



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI
ELEMENLARININ DENEYSEL METOTLARLA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan USLU

DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr.Ali URAL

AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

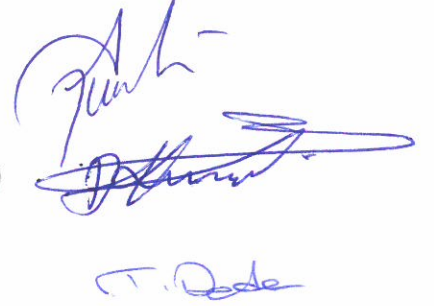
Serkan USLU'nun "TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMANLARININ DENEYSEL METOTLARLA İNCELENMESİ" başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ali URAL (Aksaray Üniv.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT (Aksaray Üniv.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tayfun DEDE (KTÜ)



Tezin Savunulduğu Tarih : 03.07.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun **05.07.2013**.. tarih ve **2013/24-10** sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tezde çeşitli tarihi yığma yapılar ele alınarak, bu yapılarda yatayda ve düşeyde yığma birimlerin sürekliliğini sağlayan metal bağlantı elemanları resimler ile gösterilerek irdelenmiştir. Bu doğrultuda laboratuvar ortamında kesme taş yığma birimler ile çeşitli ölçülerde metal bağlantı elemanları kullanarak model duvarlar yapılmıştır. Bu model duvarlarda, kayma dayanımları, süreklilik gibi performans değişimleri araştırılmıştır. Literatür çalışmalarında, metal bağlantı elemanlarının kullanımına yönelik herhangi bir boyutlandırma, projelendirme bilgisi olmamakla birlikte konuya ilişkin standart/yönetmelikte bulunmamaktadır. Bu hususlar çalışmamızı zorlayıcı etkenler gibi gözüke de, restorasyon çalışmalarında, yeni yapım minare gibi kesme taş yığma yapılarda yönlendirme yapabilecek bir çalışma olması umudu heyecan vericidir.

Bu çalışma, 2002/08 numara ve “Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirme Teknikleri” proje adı ile Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Serkan USLU

Aksaray, Temmuz 2013

TEŞEKKÜR

Yaşamda geldiğim bu noktada, emekleri tartışılmaz olan canım babam ve anneme, bana her an destek olan eşime ve çocuklarıma, tez çalışmamın her safhasında bana yol gösteren ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan başta danışman hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Ali URAL (Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü) olmak üzere, Sayın Yrd.Doç.Dr. Turan KARABÖRK (Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü)'e, deneysel çalışmalarımızda yardımcı olan Sayın Doç.Dr. M.Emin KARA (Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü)'ya ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Ali Akın AKYOL (Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksekokulu)'a teşekkürlerimi sunarım.

Serkan USLU

Aksaray, Temmuz 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	3
1.1.1.Yığma yapıların kayma (kesme) davranışının incelendiği çalışmalar.....	4
1.1.2. Metal bağlantı elemanlarının etkinliğinin incelendiği çalışmalar.....	7
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	8
2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMANLARI.....	10
3. MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	15
3.1. Horasan Harcı.....	15
3.2. Yığma Birimler.....	19
3.3. Metal Bağlantı Elemanları.....	25
4. DUVAR DENEYLERİ.....	27
4.1. Duvar Numunelerinin Hazırlanması.....	28
4.2. Duvar Modeller ve Deneyleri.....	30
4.2.1. Referans duvar modeli.....	31
4.2.2. M11 duvar modeli.....	32
4.2.3. M12 duvar modeli.....	35
4.2.4. M21 duvar modeli.....	38
4.2.5. M22 duvar modeli.....	41
4.2.6. M31 duvar modeli.....	44
4.2.7. M32 duvar modeli.....	47
4.2.8. M41 duvar modeli.....	50

4.2.9. M42 duvar modeli	53
4.2.10. M51 duvar modeli	56
4.2.11. M52 duvar modeli	59
4.2.12. M61 duvar modeli	62
4.2.13. M62 duvar modeli	65
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi	68
4.3.1. Referans, M11 ve M12 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	68
4.3.2. Referans, M21 ve M22 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	70
4.3.3. Referans, M31 ve M32 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	71
4.3.4. Referans, M41 ve M42 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	72
4.3.5. Referans, M51 ve M52 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	73
4.3.6. Referans, M61 ve M62 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması	74
5. ANALİTİK ÇALIŞMALAR.....	76
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMENLARININ DENEYSEL METOTLARLA İNCELENMESİ

Serkan USLU

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Ali URAL

Dünya geneline baktığımızda, tarihi yapı olarak adlandırdığımız yapı türlerinin büyük kısmı, büyük taş bloklardan oluşan yığma yapı tekniği ile inşa edilmiştir. Bununla birlikte az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, kırsal kesimde ve şehirlerin gecekondü bölgelerinde konutlar, kullanıcıları tarafından taş, kerpiç, briket veya pişmiş toprak tuğlalardan yığma yapı şeklinde inşa edilmektedir.

Ülkemiz, depremlerin büyük can kayıplarına neden olduğu bir coğrafya üzerindedir. Bununla birlikte tarihi yığma yapıların birçoğu ile kırsal kesimde ve kentlerde inşa edilen yığma yapıların büyük bir bölümü deprem bölgelerindedir.

Yığma yapılarda deprem yükleri duvarlarda kayma gerilmeleri oluşturur. Bu nedenle yığma duvarların kayma dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada; ilk aşamada tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları irdelenmiştir. İkinci aşamada, deneysel çalışmalar için yapılacak numune duvarlara ait yığma birimler ile harcın basınç dayanımı ve çekme dayanımları ilgili standartlar doğrultusunda deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca metal bağlantı elemanlarının çekme dayanımları da ilgili standart dikkate alınarak deneysel çalışmalar sonucunda hesaplanmıştır. Üçüncü aşamada, metal bağlantı elemanları kullanılarak yapılan numune duvarlarında, duvarın davranışı ve dayanımı, deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiğimiz sonuçlar dikkate alınarak irdelenmiştir.

Çalışma, referans ve metal bağlantı elemanları ile oluşturulan model taş yığma duvarlar üzerine yapılan deneysel çalışmalar şeklindedir. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zıvana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, 1 adet referans numune olmak üzere toplam 13 adet 650x730x150 mm³ boyutlarında taş yığma duvar numunesi diyagonal basınç etkisine tabi tutulmuştur. Her bir yığma birimin boyutu 100x150x200 mm³'tür. Duvarların diyagonal deneye tabi tutulmasındaki esas amaç, bu duvarların kesme etkisindeki davranışlarını incelemektir. Numune duvarların bir adedi kenet ve zıvana kullanılmadan yalın şekilde doğal taşlardan oluşan referans model duvar, diğerleri kenet ve zıvanalar kullanılarak yapılan model duvarlardır. Çalışmada artan yük kademelerinde yer değiştirmeler tespit edilmiş, kırılma şekilleri fotoğraflarla gösterilmiştir. Numunelerin kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Sonuç olarak kenet ve zıvanalar ile yapılan model taş yığma duvarlar, referans model taş yığma duvara göre daha yüksek dayanım göstermişlerdir.

2013, 101 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Taş Yığma, Kenet, Zıvana, Kayma Dayanımı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

HISTORIC MASONRY STRUCTURES USED IN METHODS EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF METAL FASTENERS

Serkan USLU

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst.Prof.Dr.Ali URAL

When we look at the world in general, the majority of building types, refer to the historical building, built with large stones masonry techniques. However, the less developed and developing countries, households in rural and slum areas, users of stone, adobe, brick or terra cotta brick masonry building is built in the shape.

Our country is a great loss of life caused by earthquakes on geography. However, with many historic masonry structures masonry structures built in rural areas and a large part of urban earthquake regions.

Shear stresses on the walls of masonry structures creates earthquake loads. For this reason the shear strength of the masonry walls should be increased. Nowadays, many studies have been conducted on the behavior of masonry walls. This study examined the initial stage of metal fasteners used in historical masonry buildings. In the second stage, the sample made for experimental studies of the walls of the mortar compressive strength and tensile strength of masonry units were investigated in accordance with the relevant standards. Also standard on metal fasteners tensile strength is calculated taking into account the result of experimental studies. The third stage, the walls of the sample using metal fasteners, wall behavior and strength, by considering experimental results are the results from our studies examined.

The study was created with the metal fasteners of reference and experimental studies on the model in the form of stone masonry walls. The metal clamp and dowel fasteners are used. In the experimental study, a total of 13 to 1 the reference sample size of 650x730x150 mm³ sample of stone masonry walls subjected to diagonal compression effect. Masonry each unit size 100x150x200 mm³. The main purpose of the handling of the diagonal walls tested, to investigate the behavior of the influence of the shear walls. Sample a number of walls of natural stone to lean clamp and dowel a reference model for the use of the model wall, the others models using clamp and dowel walls. The study identified the increasing load levels of displacement, refraction shapes been displayed photographs. As a result, the model with clamp and dowels stone masonry walls, stone masonry wall higher than the reference model showed strength.

2013, 101 Pages

Keywords : Stone Masonry, Clamp, Dowel, Shear Strength

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Yunanlılardan kalma bir vazo süslemesi üzerinde demir döven insan figürleri.....	2
Şekil 2.1.	Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri.....	10
Şekil 2.2.	Magnesia Artemis Tapınağındaki metal bağlantı uygulamaları.....	11
Şekil 2.3.	Truva Antik Harabelerindeki metal bağlantı uygulamaları....	11
Şekil 2.4.	Üsküp Mustafa Paşa Cami avlusundaki kenet örnekleri.....	12
Şekil 2.5.	Kemer köprülerde kullanılan metal kenetler.....	12
Şekil 2.6.	Mezar taşlarında kullanılan metal kenetler.....	13
Şekil 2.7.	Aksaray Çanlı Kilise 'de kullanılan metal kenet.....	13
Şekil 2.8.	Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri.....	14
Şekil 3.1.	Eğilmede çekme dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği.....	16
Şekil 3.2.	Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği.....	18
Şekil 3.3.	Yığılma birimlerin basınç dayanım testleri.....	21
Şekil 3.4.	Yığılma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (B1-B6 numuneleri).....	23
Şekil 3.5.	Yığılma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (C1-C6 numuneleri).....	24
Şekil 3.6.	Duvar deneylerinde kullanılan zıvana ve kenetler.....	25
Şekil 4.1.	Deneylerin yükleme-ölçüm düzeneği.....	27
Şekil 4.2.	Duvar numunelerinin örülme aşamaları.....	29
Şekil 4.3.	Referans duvarın deney sonucu görüntüsü.....	32
Şekil 4.4.	M11 duvar modeline ait teknik çizim.....	33
Şekil 4.5.	M11 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	34
Şekil 4.6.	M11 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	34
Şekil 4.7.	M11 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	35
Şekil 4.8.	M12 duvar modeline ait teknik çizim.....	36
Şekil 4.9.	M12 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	37

Şekil 4.10.	M12 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	37
Şekil 4.11.	M12 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	38
Şekil 4.12.	M21 duvar modeline ait teknik çizim.....	39
Şekil 4.13.	M21 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	40
Şekil 4.14.	M21 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	40
Şekil 4.15.	M21 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	41
Şekil 4.16.	M22 duvar modeline ait teknik çizim.....	42
Şekil 4.17.	M22 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	43
Şekil 4.18.	M22 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	43
Şekil 4.19.	M22 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	44
Şekil 4.20.	M31 duvar modeline ait teknik çizim.....	45
Şekil 4.21.	M31 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	46
Şekil 4.22.	M31 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	46
Şekil 4.23.	M31 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	47
Şekil 4.24.	M32 duvar modeline ait teknik çizim.....	48
Şekil 4.25.	M32 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	49
Şekil 4.26.	M32 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	49
Şekil 4.27.	M32 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	50
Şekil 4.28.	M41 duvar modeline ait teknik çizim.....	51
Şekil 4.29.	M41 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	52
Şekil 4.30.	M41 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	52
Şekil 4.31.	M41 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	53
Şekil 4.32.	M42 duvar modeline ait teknik çizim.....	54
Şekil 4.33.	M42 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	55
Şekil 4.34.	M42 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	55
Şekil 4.35.	M42 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	56

Şekil 4.36.	M51 duvar modeline ait teknik çizim.....	57
Şekil 4.37.	M51 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	58
Şekil 4.38.	M51 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	58
Şekil 4.39.	M51 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	59
Şekil 4.40.	M52 duvar modeline ait teknik çizim.....	60
Şekil 4.41.	M52 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	61
Şekil 4.42.	M52 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	61
Şekil 4.43.	M52 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	62
Şekil 4.44.	M61 duvar modeline ait teknik çizim.....	63
Şekil 4.45.	M61 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	64
Şekil 4.46.	M61 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	64
Şekil 4.47.	M61 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	65
Şekil 4.48.	M62 duvar modeline ait teknik çizim.....	66
Şekil 4.49.	M62 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü.....	67
Şekil 4.50.	M62 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi.....	67
Şekil 4.51.	M62 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	68
Şekil 4.52.	Referans, M11 ve M12 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	69
Şekil 4.53.	Referans, M21 ve M22 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	70
Şekil 4.54.	Referans, M31 ve M32 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	71
Şekil 4.55.	Referans, M41 ve M42 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	72
Şekil 4.56.	Referans, M51 ve M52 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	74
Şekil 4.57.	Referans, M61 ve M62 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.....	75
Şekil 5.1.	Deney sonuçlarının analitik formüllerle karşılaştırılması....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1.	Duvar deneylerde kullanılan harcın basınç ve eğilmede çekme deney sonuçları.....	17
Çizelge 3.2.	Tüf taşının fiziksel deney sonuçları.....	19
Çizelge 3.3.	Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler.....	20
Çizelge 3.4.	Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler.....	20
Çizelge 3.5.	Duvar deneylerinde kullanılan yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları.....	22
Çizelge 3.6.	Duvar deneylerde kullanılan yığma birimlere ait eğilmede çekme deneyleri sonuçları.....	25
Çizelge 4.1.	Duvar numunelerinin donatılma şemaları.....	31
Çizelge 4.2.	Referans numunesi deney sonuçları.....	32
Çizelge 4.3.	M11 numunesi deney sonuçları.....	35
Çizelge 4.4.	M12 numunesi deney sonuçları.....	38
Çizelge 4.5.	M21 numunesi deney sonuçları.....	41
Çizelge 4.6.	M22 numunesi deney sonuçları.....	44
Çizelge 4.7.	M31 numunesi deney sonuçları.....	47
Çizelge 4.8.	M32 numunesi deney sonuçları.....	50
Çizelge 4.9.	M41 numunesi deney sonuçları.....	53
Çizelge 4.10.	M42 numunesi deney sonuçları.....	56
Çizelge 4.11.	M51 numunesi deney sonuçları.....	59
Çizelge 4.12.	M52 numunesi deney sonuçları.....	62
Çizelge 4.13.	M61 numunesi deney sonuçları.....	65
Çizelge 4.14.	M62 numunesi deney sonuçları.....	68
Çizelge 4.15.	Referans, M11 ve M12 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	69
Çizelge 4.16.	Referans, M21 ve M22 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	71
Çizelge 4.17.	Referans, M31 ve M32 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	72
Çizelge 4.18.	Referans, M41 ve M42 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	73

Çizelge 4.19. Referans, M51 ve M52 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	74
Çizelge 4.20. Referans, M61 ve M62 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması.....	75
Çizelge 5.1. Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.....	78

SİMGELER DİZİNİ

μ	Süneklilik
Δv	Dikey yönlerde toplam yer değiştirme miktarları
σ_0	Duvar düşey gerilmesi (N/mm^2)
σ	Eğilme dayanımı (N/mm^2)
ϵ_s	Kesme şekil değiştirmesi (%)
Δh	Yatay yönlerde toplam yer değiştirme miktarları
τ	Çekme gerilmesi (N/mm^2)
ρ_t	Duvar bölümü üzerinde hesaplanan metal bağlantı oranı
A_n	Örnek numunenin net alanı (mm^2)
A_r	Metal bağlantı alanı (mm^2)
b	Numune genişliği (mm)
d	Etkili derinlik
F_m	Deney sırasında akma noktası geçildikten sonra deney parçasının dayandığı en büyük yük (N)
f_s	Kayma dayanımını (N/mm^2)
f_{vk}	Taşın karakteristik dayanımı (N/mm^2)
g	Başlangıç yer değişimi ile mevcut yer değişimi arasındaki oranı
G	Kayma Modülü (N/mm^2)
h	Numune yüksekliği (mm)
h	Numunenin yüzey ölçüsü (mm)
l	Duvar uzunluğu (mm)
L	Mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafe (mm)
P	Uygulanan kuvvet (N)
P_f	Maksimum basınç yükü (kN)
r	Taş duvar örneğinin kesme dayanımı ile metal bağlantılı taş duvar örneğinin oranını
R	Toplam kesit alanına, delik açılmış alanın oranı
R_c	Basınç dayanımı (N/mm^2)
R_m	Çekme dayanımı (N/mm^2)
R_{tf}	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm^2)
t	Duvar kalınlığı (mm)
w	Numunenin yüzey ölçüsü (mm)

KISALTMALAR DİZİNİ

CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
GFRP	Cam Lif Takviyeli Polimer
FRP	Lif Takviyeli Polimer
LVDT	Doğrusal Değişken Türevsel Dönüştürücü
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

1. GİRİŞ

Tarihin ilk çağlarından bu yana insanoğlunun temel ihtiyaçlarından birisi barınma ihtiyacıydı. Bu ihtiyacı giderebilmek için önceleri tabiatta mevcut bulunan doğal mağaralar kullanılırken daha sonra doğal kayalar oyularak mağaralar oluşturulmaya başlandı. Teknolojinin ilerlemesiyle doğal taşlar, kerpiç gibi malzemeler kullanılarak yığma türünde yapılar yapılmaya başlandı.

İnsanoğlunun barınma ihtiyacının yanında akarsuları geçmek amacıyla kemer köprülerde inşa edildi. Yığma türündeki taş kemer köprülere eski uygarlıkların birçoğunda rastlanmaktadır. Fakat bunların arasında en gelişmiş örneklerini Romalıların yaptığı bilinmektedir. Anadolu'da belirgin olarak kemer tipindeki taş yığma köprülerin yapımına özellikle Osmanlı döneminde başlanmıştır. Mühendisliğin günümüze kıyasla gelişmediği 18. ve 19. yy.'larda taş yığma kemer köprülerin yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir.

Kemer formunun ilk örnekleri M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yer altı mezarlarında görülmüştür. Mısırlılara ait olan örnekler, bu uygarlığın da aynı dönemlerde kemer formunun yapısal potansiyeli hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermektedir. Ancak, kemer formunu bulanlar her ne kadar Sümerler ya da Mısırlılar olsa da, en etkin ve göz alıcı şekilde kullanmayı başaranlar Romalılar olmuştur. Türkiye'de Cender Suyu Köprüsü, Karamağara Köprüsü ve Justinianus Köprüsü Roma devrinden kalan yapıtlar arasındadır. (Toker ve Ünay, 2004)

Demir madenin ilk kullanımına dair işaretler, mızrak uçları, bıçak ve süs eşyası şeklinde olup Sümerlere ve eski Mısırlılara kadar (yaklaşık M.Ö. 4000 yılları) dayanmaktadır. Bu madenin bulunmasıyla birlikte çok farklı alanlarda kullanımı gerçekleştirilmiştir. Yığma yapılarda demir madenin kullanımı hiç şüphesiz ki kenet ve zıvana denilen yatay ve düşey yığma birimleri birbirine bağlamak amacıyla kullanılmıştır. M.Ö. 500 yıllarından kalma Yunanlılara ait olduğu düşünülen bir vazo üzerindeki süslemede demir madenin ısıtılarak dövülmesi resmedilmektedir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Yunanlılardan kalma bir vazo süslemesi üzerinde demir döven insan figürleri (Buchwald, 2005)

Yığma yapılardan günümüze ulaşan en ihtişamlı eserler Antik Mısır, Roma, Yunan ve Osmanlı medeniyetlerinden kalma yapılardır. Mısırdaki bulunan piramitler halen dünyanın 7 harikası arasında bulunurken eski Yunan tapınakları ve muhteşem Osmanlı camileri, hamam ve medreseleri yığma türüne en iyi örneklerdendir. Tomlinson (2012) kitabında “Eğer 1687’de Venediklilerin kuşatması sırasında Parthenon’a atılan top mermisi olmasaydı, bu tapınak günümüzde varlığını bir harabe yerine bir yapı olarak sürdürecekti.” cümlesini kullanarak Antik Yunan yapılarının ne derece dayanıklı olduklarını ifade etmiştir.

Antik Yunan ve Roma medeniyetlerindeki mimari yapıları, yapım tekniği olarak ülkemizde Çördük (2006) yüksek lisans tezi kapsamında detaylı bir şekilde incelemiştir. Söz konusu çalışmada, bu devirlerde kullanılan taş tipleri ve taş ocakları, ahşap, kerpiç, tuğla gibi yığma birimlerin yanı sıra o devirlerde kullanılmış olan bağlayıcı malzemeler ve bağlantı elemanları ile ilgili de geniş bilgilere yer vermiştir.

Osmanlı Döneminden günümüze kalan yapılara bakıldığında Mimar Sinan yapılarının bir mühür gibi durduğu açıktır. Sinan’ın yapıları incelendiğinde, mekândan ve zamandan soyutlanmış gibi gelir. Her sanat yapısının temelinde bir tasarım olgusu vardır. Sinan’da tasarım, madde ile birlikte gelişir. Maddenin olanakları ile derin boyutlar kazanır. Camilerde plan oluşumu basit geometrik biçimler olmasına karşın, üçüncü boyut kubbelerin oluşturduğu karmaşık biçimlere dönüşür. Yapı iç mekânda ve

k t le oluşumunda evrensel bir dinamizm kazanır. Bu nedenle Sinan, mimarlığın evrensel mesajını çok iyi korumuş ve yansıtmış bir ustadır (şeker, 2011).

Tarihi yapıların günümüze ulaşmış olanlarının birçoğunda kenet ve zıvanaların kullanılmış oldukları aşıkardır. Bu elemanlar yığma duvarlardaki bütünlüğü sağlamaktadır. Çünkü bu elemanlar yığma birimlerde açılan deliklere tespit edilerek yığma birimlerin dış etkiler karşısında yekpare olarak çalışmasını sağlamaktadır. Tarihi yapıların birçoğunda kullanılmasına karşın günümüze kadar yapılan bilimsel araştırmalarda bu tür metal bağlayıcı elemanların konu edinmesine çok fazla rastlanmamıştır. Literatürde bulunan ve konu ile ilgili olan yayınlara bakıldığında özellikle spesifik bir yapı üzerinde gerçekleştirilecek restorasyon projesi kapsamında incelenmiş olduğu görülmektedir. Bunun haricinde literatürde bu metal elemanların kullanımına dair herhangi bir öneri, boyutlandırma ve projelendirme yapılmamıştır. Dolayısı ile halen bu tür metal bağlantı elemanlarının kullanımına dair literatürde bilimsel olarak net dayanaklar mevcut değildir.

Ülkemizde en son 2000 yılında yapılan bina sayımına göre (D E, 2000) mevcut bina stokumuzun yaklaşık olarak %51'i yığma türü yapılarıdır. Bu yapılar bölge olanakları kullanarak, yani bölgede mevcut bulunan kaynaklarla ve çoğunda herhangi bir mühendislik bilgisi olmadan inşa edilmiş yapılarıdır. Bu sebepten dolayısıdır ki meydana gelen depremlerde en fazla zararı bu tür yapılar almakta ve can kaybına yol açmaktadır.  niversitelerimizdeki İnşaat Mühendisliği eğitime dikkatli bir şekilde bakıldığında yığma yapılar hakkında çok c zi bilgilerin verildiği görülmektedir. Oysaki yüzyıllar boyunca çok farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan Anadolu Yarımadasında yüzlerce tarihi yapı halen mevcuttur. Yine yüzyıllar boyunca birçok büyük deprem felaketi yaşamış olan bu yapıların halen ayakta kalması manidardır.

Günümüzde halen yığma inşaatlar yapılmaktadır. Bu  alışma, yeni yapılacak olan özellikle kesme taş türündeki yığma konutlar, camiler ve minarelerin tasarımında önemli bir eser olarak kullanılacak niteliktedir.

1.1. Literatür  zeti

Yığma türü yapılar hakkında dünyanın birçok bölgesinde günümüze kadar yapılmış sayısız araştırmalar ve bilimsel yayınlar mevcuttur. Bunun temel sebeplerinden biri hiç şüphesiz ki yığma yapıların tarihin ilk çağlarından bu yana kullanımının oldukça yaygın olmasıdır. Yığma yapıların davranışlarını belirlemeye yönelik yapılan ilk çalışmalarda basit analitik formüller kullanılmaktaydı. Günümüzde ise çok karmaşık sistemlerin çözümünü mümkün kılan sonlu elemanlar yöntemi ve benzeri yöntemlerle birlikte

bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve laboratuvar şartlarındaki ilerlemeler sayesinde bu yapıların davranışları daha kolay bir şekilde analiz edilebilmektedir. Tez kapsamında dikkate alınan duvar modellerinde değişken olarak kullanılan metal bağlantı elemanları tarihin ilk çağlarından bu yana sıklıkla kullanılmasına rağmen bu konu ile ilgili günümüze ulaşmış çok az sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Bu sebepten dolayı tez çalışmasının bu bölümünde öncelikle yığma yapıların kayma (kesme) davranışlarıyla ilgili literatürdeki en güncel bilimsel çalışmalara yer verilmekte, daha sonra ise konuyla ilgili ulaşılan yayınlara değinilmektedir.

1.1.1. Yığma yapıların kayma (kesme) davranışının incelendiği çalışmalar

Augenti ve Parisi (2011), çalışmalarında, sarı tuf taşının yük altındaki mekanik özellikleri, oluşturduğu yığma duvarda, harç üzerinde doğrusal olmayan davranışı karakterize eden kesme kırılması incelenmiştir. Bu doğrultuda yığma duvarda kayma dayanımı ve deformasyon parametreleri karakterize edilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme diyagramları belirtilmiştir. Sonuç olarak tuf taşından oluşan yığma duvarda, harç ile taş arasında uygun kesme yüzeyi önerilmiştir.

Yılmaz (2010), çalışmasında, boşluklu tuğlalarla imal edilmiş yığma duvarların CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) malzemesi ile güçlendirilmesi sonrası ve öncesi mekanik özelliklerini incelenmiştir. Araştırmasında, numunelerde harç tipinin etkisi, aynı harç tipiyle hazırlanmış duvar numunelerinde boyut etkisi, numunelerin CFRP malzemesi ile güçlendirilmesi irdelenmiştir. Sonuç olarak boyut artışı ile numunelerin basınç ve kayma dayanımının, deformasyon yeteneğinin azaldığı, güçlendirmenin ise numunede basınç dayanımı, kayma dayanımı, enerji yutma özelliği ve özellikle şekil değiştirme yeteneğini artırdığı belirtilmiştir.

Kara (2009), çalışmasında tarihi yığma yapılarda yapı tekniği incelenmiş, bu yapıların taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzemeler tanıtılmış, zaman içinde oluşan hasar türleri ve onarım teknikleri incelenmiştir. Bu doğrultuda 5 adet tarihi yığma ele alınarak yapıların mevcut durum tahkikleri, yürürlükteki deprem yönetmeliğine göre yük analizleri ve deprem yükleri irdelenmiştir. Ayrıca yatay ve düşey yükler altında yapılar incelenmiş, bu kuvvet bileşenleri için duvarlarda oluşan gerilmeler hesaplanarak deprem güvenlikleri araştırılmıştır.

Öztaş (2009), çalışmasında mevcut bir yığma yapı ele alınarak analiz yapılmıştır. Daha sonra bu yapıya betonarme güçlendirme perdeleri eklenerek yeniden analiz yapılmıştır. Son olarak GFRP malzemesi ile güçlendirilerek üçüncü analiz yapılmıştır. Yapının bu üç durumu için aldığı deprem yükleri ve elde edilen yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır.

İlk olarak mevcut sistemle betonarme perdeli sistemin yer değiştirmeleri karşılaştırılmış, betonarme perdeli sistemin X yatay doğrultusundaki yer değiştirmesinin 4 kat, Y düşey doğrultusundaki yer değiştirmesinin 9 kat düştüğü gözlemlenmiştir. İkinci olarak mevcut sistemle GFRP'li (Glass Fiber Reinforced Polymer) güçlendirme sisteminin yer değiştirmeleri karşılaştırılmış, GFRP'li sistemin X doğrultusundaki yer değiştirmesinin 1,5 kat, Y doğrultusundaki yer değiştirmesinin 4 kat düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuç olarak betonarme perdeli sistemin yapının deprem dayanımını artırdığı, yapının diğer sistemlere göre daha az yer değiştirdiği belirtilmiştir.

Ural (2009), çalışmasında yığma yapıların deprem davranışlarını etkileyecek olan örgü biçimlerinin, hatılların yerleştirme biçimlerinin, yığma birimler ile harcın dayanımlarının duvarın yük taşıma kapasitesine etkilerini irdelemiştir. Bu doğrultuda sonlu elemanlar programlarıyla analizler gerçekleştirilmiştir.

Döndüren (2008), çalışmasında normal harçla hazırlanan bir yığma duvarla, sikalatex isimli katkı malzemesiyle bağlayıcı özelliği artırılmış harçla hazırlanan bir yığma duvarın düzlem dışı kırılması araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Katkı malzemesi miktarını belirlemek için, 6 adet aynı boyutta duvar numunesi örülmüştür. En fazla dayanıma sahip numunede kullanılan katkı malzemesi miktarı tespit edilmiştir. Daha sonra gerçekçi boyutlara sahip aynı geometri ve malzeme özelliğinde 2 ayrı prototip duvar örülmüştür. Referans duvar olarak örülen ilk duvar numunesi deprem etkilerini modelleyen düzlem dışı tekrarlanır yük altında denenmiştir. Model duvar olarak belirlenen ikinci duvarda, miktarı önceden tespit edilmiş katkı malzemesi ilave edilerek örülmüş ve aynı şartlarda yüklemeye tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda model duvarın referans duvara göre %25 daha fazla dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca model duvarda oluşan sünekliliğin, referans duvardaki sünekliliğe göre %41 azaldığı ve model duvarın, referans duvara göre %25 daha az enerji tükettiği belirtilmiştir.

Aş (2007), çalışmasında Osmanlı mimarisinde sıra ev konut tipinin ilk örneği olan Akaretler Sıra ev Grubu taşıyıcı duvarlarından alınan tuğlalar ile örülen numunelerin diyagonal çekme etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Restorasyon çalışmaları kapsamında, yıkılan taşıyıcı tuğla duvarlardan toplanan tuğlalar ile tekli ve üçlü tuğla basınç deneyleri yapılarak sırasıyla, 5,00 MPa ve 2,10 MPa değerleri bulunmuştur. Hasarsız tuğlalar ile bu yapının duvar imalatında kullanılan harcın mekanik özelliklerini yansıtan 28 günlük ortalama basınç dayanımı 3,26 MPa olan harç kullanılarak 400x400x260 mm³ boyutlarında 12 adet duvar elemanı üretilmiştir. Bu numuneler 2 adedi güçlendirme işlemi yapılmayan, 2 adedi tamir harcı ile güçlendirilen ve 8 adedi de

cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilen duvar numunelerinden oluşmuştur. Sonuç olarak diyagonal yük etkisindeki deneysel çalışma sonrasında, her iki güçlendirme yönteminde, numunelerin davranışı önemli ölçüde artmıştır. Tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelerin, kesme dayanımlarında ortalama 1,60 kata ve CFRP ile güçlendirilen numunelerde ise ortalama 3,30 kata kadar artış elde edilmiştir.

Çöğürücü (2007), çalışmasında düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlamların kontrol altına alınması amacı ile epoksi reçineli FRP (Fiber Reinforced Polymer) ile yatay derz takviyesi uygulaması, analitik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deney çalışmaları için aynı geometri ve malzeme özelliğine sahip iki duvar üretilmiştir. Birinci duvar deprem etkisini modelleyen düzlem dışı tersinir yük altında denenmiş ve kırılma davranışı incelenmiştir. İkinci duvarın yatay derzleri epoksili FRP ile takviye edilmiş ve aynı şartlar altında deneyerek, uygulamanın duvarı kırılmaya karşı nasıl güçlendirdiği araştırılmıştır. Sonuç olarak, birinci durumdaki yığma duvarların gevrek kırıldığı ve akma çizgilerinin işaret ettiği süneklığe sahip olmadığı, ikinci durumdaki yığma duvarın yani yatay derzleri epoksili FRP takviyesi ile güçlendirilen duvarın kırılmaya karşı %25 daha fazla dayanıklı duruma geldiği belirtilmiştir.

Marcari vd., (2007), çalışmalarında tuf taşı ile hazırlanan yığma duvar numuneleri FRP malzemesi örülerek kesme-basınç testlerine tabi tutulmuştur. FRP ile güçlendirilen bu duvarların davranışları, kesme dayanımı ve yer değiştirme kapasiteleri irdelenmiştir. Sonuç olarak güçlendirilmiş tuf taşlı yığma duvarın kesme mukavemeti ve şekil değiştirme yeteneğini artırdığı belirtilmiştir.

Onar (2007), çalışmasında harman tuğlaları ile yapılan yığma duvarların CFRP şerit ve dokuma malzemesi kullanılarak güçlendirilmesinin, duvar davranışı ve dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Örölmüş tuğla duvarlar kendi düzlemi içerisinde, yatay ve düşey yüklerin bileşkesi olan bileşenleri ile 45°'lik açı yapan tek eksenli basınç kuvveti ile yüklenmiştir. Model tuğla duvarların güçlendirme programı seriler halinde yapılmıştır. 3 adet seride toplam 36 adet numune örölmüştür. Seri-1'de CFRP şeritleri çekme ve basınç yönlerinde 2,5 cm genişliğinde, Seri-2'de CFRP şeritleri çekme ve basınç yönlerinde ayırık olarak, Seri-3'de ise CFRP kuvvetli eksen çekme yönünde olacak şekilde dokuma ile uygulanmıştır. Deney verilerinin irdelenebilmesi için numunelerin kırılma yükleri ve artan yük kademelerindeki yer değiştirmeleri belirtilmiştir. Sonuç olarak dokuma CFRP'nin, ayırık şerit ve şerit CFRP uygulamalarına göre 1,5 kat daha iyi sonuç verdiği, şerit CFRP ve ayırık CFRP uygulamalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2006), çalışmasında Sakarya ili Sapanca ilçesinde bulunan Rahime Sultan Camii tarihi yığma yapısını incelemiştir. Bu doğrultuda yapının röleveleri çıkarılmış, üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, yapının kendi ağırlığı altındaki statik analizi yapılarak en büyük yer değiştirmeler ve gerilmeler elde edilmiştir. Bulunan maksimum çekme ve basınç gerilmelerinin, yapıda kullanılan malzemenin çekme ve basınç gerilmelerinden az olduğu, böylece yapının güvenli olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak bu tür yapıları deprem yüklerine karşı daha dayanıklı hale getirebilmek için çekme gerilmelerini mümkün olduğu kadar azaltacak yöntemler kullanılması gerektiği ifade edilmiştir.

Churilov ve Jovanoska (2013), çalışmalarında tuğla yığma duvarların düzlem içi kayma dayanımlarını belirlemeye yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla önce yığma birimler ve harç ile ilgili basınç dayanımı testi ve eğilmede çekme dayanımı testi yaparak deneylerde kullanacakları malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Daha sonra üçlü test olarak tabir edilen üç adet tuğladan oluşmuş numuneleri kayma deneyine tabi tutmuşlardır. Yapılan bu testin amacı duvarın kayma dayanımını belirlemeye yönelik ön çalışmalardır. Ön testler sonucunda elde edilen veriler ışığında farklı boyut ve farklı donatı şemalarıyla üretilmiş olan yığma duvarları düzlem içi kayma deneyine tabi tutmuşlardır. Analitik formüllerle de desteklenen bu çalışmanın sonucunda önerilen güçlendirme tekniklerinin tuğla yığma duvarların kayma kapasitelerine önemli derecelerde katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Tomazevic vd., (2006), çalışmalarında yığma duvarların deprem yükleri altındaki davranışlarına dikkati çekmeye çalışmışlardır. Yığma birim olarak kullanılan tuğlaların sağlamlıklarının duvarın deprem davranışına doğrudan etkili olduğu belirtilmiştir. Deprem esnasında tuğlalardan birinin dahi kırılması, duvarın tüm davranışını etkileyeceğinden, duvara süneklik özelliği kazandırabilmek için donatı yerleştirilmesi gerekliliğini savunmuşlardır.

1.1.2. Metal bağlantı elemanlarının etkinliğinin incelendiği çalışmalar

Koçak (2013), yapmış olduğu çalışmada farklı düzenlerdeki metal bağlantı elemanlarının kesme taş duvarın kayma dayanımına etkisini araştırmıştır. Çalışmada 1 adet referans duvar olmak üzere toplamda 10 adet duvar numunesi üreterek bu numuneleri diyagonal basınç testine tabi tutmuştur. Üretilen her duvar numunesinde tarihte rastlanmamış yeni tasarım metal bağlantı elemanları kullanmıştır.

Kourkolis ve Pasiou (2009), çalışmasında eski dönemlere ait olan Parthenon Tapınağındaki yığma yapı elemanı olan mermer bloklar ile bu blokları birbirine

bağlayan metal bağlantı elemanları ve harcı incelemiştir. Bu yapıda yapılacak restorasyon çalışmasına ışık tutacak çalışmada, öncelikle mermer blok, harç ve kenet malzemelerinin mekanik davranışlarını belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Daha sonra yığma yapıya etki edecek yüklere karşı malzemelerin uygun davranışı için kenet sistemlerinin mermer bloklara doğru yerleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, prizmatik iki adet mermer blok ile aralarına yerleştirilen kenet malzemesinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Toumbakari (2008), çalışmasında Atina'da yer alan Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerine bir araştırma yapmıştır. Söz konusu tapınak duvarlarında taşları birbirine bağlamak amacıyla kenetler yer almaktadır. Bu kenetlerin duvarın davranışına etkilerini detaylı bir şekilde ele almıştır.

Papadopoulos (2006), çalışmasında, Apollo Epikourios Tapınağında taş bloklar arasındaki metal bağlantı elemanları incelenmiştir. 3D analizleri ile kenet alanları dikkate alınarak taş blokların taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak yığma yapının maksimum direnci sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları irdelenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Dünyaya bakıldığında, tarihi yapı olarak adlandırdığımız yapı türlerinin büyük kısmı, büyük taş bloklardan oluşan yığma yapı tekniği ile inşa edilmiştir. Bununla birlikte az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, kırsal kesimde ve şehirlerin gecekondü bölgelerinde konutlar, kullanıcıları tarafından, taş, kerpiç, briket veya pişmiş toprak tuğlalardan yığma yapı tekniği ile inşa edilmektedir.

Ülkemizde bulunan tarihi yapılar genellikle deprem, iklimsel değişiklikler gibi doğal olaylar ile savaş ve insanların yarattığı tahribat neticesinde sık sık ciddi hasarlara uğramış ve yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu yapıların restorasyonlarında da genellikle usulüne uygun davranılmamış, restorasyon sonrasında tarihi yapı, yapısal stabilite olarak daha büyük tehlikelere maruz kalmıştır. Şöyle ki, tarihin ilk çağlarından kalma bir yapıda çimento kullanımının söz konusu olması mümkün değildir. Buna rağmen çimento kullanılarak yapılan uygulamalarda, daha kısa sürede daha dayanıklı onarımlar yapıldığı düşünülse de, restorasyon çalışmalarında kullanılan çimento, uzun vadede yarardan çok zarar getirebilmektedir.

Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlılardan kalma eserlerin birçoğunda, kenet ve zıvanaların kullanıldığını görmekteyiz. Hatta Mimar Sinan'ın bizzat yaptırmış olduğu eserlerde bu uygulamanın mevcut olduğu bilinmektedir. Kenet ve zıvanalar, tarihi

yapının taşıyıcı sistemini oluşturan duvar, kubbe ve tonozlarda taşların birbiri ile bağlantısını sağlayarak yapıyı güçlendirme işlevine sahiptir. Bu metal bağlantı elemanları ayrıca yığma minarelerde ve kemer köprülerde de yaygın olarak kullanılmıştır. Gerek literatürde gerekse tarihi yapılarda rastlanan kenet-zıvana sistemi hakkında net bir bilgi ve standart bir uygulamaya rastlanmamıştır. Buna karşın, Bosna-Hersek'te yer alan tarihi Mostar Köprüsünün restorasyon çalışmalarında kenet-zıvana sisteminin kullanıldığı bilinmektedir.

Bilindiği üzere tarihi yapılar yığma sistemde inşa edilmiştir. Yığma yapılar, briket, tuğla, taş ve kerpiç gibi yığma birimler ile harçtan oluşturulan duvarların taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı yapı sistemleridir. Yığma yapıların en zayıf yönlerinden birisi; duvarları meydana getiren taş, tuğla ve kerpiçlerin arasına bağlayıcı olarak koyulan harç tabakasıdır. Harç ile yığma birimler arasındaki zayıf aderanstan dolayı tarihi yapılar deprem gibi dinamik etkiler altında kolayca hasar görmekte hatta yıkılmaktadır. Bu sebeptendir ki, ülkemizde DBYBHY'ye (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) (2007) göre, yığma yapıların inşasında çekme kuvvetlerini karşılayabilmek için yatay ve düşey hatılların yapılması zorunlu kılınmıştır. Fakat tarihi yapıların restorasyonunda bu tür bir sistemin yapılması söz konusu bile olamaz. Çünkü restorasyonlarda temel kural aslının korunması veya aslına en uygun onarımların gerçekleştirilebilmesidir.

Bu tez çalışmasının esas amacı, tarihe yüz tutmuş kültürel miras olarak değerlendirdiğimiz bu yapıların aslına en uygun bir şekilde restorasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için geçmişte yapılmış olan kenet-zıvana sisteminin bilimsel bir dayanağa oturtulmasıdır. Ayrıca, günümüzde halen doğal taşlar kullanılarak yapımı devam eden yığma türü yapılar (özellikle camiler ve minareleri) mevcuttur.

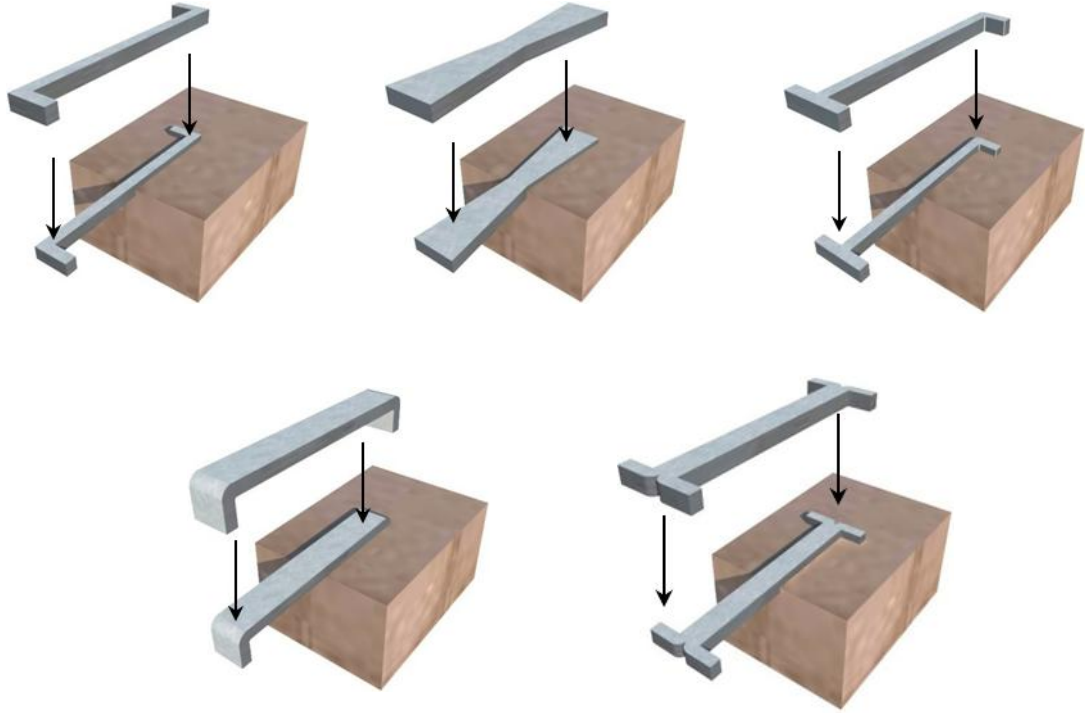
Bu amaçla yapılan çalışmada kenet sistemlerinin yığma yapılardaki etkileri detaylandırılarak, 1 tanesi referans olmak üzere toplam 13 adet yığma duvar numunesi üzerinde kayma (kesme) testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen deformasyonlar ve sayısal değerler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

2. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMANLARI

Tarihin ilk çağlarından itibaren insanlar barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla çok farklı türlerde yapılar inşa etmişlerdir. Günümüze kadar ulaşmış bu yapıların birçoğu doğal taş ve kesme taş kullanılarak yapılmış ve bu yapıların çoğunda taşları birbirine bağlama ihtiyacı hissetmişlerdir.

Kesme taş blokların birbirine bağlanması amacıyla kenet ve zıvanalar kullanılmıştır. Ahşap, kurşun ya da bronz olan bu malzemelere ilave olarak Arkaik Dönemden sonra demir kenetler de karşımıza çıkmaktadır. Ahşap kenet uygulamasına Minos ve Myken Uygarlıkları döneminden itibaren rastlanılmakta, fakat sonraları özellikle yumuşak taşların sürtünmeden zarar görmemesi amacıyla kırlangıç kuyruğu denen ahşap kenet kullanılmıştır. Ahşap kenetten sonra demir zıvanaların kullanılmış olduğu görülmektedir. M.Ö. 6. yy.'da U tipi kenetler ortaya çıkmaktadır. Demirin paslanmaması, sürtünmenin önüne geçilmesi ve kenedin sabit kalması amacıyla etrafı kurşun dökülerek doldurulmaktaydı (Çördük, 2006).

Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında tarihin farklı devirlerinde kullanılmış olan bu bağlantı elemanlarını camilerde, minarelerde, kemer köprülerde, sütunlarda, sütun kaidelerinde hatta bazı mezar taşlarında görmek mümkündür. Aydın'ın Germencik ilçesi yakınlarında bulunan ve M.Ö. 3. yy. sonu ve M.Ö. 2. yy. başı arasında yapıldığı

tahmin edilen Magnesia Artemis Tapınağı'nın birçok bölümünde metal bağlantı elemanlarının kullanılmış olduğu bilinmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Magnesia Artemis Tapınağındaki metal bağlantı uygulamaları (Demirtaş, 2006)

Bunun yanında Çanakkale'de bulunan antik Truva Harabelerine bakıldığında mermer olan sütun bloklarını birbirine bağlamak amacıyla zıvanaların kullanılmış olduğunu görmek mümkündür (Şekil 2.3.).



Şekil 2.2. Truva Antik Harabelerindeki metal bağlantı uygulamaları

Osmanlıların balkanlarda bıraktıkları birçok tarihi caminin yapısında, taşları birbirine bağlamak amacıyla kenetlerin kullanıldığını görmekteyiz. Bu yapıların en önemlilerinden biri Makedonya'nın başkenti Üsküp'te yer alan Mustafa Paşa Camisi'dir. Üsküp'teki Türk Çarşısı'nın hemen üst kısmında konuşlanmış olan cami, 1492 yılında Yavuz Sultan Selim'in veziri olan Mustafa Paşa tarafından yaptırılmıştır. Paşanın adı, cami girişindeki kitabede bulunur. Cami, kendisine özgün yapısı ve ihtişamını çağdaş döneme kadar korumuştur. Tarihî dönemde camiye herhangi bir ekleme yapılmamış, mevcut yapısı aynen tutulmuştur. Caminin avlusunda yer alan taşlar metal kenetler yardımıyla birbirine bağlanmıştır (Şekil 2.4a, b).



(a)



(b)

Şekil 2.3. Üsküp Mustafa Paşa Cami avlusundaki kenet örnekleri

Mostar köprüsü dâhil Osmanlıların yaptırmış olduğu köprülerin birçoğunda kenet ve zıvanaların kullanıldığını görmek mümkündür (Şekil 2.5a, b).



(a) Prizren'de (Kosova) bir kemer köprü'nün korkulukları



(b) Mostar Köprüsü taşlarındaki metal elemanlar (KGM, 2010)

Şekil 2.4. Kemer köprülerde kullanılan metal kenetler

Kosova'nın bazı şehirlerindeki mezarları çevreleyen blok taşlar birbirine metal kenetler ile bağlanmıştır (Şekil 2.6a, b).



(a) Kosova'da Sultan Murad Hüdavendigâr türbesinin yanındaki bir mezar



(b) Kosova'da Susice köy mezarlığındaki bir mezar

Şekil 2.5. Mezar taşlarında kullanılan metal kenetler

Aksaray'da yer alan Çanlı Kilise'nin duvarlarında da metal kenet kullanıldığı tespit edilmiştir (Şekil 2.7.). Çanlı Kilise, Aksaray'a 17 km. uzaklıkta olup, Akhisar köyü sınırları içerisinde köye 4 km. uzaklıkta, köyün kuzeydoğusunda yer almaktadır. Kilise, ana kaya üzerine düzgün kesme taştan ve tuğladan almasıık duvar tekniği ile inşa edilmiştir.



Şekil 2.6. Aksaray Çanlı Kilise 'de kullanılan metal kenet

Yığma minare yapımında da kenet ve zıvanaların kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde yapılan minare restorasyonlarında aslına uygun bir biçimde yığma minareler yapılmaya çalışılmaktadır. Bunun yanında, yeni yapım yığma tipi minarelerin birçoğunda da metal bağlantı elemanlarının kullanımı yaygındır. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami'nin minaresi bu teknik kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri (Kuşüzümü, 2010)

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ

3.1. Horasan Harcı

Bilindiği üzere tarihi yapıların birçoğunda kullanılan harç kireç esaslı ve “horasan harcı” olarak isimlendirilen bir harç türüdür. Horasan harcı, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerindeki yapılarda ve genellikle hamamlar, su kanalları ve su sarnıçlarında yaygın olarak kullanılan, içine pişirilmiş ve öğütülmüş toprak ürünleri katılan bir malzemedir. Horasan harcında bağlayıcı olarak kireç kullanılmaktadır. Horasan harcıyla ilgili literatürde mevcut olan bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar Işıkdag ve Topçu (2013), Binici vd., (2010), Doğan ve Sert (2011) tarafından yapılanlar olarak belirtilebilir.

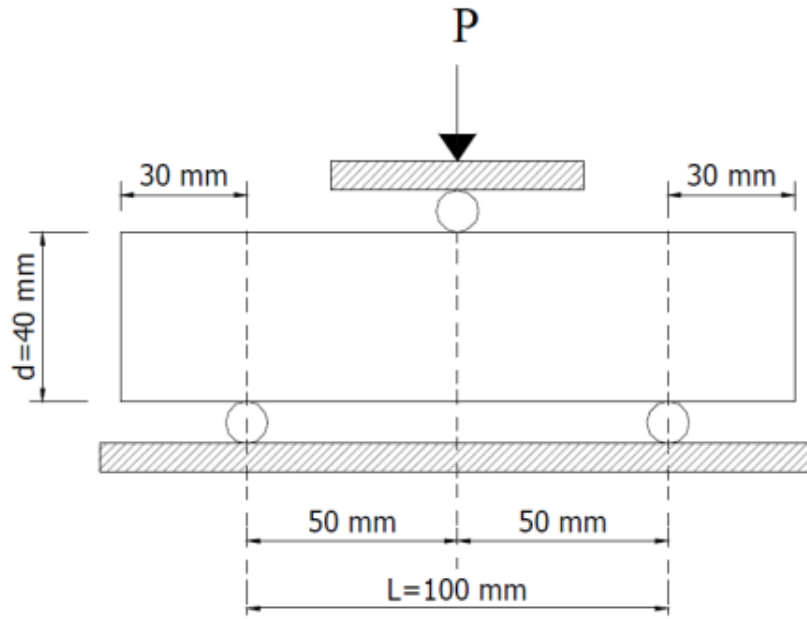
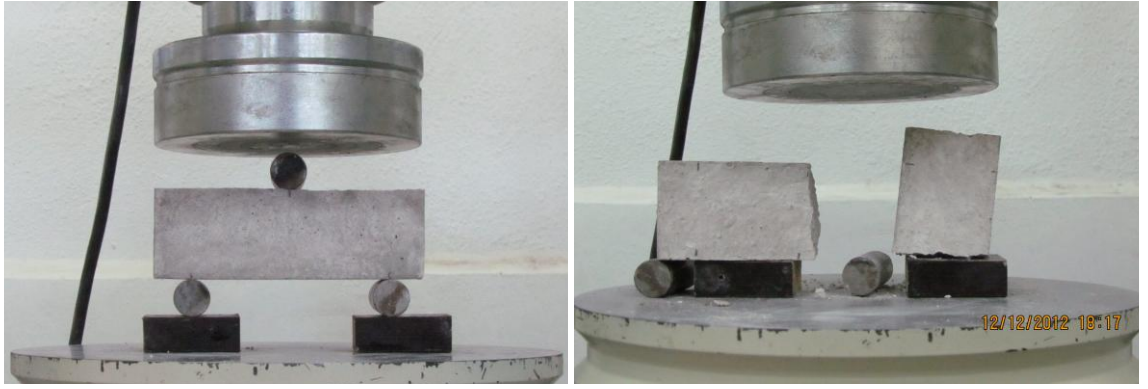
Horasan harcında çimento yoktur. Kiremit, taş tozu ve kireçten oluşan bir harç türüdür. Hafiftir ve geç priz alır. Yüksek mukavemet ve gözenek yapısına sahip olmakla birlikte düşük yoğunluğu vardır (Gedik, 2008).

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak olan horasan harcı için dikkate alınan hacimsel oranlar; %40 kaymak kireç, %40 taş tozu ve kırığı ile %20 ince kumdur. Bunların haricinde herhangi bir katkı malzemesi (keçi kılı, kendir, vb.) kullanılmamıştır.

Tarihi yapılarda kullanılan harçlar incelendiğinde yukarıda oranlarıyla belirtilen malzemelerin temel malzeme olarak kullanıldığı görülmektedir. Burada %40 oranında kullanılan taş tozu ve kırığı, yığma birimler olarak kullanılan taştan elde edilen ve dane çapı maksimum 4 mm olan kırık ve taş tozudur. Tarihte taş duvar imalatında kullanılan horasan harcında taş tozu ve kırığı kullanılırken, söz konusu duvar tuğla olduğunda harçta taş tozu ve kırığı yerine tuğla tozu ve kırığı kullanılmaktadır.

Duvar deneylerinde kullanılacak olan harç öncelikle eğilme ve basınç testlerine tabi tutulmuştur.

Bu amaçla TS EN 1015-11'e (2000) uygun olarak 40 x 40 x 160 mm³ boyutlarındaki kalıplara yerleştirilen 6 adet harç numunesi 28 günlük kür süresi sonunda eğilmede çekme testine tabi tutulmuştur. Aşağıdaki Şekil 3.1.'de deney düzeneği görülmektedir. Harcın eğilmede çekme dayanımı, kalıba dökülerek hazırlanmış, sertleşmiş harç prizma numunelerinin üç noktadan, kırılncaya kadar yüklemeye tabi tutulmasıyla belirlenmektedir. Bunun için aralarındaki mesafe 100 mm olan iki silindir üzerine oturtulan numunelerin üst yüzeyinin tam ortasına gelen aynı boyutlu silindir üzerine numune kırılncaya kadar 5 kg/sn hızla yükleme yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Eğilmede çekme dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği

Numunelerin eğilmede çekme dayanımları TS EN 1015-11’de (2000) belirtilen şekilde ve aşağıdaki bağıntı (3.1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma = 1,5 \frac{PL}{bd^2} \quad (3.1)$$

Burada; σ eğilme dayanımı (N/mm^2), P prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (N), b numune genişliği (mm), d numune yüksekliği (mm), L mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafedir (mm).

Kullanılan harcın basınç dayanımının tayini amacıyla TS EN 1015-11’ e (2000) uygun olarak 6 adet harç numunesi $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ boyutlarındaki kalıplarda 28 günlük küre tabi tutulmuşlardır. Aşağıdaki Şekil 3.2.’de basınç deneyine tabi tutulmuş 6 adet harç numunesi görülmektedir. Bu süre zarfında harcın su ile temasından kaçınılmış, normal

şartlar altında oda sıcaklığında bekletilmiştir. Yük, numunede kırılma meydana gelinceye kadar 240 kg/sn sabit hızıyla yüklemeye tabi tutulmuştur.

Numunelerin basınç dayanımları TS EN 1015-11'de (2000) belirtilen şekilde ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

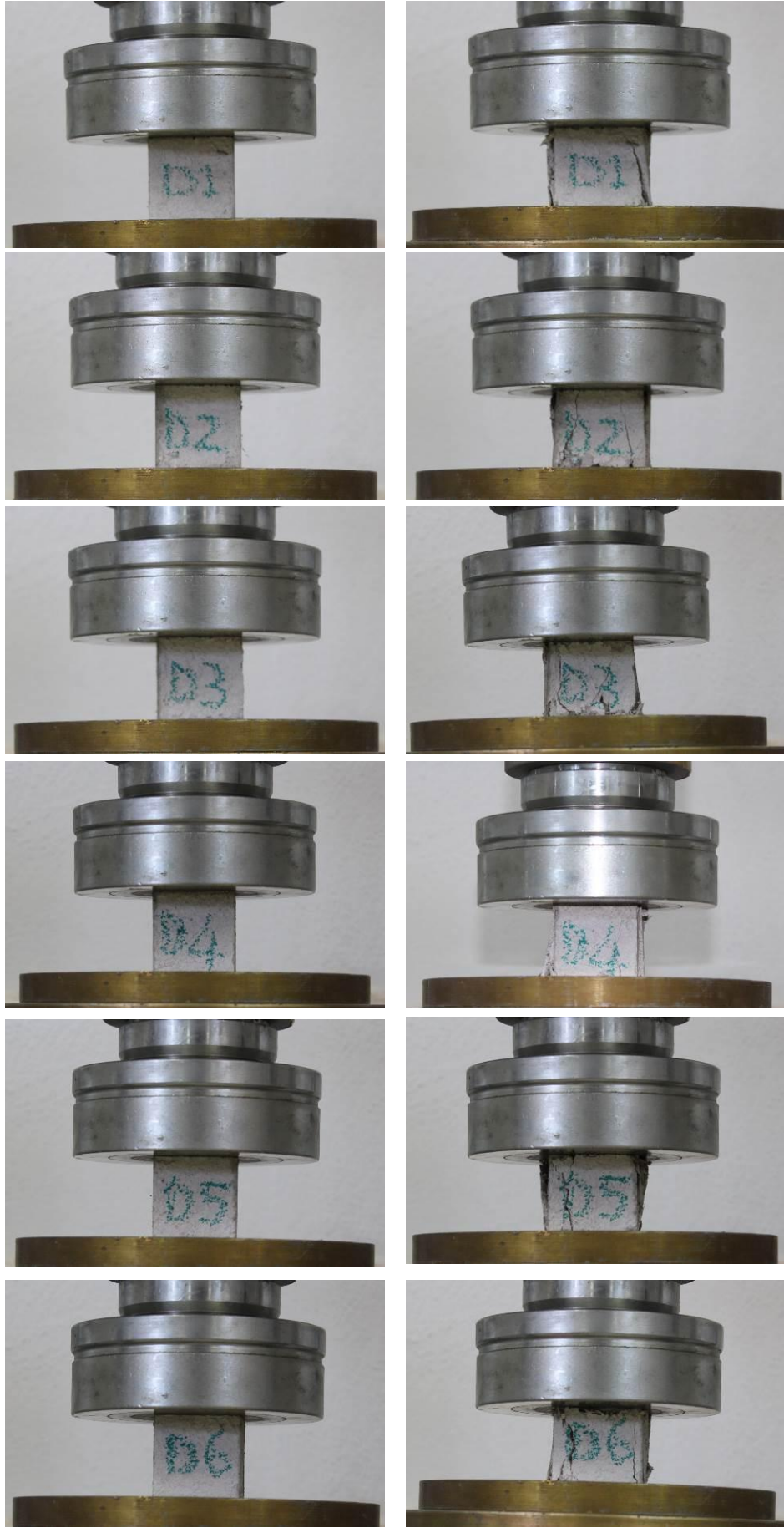
$$\sigma = \frac{P}{1600} \quad (3.2)$$

Burada; σ basınç dayanımını (MPa) temsil etmektedir. P ise uygulanan kuvveti (N) temsil etmektedir.

Eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulan harç numunelerinden elde edilen sonuçlar aşağıda topluca verilmektedir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Duvar deneylerde kullanılan harcın basınç ve eğilmede çekme deney sonuçları

Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Numune No	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
D1	2,30	E1	0,32
D2	2,32	E2	0,31
D3	2,47	E3	0,35
D4	2,47	E4	0,34
D5	2,46	E5	0,30
D6	2,34	E6	0,31
Ortalama	2,39		0,32
Standart Sapma	0,07		0,02



Şekil 3.2. Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği

3.2. Yığma Birimler

Deneylerde kullanılan taşlar, Aksaray yöresinde genellikle yığma bina ve cami inşaatlarında kullanılan ve Aksaray merkeze yaklaşık 15 km uzaklıkta bulunan Sevinçli kasabasından çıkarılan “tüf taşı” isimli volkanik kökenli bir taş cinsidir. Taşlar 200x300x600 mm³ ebadında taş ocağından getirtilip Organize Sanayi Bölgesi’nde (OSB) kesilerek deneyde kullanılacak boyut olan 100x150x200 mm³ ebadına getirilmiştir.

Seçilen taşın fiziksel ve jeokimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarında yapılmıştır. Buna göre yığma birim olarak seçilen taşın fiziksel ve jeokimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.2., Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.3.’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Tüf taşının fiziksel deney sonuçları

Test Türü / Birimi	Sonuç
Mohs Sertlik	3
Dijital Schmidt Çekici Sertliği	35 (33-37)
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,97
Doygun Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (µs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (µS -25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (%-25 mL suda)	0,58
Darbe Direnci (kgcm/cm ³)	23

Çizelge 3.3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler

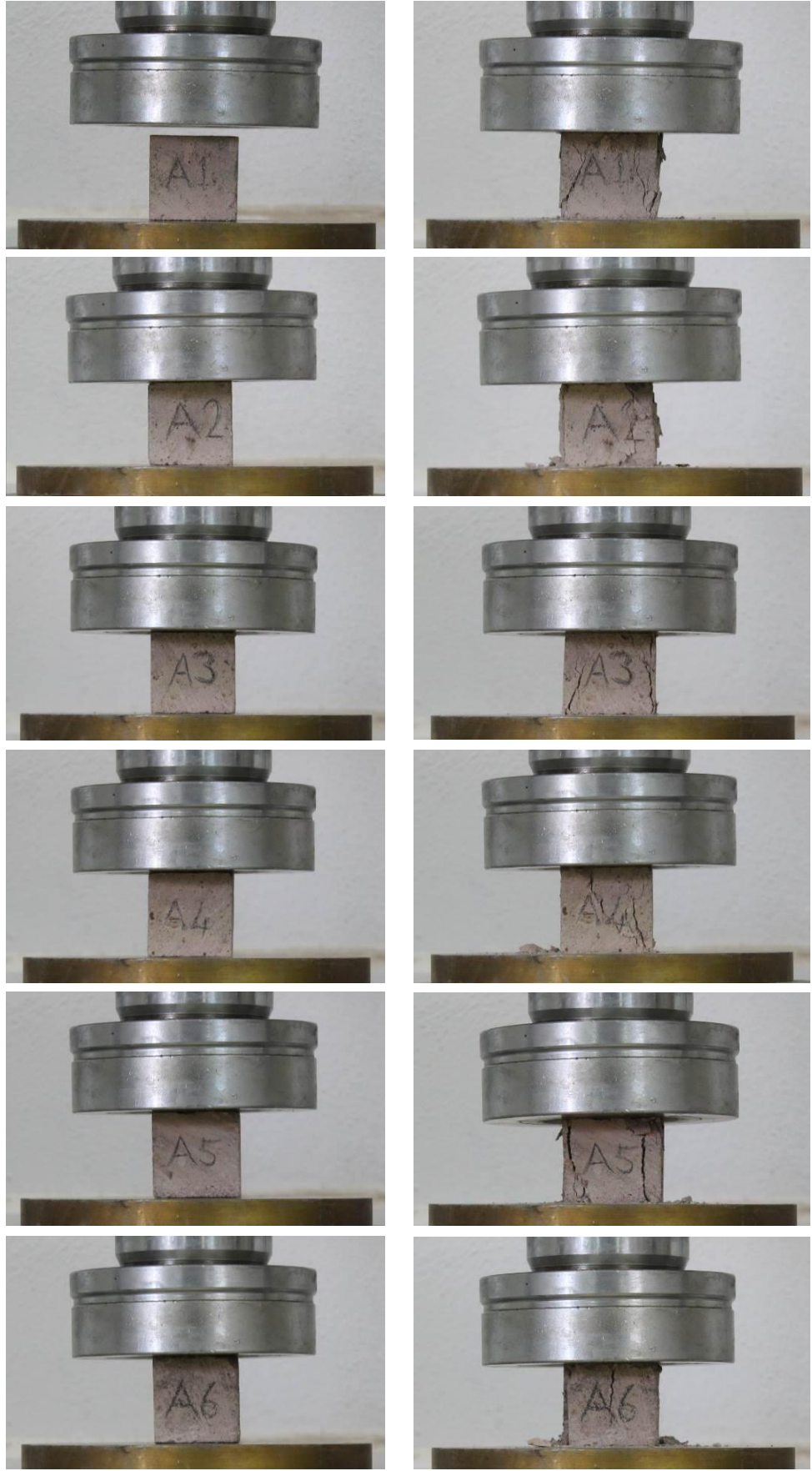
Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)	Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)
Co Kobalt	11	Sn Kalay	1,5
Ni Nikel	3,8	Sb Antimon	1,4
Cu Bakır	3,9	Te Tellür	1,3
Zn Çinko	14	I İyot	2,3
Ga Galyum	11,3	Cs Seryum	12
Ge Germanyum	1	Ba Baryum	656,7
As Arsenik	9,8	La Lantan	37,8
Se Selenyum	0,4	Ce Seryum	46,4
Br Brom	2,9	Hf Hafniyum	7,5
Rb Rubidyum	163,9	Ta Tantal	2,8
Sr Stronsiyum	124	W Tungsten	4
Y İtiryum	9,5	Hg Civa	1
Zr Zirkonyum	133,2	Tl Talyum	1,5
Nb Niyobyum	16,7	Pb Kurşun	22
Mo Molibden	8,4	Bi Bizmut	0,8
Cd Kadmiyum	0,8	Th Toryum	32,8
In İndiyum	0,8	U Uranyum	7,4

Çizelge 3.4. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler

Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)	Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)
Na ₂ O Sodyum oksit	2,32	CaO Kalsiyum oksit	1,21
MgO Magnezyum oksit	0,544	TiO ₂ Titanyum dioksit	0,163
Al ₂ O ₃ Alüminyum oksit	10,05	V ₂ O ₅ Vanadyum pentoksit	0,002
SiO ₂ Silisyum dioksit	69,30	Cr ₂ O ₃ Krom III oksit	0,002
P ₂ O ₅ Fosfor pentaoksit	0,038	MnO Mangan oksit	0,043
SO ₃ Kükürt trioksit	0,001	Fe ₂ O ₃ Demir III oksit	1,15
Cl Klorür	0,036	LOI*	10,34
K ₂ O Potasyum oksit	4,29	Toplam	99,49

(*) LOI: Loss on Ignition / Fırında 950°C’de Kızdırma Kaybı (Karbonat)

Kullanılan taşın basınç dayanımının tayini amacıyla TS EN 771-6’ya (2007) uygun metotlar kullanılarak yaklaşık 50 x 50 x 50 mm³ boyutlarında kesilip oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. Yığma birim numuneleri TS EN 772-1’ de (2012) belirtildiği şekilde 6 adet numune olmak üzere basınç dayanımı testleri Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Yığma birimlerin basınç dayanım testleri

Numunelerin basınç dayanımları TS EN 772-1’de (2012) belirtildiği üzere ulaşılan azami yükün, yük uygulanan alana bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yük uygulanan alan yığma birimin şerit şeklinde yataklanan brüt yüzey alanıdır. Yığma birimlerin basınç dayanımı, tek numune dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 3.5.’de duvar deneylerinde kullanılan taşın basınç dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 3.5. Duvar deneylerinde kullanılan yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları

Numune No	Enkesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	4,77
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	4,15
A5	52	50	11450	4,40
A6	51	53	8450	3,13
Ortalama				4,04
Standart Sapma				0,63

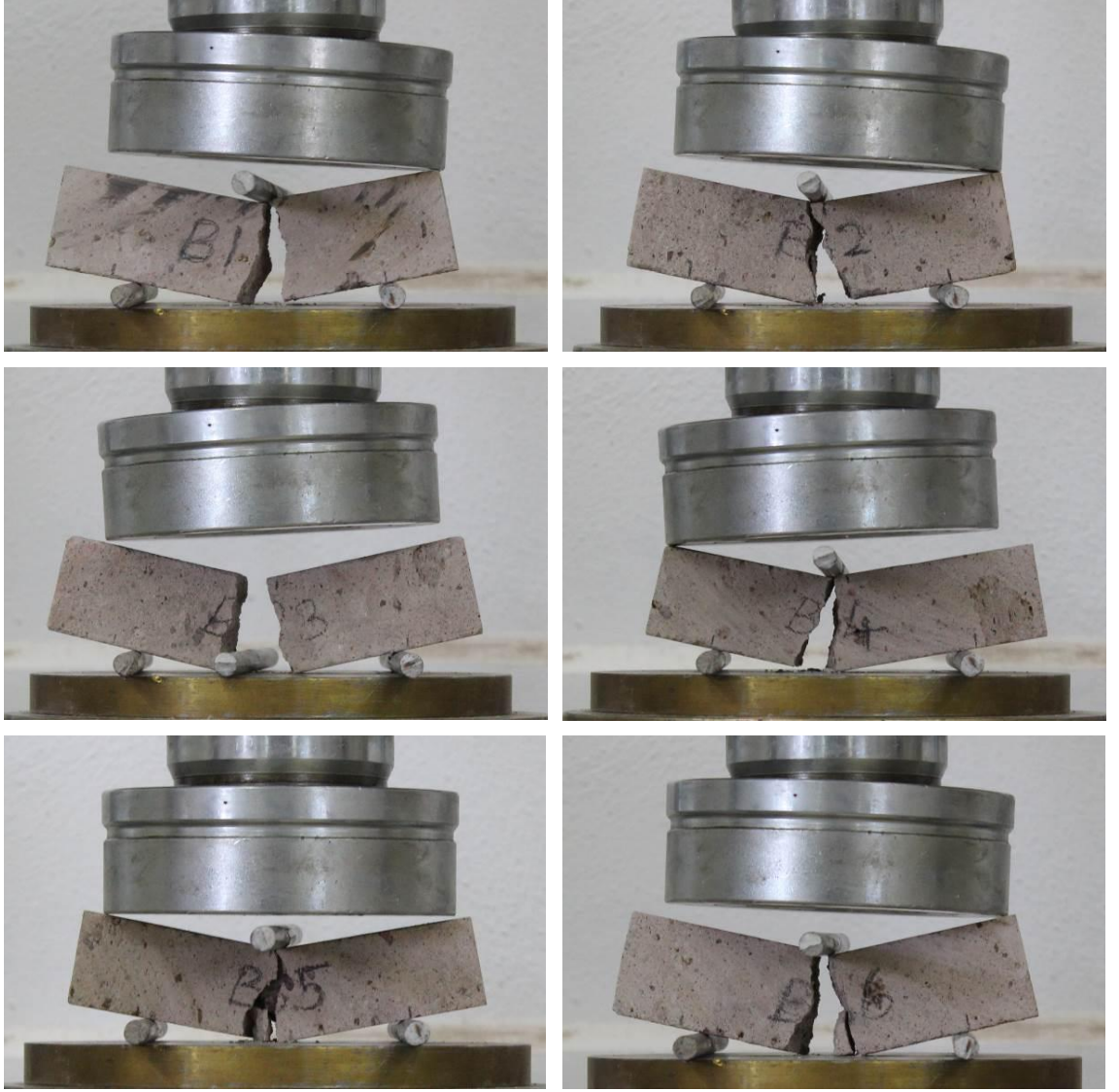
Kullanılan taşın eğilmede çekme dayanımının tayini amacıyla TS EN 772-6’ya (2004) uygun olarak hazırlanan yaklaşık 40 x 40 x 160 mm³ (B1-B6 numuneleri) ve 50 x 100 x 150 mm³ (C1-C6 numuneleri) boyutlarındaki toplam 12 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Yükleme hızı, sabit ve darbe tesiri olmadan kırılmanın 30-90 saniye arasında gerçekleşmesi amacıyla ayarlanmıştır.

Numunelerin eğilmede çekme dayanımları TS EN 772-6’da (2004) belirtilen şekilde ve aşağıdaki bağıntı (3.3) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$R_{tf} = \frac{PL}{bd^2} \quad (3.3)$$

Burada; R_{tf} eğilmede çekme dayanımı (MPa), P prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (N), b numune genişliği (mm), d numune yüksekliği (mm), L mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafedir (mm).

Eğilmede çekme dayanımı testlerine tabi tutulan yığma birim numuneleri Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'de topluca verilmektedir.



Şekil 3.4. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (B1-B6 numuneleri)



Şekil 3.5. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (C1-C6 numuneleri)

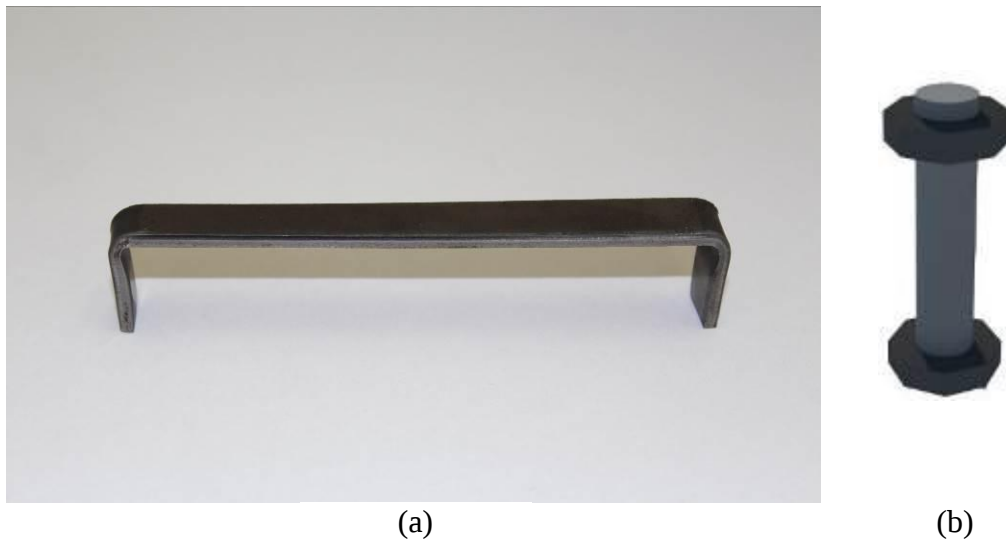
Çizelge 3.6.'da duvar deneylerinde kullanılan taşın eğilmede çekme dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir. Duvar numunelerinde kullanılmak üzere seçilen tüf taşlarının iki farklı boyutta yapılan testler sonucunda ortalama olarak eğilmede çekme dayanımı 0,65 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.6. Duvar deneylerinde kullanılan yığma birimlere ait eğilmede çekme deneyleri sonuçları

Numune No	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	R _{tf} (MPa)
B1	490	100	44	38	0,77
B2	490	100	39	45	0,62
B3	560	100	40	40	0,88
B4	570	100	41	44	0,72
B5	500	100	44	41	0,68
B6	450	100	45	41	0,59
C1	3300	100	49	99	0,69
C2	3990	100	54	97	0,79
C3	2500	100	48	99	0,53
C4	2860	100	51	99	0,57
C5	2570	100	51	99	0,51
C6	2450	100	50	99	0,50
Ortalama					0,65
Standart Sapma					0,12

3.3. Metal Bağlantı Elemanları

Çalışmanın birinci bölümünde de bahsedildiği üzere tarihi yapıların birçoğunda metal bağlantı elemanlarının kullanıldığı bir gerçektir. Diyagonal basınç deneyleri için üretilmiş olan yığma duvarlarda, yatay iki yığma birim arasında sürekliliğin sağlanabilmesi amacıyla kenetler (Şekil 3.6a), düşey iki yığma birim arasında sürekliliğin sağlanabilmesi amacıyla ise zıvanalar (Şekil 3.6b) kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında zıvanaların imal edilmesinin zorluklarından dolayı iki ucu cıvatalı 50 mm uzunluğunda vidalar kullanılmıştır. Kenet amacıyla ise 2 mm kalınlığında ve projesinde belirtilen uzunluklarda demir sac kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Duvar deneylerinde kullanılan zıvana ve kenetler

Kullanılan metal bağlantı elemanlarının çekme dayanımının tayini amacıyla TS EN ISO 6892-1'e (2004) uygun olarak ortam sıcaklığında çekme dayanımı deneyine hazır hale getirilmiştir. Numunelerin çekme dayanımları TS EN ISO 6892-1'de (2004) belirtilen şekilde aşağıdaki denklem (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır.

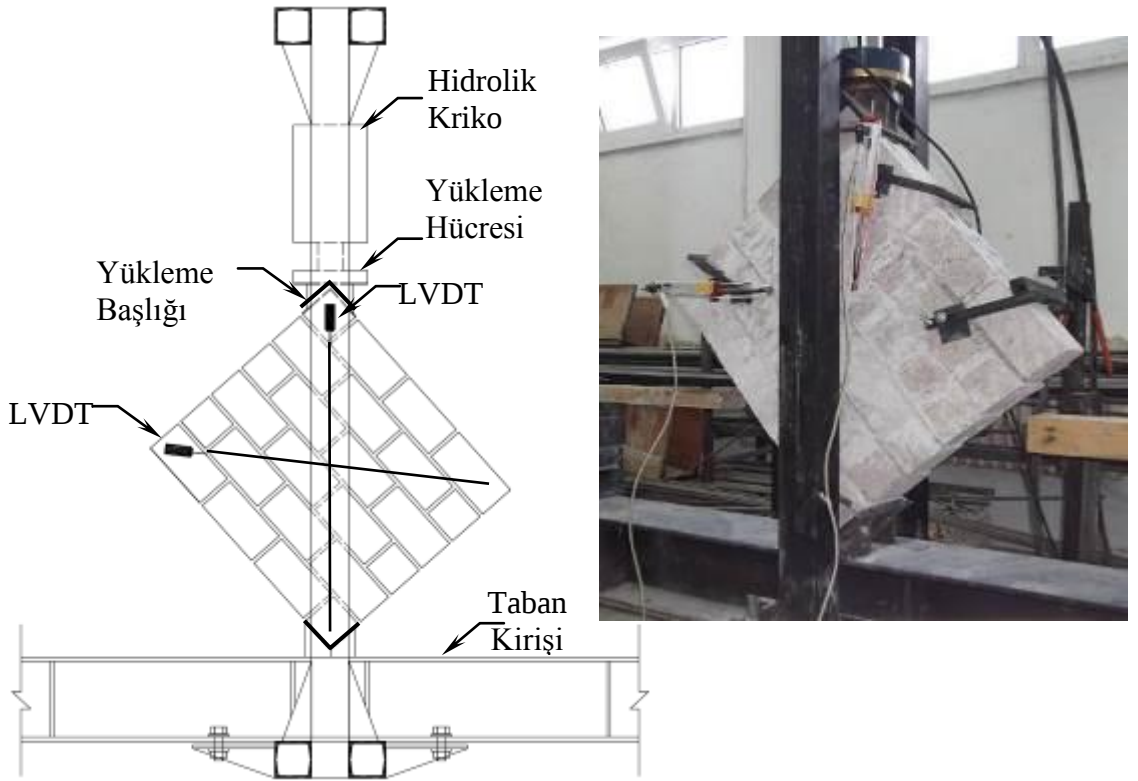
$$R_m = F_m \quad (3.4)$$

Burada; R_m çekme dayanımı (MPa), F_m deney sırasında akma noktası geçildikten sonra deney numunesinin dayandığı en büyük yüküdür. Deneylerde kullanılan kenetlerin çekme mukavemeti 290 MPa civarında bulunmuştur.

4. DUVAR DENEYLERİ

Deneysel çalışmalar Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında 1 adet referans numune olmak üzere toplam 13 adet $650 \times 730 \times 150 \text{ mm}^3$ boyutlarında taş yığma duvar numunesi diyagonal basınç etkisine tabi tutulmuştur. Her bir yığma birimin boyutu $100 \times 150 \times 200 \text{ mm}^3$ 'tür. Referans duvar numunesinde herhangi bir metal bağlantı elemanı kullanılmamakla birlikte, diğer 12 adet duvar numunesinde farklı düzenlerde metal bağlantı elemanları kullanılmıştır. Duvarların diyagonal olarak deneye tabi tutulmasındaki esas amaç, bu duvarların kesme etkisindeki davranışlarını incelemektir.

Deney kurulumu, yükleme sistemi, malzemelerin detayları, çift etkili hidrolik kriko ve maksimum 500 kN yük kapasitesine sahip yükleme hücresi Şekil 4.1.'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Deneylerin yükleme-ölçüm düzeneği

Yükleme düzeneğinde, yığma numunelere düşey yükleme uygulayabilmek için daha önceden hazırlanan 2 adet yükleme başlığı yerleştirilmiştir. Düşey kuvveti dağıtabilmek için yığma numuneler ile başlıklar arasında 1'er adet 0,5 mm kalınlığında kauçuk yerleştirilmiştir.

Deneylerde yük ölçmeleri yük hücresi, yer değiştirmeler ise LVDT'ler (Linear Variable Differential Transformer) kullanılarak yapılmıştır. Numunelere hidrolik kriko

yardımla uygulanan diyagonal basınç kuvveti yük hücresi yardımla okunmuştur. Yük hücresi, tatbik edilen yük durumunda basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinden alınan gerilme kurulan mekanizma sayesinde bilgisayara aktarılmaktadır.

Deney düzeneğimizde yükleme hızı, maksimum yüke kadar kuvvet kontrollü olarak ortalama 0,3 kN/sn yükleme hızıyla yüklenmiştir. Maksimum yükten sonra deplasman kontrollü olarak ortalama 5 mm/sn deplasman yapabilecek şekilde yüklemeye devam edilmiştir.

Deney süresince yığma duvarda meydana gelen boy kısalma ve uzamalarının ölçümleri, sıkıştırılmış ve gerilmiş çaprazlardaki yer değiştirme miktarları LVDT dönüştürücüleri ile ölçülmüştür. LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir.

4.1. Duvar Numunelerinin Hazırlanması

Duvarların tümünde 6 sıra düşey ve 3,5 sıra yatay düzlemde taş sırası vardır. Yığma birimleri birbirine bağlayan harç tabakasının kalınlığı 10 mm olarak dikkate alınmıştır. Referans duvar numunesi hariç diğer tüm duvar numuneleri örülmeye başlanmadan önce kenet ve zıvanaların yerleştirilmesi amacıyla projelerinde belirtildiği miktar, çap ve derinlikte laboratuvarında mevcut bulunan sabit matkap yardımla delinmektedir. Zıvanaların yerleştirilmesi gereken delikler, zıvana yerleştirme işinden sonra çimento şerbeti ile doldurulması gerekmektedir. Bu durum zıvananın üst sırada yer alan yığma birime mesnetlenmesinde önemli bir problem teşkil etmektedir. Bu amaçla, öncelikle yığma birimlerin altındaki zıvana deliklerine zıvanalar yerleştirilip çimento şerbetiyle sabitlenmektedir. Bu işleminden 1-2 gün sonra asıl duvarın imalatına geçilmektedir. Bu yöntem sayesinde zıvanaların her iki yığma birim içerisindeki kısımları çimento şerbetiyle dolu halde olmaktadır.

Yığma birim olarak kullanılan tuf taşı, yüksek gözenek yapısına sahip olması nedeniyle su emme kapasitesi oldukça yüksektir. Duvar numunelerinde örme işlemine başlanılmadan evvel bu taşların suya doygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla taşlar örülme aşamasında en az 5 dakika su tankında bekletilmiştir. Aşağıda duvar numunelerinin örülme aşamaları fotoğraflar halinde sunulmaktadır (Şekil 4.2.). Örme işlemi tamamlanan duvarlar 28-30 günlük prizlenme sürecine tabi tutulmaktadır. Prizlenme süresi boyunca herhangi bir sulama işlemi yapılmamaktadır.



(a) Yığma birimlerde kenet ve zıvana deliklerinin açılması



(b) Zıvana deliklerinin çimento şerbetiyle doldurulması



(c) Düşey derzlerin harç ile doldurulması



(d) Kenetlerin tespiti



(e) Yatay derzlerin harç ile doldurulması



(f) Bitmiş bir duvar numunesi

Şekil 4.2. Duvar numunelerinin örülme aşamaları

4.2. Duvar Modelleri ve Deneyleri

Bu bölümde yer alan kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi, kayma modülü ve süneklik oranı gibi sonuç değerler ASTM E 519-02 (2002) esas alınarak hesaplanmıştır. Buna göre kayma gerilmesi (τ); Diyagonal olarak uygulanan yükün (P) yaklaşık 0,707 katının, numune enkesit alanına (A_n) oranı olarak hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{0,707.P}{A_n} \quad (4.1)$$

$$A_n = \frac{(w+h)}{2} t_n \quad (4.2)$$

Burada w ve h duvar elemanının köşegen uzunlukları, t_n ise duvar kalınlığıdır. Kayma şekil değiştirmesi (ε_{xy}) ise duvar numunesinde oluşan düşey doğrultudaki birim kısalma ile yatay doğrultudaki birim uzamanın toplamına bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\Delta v + \Delta h}{g} \quad (4.3)$$

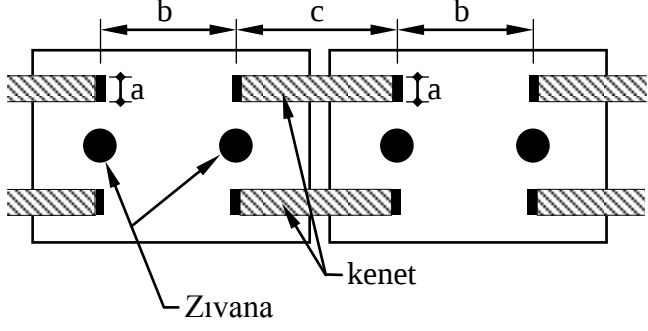
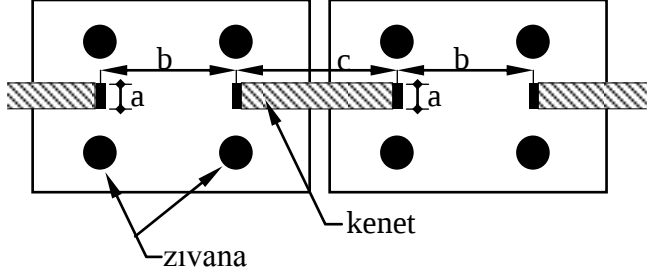
Burada; Δv düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişimi, Δh yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişimi, g ise deplasman ölçerlerin başlangıç ölçüm boyunu temsil etmektedir.

Kayma Modülü (G), kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde, duvar numunelerinin maksimum kayma dayanımlarının %5-33 arasındaki eğim olarak tanımlanmaktadır.

Süneklik (μ) ise, kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde, maksimum noktadan sonraki kol üzerinde kayma dayanımının %85'i düzeyindeki gerilmeye karşı gelen şekil değiştirmenin, maksimum dayanımdaki şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanmıştır.

12 adet metal bağlantı elemanı kullanılarak imal edilen taş yığma duvar numunelerinin donatılma şemaları Çizelge 4.1.'de topluca verilmektedir. Yığma duvar numuneleri 2 gruba ayrılmıştır. Birinci grup numunelerde her tam yığma birimde dört adet zıvana deliği ve iki adet kenet delikleri mevcuttur. İkinci grup numunelerde ise her tam yığma birimde iki adet zıvana deliği ve dört adet kenet delikleri mevcuttur. Kenetler 10 mm ve 20 mm genişliklere, 20 mm taşa girme derinliğine sahiptir. Zıvanalar ise dübellerin başındaki somonlar nedeni ile 20 mm çapa ve 20 mm taşa girme derinliğine sahiptir. Zıvanalar, iki adet alt-üst taşlarda dikey bağlantı için kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Duvar numunelerinin donatılma şemaları.

Yığma birim detayları	Deney No	a* (mm)	b** (mm)	c*** (mm)
	M11	10	105	105
	M12	20	105	105
	M21	10	52,4	157,6
	M22	20	52,4	157,6
	M31	10	15	210
	M32	20	15	210
	M41	10	105	105
	M42	20	105	105
	M51	10	52,4	157,6
	M52	20	52,4	157,6
	M61	10	15	210
	M62	20	15	210

* Kenet genişlikleri

** Kenetler arası mesafe

***Kenet uzunlukları

4.2.1. Referans duvar modeli

Deney programında öngörülen kenet sistemleri yapılmaksızın oluşturulan ve 28 günlük süre içinde laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra mukavemetini kazanmış referans duvar numunesine deney düzeneğinde hidrolik krika yardımıyla tek eksenli diyagonal basınç kuvveti uygulanmıştır. Diyagonal basınç kuvvetinin yaklaşık 1,82 kN düzeyinde olduğu esnada gevrek bir kırılma meydana gelmiş ve duvar numunesi göçmüştür. Deney sonucundaki referans duvar Şekil 4.3.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Referans duvarın deney sonucu görüntüsü

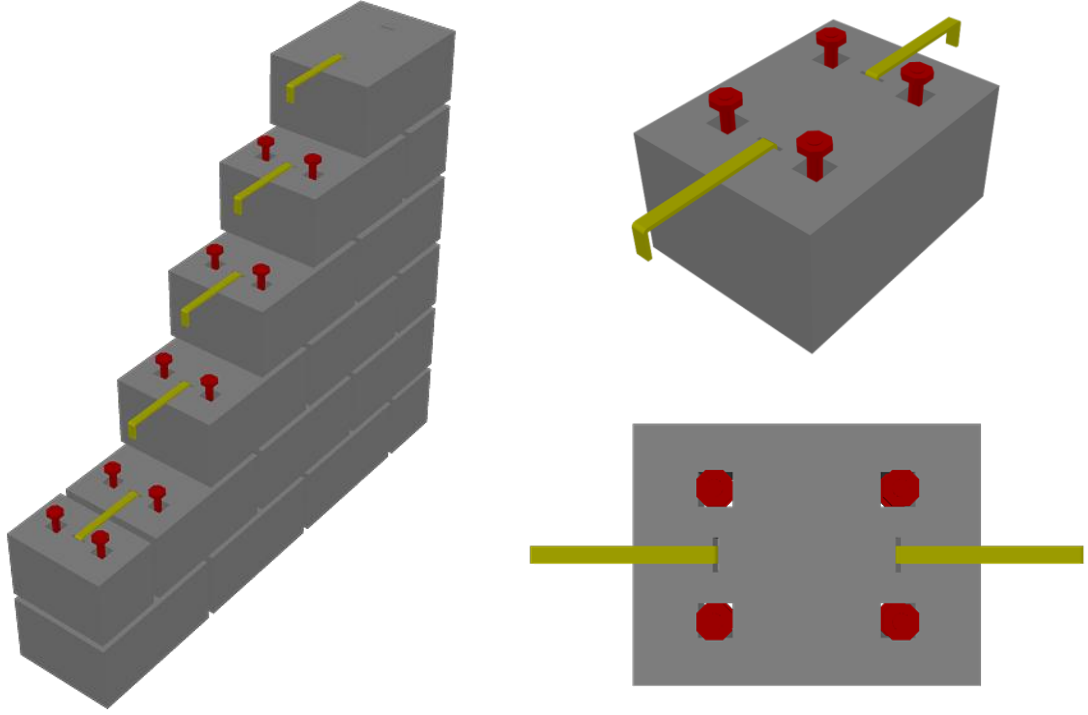
Yukarıdaki şekilden de görüleceği üzere meydana gelen ayrılma yığma birim ile harcın arasındaki aderansın kaybolmasıyla meydana gelmiştir. Referans duvarın herhangi bir yığma biriminde deformasyon gözlemlenmemiştir. Bunun temel sebebi, derzleri dolduran harcın çekme dayanımının yığma birimlerin çekme dayanımından oldukça düşük olmasıdır. Meydana gelen ayrılma, kesme gerilmelerinin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelmiştir. Referans duvar numunesinin kesme dayanımı 0,124 MPa, kesme kuvvetinden dolayı meydana gelen şekil değiştirme değeri ise 0,0004644 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Referans numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{ref}}{f_s}$	μ	G (MPa)
Ref. duvar	1,82	0,124	0,04644	1,0	1,00	270

4.2.2. M11 duvar modeli

M11 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm, uzunluğu 105 mm ve genişliği 10 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.4.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.5.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.6.'da, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.7.'de verilmektedir.

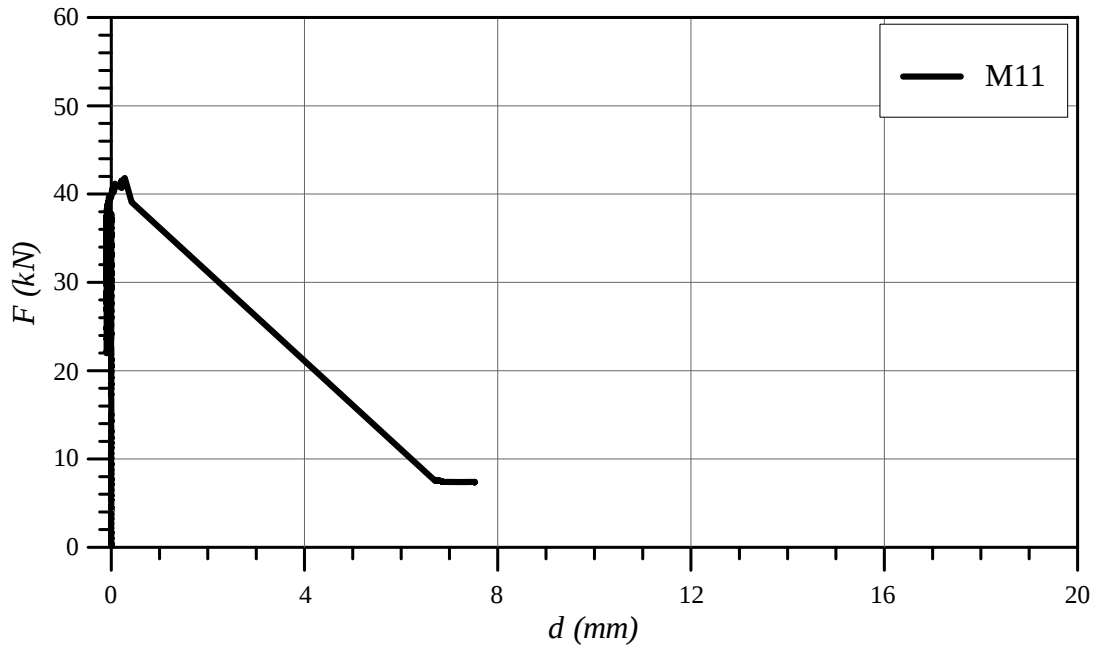


Şekil 4.4. M11 duvar modeline ait teknik çizim

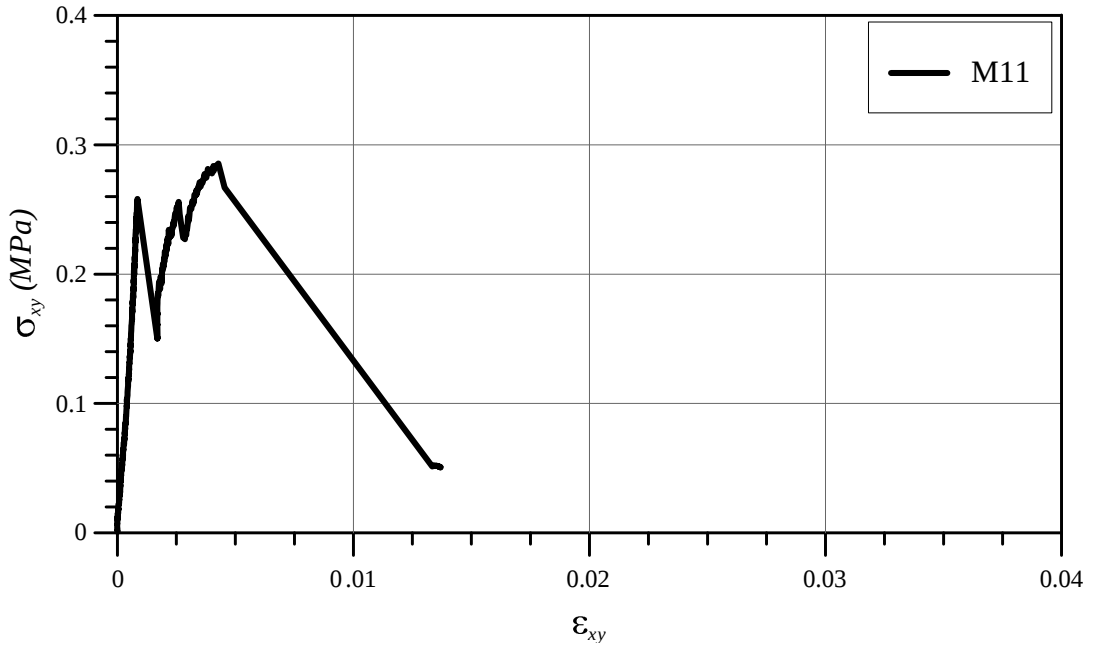
Diyagonal kesme etkisine maruz bırakılan M11 duvar numunesi kesme gerilmelerinin yoğunlukta olduğu diyagonal doğrultuda deformasyona uğramıştır. Meydana gelen deformasyon dikkatle incelendiğinde, ayrılmalara referans duvardaki ayrılmalar gibi sadece yatay ve düşey derzlerde olmayıp, yığma birimler üzerinde de olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu modelde kesme gerilmelerinin duvar düzleminde yayılmış olmasından dolayı esas kesme ekseninden farklı bölgelerde de kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisine bakıldığında duvar numunesi yaklaşık olarak 4,18 kN yük değerinde ve 0,07 mm deplasman değerinde elastik aşamayı geçtiği ve plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.5. M11 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.6. M11 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.7. M11 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

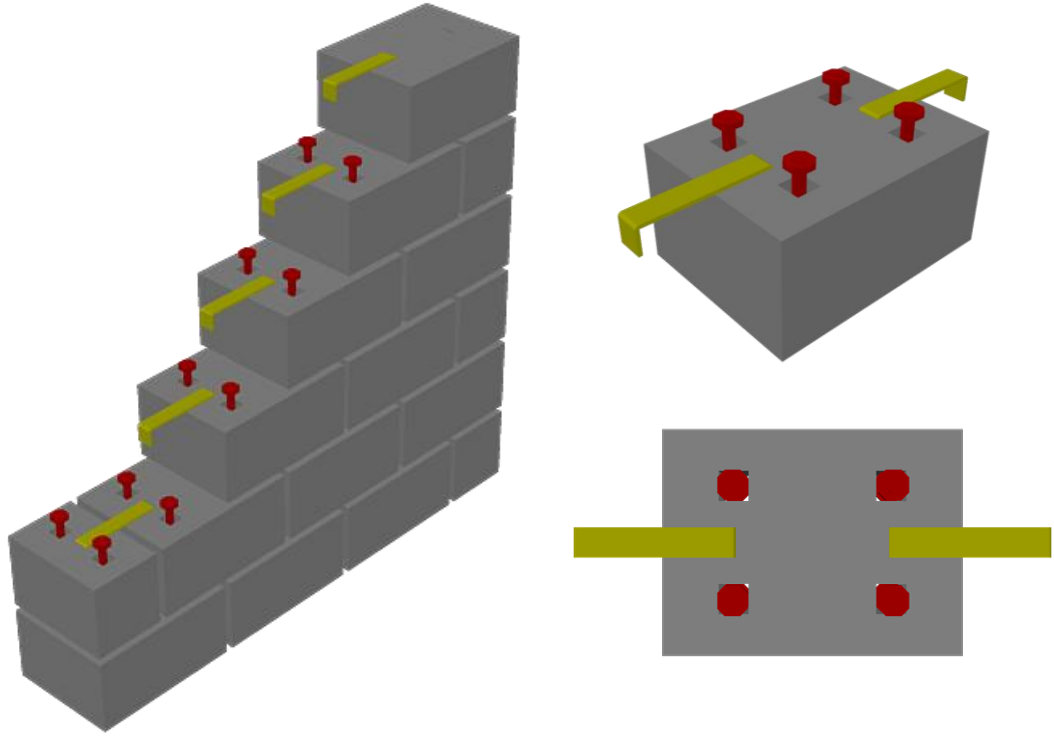
Deney sonucunda elde edilen, M11 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,285 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0042750'dir. Aşağıda M11 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. M11 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ϵ_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M11}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M11	4,18	0,285	0,42750	2,23	1,31	70

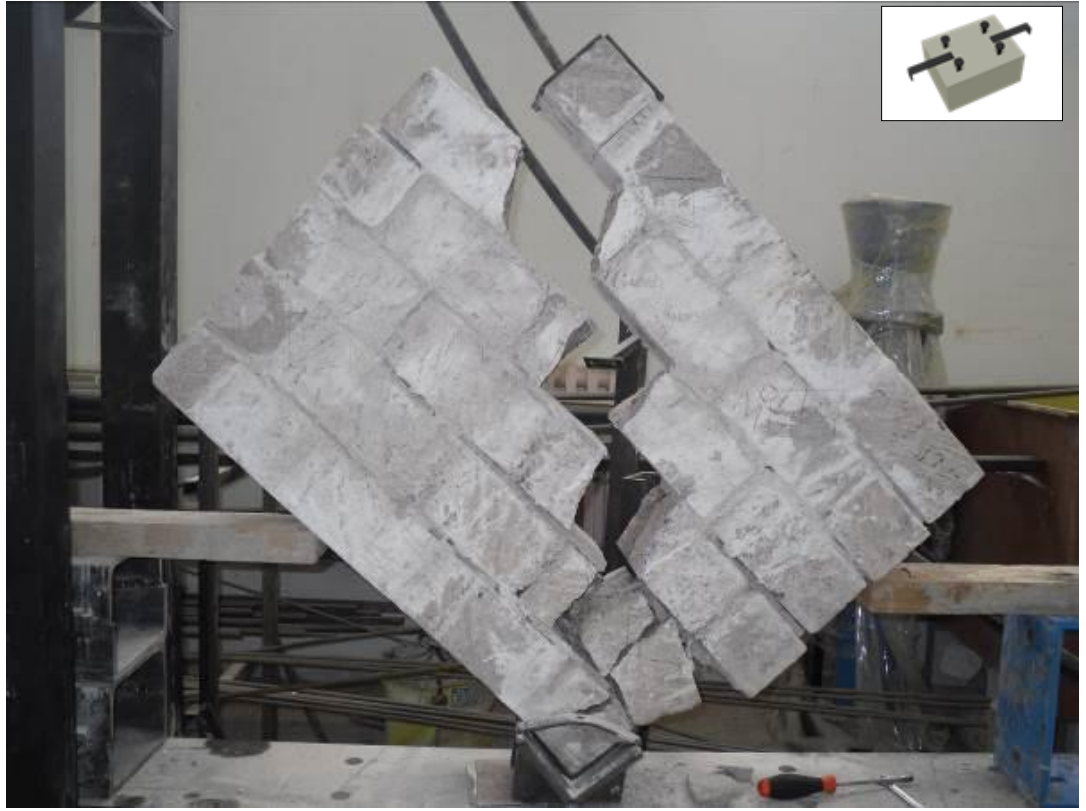
4.2.3. M12 duvar modeli

M12 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm, uzunluğu 105 mm ve genişliği 20 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.8.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.9.'da, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.10.'da, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.11.'de verilmektedir.

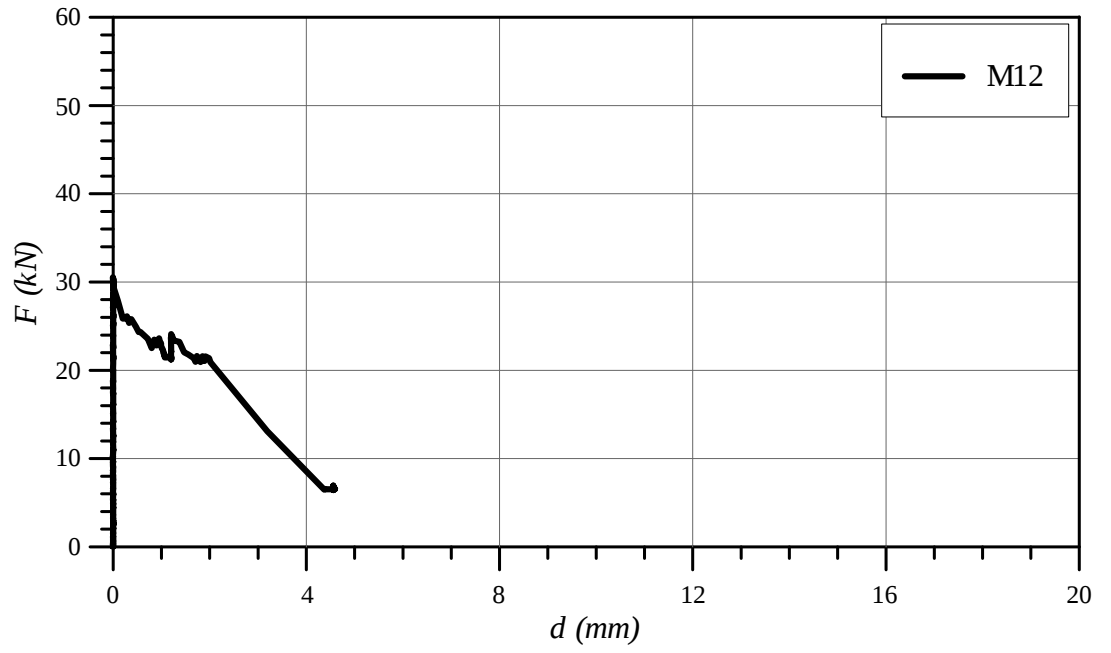


Şekil 4.8. M12 duvar modeline ait teknik çizim

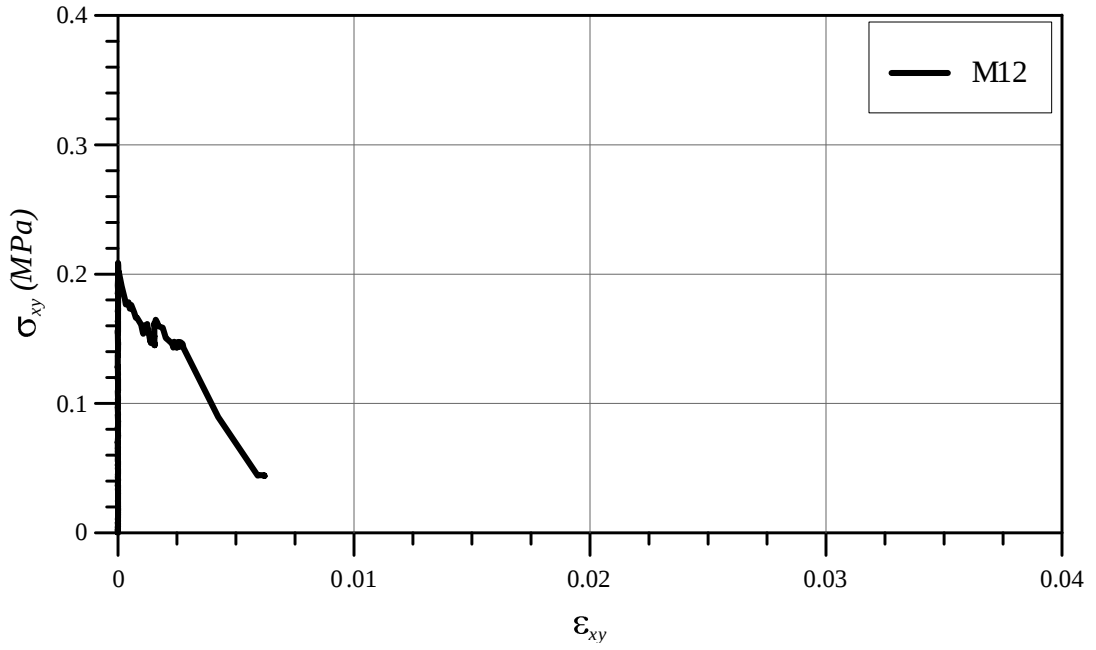
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M12 duvar numunesinde meydana gelen kesme deformasyonları, M11 duvar numunesindeki deformasyonlara benzer nitelikte olup kesme gerilmelerinin maksimum düzeye çıktığı diyagonal doğrultuda meydana gelmiştir. Metal bağlantı elemanları kullanıldığından dolayı bu modelde de yığma birimlerde deformasyonlar oluşmuştur. Duvar numunesi maksimum 3,05 kN'luk yük değerinde plastik aşamaya geçmiş ve plastik deformasyon yapmaya başlamıştır. Yaklaşık 4,5 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. M12 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.10. M12 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.11. M12 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

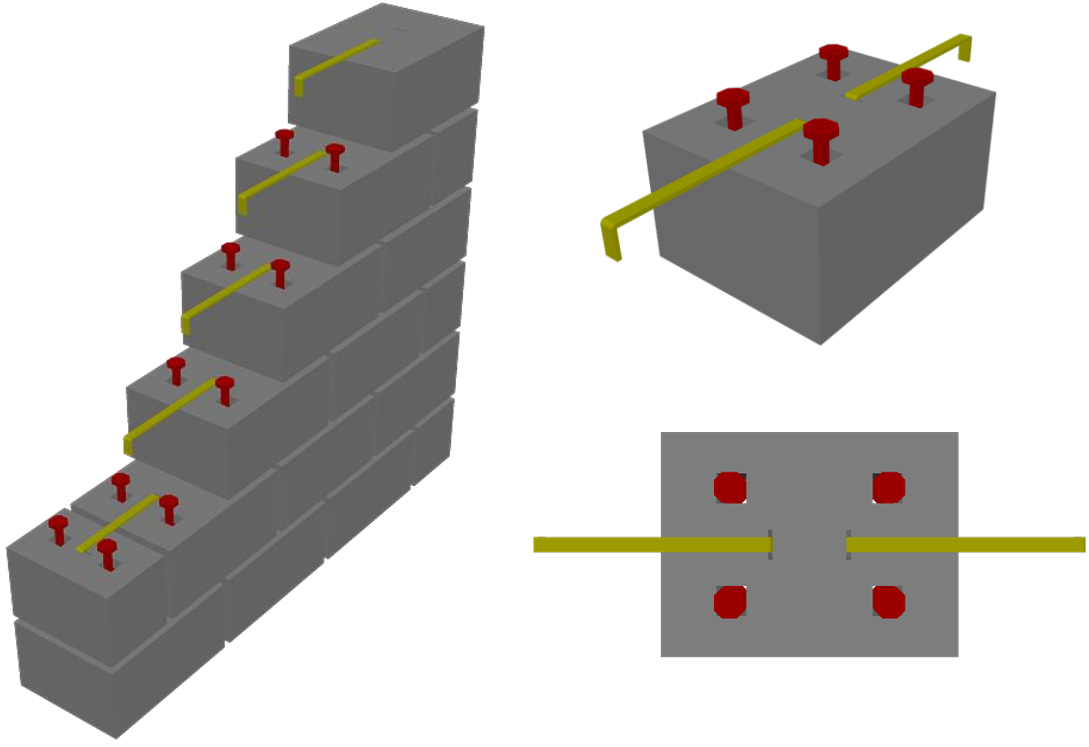
Deney sonucunda elde edilen, M12 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,208 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,00026130'dir. Aşağıda M12 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. M12 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M12}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M12	3,05	0,208	0,026130	1,68	1,85	800

4.2.4. M21 duvar modeli

M21 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 131,3 mm iken diğer kenet uzunlukları 157,6 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 10 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.12.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.13.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.14.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.15.'de verilmektedir.

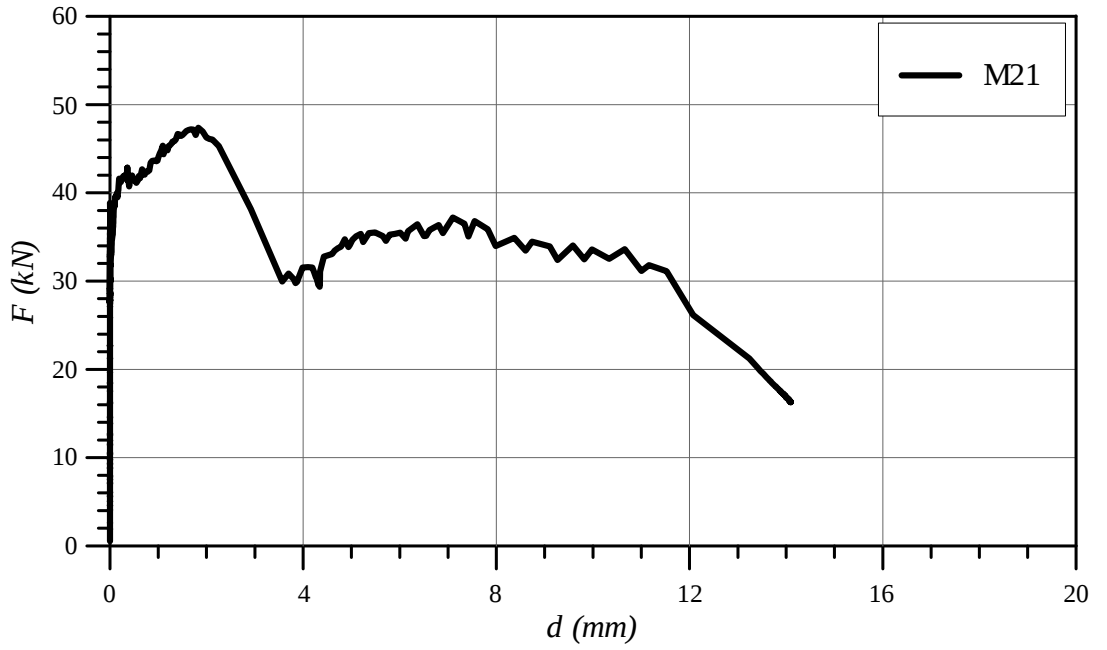


Şekil 4.12. M21 duvar modeline ait teknik çizim

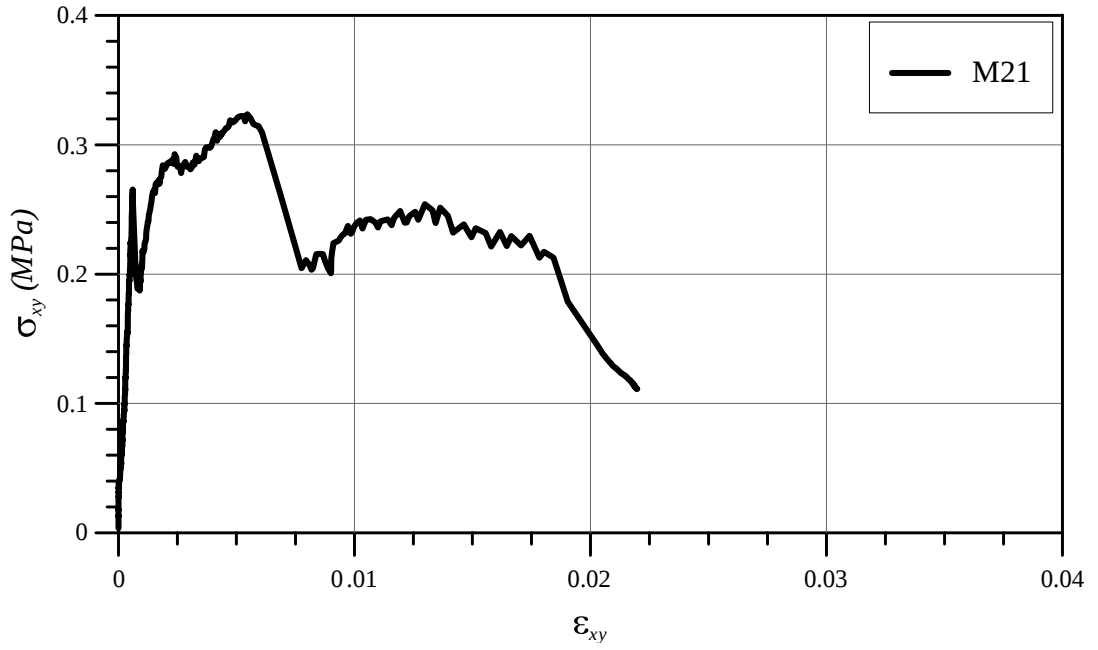
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M21 duvar numunesinde meydana gelen deformasyon diyagonal doğrultuda olmayıp üst sıranın yatay derz boyunca deformasyonu şeklinde gözlemlenmiştir. Birkaç yığma birimde kesme ekseninden farklı bölgelerde kesme çatlakları oluşmuştur. Duvar numunesi maksimum 4,74 kN'luk yük değerinde plastik aşamaya geçmiş ve plastik deformasyon yapmaya başlamıştır. Yaklaşık 2,0 mm düşey deplasman değerinden sonra kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. M21 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.14. M21 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.15. M21 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

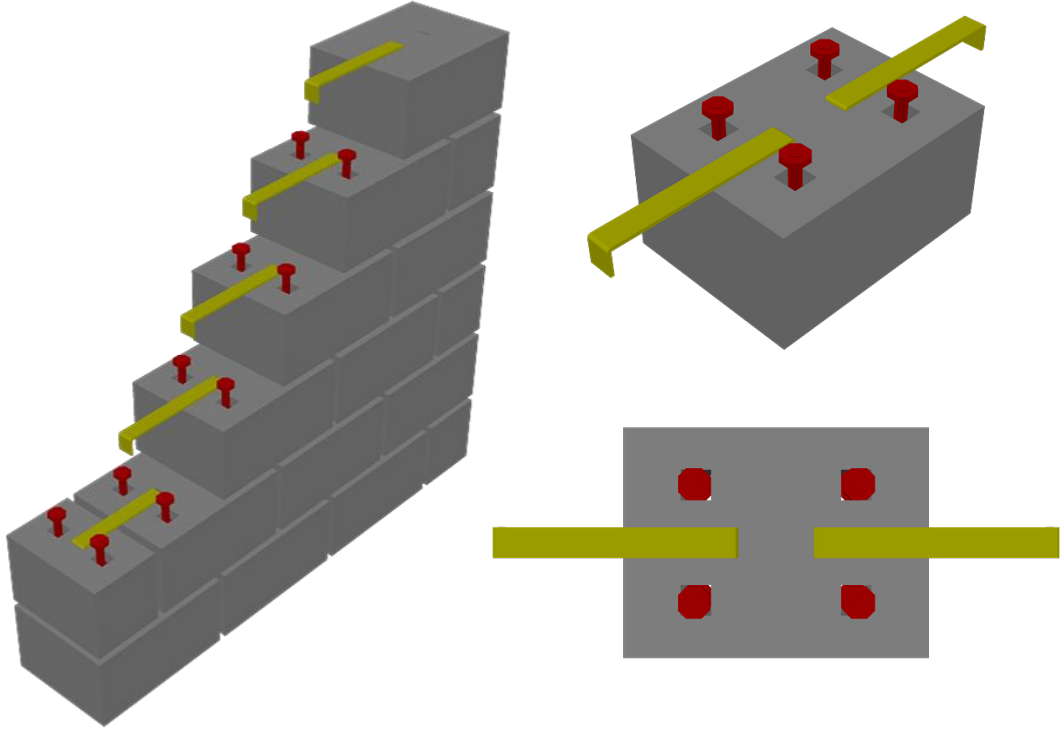
Deney sonucunda elde edilen, M21 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,324 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,005460'dır. Aşağıda M21 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. M21 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M21}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M21	4,74	0,324	0,54560	2,61	1,21	60

4.2.5. M22 duvar modeli

M22 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 131,3 mm iken diğer kenet uzunlukları 157,6 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 20 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.16.'da, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.17.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.18.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.19.'da verilmektedir.

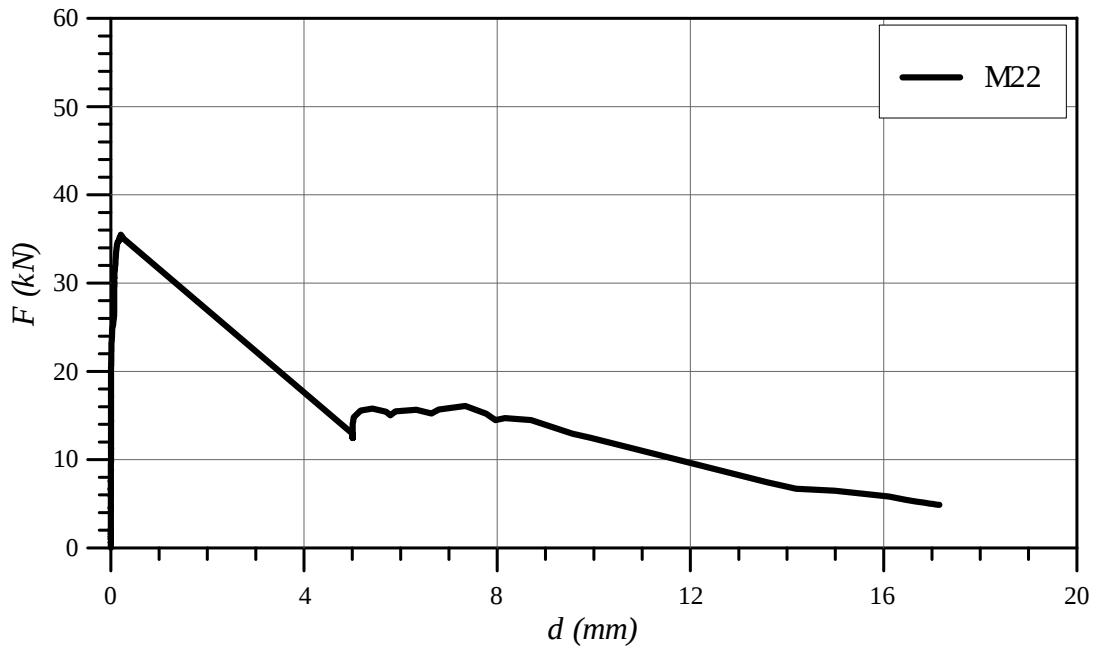


Şekil 4.16. M22 duvar modeline ait teknik çizim

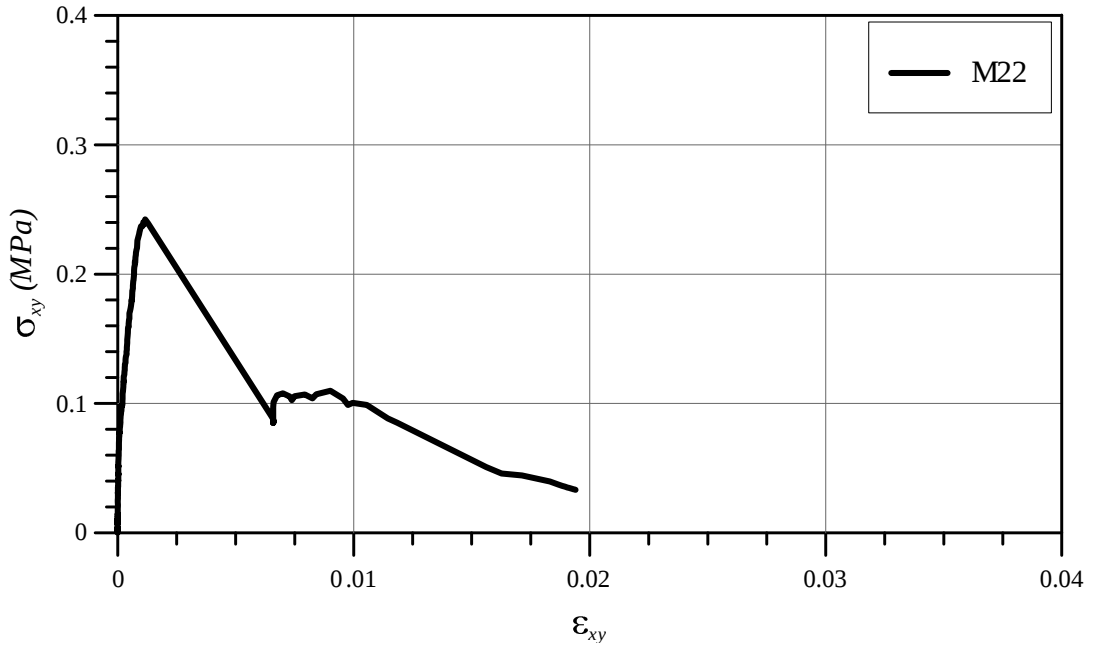
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M22 duvar numunesi incelendiğinde, kesme gerilmelerinin yoğunlukta olduğu diyagonal doğrultuda deformasyona uğradığı görülmektedir. Meydana gelen deformasyon dikkatle incelendiğinde, ayrılımların yatay derzde ve yığma birimler üzerinde kesme kırılmaları ile kesme çatlağı şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Duvar numunesinin maksimum 3,55 kN'luk yük değerinde elastik bölgenin dışına çıktığı görülmektedir. Yaklaşık 5,0 mm düşey deplasman değerine kadar orantılı olarak yük azalması olmuştur.



Şekil 4.17. M22 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.18. M22 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.19. M22 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

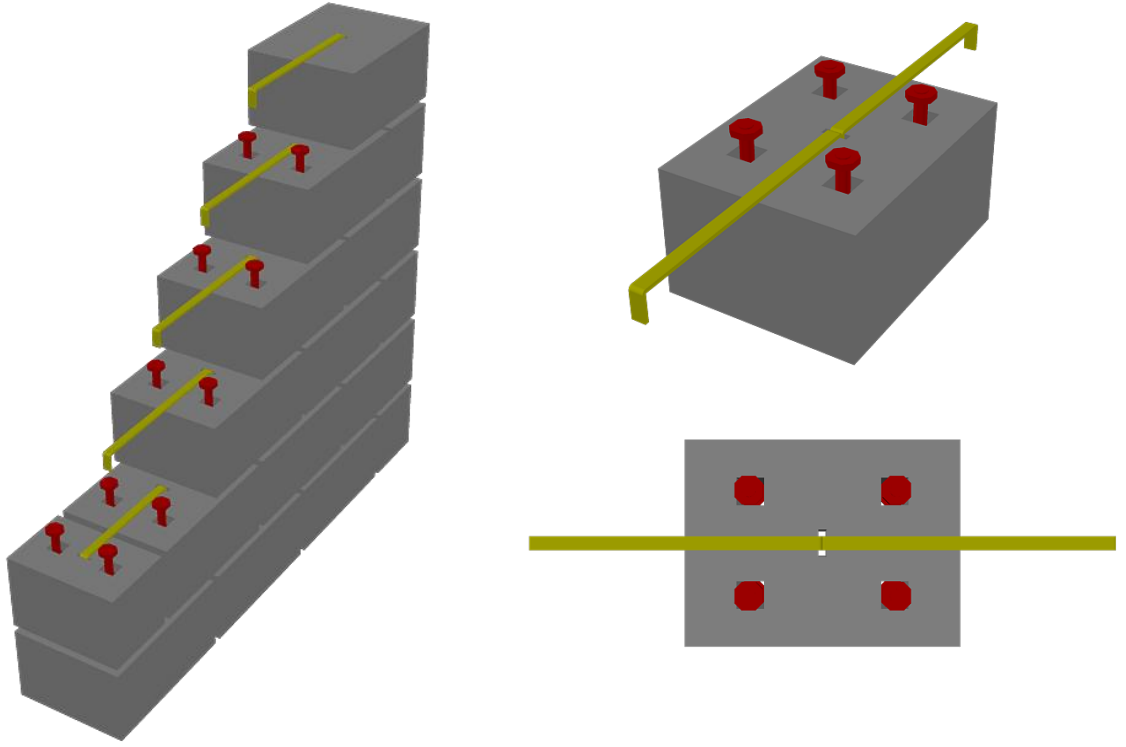
Deney sonucunda elde edilen, M22 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,242 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0011680'dir. Aşağıda M22 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. M22 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ϵ_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M22}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M22	3,55	0.242	0,11680	1,95	2,09	207

4.2.6. M31 duvar modeli

M31 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 157,5 mm iken diğer kenet uzunlukları 210 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 10 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.20.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.21.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.22.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.23.'de verilmektedir.

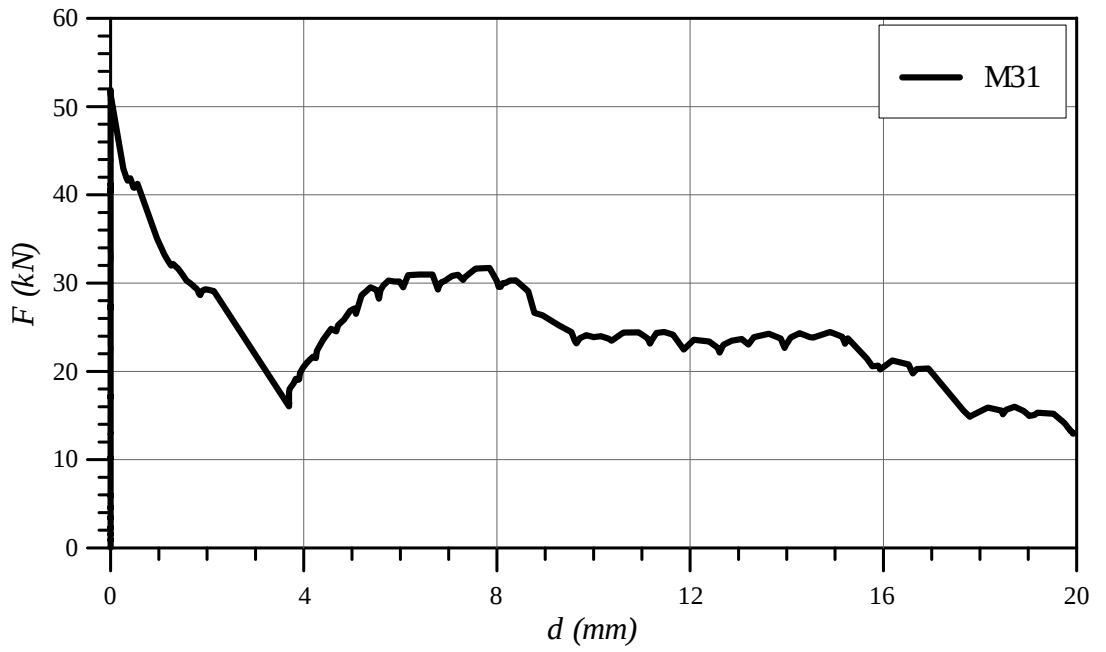


Şekil 4.20. M31 duvar modeline ait teknik çizim

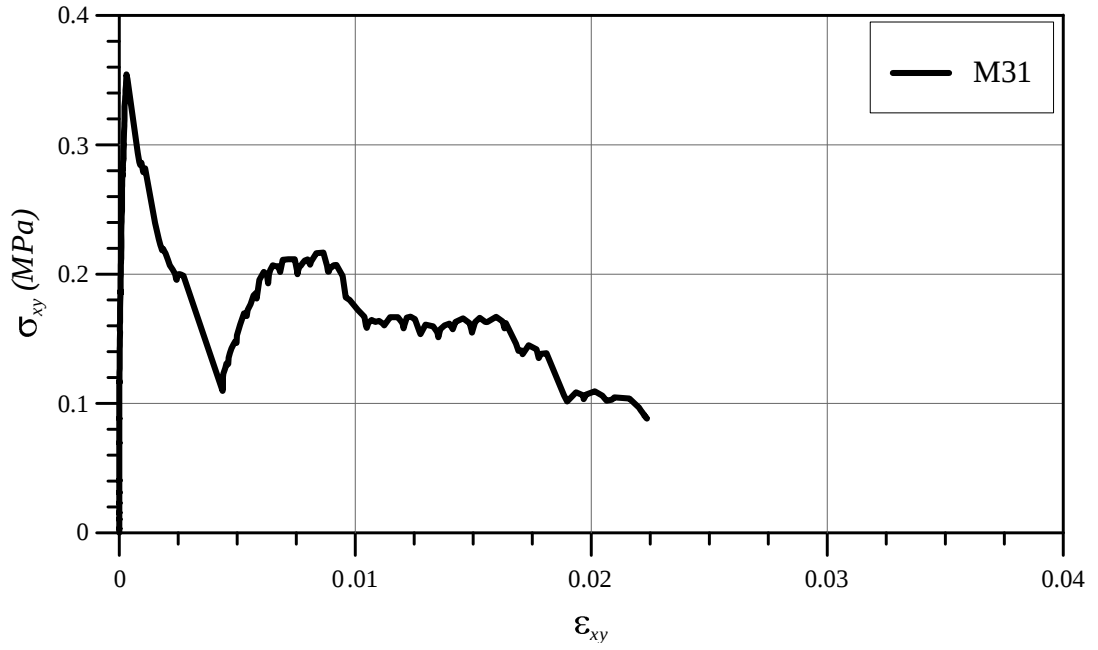
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M31 duvar numunesinde meydana gelen kesme deformasyonları, M22 duvar numunesindeki deformasyonlara benzetmekle birlikte, bu modelde kesme gerilmelerinin duvar düzleminde yayılmış olmasından dolayı, kesme ekseninden farklı bölgelerde de birçok kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Duvar numunesi yaklaşık olarak 5,19 kN'luk yük değerinde plastik aşamaya geçmiş ve plastik deformasyon yapmaya başlamıştır. Yaklaşık 3,7 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.21. M31 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.22. M31 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.23. M31 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

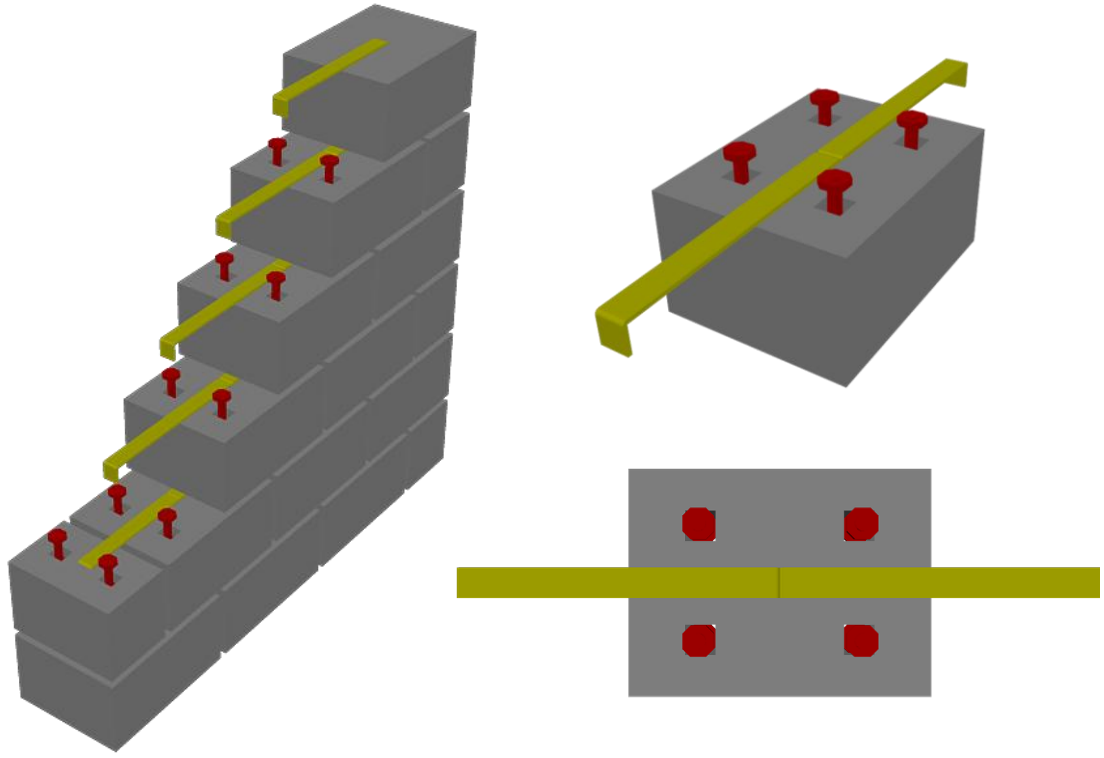
Deney sonucunda elde edilen, M31 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,355 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0003067'dir. Aşağıda M31 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. M31 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ϵ_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M31}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M31	5,19	0,355	0,03067	2,86	2,34	890

4.2.7. M32 duvar modeli

M32 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 18 adet kenet, 84 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 157,5 mm iken diğer kenet uzunlukları 210 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 20 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.24.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.25.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.26.'da, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.27.'de verilmektedir.

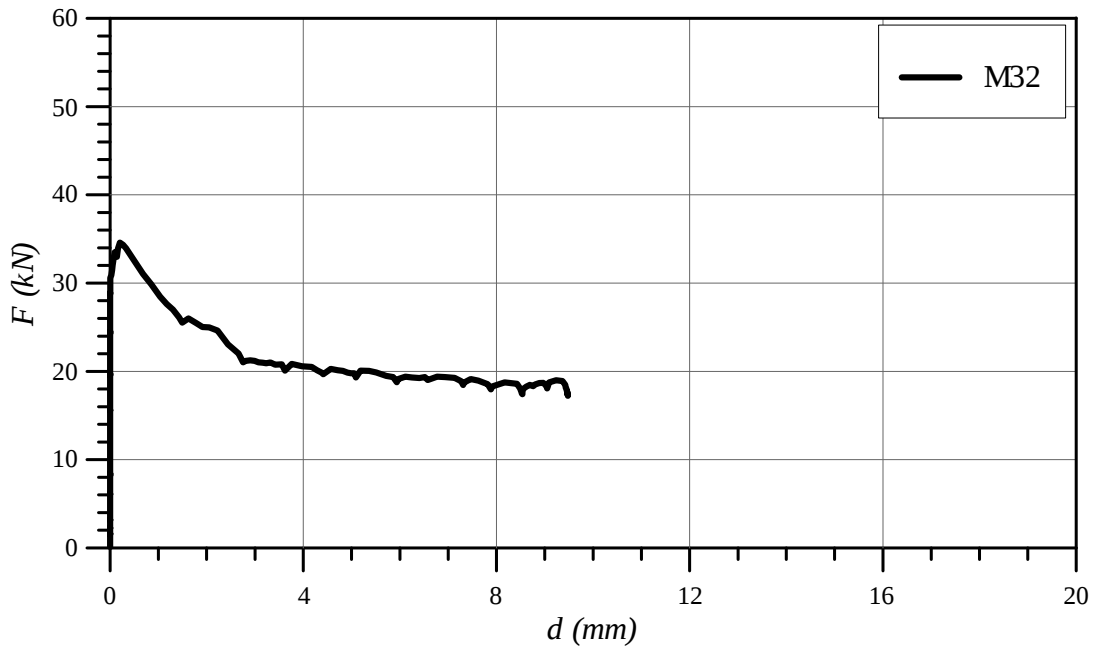


Şekil 4.24. M32 duvar modeline ait teknik çizim

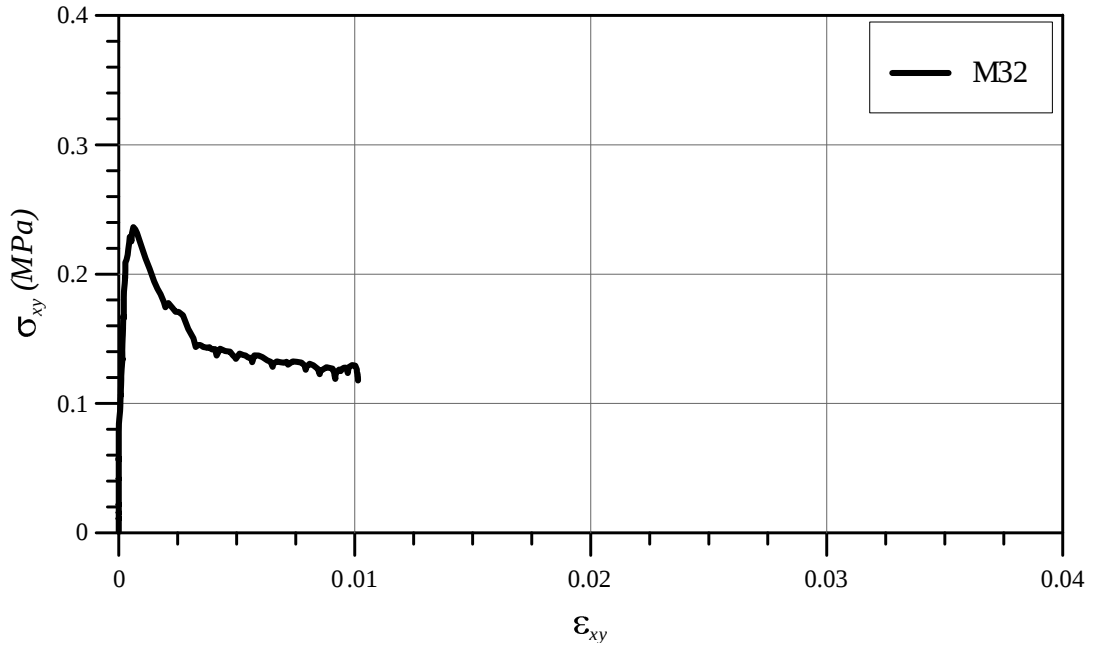
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M32 duvar numunesi kesme gerilmelerinin yoğunlukta olduğu diyagonal doğrultuda deformasyona uğramıştır. Meydana gelen deformasyon incelendiğinde kesme kırılmalarının, kesme gerilmelerinin maksimum düzeye çıktığı diyagonal doğrultuda olduğu görülmektedir. Duvar numunesinin maksimum 3,46 kN'luk yük değerinde elastik aşamayı geçtiği ve plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görülmektedir. Yaklaşık 2,8 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25. M32 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.26. M32 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.27. M32 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

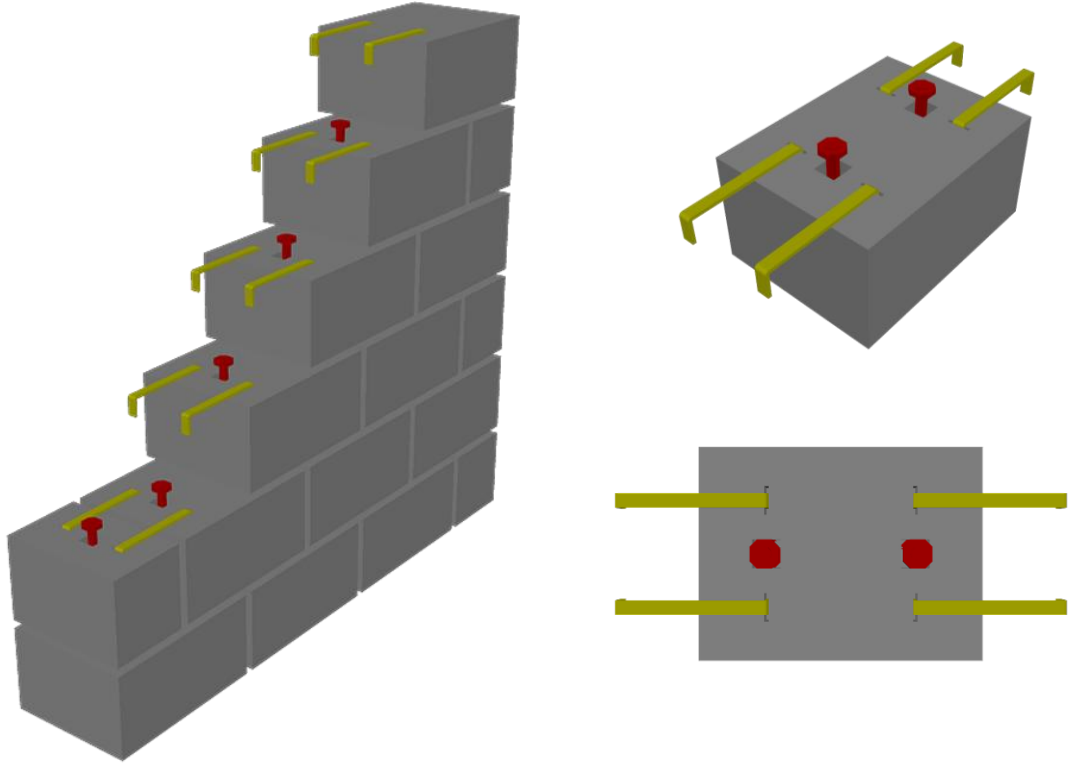
Deney sonucunda elde edilen, M32 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,236 MPa, düşey doğrultuda meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0006181'dir. Aşağıda M32 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. M32 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M32}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M32	3,46	0,236	0,06181	1,90	2,27	381

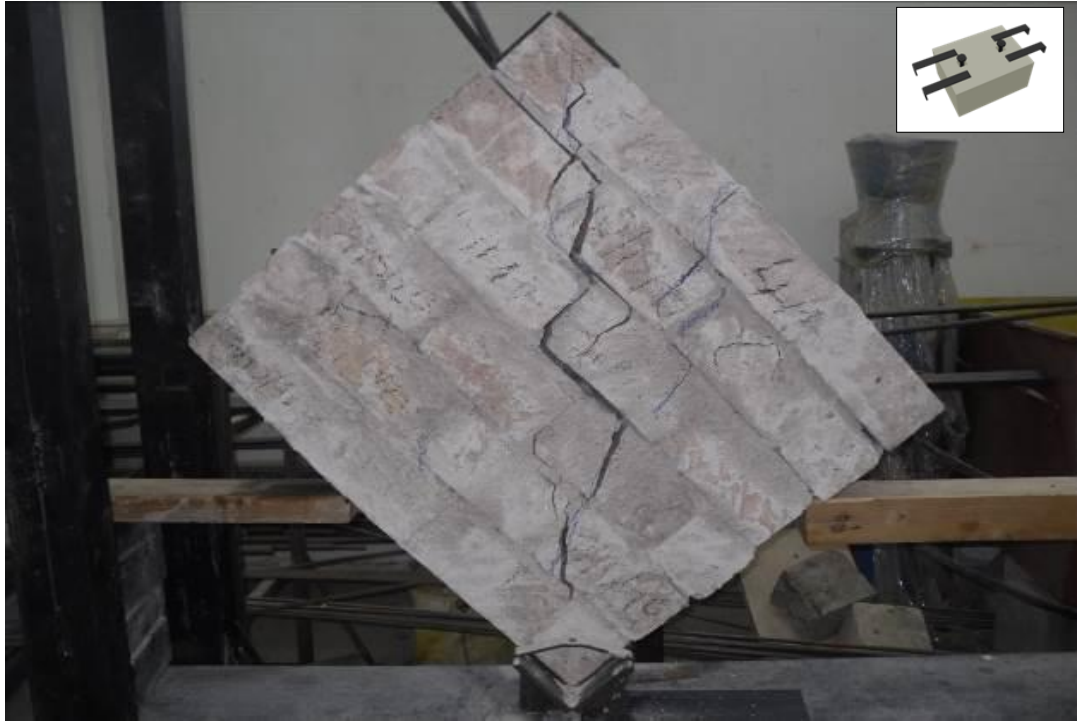
4.2.8. M41 duvar modeli

M41 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Kenetlerin uzunlukları 105 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 10 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.28.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.29.'da, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.30.'da, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.31.'de verilmektedir.

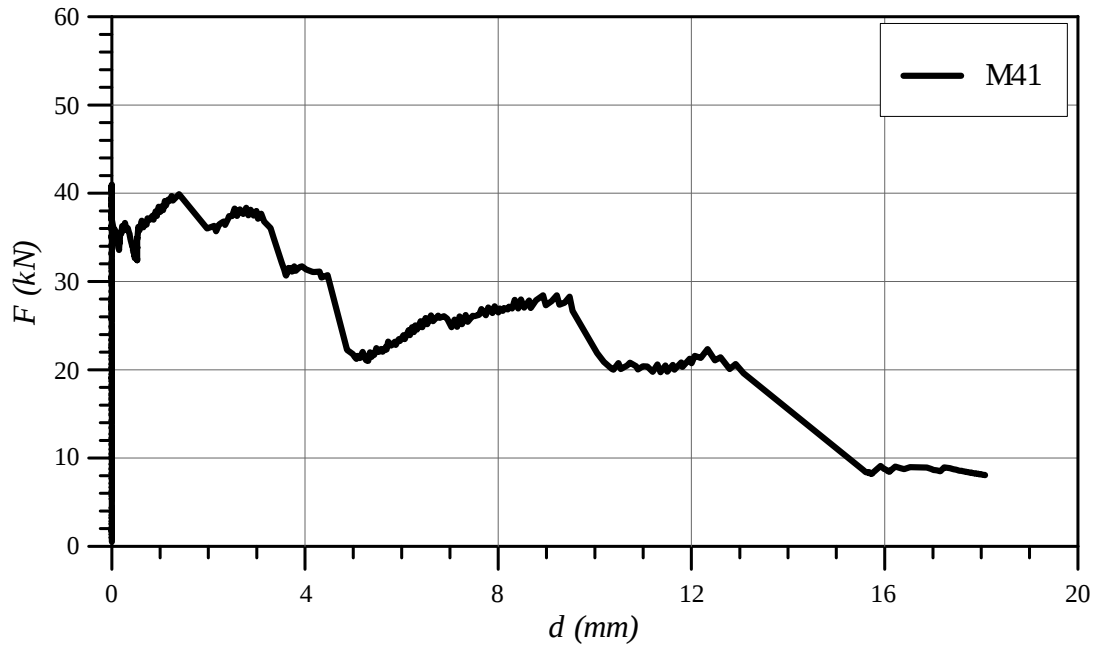


Şekil 4.28. M41 duvar modeline ait teknik çizim

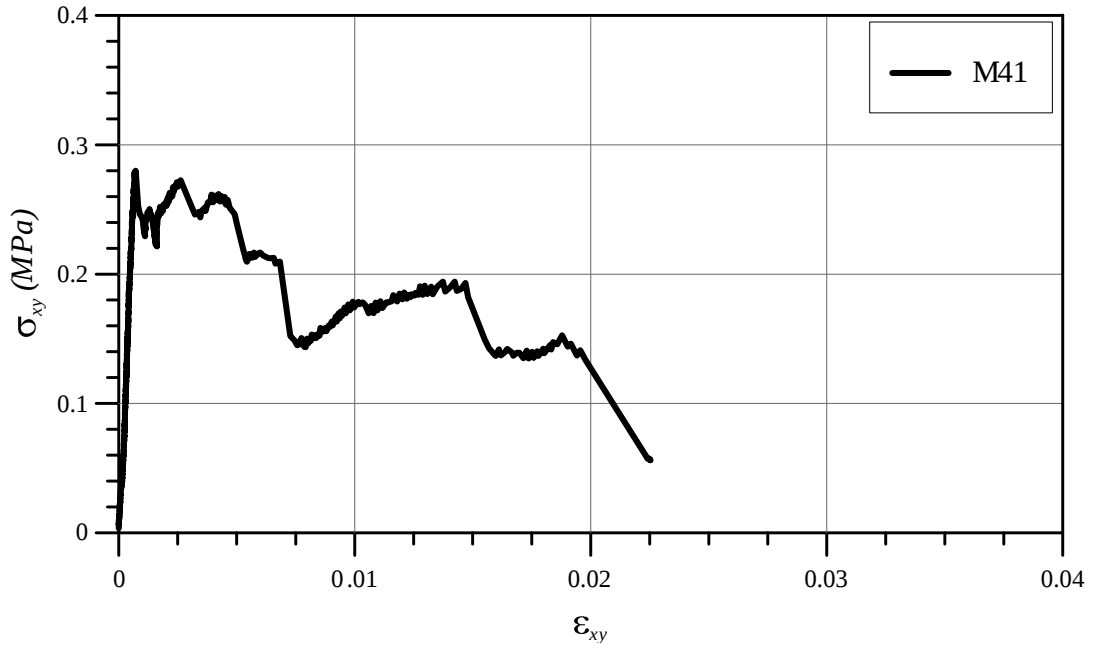
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M41 duvar numunesi diğer duvar numunelerinde olduğu gibi kesme gerilmelerinin yoğunlukta olduğu diyagonal doğrultuda deformasyona uğramıştır. Meydana gelen deformasyonlar incelendiğinde, ayrılmaların yığma birimlerde kesme kırılmaları şeklinde olduğu görülmektedir. Duvar numunesi 4,01 kN'luk yük değerinde elastik bölgenin dışına çıkarak plastik deformasyon yapmaya başlamıştır. Yaklaşık 5,0 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.29. M41 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.30. M41 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.31. M41 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

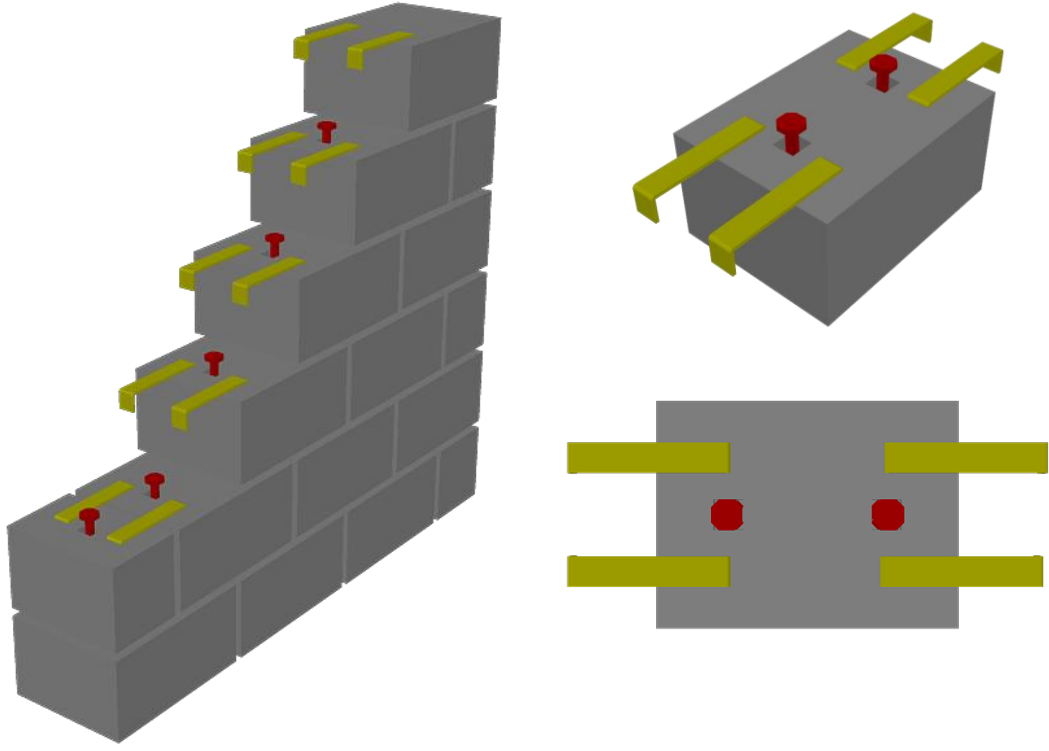
Deney sonucunda elde edilen, M41 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,279 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0007175'dir. Aşağıda M41 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.9. M41 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M41}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M41	4,01	0,279	0,07175	2,25	1,40	390

4.2.9. M42 duvar modeli

M42 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Kenetlerin uzunlukları 105 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 20 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.32.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.33.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.34.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.35.'de verilmektedir.

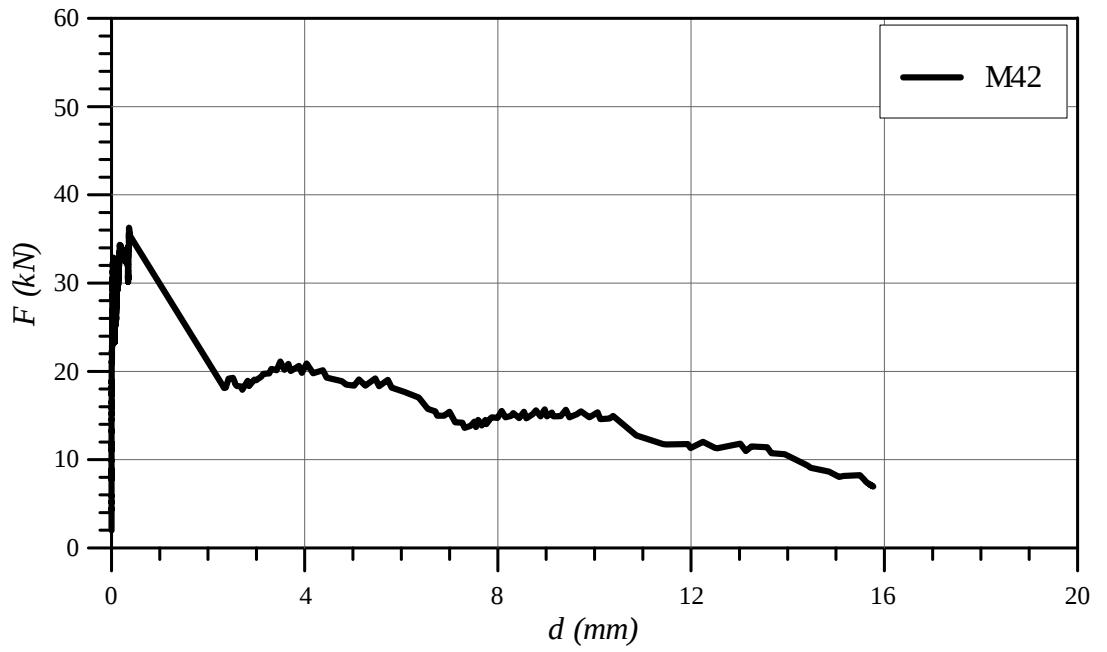


Şekil 4.32. M42 duvar modeline ait teknik çizim

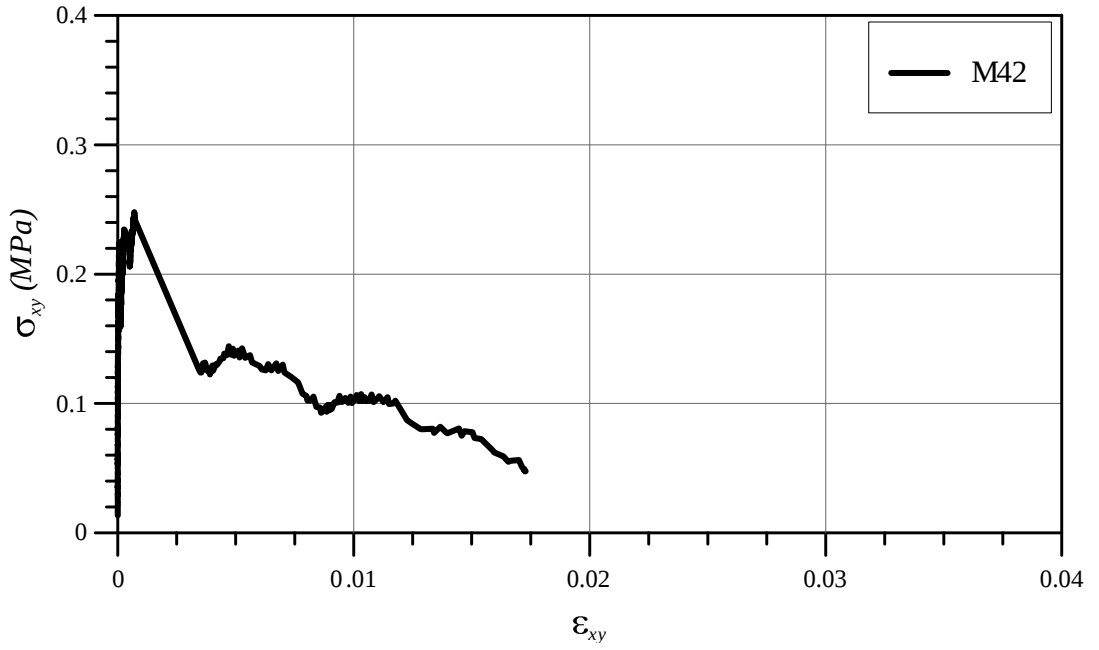
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M42 duvar numunesinde deformasyonlar kesme gerilmelerinin yoğunlukta olduğu diyagonal doğrultuda, kesme ekseninde ikinci sıradan başlayarak kesme kırılması şeklinde görülmektedir. Kesme eksenine uzak noktalarda da kesme çatlakları meydana gelmiştir. Duvar numunesinin maksimum 3,63 kN'luk yük değerinde elastik aşamayı geçtiği ve plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı gözlemlenmiştir. Yaklaşık 2,6 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması görülmektedir.



Şekil 4.33. M42 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.34. M42 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.35. M42 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

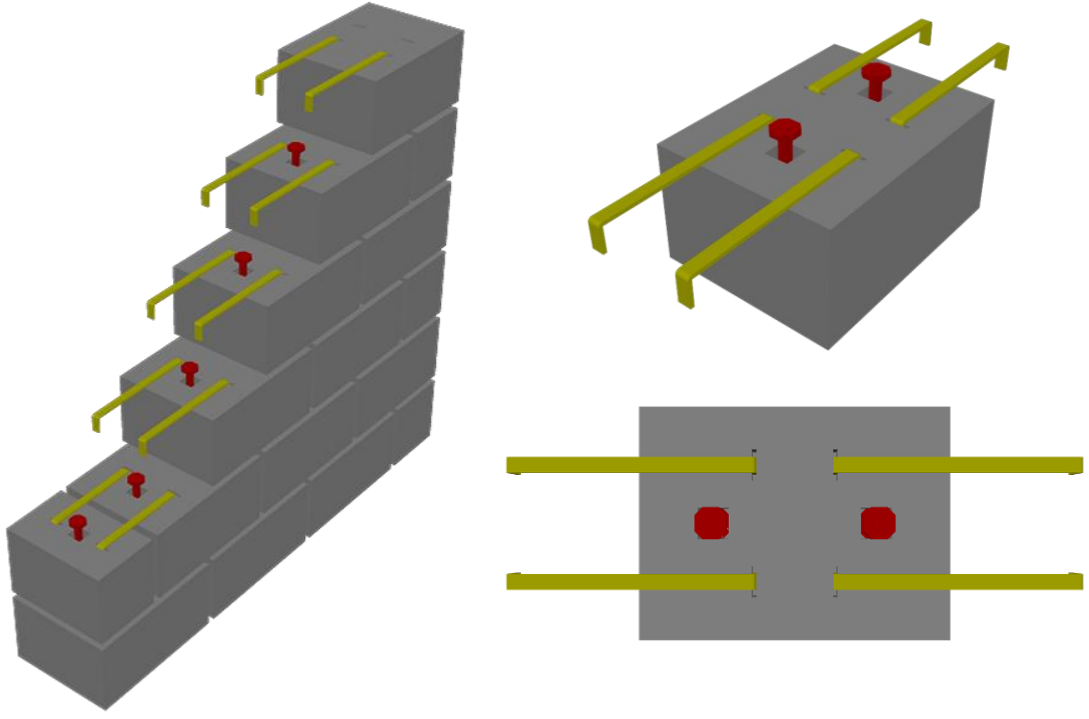
Deney sonucunda elde edilen, M42 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,248 MPa, meydana gelen toplam yer değiştirme miktarı ise 0,0006982'dir. Aşağıda M42 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.10.).

Çizelge 4.10. M42 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M42}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M42	3,63	0,248	0,06982	2,00	2,08	355

4.2.10. M51 duvar modeli

M51 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 131,3 mm iken diğer kenet uzunlukları 157,6 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 10 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.36.'da, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.37.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.38.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.39.'da verilmektedir.

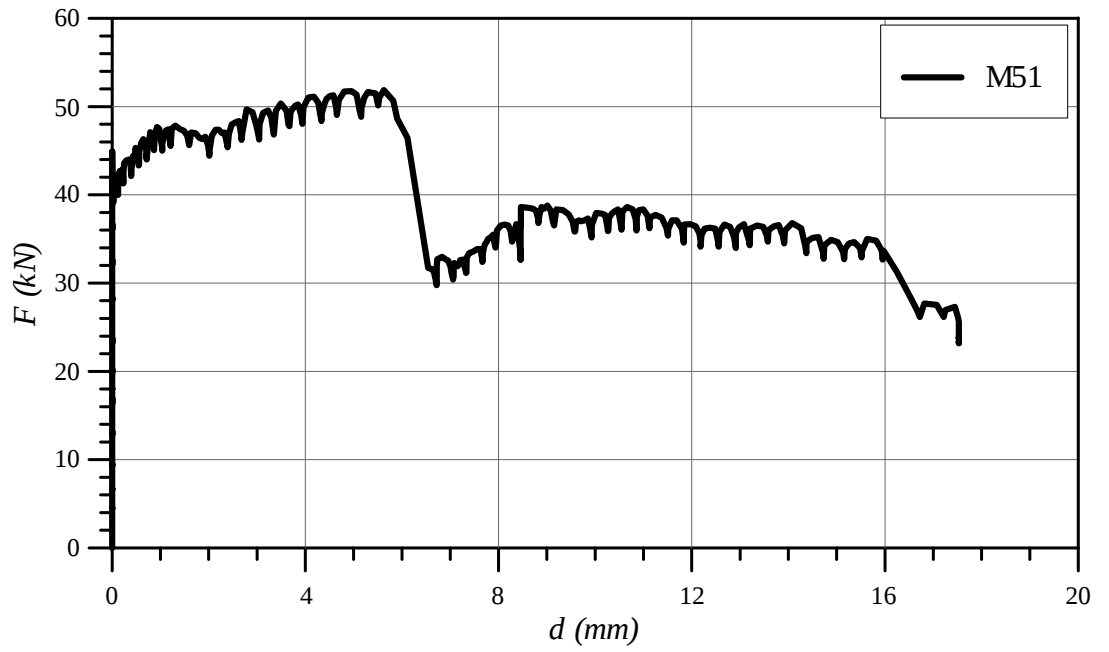


Şekil 4.36. M51 duvar modeline ait teknik çizim

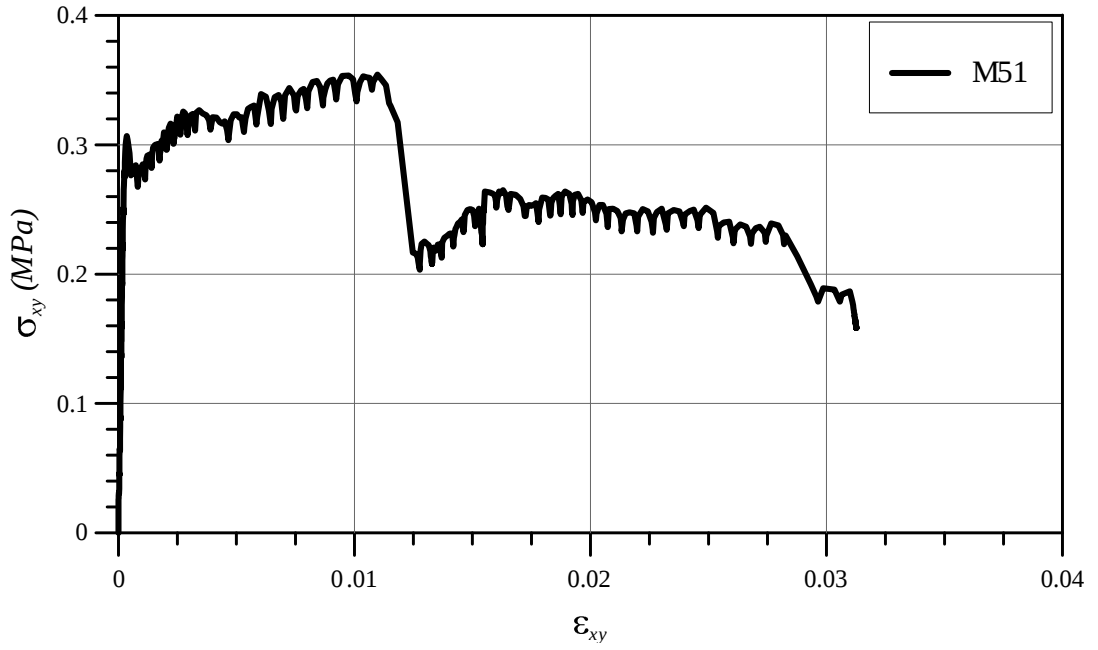
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M51 duvar numunesinde meydana gelen deformasyon, kesme gerilmelerinin yoğun olduğu kesme ekseninde yatay ve düşey derz doğrultusunda görülmüştür. Kesme gerilmelerinin duvar düzleminde yayılmış olmasından dolayı kesme ekseninden farklı bölgelerde kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Duvar numunesinin yaklaşık 5,19 kN'luk yük değerinde kesme gerilmelerinin elastik bölgenin dışına çıkması sonucu plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görülmektedir. Yaklaşık 6,0 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yükte artış, bu noktadan 7,0 mm düşey deplasman değerine kadar yükte azalış görülmüştür.



Şekil 4.37. M51 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.38. M51 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.39. M51 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

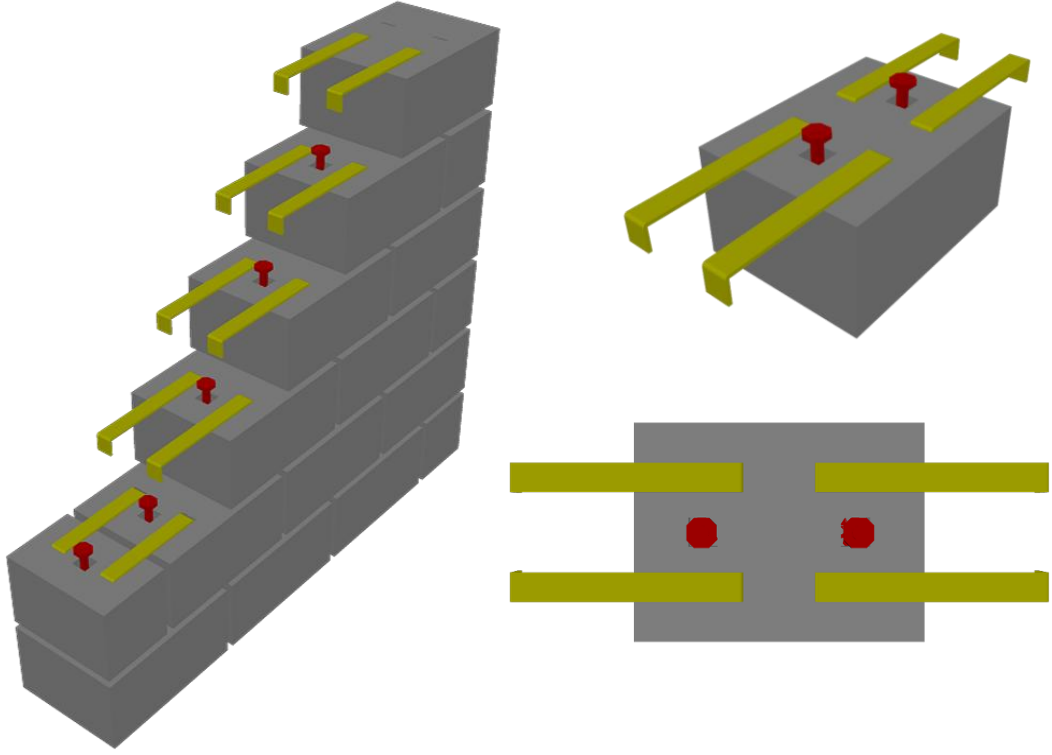
Deney sonucunda elde edilen, M51 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,354 MPa, meydana gelen toplam yer değiştirme miktarı ise 0,01097'dür. Aşağıda M51 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. M51 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M51}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M51	5,19	0,354	1,097	2,85	1,09	33

4.2.11. M52 duvar modeli

M52 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 131,3 mm iken diğer kenet uzunlukları 157,6 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 20 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.40.'da, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.41.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.42.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.43.'de verilmektedir.

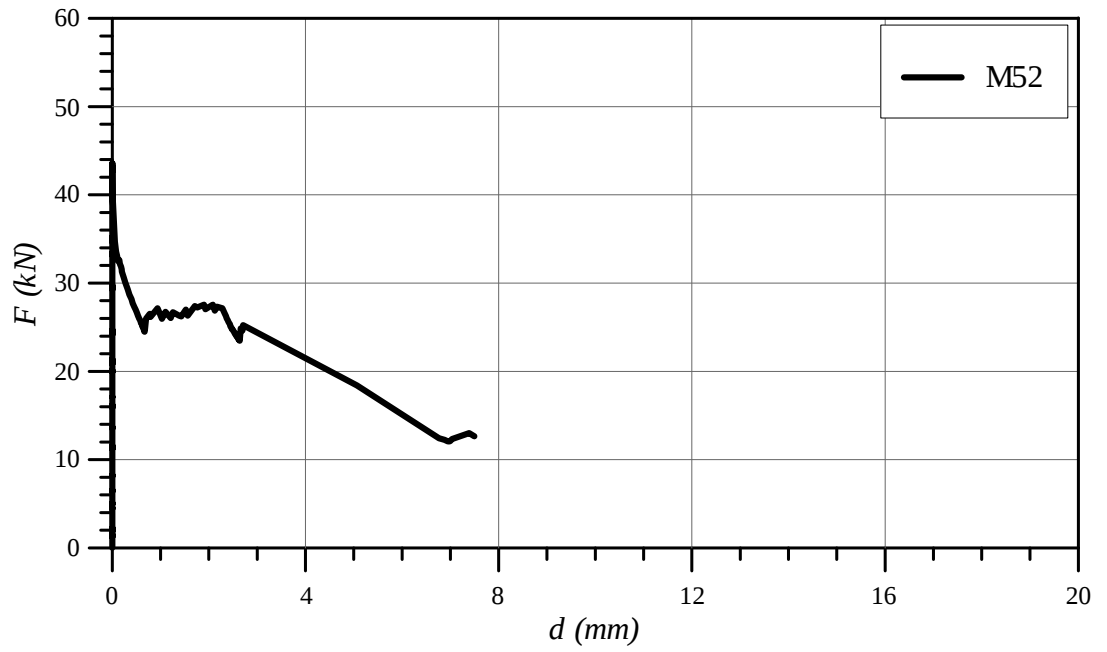


Şekil 4.40. M52 duvar modeline ait teknik çizim

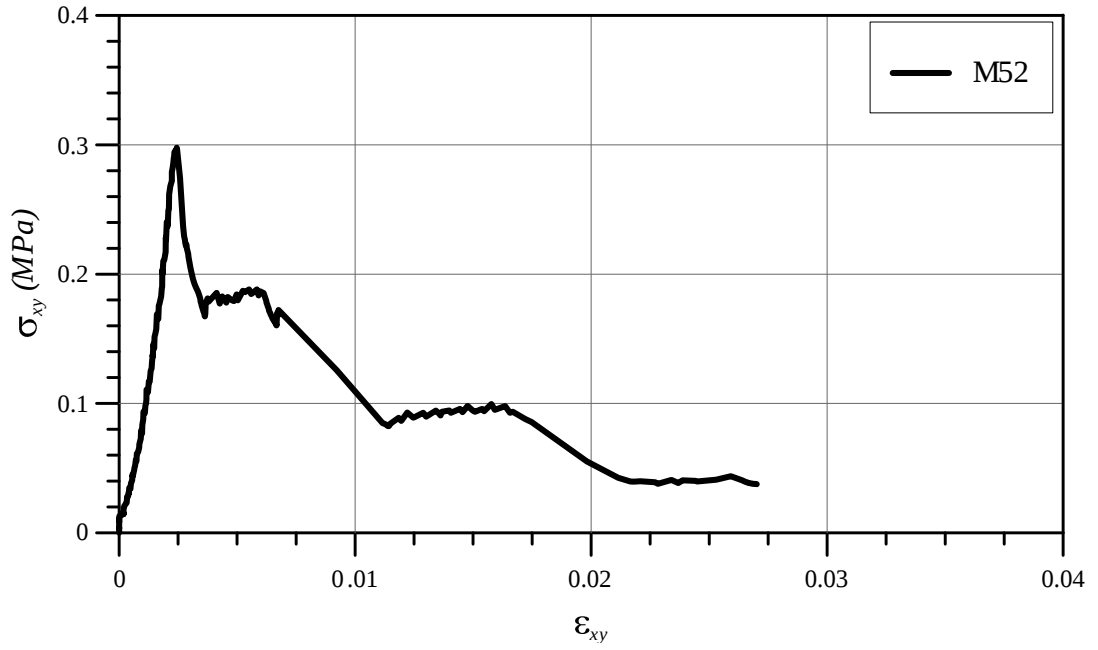
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M52 duvar numunesi, kesme gerilmelerinin yoğun olduğu diyagonal doğrultuda deformasyona uğramıştır. Duvar numunesinin yaklaşık 4,36 kN'luk yük değerinde, elastik aşamayı geçtiği ve plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görülmektedir. Yaklaşık 7,5 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yükte azalış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.41. M52 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.42. M52 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.43. M52 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

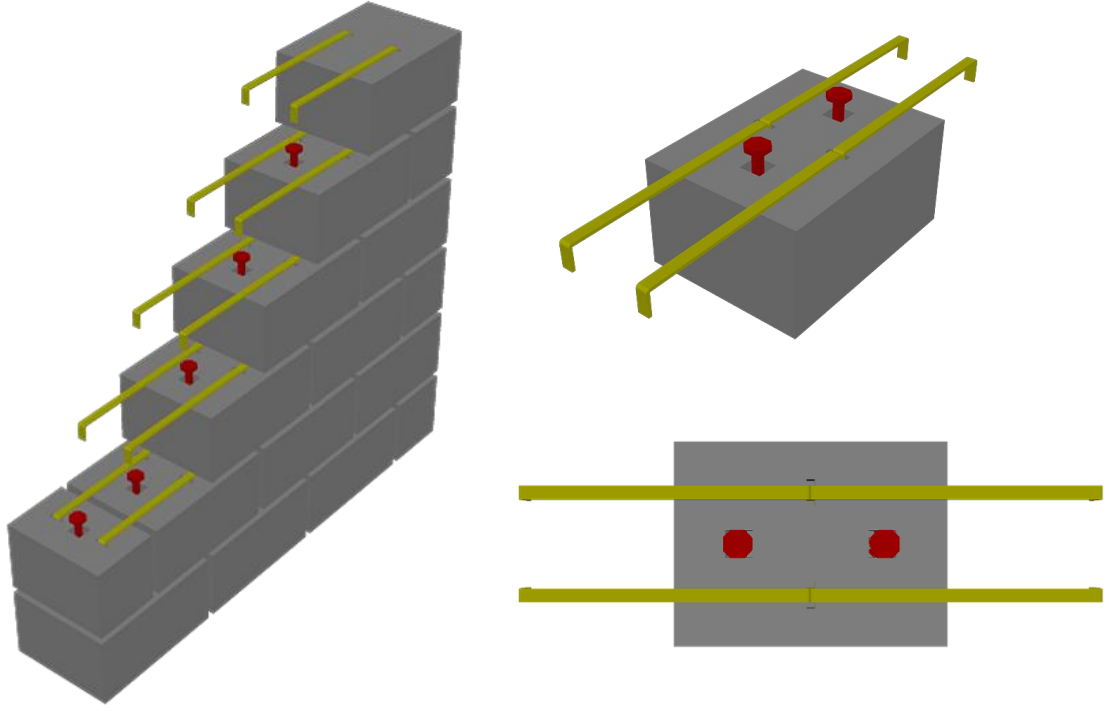
Deney sonucunda elde edilen, M52 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,298 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0024420'dir. Aşağıda M52 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. M52 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M52}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M52	4,36	0,298	0,24420	2,40	1,11	122

4.2.12. M61 duvar modeli

M61 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 157,5 mm iken diğer kenet uzunlukları 210 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 10 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.44.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.45.'de, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.46.'da, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.47.'de verilmektedir.

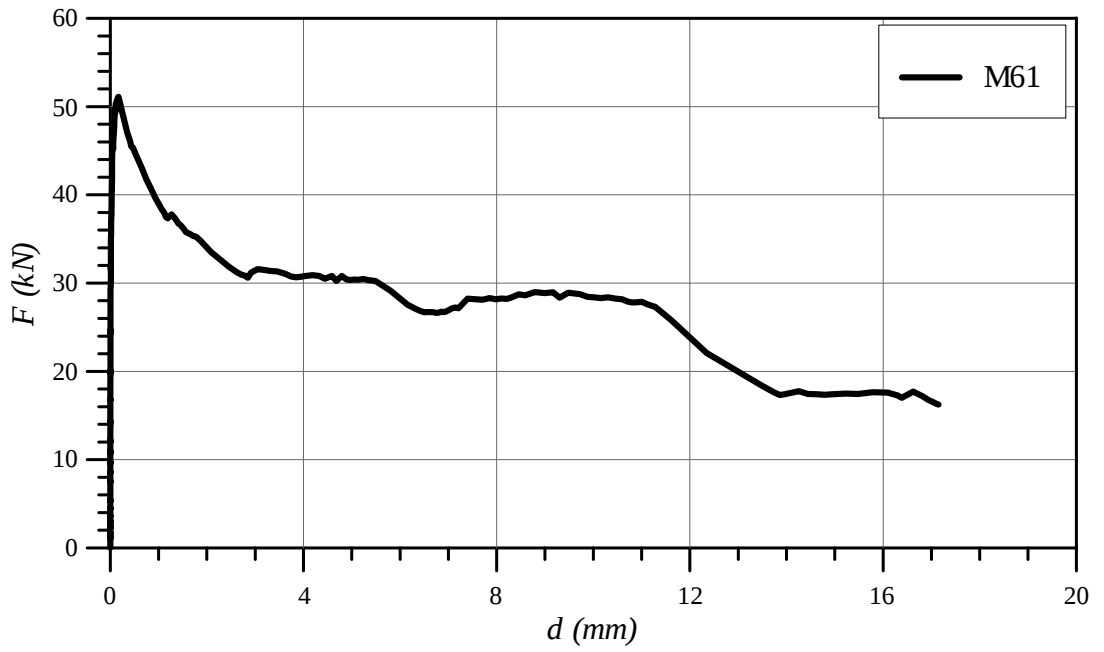


Şekil 4.44. M61 duvar modeline ait teknik çizim

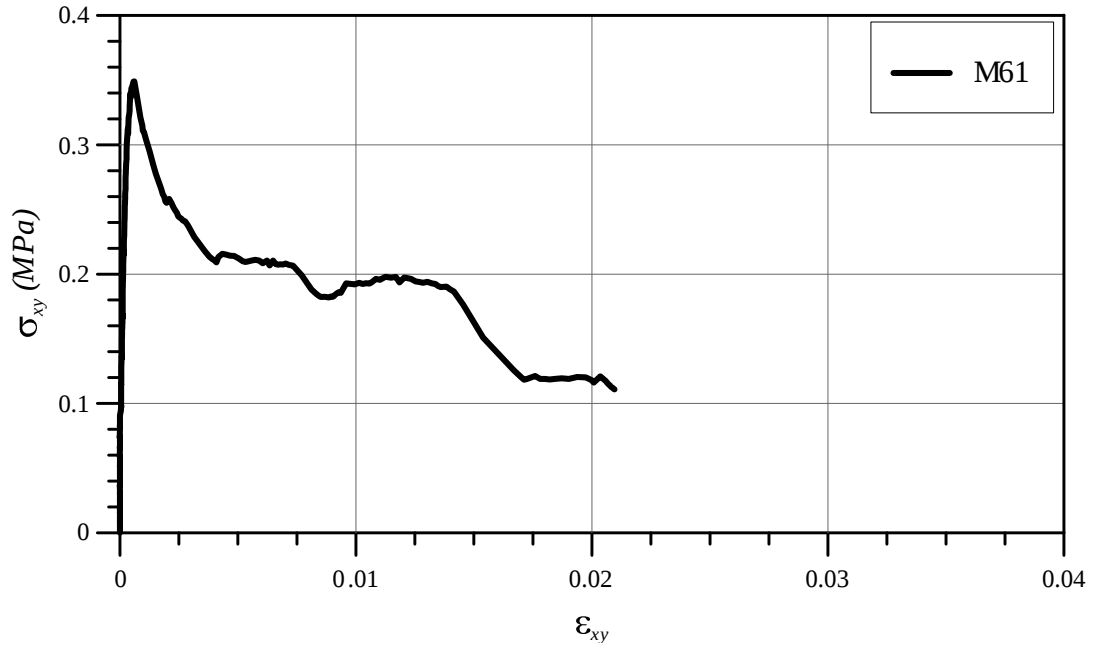
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M61 duvar numunesinde meydana gelen kesme deformasyonları M41 duvar numunesindeki deformasyonlara benzer nitelikte olup kesme gerilmelerinin maksimum düzeye çıktığı diyagonal doğrultuda meydana gelmektedir. Ayrıca ikinci sıra yatay derzde ayrılma ve kesme eksenine yakın bölgede kesme çatlağı gözlemlenmiştir. Duvar numunesinin maksimum 5,11 kN'luk yük değerinde elastik aşamayı geçerek plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görülmektedir. Yaklaşık 7,0 mm düşey deplasman değerine kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.45. M61 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.46. M61 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.47. M61 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

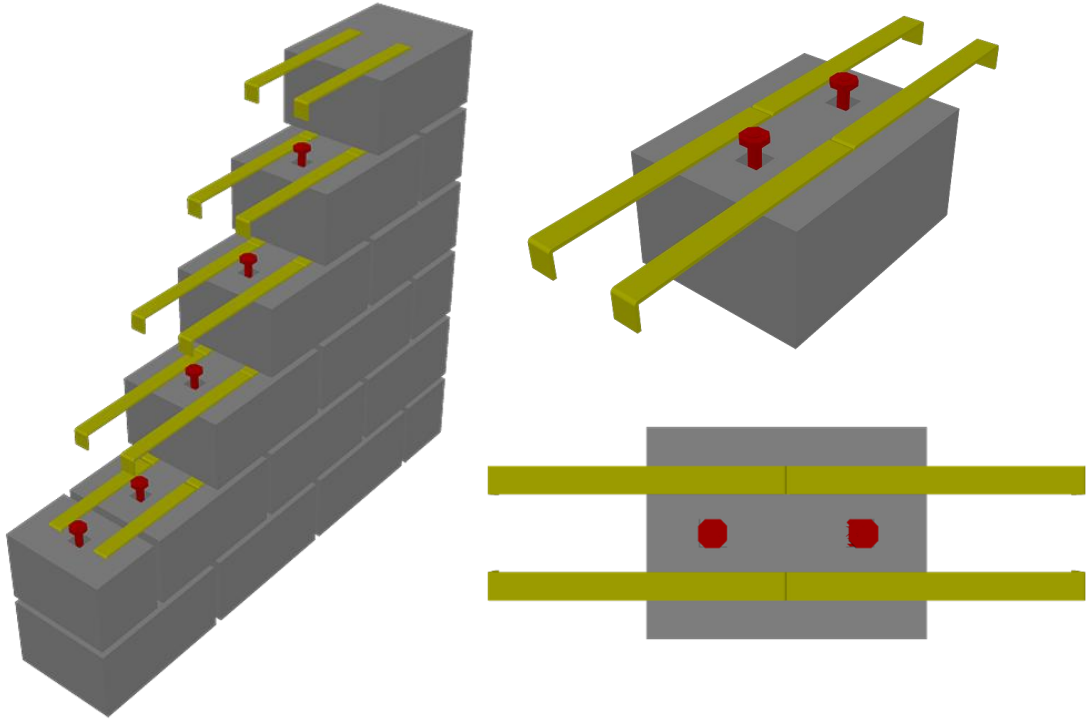
Deney sonucunda elde edilen, M61 duvar numunesinin kesme dayanımı 0.349 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0006147'dir. Aşağıda M61 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.13. M61 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M61}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M61	5,11	0,349	0,06147	2,81	2,03	567

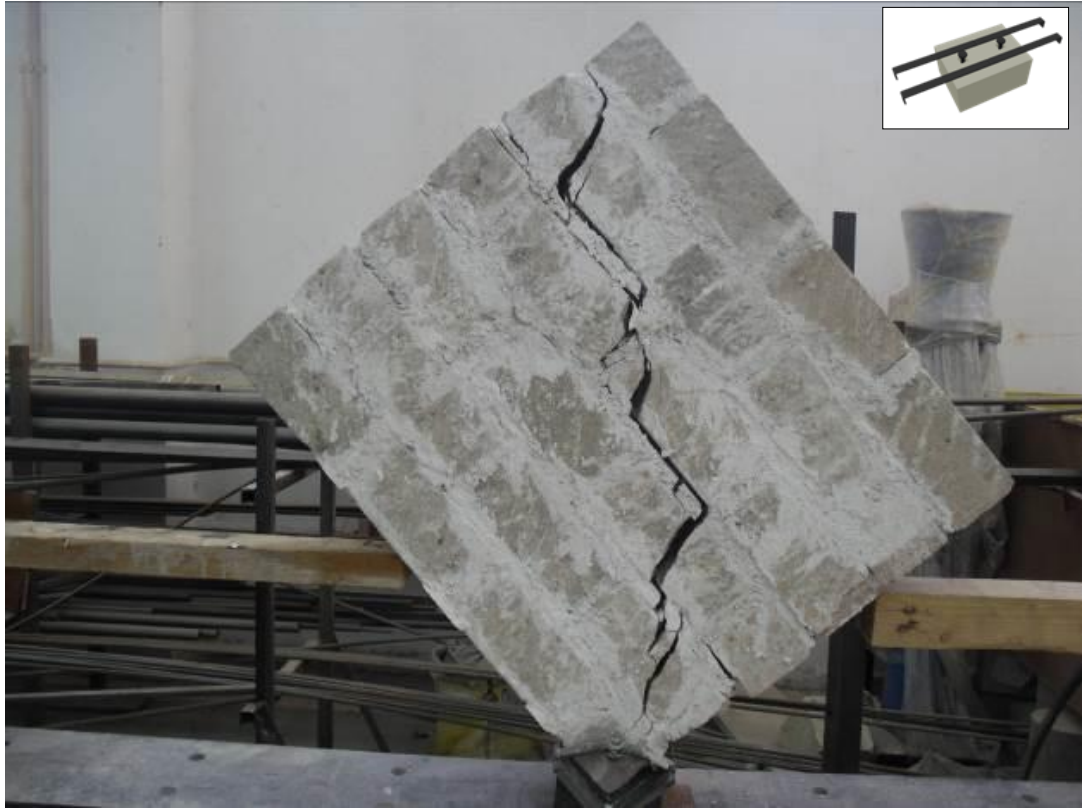
4.2.13. M62 duvar modeli

M62 duvar modelinde kullanılan kenetlerin kalınlığı 3 mm, yığma birime batma derinliği 20 mm'dir. Modelde 36 adet kenet, 42 adet zıvana kullanılmıştır. Duvar kenarlarındaki yarım yığma birimler ile bağlantıyı sağlayan kenetlerin uzunlukları 157,5mm iken diğer kenet uzunlukları 210 mm'dir. Tüm kenet genişlikleri 20 mm'dir. Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan modelin teknik çizimleri Şekil 4.48.'de, deney sonrasındaki görüntüsü Şekil 4.49.'da, elde edilen düşey doğrultudaki yük-deplasman grafiği Şekil 4.50.'de, gerilme-şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.51.'de verilmektedir.

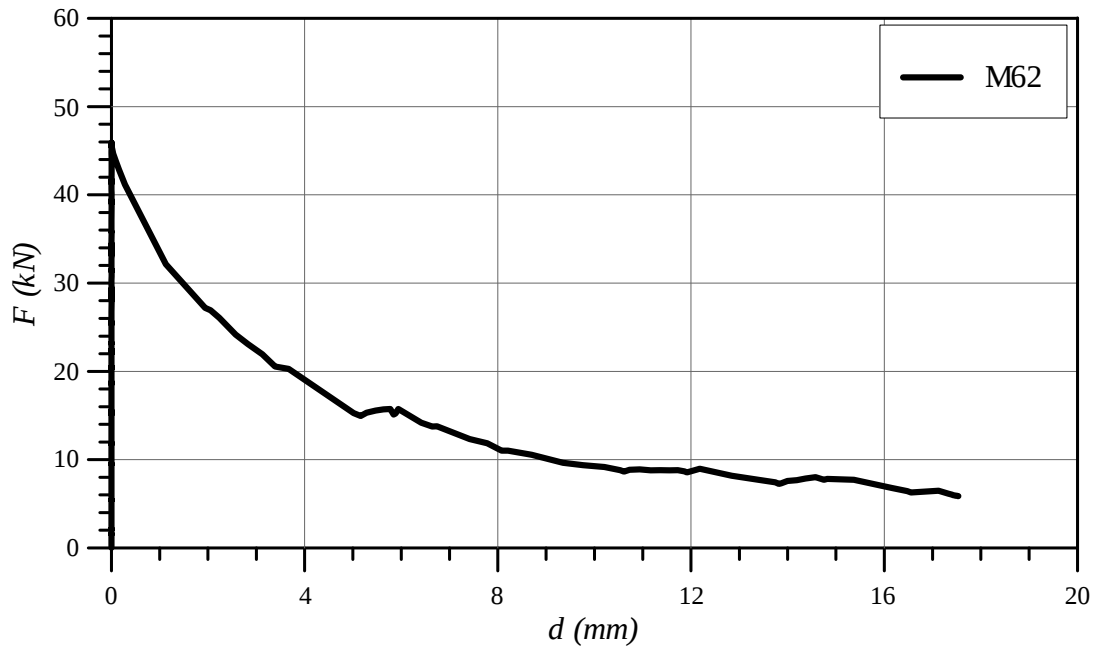


Şekil 4.48. M62 duvar modeline ait teknik çizim

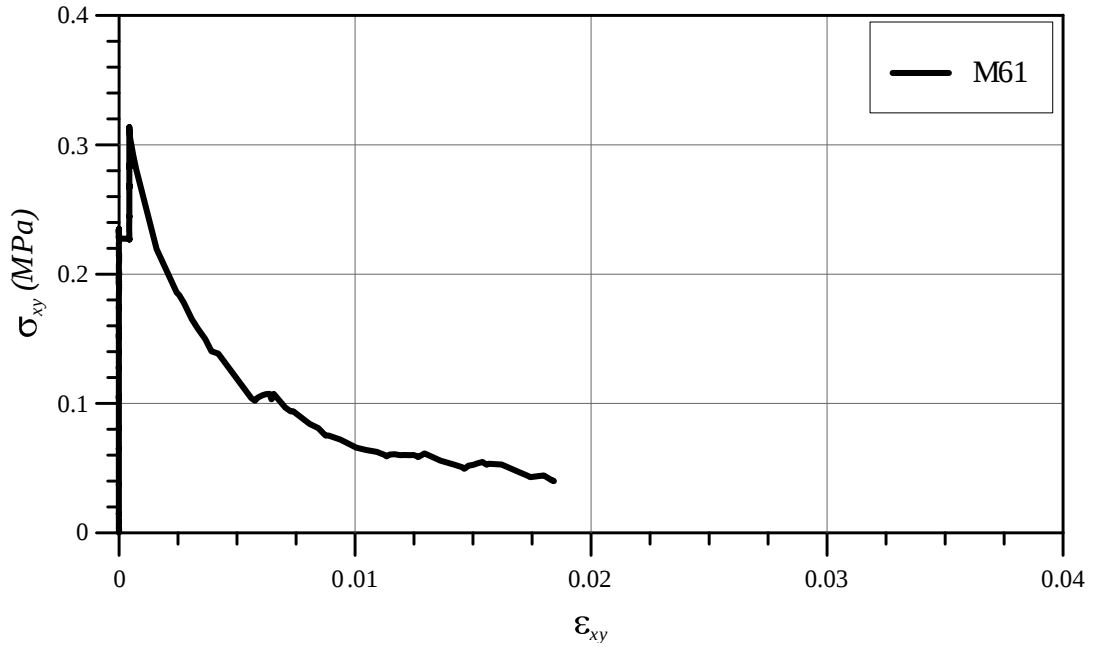
Diyagonal basınç etkisine maruz bırakılan M62 duvar numunesinde meydana gelen kesme deformasyonları, kesme gerilmelerinin maksimum düzeyde olduğu diyagonal doğrultuda meydana gelmiştir. Deformasyon incelendiğinde kesme eksenı üzerinde kesme kırılmalarının olduğu gözlemlenmiştir. Duvar numunesinin maksimum 4,59 kN'luk yük değeriinde elastik aşamayı geçtiğı ve plastik düzeyde deformasyon yapmaya başladığı görölmektedir. Deplasman değeri 18 mm düşey deplasman değeriine geldiğinde deney durdurulmuştur. Bu aşamaya kadar kademeli olarak yük azalması gözlemlenmiştir.



Şekil 4.49. M62 duvar numunesinin deney sonucu görüntüsü



Şekil 4.50. M62 duvar numunesine ait düşey doğrultudaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.51. M62 duvar numunesine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

Deney sonucunda elde edilen, M62 duvar numunesinin kesme dayanımı 0,313 MPa, meydana gelen toplam şekil değiştirme miktarı ise 0,0004396'dır. Aşağıda M62 duvar numunesinin deney sonuçları özetle verilmiştir (Çizelge 4.14.).

Çizelge 4.14. M62 numunesi deney sonuçları

Model No	P_f (kN)	f_s (MPa)	ε_{xy} (%)	$\frac{f_s^{M62}}{f_s^{ref}}$	μ	G (MPa)
M62	4,59	0,313	0,04396	2,52	2,16	712

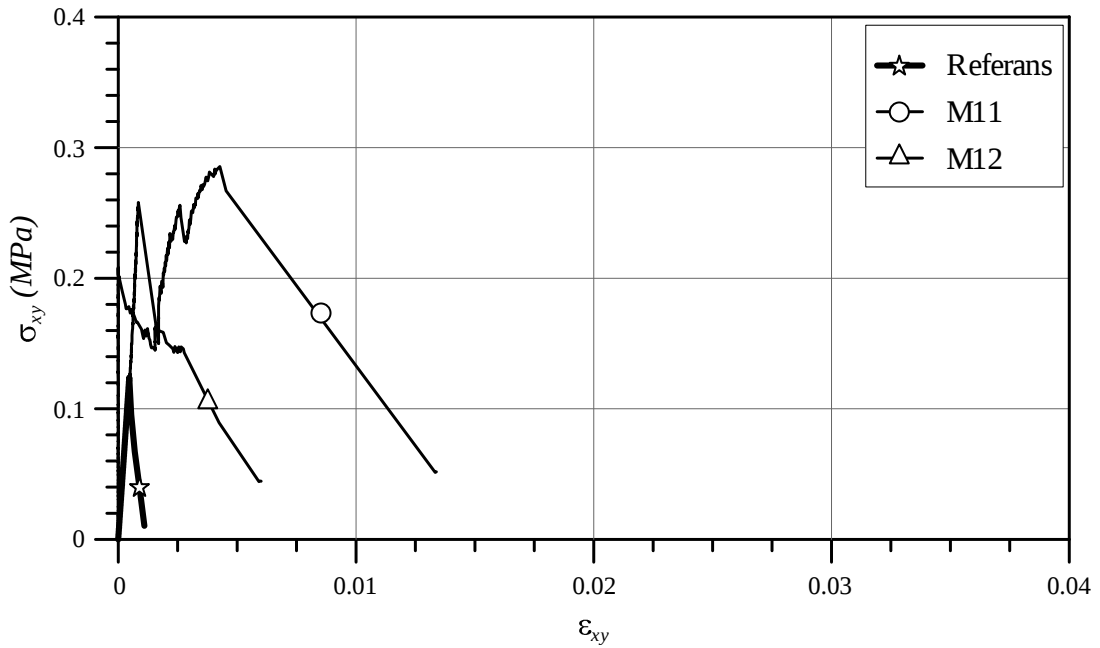
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde, yapılmış olan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Yapılan karşılaştırmalar kenet genişlikleri 10 mm ve 20 mm olanlar ile referans duvar numunesi arasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda öncelikle kayma gerilme-kayma şekil değiştirme eğrileri verilmiş, daha sonra ise deneylerden elde edilen parametreler bir çizelge yardımıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.3.1. Referans, M11 ve M12 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M11 ve M12 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve

karakteristiklerindeki değişim Şekil 4.52.'de birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.52. Referans, M11 ve M12 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

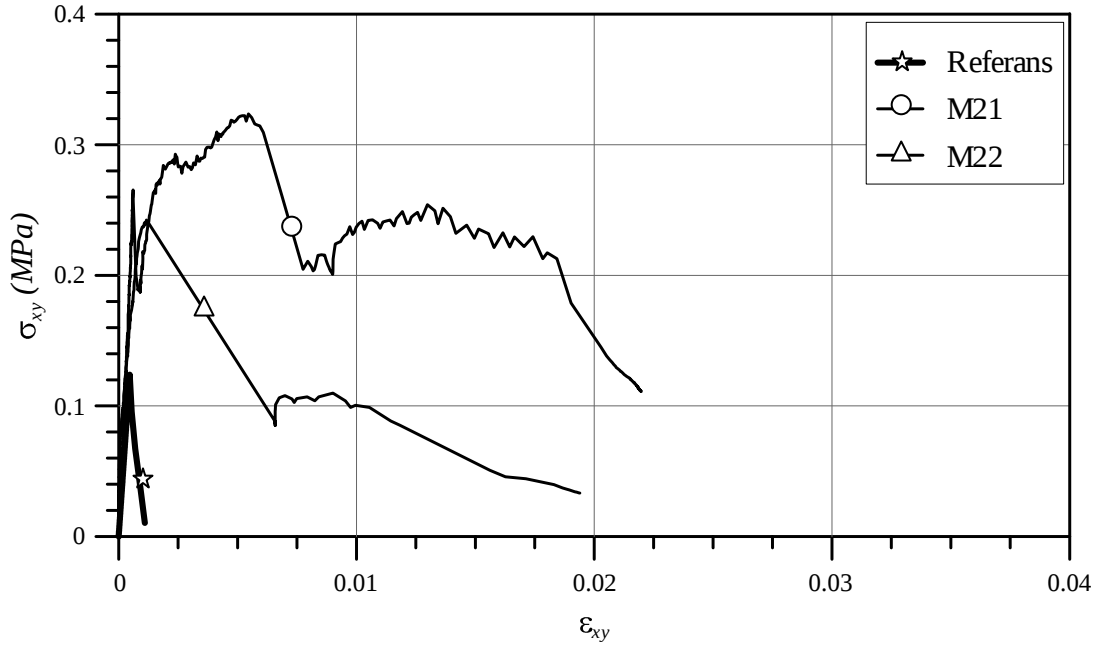
Çizelge 4.15.'de Referans, M11 ve M12 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s(MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ϵ_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G(MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelge kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M11 numunesi, M12 numunesine göre yaklaşık %7,7 oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görölmektedir. Buna karşın süneklik durumuna bakıldığında ise M12, M11 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %54 oranında) bir davranış gösterdiği görölmektedir.

Çizelge 4.15. Referans, M11 ve M12 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M11/Referans		M12/Referans		M12/M11	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s(MPa)$	2,29	16,1(+)	1,67	8,4(+)	0,73	7,7(-)
$\epsilon_{xy}(\%)$	9,2	0,38(+)	0,64	0,02(-)	0,07	0,4(+)
$G(MPa)$	0,25	174 (-)	2,96	196 (+)	1,19	102 (+)
μ	1,31	31(+)	1,85	85(+)	1,41	54(+)

4.3.2. Referans, M21 ve M22 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M21 ve M22 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve karakteristiklerindeki değişim Şekil 4.53.'de birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.53. Referans, M21 ve M22 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

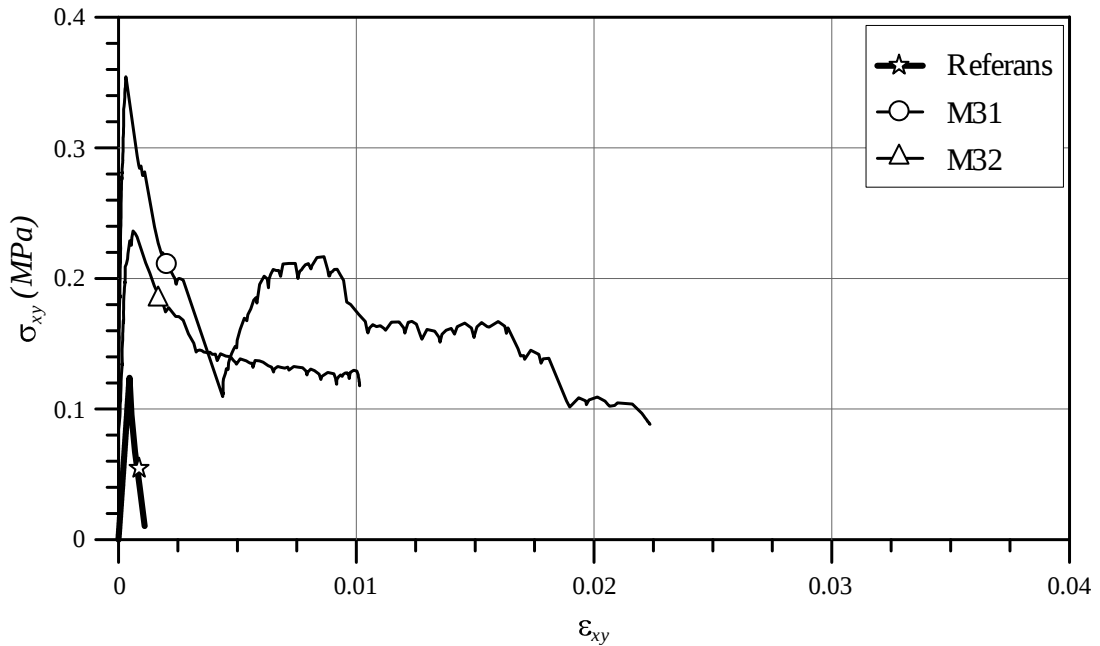
Çizelge 4.16.'da Referans, M21 ve M22 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s(MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ϵ_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G(MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelgede kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M21 numunesi, M22 numunesine göre yaklaşık %8,2 oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın süneklik durumuna bakıldığında ise M22, M21 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %88 oranında) bir davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.16. Referans, M21 ve M22 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M21/Referans		M22/Referans		M22/M21	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s (MPa)$	2,61	20(+)	1,95	11,8(+)	0,75	8,2(-)
$\varepsilon_{xy} (%)$	11,75	0,5(+)	2,5	0,07(+)	0,21	0,43(-)
$G (MPa)$	0,19	180 (-)	0,78	22 (-)	3,45	233 (+)
μ	1,21	21(+)	2,09	109(+)	1,73	88(+)

4.3.3. Referans, M31 ve M32 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M31 ve M32 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve karakteristiklerindeki değişim Şekil 4.54.'de birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.54. Referans, M31 ve M32 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

Çizelge 4.17.'de Referans, M31 ve M32 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s (MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ε_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G (MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelge kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M31 numunesi, M32 numunesine göre yaklaşık %11,9

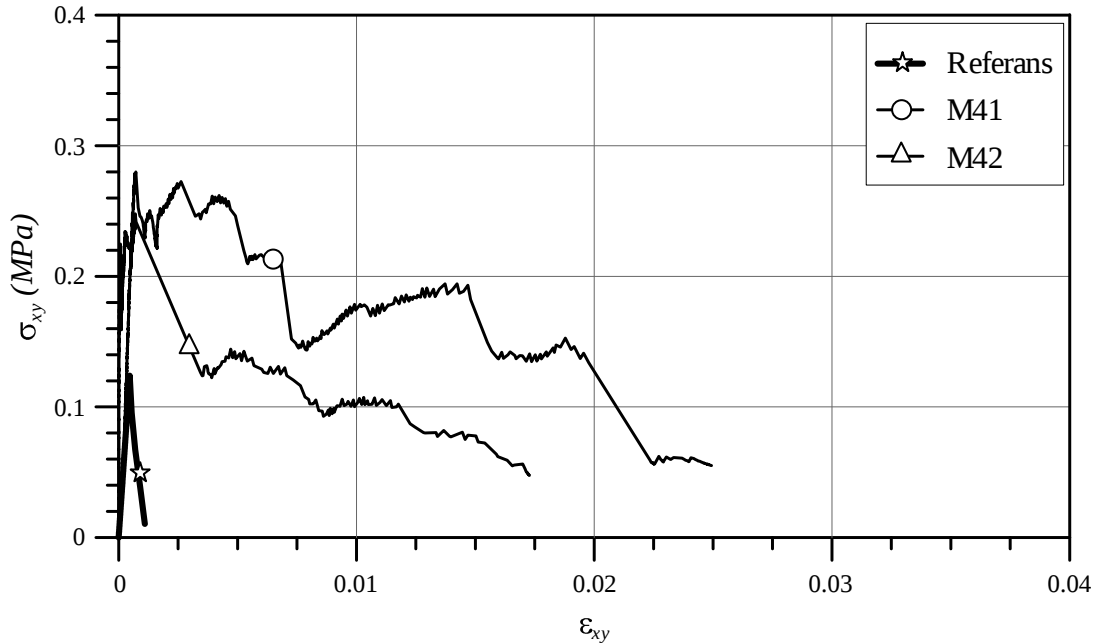
oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte süneklik durumuna bakıldığında M31, M32 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %7 oranında) bir davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.17. Referans, M31 ve M32 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M31/Referans		M32/Referans		M32/M31	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s (MPa)$	2,86	23,1(+)	1,9	11,2(+)	0,66	11,9(-)
$\varepsilon_{xy} (%)$	0,66	0,02(-)	1,33	0,02(+)	2,01	0,04(-)
$G (MPa)$	3,8	280 (+)	1,41	40 (+)	0,33	166 (-)
μ	2,34	134(+)	2,27	127(+)	0,97	7,0(-)

4.3.4. Referans, M41 ve M42 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M41 ve M42 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve karakteristiklerindeki değişim Şekil 4.55.'de birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.55. Referans, M41 ve M42 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

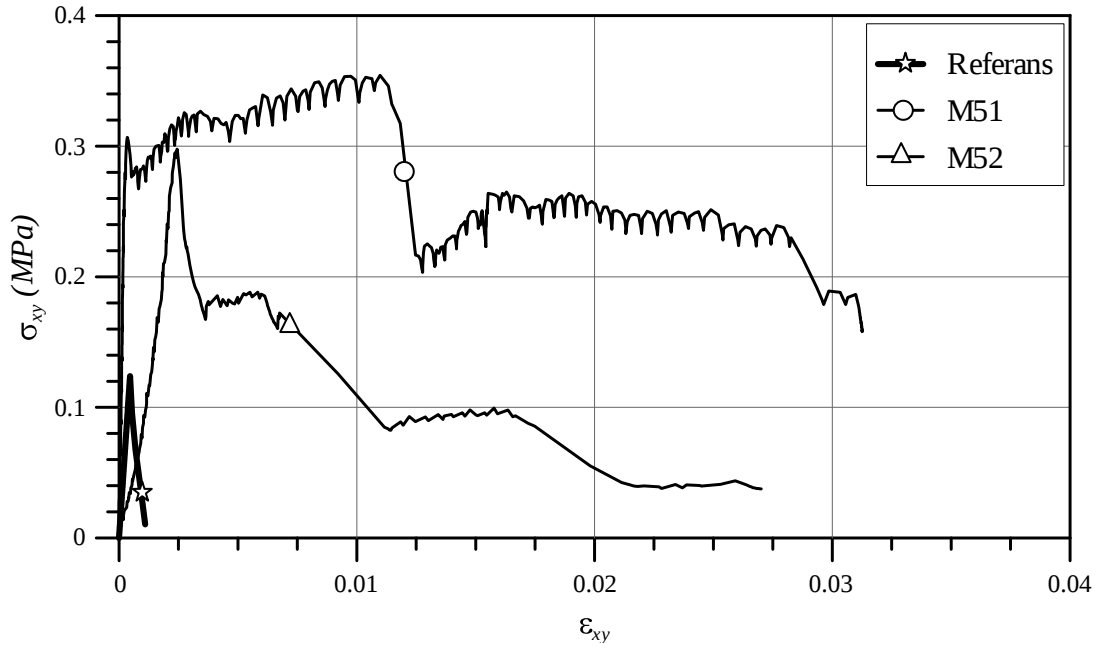
Çizelge 4.18.'de Referans, M41 ve M42 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s(MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ε_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G(MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelge kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M41 numunesi, M42 numunesine göre yaklaşık %3,1 oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın süneklik durumuna bakıldığında ise M42, M41 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %68 oranında) bir davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.18. Referans, M41 ve M42 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M41/Referans		M42/Referans		M42/M41	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s(MPa)$	2,25	15,5(+)	2,0	12,4(+)	0,89	3,1(-)
$\varepsilon_{xy}(\%)$	1,55	0,025(+)	1,50	0,023(+)	0,98	0,002(-)
$G(MPa)$	1,44	42 (+)	1,33	32 (+)	0,91	8,9 (-)
μ	1,4	40(+)	2,08	108(+)	1,48	68(+)

4.3.5. Referans, M51 ve M52 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M51 ve M52 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve karakteristiklerindeki değişim Şekil 4.56.'da birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.56. Referans, M51 ve M52 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

Çizelge 4.19.'da Referans, M51 ve M52 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s (MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ε_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G (MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelge kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M51 numunesi, M52 numunesine göre yaklaşık %5,6 oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın süneklik durumuna bakıldığında ise M52, M51 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %2 oranında) bir davranış gösterdiği görülmektedir.

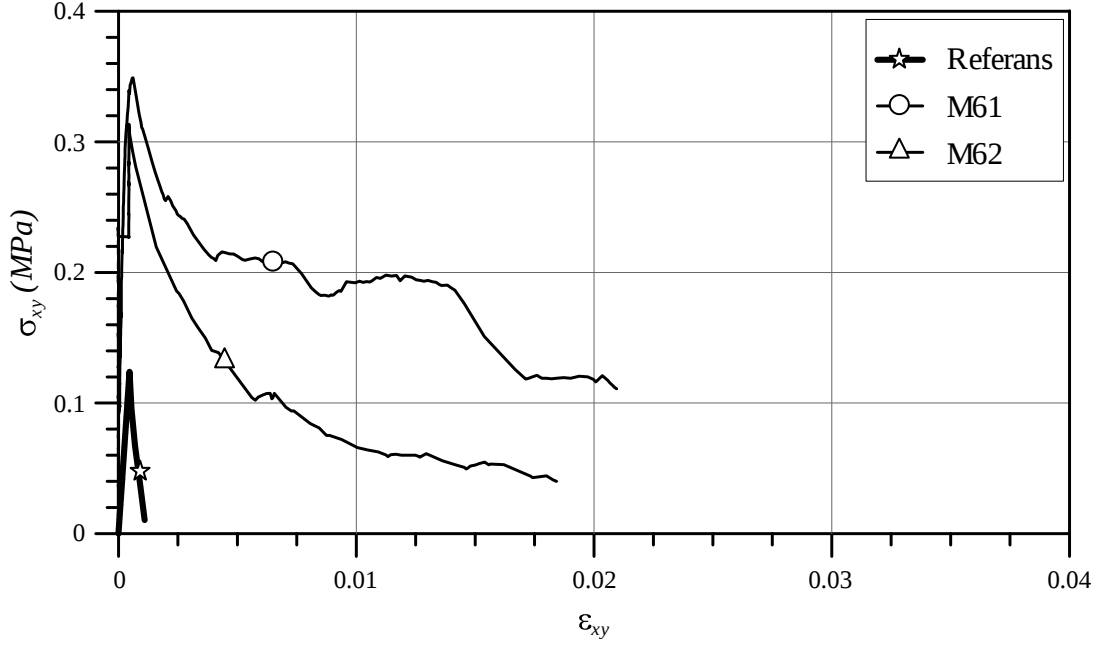
Çizelge 4.19. Referans, M51 ve M52 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M51/Referans		M52/Referans		M52/M51	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s (MPa)$	2,85	23(+)	2,40	17,4(+)	0,84	5,6(-)
$\varepsilon_{xy} (%)$	23,6	1,05(+)	5,26	0,19(+)	0,22	0,86(-)
$G (MPa)$	0,10	190 (-)	0,45	74 (-)	3,83	280 (+)
μ	1,09	9,0(+)	1,11	11,0(+)	1,02	2,0(+)

4.3.6. Referans, M61 ve M62 modelleri deney sonuçlarının karşılaştırılması

Referans, M61 ve M62 yığma duvar modellerinin diyagonal basınç etkisi altında yapılan deneylerinden elde edilen sonuçları bu bölümde karşılaştırmalı olarak

verilmektedir. Metal bağlantı elemanlarının söz konusu numunelerin davranışları ve karakteristiklerindeki değişim Çizelge 4.57.'de birleştirilmiş kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiğinde verilmiştir.



Şekil 4.57. Referans, M61 ve M62 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri

Çizelge 4.20.'de Referans, M61 ve M62 duvar numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada $f_s(MPa)$ numunenin kayma dayanımını, ϵ_{xy} maksimum kayma gerilmesi esnasında meydana gelen şekil değiştirmeyi, $G(MPa)$ kayma modülünü, μ ise sünekliği temsil etmektedir. Aşağıdaki çizelge kayma dayanımı bakımından incelendiğinde M61 numunesi, M62 numunesine göre yaklaşık %3,6 oranında daha yüksek bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın süneklik durumuna bakıldığında ise M62, M61 numunesine göre daha sünek (yaklaşık %13 oranında) bir davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.20. Referans, M61 ve M62 numunelerinin deneysel parametrelerinin karşılaştırılması

Parametreler	M61/Referans		M62/Referans		M62/M61	
	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)	Oranı	Değişim (%)
$f_s(MPa)$	2,81	22,5(+)	2,52	18,9(+)	0,89	3,6(-)
$\epsilon_{xy}(\%)$	1,32	0,015(+)	0,95	0,002(-)	0,72	0,01(+)
$G(MPa)$	2,1	100 (+)	2,63	162 (+)	1,25	25 (+)
μ	2,03	103(+)	2,16	116(+)	1,06	13(+)

5. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Yığma duvarların kayma dayanımları ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan deneysel olarak yapılanlar genellikle ya analitik formüller ile ya da sonlu elemanlar yöntemi gibi nümerik yöntemler yardımıyla bilgisayar modellemeleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar veya sonlu farklar gibi yöntemler kullanılarak herhangi bir bilgisayar simülasyonu yapılmamıştır. Bunun temel sebeplerinden birisi hiç şüphesiz ki deneylerde üretilen metal bağlantı elemanlı duvar numunelerinin bilgisayar modellemesinin zorluğundan dolayıdır. Şöyle ki, günümüz teknolojisi ve gereksinimleri dikkate alındığında artık doğrusal modelleme yapılması çok doğru olmamaktadır. Zira tabiattaki hiçbir madde doğrusal davranmamaktadır. Doğrusal olmayan modellemede ise sistemi mutlaka üç boyutlu ele almak gerekmektedir. Çünkü bazı numuneler tek sıra bazı numuneler ise çift sıra kenet sistemine sahiptir. Deney sonucundaki numune fotoğraflarına bakıldığında metal bağlantı elemanlarının kullanıldığı neredeyse tüm duvar numunelerindeki çatlama mekanizmaları yığma birimlerin üzerinden gerçekleşmiştir. Nümerik modellemede bu durumun da dikkate alınması gerekir. Bu sebeple tüm yığma birimlerin üzerine potansiyel çatlak arayüzeyi tanımlanmalıdır. Ayrıca metal bağlantı elemanlarının yığma birimlerden sıyrılma olasılığı açısından yığma birim-harç arasına ve metal bağlantı elemanları ile arasına arayüzey eleman (interface) mutlaka tanımlanmalıdır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada nümerik doğrulama yoluna gidilmemiştir.

Nümerik yöntemlerin aksine analitik formüller çıkarılırken genellikle deney sonuçlarını temel alarak istatistiksel yöntemler yardımıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada Tomazevic vd., (1993) tarafından sunulan formülasyon (5.1) ile TS EN 1996-1-1'de (2006) yer alan formülasyon (5.2) deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

$$V_{Rd} = \left(\frac{0,9tlf'_{vko}}{1,5} + \sqrt{1 + \frac{\sigma}{f'_{vko}}} \right) + 0,4A_r \cdot f_{tk} \quad (5.1)$$

$$V_{Rd} = f_{vk} td + 0,9d\rho_t f_{tk} t \quad (5.2)$$

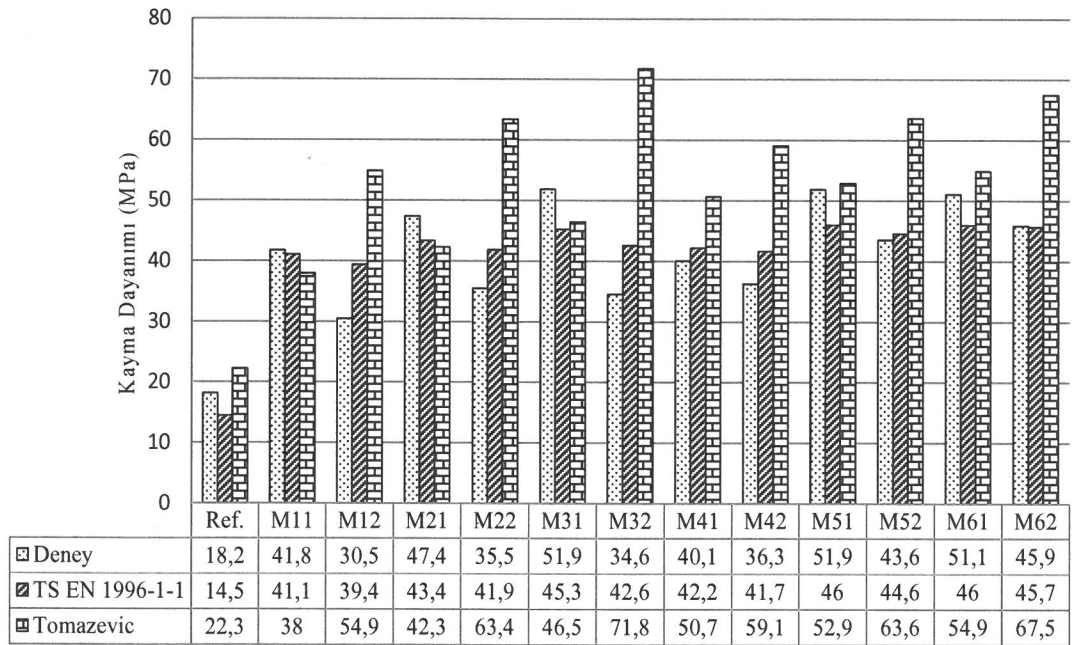
Burada,

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \quad (5.3)$$

Yukarıdaki formüllerde, taşın karakteristik dayanımı f_{vk} , kesme etkisine dik tasarım basınç dayanımı σ_o , metal bağlantı elemanları ve taş duvarın geometrik, mekanik

karakteristikleri olan; duvar kalınlığı t , duvar uzunluğu l , etkili derinliği $d=0,8l$, duvar bölümü üzerinde hesaplanan metal bağlantı oranı ρ_t , metal bağlantı alanı A_t olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışma kayma testlerini içermediğinden TS EN 1996-1-1'de (2006) f_{vko} 'nun değeri 0,2 MPa olarak verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dayanım değerlerinin, analitik değerler ile karşılaştırılması Şekil 5.1.'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Deney sonuçlarının analitik formüllerle karşılaştırılması

Gerek deneylerden ve gerekse literatürde yer alan analitik formüllerden elde edilen sonuçların birbiri arasındaki değişimi aşağıdaki tabloda verilmektedir. Söz konusu tabloda deney sonuçları referans alınmış, TS EN 1996-1-1 (2006) ve Tomazevic vd.'nin (1993) önermiş oldukları formüllerdeki değişimler yüzde olarak ifade edilmiştir. Buna göre, hem tek kenetli hem de çift kenetli olan modellerin kenet genişlikleri 10 mm olanları (M11, M21, M31, M41, M51 ve M61 modellerinde) analitik formüller sonucunda bulunan kayma dayanımlarındaki değişim ortalama %10 civarında seyretmektedir. Buna karşın geriye kalan modellerde (M12, M22, M32, M42, M52 ve M62 modellerinde) ortalama olarak %50 civarında bir değişim söz konusudur. Değişimlerin en fazla meydana geldiği formül Tomazevic vd.'nin (1993) önermiş olduğu formüldür ve M32 modelinde %107 oranında bir sapma göstermiştir. TS EN 1996-1-1 (2006) standardında yer alan formül ile hesaplanan duvar modellerinden M12 modeli %29'luk bir değerle sapma göstermiştir. Burada yer alan değerler ve sapma

miktarları sadece çalışma kapsamında deneyleri yapılan duvarlar için geçerlidir. Buna karşın, kenet genişliğinin artması sonucunda Tomazevic vd.'nin (1993) önermiş olduğu formülden elde edilen sonuçların bu tür metal bağlantı elemanlı taş yığma duvarlar için gerçekten uzaklaşıldığı görülmüştür. Bunun yanında söz konusu Türk Standardındaki bağlantı yardımıyla bulunan kayma dayanım sonuçları, deney sonuçlarına oldukça yakın çıkması metal bağlantı elemanları kullanılarak üretilen taş yığma duvarların kayma dayanımları için bir gösterge teşkil edebilir.

Çizelge 5.1. Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması

Model No	Deney Sonuçları (MPa)	TS EN 1996-1-1 (2006)		Tomazevic vd. (1993)	
		Sonuçları (MPa)	Değişim (%)	Sonuçları (MPa)	Değişim (%)
Referans	18,2	14,5	%20 azalmış	22,3	%22 artmış
M11	41,8	41,1	%1,5 azalmış	38,0	%9 azalmış
M12	30,5	39,4	%29 artmış	54,9	%80 artmış
M21	47,4	43,4	%8 azalmış	42,3	%10 azalmış
M22	35,5	41,9	%18 artmış	63,4	%78 artmış
M31	51,9	45,3	%12 azalmış	46,5	%10 azalmış
M32	34,6	42,6	%23 artmış	71,8	%107 artmış
M41	40,1	42,2	%5 artmış	50,7	%26 artmış
M42	36,3	41,7	%14 artmış	59,1	%62 artmış
M51	51,9	46,0	%11 azalmış	52,9	%2 artmış
M52	43,6	44,6	%2 artmış	63,6	%45 artmış
M61	51,1	46,0	%9 azalmış	54,9	%7,5 artmış
M62	45,9	45,7	%0,4 azalmış	67,5	%47 artmış

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tüf taşlarını bağlayan metal bağlantı elemanları hali hazırda farklı tür tarihi yapılarda kullanılmıştır. Bununla birlikte bu bağlantı elemanları hakkında literatürde oldukça az miktarda çalışma bulunmaktadır. Çalışmada, metal bağlantı elemanları olan kenet ve zıvana malzemesinin kesme taş duvarlardaki kayma davranışına katkıları araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan numuneler deneysel olarak incelenmiş, konuya ilişkin kaynak taraması yapılmıştır. Deneysel çalışmanın verilerinden elde edilen sonuçlar yukarıda değerlendirilmiştir. Deney sonuçları genel olarak aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerdeki sonuçlar, kenet ve zıvana ile taş duvarlara uygulanacak yapım tekniğinin verimli bir şekilde kullanılabileceğini doğrulamaktadır.
2. Bu çalışmada elde edilen verilerden varılan temel sonuç: kenet ve zıvana ile yapılan uygulamaların, yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı olan duvarların kayma dayanımını yüksek oranlarda arttırdığı, normal şartlarda yapılan bu uygulamaların yapının deprem performansını artıracağını göstermektedir.
3. Metal bağlayıcı olmayan takviyesiz duvarlarda, duvar elemanları ve harç arasındaki aderansın zayıf olmasına bağlı olarak, önemli miktarda deformasyon ve hasarlar meydana gelmiştir. Kenet ve zıvanalar, iki bitişik duvar elemanın sürekliliğini sağlamaktadır.
4. Referans duvardaki yatay ve düşey derzlerinde artan çatlaklarla göçme oluşmuştur. Bunun sonucunda, ani göçme meydana gelmiştir. Metal bağlantı elemanlı, kesme taş duvar modellerinde de yatay ve düşey derzlerinde göçmeler oluşmuştur. Metal bağlantı elemanlı taş duvarların gerilme-şekil değiştirme diyagramlarına göre, sıfıra kadar artan bir şekilde gevşeme olmuştur.
5. Kenet ve zıvanaların tek sıra, çift sıra, ayrık veya birleşik olarak uygulanan duvar modellerinde bu malzemeler donatı etkisi göstererek duvarların parçalanmasını önlediği ve hasar miktarını azaltıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

6. Kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanlarının, kesme gerilmeleri altındaki tuf taşı duvarların kesme dayanımları üzerinde olumlu etkisi vardır. M11, M21, M31, M41, M51 ve M61 duvarlarının kesme dayanımlarında, referans duvara göre %150-160 oranında artış olmuştur. M12, M22, M32, M42, M52 ve M62 duvar modellerinde bu oran yaklaşık %84-130 arasındadır. Bu duvarlar arasındaki temel farklılık kenetlerin genişliğidir. M11, M21, M31, M41, M51 ve M61 10 mm genişliğe sahipken M12, M22, M32, M42, M52 ve M62 20 mm genişliğe sahiptir. Taş duvarların kesme dayanımı, kenet genişliği azaldığında artmaktadır. Bunun temel sebeplerinden birisi, kenetler için açılan deliklerin yığma birimlerde kesit kaybına neden olmasıdır.

7. Deney numunelerinde ortalama olarak en yüksek dayanımı 10 mm tek sıra kenet çift sıra zıvana ile yapılan takviye göstermiştir. 10 mm tek sıra kenet ve çift sıra zıvanalı numuneler ile 10 mm çift sıra kenet ve tek sıra zıvanalı numuneler, 20 mm'lik uygulamalara göre daha fazla dayanım göstermektedir. 20 mm çift sıra kenet sistemleri daha maliyetli olduğu düşünülürse 10 mm tek sıra kenetli uygulama ile kıyaslandığında dayanım güçleri daha zayıf olduğundan, 10 mm tek sıra kenet daha ekonomik bir çözüm olabilir.

8. TS EN 1996-1-1'de (2006) önerilen analitik denklem, metal bağlantı elemanlı taş duvarların davranışının tahmini için geçerlilik gösterebilmektedir. Buna karşın Tomazevic vd. (1993) tarafından önerilen denklem, bu duvarların kayma davranışının tahmini için pek kullanışlı olmayacaktır. Çünkü denklem (5.1), A_t (takviye edilmiş çubukların alanı) taş duvarların kesme dayanımıyla doğrudan orantılıdır. Taş duvar modellerinin kayma dayanımı, metal bağlantı elemanlarının belirli bir değerin üstünde kullanılması durumunda azalacaktır. Çünkü kenetler, duvar panellerinin yatay kesitini zayıflatabilir. Kenetlerin kullanımına bu nedenle dikkat edilmelidir. Bu bağlamda duvar panelinin yatay kesiti ile deliklerin toplam alanı arasındaki oranının 0,1' den daha düşük olması önerilebilir.

9. Metal bağlantı elemanları, Türkiye'de ve dünyanın birçok yerinde yeni yapılan yığma taş yapılarda kullanılmamaktadır. Ancak bazı yeni yığma minarelerde, taş kemer köprüler üzerindeki yenileme işlerinde kullanımı mevcuttur. Bundan başka bu metal bağlantı elemanlarının kullanımına ilişkin herhangi bir mühendislik bilgisi veya standart/yönetmelik mevcut değildir. Bu tez çalışmasıyla birlikte özellikle ülkemizde dikkatleri bu konuya çekmek ana hedeflerden biridir.

10. Metal bağlayıcıların uygulamasında kurşun kullanılmalıdır. Çünkü, kurşunun taş duvarların sünekliğine katkıda bulunduğu belirtilebilir.

11. Bundan sonra bu konu ile ilgili yapılacak bilimsel çalışmalarda, farklı boyut ve tipteki kesme taştan örülen yığma duvarlar için farklı düzenekteki kenet ve zıvanalar kullanılarak davranışlar değerlendirilebilir. Ayrıca kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanlarının minare, kubbe ve tonozlarda kullanımlarıyla ilgili farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ASTM E 519-02, 2002. Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aş, F.E., 2007. Tarihi tuğlalar ile örülen duvarların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Augenti, N. ve Parisi, F., 2011. Constitutive modelling of tuff masonry in direct shear, Construction and Building Materials, 1612-1620.
- Binici, H., Arocena, J., Kapur, S., Aksoğan, O. ve Kaplan, H., 2010. Investigation of the physico chemical and microscopic properties of Ottoman mortars from Erzurum, Construction and Building Materials, 24, 1995-2002.
- Buchwald, V.F., 2005. Iron and steel in Ancient Times, Copenhagen: Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab.
- Churilov, S. ve Dumova-Javanska, A., 2013. In-plane shear behavior of unreinforced and jacketed brick masonry walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 50, 85-105.
- Çöğür, M.T., 2007. Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çördük, A., 2006. Yunan ve Roma mimarisindeki yapı teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- DBYBHY, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Demirtaş, M.B., 2006. Magnesia Artemis Tapınağı'nın teknik ve işçilik özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- DİE., 2000. Bina Sayımı, Türkiye İstatistik kurumu, Ankara.
- Doğan, A. ve Sert, H., 2011. Depremler ve kemerli taş köprü, Kültürel Mirasın Depremden Korunması Konferansı, Antalya, WCCE-ECCE-İMO Ortak Konferansı 2.
- Döndüren, S.M., 2008. Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Gedik, Y.H., 2008. Tarihi yığma yapıların analizi, onarım ve güçlendirilmesi: Mehmet Ağa Camii örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Işıkdag, B. ve Topçu, İ.B., 2013. The effect of ground granulated blast-furnace slag on properties of Horasan mortar, Construction and Building Materials, 40, 448-454.

- Kara, H.G., 2009. Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri güvenliğinin incelenmesi, onarım ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- KGM, 2010. Onarımı tamamlanan bazı tarihi köprüler envanteri çalışması, Tarihi Köprüler Şubesi Müdürlüğü, Köprüler Dairesi Başkanlığı, Ankara, 32 s.
- Koçak, Y., 2013. Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Kourkoulis, S.K. ve Pasiou, E.D., 2009. Epistyles connected with “I” connectors under pure shear. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 2, 2, 81-99.
- Kuşüzümü, K.H., 2010. İstanbul minareleri, restorasyon konservasyon arkeoloji ve sanat yıllığı, Vakıflar Genel Müdürlüğü, 1, 57-66.
- Marcari, G., Manfredi, G., Prota, A. ve Pecce, M., 2007. In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP, *Composites: Part B*, 38, 887-901.
- Onar, E., 2007. Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztaş, V., 2009. Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ural, A., 2009. Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Papadopoulos, K.A., 2006. The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the temple of Apollo Epikourios, *Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction*, , Eds with D’Ayala & Fodde, New Delhi.
- Şeker, Ş., 2011. Mimar Sinan camilerinin statik ve dinamik yükler etkisindeki davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Toker, S. ve Ünay, A.İ., 2004. Kemerli taş köprülerin matematiksel modellemesi ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, Ankara, 17(2), 129-139.
- Tomazevic, M., Lutman, M. ve Bosiljkov, V.Z., 2006. Robustness of hollow clay masonry units and seismic behaviour of masonry walls, *Construction and Building materials*, 20, 1028-1039.
- Tomazevic, M., Lutman, M. ve Petrovic, L., 1993. In plane behavior of reinforced masonry walls subjected to cyclic lateral loads. Report to the ministry of science and technology of republic of Slovenia, parts 1 and 2. Ljubljana, Slovenia.
- Tomlinson, R.A., 2012. Yunan mimarlığı, Çeviren: Rıfat Akbulut, Homer Kitabevi, İstanbul.

- Toumbakari, E.E., 2008. The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the orthostate of the northern wall, Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D'Ayala & Fodde, New Delhi.
- TS EN 1015-11, 2000. Kâgir harcı-deney metotları-bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1996-1-1, 2006. Eurocode 6: Kâgir yapıların tasarımı-bölüm 1-1: Donatılı ve donatısız kâgir yapılar için genel kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 771-6, 2007. Kâgir birimler-özellikleri-bölüm 6: Doğal taş kâgir birimler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1, 2012. Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-6, 2004. Kâgir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 6892-1, 2004. Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, E., 2010. Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul.
- Yılmaz, P., 2006. Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan USLU

Doğum Yılı : 1979

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

**Lisans : Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği, 2001**

İletişim Bilgileri

Adres : MSB Bakanlıklar/Ankara

Telefon : 0312 402 31 74

E-posta : serkan197979@hotmail.com

