılmaması için kahverengi kalem ile işaretlenmişlerdir (Şekil 2.37).

Deneyde öne çıkan önemli olaylar şunlar olmuştur. 3. çevrimde 140 kN’da numuneden ilk çatlama sesi gelmiştir. Bu ses 165 kN’da tekrar etmiştir. İlk çatlak olan A çatlağı arka yüzde 0.1 mm genişliğinde 183 kN’da oluşmuştur. Sırasıyla 184 kN ve 192 kN’da çatlama sesi tekrar duyulmuştur. 198 kN’da arka yüzde B çatlağı oluşmuştur. 207 kN’da yine arka yüzde C çatlağı oluşmuştur. 209 kN ve 210 kN’da numuneden çatlama sesleri gelmiştir. 212 kN’da A çatlağı ilerlemiştir. 214 kN’da B çatlağı ilerlemiş ve numuneden ses gelmiştir.



Şekil 2.37: S-1-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön (güçlendirilmemiş) yüzdeki çatlaklar ve c) arka (güçlendirilmiş) yüzdeki çatlaklar.

218 kN’da ön yüzde genişliği 0.1 mm olan A’ çatlağı oluşmuştur. 225 kN’da C çatlağı ilerlemiştir. 231 kN’da arka yüzde D çatlağı oluşmuştur. 240 kN’da D çatlağı ilerlemiştir. 244 kN’da arka yüzdeki mevcut rötre çatlakları iyice belirginleşmeye başlamıştır. 246 kN’da mevcut rötre çatlaklarından biri genişleyerek E çatlağı olarak işaretlenmiştir. 250 kN’da A çatlağının genişliği 0.6 mm olmuştur. 253 kN’da arka yüzde genişliği 0.1 mm olan F çatlağı oluşmuştur. 260 kN’da ön yüzdeki A’ çatlağı ilerlemiştir. 260 kN’da numune, her iki yüzdeki düşey yarılmalar sonucu gevrek bir

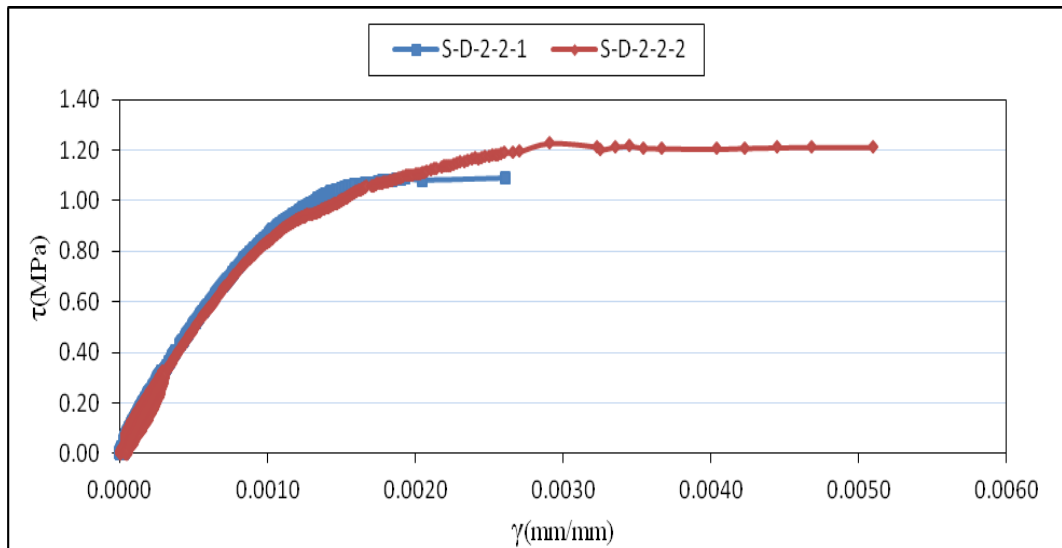
biçimde göçmüştür. Numunedeki mevcut rötre çatlakları göçmeyi hızlandırmıştır. Aynı zamanda mevcut rötre çatlakları deney parametrelerine de olumsuz bir şekilde etki ettiği görülmektedir.



Şekil 2.38: S-1-2-2 numunesinin göçme sonrası durumu a) ön (güçlendirilmemiş) yüz, b) arka (güçlendirilmiş) yüz.

2.6.2.4 IV.Grup numuneleri kayma deneyleri

Bu gruptaki numuneler, tekstil malzemesinden 30 cm genişliğinde kesilen şeritler ile diyagonal olarak güçlendirilmiştir. Gruptaki numuneler Bölüm 2.3'te daha ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır. Bu gruptaki numuneler; iki taraftan iki kat ve diyagonal bir şekilde CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş S-D-2-2-1 ve S-D-2-2-2 numunelerinden meydana gelmektedir. Diyagonal basınç deneyleri altında denenen her iki numuneye ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri Şekil 2.39'da verilmiştir.



Şekil 2.39: S-D-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Aynı şekilde, deney esnasında toplanan veriler değerlendirilerek her iki numuneye ait deneysel parametreler elde edilmiş ve Çizelge 2.13'te, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.14'te görülebilmektedir.

Çizelge 2.13: S-D-2-2 numuneleri deney sonuçları.

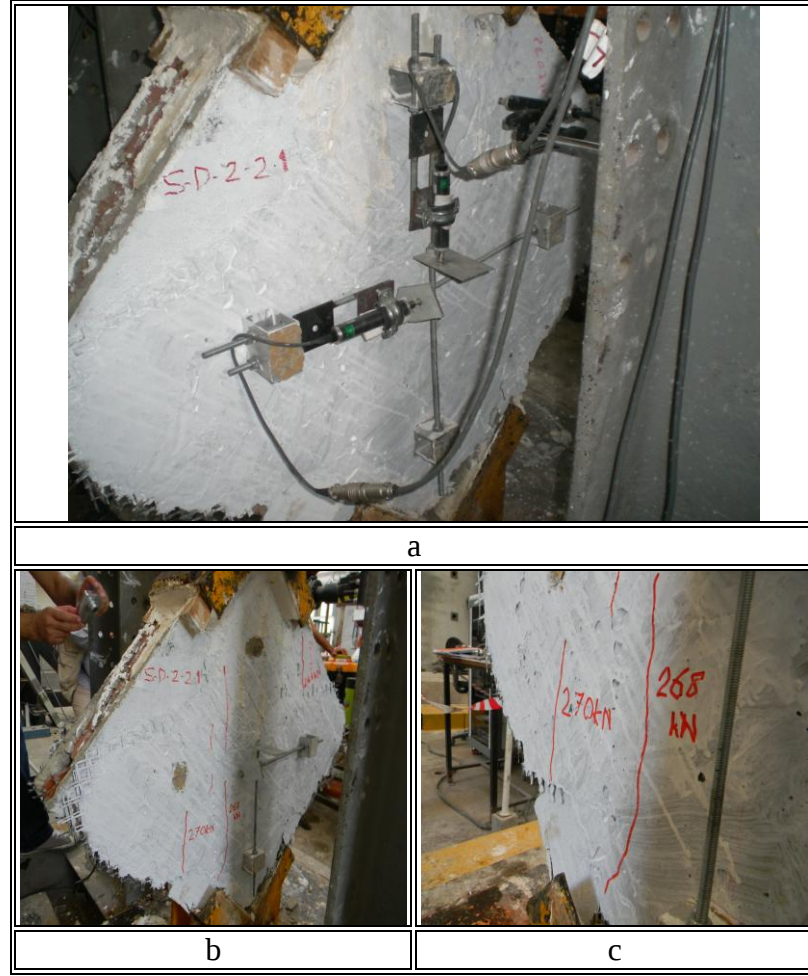
Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
S-D-2-2-1	1.09	0.26	931.51
S-D-2-2-2	1.22	0.34	1097.91

Çizelge 2.14: S-D-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.

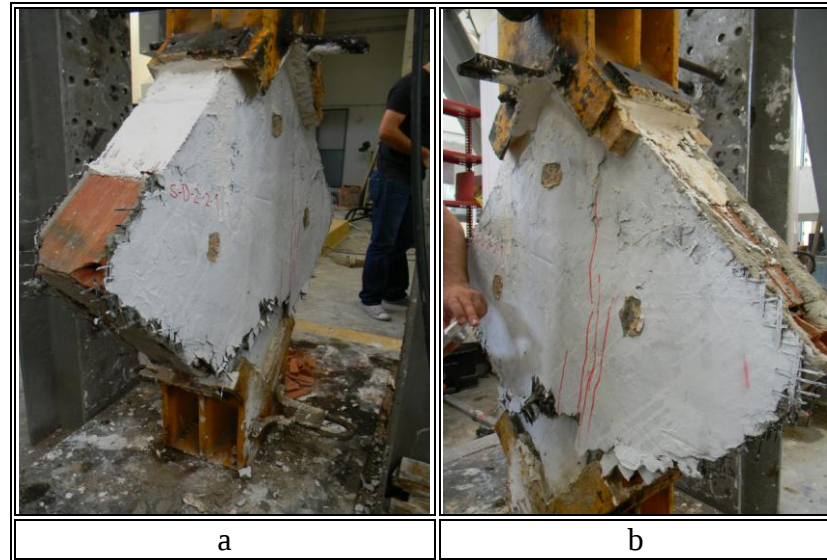
İstatistiksel değerler	Ortalama değerleri
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.16
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.30
G(MPa)	1014.71

Grubun ilk numune deneyi olan S-D-2-2-1 numunesi deneyinde öne çıkan önemli olaylar şunlardır. 3. Yükleme çevriminde, 116 kN'da ilk çatlama sesi duyulmuştur. Sırasıyla 188 kN, 229 kN, 245 kN ve 264 kN'da çatlama sesleri devam etmiştir. Numunede ilk çatlak, numunenin ön yüzünde diyagonal şeritler arasındaki güçlendirilmemiş bölgede 265 kN'da meydana geldi. Yine numunenin ön yüzünde 268 ve 270 kN'da 0.1 mm'den küçük çatlaklar oluşmuştur. Numunenin arka yüzünde ise 267 kN'da bir birlerine paralel çatlaklar oluştu. 271 kN'da numune yavaş bir şekilde, numunenin alt kısmının yatay bir biçimde kırılmasıyla göçmüştür (Şekil 2.41).

Gruptaki diğer numune olan S-D-2-2-2 deneyinde ise olaylar şu şekilde cereyan etmiştir. 3. Yükleme çevriminde 178 kN'a kadar numunede herhangi bir şey gözlemlenmedi. 189 kN'da numuneden ilk ses geldi. 197 kN'da numunede çatlama sesi tekrar etti. 215 kN'da numunenin ön yüzündeki mevcut rötre çatlakları belirginleşmeye başladı. Sırasıyla 240 kN, 257 kN ve 267 kN'da numuneden çatlama sesleri duyuldu. 275 kN'da, genişliği 0.1 mm olan A çatlağı, birbirlerine paralel olarak, 3 çatlak halinde, numunenin ön yüzünde oluştu. Bu çatlak güçlendirme şeridi üzerinde meydana geldi. 290 kN'da çatlama sesi tekrar duyuldu.



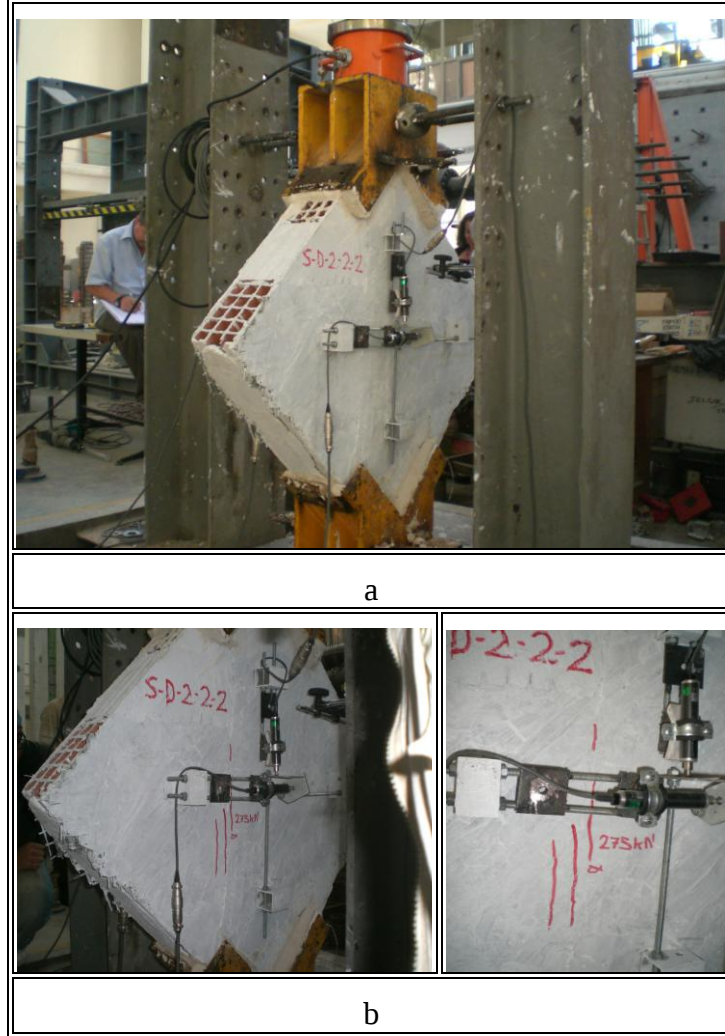
Şekil 2.40: S-D-2-2-1 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar ve c) arka yüzdeki çatlaklar.



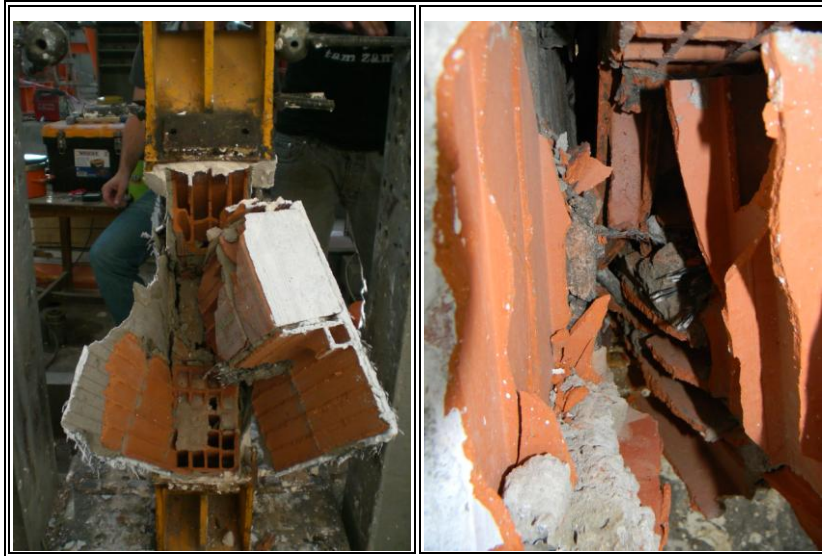
Şekil 2.41: S-D-2-2-1 numunesi göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.

Numunenin arka yüzünde herhangi bir çatlak gözlemlenmedi. 302 kN'da mevcut çatlaklar ilerledi ve aynı değerde numune ani ve büyük bir patlamayla göçtü.

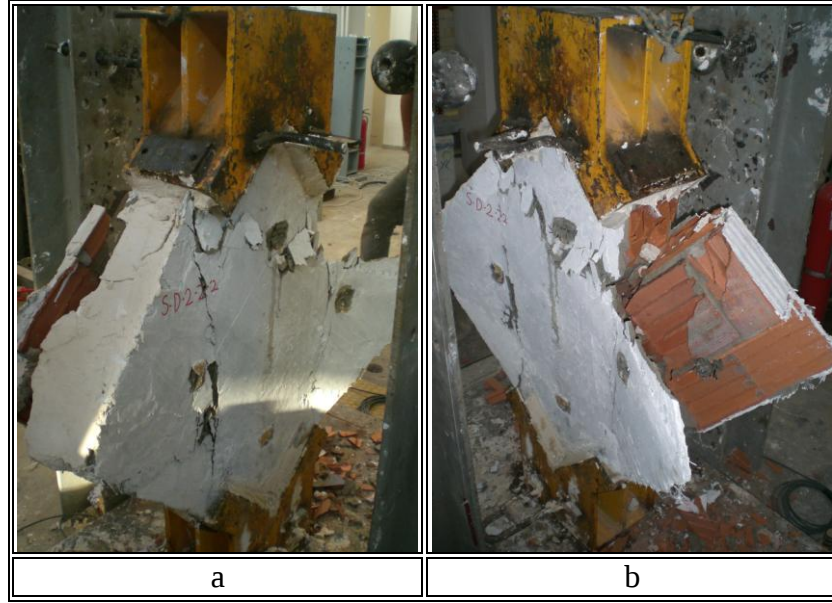
Göçmeyi, rötre çatlakları da hızlandırmıştır. Göçme sonrasında, numuneye uygulanmış ankraj bağlantılarının da koptuğu görülmektedir (Şekil 2.43).



Şekil 2.42: S-D-2-2-2 numunesi a) deney düzeneği, b) ön yüzdeki çatlaklar.



Şekil 2.43: S-D-2-2-2 numunesi göçme sonrası kopan ankrajlar.



Şekil 2.44: S-D-2-2-2 numunesi göçme sonrası durumu a) ön yüz, b) arka yüz.

2.7 Dolgu Duvar Numuneleri Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Diyagonal basınç altında denenen dolgu duvar numunelerinin, deney esnasında alınan veriler yardımıyla, ayrı ayrı deneysel parametreleri hesaplandı, gerekli eğriler çizildi ve deneyler sırasında öne çıkan önemli olaylar anlatılarak numunelerin göçme şekilleri belirlendi.

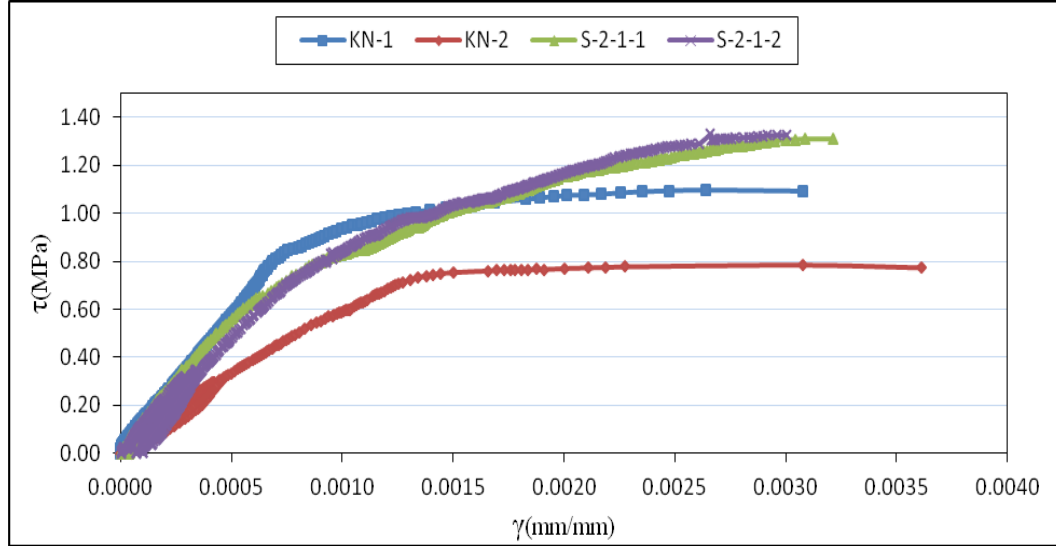
Tüm bu veriler çerçevesinde, dolgu duvar numunelerinin birbirleriyle karşılaştırılması sonucu, numune davranışları yorumlanmıştır.

Yukarıda, 4 ayrı gruba ayrılan güçlendirilmiş duvar numuneleri, referans grubu olan V. Grup ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, numunelere ait deneysel parametreler bazında yapılmıştır. Bu deneysel parametreler; kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülüdür. Karşılaştırmalar sonucu, CMG ile güçlendirilmiş dolgu duvar numuneleri deneysel parametrelerinin, referans numunelerine göre artış veya azalışları belirlenmiştir.

2.7.1 KN ve S-2-1 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

İki taraftan bir kat CMG ile ankrajlı güçlendirilmiş S-2-1 kodlu, I. Grup duvar numuneleri, güçlendirilmemiş referans numuneleri olan KN kodlu duvar numuneleri ile diyagonal basınç etkileri altında denenerek karşılaştırılmıştır. S-2-1 ve KN numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılmasıyla, numune davranışının ve numune göçme durumlarının, bu gruptaki güçlendirme şekli ile değişimi görülmektedir.

Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.45’de verilmiştir.



Şekil 2.45: S-2-1 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri.

Çizelge 2.15’te, S-2-1 ve KN numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, S-2-1 numuneleri deneysel parametrelerinin ortalama değierlerinin, KN numunelerinkine oranı olarak yapılmıştır. Böylece, bu şekilde uygulanan güçlendirme yönteminin, referans numunelerine göre deneysel parametrelerindeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelge 2.15: S-2-1 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.

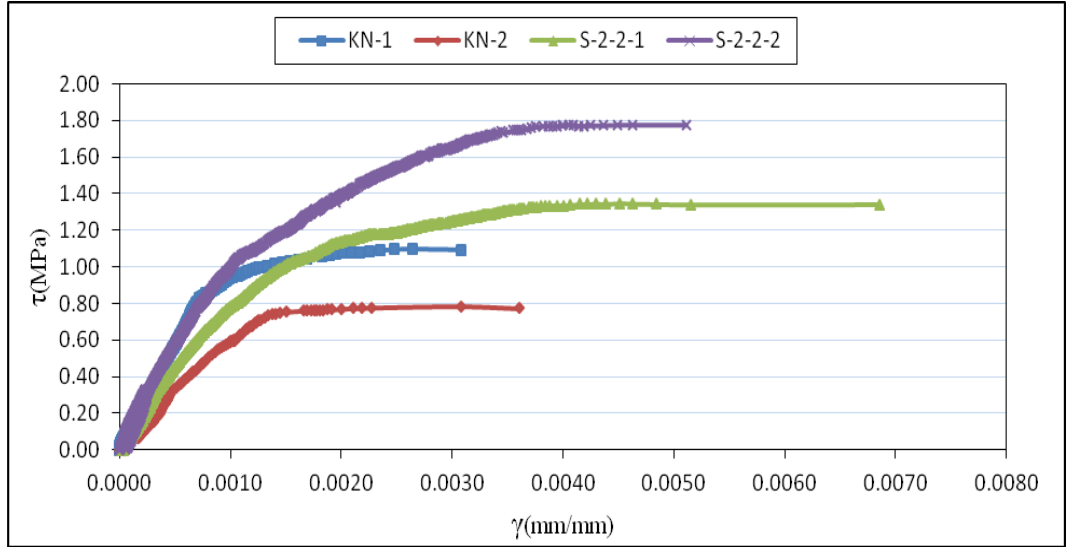
Deneysel parametreler	S-2-1/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
τ_{max} (MPa)	1.40	40 artış
$\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%)	1.07	7 artış
G(MPa)	1.29	29 artış

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan bir kat güçlendirilmiş S-2-1 kodlu duvar numunelerinin, referans numuneleri olan KN numunelerine göre diyagonal basınç etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı, maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değıştirmesi ve kayma modülü değierlerinde artış meydana geldiğı görölmüştür. Maksimum kayma dayanımı ve kayma modülünde belirgin olan artış, kayma şekil değıştirmesinde daha az olmuştur. Hasar durumuna bakıldığında S-2-1 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olmadığı ancak her iki grubun da

gevrek bir kırılmayla göçtüğü görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.

2.7.2 KN ve S-2-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

İki taraftan iki kat ankrajlı güçlendirilmiş S-2-2 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN kodlu referans numunelerinin diyagonal basınç etkileri altındaki deneysel parametreleri karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar sonucu S-2-2 numunelerindeki değişimler belirlenmiştir. S-2-2 ve KN numunelerinin deney sonuçlarının karşılaştırılmasıyla, numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Buna göre, numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.46’da verilmiştir.



Şekil 2.46: S-2-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Ayrıca, Çizelge 2.16’da, S-2-2 numuneleri deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin, KN numunelerinkine oranı olarak karşılaştırılması görülmektedir. Bu şekilde, uygulanan güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelgedeki sonuçlara bakıldığında, iki taraftan iki kat güçlendirilmiş S-2-2 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal basınç etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı, maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü değerlerinde belirgin artış meydana gelmiş ve yüksek değerlere ulaşmıştır.

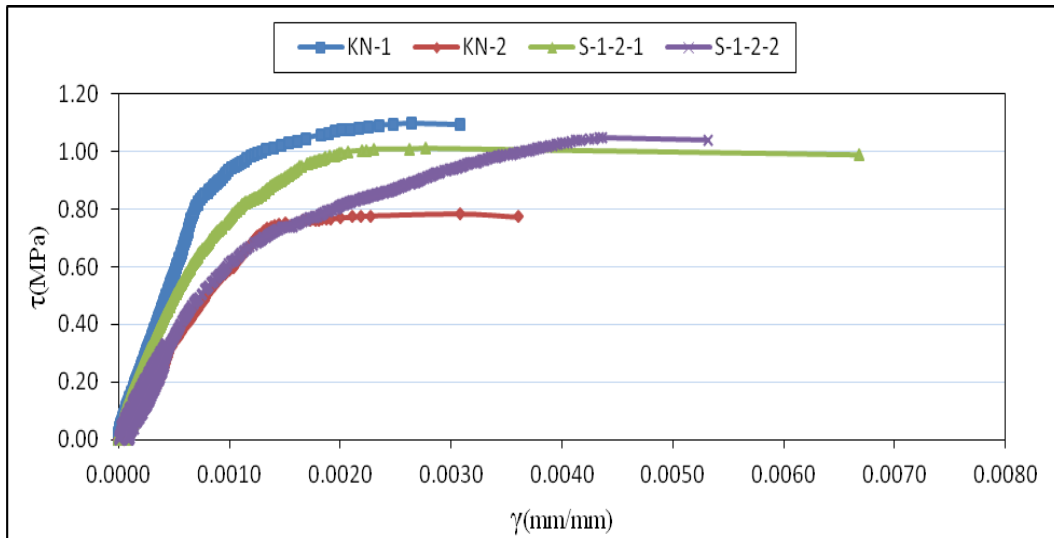
Çizelge 2.16: S-2-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.

Deneysel parametreler	S-2-2/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.66	66 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1.48	48 artış
G(MPa)	1.36	36 artış

Hasar durumuna bakıldığında S-2-2 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olmadığı görülmüş, S-2-2 numunelerinde gevrek kırılma gözlenmemiştir. Ancak S-2-2 numunesinde rötre çatlakları da göçmeyi hızlandırmıştır. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.

2.7.3 KN ve S-1-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bir taraftan iki kat güçlendirilmiş S-1-2 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri diyagonal basınç etkileri altında deneyerek karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucu S-1-2 ve KN numunelerinin deney sonuçlarındaki farklılıklar belirlenmiştir. Ayrıca karşılaştırmada, numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.47’de verilmiştir.



Şekil 2.47: S-1-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Çizelge 2.17’de ise S-1-2 ve KN numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma S-1-2 numunelerinin deneysel parametrelerinin

ortalama değerlerinin KN numunelerinininkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde, güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelge 2.17: S-1-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.

Deneysel parametreler	S-1-2/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.1	10 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1.24	24 artış
G(MPa)	0.98	2 azalma

Sonuçlara bakıldığında bir taraftan iki kat güçlendirilmiş S-1-2 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal basınç etkileri altındaki değerlerde maksimum kayma dayanımında ve maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesinde artış olmasına rağmen kayma modülü değerlerinde %2 azalma meydana gelmiştir. Bu kayma modülündeki azalmanın sebebi, güçlendirilmiş numunede var olan rötre çatlaklarına bağlanabilir. Hasar durumuna bakıldığında S-1-2 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer ve her iki grubun da aşırı gevrek olduğu görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür. Ancak S-1-2 numunelerinde rötre çatlakları numunelerin göçmesinde büyük rol oynamıştır.

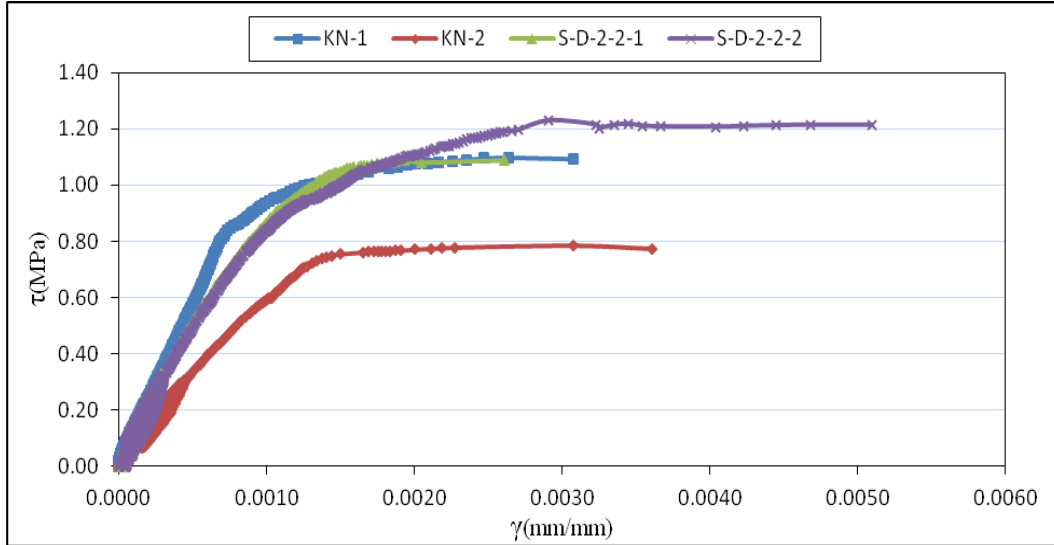
2.7.4 KN ve S-D-2-2 numuneleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

İki taraftan iki kat ankrajlı güçlendirilmiş S-D-2-2 duvar numuneleri IV. ve son güçlendirilmiş duvar grubu olup, güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri ile diyagonal basınç etkileri altında deneyden geçirilerek numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılmış, numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.48’de verilmiştir.

Çizelge 2.18’de S-D-2-2 ve KN numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma S-D-2-2 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin, KN numunelerinininkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan iki kat diyagonal ve ankrajlı güçlendirilmiş S-D-2-2 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal

basınç etkileri altındaki kayma dayanımında belirgin bir artış olmasına rağmen, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü değerlerinde daha az bir artış meydana gelmiştir.



Şekil 2.48: S-D-2-2 ve KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Hasar durumuna bakıldığında S-D-2-2 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olmadığı, S-D-2-2 numunelerinin biraz daha ani ve iç kırılmalar sonucu göçtüğü gözlenmiştir. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte referans, yatay doğrultudaki çatlaklarla birlikte ise S-D-2-2 numuneleri göçmüştür. Aynı zamanda S-D-2-2-2 numunesinde rötre çatlaklarının göçmeyi hızlandırdığı anlaşılmıştır.

Çizelge 2.18: S-D-2-2 ve KN numunelerinin deney parametrelerinin karşılaştırılması.

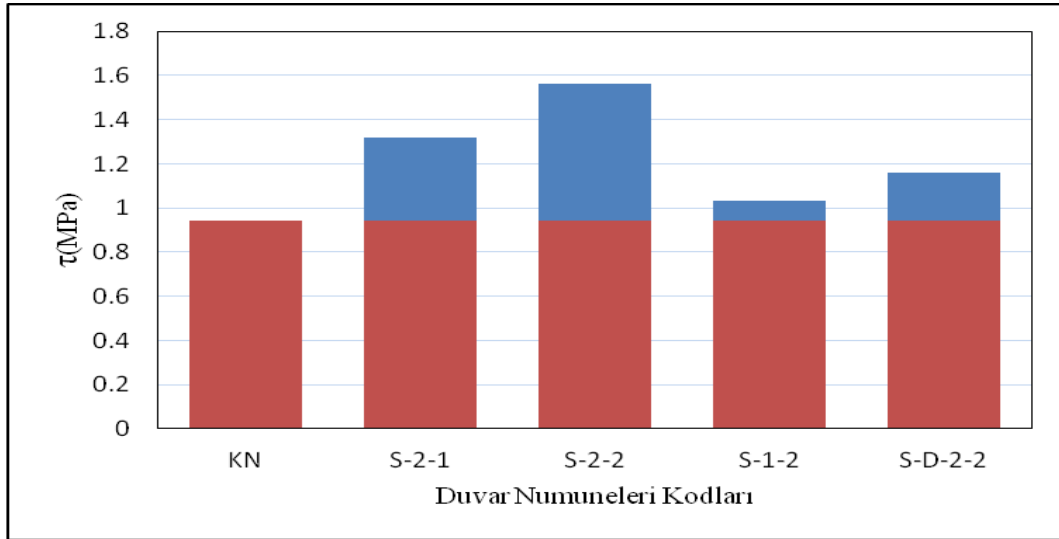
Deneysel parametreler	S-D-2-2/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.23	23 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1.03	3 artış
G(MPa)	1.07	7 artış

2.8 Sonuç

Yapılan tüm deney sonuçları, deneysel parametreler bazında, (CMG ile güçlendirilmiş numuneler kontrol numuneleriyle) karşılaştırılmış ve

değerlendirilmiştir. Böylece, yapılan değerlendirmeler sonucu, CMG ile güçlendirilen hemen hemen tüm numunelerin ortalama deneysel parametreleri değerlerinde, güçlendirilmeyen kontrol numunelerine göre artış elde edilmiştir. Özellikle, güçlendirilen tüm numunelerin ortalama maksimum kayma dayanımı, kontrol numunelerine göre daha fazla olmuştur.

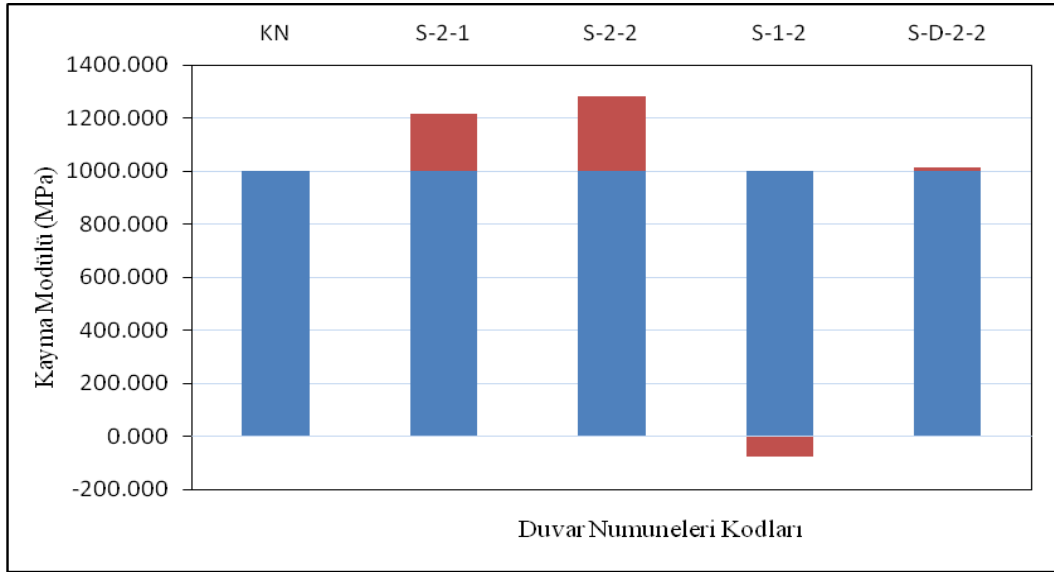
Deneylerde, bir taraftan iki kat (S-1-2) CMG uygulamasında, deney parametre değerleri açısından, maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesinde %24 oranında, maksimum kayma dayanımında ise %10 oranında artış olmuş ancak ortalama kayma modülü değerinde kontrol numunelerine göre %2 oranında azalma görülmüştür (Şekil 2.50). Bu sonuç, biraz da S-1-2-2 numunesinin deney öncesi mevcut rötre çatlaklarına bağlanabilir. Zira, numuneler arasında en fazla rötre çatlaklarına sahip olan bu numunenin göçmesi, bu çatlaklar yüzünden daha hızlı olmuş ve kayma modülünün düşük çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 2.49: Deney gruplarının ortalama kayma dayanımı değerleri.

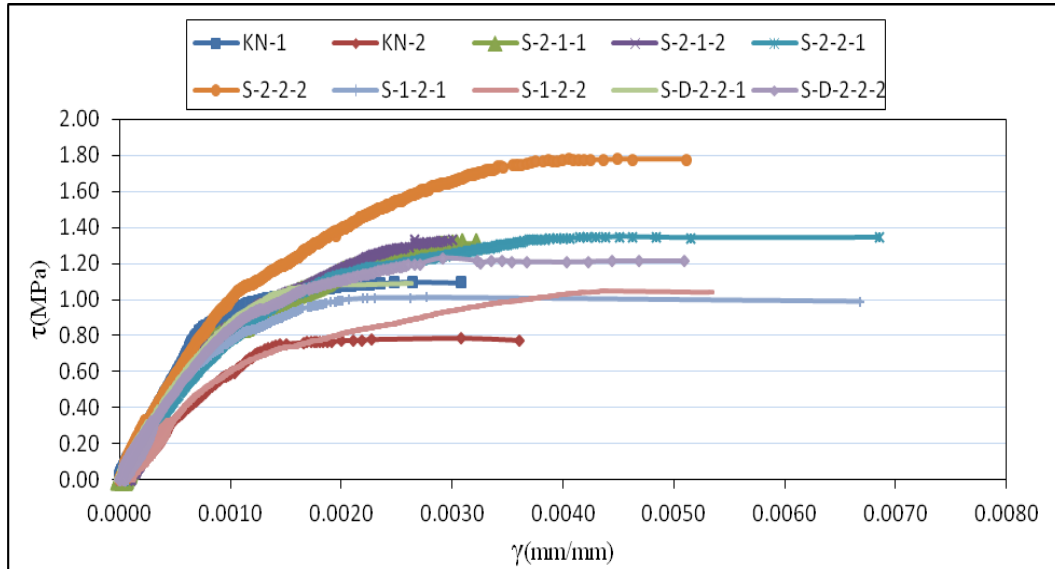
Bununla birlikte, iki taraftan iki kat diyagonal ankrajlı (S-D-2-2) yapılan güçlendirmeler, kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, ortalama kayma dayanımında belirgin bir artış görülmüş (Şekil 2.49) ancak kayma modülü ve maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesinde artış oldukça az olmuştur.

Deney gruplarından I. Grup olan iki taraftan bir kat ankrajlı (S-2-1) yapılan CMG uygulamalarında, deneysel parametre değerlerinde büyük oranda artış görülmesine rağmen maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesinde artış düşüktür.



Şekil 2.50: Deney gruplarının ortalama kayma modülü değerleri.

İki taraftan iki kat ankrajlı güçlendirilmiş (S-2-2) numuneler kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında ise ortalama maksimum kayma dayanımı, maksimum kayma dayanımındaki ortalama kayma şekil değiştirmesi ve ortalama kayma modülü değerleri büyük artış göstermiş ve CMG ile güçlendirilen tüm numuneler arasında en yüksek değerlere ulaşmıştır.



Şekil 2.51: CMG ile güçlendirilmiş S kodlu numuneler ile güçlendirilmemiş KN kodlu numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

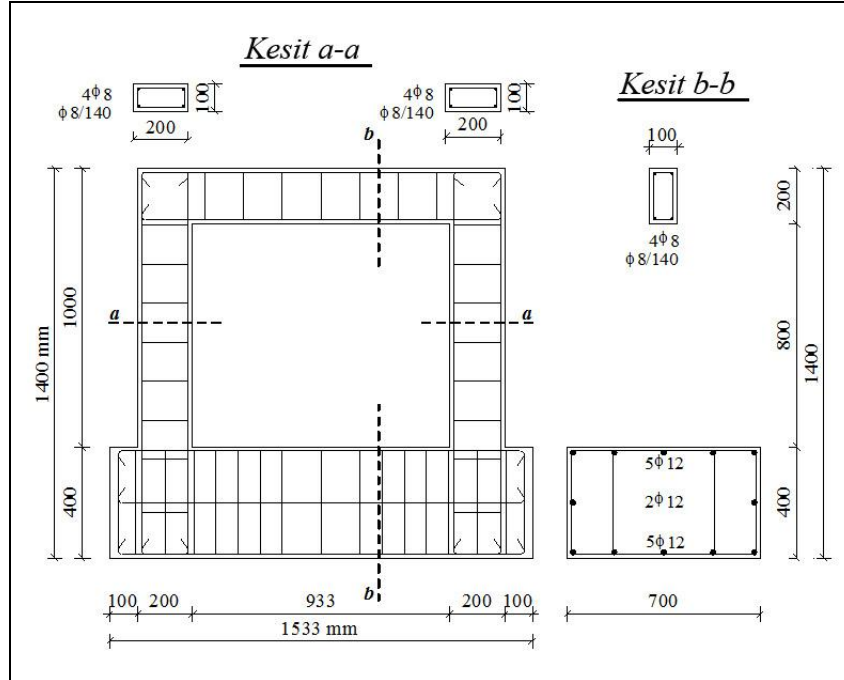
Sonuçlara bakıldığında, numunelerin iki yüzüne CMG ile yapılan güçlendirmelerin (S-2-1, S-2-2), bir taraftan ve diyagonal yapılan güçlendirmelere (S-1-2, S-D-2-2) göre ortalama deney parametreleri açısından daha başarılı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu ön deneylerde CMG ile güçlendirilmiş dolgu duvar numuneleri arasında, S-2-2 numuneleri, maksimum deney değerlerine ulaşıldığından, dolgu duvarlarda, dolgu duvarların her iki yüzü 2 kat CMG ile ankrajlı güçlendirilme şekli en uygun güçlendirme şekli olarak öne çıkmaktadır.

3. DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVE NUMUNE DENEYLERİ

3.1 Genel Bilgi

Bu çalışma kapsamında, 6 adet 1/3 ölçekli tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeve üretilmiştir. Şekil 3.1’de tüm betonarme çerçevelerin boyutları, donatı açılımı ve geometrik özellikleri verilmektedir. 1/3 ölçekli bu deney numuneleri, yüksekliği 1000 mm ve açıklığı 933 mm olan betonarme çerçeve ile yüksekliği 400 mm ve uzunluğu 1533 mm olan rijit temelden oluşmaktadır. Kolon kesiti 100×200 mm, kiriş kesiti 100×200 mm ve temel kesiti 400×700mm dir. Kolon ve kirişlerde 4 adet Ø8 boyuna donatı, temelde ise 12 adet Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatı olarak, kolon ve kirişte 140 mm arayla Ø8, temelde ise Ø10 kullanılmıştır. Donatılar için bırakılan pas payı 15 mm dir. Çerçeveler, özel bir şantiye ortamında üretilmiş ve sonradan laboratuvar ortamına nakledilmiştir.



Şekil 3.1: Betonarme çerçeve numune boyutları ve donatı açılımı.

Bu çerçeve numuneleri, ülkemizde bulunan mevcut binaların çoğunda olduğu gibi düşük beton dayanımına ve güçlü kiriş-zayıf kolon sistemine sahiptir. Çerçevelerin hepsi, üretildikten sonra Şekil 3.2’de görüldüğü gibi çıplak (yalın) olarak

bulunmaktadır. Bu çerçevelerden bir tanesi çıplak (yalın) çerçeve olarak aynen bırakıldı, diğer beş çerçeveye ise dolgu duvarı ilave edilmiştir.



Şekil 3.2: Üretilen betonarme çerçeve numuneleri.

Yalın halde bulunan çerçevelerin içine ilave edilen dolgu duvarların yapımında, Şekil 3.3'te görülen 1/3 ölçekli özel fabrika tuğlaları ve ülkemizde sıkça duvar yapımında kullanılan standart çimento harcı kullanılmıştır



Şekil 3.3: BA çerçevelere ilave edilen dolgu duvarlarda kullanılan tuğla numunesi.

Dolgu duvarı ilave edilen numunelerden bir tanesi, dolgu duvarlı ve sıvalı bırakılarak güçlendirilmemiş, diğer dört numune ise çeşitli şekillerde CMG sistemiyle güçlendirilmiştir.

Yalın (çıplak) ve dolgu duvarlı bırakılan çerçeveler, güçlendirilen numunelerin deneysel parametrelerinin bu numunelerle karşılaştırılması amacıyla üretilmiş referans (şahit) numuneleridir.

Çerçevelerin içine 1/3 ölçekli delikli tuğla ile örülen duvarların her iki yüzü 10 mm kalınlığında çimento harcı ile sıvanmıştır.

3.2 Betonarme Çerçevelerin Üretimi

Çerçeve numuneleri İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarının dışında üretilerek sonradan laboratuara nakil edilmiştir. Numuneler, ülkemizde bulunan mevcut yapıların betonarme özellikleri dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Numuneler, şantiye ortamında her türlü inşaat malzemesi ve işçiliği kullanılarak, Şekil 3.1’de verilen tasarıma aynen uyularak üretilmiştir. Numune üretim aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

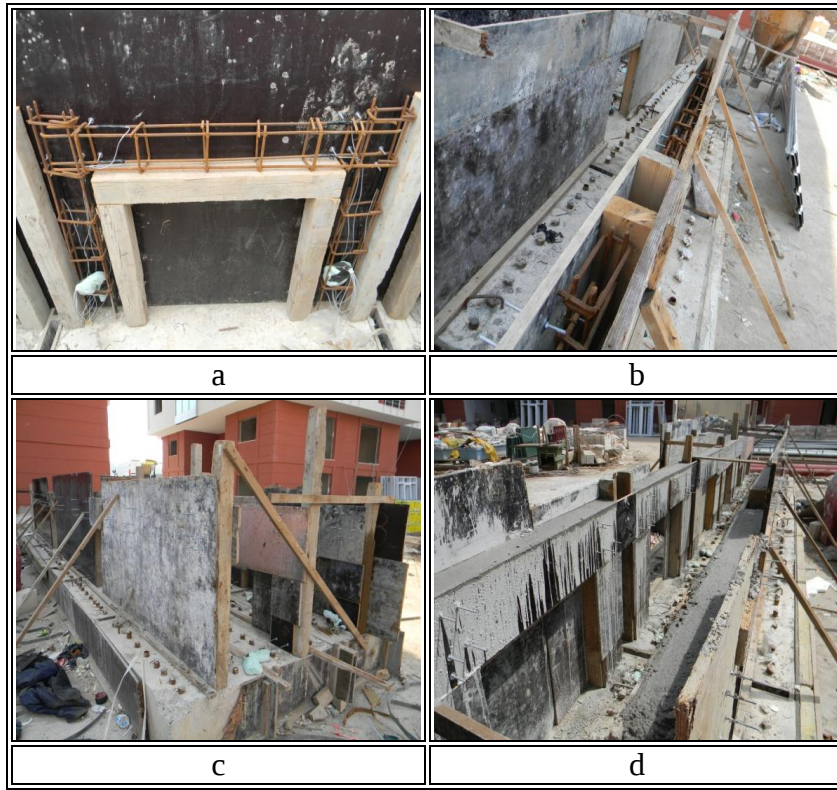
Temel kalıbı hazırlandıktan sonra temel kalıbının altına, betonun yerle temasını kesmek için naylon kullanılmış, temel kalıbının içine 15 mm pas payları konulmuştur. Temele ait donatı düzeni, boyuna donatılar Ø12, enine donatılar Ø10 olacak şekilde hazırlanıp, pas paylarına dikkat edilerek temel kalıbına yerleştirilmiştir. Bütün numunelerin temelinde, deney düzeneğine bulonlarla rijit bağlantıda kullanılacak 20 mm çaplı delikler bırakılmıştır. Temel donatılarına Ø8 kolon filizleri yerleştirilmiştir. Rijit bir temel elde etmek amacıyla basınç dayanımı yüksek beton kullanılarak, temel betonu dökülmüştür.

Temele yerleştirilmiş kolon filizlerine, kolon boyuna donatıları ilave edilerek kolon boyuna donatılarına etriyelerin bağlanması ve daha sonrasında kiriş boyuna ve enine donatılarının oluşturulması işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm kolon ve kiriş enine ve boyuna donatıları Ø8 çapındadır.

Numunelerin kolon ve kiriş donatılarına, deney sırasında, numunenin hareketine göre donatıların yapacağı şekil değiştirmeleri ölçmek amacıyla şekildeğiştirme ölçerler (strain gauge) yapıştırılmıştır. Bu şekildeğiştirme ölçerler, numunelerin bir yüzündeki (ön yüz) kolon ve kiriş donatılarına eklenmiştir. Donatılara strain gaugler yapıştırılmadan önce donatılar zımpara yardımıyla iyice temizlenmiş, sonrasında strain gaugler güçlü bir yapıştırıcı yardımıyla temizlenen donatıya yapıştırılmış ve su geçirmez özel bir bant yardımıyla suya karşı izolasyonu yapılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) 2 tanesi kirişin sol mesnet bölgesindeki donatılara, 2 tanesi sağ mesnet bölgesindeki donatılara yapıştırılmıştır. 8 adet şekildeğiştirme ölçer (strain gauge) ise kolon alt ve üst uçlarındaki boyuna donatılara yapıştırılmıştır.

Şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) donatılara yapıştırılmasından sonra numunelerin kiriş ve kolon kalıpları oluşturulmuştur. Numunelerde, şekildeğiştirme ölçerlerden başka, deney esnasında numune hareketini ve davranışını daha iyi

tanımlamak için yerdeğiştirme ölçerlere (LVDT) de ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla numunenin dış yüzeyinden, deney esnasında yerdeğiştirme ölçerlerle veri almak için, yerdeğiştirme ölçerlere (LVDT) mesnetler hazırlanmıştır. Hazırlanan kolon ve kiriş kalıplarından, yerdeğiştirme ölçerleri (LVDT) deney esnasında numune yüzeyinde tutturmak için dişli ince çubuklar geçirilmiştir. Bu ince dişli çubuklar, yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlere denk düşecek kesitlerde ve bir kısmı beton içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Yerdeğiştirme ölçerler (LVDT), yine deney esnasında, numunenin hareketine göre yerleştirilen kesitlerdeki yer değiştirmeleri ve dönmeleri ölçerek veri alımını sağlayacaktır.

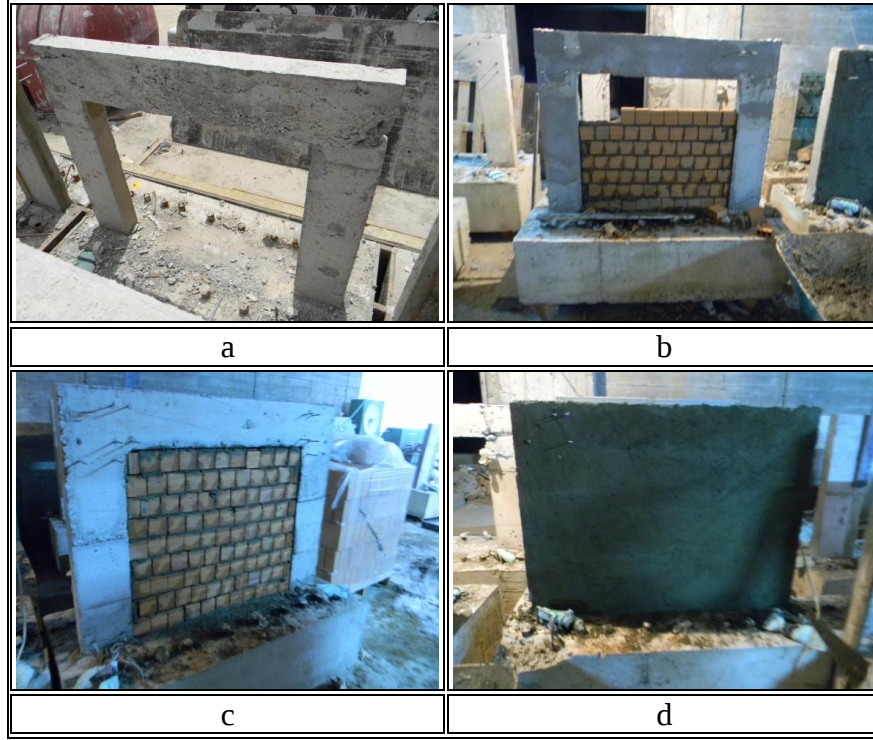


Şekil 3.4: BA çerçeveler a) kolon-kiriş donatıları, b) ve c) çerçeve kalıpları, d) betonu dökülmüş çerçeve numuneleri.

Deney esnasında numunelerden veri almak için hazırlanan tüm mekanizmalar ve tüm numunelerin kolon kiriş kalıpları hazırlandıktan sonra beton dökme işlemi yapılmıştır. Beton, özel bir firmadan alınan hazır beton olup basınç dayanımı malzeme deneyleri bölümünde verilecektir.

Numune üretim aşamaları ayrıca Şekil 3.4'te detaylı bir şekilde yer almaktadır. Numuneler, beton dökümünden yaklaşık bir ay sonra vinç ve kamyon yardımıyla üretildiği şantiye ortamından İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarına götürülmüştür.

Laboratuvar ortamında, üretilen 6 numuneden 5'ine dolgu duvar ilavesi yapılmıştır. Duvar örme işleminde şu hususlara dikkat edilmiştir. Öncelikle, tuğlalar ıslatılmıştır. Tuğla delikleri yatayda olacak şekilde ve üst katlarda ara derzler şaşırtmalı olarak duvar örülmüştür (Şekil 3.5). Yatay ve düşey derzlerde uygulanan harç kalınlığı 10 mm dir. Duvar örme işleminin tamamlanmasından sonra dolgu duvarlı tüm numuneler duvar örümünde kullanılan aynı çimento harcı ile sıvanmıştır. Uygulanan sıva kalınlığı 10 mm dir (Şekil 3.5d).



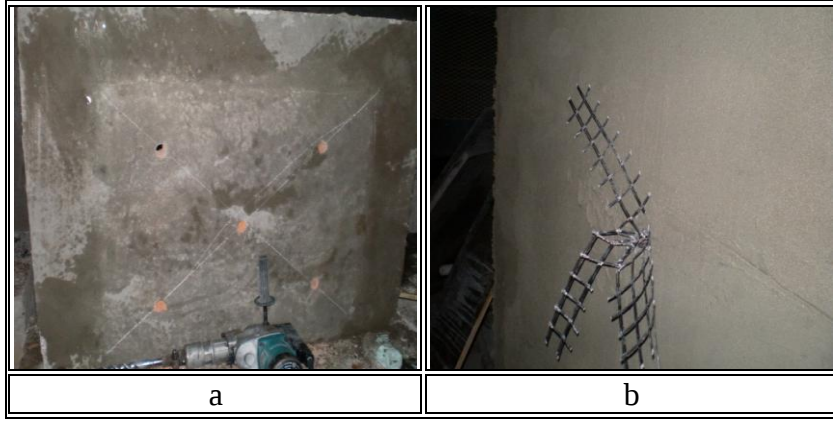
Şekil 3.5: Betonarme çerçeve numunelere dolgu duvar örülmesi.

3.2.1 Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi

Mevcut hazır bulunan 6 adet betonarme çerçeve numunelerinden ve yine dolgu duvarlı ve duvarları sıvalı olarak hazır bulunan çerçevelerin 4'ü CMG ile güçlendirilmiştir. Bu 4 numuneye, CMG ile ayrı ayrı şekillerde ve 3'ü ankrajlı, 1'i ankajsız olarak güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Ankrajlar, deney sırasında CMG sisteminin numuneden kolayca ayrılmasını engellemek amacıyla yapılmıştır. Güçlendirme işleminin tüm aşamaları İ.T.Ü Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

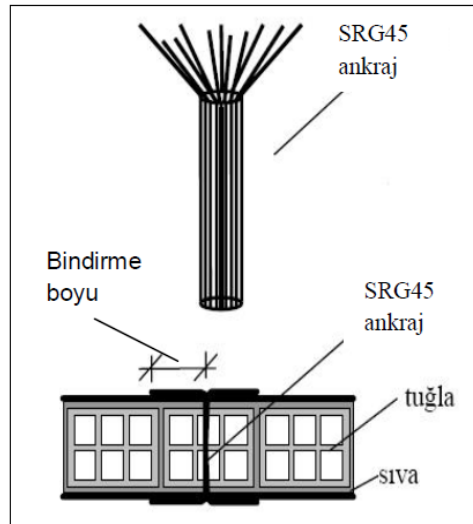
Güçlendirme işleminden önce, ankrajlı olarak güçlendirilecek numunelerin (S-2-1-A, S-2-2-A, S-D-2-2-A), çerçeve içindeki dolgu duvarlar üzerinde, duvarın 4 köşesinden yaklaşık 30 cm içeride olmak üzere ve bir tane de duvar merkezinde

olmak üzere toplam 5 adet ankraj yeri belirlenmiştir. Akabinde, delici matkap yardımıyla 20 mm çapında olacak şekilde bu işaretlerin üzerinden ankraj delikleri açılmıştır (Şekil 3.6a).



Şekil 3.6: Ankrajlı olarak güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri
a) ankraj deliklerinin açılması, b) ankraj uygulaması.

Güçlendirmede, CMG sistemini oluşturan ve numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan çimento hamuru hazırlanmıştır. Bu çimento hamurunun içeriği ve malzeme oranları Bölüm 1.4’ te Çizelge 1.2 olarak verilmiştir. CMG sistemindeki çimento hamurunun hazırlanması için İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki karıştırıcılar (Mikser) kullanılmıştır.

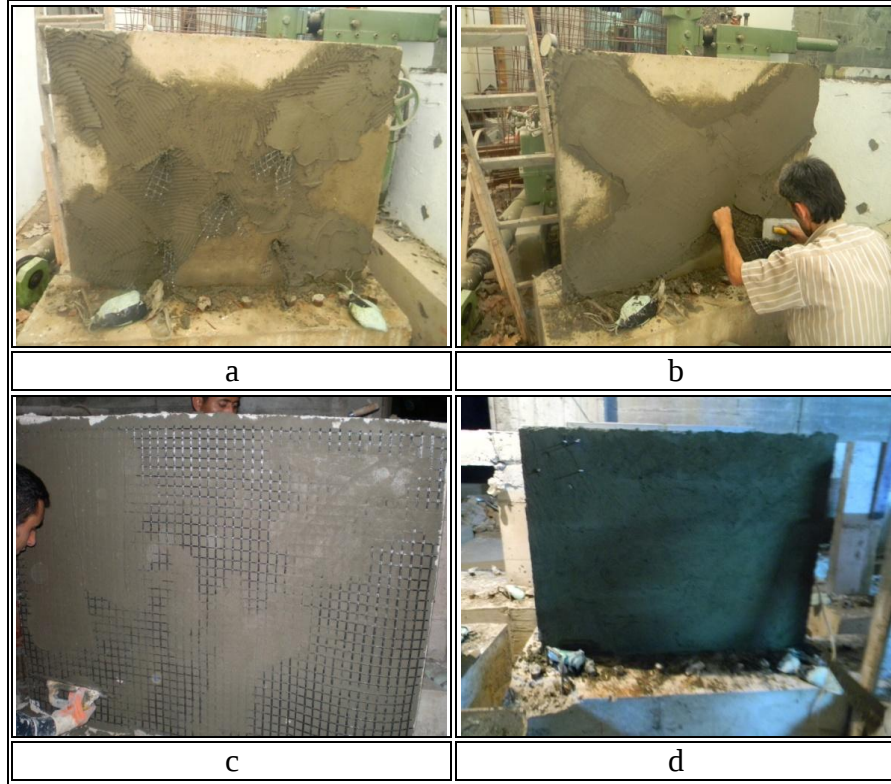


Şekil 3.7: DBYBHY’ye göre uygulanmış SRG45 ankrajlar.

Ankraj delikleri hazır olan numunelere, numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan alkali dayanımlı cam lifli tekstil (SRG45) malzemesinden kesilen 45x20 mm ebatlarında parçalar kesilerek ankrajlar hazırlanmıştır. Kesilen tekstil parçalarının içine güçlendirmede de kullanılan aynı çimento hamuru konarak ankraj deliklerinden

geçirilmiştir (Şekil 3.6b). Ankrajlar 2007 yılında yayınlanmış DBYBHY’ye göre uygulanmıştır (Şekil 3.7).

Ankrajları hazır olan çerçeve numunelerin yüzeyleri, güçlendirme sırasında çimento hamuruyla iyice kenetlenmesi için ıslatılmıştır. Güçlendirmede kullanılacak tekstil malzemesi (SRG45), numunelerin boyutlarına göre ayrı ayrı kesilerek hazır hale getirilmiştir. Diyagonal olarak güçlendirilen numune için ise 30 cm genişliğinde şeritler hazırlanmıştır.



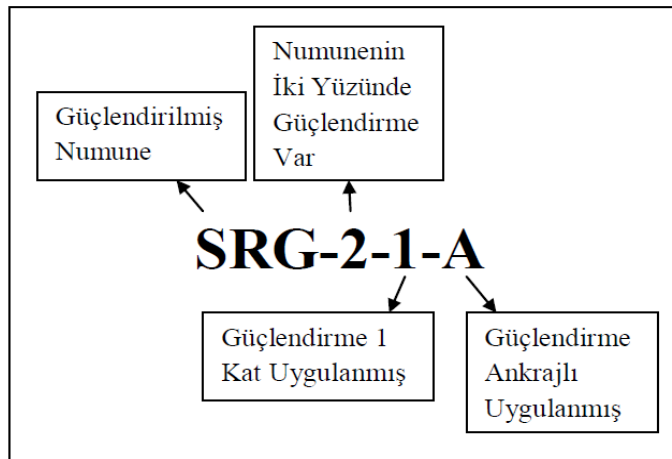
Şekil 3.8: Dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunelerinin çeşitli şekillerde CMG ile güçlendirilmesi.

Ankrajları ve tekstil malzemesi hazırlanan 3 ankrajlı ve 1 ankrajsız olmak üzere toplam 4 numunede CMG ile güçlendirme işlemine geçilmiştir. CMG sistemi, çimento hamuru ve SRG45 tekstil malzemesinden oluşan ve tekstil malzemesinin iki tabaka çimento hamurunun içinde kalmasıyla oluşmaktadır. Bu çimento hamuru, Çizelge 1.2’de belirlenen karışım miktarlarına uyularak, İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan mikserler yardımıyla iyice karıştırılıp yoğrularak istenilen kıvama getirilmiştir. Bu hazırlanan çimento hamuru, numunenin ıslatılmış yüzüne ankrajlar dışarıda kalacak şekilde ince bir tabaka halinde sürülmüştür. Numunelere ve güçlendirme şekillerine göre kesilen tekstil malzemesinde, ankraj deliklerine ve ankraj malzemesine denk gelen yerlerde, ankrajları geçirmek için delikler açılmış, bu

tekstil malzemesinde açılan deliklerden ankrajlar geçirilerek tekstil malzemesi numunenin yüzüne uygulanmış ve çimento hamurunun içine iyice yerleştirilmiştir. Ankrajların dışarıda kalan kısımları çimento hamuru içindeki tekstil malzemesinin üstüne papatya şeklinde iyice açılarak tekstil malzemesinin ve dolayısıyla CMG sisteminin deney sırasında numuneyle birlikte çalışmasını sağlamıştır. Akabinde, tekstil malzemesinin ve ankrajların üstü yine ince bir çimento hamuru tabakasıyla sıvanmıştır. Aynı işlem, her iki tarafı güçlendirilen numunelerin diğer yüzü için de uygulanmıştır. İki katlı güçlendirmeler için ise yine bir önceki işlemler tekrarlanmıştır.

3.3 Numunelerin Genel Özellikleri

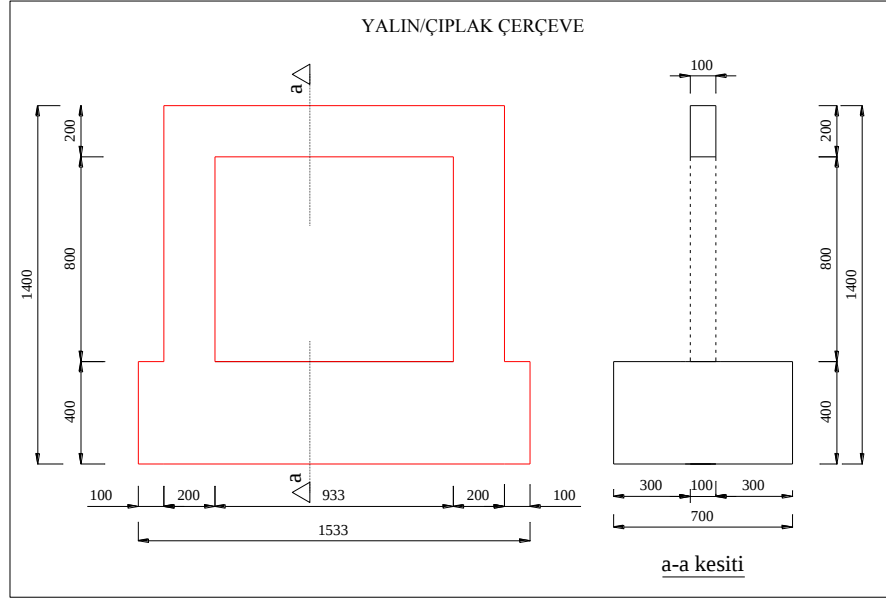
Tersinir tekrarlı ve sabit eksenel yükler altında betonarme çerçeveler üç ayrı kategoride test edildi. Birinci kategoride, statik çözümlemelere benzer olmak üzere çerçeve arasında dolgu duvarları bulunmayan çıplak çerçeve numunesi bulunmaktadır. İkinci kategori, çerçeve arasında sıvalı dolgu duvar bulunması durumudur. Bu iki numune deney numuneleri için kontrol (şahit) numunesi olarak değerlendirilmektedir. Üçüncü kategori ise çerçeve arasındaki dolgu duvarların CMG ile dört farklı şekilde güçlendirilmiş numunelerden oluşmaktadır. Buradaki tüm numuneler ile güçlendirilmiş numunelerin güçlendirme şekilleri ilerideki bölümlerde anlatılmıştır.



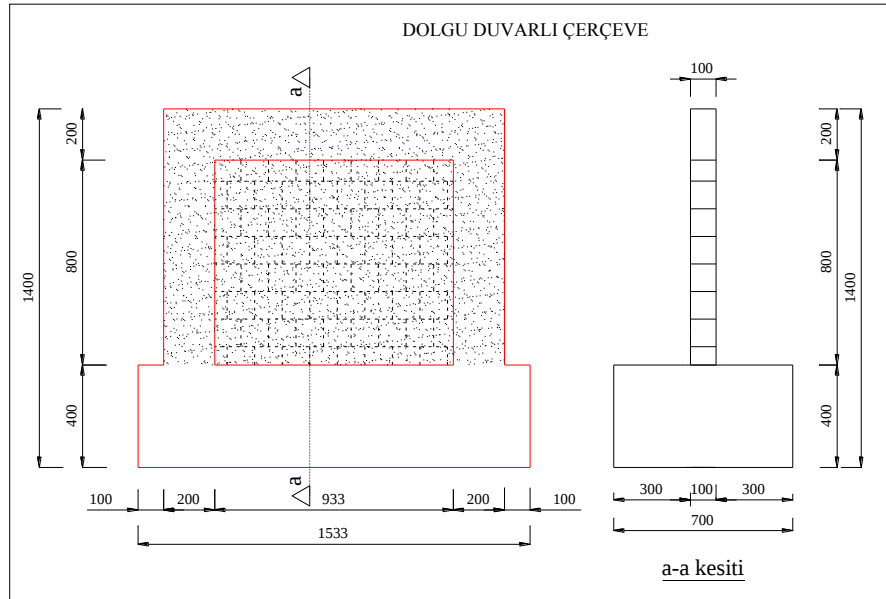
Şekil 3.9: Güçlendirilen BA çerçeve numunelerin kod açılımı.

Ayrıca, birbirinden farklı olan bu 6 betonarme çerçeve numunelere, deney ve kayıt esnasında kolaylık olsun diye numune özelliklerine göre kodlama yapılmıştır. Buna göre, dolgu duvarsız, çıplak (yalın) olan betonarme çerçeve numunesi kısaca ‘Çıplak

Çerçeve’, sadece dolgu duvarlı olan ve dolgu duvarı güçlendirilmeyen numune ‘Dolgu Duvarlı Çerçeve’ olarak kodlanmıştır.



Şekil 3.10: Çıplak/Yalın olarak bırakılmış referans (şahit) numunesi.



Şekil 3.11: Dolgu duvarlı referans (şahit) numunesi.

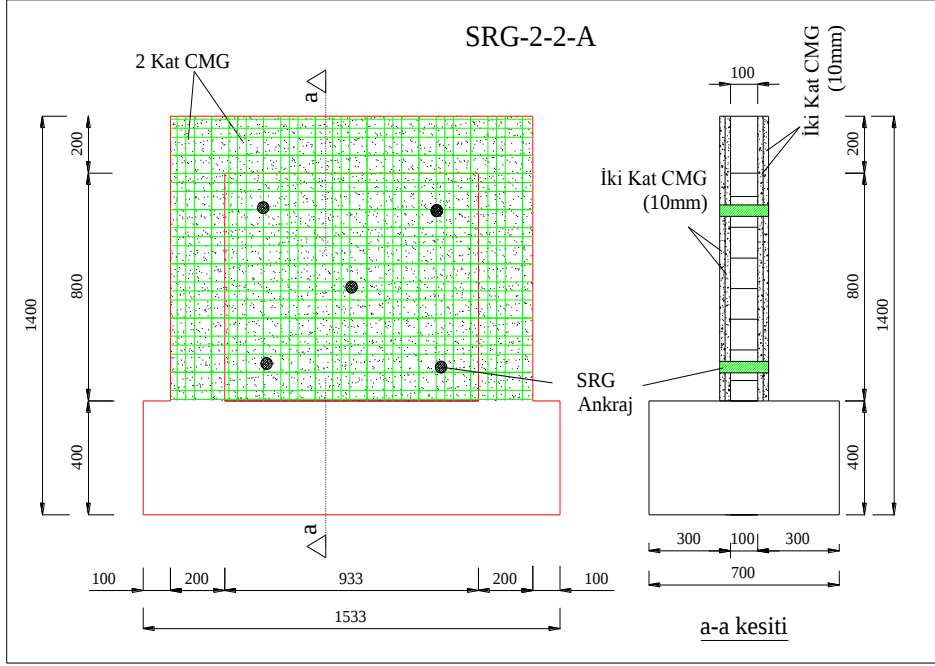
Güçlendirilmiş numuneler ise “SRG” kodu ile gösterilmektedir. SRG kodundan sonra gelen ilk rakam duvarın bir veya iki yüzünün güçlendirildiğini, ikinci rakam güçlendirmenin bir veya iki kat olduğunu ve ‘A’ harfi de numunenin ankrajlı olduğunu göstermektedir. Sondaki ‘A’ harfi olmayan numuneler ankrajsızdır (Şekil 3.9). Toplam 4 adet güçlendirilmiş olan BA çerçeve numunelerinden 3’ü ankrajlı sadece 1 tanesi ankrajsız olarak CMG ile güçlendirilmiştir.

Ankrajlı olarak güçlendirilen numune SRG-1-2 olarak kodlanmış ve Şekil 3.14’te özellikleri verilmiştir. Tüm bu yukarıda anlatılanlara göre, numune özellikleri, numune adları, numunelerin CMG ile güçlendirme şekilleri ve sıva ve güçlendirme harcı içerikleri Çizelge 3.1’de özetlenmektedir.

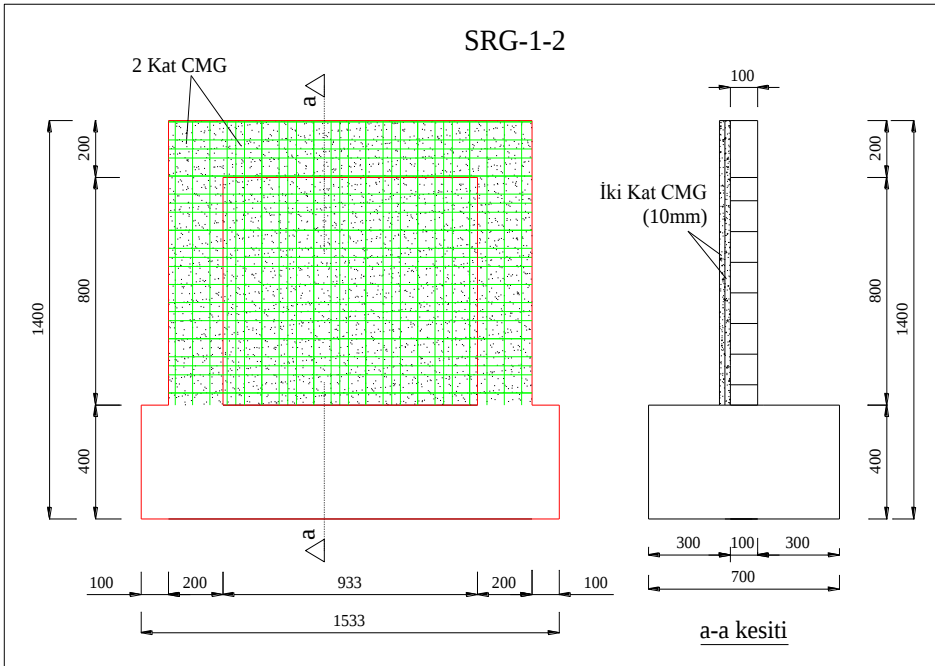
Çizelge 3.1: Üretilen BA çerçeve numuneleri ve özellikleri.

BETONARME ÇERÇEVE NUMUNELERİ				
Numune Adı	Numune Tipi	CMG Uygulama Şekli	CMG Tekstil Malzemesi (Ticari Adı)	Güçlendirme Harcı
Çıplak (Yalın) Çerçeve	İçi Boş (Duvarsız) Betonarme Çerçeve	—	—	—
Dolgu Duvarlı Çerçeve	Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve	—	—	Sıva Harcı (Çimento, Kum, Su)
SRG-2-1	Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve	2 Taraftan 1 Kat Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Kum, Silica Fume, Su, Akışkanlaştırıcı)
SRG-2-2	Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve	2 Taraftan 2 Kat Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Kum, Silica Fume, Su, Akışkanlaştırıcı)
SRG-1-2	Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve	1 Taraftan 2 Kat	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Kum, Silica Fume, Su, Akışkanlaştırıcı)
SRG-D-2-2	Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve	2 Taraftan 2 Kat Diyagonal Ankrajlı	SRG45	Çimento Hamuru (Çimento, Kum, Silica Fume, Su, Akışkanlaştırıcı)

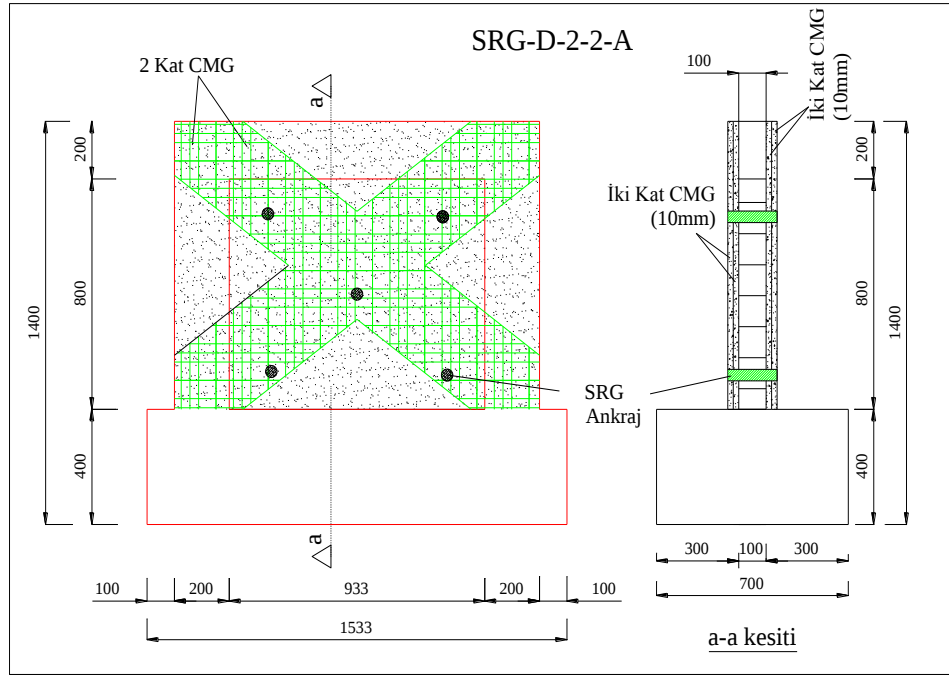
- SRG-1-2: Numunenin bir yüzü iki kat CMG ile güçlendirilmiş ve güçlendirme ankrajsız olarak yapılmıştır. Ankrajsız olarak güçlendirilen tek numunedir (Şekil 3.14).
- SRG-D-2-2-A: Numunenin her iki yüzü iki kat CMG ile diyagonal olarak güçlendirilmiş ve güçlendirme ankrajlı olarak yapılmıştır. Diyagonal şeritlerin genişliği 30 cm dir (Şekil 3.15).



Şekil 3.13: İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilmiş BA çerçeve.



Şekil 3.14: Bir taraftan iki kat CMG ile güçlendirilmiş BA çerçeve.



Şekil 3.15: İki taraftan iki kat CMG ile ankrajlı ve diyagonal olarak güçlendirilmiş BA çerçeve.

3.4 Malzeme Deneyleri

Numunelerin üretimi aşamasında kolon ve kirişte kullanılan donatı ve beton örnekleri ile betonarme çerçevelerin içine ilave edilen dolgu duvarların üretiminde kullanılan çimento harcı ve tuğla örneği, ayrıca, çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CMG harcı örneklerinden numuneler alınarak, çerçevelerde kullanılan tüm malzemelerin karakteristik özelliklerini anlamak amacıyla çeşitli malzeme deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16: Standart basınç deneylerinde kullanılan press makinesi.

Buna göre, beton harcı, sıva harcı, tuğla örneği ve CMG harçlarının standart basınç deneyleri, donatı çekme deneyi ve beton gerilme-şekil değiştirme deneyleri yapılmıştır. Tüm bu deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan aletler ile ilgili TSE yönetmeliklerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Standart basınç deneyleri, donatı çekme deneyi ve çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun gerilme-şekil değiştirme deneylerinde kullanılan aletler sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de görülebilmektedir.



Şekil 3.17: Standart donatı çekme deneylerinde kullanılan düzenek.



Şekil 3.18: Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisini elde etmek için kullanılan düzenek.

3.4.1 Sıva harcı deneyleri

Çıplak bir halde bulunan betonarme çerçeve numunelerinin, dolgu duvarlı numunelere dönüştürmek amacıyla 5 adet BA çerçeve numunesinin içine ilave edilen dolgu duvarların yapımında ve bu duvarların sıvanmasında çimento harcı kullanılmıştır. Bu çimento harcı, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve çimento, su ve kumdan oluşan standart çimento harcıdır.

Bu çimento harcı hazırlanırken birçok standart silindir numunesi alınarak harcın standart basınç deneyleri yapılmış ve basınç dayanımı belirlenmiştir (Şekil 3.19). Bu

sıva harcı basınç deneyi sonuçları Çizelge 3.2’de görülmekte ve çıkan sonuçlara göre harcın nihai durumdaki ortalama basınç dayanımı 6.97 MPa gelmektedir.



Şekil 3.19: Dolgu duvarların üretiminde ve sıvasında kullanılan çimento harcının standart basınç deneyleri.

Çizelge 3.2: Dolgu duvarların üretiminde kullanılan harcın basınç deneyi sonuçları.

ÇERÇEVE TUĞLA ÜSTÜ SIVA HARCİ				
NUMUNE	H Yükseklik (mm)	d Çap (mm)	P _{max} (kN)	σ _{max} (MPa)
1	300	150	125.80	7.12
2			127.90	7.24
3			117.10	6.63
4			121.60	6.88
Ortalama σ (MPa)				6.97

3.4.2 Tuğla deneyleri

Dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunelerinin dolgu duvarlarında kullanılan tuğlalardan birkaç örnek alınarak tuğlaların basınç değerleri ölçülmek üzere hazırlanmıştır. Tuğla numunelerinin basınç deneyleri, tuğlaların delik doğrultusunda elektronik pres makinesi yardımıyla verilen basınç ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: Dolgu duvarların üretiminde kullanılan tuğlaların standart basınç deneyleri.

Basınç deneyini gerçekleştirecek pres makinesinin basınç kolu düz bir yüzeye oturması için öncelikle tuğlaların delikli yüzeylerine alçı ile düz bir yüzey hazırlanmıştır. Hazırlanan 7 adet tuğla numunesi, standart basınç deneylerini gerçekleştiren pres makinesi ile denenmiştir. Tuğla basınç değerleri Çizelge 3.3’de görülmektedir. Bu çizelgedeki değerlere göre tuğlaların ortalama basınç dayanımı 7.30 MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.3: Dolgu duvarların üretiminde kullanılan tuğlaların basınç deneyi sonuçları.

TUĞLA NUMUNELERİ		
NUMUNE ADI	P _{max} (kN)	σ _{max} (MPa)
1	230.40	8.59
2	175.60	6.55
3	203.00	7.57
4	175.00	6.52
5	207.90	7.75
6	198.00	7.38
7	180.80	6.74
Ortalama σ (MPa)		7.30

3.4.3 CMG harcı deneyleri

Dolgu duvarlı numuneler üretildikten sonra 4 adet dolgu duvarlı betonarme çerçeve CMG ile çeşitli şekillerde güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme, çimento esaslı bir güçlendirmedir. Bu çimento esaslı güçlendirme malzemesinin içeriği Çizelge 1.2 de gösterilmektedir.



Şekil 3.21: Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CMG harcı basınç deneyleri.

Güçlendirme için hazırlanan çimento hamurundan $7 \times 7 \times 7$ cm ebatlarında 19 küp numune alınarak basınç değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 3.4'te verilmiştir. Buna göre, betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CMG harcının ortalama nihai basınç değeri 23.95 MPa'dır.

Çizelge 3.4: CMG sistemindeki çimento hamuru basınç deneyi sonuçları.

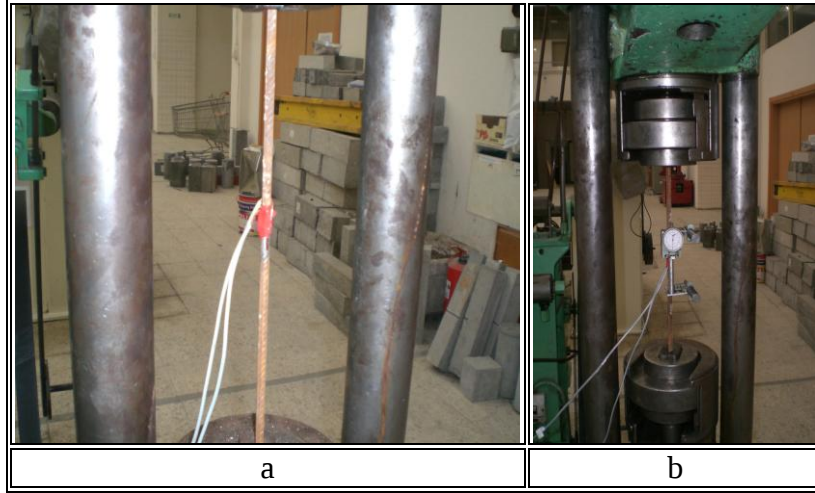
CMG HARCİ NUMUNELERİ			
NUMUNE ADI	Ebatlar (mm)	Pmax (kN)	σmax (MPa)
1	70*70*70	114.00	23.28
2		117.10	23.89
3		140.10	28.59
4		124.90	25.50
5		94.60	18.51
6		99.10	19.82
7		100.80	20.17
8		101.10	20.23
9		94.60	19.31
10		105.30	21.49
11		124.20	25.34
12		124.10	25.32
13		111.10	22.22
14		105.70	21.15
15		137.40	28.04
16		138.50	28.27
17		140.60	28.70
18		138.60	28.29
19		131.70	26.87
Ortalama σ (MPa)			23.95

3.4.4 Donatı çekme deneyi

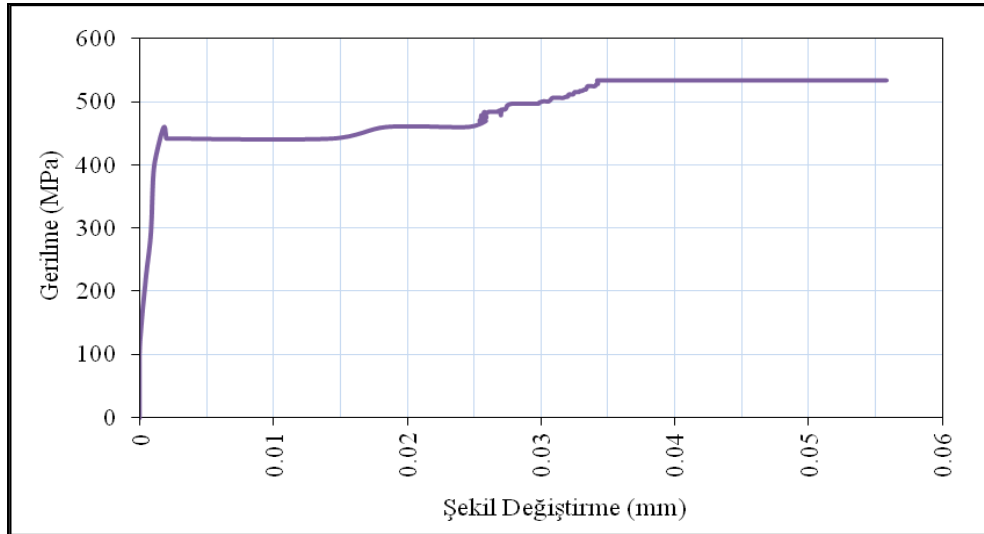
Betonarme çerçeve numunelerinin kolon ve kirişlerinde kullanılan Ø8'lik donatılardan numuneler alınarak donatı çekme dayanımını belirlemek amacıyla çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Donatı çekme deneyi, ilgili standart olan TS708'e uyularak, mekanik çekme aleti yardımıyla yapılmıştır.

Alınan donatı numuneleri, öncelikle şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) donatıya iyice yapışması için zımpara yardımıyla temizlenmiş, daha sonra donatıların temizlenen yerlerine strain gauge yapıştırılarak bantlanmıştır. Strain gauge ara

bağlantıları, veri toplayıcıya bağlanarak bilgisayar ortamına aktarılmasıyla deney düzeneğinin kontrolü sağlanmıştır. Toplam 3 adet Ø8 çapındaki donatı numunesi denenmiş, deney sırasında alınan datalardan, donatı numunelerinin ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Şekil 3.23) elde edilmiştir.



Şekil 3.22: Betonarme çerçevelerin üretiminde kullanılan donatıların çekme deneyleri a) strain gauge, b) mekanik çekme aleti.

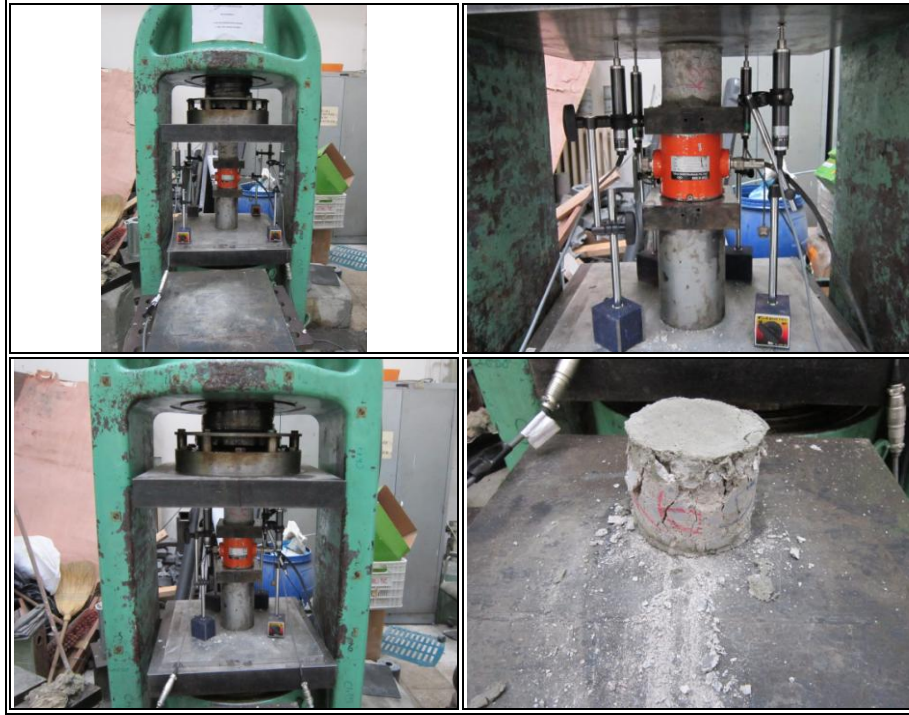


Şekil 3.23: Betonarme çerçevelerin üretiminde kullanılan donatıların ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

3.4.5 Beton basınç ve elastisite modülü deneyleri

Betonarme çerçevelerin ana elemanlarında (kolon, kiriş) kullanılan betonun basınç dayanımını ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde etmek için, statik deneyleri yapılmış betonarme çerçeve numunelerinin değişik yerlerinden 9×10 cm ebatlarında 6 adet silindir karotlar alındı. Alınan karotlardan 2 tanesi standart basınç deneyinde diğer dördü Gerilme-Şekil değiştirme eğrilerinin bulunmasında kullanıldı.

Karotlar numunelerden alındıktan sonra karotların yüzeylerinin düzgün olması amacıyla çimento harcından karotlara düz yüzeyli ve pürüzsüz başlıklar yapıldı. Hazırlanan karotlar, beton gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elde edilmesi için hazırlanan düzeneğe yerleştirildi. Düzenekte bulunan yükölçer (Loadcell) yardımıyla yük, LVDT ler yardımıyla da şekil değiştirme değerleri veri toplayıcıya (Datalogger) aktararak bilgisayara kaydedildi. Beton numunelere basınç veren başlığın her bir köşesinde bir tane olmak şartıyla toplam 4 adet LVDT kullanıldı.

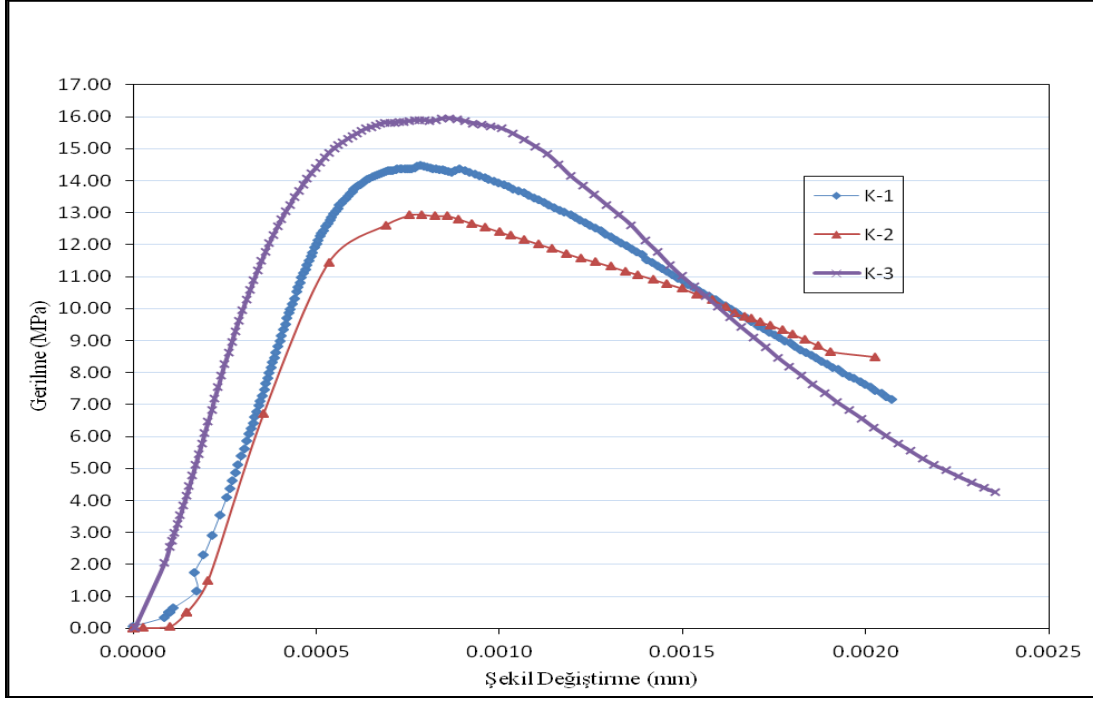


Şekil 3.24: Betonarme çerçevelerde kullanılan betonun basınç deneyleri.

Elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.25’de görülmektedir. Ayrıca kullanılan betonun basınç dayanımı da Çizelge 3.5’te görülmekte olup betonun nihai dayanımı, ortalama 13.37 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5: Çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun basınç deneyi sonuçları.

ÇERÇEVEDEN ALINAN KAROTLAR				
NUMUNE ADI	Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Pmax (kN)	σ_{max} (MPa)
1	93.5	91	68.5	9.87
2	93.5	82	93.9	13.53
3	94.0	97	100.5	14.47
4	94.0	91	96.7	13.93
Ortalama σ (MPa)				13.37



Şekil 3.25: Betonarme çerçevelerde kullanılan betonun gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

3.5 Betonarme Çerçeve Numuneleri Deney Düzeneği

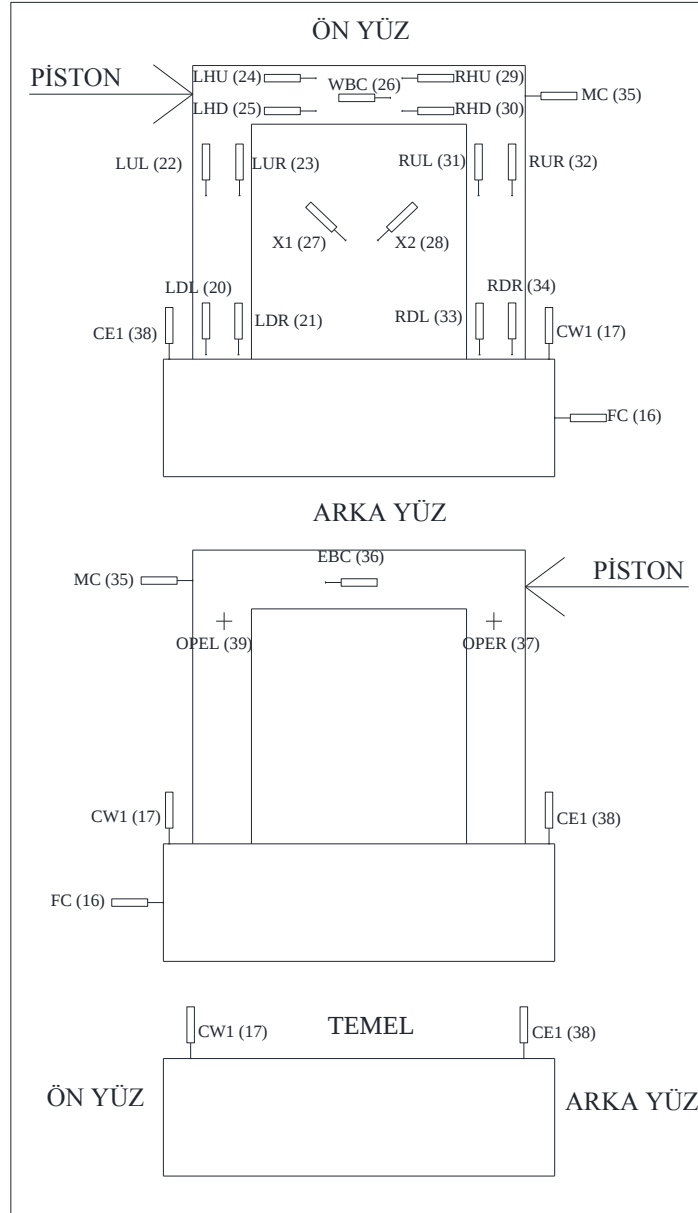
3.5.1 Ölçüm düzeneği

Betonarme çerçeve numunelerinin, deney sürecindeki hareketlerine göre farklı yerlerinde meydana gelen yer değiştirmelerin ölçümü için TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25 ve SDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirme ölçerlerden, bilgisayara bağlı olan elektronik veri toplayıcıya (Data Logger) bağlanmasıyla ölçüm alınabilmektedir. Ölçümler, her adımda otomatik olarak toplanarak bilgisayara aktarılmaktadır.

Yerdeğiştirme ölçerler (LVDT), numune yüzeyine, numuneyi itme ve çekme esnasında veri alacak şekilde yerleştirilmiştir. Yer değiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 3.26'da verilmiştir.

Deney numunelerinin farklı bölgelerindeki yer değiştirmelerin belirlenmesi ve kontrol amaçlı olarak, numune temelinde meydana gelen genel kalkma, numune gövdesindeki toptan kayma ve numunenin düzlem dışı hareketlerinin ölçülebilmesi için numune üzerine toplam 22 adet yerdeğiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Kolon ve kiriş uç bölgelerinde oluşan şekil değiştirme, dönme ve eğriliklerin hesaplanabilmesi için CDP-5 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu

yerdeğiştirme ölçerler, imalat aşamasında numuneye yerleştirilmiş dişli çubuklar üzerine, somunlarla her iki taraftan, ölçerin dönme hareketini engelleyecek biçimde sıkıştırarak monte edilmiştir.



Şekil 3.26: Deney numunesinin her iki yüzüne ve temele yerleştirilmiş yerdeğiştirme ölçerlerin (LVDT) yerleri ve kanal numaraları

Toplam 12 adet yerdeğiştirme ölçer, kolon ve kiriş uç bölgelerine Şekil 3.26’da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Numunenin tepe yer değiştirmesinin ölçümü için üç adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Bunlar numunenin ön yüzündeki WBC, arka yüzündeki EBC ve kiriş-kolon birleşim noktasındaki MC kodlu yerdeğiştirme ölçerlerdir. Bu LVDT’ler, numuneye uygulanan tersinir yüklemeler sonucu kiriş ekseninde oluşan tepe yer değiştirmesini ölçmektedir. MC ve WBC kodlu

yerdeğiştirme ölçerler, SDP-100 tipinde olup veri toplayıcının (Data Logger) 35. (MC) ve 26. (WBC) kanallarından ölçüm alınmaktadır.

Çizelge 3.6: Çerçeve numunelerinde kullanılan yerdeğiştirme ölçer listesi.

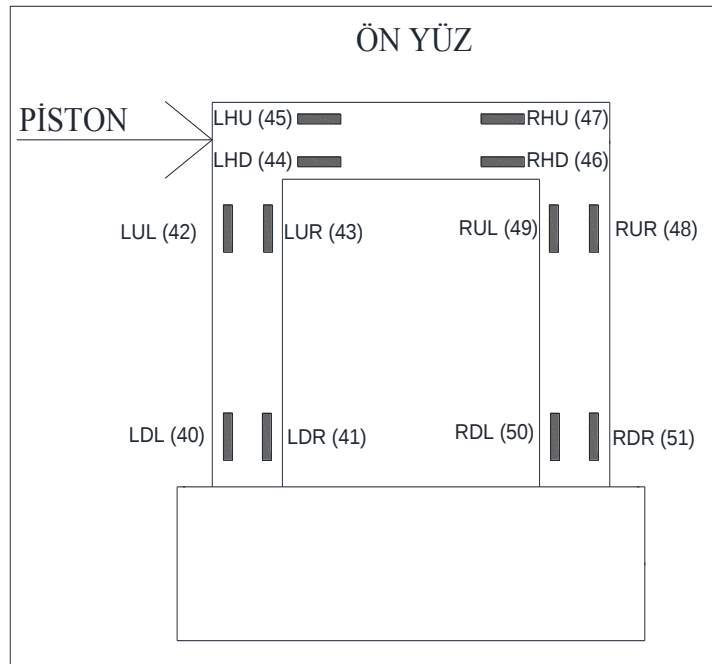
YERDEĞİŞTİRME ÖLÇER (LVDT) LİSTESİ		
LVDT Kodu	LVDT Tipi	Kanal Numarası
FC	CDP-10	16
CW1	CDP-25	17
LDL	CDP-5	20
LDR	CDP-5	21
LUL	CDP-5	22
LUR	CDP-5	23
LHU	CDP-5	24
LHD	CDP-5	25
WBC	SDP-100	26
X1	CDP-10	27
X2	CDP-10	28
RHU	CDP-5	29
RHD	CDP-5	30
RUL	CDP-5	31
RUR	CDP-5	32
RDL	CDP-5	33
RDR	CDP-5	34
MC	SDP-100	35
EBC	CDP-25	36
OPER	CDP-25	37
CE1	CDP-25	38
OPEL	CDP-25	39

Numunenin arka yüzündeki tepe yer değiştirmesini ölçen EBC kodlu LVDT ise CDP-25 tipinde olup 36. kanaldan ölçülmektedir. EBC ve WBC kodlu yerdeğiştirme ölçerler, numunenin düzlem dışı hareketini engelleyen sabitleştiricilere mesnetlenmiştir. Deney sırasında numunede oluşabilecek düzlem dışı hareket, OPEL

ve OPER kodlu ölçerlerden, taban kayması FC ve temeldeki genel kalkma CE1 ve CW1 kodlu ölçerlerden, veri toplayıcının, (Data Logger) sırasıyla 39, 37, 16, 38 ve 17 nolu kanallardan kontrol edilerek veri alınmıştır.

Çizelge 3.6’da tüm yerdeğiştirme ölçerlerin (LVDT) kodları, yerdeğiştirme ölçer tipi ve kanal numaraları verilmiştir.

Yapılan yer değiştirme okumalarına ilave olarak, donatılara yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin (Strain Gauge) yardımıyla, yine deney sırasındaki numune hareketine göre, donatılarda meydana gelen şekil değiştirme okumaları yapılmıştır. Şekil değiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 3.27’de görülmektedir.

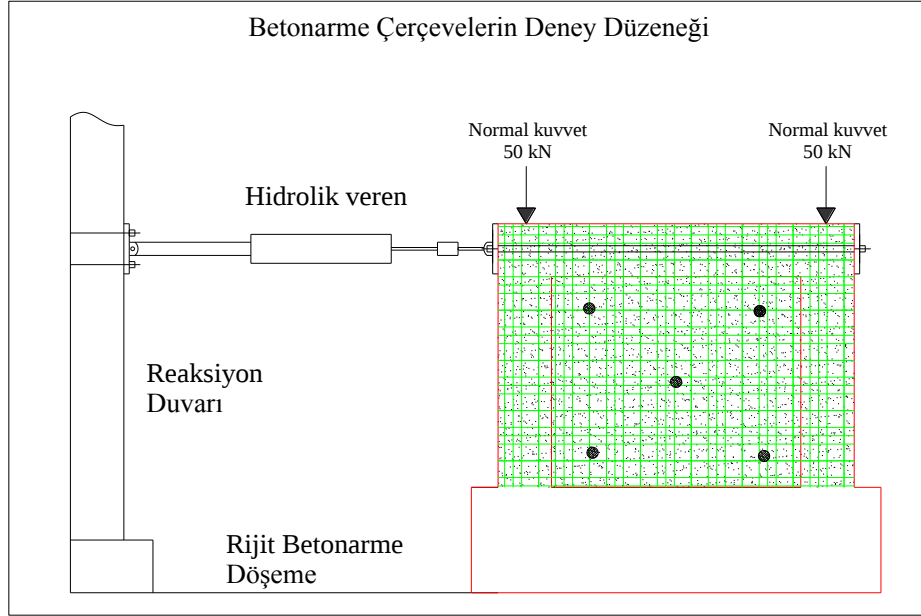


Şekil 3.27: Donatılara yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) yerleri ve kanal numaraları.

3.5.2 Yükleme düzeneği

Deneyisel çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında mevcut bulunan yükleme düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çelik profillerden oluşmuş yükleme çerçevesi oluşan reaksiyon kuvvetlerini rijit laboratuvar döşemesine emniyetle aktarmaktadır. Tersinir yatay yükleme, ± 280 kN yükleme ve ± 94 mm yerdeğiştirme kapasiteli DARTEC hidrolik veren ile gerçekleştirilmiştir. DARTEC hidrolik verenin reaksiyon kuvveti, betonarme reaksiyon duvarına aktarılmıştır. Hidrolik verenin her iki ucunda düzlem ve düzleme dik doğrultuda çalışabilen mafsallar bulunmaktadır.

Ayrıca, numuneler 5 katlı bir yapının zemin katında bulunan bir aksın betonarme çerçevesi olarak düşünüldüğünden, eksenel yük altında denenmiştir. Eksenel yük değeri, her kat için 10 kN olarak hesaplanmış ve toplam 50 kN olarak zemin kata etkitilmiştir. Uygulanan eksenel yük, yük ölçer (loadcell) yardımıyla veri toplayıcıya (Data Logger) ve bilgisayara aktarılarak deney süresince sürekli takip edilmiştir.



Şekil 3.28: Deney düzeneği.

Tersinir yükleme yapabilmek için hidrolik verenin başlığındaki deliklerden geçirilen Ø18 mm çaplı iki adet yüksek dayanımlı ankraj çubukları, numunenin diğer ucundaki kalın çelik plakaya somunlar yardımıyla bağlanmıştır. Yatay yükler etkisinde temelin ankastrelik koşullarını sağlayabilmesi için 24 adet Ø18 mm çaplı ankraj bulonu kullanılmıştır. Ankraj bulonlarına ön germe verilmiştir. Deneyler sırasında yapılan kontrol ölçümleri, mesnetlenmenin ankastre durumuna çok yakın olduğunu göstermiştir.

Deney esnasında numunenin düzlem dışı hareketinin engellenmesi amacıyla deney düzeneğinin ön ve arka yüzlerinde ve kiriş seviyesinde iki adet çelik kiriş kullanılmıştır. Bu çelik kirişler deney çerçevesine takılıp çıkarılabilecek şekildedir. Çelik kirişlerin kesitindeki boşluklardan geçirilen özel tekerlek mekanizması, deney numunesini düzlem içinde tutmuştur.

Statik deneyler yer değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir çevrim için hedeflenen yer değiştirme değerleri, bilgisayar ve kontrol ünitesi aracılığı ile DARTEC hidrolik verene iletilmiş ve oluşan reaksiyon kuvveti veren gövdesine

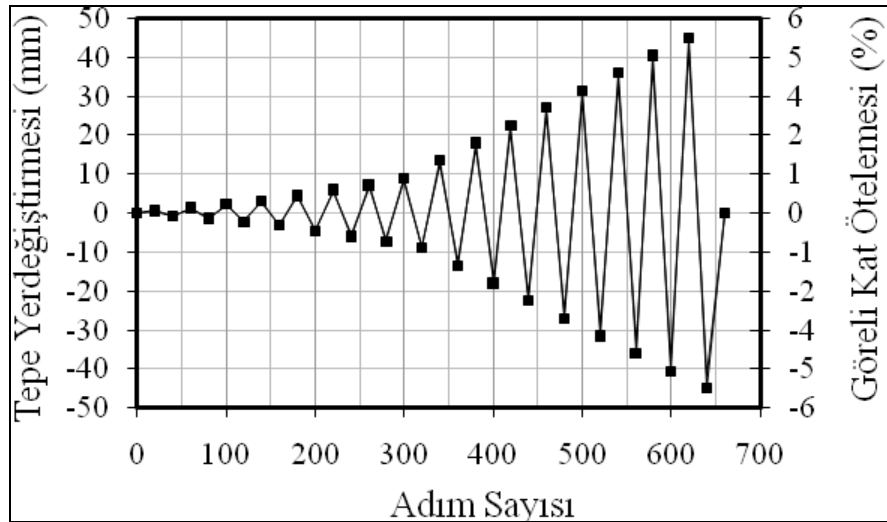
bağlı yük ölçer ile ölçülmüştür. Çelik yükleme çerçevesi ve deney düzeneğinin diğer parçaları Şekil 3.29’da görünmektedir.



Şekil 3.29: Deney düzeneği.

3.5.3 Yükleme protokolü

Deneyler, statik olarak yapılmaktadır. Statik deneylerde kullanılan yükleme protokolü Şekil 3.30’da verilmiştir. Her yer değiştirme genliği, numuneyi bir kez itme ve çekme olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.30: Deneylerde uygulanan yer değiştirme protokolü (ÖZKAYNAK 2010).

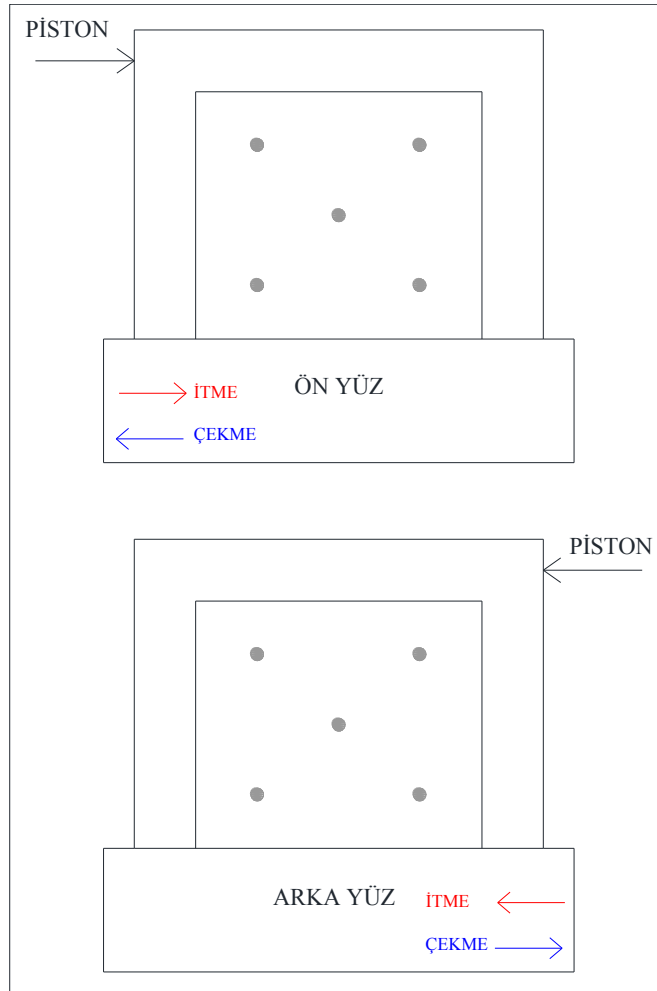
Deneyin tamamı yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Yer değiştirme çevrimleri özel olarak geliştirilen bir yazılımla bilgisayardan hidrolik verene komut

olarak iletilmektedir. Hedef yer değiştirme ve adım sayısı değerlerinin yazılıma girilmesi ile istenen hedefe adım adım gidilmektedir.

Bütün betonarme çerçeve deneyleri, ulaşılan maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 85'ine düştüğünde bitirilmiştir.

3.6 Statik Çerçeve Deneyleri

Betonarme çerçeveler, yukarıda anlatılan deney ve ölçüm düzenekleri kullanılarak, yükleme protokolüne uygun bir vaziyette, numunelere itme ve çekme hareketleri uygulanarak tersinir ve aynı zamanda eksenel yükler altında statik olarak denenmiştir. Numunelere, deneylerde uygulanan eksenel yük sabit tutulmuş ve 50 kN olarak verilmiştir.



şekil 3.31: Deneylerde uygulanan itme-çekme yönleri ve kalem renkleri.

Deneylerde, her bir itme ve itmeye karşı gelen çekme hareketi bir çevrim (cycle) olarak tanımlanmıştır. Deney sırasında numunelerde oluşan çatlaklar harflerle

isimlendirilmiştir. Numunenin ön yüzünde oluşan ilk çatlaktan itibaren A harfiyle başlayıp sırasıyla diğer harfler verilerek devam edilmiştir. Numunenin arka yüzünde ise oluşan ilk çatlağı A' ile isimlendirip sonraki çatlakları da sırasıyla harflere (') işareti konularak tanımlanmıştır. Verilen çatlak genişlikleri, tamamlanan çevrimin sonunda ölçülen genişliklerdir. Kırmızı kalem ile çizilmiş çatlaklar itme sırasında, mavi kalemle çizilen çatlaklar ise çekme sırasında oluşan çatlaklardır (Şekil 3.31).

Deneylere öncelikle referans numuneleri (çıplak ve dolgu duvarlı çerçeveler) ile başlanıp akabinde CMG ile güçlendirilen numuneler sırasıyla denenmiştir. Deney sonunda her bir numunenin deneysel parametrelerinden yola çıkılarak yük-yer değiştirme ilişkisi ve zarf eğrileri çizilmiş, enerji tüketimleri belirlenmiş ve referans numuneleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Aşağıda, her bir numunenin deneyi sırasında meydana gelen önemli olaylar, numunelerde oluşan çatlaklar ve deneylerde yapılan gözlemler kısaca özetlenmektedir.

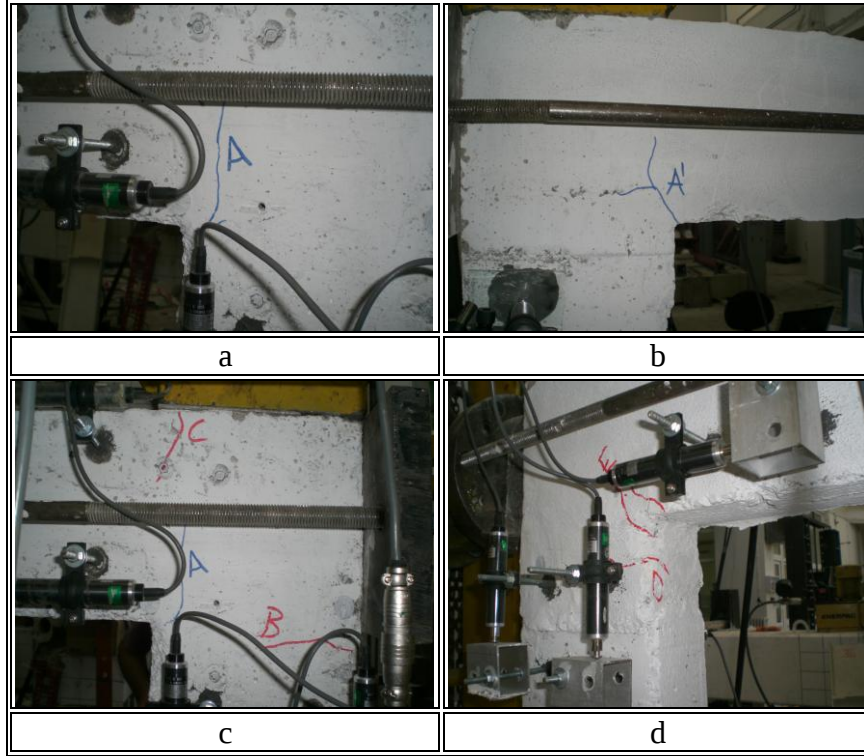
3.6.1 Çıplak/Yalın çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlak 7. çevrimde ve çekme sırasında, numunenin ön yüzünde oluşmuştur. Pistonun karşı tarafında bulunan kolon-kiriş birleşim bölgesinde 0.1 mm'den küçük A çatlağı oluşmuştur. Çekme sırasında arka yüzde simetrik olarak aynı genişlikte A' çatlağı meydana gelmiştir.

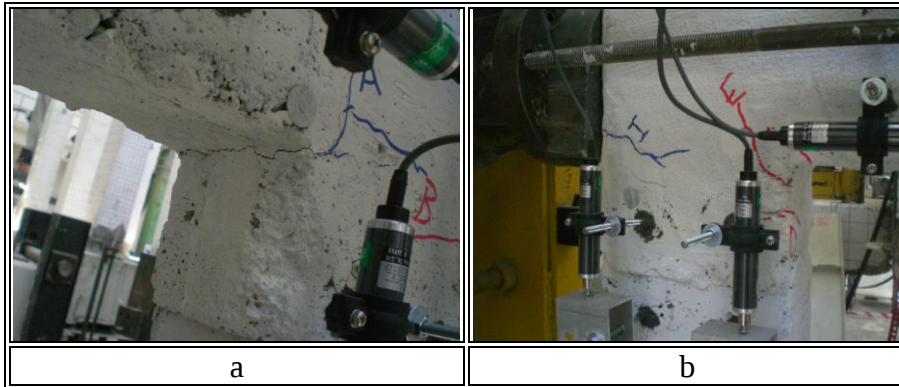
8. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde sırasıyla B, C ve D çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların genişlikleri 0.1 mm'den küçüktür. A çatlağının genişliği 0.1 mm'ye ulaşmıştır. Numunenin arka yüzünde yine itme sırasında B', C', D' ve E' çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakların da genişliği 0.1 mm'den küçüktür. Bir önceki çevrimde oluşan A' çatlağının genişliği 0.1 mm olarak ölçülmüştür.

9. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde E çatlağı oluşmuştur. Bu çatlağı, her iki kolonun temele yakın bölgelerinde oluşan F, G ve H çatlakları takip etmiştir. Çatlak genişlikleri 0.1 mm'den küçüktür. Mevcut A çatlağı, çekme sırasında ilerlemiş ve genişliği 2 mm olarak ölçülmüştür. Çekme sırasında, numunenin ön yüzünde ayrıca I çatlağı meydana gelmiştir. Bu çatlağın da genişliği 0.1 mm olarak ölçülmüştür. Çekme sırasında, pistonun karşı tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi, iç tarafındaki köşeden çatlamıştır. Mevcut A ve A' çatlakları kiriş altından ilerleyerek birleşmiştir.

Benzer şekilde H çatlakları da ilerleyerek kolon içine doğru dönmüştür. Arka yüzde çekme sırasında genişliği 0.1 mm'den küçük F' ve G' çatlakları her iki kolonun temele yakın alt bölgelerinde ortaya çıkmıştır. Mevcut C' çatlaklarının genişliği 1.5 mm olarak ölçülmüştür.



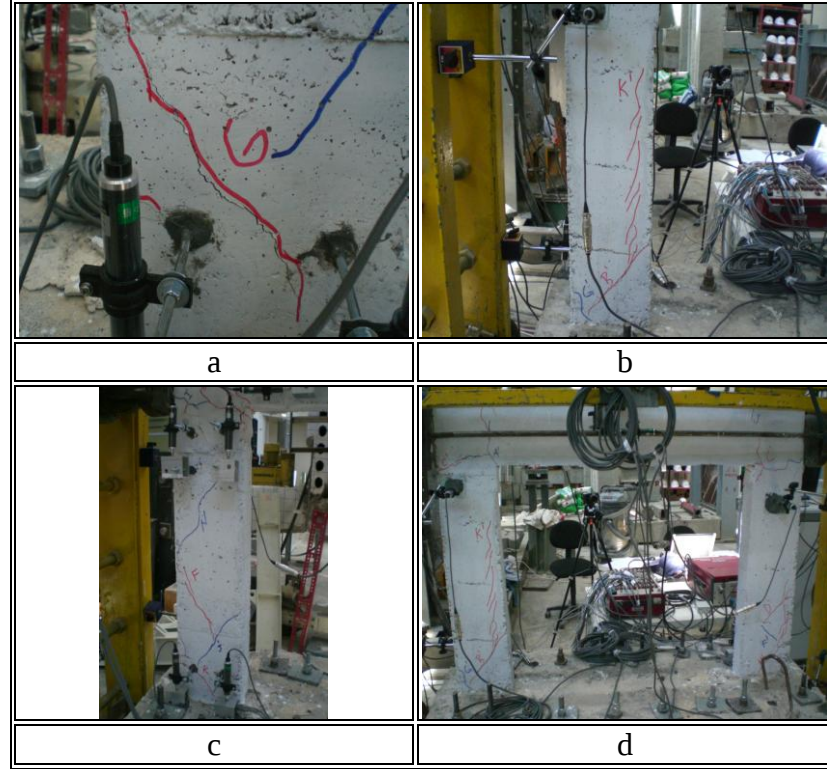
Şekil 3.32: Çıplak çerçeve numunesinde 7. ve 8. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.



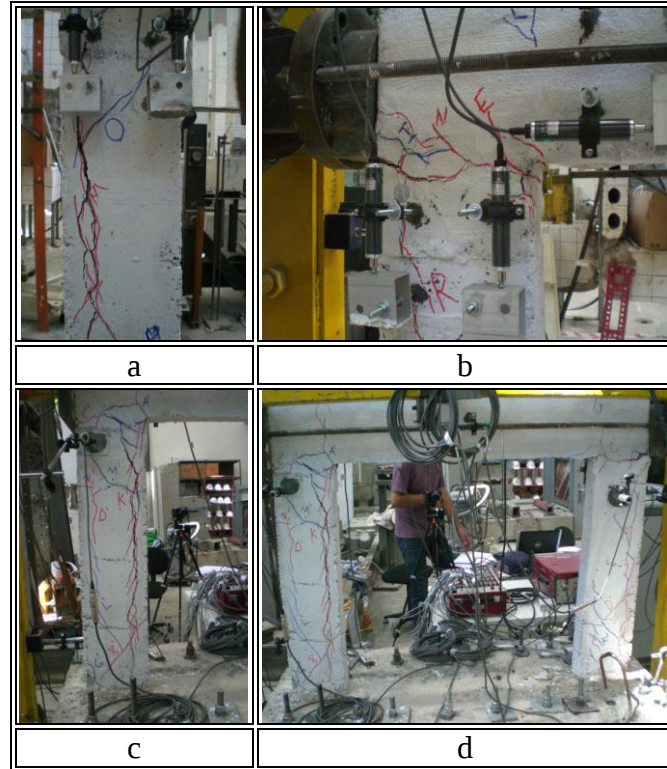
Şekil 3.33: Çıplak çerçeve numunesinde 9. çevrimde kolon-kiriş birleşim durumları.

10. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde, piston tarafındaki kolonun alt bölgesinde K çatlakları oluşmuştur. Çekmede ise kirişte L çatlakları ortaya çıkmıştır. İki çatlakların da genişliği 0.1 mm'den küçüktür. Bu çevrimde ön yüzde piston tarafındaki kolon-kiriş bölgesi ayrılmaya başlamış E ve C' çatlakları kiriş altından ilerleyerek birleşmiştir. Numunenin arka yüzünde itme sırasında piston tarafındaki kolonda parçalı H' çatlakları 0.1 mm'den küçük genişlikte oluşmuştur. Mevcut C' çatlakları 1.5

mm genişlikte ölçülmüştür. Çekme sırasında piston tarafındaki kolonda bulunan C' çatlakları ilerlemiştir.

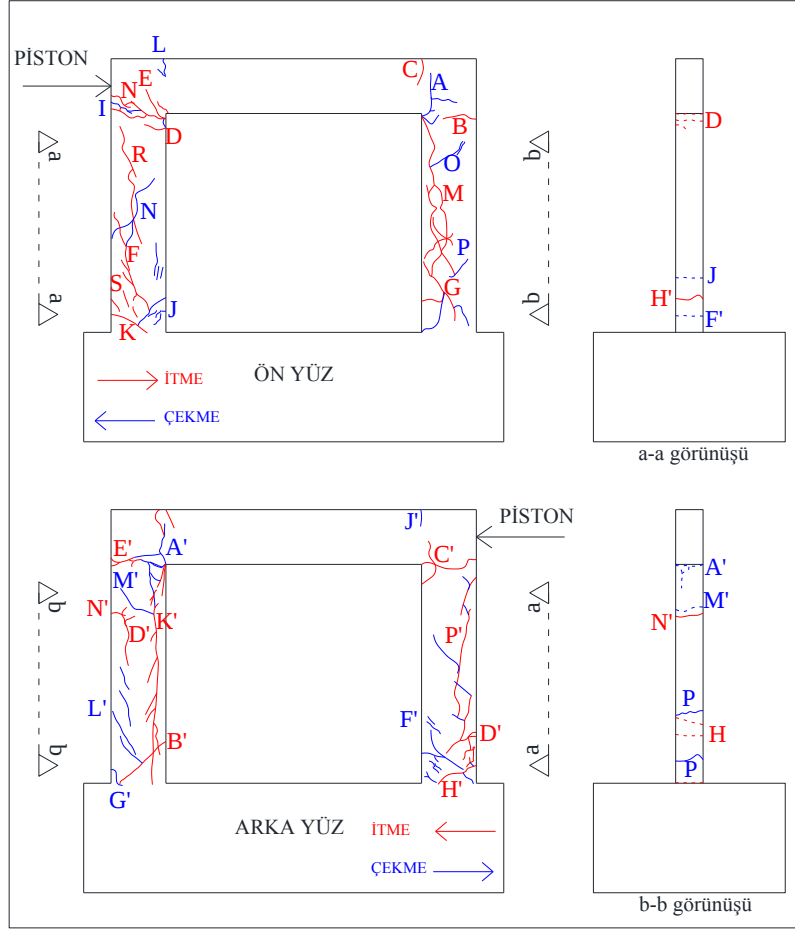


Şekil 3.34: Çıplak çerçeve numunesinde 11. ve 12. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve numune hasar durumu.



Şekil 3.35: Çıplak çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.

11. çevrimde itme sırasında, ön yüzdeki C çatlağının genişliği 2 mm olarak ölçülmüştür. I çatlağı ilerlemiştir. Çekmede ise A-A' çatlağının genişliği 2.5 mm olarak ölçülmüştür. Arka yüzde H' çatlağı ilerleyerek kolon dışına doğru dönmüştür.



Şekil 3.36: Çıplak çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

12. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde pistonun karşı tarafındaki kolonda parçalı M çatlakları oluşmuştur. Bu çatlak 0.1 mm genişlikte ortaya çıkmıştır. Mevcut C çatlağının genişliğinde bir değişiklik olmamıştır. F çatlağının genişliği 0.1 mm olarak ölçülmüş ve bu çatlağın J çatlağı ile birleştiği görülmüştür. G ve H çatlaklarının genişlikleri ise 2.5 mm'ye ulaşmıştır. Çekme sırasında ise ön yüzde O, N ve P çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların da genişliği 0.1 mm' nin altındadır. Arka yüzde, itme sırasında, pistonun karşı tarafındaki kolonda parçalı olarak K' çatlakları ortaya çıkmıştır. Bu çatlaklar, ön yüzdeki M çatlaklarının simetriğidir. Çekme sırasında L' ve M' çatlakları yine pistonun karşı tarafındaki kolon yüzeyinde meydana gelmiştir. Mevcut C' çatlağının genişliği 2.5 mm' ye, B' çatlağının genişliği ise 2 mm' ye ulaşmıştır. L' ve M' çatlakları 0.1 mm' den küçük çatlaklardır. F' çatlağı ilerlemiştir.

Çizelge 3.7: Çıplak çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
7	4.50	0.5	A < 0.1mm A' < 0.1mm
8	5.40	0.6	A = 0.1mm B, C, D < 0.1mm A' = 0.1mm B', C', D', E' < 0.1mm
9	6.30	0.7	E, F, G, H < 0.1mm I = 0.1mm, A = 2mm A çatlağı ilerledi. A ve A' çatlakları birleşti. H kolonun içine devam etti. F', G' < 0.1mm, C' = 1.5mm
10	7.20	0.8	K, L < 0.1mm E ve C' çatlakları birleşti. H' < 0.1mm, C' = 1.5mm C' çatlağı ilerledi.
11	9.00	1	A = 2.5mm, C = 2mm I çatlağı ilerledi. A' = 2.5mm, J' < 0.1mm
12	13.50	1,5	G, H = 2.5mm, C = 2mm M, F = 0.1mm N, O, P < 0.1mm F ve J çatlağı birleşti. A' = 3mm, C' = 2.5mm, B' = 2mm K', L', M' < 0.1mm F' çatlağı kolon içine ilerledi.
13	18.00	2	G, F, K = 3mm, M = 2mm R, S < 0.1mm I = 0.8mm, O = 0.7mm K = 1.5mm M, N çatlağı ilerledi. B' = 3mm, P' < 0.1mm
14	22.50	2.5	E, K, R = 1.5mm F = 1mm, G = 2mm, M = 6mm B' = 3.5mm, H' = 1.5mm K', M' = 5mm

13. çevrimde itme sırasında, ön yüzde R ve S çatlakları oluşmuştur. Piston tarafındaki kolonda oluşan bu çatlaklar parçalı çatlaklardır. Mevcut F çatlağı da parçalı hale bu çevrimde gelmiştir ve genişliği 3 mm olarak ölçülmüştür. N ve M çatlakları bu çevrimde ilerlemiştir. G, M ve K çatlaklarının genişlikleri sırasıyla 3 mm, 2 mm ve 3 mm olarak ölçülmüştür. Çekme de ise mevcut I, M ve O çatlaklarının genişliği sırasıyla 0.8 mm, 1.3 mm ve 0.7 mm olarak ölçülmüştür. Arka yüzde itme sırasında, piston tarafındaki kolonda P' parçalı çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklar da ön yüzdeki R çatlaklarının simetriğidir. Mevcut B' çatlağının genişliği 3 mm'ye ulaşmıştır.

14. çevrimde itme sırasında, kolon-temel birleşim bölgeleri, çekme sırasında ise kolon-kiriş birleşim bölgeleri kırılmış, mevcut çatlak genişlikleri yüksek değerlere ulaşmıştır. Ağır hasar gören numune üzerindeki deney sonlandırılmıştır.

Deney sonlandırıldıktan sonra numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.36'da görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.7'de de deney esnasında, her çevrimde numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler bir özet halinde aktarılmıştır.

3.6.2 Dolgu duvarlı çerçeve deneyi

2. çevrim çekmede, numunenin ön yüzünde, pistonun karşı tarafındaki kolon ile duvar arası sıva üzerinde belirginleşti ve 0.1 mm' den küçük A çatlağı oluştu.

3. çevrim itmede, yine numunenin ön yüzünde, genişliği 0.1 mm' den küçük B çatlağı meydana geldi. Numunenin arka yüzünde ise aynı genişlikte B' çatlağı oluştu. Çekmede ise ön yüzdeki A çatlağının simetriği arka yüzde A' çatlağı olarak belirginleşti.

4. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde, piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde C₁' çatlağı, bu çatlağın altında kolon orta bölgesinde de duvar ile ayrılma sınırını gösteren C₂' çatlağı oluştu. Bu çatlakları sırasıyla genişliği 0.1 mm' den küçük C₃', C₄', C₅' ve C₆' çatlakları izledi. C₄' çatlağı pistonun karşı tarafındaki kolonda oluştu. Kolon ile duvar sınır bölgesinde sıva dökülmeleri başladı. Ön yüzde bu sefer piston tarafındaki kolon ile duvar sınırı sıva üzerinden belirginleşti ve 0.1 mm'den küçük C₁ çatlağı oluştu. Yine bu kolonda, kolon-kiriş ile birleşim bölgesinde 0.1 mm' den küçük C₂ çatlağı oluştu. Numunenin arka yüzünde, her iki kolon-kiriş birleşim bölgesinde de meydana gelen F₁' ve F₂' çatlakları oluştu. D

çatlağı 0.1 mm genişlikte, numunenin ön yüzünde belirdi. İtme sırasında B' çatlağı ilerledi. Çekme sırasında, numunenin arka yüzünde, genişliği 0.1 mm' den küçük E₁', E₂' ve E₃' çatlakları meydana geldi. A' çatlağı ise büyüyerek 0.2 mm genişliğe ulaştı.

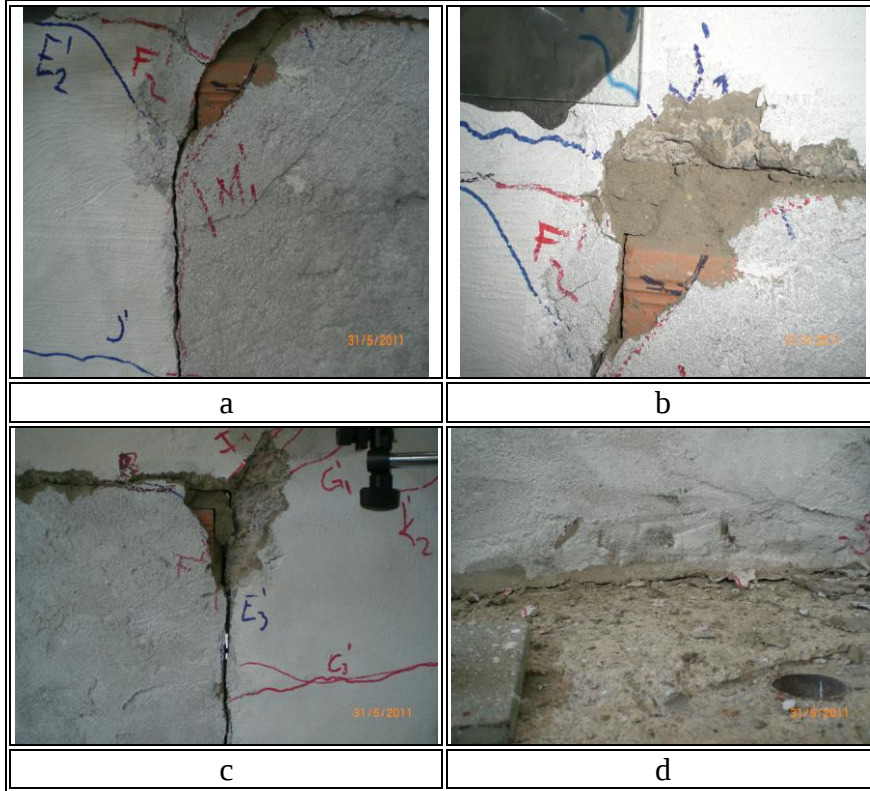


Şekil 3.37: Dolgu duvarlı çerçeve numunesinde 2. ve 3. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.

5. çevrim itme sırasında, genişliği 0.1 mm olan G₁' çatlağı, arka yüzde piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluştu. Mevcut C₁' çatlağının genişliği 0.1 mm, B' çatlağının genişliği ise 0.2 mm oldu. Sıvalar dökülmeye başladı, C₅' çatlağı ilerledi. Çekmede ise ön yüzde ilk olarak 0.1 mm genişlikte G₁ çatlağı oluştu. Piston tarafındaki kolon ile üst duvar kösesi arasında oluşan bu çatlağı sırasıyla H₁, H₂ ve H₃ çatlakları izledi. 0.1 mm' den küçük olan bu çatlaklar numunenin ön yüzünde, pistonun karşı tarafındaki kolon üzerinde yatay çizgiler olarak ortaya çıktı. Arka yüzde ise 0.1 mm' den küçük H₁' ve H₂' çatlakları pistonun karşı tarafındaki kolonda temele yakın bölgede belirdi. Bu çevrimde B çatlağının genişliği 0.3 mm, A çatlağının genişliği ise 0.2 mm oldu. Sıvalar dökülmeye devam etti.

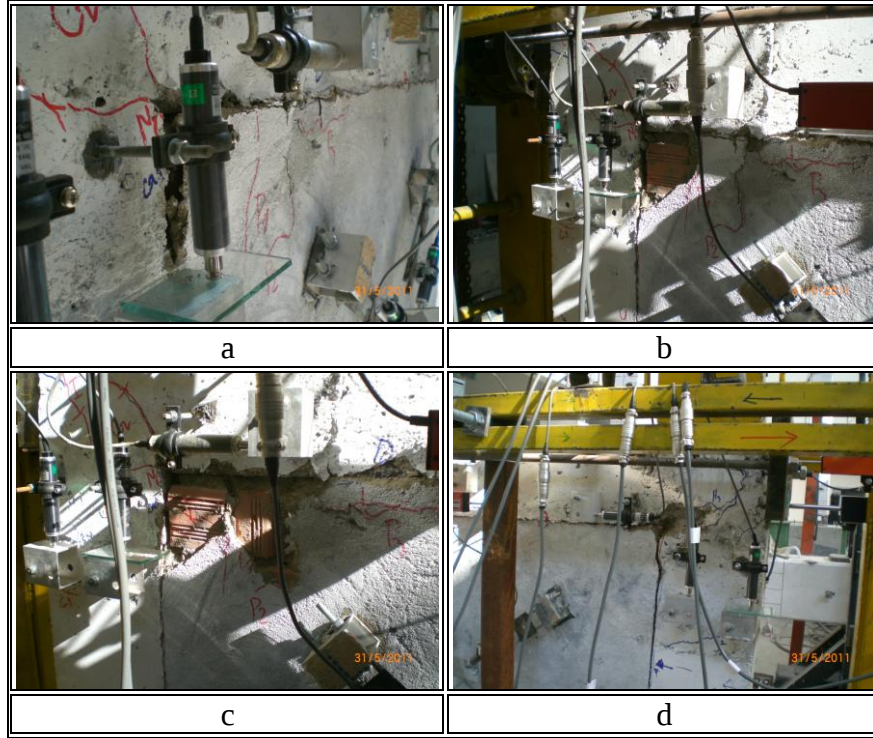
6. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde A çatlağı ilerleyerek temele kadar indi. C₂ çatlağı da yukarı doğru ilerledi. Kiriş ile duvar sınırında sıva dökülmeleri başladı. Piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde kayma çatlağı oluştu. 0.1 mm genişliğe sahip bu çatlak I harfi ile gösterildi. Simetrik olarak arka yüzde aynı bölgede I₁' çatlağı oluştu, mevcut C₁' çatlağı ilerledi. Çekme sırasında, ön yüzde, pistonun karşısındaki kolonda J₁ ve J₂ çatlakları oluştu. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yoğunlaşan bu çatlaklar 0.1 mm' den küçük olarak meydana geldi. Arka yüzde bu çatlakların simetriği olan J₁' ve J₂' çatlakları oluştu. Çekme sırasında B ve C₂' çatlaklarının genişliği 1.5 mm olarak ölçüldü. B' çatlağının etrafında ileri seviyede sıva dökülmeleri başladı. H₂' çatlağı ilerledi.

7. çevrim itmede, arka yüzde, 0.1 mm genişlikten küçük K_1' , K_2' ve K_3' çatlakları oluştu. C_2' çatlağı 2 mm'ye genişledi. Arka yüzde kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sıvalar döküldü ve tuğlalar gözükmeye başladı. Diğer bölgelerde çerçeve-duvar sınırı iyice belirginleşti. B ve A' çatlaklarının genişliği 5 mm, D çatlağının genişliği 3 mm oldu. B' çatlağında da sıva dökülmeleri devam etti. Çekme sırasında ise arka yüzde pistonun karşı tarafındaki kolonda L_1' , L_2' çatlakları ve kiriş ile birleştiği köşede ise L_3' çatlağı oluştu. Bu çatlaklar 0.1 mm' den küçük olarak ortaya çıktı.

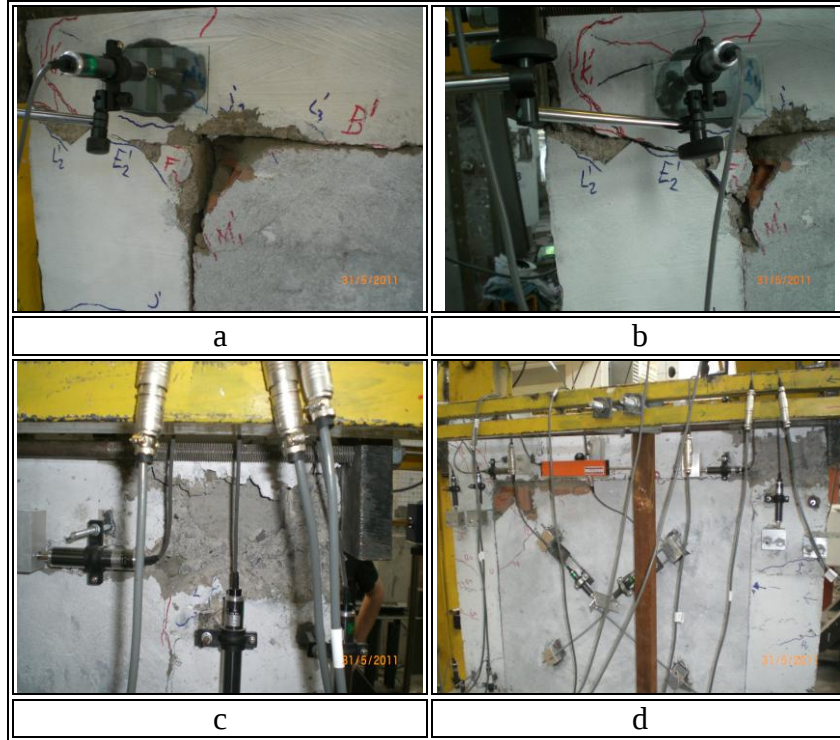


Şekil 3.38: Dolgu duvarlı çerçeve numunesinin 9. ve 10. çevrimlerdeki hasar durumu.

8. çevrimde itme sırasında, numunenin arka yüzünde, duvarda M_1' çatlağı oluştu. Duvar çerçeveden tamamen ayrıldı. F' çatlağı ilerledi. Bu çevrimde A ve B çatlaklarının genişliği 7 mm, I_1' çatlağının genişliği ise 3 mm olarak ölçüldü. Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki dökülmeler ileri seviyede devam etti. Çekmede ise ön yüzde piston tarafındaki kolonun alt bölgesinde M_1 çatlağı, bunun simetriği olarak arka yüzde de M_2' çatlağı oluştu. Arka yüzde her iki kolon-kiriş birleşim bölgesinde de M_3' ve M_4' çatlakları meydana geldi, özellikle pistonun karşı tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi büyük hasar gördü. F' çatlağı ilerledi. Kolonların temellere bağlandığı alt uçları çatlamaya başladı. C_4' , E_2' ve F_2' çatlakları 2 mm genişliğe ulaştı.



Şekil 3.39: Dolgu duvarlı çerçeve numunesinde 10. ve 11. çevrimlerdeki hasar durumu.



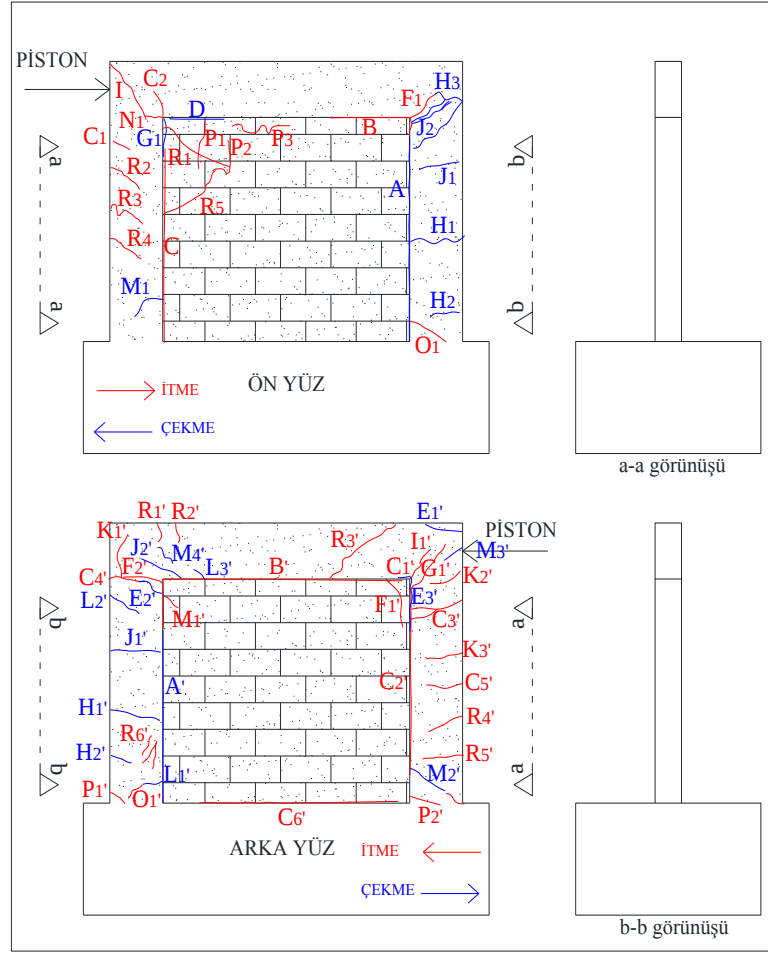
Şekil 3.40: Dolgu duvarlı çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.

9. çevrimde itmede, numune yüzeyinden beton parçaları ayrılmaya başladı. Bu şekilde F_1 ve I_2 çatlaklarının bulunduğu bölgeler parçalar halinde döküldü. Piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde 10 mm genişlikte N_1 çatlaklığı oluştu. Piston

karşısındaki kolonun temelle birleştiği bölgede O_1 çatlak, arka tarafında da simetrik olarak O_1' çatlak meydana geldi. H_3 ve M_1 çatlakları ilerledi.

Çizelge 3.8: Dolgu duvarlı BA çerçeve deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
2	0.54	0.06	$A < 0.1\text{mm}$
3	0.90	0.1	$B, B', A' < 0.1\text{mm}$
4	1.80	0.2	$C_1, C_2, F_1 < 0.1\text{mm}, D = 0.1\text{mm}$ $C_1', C_2', C_3', C_4', C_5', C_6' < 0.1\text{mm}$ $E_1', E_2', E_3', F_1', F_2' < 0.1\text{mm}$ $A' = 0.2\text{mm}$
5	2.70	0.3	$A = 0.2\text{mm}, B = 0.3\text{mm}$ $G_1 = 0.1\text{mm}, D < 0.1\text{mm}$ $H_1, H_2, H_3 < 0.1\text{mm}$ $C_1' = 0.1\text{mm}, B' = 0.2\text{mm}$ $G_1' = 0.1\text{mm}, H_1', H_2' < 0.1\text{mm}$
6	3.60	0.4	$B = 1.5\text{mm}, I = 0.1\text{mm}$ $J_1, J_2 < 0.1\text{mm}, C_2' = 1.5\text{mm}$ $I_1', J_1', J_2' < 0.1\text{mm}$ A, C_1', H_2' ilerledi.
7	4.50	0.5	$L_1, L_2 < 0.1\text{mm}$ $D = 3\text{mm}, B = 5\text{mm}$ $A' = 5\text{mm}, C_2' = 2\text{mm}$ $K_1', K_2', K_3' < 0.1\text{mm}$ $L_1', L_2', L_3' < 0.1\text{mm}$
8	5.40	0.6	$A, B = 7\text{mm}, M_1 = 0.1\text{mm}$ $M_1', M_2', M_3', M_4' = 0.1\text{mm}$ $I_1' = 3\text{mm}, C_4', E_2', F_2' = 2\text{mm}$ F' ilerledi.
9	6.30	0.7	$N_1 = 10\text{mm}, O_1 = 0.2\text{mm}$ $O_1' = 0.2\text{mm}$ H_3, M_1 ilerledi.
10	9.00	1	$P_1, P_2, P_3 = 0.2\text{mm}$ $P_1', P_2' = 0.1\text{mm}$
11	13.50	1.5	$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = 0.1\text{mm}$ $R_1', R_2', R_3', R_4', R_5', R_6' = 0.1\text{mm}$



Şekil 3.41: Dolgu duvarlı çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

10. çevrimde itmede duvar üzerinde P_1 , P_2 ve P_3 çatlakları oluştu. Ön yüzde oluşan bu çatlaklar piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesine yakın olarak oluştu. Arka yüzde ise her iki kolonun temele mesnetlendiği noktalarda P_1' ve P_2' çatlakları meydana geldi. Çekmede, temel-duvar arasındaki çatlak çok belirgin hale geldi.

11. çevrimde itmede, piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi ile temasta bulunan duvar köşesi numunenin her iki yüzünde de parçalandı. Simetrik olarak karşı köşede de aynı hasar görüldü. Duvar üzerinde R_1 ve R_5 çatlakları piston tarafındaki kolonda ise R_2 , R_3 ve R_4 çatlakları oluştu. Numunenin arka yüzünde de, çerçeve üzerinde, R_1' , R_2' , R_3' , R_4' , R_5' ve R_6' çatlakları meydana geldi. Duvar-temel arasındaki çatlak 3 mm genişliğe ulaştı. Çevrim sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ağır hasar gördüğü için numuneye aksenal yük verilemediğinden deney sonlandırıldı.

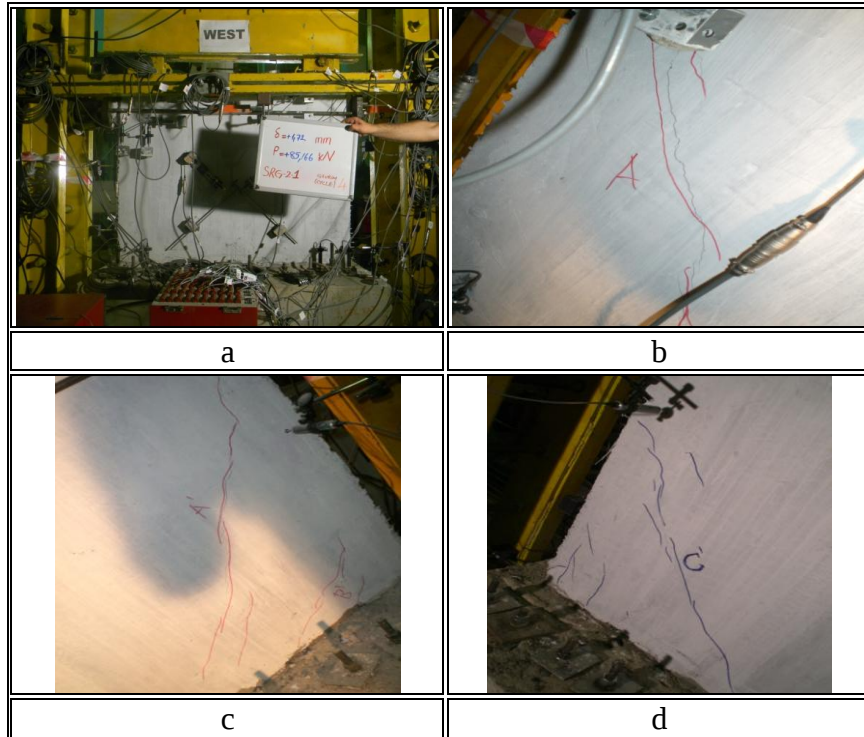
Deney sonlandırıldıktan sonra numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.41'de görülebilmektedir.

Ayrıca Çizelge 3.8’de de deney esnasında, numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler, çevrimlere göre ayrı ayrı özetlenmiştir.

3.6.3 SRG-2-1-A kodlu çerçeve deneyi

Deneyde, numunede ilk çatlaklar 4. çevrimde oluştu. Numunenin ön yüzünde itme sırasında, A çatlağı meydana geldi. A çatlağının genişliği 0.2 mm olarak ölçüldü. İtme sırasında, numunenin arka yüzünde ise yine itme sırasında oluşmuş ön yüzdeki A çatlağına simetrik olarak A’ çatlağı oluşmuş daha sonra bu A’ çatlağına paralel olarak B’ çatlakları oluşmuştur. $A'=0.3$ mm ve $B' < 0.1$ mm olarak ölçüldü. Çekme sırasında numunenin ön yüzünde genişliği 0.1 mm’ den küçük bir B çatlağı meydana geldi. Numunenin arka yüzünde ise B çatlağına simetrik olarak yine aynı genişlikte bir C’ çatlağı meydana gelmiştir.

5. çevrim itmede, A ve A’ çatlakları ilerleyerek genişledi. Sırası ile genişlikleri 0.7 ve 0.6 mm olarak ölçüldü. Aynı zamanda, numuneden beton ezilme sesleri geldi. Çekmede ise pistonun karşısındaki kolonun temele bağlandığı yerde genişliği 0.1 mm’ den küçük yatay bir çatlak meydana geldi.

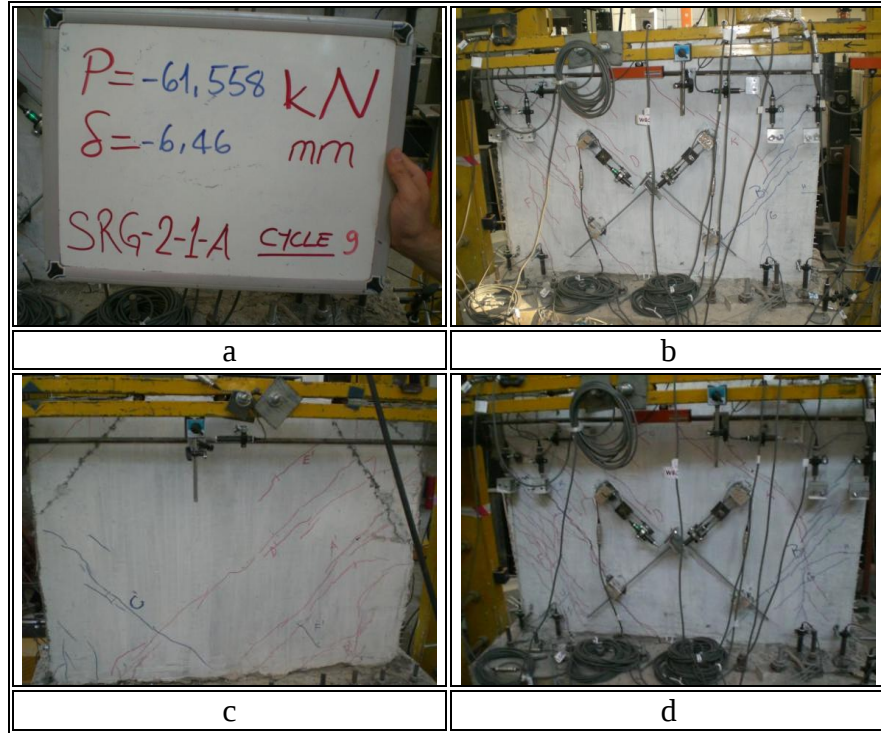


Şekil 3.42: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesinde 4. ve 5. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.

6. çevrim itmede, beton ezilme sesleri gelmeye devam etti. Buna ek olarak sıva dökülmeleri çok az bir miktarda gözlemlendi. A çatlağı, 1.3 mm genişliğe ulaştı ve

numunenin ön yüzünde piston tarafındaki kolon kiriş birleşim bölgesinin kolon ucunda 0.1 mm'den küçük bir C çatlakı oluştu. A' çatlakı ise 1.1 mm' ye ulaştı. Çekmede ise B çatlakı hem 0.4 mm' ye ulaşarak genişledi hem de ilerleyerek büyüdü. Ve yine çekmede C' çatlakında ilerleme gözlemlendi.

7. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde E ve F çatlakı oluştu. Bu iki çatlakın genişliği de 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü. Numuneden çatlama sesleri geldi ve mevcut diğer çatlaklarda ilerleme görüldü. Numunenin arka yüzünde genişliği 0.1 mm' den küçük E' ve 0.1 mm olan D' olarak adlandırılan ve dolgu duvarı çapraz olarak kesen çatlaklar meydana geldi. A' çatlakı genişleyerek 1.4 mm' ye ulaştı ve ilerleyerek kolonda yatay çatlaklar oluşturdu. Çekmede ise numunenin ön yüzünde pistonun karşısındaki kolonla duvarın ara kesitinde G çatlakı meydana geldi. G çatlakının genişliği 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü. B ve C' çatlakları ilerledi ve sırası ile 0.5 mm ve 0.7 mm' ye ulaşarak genişledi. Numuneye piston doğrultusunda bakıldığında pistonun karşı tarafında ve numunenin arka yüzündeki güçlendirme tabakasının (CMG tabakası) numuneden ayrıldığı gözlemlendi.

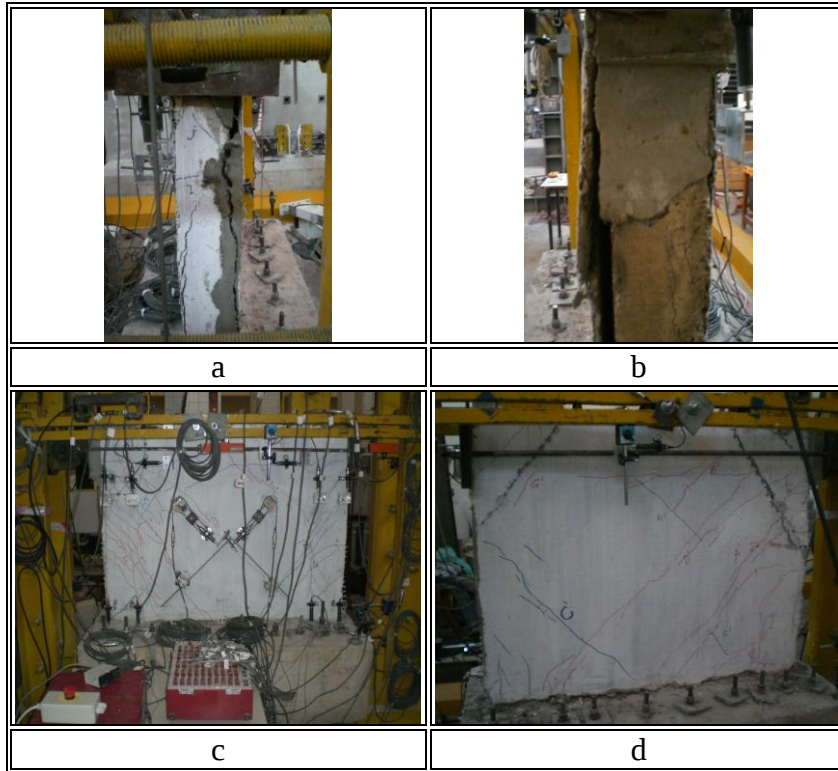


Şekil 3.43: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesinde 9. ve 10. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve mevcut çatlakların durumu.

8. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde numuneyi çapraz bir şekilde boydan boya kesen ve genişliği 1.1 mm olan D çatlakı oluştu. Ön yüzdeki A çatlakı ile arka yüzdeki A' ve D' çatlakları ilerledi ve genişledi. A' ve D' çatlaklarının

genişliği 1.3 mm' ye ulaştı. Çekme sırasında, numunenin n yüzünde pistonun karşısındaki kolonda yatay bir H atlağı oluştu ve bu H atlağı, kolonun dış yüzeyinde de devam etti. Aynı kolonun dış kesitinde I ve J kodlu çatlaklar gözlendi. B atlağı, 0.6 mm olarak ölçüldü. Numunenin arka yüzündeki C' atlağı ilerledi ve yeni genişliği 0.3 mm olarak ölçüldü. Ayrıca 8. evrim boyunca numunede çatlama ve ezilme sesleri sürekli gelmiştir.

9. evrim itmede, F atlağı ilerledi. Numunenin n yüzünde K atlağı oluştu ve 0.1 mm olarak ölçüldü. A=1.5 ve D=1.3 mm' ye ulaştı. Çekme sırasında, yine numunenin n yüzünde genişliği 0.1 mm' den küçük L, N, P, R, S ve O çatlakları sırasıyla oluştu. L ve N çatlakları kolon-duvar birleşim çizgisinde meydana geldi. Ayrıca piston tarafındaki kolonun temelle birleşen kesitinde yine genişliği 0.1 mm' den küçük M atlağı oluşmuştur. Çekme sırasında numuneden sürekli çatlama sesleri gelmiştir. 9. evrim ekme ve itme sırasında numunenin arka yüzünde mevcut çatlaklardan başka herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.



şekil 3.44: SRG-2-1-A kodlu ereve numunesinin deney sonu hasar durumu.

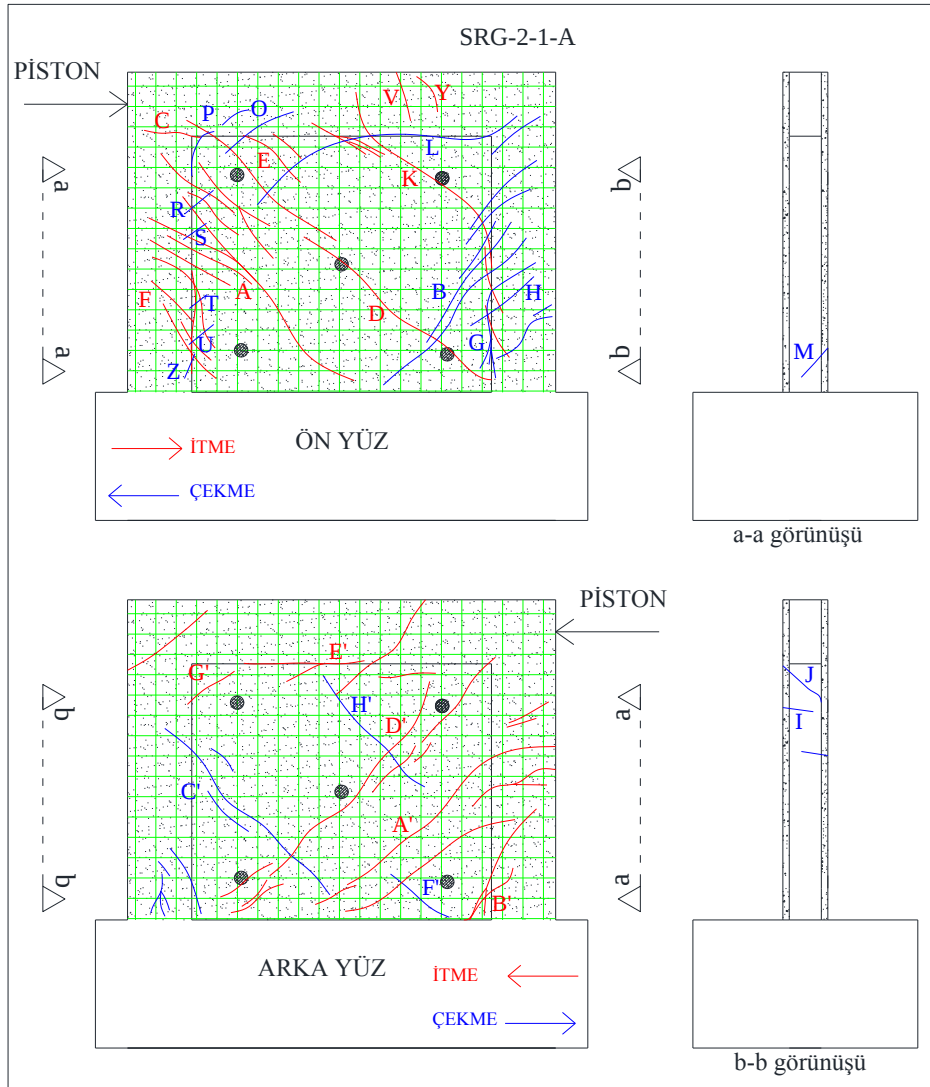
10. evrim itmede, D ve D' çatlakları ilerledi. A' atlağı 0.7 mm olarak ölçüldü. Çatlama sesleri gelmeye devam etti ve numunede sıva dökülmeleri başladı. Çekmede ise numunenin n yüzünde 0.2 mm genişliğinde T ve U çatlakları meydana geldi. B atlağı 0.8 mm ve numunenin arka yüzündeki F' atlağı 0.2 mm olarak ölçüldü.

Çizelge 3.9: SRG-2-1-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Çevrimler Boyunca Meydana Gelen Olaylar, Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
4	1.80	0.2	İlk çatlaklar: A = 0.2mm, B<0.1mm, A'=0.3mm, B', C'< 0.1mm
5	2.70	0.3	A ve A' çatlaklarında ilerleme ve genişleme: A = 0.7mm, A' ₁ =0.6mm Ezilme sesleri. Kolon diplerinde çatlaklar.
6	3.60	0.4	Sıva dökülmeleri ve ezilme sesleri. B' ve C' çatlaklarında ilerleme. A=1.3mm, B'=0.4mm, A'=1.1mm
7	4.50	0.5	Güçlendirme tabakasında ayrılma. Çatlama sesleri. Mevcut çatlaklarda ilerleme ve yeni çatlakların oluşumu. B=0.5mm, E, F,G< 0.1mm A'=1.4mm, D'=0.1mm, C'=0.7mm, E'< 0.1mm
8	5.40	0.6	Çatlama ve çatlama sesleri. Mevcut çatlaklarda ilerleme. Kolon dış yüzeylerinde yeni çatlaklar. D=1.1mm, B=0.6mm A', D'=1.3mm, C'=0.3mm
9	6.30	0.7	Kolon dibinde M çatlağı, çatlama sesleri ve yeni çatlaklar. A=1.5mm, D=1.3mm, K, L, O, P, R, S< 0.1mm
10	7.20	0.8	D ve D' çatlaklarında ilerleme. Sıvalarda ayrılma. Çatlama sesleri ve yeni çatlaklar. T, U=0.2mm, B=0.8mm, A'=0.7mm, F'=0.2mm
11	13.50	1.5	Kirişte çatlakların oluşumu, K ve E' çatlaklarında ilerleme. Güçlendirme tabakasında büyük ayrılma. A=2.3mm, K=1.1mm V, Y< 0.1mm, D'=1.4mm, H'=0.6mm, G'< 0.1mm

11. çevrim itmede A çatlağının son genişliği 2.3 mm oldu. K çatlağı paralel çatlaklar halinde ilerledi. Aynı zamanda kirişte V ve Y çatlaklar oluştu. Numunenin arka yüzünde D' çatlağı 1.4 mm olarak ölçüldü. E' çatlağı ilerledi. G' çatlağı oluştu ve 0.1 mm' den küçük ölçüldü. Çekmede ise yine numunenin arka yüzünde 0.6 mm genişliğinde H' çatlağı oluştu. Güçlendirme tabakası (CMG) numuneden iyice ayrıldı (Şekil 3.44b).

Deney sonunda, numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.45'de görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.9'da deney esnasında, her çevrimde numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler bir özet halinde aktarılmıştır.

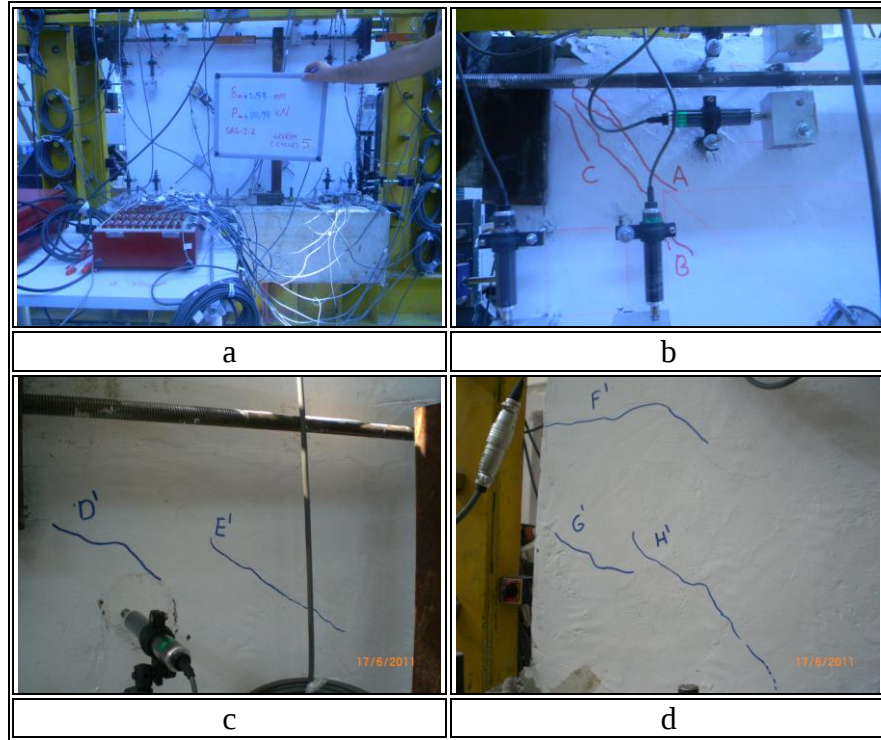


Şekil 3.45: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

3.6.4 SRG-2-2-A kodlu çerçeve deneyi

Numunede ilk çatlaklar 5. çevrim itme sırasında, numunenin ön yüzünde meydana geldi. Piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim yerinde bir birbirine paralel olarak 0.1 mm genişliğinde A, B ve C çatlakları oluştu.

6. çevrim çekmede, numunenin ön yüzünde D ve E çatlakları meydana geldi. Yine çekme sırasında numunenin arka yüzünde sırasıyla D', E', F', G' ve H' çatlakları oluştu. E' ve G' çatlaklarının genişliği 0.1 mm, diğer çatlakların genişliği ise 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü.



Şekil 3.46: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 5. ve 6. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.

7. çevrim çekmede ise yine numunenin ön yüzünde K ve J çatlakları oluştu. E çatlakları ilerledi. Numunenin arka yüzünde ise J' çatlakları oluştu. E' ve D' çatlakları ilerledi. Oluşan tüm çatlaklar 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü.

8. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde, sırası ile L, M ve N çatlakları meydana geldi. Numunenin arka yüzünde ise ön yüzdeki çatlaklara simetrik olarak K', L', M', N', O' ve P' çatlakları oluştu. Çekme sırasında arka yüzdeki J' çatlakları ilerledi.

9. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde, N' ve O' çatlakları ilerledi. K' çatlaklarının genişliği 0.1 mm' den büyük olarak ölçüldü. Çekmede ise E çatlakları ilerledi. Numunenin ön yüzünde O, P ve R çatlakları oluştu. P ve R çatlakları kolonun alt

ucunda dikey bir şekilde meydana geldi. Numunenin arka yüzünde ise P ve R çatlaklarına simetrik olarak S' ve T' çatlakları oluştu. J' ve H' çatlaklarında ilerleme gözlemlendi.

10. çevrim çekmede, numunenin ön yüzünde, genişliği 0.1 mm' den küçük S çatlağı oluştu.

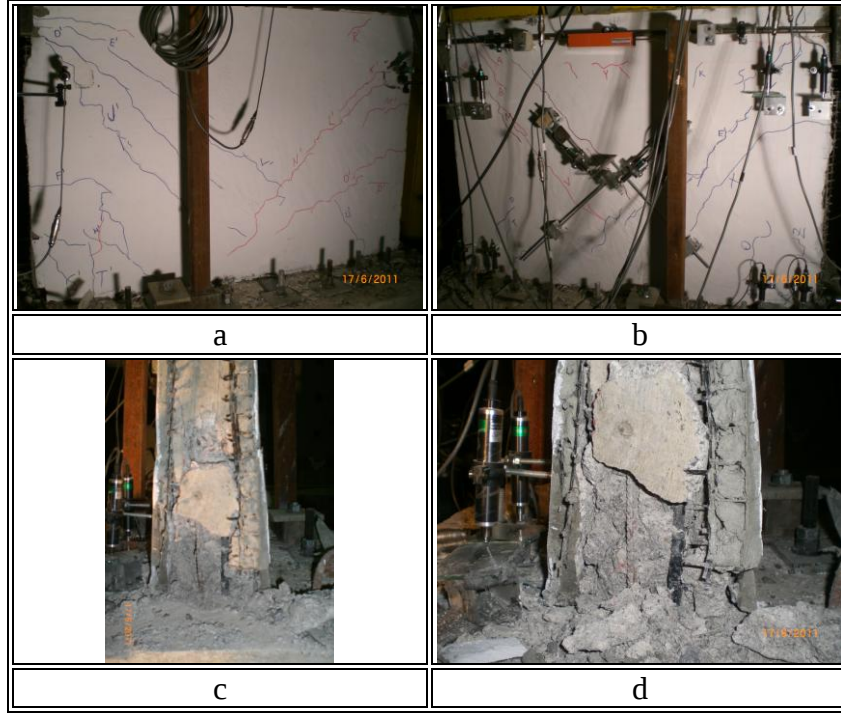
11. çevrim itmede, numunenin ön yüzündeki N çatlağının son genişliği 0.1 mm oldu. Pistonun karşı tarafındaki kolonun dibinde birbirini çapraz bir şekilde kesen çatlaklar oluştu. Çekmede ise piston tarafındaki kolonun dibinde yine birbirini çapraz bir şekilde kesen çatlaklar oluştu. S' çatlağı ilerledi ve genişliği 0.2 mm oldu.

12. çevrim itmede K' ve N' çatlakları ilerledi ve 0.1 mm'ye ulaştı. Kolon diplerindeki çatlaklar 0.2 mm oldu. Aynı zamanda S' ve D' çatlakları ilerledi. Temel-duvar birleşimi bir çizgi halinde açıldı. Çekmede E ve J çatlakları ilerledi. E çatlağı 0.1 mm oldu. Numunenin ön yüzünde kolon-duvar birleşiminde T çatlağı oluştu. Pistonun karşı tarafındaki kolonun dibinde beton kırıldı ve donatı gözüktü. Numunenin arka yüzünde ise T çatlağının simetriği olan U' çatlağı oluştu.

13. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde, 0.1 mm' den küçük U ve V çatlağı oluştu. Numunenin arka yüzünde ise L' ve N' çatlakları ilerleyerek birleşti. K' çatlağı ilerledi. Piston karşısındaki kolonun dibindeki kırılmalar arttı ve piston tarafındaki kolonun dibinde de beton kırılması meydana geldi ve donatılar gözüktü.

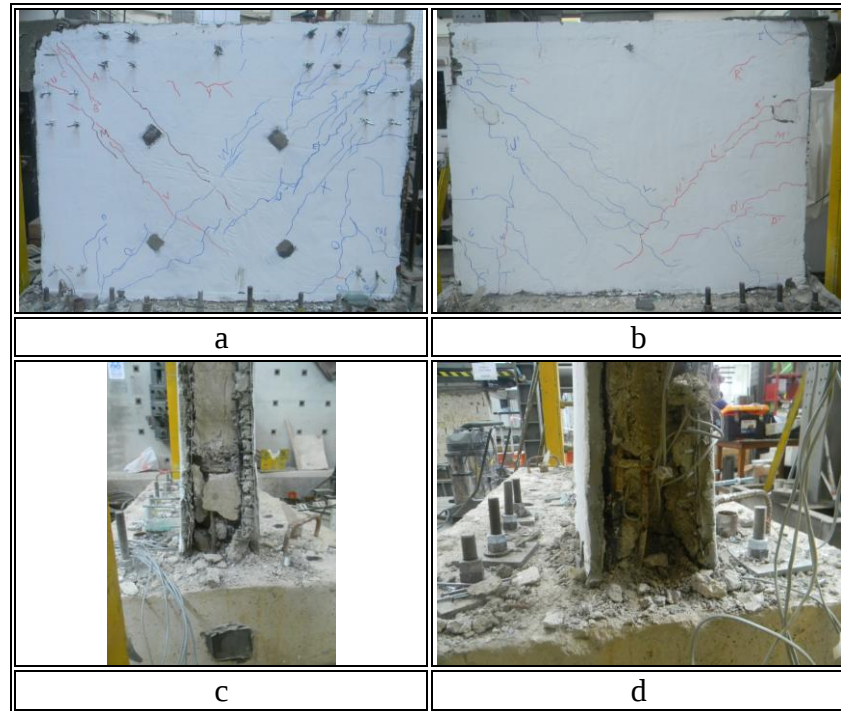
14. çevrim itmede, V çatlağı ilerledi. Numunenin ön yüzünde, kiriş- duvar birleşiminde 0.1 mm' den küçük Y çatlağı oluştu. Ayrıca numunenin arka yüzündeki T' çatlağı ilerledi. Çekmede ise E ve J çatlakları ilerleyip birleşti. D çatlağı ilerledi. Kolon diplerindeki beton kırılmaları arttı. Duvar, betonarme çerçeveden ayrılmaya başladı. Numunenin ön yüzünde, Z çatlağı oluştu. Numunenin arka yüzünde, mevcut çatlaklar ilerledi ve genişledi.

15. çevrim itme sırasında, her iki kolonun dibindeki beton kırılmaları artarak kolon diplerindeki tüm donatılar burkuldu. Numunenin arka yüzünde K', L' ve N' çatlakları artarak genişlikleri 0.15 mm oldu. Çekmede numunenin ön yüzünde E ve J çatlakları 0.2 mm oldu. E ve S çatlakları ilerleyerek birleşti. Pistonun karşısındaki kolonun orta kısmında yatay bir şekilde oluşan ve genişliği 0.1 mm' den küçük olan X çatlağı duvara doğru devam etti. Temel-duvar birleşimindeki ayrılma iyice arttı. Numunenin arka yüzünde V' ve E' çatlakları ilerleyerek birleşti. J' çatlağı ilerledi.



Şekil 3.47: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde son çevrimlerdeki hasar durumu.

16. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde, K', L' ve N' çatlaklarının genişliği 0.2 mm' nin üstüne çıktı. Çekmede, numunenin ön yüzünde, K çatlağı kirişte ilerledi. Duvarda çapraz bir W ve devamında Q çatlakları oluştu ve genişlikleri 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü. E çatlağı genişleyerek 0.2 mm oldu. Numunenin arka yüzünde ise D' çatlağı ilerledi.



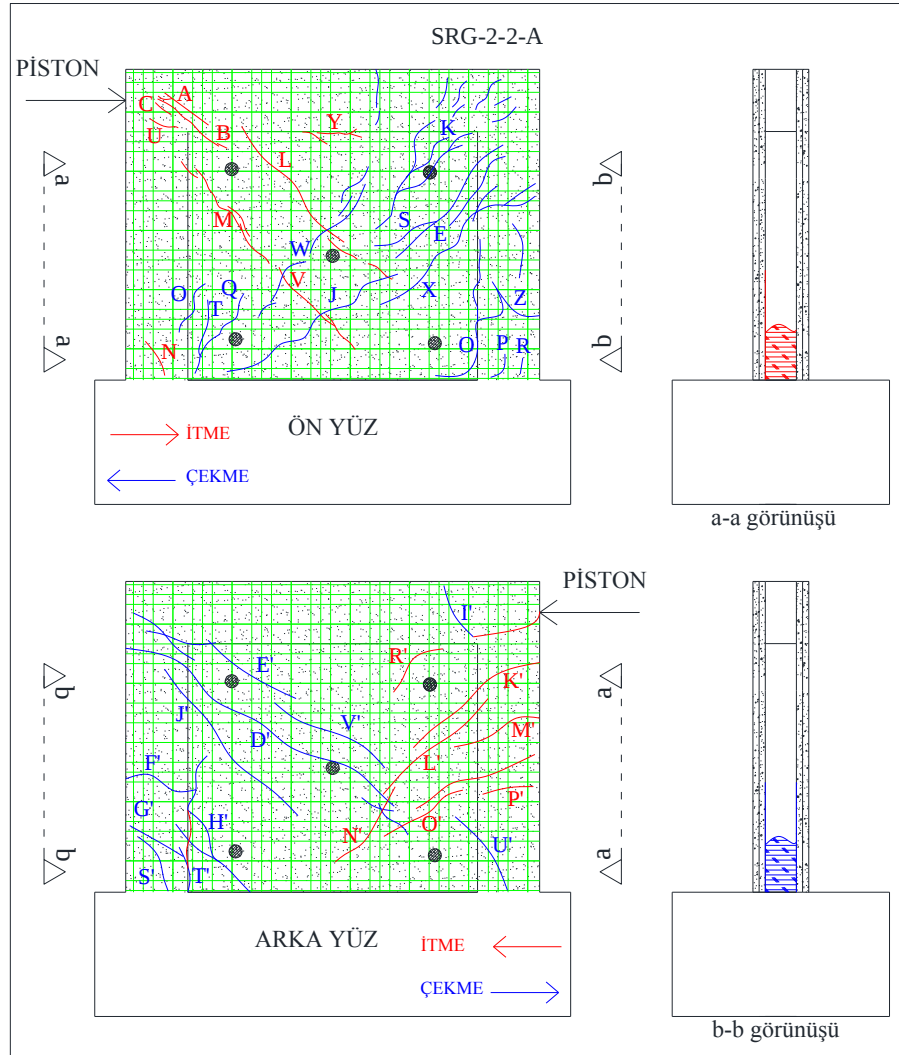
Şekil 3.48: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.

Çizelge 3.10: SRG-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Çevrimler Boyunca Meydana Gelen Olaylar, Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
5	2.70	0.3	A, B, C < 0.1mm
6	3.60	0.4	E, D < 0.1mm, E', G'=0.1mm, D', F', H' < 0.1mm
7	4.50	0.5	E, E' ve D' çatlaklarında ilerleme. K, J < 0.1mm, J' < 0.1mm
8	5.40	0.6	M, L, N < 0.1mm K', L', M', N', O', P' < 0.1mm J' çatlağında ilerleme
9	6.30	0.7	E, J', H', N', I' ve O' çatlaklarında ilerleme O, P, R < 0.1mm K' > 0.1mm, S', T' < 0.1mm
10	7.20	0.8	S < 0.1mm
11	9.00	1	Kolon diplerinde çatlaklar=0.1mm. N=0.1mm. S' çatlağında ilerleme ve genişleme. S'=0.2mm
12	13.5	1.5	Mevcut çatlaklarında ilerleme. Kolon diplerindeki çatlaklar=0.2mm. Kolon diplerinde kırılma ve donatının gözükməsi. Temel ve duvarda büyük ayrışma. E, K' ve N'=0.1mm. U' < 0.1mm
13	18.00	2	Mevcut çatlaklarda ilerleme. Kolon diplerinde kırılma büyük. U, V < 0.1mm, J'=0.15mm.
14	22.50	2.5	Mevcut çatlaklarda ilerleme. Kolon diplerinde ve temel-duvar birleşiminde büyük ayrılmalar.
15	27.00	3	Mevcut çatlaklarda büyük ilerlemeler ve genişlemeler. Kolon diplerindeki donatılarda burkulma.
16	36.00	4	Mevcut çatlaklarda büyük ilerlemeler ve genişlemeler. Yeni çatlaklar.
17	45.00	5	Kolon diplerinin tamamen kırılması ve donatıların büyük oranda burkulması ve kırışte çatlaklar

17. çevrim itmede, V çatlağı ilerledi ve 0.2 mm oldu. Çekmede, kirişte, kirişi dik bir şekilde kesen yeni çatlaklar oluştu. E çatlağı ilerledi. W çatlağı 0.2 mm oldu. Pistonun karşısındaki kolonun dibindeki beton tamamen kırıldı ve kolon dibi boşalarak tüm donatılar burkuldu. Numunenin arka yüzünde ise D' çatlağı ilerledi.

Deney sonunda numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.49'da görülebilmektedir. Çizelge 3.10'da da deney esnasında her çevrimde, numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler bir özet halinde aktarılmıştır.

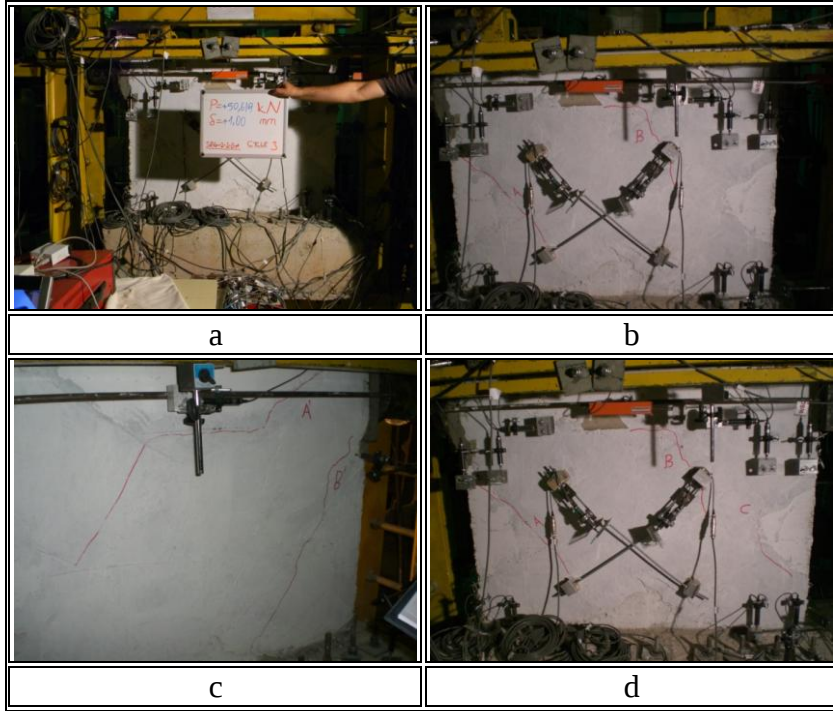


Şekil 3.49: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

3.6.5 SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 3. çevrimde numuneyi itme sırasında meydana gelmiştir. Diyagonal olarak yapıştırılan güçlendirme bantlarının dışında kalan yerlerde bu bantlara paralel olarak numunenin ön yüzünde 0.1 mm' den daha küçük genişlikte A

ve B çatlakları oluştu. Numunenin arka yüzünde de yine aynı şekilde ve genişlikte A ve B çatlaklarının simetriği olan A' ve B' çatlakları meydana geldi.



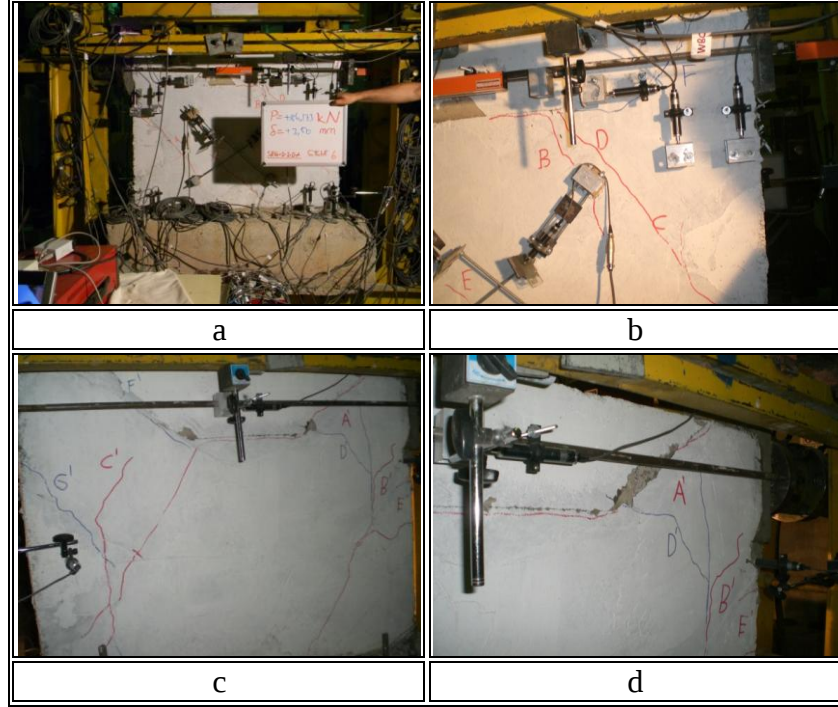
Şekil 3.50: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 2., 3., ve 4. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.

4. çevrimde itme sırasında, numunenin ön yüzünde, pistonun karşı tarafındaki kolonla duvar arasında dik bir şekilde C çatlağı oluştu. C çatlağının genişliği 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü. Numunenin arka yüzünde ise C çatlağının simetriği olan C' çatlağı oluştu. İtme sırasında numuneden ezilme sesleri geldi. Çekmede ise numunenin arka yüzünde 0.1 mm' den küçük D' çatlağı oluştu.

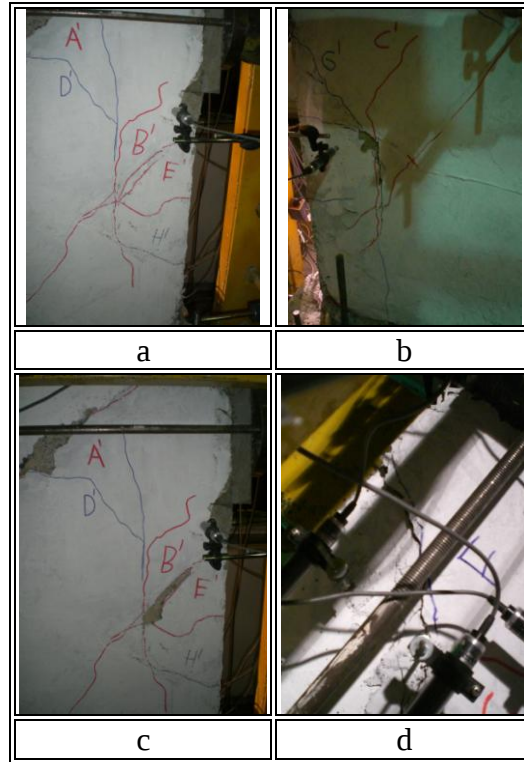
5. çevrimde itme sırasında A çatlağı 0.8 mm, B çatlağı 0.9 mm genişliğe ulaştı. Diyagonal bantlara paralel olarak numunenin ön yüzünde D çatlağı oluştu. A' çatlağı 1.2 mm ve B' çatlağı 0.4 mm oldu. Numunenin arka yüzünde piston tarafındaki kolonda yatay ve 0.1 mm genişlikte E' çatlağı oluştu. E' çatlağı kolonun dış yüzüne doğru iki paralel çatlak olarak devam etti. Çekmede numunenin kolon-kiriş birleşim bölgesindeki diyagonal bantlarında sıva kabarmaları ve sıva dökülmeleri başladı. A ve C' çatlaklarında ilerleme gözlemlendi. Numuneden ezilme ve kumaş yırtılma sesleri geldi.

6. çevrimde itme sırasında, numunenin her iki yüzünde de kolon-kiriş birleşim bölgesindeki CMG sisteminde sıva kabarmaları büyük oranda arttı. A çatlağı 1.2 mm ve A' 1.5 mm olarak ölçüldü. Çekmede ise numunenin ön yüzünde kirişte dikey bir

şekilde 0.2 mm genişliğinde F çatlakı oluştu. Numunenin arka yüzünde ise pistonun karşı tarafındaki kolondan itibaren diyagonal bantlara paralel 0.1 mm genişliğinde G' çatlakı oluştu. Numuneden sürekli kumaş yırtılma sesleri geldi.



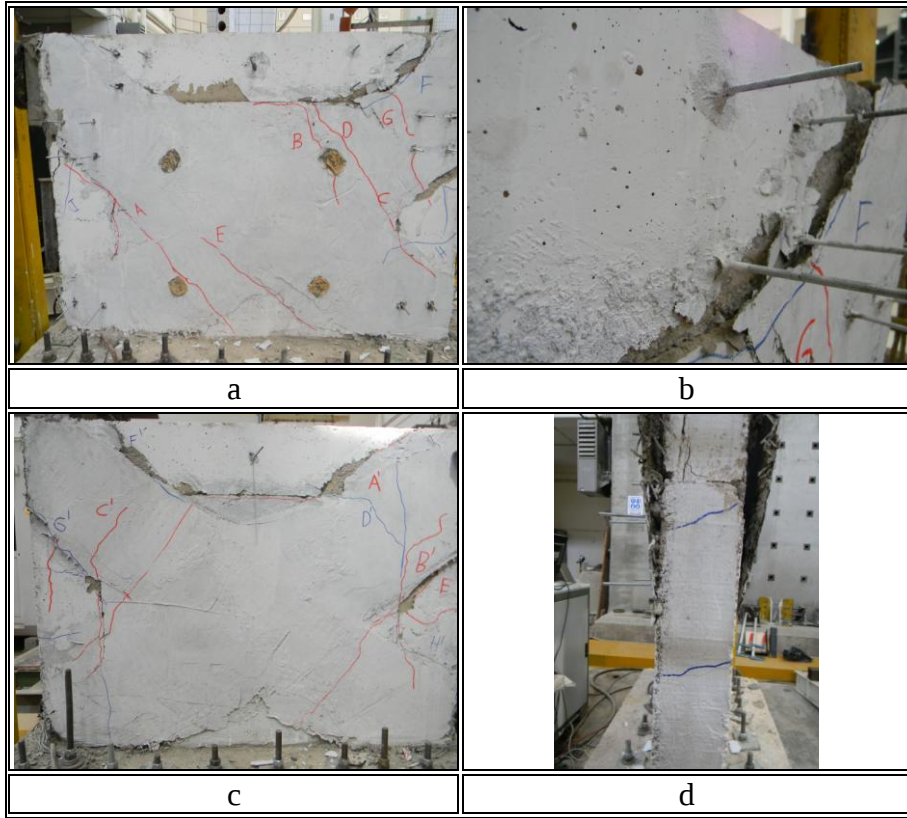
Şekil 3.51: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde 6. ve 7. çevrimlerde oluşan çatlaklar ve mevcut çatlakların durumu.



Şekil 3.52: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinde son çevrimlerdeki çatlak ve hasar durumu.

7. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde, bir önceki çevrimde numunenin arka tarafında oluşan G' çatlağının simetriği olan ve genişliği 0.1 mm olan G çatlağı oluştu. Piston tarafındaki kolonun dış yüzeylerindeki çatlaklar 0.2 mm genişliğe ulaştı. Sıva kabarmaları ve dökülmeleri olan yerlerde numuneyle CMG sisteminde ayrılmalar gözlemlendi. Çekme sırasında, piston karşısındaki kolonların dış yüzeyindeki çatlaklar 0.1 mm olarak ölçüldü.

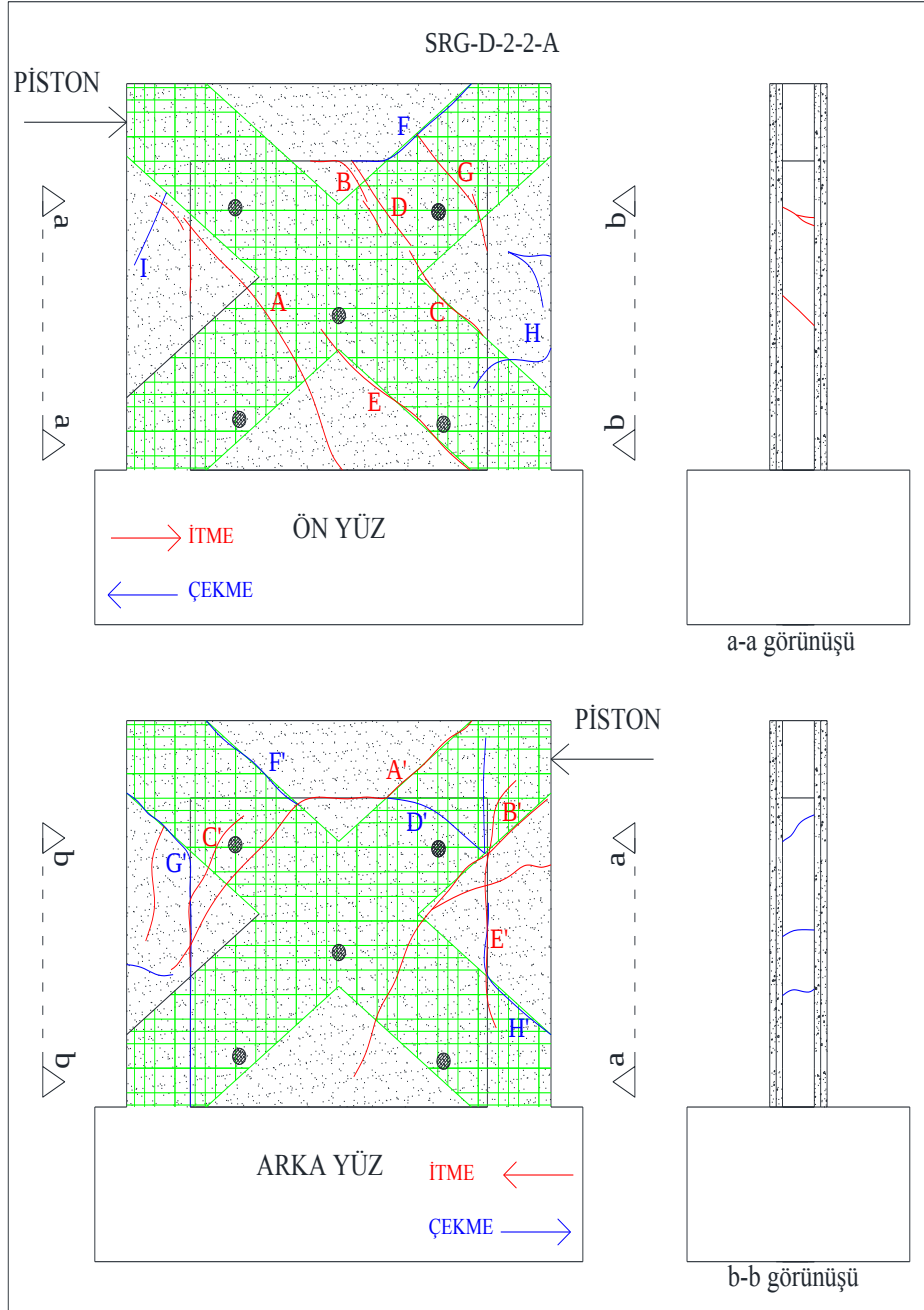
8. çevrim itmede, numunenin ön ve arka yüzlerinde, piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sıva ve CMG sisteminde büyük dökülmeler meydana geldi. Mevcut çatlaklar genişleyerek ilerledi. B çatlağı 1.4 mm, A 0.9 mm, C 1.2 mm ve E çatlağı 0.6 mm olarak ölçüldü. Numunenin arka yüzündeki çatlaklarda da genişleme ve ilerleme görüldü. E' çatlağı 0.2 mm, B' 0.6 mm, A' 1.1 mm, C' 1.4 mm' ye ulaştı. Numuneden sürekli ezilme ve kumaş yırtılma sesleri geldi. Çekmede ise itmede oluşan sıva dökülmelerine simetrik dökülmeler meydana geldi.



Şekil 3.53: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesinin deney sonu hasar durumu.

9. çevrim itmede, A çatlağı ilerledi. Kumaş yırtılma sesleri arttı. B çatlağı 3 mm ve C çatlağı 1.8 mm oldu. Numunenin arka yüzünde E' çatlağı ilerledi. C' çatlağı 2.8 mm' ye ulaştı. Numunenin her iki üst köşesinde de güçlendirme tabakası numuneden tamamen ayrıldı.

10. çevrim çekmede, numunenin ön yüzündeki güçlendirme tabakası da numuneden ayrıldı. Numunenin arka yüzündeki ayrılmalar arttı. H' çatlağı 0.8 mm olarak ölçüldü.



Şekil 3.54: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

11. çevrim itme sırasında, numunenin her iki yüzünde de kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki tüm sıva ve güçlendirme harçları döküldü. Ön yüzdeki C çatlağı 5 mm' den büyük ve B çatlağı 3 mm, arka yüzdeki C' çatlağı ise 5 mm olarak ölçüldü. Çekmede ise numunenin ön yüzünde, kolonlarda 0.1 mm' den küçük I ve H çatlakları oluştu.

Çizelge 3.11: SRG-D-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Çevrimler Boyunca Meydana Gelen Olaylar, Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
3	0.90	0.1	İlk çatlaklar. A, B< 0.1mm ve A', B'< 0.1mm
4	1.80	0.2	Çatlama sesleri. C< 0.1mm ve C', D'< 0.1mm
5	2.70	0.3	Sıva kabarmaları ve dökülmeleri. Kumaş yırtılma sesleri. A ve C' çatlaklarında ilerleme. A=0.8mm, B=0.9mm, D< 0.1mm. A'=1.2mm, B'=0.4mm, E'< 0.1mm
6	3.60	0.4	Sıva kabarmaları büyük. Kumaş yırtılma sesleri. A=1.2mm, F=0.2mm. A'=1.5mm, G'=0.1mm.
7	4.50	0.5	Sıva dökülmeleri ve ayrılmalar. Kolon yüzünde çatlaklar=0.1-0.2mm. G=0.1mm.
8	5.40	0.6	Sıva ayrılmaları büyük. Çatlama sesleri. Sıva dökülmeleri. E' çatlağında ilerleme. B=1.4mm, A=0.9mm, C=1.2mm, E=0.6mm. E'=0.2mm, B'=0.6mm, A'=1.1mm, C'=1.4mm.
9	6.30	0.7	A ve E' çatlaklarında ilerleme. Kumaş yırtılma sesleri. Sıvada tamamen ayrılma. B=3mm, C=1.8mm. C'=2.8mm.
10	7.20	0.8	Sıvada tamamen ayrılma. H'=0.8mm.
11	9.00	1	C>5mm, B=3mm, I ve H< 0.1mm. C'=5mm.
12	13.50	1.5	Üst kısımdaki tüm kumaşlar duvardan ayrıldı. Kolon başlıklarında ezilme ve parçalanma. Kolon yüzeyinde çatlak=0.5mm.

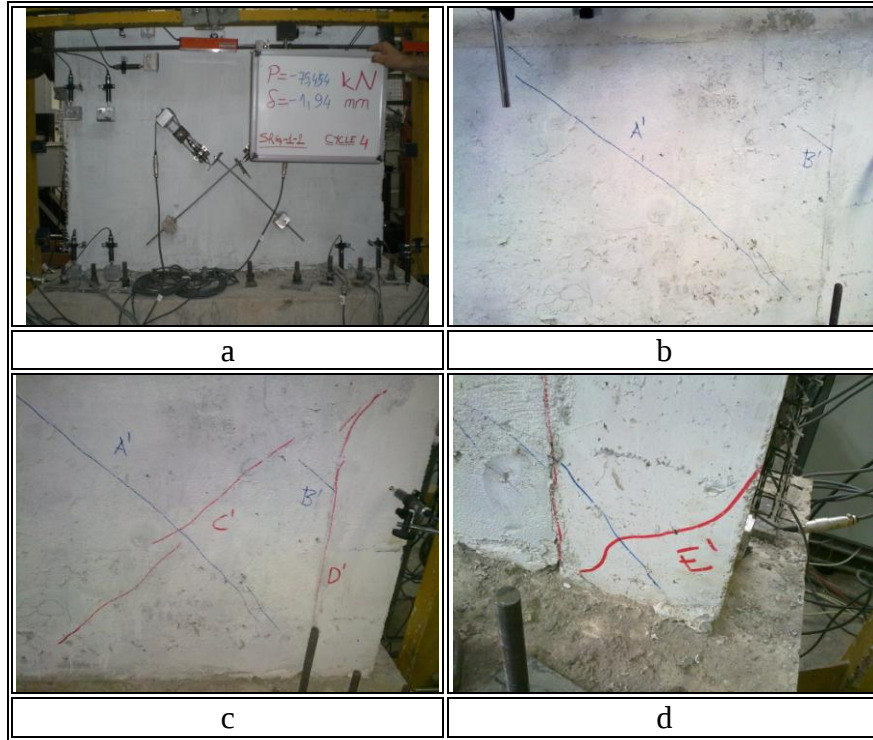
12. çevrimde itme sırasında, pistonun altında, kolonun dış yüzünde önce 0.5 mm genişliğinde çatlaklar oluştu, sonrasında pistonun altındaki beton parçalandı. Çekmede ise pistonun karşı tarafına takılan çelik plakanın altındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde beton parçalandı. Numunenin her iki uç bölgesinde beton parçalanmaları sonucu numune deneyine son verildi.

Deney sonlandırıldıktan sonra numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.54'te görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.11'de de deney esnasında her çevrimde, numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler bir özet halinde aktarılmıştır.

3.6.6 SRG-1-2 kodlu çerçeve deneyi

Bu numunenin ön yüzü, 2 kat CMG ile güçlendirilmiştir. Numunenin arka yüzünde ise güçlendirme yapılmamıştır.

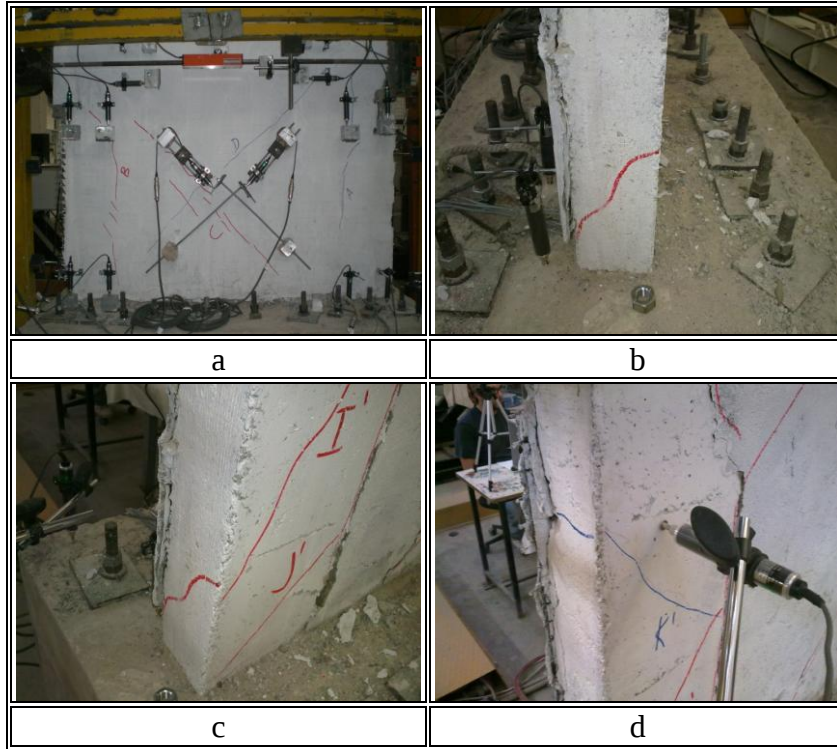
Numuneden 4. çevrim itme sırasında, ilk çatlama sesleri gelmeye başladı. Çekmede ise numunenin güçlendirilmemiş arka yüzünde ilk çatlaklar oluşmaya başladı. Numunenin dolgu duvarını baştan aşağıya çapraz bir şekilde kesen A' çatlağı ve bu çatlağa paralel ve küçük bir B' çatlağı oluştu. Bu iki çatlağın genişliği de 0.2 mm olarak ölçüldü.



Şekil 3.55: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 4. ve 5. çevrimlerde oluşan ilk çatlaklar.

5. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde, A' çatlağını kesen C' çatlağı oluştu. Numunenin arka yüzünde tersinir yüklerden dolayı A' ve C' çatlaklardan oluşan bir X çatlağı oluşmuş oldu. Ayrıca yine numunenin arka yüzünde piston tarafındaki kolonla duvar arasındaki ayrışmadan 0.1 mm genişliğinde D' çatlağı ve piston tarafındaki kolonun alt tarafında E' çatlağı meydana geldi ve kolonun dış yüzüne doğru devam etti. Numuneden sürekli kırılma sesleri geldi. Çekmede ise numunenin ön yüzünde, piston karşısındaki kolon ile duvar arasında genişliği 0.1 mm' den küçük, duvar boyunca A çatlağı meydana geldi.

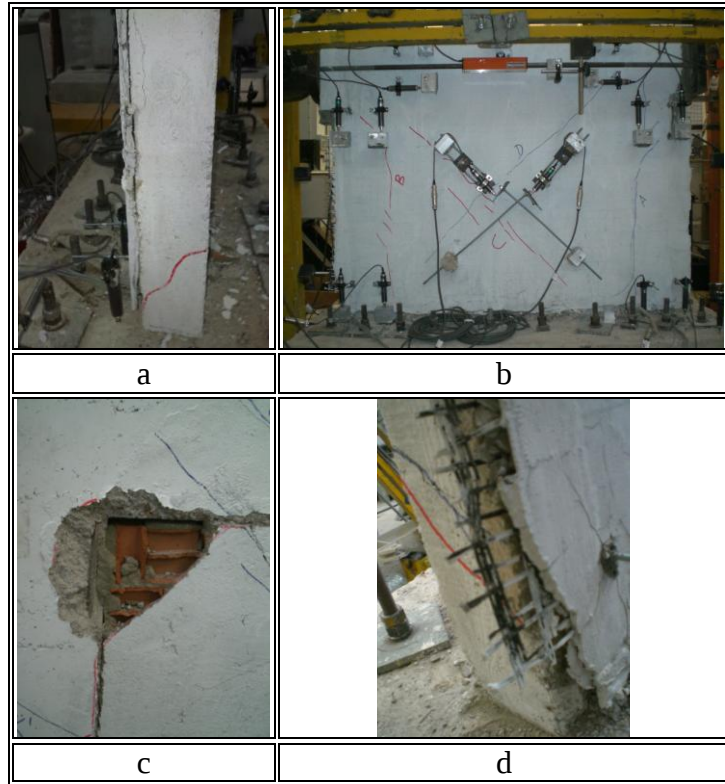
6. çevrim itmede, D' çatlağına simetrik olarak numunenin ön yüzünde 0.1 mm genişliğinde B çatlağı oluştu. Numunenin arka yüzünde ise piston karşısındaki kolonla duvar arasında temelden başlayarak 0.1 mm genişliğinde bir ayrışma meydana geldi ve bu ayrışma kirişin ortasına kadar devam etti. Bu çatlak, F' çatlağı olarak kodlandı. Çekmede ise numunenin ön yüzünde duvarı köşeden köşeye çapraz olarak kesen ve 0.1 mm' den küçük D çatlağı meydana geldi. Numunenin arka yüzünde ise kirişte 0.4 mm genişliğinde G' kodlu kayma çatlağı oluştu. Piston tarafındaki kolonda ise alt kısımda 0.1 mm' den küçük bir H' kayma çatlağı meydana geldi. Bu çatlak kolonun dış yüzüne doğru devam etti. A' çatlağı 2 mm' ye ulaştı. B' çatlağı ilerledi.



Şekil 3.56: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 8. ve 9. çevrimlerde oluşan çatlaklar.

7. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde, D çatlağını çapraz kesen ve 0.1 mm genişliğinde C çatlağı oluşarak tersinir yüklerden dolayı X şeklinde çatlak oluştu. Numunenin arka yüzünde ise F' çatlağı 0.8 mm' ye genişledi ve bu hat boyunca sıva dökülmeleri meydana geldi. C' çatlağı ise 1.6 mm' ye ulaştı. Çekme sırasında ise D ve A çatlakları sırasıyla 0.1 mm ve 0.2 mm oldu.

8. çevrim itmede, numuneden çatlama ve ezilme sesleri geldi. C çatlağı 0.2 mm' ye ulaştı. Numunenin arka yüzünde, kiriş ve kolonlar boyunca duvarda kırılma ve sıva dökülmeleri meydana geldi. Pistonun karşısındaki kolonda kayma çatlakları olan I' ve J' çatlakları oluştu. F çatlağı 1 mm ve C çatlağı 2.1 mm' ye ulaştı. Çekme sırasında ise numunenin ön yüzünde pistonun karşısındaki kolonun dibinde sıva kırılmaları oldu. Numunenin arka yüzünde, piston karşısındaki kolonda ve kolonun dış yüzüne doğru devam eden ve kayma çatlağı olan, genişliği 0.1 mm olarak ölçülen K' çatlağı meydana geldi. Mevcut çatlaklar ilerleyip, genişledi. A' 3.5 mm ve G' 1.2 mm' ye ulaştı.



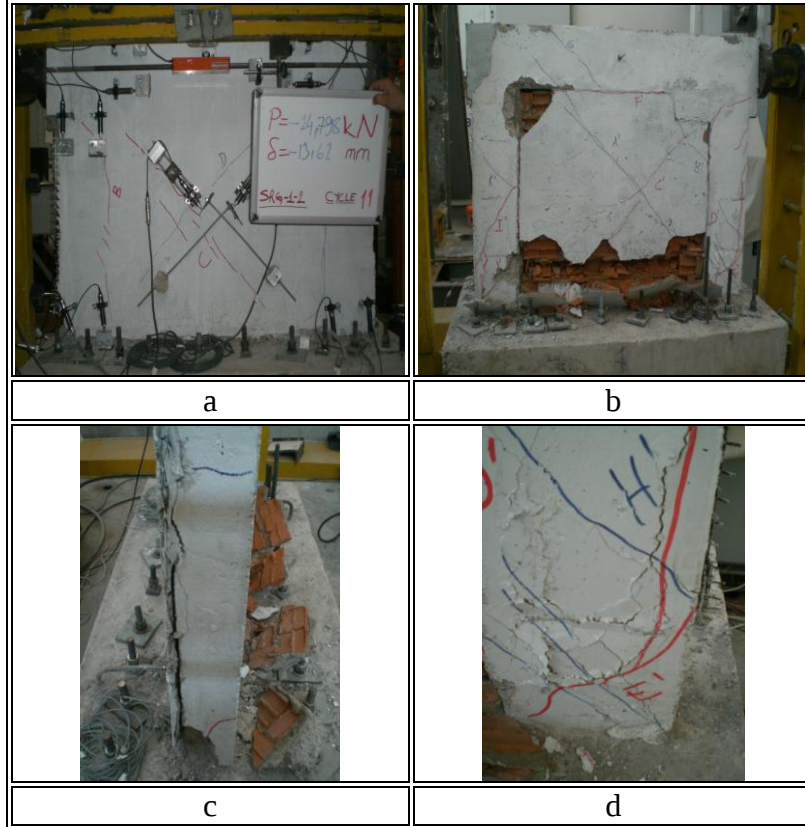
Şekil 3.57: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde 10. ve 11. çevrimlerdeki çatlaklar ve numune hasar durumu.

9. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde, D' çatlağı piston tarafındaki kolon-kiriş birleşimine doğru uzadı. Piston tarafındaki kolonda dikey bir E' çatlağı meydana geldi. Pistonun karşısındaki kolonun dibinde kesme çatlağı oluştu. Yine bu kolonun

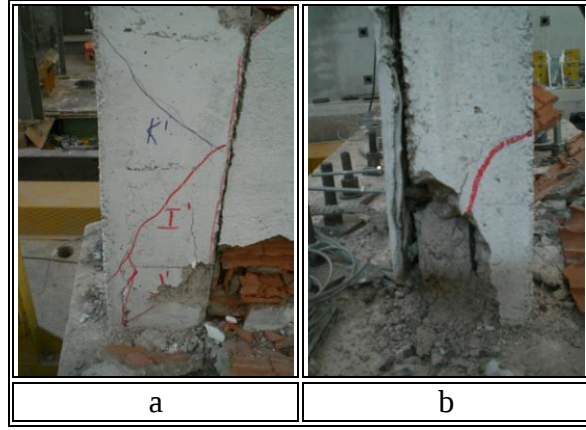
duvarla birleştigi kesitte beton kırıldı. Yine aynı yerde, duvardaki sıva ve tuğlada kırılma gözlemlendi. Numunenin arka yüzünde ve çekmede kolon diplerinde çatlaklar arttı. Kolon-duvar birleşim hattında sıva dökülmeleri arttı. Duvarın alt bölümünde N çatlakları ve piston tarafındaki kolonun alt tarafında kayma çatlakları olan M' çatlakları oluştu ve bu çatlakların genişliği 0.1 mm' den küçük olarak ölçüldü.

10. çevrim itmede, numunenin ön yüzünde, piston karşısındaki kolonla güçlendirme sıvasında ayrışma gözükte. Numunenin arka yüzünde, kolon-duvar birleşim hattında sıva dökülmeleri arttı ve duvar, kolondan ayrıldı. Ayrıca, duvarın göbeğinde tuğla kırılmaları meydana geldi. C' çatlakları 5 mm' den büyük olarak ölçüldü. Çekme sırasında bu tuğla kırılmaları devam etti.

11. çevrim itmede numunenin arka yüzünde duvarın alt kısımlarındaki tuğlalar tamamen kırıldı. I' çatlakları kolon boyunca ilerleyerek temele ulaştı. Çekmede piston karşısındaki kolon boyunca CMG sisteminin numuneden tamamen ayrıldığı gözlemlendi. Ve aynı kolonda beton kırılarak donatılar gözükte. Duvardaki tuğlaların ve kolon diplerindeki betonların kırılması ve aynı zamanda donatıların burkulması sonucu numune deneyine son verildi.

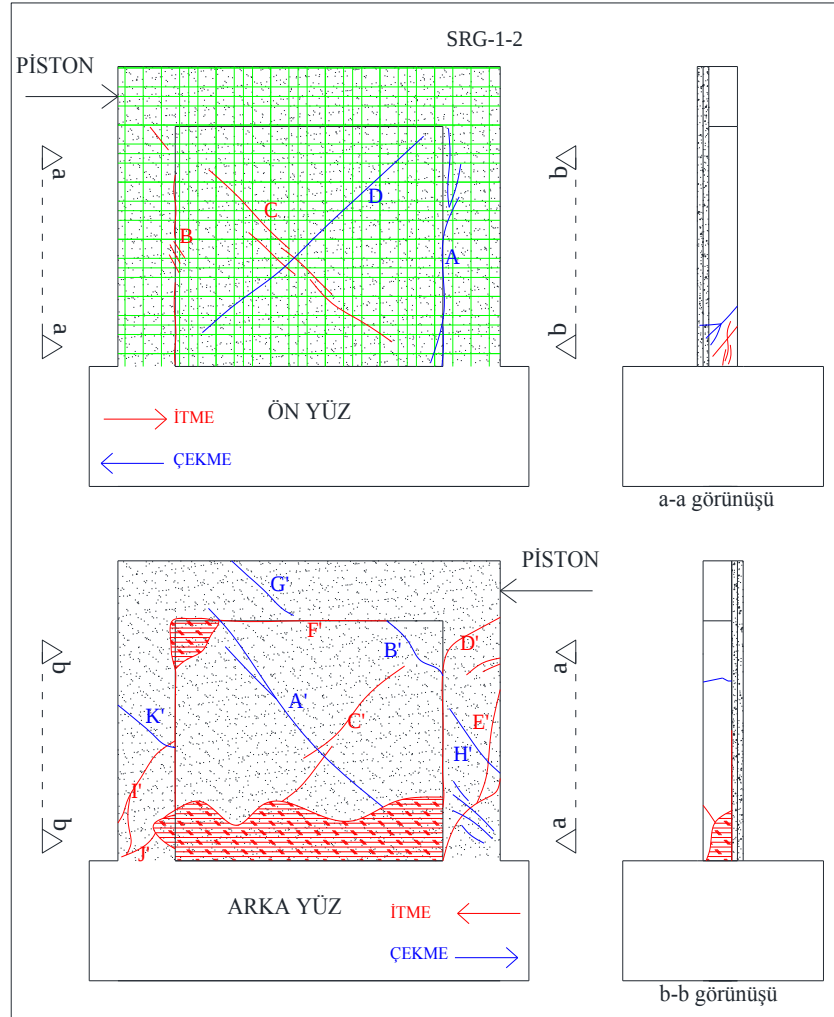


Şekil 3.58: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesinde deney sonu hasar durumu a) ön yüz, b) arka yüz, c) kolon dibi, d) kolon yüzü.



Şekil 3.59: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi deneyi sonunda, kolonlardaki hasar durumu.

Deney sonlandırıldıktan sonra numune üzerinde ve kolon iç ve dış kesitlerinde bulunan tüm çatlaklar ile numune hasar durumu Şekil 3.60'da görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.12'de de deney esnasında her çevrimde, numunede meydana gelen tüm olaylar, çatlaklar ve gözlemler bir özet halinde aktarılmıştır.



Şekil 3.60: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi deneyinde oluşan tüm çatlaklar.

Çizelge 3.12: SRG-1-2 kodlu BA çerçeve numunesi deneyinde meydana gelen önemli olaylar.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Çevrimler Boyunca Meydana Gelen Olaylar, Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
4	1.80	0.2	Numuneden ilk sesler. A', B'=0.2mm.
5	2.70	0.3	Numunede kırılma sesleri. A< 0.1mm. D', C'=0.1mm. A'=0.8mm. E'< 0.1mm. A' ve E' çatlaklarında kolona doğru ilerleme
6	3.60	0.4	B=0.1mm, D< 0.1mm. F'=0.1mm. A'=2mm. G'=0.4mm. H'< 0.1mm. B' çatlağında ilerleme.
7	4.50	0.5	C ve D=0.1mm. A=0.2mm. C'=1.6mm, F'=0.8mm. Sıva dökülmeleri.
8	5.40	0.6	Sıva dökülmeleri ve kırılma sesleri. B' çatlağında ilerleme. C=0.2mm. F'=1mm, C'=2.1mm, A'=3.5mm, G'=1.2mm, K'=0.1mm.
9	6.30	0.7	Kolon diplerinde çatlaklar. Kolon ve duvarlarda kırılma. D' ve E' çatlaklarında ilerleme. C'>3.5mm, F'=2.5mm. M'< 0.1mm.
10	7.20	0.8	Sıva ayrılmaları, kırılma sesleri. Güçlendirilmemiş duvarda tuğla kırılmaları. C'>5mm.
11	13.50	1.5	Tuğlalarda kırılma büyük. I' çatlağında ilerleme. Sıva ayrılmaları büyük. Kolonlarda kırılma. Donatılar gözüktü.

3.7 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.7.1 Çıplak betonarme çerçeve

Dolgu duvarsız olan bu betonarme çerçeve numunesinin statik deneyi ve deney sırasındaki önemli olaylar ile numune yüzeyinde meydana gelen çatlaklar Bölüm 3.6.1’ de özetlenmiştir. Ayrıca, deney sonunda numune hasar durumu da Şekil 3.36’da gösterilmektedir.

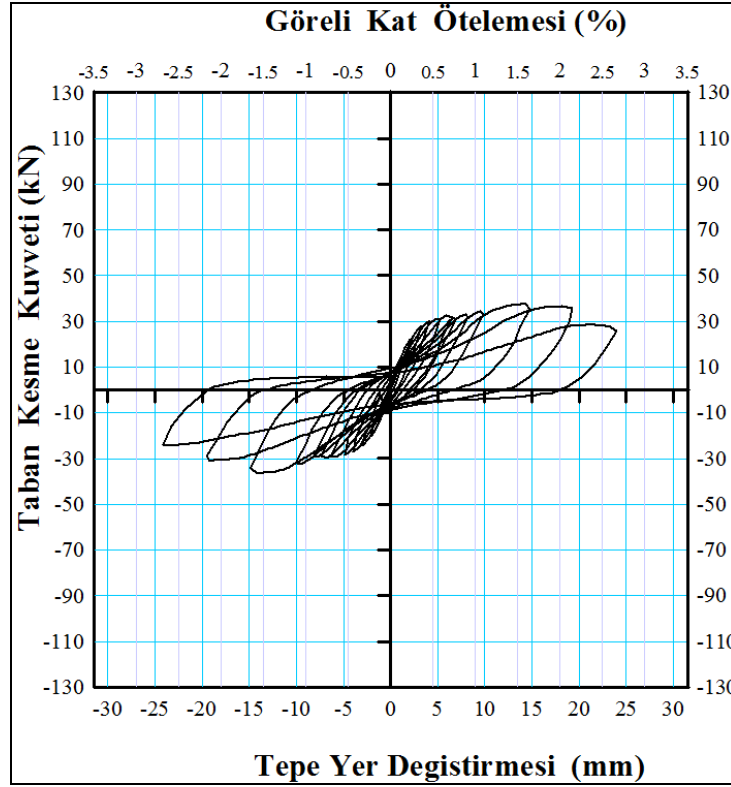
Aynı zamanda Çizelge 3.13’te, bu numunenin toplam çevrim (cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükler gösterilmiştir.

Çizelge 3.13: Çıplak BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.

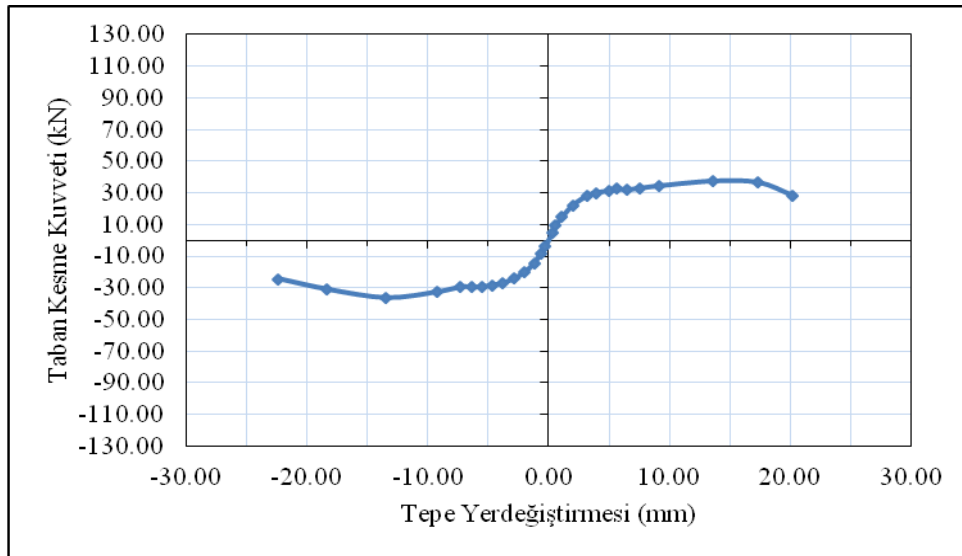
ÇIPLAK ÇERÇEVE				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	5.036	-0.27	-3.897
2	0.54	9.043	-0.54	-8.021
3	0.90	14.579	-0.90	-14.256
4	1.80	22.255	-1.80	-20.24
5	2.70	27.879	-2.70	-24.24
6	3.60	30.018	-3.60	-27.055
7	4.50	31.084	-4.50	-28.452
8	5.40	32.474	-5.40	-29.489
9	6.30	31.827	-6.30	-29.776
10	7.20	32.878	-7.20	-29.614
11	9.00	34.268	-9.00	-32.738
12	13.50	37.378	-13.50	-36.481
13	18.00	35.856	-18.00	-31.106
14	22.50	27.695	-22.50	-24.085

Bu çizelgeden de anlaşılacağı üzere bu deney, toplam 14 çevrimlik bir statik deney olmuştur. Maksimum tepe yer değiştirmesi 22.50 mm’ dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 12. Çevrim itme esnasında tepe yer değiştirmesinin 13.50 mm olduğu sırada ulaşmıştır ve bu maksimum yatay yük değeri 37.378 kN’ dur. Numune deneyine, 14. çevrimde uygulanan yatay yük değeri, maksimum yatay yük değerinin %85’inden daha düşük çıktığı için deneye son verilmiştir.

Deney sırasında, numunenin çeşitli bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden, numunenin yaptığı harekete göre alınan değerlerle elde edilen yatay yük-yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.61’de ve numune zarf eğrisi Şekil 3.62’de verilmiştir.



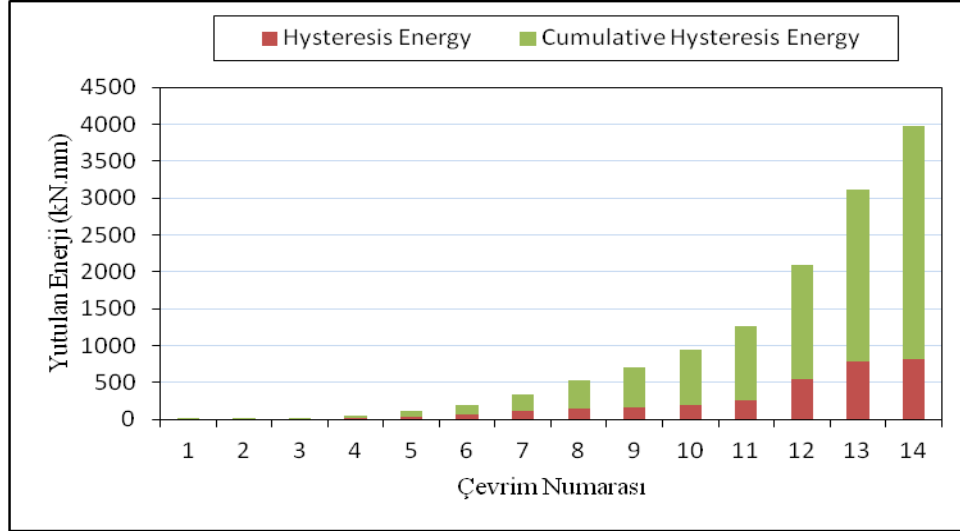
Şekil 3.61: Çıplak çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.



Şekil 3.62: Çıplak çerçeve numunesi zarf eğrisi.

Bu çerçeve, güçlendirilmiş numunelere ve dolgu duvarlı numuneye referans olarak üretilmiş olup, diğer tüm çerçeve deneylerinin sonuçları, bu çerçeve deneyinin ve

dolgu duvarlı çerçeve deneyinin sonuçları üzerinden karşılaştırılarak değerlendirilecektir.



Şekil 3.63: Çıplak çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

Şekil 3.63’de çıplak çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Buna göre, bu çerçeve numunesinin, her bir çekme ve itme çevrimi sonunda tükettiği enerji miktarının yanı sıra 14. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı da hesaplanmış ve bu toplam enerji miktarı 3152.01 kN.mm olarak elde edilmiştir.

3.7.2 Dolgu duvarlı betonarme çerçeve

Bu çerçeve numunesi, dolgu duvarlı ve sıvalı olarak denenmiştir. Deney sırasında oluşan çatlaklar ve deneyle ilgili önemli noktalar Bölüm 3.6.2’de anlatılmıştır. Deneye uygulanan yer değiştirme ve yükleme protokolü Çizelge 3.14’te görülmektedir.

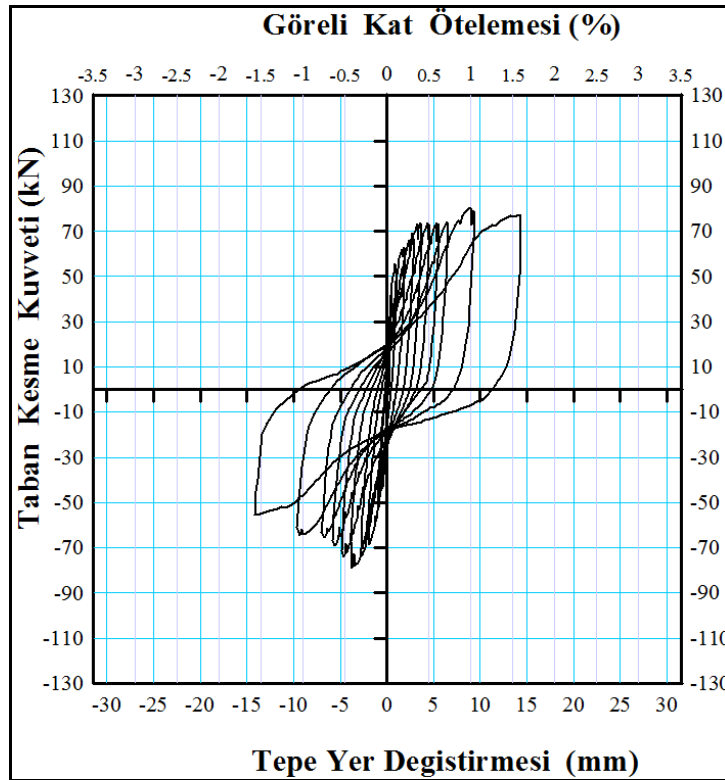
Aynı zamanda Çizelge 3.14’te bu numunenin toplam çevrim (cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükler açık bir biçimde gösterilmiştir.

Bu numune deneyi 11 çevrim olarak yapılmıştır. Ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 13.50 mm’dir. Ulaşılan maksimum yatay yük değeri ise 79.210 kN’dur. Bu değere 6. Çevrim çekme sırasında tepe yer değiştirmesinin 3.60 mm olduğu yerde ulaşılmıştır. İtme sırasındaki en yüksek yatay yük değeri ise 10. çevrimde ulaşılmış ve bu değer 79.196 kN olarak ölçülmüştür. Bu numune deneyinde, çekme sırasında ulaşılan maksimum yatay yük değerinin %85’inin altına, yine çekme sırasında 10. çevrimde düşülmüştür. Ancak itme sırasında bu değere daha ulaşamamışken

pistonun karşısındaki kolon kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen hasar yüzünden deneye düşey yük verilemediği için deney sonlandırılmıştır.

Çizelge 3.14: Dolgu duvarlı BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.

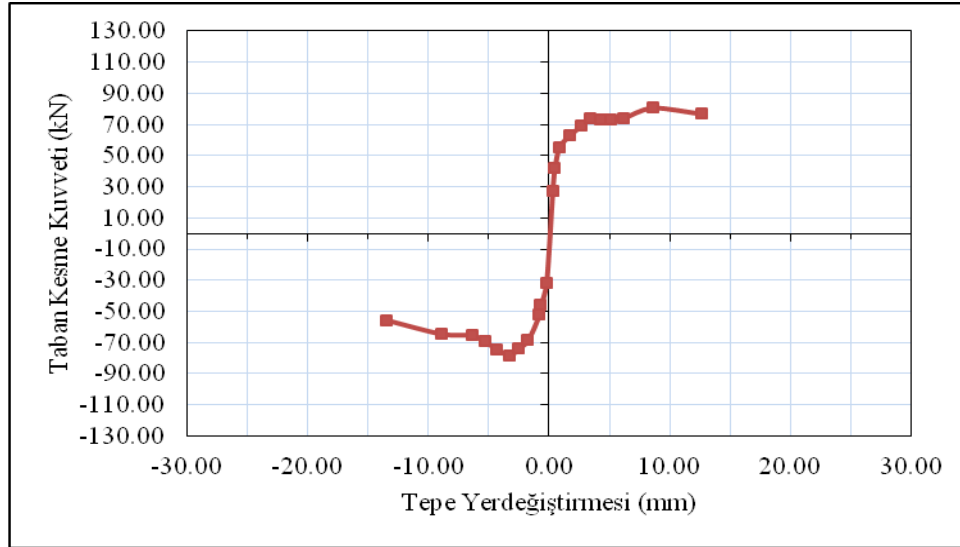
DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	26.048	-0.27	-31.996
2	0.54	41.803	-0.54	-43.436
3	0.90	55.559	-0.90	-52.28
4	1.80	62.918	-1.80	-68.594
5	2.70	69.043	-2.70	-71.601
6	3.60	73.777	-3.60	-79.21
7	4.50	72.829	-4.50	-74.167
8	5.40	72.998	-5.40	-69.24
9	6.30	73.983	-6.30	-65.425
10	9.00	79.196	-9.00	-64.418
11	13.50	76.615	-13.50	



Şekil 3.64: Dolgu duvarlı çerçeve numunesi yatay yük-yer değıştirme ilişkisi.

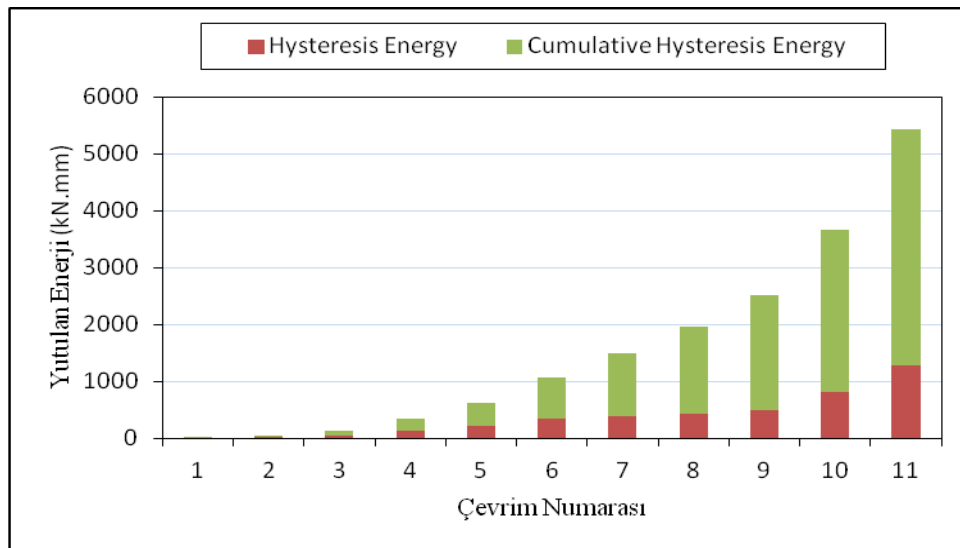
Dolgu duvarlı betonarme çerçeve deneyinde elde edilen maksimum yatay yük değeri, çıplak betonarme çerçeve numunesi maksimum yatay yük değerine göre yaklaşık olarak %112 civarında artış göstermektedir.

Bu numune deneyi sonucunda, numune yüzeyine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerle elde edilen tepe yer değiştirmesi-yatay yük eğrisi, Şekil 3.64’de, numuneye ait zarf eğrisi de Şekil 3.65’de verilmiştir.



Şekil 3.65: Dolgu duvarlı çerçeve numunesi zarf eğrisi.

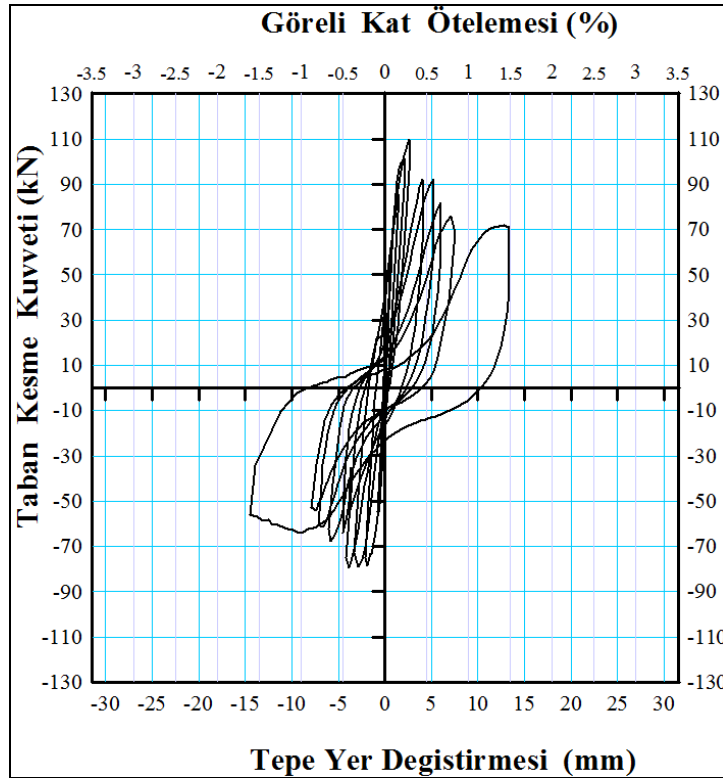
Şekil 3.66’da dolgu duvarlı çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Bu çerçeve numunesinin, her bir çekme ve itme çevrimi sonunda tüketilen enerji miktarı ile birlikte 11 çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı bulunmuş ve tükettiği toplam enerji miktarı 4134.14 kN.mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.66: Dolgu duvarlı çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

3.7.3 SRG-2-1-A kodlu betonarme çerçeve

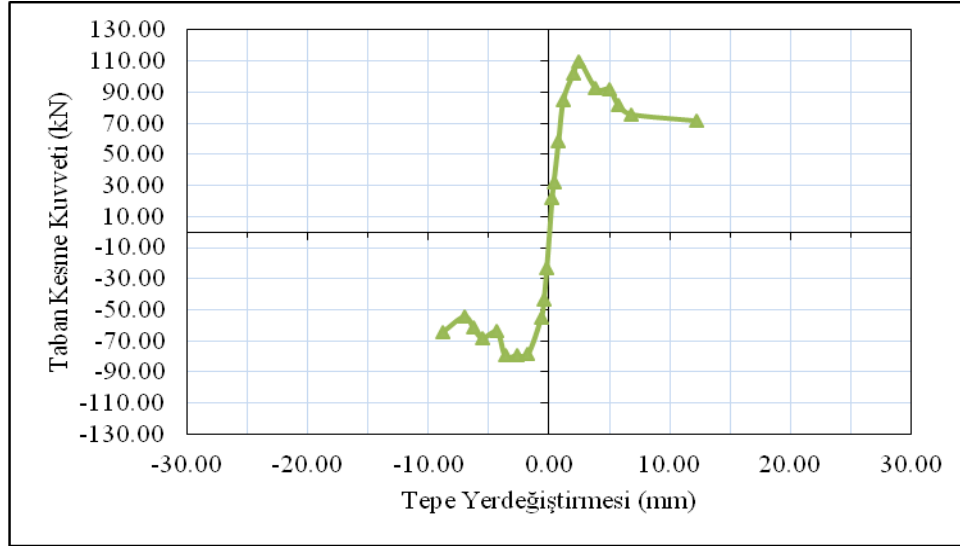
Bu çerçeve numunesi, dolgu duvarlı ve sıvalı olarak ve bu sıva üzerinden numunenin her iki yüzünün tek kat CMG ile ankrajlı olarak güçlendirilerek denenmiştir. Deney sırasında oluşan çatlaklar ve deneyle ilgili önemli noktalar Bölüm 3.6.3'te detaylı bir şekilde anlatılarak resimlerle desteklenmiştir. Bu numune deneyi sonucunda elde edilen tepe yer değiştirmesi-yatay yük eğrisi ile numunenin zarf eğrisi sırasıyla Şekil 3.67 ve Şekil 3.68'de verilmektedir.



Şekil 3.67: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.

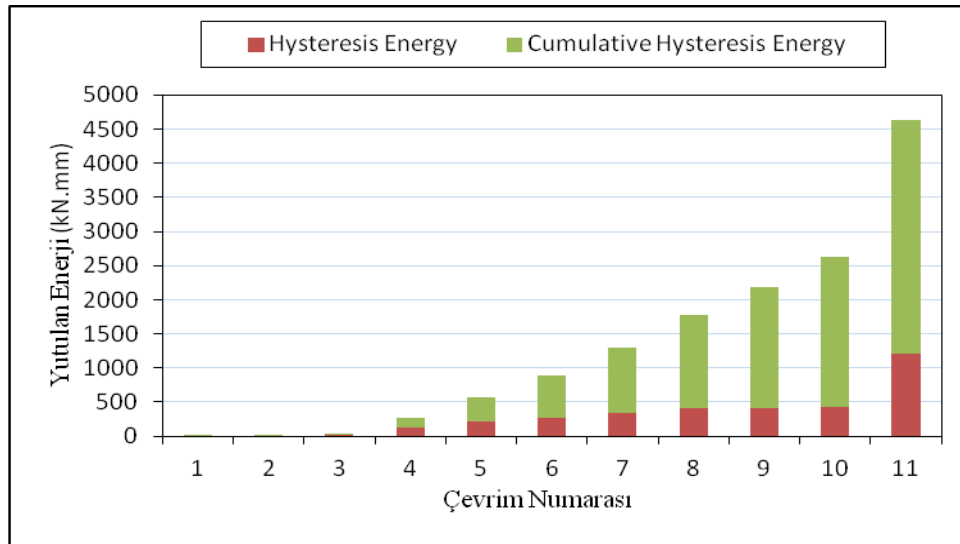
Çizelge 3.15'de bu numunenin toplam çevrim (cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükleri belirtmektedir. Bu numune deneyi 11 tam çevrim sonunda tamamlanmıştır. Ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 13.50 mm'dir. Ulaşılan maksimum yatay yük değeri ise 109.846 kN'dur. Bu değere 6. çevrim itme sırasında tepe yer değiştirmesinin 3.60 mm olduğu noktada ulaşılmıştır. Çekme sırasındaki en yüksek yatay yük değeri ise yine 6. çevrimde ulaşılmış ve bu değer 79.468 kN olarak ölçülmüştür. Bu numune deneyinde, 4. çevrimden sonra her itme sırasında elde edilen yatay yük değerleri, çekme sırasındaki yatay yük değerlerinden bariz bir şekilde büyük çıkmıştır.

Bu numune deneyi, 11. çevrimde hidrolik veren pistonunun numuneye temas eden yüzü, kolon-kiriş birleşimindeki betonu ezmesi sonucu numuneye yatay yük verilemediği ve ayrıca ulaşılan maksimum yatay yük değerinin %85'inin altına hem itme hem de çekmede düştüğü için durdurulmuştur.



Şekil 3.68: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.

Dolgu duvarlı ve numunenin iki yüzünün de tek kat CMG ile güçlendirildiği bu numune deneyi sonucunda elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre yaklaşık %38.7, çıplak betonarme çerçeveye göre ise yaklaşık olarak %194 oranında bir artış göstermektedir.



Şekil 3.69: SRG-2-1-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

Şekil 3.69'da SRG-2-1-A kodlu çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Bu çerçeve numunesinin her bir çekme ve itme esnasında tüketilen enerji miktarının yanı

sıra 11 tam çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 3421.88 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.15: SRG-2-1-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.

SRG-2-1-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	21.519	-0.27	-20.181
2	0.54	32.084	-0.54	-43.737
3	0.90	51.868	-0.90	-54.986
4	1.80	85.166	-1.80	-78.438
5	2.70	101.744	-2.70	-78.946
6	3.60	109.846	-3.60	-79.468
7	4.50	92.282	-4.50	-64.609
8	5.40	92.047	-5.40	-67.94
9	6.30	81.519	-6.30	-61.558
10	7.20	75.887	-7.20	-54.111
11	13.50	71.072	-13.50	-56.11

3.7.4 SRG-2-2-A kodlu betonarme çerçeve

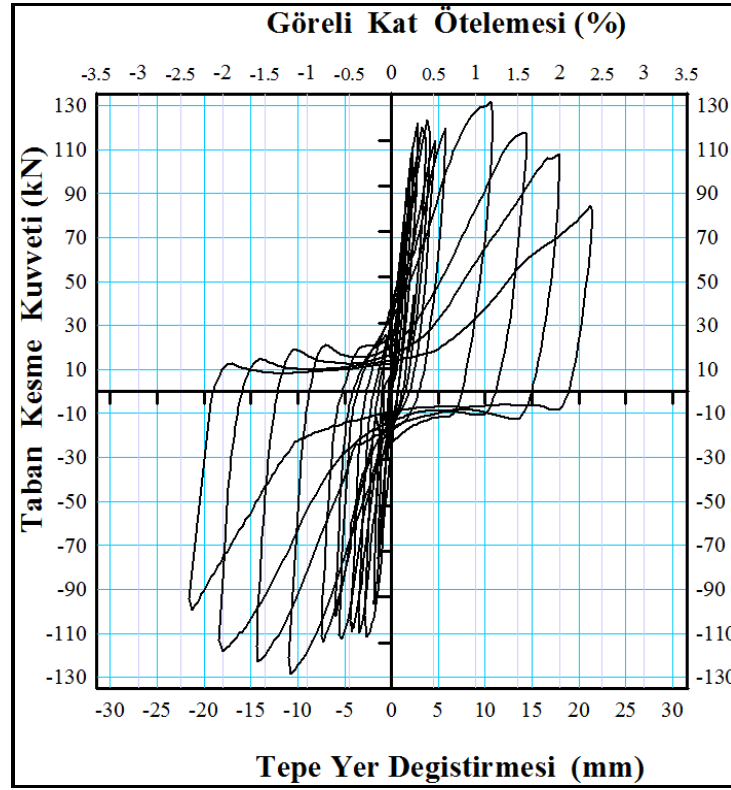
Bu çerçeve numunesi, dolgu duvarlı, sıvalı ve bu sıva üzerinden numunenin her iki yüzünün iki kat CMG ile güçlendirilerek ankrajlı üretilip denenmiştir. Deney sırasında oluşan çatlaklar ve deneyle ilgili önemli noktalar Bölüm 3.6.4'te anlatılarak resimlerle detaylandırılmıştır.

Çizelge 3.16'da deneye ait yükleme protokolü ve yatay yük-tepe yer değiştirmeleri karşılıklı olarak verilmektedir.

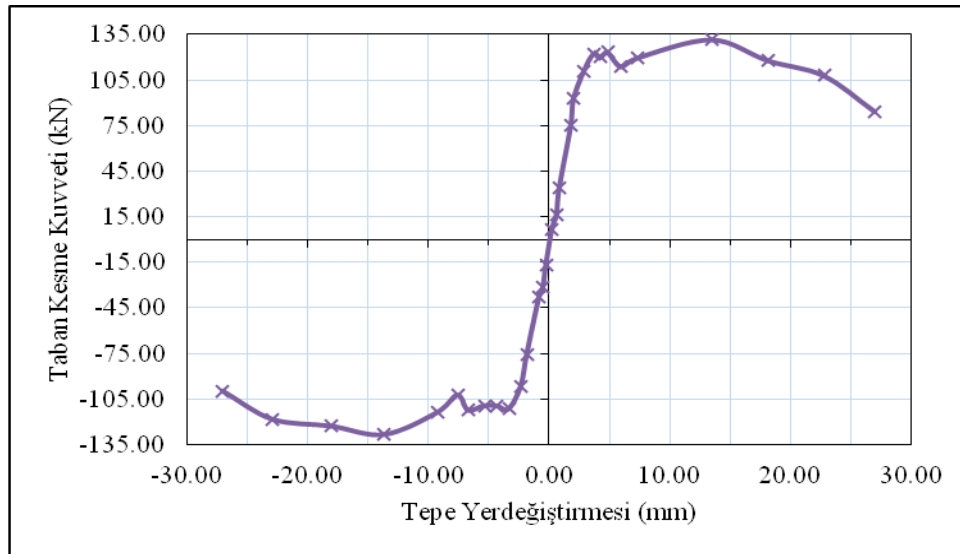
Çizelge 3.16'da bu numunenin toplam çevrim(cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükleri göstermektedir. Bu numune deneyi 17 çevrim sürmüştür. Ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 45.00 mm'dir. Ulaşılan maksimum yatay yük değeri ise 12. Çevrim itme sırasında tepe yer değiştirmesinin 13.50 mm olduğu noktada ölçülen 131.711 kN'dur. Çekme sırasındaki en yüksek yatay yük değeri ise yine 12. Çevrimde ulaşılmış ve bu değer 128.476 kN olarak ölçülmüştür. Deney; 17.Çevrim sonunda, itme ve çekmedeki yatay yüklerin,

maksimum yatay yükün %85'inin altına düştüğü için yeterli bulunup sonlandırılmıştır.

SRG-2-2-A kodlu bu numunenin iki yüzü de iki kat CMG ile güçlendirilmiştir. Bu deney sonucunda elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %66.28, çıplak betonarme çerçeveye göre ise yaklaşık olarak %252.38 oranında artış göstermektedir.



Şekil 3.70: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi yük-yer değiştirme ilişkisi.

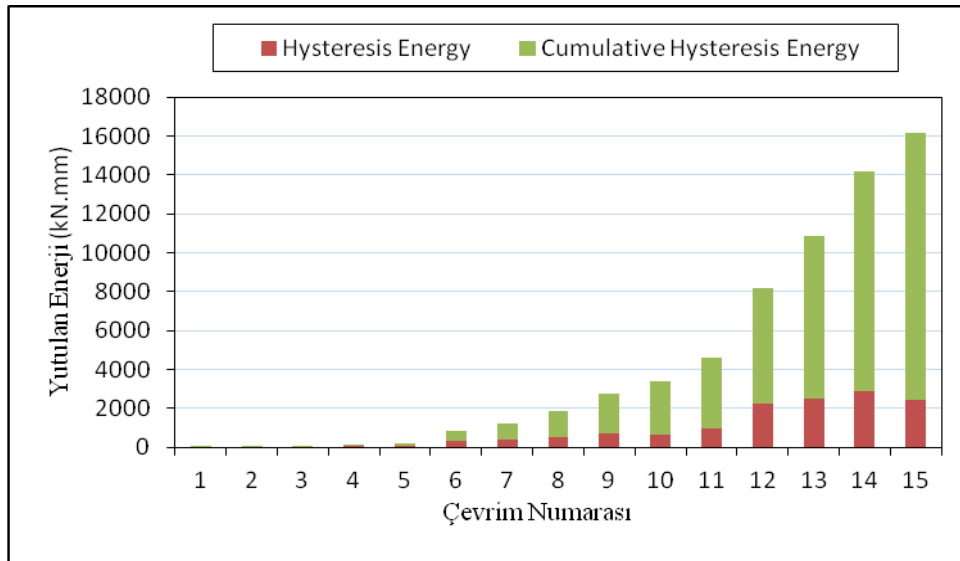


Şekil 3.71: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.

Deney sürecinde numuneden alınan veriler kullanılarak elde edilen yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişki ile numune zarf eğrileri sırasıyla Şekil 3.70 ve Şekil 3.71’de verilmektedir.

Çizelge 3.16: SRG-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.

SRG-2-2-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	6.72	-0.27	-16.718
2	0.54	16.263	-0.54	-31.452
3	0.90	34.209	-0.90	-37.789
4	1.80	74.99	-1.80	-75.336
5	2.70	90.378	-2.70	-96.48
6	3.60	110.94	-3.60	-111.448
7	4.50	122.127	-4.50	-109.589
8	5.40	120.021	-5.40	-109.412
9	6.30	123.227	-6.30	-112.397
10	7.20	113.919	-7.20	-102.391
11	9.00	119.757	-9.00	-113.956
12	13.50	131.711	-13.50	-128.476
13	18.00	117.948	-18.00	-122.837
14	22.50	108.008	-22.50	-118.389
15	27.00	84.372	-27.00	-113.633
16	36.00	99.406	-36.00	-121.404
17	45.00	109.92	-45.00	-106.825

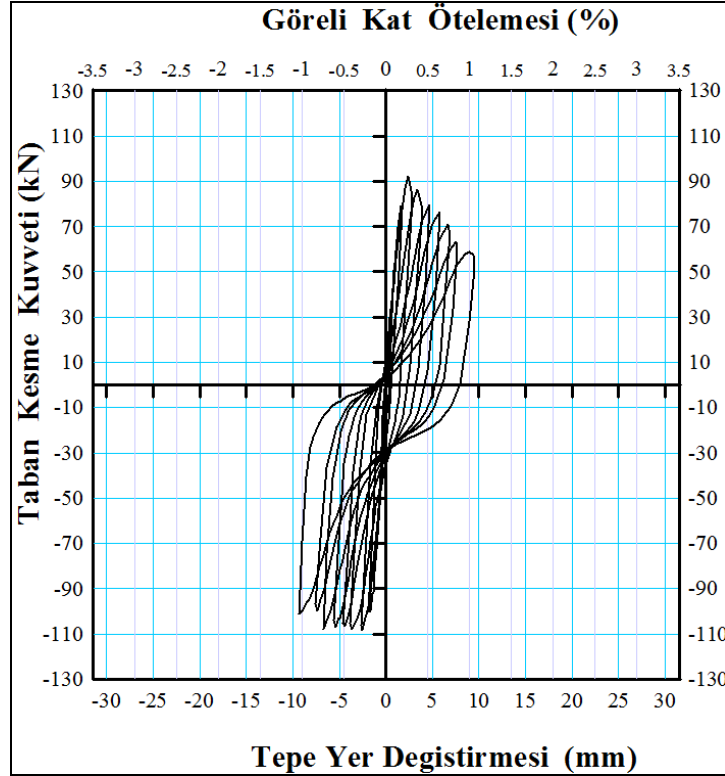


Şekil 3.72: SRG-2-2-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

Şekil 3.72’de SRG-2-2-A kodlu çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Bu çerçeve numunesinin her bir çekme ve itme esnasında tüketilen enerji miktarının yanı sıra 15 tam çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı hesaplanarak 13715.83 kN.mm olarak elde edilmiştir

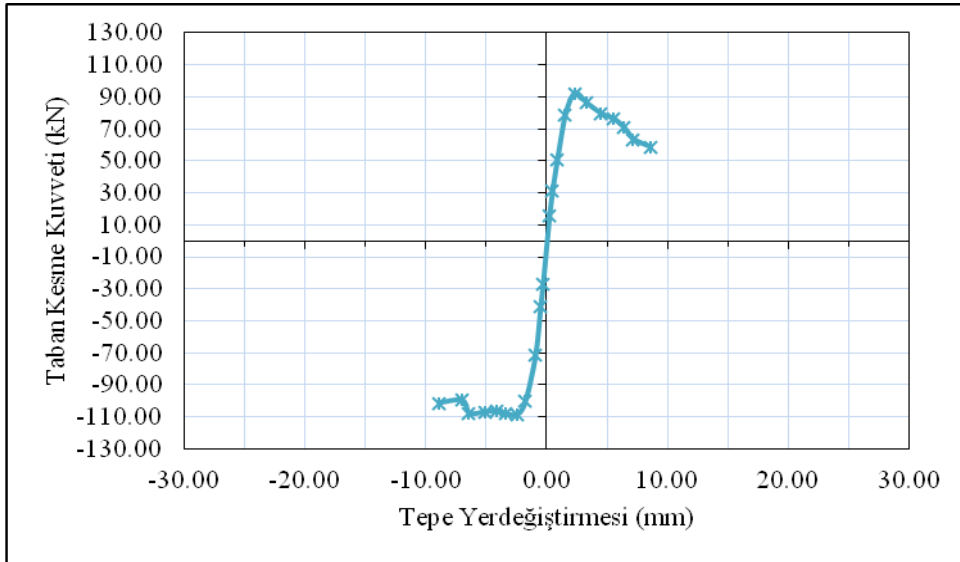
3.7.5 SRG-D-2-2-A kodlu betonarme çerçeve

Bu numune, diğer numunelerin aksine diyagonal olarak her iki yüzünde iki kat CMG tabakası olacak şekilde ve ankrajlı olarak üretilmiştir. Diyagonal bantların genişliği 30 cm’dir. Deney sırasında oluşan çatlaklar ve deneye ilgili önemli noktalar Bölüm 3.6.5’te detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu numune deneyi sonucunda alınan veriler yardımıyla elde edilen tepe yer değiştirmesi-yatay yük ilişkisi ile numune zarf eğrileri Şekil 3.73 ve Şekil 3.74’te sırasıyla verilmiştir.



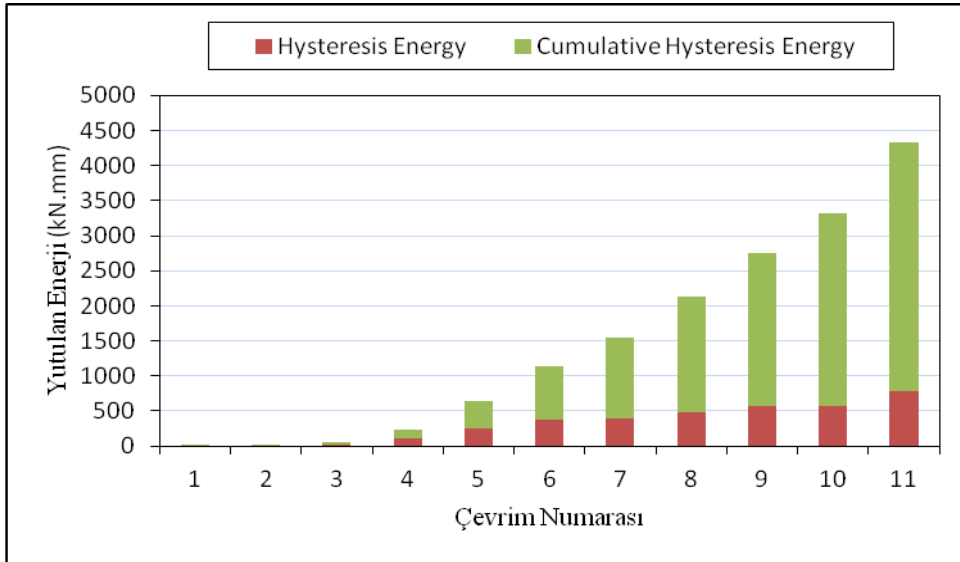
Şekil 3.73: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değiştirme ilişkisi.

Çizelge 3.17’de bu numunenin toplam çevrim (cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükleri göstermektedir. Bu numune deneyi 12 çevrim sürmüştür. Ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 13.50 mm’dir. Ulaşılan maksimum yatay yük değeri ise 5. çevrim çekme sırasında tepe yer değiştirmesinin 2.70 mm olduğu noktada ölçülen 108.471 kN’dir. İtme sırasındaki en yüksek yatay yük değeri ise yine 6. çevrimde ulaşılmış olup 86.173 kN olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.74: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.

Deneyde her çevrim sonunda ölçülen yatay yük değerleri karşılaştırıldığında çekmelerde elde edilen yatay yük değerleri itme sırasında elde edilen yatay yük değerlerine göre oldukça büyük farklar göstermektedir. Örneğin çekme sırasında 100 kN değerinden büyük yatay yük değerleri ölçülebilmişken, hiç bir çevrimde itme sırasında 100 kN' u aşan bir değer okunamamıştır.



Şekil 3.75: SRG-D-2-2-A kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

Deneyde, 11. çevrim sonunda itme sırasında okunan yatay yük değeri oldukça küçük olduğundan 12. çevrimde sadece çekme deneyi yapılmıştır. İtme deneylerinde değerler oldukça küçük çıktığından ve son çekme sırasında elde edilen yatay yük değeri maksimum yatay yük değerinin %85'ine denk geldiğinden deney sonlandırılmıştır.

Bu deney sonucunda elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %36,94, çıplak betonarme çerçeveye göre ise %190.20 oranında artış göstermektedir.

Şekil 3.75’de SRG-D-2-2-A kodlu çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Bu çerçeve numunesinin her bir çekme ve itme esnasında tüketilen enerji miktarının yanında, 11 tam çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı da verilmekte olup bu değer 3548.33 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.17: SRG-D-2-2-A kodlu BA çerçeve numunesi yükleme protokolü.

SRG-D-2-2-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	16.064	-0.27	-22.843
2	0.54	30.864	-0.54	-40.995
3	0.90	50.619	-0.90	-59.713
4	1.80	78.946	-1.80	-100.039
5	2.70	85.967	-2.70	-108.471
6	3.60	86.173	-3.60	-108.221
7	4.50	79.328	-4.50	-106.442
8	5.40	76.233	-5.40	-106.994
9	6.30	70.888	-6.30	-104.362
10	7.20	63.426	-7.20	-99.708
11	9.00	57.346	-9.00	-101.377
12			-13.5	-93.312

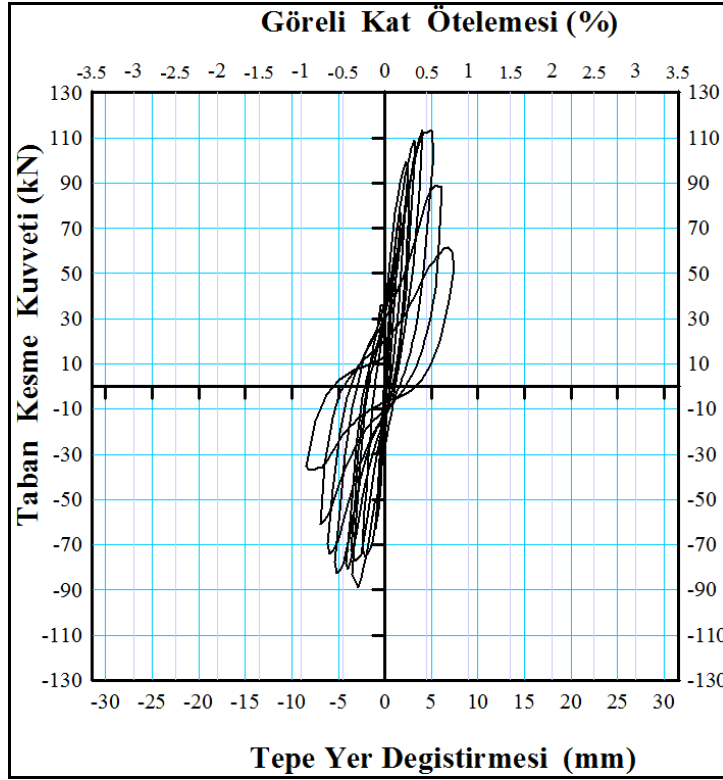
3.7.6 SRG-1-2 kodlu betonarme çerçeve

Bu numune, tek taraftan iki kat CMG ile güçlendirilmiştir ve tek ankrajsız numunedir. Deney sırasında oluşan çatlaklar ve deneyle ilgili önemli noktalar Bölüm 3.6.6’da detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

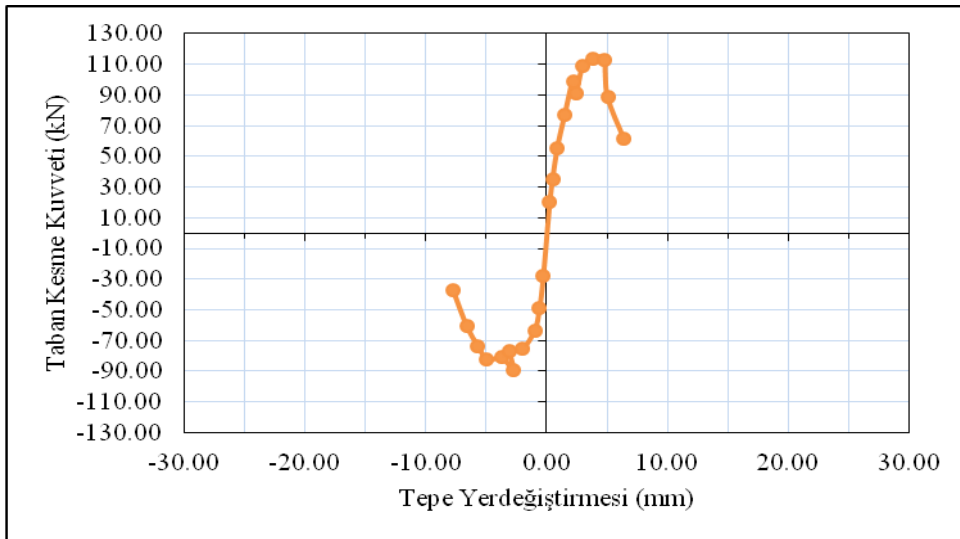
Deney esnasında, numune yüzeyine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler yardımıyla alınan veriler kullanılarak, numuneye ait tepe yer değiştirmesi-yük ilişkisi ile numunenin zarf eğrileri sırasıyla Şekil 3.76 ve Şekil 3.77’de görülmektedir.

Çizelge 3.18’de bu numunenin toplam çevrim (cycle) sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşı gelen yükleri göstermektedir. Bu numune deneyi 11

çevrim sürmüştür. Ulaşılan maksimum tepe yer değıştirmesi 13.50 mm'dir. Ulaşılan maksimum yatay yük değeri ise 7. çevrim itme sırasında tepe yer değıştirmesinin 4.50 mm olduğu noktada ölçülen 113.287 kN'dur. Çekme sırasındaki en yüksek yatay yük değeri ise yine 7. çevrimde ulaşılmış olup 82.592 kN olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.76: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi yatay yük-yer değıştirme ilişkisi.



Şekil 3.77: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi zarf eğrisi.

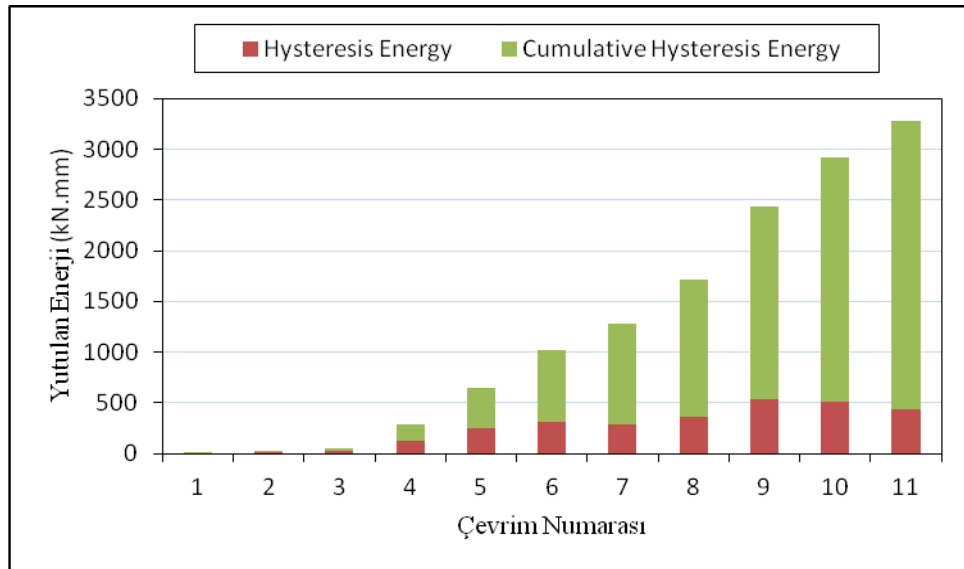
Deneyde, her çevrim sonunda ölçülen yatay yük değeri karşılaştırıldığında; itmelerde elde edilen yatay yük değeri çekme sırasında elde edilen yatay yük değeri göre 5. çevrimden itibaren oldukça büyük farklar göstermektedir. Çekme

sırasında numunenin maruz kaldığı yatay yük değeri hiçbir çevrimde 100 kN'a ulaşmamıştır.

Çizelge 3.18: SRG-1-2 kodlu betonarme çerçeve numunesi yükleme protokolü.

SRG-1-2				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	0.27	18.446	-0.27	-27.982
2	0.54	35.988	-0.54	-48.964
3	0.90	54.556	-0.90	-63.374
4	1.80	77.225	-1.80	-75.454
5	2.70	99.193	-2.70	-77.115
6	3.60	108.957	-3.60	-80.776
7	4.50	113.287	-4.50	-82.592
8	5.40	113.221	-5.40	-73.888
9	6.30	87.864	-6.30	-60.786
10	7.20	59.463	-7.20	-37.157
11	13.50	32.033	-13.50	-24.798

Deney, 11. çevrim sonunda numuneye etkiyen yatay yük değerinin, maksimum yatay yük değerinin %85'inin altına düştüğü ve numunenin güçlendirilmemiş yüzünde dolgu duvarındaki tuğlaların kırılması sonucu sonlandırılmıştır.



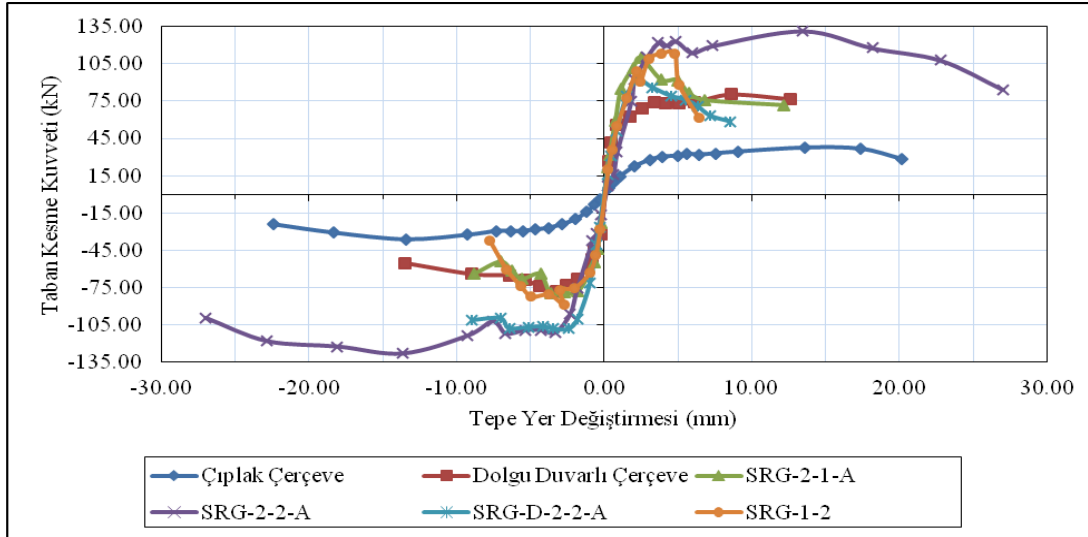
Şekil 3.78: SRG-1-2 kodlu çerçeve numunesi enerji çizelgesi.

Bu deney sonucunda elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %43.02, çıplak betonarme çerçeveye göre ise %203.08 oranında artış göstermektedir.

Şekil 3.78’de SRG-1-2 kodlu çerçevenin enerji çizelgesi görülmektedir. Bu çizelgede, çerçeve numunesinin her bir çekme ve itme esnasında tüketilen enerji miktarının yanı sıra 11 tam çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı verilmiştir. Buna göre çerçevenin tükettiği toplam enerji miktarı 2842.66 kN.mm olarak elde edilmiştir.

3.8 Numune Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında 6 adet betonarme çerçeve yukarıda anlatılan statik deney yöntemiyle, verilen yük protokolü ve eksenel yük altında denenmiştir. Bu çerçevelerden biri yalın halde, biri dolgu duvarlı ve sıvalı olarak bırakılmış, diğer dört numune ise çeşitli şekillerde CMG ile güçlendirilerek denenmiştir. Bu çerçevelerden çıplak ve dolgu duvarlı çerçeveler, referans (şahit) numuneleri olarak kullanıldı. Tüm güçlendirilmiş numune deneyleri sonuçları, bu referans numuneleriyle kıyaslanarak uygulanan güçlendirme şeklinin avantaj veya dezavantaj durumları ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

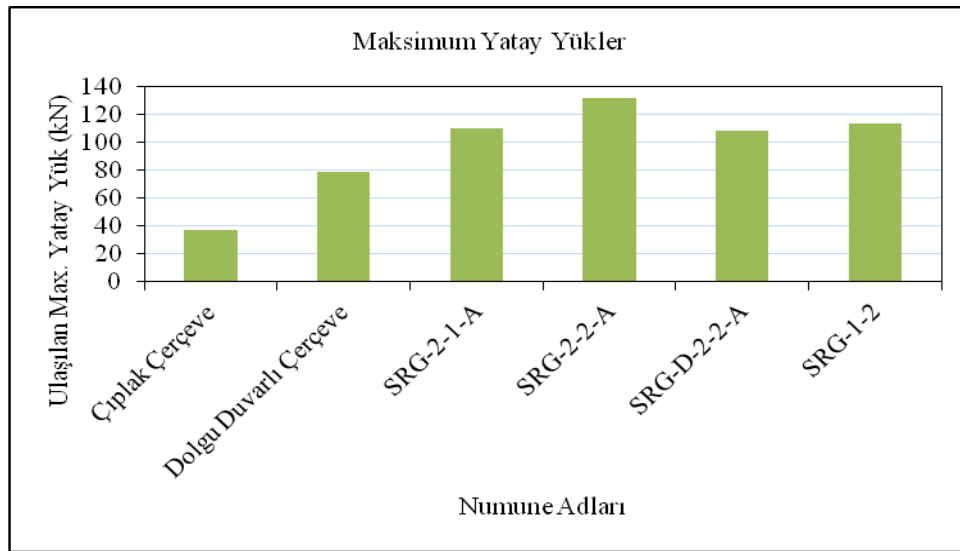


Şekil 3.79: Tüm BA çerçeve numunelerinin yatay yük-yer değiştirme ilişkileri.

Öncelikle, numunelerin yüzeylerindeki çeşitli bölgelere yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden, deney süresince numunelerin hareketlerine göre alınan veriler yardımıyla çizilen yük-yer değiştirme ilişkisi, tüm numuneler bir arada olacak

şekilde Şekil 3.79’ da verilmektedir. Böylece, numunelerin yük-yer değiştirme ilişkilerine bakıldığında şu sonuçlar çıkarılmaktadır. Çıplak çerçeve numunesinin diğer numunelere göre oldukça sünek olduğu ancak yatay yük taşıma kapasitesinin de aşırı düşük seviyede olduğu görülmektedir. Diğer tüm dolgu duvarlı numunelere bakıldığında, dolgu duvarın çerçeveleri oldukça rijitleştirdiği anlaşılmakta ancak yük taşıma kapasitesini de büyük oranda arttırdığı görülmektedir.

Numune deney sonuçlarının bir diğer parametre bazında karşılaştırılması, numuneye uygulanan maksimum yatay yük değerine göre yapılmıştır. Buna göre bu karşılaştırmayı göstermek amacıyla Şekil 3.80’deki çizelge verilmiştir.



Şekil 3.80: BA çerçeve numunelerinde ulaşılan maksimum yük.

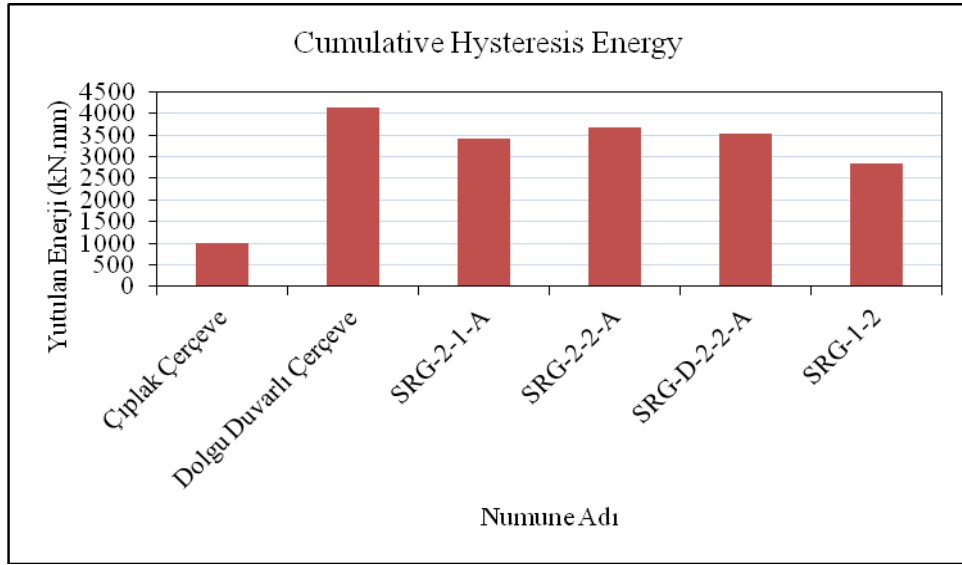
Şekil 3.80’den de anlaşılabacağı üzere, çıplak çerçeve numunesine göre diğer numunelerde ulaşılan maksimum yatay yük değerlerinde, dolgu duvarlı çerçeve numunesinde %111.92, SRG-2-1-A numunesinde %193.88, SRG-2-2-A numunesinde %252.38, SRG-D-2-2-A numunesinde %190.20, SRG-1-2 numunesinde ise %203.08 oranında artış göstermiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre ise güçlendirilmiş numunelerde ulaşılan maksimum yatay yük değerlerinde, SRG-2-1-A numunesinde %38.68, SRG-2-2-A numunesinde %66.28, SRG-D-2-2-A numunesinde %36.94 ve SRG-1-2 numunesinde %43.02 oranında artış olmuştur.

Numunelerde bir diğer kıyaslama, numunelerin deneylerde yuttuğu toplam enerji miktarına göre yapılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 3.81’de görülmektedir.

Elde edilen değerlere göre deney sırasında numunelerin yuttuğu enerji miktarları değişik sonuçlar verebilmektedir. Bazı numunelerde referans numunelerine göre yutulan enerji miktarlarında artış görülebilmekte iken bazı numunelerde bu değerler düşmektedir.

Ayrıca, numuneler değişik çevrimlerde bitirildiği için numuneler tarafından yutulan enerji değerleri en düşük çevrimle bitirilen numunelere göre yapılmıştır. En düşük çevrim sayısı 11 tam çevrim olduğundan numuneler, 11 tam çevrim sonunda tükettiği enerji değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.



Şekil 3.81: Çerçeve numunelerinin tükettiği toplam enerji.

Böylece, 11 tam çevrim sonunda numunelerin her birinin tükettiği toplam enerji miktarı ve güçlendirilmiş numunelerin referans numunelerle karşılaştırılması şu şekilde özetlenebilir.

Çıplak çerçeveyle diğer numunelerin enerji tüketme değerleri karşılaştırıldığında, dolgu duvarlı çerçeve numunesinde %310.85, SRG-2-1-A numunesinde %240.07, SRG-2-2-A numunesinde %265.36, SRG-D-2-2-A numunesinde %252.63, SRG-1-2 numunesinde %182.50 oranında artış olmuştur.

Dolgu duvarlı çerçeveyle diğer güçlendirilmiş numuneler karşılaştırıldığında ise SRG-2-1-A numunesinde %17.23, SRG-2-2-A numunesinde %11.07, SRG-D-2-2-A numunesinde %14.17, SRG-1-2 numunesinde %31.24 oranında azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş numunelerde dolgu duvarlı numunelere göre enerji tüketme değerlerinde azalma meydana gelmesi, güçlendirilmiş numunelerin dolgu duvarlı numuneye göre daha rijit davranmasına bağlanabilir.

Tüm bu sonuçlara bakıldığında, alkali dayanımlı cam tekstil (SRG45) malzemesi ile çimento hamurundan oluşan CMG sistemi kullanılarak elde edilen en uygun güçlendirme şekli SRG-2-2-A numunesinde olduğu gibi, yani dolgu duvarlı bir betonarme çerçevenin her iki yüzünün CMG ile ankrajlı olarak 2 kat halinde güçlendirilmesidir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, ön deneyler olan 10 adet 755x755 mm ebatlarında dolgu duvar numunelerinin kayma deneyleri ile 6 adet 1/3 ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve numunelerinin statik deneylerinden oluşmaktadır.

Ön deneyler olan dolgu duvar numuneleri, ikişer numuneden oluşan beş gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan V. Grup, 2 adet güçlendirilmemiş referans numunesini içermekte, I. Grup, iki taraftan birer kat ankrajlı güçlendirilmiş 2 adet S-2-1 numunesinden, II. Grup, iki taraftan ikişer kat ankrajlı güçlendirilmiş 2 adet S-2-2, III. Grup, tek taraftan iki kat güçlendirilmiş 2 adet S-1-2 ve IV. Grup, iki taraftan ikişer kat ankrajlı ve diyagonal güçlendirilmiş 2 adet S-D-2-2 numunesinden oluşmaktadır.

Betonarme çerçeve numuneleri ise, iki adet güçlendirilmemiş referans-şahit numuneler olan ‘Çıplak Çerçeve’ ve ‘Dolgu Duvarlı Çerçeve’ numuneleri ile, ön deneylerdeki dolgu duvar numunelerine eş bir şekilde güçlendirilmiş numunelerden oluşmaktadır. Buna göre, güçlendirilen numuneler; iki taraftan birer kat ankrajlı güçlendirilmiş numune olan SRG-2-1-A kodlu betonarme çerçeve numunesi, iki taraftan ikişer kat ankrajlı güçlendirilmiş numune olan SRG-2-2-A kodlu betonarme çerçeve numunesi, bir taraftan iki kat güçlendirilmiş SRG-1-2 kodlu betonarme çerçeve numunesi ve iki taraftan ikişer kat ankrajlı ve diyagonal olarak güçlendirilmiş SRG-D-2-2-A kodlu betonarme çerçeve numunesidir.

Ön deneylerden oluşan dolgu duvar numunelerinin kayma deneyleri Bölüm 2’de ve betonarme çerçeve numunelerinin statik deneyleri Bölüm 3’te ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Buna göre, dolgu duvar numuneleri diyagonal basınç altında denenerek, CMG ile çeşitli şekillerde güçlendirilen numuneler ile güçlendirilmeyen referans numuneleri karşılaştırılmış ve güçlendirme şekillerinin dolgu duvar numunelerine etkisi incelenmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvar numuneleriyle referans numunelerinin kıyaslanması, ortalama kayma dayanımı (Şekil 2.49), ortalama kayma modülü (Şekil

2.50) ve kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrisi (Şekil 2.51) parametrelerinde olmuştur.

Bu kıyaslama sonucu çıkan sonuçlara bakıldığında, CMG ile güçlendirilen tüm numunelerin ortalama deneysel parametreleri değerlerinde, güçlendirilmeyen kontrol numunelerine göre artış elde edilmiştir. Bu parametrelerin tüm sayısal değerleri için Bölüm 2.8'e bakılabilir. Ancak çeşitli şekillerde güçlendirilen dolgu duvar numuneleri arasında, iki taraftan ikişer kat ankrajlı güçlendirilmiş (S-2-2) numunelerinde, güçlendirilmeyen referans numunelerine göre, ortalama kayma dayanımında %66, ortalama kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesinde %48 ve ortalama kayma modülünde %36 oranında artış ile en yüksek değerlere ulaşılmıştır.

Betonarme çerçeve numuneleri ise yer değiştirme kontrollü ve statik olarak denenmiştir. Bu 6 adet betonarme çerçeveden 4'ü ön deneylerdeki dolgu duvar numunelerine eş olarak güçlendirilmiş ve denenerek güçlendirilmemiş 'Çıplak Çerçeve' ve 'Dolgu Duvarlı Çerçeve' numuneleriyle karşılaştırılmıştır.

Betonarme çerçevelerde, güçlendirilen numuneler ile referans numunelerinin kıyaslanması, betonarme çerçevelerin zarf eğrileri (Şekil 3.101), deneylerde ulaşılan maksimum yatay yük (Şekil 3.102) ve deneylerde çerçevelerin tükettiği toplam enerji (Şekil 3.103) parametreleri üzerinden olmuştur.

Bu kıyaslama sonuçları için ayrıntılı değerler Bölüm 3.8'de verilmiştir. Ancak çeşitli şekillerde güçlendirilmiş çerçeveler arasında, referans numuneleriyle yapılan kıyaslama sonucunda, iki taraftan ikişer kat ankrajlı güçlendirilmiş (SRG-2-2-A) numunede maksimum deney parametrelerine ulaşılmıştır. Örneğin SRG-2-2-A numunesinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinde 'Çıplak Çerçeve' numunesine göre %252.38, 'Dolgu Duvarlı' numuneye göre ise %66.28 oranında artış olmuştur. Ayrıca bu numune diğer güçlendirilmiş numunelere göre oldukça sünek davranmış ve yine diğer güçlendirilmiş numunelere göre enerji tüketimi fazla olmuştur.

Sonuç olarak, elde edilen deneysel verilerde ve yapılan değerlendirmelerde, ön deneyler ile betonarme çerçeve deney sonuçlarının örtüşmekte olduğu ve en ideal güçlendirme yöntemi olarak iki taraftan ikişer kat ankrajlı güçlendirme yöntemi (S-2-2 ve SRG-2-2-A numunelerinde olduğu gibi) olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI 530-88.** Building Code for Masonry Structures & Specification for Masonry Structures. *American Concrete Institute.*
- Almousallam, T. ve Al-Salloum Y.** 2007. Behavior of FRP Strengthened Infill Walls Under In-plane Seismic Loading, *American Society of Civil Engineers Journals Vol. 11, no.3.*
- Altin, S., Anıl, O., Kara, M.E. ve Kaya, M.** 2008. An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips, *Composites Part B: Engineering* **39**, 680-693.
- ASTM -E519-02** (2002). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, *Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.*
- Binici, B., Özcebe,G., and Özçelik,R.,** 2007. Analysis and Design of FRP Composites for Seismic Retrofit of Infill Walls in Reinforced Concrete Frames, *Composites,Part B Vol. 38*, pp. 575-583.
- Çılı, F., Karadoğan, H. F., Geçili, G. E.,** 2007. Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tübitak Mag Proje 104M562, İstanbul.
- DBYBHY,** (2007). Deprem bölgelerinde yapılan binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Erol, G.** (2010). Karbon liflerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeveler, (doktora tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Lignola, G.P., Prota, A. ve Manfredi, G.,** (2009).Nonlinear analyses of tuff masonry walls strengthened with cementitious matrix-grid composites, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION © ASCE / JULY/AUGUST 2009 / 243.*
- Özkaynak, H.** (2010). Dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri, (doktora tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Prota, A., Marcari, G., Fabrocino, G., Manfredi, G. ve Aldea, C.,** (2006). Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION © ASCE / MAY/JUNE 2006 / 223.*
- Sevil, T., Baran, M ve Canbay, E.** (2010). Tuğla dolgu duvarların BA çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; Deneysel ve kuramsal çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development, Vol.2, No.2, June 2010.*
- TS 500,** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TS-708**, (2010). Çelik-Betonarme için-Donatı çeliği, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-3**, (2010). Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12504-1**, (2010). Beton-Yapıda Beton Deneyleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- Yücesan, B.** (2005). Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde yüksek dayanımlı tuğla duvarlar, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. İstanbul.
- Yüksel, E., Ozkaynak, H., Buyukozturk, O., Yalcin, C., Dindar, A.A., Surmeli, M., et.al..** (2009) Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames, *Construction and building materials* 24 (2010) 596–609.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Cemil ÖZKAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Erzurum/1986

E-Posta: cemilozkan21@hotmail.com

Lisans: Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi –
İnşaat Mühendisliği Bölümü

