

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DONATILI GAZBETON PANELLER VE BU PANELLER İLE YAPILAN
BİNALARIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgün ÖZEREN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

2016

İlgili tez, tez yazım kurallarına uygundur.

Araş. Gör. Seren Bilir Mahciçet



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DONATILI GAZBETON PANELLER VE BU PANELLER İLE YAPILAN
BİNALARIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgün ÖZEREN

(501121087)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

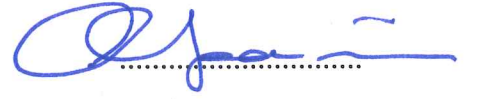
Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

EKİM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121087 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özgün ÖZEREN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“DONATILI GAZBETON PANELLER VE BU PANELLER İLE YAPILAN BİNALARIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

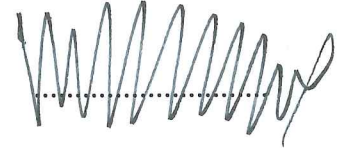
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hilmi LUŞ**
Boğaziçi Üniversitesi



Teslim Tarihi : 30 Mart 2016
Savunma Tarihi : 20 Ekim 2016

Esma ve Sezai Özeren'e,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi bünyesinde gerçekleştirilen bu çalışmanın ve benim bu aşamaya gelmemde büyük emeğe sahip olan Prof. Dr. Alper İlki'ye teşekkür ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca Araş Gör. Dr. Cem Demir ve Araş Gör. Mustafa Cömert'e verdikleri katkılar ve önerileri için teşekkür ederim.

Proje süresince verdikleri değerli tavsiyelerden ve yardımlarından ötürü Araş. Gör. Ali Osman Ateş'e, Araş. Gör. Uğur Demir'e, laboratuvar ortamında bana yardım eden Ahmet Şahin ve Mahmut Şamlı'ya teşekkür ederim. Proje başından beri her an bana yardım eden değerli arkadaşlarım Alvand Moshfeghi, Soheil Khoshkholghi, Erkan Töre, Samet Kılıç ve Ali Naki Şanver'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı dahilinde gerçekleştirilen proje boyunca bizden desteklerini esirgemeyen değerli Ytong çalışanlarına, TGÜB ve ESPROJE'ye teşekkür ederim.

Son olarak, beni bu günlere getiren, benden hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgememiş olan anneme, babama, Fatma, Cihan Yaz'a ve Serpil, Serdar Ceylan'a sabır ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ekim 2016

Özgün Özeren
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxii
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel	1
1.2. Kapsam	2
2. GAZBETON HAKKINDA GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR	
ARAŞTIRMASI	5
2.1. Gazbetonun Tanımı	5
2.2. Gazbeton Üretim Aşaması.....	5
2.3. Gazbetonun Genel Kullanımı	7
2.4. Literatür Araştırması	10
2.4.1 Varela (2003)	10
2.4.2 Tanner (2003).....	11
2.4.3 Hu et al. (1997)	13
3. PROJE KAPSAMINDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALARIN	
İNCELENMESİ	15
3.1. Başiskele Anadolu Öğretmen Lisesi’nin Deprem Yükleri Altında	
Davranışının İncelenmesi (Ugurlu et al., 2013)	15
3.2. Donatılı Gazbeton Panellerden Oluşan Yapıların Yatay ve Düşey Yükler	
Altındaki Davranışlarının İncelenmesi (Butenweg, C., 2015).....	19
3.2.1. Düşey Yükler Altındaki Davranış.....	20
3.2.2. Yatay Yükler Altındaki Davranış	23
4. GAZBETON YAPI MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	27
4.1. Gazbeton Nem Muhtevası Tayini.....	27
4.2. Gazbeton Basınç Dayanımı Tayini.....	27
4.3. Gazbeton Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini.....	34
4.4. Gazbeton Elastisite Modülünün Tayini	39
4.5. Donatı Çekme Deneyleri	43
4.6. Gazbeton Duvar Basınç Deneyleri	47
4.7. Gazbeton Başlangıç Kayma Dayanımının Tayini	50
5. GAZBETON TAŞIYICI DUVAR DENEYLERİ	61
5.1. Deneylerde Kullanılacak Panellerin İnşası ve Deney Düzeneği	61
5.1.1. Taşıyıcı Duvarlarının İnşası	61
5.1.2. Taşıyıcı Duvar Deney Düzeneği	65
5.2. Taşıyıcı Duvar Deneyleri	69
5.2.1. SW-2-1	69
5.2.2. SW-2-2	74
5.2.3. SW-4-1	81

5.2.4. SW-4-2	86
5.2.5. SW-6-1	92
5.2.6. SW-6-2	98
5.3. Taşıyıcı Duvar Deneyleri Sonuçları	104
6. DENEYLER SONRASINDA ELDE EDİLEN SONUÇLARIN YENİ	
DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE KİYASLANMASI.....	113
6.1 Başlangıç Kayma Dayanımı Değerinin Hesabı ve Test Sonuçlarıyla Kıyası	113
6.2 Taşıyıcı Duvar Düşey Yük Tasarım Dayanımının Hesabı ve Sonuçlarıyla	
Kıyası	113
6.3 Taşıyıcı Duvar Kesme Dayanımının Hesabı ve Test Sonuçlarıyla Kıyası.....	114
7.SONUÇLAR	117
7.1. Sonuçlar	117
7.2. Geleceğe Yönelik Çalışmalar	121
7.2.1. Gerçek Ölçekli Diyafram Deneyleri	121
7.2.2. Gerçek Ölçekli Bina Deneyi	121
KAYNAKLAR.....	123
EKLER.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	135

KISALTMALAR

AAC	: Autoclaved Aerated Concrete (Gazbeton)
A_{ci}	: Gazbeton basınç dayanımı tayini deneyi yükün uygulandığı yüzey alanı
A_{si}	: Donatılı yığma ve donatılı panel duvarlarda düşey donatı alanı
b_{fr}	: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi numune genişliği
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
E_c	: Elastisite modülü
ε_a	: Elastisite modülü deneyi A bölgesindeki şekildeğiştirme
ε_b	: Elastisite modülü deneyi B bölgesindeki şekildeğiştirme
F	: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi maksimum yük
f_b	: Kargir birimin standartlaştırılmış (boyut etkisinden arındırılmış 100 mm x 100 mm boyutundaki numuneye eşdeğer) ortalama basınç dayanımı değeri
f_d	: Yığma duvar tasarım basınç dayanımı
f_k	: Yığma duvar karakteristik basınç dayanımı
f_{vk}	: Yığma yapılarda duvar karakteristik kayma dayanımı
f_{vko}	: Eksenel gerilmenin bulunmadığı durumdaki karakteristik kayma dayanımı
f_{cf}	: Gazbeton blok eğilme dayanımı
f_{ci}	: Gazbeton blok basınç dayanımı
F_i	: Gazbeton basınç dayanımının tayini deneyi dayanıma ulaşılan yük
Φ	: Donatı çapı
F_u	: Başlangıç kayma dayanımı deneyi uygulanan maksimum yük
f_{yd}	: Donatı tasarım akma gerilmesi
G	: Ölü yük
γ_m	: Yığma malzemesi dayanım azaltma katsayısı
h_{fr}	: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi numune yüksekliği
h_k	: Eleman yüksekliği
l	: Eğilmede çekme dayanımı mesnet açıklığı
l	: Duvar kesit uzunluğu
L	: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi blok uzunluğu
λ	: Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı
m_{dry}	: Kuru numune ağırlığı
m_{hum}	: Nemli numune ağırlığı
M_{ed,max}	: Katta oluşan moment değeri
N_{Ed}	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{Rd}	: Duvar düşey yük tasarım dayanımı
μ	: Sürtünme katsayısı
Q	: Hareketli yük
R	: Dayanım azaltma katsayısı

R_d	: Süneklik azaltma katsayısı
s	: Kar yükü
S_a	: Spektral ivme
σ_a	: Elastisite modülü deneyi A bölgesindeki gerilme
σ_b	: Elastisite modülü deneyi B bölgesindeki gerilme
σ_d	: G+Q+E deprem birleşimlerinden bulunacak düşey basınç gerilmesi değeri
T	: Yapı periyodu
t	: Kalınlık
$V_{ed,max}$	: Katta oluşan maksimum kesme kuvveti değeri
V_{Rd}	: Duvar kesme dayanımı
V_t	: Taban kesme kuvveti (başlangıç kayma dayanımı) değeri

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Malzeme ve eleman deneylerinde kullanılan standartlar.....	2
Tablo 2.1: Gazbetonun basınç dayanımının şartlandırmaya bağlı değişimi deneylerinde kullanılan numuneler (Hu et al. 1997)	13
Tablo 3.1: Sonlu eleman modelinde kullanılan malzeme özellikleri	17
Tablo 3.2: Bina-1 taşıyıcı elemanları malzeme özellikleri	20
Tablo 3.3: Bina-1 taşıyıcı eleman boyutları	20
Tablo 3.4: Duvarlara etkiyen yükler (kN/m).....	22
Tablo 3.5: Zemin, 1. ve 2. Normal kat duvar yükleri (kN/m).....	22
Tablo 3.6: G+nQ yüklemesi ile duvarlar üzerinde oluşan yük seviyeleri (kN/m).....	23
Tablo 3.7: Bina-1 duvar panelleri boyutları.....	24
Tablo 3.8: Kat kütleleri.....	25
Tablo 3.9: Toplam kütle, periyot, yer ivmesi ve taban kesme kuvveti değerleri.....	25
Tablo 3.10: Yatay yüklerin katlara dağıtılması.....	25
Tablo 3.11: Katlardaki kesme kuvveti ve moment değerleri	25
Tablo 4.1: G3 numunelerin basınç dayanımları.....	30
Tablo 4.2: Türk Ytong bünyesinde yapılan deneyler ile G3 sınıfı gazbeton numuneleri için elde edilen basınç dayanımları.....	31
Tablo 4.3 : 100 x 100 x 300 mm boyutlu G3 gazbeton numunelerin basınç dayanımları.....	33
Tablo 4.4: G3 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları	37
Tablo 4.5: Türk Ytong Pendik fabrikasında yapılan G3 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları	39
Tablo 4.6: G3 sınıfı gazbeton numunelerin elastisite modülleri	42
Tablo 4.7: 3.8 mm çaplı donatıların deney sonuçları.....	44
Tablo 4.8: 10 mm çaplı donatıların deney sonuçları.....	46
Tablo 4.9: Donatılı panel duvar basınç deneylerinin sonuçları.....	49
Tablo 4.10: Gazbetonun basınç dayanımının şartlandırmaya bağlı değişimi deneylerinde kullanılan numuneler (Hu et al. 1997).....	50
Tablo 4.11: Başlangıç kayma dayanımı deneyinde kullanılan panel boyutları	51
Tablo 4.12: Gazbeton döşeme ve duvar panellerinin kayma dayanımı değerleri	54
Tablo 4.13: Gazbeton duvar ve döşeme panellerinin sürtünme katsayıları	58
Tablo 5.1: Duvar panellerinin boyutları.....	61
Tablo 5.2: Duvar numunelerinde eksenel gerilme seviyeleri.....	67
Tablo 5.3: Duvar deneylerinde takip edilen yükleme patronu	68
Tablo 5.4: Deneylerde kullanılan bir adet donatılı gazbeton panelin yatay yük taşıma kapasitesi	108
Tablo 5.5: Taşıyıcı duvarların dayanım azaltma katsayıları	110
Tablo 6.1: Yeni yönetmeliğe göre hesaplanan kesme dayanımlarının deneysel sonuçlarla kıyası.....	115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Gazbetonun gözenekli yapısı (Varela, L.V.R., 2003).....	5
Şekil 2.2: Çelik kaplara dökülen gazbeton karışımının kabarması	6
Şekil 2.3: Karışım dökümünden önce donatı yerleştirilmesi	6
Şekil 2.4: Gazbeton üretim süreci	7
Şekil 2.5: Gazbeton yapı elemanları (Tanner, J.E., 2003)	7
Şekil 2.1: Gazbeton duvar (a), (b) ve döşeme (a), (c) panellerin tipik donatı yerleşimleri	9
Şekil 2.7: Gazbeton duvar (a) ve döşeme (b) panelleri birleşimi şematik gösterimi	8
Şekil 2.8: Tam ölçekli bina deneyi şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.9: Tam ölçekli bina planı.....	12
Şekil 2.10: Şartlandırmaya bağlı basınç dayanımı (Hu ve diğ. 1997)	14
Şekil 3.1: Okul binasının önden görünüşü	16
Şekil 3.2: Okul binası zemin kat planı	16
Şekil 3.3: Yapının 3 boyutlu Abaqus modeli	17
Şekil 3.4: Yapının şekil değiştirmiş görünümü.....	18
Şekil 3.5: Duvar panellerinde oluşan basınç gerilmeleri [MPa].....	18
Şekil 3.6: Duvar panellerinde oluşan maksimum asal gerilmeler [MPa].....	19
Şekil 3.7: Bina-1 (a) zemin kat ve (b) 1. Normal kat planları.....	21
Şekil 3.8: 1. derece deprem bölgesi, Z4 zemin sınıfı için ivme spektrum eğrisi.....	23
Şekil 3.9: Bina-1 duvar planı.....	24
Şekil 4.1: Basınç dayanım tayini deneyinde kullanılacak numunelerin alındığı bölgeler	28
Şekil 4.2: (a) 100 mm kenar uzunluklu küp ve (b) 100 mm x 100 mm x 300 mm kenar uzunluklu prizma numunelere uygulanan basınç dayanımı tayini deneyi şematik gösterimi	29
Şekil 4.3: Gazbeton basınç dayanım tayini deney düzeneği	30
Şekil 4.4: Basınç dayanım deneyi sonrası (a) G3 ve (b) G4 numunelerin durumu ..	31
Şekil 4.5: Türk Ytong bünyesinde yapılan basınç dayanım tayini deneyi sonucu (a) G3 ve (b) G4 sınıfı numunelerin yük – zaman grafikleri.....	32
Şekil 4.6: (a) 100 mm x 100 mm x 300 mm boyutlu G3 sınıfı ve (b) G4 sınıfı numunelerin basınç dayanımlarının tayini	32
Şekil 4.7: (a) 100x100x300 mm boyutlarındaki G3 ve (b) G4 sınıfı numunelerin basınç tayini deneylerinin ardından aldıkları durum.....	33
Şekil 4.8: (a) G3-05-B1-1 ve (b) G4-06-B2-1 numunelerinin basınç – birim şekildeğiştirme grafikleri	34
Şekil 4.9: Gazbeton numunelerin temin edilme bölgeleri.....	35
Şekil 4.10: Eğilmede çekme dayanımı tayini deney düzeneği şematik gösterimi	36
Şekil 4.11: Eğilmede çekme dayanımı tayini deney düzeneği.....	36
Şekil 4.12: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonrası (a) G3 ve (b) G4 numunelerin durumu	37
Şekil 4.13: (a) G3-05-B1-1 ve (b) G4-06-B1-1 numuneleri yük – sehim grafikleri. 38	

Şekil 4.14: Türk Ytong Pendik fabrikasında yapılmış eğilmede çekme dayanımı deneyleri sonucu (a) G3 ve (b) G4 yük – zaman grafikleri.....	38
Şekil 4.15: Gazbeton numunelerin elastisite modülünün tayini deneyi şematik gösterimi.....	40
Şekil 4.16: Gazbeton elastisite modülünün tayini deneyi	40
Şekil 4.17: Statik elastisite modülü tayini için yükleme şeması	41
Şekil 4.18: (a) G3 ve (b) G4 numuneleri gerilme – birim şekildeğiştirme ilişkileri ..	42
Şekil 4.19: (a) 3.8 mm, (b) 5.5 mm ve (c) 6 mm çaplı donatıların deney sonuçları ..	45
Şekil 4.20: 10 mm çaplı S420 donatı gerilme –şekildeğiştirme ilişkisi	46
Şekil 4.21: Donatı çekme deneyi.....	46
Şekil 4.22: Gazbeton duvar basınç deneyi şematik gösterimi.....	47
Şekil 4.23: Duvar basınç deneyinde kullanılan panellerin donatı şeması	48
Şekil 4.24: Donatılı panel duvar basınç deneyi düzeneği	48
Şekil 4.25: Duvar basınç deneyi sonrasında numunenin görüntüsü.....	49
Şekil 4.26: Başlangıç kayma dayanımı deneylerinde kullanılan paneller.....	50
Şekil 4.27: Deneylerde test edilen gazbeton (a) duvar ve (b) döşeme panel enkesiti	51
Şekil 4.28: Gabeton duvar panellerinin birleştirilmesi.....	51
Şekil 4.29: Başlangıç kayma dayanımı deneyi şematik gösterimi	52
Şekil 4.30: Başlangıç kayma dayanımı deneyi (a) A ve (b) B yüzü ölçüm boyları ...	53
Şekil 4.31: (a) Duvar ve (b) döşeme panelleri üzerinde yapılan başlangıç kayma dayanımı deneyi deney düzeneği	54
Şekil 4.32: (a) 0.5 MPa, (b) 0.3 MPa ve (c) 0.1 MPa normal gerilme altındaki gazbeton duvar panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme grafikleri ..	55
Şekil 4.33: (a) 0.5 MPa, (b) 0.3 MPa ve (c) 0.1 MPa normal gerilme altındaki gazbeton döşeme panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme grafikleri.....	56
Şekil 4.34: Gazbeton (a) duvar ve (b) döşeme panellerinin $\tau - \sigma$ grafikleri	58
Şekil 4.35: Gazbeton duvar panellerinin deney sonrası görünümü.....	59
Şekil 4.36: Gazbeton döşeme panellerinin deney sonrası görünümü.....	59
Şekil 4.37: Deney sonrası oluşan ezilme ve çatlaklar	59
Şekil 4.38: Deney sonrası duvar panellerinde oluşan çatlaklar.....	60
Şekil 5.1: Temel donatı detayı.....	62
Şekil 5.2: Panellerin donatı şeması	63
Şekil 5.3: Panellerin temel üzerine yerleştirilmesi.....	63
Şekil 5.4: Birleşim bölgesi detayı	64
Şekil 5.5: Hatılarda donatı yerleşimi.....	64
Şekil 5.6: Taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılacak numuneler	64
Şekil 5.7: Taşıyıcı duvar deney düzeneği şematik gösterimi.....	66
Şekil 5.8: Taşıyıcı duvar deneyi düzeneği	66
Şekil 5.9: Yük dağıtma kirişi	66
Şekil 5.10: Düzlem dışı hareketin sınırlandırılması	67
Şekil 5.11: Duvar numunelerinin yüzleri için isimlendirme	68
Şekil 5.12: Duvar numuneleri ölçüm yerleri.....	68
Şekil 5.13: SW-2-1 numunesi deney öncesi görünümü	69
Şekil 5.14: SW-2-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm	70
Şekil 5.15: SW-2-1 numunesi % 0.25 çevrimi hasar gelişimi	70
Şekil 5.16: SW-2-1 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünüm	71
Şekil 5.17: SW-2-1 numunesi % 0.5 çevrimi çatlak gelişimi	71
Şekil 5.18: SW-2-1 numunesi % 1 çevrimi sonrası görünüm	72
Şekil 5.19: SW-2-1 numunesi %1 çevrimi sonrası hasar gelişimi	72

Şekil 5.20: SW-2-1 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası görünüm.....	73
Şekil 5.21: SW-2-1 numunesi %1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	73
Şekil 5.22: SW-2-1 numunesi % 2 çevrimi sonrası görünüm.....	74
Şekil 5.23: SW-2-1 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.....	74
Şekil 5.24: SW-2-2 numunesi deney öncesi görünümü.....	75
Şekil 5.25: SW-2-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.....	75
Şekil 5.26: SW-2-2 % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	76
Şekil 5.27: SW-2-2 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünüm.....	76
Şekil 5.28: SW-2-2 % 0.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	77
Şekil 5.29: SW-2-2 numunesi % 1 çevrimi sonrası görünüm.....	77
Şekil 5.30: SW-2-2 % 1 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	78
Şekil 5.31: SW-2-2 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası görünüm.....	78
Şekil 5.32: SW-2-2 % 1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	79
Şekil 5.33: SW-2-2 numunesi %2 ve %3 çevrimleri sonrası görünümü	79
Şekil 5.34: SW-2-2 numunesi %2 öteleme oranı hasar gelişimi.....	80
Şekil 5.35: SW-2-2 numunesi deney sonrası görünüm.....	80
Şekil 5.36: SW-2-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.....	81
Şekil 5.37: SW-4-1 numunesi deney sonrası görünüm.....	81
Şekil 5.38: SW-4-1 % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	82
Şekil 5.39: SW-4-1 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünüm.....	82
Şekil 5.40: SW-4-1 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	83
Şekil 5.41: SW-4-1 numunesi % 1 çevrimi sonrası görünümü.....	83
Şekil 5.42: SW-4-1 numunesi % 1 çevrimi sonrası hasar gelişimi	84
Şekil 5.43: SW-4-1 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası görünümü.....	84
Şekil 5.44: SW-4-1 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	85
Şekil 5.45: SW-4-1 numunesi %2 çevrimi sonrası görünüm.....	85
Şekil 5.46: SW-4-1 numunesi deney sonrası görünüm.....	85
Şekil 5.47: SW-4-1 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.....	86
Şekil 5.48: SW-4-2 numunesi deney öncesi görünüm	86
Şekil 5.49: SW-4-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.....	87
Şekil 5.50: SW-4-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi	87
Şekil 5.51: SW-4-2 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünüm.....	88
Şekil 5.52: SW-4-2 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	88
Şekil 5.53: SW-4-2 numunesi % 1 çevrimi sonrası görünüm.....	89
Şekil 5.54: SW-4-2 %1 çevrimi sonrası hasar gelişimi.....	89
Şekil 5.55: SW-4-2 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası görünüm.....	90
Şekil 5.56: SW-4-2 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	90
Şekil 5.57: SW-4-2 numunesi % 2 çevrimi görünümü	91
Şekil 5.58: SW-4-2 numunesi % 2 çevrimi sonrası hasar gelişimi	91
Şekil 5.59: SW-4-2 numunesi deney sonrası görünüm.....	91
Şekil 5.60: SW-4-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.....	92
Şekil 5.61: SW-6-1 numunesi deney öncesi görünümü.....	92
Şekil 5.62: SW-6-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünümü.....	93
Şekil 5.63: SW-6-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi	93
Şekil 5.64: SW-6-1 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünümü.....	94
Şekil 5.65: SW-6-1 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	95
Şekil 5.66: SW-6-1 numunesi % 1 çevrimi sonrası görünümü.....	95
Şekil 5.67: SW-6-1 numunesi % 1 çevrimi sonrası hasar gelişimi	96
Şekil 5.68: SW-6-1 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası görünümü.....	97
Şekil 5.69: SW-6-1 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	97

Şekil 5.70: SW-6-1 numunesi deney sonrası görünüm	98
Şekil 5.71: SW-6-1 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi	98
Şekil 5.72: SW-6-2 numunesi deney öncesi görünümü	99
Şekil 5.73: SW-6-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm	99
Şekil 5.74: SW-6-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi	100
Şekil 5.75: SW-6-2 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası görünüm	100
Şekil 5.76: SW-6-2 numunesi % 0.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	101
Şekil 5.77: SW-6-2 numunesi %1 çevrimi sonrası görünüm	102
Şekil 5.78: SW-6-2 numunesi % 1 çevrimi sonrası hasar gelişimi	102
Şekil 5.79: SW-6-2 numunesi %1.5 çevrimi sonrası görünüm	103
Şekil 5.80: SW-6-2 numunesi % 1.5 çevrimi sonrası hasar gelişimi	103
Şekil 5.81: SW-6-2 numunesi deney sonrası görünüm	104
Şekil 5.82: SW-6-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi	104
Şekil 5.83: 2 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri ..	105
Şekil 5.84: 4 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri ..	106
Şekil 5.85: 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri ..	106
Şekil 5.86: 0.2 MPa eksenel gerilme altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri	107
Şekil 5.87: 0.5 MPa eksenel gerilme altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri	108
Şekil 5.88: Bir panelin normal kuvvet – moment diyagramı	108
Şekil 5.89: SW-2-1 (a), SW-2-2 (b), SW-4-1 (c), SW-4-2 (d), SW-6-1 (e) ve SW-6-2 (f) taşıyıcı duvarlarının akma noktalarının belirlenmesi	111
Şekil 5.90: Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri	112
Şekil A.1: G3-05-B1-1 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	126
Şekil A.2: G3-05-B1-2 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	126
Şekil A.3: G3-05-B1-3 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	126
Şekil A.4: G4-06-B2-1 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	127
Şekil A.5: G4-06-B2-2 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	127
Şekil A.6: G4-06-B2-3 kodlu gazbeton numunenin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	127
Şekil B.1: G3-05-B1-1 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	128
Şekil B.2: G3-05-B1-2 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	128
Şekil B.3: G3-05-B1-3 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	128
Şekil B.4: G3-05-B2-1 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	129
Şekil B.5: G3-05-B2-2 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	129
Şekil B.6: G3-05-B2-3 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	129
Şekil B.7: G4-06-B1-1 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	130
Şekil B.8: G4-06-B1-3 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	130
Şekil B.9: G4-06-B2-1 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	130
Şekil B.10: G4-06-B2-2 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	131
Şekil B.11: G4-06-B2-3 kodlu gazbeton numunenin yük sehim ilişkisi.....	131
Şekil C.1: 3.8 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	132
Şekil C.2: 3.8 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	132

Şekil C.3: 3.8 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	132
Şekil C.4: 5.5 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	133
Şekil C.5: 5.5 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	133
Şekil C.6: 5.5 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	133
Şekil C.7: 6 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	134
Şekil C.8: 6 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	134
Şekil C.9: 6 mm çaplı donatının gerilme şekildeğiştirme ilişkisi	134

DONATILI GAZBETON PANELLER VE BU PANELLER İLE YAPILAN BİNALARIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

ÖZET

Yapılar üzerinde ciddi hasarlar bırakan, can ve mal kayıplarına, yaralanmalara yol açan depremlerin yapılar üzerinde bıraktığı hasarları azaltmak, can ve mal kayıplarını en aza indirmek için son yıllarda birçok araştırma yapılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı ve inşa teknikleri geliştirmek odaklı bu araştırmalar ile laboratuvar ortamında bu tekniklerin testleri sonucunda inşaat sektöründe gelişmeler ortaya çıkmaktadır. Fiziksel ve mekanik özelliklerinin yeterli olması ve düşük özgül ağırlığı sayesinde daha hafif yapıların inşasına olanak sağlaması nedeniyle donatılı gazbeton panellerin taşıyıcı yapı elemanı olarak tercih edilmeye başlanması da bu araştırmaların bir sonucudur.

Isı ve ses yalıtımı, düşük özgül ağırlığı ve bu ağırlığına karşın yüksek mekanik özellikleri gibi avantajlar sağlayan gazbeton son yıllarda Türkiye inşaat sektöründe daha çok tercih edilmeye başlanmış ve üretim hacmini arttırmıştır. Geçtiğimiz yıllarda daha çok yığma duvar elemanı olarak kullanılan gazbeton bloklara ek olarak donatılı taşıyıcı gazbeton panel sistemli yapı sistemleri geliştirilmektedir. Geliştirilen bu yeni yapı sisteminin yatay ve düşey yükler altında davranışının laboratuvar ortamında incelenme ihtiyacı da bu gelişimin bir sonucudur. Donatılı gazbeton panellerin taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanıldığı bu tip sistemlerin mevcut deprem yönetmeliğinde yer almamasından dolayı; Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği (TGÜB), İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ortak çalışması ile gazbeton paneller üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu tez dahilinde, bu proje kapsamında İTÜ’de gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen donatılı ve donatısız gazbeton panellerin mekanik özellikleri açıklanmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı bünyesinde TGÜB ve Türk Ytong işbirliği ile donatılı gazbetonun malzeme ve eleman düzeylerinde deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu malzeme ve yapı elemanlarının mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında deneyler malzeme ve

eleman deneyleri olarak sınıflandırılmış ve donatılı gazbeton panel elemanlarının yatay ve düşey yükler altında davranışı saptanmıştır. Malzeme deneyleri kapsamında donatı içermeyen gazbeton bloklar kullanılmış ve bu malzemenin basınç ve eğilmede çekme dayanımları, elastisite modülleri, kullanılan donatıların çekme dayanımları hesaplanmıştır. Eleman deneylerinde ise donatılı duvar ve döşeme panelleri kullanılmış ve bu panellerin arasındaki sürtünme katsayıları, basınç dayanımları hesaplanmıştır. Bu testlerin ardından, Aachen Üniversitesi ile yapılan ortak çalışma ile taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılacak gerilme değerleri belirlenmiş ve donatılı panellerle oluşturulan taşıyıcı duvarlar farklı eksenel gerilmeler altında yatay yükler etkisinde test edilmiş ve davranışları incelenmiştir. Proje kapsamında, bu tez dahilinde anlatılan çalışmalara ek olarak üç boyutlu, gerçek ölçekli bina deneyi de yapılmıştır. Yapılan deneyler sonrası ulaşılan sonuçlar Yeni Deprem Yönetmeliği'nde bu tür panellerin kullanılması ile inşa edilecek yapıların tasarımı konusunda önemli katkı sağlamıştır.

REINFORCED AAC PANELS AND STRUCTURAL BEHAVIOR OF BUILDINGS CONSTRUCTED WITH THESE PANELS

SUMMARY

In recent years, high amount of research has been conducted on earthquakes and their destructive effects on buildings. Researches about improving the techniques to design earthquake resistant structures and laboratory experiments that have been done to enhance these techniques led to the developments of the construction sector. Autoclaved aerated concrete (AAC) has been increasingly chosen in construction due to its many advantages such as its low specific weight and adequate physical mechanical properties.

Thus, construction sector in Turkey has started to use autoclaved aerated concrete more widely. In addition to the advantages mentioned above, this kind of concrete exhibits useful properties such as high heat, sound insulation and good mechanical properties against its low specific weight. Over the last few years, reinforced AAC panels has been developed in addition to the more traditional masonry AAC blocks. The need testing of this new construction system under lateral and horizontal loads in laboratory conditions is another result of this development in the construction sector. Due to the absence of usage of reinforced autoclaved aerated concrete as a structural member in current earthquake regulation, experimental laboratory researches had been done with the cooperation of Turkish Autoclaved Aerated Concrete Association (TGUB), Istanbul Technical University (ITU) and Middle East Technical University (METU). In this thesis, mechanical properties of autoclaved aerated concrete blocks and reinforced panels have been explained.

At the Structural and Earthquake Engineering Laboratory of Istanbul Technical University and with the cooperation of Turkish Ytong Company and TGUB, material and member tests of AAC specimens with and without reinforcement have been conducted. The experiments are classified in two groups; material and member tests. The compressive and flexural strengths and modulus of elasticity of autoclaved aerated concrete have been determined with material tests. Furthermore, the friction coefficient

between reinforced panels and thin bed - mortar and compressive strength of AAC panels have been determined through element tests. During determination of compressive, flexural strength and modulus of elasticity of AAC blocks, AAC blocks that belongs to two different compressive strength classes (G3 and G4) are tested. All blocks are gathered from YTONG production plant according to rules stated in European Standard of each tests. Also, AAC blocks are tested according to rules stated in European Standard of each tests.

After material tests, the axial loads which are going to be applied on 1:1 scaled shear walls that are constructed with reinforced AAC panels are calculated with cooperation of Aachen University. Next, three different size of shear walls are constructed by using two, four or six reinforced AAC blocks. To get realistic results, AAC blocks fixed between reinforced concrete foundations and beams. Shear walls of different sizes constructed with reinforced AAC panels are tested under two different axial loads as well as the combined actions of axial and reversed cyclic loads and their behavior was inspected under lateral loads. By using results of shear wall tests, a new strength reduction factor, overstrength factor and behavior factor for seismic design of structures that are constructed with reinforced AAC panels is proposed. Furthermore, by examining of behavior of reinforced AAC shear walls under combined actions of axial and reversed cyclic loads, a new drift limit for shear walls constructed with reinforced AAC panels is proposed.

Additionally, test results after material tests and element tests are compared with the results of equations stated in new Turkish Seismic Design Code. For this comparison, equations that are going to be used to determine initial shear strength of reinforced AAC structural walls, vertical load bearing capacity of reinforced AAC structural walls and shear strength of reinforced AAC structural walls according to new Turkish Seismic Design Code are used.

In addition to test results, proposed strength reduction and behavior factors and drift limits for shear walls constructed with reinforced AAC panels that have been explained in this thesis, three dimensional, 1:1 scale building that is constructed in Istanbul Technical University has tested under lateral loads during this project. Also, to examine the diaphragm behavior of slabs constructed with reinforced AAC panels, three dimensional, 1:1 scale slabs are tested under lateral loads in YTONG production

plant. The determined test results contributed remarkably to the design rules to be included in the new Turkish Seismic Design Code.

1. GİRİŞ

1.1.Genel

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada meydana gelen depremler yapılar üzerinde ciddi hasarlar bırakmış, can kayıplarına ve yaralanmalara sebep olmuştur. Depremlerin yapılar üzerinde bıraktığı hasarları en aza indirmek, can ve mal kaybını azaltmak için son yıllarda birçok araştırma yapılmış, lifli polimer malzemeler ile yapısal güçlendirme ya da deprem izolatörleri kullanımı gibi depreme dayanıklı yapı ve inşaa teknikleri ortaya çıkmıştır. Gazbeton malzemeler kullanılarak depreme dayanıklı yapı tasarım ve yapım tekniğinin geliştirilmesi ve bu tekniğin laboratuvar ortamında testlerinin yapılması da bu gereksinimin bir sonucudur.

Düşük özgül ağırlığına karşılık mekanik özelliklerinin yeterliliği, kolay kullanım olanağı sağlayan, ısı yalıtımı açısından avantajlar sunan gazbeton blok ve panellerin Türkiye endüstrisinde üretim hacimleri önemli derecede artmıştır. Sağladığı bu avantajlarının yanında donatılı gazbeton duvar ve döşeme panellerinin kolay ve hızlı birleştirilebilmesi ile gazbeton bir yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Artan üretim hacimleri sonucunda gazbeton blok ve panellerin yapılar için taşıyıcı eleman olarak kullanıldığında yatay ve düşey yükler altında davranışlarının incelenmesi ihtiyacı doğmuştur.

Bu tez kapsamında; İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği ve Yapı Malzemesi Laboratuvarları bünyesinde gazbetonun malzeme ve eleman bazında deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu malzeme ile yapılmış taşıyıcı duvarların deprem altındaki performansı incelenmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen donatılı gazbeton panellerden oluşan 3 boyulu ve 1:1 ölçekli bina ve diyafram deneyleri ile de depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı için gerekli kurallar ortaya konmuştur.

1.2.Kapsam

Gazbetonun yapılar için taşıyıcı eleman malzemesi olarak kullanılması adına ESPROJE Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin birlikte yürüttüğü TGÜB üyelerinin ana ürünü olan gazbeton blok ve özellikle donatılı panellerin depremsellik açısından iş uygulamalarını geliştirecek, bu alanda standartlaşma ile sistem optimizasyonunu sağlayacak deneyleri içeren çalışmalar için malzeme ve eleman deneyleri planlanmıştır. Deney sonuçlarının kıyaslanması ve daha kesin sonuçlara ulaşmak adına malzeme deneylerinin hem Türk Ytong hem de İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde özdeş numunelerle yapılması planlanmıştır. Malzeme deneyleri başlığı altında gazbeton numunelerin basınç, eğilmede çekme dayanımı, elastisite modülü tayinlerine ek olarak bloklarda kullanılan donatıların çekme dayanımlarının ve elastisite modüllerinin hesabı yapılan literatür araştırması sonucu ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır. Eleman deneyleri ise; duvar basınç dayanımı, başlangıç kayma dayanımı ve gazbeton paneller kullanılarak yapılan taşıyıcı duvar deneylerinden oluşmaktadır. Bahsedilen standartlar isim ve numaraları ile Tablo 1.1'de belirtilmiştir.

Tablo 1.1: Malzeme ve eleman deneylerinde kullanılan standartlar.

EN, ISO IEC vb No	Standart adı (İngilizce)	TS No	Standart adı (Türkçe)
BS EN 679: 2005	Determination of the compressive strength of autoclaved aerated concrete	TS EN 679: 2005	Gazbeton basınç dayanımı tayini
BS EN 1351: 1997	Determination of flexural strength of autoclaved aerated concrete	TS EN 1351: 1997	Gazbetonun eğilmede çekme dayanımı tayini
BS EN 1352: 1997	Determination of static modulus of elasticity under compression of autoclaved aerated or lightweight aggregate concrete with open structure	TS EN 1352: 1997	Gazbeton veya hafif agregalı gözenekli beton - Basınç altında statik elastisite modülü tayini
BS EN 1353: 1997	Determination of moisture content of autoclaved aerated concrete	TS EN 1353: 1997	Gazbeton rutubet muhtevası tayini

Tablo 1.1 (devam): Malzeme ve eleman deneylerinde kullanılan standartlar.

EN, ISO IEC vb No	Standart adı (İngilizce)	TS No	Standart adı (Türkçe)
BS EN 1739: 2007	Determination of shear strength for in-plane forces of joints between prefabricated components of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure	TS EN 1739: 2007	Gazbeton veya gözenekli hafif betondan yapılmış önyapımlı bileşenler - Bileşenler arasındaki derzlerle derz düzlemindeki kuvvetlere karşı kayma dayanımının tayini
BS EN 1740: 1998	Performance test for prefabricated reinforced components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure under predominantly longitudinal load (vertical components)	TS EN 1740: 1998	Gazbeton veya hafif agregalı gözenekli betondan yapılmış önyapımlı donatılı bileşenler- Hakim şeklinde boyuna doğrultuda yüklere maruz bileşenlerde (düşey bileşenler) performans deneyi

Malzeme deneyleri kapsamında donatı içermeyen, ilgili standartlara uygun şekilde şartlandırma işleminden geçirilmiş, çeşitli dayanım sınıflarından gazbeton bloklar test edilmiştir. Eleman deneylerinde ise donatılı panellerin davranışları belirlenmiştir. Duvar basınç deneylerinde üç adet, başlangıç kayma deneylerinde on iki adet, taşıyıcı duvar deneylerinde ise iki, dört ve altı panellerden oluşan duvarlar farklı eksenel gerilmeler altında test edilmiştir.

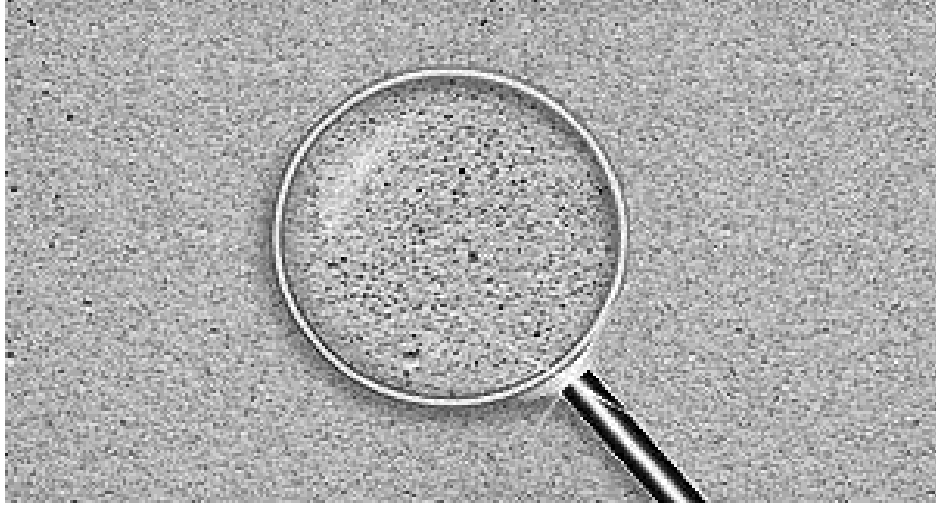
Bu çalışma kapsamında birinci giriş bölümünden sonra gazbeton yapı malzemesi hakkında genel bilgi ve bu konuda daha önce yapılmış olan çalışmalara yönelik araştırmalar bulunmaktadır. Üçüncü bölümde taşıyıcı duvar deneylerinde uygulanacak yatay ve düşey yükleri belirlemek için proje kapsamında önceden Aachen Üniversitesi ve tarafımızca yapılan çalışma detayları ve proje kapsamında önceden yapılmış, İzmit'te yer alan donatılı gazbeton paneller kullanılarak oluşturulmuş bir okul binasının 1999 Kocaeli Depremi sonrası performans analizi bulunmaktadır. Dördüncü bölümde gazbetonun mekanik özelliklerinin saptanabilmesi amacıyla yapılmış deneyler ve bu deneylerin sonuçları belirtilmiştir. Beşinci bölümde gazbeton taşıyıcı duvar deneyleri ve sonuçları verilmiştir. Altıncı bölümde deneyler sonucu elde edilen sonuçların taslak deprem yönetmeliği ile kıyaslanması, yedinci bölümde genel

sonuçlar ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalar, sekizinci bölümde kaynakça, son bölümde ise verilen ekler yer almaktadır.

2. GAZBETON HAKKINDA GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1.Gazbetonun Tanımı

Gazbeton, hafif beton sınıfına ait, gözenekli ve içerisinde çimento, kum, kireç, alüminyum tozu ve su barındıran bir malzemedir. Gazbetonun gözenekli yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Masif yapıların inşa edilebilmesine olanak sağlamasının yanı sıra düşük yoğunluğuna rağmen yüksek taşıma kapasitesi, yüksek ısı ve ses yalıtımına sahip olması, yangına dayanıklı olması, kolay işlenip uygulanabilmesi ve ekonomik avantajları gazbeton malzemelerin yapı malzemesi olarak tercih edilmelerinin diğer sebeplerindendir.



Şekil 2.1: Gazbetonun gözenekli yapısı (Varela, L.V.R., 2003).

2.2.Gazbeton Üretim Aşaması

İçerisinde kuvars kumu veya kuvarsit, alçıtaşı, kireç, çimento, alüminyum tozu ve su barındıran gazbeton endüstriyel yöntemlerle üretilir. Gazbetonun içerisinde hacimce %15-30 oranında çimento, %0.05-0.10 alüminyum tozu, %70-85 oranında kum-kireç ve su bulunur.

Bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosu ve kireç ile alüminyum tozu ve suyun karıştırılmasıyla bir karışım elde edilir. Daha sonra geri dönüştürülmüş gazbeton

malzemeler de katılan karışım belirli bir kıvam alana kadar karıştırılır, yeniden alüminyum tozu da katıldıktan sonra çelik kaplara dökülür (Şekil 2.2). Kaplara dökülen karışım kabarmaya başlar ve döküm işleminden 2-3 saat sonra sertleşir. Eğer donatılı bir yapı elemanı üretiliyorsa önceden üretilip, çekilmiş ve kaynaklanarak hasır haline getirilmiş donatılar, korozyona karşı korunması için su bazlı bitüm esaslı malzeme ile kaplanır ve gazbetonu oluşturacak karışım dökülmeden önce çelik kalıplara düzgünce yerleştirilir (Şekil 2.3).

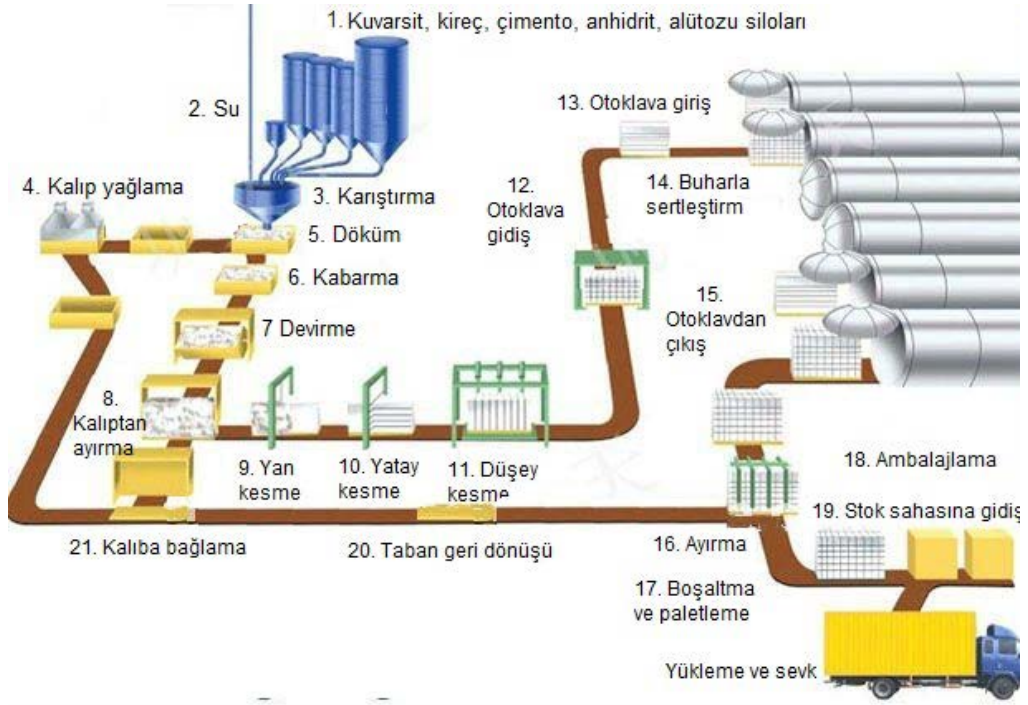
İki – üç saatlik sertleşme işleminden sonra gazbeton elemanlar kesim işlemine alınır. Kesim işleminden geçen gazbeton elemanlar “otoklav” adı verilen ünitelerde, yaklaşık 10-12 saat, maksimum 12 bar basınç altında ve yaklaşık 190 °C’de doymuş buhar ile sertleştirilir. Gazbeton elemanların üretim süreci Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Çelik kaplara dökülen gazbeton karışımının kabarması.



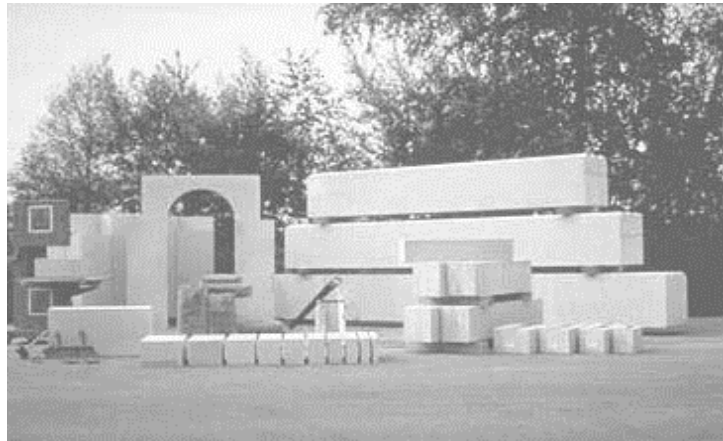
Şekil 2.3: Karışım dökümünden önce donatı yerleştirilmesi.



Şekil 2.4: Gazbeton üretim süreci.

2.3. Gazbetonun Genel Kullanımı

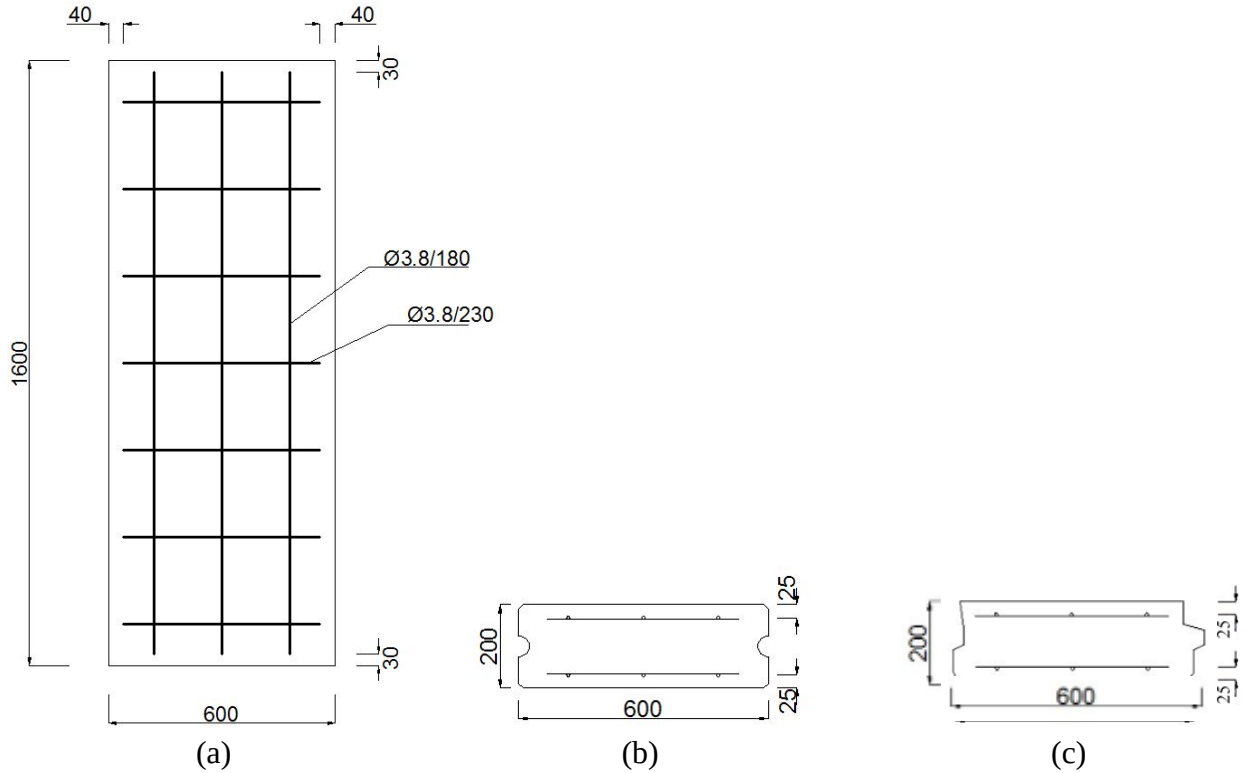
Gazbeton birçok alanda kullanılan yapı malzemesidir (Şekil 2.5). Gazbeton donatılı ve donatısız yapı elemanları olarak iki temel kullanım alanına sahiptir. İç ve dış duvar yapımında kullanılan duvar blokları, betonarme kirişli döşemelerde, kirişler arasına hafif dolgu malzemesi olarak yerleştirilen bloklar, ısı yalıtımını sağlaması amacıyla kullanılan ısı yalıtım plakları gibi donatısız gazbeton yapı elemanlarıdır. Donatılı gazbeton yapı elemanları ise endüstriyel ve ticari yapılar ile konutların dış ve iç duvar yapımında kullanılan duvar panelleri, çatı ve döşeme plakları, bölme panoları, lento ve söveler olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.5: Gazbeton yapı elemanları (Tanner, J.E., 2003).

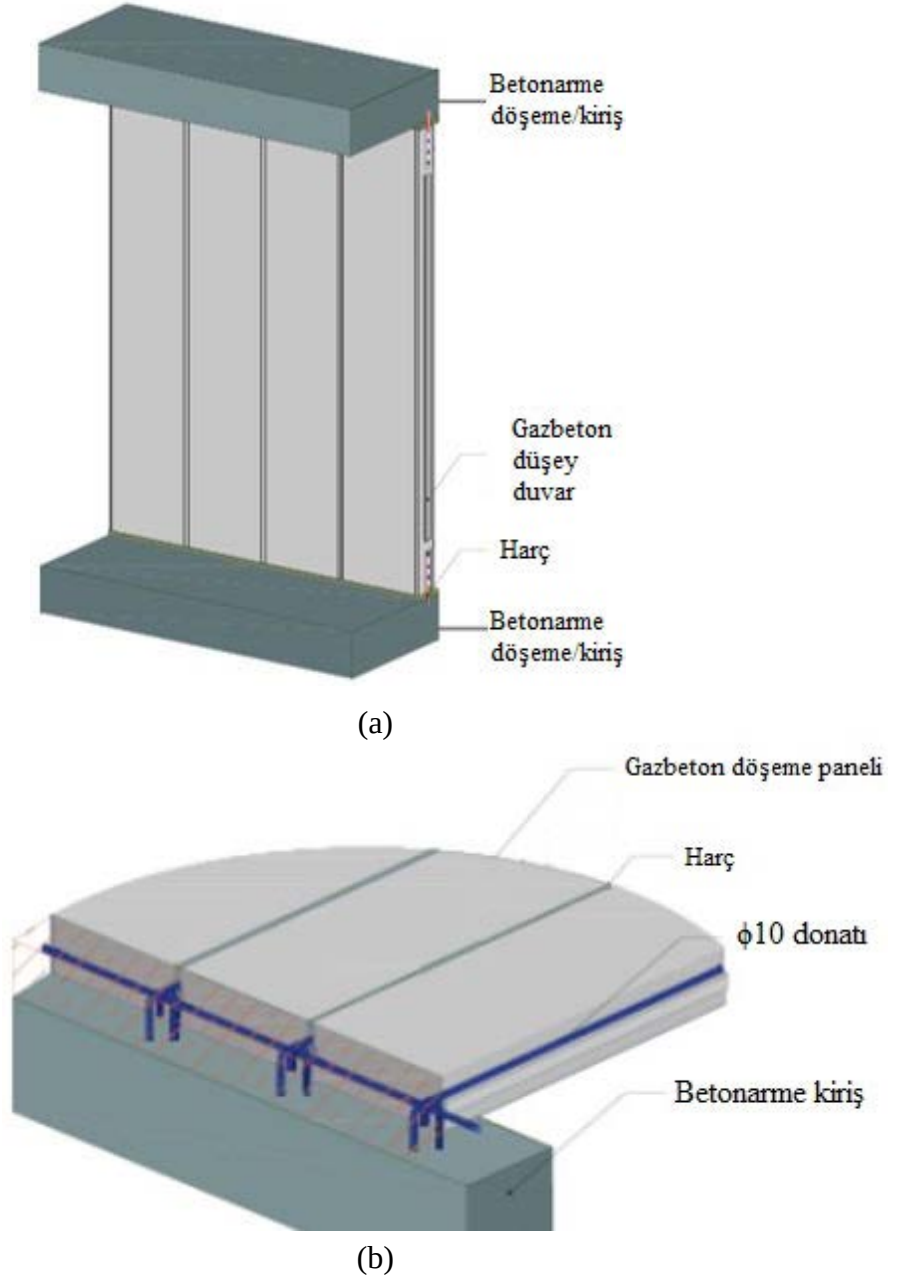
Gazbeton yapı sistemleri taşıyıcı duvar elemanları ile çatı ve döşeme plaklarından oluşur. Taşıyıcı duvar elemanları, yatay veya düşey yerleştirilmiş, bloklardan oluşabildiği gibi donatılı panellerden de oluşabilmektedir. Duvar blokları 0.60 m boyunda, 0.25 m yüksekliğinde ve çeşitli kalınlıklarda üretilmektedir. Duvar ve döşeme panelleri ise 0.1 – 0.3 m arasında kalınlığa ve en fazla 6.00 m uzunluğa sahip, farklı kalınlıklarda üretilebilen özel geçmeli elemanlardır. Her iki tip malzeme için de yaygın olarak kullanılan kalınlık 0.20 m’dir. Döşeme panelleri, duvar panellerinin üzerindeki 20 cm yükseklikli hatıllar ile duvar panellerine monte edilir. Katlar arası devam eden duvar panelleri ve temel ile duvar panelleri arasında bırakılan filiz boyu 50 cm’dir.

Duvar ve döşeme panelleri enine ve boyuna doğrultuda donatı barındırırlar. Paneller içerisindeki donatılar üretildikten sonra çekilir, puntolama ve kaynaklama işlemlerinin ardından donatıları korozyona karşı koruyan karışım ile kaplanır. Panellerin tipik donatı yerleşimi Şekil 2.6’da gösterilmiştir. En yaygın kullanılan boyuna donatılar 3.8 mm çaplı olup 230 mm aralıkta yerleştirilirken, enine donatılar ise 3.8 mm çaplı olup 180 mm aralıkla panellere yerleştirilir. Ancak eleman açıklığına, yüksekliğine, yükleme durumuna göre farklı donatılandırma detayları da söz konusudur.



Şekil 2.6: Gazbeton duvar (a), (b) ve döşeme (a), (c) panellerin tipik donatı yerleşimleri.

Gazbeton elemanlar birbirlerine ince bir çimento harç tabakası ile birleştirilir. Kullanılan derz kalınlığı yaklaşık 1- 3 mm kadardır. Kullanılan çimento harcı Portland çimentosu, ince silika, kauçuk gibi polimer ile suyun karışımından oluşur. Birleşimde kullanılan çimento harcının basınç dayanımı gazbetonun basınç dayanımından daha fazladır. Şekil 2.7’de temsili duvar ve döşeme panellerinin birleşimi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Gazbeton duvar (a) ve döşeme (b) panelleri birleşimi şematik gösterimi.

2.4. Literatür Araştırması

Gazbetonun taşıyıcı yapı elemanı olarak davranışının belirlenmesi için gerçekleştirilecek deneyler için yapılan literatür araştırması; deneylerde kullanılacak olan standartlar ve önceden bu konuda yapılmış deneysel çalışmalar olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Standartlar birinci bölümde verildiği için burada kısaca araştırma çalışmaları özetlenmiştir.

2.4.1 Varela (2003)

Gazbetonun taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanıldığı yeni tip yapıların deprem yükü azaltma katsayısı (R) ve bu değere karşılık gelen deplasman büyütme katsayısının (C_d), sadece bu tip yapıların önceki depremlerdeki performanslarının gözlemlenmesiyle elde edilmesi yeterli değildir. Bu sebeple, bu yapı tipi için yeni R ve C_d katsayılarının hesaplanması gereklidir (Varela, 2003). İlgili çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk kısımda 14 adet, farklı donatı oranlarına ve davranış biçimlerine sahip taşıyıcı duvarlar farklı eksenel yük seviyelerinde yön değiştiren yatay yükler altında test edilmiştir. İkinci kısımda ise gazbeton taşıyıcı elemanlardan oluşan tam ölçekli, iki katlı bir bina yön değiştiren yatay yükler altında test edilmiştir.

Taşıyıcı duvarlar deneylerinde; duvarların blok veya panellerin farklı yönlerde yerleştirilmesi ile oluşturulması, aynı geometriye sahip fakat farklı donatı oranlarına sahip olması gibi değişkenlere sahip duvarlar farklı eksenel yük seviyeleri altında yön değiştiren yatay yükler altında test edilerek davranışları belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan 14 adet taşıyıcı duvarının 8 tanesi davranışına kesmenin hakim olduğu (0.64 genişlik-uzunluk oranına sahip), 6 tanesi de eğilmenin hakim olduğu (3.17 genişlik-uzunluk oranına sahip) şekilde seçilmiştir. Bu taşıyıcı duvarları yön değiştiren tekrarlı yatay yükleme altında test edilmiş ve duvarlarda oluşan hasar tipleri saptanarak duvarların davranışı belirlenmiştir.

Deneylerin ardından 4 adet gazbeton yapı seçilmiş ve bu yapıların SAP2000 yapı analiz programı yardımıyla doğrusal olmayan davranışı hesaplanmıştır. Çubuk elemanı olarak idealleştirilmiş duvarlar ve bu duvarların birbirine rijit bir şekilde bağlandığı üç katlı yapı farklı deprem etkileri altında doğrusal olmayan analize tabi tutulmuştur. Analiz için Amerika'nın sismik hareket yoğunluğunun en çok olduğu yerler (Charleston, SC, Carbondale IL, Memphis, TN, Los Angeles, CA, Seattle, WA)

seçilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen verilerle, yapılacak tasarımlarda eğilmenin hakim olduğu elemanlardan oluşan yapıların deprem yükünün azaltma katsayısının 3, kesmenin hakim olduğu elemanlardan oluşan yapıların ise deprem yükü azaltma katsayısının 1.5 alınması önerilmiştir. Önerilen değerler mevcut değerlerin %20 daha fazlasıdır.

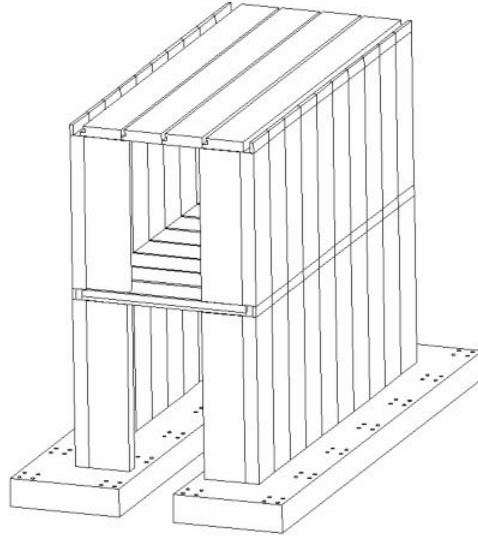
2.4.2 Tanner (2003)

Deprem bölgelerinde gazbeton donatılı veya donatısız elemanlar kullanılarak yapılacak olan yapı tipleri için tasarım kurallarının getirilmesi önemlidir. Bu kurallar için temel olarak, yapıların deprem anında davranışını en çok etkileyecek taşıyıcı duvar elemanlarının davranışları belirlenmelidir (Tanner 2003). İlgili çalışma kapsamında gazbeton blok veya panellerin farklı yönlerde yerleştirilmesi ile oluşturulmuş taşıyıcı duvarlar ve tam ölçekli, iki katlı gazbeton bina test edilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, 14 adet taşıyıcı duvar test edilmiş ve bu duvarların farklı eksenel yük seviyelerinde yatay yükler altında davranışları incelenmiştir. İkinci aşamada ise gazbeton duvarlar ile bu duvarlar arasında diyafram etkisini yaratacak olan gazbeton döşeme panelleri kullanılarak iki katlı bina inşa edilmiş ve yön değiştiren tekrarlı yükler altında test edilmiştir.

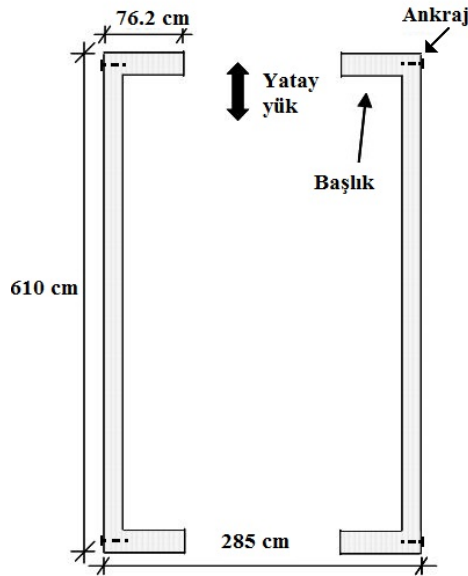
Çalışmanın ilk kısmında gazbeton yapı malzemesinin malzeme özelliklerini belirlemek adına testler yapılmış ve basınç dayanımı, elastisite modülü ve sürtünme katsayısı gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yarmada çekme dayanımı, kopma ve elastisite modülüne dair güvenilir veriler elde edilirken, bloklar arası sürtünme katsayısı, gazbeton ve çimento harcı arasındaki yapışmanın dayanımına dair az ama yeterli sayılabilecek veriler elde edilmiştir.

Taşıyıcı duvarlar deneyinde 8 adet 0.64 genişlik - uzunluk oranına sahip, davranışına kesmenin hakim olduğu duvar, 6 adet de 3.17 genişlik - uzunluk oranına sahip, davranışına eğilmenin hakim olduğu duvar test edilmiştir. Yapılan deneylerde amaç, aynı geometriye fakat farklı donatı oranına sahip taşıyıcı duvarlar ile donatılı paneller ve donatısız bloklardan oluşan yığma duvarların yatay yükler altında davranış farklılıklarını ortaya koymaktır. Duvarlar panel veya blokların dikey veya yatay yerleştirilmesi ile oluşturulmuş ve her tip duvarın yön değiştiren tekrarlı yükleme altında davranışı incelenmiş ve duvarlarda yükleme sırasında oluşan hasar tipleri saptanarak duvarların davranışı belirlenmiştir.

Tam ölçekli bina deneyinde yön değiştiren yatay yükler altında test edilen binanın şematik gösterimi Şekil 2.8’de, planı Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Bu bölümde gazbeton binalarda diyafram etkisini sağlayabilmek için elemanların nasıl birleştirilmesi gerektiğine dair kurallar ortaya konulmuştur. İnşa edilen binada diyafram etkisini sağlaması ve kesme kuvvetini duvarlara aktarabilmek için duvar panellerine başlık yapılmıştır. Diyafram etkisinin sağlanabilmesi için yapılan başlıkların duvar panellerine Şekil 2.9’daki gibi ankre edilmesi gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 2.8: Tam ölçekli bina deneyi şematik gösterimi.



Şekil 2.9: Tam ölçekli bina planı.

2.4.3 Hu et al. (1997)

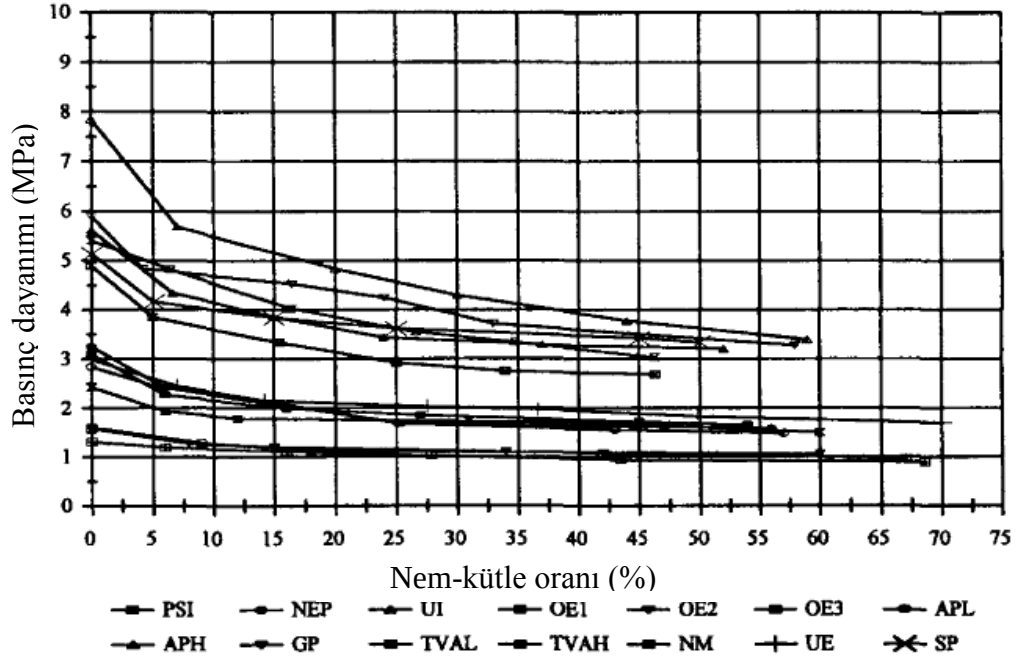
Gazbetonun basınç dayanımı bu malzemenin taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışma kapsamında gazbetonun basınç dayanımının, malzemenin kütlege barındırdığı nem oranı değişimine göre aldığı farklı değerler test edilmiştir. Farklı nem-kütle oranının gazbeton malzemelerin basınç dayanımında sebep olduğu değişikliklerinin saptanmasının ardından, nem-kütle oranı aynı olan gazbeton blokların eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Nem-kütle oranının değişmesiyle gazbetonun basınç dayanımının nasıl değişeceğinin saptanması için çalışma kapsamında farklı firma üretimi, farklı nem oranına sahip numuneler test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda nem – kütle oranındaki artışın gazbetonun basınç dayanımını düşürdüğü saptanmıştır. Yüzde 15’ten az nem – kütle oranına sahip donatısız gazbeton blokların basınç dayanımlarının bu orandan fazla orana sahip bloklara göre çok daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir (Hu et al. 1997). Tablo 2.1’de bu çalışma kapsamında testleri yapılmış gazbeton blokların nem – kütle oranları, Şekil 2.10’da bu gazbeton blokların basınç dayanımı-nem kütle oranı grafiği belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında gazbeton basınç dayanımının numune kuruluşundaki artışa göre arttığı da belirlenmiştir. Kuru numunelerin, nem oranı yüksek numunelere göre 1.5-2.3 kata kadar yüksek basınç dayanımına sahip oldukları belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Gazbetonun basınç dayanımının şartlandırmaya bağlı değişimi deneylerinde kullanılan numuneler (Hu et al. 1997).

Numune ismi	Ortalama nem - kütle oranı (%)	Numune ismi	Ortalama nem - kütle oranı (%)
PSI	6.47	GP	12.27
NEP	5.57	TVAL	6.38
UI	9.29	TVAH	9.41
OE	11.56	NM	12.64
APL	9.08	UE	8.87
APH	19.16	SP	9.92



Şekil 2.10: Şartlandırmaya bağlı basınç dayanımı (Hu ve diğ. 1997)

3. PROJE KAPSAMINDA DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

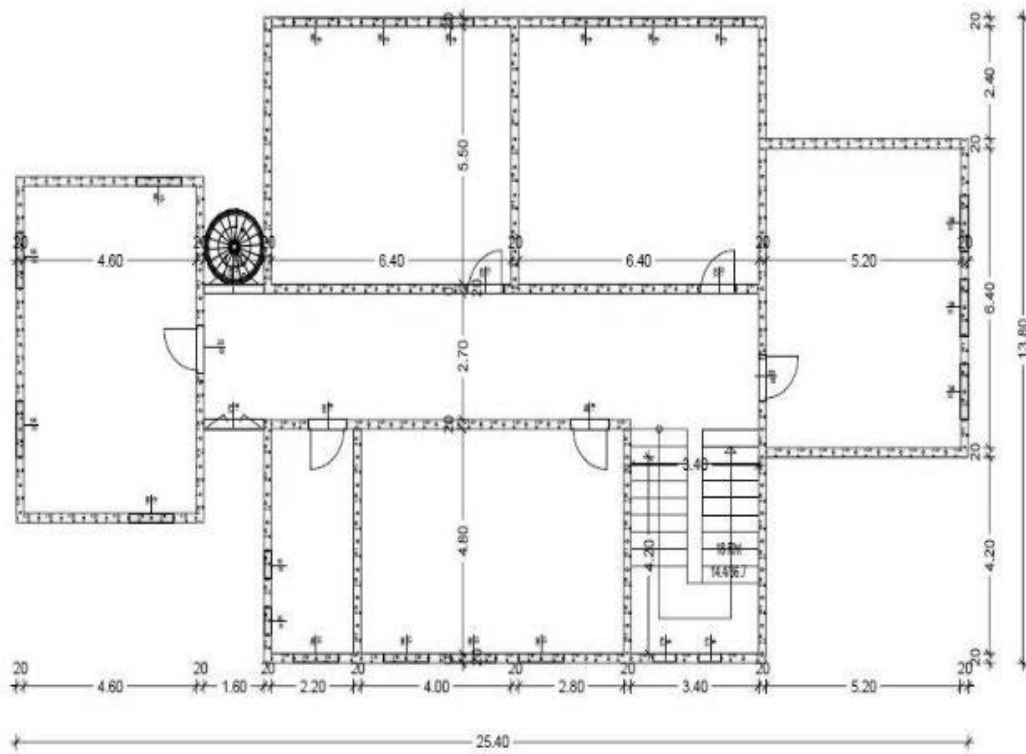
Donatılı gazbeton taşıyıcı sistem elemanlarının yatay ve düşey yükler altında davranışının belirlenmesi için taşıyıcı duvar deneyleri yapılması planlanmıştır. Bu deneylerde duvarlara uygulanacak yatay ve düşey yük seviyelerini belirlemek için; gazbeton panellerden oluşan yapı tiplerinin modellendiği, proje kapsamında yapılmış önceki çalışmalar incelenmiştir. Proje kapsamında yapılmış çalışmalardan ilk olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremini ciddi hasarlar almadan atlatmış olan gazbeton paneller kullanılarak inşa edilmiş bir okul binası üzerindeki çalışma, ardından düşey ve yatay yükler etkisi altındaki iki yapı tipinin daha modellendiği çalışmalar incelenerek gazbeton taşıyıcı duvarlar deneylerinde kullanılacak yatay ve düşey yük seviyelerine karar verilmiştir.

3.1.Başiskele Anadolu Öğretmen Lisesi'nin Deprem Yükleri Altında Davranışının İncelenmesi (Ugurlu ve diğ. 2013)

Başiskele Anadolu Öğretmen Lisesi, Kocaeli ilinin Yuvacık ilçesinde bulunmaktadır. Bu iki katlı okul binası tamamen donatılı gazbeton paneller kullanılarak inşa edilmiş ve 17 Ağustos 1999 depreminde ciddi hasarlar almadan depremi atlattır (Sucuoğlu ve Alakoç, 2000). Yapı donatılı taşıyıcı duvar panellerinden ve döşeme panellerinden oluşmaktadır. Yapının önden görünüşü Şekil 3.1'de, zemin kat planı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Yapının 1. Normal kat planı da zemin kat ile aynıdır. Yapıyı oluşturan paneller 4 MPa basınç dayanımına sahiptir. Panellerdeki donatılar DIN 4223'e (DIN 1978) göre hesaplanmıştır. Panel birleşim bölgelerine $\Phi 12$ S420 donatı yerleştirilmiş ve çimento harcı dökülerek paneller birleştirilmiştir. Paneller arasında kullanılan donatılar 50 cm filiz boyuna sahiptir. Döşeme panelleri birleşim bölgelerinde $\Phi 10$ S420 donatı kullanılmış ve paneller birleşim bölgesine çimento harcı dökülerek birleştirilmiştir. Bu mevcut bina 2013'te incelenmiş ve 1999 Kocaeli depremini ciddi hasarlar almadan atlattığı gözlenmiş (Ugurlu ve diğ. 2013) ve raporlanmıştır (Sucuoğlu ve Alakoç, 2000).



Şekil 3.1: Okul binasının önden görünüşü.



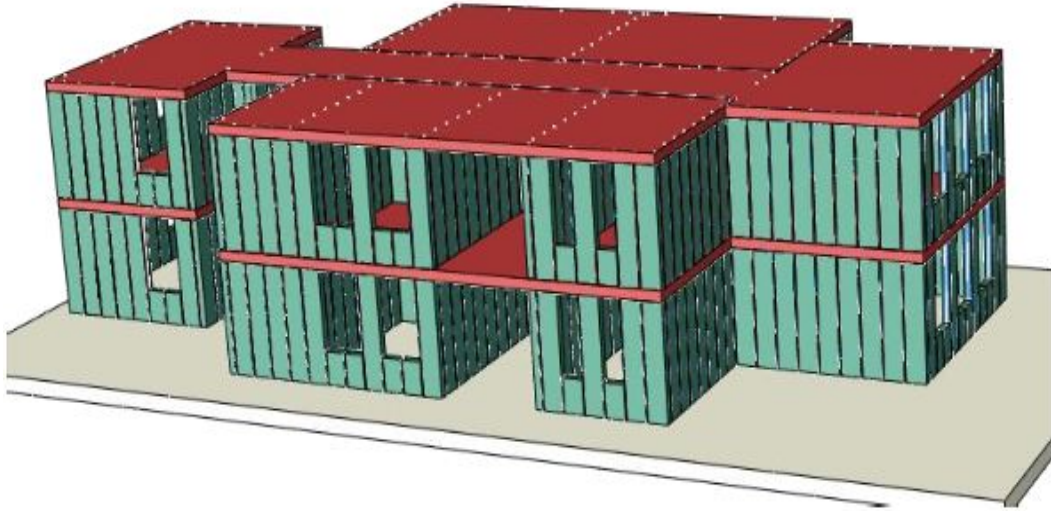
Şekil 3.2: Okul binası zemin kat planı.

Yapının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi için Abaqus yazılımı (Simulia, D. C. S., 2011) kullanılmıştır. Oluşturulan 3 boyutlu model ile yapı üzerindeki gerilme ve yerdeğiştirmeler hesaplanmıştır (Şekil 3.3). Mevcut binada olduğu gibi döşeme panelleri duvar panelleri üzerine tanımlanmıştır ve panel birleşim bölgelerinde $\Phi 12$ S420 donatı kullanılmıştır. Mevcut bina 1999 Kocaeli depremini önemli hasarlar almadan atlattığı için modele tanımlanan elemanların lineer elastik davranacakları varsayılmıştır. Modelde kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri Tablo 3.1’de belirtilmiştir. Yapılan çalışma doğrultusunda yapıya 1999 Kocaeli depreminin

değerlerinden elde edilmiş olan, x- yönünde, maksimum 0.46g yer ivmesine sahip deprem yükleri etkilmiştir.

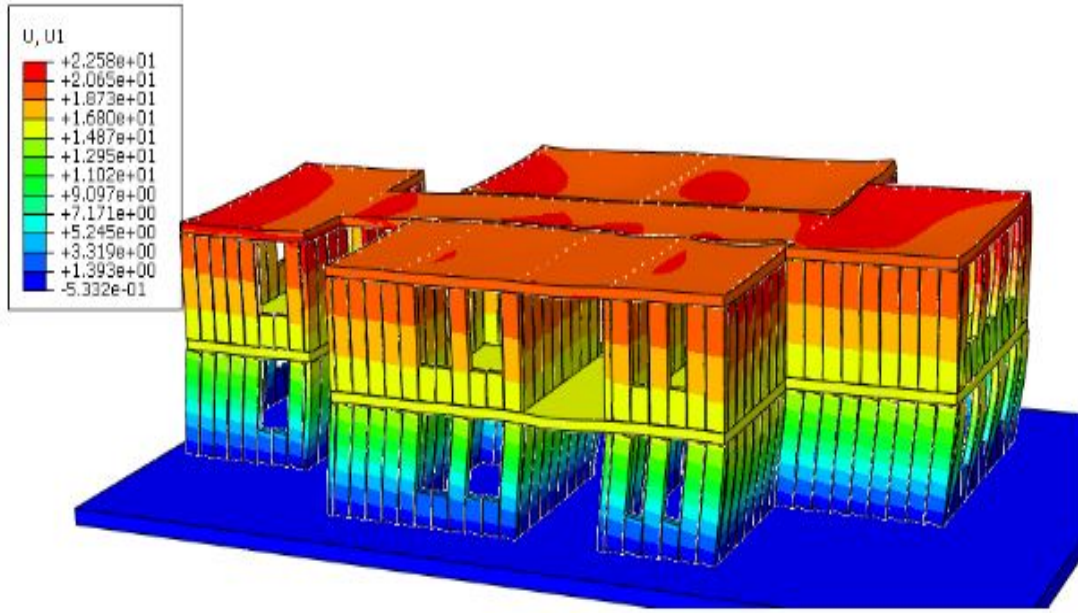
Tablo 3.1: Sonlu eleman modelinde kullanılan malzeme özellikleri.

	AAC	Çimento harcı	Beton	Çelik
Yoğunluk (kg/m ³)	840	2000	2400	7850
Elastisite modülü (MPa)	2250	6900	28000	200000
Poisson oranı	0.20	0.20	0.20	0.20



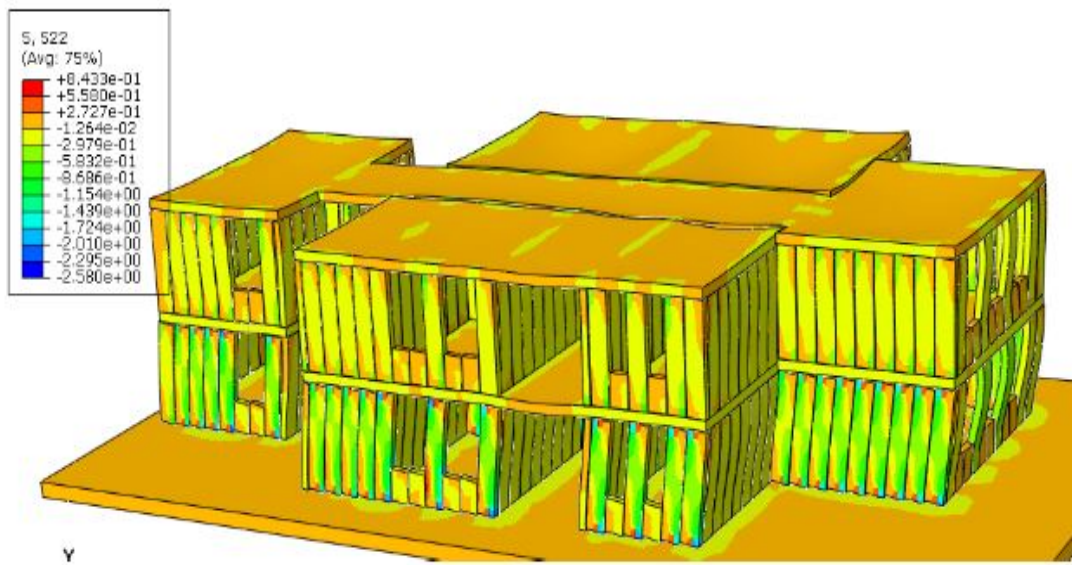
Şekil 3.3: Yapının 3 boyutlu Abaqus modeli.

Sonlu elemanlar düzeyinde yapılan analiz sonucunda yapının yaptığı yatay öteleme oranının 0.005 olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.4). Bu değer Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'in izin verdiği can güvenliği düzeyi sınır kat öteleme oranı 0.02 öteleme oranından küçük olduğu belirtilmiştir. Bu yatay öteleme miktarının, deprem yönetmeliğinde belirtilen hemen kullanım performans düzeyindeki kat ötelemesinden düşük olduğundan yapı üzerinde kayda değer hasarlara yol açmayacağı gözlenmiş ve dolayısıyla yerinde yapılan gözlemlerle uyumlu veriler elde edilmiştir (Ugurlu ve diğ., 2013).

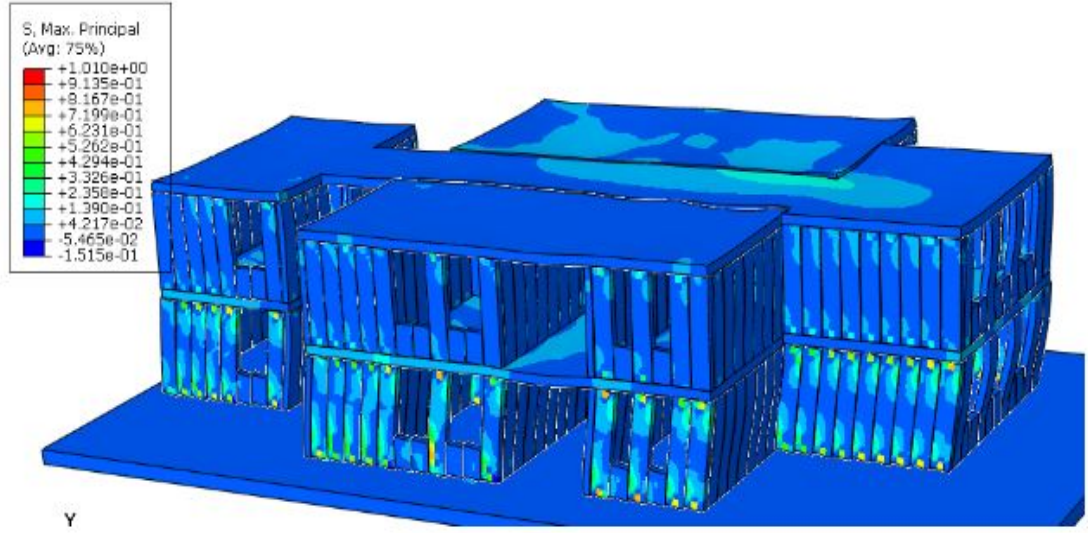


Şekil 3.4: Yapının şekil değiştirmiş görünümü.

Basınç ve maksimum asal gerilme dağılımları Şekil 3.5-6'da gösterilmiştir. Basınç ve çekme gerilmelerinin panellerin alt ve üst köşe bölgelerinde toplandığı görülmektedir. Yatay ve düşey yükler altında paneller üzerinde oluşan maksimum basınç gerilmesi 2.5 MPa, panel ortalarındaki ortalama basınç gerilmesi ise 0.5 MPa düzeyindedir. Gazbeton panellerin 4 MPa basınç dayanımına sahip oldukları göz önüne alındığında bu değerlerin yapıya hasar vermeyeceği görülmektedir (Ugurlu ve diğ., 2013). Panel köşelerinde maksimum asal gerilme 0.7 MPa, panel ortalarındaki ortalama asal gerilme miktarı ise 0.04 MPa düzeylerindedir.



Şekil 3.5: Duvar panellerinde oluşan basınç gerilmeleri [MPa].



Şekil 3.6: Duvar panellerinde oluşan maksimum asal gerilmeler [MPa].

Bina Yönetmeliği Kuralı ve Yığma Yapılar Şartnamesi'ne (MSJC 2008) göre yarmada çekme dayanımı Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde f_t yarmada çekme dayanımı, f_{AAC} ise gazbeton basınç dayanımını belirtmektedir.

$$f_t = 0.2 \sqrt{f_{AAC}} \quad (3.1)$$

Analiz sonucunda, panel köşelerindeki maksimum asal gerilmelerin hesaplanan çekme dayanımı değerinden fazla, panel orta bölgesindeki çekme gerilmelerinin ise hesaplanan çekme dayanımı değerinden küçük olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple; panel içerisinde yer alan donatıların da dikkate alınması ile dar veya mikro düzeydeki çatlakların panel köşelerinde beklenmesi gerektiği açıklanmıştır. Yerinde yapılan gözlemler sonucunda paneller üzerinde hasar görülmemiş olmasının sebebi panellerin üzerinde oluşan mikro çatlakların gözden kaçmış olması, mevcut binada gerilmelerin modeldeki gibi düzgün yayılmamış olması veya sonradan boyanan panellerin çatlaklarının üzerinin kapanması olarak açıklanabilir (Ugurlu ve diğ. 2013).

3.2. Donatılı Gazbeton Panellerden Oluşan Yapıların Yatay ve Düşey Yükler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi (Butenweg, 2015)

Donatılı panel duvar deneylerinde uygulanacak olan yatay ve düşey yük yük seviyelerinin belirlenmesi için Aachen Üniversitesi'nden Prof. Dr. Christoph Butenweg tarafından proje kapsamında yapılan çalışma incelenmiştir. Çalışma kapsamında donatılı gazbeton panellerden oluşan yapı modellenmiştir. Modelin ilk olarak düşey yükler altındaki davranışı, ardından deprem yükleri altındaki davranışı

incelenmiştir. İlk kısımda modele sadece düşey yükler etkililmiş ve duvarlara gelecek yükler hesaplanmış, ikinci kısımda ise yatay yüklerin etkisi altındaki modelin duvarlarında gözlenen kesme kuvvetleri ve momentler belirtilmiştir. Aachen Üniversitesi tarafından proje kapsamında yapılan bu çalışma sonrasında 5. Bölüm’de anlatılan donatılı gazbeton duvar deneylerinde duvarlara uygulanacak yatay ve düşey yük değerleri elde edilmiştir.

3.2.1. Düşey Yükler Altındaki Davranış

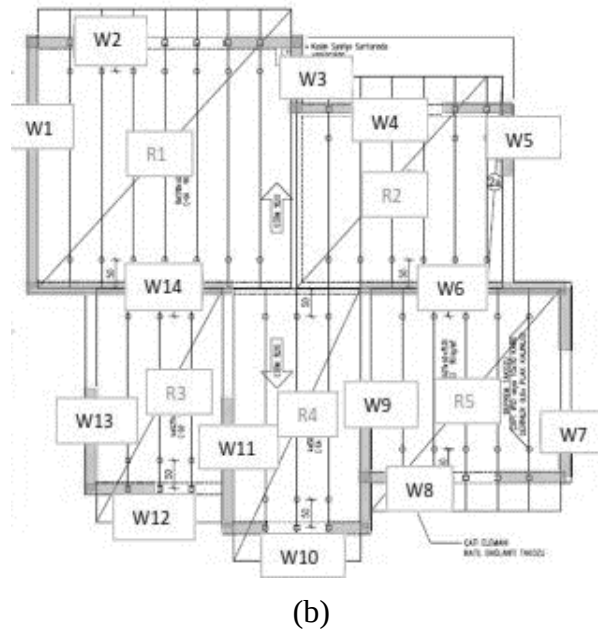
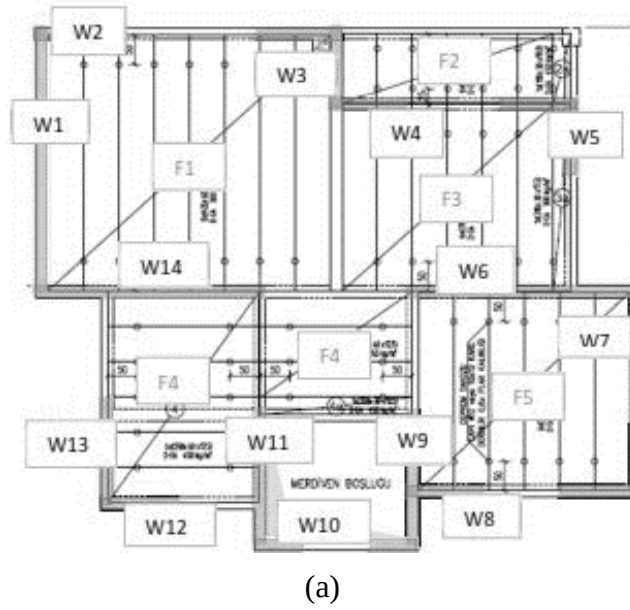
Sadece düşey yüklerin etkisi altında olacak donatılı gazbeton panellerden oluşan yapı modellenmiştir. “Bina-1” simli yapı tipi G4 basınç sınıfı gazbeton duvar ve döşeme panellerinden oluşmaktadır. Model gazbeton çatı panelleri kullanılarak oluşturulmuş bir çatıya sahiptir. Binada kullanılan taşıyıcı elemanların malzeme özellikleri Tablo 3.2’de belirtilmiştir. Zemin ve iki normal kattan oluşan yapıların zemin ve 1. Normal kat planları Şekil 3.7’de, taşıyıcı elemanların boyutları Tablo 3.3’te belirtilmiştir. 2. Normal kat planı, 1. Normal kat planı ile aynıdır. Yapıdaki duvarlar W1-14, döşemeler F1-5, çatı döşemeleri ise R1-5 şeklinde isimlendirilmiştir.

Tablo 3.2: Bina-1 taşıyıcı elemanları malzeme özellikleri.

Taşıyıcı eleman	Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Ağırlık (kN/m ³)
Duvar paneli	G4	600	6
Döşeme paneli	G4	600	6
Hatıl	Betonarme	2500	25

Tablo 3.3: Bina-1 taşıyıcı eleman boyutları.

Taşıyıcı eleman	Uzunluk (m)	d (m)	Taşıyıcı eleman	Uzunluk (m)	d (m)
Duvar panelleri	2.40	0.20	Hatıl	0.25	0.20
Çatı panelleri R1	5.10	0.15	Döşeme panelleri F1	4.35	0.18
Çatı panelleri R2	3.87	0.15	Döşeme panelleri F2	1.18	0.10
Çatı panelleri R3	4.27	0.15	Döşeme panelleri F3	3.18	0.18
Çatı panelleri R4	5.00	0.15	Döşeme panelleri F4	2.58	0.13
Çatı panelleri R5	4.07	0.15	Döşeme panelleri F5	3.38	0.18



Şekil 3.7: Bina-1 (a) zemin kat ve (b) 1. Normal kat planları.

Modellerde hareketli yük 2.5 kN/m^2 olarak alınmıştır. Aachen Üniversitesi tarafından, TS 498 ile tanımlanan hareketli yük sınıfı 2.0 kN/m^2 değerine güvenli tarafta kalmak için 0.5 kN/m^2 ilave edilerek bu ve sonraki çalışmaların yapıldığı bilgisi aktarılmıştır. Hareketli yüklere ek olarak yapıdaki tüm döşemeler üzerine 1 kN/m^2 sıva + kaplama yükü tanımlanmıştır. Çatı panelleri 0.60 m çıkma yapmaktadır.

Bina-1 isimli modelde tanımlanan, her katta aynı isme sahip duvarların üzerine etkiyen; çatı ve normal kat döşemelerinden gelen yükler, duvar yükleri ve hareketli yükler Tablo 3.4'te belirtilmiştir. Bu tablodaki veriler yardımıyla zemin, 1. normal ve 2. normal kattaki duvar panellerinin üzerindeki düşey yük değerleri hesaplanmış ve

Tablo 3.5’te ifade edilmiştir. Düşey yüklerden dolayı deprem sırasında binada oluşacak taban kesme kuvvetine esas olan kat ağırlıkları $G+nQ$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıda hareketli yük katılım katsayısı (n) değeri, yapı tipi konut olduğundan dolayı 0.3 alınmıştır. $G+nQ$ yüklemesi ile duvarlarda oluşan yükler Tablo 3.6’da belirtilmiştir.

Tablo 3.4: Duvarlara etkiyen yükler (kN/m).

	Çatıdan gelen yük			Döşemelerden gelen yük			Duvar yükü	Hareketli yük
	Bağ kirişi	Çatı	Toplam	Bağ kirişi	Döşeme	Toplam		
W1	4.3	0	4.3	1.25	0	1.25	2.88	0
W2	1.25	2.61	3.86	1.25	4.51	5.76	2.88	5.5
W3	4.3	0.37	4.67	1.25	0	1.25	2.88	0
W4	1.25	2.07	3.32	1.25	4.24	5.49	2.88	5.5
W5	4.3	0	4.3	1.25	0.41	1.66	2.88	0
W6	1.25	2.93	4.18	1.25	6.77	8.02	2.88	8.25
W7	4.3	0	4.3	1.25	0	1.25	2.88	0
W8	1.25	2.16	3.41	1.25	3.49	4.74	2.88	4.25
W9	4.3	0	4.3	1.25	2.28	3.53	2.88	3.25
W10	1.25	2.56	3.81	1.25	0	1.25	2.88	0
W11	4.3	0	4.3	1.25	2.28	3.53	2.88	3.25
W12	1.25	2.25	3.5	1.25	0	1.25	2.88	0
W13	4.3	0	4.3	1.25	2.28	3.53	2.88	3.25
W14	1.25	3.59	4.84	1.25	5.21	6.46	2.88	6.5

Tablo 3.5: Zemin, 1. ve 2. Normal kat duvar yükleri (kN/m).

	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
W1	4.3	8.43	12.56
W2	3.86	12.5	21.14
W3	4.67	8.8	12.93
W4	3.32	11.69	20.06
W5	4.3	8.84	13.38
W6	4.18	15.07	25.97
W7	4.3	8.43	12.56
W8	3.41	11.02	18.64
W9	4.3	10.71	17.11
W10	3.81	7.94	12.07
W11	4.3	10.71	17.11
W12	3.5	7.63	11.76
W13	4.3	10.71	17.11
W14	4.84	14.18	23.52

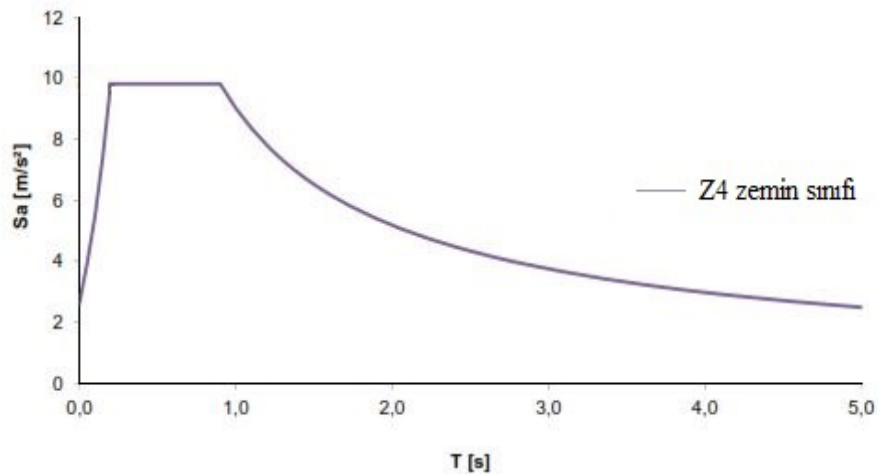
Tablo 3.6: G+nQ yüklemesi ile duvarlar üzerinde oluşan yük seviyeleri (kN/m).

	2. Normal Kat	1. Normal Kat	Zemin Kat
W1	4.3	8.43	12.56
W2	5.51	14.15	24.44
W3	4.67	8.8	12.93
W4	4.97	13.34	23.36
W5	4.3	8.84	13.38
W6	6.65	17.55	30.92
W7	4.03	8.43	12.56
W8	4.68	12.3	21.19
W9	5.28	11.68	19.06
W10	3.81	7.94	12.07
W11	5.28	11.68	19.06
W12	3.5	7.63	11.76
W13	5.28	11.68	19.06
W14	6.79	16.13	27.42

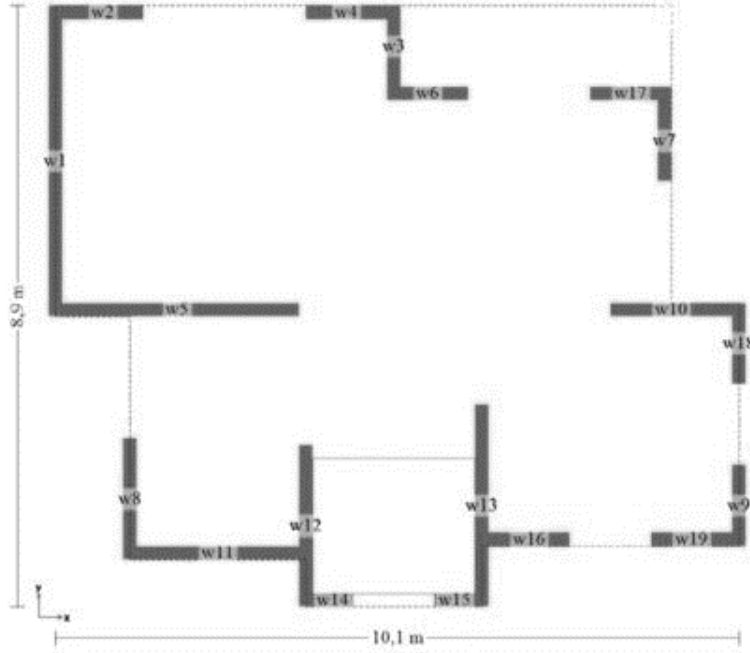
3.2.2. Yatay Yükler Altındaki Davranış

Gazbeton taşıyıcı elemanlardan oluşan modelin düşey yükler altındaki davranışının incelenmesinin ardından yatay yükler etkisindeki davranışının incelenmesine geçilmiştir. Bu kısımda da ilk bölümde hazırlanmış yapı modeli kullanılmıştır.

Yapının Türkiye’de 1. derece deprem bölgesinde yapılacağı kabul edilmiştir. Bina önem katsayısı yapı tipi konut olduğundan 1.0 alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1.0$, zemin sınıfı Z4 kabul edilmiştir. Şekil 3.8’de Z4 zemin sınıfı ve 1. derece deprem bölgesi için kullanılan spektrum eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte S_a spektral ivme değerini, T ise binanın doğal titreşim periyodunu belirtmektedir.

**Şekil 3.8:** 1. derece deprem bölgesi, Z4 zemin sınıfı için ivme spektrum eğrisi.

Yapının kat planları ve binayı oluşturan taşıyıcı elemanların malzeme özellikleri önceki bölümde belirtildiği gibidir Hareketli yük, önceki bölümde belirtildiği gibi 2.5 kN/m² alınmıştır. Binada kullanılan duvar panellerinin isimlendirilmesi Şekil 3.9’da, boyutları Tablo 3.7’de gösterilmiştir. Döşeme ve çatı panellerinin boyutları önceki bölümde belirtildiği gibidir.



Şekil 3.9: Bina-1 duvar planı.

Tablo 3.7: Bina-1 duvar panelleri boyutları.

Duvar ismi	Kalınlık (mm)	Uzunluk (mm)	Duvar ismi	Kalınlık (mm)	Uzunluk (mm)
W1	200	460	W10	200	180
W2	200	120	W11	200	240
W3	200	120	W12	200	240
W4	200	120	W13	200	300
W5	200	360	W14	200	60
W6	200	120	W15	200	60
W7	200	120	W16	200	120
W8	200	180	W17	200	120
W9	200	120	W18	200	120

Kat kütleleri, ölü yük ve hareketli yüklerin önceki bölümde belirtilen G+nQ bağıntısı ile elde edilmiştir. Yatay yükler dışmerkezlik olmadan uygulanmıştır. Deprem yükleri

katlar arasındaki rijitlik oranlarına göre katlara dağıtılmıştır. Yatay yük analizine taban kesme kuvvetinin hesabıyla başlanmıştır.

Toplam kat kütleleri Tablo 3.8’de, spektral ivme (S_a), taban kesme kuvveti (V_t) ve periyot (T_1) değerleri Tablo 3.9’da, taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılmış hali de Tablo 3.10’da verilmiştir. Her duvarda oluşan kesme kuvvetleri ve moment değerleri Tablo 3.11’de gösterilmiştir. Bu tabloda $V_{ed,max}$ ifadesi ilgili katta oluşan maksimum kesme kuvveti değerini, $M_{ed,max}$ ifadesi ilgili katta oluşan moment değerini belirtmektedir.

Tablo 3.8: Kat kütleleri.

Kat	Kütle (kN)
Zemin Kat	31.65
1. Normal Kat	31.65
2. Normal Kat	13.79

Tablo 3.9: Toplam kütle, periyot, yer ivmesi ve taban kesme kuvveti değerleri.

Doğrultu	Toplam kütle (t)	T_1 (s)	S_a (m/sn ²)	V_t (kN)
X	77.1	0.28	9.81	945.4
Y	77.1	0.21	9.81	945.4

Tablo 3.10: Yatay yüklerin katlara dağıtılması.

Kat	X- yönü kat kesme kuvvetleri (kN)	Y- yönü kat kesme kuvvetleri (kN)
3	286.89	286.89
2	439.01	439.01
1	219.5	219.5
Toplam	945.4	945.4

Tablo 3.11: Katlardaki kesme kuvveti ve moment değerleri.

	1. Normal kat	2. Normal kat	3. Normal kat	1. Normal kat	2. Normal kat	3. Normal kat
Duvar ismi	$V_{ed,max}$ (kN)	$V_{ed,max}$ (kN)	$V_{ed,max}$ (kN)	$M_{ed,max}$ (kNm)	$M_{ed,max}$ (kNm)	$M_{ed,max}$ (kNm)
W1	567.62	435.83	169.49	3108.26	1604.08	449.14
W2	45.46	34.91	13.08	247.62	127.15	34.65
W3	31.85	24.46	9.47	174.32	89.91	25.09
W4	45.46	34.91	13.08	247.62	127.15	34.65
W5	602.26	462.43	181.04	3301.17	1705.19	479.76

Tablo 3.11 (devam): Katlardaki kesme kuvveti ve moment değerleri.

Duvar ismi	1. Normal kat $V_{ed,max}$ (kN)	2. Normal kat $V_{ed,max}$ (kN)	3. Normal kat $V_{ed,max}$ (kN)	1. Normal kat $M_{ed,max}$ (kNm)	2. Normal kat $M_{ed,max}$ (kNm)	3. Normal kat $M_{ed,max}$ (kNm)
W6	39.97	30.69	11.59	217.96	112.04	30.7
W7	58.27	44.74	17.21	318.59	164.18	45.62
W8	41.38	31.77	12.46	226.89	117.23	33.03
W9	65.53	50.32	19.34	358.26	184.6	51.26
W10	83.73	64.29	25.17	458.97	237.08	66.7
W11	219.99	168.91	67.19	1208.63	625.67	178.06
W12	177.13	136	52.92	970.04	500.65	140.24
W13	580.12	445.43	171.96	3173.41	1636.08	455.69
W14	3.82	2.94	1.17	21.02	10.88	3.1
W15	3.82	2.94	1.17	21.02	10.88	3.1
W16	28.53	21.9	8.71	156.72	81.12	23.08
W17	39.97	30.69	11.59	217.96	112.04	30.7
W18	65.53	50.32	19.34	358.26	184.6	51.26
W19	28.53	21.9	8.71	156.72	81.12	23.08

Proje kapsamında önceden yapılan çalışmaların incelenmesi sonucu panellere etkiyen en büyük düşey yük 30.92 kN/m olarak hesaplanmıştır. Bu da 600 mm x 200 mm boyutlu bir panel üzerinde oluşacak 0.25 MPa gerilme değerine karşılık gelmektedir. Bu sonuca göre deneylerde göz önüne alınacak eksenel gerilme 0.20 MPa olarak ön görülmüştür. Panellerin daha yüksek eksenel gerilme altındaki davranışlarını da gözlemlemek için, taşıyıcı duvarlar 0.5 MPa eksenel gerilmede değerinde de test edilmiştir.

4. GAZBETON YAPI MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Gazbeton kullanılarak yapılmış yapıların performans tahmininin yapılabilmesi için bu yapı malzemesinin mekanik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Bu bölümde donatılı ve donatısız gazbeton numuneler ve donatılı eleman birleşiminde kullanılan malzemelerin üzerinde gerçekleştirilmiş deneyler anlatılmıştır.

4.1. Gazbeton Nem Muhtevası Tayini

Gazbeton yapı malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerde kullanılan numuneler Tablo1.1’de nem muhtevası tayini için belirtilmiş standardın şartlarına uygun olarak şartlandırılma işleminden geçirilmiştir. Bu tez kapsamında; deneyler ilgili standartların getirmiş olduğu, numunelerin % (6 ± 2) nem kütle oranında denenmesi kuralına dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir. Gerekli nem – kütle oranına sahip olana kadar şartlandırılan numunelerin bu işlem sonunda nem – kütle oranları Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Bu denklemde m_{hum} nemli numune ağırlığını, m_{dry} ise kuru numune ağırlığını belirtmektedir. Numuneler şartlandırma işlemleri için özel şartlandırma odalarında kurutulmuşlardır.

$$\mu = 100 \times \frac{m_{hum} - m_{dry}}{m_{dry}} \quad (4.1)$$

4.2. Gazbeton Basınç Dayanımı Tayini

Gazbeton numunelerin basınç dayanım tayinlerinin hesabının yapılması Tablo1.1’de basınç dayanım tayini için belirtilmiş standart incelenmiş ve bu standardın öngördüğü numune boyutları, yükleme koşulları ve deneyin yapılacağı şartlar belirlenmiştir. İlgili standarttan alınan bilgilere göre, deneylerde 100 mm x 100 mm x 100 mm kenar uzunluklu küp, donatı bulundurmayan G3 ve G4 sınıfı gazbeton blokların kullanılacağına karar verilmiştir.

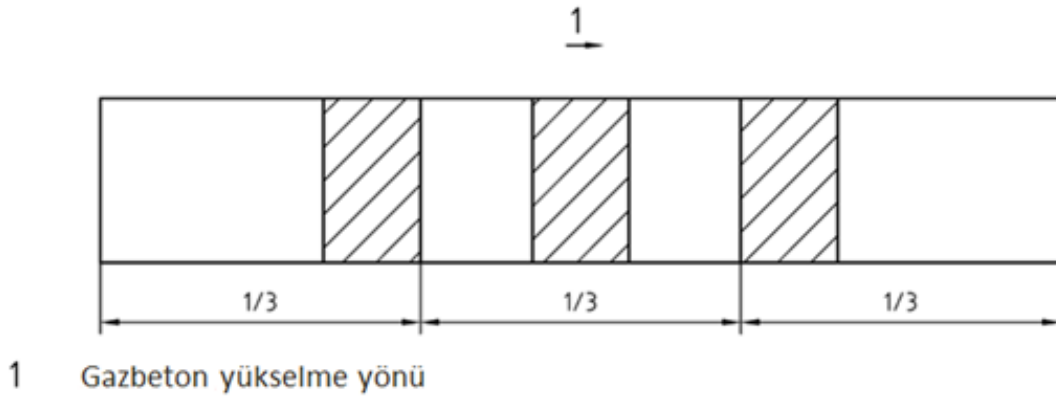
Deney, her iki sınıftan üçer numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numune boyutlarının belirlenmesinin ardından Türk Ytong Pendik fabrikasında numunelerin imalat ve temini işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler, ilgili standartta belirtildiği gibi farklı paletlerden seçilmiş ve seçilen bloğun yükselme yönüne göre ilk, orta ve son

üçte birlik bölümünden birer adet numune (Şekil 4.1’de gösterildiği gibi) alınmıştır. Şekil 4.1’de “1” ile işaretlenmiş yön; gazbetonun üretim aşamasında, karışımın kalıba döküldükten sonra yükselme yönünü belirtmektedir. Karşılaşılabilecek sorunlara karşı önlem amaçlı olarak alınan yedek numunelerle birlikte altı adet G3 ve altı adet G4 numunesi temin edilmiştir.

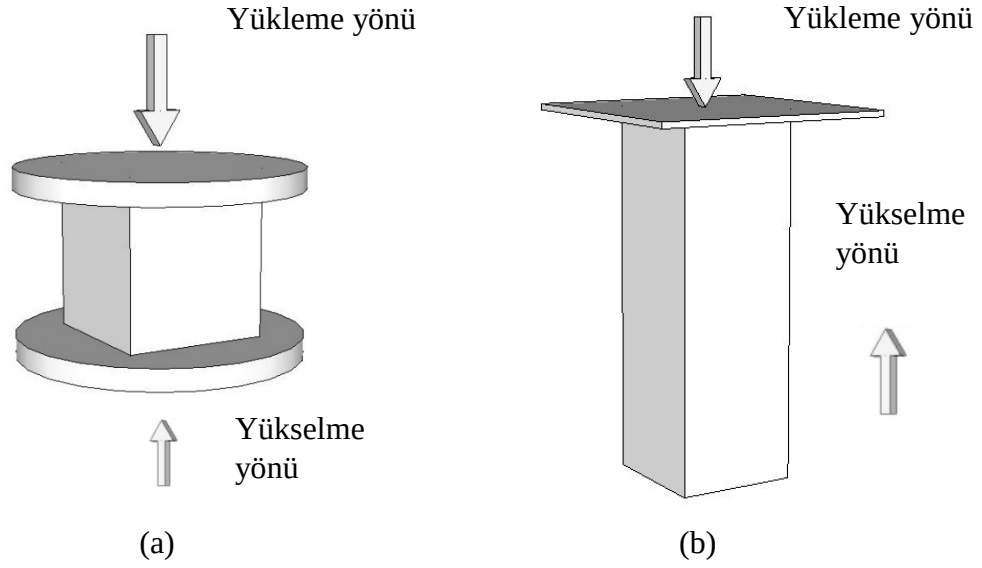
Numunelerin teminleri işlemlerinin ardından numunelere deney sırasında yük dağılımını iyileştirmek adına yüzey düzeltme işlemi uygulanmıştır. Basınçlı hava ile yüzeyindeki pürüzlerden arındırılıp yüzey düzeltme işlemleri tamamlanan numuneler ilgili standartta belirtilen nem – kütle oranı $\% (6 \pm 2)$ olana kadar $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’yi aşmayan ortamda şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler beklenen nem oranına ulaştıktan sonra nem değişimini engellemek için en az iki saat $(20 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Gazbeton basınç dayanım tayini deneyleri sadece küp numuneler üzerinde değil, ayrıca “4.4 Gazbeton elastisite modülünün tayini” başlığı altında tarif edilmiş olan $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ boyutlarındaki numunelerin üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Küp ve dikdörtgen prizma numuneler üzerinde uygulanan gazbeton basınç dayanım tayini deneylerinin şematik gösterimi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Şartlandırma işlemleri tamamlanmış numunelere yük, yüzeyi temizlenmiş hidrolik yük veren ile numuneye eksenel ve gazbeton yükselme yönüne göre dik uygulanmıştır. Numuneler kırılma anına kadar adım adım, ani yükleme olmaksızın ve $(0.1 \pm 0.05)\text{ MPa / sn}$ sabit gerilme artışıyla yüklenmiştir. Basınç dayanım testinde 3000 kN kapasiteli, “Besmak tek pistonlu basma ve eğilme test makinası” kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Basınç dayanım tayini deneyinde kullanılacak numunelerin alındığı bölgeler.



Şekil 4.2: (a) 100 mm kenar uzunluklu küp ve (b) 100 mm x 100 mm x 300 mm kenar uzunluklu prizma numunelere uygulanan basınç dayanımı tayini deneyi şematik gösterimi.

Yapılan deneylerin sonunda numunelerin kırıldığı yük değerlerinin yüzey alanlarına oranlanmasıyla gazbeton basınç dayanımları (f_{ci}) hesaplanmış (Denklem 4.2) ve bu değerlerin aritmetik ortalaması ayrı ayrı alınarak G3 ve G4 sınıfı gazbetonların basınç dayanımları hesaplanmıştır (Denklem 4.3).

$$f_{ci} = \frac{F_i}{A_{ci}} \quad i = 1,2,3 \quad (4.2)$$

$$f_c = \frac{(f_{c1} + f_{c2} + f_{c3})}{3} \quad (4.3)$$

Bu denklemlerde, f_{ci} gazbeton numunenin basınç dayanımı, F_i dayanıma ulaşıldığı andaki yük, A_{ci} : yükün uygulandığı yüzeyin alanıdır. Gazbeton basınç dayanım tayini deney düzeneği Şekil 4.3'te gösterilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılan testlere ait gazbeton basınç dayanımları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

100 mm kenar uzunluklu gazbeton numunelerin basınç dayanımı deneyleri sonunda numuneler Şekil 4.4'deki gibi hasar almıştır. Türk Ytong Pendik tesislerindeki laboratuvarıda eş zamanlı olarak yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.2'de, yük – zaman grafikleri Şekil 4.5'te belirtilmiştir. İki laboratuvarıda da deneyler aynı teknik ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3: Gazbeton basınç dayanım tayini deney düzeneği.

Tablo 4.1a: G3 numunelerin basınç dayanımları.

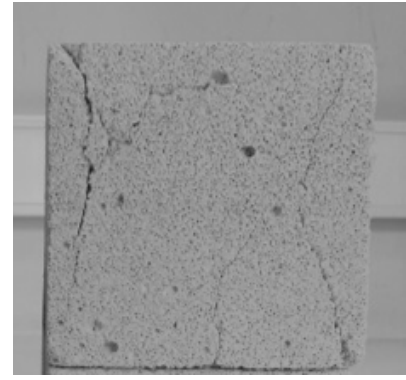
Numune Kodu	Kesit Boyutları	Kırılma Yüğü	Basınç Dayanımı
	(mm x mm)	(kN)	(MPa)
G3-05-B1-3	100.1 x 100.8	44.1	4.37
G3-05-B2-1	100.6 x 101.2	45.2	4.44
G3-05-B2-2	101.4 x 101.3	40.3	3.92
G3-05-B2-3	101.6 x 101.5	40.0	3.88
Ortalama			4.15
Standart sapma			0.29

Tablo 4.1b: G4 numunelerin basınç dayanımları.

Numune Kodu	Kesit Boyutları	Kırılma Yüğü	Basınç Dayanımı
	(mm x mm)	(kN)	(MPa)
G4-06-B1-1	101.9 x 101.8	52.9	5.10
G4-06-B1-2	101.4 x 101.4	54.1	5.26
G4-06-B1-3	100.9 x 101.6	58.3	5.69
G4-06-B2-1	101.3 x 100.7	57.7	5.66
Ortalama			5.43
Standart sapma			0.29



(a)



(b)

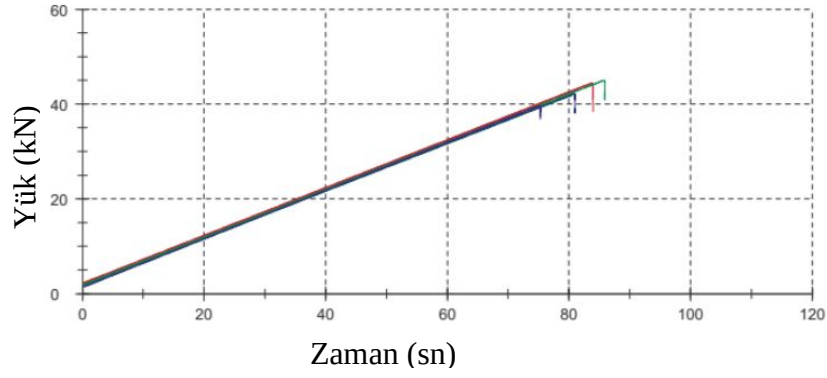
Şekil 4.4: Basınç dayanım deneyi sonrası (a) G3 ve (b) G4 numunelerin durumu.

Tablo 4.2a: Türk Ytong bünyesinde yapılan deneyler ile G3 sınıfı gazbeton numuneleri için elde edilen basınç dayanımları.

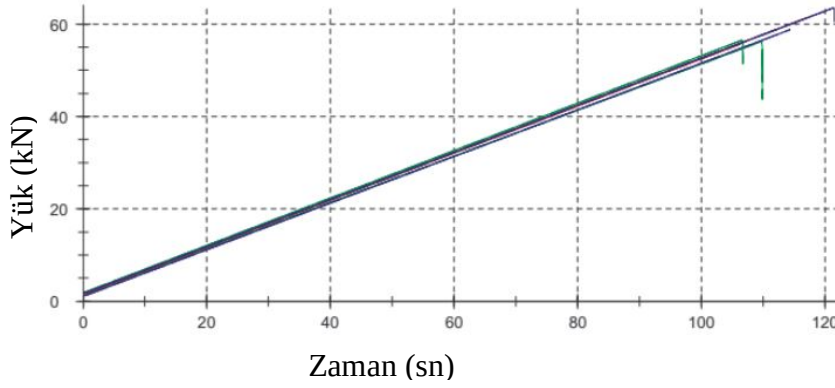
No.	F_{max} (kN)	a_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1.1	44.4	100.3	100.5	10080.15	4.40
1.2	41.9	100.2	100.1	10030.02	4.17
1.3	42.1	100.2	100.1	10030.02	4.20
2.1	43.9	101.2	100.4	10160.48	4.32
2.2	45	100.6	100.6	10120.36	4.44
2.3	39.5	101	101	10201.00	3.88
Ortalama					4.24
Standart sapma					0.20

Tablo 4.2b: Türk Ytong bünyesinde yapılan deneyler ile G4 sınıfı gazbeton numuneleri için elde edilen basınç dayanımları.

No.	F_{max} (kN)	a_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1.1	61.9	101	101	10201.00	6.07
1.2	56.2	101	101	10201.00	5.56
1.3	58.8	101	101	10201.00	5.76
2.1	55.6	101	101	10201.00	5.45
2.2	56.4	101	101.9	10201.70	5.50
2.3	63.5	101	101	10201.00	6.23
Ortalama					5.76
Standart sapma					0.32



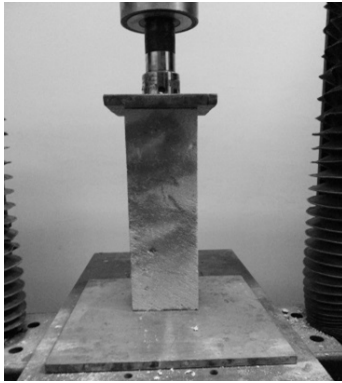
(a)



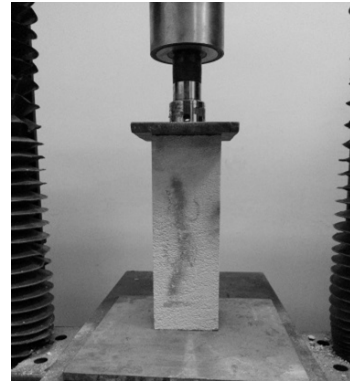
(b)

Şekil 4.5: Türk Ytong bünyesinde yapılan basınç dayanım tayini deneyi sonucu (a) G3 ve (b) G4 sınıfı numunelerin yük – zaman grafikleri.

Ayrıca, gazbeton malzemenin elastisite modüllerinin tayini amacıyla üçer adet G3 ve G4 malzemeden üretilmiş 100 mm x 100 mm x 300 mm boyutlarındaki numune basınç dayanımlarına ulaşana kadar test edilmiştir (Şekil 4.6). Bu numunelerin deney sonunda aldıkları hasar Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.3’te gösterilmiştir. 300 mm uzunluğuna sahip gazbeton numunelerin elastisite modülleri hesaplanmamıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.6: (a) 100 mm x 100 mm x 300 mm boyutlu G3 sınıfı ve (b) G4 sınıfı numunelerin basınç dayanımlarının tayini.



(a)



(b)

Şekil 4.7: (a) 100x100x300 mm boyutlarındaki G3 ve (b) G4 sınıfı numunelerin basınç tayini deneylerinin ardından aldıkları durum.

Tablo 4.3a : 100 x 100 x 300 mm boyutlu G3 gazbeton numunelerin basınç dayanımları.

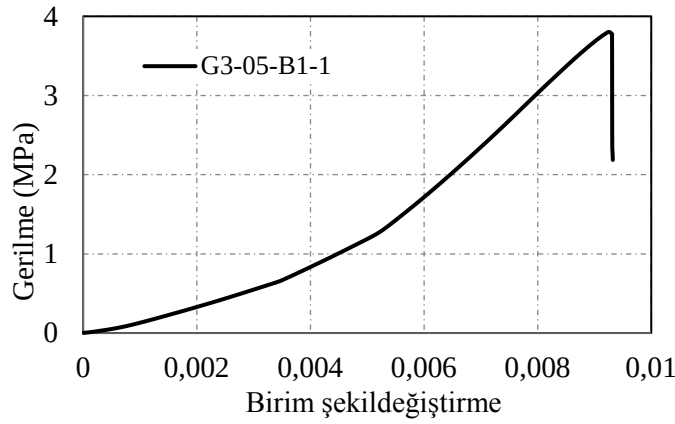
Numune Kodu	Kesit Boyutları	Basınç Dayanımı
	(mmxmm)	(MPa)
G3-05-B1-1	102.5x99.6	3.80
G3-05-B1-2	100.8x102.7	3.68
G3-05-B1-3	101.0x100.1	4.05
Ortalama		3.84

Tablo 4.3b: 100 x 100 x 300 mm boyutlu G4 gazbeton numunelerin basınç dayanımları.

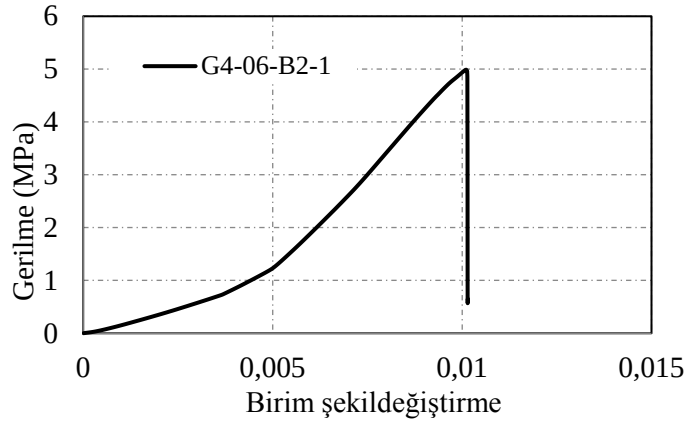
Numune Kodu	Kesit Boyutları	Basınç Dayanımı
	(mmxmm)	(MPa)
G4-06-B2-1	101.8x101.1	4.99
G4-06-B2-2	100.8x99.9	5.19
G4-06-B2-3	101.5x101.7	5.03
Ortalama		5.07

İTÜ ve Türk Ytong Pendik fabrikasında eş zamanlı yapılan deneyler sonucunda benzer sonuçlar ile karşılaşılmıştır. Her iki lokasyonda yapılan deneylerde de donatısız gazbeton numuneler benzer yük değerlerine ulaşınca göçme gerçekleşmiştir.

Basınç dayanımları hesaplanan 300 mm uzunluklu gazbeton numunelerin gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu grafiklerde verilen şekil değiştirmeler yükleme cihazının pistonunun hareketinden alınmış olduğu için numunenin boy kısalmasını gerçekçi olarak temsil etmediği not edilmelidir. Basınç dayanımları hesaplanmış diğer numunelerin deney sonucu grafikleri ekler bölümünde verilmiştir.



(a)



(b)

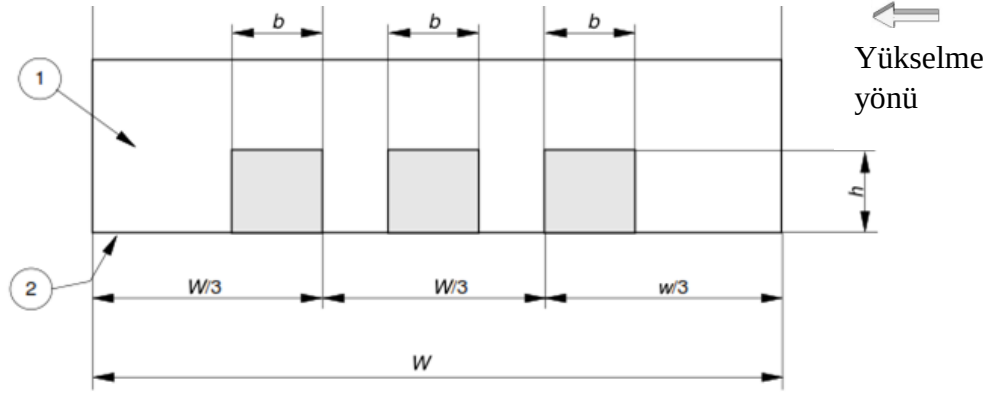
Şekil 4.8: (a) G3-05-B1-1 ve (b) G4-06-B2-1 numunelerinin basınç – birim şekil değiştirme grafikleri.

4.3. Gazbeton Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini

Malzeme deneyleri kapsamında yapılan deneylerden bir diğeri de gazbetonun eğilmede çekme dayanımının belirlenmesidir. Bu deneyler Tablo 1.1’de belirtilmiş

ilgili standarda uyularak yapılmıştır. İlgili standardın incelenmesi ile deneyde kullanılacak numunelerin özellikleri, şartlandırma koşulları, numunelere deney sırasında uygulanacak yükün nasıl ve ne hızda yükleneceği saptanmıştır.

G3 ve G4 gazbeton sınıflarının eğilmede çekme dayanımları ilgili yönetmeliklerle uyumlu olarak 50 mm x 50 mm x 200 mm boyutlarında dikdörtgen prizma numuneler ile belirlenmiştir. Deneyler, G3 ve G4 sınıfı donatı bulundurmayan gazbeton numunelere uygulanmış ve her iki sınıfın eğilmede çekme dayanımları hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılacak numuneler standartta belirtildiği gibi, Türk Ytong Pendik fabrikası bünyesinde, farklı paletlerden seçilerek ve gazbeton yükselme yönüne dikkat edilerek alınan bloğun ilk, orta ve son üçte birlik bölümünden birer adet olmak üzere Şekil 4.9'daki gibi temin edilmiştir. Bu şekilde, b numune genişliği (50 mm), h numune yüksekliği (50 mm) ve W gazbeton blok genişliğidir.



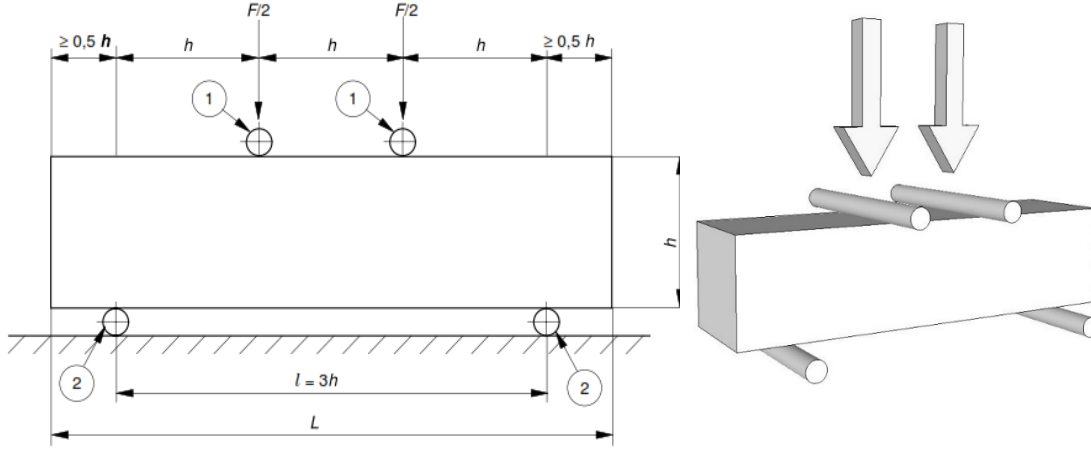
Şekil 4.9: Gazbeton numunelerin temin edilme bölgeleri.

Numuneler farklı üretim paletlerinden gazbeton üretiminden iki gün sonra alınmış ve numuneler üzerine gazbeton yükselme yönleri işaretlenmiştir. Alınan numunelerin uzun eksenlerinin gazbeton yükselme yönüne dik olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 4.9).

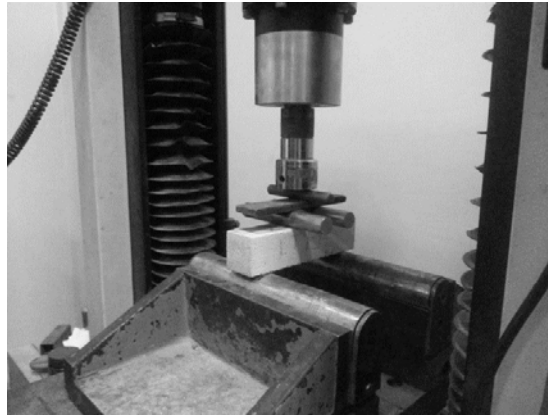
Numunelerin temin edilmesinin ardından deney şartlarına uygun hale getirmek için numunelerin yüzeyleri düzeltilmiş ve şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Standardın getirdiği kütlece nem oranı % (6 ± 2) şartı sağlanana kadar numuneler 60 °C'yi aşmayan ortamda bekletilmiştir.

Numuneler beklenen nem – kütle oranına ulaştıktan sonra nem değişimini engellemek için en az iki saat (20 ± 5) °C laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Numunelerin deney şartlarına uygun hale getirilmelerinin ardından deney yapılmıştır. G3 ve G4 sınıfı gazbeton numunelere 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır (Şekil 4.10, h: numune

yüksekliği=50 mm, L: numune uzunluğu=200 mm). Deneylerde, numuneleri dayanıma ulaştıracak yükün yaklaşık yarısına kadar yük, yüksek hızla (ani yükleme olmadan) verilmiştir. Bu yük değerine ulaştıktan sonra ise 20 N/sn sabit yükleme hızı kullanılmıştır. Deneyde "Instron 1195" isimli hidrolik yük veren kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.10: Eğilmede çekme dayanımı tayini deney düzeneği şematik gösterimi.



Şekil 4.11: Eğilmede çekme dayanımı tayini deney düzeneği.

Yükleme çubukları (1) ve (2) mesnetleri 15 mm çaplı çelik dolu silindirlere ve numune genişliğinden en az 10 mm uzun seçilmiştir (150 mm). Deney sonunda G3 ve G4 sınıfı numunelerin eğilmede çekme dayanımları Denklem 4.4 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde, f_{cf} eğilme dayanımı, F maksimum yük, l açıklık, b ve h numune en kesit boyutlarıdır.

$$f_{cf} = \frac{Fl}{bh^2} \quad (4.4)$$

Numuneler için elde edilen dayanımların ortalamasından da G3 ve G4 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımlarına ulaşılmıştır. Deneylerin sonucunda numuneler Şekil 4.12'deki gibi kırılmıştır. Yapılan deneylerin ardından hesaplanan G3

ve G4 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları Tablo 4.4'te, her iki gazbeton sınıfından birer numuneye ait yük – sehim grafikleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Diğer numunelere ait yük – sehim grafikleri ekler bölümünde verilmiştir. Türk Ytong Pendik fabrikasında İTÜ ile eş zamanlı yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.5'te, yük – zaman grafikleri Şekil 4.14'te belirtilmiştir.



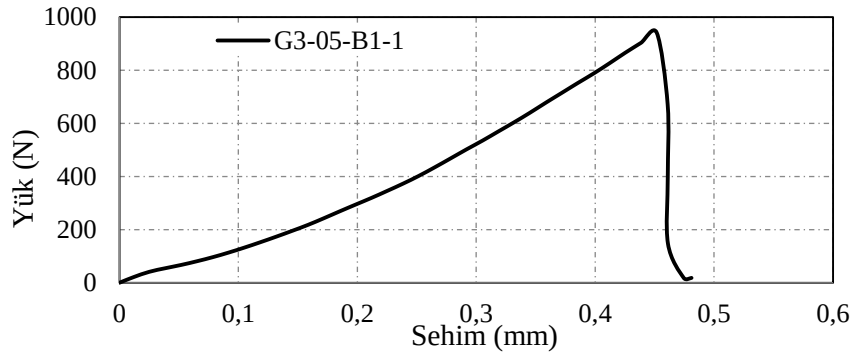
Şekil 4.12: Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonrası (a) G3 ve (b) G4 numunelerin durumu.

Tablo 4.4a: G3 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları.

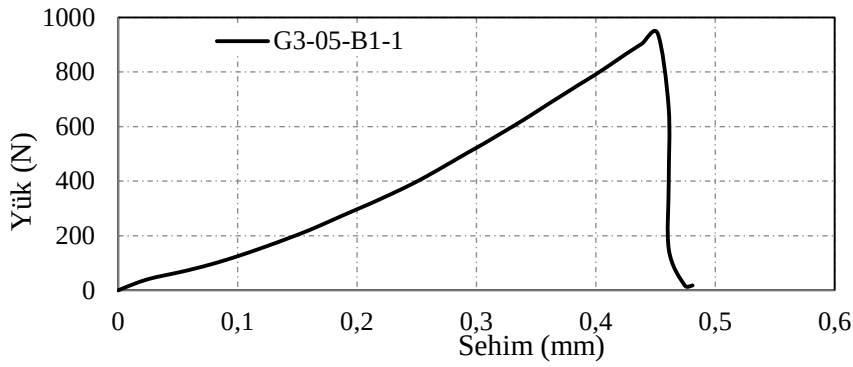
Numune Kodu	Eğilme Dayanımı
	(MPa)
G3-05-B1-1	1.04
G3-05-B1-2	1.02
G3-05-B1-3	1.03
G3-05-B2-1	1.02
G3-05-B2-2	1.08
G3-05-B2-3	1.13
Ortalama	1.05
Standart sapma	0.04

Tablo 4.4b: G4 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları.

Numune Kodu	Eğilme Dayanımı
	(MPa)
G4-06-B1-3	1.22
G4-06-B2-1	1.62
G4-06-B2-2	1.56
G4-06-B2-3	1.37
Ortalama	1.44
Standart sapma	0.18

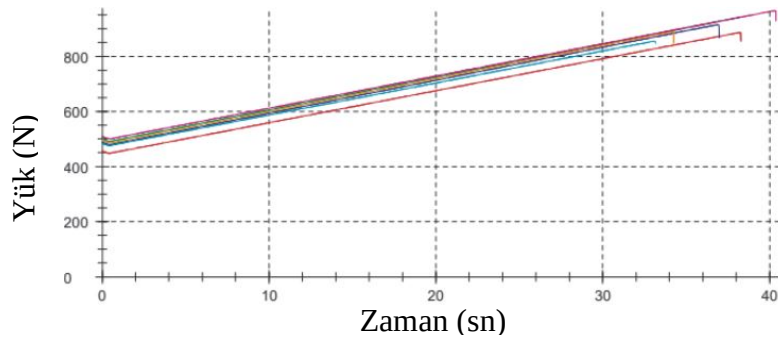


(a)

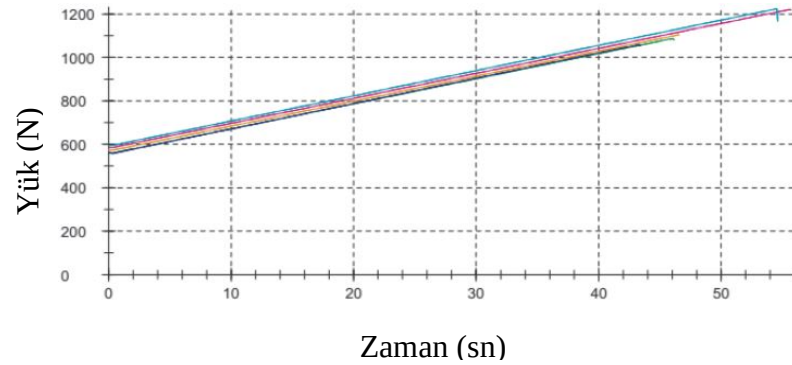


(b)

Şekil 4.13: (a) G3-05-B1-1 ve (b) G4-06-B1-1 numuneleri yük – sehim grafikleri.



(a)



(b)

Şekil 4.14: Türk Ytong Pendik fabrikasında yapılmış eğilmede çekme dayanımı deneyleri sonucu (a) G3 ve (b) G4 yük – zaman grafikleri.

Tablo 4.5a: Türk Ytong Pendik fabrikasında yapılan G3 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları.

No.	F _m (N)	h (mm)	b (mm)	L (mm)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
1	887	50.8	51.3	150	1.02
2	941	51.5	50.6	150	1.05
3	916	51.5	50.6	150	1.02
4	889	50.8	50.3	150	1.03
5	966	50.7	51.2	150	1.10
6	855	50.4	51.5	150	0.98
Ortalama					1.03

Tablo 4.5b: Türk Ytong Pendik fabrikasında yapılan G4 sınıfı gazbeton numunelerin eğilmede çekme dayanımları.

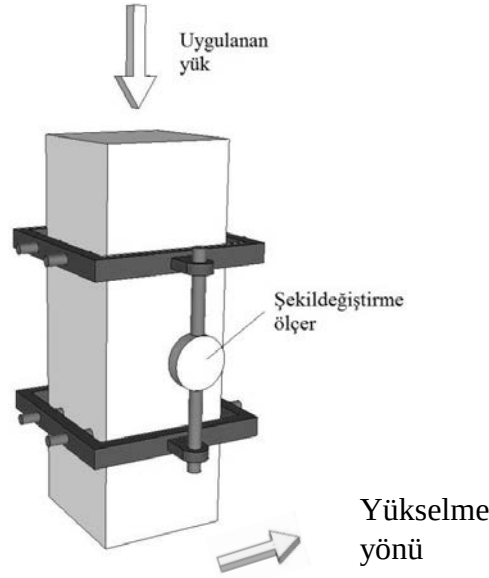
No.	F _m (N)	h (mm)	b (mm)	L (mm)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
2	1090	50.7	50.6	150	1.25
3	1060	50.9	50.8	150	1.21
4	1100	50.5	50.8	150	1.28
5	1220	50.6	50.8	150	1.41
6	1230	50.7	50.9	150	1.40
Ortalama					1.31

4.4. Gazbeton Elastisite Modülünün Tayini

Gazbeton malzemesinin elastisite modülünün belirlenmesi için Tablo 1.1’de elastisite modülü tayinine yönelik belirtilmiş olan standarttan yararlanılmıştır. İlgili standardın incelenmesi sonucu deney kapsamında kullanılacak numunelerin boyutları, nasıl temin edilecekleri ve saklanacakları, deneyin hangi şartlar altında yapılacağı gibi bilgiler elde edilmiştir.

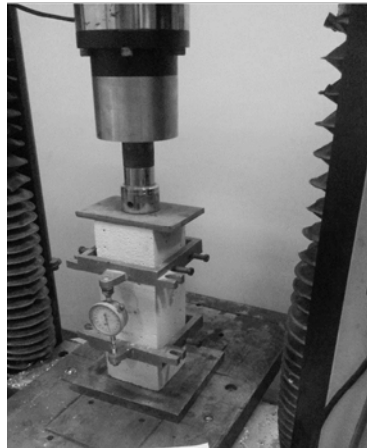
Deneyler, G3 ve G4 sınıfı gazbeton numuneler üzerinde yapılmış ve her iki sınıfın elastisite modülleri ayrı ayrı saptanmıştır. Deneyler için iki sınıf malzemeden de 100 mm x 100 mm x 300 mm boyutlarında üç tanesi yedek olmak üzere altışar numune kullanılmıştır. Deneyde kullanılan numunelerde donatı bulunmamaktadır. Numuneler ilgili standartta belirtildiği gibi farklı üretim panellerinden seçilmiş ve ilk, orta ve son üçte birlik bölümlerinden birer tane olmak üzere seçilmiştir.

Üretimden iki gün sonra temin edilen numunelerin üzerine yükleme yönünün belirlenmesi için yükselme yönleri işaretlenmiş ve numunelerin uzun eksenlerinin gazbeton yükselme yönüne dik olmasına dikkat edilmiştir. Gazbeton numuneler yüzey düzeltme işlemlerinin ardından nem – kütle oranı $\% (6 \pm 2)$ olana kadar $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi aşmayan laboratuvar ortamında şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Şartlandırma işleminin ardından numuneler nem oranlarının değişimini engellemek için 24 saat $(20 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Gazbeton numunelerin elastisite modüllerinin hesaplanması deneyinin şematik gösterimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Gazbeton numunelerin elastisite modülünün tayini deneyi şematik gösterimi.

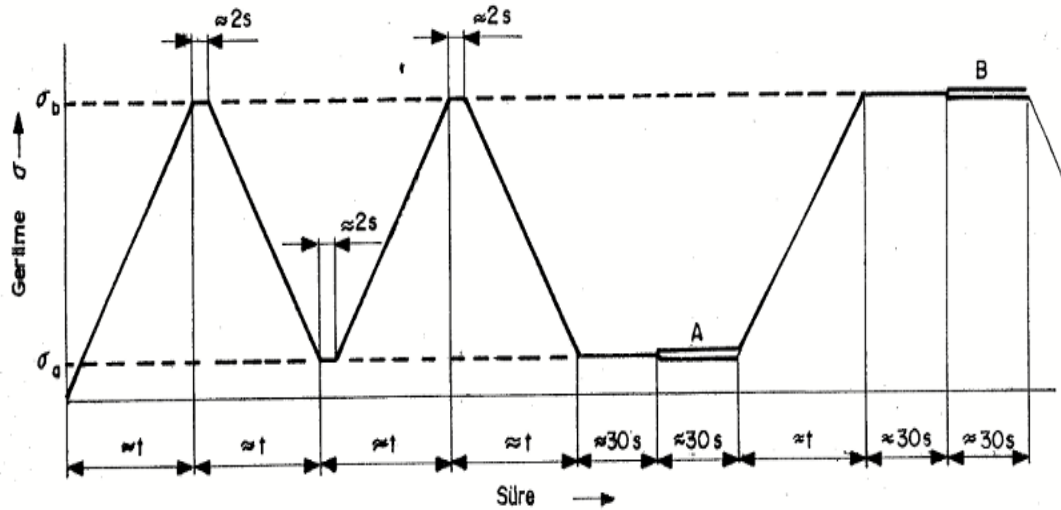
Daha sonra, deney şartlarını sağlayan numunelerde deneylere başlanmıştır. Gazbeton numuneler üzerine yük, yüzeyi temizlenmiş makine ile eksenel olarak yükselme yönüne dik Şekil 4.16'daki gibi uygulanmıştır.



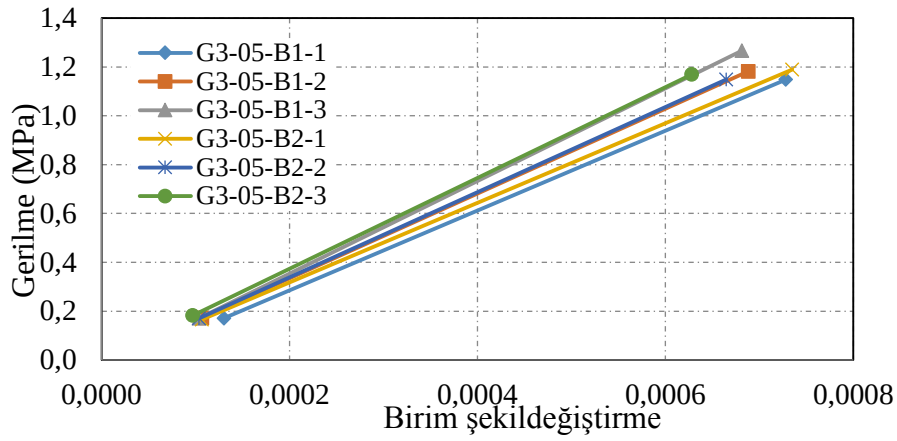
Şekil 4.16: Gazbeton elastisite modülünün tayini deneyi.

Numuneler kırılma anına kadar adım adım ani yükleme olmaksızın ve (0.1 ± 0.05) MPa/sn sabit gerilme artışıyla yüklenmiştir. Deney sonunda ilgili standardın tanımladığı şekilde gerilmelerin-şekildeğiştirmeler ile oranına bakılarak numunelerin elastisite modülleri tayin edilmiştir. Bu tarife göre elastisite modülleri numunelerin basınç dayanımlarının %5 (σ_a) ile üçte biri (σ_b) gerilmeleri arasında üç çevrim yapılması ve numunenin 30 saniye %5 gerilme seviyesinde tutulmasından (σ_a) sonra bu gerilme seviyesinde şekildeğiştirme okunması (ε_a) ve tekrardan σ_b gerilme seviyesine çıkarılması ve bu noktadan şekildeğiştirme değeri okunması ile (ε_b) belirlenmektedir (Denklem 4.5), (Şekil 4.17). Bu denklem ve grafikte; E_c elastisite modülünü (N/mm^2), σ_a son yükleme kademesindeki üst deney gerilmesini (N/mm^2), σ_b son yükleme kademesinden önceki esas deney gerilmesini (N/mm^2), ε_b son yükleme kademesinde σ_b üst deney gerilmesi altındaki ortalama şekildeğiştirme, ε_a son yükleme kademesinden önce esas deney gerilmesi σ_a altındaki ortalama şekildeğiştirme, A esas deney gerilmesi σ_a ve karşı gelen şekildeğiştirme ε_a 'nın okunması ve kayıt edilmesini, B üst deney gerilmesi σ_b ve karşı gelen şekildeğiştirme ε_b 'nin okunması ve kayıt edilmesini ve t ise yükleme ve boşaltma süresini (BS EN 679 veya BS EN 1354'e uygun olarak) belirtmektedir. Deneyler sonucu hesaplanan G3 ve G4 sınıfı gazbeton numunelerin elastisite modülleri Tablo 4.6'da, ilgili gerilme seviyeleri arasındaki gerilme – birim şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 4.18'de verilmiştir.

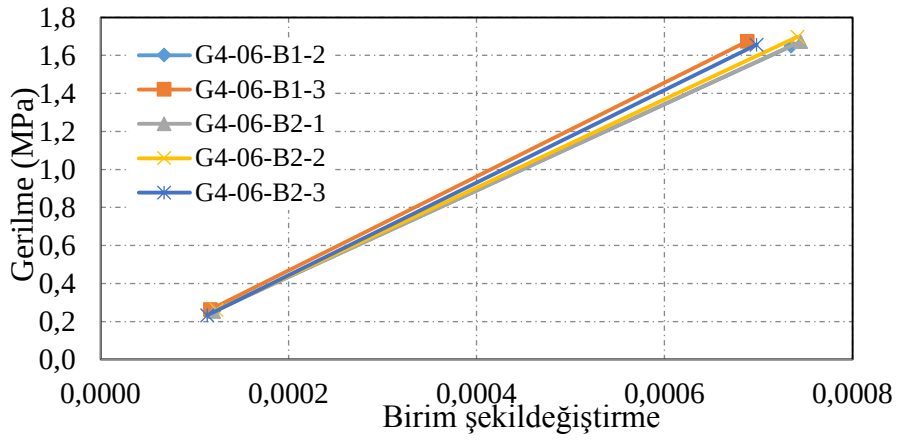
$$E_c = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \quad (4.5)$$



Şekil 4.17: Statik elastisite modülü tayini için yükleme şeması.



(a)



(b)

Şekil 4.18: (a) G3 ve (b) G4 numuneleri gerilme – birim şekil değiştirme ilişkileri.

Tablo 4.6a: G3 sınıfı gazbeton numunelerin elastisite modülleri.

Numune Kodu	Kesit	Yük	Gerilme	Birim	Elastisite
	Boyutları				
	(mm)	(kN)	(MPa)		(MPa)
G3-05-B1-1	102.5x99.6	1.75	0.171	0.00013026	1633
		11.72	1.148	0.00072812	
G3-05-B1-2	100.8x102.7	1.79	0.173	0.00010688	1736
		12.23	1.182	0.00068804	
G3-05-B1-3	101.0x100.1	1.73	0.171	0.00010354	1896
		12.80	1.266	0.00068136	
G3-05-B2-1	100.9x101.7	1.71	0.166	0.00010688	1629
		12.20	1.189	0.00073480	
G3-05-B2-2	103.0x100.8	1.77	0.170	0.00010354	1743
		11.92	1.148	0.00066466	
G3-05-B2-3	100.9x100.9	1.85	0.182	0.00009686	1858
		11.90	1.169	0.00062792	
Ortalama					1749
Standart sapma					111

Tablo 4.6b: G4 sınıfı gazbeton numunelerin elastisite modülleri.

Numune Kodu	Kesit Boyutları	Yük (kN)	Gerilme (Mpa)	Birim Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
	(mm)				(MPa)
G4-06-B1-2	100.6x101.3	2.59	0.254	0.00012024	2268
		16.80	1.649	0.00073480	
G4-06-B1-3	101.5x100.7	2.69	0.263	0.00011690	2470
		17.11	1.674	0.00068804	
G4-06-B2-1	101.8x101.1	2.60	0.253	0.00012024	2274
		17.22	1.673	0.00074482	
G4-06-B2-2	100.8x99.9	2.63	0.261	0.00012358	2325
		17.10	1.698	0.00074148	
G4-06-B2-3	101.5x101.7	2.40	0.233	0.00011356	2436
		17.10	1.657	0.00069806	
Ortalama					2354
Standart sapma					93

Elastisite modüllerinin hesaplanmasının ardından aynı gazbeton numunelerin basınç dayanımları hesaplanmıştır. İlgili değerler “Gazbeton basınç dayanım tayini” başlığı altında verilmiştir.

4.5. Donatı Çekme Deneyleri

Gazbeton panel ve bağlantı imalatlarında kullanılan çelik donatılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla toplamda 12 adet çelik çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 4.21). Yapılan deneyler ile donatıların elastisite modülleri, kopma uzama oranları, akma ve çekme dayanımları ile gerilme – şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Farklı çaplardaki donatıların deney sonuçları Tablo 4.7’de ve bu çaplardan birer donatıya ait gerilme–şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 4.19’da verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, sırasıyla 3.8, 5.5 ve 6 mm çaplı, S420 sınıfı donatılarda ortalama olarak 719, 721 ve 712 MPa akma dayanımı ve 811, 767 ve 751 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, duvar panellerinin birleşimi sırasında kullanılan S420 sınıfı 10 mm çapındaki donatıların deney sonuçları Tablo 4.8’de ve bu sınıftan bir donatıya ait gerilme–şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.20’de verilmiştir. Donatı çekme deneyi uygulanmış diğer numunelerin gerilme–şekildeğiştirme ilişkileri ekler bölümünde verilmiştir.

Tablo 4.7a: 3.8 mm çaplı donatıların deney sonuçları.

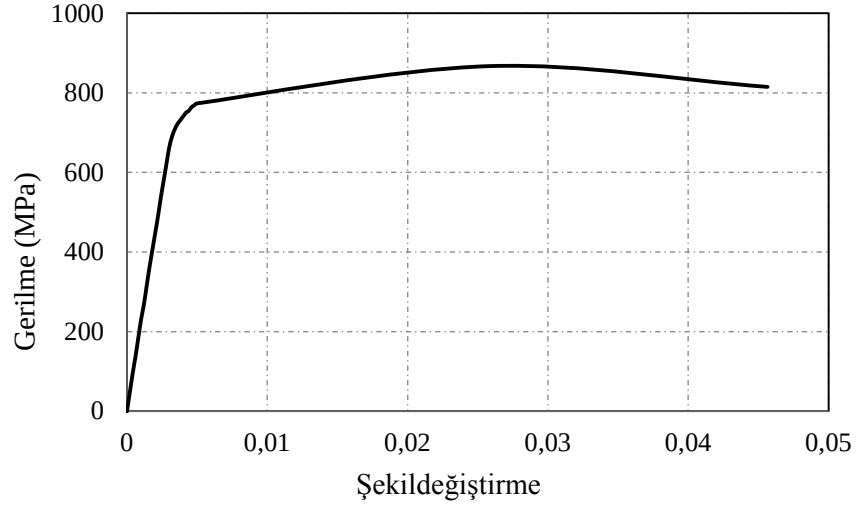
	Donatı çapı	Anma çapı	Elastisite modülü	Kopma uzama oranı	Akma gerilmesi	Çekme dayanımı
	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
	3.65	3.5	219471	4.2	770	867
	3.78	3.5	208211	5.0	702	800
	3.85	3.5	205114	5.0	685	767
Ortalama	3.76		210932	4.7	719	811.3
Standart sapma	0.10		7555	0.5	44.9	50.9

Tablo 4.7b: 5.5 mm çaplı donatıların deney sonuçları.

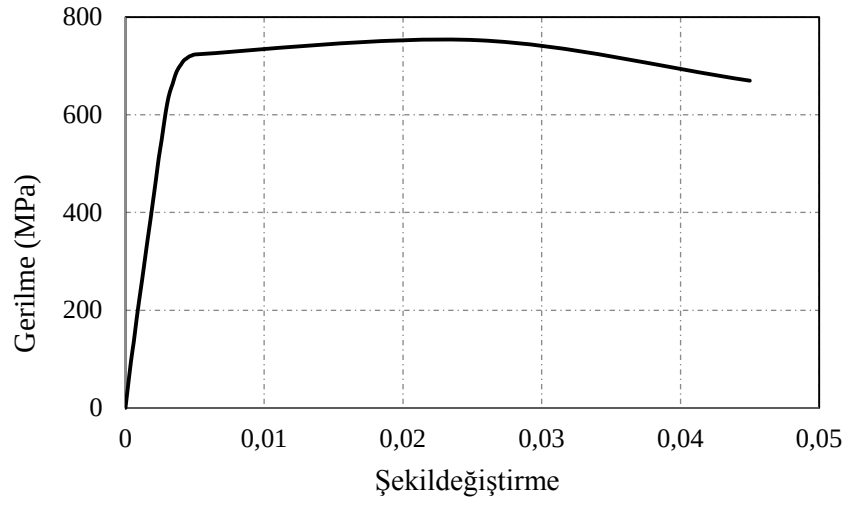
	Donatı çapı	Anma çapı	Elastisite modülü	Kopma uzama oranı	Akma gerilmesi	Çekme dayanımı
	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
	5.48	5.5	206830	4.2	720	753
	5.48	5.5	201977	5.3	728	784
	5.47	5.5	219683	3.1	715	766
Ortalama	5.48		209496	4.2	721	767.7
Standart sapma	0.01		9149	1.1	6.6	15.6

Tablo 4.7c: 6 mm çaplı donatıların deney sonuçları.

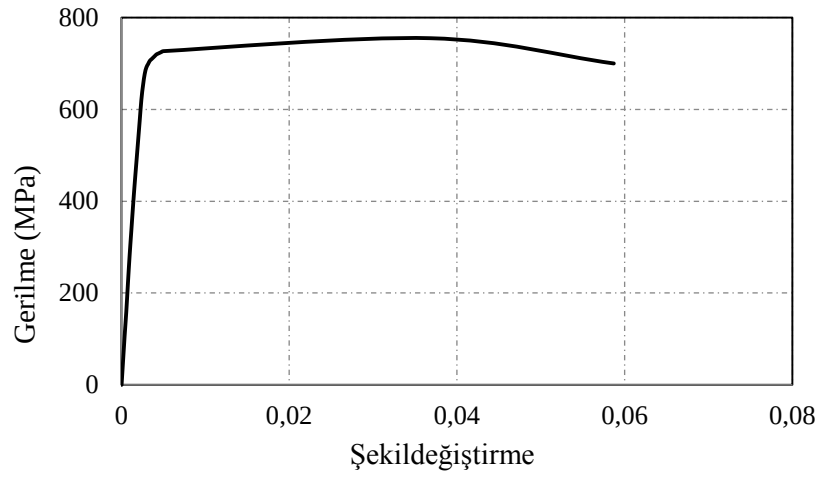
	Donatı çapı	Anma çapı	Elastisite modülü	Kopma uzama oranı	Akma gerilmesi	Çekme dayanımı
	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
	5.95	6	210138	5.3	703	755
	5.95	6	240549	5.6	720	755
	5.97	6	215848	2.6	715	743
Ortalama	5.96		222178	4.5	712.7	751
Standart sapma	0.01		16163	1.65	8.7	6.9



(a)



(b)

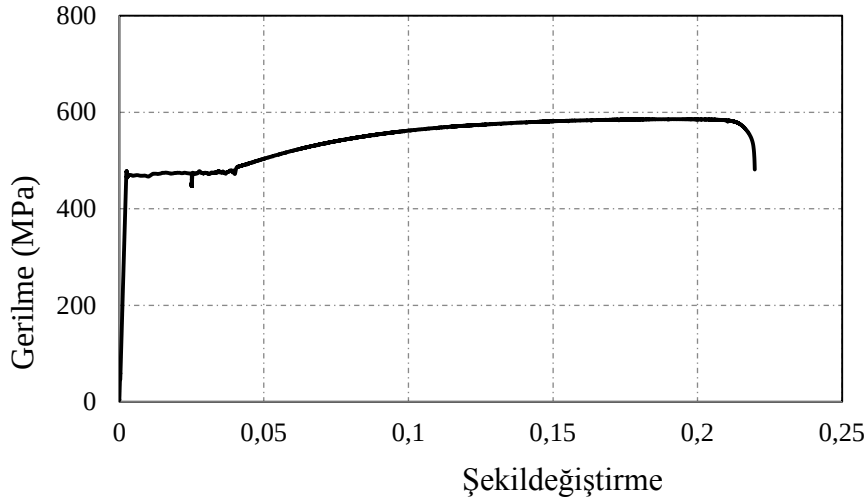


(c)

Şekil 4.19: (a) 3.8 mm, (b) 5.5 mm ve (c) 6 mm çaplı donatıların deney sonuçları.

Tablo 4.8: 10 mm çaplı donatıların deney sonuçları.

	Donatı çapı (mm)	Elastisite modülü (MPa)	Kopma uzama oranı (%)	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
	10	205510	22	467	586
	10	207045	18	507	605
	10	201556	21	461	586
Ortalama	5.96	222178	4.5	712.7	751
Standart sapma	0.01	16163	1.7	8.7	6.9



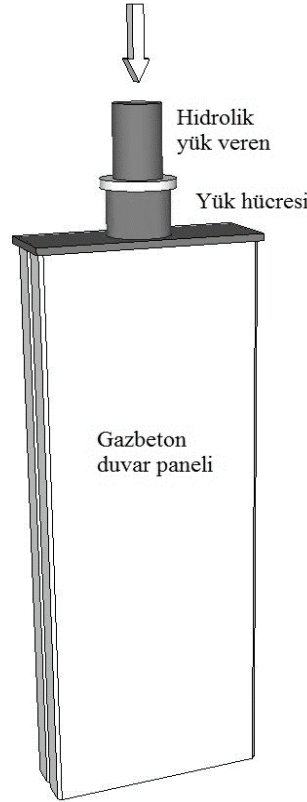
Şekil 4.20: 10 mm çaplı S420 donatı gerilme –şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil 4.21: Donatı çekme deneyi.

4.6. Gazbeton Duvar Basınç Deneyleri

Gazbeton panellerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan testlerden biri de duvar basınç testidir. Bu deney için Tablo 1.1’de ilgili standardın öngördüğü numune boyutları ve deney düzeneği temel alınmıştır. Duvar basınç deneyinin şematik gösterimi Şekil 4.22’de verilmiştir.

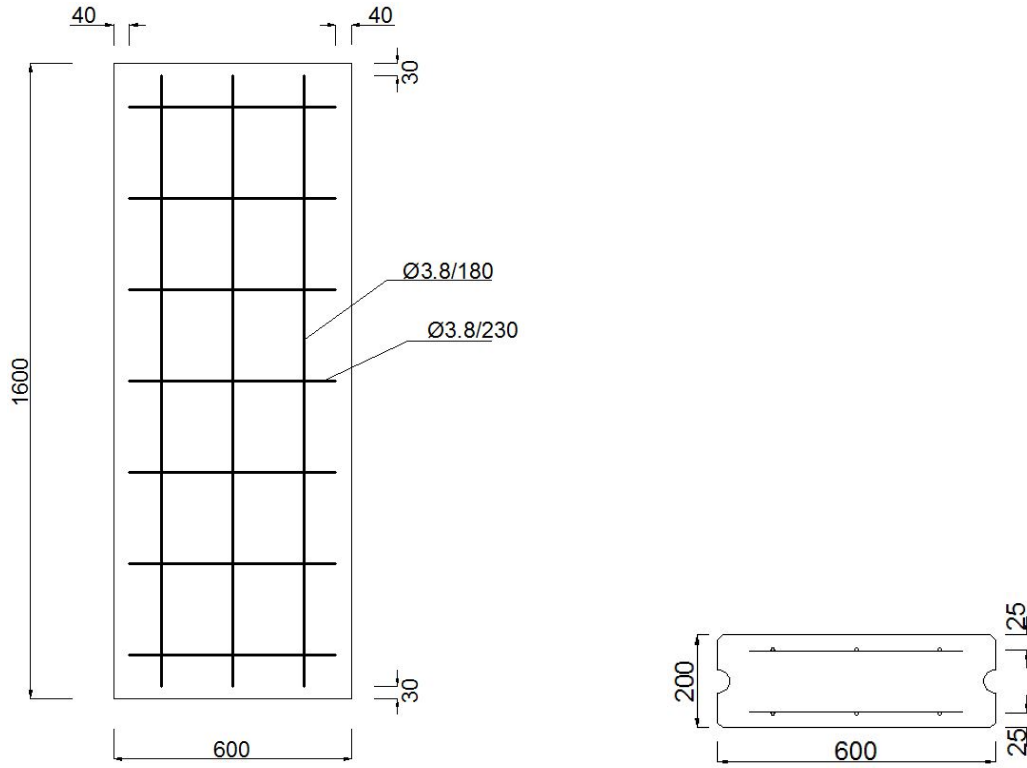


Şekil 4.22: Gazbeton duvar paneli basınç deneyi şematik gösterimi.

Deneyler üç adet G4 basınç sınıfına ait donatılı gazbeton duvar paneli üzerinde yapılmıştır. Deneylerde; ilgili standardın öngördüğü gibi 60 cm genişliğinde, 20 cm kalınlığında ve 160 cm yüksekliğinde gazbeton paneller kullanılmıştır. Panel yüksekliği tayin edilirken, panel yüksekliği kalınlığının 8 katı olarak seçilmiştir. Panellerde uzun doğrultuda $\Phi 3.8/180$ ve kısa doğrultuda $\Phi 3.8/230$ donatı bulunmaktadır. Panellerin donatı şeması Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

Deney öncesinde numuneler herhangi bir şartlandırma işlemine tabi tutulmamıştır. Deney sırasında numunelere, ilgili standarda uygun olarak, numunelerin beklenen taşıma kapasitelerinin 1/10’u kadar yük adım adım, ani yükleme olmaksızın uygulanmış, kapasiteye ulaştığı andaki yük değeri kaydedilmiştir (Şekil 4.24). Numuneler dayanımlarına ulaştıktan sonra ani dayanım kaybı yaşanmıştır. Genellikle

boyuna donatı hizalarında düşey çatlaklar görülmüştür. Panel basınç testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.9’da verilmiştir. Numunelerin deney sonrası görüntüsü Şekil 4.25’te verilmiştir.



Şekil 4.23: Duvar basınç deneyinde kullanılan panellerin donatı şeması.



Şekil 4.24: Donatılı panel duvar basınç deneyi düzeneği.

Tablo 4.9: Donatılı panel duvar basınç deneylerinin sonuçları.

Numune adı	Numune boyutları			Kesit alanı (mm ²)	Dayanıma ulaştığı yük (kN)	Panel basınç dayanımı (MPa)
	Yükseklik (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)			
PC-1	1600	60.3	20	117774	301	2.56
PC-2	1600	60.1	19.6	114580	288	2.51
PC-3	1600	60.2	20.1	118361	273	2.31
Ortalama					287	2.46
Standart sapma					14	0.13

Duvar basınç deneylerinden elde edilen ortalama basınç dayanımının (2.46 MPa) şartlandırılarak test edilen G4 sınıfı gazbeton küp numunelerin basınç dayanımlarına (5.43 MPa) göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun boyut etkisi, şartlandırma farklılıkları ve duvar panelinde bulunan donatılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. TS-EN 772-1 standardının mevcut numune boyutları için tanımladığı dayanım azaltma katsayısı 0.8'dir. Şartlandırma işleminin etkisini için daha önceden yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen ve Şekil 2.9 ile Tablo 2.1'de belirtilmiş olan dayanım azaltma katsayısı da 0.8 mertebesinde (Hu ve diğ, 1997). TS EN 772-1 ve Şekil 2.9'da belirtilmiş 0.8 değerindeki dayanım azaltma katsayısının etkisi ile gazbeton duvar panellerinin, bloklara göre düşük basınç dayanım değerine sahip olması açıklanmaktadır. Nem – kütle oranı % 6 ± 2 aralığında olan PSI kaynaklı gazbeton numunelerin basınç dayanımının 6 MPa değerinden 4 MPa değerine düştüğü Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 4.25: Duvar basınç deneyi sonrasında numunenin görüntüsü.

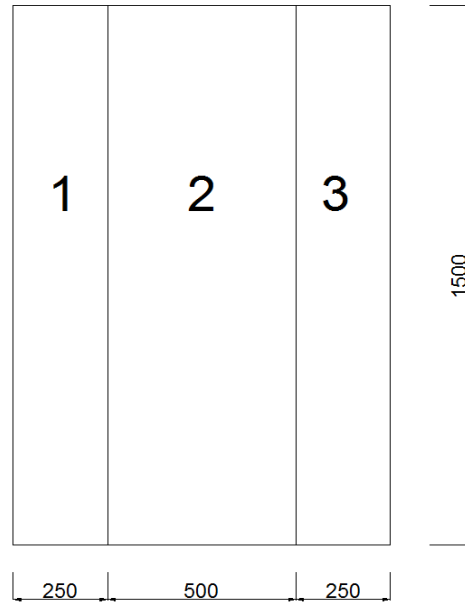
4.7. Gazbeton Başlangıç Kayma Dayanımının Tayini

Gazbeton paneller üzerine yapılan deneylerden bir diğeri de başlangıç kayma dayanımının tayini deneyidir. Başlangıç kayma dayanımının tayini deneyleri için Tablo 1.1’de başlangıç kayma dayanımının belirlenmesi ile ilgili olarak belirtilmiş standart incelenmiş ve bu standardın öngördüğü deney tiplerinden birisi seçilerek yapılmıştır.

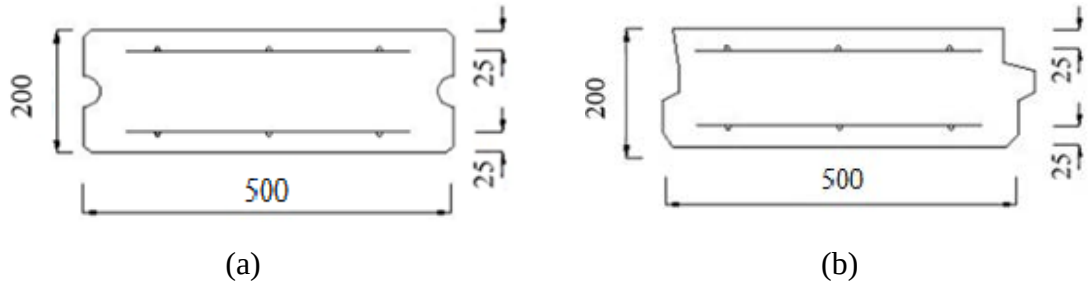
İlgili standarttan alınan bilgilere göre deneylerde kullanılacak olan gazbeton panellerin dayanım sınıfları, boyutları, deney düzeneği belirlenmiştir. Başlangıç kayma dayanımının tayini deneylerinde G4 sınıfı, üçer adet duvar veya döşeme paneli kullanılmıştır. Başlangıç kayma deneylerinde kullanılacak numuneler iki adet yarım genişlikli (300 mm), bir adet tam panelin (600 mm genişlikli) birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Deneyde kullanılan panellerin boy ve en kesitleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de, boyutları Tablo 4.10’da verilmiştir. Şekil 4.26-27’de boyutlar mm cinsinden belirtilmiştir.

Tablo 4.10: Başlangıç kayma dayanımı deneyinde kullanılan panel boyutları.

Panel No	Boyutlar		
	Yükseklik (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
1	1500	250	200
2	1500	500	200
3	1500	250	200



Şekil 4.26: Başlangıç kayma dayanımı deneylerinde kullanılan paneller.



Şekil 4.27: Deneylerde test edilen gazbeton (a) duvar ve (b) döşeme panel enkesiti.

Deneylerde kullanılan panellerin üretiminden sonra standartta belirtildiği gibi en az iki gün beklenmiş ve birleşim bölgelerine $\Phi 10$, S420 donatı yerleştirilip ve bu bölgeye çimento harcı dökülerek paneller birleştirilmiştir (Şekil 4.28). Gazbeton paneller arasında kullanılan çimento harcından alınan $40.0 \text{ mm} \times 40.0 \text{ mm} \times 160.0 \text{ mm}$ boyutlarında numunelerin basınç ve eğilme dayanımları Tablo 4.11’de belirtilmiştir. Dökülen harca düşeyde 1 metre aralıklarla şişleme yöntemiyle sıkıştırma uygulanmış ve 28 günlük dayanımlarına ulaşması beklenmiştir. Gazbeton duvar ve döşeme panelleri gerçek uygulama durumunu yansıtmak üzere herhangi bir şartlandırma işleminden geçirilmemiştir. Birleşim bölgesine yerleştirilen donatıların çekme dayanımları “4.5. Donatı Çekme Deneyleri” bölümünde verilmiştir.



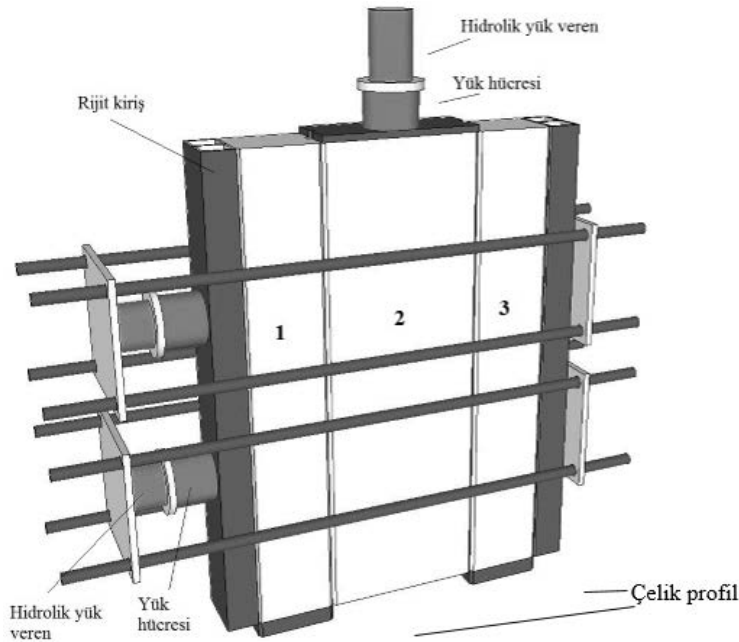
Şekil 4.28: Gabeton duvar panellerinin birleştirilmesi.

Tablo 4.11: Kullanılan çimento harcı özellikleri.

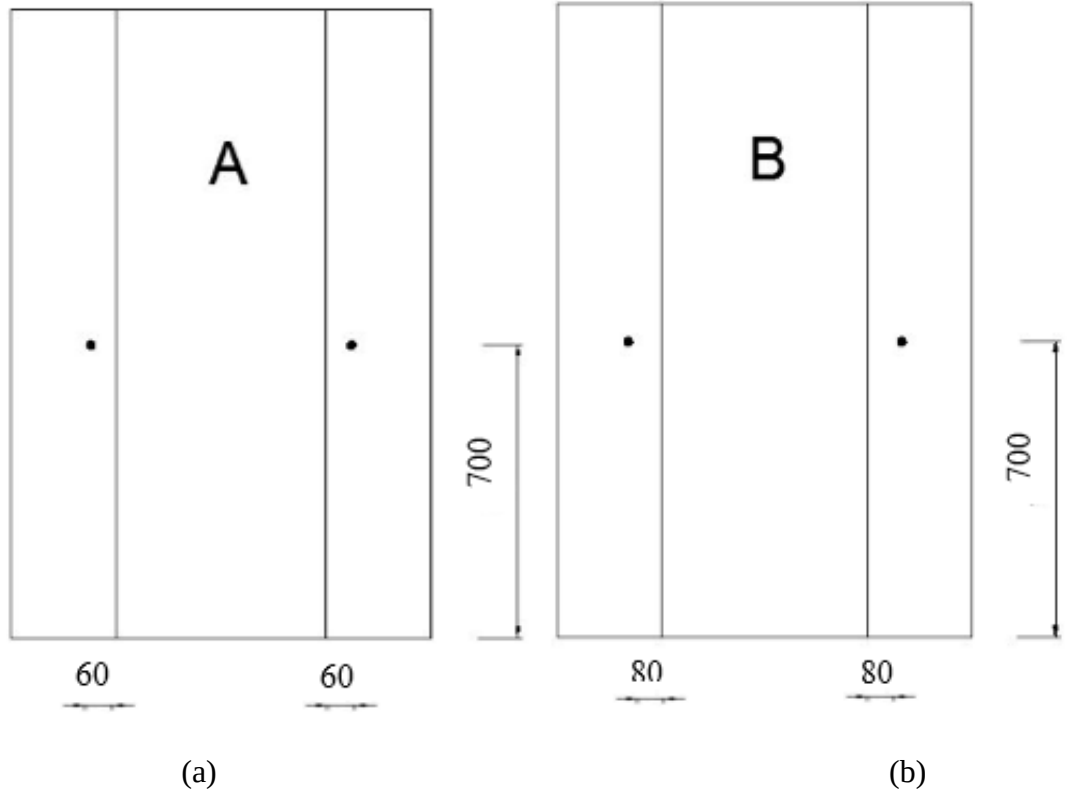
Numune adı	Boyutları (mm)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	4.1 x 4.0 x 16.0	42.2	5.4
2	4.0 x 3.9 x 16.1	46.7	5.8
3	4.0 x 4.0 x 16.0	44.4	5.6

Deney sırasında 2 numaralı, ortadaki panelin kayabilmesine izin vermek üzere 1 ve 3 numaralı yarım paneller 12 cm yüksekliğindeki çelik profillerin üzerine yerleştirilmişlerdir (Şekil 4.29). Panellere verilecek yatay yükün panel yüzeyine düzgün yayılması amacıyla panellerin yüzeylerine iki adet 100 mm x 100 mm x 1500 mm uzunluğundaki çelik kutu profilden oluşan rijit kirişler yerleştirilmiştir. Yatay yük panel yüzeyine panel uzunluğunun üçte birlik bölümlerinden olmak üzere iki noktadan uygulanmıştır. Yatay yükler için 100 ton kapasiteli Larzep marka hidrolik yük verenler, düşey yük için 600 kN kapasiteli Larzep marka hidrolik yük veren kullanılmıştır. Uygulanan yük seviyeleri 1000 kN kapasiteli TML CLP-100 yük hücreleriyle hesaplanmıştır. Başlangıç kayma dayanımı deneyi şematik gösterimi Şekil 4.29'daki gibidir.

Deney sırasında panellerin ilgili eksenel yük (yatay yük) seviyesinde birbirlerine göre düşey yönde ne kadar yerdeğiştirme yaptıklarının gözlenebilmesi için panel yüzeylerine CDP-50 tipi yerdeğiştirmeölçerler yerleştirilmiştir. Numunenin her iki yüzünde ikişer tane olmak üzere dört adet yerdeğiştirmeölçer kullanılmıştır. 50 mm yerdeğiştirme ölçme kapasiteli yerdeğiştirmeölçerler 5 mm açıklıkta numune yüzeyine bağlanmıştır. Böylelikle düşey yönde 45 mm'ye kadar yerdeğiştirme ölçülebilmektedir. Numune yüzeylerinden alınan ölçüm boyları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Yerdeğiştirmeölçer ve yük hücrelerinden alınan veriler TML TDS 302 veri toplayıcısı ile toplanmış, toplanan veriler GPIB – USB dönüştürücü ile bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 4.29: Başlangıç kayma dayanımı deneyi şematik gösterimi.



Şekil 4.30: Başlangıç kayma dayanımı deneyi (a) A ve (b) B yüzü ölçüm boyları.

Deneyler 0.1 MPa, 0.3 MPa ve 0.5 MPa yatay eksenel yük seviyeleri için ikişer numune üzerinde İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı bünyesinde gerçekleştirilmiştir. İlgili yatay eksenel yük değerleri sabit tutularak 2 numaralı panele, panel yüzeyine dik düşey yük uygulanmış ve bu panelin diğer panellere göre düşey yönde yaptığı yerdeğiştirme değerleri toplanmıştır (Şekil 4.31). Başlangıç kayma dayanımı deneyi sonrası duvar panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme ilişkisine ait grafikleri Şekil 4.32’de verilmiştir. Şekil 4.32’deki ortalama yerdeğiştirme değerleri, 2 numaralı panelin 1 ve 3 numaralı panellere göre yerdeğiştirmesini ölçen 4 adet yerdeğiştirmeölçer ile kaydedilen değerlerin ortalama değeridir.

Başlangıç kayma dayanımı deneyi sonrası döşeme panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme ilişkilerine ait grafikler Şekil 4.33’te verilmiştir. Şekil 4.33’deki ortalama yerdeğiştirme değerleri, 2 numaralı panelin 1 ve 3 numaralı panellere göre yerdeğiştirmesini ölçen 4 adet yerdeğiştirmeölçer ile kaydedilen değerlerin ortalama değeridir. Duvar ve döşeme panellerinin kayma dayanımı değerleri Tablo 4.12’de belirtilmiştir.

Tablo 4.12: Gazbeton döşeme ve duvar panellerinin kayma dayanımı değerleri.

Panel tipi	Numune adı	Düşey yük (V)	Kayma dayanımı (τ)	Yatay yük (N)	Normal gerilme (σ)		Düşey yük (V)	Kayma dayanımı (τ)
		(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)		(kN)	(MPa)
Duvar	BK-05-1	357.5	0.60	150	0.5	Ortalama	361.3	0.6
	BK-05-2	365	0.61	150	0.5			
Döşeme	BKD-05-2	281.5	0.47	150	0.5	Ortalama	277.3	0.46
	BKD-05-3	273	0.46	150	0.5			
Duvar	BK-03-1	250	0.42	90	0.3	Ortalama	261	0.44
	BK-03-2	272	0.45	90	0.3			
Döşeme	BKD-03-1	205.5	0.34	90	0.3	Ortalama	195.8	0.33
	BKD-03-2	186	0.31	90	0.3			
Duvar	BK-01-1	212	0.35	30	0.1	Ortalama	191	0.32
	BK-01-2	171	0.29	30	0.1			
Döşeme	BKD-01-1	60.5	0.10	30	0.1	Ortalama	71	0.12
	BKD-01-2	81.5	0.14	30	0.1			

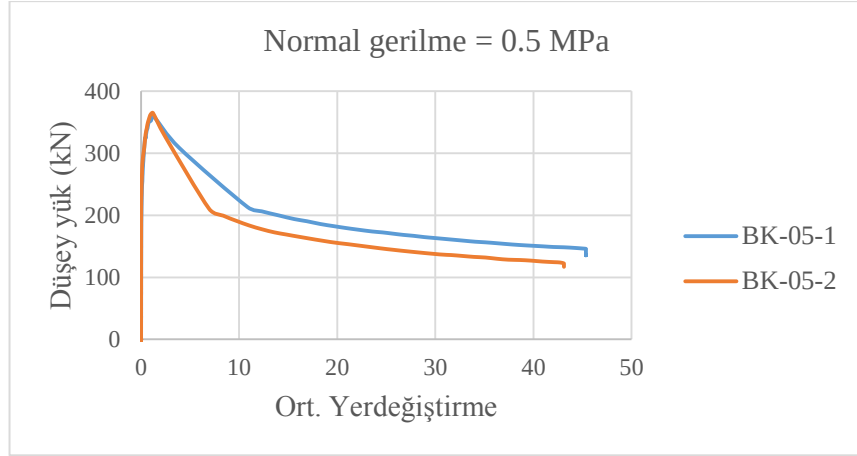


(a)

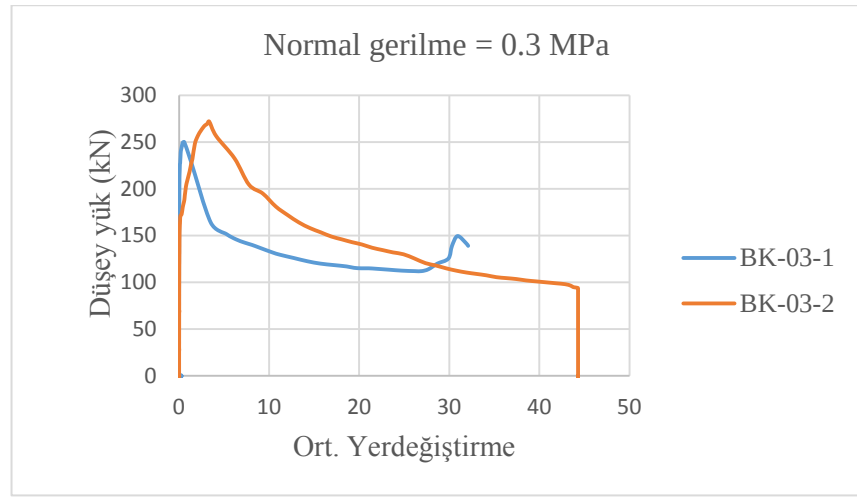


(b)

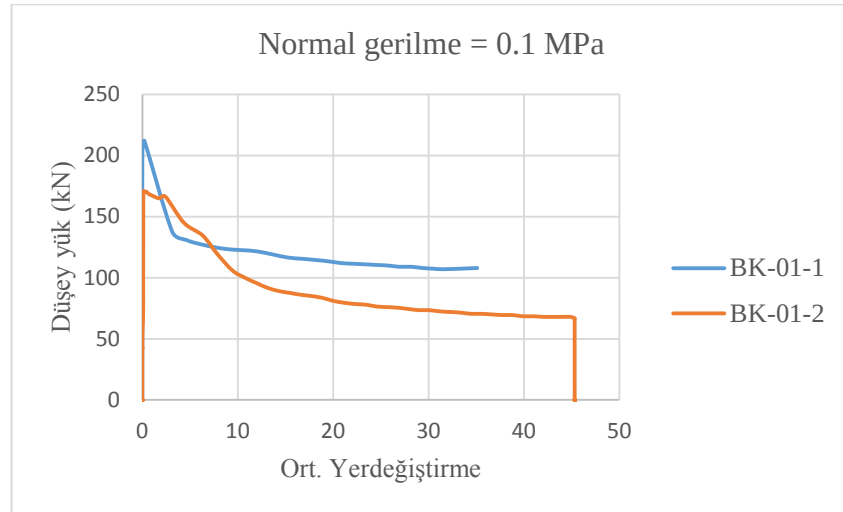
Şekil 4.31: (a) Duvar ve (b) döşeme panelleri üzerinde yapılan başlangıç kayma dayanımı deneyi deney düzeneği.



(a)

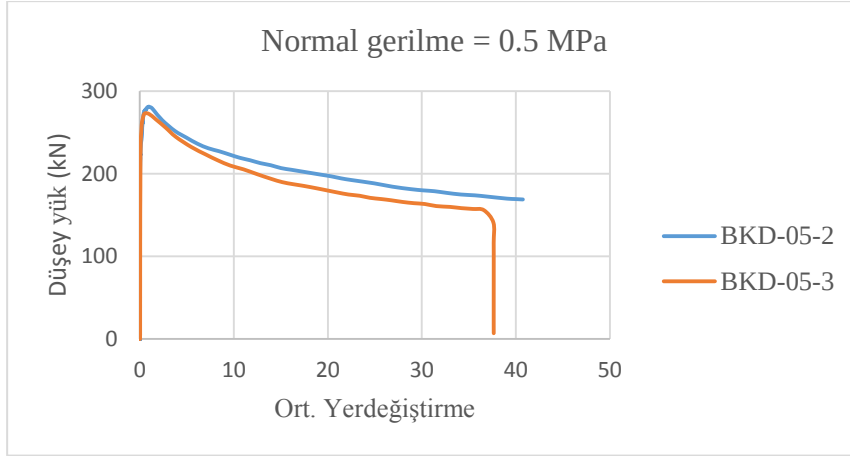


(b)

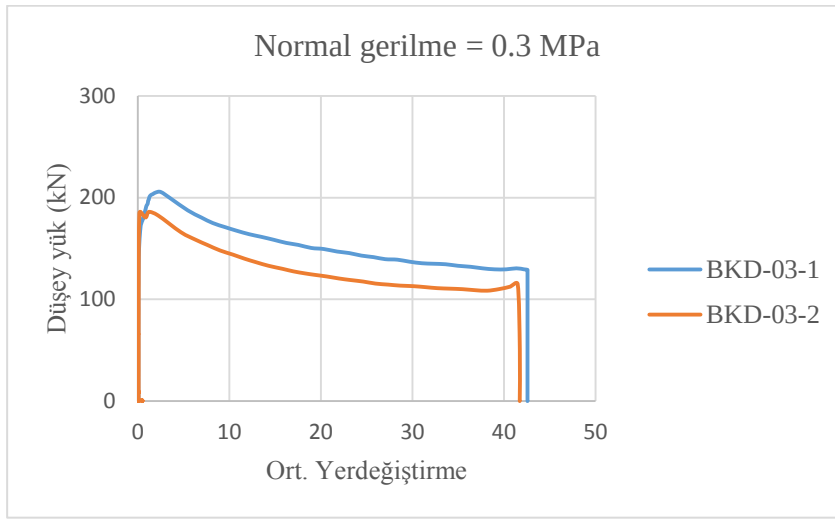


(c)

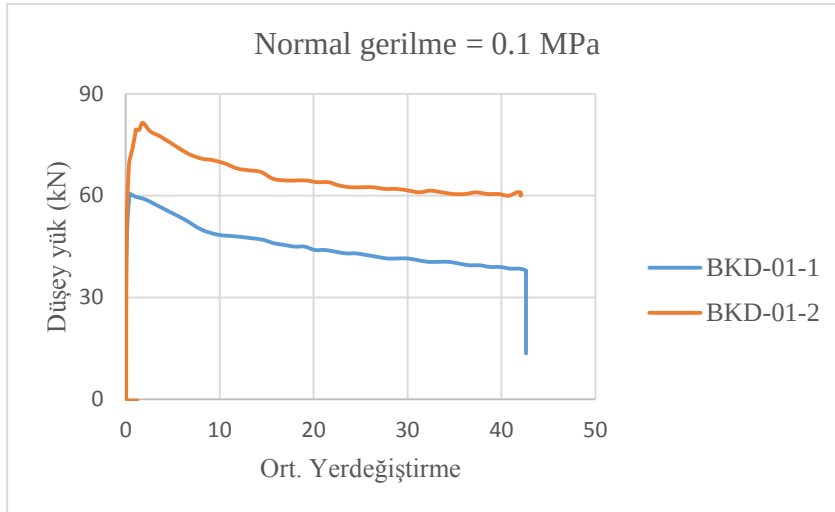
Şekil 4.32: (a) 0.5 MPa, (b) 0.3 MPa ve (c) 0.1 MPa normal gerilme altındaki gazbeton duvar panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme grafikleri.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.33: (a) 0.5 MPa, (b) 0.3 MPa ve (c) 0.1 MPa normal gerilme altındaki gazbeton döşeme panellerinin yük – ortalama yerdeğiştirme grafikleri.

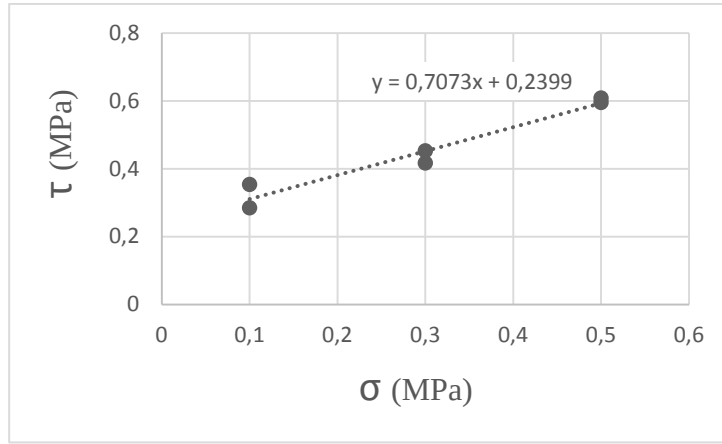
Kayma gerilmesi değerleri hesaplanırken orta panele etkitilen dūşey kuvvet iki adet derzin toplam en kesit alanına bölünmüştür. Her bir derzin alanı ise derz uzunluğu ile panel kalınlığının çarpımı olarak (1500 mm × 200 mm) dikkate alınmıştır. Buna göre, duvar numunelerinde derzlerdeki ortalama kayma dayanımı değerleri 0.1, 0.3, ve 0.5 MPa normal gerilme düzeyleri için, sırasıyla, 0.32, 0.44 ve 0.60 MPa olarak gerçekteleşmiştir. Döşeme numunelerinde ise ortalama kayma dayanımı değerleri 0.1, 0.3, ve 0.5 MPa normal gerilme düzeyleri için, sırasıyla, 0.12, 0.33 ve 0.46 MPa olarak elde edilmiştir.

Farklı normal gerilme düzeylerine (σ) karşı gelen kayma dayanımları (τ) kullanılarak Mohr-Coulomb hipotezi ($\tau = \mu\sigma + c$) çerçevesinde duvar ve döşeme panellerinin derzleri için yapışma dayanımı (c) ve sürtünme katsayısı (μ) değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.34). Şekil 4.34'te belirtilen gazbeton duvar ve döşeme panellerine ait kayma dayanımı – eksenel gerilme grafiğine göre yapışma dayanımı değerleri duvar numunelerinin derzleri için 0.24 MPa, döşeme numuneleri için ise 0.04 MPa olmaktadır. Sürtünme katsayısı (μ) değerleri ise duvar numunelerinde 0.71, döşeme numunelerinde 0.86'dır. Duvar ve döşeme panellerinin sürtünme katsayıları Tablo 4.13'te, deney sonrası gazbeton duvar ve döşeme panellerinin görünümleri Şekil 4.35-36'da gösterilmiştir.

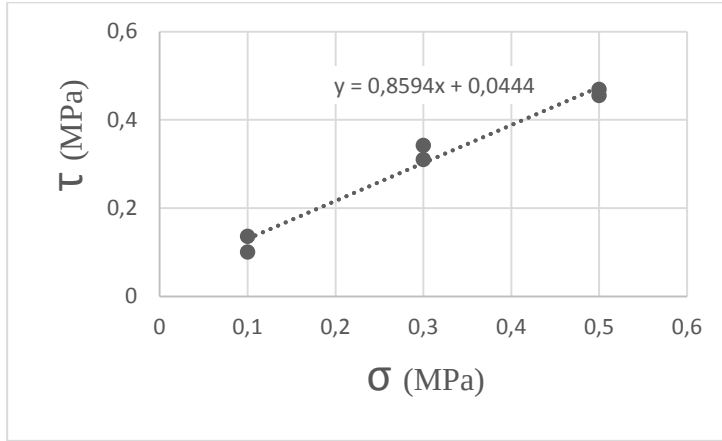
Şekil 4.34'te verilmiş olan eğrilerde görüldüğü üzere derzlerdeki gazbeton ve çimento harcı arasındaki yapışma ve sürtünme etkileri ile önce kayma dayanımına karşı gelen tepe noktasına ulaşılmış ve yapışmanın kaybı ile yük düşmeye başlamıştır. Derzlerdeki yapışmanın tamamen ortadan kalkmasıyla birlikte kaymaya karşı koyan tek kuvvet bileşeni olarak sürtünme kuvveti kalmış, yerdeğiştirme artmaya devam etmiştir. Deneyler sonrasında gazbeton duvar panellerinin kayma dayanımlarına ulaştıktan sonra dayanım kayıplarının döşeme panellerine göre daha hızlı olduğu görülmektedir. Duvar panellerinin birleşim bölgesindeki çimento harcı ile panel arasındaki yüzey alanının daha çok olmasından dolayı duvar panelleri daha yüksek kayma dayanımına sahiptir. Döşeme panellerinin dayanımlarını duvar panellerine göre daha yavaş kaybetmelerinin sebebi, harç ile panel arasındaki yapışmanın yitirilmesinden sonra iki panel arasındaki sürtünme yüzeyinin daha fazla döşeme panellerinde daha fazla olmasıdır.

Deneyler sonunda birleşim bölgelerinde panel ve harç arasındaki yapışmanın ortadan kalktığı ve panellerin birbirinden ayrı hareket ettiği gözlenmiştir. Panellerin üst

bölgesinde uygulanan yükten dolayı yerel ezilme ve yüzeysel çatlak oluşumu gözlenmiştir (Şekil 4.37). Duvar paneli kullanılan deneylerde, paneller üzerine yatay yükün etkilmesi sırasında birleşim bölgesindeki çimento harcı kama görevi görmüş ve 2 numaralı, ortadaki panelin düzlem boyunca ayrılmasına sebep olmuştur (Şekil 4.38). Döşeme panellerindeki birleşim detaylarının farklı geometride olmasından dolayı duvar panellerinde oluşan bu hasar döşeme panellerinde gözlenmemiştir. Duvar panellerinde çimento harcının bu etkisinden dolayı oluşan hasar duvar panellerinin dayanımlarını daha hızlı kaybetmelerine sebep olmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4.34: Gazbeton (a) duvar ve (b) döşeme panellerinin $\tau - \sigma$ grafikleri.

Tablo 4.13: Gazbeton duvar ve döşeme panellerinin sürtünme katsayıları.

Panel tipi	$\frac{\tau_0}{\text{(MPa)}}$	Sürtünme katsayısı μ
Duvar paneli	0.24	0.71
Döşeme paneli	0.04	0.86



Şekil 4.35: Gazbeton duvar panellerinin deney sonrası görünümü.



Şekil 4.36: Gazbeton döşeme panellerinin deney sonrası görünümü.



Şekil 4.37: Deney sonrası oluşan ezilme ve çatlaklar.



Şekil 4.38: Deney sonrası duvar panellerinde oluşan çatlaklar.

5. GAZBETON TAŞIYICI DUVAR DENEYLERİ

Donatılı gazbeton duvar panellerinden oluşan taşıyıcı duvarların yatay ve düşey yükler altındaki davranışlarının incelenmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda taşıyıcı duvar deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde 2, 4 ve 6 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarının eksenel ve düzlem içi yatay kuvvet etkileri altındaki davranışları, sünekliği, davranışı etkileyen hasar oluşumları, yükleme tipi ve değerleri bulunmaktadır.

5.1. Deneylerde Kullanılacak Panellerin İnşası ve Deney Düzenegi

5.1.1. Taşıyıcı Duvarlarının İnşası

Donatılı gazbeton duvar panellerinin yatay ve düşey yükler altındaki davranışlarının incelenmesi için 2, 4 ve 6 panelden oluşan gazbeton taşıyıcı duvarları oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan panellerin boyutları Tablo 5.1'de belirtilmiştir.

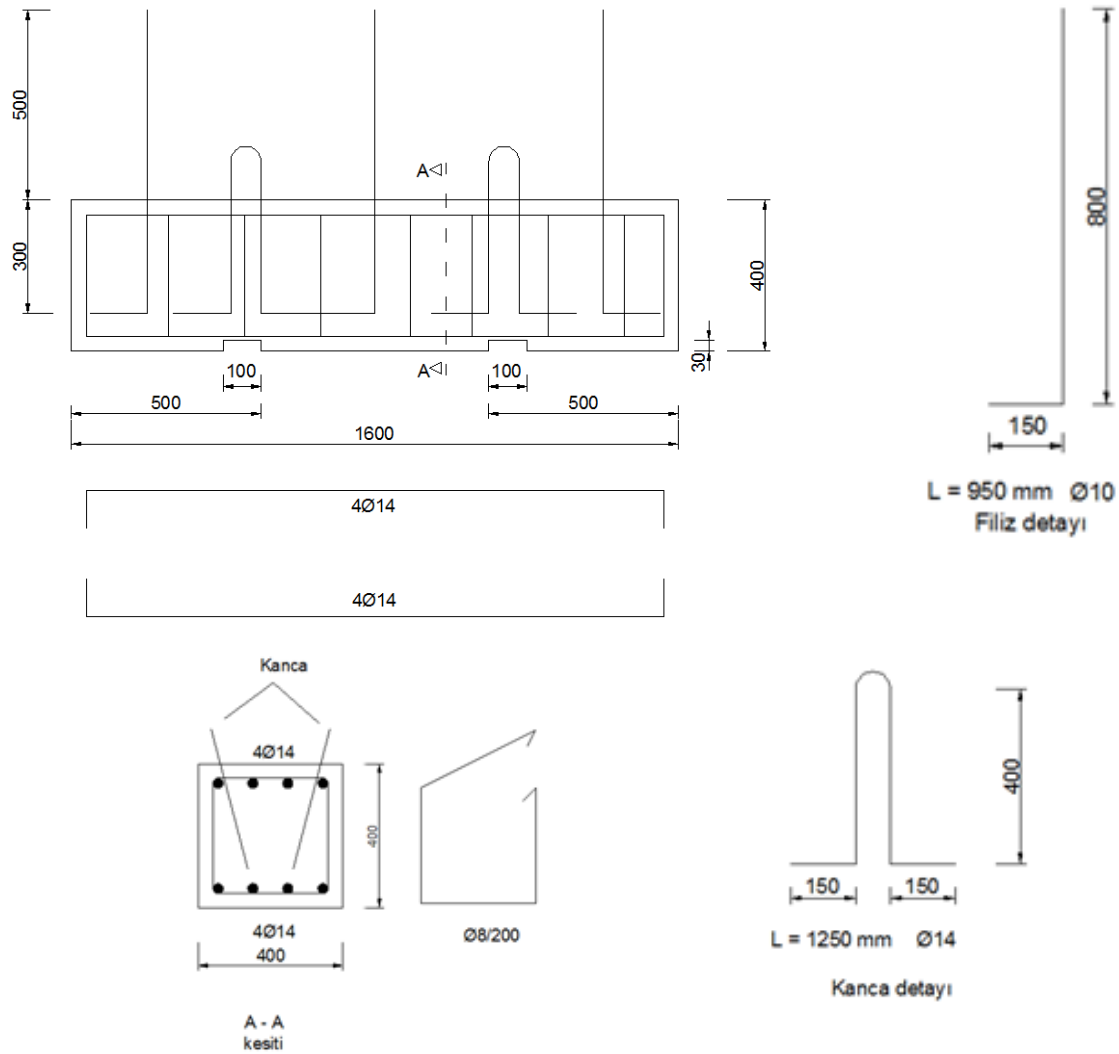
Tablo 5.1: Duvar panellerinin boyutları.

Duvar paneli	Boyut (m)
Yükseklik	2.4
Genişlik	0.6
Kalınlık	0.2

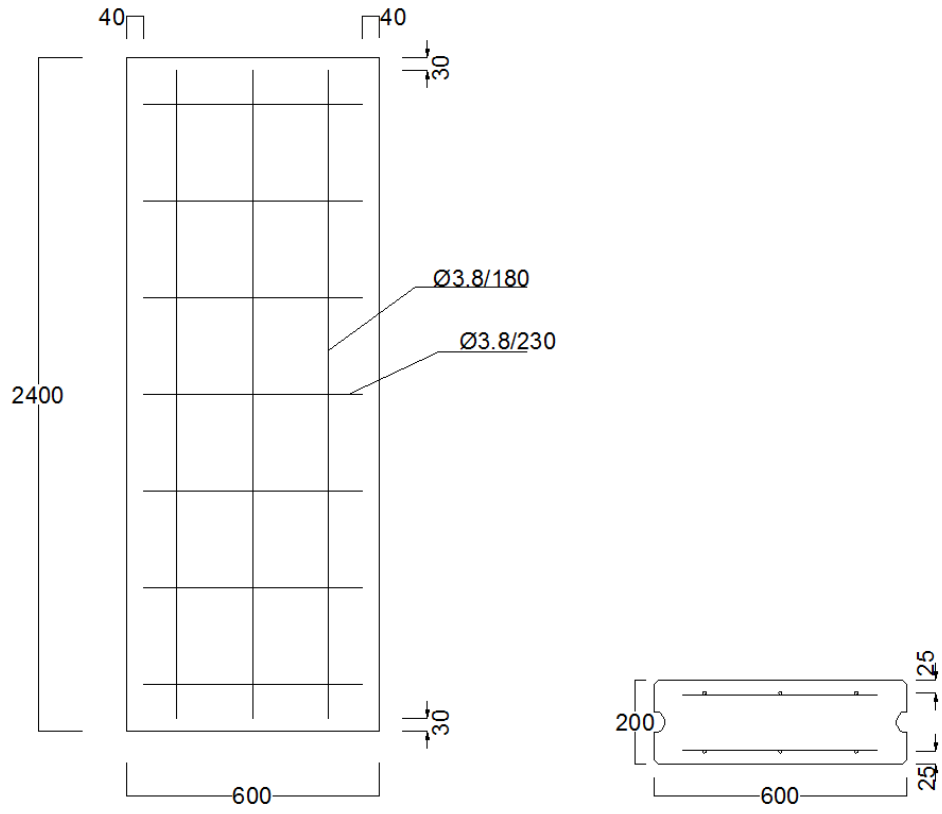
Donatılı gazbeton paneller rijit betonarme temelin üzerine inşa edilmiştir. İki panelden oluşan sistem için 1.60 x 0.40 x 0.20 m, dört panelden oluşan sistem için 2.80 x 0.40 x 0.20 m, altı panelden oluşan sistem için 4.00 x 0.40 x 0.20 m (genişlik x yükseklik x kalınlık) boyutlarında temeller tasarlanmıştır. Temel için C25 sınıfı hazır beton kullanılmıştır. Betonarme temellerde alta ve üste 4Φ14 S420 boyuna donatı yerleştirilmiştir. Temellerde Φ8/200 S420 etriye bulunmaktadır. Panel birleşim bölgelerine yerleştirilecek donatıların temele bağlanması için 0.60 m aralıkla temele Φ10 filiz bırakılmıştır. Bırakılan filiz boyutu temel içinde 30 cm, temel dışında ise 50 cm'dir. Bırakılan filizlere temel içinde 90 derece olacak şekilde gönye yapılmıştır. Ayrıca taşıyıcı duvar sisteminin daha sonra deney düzeneğine yerleştirebilmesi

sağlaması için temelin her iki uzun doğrultusuna ikişer kanca yerleştirilmiştir. Temel donatı detayı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan panellerin donatı detayları ve kesit görünüşleri Şekil 5.2’de belirtilmiştir.

Gazbeton duvar paneller, temellere bırakılan düşey donatı filizleri arasına 1 cm yüksekliğinde çimento esaslı harcın üzerine yerleştirilerek birleşim sağlanmıştır (Şekil 5.3). Panellerin, deney sırasında birtakım sorunlara yol açmaması için temel üzerine düzgünce yerleşimine özen gösterilmiş ve her iki doğrultuda düşey hale getirilmiştir. Duvar panelleri arasında kalan birleşim bölgesine $\Phi 10$ donatı konulmuş, paneller düşey bindirmeli ek ile temele bağlanmış ve önceden hazırlanmış çimento esaslı harç dökülerek bağlantı tamamlanmıştır (Şekil 5.4). Temel panel birleşiminde ve paneller arasındaki birleşim bölgesinde kullanılan çimento harcının mekanik özellikleri Tablo 4.11’de belirtilmiştir. En dıştaki panellerin birleşim bölgelerine de donatı yerleştirilmiştir.



Şekil 5.1: Temel donatı detayı.



Şekil 5.2: Panellerin donatı şeması.



Şekil 5.3: Panellerin temel üzerine yerleştirilmesi.



Şekil 5.4: Birleşim bölgesi detayı.

Panellerin temel üzerine yerleştirilmesinin ardından panellerin üzerine yatay yükün etkitileceği 0.20 m yükseklikli, 0.20 m kalınlıklı betonarme hatıl yerleştirilmiştir. Hatılarda altta ve üstte 2Φ12 S420 boyuna donatı, Φ12/200 etriye bulunmaktadır (Şekil 5.5). Hatılarda C25 sınıfı hazır beton kullanılmıştır. Hatıl betonun prizini yapmasının ve kalıbının sökülmesinin ardından numune üretimi tamamlanmıştır (Şekil 5.6). Üretim adımları her numune için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.



Şekil 5.5: Hatılarda donatı yerleşimi.



Şekil 5.6: Taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılacak numuneler.

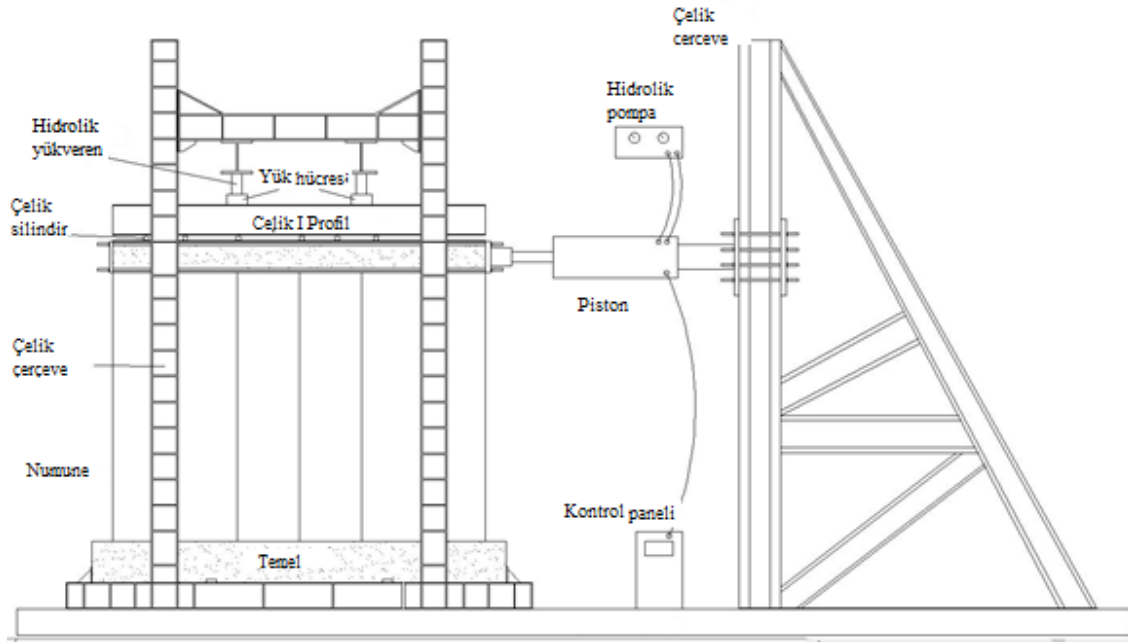
5.1.2. Taşıyıcı Duvar Deney Düzeneği

Taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılan düzeneğin şematik gösterimi Şekil 5.7’de, düzeneğin genel görünümü Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Numuneler, kapalı bir çelik reaksiyon çerçevesi içerisine yerleştirildikten sonra sabit eksenel ve tekrarlı yön değiştiren yatay yükler altında test edilmiştir.

Deney düzeneği hazırlanırken ilk olarak; deney sırasında uygulanan yatay yük etkisiyle numunenin çelik çerçeve içindeki yatayda hareketini sınırlandırmak için temel iki yüzüne payandalar yerleştirilmiş ve gazbeton duvar panelleri bu payandaların arasına konulmuştur. Gazbeton panellerin altındaki betonarme temelin yatayda hareketini engellemek için temel iki yüzünde payandalar üzerine L köşebentler yerleştirilmiştir.

Uygulanacak sabit eksenel yük değerinin numune üzerine eşit oranda yayılabilmesi için numune üzerine HEB 300 çelik profil yerleştirilmiştir. Çelik profiller 1.20 m uzunluğuna sahip olup üç adet üretilmiştir. İki panelden oluşan duvar numunelerinde bir adet, dört ve altı panelden oluşan numunelerde iki adet yük dağıtma kirişi kullanılmıştır. Eksenel yükü dağıtmakla görevli çelik kirişlerin numune üzerinde yatayda hareketini sağlamak ve duvarın yatay hareketini sınırlamamak için bağ kirişinin üzerine 10 mm kalınlıklı çelik levha ve 50 mm çaplı çelik silindirler yerleştirilmiştir (Şekil 5.9). Deney öncesinde çelik silindirlerin iyice yağlandıklarından emin olunmuştur. Sabit eksenel yük, çelik yük dağıtma kirişine mesnetlenen 600 kN kapasiteli hidrolik yükverenler yardımıyla etkililmiş ve deney boyunca yükün sabit tutulmasına çalışılmıştır. İki panelli numunede tek, dört ve altı panelli numunelerde iki hidrolik yükveren kullanılmıştır. Uygulanan yük değerleri hidrolik yükverenlerin altına yerleştirilmiş olan yük hücreleri ile kaydedilmiştir. Gazbeton duvar panellerinin düzlem dışı hareketlerini sınırlamak için; numunenin her iki yüzüne, çelik çerçeveye bağlı yataydaki kirişlere sabitlenmiş tekerlekler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen tekerleklerin numuneye deney öncesi yük uygulamadığından emin olunmuştur (Şekil 5.10).

Deney sırasında, numunelere çekme yönünde kuvvet piston başlığına dört adet çelik rod ile rijit bir levhanın bağlanması ile uygulanmıştır. Kullanılan çelik rodlar panel sayısının arttığı deneylerde manşonlu birleşim kullanılarak uzatılmıştır. Kullanılan çelik rodların çapları 24 mm, rijit levhanın kalınlığı ise 30 mm’dir.



Şekil 5.7: Taşıyıcı duvar deney düzeneği şematik gösterimi.



Şekil 5.8: Taşıyıcı duvar deneyi düzeneği.



Şekil 5.9: Yük dağıtma kirişi.



Şekil 5.10: Düzlem dışı hareketin sınırlandırılması.

Deneyler esnasında uygulanan eksenel gerilme düzeyleri Tablo 5.2’de verilmiştir. Yön değiştiren tekrarlı yatay yerdeğiştirmelerin oluşturulması için 1000 kN yük ve 400 mm yerdeğiştirme kapasiteli servo-hidrolik piston kullanılmıştır. Yükleme yerdeğiştirme kontrollü olarak hedeflenen öteleme oranlarını sağlayacak şekilde en az %15 dayanım kaybı gerçekleşinceye kadar yapılmıştır. Her bir yükleme çevrimi Tablo 5.3’te verilen yükleme patronunda da görülebileceği üzere, iki defa itme ve çekme (ikişer çevrim) değerine ulaşılacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

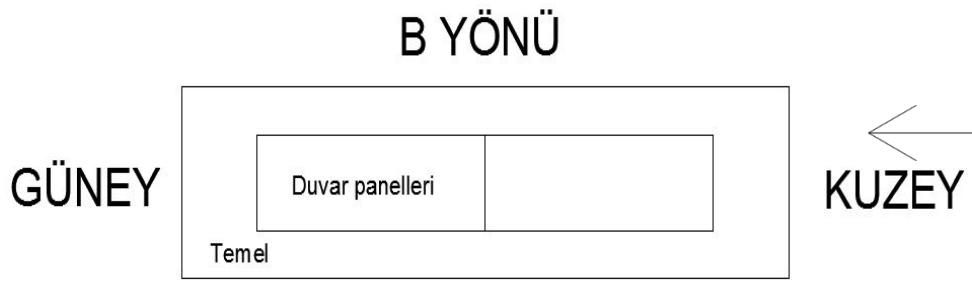
Gerçekleştirilen duvar deneylerinde oluşan hasarların açıklanmasında kullanılacak olan numune yönleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Şekil 5.12’de gazbeton paneller üzerinde gerçekleştirilen deneylerde ölçüm alınan yerler belirtilmiştir. Şekil 5.12’de “K” ve “G” kısaltmaları kuzey ve güney yönlerini, “A” ve “Ü” kısaltmaları numune alt ve üst yüzlerini, “temel” ve “panel” ifadeleri temelden ve panelden alınan ölçümleri temsil etmektedir.

Tablo 5.2: Duvar numunelerinde eksenel gerilme seviyeleri.

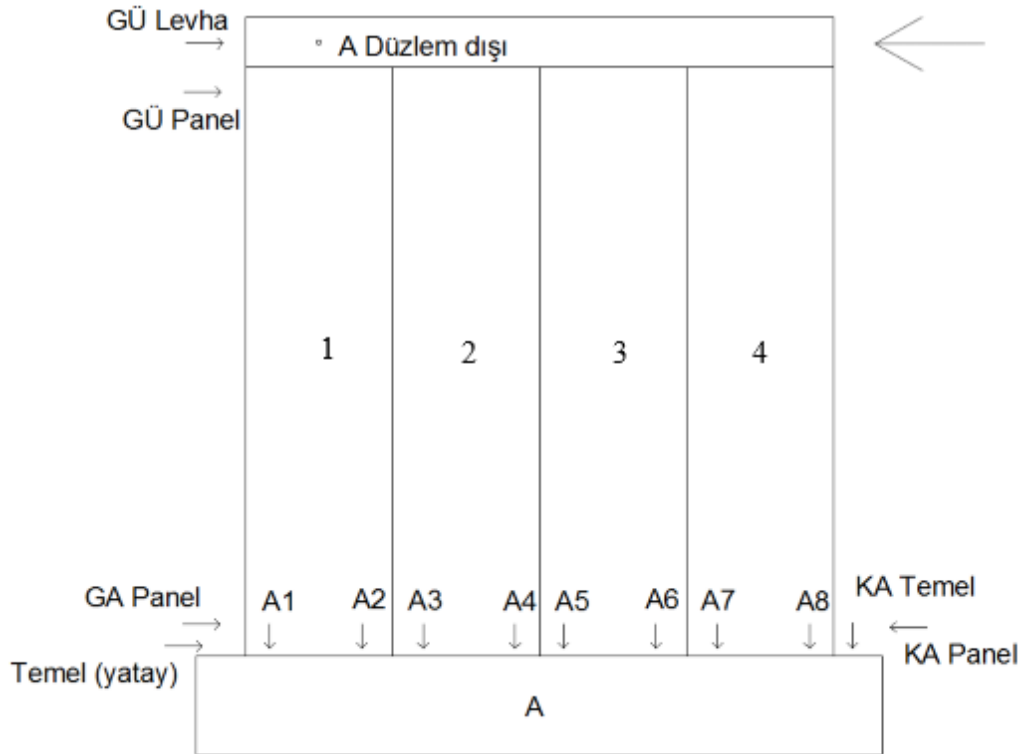
Numune	Yükseklik (m)	Genişlik (m)	Kalınlık (m)	Eksenel Gerilme (MPa)
SW-2-1	2.4	1.2	0.2	0.15
SW-2-2	2.4	1.2	0.2	0.5
SW-4-1	2.4	2.4	0.2	0.2
SW-4-2	2.4	2.4	0.2	0.5
SW-6-1	2.4	3.6	0.2	0.2
SW-6-2	2.4	3.6	0.2	0.5

Tablo 5.3: Duvar deneylerinde takip edilen yükleme patronu.

Çevrim	Öteleme oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)	Çevrim	Öteleme oranı (%)	Yerdeğiştirme (mm)
1. İtme (a)	0.25	6	3. İtme (b)	1	24
1. Çekme (a)	-0.25	-6	3. Çekme (b)	-1	-24
1. İtme (b)	0.25	6	4. İtme (a)	1.5	36
1. Çekme (b)	-0.25	-6	4. Çekme (a)	-1.5	-36
2. İtme (a)	0.5	12	4. İtme (b)	1.5	36
2. Çekme (a)	-0.5	-12	4. Çekme (b)	-1.5	-36
2. İtme (b)	0.5	12	5. İtme (a)	2	48
2. Çekme (b)	-0.5	-12	5. Çekme (a)	-2	-48
3. İtme (a)	1	24	5. İtme (b)	2	48
3. Çekme (a)	-1	-24	5. Çekme (b)	-2	-48



Şekil 5.11: Duvar numunelerinin yüzleri için isimlendirme.



Şekil 5.12: Duvar numuneleri ölçüm yerleri.

5.2. Taşıyıcı Duvar Deneyleri

Taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılan 2 panelden oluşan numuneler SW-2, 4 panelden oluşan numuneler SW-4, 6 panelden oluşan numuneler ise SW-6 olarak isimlendirilmişlerdir. 0.2 MPa eksenel gerilme altında deneyleri yapılan taşıyıcı duvarlar 1, 0.5 MPa eksenel gerilme altında deneyleri yapılan taşıyıcı duvarlar ise 2 olarak numaralandırılmıştır. Bu bölümde deneyleri gerçekleştirilmiş numunelerin isimleri bu kurala uyularak belirtilecektir. Çatlak hasar gelişimi görsellerinde mavi çizgiler itmelerde, kırmızı çizgiler çekmelerde oluşan çatlakları belirtmektedir. Oluşan çatlakların üzerlerinde, mm cinsinden genişlikleri belirtilmiştir. Taralı alanlar gazbeton panellerde ilgili çevrimde gözlenen ezilmeleri, düşey yeşil çizgiler ise paneller arası düşey ayrılmaları belirtmektedir.

5.2.1. SW-2-1

İki panelden oluşan numune; deney düzeneğinde, yatay hareketi sınırlandırmak için çelik çerçeve üzerine önceden yerleştirilmiş ve sabitlenmiş payandaların arasına yerleştirilmiş ve sabitlenmiş payandaların arasına yerleştirilmiştir. Numunenin çelik çerçeve içerisine yerleştirilmesi işlemlerinden sonra ölçüm aletleri ve hidrolik yükverenler önceden belirlenmiş yerlerine bağlanmıştır. Çelik silindirlerin, yerleştirilmesinin ardından yük aktarma kirişi de panellerin üzerine konularak eksenel yük uygulayacak olan hidrolik yükverenlerin yerleri saptanmıştır. Düzlem içi yerdeğiştirmeyi sınırlandıracak tekerleklerin de yerleştirilmesinin ardından deneye geçilmiştir. Deney öncesi numunenin görünümü Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

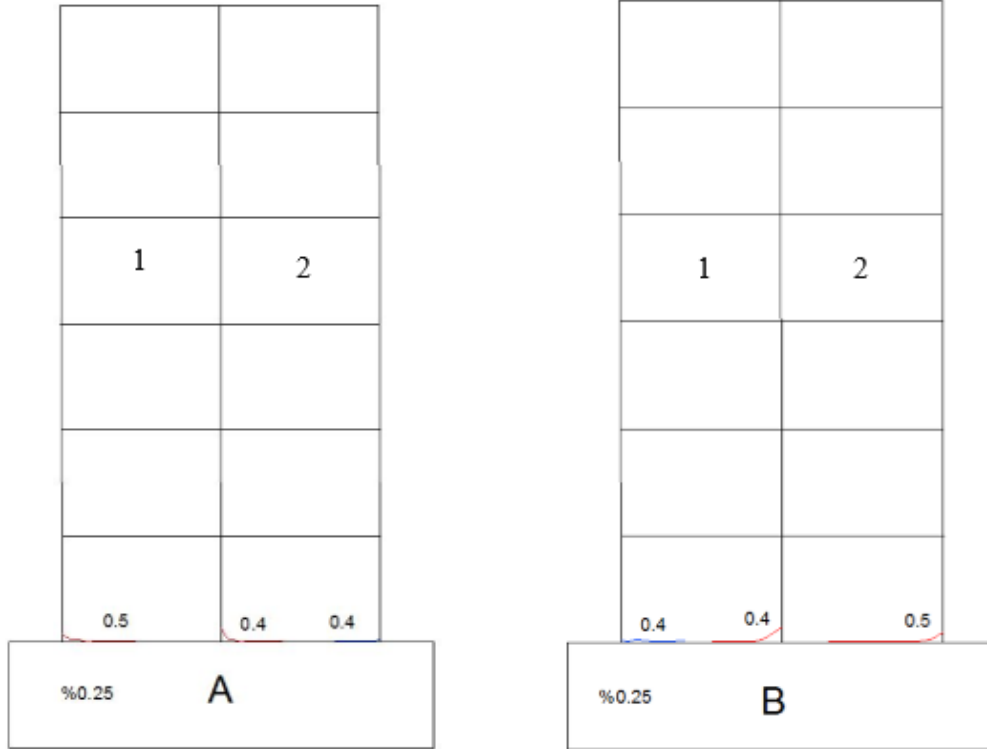


Şekil 5.13: SW-2-1 numunesi deney öncesi görünümü.

Deney düzeneğinin hazırlanmasının ardından gerekli kanal kontrolleri yapılmış ve numunelere 0.15 MPa aksenal gerilme etkitilmiştir. Deney için ilk aşamada, ilk öteleme oranı olan %0.25 öteleme oranına gidilmiş ve 5.63 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonucunda panel ve temel birleşim bölgelerinde ayrılmalar başlamıştır (Şekil 5.14). Bu çevrim sonunda görülen maksimum çatlak genişliği ise 0.5 mm olarak ölçülmüştür. Çevrim sonundaki çatlak gelişimi Şekil 5.15'te gösterilmiştir. %0.50 öteleme oranına ulaşıldığında paneller ile temel üst yüzeyi arasında belirgin ayrılmalar ve panellerin alt bölgelerinde çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5.16). Çevrim sonunda maksimum çatlak genişliğinin itme yönünde, B yüzünde 1.4 mm olduğu gözlenmiştir. Çevrim sonundaki çatlak gelişimi Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



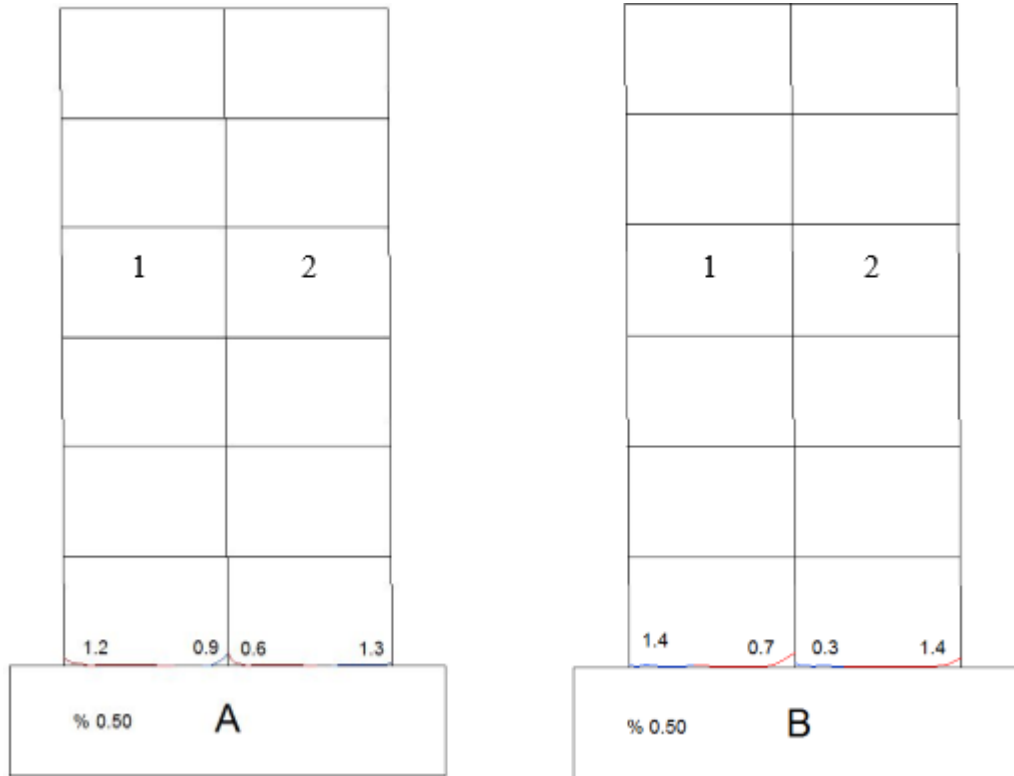
Şekil 5.14: SW-2-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.



Şekil 5.15: SW-2-1 numunesi % 0.25 çevrimi hasar gelişimi.

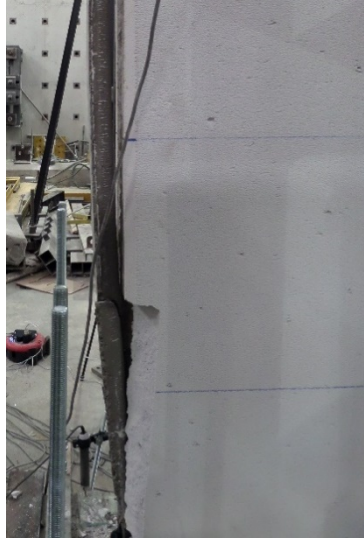


Şekil 5.16: SW-2-1 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünüm.

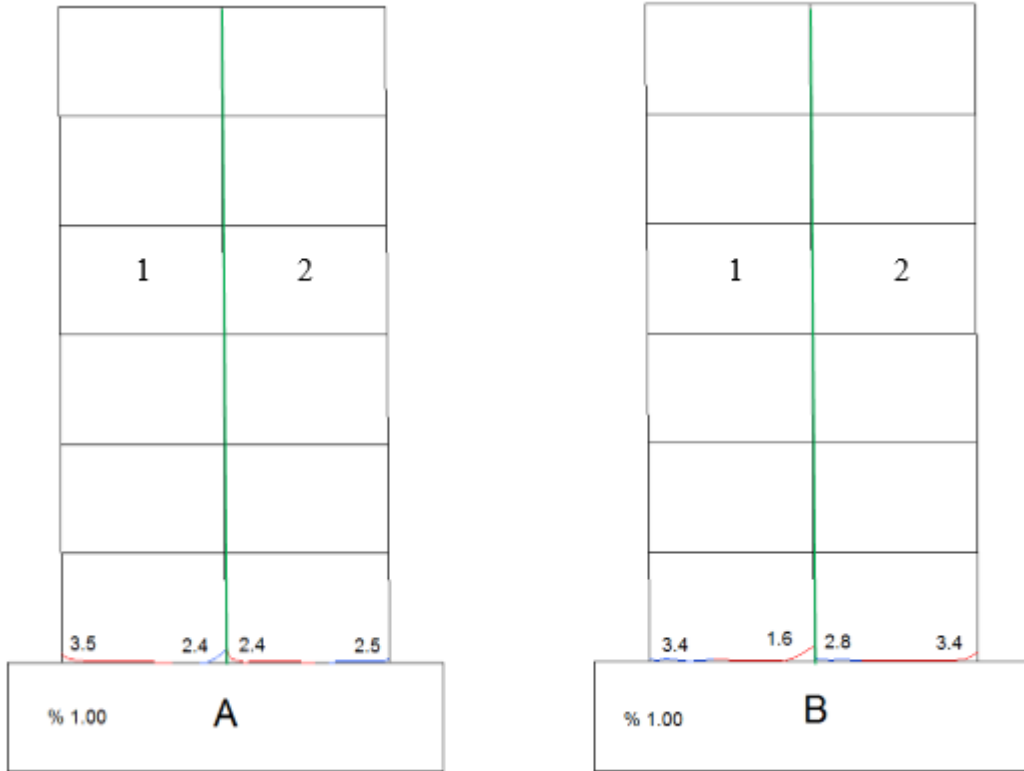


Şekil 5.17: SW-2-1 numunesi % 0.50 çevrimi çatlak gelişimi.

%1.0 öteleme oranına ulaşıldığında; duvar kuzey ve güney kenarlarında bulunan harcın panelden ayrılıp burkulduğu ve güney kenarında gazbetonda ezilme ve dökülmeler olduğu görülmüştür. Güney yönünde düşey çatlaklar gözlenmiştir. (Şekil 5.18). Ayrıca, her iki panelin aralarındaki düşey derz boyunca birbirinden ayrıldığı ve ayrı ayrı çalıştıkları gözlemlenmiştir. Gözlenen maksimum çatlak genişliği ise çekme yönünde, A yüzünde 3.5 mm'dir. Çevrim sonundaki çatlak gelişimi Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.18: SW-2-1 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası görünüm.

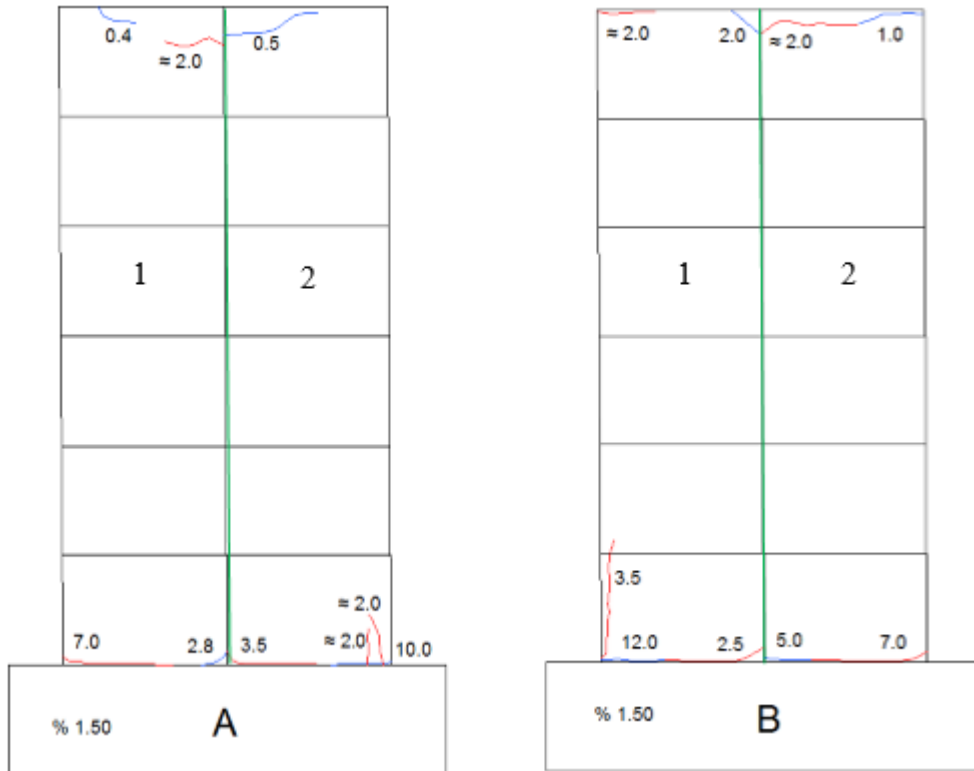


Şekil 5.19: SW-2-1 numunesi %1.00 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%1.5 öteleme oranında; 33.75 mm yatay ötelemeye ulaşılmış, güney kenarında düşey donatı etrafında bulunan harç tabakası ezilip dökülmüş ve bu bölgede sadece düşey donatı kalmıştır (Şekil 5.20). Ayrıca, panel üst bölgelerinde yatay çatlaklar, alt bölgelerinde ise panel basınç bölgelerinde düşey çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Maksimum çatlak genişliği ise çekme yönünde, B yüzünde 12 mm olarak ölçülmüştür. Çatlak gelişimi Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20: SW-2-1 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası görünüm.



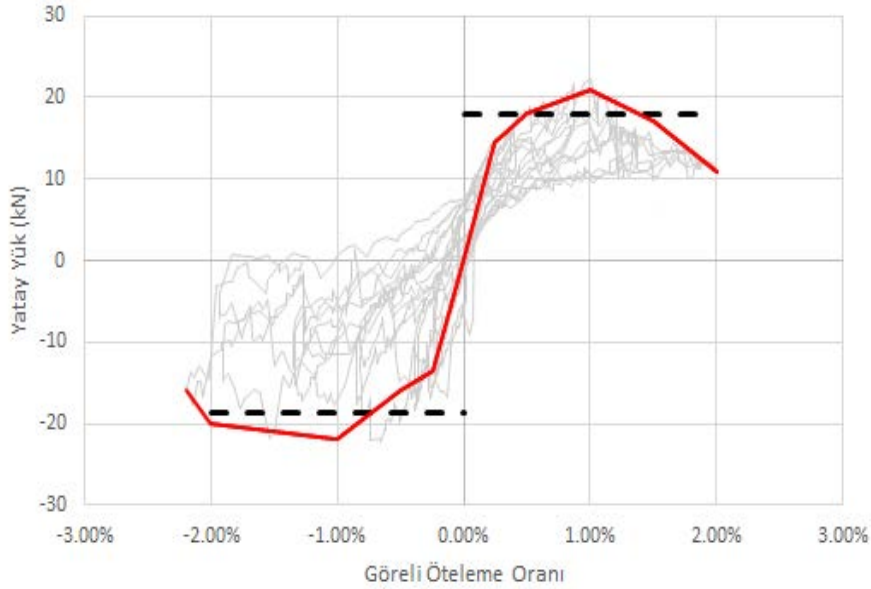
Şekil 5.21: SW-2-1 numunesi %1.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%2.0 öteleme oranına ulaşıldığında; kuzey kenarında da gazbeton ezilmiş ve dökülmüştür (Şekil 5.22). Bu öteleme oranında çatlak genişliği okuması alınmamıştır. Bu çevrim oranında en az %15 dayanım kaybı değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası numunenin elde edilen yatay yük-öteleme oranı

ilişkisi Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Şekil 5.23'te kesikli çizgi ile belirtilen yük değeri taşıyıcı duvarların dayanımlarının %15'ine denk gelmektedir.



Şekil 5.22: SW-2-1 numunesi % 2.00 çevrimi sonrası görünüm.



Şekil 5.23: SW-2-1 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.

5.2.2. SW-2-2

İki panelden oluşan numune; deney düzeneğine yerleştirilmiş ve ölçüm aletleri ile hidrolik yükverenler önceden belirlenmiş yerlerine bir önceki bölümde belirtildiği gibi bağlanmıştır. Çelik silindirlerin, yerleştirilmesinin ardından yük aktarma kirişi de panellerin üzerine konularak eksenel yük uygulayacak olan hidrolik yükverenlerin yerleri saptanmıştır. Düzlem içi yerdeğiştirmeyi sınırlandıracak tekerleklerin de

yerleştirilmesinin ardından deneye geçilmiştir. Deney öncesi numunenin görünümü Şekil 5.24'te gösterilmiştir.

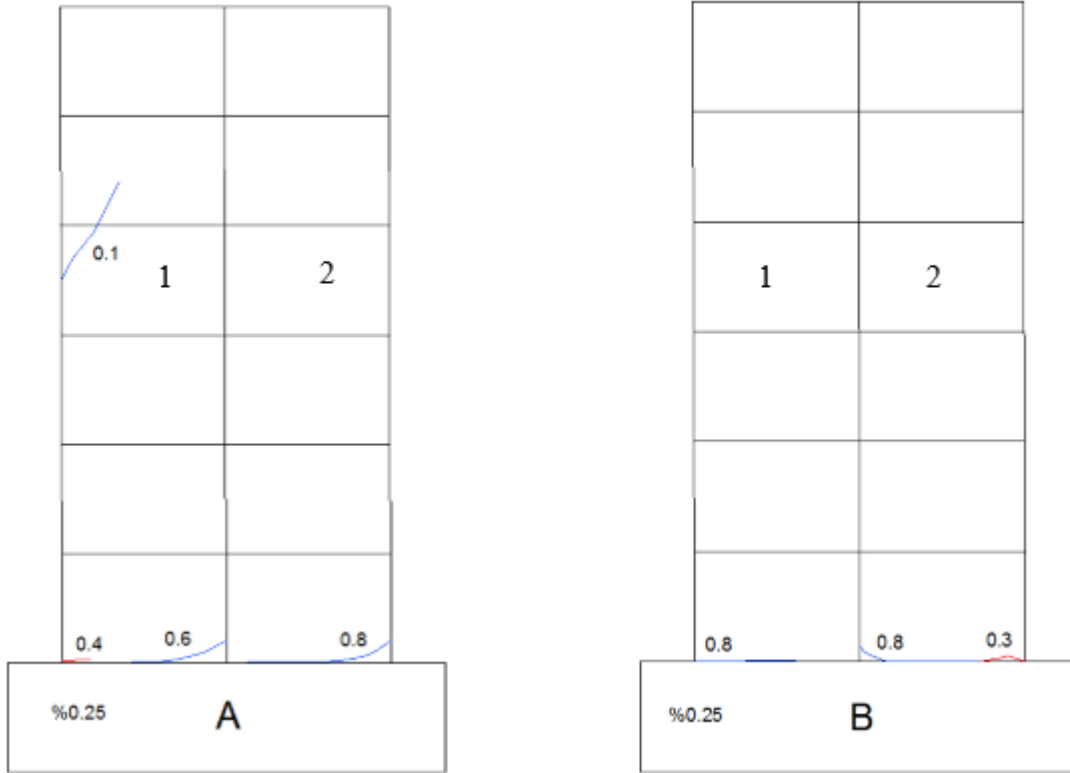


Şekil 5.24: SW-2-2 numunesi deney öncesi görünümü.

Deney düzeneğinin hazırlanmasının ardından yerdeğiştirmeölçerlerin bağlı olduğu kanalların gerekli kontrolleri yapılmış ve numunede 0.50 MPa eksenel gerilme oluşacak şekilde düşey yük etkiltilmiştir. Deney için ilk aşamada, ilk öteleme oranı olan %0.25 öteleme oranına gidilmiş ve 5.63 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmıştır. %0.25 öteleme oranında panel ve temel birleşim bölgelerinde ayrılmalar başlamış ve kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bu çevrimde gözlenen maksimum çatlak genişliği ise 0.8 mm'dir (Şekil 5.25). Çatlak gelişimi Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

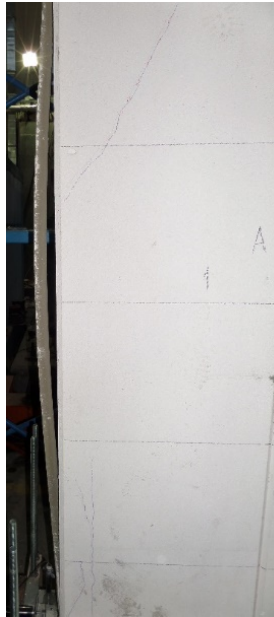


Şekil 5.25: SW-2-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.

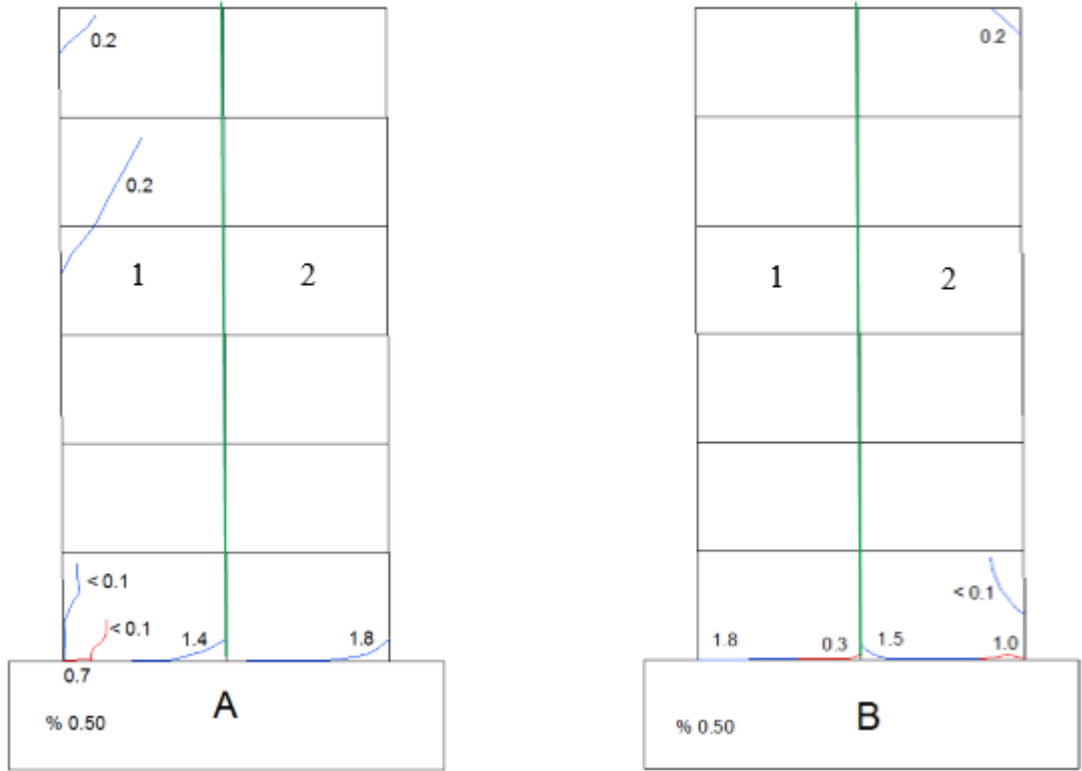


Şekil 5.26: SW-2-2 % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

% 0.50 öteleme oranında; panellerin basınç bölgesinde düşey çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Kuzey ve güney kenarlarındaki harç gazbetondan ayrılmış ve kısmi dökülmeler meydana gelmiştir (Şekil 5.27). Maksimum gözlenen maksimum çatlak genişliği itme yönünde, B yüzünde 1.8 mm olarak ölçülmüştür. Çatlak gelişimi Şekil 5.28’de gösterilmiştir.

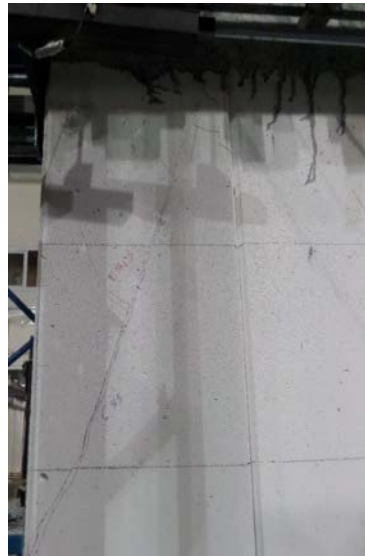


Şekil 5.27: SW-2-2 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünüm.



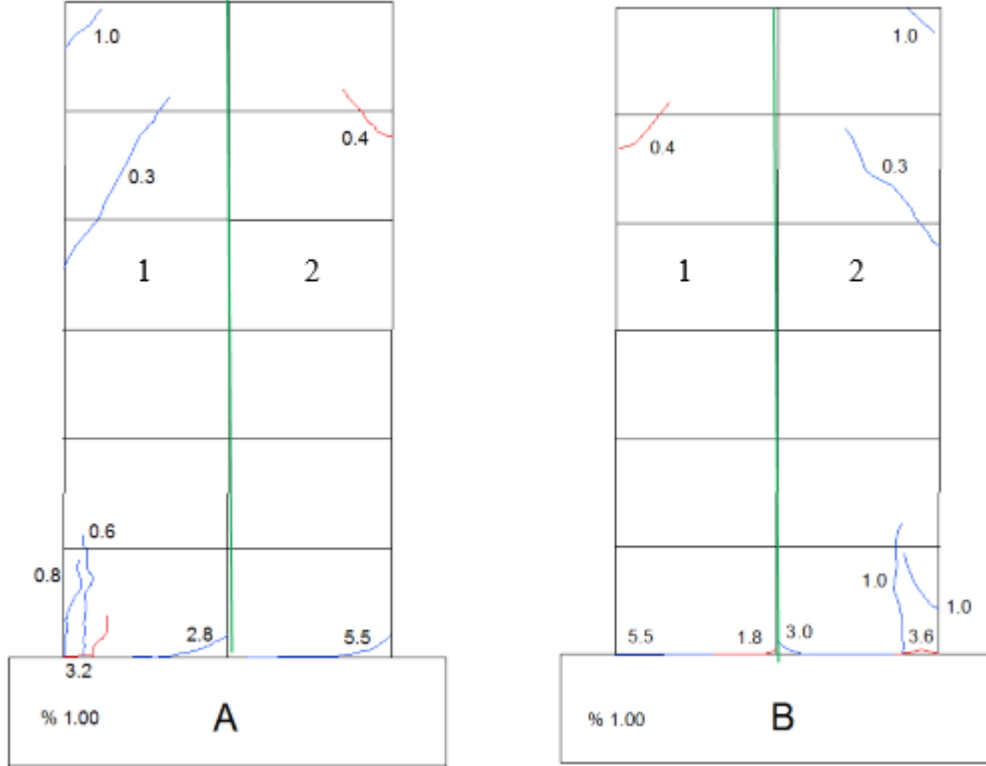
Şekil 5.28: SW-2-2 % 0.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%1.0 öteleme oranına ulaşıldığında; panellerin birbirinden ayrıldığı ve her panelin ayrı ayrı çalışıp, tabanda kendi basınç ve çekme bölgesine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.29). İtme yönünde panellerin basınç bölgesinde düşey çatlaklar artmıştır. Kuzey kenarındaki harç tabandan 130 cm yüksekliğe kadar gazbeton yüzeyinden ayrılmış ve bu bölgedeki düşey donatı burkulmuştur. Çevrim sonundaki çatlak gelişimi Şekil 5.30'da gösterilmiştir.

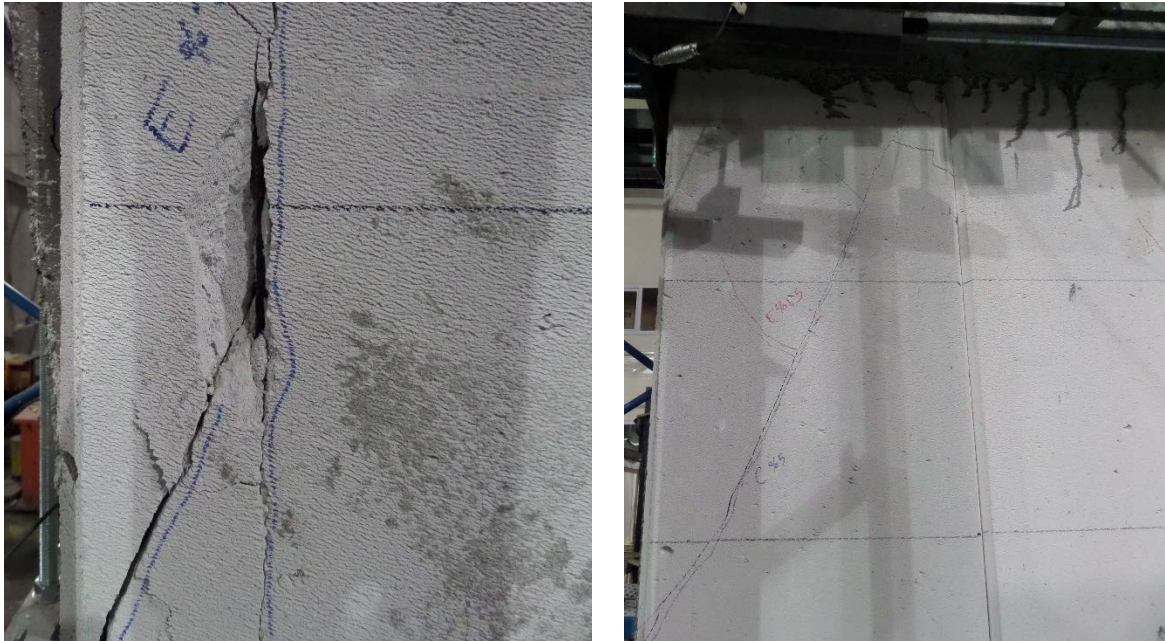


Şekil 5.29: SW-2-2 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası görünüm.

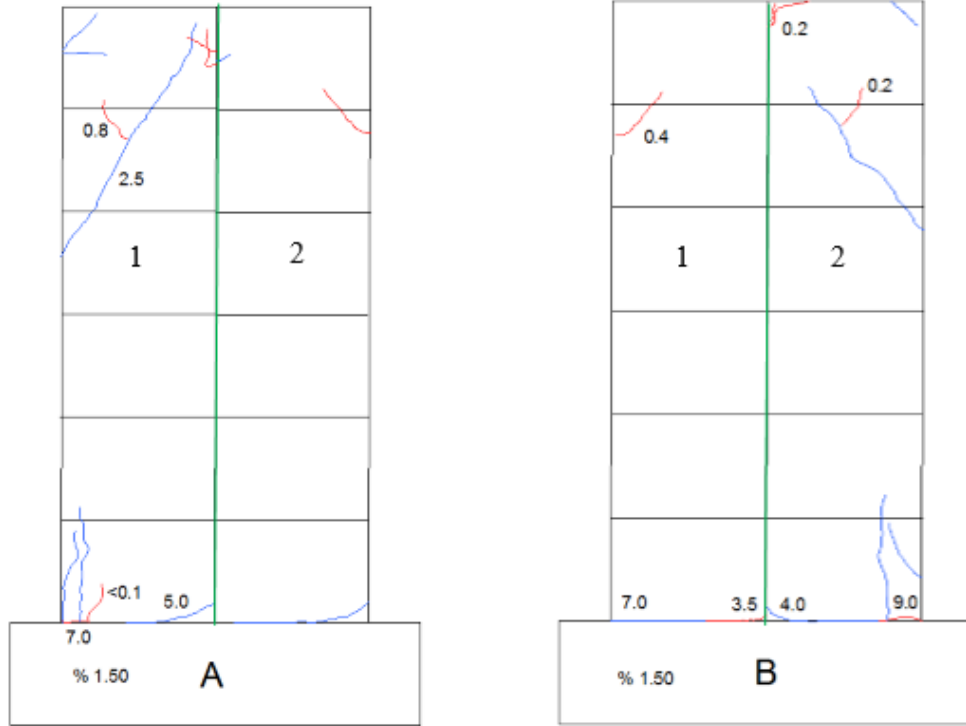
%1.5 öteleme oranında panellerin üst bölgelerinde yatay ve eğik çatlaklar oluşmuş, tabanda basınç bölgelerinde ezilme ve dökülmeler başlamıştır (Şekil 5.31). Çevrim sonunda gözlenen maksimum çatlak genişliği ise çekme yönünde, B yüzünde 9 mm olarak ölçülmüştür. Çevrim sonundaki çatlak gelişimi Şekil 5.32’de belirtilmiştir.



Şekil 5.30: SW-2-2 % 1.00 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

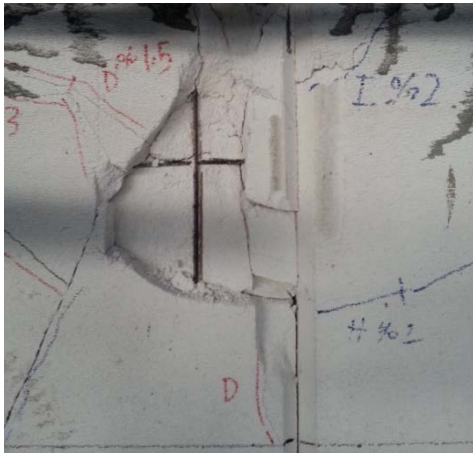


Şekil 5.31: SW-2-2 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası görünüm.

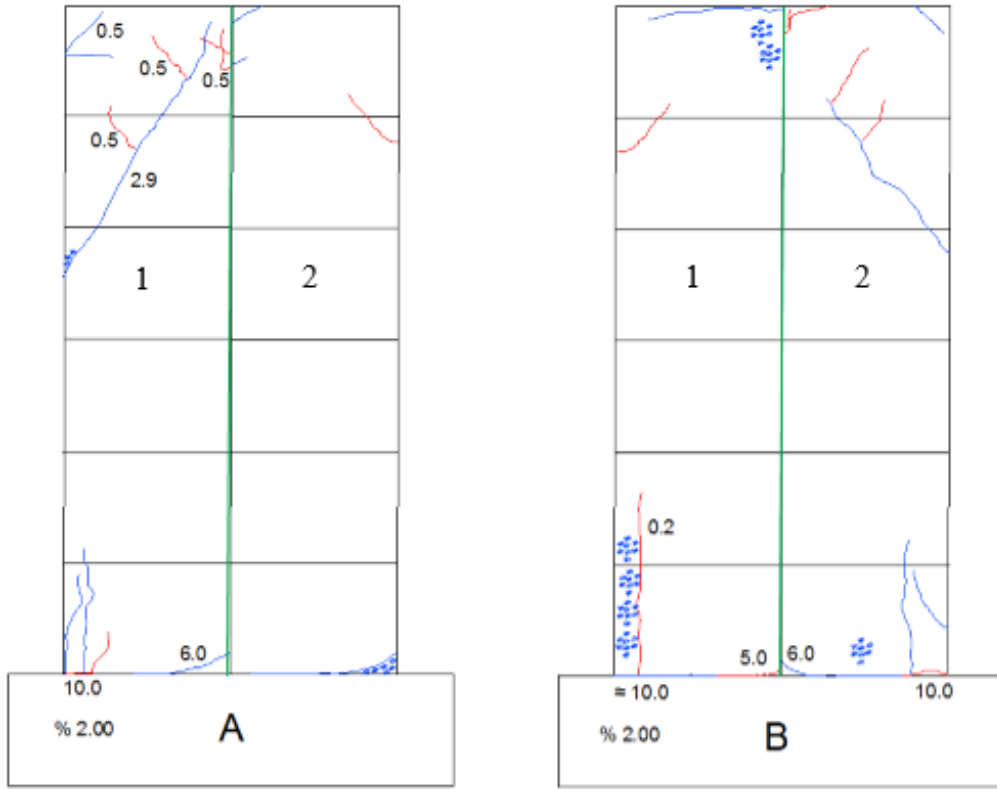


Şekil 5.32: SW-2-2 % 1.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

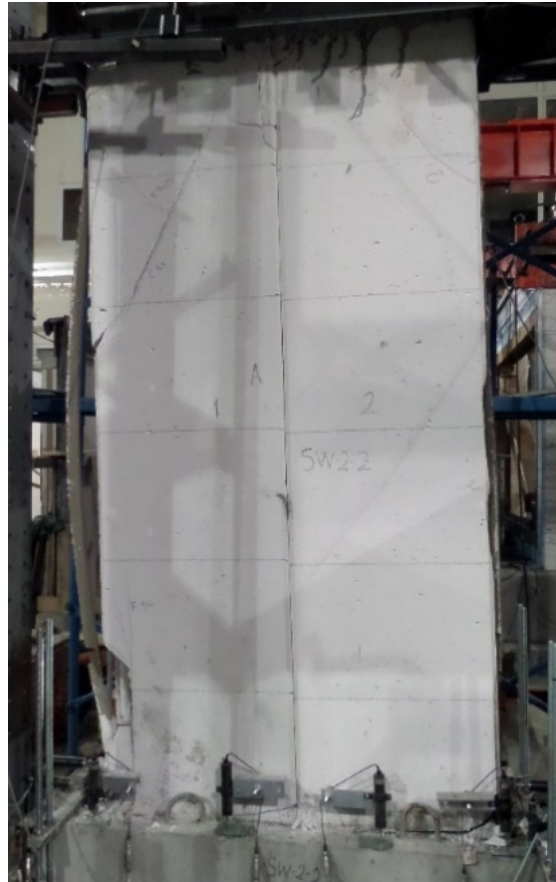
Takip eden %2 ve %3 öteleme oranlarında tabanda ve panel üst bölgelerinde ezilmeler ve dökülmeler belirgin hale gelmiş ve panel donatıları açığa çıkmıştır (Şekil 5.33). %2 öteleme oranında güney yönü tabandan 160 cm yüksekliğinde ezilme ve dökülme gözlenmiştir. %2 öteleme oranında, 1. İtme yönünde A yönü 1 no'lu panelde açığa çıkan, panel içindeki donatıda burkulma gözlenmiştir. %2 öteleme oranında maksimum çatlak genişliği yaklaşık 10 mm olarak ölçülmüştür. %3 öteleme oranında çatlak ölçümü alınmamıştır. Çevrim sonunda oluşan çatlak gelişimi Şekil 5.34'te gösterilmiştir. Deney sonrası numunenin durumu Şekil 5.35'te ve elde edilen yatay yük-öteleme oranı ilişkisi Şekil 5.36'da gösterilmiştir.



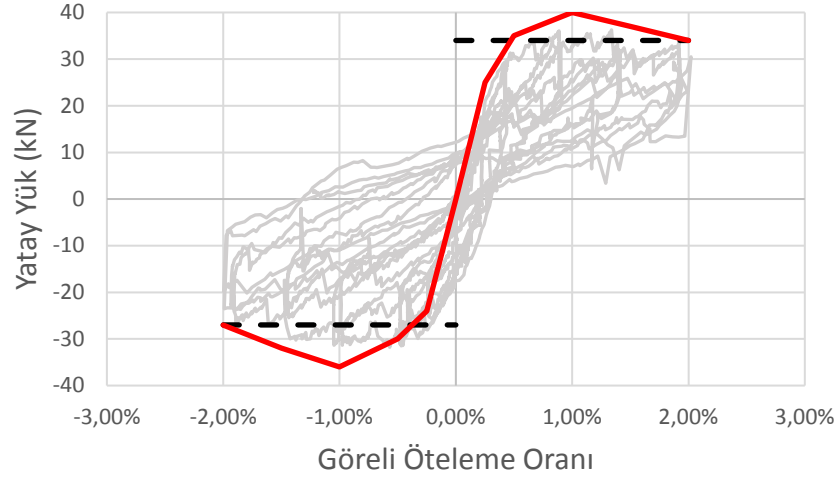
Şekil 5.33: SW-2-2 numunesi %2.00 ve %3.00 çevrimleri sonrası görünümü.



Şekil 5.34: SW-2-2 numunesi %2.00 öteleme oranı hasar gelişimi.



Şekil 5.35: SW-2-2 numunesi deney sonrası görünüm.



Şekil 5.36: SW-2-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.

5.2.3. SW-4-1

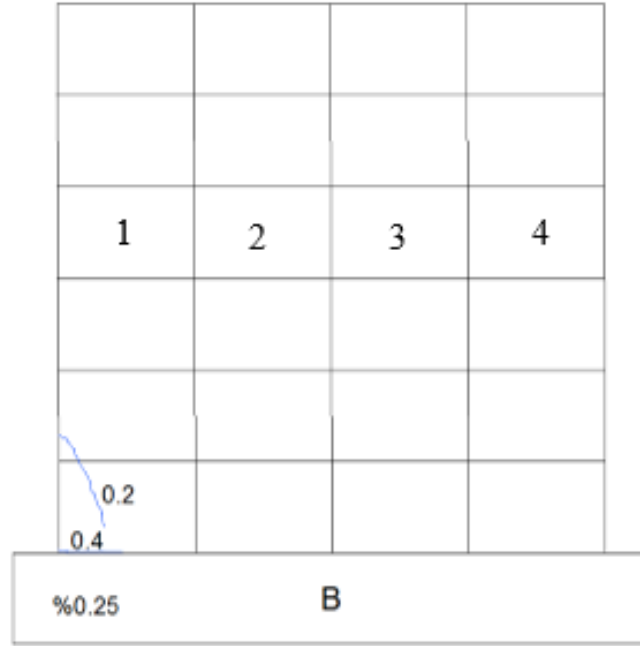
4 panelden oluşan numuneler 0.2 ve 0.5 MPa eksenel yük altında denenmiştir. Numuneler iki panelden oluşan taşıyıcı duvar deney düzeneklerinin hazırlanışında uygulanmış adımlara göre elik ereve içerisine yerleştirilmiş ve deneye hazırlanmıştır. Deney ncesi numunenin görünümü Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37: SW-4-1 numunesi deney sonrası görünüm.

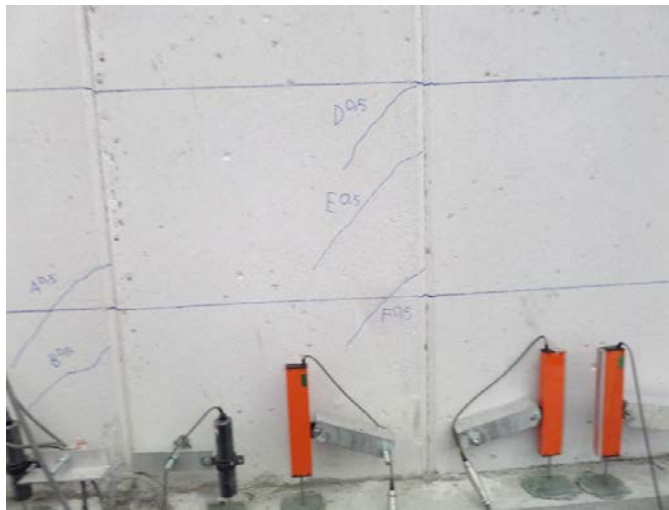
%0.25 öteleme oranında paneller ve temel yüzeyi arasında ayrılmalar başlamıştır. Kuzey kenarı düşey donatı hizasında düşey çatlak gözlenmiştir. Panellerin basınç bölgelerinde düşey çatlaklar oluşmuştur. Ölçülen maksimum yük itme yönünde 61 kN,

maksimum çatlak genişliği 0.4 mm genişliğinde panel temel birleşim bölgesinde gözlenmiştir. Çatlak gelişimi Şekil 5.38’de gösterilmiştir.

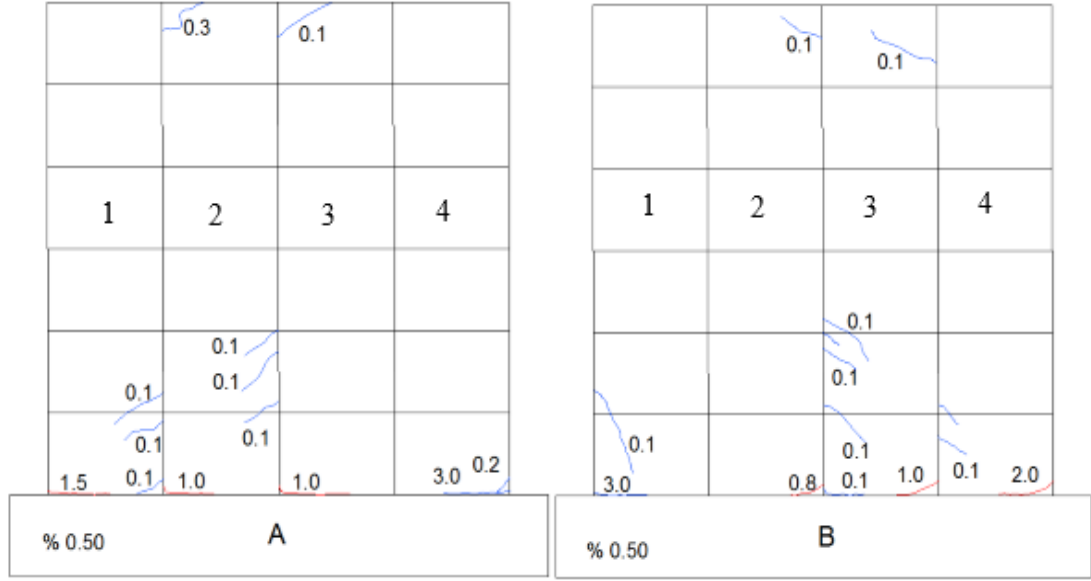


Şekil 5.38: SW-4-1 % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%0.5 öteleme oranında temel yüzeyinden ayrılmalar belirginleşmiş, itme doğrultusundaki yüklemde panel orta bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5.39). Ayrıca güney kenarında düşey donatı hizasında düşey çatlak oluşmuştur. Maksimum çatlak genişliği 3mm olarak A ve B yüzlerinde tabandan ayrılma olarak gözlenmiştir. Öteleme oranına ulaşıldığında maksimum yük çekme yönünde 83 kN olarak ölçülmüştür. Bu öteleme oranında gözlenen çatlak gelişimi Şekil 5.40’da gösterilmiştir.



Şekil 5.39: SW-4-1 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünüm.

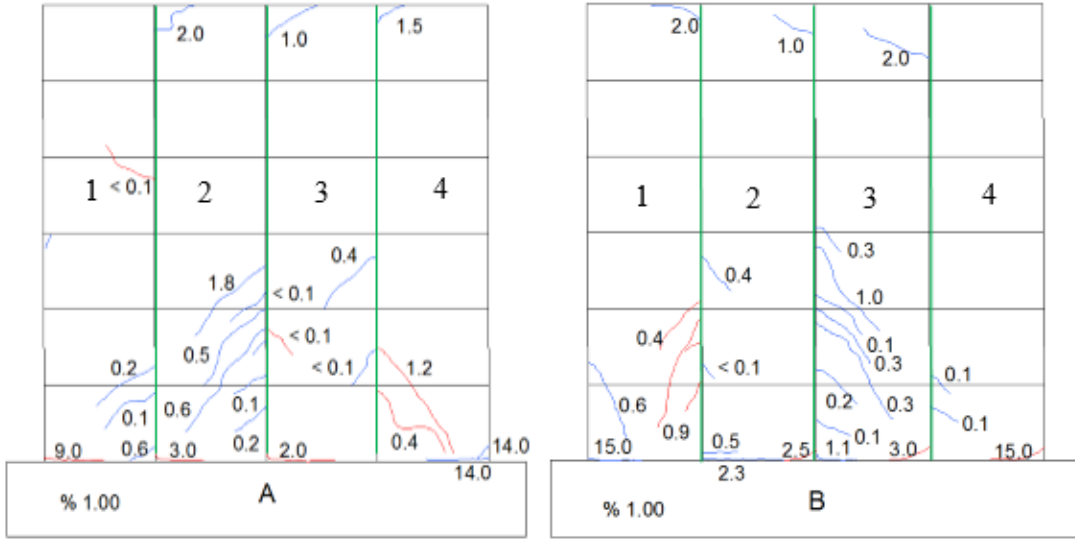


Şekil 5.40: SW-4-1 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%1 öteleme oranında; eğik çatlakların sayısında ve genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir (Şekil 5.41). Çatlaklar komşu paneller arasında süreklilik arz etmemekte, panellerin sürekli değil kendi içinde bağımsız çalıştıkları gözlenmiştir. Bu öteleme oranında maksimum yük itme yönünde 90 kN olarak, maksimum çatlak genişliği ise panel taban birleşim bölgesinde 15 mm olarak ölçülmüştür. Çatlak gelişimi Şekil 5.42’de gösterilmiştir.



Şekil 5.41: SW-4-1 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası görünümü.



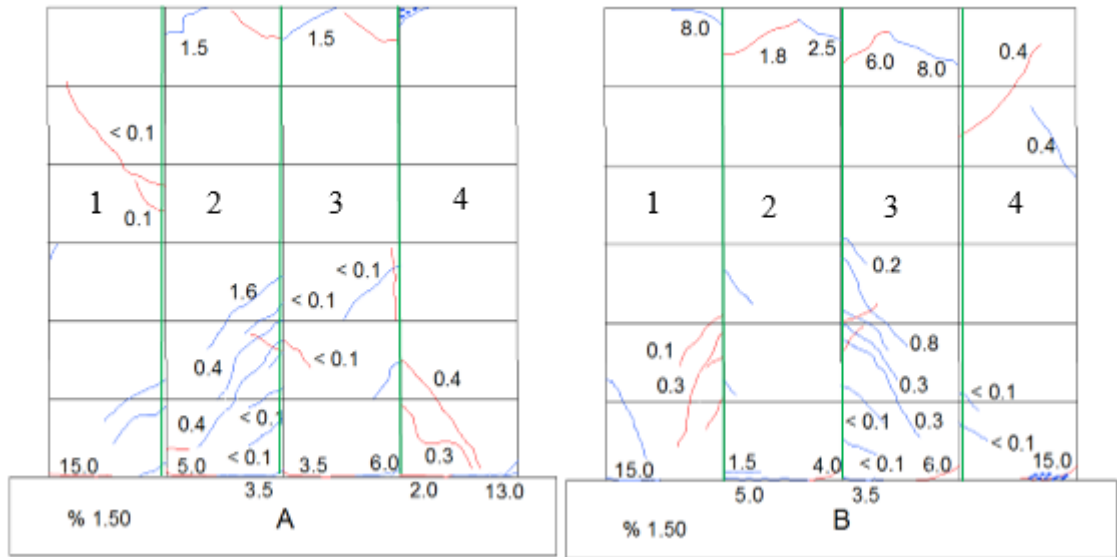
Şekil 5.42: SW-4-1 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%1.5 öteleme oranında ise; panellerde tabandan 30-50 cm yükseklikte ve panel ile temel birleşim bölgelerinde ezilme ve dökülmeler görülmüştür (Şekil 5.43). Ezilmeler B yüzü 1 ve 2 no'lu panel birleşim bölgesinde 30 ve 50 cm yüksekliklerinde ve A yüzü 1 no'lu paneli temel panel birleşim bölgesinde gözlenmiştir. Bu öteleme oranında panel yüzeylerinde kesme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Bu öteleme oranında panel ve temel birleşim bölgelerinde 15 mm çatlak genişliği gözlenmiştir. Çatlak gelişimi Şekil 5.44'te gösterilmiştir.

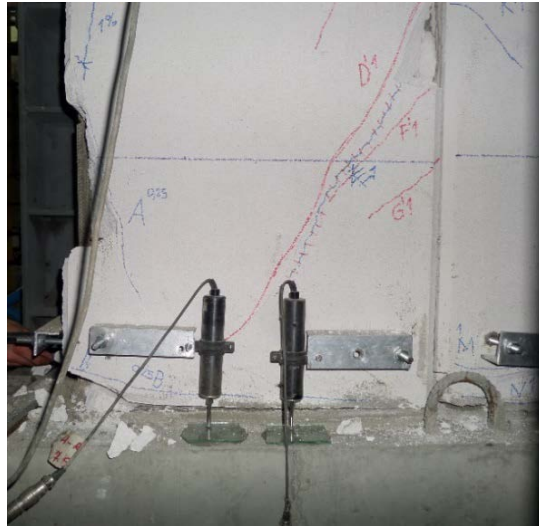
%2 öteleme oranında; panellerin üst ve alt bölgelerinde ezilmeler artmış ve deney sonlandırılmıştır (Şekil 5.45). Bu öteleme oranında çatlak ölçümü alınmamıştır. Ölçülen maksimum yük çekme yönünde 82 kN'dur. Dayanımın %15'inden daha fazla azalmış olduğu gözlemlendiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası numunenin durumu Şekil 5.46'da ve elde edilen yatay yük-öteleme oranı ilişkisi Şekil 5.47'de gösterilmiştir.



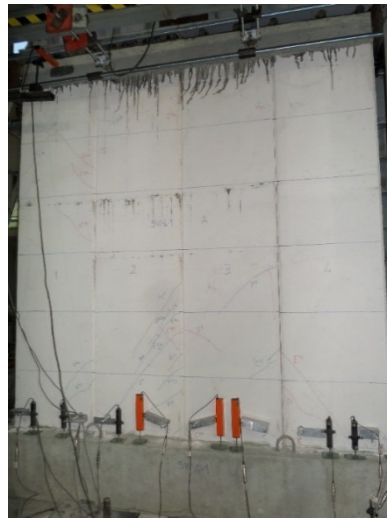
Şekil 5.43: SW-4-1 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası görünümü.



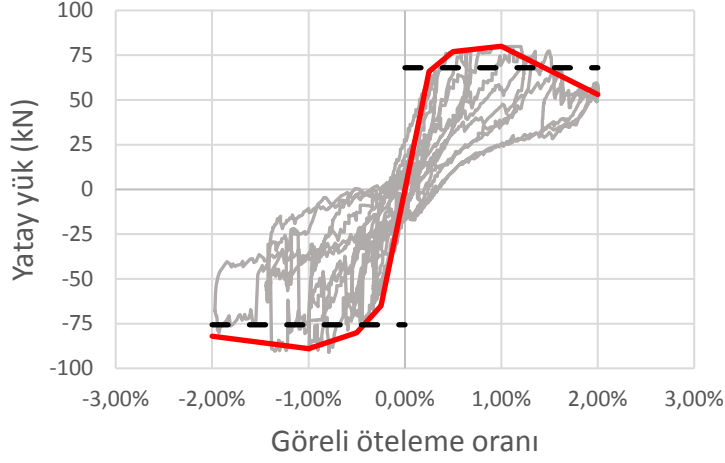
Şekil 5.44: SW-4-1 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.



Şekil 5.45: SW-4-1 numunesi %2.00 çevrimi sonrası görünüm.



Şekil 5.46: SW-4-1 numunesi deney sonrası görünüm.



Şekil 5.47: SW-4-1 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.

5.2.4. SW-4-2

4 panelden oluşan SW-4-2 numunesi 0.5 MPa eksenel yük altında denenmiştir. Numune; deney düzeneğinde, yatay hareketi sınırlandırmak için çelik çerçeve üzerine önceden yerleştirilmiş ve sabitlenmiş payandaların arasına yerleştirilmiş ve sabitlenmiş payandaların arasına yerleştirilmiştir. Numunenin çerçeve içerisine yerleştirilmesi işlemlerinden sonra ölçüm aletleri ve hidrolik yükverenler önceden belirlenmiş yerlerine bağlanmıştır. Çelik silindirlerin, yerleştirilmesinin ardından yük aktarma kirişi de panellerin üzerine konularak eksenel yük uygulayacak olan hidrolik yükverenlerin yerleri saptanmış ve her yükveren ile panele 120 kN yük etkilmiştir. Düzlem içi yerdeğiştirmeyi sınırlandıracak tekerleklerin de yerleştirilmesinin ardından deneye geçilmiştir. Deney öncesi numunenin görünümü Şekil 5.48’de gösterilmiştir.



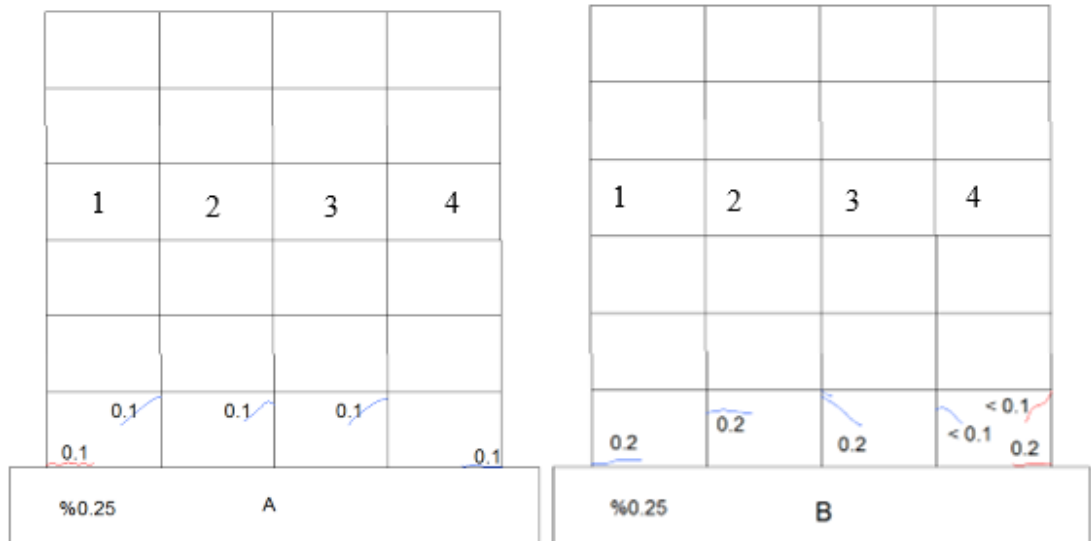
Şekil 5.48: SW-4-2 numunesi deney öncesi görünüm.

%0.25 öteleme oranında A yüzü 1,2 ve 3 no'lu panellerde çekme bölgesinde, B yüzünde ise 4 no'lu panelde basınç bölgesinde tabana yakın eğik çatlaklar oluşmuştur. 4 no'lu panelde panel temel birleşim bölgesinde ayrılmanın başladığı gözlenmiştir (Şekil 5.49). Çevrim sonunda ölçülen maksimum yük itme yönünde 115 kN, maksimum çatlak genişliği ise temel ile panel birleşim bölgesinde 0.2 mm olarak ölçülmüştür. Çevrim sonunda oluşan çatlak gelişimi Şekil 5.50'de gösterilmiştir.

%0.50 öteleme oranında temel panel birleşim bölgesindeki çatlak genişliklerinin arttığı ve çatlakların ilerlediği gözlenmiştir. Önceki çevrimde oluşan eğik çatlakların genişliklerinin arttığı, boylarının uzadığı gözlenmiştir (Şekil 5.51). Birinci itme sonunda kuzey yönünde, birinci çekme sonunda güney yönünde düşey donatı hizasında düşey çatlaklar oluşmuştur. Panellerin üst bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Bu öteleme oranında ölçülen maksimum yük çekme yönünde 122 kN, maksimum çatlak genişliği ise 2.5 mm olarak ölçülmüştür. Çatlak hasar gelişimi Şekil 5.52'de belirtilmiştir.



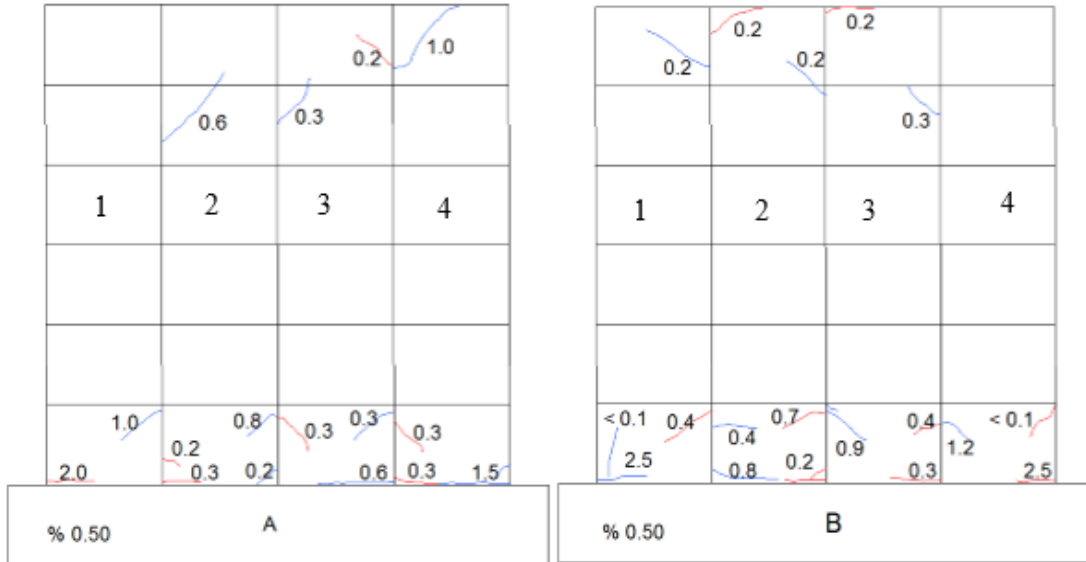
Şekil 5.49: SW-4-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.



Şekil 5.50: SW-4-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

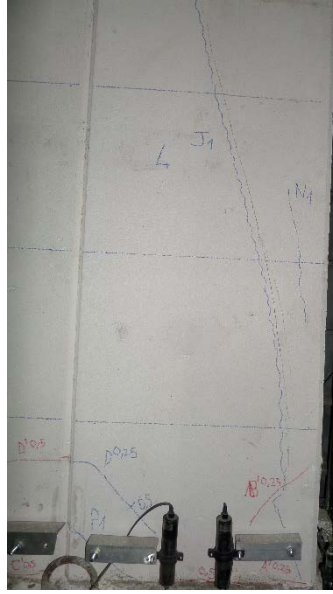


Şekil 5.51: SW-4-2 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünüm.

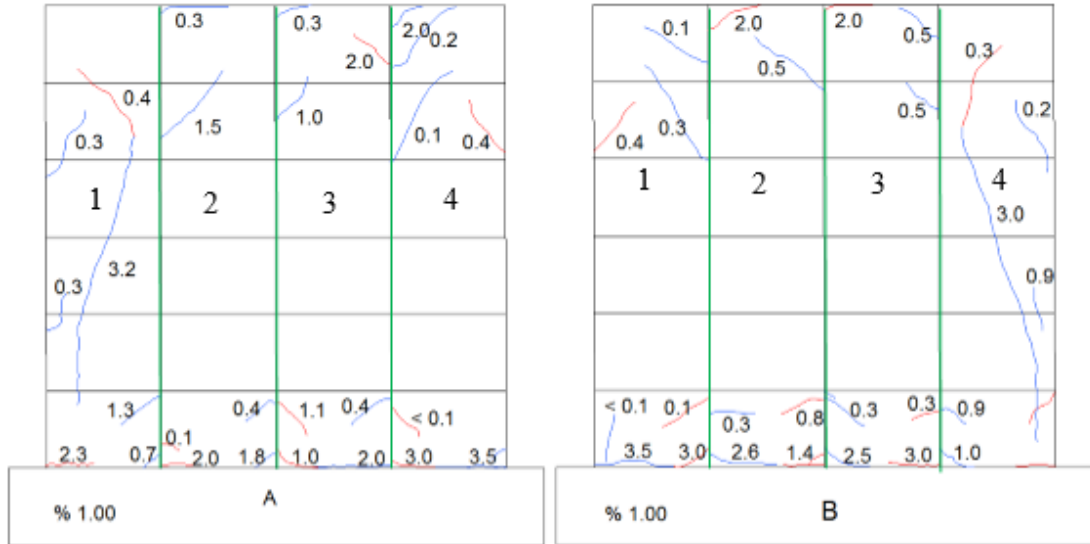


Şekil 5.52: SW-4-2 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

%1 öteleme oranında çatlak sayısı ve genişliklerinde artma gözlenmiştir. Paneller özellikle itme yönündeki yüklemelerde hasar almıştır. Panellerde ezilme başlangıcı gözlenmiştir. Birinci itme sırasında A yüzü 1 no'lu panelde ve B yüzü 4 no'lu panelde tabana yaklaştıkça dikleşen eğik kesme çatlağı oluşmuştur. Panellerin üst bölgelerinde eğik kesme çatlakları oluşmuştur. Paneller birbirlerinden ayrılmaya, paneller arası düşey fark artmaya başlamıştır. Güney ve kuzey yönü, basınç bölgelerinde düşey donatıların burkulmaya başladığı gözlenmiştir. Çevrim sonrası numunenin görünümü Şekil 5.53'te, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.54'te belirtilmiştir. %1 öteleme oranında ölçülen maksimum yük çekme yönünde 114 kN, maksimum çatlak genişliği ise 3.5 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.53: SW-4-2 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası görünüm.

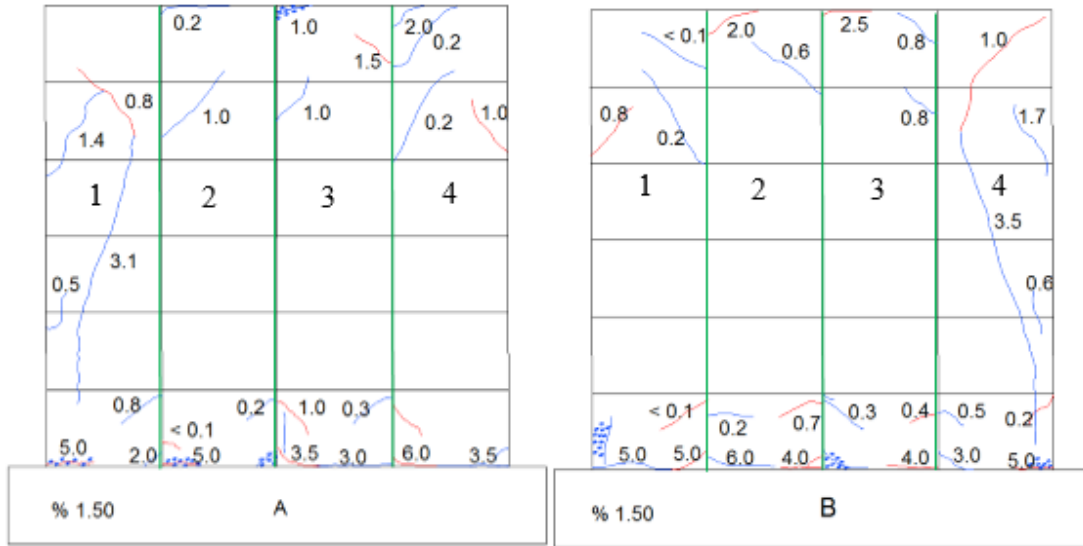


Şekil 5.54: SW-4-2 %1.00 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

% 1.5 öteleme oranında çatlak genişlikleri ve ezilmeler artmıştır. Panellerin birbirinden ayrı çalıştıkları gözlenmiş ve herbir panelin kendi basınç ve çekme bölgelerinin olduğu, hasarların bir panelden diğerine sürekli olarak aktarılmadığı gözlenmiştir. Panellerin basınç bölgelerinde ezilmeler gözlenmiştir. Güney yönünde düşey donatıda burkulma artmıştır. 90cm yüksekliğine kadar ezilme ve birleşim bölgesindeki harçta dökülmeler gözlenmiştir. Kuzey yönündeki hasarın güney yönündeki hasar kadar ilerlemediği not edilmiştir. Öteleme sonrasında numunenin görünümü Şekil 5.55'te, çatlak hasar gelişimi 5.56'da gösterilmiştir. Bu öteleme oranında maksimum yük çekme yönünde 109 kN, maksimum çatlak genişliği ise temel panel birleşim bölgesinde 6 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.55: SW-4-2 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası görünüm.



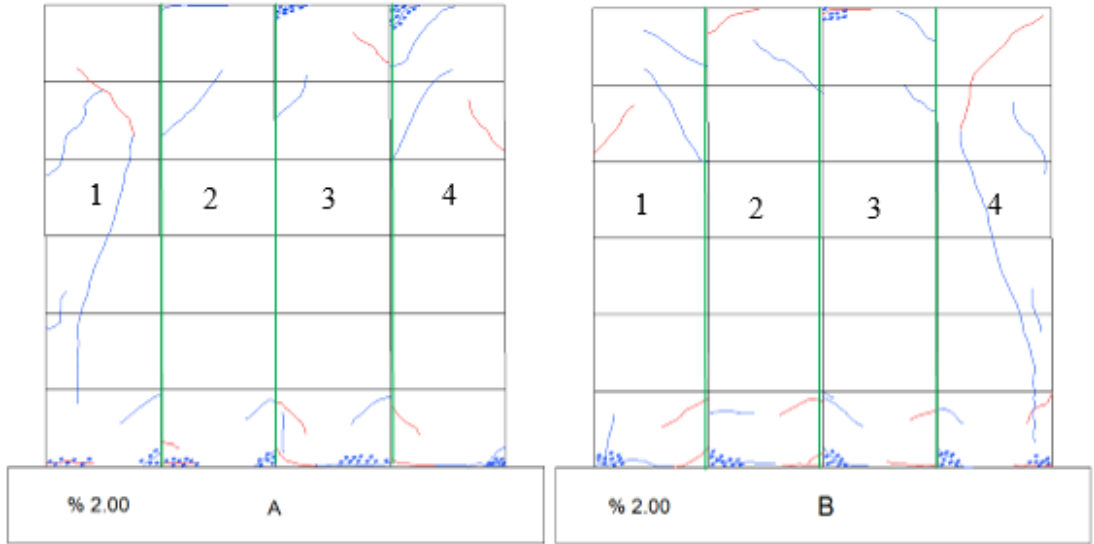
Şekil 5.56: SW-4-2 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası hasar gelişimi.

% 2.0 öteleme oranında güney yönünde panel birleşim bölgesinde bulunan harç tamamen birleşim bölgesinden ayrılmıştır. Güney yönü düşey donatısı 2 m yüksekliğine kadar burkulmuştur Kuzey yönündeki düşey donatı 160 cm yüksekliğine kadar burkulmuş, bu bölümde bulunan harç tabakası dökülmüştür. 2. itme sonrası özellikle A yüzü 1 no'lu panel olmak üzere paneller ağır hasar almıştır. Panellerin üst bölgelerinde ezilmeler gözlenmiştir. 1 ve 2 çekmelerinden sonra B yüzündeki tüm panellerde temel panel birleşim bölgesinde ezilme gözlenmiştir. Bu öteleme sonrası çatlak genişliği okunmamıştır. Ölçülen maksimum yük çekme yönünde 100 kN olarak ölçülmüştür. Öteleme sonrası numunenin görünümü Şekil 5.57'de çatlak hasar

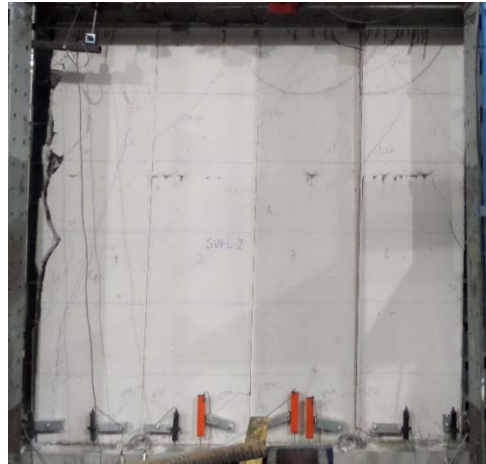
gelişimi Şekil 5.58’de gösterilmiştir. Deney sonrası numunenin durumu Şekil 5.59’da ve elde edilen yatay yük-öteleme oranı ilişkisi Şekil 5.60’da gösterilmiştir.



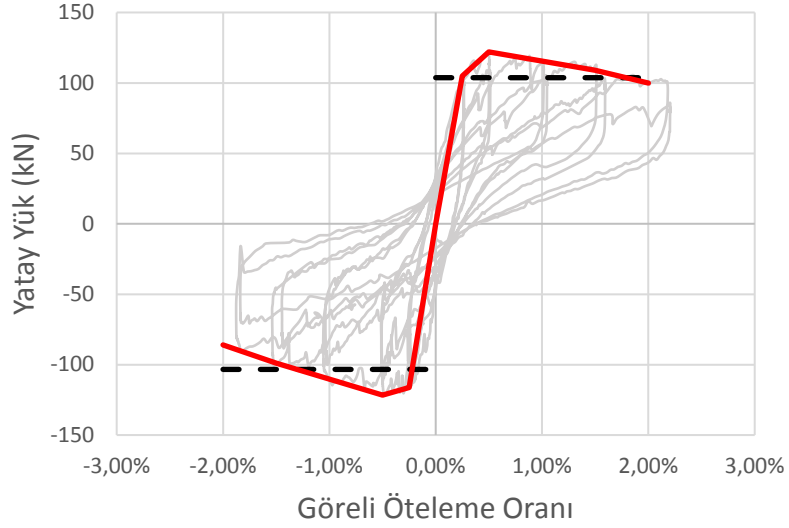
Şekil 5.57: SW-4-2 numunesi % 2.00 çevrimi görünümü.



Şekil 5.58: SW-4-2 numunesi % 2.00 çevrimi sonrası hasar gelişimi.



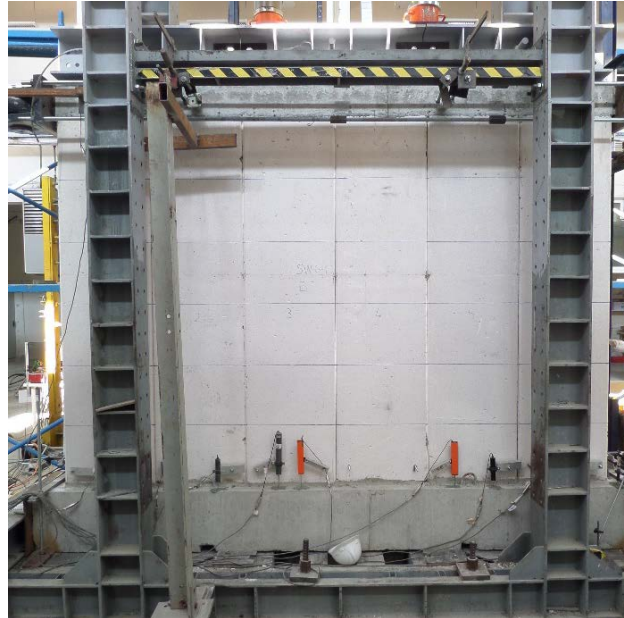
Şekil 5.59: SW-4-2 numunesi deney sonrası görünüm.



Şekil 5.60: SW-4-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.

5.2.5. SW-6-1

6 panelden oluşan SW-6-1 numunesi 0.2 MPa eksenel yük altında denenmiştir. Numune; önceki bölümlerde belirtildiği şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiş ve ölçüm aletleri ile hidrolik yükverenler bağlanmıştır. Her yükveren ile panele 72 kN, toplamda 144 kN yük etkilmiştir. Deney öncesi numunenin görünümü Şekil 5.61’de gösterilmiştir.



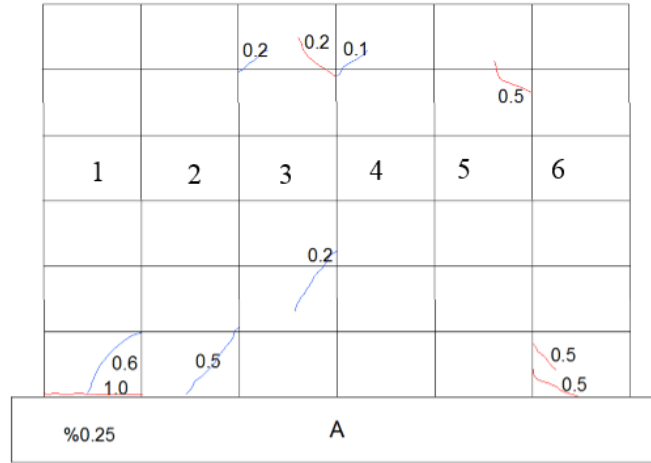
Şekil 5.61: SW-6-1 numunesi deney öncesi görünümü.

%0.25 öteleme oranında A yüzündeki 1, 2, 3 ve 4 no’lu panellerin, B yüzündeki panellerin alt ve üst bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmuştur. Oluşan eğik çatlaklar itme

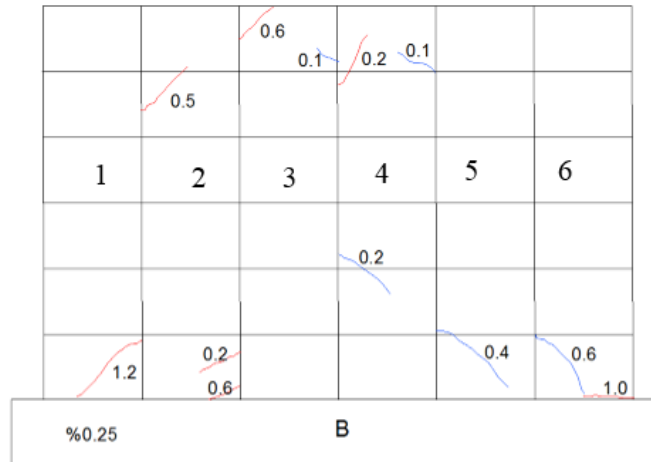
yönündeki yükleme sonrası panellerin basınç bölgelerinde oluşmuşlardır. A6 ve B1 panelinde, temel panel birleşim bölgesinde ayrılmanın başladığı görülmüştür. Çevrim sonunda oluşan maksimum çatlak genişliği B1 panelinde 1.2 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca, çevrim sonunda ölçülen maksimum yük itme yönünde 123 kN'dur. %0.25 öteleme oranı sonrası numunenin görünümü Şekil 5.62'de, çatlak hasar gelişimi 5.63'te belirtilmiştir.



Şekil 5.62: SW-6-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünümü.



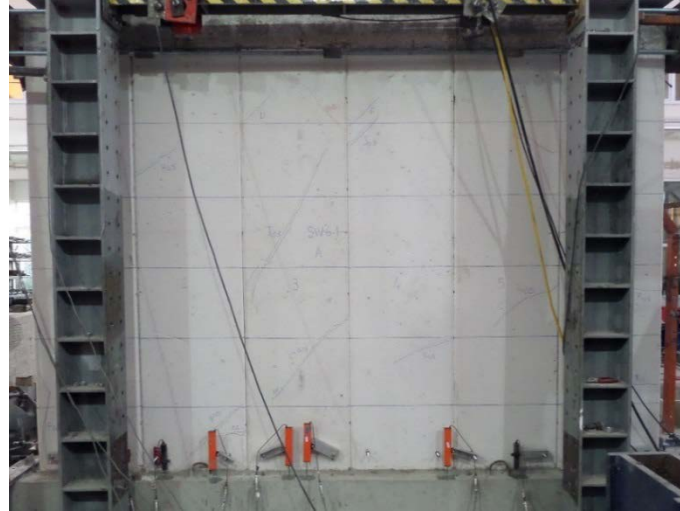
(a)



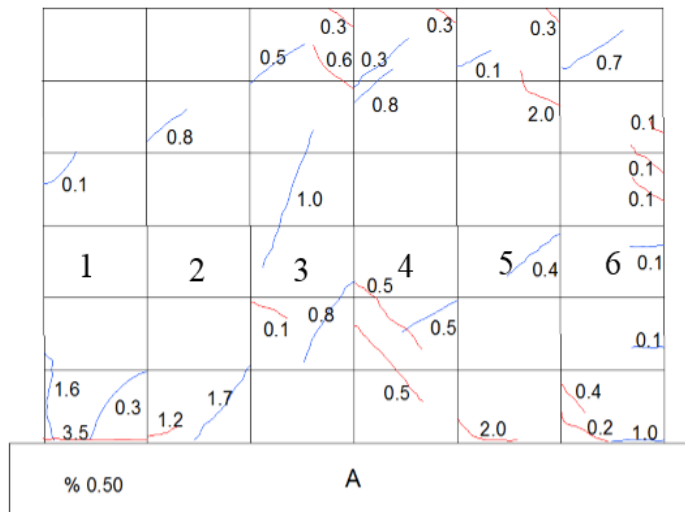
(b)

Şekil 5.63: SW-6-1 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası A (a) ve B (b) yönü hasar gelişimi.

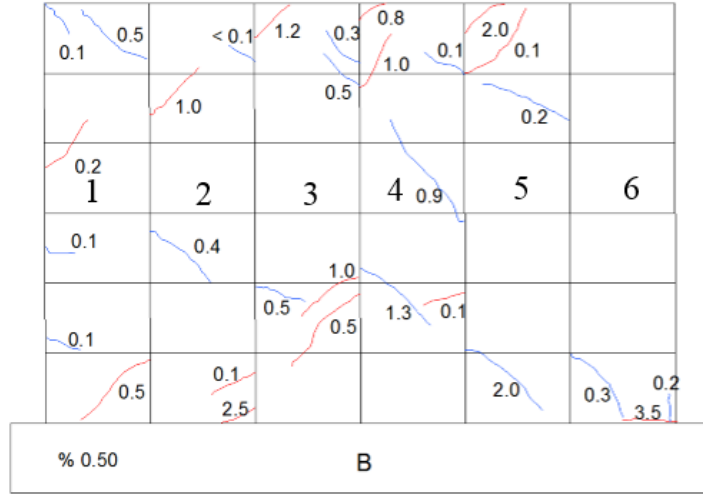
%0.50 öteleme oranında çatlak sayısında ve önceki çevrimde oluşan çatlakların genişlik ve uzunluklarında artmalar gözlenmiştir. Bu çevrimde her panelde eğik çatlakların oluştuğu ve eğik çatlakların sadece basınç bölgelerinde değil panellerin çekme bölgelerinde de oluştuğu görülmüştür. A6 panelinde 45 ve 90 cm yüksekliklerinde yatay çatlaklar gözlenmiştir. Panel ve temel birleşim bölgelerindeki ayrılmalar artmış ve paneller arası süreklilik kazanmıştır. A1 panelinde panel içi donatı hizasında düşey çatlak belirlenmiştir. Güney yönü düşey donatı hizasında panel birleşim bölgesinde bulunan harcın üzerinde düşey çatlak oluşumu gözlenmiştir. Kuzey yönünde bir hasar gözlenmemiştir. Çevrim sonunda ölçülen en geniş çatlak 3.5 mm olarak A1 paneli ile temel birleşim bölgesinde gözlenmiştir. Çevrimde ölçülen maksimum yük itme yönünde 161 kN'dur. Çevrim sonunda numunenin görünümü Şekil 5.64'te, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.65'te belirtilmiştir.



Şekil 5.64: SW-6-1 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünümü.



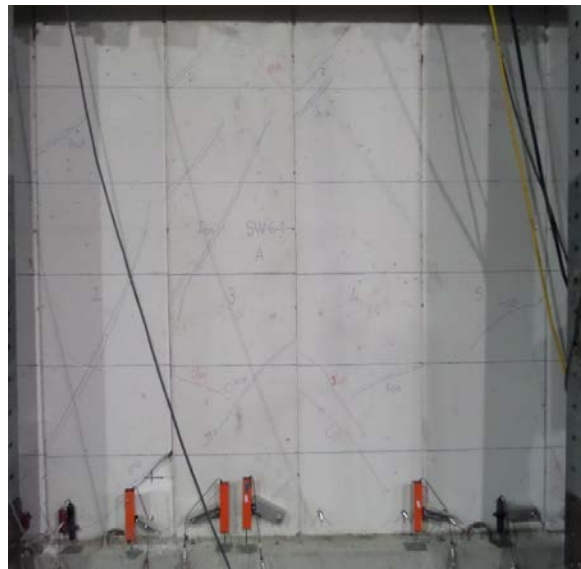
(a)



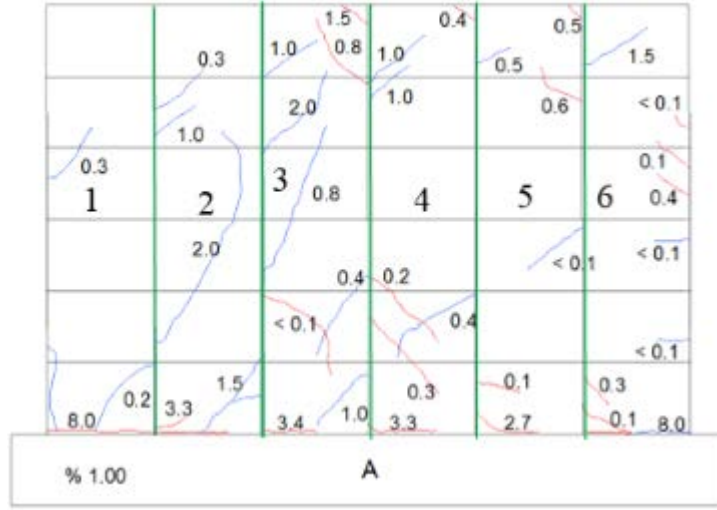
(b)

Şekil 5.65: SW-6-1 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası A (a) ve B (b) yönü hasar gelişimi.

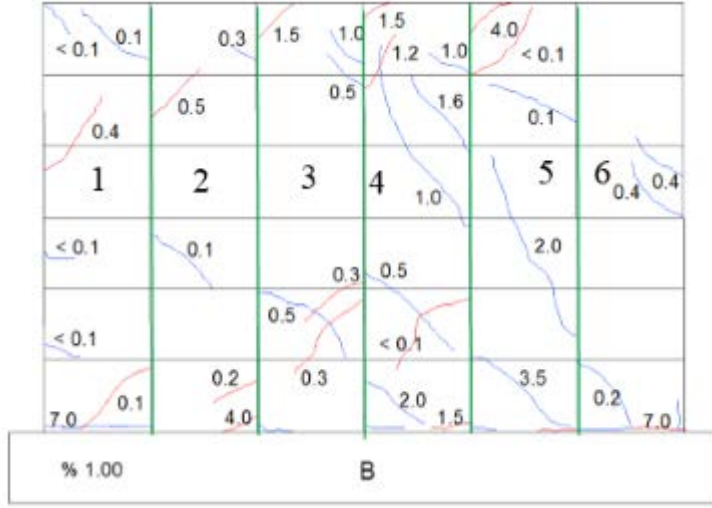
%1 öteleme oranında gazbeton panellerin basınç bölgelerinde ezilme ve dökülmelerin başladığı gözlenmiştir. Bu öteleme paneller tamamen temel yüzeyinden ayrılmıştır. Ayrılmaların 1-8 mm arasında oldukları gözlenmiştir. Paneller arası yatay seviye farklılıkların arttığı kolaylıkla görülebilir hale gelmiştir. Bu öteleme sonrasında panellerdeki çatlakların sürekli şekilde paneller arasında ilerledikleri görülebilmektedir. Bu ötelemede ölçülen maksimum yük itme yönünde 148 kN olarak, maksimum çatlak genişliği ise panel temel birleşim bölgesinde 8 mm olarak ölçülmüştür. Çevrim sonrası numunenin görünümü Şekil 5.66’da, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.67’de belirtilmiştir.



Şekil 5.66: SW-6-1 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası görünümü.



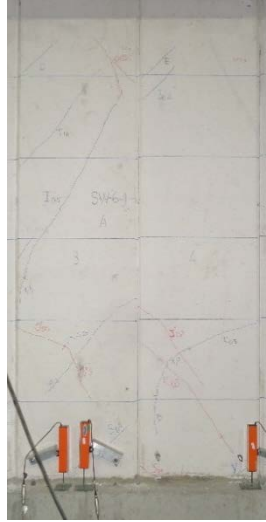
(a)



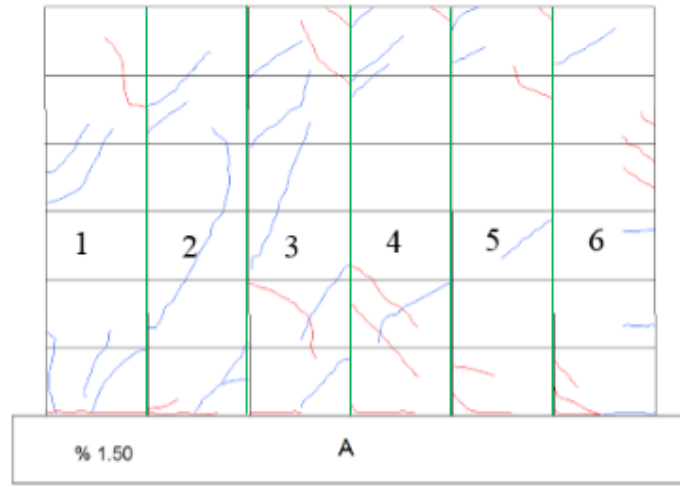
(b)

Şekil 5.67: SW-6-1 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası A (a) ve B(b) yönü hasar gelişimi.

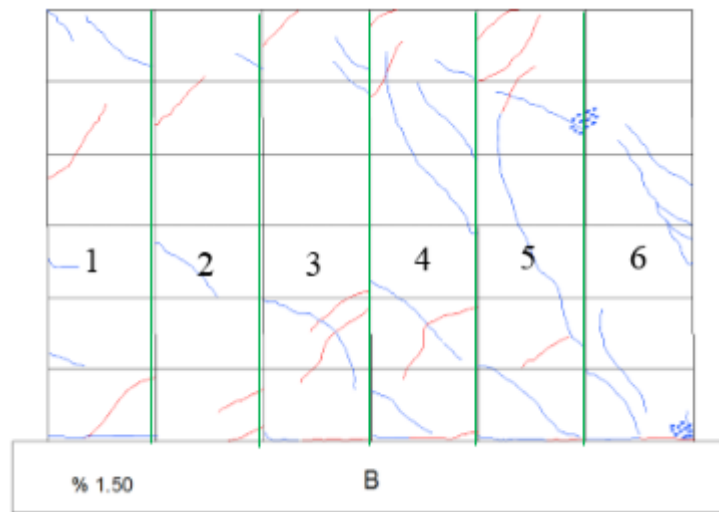
%1.5 öteleme oranında önceki çevrimlerde oluşan çatlaklar genişleyip uzamıştır. Panellerin üst bölgelerinde yeni eğik kesme çatlaklarının oluştuğu gözlenmiştir. Her panel kendi içerisinde ayrı çalışmaya devam etmiştir. Paneller arası yatay seviye farkları artmıştır. B6 panelinde basınç bölgesinde ezilme gözlenmiştir. B5 panelinde 180 cm yüksekliğinde ezilme gözlenmiştir. Bu çevrimde çatlak genişliği okunmamıştır. Okunan maksimum yük itme yönünde 134 kN'dur. Çevrim sonrası numunenin görünümü Şekil 5.68'de, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.69'da gösterilmiştir. Bu çevrim sonunda en az %15 dayanım kaybı olduğundan deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası numunenin görünümü Şekil 5.70'de ve elde edilen yatay yük-öteleme oranı ilişkisi Şekil 5.71'de belirtilmiştir.



Şekil 5.68: SW-6-1 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası görünümü.



(a)

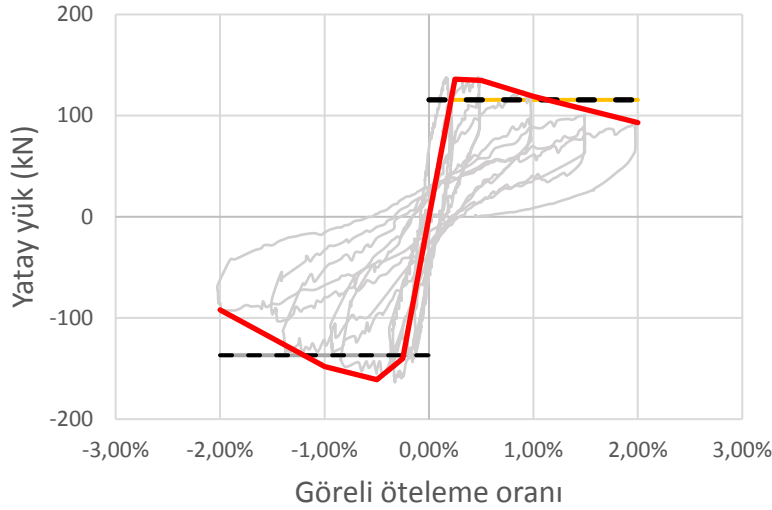


(b)

Şekil 5.69: SW-6-1 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası A (a) ve B(b) yönü hasar gelişimi.



Şekil 5.70: SW-6-1 numunesi deney sonrası görünüm.



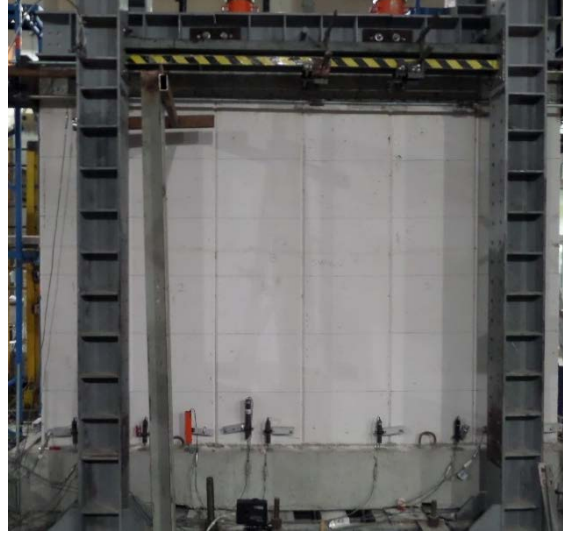
Şekil 5.71: SW-6-1 numunesi yatay yük–öteleme oranı ilişkisi.

5.2.6. SW-6-2

SW-6-2 numunesi 0.5 MPa eksenel yük altında denenmiştir. Numune; önceki bölümlerde belirtildiği şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiş ve ölçüm aletleri ile hidrolik yükverenler bağlanmıştır. Her yükveren ile 180 kN olmak üzere panele toplam 360 kN yük etkilmiştir. Deney öncesi numunenin görünümü Şekil 5.72’de gösterilmiştir.

%0.25 öteleme oranında panellerin alt ve üst bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmaya başlamıştır. A yüzü 1 ve 2 no’lu, B yüzü 5 ve 6 no’lu panellerin alt bölgelerinde eğik çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5.73). Paneller temel birleşim bölgelerinden ayrılmaya

başlamıştır. Bu çevrimde ölçülen en geniş çatlak temel panel birleşim bölgesinde ve 3.2 mm genişliğindedir. Ölçülen maksimum yük çekme yönünde ve 143 kN değerindedir. Çevrim sonrası çatlak hasar gelişimi Şekil 5.74'te belirtilmiştir.



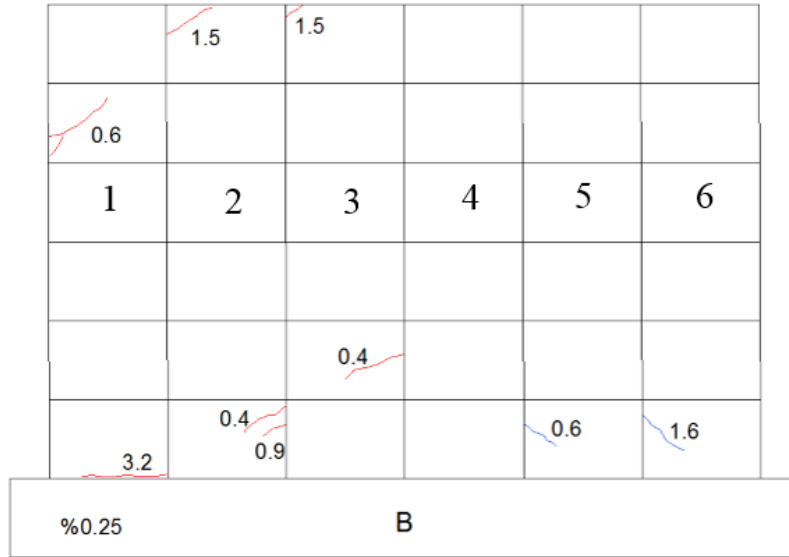
Şekil 5.72: SW-6-2 numunesi deney öncesi görünümü.



Şekil 5.73: SW-6-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası görünüm.

1	2	3	4	5	6
			0.3		
1.2	0.5			0.2	
				0.4	2.5
%0.25		A			

(a)



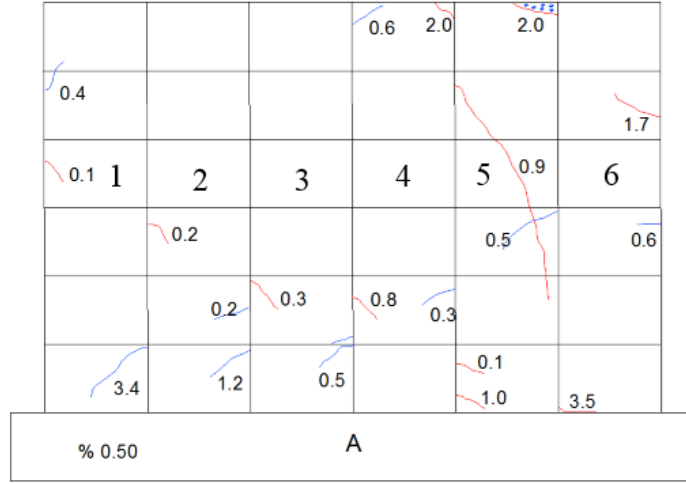
(b)

Şekil 5.74: SW-6-2 numunesi % 0.25 çevrimi sonrası A (a) ve B (b) yönü hasar gelişimi.

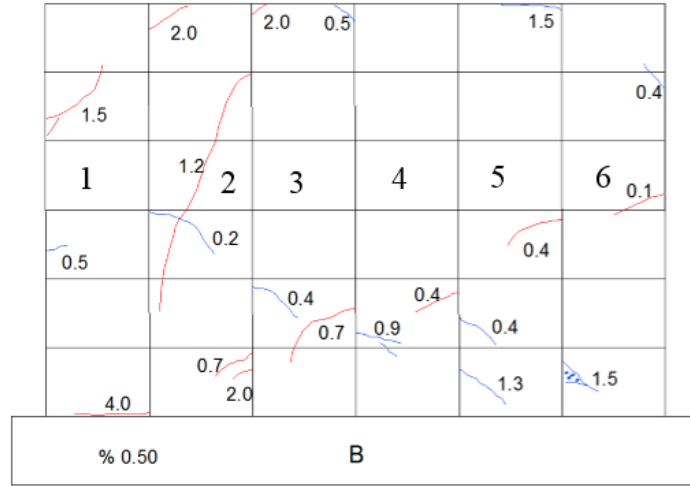
%0.50 öteleme oranında perde duvarı oluşturan panellerin birlikte çalıştıkları ve bu birlikte davranış sergileyen panellerin kendi basınç ve çekme bölgelerinin olduğu gözlenmiştir. Bu çevrimde, önceki çevrimde oluşan çatlak genişlikleri ve uzunlukları artmıştır. Panellerde yeni eğik ve yatay çatlaklar oluşmaya başlamıştır. 1. itme sonrasında her panelin çekme bölgesinde eğilme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. B yüzü 6 no'lu panelde ezilmenin başladığı gözlenmiştir. Önceki deneylerden farklı olarak bu numunede panellerin daha çok birlikte çalıştıkları ve çatlak gelişiminin paneller arası süreklilik arz ettiği gözlenmiştir (Şekil 5.75). Bu çevrimde ölçülen maksimum yük çekme yönünde 174 kN ve maksimum çatlak genişliği ise 3.5 mm olarak ölçülmüştür. Çevrim sonrası çatlak hasar gelişimi Şekil 5.76'da belirtilmiştir.



Şekil 5.75: SW-6-2 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası görünüm.



(a)



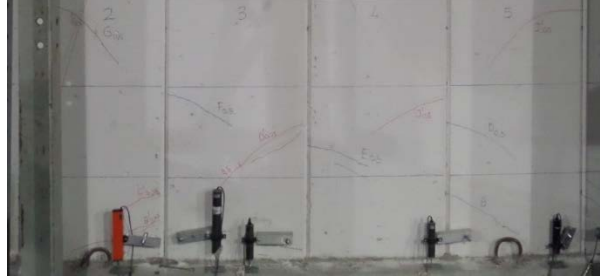
(b)

Şekil 5.76: SW-6-2 numunesi % 0.50 çevrimi sonrası A (a) ve B(b) yönü hasar gelişimi.

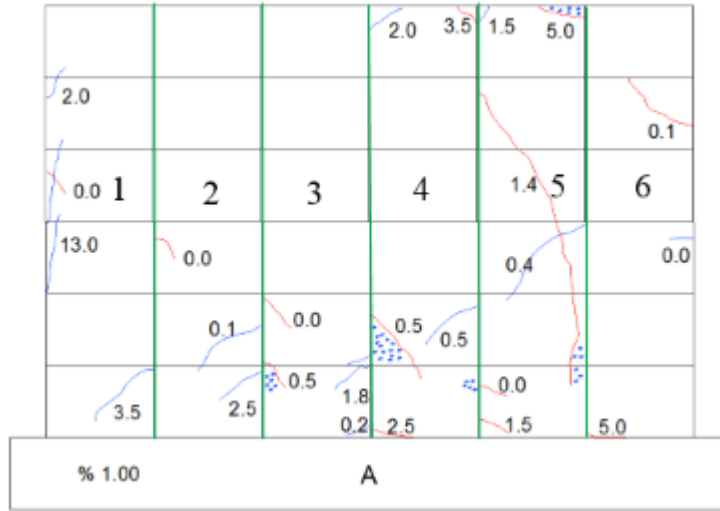
%1 öteleme oranında panellerde geniş eğik çatlaklar oluşmuştur. Bu çevrim sonrasında tüm paneller temel ve panel birleşim bölgelerinden ayrılmıştır. Paneller arası yatay seviye farkları artmıştır. Panellerin basınç bölgelerinde gözlenen ezilmeler artmış ve tüm panellerde görülmeye başlamıştır. Kuzey yönünde bulunan düşey donatı 50 cm yüksekliğine kadar burkulmuştur. Güney yönündeki düşey donatıda da burkulma gözlenmiştir. Çevrim sonrası numune görünümü Şekil 5.77’de, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.78’de görülmektedir. Ölçülen maksimum yük itme yönünde ve 122 kN, maksimum çatlak genişliği ise 13mm’dir.

%1.5 öteleme oranında ezilmeler artmış ve tüm panellere yayılmıştır. Artan ezilmelerden dolayı numunede dayanım kaybı gözlenmiştir. Panellerin alt bölgelerinde gazbeton yüzeyinde dökülmeler gözlenmiştir ve panellerin içlerinde

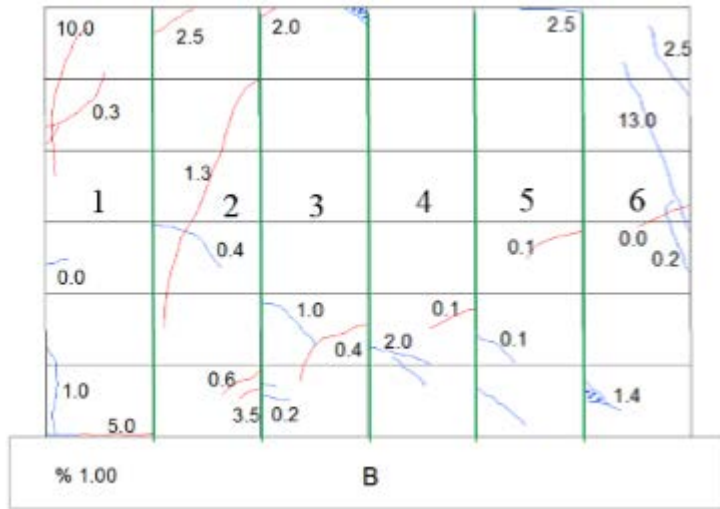
bulunan düşey donatılarda burkulmalar başlamıştır. Ezilmelerin artmasından ve panel yüzeylerine yayılmasından dolayı bu öteleme oranında çatlak okuması yapılmamıştır. Ölçülen maksimum yük itme yönünde 130 kN'dur. Çevrim sonrası numunenin görünümü Şekil 5.79'da, çatlak hasar gelişimi Şekil 5.80'de belirtilmiştir.



Şekil 5.77: SW-6-2 numunesi %1.00 çevrimi sonrası görünüm.

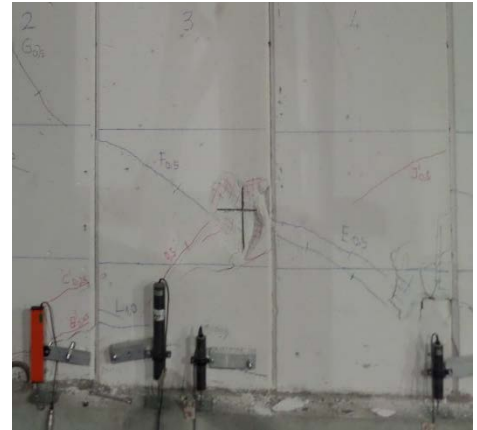
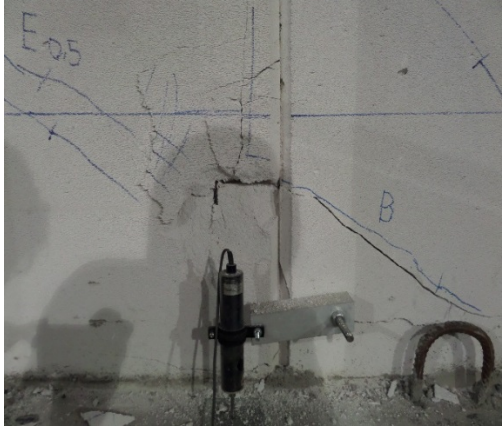


(a)

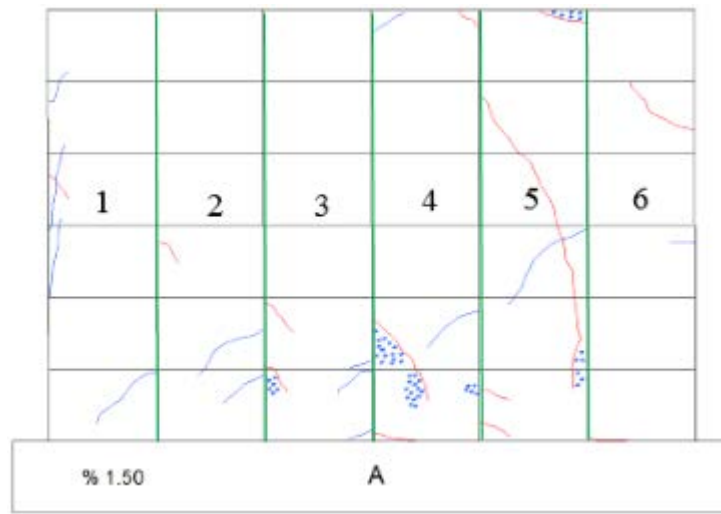


(b)

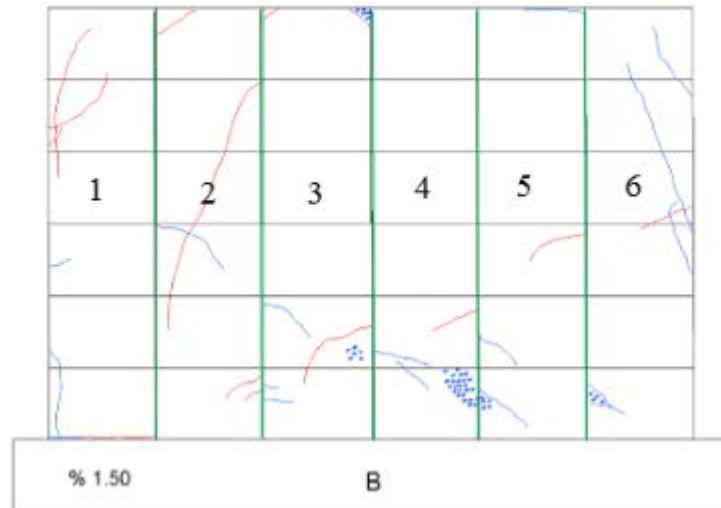
Şekil 5.78: SW-6-2 numunesi % 1.00 çevrimi sonrası A (a) ve B (b) yönü hasar gelişimi.



Şekil 5.79: SW-6-2 numunesi %1.50 çevrimi sonrası görünüm.



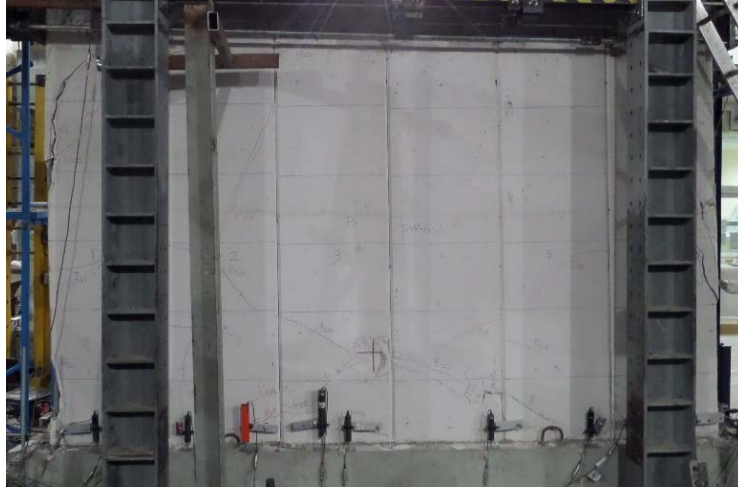
(a)



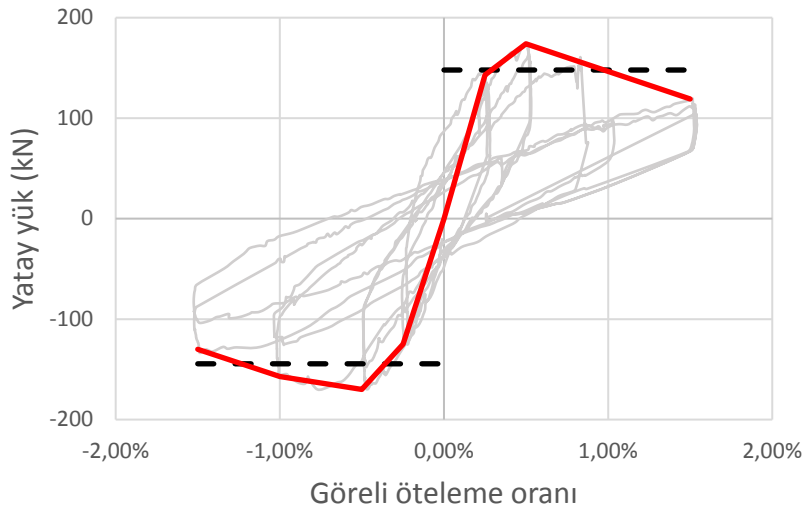
(b)

Şekil 5.80: SW-6-2 numunesi % 1.50 çevrimi sonrası A (a) ve B(b) yönü hasar gelişimi.

%1.50 öteleme oranı sonrasında dayanımda en az %15 kayıp olduğundan deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası numunenin görünümü Şekil 5.81’de ve elde edilen yatay yük-öteleme oranı ilişkisi Şekil 5.82’de belirtilmiştir.



Şekil 5.81: SW-6-2 numunesi deney sonrası görünüm.

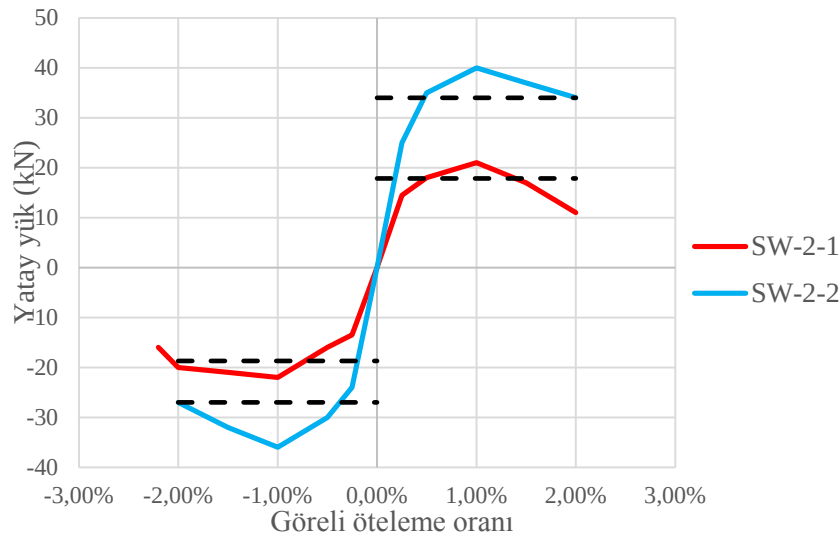


Şekil 5.82: SW-6-2 numunesi yatay yük-öteleme oranı ilişkisi.

5.3. Taşıyıcı Duvar Deneyleri Sonuçları

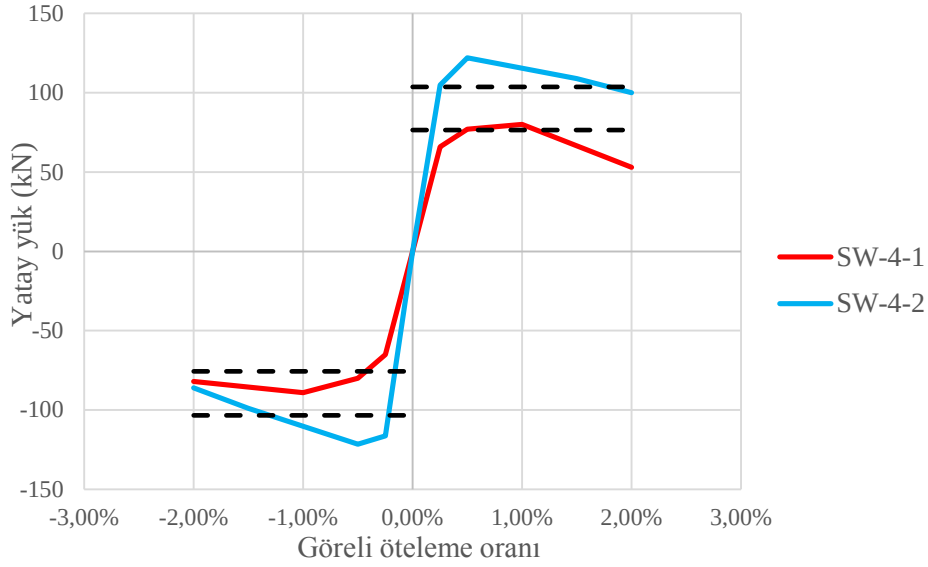
- Deneyler sırasında panellerde % 0.25 öteleme oranına ulaşıldığında panel ve temel birleşim noktalarında ayrılmaların başladığı tespit edilmiştir.
- Deneyler sonucunda paneller üzerinde oluşan hasarların çoğunlukla temel birleşim bölgelerinde ayrılmalar olarak ve panel orta bölgesinde eğik kesme çatlakları olarak gözlenmiştir.

- Deneylerde eksenel gerilmenin artmasıyla taşıyıcı duvarların daha büyük taşıma kapasitesine ulaştığı gözlenmiştir. Bu durumun, artan eksenel gerilmenin duvarların dayanım kaybına yol açan tabandan ayrılmayı sınırladığı için gözlemlendiği açıklanabilir.
- 2 panelden oluşan duvarlar taşıma kapasitelerine %1.00 öteleme oranında ulaşırken, panellerde %15 dayanım kaybı 0,2 MPa eksenel gerilme altındaki panelde %1,50, 0,5 MPa eksenel gerilme altındaki panelde ise %2,00 öteleme oranında gerçekleşmiştir (Şekil 5.83). Şekillerdeki kesikli çizgiler panelin ulaştığı maksimum taşıma yük miktarının %15'ine denk gelen yük miktarını belirtmektedir. Bu grafiğe göre; tipik bir gazbeton paneli için farklı eksenel gerilme düzeylerinde verilen yatay yük – görelî öteleme oranı ilişkilerinden eksenel gerilme oranındaki artışa bağlı olarak kesitin sünekliğinde azalma görülmektedir. Buna karşılık yatay yük taşıma kapasitesinde eksenel gerilme değerinin artışıyla belirgin bir artış görülmektedir.



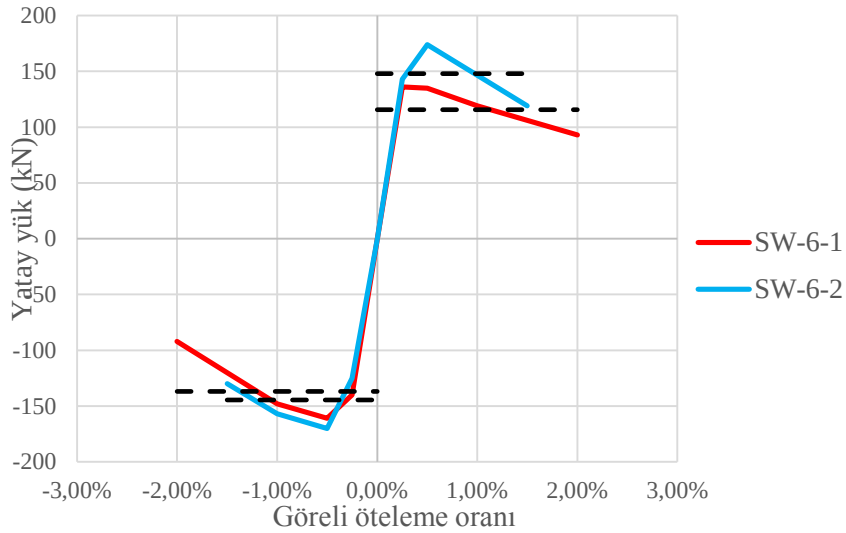
Şekil 5.83: 2 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri.

- 4 panelden oluşan duvarlar taşıma kapasitelerine %1.00 (SW-4-1) ve %0.50 (SW-4-2) öteleme oranında ulaşırken, panellerde %15 dayanım kaybı 0,2 MPa eksenel gerilme altındaki panelde %1,50, 0,5 MPa eksenel gerilme altındaki panelde ise %2,00 öteleme oranında gerçekleşmiştir (Şekil 5.84). 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda, 2 panelden oluşan taşıyıcı duvarlardaki gibi eksenel gerilmenin artmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinde artış, sünekliklerinde ise azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.84: 4 panelden oluşan perde duvarların yatay yük–öteleme oranı ilişkileri.

- 6 panelden oluşan duvarlar taşıma kapasitelerine %0.50 öteleme oranında ulaşırken, panellerde %15 dayanım kaybı her iki eksenel gerilme altında da %1,0 öteleme oranında gerçekleşmiştir (Şekil 5.85). Şekil 5.85'e göre 6 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda da eksenel gerilme artışı ile yatay yük taşıma kapasitesi artarken, süneklikte azalma gözlenmiştir.

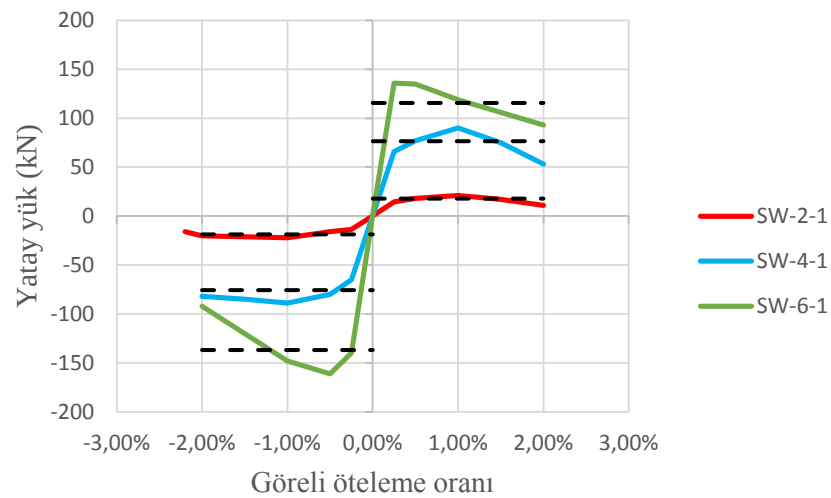


Şekil 5.85: 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük–öteleme oranı ilişkileri.

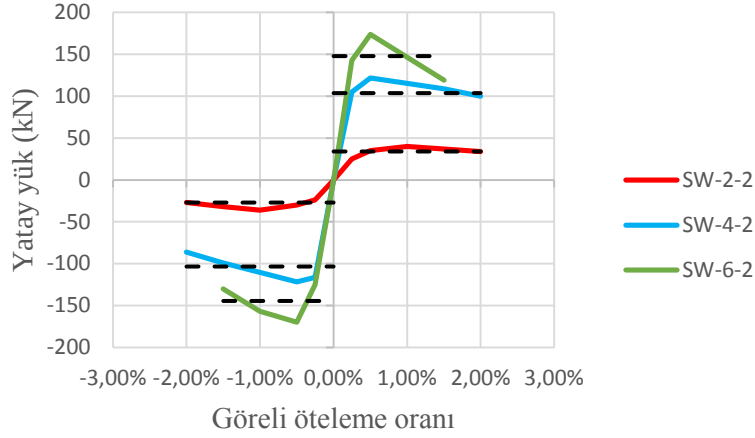
- Deneyler sonunda taşıyıcı duvarı oluşturan gazbeton duvar paneli sayısının artmasıyla duvarın yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. 0.2 MPa eksenel gerilme seviyesi altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan duvarların yatay yük taşıma kapasitelerinin 21 kN, 90 kN ve 160 kN olduğu gözlenmiştir. 0.5 MPa

eksenel gerilme seviyesi altında ise bu değerlerin 41 kN, 122 kN ve 174 kN olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.86-87). Şekil 5.86-87'ye göre taşıyıcı duvardaki panel sayısının artmasıyla duvarların daha gevrek davranış sergiledikleri gözlenmektedir.

- Taşıyıcı duvar deneylerinde kullanılan duvar panellerinden bir tanesinin normal kuvvet - moment diyagramı Şekil 5.88'de verilmiştir. Bu diyagrama göre 0.2 ve 0.5 MPa eksenel gerilme altında test edilen taşıyıcı duvarların panel başına yatay yük taşıma kapasiteleri Tablo 5.4'te belirtilmiştir. Her panelin moment kapasitesi hesaplanırken malzeme dayanımları tasarım dayanım değerleri olarak dikkate alınmıştır. Duvar eğilme momenti kapasitesine karşı gelen yatay yük miktarı belirlenirken ACI 523.4R-09'da da önerildiği gibi moment sıfır noktasının konumu panel yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilmiştir. Tablo 5.4'e göre 0.2 MPa gerilme altında test edilen bir panelin yatay yük taşıma kapasitesi 21.6 kN, 0.5 MPa gerilme altında test edilenin ise 28.2 kN'dur. Buna göre, 0.2 MPa gerilme altında test edilen taşıyıcı duvarların yatay yük taşıma kapasiteleri, panel sayısı ile panel kapasitesinin çarpılması ile iki panelli duvarlar için 43.2 kN, dört panelli duvarlar için 86.4 kN, altı panelli duvarlar için 129.6 kN olarak hesaplanmıştır. 0.5 MPa gerilme altında test edilen taşıyıcı duvarlar için bu değerler ise; 56.4 kN, 112.8 kN ve 169.2 kN'dur. Bu sonuçlar yük kapasitesi açısından güvenli tarafta kalmakta olup, makul bir seviyede güvenlik içermektedir.



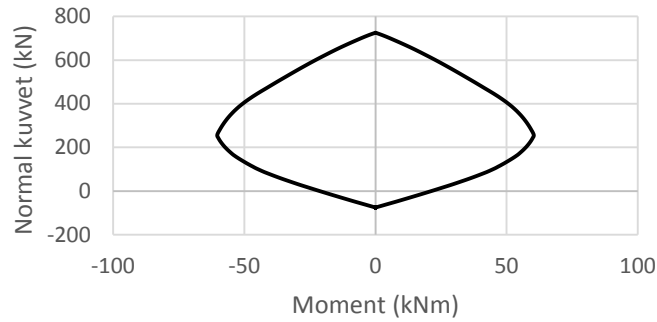
Şekil 5.86: 0.2 MPa eksenel gerilme altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri.



Şekil 5.87: 0.5 MPa eksenel gerilme altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan perde duvarların yatay yük-öteleme oranı ilişkileri.

Tablo 5.4: Deneylerde kullanılan bir adet donatılı gazbeton panelin yatay yük taşıma kapasitesi.

Eksenel gerilme (MPa)	Uygulanan düşey yük (kN)	Moment (kNm)	Panel yük taşıma kapasitesi (kN)
0.2	24000	25.9	21.6
0.5	60000	33.8	28.2



Şekil 5.88: Bir panelin normal kuvvet – moment diyagramı.

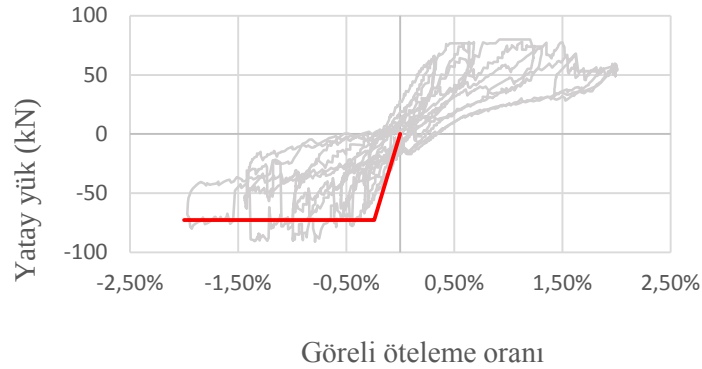
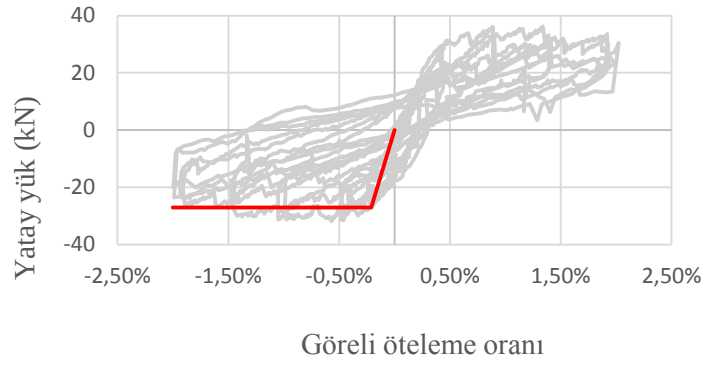
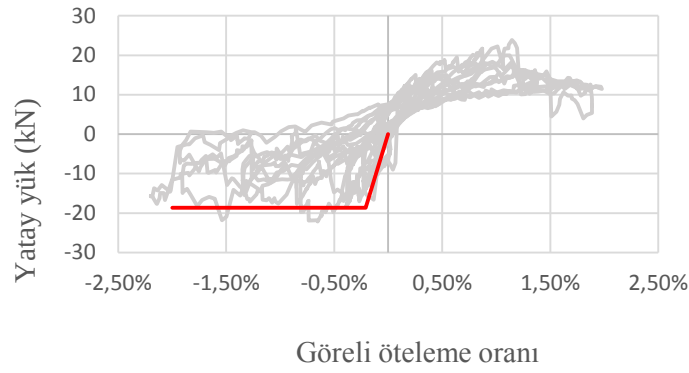
- Deneyler sonucunda 2 ve 4 panelden oluşan numunelerde panellerin kendi içlerinde ayrı çalıştığı ve her panelin kendi basınç ve çekme bölgesine sahip olduğu gözlenmiştir. %0.5 öteleme oranlarından itibaren paneller arasındaki yatay seviye farkları artmaya başlamıştır. Panellerin birbirlerinden ayrı davranış sergilemeleri bu çevrime denk gelmektedir. 6 panelden oluşan numunelerde paneller ise kısmi birlikte davranış sergilemiştir. 6 panelli deneylerde oluşan eğik çatlaklar, paneller arası süreklilik göstermiştir.

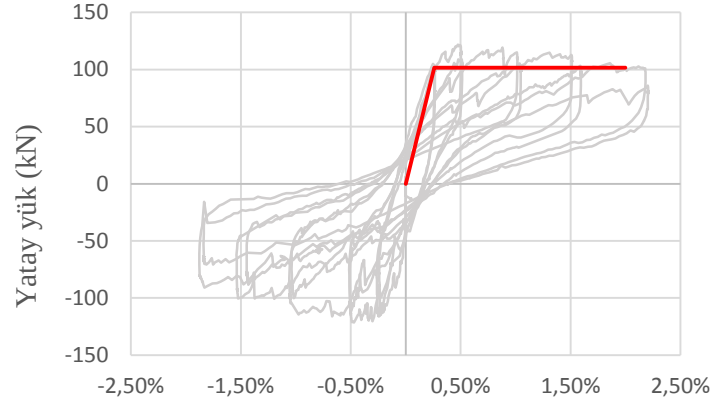
- Betonarme kesitlerde olduğu gibi bir yöndeki atalet momentinin büyümesiyle kesit eğilme davranışının baskın olduğu kolon davranışından, kesme davranışının baskın olduğu perde davranışına evrilmektedir. Yapılan çalışmalar sonunda gazbeton taşıyıcı duvarların da benzer davranış gösterdiği görülmektedir. 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda oluşan hasar durumu incelendiğinde bu duvarlar üzerinde eğilme çatlakları gözlenmiştir. 6 panelden oluşan duvarlarda ise kuvvet yönündeki rijitliklerinin daha büyük olmasından dolayı kesme davranışı meydana geldiğini gösteren eğik kesme çatlakları oluşmuştur. Bu sebeple eğilme davranışı sergileyen 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda 6 panelden oluşan duvarlara göre daha sünek davranış sergilenmiş ve daha büyük yerdeğiştirme gözlenmiştir.
- Paneller üzerinde oluşan ezilme ve dökülmelerle genel olarak %1 ve % 1.5 çevrimlerinde karşılaşılmıştır. Panellerdeki dayanım kayıpları da genel olarak bu çevrimlerin sonunda başlamıştır.
- Panellerin kuzey ve güney bölgelerinde bulunan harcın, birleşim bölgesinden ayrıldığı, bu bölgede bulunan düşey donatıların burkulup bindirme bölgelerinden sıyrıldıkları gözlenmiştir.
- Donatılı panel duvarlardan oluşan sistemin sünekliğinin belirlenmesi için periyodu düşük az katlı yapılar için eşdeğer enerji prensibi varsayımı ile Denklem 5.1’de belirtilen bağıntı kullanılmıştır. Denklem 5.1’de R_d ifadesi taşıyıcı duvar sisteminin dayanım azaltma katsayısını, μ ifadesi de taşıyıcı duvarın %15 dayanım kaybına ulaştığı öteleme oranının akma noktasına bölünmesi ile edilen değeri ifade etmektedir. Akma noktası, birinci çevrime teğet olarak çizilen ve yatay yük kapasitesinin %70’inden geçen doğrunun % 15 dayanım kaybına karşı gelen noktadan çizilen yatay doğru ile kesiştiği nokta olarak alınmıştır. Taşıyıcı duvarların akma noktalarının belirlendiği yatay yük-öteleme oranı grafikleri Şekil 5.89’da, süneklikleri Tablo 5.5’te belirtilmiştir. Tablo 5.5’e göre taşıyıcı duvar deneyleri sonucu hesaplanan dayanım azaltma katsayıları 3.08 ile 3.95 arasında değişmektedir. Bu veriler ışığında depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak dayanım azaltma katsayısının değerinin 3 alınması daha güvenilir olacaktır.

$$R_d = \sqrt{2\mu - 1} \quad (5.1)$$

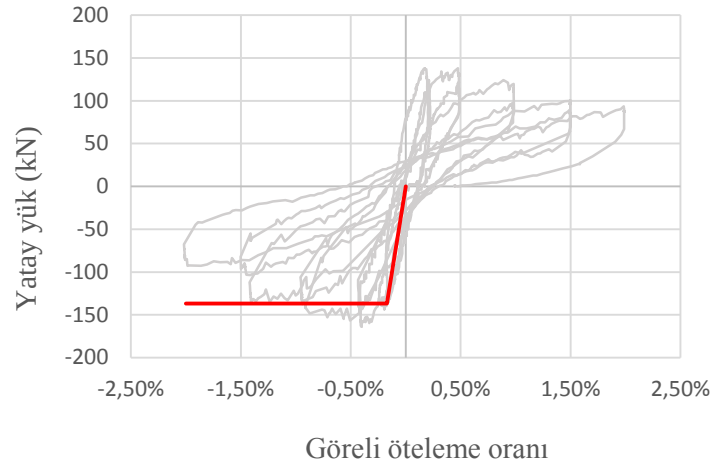
Tablo 5.5: Taşıyıcı duvarların dayanım azaltma katsayıları.

Taşıyıcı duvar ismi	Yük taşıma kapasitesi (kN)	Akma noktası	%15 dayanım kaybı	μ	Dayanım azaltma katsayısı
SW-2-1	21	0.21%	1.50%	7.14	3.64
SW-2-2	41	0.24%	2.00%	8.33	3.95
SW-4-1	90	0.24%	1.50%	6.25	3.39
SW-4-2	122	0.26%	2.00%	7.69	3.79
SW-6-1	160	0.17%	1.00%	5.88	3.28
SW-6-2	174	0.19%	1.00%	5.26	3.08

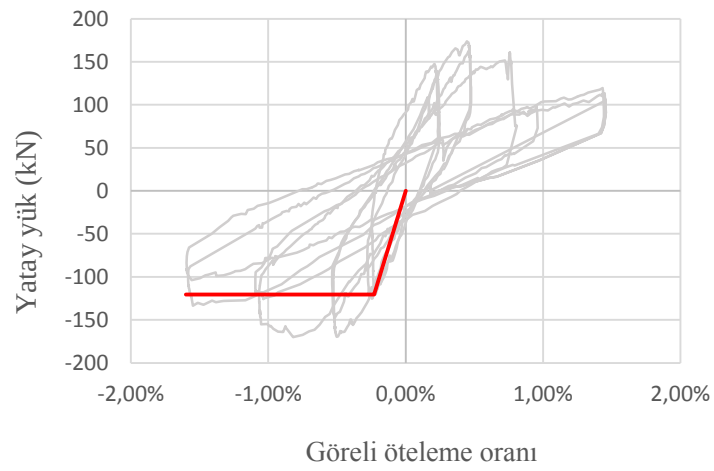




(d)



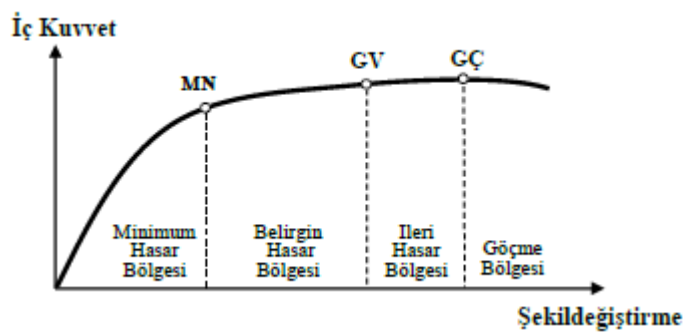
(e)



(f)

Şekil 5.89: SW-2-1 (a), SW-2-2 (b), SW-4-1 (c), SW-4-2 (d), SW-6-1 (e) ve SW-6-2 (f) taşıyıcı duvarlarının akma noktalarının belirlenmesi.

- Gazbeton taşıyıcı duvar ve döşemelerden oluşturulmuş yapıların davranış katsayılarının (R) belirlenmesi için hesaplanan dayanım azaltma katsayılarının, dayanım fazlalığı katsayısı ile çarpılmasını önermiştir. İlgili çalışma kapsamında bu katsayı (D) için 1.50 değerinin kullanılması önerilmiştir (Varela, 2003). Bu tez kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen süneklik katsayısının, dayanım fazlalığı katsayısı ile çarpılarak hesaplanan davranış katsayısı 4.50 olarak hesaplanmıştır.
- Sünek elemanlar için Türkiye Deprem ve Bina Yönetmeliği taslağında üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar minimum hasar sınırı (MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (GÇ)'dir (Şekil 5.90). Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Şekil 5.90'a göre kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise göçme bölgesi'nde yer alırlar. Donatılı gazbeton paneller ile yapılan deneyler sonucunda; 2 panelden oluşan duvarlar taşıma kapasitelerine %1.0 öteleme oranında, 0.2 MPa ve 0.5 MPa gerilme altında test edilen 4 panelli duvarlar taşıma kapasitelerine %1.0 ve %0.5 öteleme oranlarında, 6 panelden oluşan duvarlar ise taşıma kapasitelerine %0.5 öteleme oranında ulaşmışlardır. Bu sonuçlar kapsamında, donatılı gazbeton paneller kullanılarak inşa edilecek bir binanın %0.5 öteleme oranına kadar minimum hasar bölgesinde kalacağı söylenebilir.



Şekil 5.90: Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

6. DENEYLER SONRASINDA ELDE EDİLEN SONUÇLARIN YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE KIYASLANMASI

6.1 Başlangıç Kayma Dayanımı Değerinin Hesabı ve Test Sonuçlarıyla Kıyası

Gazbeton numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında alınan sonuçlar 2017 yılında basılması planlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği dahilinde belirtilmiş olan formüller ile kıyaslanmıştır. Yeni yönetmeliğe göre gazbeton kullanılarak inşa edilen yığma yapılarda duvar karakteristik kayma dayanımının (f_{vk}) Denklem 6.1’de belirtildiği şekilde hesaplanması istenmektedir. Bu denklemde f_{vko} aksenal gerilmenin bulunmadığı durumdaki karakteristik kayma dayanımı (başlangıç kayma dayanımı) değerini, σ_d G+Q+E deprem birleşimlerinden bulunacak düşey basınç gerilmesi değerini, f_b ise kargir birimin standartlaştırılmış (boyut etkisinden arındırılmış 100 mm x 100 mm boyutundaki numuneye eşdeğer) ortalama basınç dayanımı değerini belirtmektedir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \leq 0.10 f_b \quad (6.1)$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre f_{vko} değeri genel amaçlı harç kullanılan gazbetonlar için 0.30 olarak tanımlanmıştır. Denklem 6.1’e göre hesaplanan f_{vk} değerleri 0.5 MPa normal gerilme altında 0.50 MPa, 0.3 MPa normal gerilme altında 0.42 MPa, 0.1 MPa normal gerilme altında ise 0.34 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerler başlangıç kayma dayanımının tayini kısmında deneysel yöntemler ile hesaplanan 0.60 MPa, 0.44 MPa ve 0.32 MPa değerleri ile uyushmaktadır.

6.2 Taşıyıcı Duvar Düşey Yük Tasarım Dayanımının Hesabı ve Test Sonuçlarıyla Kıyası

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre tek katmanlı yığma taşıyıcı duvarın birim uzunluğunun düşey yük tasarım dayanımı Denklem 6.2’ye göre hesaplanmaktadır. Bu denklemde N_{Rd} duvar düşey yük tasarım dayanımını, λ narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısını, t kalınlığı, f_d ise yığma duvar tasarım basınç dayanımını belirtmektedir. Yığma duvar tasarım basınç dayanımı ise Denklem 6.3’e göre

hesaplanmaktadır. Bu denklemde; f_k yığma duvar karakteristik basınç dayanımını, γ_m ise yığma malzemesi dayanım azaltma katsayısını belirtmektedir. Yönetmeliğe göre γ_m değeri gazbeton için 1.75 alınmaktadır. λ değeri için ise Denklem 6.4'e göre elde edilen sonuç; 6'dan küçükse 1.0, 6 ile 10 arasında ise 0.8, 10 ile 15 arasında ise 0.7 alınması gerekmektedir. Bu denklemde h_k eleman yüksekliğini, t ise eleman kalınlığını belirtmektedir.

$$N_{Rd} = \lambda t f_d \quad (6.2)$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (6.3)$$

$$\lambda = h_k / t \quad (6.4)$$

Denklem 6.4 ele alındığında narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı 0.8 hesaplanmıştır. Denklem 6.3 ve Denklem 6.2 yardımı ile de duvar düşey yük tasarım dayanımı 2.48 MPa hesaplanmaktadır. Bu değer de duvar basınç dayanımları deneylerinin sonucunda hesaplanmış olan 2.46 MPa değeri ile uyushmaktadır.

6.3 Taşıyıcı Duvar Kesme Dayanımının Hesabı ve Test Sonuçlarıyla Kıyası

Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre donatılı paneller ile teşkil edilmiş binalarda duvar kesme dayanımının (V_{Rd}) hesaplanması için Denklem 6.5, Denklem 6.6 ve Denklem 6.7 kullanılması ve hesaplanan değerlerin en düşüğünün alınması gerekmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre Denklem 5-7'ye göre hesaplanan değerlerin dayanım fazlalığı katsayısına bölünmesi gerekmektedir. Bu denklemlerde; l duvar kesit uzunluğunu, t duvar kalınlığını, f_d yığma duvar tasarım basınç dayanımını, A_{si} donatılı yığma ve donatılı panel duvarlarda düşey donatı alanı, f_{yd} donatı tasarım akma gerilmesi, N_{Ed} yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvveti belirtmektedir.

$$V_{Rd} = 0.15(f_d)^{0.5}lt \quad (6.5)$$

$$V_{Rd} = N_{Ed} + 0.5A_{si}f_{yd} \quad (6.6)$$

$$V_{Rd} = 0.2f_dlt \quad (6.7)$$

Yeni yönetmelikte belirtilmiş olan Denklem 6.5-7'ye göre taşıyıcı duvarların kesme dayanımı (V_{Rd}) hesaplanmıştır. Taşıyıcı duvarların hesaplanan kesme dayanımları ve deneyler sonucu gözlenen dayanımları Tablo 6.1'de belirtilmiştir. Tablo 6.1'de

belirtildiği şekilde yeni yönetmeliğe göre yapılan hesapların deneysel sonuçlar ile uyuşmakta olduğu söylenebilir.

Tablo 6.1: Yeni yönetmeliğe göre hesaplanan kesme dayanımlarının deneysel sonuçlarla kıyası.

Taşıyıcı duvar adı	Yeni yönetmeliğe göre hesaplanan kesme dayanımı (kN)	Deneyler sonucu gözlenen kesme dayanımı (kN)
SW-2-1	42	21
SW-2-2	42	41
SW-4-1	85	90
SW-4-2	85	122
SW-6-1	127	160
SW-6-2	127	174

7. SONUÇLAR

7.1 Sonuçlar

Bu çalışma donatılı gazbeton paneller kullanılarak inşa edilen yapı sistemlerinin deprem performanslarının araştırılmasına yönelik deneysel çalışma sonuçlarını içermektedir. Çalışma kapsamında yapılan deneyler malzeme ve eleman deneyleri olarak sınıflandırılmıştır. Malzeme deneylerinde donatısız gazbeton blokların mekanik özellikleri, eleman deneylerinde ise donatılı gazbeton panellerin yatay ve düşey yükler altında performansları incelenmiştir.

Malzeme deneyleri kapsamında gazbetonun basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve elastisite modülü belirlenmiştir. Ayrıca, panel birleşim bölgelerinde ve panellerde kullanılan donatıların çekme dayanımları da bu bölümde incelenmiştir.

Eleman deneyleri kapsamında ilk olarak; donatı içeren gazbeton duvar panellerinin duvar basınç dayanımları elde edilmiş, başlangıç kayma dayanımı deneyleri ile döşme ve duvar panellerinin yatay ve düşey yük altında birbirlerine göre hareketleri, gazbeton ile harç arasındaki sürtünme katsayısı ve yapışma dayanımı belirlenmiştir. Eleman deneylerine, bu çalışmayı benzer çalışmalardan ayıran taşıyıcı duvar deneyleriyle devam edilmiştir. Taşıyıcı duvar deneyleri kapsamında oldukça büyük ölçekli taşıyıcı duvarlar inşa edilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları kısaca aşağıda anlatılmıştır.

- Malzeme deneyleri kapsamında farklı basınç sınıflarındaki gazbeton blokların basınç dayanımları, eğilmede çekme dayanımları ve elastisite modülleri hesaplanmıştır. Şartlandırılmış bloklar üzerinde yapılan testler sonucunda; farklı üretim kaynaklı numunelere sahip numuneler üzerinde çalışma yapan Tanner, 2003 ile aynı basınç sınıflarında benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- Eleman deneyleri kapsamında donatılı gazbeton duvar panelinin basınç dayanımı belirlenmiştir. Paneller herhangi bir şartlandırma işleminden geçirilmemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, panellerin dayanıma ulaştıktan sonra ani dayanım kaybına ulaştığı gözlenmiştir. Ani dayanım kayıpları,

panellerin üst bölgelerinde gözlenen ezilmelerden sonra gerçekleşmiştir. Oluşan çatlaklar genellikle boyuna donatı hizasında ve düşey çatlaklardır. Duvar panellerinin basınç dayanımlarının blok basınç dayanımına göre düşük çıktığı gözlenmiştir. Aradaki bu fark boyut farklı ve şartlandırma farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

- Başlangıç kayma dayanımı deneyleri kapsamında duvar ve döşeme panellerinin farklı eksenel yük seviyelerinde yaptığı yerdeğiştirme değerleri belirlenmiş, kayma gerilmeleri ve paneller arasındaki sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Yapışma ve sürtünme etkileri ile önce kayma dayanımına karşı gelen tepe noktasına ulaşılmış ve yapışmanın kaybı ile yük düşmeye başlamıştır. Duvar panellerinin birleşim bölgesindeki çimento harcı ile panel arasındaki yüzey alanının döşeme panelleri ile oluşturulmuş sistemdekine göre daha çok olmasından dolayı duvar panellerinin, döşeme panellerine göre daha yüksek kayma dayanımına sahip olduğu gözlenmiştir. Döşeme panellerinin kayma dayanımlarını duvar panellerine göre daha yavaş kaybetmelerinin sebebi ise; harç ile panel arasındaki yapışmanın yitirilmesinden sonra iki panel arasındaki sürtünme yüzeyinin döşeme panellerinde daha fazla olması olarak açıklanmıştır.
- Gazbeton taşıyıcı duvarlardan oluşan sistemlerin 0.2 MPa ve 0.5 MPa eksenel gerilme altında yatayda yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. 0.2 MPa eksenel gerilme seviyesi altında 2, 4 ve 6 panelden oluşan duvarların yatay yük taşıma kapasitelerinin 21 kN, 90 kN ve 160 kN olduğu gözlenmiştir. 0.5 MPa eksenel gerilme seviyesi altında ise bu değerlerin 41 kN, 122 kN ve 174 kN olduğu gözlenmiştir. Eksenel gerilmenin artmasıyla duvarların yük taşıma kapasitelerinin artması, artan eksenel gerilmenin duvarların tabandan ayrılmasını sınırladığı ve dayanım kaybını engellemesi olarak açıklanmıştır.
- Taşıyıcı duvarlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda 2,4 ve 6 panelden oluşan taşıyıcı duvarların üzerindeki eksenel gerilmenin artışı ile kesitlerin sünekliğinde azalma gözlenmiştir. Buna karşılık yatay yük taşıma kapasitelerinde eksenel gerilme değerinin artışıyla belirgin bir artış gözlenmiştir.

- Deneyler sonucunda taşıyıcı duvarları oluşturan panel sayısının artmasıyla taşıyıcı duvarların yerdeğiştirme kapasitelerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlardaki davranışın eğilme davranışı olarak gözlemlenmesi ve dolayısıyla kesme davranışı sergileyen 6 panelden oluşan duvarlara göre daha büyük yerdeğiştirme kapasitelerine sahip olmaları olarak açıklanmıştır.
- 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlar %2.00 öteleme oranına kadar dayanımlarının %15'ini kaybetmeden davranış sergilemişlerdir. 6 panelden oluşan taşıyıcı duvarlar ise dayanımlarının %15 'ini %1.50 öteleme oranında kaybetmişlerdir.
- Yapılan çalışmalar sonunda gazbeton taşıyıcı duvarların bir yöndeki atalet momentlerinin büyümesiyle kolon davranışından perde davranışına evrildiği gözlenmiştir. 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda oluşan hasar durumu incelendiğinde bu duvarlar üzerinde eğilme çatlakları gözlenirken, 6 panelden oluşan duvarlarda ise kuvvet yönündeki rijitliklerinin daha büyük olmasından dolayı kesme davranışı meydana geldiğini gösteren eğik kesme çatlaklar gözlenmiştir. Bu sebeple eğilme davranışı sergileyen 2 ve 4 panelden oluşan taşıyıcı duvarlarda 6 panelden oluşan duvarlara göre daha sünek davranış sergilenmiş ve daha büyük yerdeğiştirme değerine ulaşılmıştır.
- Gazbeton elemanlar ile yapılan deneyler sonucu elde edilen dayanım değerleri 2017 yılında basılması planlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile kıyaslanmıştır. Başlangıç kayma dayanımı deneyleri sonucu elde edilen 0.60 MPa, 0.44 MPa ve 0.32 MPa değerleri yeni yönetmelikteki formüller ile hesaplanan 0.5 MPa, 0.42 MPa ve 0.34 MPa değerleri ile uyushmaktadır. Yine aynı şekilde duvar basınç dayanımlarının belirlendiği deneyler sonucunda elde edilen 2.46 MPa değeri de yeni yönetmeliğe göre hesaplanmış 2.79 MPa değeri ile uyushmaktadır. Taşıyıcı duvarların kesme dayanımlarının hesabına yönelik verilmiş hesap yöntemi deneysel sonuçlar ile kıyaslanmış ve Tablo 6.1'de belirtilmiş değerler hesaplanmıştır. Bu sonuçlar kapsamında yeni yönetmeliğin gazbeton malzemeler kullanılarak yapılacak yığma yapılar için sunduğu formülasayonların malzemelerin deneysel sonuçlarıyla uyushtuğu söylenebilir.
- Çalışmalar sonucu elde edilen veriler ile gazbeton taşıyıcı duvarların genel davranışının betonarme elemanlarla oldukça benzerlik gösterdiği

görülmektedir. Betonarme elemanlarda genellikle bir kolonun eksenel yükünün artması yatay yük taşıma kapasitesinin artmasına, bunun yanında sünekliğinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, rijitliğinin artması kesme davranışının baskın olmasına dolayısıyla perdeye benzer bir davranış gösterdiğine işarettir. Taşıyıcı duvar deneyleri sonucunda da gazbeton paneller kullanılarak oluşturulmuş sistemler betonarme elemanlar gibi davranış sergilemiştir. Bu davranışların sonucu olarak; gazbeton taşıyıcı sistemlerin betonarme elemanlara alternatif olarak depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabileceğini söylenebilir.

- Donatılı panel duvarlardan oluşan sistemlerin süneklik azaltma katsayılarının (R_d) hesabı için periyodu düşük az katlı yapılar için eşdeğer enerji prensibi varsayımı ile Denklem 5.1’de belirtilen bağıntı kullanılmıştır. Denklem 5.1’e göre taşıyıcı duvar deneyleri sonucu hesaplanan süneklik azaltma katsayıları 3.08 ile 3.95 arasında değişmektedir. Bu veriler ışığında depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak süneklik azaltma katsayısının değerinin 3 alınması önerilmiştir. Gazbeton taşıyıcı panellerden oluşan yapılar için dayanım azaltma katsayısı (R) ise, hesaplanan süneklik azaltma katsayılarının, Varela, 2003’te belirtilen dayanım fazlalığı katsayısı (D) ile çarpılması sonucu 4.50 olarak hesaplanmıştır.
- Gazbeton taşıyıcı panellerden oluşan sistemlerin taşıma kapasitelerinin hesabı için duvarı oluşturan bir panelin normal kuvvet- moment diyagramı dikkate alınarak kapasite hesabı yapılmış ve bu taşıma kapasitesi değerinin panel sayısı ile çarpılarak bir duvarın taşıma kapasitesinin hesaplanması önerilmiştir. Her panelin moment kapasitesi hesaplanırken malzeme dayanımları tasarım dayanım değerleri olarak dikkate alınmıştır. Duvar eğilme momenti kapasitesine karşı gelen yatay yük miktarı belirlenirken ACI 523.4R-09’da da önerildiği gibi moment sıfır noktasının konumu panel yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilmiştir. Bu methodla hesaplanan sonuçların yük kapasitesi açısından güvenli tarafta kalmakta olup, makul bir seviyede güvenlik içerdiği belirtilmiştir.

7.2 Geleceğe Yönelik Çalışmalar

Bu proje kapsamında belirlenen gazbeton taşıyıcı duvarların yatay ve düşey yükler altındaki davranışları, gazbetonun yapı malzemesi olarak kullanıldığı yapıların depreme davranışlarının belirlenmesinde yetersiz kalacaktır. Bu sebeple, donatılı gazbeton elemanlar kullanılarak inşa edilmiş, gerçek ölçekli deneyler yapılması gazbeton ile inşa edilecek yapıların depreme dayanıklı davranış sergilemesi açısından daha güvenilir sonuçlar verecektir.

7.2.1 Gerçek Ölçekli Diyafram Deneyleri

Donatılı gazbeton taşıyıcı paneller kullanılarak oluşturulacak yapıların tasarımında kullanılan döşeme sistemlerinin, rijit diyafram kabulüne uygun olarak çalışıp çalışmadıklarını gözlemlemek adına döşeme panellerinden oluşturulacak gerçek ölçekli sistemler üzerinde diyafram deneyleri yapılması tasarım kuralları açısından büyük öneme sahiptir. Bu deneyler kapsamında, döşeme panellerinden oluşan sistemler panel birleşim bölgelerine dik ve paralel kuvvetler altında yüklenerek sistemin rijit diyafram kabulüne uygun performans gösterip göstermediği incelenmelidir.

7.2.2 Gerçek Ölçekli Bina Deneyi

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için belirlenecek kurallar çerçevesinde yapılması en gerekli ve kesin sonuç verecek deneyler, donatılı gazbeton paneller ile oluşturulmuş gerçek ölçekli bina üzerinde yapılacak deneylerdir. Bu deneyler sonucunda, donatılı gazbeton panel duvarlar ile inşa edilmiş bir yapının kat öteleme oranları ile yatay yük taşıma kapasitesi, süneklik ve şekil değiştirme arasındaki ilişkiler kurulabilecek ve duvar ile döşeme panelleri arasındaki bağlantının deprem etkilerine benzer yatay kat ötelemeleri altındaki davranışları belirlenebilecektir.

KAYNAKLAR

- ACI** (2009). ACI Committee 523, Guide for Design and Construction with Autoclaved Aerated Concrete Panels (ACI 523.4R-09). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Argudo, J.F.** (2003). Evaluation and Synthesis of Experimental Data for AAC. Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- Brightman, M.** (2000). AAC Shear Wall Specimens: Development of Test Setup and Preliminary Results, Dept. of Civil Engineering, Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- BS EN 679** (2005). Determination of Compressive Strength of Autoclaved Aerated Concrete. European Standard.
- BS EN 1351** (1997). Determination of Flexural Strength of Autoclaved Aerated Concrete. European Standard.
- BS EN 1352** (1997). Determination of Static Modulus of Elasticity Under Compression of Autoclaved Aerated Concrete of Lightweight Aggregate Concrete With Open Structure. European Standard.
- BS EN 1353** (1997). Determination of Moisture Content of Autoclaved Aerated Concrete. European Standard.
- BS EN 1740** (1998). Performance Test For Prefabricated Reinforced Components Made of Autoclaved Aerated Concrete or Lightweight Aggregate Concrete With Open Structure Under Predominantly Longitudinal Load (Vertical Components). European Standard.
- Cancino, U.M.** (2003). Behavior of AAC Shear Walls with low strength AAC. Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- Celep, Z.** (2013). Betonarme Yapılar, İstanbul, Türkiye.
- DIN 4223** (1978). Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete.
- EN 12602** (2008). Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete. European Standard.
- Hu, W., Neufeld, R.D., Vallejo, L.E., Latona, M.** (1997). Strength properties of autoclaved cellular concrete with high volume ash. *Journal of energy engineering* 123.2, 44-54.
- MSJC** (2008). The Masonry Standards Joint Committee, Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures. The Masonry Society, Boulder, Colorado.
- Rivera, J.L.V.** (2003). Development of R and Cd factors for the seismic design of AAC Structures, Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- Simulia, D. C. S.** (2011). ABAQUS 6.11 Analysis User's Manual. Abaqus 6.11 Documentation.
- Sucuoglu, H and Alakoc.** (2000). The Performance of AAC Materials at 17 August 1999

- Kocaeli Earthquake, *Report for Turkish AAC Association*,2000/82. Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri.
- Tanner, J.E.** (2003). Design provisions for autoclaved aerated concrete (aac) structural systems, Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- Türk Ytong Sanayi A.S.** (2012). Ytong Donatili Yapi Elemanlari Broşürü, İstanbul, Türkiye.
- TS EN 772-1** (2011). Kargir birimler – deney metotları – Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Methods of test for masonry units- Part 1: Determination of compressive Strength.
- Ugurlu, K., Demir, C., İlki, A.** (2013). Gazbeton donatılı paneller ile inşaa edilmiş ve 1999 Kocaeli Depremini yaşamış bir okul binasının deprem değerlendirilmesi, İstanbul, Türkiye.
- Varela, L.V.R.** (2003). Development of R and C_d factors for the seismic design of AAC structures, Austin, Amerika Birleşik Devletleri.

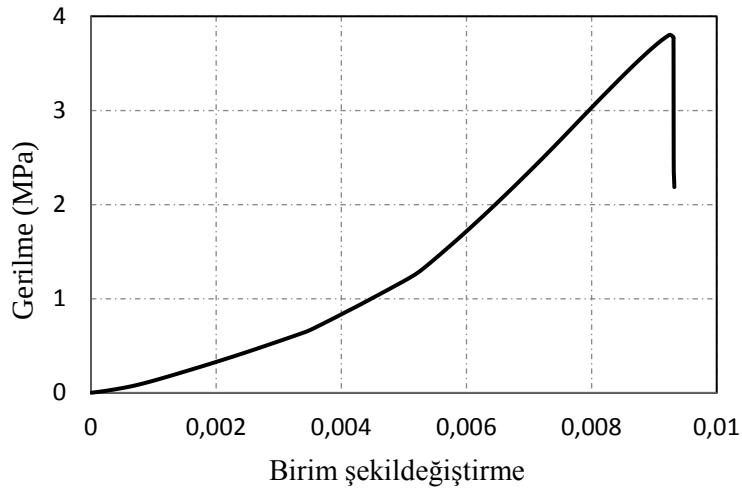
EKLER

EK A: G3 ve G4 Basınç Sınıfı Numunelere Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

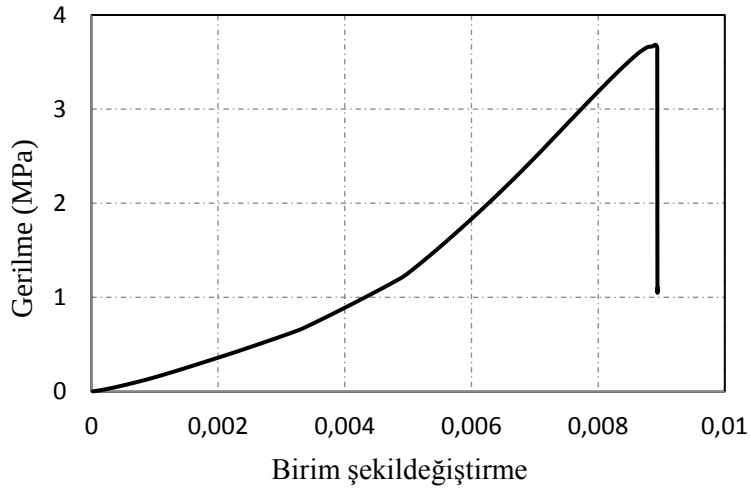
EK B: G3 ve G4 Numunelerine Yük-Sehim İlişkileri

EK C: Donatı Çekme Deneyleri

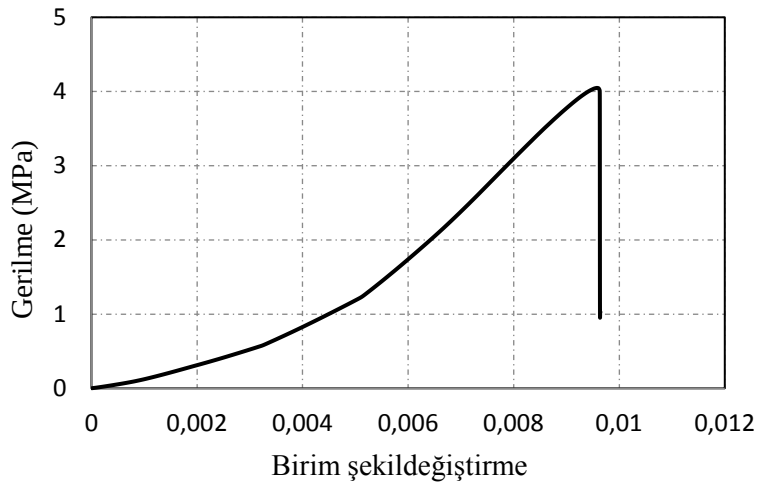
EK A



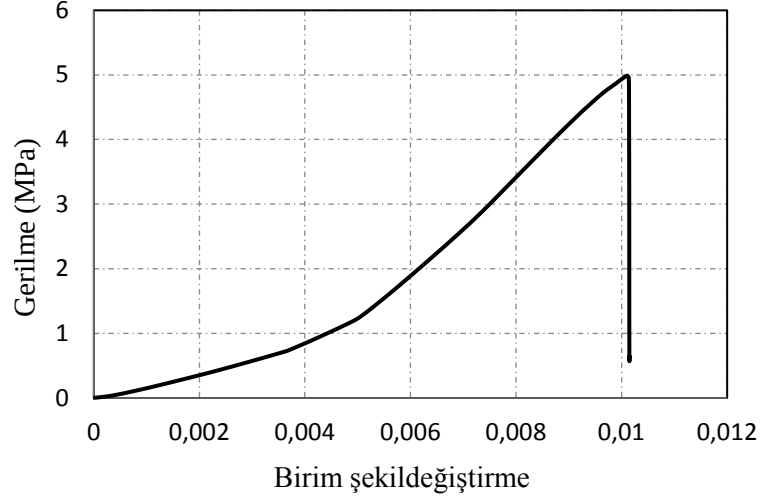
Şekil A.1: G3-05-B1-1 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekil değiştirme ilişkisi.



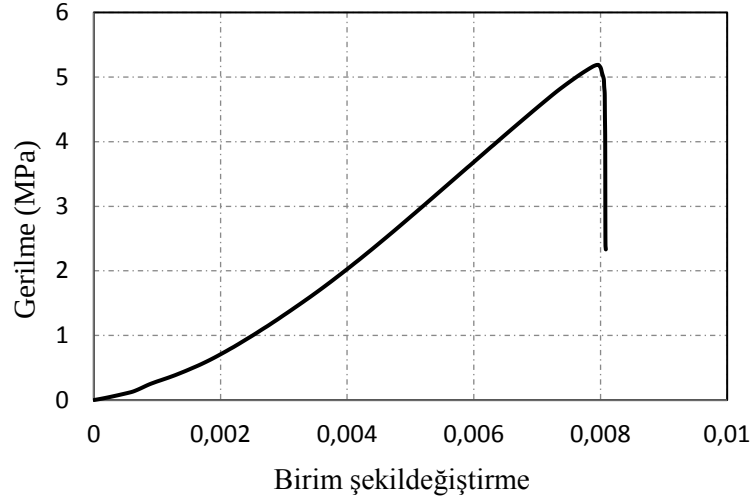
Şekil A.2: G3-05-B1-2 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekil değiştirme ilişkisi.



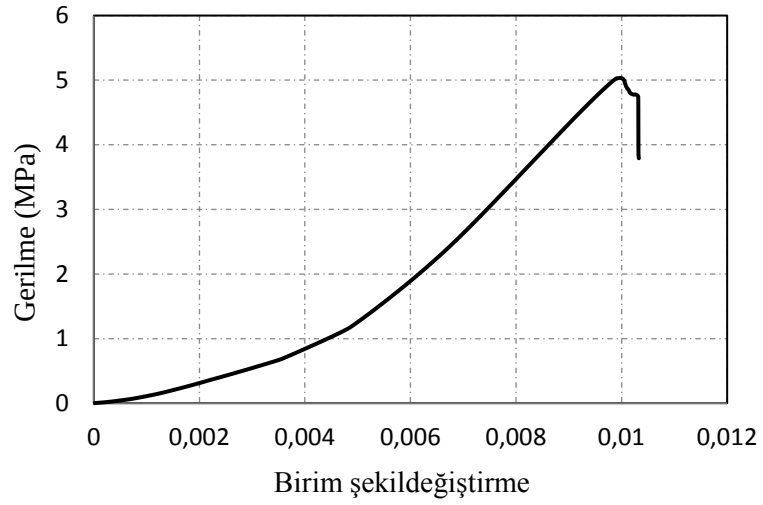
Şekil A.3: G3-05-B1-3 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekil değiştirme ilişkisi.



Şekil A.4: G4-06-B2-1 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.

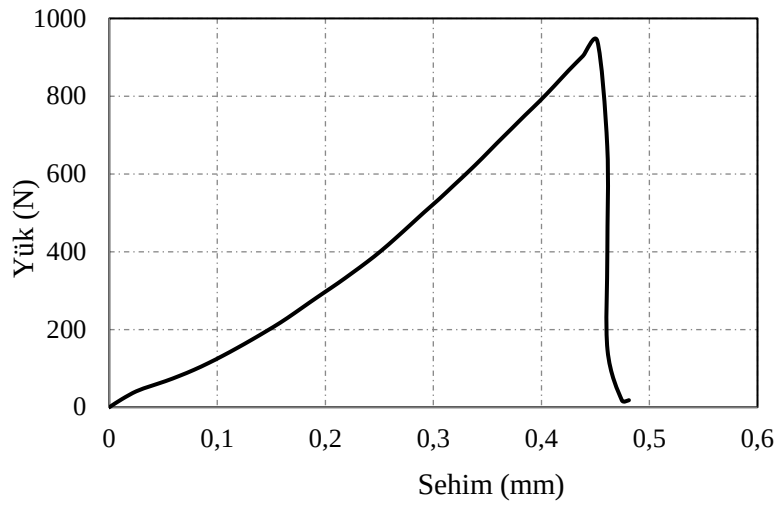


Şekil A.5: G4-06-B2-2 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.

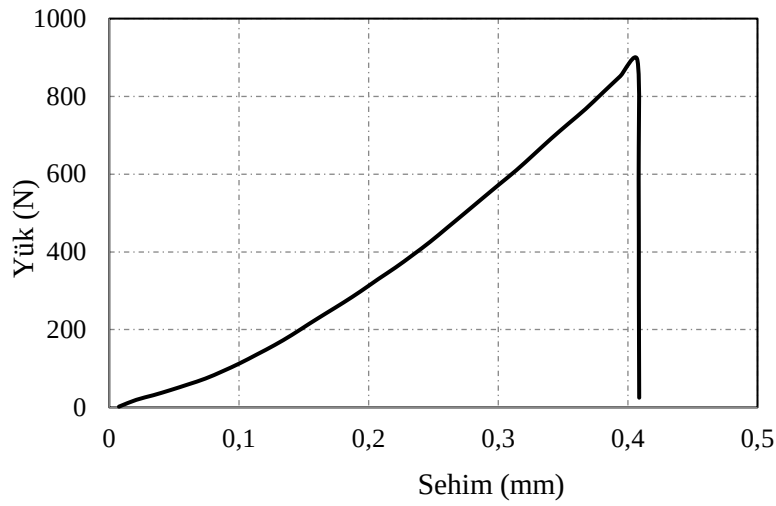


Şekil A.6: G4-06-B2-3 kodlu gazbeton numunenin gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.

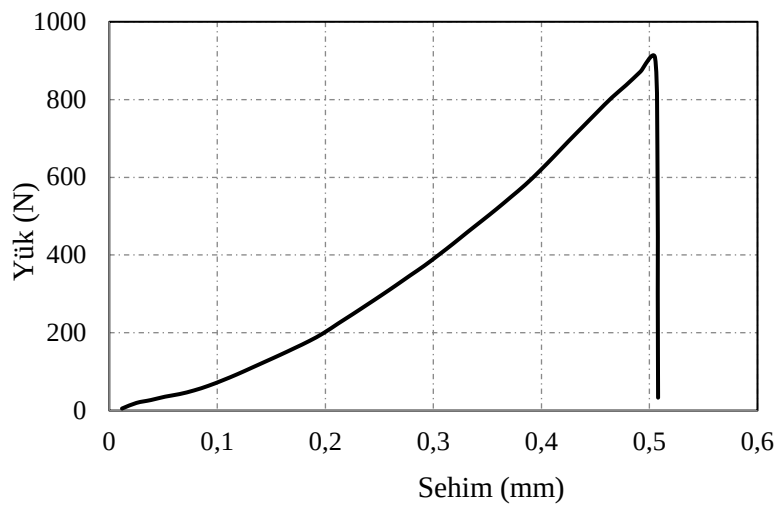
EK B



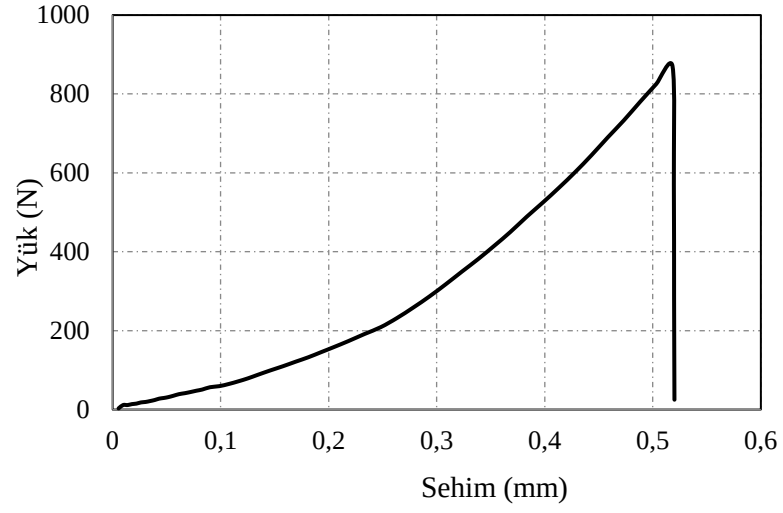
Şekil B.1: G3-05-B1-1 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



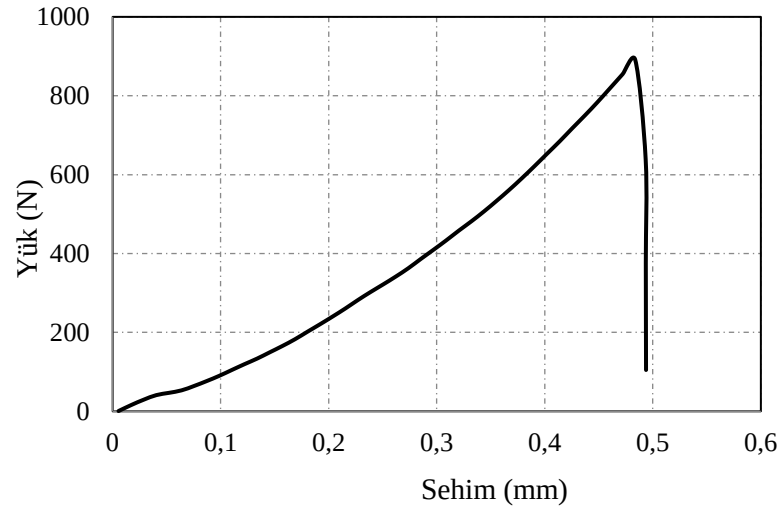
Şekil B.2: G3-05-B1-2 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



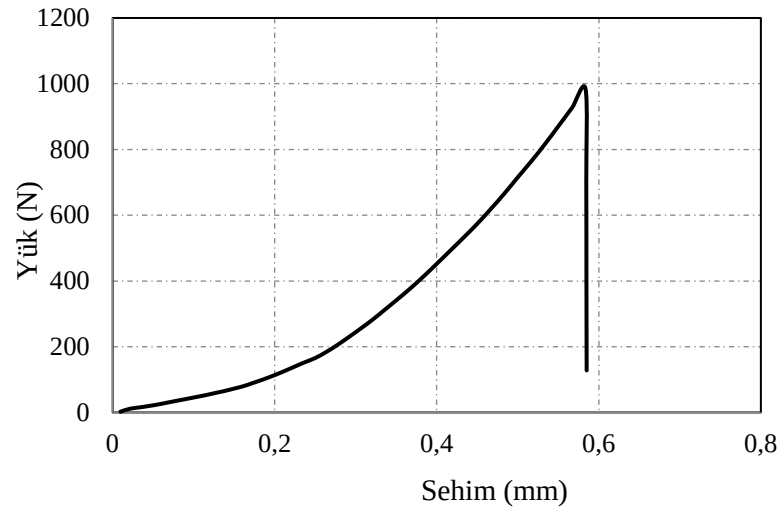
Şekil B.3: G3-05-B1-3 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



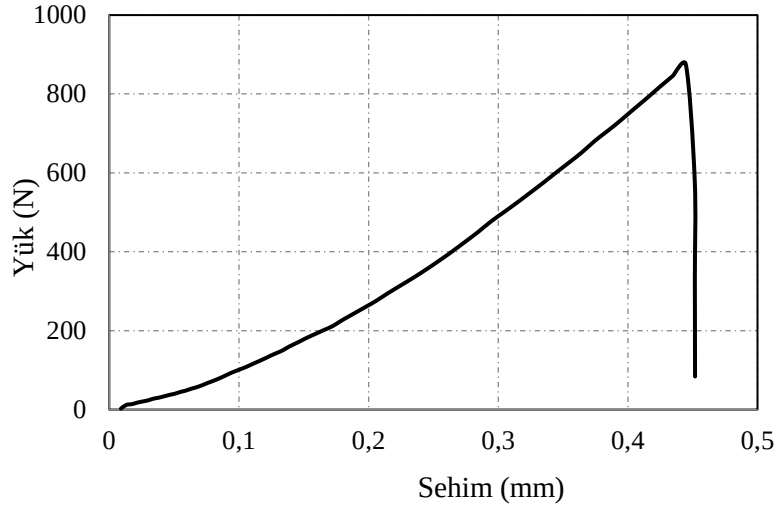
Şekil B.4: G3-05-B2-1 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



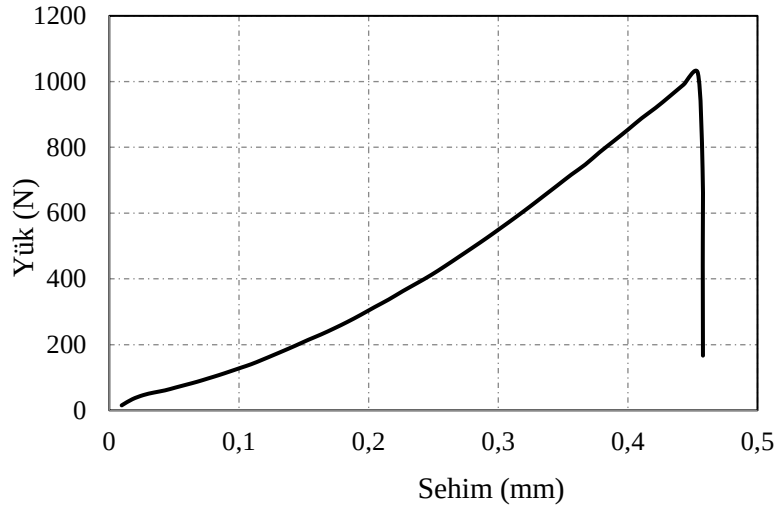
Şekil B.5: G3-05-B2-2 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



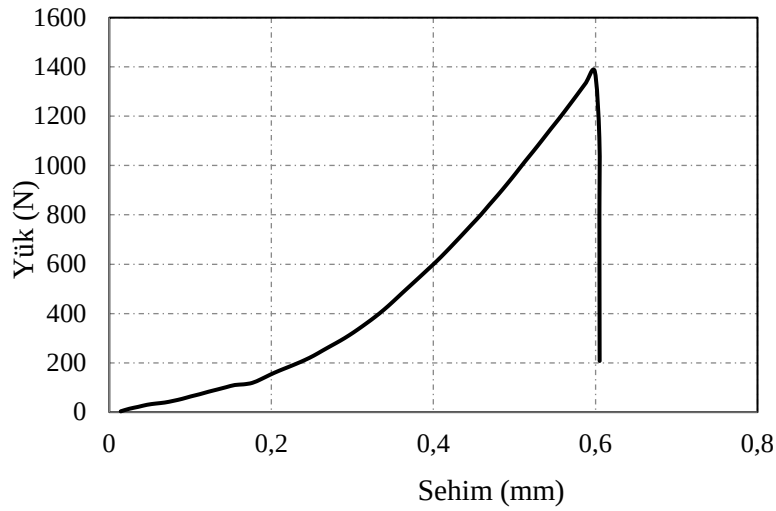
Şekil B.6: G3-05-B2-3 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



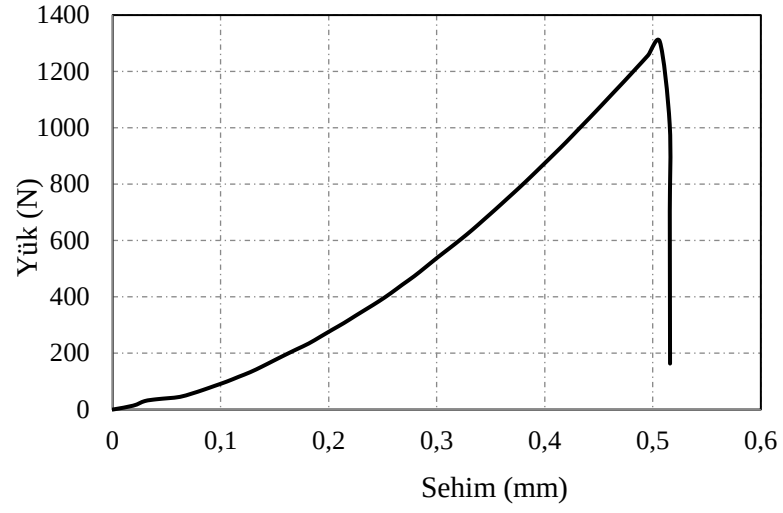
Şekil B.7: G4-06-B1-1 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



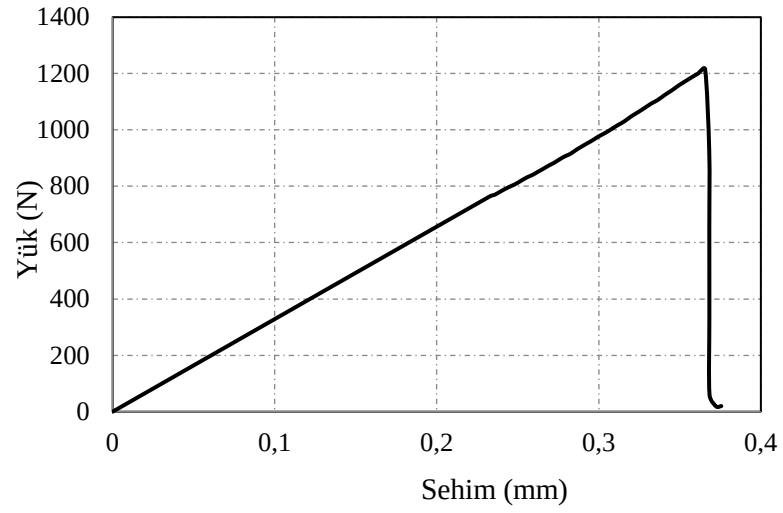
Şekil B.8: G4-06-B1-3 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.



Şekil B.9: G4-06-B2-1 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.

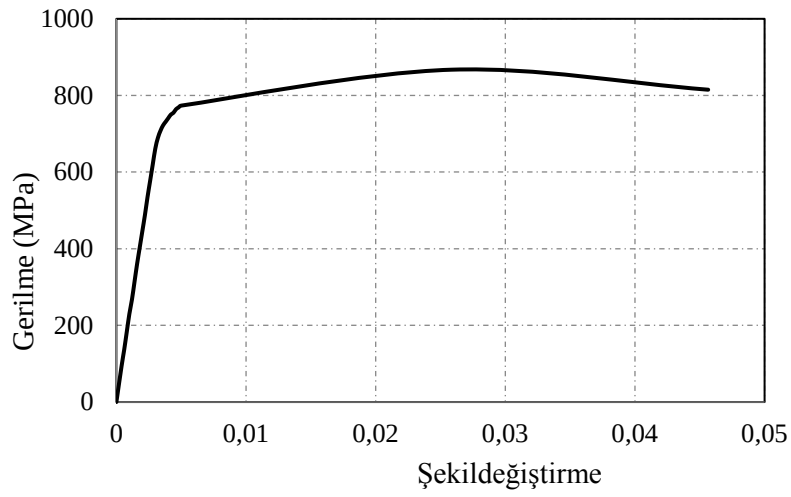


Şekil B.10: G4-06-B2-2 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.

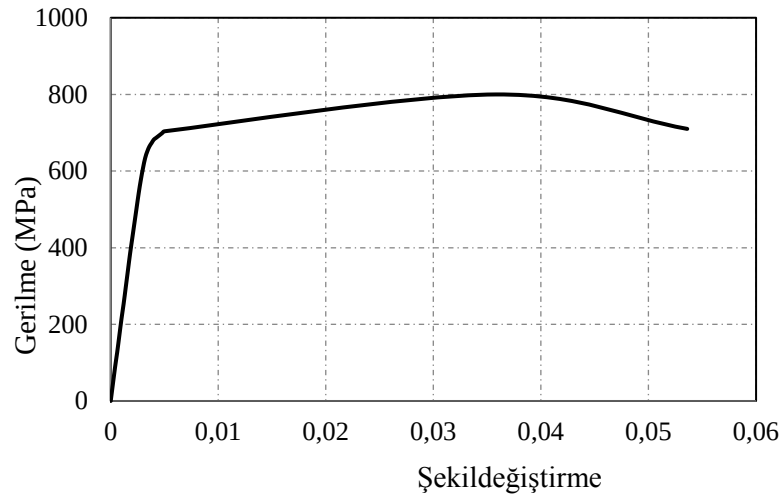


Şekil B.11: G4-06-B2-3 kodlu gazbeton numunenin yük - sehim ilişkisi.

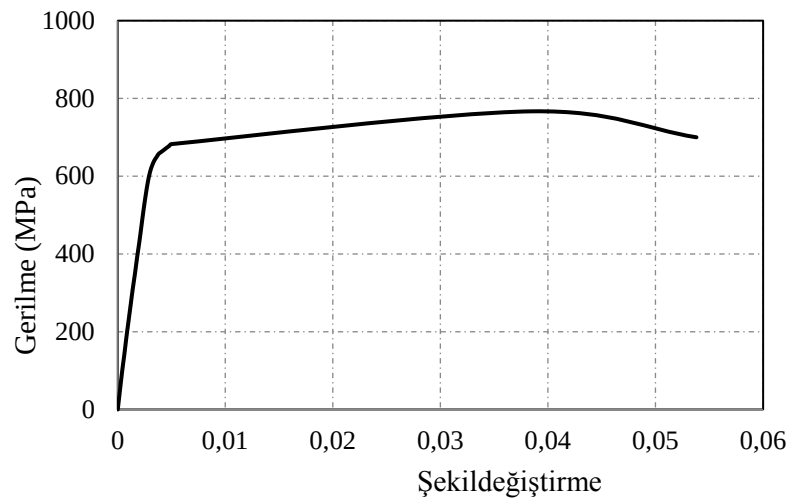
EK C



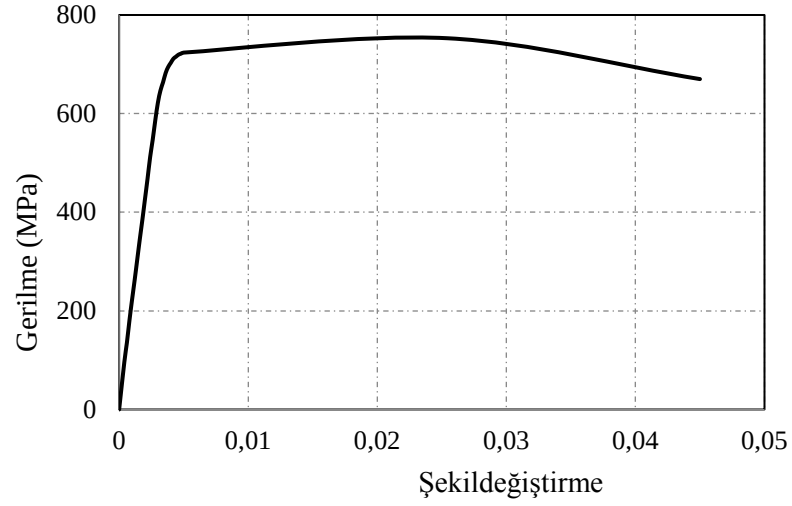
Şekil C.1: 3.8 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



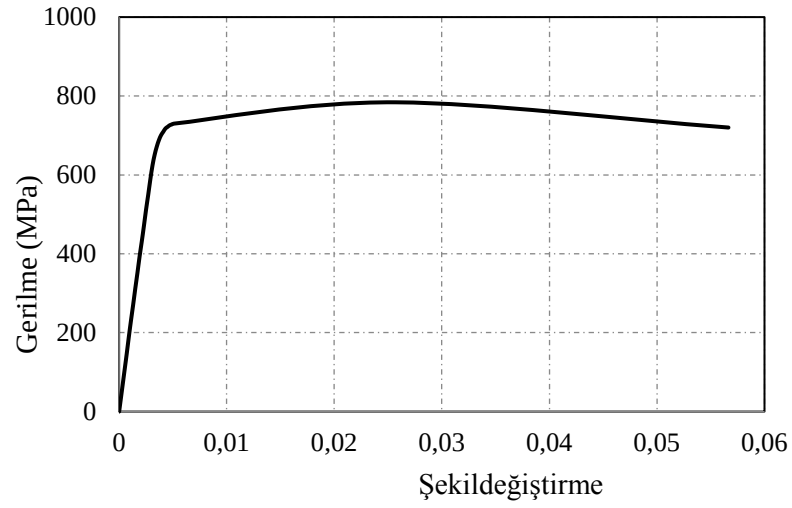
Şekil C.2: 3.8 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



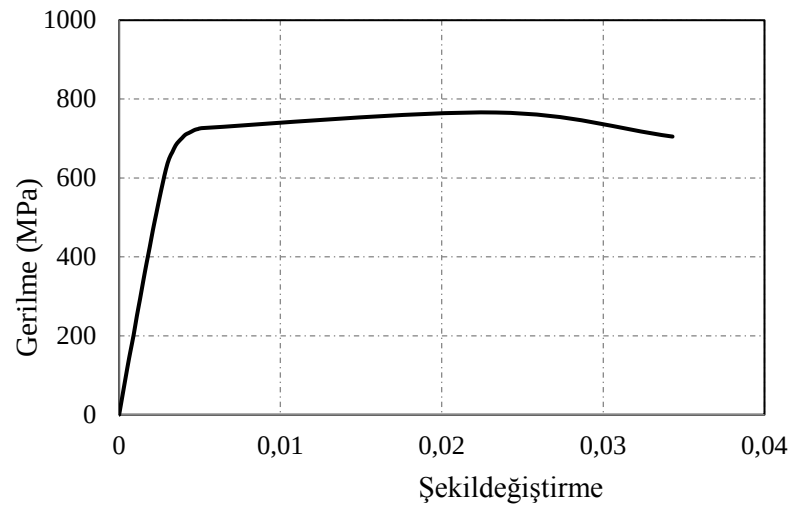
Şekil C.3: 3.8 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



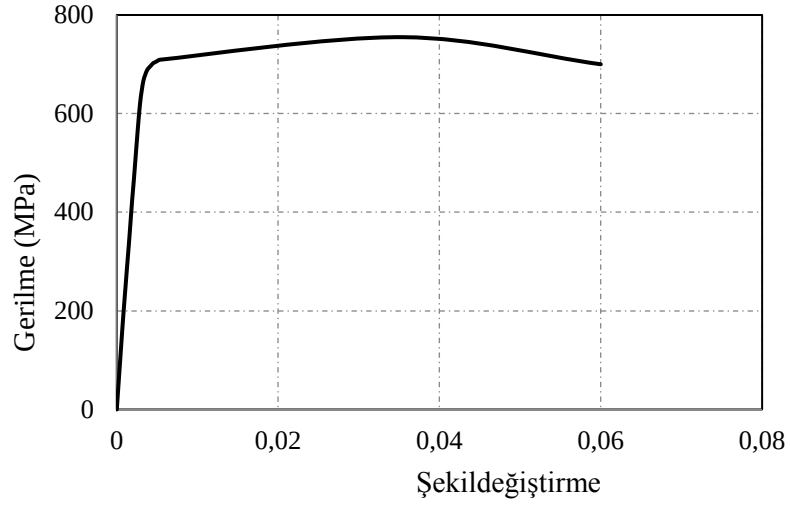
Şekil C.4: 5.5 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



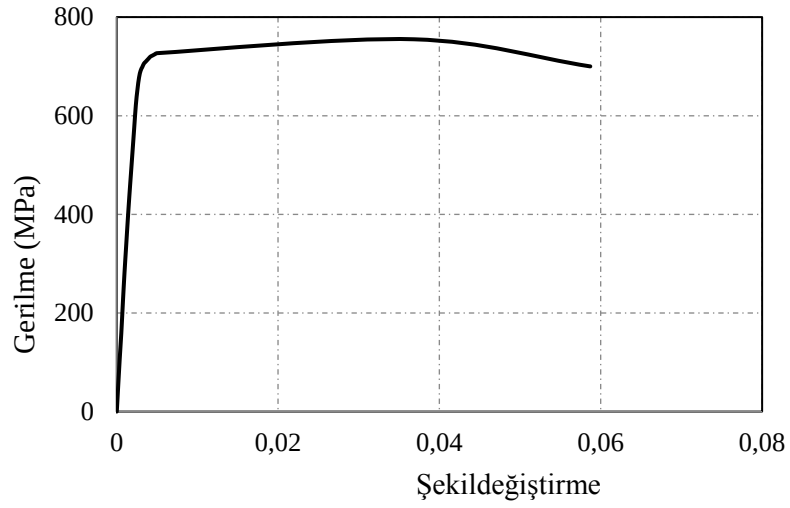
Şekil C.5: 5.5 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



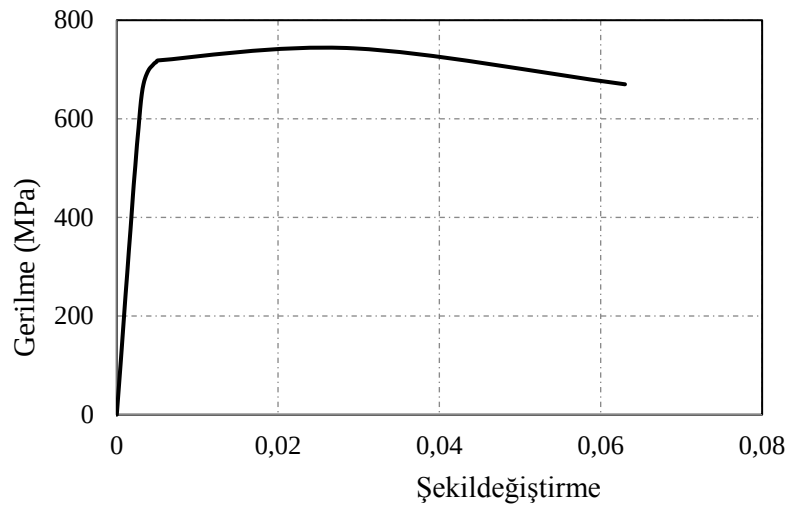
Şekil C.6: 5.5 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil C.7: 6 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil C.8: 6 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil C.9: 6 mm çaplı donatının gerilme - şekildeğiştirme ilişkisi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : ÖZGÜN ÖZEREN

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA 22.07.1990

E-Posta : ozgunozeren@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

