

**FARKLI DUVAR VE HARÇ MALZEMELERİ İLE ÜRETİLEN
DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Behçet DÜNDAR

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2013
ANKARA**

Behçet Dündar tarafından hazırlanan FARKLI DUVAR VE HARÇ MALZEMELERİ İLE ÜRETİLEN DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğiyle Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

.....

Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı, G.Ü

Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Doç. Dr. İlhami DEMİR

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, K.Ü

Yrd. Doç. Dr. Kürşat YILDIZ

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 11.10.2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Behçet DÜNDAR

FARKLI DUVAR VE HARÇ MALZEMELERİ İLE ÜRETİLEN DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(Doktora Tezi)

Behçet DÜNDAR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2013

ÖZET

Duvarların dayanım özelliği, duvardaki örgü malzemelerinin dayanımı ile duvarın bir bütün olarak dayanımına bağlıdır. Duvarların boşluklu veya boşluksuz oluşu, örgü harcı, derz kalınlıkları ve örgü biçimi gibi faktörler duvarların mekanik davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, aynı geometrik özelliklere sahip 900x900 mm boyutlarında 18 adet duvar numunesi üretilmiştir. Duvar örülmesi işinde bağlayıcı malzeme olarak, takviyeli ve polipropilen lifli harç kullanılmıştır. Kullanılan harcın hacimsel olarak karışım oranları, kum:çimento:kireç=6:1:1 şeklindedir. Duvar numunelerinin üretilmesinde harman, yığma tuğla ve bimsblok örgü malzemesi olarak seçilmiştir. Duvar numuneleri diyagonal yüklemeye tabi tutularak kayma dayanımları belirlenmiştir. Numunelerden yatay ve düşey doğrultudaki deplasman değerleri alınmıştır. Üretilen deney numunelerinin yük/deplasman grafikleri, duvarların göçme biçimleri, kayma dayanımı, rijitlik modülü, enerji tüketme kapasitesi belirlenmiştir. Deney numunelerinde gözlenen davranışlar ve oluşan çatlaklar incelenerek yük-şekil değiştirme grafikleri yorumlanmıştır. Duvar numunelerinin genelinde oluşan göçme, derz boyunca oluşan diyagonal çatlakların oluşması ve örgü malzemesi ile harç ara yüzeyinden düşeyde duvar numunesinin ikiye ayrılmasıyla meydana gelmiştir. Lifli harç kullanılarak örülen duvarların kayma gerilmesi, takviyeli harçla örülen duvarların kayma gerilmesine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Örgü malzemesinin kesme

gerilmesine katkı sağladığı deney sonuçlarında gözlenmiştir. Duvar numunelerinin düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiğinin altına kalan alanların hesaplanması sonucu enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Enerji yutma kapasitesi en fazla olan numune yığma tuğla ve lifli harçla örülen duvar elemanlardır.

Bilim Kodu	: 714.1.143
Anahtar Kelimeler	: Duvar, tuğla, harç, kayma dayanımı
Sayfa Adedi	: 86
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

**DEFFERENT WALLS AND MORTAR MATERIALS PRODUCED
WITH DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WALLS**

(Ph. D.Thesis)

Behçet DÜNDAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2013

ABSTRACT

The strength properties of walls depend on the strength of masonry brick and the strength of the wall as a whole. The factors, such as type of brick, mortar, wall pointing and bond pattern directly effect on mechanical behavior of masonry panels. In this study, 18 masonry samples have been built which all have 900x900 mm geometrical dimensions. In the bricklaying process, Polypropylene-fibre-reinforced mortars have been applied as binding material. Volumetric proportion of the mortar is sand:cement:lime=6:1:1. In the construction of the wall samples, hollow clay brick, solid clay brick and pumice brick (blockbims) were selected as masonry materials. The wall samples have been processed diagonal compression to determinate the shear strength. The horizontal and vertical displacement values have been taken from the specimens. Load-displacement diagram of the built samples, collapse form of the walls, shear strength, modulus of rigidity, energy consumption capacity have been determined. Load-displacement diagrams have been interpreted by analyzing observed behavior of the test specimens and emerged cracks. Collapse failure if the majority of wall samples have occurred on formation of diagonal cracks along the joint and sample was divided into two parts from vertical direction between brick and interface of mortar. Being observed that increase in shear stress of walls, which are built using fibre-reinforced mortar is much more than increase in shear stress of walls, which are built using reinforced

mortar. As a result of the experiment it is observed that wall materials contribute to shear stress. Energy absorption capacity has been calculated as a result of calculation about the areas which is below from the vertical load-horizontal displacement diagram. The sample which has the highest energy absorption capacity is wall materials those are built with hollow brick and reinforced mortar.

Science Code : 714.1.143
Key Words : Wall, brick, mortar, shear stress
Page number : 86
Adviser : Assist.Prof. Dr. Hanifi TOKGÖZ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana rehberlik eden, yardım ve katkılarıyla bana destek olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ'e, ayrıca laboratuvar çalışmalarında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Can'a, yine çalışmanın her aşamasında tecrübelerinden yararlandığım çok değerli hocalarım Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ ve Prof. Dr. Ali İhsan UNAY'a teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Duvarlar	4
2.1.1. Duvarların tanımı	4
2.1.2. Duvar çeşitleri	6
2.1.3. Duvar örgü çeşitleri.....	10
2.2. Duvar örme işlerinde kullanılan örgü malzemeleri	13
2.2.1. Duvar malzemeleri ile ilgili önceki çalışmalar	14
2.3. Duvar harçları.....	17
2.3.1. Bağlayıcı malzemeye göre harçlar	17
2.3.2. Üretildiği yere göre harçlar	18
2.3.3. Kullanıldığı yere göre harçlar	19
2.3.1. Duvar harçları ile ilgili önceki çalışmalar	21

Sayfa

2.4. Duvarlarda kayma dayanımı	23
2.4.1. Duvarlarda kayma dayanımı ile ilgili önceki çalışmalar.....	23
2.5. Duvarlarda basınç dayanımı	27
2.5.1. Duvarlarda basınç dayanımı ile ilgili önceki çalışmalar	29
3. MALZEME VE YÖNTEM	31
3.1. Kullanılan Malzemeler	31
3.1.1. Duvar örgü malzemeleri.....	31
3.1.2. Harç yapımında kullanılan malzemeler	34
3.1.3. Duvar yapımında kullanılan harçlar	36
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Duvar deney numunelerinin kodlanması	38
3.3. Takviyeli Harcın Hazırlanması	39
3.4. Polipropilen Lifli Harcın Hazırlanması	39
3.5. Duvar Numunelerinin Hazırlanması	39
3.5.1. Duvar örgüsünde kullanılan örgü türü	40
3.5.2. Harman tuğla ile duvar örülmesi.....	41
3.5.3. Yığma tuğla ile duvar örülmesi.....	42
3.5.4. Bimsblok ile duvar örülmesi	42
3.5.5. Şekil değiştirme ölçerlerin montajı	43
3.6. Duvarlarda enerji tüketimi.....	44
3.7. Duvarlarda Kayma Dayanımı.....	45
3.8. Deney Düzeni	45
3.9. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	47

Sayfa

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME.....	48
4.1. Deneysel Bulgular	48
4.2. Deplasman Değerleri	48
4.3. Çatlak Yüğü Değerleri.....	57
4.4. Kayma Dayanımı.....	59
4.5. Numunelerin Göçme Biçimleri	62
4.5.1. Harman tuğlası ile örülen duvarların göçme biçimi.....	62
4.5.2. Yığma tuğla ile örülen duvarların göçme biçimi	64
4.5.3. Bimsblok ile örülen duvarların göçme biçimi.....	66
4.6. Rijitlik Modülü	67
4.7. Enerji Tüketme Değerleri	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
5.1. Sonuçlar.....	70
5.2. Öneriler.....	71
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	79
EK - 1 Deney resimleri	80
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Numunelere ait en büyük yük ve kesme kuvvetleri değerleri.....	22
Çizelge 2.2. Duvar boyunun yüksekliğe oranı 0.6 olan bloklarla f_k değerleri.....	28
Çizelge 2.3. Duvar boyunun yüksekliğe oranı 2-4 arasında olan f_k değerleri	28
Çizelge 2.4. Deneylerde kullanılan yığma birimlerin boyutları.....	29
Çizelge 3.1. Harman tuğlasının teknik özellikleri.....	32
Çizelge 3.2. Bimsbloğun teknik özellikleri.....	33
Çizelge 3.3. Yığma tuğlanın teknik özellikleri	33
Çizelge 3.4. CEM I 42,5 R tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri	34
Çizelge 3.5. Kullanılan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri	35
Çizelge 3.6. Kullanılan agreganın granülometrik analiz değerleri	35
Çizelge 3.7. Polipropilen lifin teknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.8. Duvar harcı karışımları (hacimsel olarak)	37
Çizelge 3.9. Takviyeli harcının mekanik özellikleri	37
Çizelge 3.10. Polipropilen lifli harcın mekanik özellikleri	37
Çizelge 3.11. Duvar numunelerinin sembol ve isimleri.....	38
Çizelge 4.1. Duvar numunelerin en fazla yüke karşı kesme çatlakları	58
Çizelge 4.2. Deney numunelerinin en büyük yüke karşılık gelen kesme kuvveti	61
Çizelge 4.3. Deney numunelerinin maksimum yüke karşılık gelen kesme modülleri	62
Çizelge 4.4. Numunelerin rijitlik modülleri.....	68
Çizelge 4.5. Duvar numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri.....	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Düz örgü ile örülmüş duvar	10
Şekil 2.2. Kilit örgü ile örülmüş duvar.....	11
Şekil 2.3. Şaşırtma (blok) örgü ile örülmüş duvar	11
Şekil 2.4. Düz kılıç örgü ile örülmüş duvar	12
Şekil 2.5. Katona örgü ile örülmüş duvar	13
Şekil 2.6. Tuğlalar için yükseklik-genişlik oranına karşılık prizma mukavemeti....	29
Şekil 3.1. Harman tuğlası ile örülmüş duvar.....	41
Şekil 3.2. Yığma tuğla ile örülmüş duvar	42
Şekil 3.3. Bimsblok ile örülmüş duvar.....	43
Şekil 3.4. Duvar kayma dayanımı yükleme durumu.....	47
Şekil 4.1. HT numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri.....	49
Şekil 4.2. HT numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri	50
Şekil 4.3. HL numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri.....	51
Şekil 4.4. HL numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri	51
Şekil 4.5. YT numunelerinin düşey yük -şekil değiştirme grafikleri.....	52
Şekil 4.6. YT numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri	53
Şekil 4.7. YL numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri.....	54
Şekil 4.8. YL numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri	54
Şekil 4.9. BT numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri	55
Şekil 4.10. BT numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri	56
Şekil 4.11. BL numunelerinin düşey yük / gerilme -şekil değiştirme grafikleri.....	56

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. BL numunelerinin gerilme -şekil değiştirme grafikleri	57
Şekil 4.13. Duvar numunelerine ait ortalama en büyük yük değerleri grafiği	59
Şekil 4.14. Alan hesabında kullanılan numune ölçüm yerleri	60
Şekil 4.15. Harman tuğlası ile örülen duvarların çatlak desenleri	64
Şekil 4.16. Yığma tuğla ile örülen duvarların çatlak desenleri	65
Şekil 4.17. Bimsblok ile örülen duvarların çatlak desenleri	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Şekil değiştirme ölçerlerin montajı ve deney düzeneği	44
Resim 3.2. Çelik başlığın üç boyutlu şematik resmi	45
Resim 3.3. Yükleme düzeneğinin üç boyutlu şematik gösterimi	46
Resim 4.1. Harman tuğlası ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri	63
Resim 4.2. Yığma tuğla ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri	65
Resim 4.3. Bimsblok ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simge ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklamalar
A_n	Duvar kesit alanı
F_{max}	Ulaşılan en büyük yük (N)
f_k	Karakteristik basınç mukavemeti
G	Rijitlik Modülü
h	Numunenin yüksekliği (mm)
ΔH	Yatay deplasman (mm)
P	Düşey yük (N)
S_s	Kayma Gerilmesi
t	Numunenin toplam kalınlığı (mm)
w	Numunenin genişliği (mm)
γ	Kayma şekil değiştirme
ΔV	Düşey deplasman (mm)
Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASCE	American Society of Civil Engineer
BT01-BT02-BT03	Takviyeli harç ile örülen bimsblok duvarlar
BL01-BL02-BL03	Lifli harç ile örülen bimsblok duvarlar
CEM I	Portland Çimentosu
DK	Dakika
HD	Yüksek birim hacim kütleline sahip kagir birim
HT01-HT02-HT03	Takviyeli harç ile örülen harman tuğlalı duvarlar
HL01-HL02-HL03	Lifli harç ile örülen harman tuğlalı duvarlar

Kısaltmalar**Açıklama****LD**

Düşük birim hacim kütlesine sahip kagir birim

PÇ

Portland Çimentosu

TS

Türk Standardı

SN

Saniye

YT01-YT02-YT03

Takviyeli harç ile örülen yığma tuğlalı duvarlar

YL01-YL02-YL03

Lifli harç ile örülen yığma tuğlalı duvarlar

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, barınma ihtiyacını karşılamak için yapmış olduğu binalarda duvar örme işi için çeşitli örgü ve bağlayıcı malzemeler kullanmıştır. İlk olarak ağaç dallarından ve ağaç kütüklerinden yapılan duvarlar inşa edilmiş, daha sonra yapı sektörünün gelişmesi ve ilerleyen teknolojiyle birlikte, farklı malzemeler duvar yapımında kullanılmaya başlanmıştır.

Öncelikle duvarlar, yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmış, daha sonra betonarme yapıların artmasıyla taşıyıcı özelliği olmayan bölme duvar şeklinde kullanılan yapı elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bundan dolayı karkas yapılarda duvarlar, genellikle dış ve iç ortamın bağlantısını kesme ve iç mekânları birbirinden ayırma işlevi taşımaktadır.

Yatay ve düşey yükleri karşılama gibi bir özelliğe sahip olan duvarlar, bimsblok, yığma tuğla, harman tuğlası ve gazbeton gibi örgü elemanlarının bağlayıcı bir görevi olan harçların kullanılarak örülmesiyle meydana gelen bir düşey yapı elemanıdır.

Duvar örgü malzemesi olan tuğlalar, çok eski çağlardan bu yana yapı sektöründe çok sık kullanılan yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. Tuğla, ucuz ve kolay üretilmesi, ayrıca diğer malzemelere göre üstün özelliklerinin olması nedeniyle kullanımı çok yaygındır. Günümüzde tuğlaya alternatif yeni malzemeler üretilmiş olsa da, sahip olduğu özellikler ve üstünlükler nedeniyle tercih edilen duvar örgü malzemelerinden biridir. Bu nedenle duvar örgüsünde kullanılan tuğlaların özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Tuğlalar, genellikle taşıyıcı duvarların yapımında kullanılan duvar örgü malzemesidir. Tuğla, kil veya killi topraktan, kum veya diğer toz katkı maddeleri katılarak veya katılmaksızın seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilir. Tuğlalar düşey ve yatay delikli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Düşey delikli tuğla, oturma yüzeyine dik doğrultuda birimi bir yüzden karşı yüze tamamen kateden, tasarlanarak oluşturulmuş bir veya daha çok sayıda boşluklu kil

kâgir birimdir. Yatay delikli tuğla ise, oturma yüzeyine paralel doğrultuda, birimi bir yüzden karşı yüze tamamen kateden, tasarlanarak oluşturulmuş bir veya daha çok sayıda boşluklu kil kâgir birimdir [1].

Yapılarda hafif blok elemanlarının kullanılması neticesinde yapının kendi ağırlığında azalma meydana geldiğinden, yapının taşıyıcı sistem ve temel masraflarında ciddi bir miktarda düşüş sağlanacaktır. Hafif bloklar, ısı yalıtımına da sahip olmaları nedeniyle ısınma masraflarında azalma sağlar. Üretilen bloklar, ağırlıklarının az olmasından dolayı taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları ve kullanılan donatı miktarlarının azalmasına sebep olacağından ekonomik bir malzemedir [2].

Duvar yapımında kullanılan harç içerisindeki çimento veya kirecin miktarı, agreganın tane dağılımı ve özellikleri ile karışım suyu miktarı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen önemli unsurlardır. Bunun yanı sıra duvar harcına kür uygulanması ve harcın sertleşme süresi de mekanik dayanımı değiştiren etkenler arasındadır. Harcı oluşturan bileşimler arasında sadece çimento katılması harcın dayanımının artmasını sağlar. Harcın içerisine sadece kireç katılması, harcın şekil değiştirme yeteneğinin artmasına neden olmaktadır. Harç içerisinde kullanılan belirli oranlarda çimento ve kirecin birlikte kullanılması ise harcın, hem dayanım hem de şekil değiştirme yeteneğinin artmasına neden olur. Duvar inşaatında kullanılan harçlar, yatay ve yataya yakın bir tabaka halinde iken taş ve tuğlaların maruz kaldığı kuvvetleri bir sıradan öbür sıraya nakletmek, ayrıca harç düşey veya düşeye yakın bir durumda iken taş ve tuğlaları birbirine bağlanmasını sağlamaktır. Bu fonksiyonlarını yerine getirmesi için harcın; işlenebilme ve plastik özeliğine sahip olması, doluluk oranının yüksek olması, geçirimsiz olması ve istenen mukavemete sahip olması gerekir [3].

Yapım tekniğine uygun olarak inşa edilmiş duvarlarda, duvar örme işinde kullanılacak çimento, sönmüş toz kireç, su ve bunların karışımından oluşacak duvar harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin çok iyi olması gerekir.

Bu çalışmanın amacı, farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özelliklerini belirleyerek uygun olan duvar örgü malzemesi ile bağlayıcı malzemeyi belirlemektir. Bu nedenle farklı duvar ve harç malzemesi ile üretilen duvar numuneleri kayma dayanımı deneyine tabi tutularak deney sonuçları incelenerek değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Duvarlarda taşıyıcı veya bölme amaçlı kullanılan tuğla, beton, gazbeton, yapay ve doğal taş yapı malzemeleri kagir birimler arasında yer almaktadır. Bu birimleri birbirlerine bağlayan harçlar ise, kireç, çimento, takviyeli ve lifli harç olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri duvarların davranışını etkilemektedir. Bu nedenle duvar yapımında kullanılan bağlayıcı malzeme ile örgü malzemesinin istenilen özellikleri taşımasında malzemenin seçimi önemlidir.

Konu ile ilgili yapılan kaynak araştırmaları dört ana başlık altında toplanmıştır. İlk olarak genel olarak duvarlar hakkında bilgiler verilmiş, ardından duvarlar ile ilgili olarak yapılmış bilimsel çalışmalar özetlenmiştir.

2.1. Duvarlar

2.1.1. Duvarların tanımı

Kiriş, hatıl ve döşeme gibi üst yapı elemanlarından gelen yükleri temele aktaran veya binalarda mekanları birbirinden ayıran, mekanları çevreleyen ve yapıyı dış tesirlere karşı koruyan düşey yapı elemanlarına duvar denir [4].

Yatay ve düşey yüklerin etkisindeki bir yapıda duvarların, yapının yatay rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı çeşitli çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Sistem rijitliğini artıran duvarların, sistemin periyodunu azalttığı, sistemin deprem sırasındaki dinamik davranışını değiştirdiği ve yapının enerji yutma kapasitesini artırdığı da bilinmektedir. Duvarlar, rijitliğin ve enerji yutma kapasitesin artmasına, plan ve kesitteki yük dağılımının değişmesine neden olan yapı elemanıdır. Deprem kuvvetlerinin bir kısmı duvarların yük taşıma kapasitesine ulaşmasına kadar duvar elemanları tarafından taşınır ve yapı taşıyıcı sistemine gelen yük duvarlar sayesinde azalma gösterir [5].

Duvarların, düşey ve yatay yüklerin taşınmasında etkili oldukları yapılan çeşitli deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Yatay yükler duvarlarda mekanik etkiye neden olurlar. Deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler altında, duvarda kesme kuvvetleri ve momentler meydana gelir. Bu nedenle, duvarlarda oluşan kırılma, kayma gerilmesinin neden olduğu eğik asal gerilmeler etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır [6].

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde duvarlar, yapı taşıyıcı sisteminde yük taşıma kapasitesi, süneklilik, rijitlik, tüketilen enerji miktarlarını değiştirecek etkide bulunmaktadır [7].

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, yatay yüklere karşı duvar ve çerçevenin ortak hareketinin, çerçeve ve duvarın ayırık hareketi toplamından daha fazla direnç gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kesme kuvvetinin etkisiyle duvar örgü elemanlarında gerilim dağılır. Neticede kesme mukavemetine ulaşan elemanda bozulmalar meydana gelir [8].

Kompozit bir malzeme olan tuğla duvarın dayanımını, bileşenler olan sadece tuğla ve harcın dayanımlarını dikkate alarak açıklamak doğru değildir. Derzlerin ince veya kalın oluşu ya da tuğla yüksekliğinin derz kalınlığına oranının büyük veya küçük oluşu tuğla duvarın dayanımını etkilemektedir. Harçların dayanımı ise, kullanılan malzemenin granülometrisine, işçiliğe ve su/çimento oranına bağlıdır. Harç dayanımının artması duvar dayanımı üzerinde belli bir harç dayanımından sonra etkili olmaktadır. Harç dayanımındaki artış sonrasında duvarda aynı tuğla kullanılması duvar dayanımından fazla bir artış göstermezken, aynı dayanımdaki harç ile yüksek dayanımlı tuğla kullanıldığında duvar dayanımında arttığı gözlenmiştir [9].

Deneysel çalışmada, kullanılan harman tuğlasının içi dolu olduğundan dolayı iki tuğla arasındaki tüm yüzey boyunca harç konulabilir olması duvarın mekanik dayanımında önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu malzeme ile yapılmış duvarların

yatay yüke dayanımı ve rijitliğe katkısı yüksektir. Ancak harman tuğlasının küçük boyutlara sahip olması duvar örme işçiliğini artırmaktadır [10].

Gevrek malzemelerden yapılan duvarlarda, yük etkisi altında ani göçmeler oluşmakta, taşıma limitini aştıkları anda ani çatlamlar ve kırılmalar meydana gelmektedir [11].

Yapı sistemleri arasında yer alan yığma yapılar karmaşık bir yapıya sahiptir. Yığma bir yapının davranışını, yapıyı oluşturan malzemelerin ve bağlayıcı olarak kullanılan harcın kimyasal ve mekanik özellikleri etkilemektedir. Duvar yapımında kullanılan her malzemesinin davranışı birbirlerinden farklı olduğundan yığma yapılar hakkında genel bir kanı oluşturmak çok zordur [12].

Konu ile ilgili yapılan kaynak araştırmaları kapsamında duvar yapımında kullanılan örgü malzemeleri ve harçlar hakkında yapılmış çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

2.1.2. Duvar çeşitleri

Duvarlar yük taşıma durumuna, bulundukları konuma, örüldükleri malzemeye ve yapıldığı yere göre gruplandırılabilirler.

Yük taşıma durumuna göre duvarlar

Yük taşıma durumuna göre duvarlar ikiye ayrılır. Bunlar taşıyıcı duvarlar ve bölme (taşıyıcı olmayan) duvarlardır.

Taşıyıcı duvarlar

Bir üst duvar yükü ile gerek katından ve gerekse diğer katlardan gelen çatı ve döşeme yüklerini taşıyarak temele aktaran duvarlara taşıyıcı duvarlar denir. Betonarme karkas binalarda yük taşıma görevi iç ve dış duvarların üzerinden

alındığından yalnız yığma olarak yapılan binaların taşıyıcı duvarları bu isim ile anılır.

Bölme duvarlar

Bölme duvarlar genel olarak karkas yapılarda kullanılırlar. Bu duvarların taşıyıcı rolleri olmadığından kolonlar ve kirişler arasındaki boşlukları doldurmak için kullanılır. Hafif olmaları boşluklu malzemeler seçilir. Bu durum aynı zamanda duvarların ısı ve ses geçirimsizliğini artırır.

Bulundukları konuma göre duvarlar

Yapıdaki yere göre duvarlar ikiye ayrılır. Bunlar iç duvarlar ve dış duvarlardır.

İç duvarlar

Yapı içinde alanları birbirinden ayıran duvarlardır.

Dış duvarlar

Yapı dışını çevreleyen ve dış ortam ile yapı içini birbirinden ayıran duvarlardır.

Örüldükleri malzemeye göre duvarlar

Duvarlar örüldükleri malzemesine göre kerpiç duvarlar, taş duvarlar, tuğla duvarlar, hafif blok duvarlar, panel duvarlar, beton ve betonarme duvarlar ve karma duvarlar olmak üzere sınıflandırılırlar.

Kerpiç duvarlar

Bu duvarlarda kullanılan kerpiç; balçık, kil vb. doğal gereçlerin; kıyılmış bitki, bitki kökü veya samanla karıştırılıp, suyla plastik kıvamda yoğrularak kalıplanması ve açık havada kurutulmasıyla elde edilir.

Taş duvarlar

Taş duvarlar, doğadan -taş ocaklarından- çıkartılan taşların, kurallarına göre örülmesiyle oluşturulur. Taş duvarlarda kullanılacak taşlar, taş ocaklarından kazma, manivela vb. el araçlarıyla veya patlayıcı madde kullanılarak çıkartılır. Ancak patlayıcı madde, taşın bünyesindeki oluşum tabaklarını ayrıştırabileceğinden, patlayıcı maddeyle çıkartılan taşlar, yüksek dayanım gerektiren duvarlarda kullanılmalıdır.

Tuğla duvarlar

Tuğla duvarlar, çeşitli şekil ve boyutta üretilen tuğlaların, bir bağlayıcı harçla örülmesiyle oluşturulur. Yapı sektöründe en çok kullanılan duvar örgü elemanları arasında yer alır.

Hafif blok duvarlar

Ses ve ısıya karşı yalıtımlı ve hafif olması istenen, yük taşımayan ya da az yük taşıyan yığma yapılarda veya iskelet yapıların iki kolonu arasında uygulanır.

Panel duvarlar

Duvar yapımında, hafif agregalı betondan yapılmış boşluklu duvar panelleri de kullanılmaktadır. Bu paneller, çelik donatısız ve düşey yönde boşluklu şekilde üretilir.

Beton ve betonarme duvarlar

Beton duvarlar, betonun taşıma gücünün yüksek olması nedeniyle, daha çok yığma olarak yapılan kagir binalarda ve istinat duvarlarında uygulanır. Betonun ses ve ısıyı geçirilmesi nedeniyle de genellikle bodrum ve temel duvarı olarak yapılır.

Karma duvarlar

Çeşitli amaçlarla, farklı cins kagir malzemeden duvar oluşturulabilir. Karma duvar, tuğla; beton briket vb gibi farklı malzemelerle örülebilir. Burada malzemelerden biri duvarın bir yüzünü, diğeri ise öbür yüzünü oluşturur. Bu iki tabaka da, birbirleriyle örgü kurallarına uygun şekilde bağlanarak örülmelidir.

Yapıldıkları yere göre duvarlar

Yapıldıkları yere göre duvarlar ikiye ayrılır. Bunlar yerinde yapılan duvarlar ve hazır (önceden fabrikada yapılan) duvarlardır.

Yerinde yapılan duvarlar

Karkas yada yığma yapılarda yapının yapılma aşamasında örgü ve bağlayıcı malzemelerinin bir

Hazır duvarlar

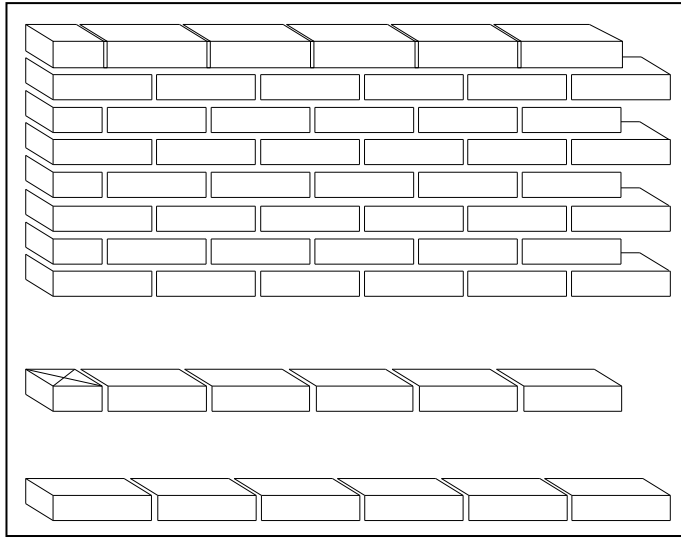
Duvarların daha önceden hazır (fabrikadan) üretilerek duvar yapım yerine getirilerek uygulanan duvar çeşididir.

2.1.3. Duvar örgü çeşitleri

Duvarlar, duvar örgü elemanı duvar sırasına belirli konumlarda yerleştirilen çeşitli örgü türlerinden oluşur. Bu örgü türleri düz örgü, kilit örgü, şaşırtma örgü, kılıç örgü ve katona örgü olmak üzere beşe ayrılırlar.

Düz örgü

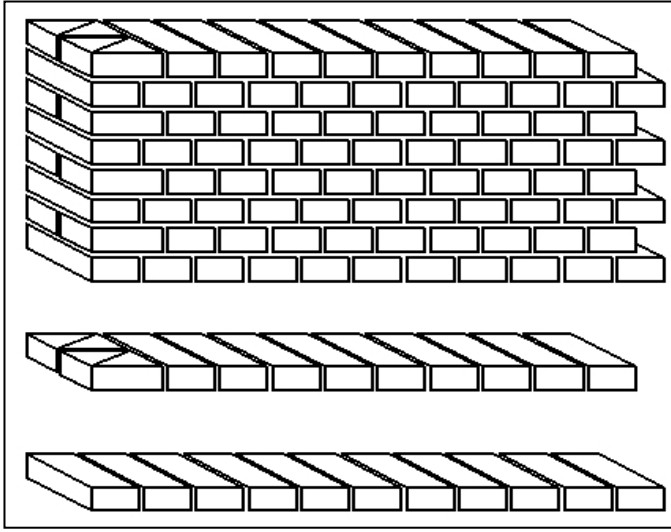
Düz örgü, düz dizilerin üst üste konulmasıyla oluşur ve köşelerin bağlanmasında yarım tuğla kullanılır. Şekil 2.1'deki gibi bu duvar örgü türü ile örülen duvarlarda duvar kalınlığı az olacağından taşıyıcı duvarlarda kullanılmaz.



Şekil 2.1. Düz örgü ile yapılmış duvar

Kilit örgü

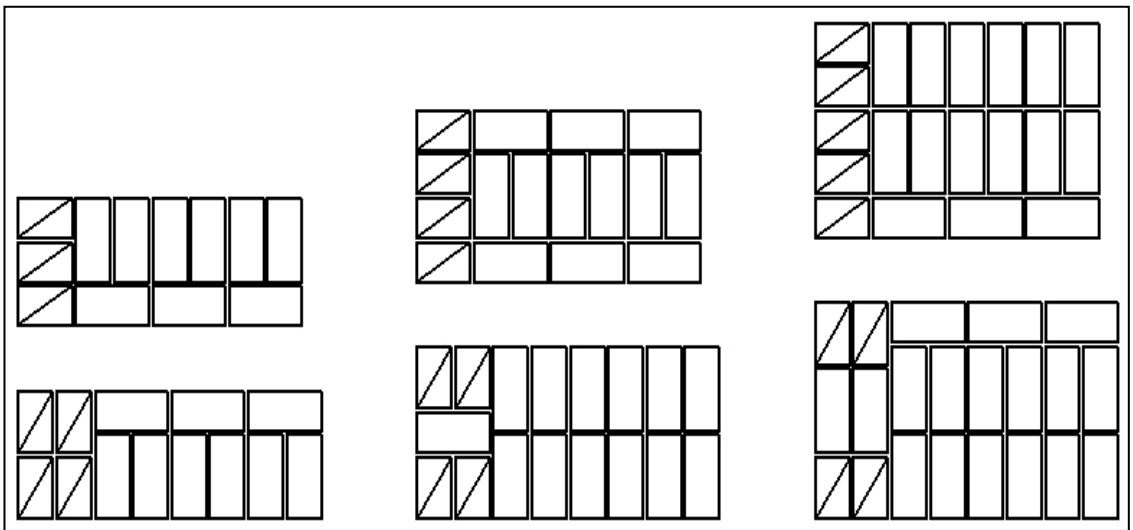
Kilit örgü, kilit dizilerin üst üste konulmasıyla oluşur. Yalnızca bir tuğla kalınlığındaki duvarlarda uygulanır. Birinci sıra, kilit dizi olarak örüldükten sonra ikinci sıra, baş tarafına iki adet üç çeyrek tuğla konarak bağlanır ve kilit dizi olarak Şekil 2.2'deki gibi devam eder. Böylece düşey derzler, birbirinden çeyrek tuğla kadar kaydırılmış olur.



Şekil 2.2. Kilit örgü ile örülmüş duvar

Şaşırtma (blok) örgü

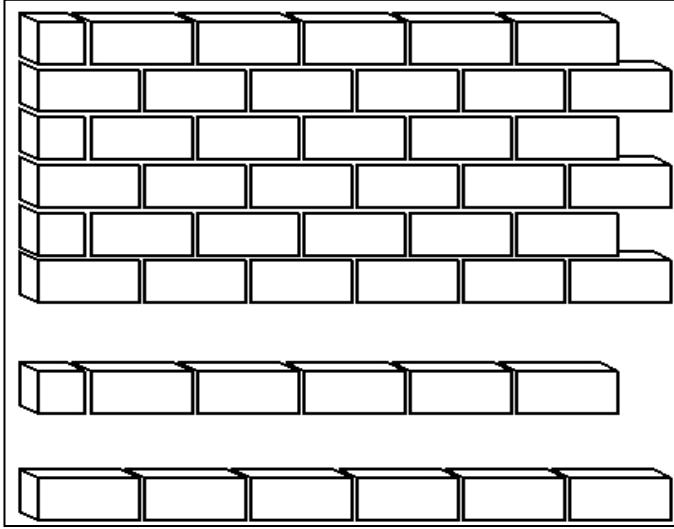
Şaşırtma örgü, bir sıra kilit dizinin üzerine iki düz dizinin yan yana konulmasıyla oluşur. (Şekil 2.3). Köşeler üç çeyrek tuğlayla bağlanır. Duvar kalınlığı en az 19 cm (bir tuğla boyu olup), 29 cm (1,5 tuğla), 39 cm (2 tuğla), 49 cm (2,5 tuğla ve 59 cm (3 tuğla) olarak yapılabilir.



Şekil 2.3. Şaşırtma (blok) örgü ile örülmüş duvar

Kılıç örgü

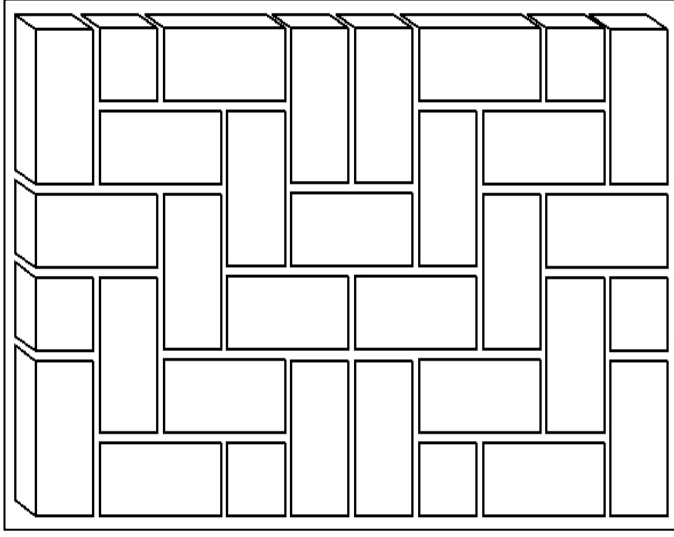
Kılıç örgü, kılıç dizilerin üst üste konulmasıyla oluşur. Duvar kalınlığı az olduğundan, çok küçük ve yük taşımayan bölme duvarı olarak veya başka bir duvar ya da döşeme ve bahçe yolu üzerine kaplama olarak uygulanır.



Şekil 2.4. Kılıç örgü ile örülmüş duvar

Katona örgü

Katona örgü, duvar örgü elemanları, düz kılıç örgüde olduğu gibi kılıcına konarak örülür (Şekil 2.5). Genelde dekoratif amaçla ve düz kılıç örgünün yapıldığı yerlerde yapılabilir.



Şekil 2.5. Katona örgü ile örülmüş duvar

2.2. Duvar örme işlerinde kullanılan örgü malzemeleri

Duvarların örülmesinde aşağıdaki malzemeler kullanılabilir:

1. Taş,
2. Tuğla,
3. Kerpiç,
4. Briket,
5. Gaz beton,
6. Alçı blok vb. gibi

Ayrıca duvar oluşturmak maksadıyla alçı levha, beton levha, yonga levha gibi levhalar kullanılarak duvarlar yapılmaktadır. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan duvar malzemeleri olan yığma tuğla, harman tuğlası ve bimsblok hakkında bilgiler verilmiştir.

Duvar örme işinde kullanılan tuğlalar dolu veya delikli olarak çeşitli büyüklüklerde üretilmektedir. Taşıyıcı malzemeleri yığma yapı sisteminde kullanılan normal tuğlalar yığma blok tuğlalardır [13].

Tuğla yapımı için kullanılan ham madde kil veya şisttir. En fazla kullanılan kırmızı tuğla killi, %50'ye kadar kaolinit ve %5-10 demir oksit içerir. Islakken plastik durumda olan tuğla killi 950-1220 °C arasında pişirilince önemli derecede mukavemet kazanır [14].

Tuğlalar, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan tuğlalar olmak üzere ikiye ayrılır. Taşıyıcı tuğlalar, normal, harman, fabrika ve yığma blok tuğlalar olmak üzere çeşitli şekillerde üretilirler. Taşıyıcı olmayan tuğlalar ise normal tuğlalar (yatay delikli), karkas blok tuğlalar, kesikli harç tabakası sağlayan blok tuğlaları ve sıvanmayan blok cephe tuplaları gibi farklı türleri vardır [15].

Kullanılan tuğlaya harç dolgusu uygulamak için LD elemanlarda, kâgir birim delikleri düşey kanalların sürekliliği derzlerde de sağlanacak şekilde uygulanmalıdır. Harç dolgu için kanal LD elemanlarda, harç dolgu kanalının alanı en az 1500 mm² ve kanalın en küçük boyutu 30 mm olmalıdır. Bu elemanların boşluklarının oranı (LD birimler) düşey delikli kil kâgir birimlerde boşluk oranının belirlenmesinde, kavrama delikleri dikkate alınmalı ancak, harç cepleri ve sıva kılavuz yuvaları dâhil edilmemelidir Yapılarda duvar örgü malzemesi olarak kullanılan tuğlalar, TS EN 771-1 Standardı kapsamında değerlendirilmektedir. Bu tuğlalar standart da LD ve HD birimler olarak ikiye ayrılmıştır. LD birimler sıva ile veya başka şekilde korunmuş ve birim hacim kütlesi 1000 kg/m³'ten az olan tuğlalardır. HD birimler, sıva ile veya başka şekilde korunmamış tuğlalarla, birim hacim kütlesi 1000 kg/m³'ten fazla olan korunmuş tuğlalardır [1].

2.2.1. Duvar malzemeleri ile ilgili önceki çalışmalar

Delik biçimleri farklı ancak boşluk oranı aynı olan tuğlaların basınç dayanımı farklı olmaktadır. Aynı boşluk oranına sahip farklı boşluk şekillerinden oluşan tuğlalar üzerinde yapılan bir araştırmada delikler nedeniyle oluşan gerilme oranları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada dairesel deliğe sahip tuğlanın, delik oranlarının aynı olduğu kare ve dikdörtgen deliklere sahip tuğlalara göre daha yüksek mekanik dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır [16].

Bimsbloklarla yapılmış duvar bloklar genellikle boşluklu bir yapıya sahiptir. Blokların basınç dayanımları hem yapıldıkları agregaların gözenekli ve düşük yoğunluklu olması hem de blokların boşluklu olması nedeni ile çok düşüktür. Çoğu zaman bu değer $1,5-2,5 \text{ N/mm}^2$ arasındadır. Bu malzemeler ile yapılmış duvarların dayanımı ve rijitliğe katkısı sınırlıdır. Malzemenin hafif olması yapının ağırlığına olumlu bir katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, düşük dayanımlı olmaları hafif ve orta şiddetli depremlerde hasar görüp yıkılmalarına ve önemli boyutta onarım masrafı çıkmasına neden olabilir [10].

Erol yapmış olduğu deneysel çalışmada $755 \times 755 \text{ mm}$ boyutlarında sıvalı ve sıvasız olmak üzere 31 adet duvar numune üretmiştir. Numunelerin örgü işleminde yatay delikli tuğla kullanmıştır. Tuğla örgü işleminde kullandığı takviyeli harç karışım oranları 1:1:0,5:4,5 (su:çimento:kireç:kum) şeklindedir [17].

Bimsbloklar, boşluklu ve kenarları geçmeli yivli olarak boyutlandırılmasından dolayı uygulanmasında kolaylık sağlayan bir özelliğe sahiptir. Bimsblokların mekanik özellikleri, tuğlanın üretildiği toprağın cinsine, porozitesine, pişirilme sıcaklığına, üretim şekline, delik miktarına ve yerine, kenarların biçimine ve yükleme yönüne bağlıdır [18].

Capozucca yaptığı çalışmada, $630 \times 630 \times 50 \text{ mm}$ boyutlarında 1/3 ölçekli duvar numuneleri kullanılmıştır. Duvar numunelerinin birbirine bağlanması için takviyeli harç uygulanmıştır. Harç karışım oranları çimento, kireç, kum, 1:1:5 şeklindedir. Deneysel çalışmada, yük-sehim ilişkisi ve duvarların kesme yüzeyleri boyunca çatlak dağılımı sonlu elemanlar analizi ile elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [19].

Hafif beton blok elemanlar, enerjinin korunmasına olan gereksinim, depreme dayanıklılık, hafiflik, zaman ve işçilikten ekonomi sağlama vb. diğer yararlarından dolayı yapılarda kullanımı giderek artmaktadır. Hafif beton blok elemanlar, taşıma ve bölme amaçlı olarak duvar yapımında kullanılmak üzere hafif agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan harcın, kalıplara

sıkıştırılması ile elde edilen beton malzemelerdir. Dolu ve boşluklu olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Dolu bloklar tam dolu ve özel yarıklı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Boşluklular ise 1, 2, 3 ve 4 sıra olmak üzere dört tipe ayrılır [20].

Bimsbloğun yapı malzemesi olarak kullanılmasının birçok sebebi vardır. Bunlar blokların boşluklu bir yapıya sahip olması nedeniyle ısı yalıtım özelliğinin bulunması, bimsblokların boyutlarının büyük ve hafif olmaları nedeni ile hızlı bir şekilde duvar örülebilmesi, hafif olmasından dolayı binaya getireceği yüklerin azalması ve taşıyıcı sistemde malzeme tasarrufu sağlayabilmesi en önemli özellikleri arasında yer alır [21].

Kıvrak yapmış olduğu çalışmada, TS 2823 standardına uygun deney yapmıştır. Deney numuneleri üzerinde, şekil ve gönyeden sapma, boyutların ölçülmesi, birim hacim kütle deneyi, basınç mukavemeti deneyi ve ısı iletkenlik katsayısı deneyleri yapılmıştır [22].

Gündüz ve ark. yapmış oldukları çalışmada, genleşmiş perlit agrega katkılı bimsblok harcının, bu standarda uygun 5 sıra boşluklu bir duvar blok elemanının üretiminde getireceği avantajlar araştırılmıştır. 190x390x185 mm boyutlarında 5 sıra boşluklu ve lamda zıvanalı geometriye sahip duvar blok elemanının sağlayabileceği değerler bakımından bir değerlendirme yapılmıştır [23].

Kılıç yapmış olduğu deneysel çalışmada, 190x190x85 mm boyutlarında tuğla kullanılmıştır. Duvar numuneleri sıvasız ve sıvalı olarak üretilmiştir. Harç ve sıva karışımında kireç ve çimentonun kum ile karıştırılması ile oluşturulan takviyeli harç kullanılmıştır [24].

Harman tuğlası, oluşturulan tuğla hamurunun ilkel yöntemlerle kalıplarda biçimlendirilip, doğal yöntemlerle kurutulması ve harman yerindeki ocaklar da 600–800 C⁰'de pişirilmesi sonucunda elde edilir. Tuğlalarda basınç dayanımı, ocakların ilkel olması nedeniyle farklılıklar ve kalite düşüklüğü görülmektedir. Genellikle dolu

gövdeli deliksiz veya düşey delikli olarak standartta belirtilen boyutları 50x90x190 mm olarak üretilirler [25].

Taşıyıcı duvarlarda kullanılacak doğal ve yapay kâgir birimlerin en düşük basınç dayanımı, brüt basınç alanına göre en az 5 MPa olacaktır [26].

Taşıyıcı blok tuğlanın en çok % 35 düşey delikli olması gerekmektedir. Ancak bu boyutta ve az delik oranlı tuğla pişirilmeden önce kontrollü bir biçimde ve özel fırınlarda kurutulmalıdır. Yoksa et kalınlığının daha çok olması nedeni ile pişme sırasında çatlaklar ve kırılmalar olmaktadır. Ayrıca % 35 delikli blok tuğla daha ağır olduğu için taşınması ve duvara konulması, duvar örülmesi daha zor ve masraflıdır. Bu nedenle daha çok delikli tuğlalar üretilmiştir [27].

Bimsbloklarda basınç mukavemet değerleri minimum 2 MPa, ortalama 2,5 MPa veya üzerinde bir değerde olması gerekir [28]

2.3. Duvar harçları

Duvar örgü malzemesinin birbirine bağlanmasını sağlayan harç, mineral bağlayıcılar, kum ve yeterli miktardaki suyun ve gerektiğinde harcın özelliklerini geliştirmek amacı ile kullanılan katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir [29].

Harçlar, karışımlarına ilave edilen bağlayıcı malzeme, üretildiği yere ve uygulandığı yere göre sınıflandırılabilirler.

2.3.1. Bağlayıcı malzemeye göre harçlar

1. Çimento harcı,
2. Kireç harcı,
3. Alçı harcı,
4. Lifli harç,

5. Horasan harcı,

Çimento harcı

0-4mm'lik kum ile belirli oranda çimento ve suyun karışımından elde edilen harçtır. Bu tür harçlar, genellikle dış duvarların örülmesinde kullanılır. Duvar harcı içerisindeki çimentonun yaklaşık miktarı 250-350 kg arasında olmalıdır.

Kireç harcı

Belirli oranlarda kum, sönmüş kireç ve suyun karıştırılması sonucu elde edilen harçtır. Günümüz inşaat sektöründe sık kullanılmamakla birlikte, bazen iç bölme duvarlarında ve rutubet almayan yerlerde kullanılır.

Alçı harcı

Alçı harcı, su ve alçının belirli oranlarda karıştırılarak istenilen kıvama getirilmesi ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Dekoratif amaçlı ve bölme duvarlarda kullanılır.

Lifli harç

Çelik yada elyaf liflerin çimento, kireç vb. harçların içerisine belirli oranlarda katılmasıyla oluşan harç türüdür.

Horasan harcı

Tuğla kırığı ve kireç kullanılarak hazırlanan horasan harcı ve sıvaları tarihi yapıların inşasında kullanılan en önemli bağlayıcı malzemelerdendir.

2.3.2. Üretildiği yere göre harçlar

1. Yerinde yapılan/karıştırılan harçlar,
2. Hazır harçlar,

Yerinde yapılan/karıştırılan harçlar

Duvar örülmesi esmasında kum, çimento, kireç vb. malzemeler kullanarak el veya makine yardımıyla karıştırılan harçlardır.

Hazır harçlar

Fabrikada harmanlanan ve karıştırılan bu harç sadece su ilâvesi gerekecek şekilde hazır kuru karışımı “kuru harç” veya kullanıma hazır şekilde teslim edilen “yaş harç” şeklinde olabilir.

2.3.3. Kullanıldığı yere göre harçlar

1. Duvar harcı,
2. Sıva harcı olarak adlandırılırlar.

Duvar harcı,

Duvar örgü malzemelerinin birbirlerine bağlanması ve yapışması amacıyla kullanılan, belirli orandaki kumun içerisine yine belirli oranda bağlayıcılar, su ve gerektiğinde katkı maddeleri eklenerek, elde edilen harca denir.

Sıva harcı

Duvarların sıvanmasında kullanılan, belirli orandaki kumun içerisine yine belirli oranda bağlayıcılar, su ve gerektiğinde katkı maddeleri eklenerek, elde edilen harca denir.

Harçların dayanıklılığı ve dayanımını, servis ömrünü, harcın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden başka yapının tasarımı, malzeme seçimi, uygulama, bakım, onarım ve kullanım sürecinde oluşan bozulmalar gibi pek çok faktör etkiler. Bir harçta bulunması gereken en temel özellikleri arasında basınç dayanımı, geçirimsizlik, harcın hacim

sabitliği, yapışma, aşınmaya ve dış etkilere karşı dayanıklı olması gibi faktörler bulunmaktadır [30].

Kum, çimento veya kireç gibi bir bağlayıcı ile suyun birlikte karıştırılarak elde edilmesiyle oluşan plastik kıvamdaki malzemeye harç denir. Harç, yatay veya yataya yakın durumda iken duvar elemanlarına gelen kuvvetleri bitişik sıralara kolayca aktarabilmelidir. Harç, düşey veya düşeye yakın durumda iken duvar elemanlarına gelen kuvvetleri alt sıralara kolayca aktarabilmelidir. Bu özellikleri sağlayabilmesi için harç, yeteri kadar plastik, yeteri kadar mukavemetli, yeterli aderansa ve yüksek kompoziteye sahip olmalıdır. Harçların, yeterli mukavemet, su ve rutubeti geçirmemesi, boşluksuz olması, iyi yapışması, dış etkilere karşı dayanımının yüksek olması istenir [31].

Duvarların inşasında takviyeli harç kullanımı çok yaygındır. Kireç, harcın sertleşmesini ve su kaybını yavaşlatmakta, çimento ise dayanımı artırmaktadır. Duvarların örülmesi sırasında harcın hızlı bir şekilde sertleşmemesi gerekir. Genellikle 1:3:6-7 oranlarında çimento, kireç ve kum karışımı kullanılmakta ve bu harcın basınç dayanımı da 2,5-3 N/mm² kadar olmaktadır. Harcın içerisine katılan su miktarının, iyi pişmemiş tuğlanın emeyeceği su miktarı da dikkate alınarak ilave edilmesi gerekir. İyi pişmemiş tuğlalar, yeterli harç dayanımının sağlanmamasına neden olmaktadır [32].

Harçların, tuğla, bimsblok vb. gibi duvar örgü malzemeleri arasında bağlayıcı görevi vardır. Ayrıca binalarda yapılan tüm duvarların koruyucu kaplaması için de kullanılan bir yapı malzemesidir. Harçlardan beklenen özellikler kullanım alanları ile doğrudan ilişkilidir. Çevresel şartlara maruz kalan duvarlarda harçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyi olması gerekmektedir [33].

Duvar harçlarının TS EN 771 standardında verilen örgü malzemeleriyle birlikte gösterdiği karakteristik başlangıç kayma dayanımı, genel amaçlı ve hafif harçlar için 0,15 N/mm², ince tabaka harcı için 0,3 N/mm² şeklindedir [34].

Eurocode 8'e göre duvarların örülmesi işinde kullanılacak harcın en az basınç dayanımı 5 MPa olması önerilmiştir. Duvar örgü işlemi için kullanılacak takviyeli harcın basınç dayanımı bu değerden yüksek bulunmuştur [35].

2.3.1. Duvar harçları ile ilgili önceki çalışmalar

Deneyisel çalışmada, 800x800x120 mm boyutlarında tuğla duvar örülmüştür. Örülme işinde kullanılan harçlar ve hacimsel oranları, çimento harcı (4:1:0), takviyeli harç (6:1:1) ve kireç harcı (3:1:0) olmak üzere üç farklı türdedir. Deney sonucunda duvarın kayma dayanımında farklı deney tekniklerinin ve harç türünün etkisi incelenmiştir. Duvarın mekanik özellikleri harç ile tuğlanın aderansına bağlıdır. Diyagonal yükleme uygulanarak yapılan deneylerde kesme dayanımı çimento ve takviyeli harçlar duvar dayanımının değerlendirilmesi için kullanılabilir. Kireç harcı kullanılarak üretilen duvarlarda diyagonal yükleme yapılan deneyler uygun değildir [36].

Döndüren çalışmasında, çimento harcıyla hazırlanan bir duvarla, bağlayıcı özelliği artırılmış harçla hazırlanan bir duvarın mekanik özelliklerini araştırmış ve deney sonuçlarını karşılaştırmıştır. Aynı geometri ve malzeme özelliğine sahip iki ayrı duvar numunesi üretilmiştir. Çalışmaların sonucunda; kırılma türünün gevrek olduğu ve katkı malzemesi kullanılarak harcın bağlayıcı özelliğinin artırılması ile duvarın % 25 fazlası ile kırıldığı görülmüştür. Duvar bileşenleri arasında yer alan blokların birbirlerine bağlandığı noktalarda çekme dayanımları düşük değerler almaktadır. Bu nedenle yük altında bloklar arasında kayma meydana gelmektedir. Bunun sonucu ise yapının mekanik davranışı, harç ile duvar örgü malzemesini birleşim yüzeyinin kayma dayanımı etkilemektedir. Deneyler sonunda numunelerden alınan yük değerlerine karşılık kesme kuvvetleri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir [37].

Çizelge 2.1. Numunelere ait en büyük yük ve kesme kuvvetleri değerleri [37].

Numune	En Büyük Yük (kN)	Kesme Kuvveti (N /mm ²)
1	59,69	0,117
2	63,64	0,125
3	98,17	0,193
4	76,47	0,150
5	87,07	0,171
6	49,58	0,097

Kanıt ve Döndüren yaptıkları deneysel çalışmada, çimento harcıyla hazırlanan bir duvar numunesiyle, katkı maddesi kullanılarak hazırlanan harç ile duvar numunesinin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Aynı boyutlara sahip 600x600x200 mm ölçülerinde 6 adet duvar numunesi farklı katkı miktarları kullanılarak örülmüş, daha sonra kayma deneyine tabi tutulmuştur. Deney numunelerinde gözlenen davranışlar ve deney sonucu oluşan çatlaklar incelenmiş, kayma gerilmesi değerleri ile yük-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırılmıştır [38].

Alecci ve ark. yapmış oldukları çalışmada, takviyeli harç, kireç harcı ve çimento harcı kullanılarak harman tuğlası ile örülmüştür. Duvar numuneleri 400x400x50 mm ile 1200x1200x120 mm ölçülerinde iki farklı boyutta üretilmiştir. Takviyeli harcın ağırlıkça karışım oranları kum:çimento:kireç=8:1:1 olarak seçilmiştir. Duvar elemanlarına diyagonal yükleme yapılarak kesme dayanımları tespit edilmiştir. Çimento harcı ile örülen numunelerde fazla yük almasına karşın ani kırılmalar meydana gelmiştir. Takviyeli harçla örülen duvarlarda kırılmalar daha sünek olduğu görülmektedir [39].

Marvan ve ark. yapmış oldukları deneysel çalışmada 1800x3600x190 mm boyutlarında takviyeli harç ile bimsblokla örülmüş 6 adet duvar numunesi üretmişlerdir. Takviyeli harç karışım oranları çimento:kireç:kum=1:0,2:3,5 olarak seçilmiştir. Duvar numunelerinde kayma dayanımı hesabı yapılmıştır [40].

Polimer lif katkılı harçların mekanik özellikleri bağlayıcıların özelliklerinden etkilenir. Polimerlerin doğru seçimi harcın davranışını olumlu yönde etki edebilir.

Polimerlerin en önemli özelliği yapışabilme özelliğidir. Polipropilen lif yüksek kalitedeki monofilament mikro polipropilen liflerden oluşur. Polipropilen lif, harcın şekil değiştirme kapasitesini artırarak harçlarda meydana gelen çatlakları kontrol altına almak ve azaltmak amacıyla kullanılmaktadır [41].

Konu ile ilgili yapılan kaynak araştırmaları kapsamında duvarların kayma dayanımı hakkında yapılmış çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

2.4. Duvarlarda kayma dayanımı

Yatay ve düşey yükler etkisi altında kalan yığma duvarlarda iki eksenli gerilme hali meydana gelir. Bu yükleme durumunda duvarlarda oluşan gerilmeler, genellikle yatay ve düşey yüklerin duvar kesit alanına bölünerek hesaplanan, ortalama kayma dayanımı cinsinden ifade edilir [38].

Duvarın yatay derzlere paralel doğrultuda etkiyen kuvvetlere karşı duvarın kesme dayanımı ilk anda duvar malzemesi ile harç arasındaki yapışmaya yani aderansa bağlıdır. Tuğla ile harç arasındaki aderans kullanılan örgü malzemesinin (tuğla, bimsblok vb.) su emme özelliklerine bağlıdır. Duvarların kesme dayanımları kullanılan örgü malzemesinin boşluk oranına, delik doğrultusuna ve basınç dayanıma bağlıdır [42].

2.4.1. Duvarlarda kayma dayanımı ile ilgili önceki çalışmalar

Özsayın'ın yaptığı çalışmada, 500x500 mm boyutlarında duvar numuneleri üretilmiştir. Delik doğrultusunda yükleme yapıldığı takdirde harç tipinin duvar dayanımına etkisinin az olduğunu ortaya koymuştur. Duvar numunelerinde; yükün delik doğrultusu ve dik doğrultuda etkimesi durumlarında oluşan hasar biçimleri farklı olmuştur. Delik doğrultusuna dik yükleme durumunda, hasarın numunelerin iç bölümlerinde yoğunlaştığı da görülmüştür. Duvarların diyagonal doğrultuda yüklendiği deneylerde, kullanılan harcın cinsi oluşan hasarı önemli ölçüde etkilemiştir. Aynı kayma gerilmesi düzeylerinde yapılan karşılaştırmalarda, basınç

dayanımı ortalama 6,36 MPa olan takviyeli harç ile üretilen numunelerdeki hasarın daha az olduğu gözlenmiştir [43].

Sevil ve ark., yapmış oldukları deneysel çalışmada, 1/3 ölçekli aynı özelliklere sahip 700x700 mm boyutlarında sıvanmış ve sıvanmamış tuğla duvarlar üretilmiştir. Köşegenlerinden biri doğrultusunda uygulanmış basınç altında deneye tabi tutulmuştur. Deney elemanlarının davranışları incelendiğinde, tuğla duvarın kullanılmasının, yapının dayanımı ile yanal rijitliğini arttırdığı ve davranışını iyileştirdiği görülmektedir [44].

Yapılan deneysel çalışmada, 400x400x260 mm boyutlarında 12 adet duvar numunesi, düşey derz kalınlığı 10 mm ve yatay derz kalınlığı ise 20 mm olarak üretilmiştir. Üretilen duvar numuneleri diyagonal çekme etkisi altındaki davranışı izlenmiştir. Mekanik özellikleri belirlenmesi amacıyla uygun olan harç karışımını elde edebilmek için 6 farklı deneme karışımı oluşturulmuştur [45].

Ural ve Doğangül yapmış oldukları deneysel çalışmalarında, farklı örgü türüne sahip duvar modelleri üzerinde yapılan analizler yardımıyla bu örgü türlerinin etkinliklerini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Örgü türünün etkisinin düşey yüklere göre yatay yükler için daha etkili olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda yatay yükler etkisindeki düz, şaşırtmalı ve flaman örgü biçimleri dikkate alınmıştır. Kaymaya bağlı olan çatlaklar harç ve yığma birimlerin dayanım oranlarına göre ya derzler boyunca gelişmekte yada yığma birimlerde de çatlaklar meydana gelebilmektedir. Eğik kesme çatlakları, yığma yapı elemanında kesme kuvvetinin etki ettiği doğrultu boyunca bir açıyla oluşan kayma gerilmesi neticesinde ortaya çıkmaktadır. Duvar örgü türlerinin farklı oluşu yapının davranışını etkilemektedir [46].

Prota ve diğ., sünger taşı ile örülmüş 1030x1030x250 mm boyutlarında, 4 adedi güçlendirilmemiş, 8 adedi güçlendirilmiş olmak üzere toplam 12 adet duvar numunesini diyagonal çekme etkileri altında denemişlerdir. Numuneler köşelerine yerleştirilen iki çelik yükleme başlığından diyagonal doğrultuda yükleme yapılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda; numunelerin yükleme doğrultusunda tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrıldıkları gözlemlenmiştir [47].

Yılmaz yaptığı çalışmada boyut etkisinin, numune dayanım, başlangıç rijitliği, deformasyon yeteneği ve enerji yutma kapasitesi gibi özelliği üzerindeki etkisini belirlemek diyagonal çekme etkileri oluşturacak şekilde deneye tabii tutulmuştur. 350x350x70 mm ve 500x500x70 mm boyutlarında iki tip duvar numunesi örülmüştür. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, duvar numunelerinin boyutlarının artışı ile basınç, kayma dayanımı ve deformasyon yeteneğinin azaldığını ortaya koymuştur. Duvar örgü işleminde takviyeli kullanılmıştır. takviyeli harcın hacimsel olarak karışım oranları çimento:kireç:kum (2:1:2) şeklindedir. Deney numunelerinin örülmesinde 1/3 ölçekli 56x84x87 mm boyutlarında tuğlalar kullanılmıştır Duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, dayanım, süneklik ve numunenin deney sonrası hasar durumu ile ilgili deney sonuçları karşılaştırılmıştır [48].

Çalışma kapsamında, eleman boyutları 1600x1000 mm olan 6 adet 1/3 ölçekli numuneler üretilmiştir. Numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve diğer davranış özelliklerini karşılaştırmak amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. 65x95x65 mm boyutlarında yatay delikli tuğla kullanılmıştır [49].

Alcaino ve ark., harman tuğlası kullanılarak örülen 560x560x165 mm boyutlarında duvarların kayma davranışlarını incelemiştir. Deneysel çalışmada duvar numunelerinin dayanım, rijitlik, duktilite ve enerji tüketimi değerleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada en büyük kayma dayanımının tahmin edilebilmesi için birtakım bağlantılar da geliştirilmiştir [50].

Duvarlar, düşey yük etkisinin yanında rüzgâr, deprem veya başka sebeplerle yatay yük etkisinde kalan yapı elemanları arasında yer alır. Tuğla duvara yatay bir yük etki ettiği takdirde harcın, tuğlaya göre dayanımının az olması ile tuğla ve harç arasındaki aderansın yeterli olmadığından dolayı genellikle çatlaklar harçta oluşmaktadır. Ayrılmalar ise tuğla ile harcın birleşim yerlerinde meydana gelmektedir [51].

Yáñez ve ark., yapmış oldukları çalışmada 3650x2250 mm boyutlarda 16 duvar numunesi üretmiş ve deneye tabi tutmuşlardır. Beton tuğlası ile delikli tuğladan üretilmiş duvar numunelerinin duvar kalınlıkları 140 mm'dir. Bu duvarlara kayma kuvveti uygulanarak diyagonal çatlaklar incelenmiştir. Bu incelemelerdeki parametreler, duvar tipi ve duvardaki belli boyutlardaki boşluklarıdır. Deney sonuçları; rijitlik, enerji kapasitesi, kesme çatlaması, en büyük kayma dayanımı ve şekil değiştirme bakımından incelenmiştir. Her iki mekanizmada da, çatlaklar, harç ile yığma yapı ünitesi arasındaki düşük aderansdan dolayı, harç birleşim noktaları boyunca yayılmıştır [52].

Bu çalışma kapsamında, 10 adet 755x755 mm ölçekli ve 6 adet 1/3 ölçekli duvar numunesi üretilmiştir. Duvar numunelerinin yapımında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan 190x190x135 mm boyutlarındaki tuğlalar ve çimento harcı kullanılmıştır. Duvar numuneleri 4 sıra tuğla ile örülmüş ve her sırada yan yana 3.5 adet tuğla kullanılmıştır [53].

Begimgil yapmış olduğu deneysel çalışmada, tuğla ve harcın arasındaki aderansın yok olması ile basınç kırılmasında tuğlada gözlenen çatlama veya ezilmesiyle kayma kırılması meydana geldiği gözlenmiştir [54].

Valluzi ve arkadaşları yapmış oldukları deneysel çalışmada 515x51x120 mm boyutlarında duvar numunesi üretmişlerdir. Tuğla duvarın dayanım ve göçme biçimini incelemişlerdir. Duvar numunelerinde diyagonal yükleme yapılmıştır. Duvar örgü işleminde kullanılan harcın eğilme dayanımı 1,48 MPa, basınç dayanımı ise 6,03 MPa'dır [55].

Gabor ve ark. yapmış oldukları deneysel çalışmada, 210x100x50 mm boyutlarında delikli tuğla ile bağlayıcı malzeme olarak seçilen harç çimento harcı olarak belirlenmiştir. Duvar numunelerin boyutları 430x400 mm'dir. Kayma dayanımının belirlenmesi için numunelere diyagonal yükleme yapılmıştır. Çatlaklar genel olarak derzler boyunca olduğu gözlenmiştir [56].

Akkuzu yapmış olduğu çalışmada, duvarların kayma dayanımları örgü işinde kullanılan elemanlar ile harcın yapışma dayanımına, yatay ve düşey derz kalınlığına, eleman boyutlarına, su emme kapasitesine bağlıdır. Duvar örgü işinde kullanılan harç ve örgü malzemelerin elastik oldukları ve aralarında tam bir yapışma meydana geldiği varsayılmaktadır. Duvarda kullanılan harcın kayma gerilmelerine karşı dayanımının azalması sonucunda kayma kırılması oluşur [57].

Yapmış oldukları çalışmada, 100x50x30 mm boyutlarında tuğla kullanarak ½ ölçekli 12 adet duvar örülmüştür. Duvarlar diyagonal yüklemeye tabi tutulmuş ve hem yatay hemde düşey şekil değiştirme değerleri alınmıştır. Numunelerden en büyük yük, enerji yutma kapasitesi, rijitlik ve kesme dayanımı değerleri bakımından değerlendirmeler yapılmıştır [58].

Konu ile ilgili yapılan kaynak araştırmaları kapsamında duvarların mekanik özellikleri arasında yer alan duvarların basınç dayanımları hakkında yapılmış çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

2.5. Duvarlarda basınç dayanımı

Yapı tasarımında duvarların basınç dayanımı önemli bir faktördür. Basınç dayanımı ise; duvar örülmesi işinde kullanılan blok mukavemeti ve geometrisi, duvar harcını oluşturan bileşenlerin özellikleri ve duvar örgü türü gibi birçok etkene bağlıdır [59].

Duvarın basınç dayanımı; kullanılan örgü malzemesinin mekanik dayanımı ve blok geometrisine, harç özellikleri ile duvar örgü türü gibi birçok faktöre bağlıdır. Yapılan araştırmalar, genel olarak duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına (h/t) oranı 2 ila 5 arasında olan numunelerinin deneysel çalışmalarda kullanılması daha uygun sonuçlar vereceğini göstermektedir. Takviyeli harç karışım oranları Çimento:Kireç:Kum= 1:1:6 şeklindedir [60].

Duvar örgü malzemesinin basınç mukavemetini belirlemek için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

1. Duvar örgü malzemelerinin ve harcın basınç mukavemetine bağlı olarak duvarın basınç mukavemeti değerini veren deneysel çalışmalar sonucunda hazırlanmış Çizelge 2.2’de verilen değerler kullanılabilir [60].

Çizelge 2.2. Duvar boyunun yüksekliğe oranı 0.6 olan bloklarla f_k değerleri [61-62].

Harç adı	Birim basınç mukavemeti (MPa)							
	2.8	3.5	5.0	7.0	10	15	20	35 ve daha büyük
(i)	1.4	1.7	2.5	3.4	4.4	6.0	7.4	11.4
(ii)	1.4	1.7	2.5	3.2	4.2	5.3	6.4	9.4
(iii)	1.4	1.7	2.5	3.2	4.1	5.0	5.8	8.5
(iv)	1.4	1.7	2.2	2.8	3.5	4.4	5.2	7.3

Çizelge 2.3. Duvar boyunun yüksekliğe oranı 2-4 arasında olan f_k değerleri [60-61]

Harç adı	Birim basınç mukavemeti (MPa)							
	2.8	3.5	5.0	7.0	10	15	20	35 ve daha büyük
(i)	2.8	3.5	5.0	5.7	6.1	6.8	7.5	11.4
(ii)	2.8	3.5	5.0	5.5	5.7	6.1	6.5	9.4
(iii)	2.8	3.5	5.0	5.4	5.5	5.7	5.9	8.5
(iv)	2.8	3.5	4.4	4.8	4.9	5.1	5.3	7.3

2. Kullanılan malzemenin gerçek yapıdaki ile aynı ve yüksekliğin kalınlığa oranı 2 ila 5 arasında olması halinde, bindirmesiz olarak örülmüş duvar örgü malzemeleri denenebilir [56].

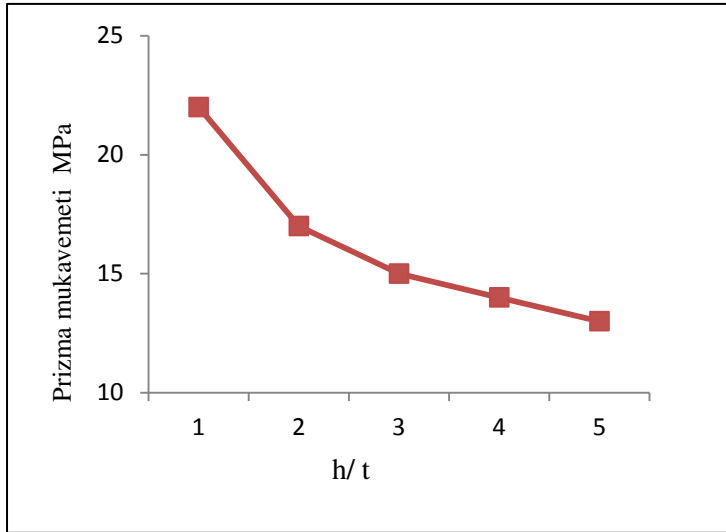
3. Duvarlarda kullanılan boşluklu yapıya sahip olan bloklarla ve harcın sadece bloğun dış yüzeyi boyunca uygulanması sonucunda, örgü malzemesinin tam alanının harç alanına oranını ifade eden önceden hazırlanmış çizelgeler kullanılabilir [62].

Bu yöntemlerdeki çizelgeler çok sayıda duvar numunelerinin deneysel olarak incelenmesi sonucunda elde edilen veriler yardımıyla oluşturulmuştur. Bu kadar çok farklı deney yönteminin kullanılması ve önerilmesi, duvarların basınç dayanımının bulunması için kullanılan kabul görmüş standart bir deney yönteminin olmamasından

kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar, uygulama kolaylığı sağlayacak deneylerle duvarın basınç mukavemetini belirlemeye yöneliktir [59].

2.5.1. Duvarlarda basınç dayanımı ile ilgili önceki çalışmalar

Boult yapmış olduğu çalışmada, duvar numunelerinin en az yüksekliğinin üç blok olması gerektiğini belirtmektedir. Şekil 2.1’de deneylerde ölçülen basınç mukavemeti değerinin üç ila beş blok yüksekliğindeki duvar numuneleri için yaklaşık sabit kaldığı, Çizelge 2.3’te beşten fazla blok kullanılmasının ise duvar numuneleri mukavemetini etkilemediği gösterilmiştir [63].



Şekil 2.6. Tuğlalar için yükseklik-genişlik oranına karşılık prizma mukavemeti [59].

Şekil 2.1’deki değişik yığma birimleri için yükseklik-genişlik oranına karşılık duvar numunelerinin mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deney numunelerinin özellikleri Çizelge 2.4’te yer almaktadır.

Çizelge 2.4. Deneylerde kullanılan yığma birimlerin boyutları

Özellikler	Açıklamalar
Boyut (mm)	400x200x200
Basınç Mukavemeti (MPa)	24,5

Duvarlar çeşitli örgü şekliyle yerleştirilmiş ve birbirine harçla bağlanmış kâgir birimlerin oluşturduğu birleşimdir. Kâgir basınç dayanımı, yükleme başlığı sürtünmesi, narinlik veya yüklemde dış merkezlik etkileri olmaksızın kâgirin basınç yüklemesi altındaki dayanımıdır [64].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 900x900 mm boyutlarında 18 adet duvar örülmüştür. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için kayma dayanımları tespit edilerek birbirleri arasında değerlendirmeler yapılmıştır.

Duvar elemanlarının yapımında kullanılan örgü ve bağlayıcı malzemeler çok çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik, duvarın herhangi bir yüke maruz kaldığındaki dayanımını da etkilemektedir. Deney numunelerinde kullanılan örgü ve bağlayıcı malzemelerin çeşitleri ve teknik özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

3.1. Kullanılan Malzemeler

Duvarların yapısal davranışını iyi bir şekilde incelenmesi ve değerlendirilebilmesi için duvar yapımında kullanılan örgü ve bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harçların mekanik özelliklerinin en iyi şekilde bilinmesi gerekmektedir.

3.1.1. Duvar örgü malzemeleri

Duvar yapımında kullanılan örgü malzemelerinin türüne, dayanımına, geometrik şekline ve farklı boşluk oranlarına sahip çok çeşitli tuğla türleri vardır. Günümüzde inşaat sektöründe özellikle birim hacim ağırlığı düşük, dayanımı yüksek boşluklu fabrika tuğlaları duvar yapımında kullanılması tercih edilmektedir.

Türkiye’de yatay delikli ve dikey delikli olmak üzere 2 tip tuğla üretimi yapılmaktadır. Yatay delikli tuğlalar karkas binalarda bölme amaçlı olarak, dikey delikli tuğlalar ise taşıyıcı olarak kullanılmaktadır.

Harman tuğlası

Duvar numunelerinin örülmesi işleminde TS-771-1'e uygun 90x190x50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Dolu harman tuğlası dikdörtgenler prizması şeklinde yüzleri ve kenarları düzgün olmalıdır [1].

Deneyisel çalışmada kullanılan harman tuğlası piyasadan temin edilmiştir. Harman tuğlasının teknik özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Harman tuğlasının teknik özellikleri

	Teknik Özellik	Açıklama
	Birim hacim ağırlık (Kg)	1,420
	Basınç Dayanımı (MPa)	16
	Isı Geçirgenlik Direnci (W/m ² K)	0,43
	Kullanım (m ²)	98
	En x Boy x Yükseklik (mm)	90x190x50

Bimsblok

Bimsblok özellikle hafifliği, ısı ve ses yalıtımı, ateşe karşı dayanımı, çevre şartlarından etkilenmemesi ve iyi bir sıva tutma gibi özellikleri taşıması nedeniyle ülkemizde olduğu gibi birçok ülkede de sıklıkla tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Duvar örme işinde kullanılan diğer bir malzeme ise 190x390x185 mm boyutlarında üretilen bimsbloktur. Deneylerde kullanılan bimsblok piyasadan temin edilmiştir. Deney numunesinin örülmesi işleminde kullanılan bimsbloğun teknik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Bimsbloğun teknik özellikleri

	Teknik Özellik	Açıklama
	En x boy x yükseklik (mm)	190x390x185
	Brüt Kuru Birim hacim kütlesi Ortalama (kg/m ³)	522
	Net kuru birim hacim kütlesi ort kg/m ³	733
	Basınç Dayanımı (Karakteristik) MPa	1,82
	Isıl davranış özelliği max W/mk	0,198
	Su buharı geçirgenliği max kgm ² /spa	6,67
	Elastisite Modülü kgk/cm ²	70,000
	Boşluk oranı (%)	35

Bimsblok bu özelliklerinden dolayı son yıllarda inşaat sektöründe oldukça talep edilen duvar örgüsünde kullanılan bir yapı malzemesidir.

Yığma tuğla

Yığma tuğlanın basınç dayanımı toprağın cinsine, porozitesine, pişirilme ısısı ve üretim biçimine, deliklerin miktarına ve yerine, kenarların biçimine ve yükleme yönüne bağlıdır.

TS EN 771-1'e uygun olarak üretilen duvar örgü malzemesi olarak 290x190x135 mm boyutlarında yığma tuğla kullanılmıştır. Deney numunesi olarak kullanılan 290x190x135 mm boyutlarında taşıyıcı yığma tuğlalar %35 oranında boşluklu bir yapıya sahiptir [1].

Deneysel çalışmada kullanılan yığma tuğla piyasadan temin edilmiştir. Yığma tuğlanın teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yığma tuğlanın teknik özellikleri

	Teknik Özellikler	Açıklama
	Ürünün Cinsi	19 Yığma tuğla
	Ürünün Ebadı (mm)	190x290x135 (h)
	Ürünün Ağırlığı (Kg)	4,5
	Basınç Dayanımı (MPa)	10
	Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	700
	Ürünün Kullanım Özelliği (19'luk duvarda m ²)	22-35

3.1.2. Harç yapımında kullanılan malzemeler

Çimento

Deney numunelerinin örülme işleminde kullanılan harcın bileşenleri arasında yer alan çimento TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen BAŞTAŞ Çimento Fabrikasından alınan CEM I 42,5 R tipi çimentodur [65].

Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento fabrikasından alınmış olup, fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. CEM I 42,5 R tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	CEM I 42,5
CaO	62,72
SiO ₂	20,00
Al ₂ O ₃	4,92
Fe ₂ O ₃	3,76
MgO	1,84
SO ₃	2,65
K ₂ O	0,73
Na ₂ O	0,26
Kızdırma Kaydı	2,54
Çözünmeyen Kalıntı	-
Fiziksel Özellikler	
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3250
Priz Başlangıcı (saat:dk.)	2:25
Priz Sonu (saat:dk.)	3:40
Hacim Genleşmesi (mm)	1
Basınç Dayanımı (MPa) 28 gün	49,5

Sönmüş toz Kireç

Deney numunelerinin örülme işleminde kullanılan harcın bileşenleri arasında yer alan sönmüş toz kireç TS EN 459-1'e uygun olarak üretilen BAŞTAŞ kireç fabrikası ürünü olup piyasadan torbalar halinde alınmıştır [66].

Kullanılan sönmüş toz kirecin kimyasal analizi, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kullanılan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal analiz	%
Ca(OH) ₂	81-85
Aktif CaO	61,6-65,15
Toplam CaO + MgO	86-96
MgO	1-3
Yoğunluk (g/lt)	385-500

Agrega

Duvar numunelerin örülmesi işinde blokların birbirlerine bağlanmasını sağlayan harcın bileşenleri arasında yer alan kum dere kumudur. Dere kumu piyasadan temin edilmiştir. Kullanılan kumun granülometrik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kullanılan agreganın granülometrik analiz değerleri

Elek çapı (mm)	Elekten geçen (%)	Elek üstünde kalan (%)
8	100	0
4	94,7	5,3
2	76,6	23,4
1	60,5	39,5
0,5	42,5	57,5
0,25	16,4	83,6
0,125	3,6	96,4
0,063	1,0	99,0

Polipropilen lif

Harç yapımında Sika fiber marka polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen lifin teknik özellikleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Polipropilen lifin teknik özellikleri

Teknik Özellik	Açıklama
Kimyasal yapı	% 100 polipropilen
Yoğunluk	0,91 g/cm ³
Lif uzunluğu	12 mm
Lif Çapı	18 mikron-nominal
Su emme	Eser miktarda
Ergime noktası	160 °C
Tutuşma sıcaklığı	365 °C
Isı iletkenliği	Düşük
Liflerin özgül yüzey alanı	250 m ² /kg
Asit drenci	%100
Çekme Dayanımı	300-400 MPa
Elastisite Modülü	~4000 MPa

Karışım suyu

Deneysel çalışmada, TS EN 1008'e uygun olan Ankara ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır[67].

3.1.3. Duvar yapımında kullanılan harçlar

Duvar yapımında çimento, sönmüş kireç, takviyeli ve lifli harç olmak üzere çeşitli harç türleri kullanılmaktadır.

Takviyeli harç

Duvar yapımında kullanılan harcın yapımında kullanılan agregat ve bağlayıcı maddeler uygun miktarlarda karıştırılarak duvar harcı elde edilir. Harca, kullanılacağı yere ve koşullara uygun kıvamda olmasını sağlayacak miktarda su katılmalı, özel hal ve gerekler dışında, yerleştirildiği derzden akıp giderek derzi kısmen boş bırakacak kadar akıcı olmayan ve kolay işlenebilen plastik bir kıvam gerçekleştirilmelidir. Duvar örülmesi işinde kullanılan harcın karışım oranları Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Duvar harcı karışımları (hacimsel olarak)

Malzemeler	Kum	Çimento	Toz Kireç
Oranlar	6	1	1

Takviyeli harcın basınç dayanımının belirlenmesi için 3 adet 40x40x160 mm boyutlarında prizma numune alınmıştır. Bu numuneler üzerinde tek eksenli dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Takviyeli harcının mekanik özellikleri

Numune boyutları (mm)	40x40x160
Basınç dayanımı (MPa)	9,5 MPa (28 günlük)
Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	6,7 MPa (28 günlük)

Polipropilen lifli harç

Takviyeli harç karışım oranları aynı kalmak şartıyla ilave olarak polipropilen lif ürün katalogunda belirtilen 1 m³ için 600 g oranında katılmıştır [68].

Duvar numunelerinin örülmesi işinde kullanılan polipropilen lifli harç 40x40x160 mm boyutlarında numuneler kullanılarak eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Numunelerin deney sonuçları Çizelge 3.10'da yer almaktadır.

Çizelge 3.10. Polipropilen lifli harcın mekanik özellikleri

Numune boyutları (mm)	40x40x160
Basınç dayanımı (MPa)	8,2 MPa (28 günlük)
Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	7,8 MPa (28 günlük)

3.2. Yöntem

Bu bölümde üzerinde araştırma yapılacak duvarların nasıl üretildiği anlatılmıştır. Öncelikle duvar yapımında kullanılacak harçların hazırlanması hakkında bilgi verilmiş, ardından duvarların nasıl üretildiği detaylı olarak açıklanmıştır. Daha sonrada duvarlara uygulanan deney düzeni ve bu düzende yapılan ölçümler,

uygulanan metotlar ile yük altındaki duvarların davranışı izlenmiş ve teorik esaslara yer verilmiştir.

Duvar numunelerinin yapımında örgü malzemesi olarak harman tuğlası, yığma tuğla ve bimsblok kullanılarak 3'er adet duvar numunesi üretilmiştir. Duvar numunelerinin örülmesi işleminde, takviyeli harç ve polipropilen lif katkılı harç kullanılmıştır. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekanik Laboratuvarında 900x900 mm boyutlarında kullanılan örgü ve bağlayıcı malzemelerinin değiştirilmesi ile toplamda 18 adet duvar numunesi örülmüştür. Farklı duvar örgü ve bağlayıcı malzemelerle örülen kagir duvarların kayma dayanımlarının belirlenmesi amacıyla numunelere diyagonal yükleme deneyi yapılmıştır. Numunelerin ön yüzeylerinden yatay ve düşey yer değiştirme değerleri alınarak bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Deney sırasında düşey yük-şekil değiştirme grafikleri ve çatlak değerleri tespit edilerek numuneler üzerinde incelemeler yapılmıştır.

3.2.1. Duvar deney numunelerinin kodlanması

Çalışmada yer alan duvar deney numunelerinin isimleri, örgü malzemesi, kullanılan harç, örgü şekli ve numune boyutları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Duvar numunelerinin sembol ve isimleri

Duvar Numunelerin Kodları	Örgü Malzemesi	Duvar Boyutu (mm)	Harç türü	Örgü Şekli	Adet
HT01-HT02-HT03	Harman Tuğla	900x900	Takviyeli	Düz	3
HL01-HL02-HL03	Harman Tuğla	900x900	Lifli	Düz	3
YT01-YT02-YT03	Yığma Tuğla	900x900	Takviyeli	Düz	3
YL01-YL02-YL03	Yığma Tuğla	900x900	Lifli	Düz	3
BT01-BT02-BT03	Bimsblok	900x900	Takviyeli	Düz	3
BL01-BL02-BL03	Bimsblok	900x900	Lifli	Düz	3
TOPLAM					18

3.3. Takviyeli Harcın Hazırlanması

Duvar yapımında en çok kullanılan harç türü takviyeli harçtır. Kireç harcının içerisine dayanımını artırmak için bir miktar çimento katılarak elde edilen harç çeşididir. Takviyeli harç karışım oranları hacimsel olarak kum, çimento ve kireç sırasıyla 6:1:1 şeklindedir. Takviyeli harcın hazırlanmasında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir. İlk olarak, dere kumunun içerisine sönmüş toz kireç katılarak 3 dk kürekle karıştırılmış ve böylece kuru karışım elde edilmiştir. Daha sonra bu kuru karışıma yukarıda verilen oranlarda çimento ilave edilerek kuru karışım 2 dk daha kürek ile karıştırılmıştır. Ardından kuru haldeki takviyeli harç içerisine hacimce 1,5 oranında su eklenmiş ve 3 dk daha kürek ile karıştırılmıştır. Böylece toplamda 8 dk süreyle harç karıştırılarak homojen bir takviyeli harç karışımı elde edilmiştir.

3.4. Polipropilen Lifli Harcın Hazırlanması

Polipropilen lifli harcın hazırlanmasında aşağıdaki yol takip edilmiştir. ilk olarak takviyeli harç yukarıda açıklandığı gibi hazırlanmıştır. Daha sonra, duvar örgü işleminde kullanılan bağlayıcı malzemeler arasında yer alan SikaFibre marka polipropilen lif, takviyeli harcın içerisine (1 m³ için 600 g) hacimsel olarak ilave edilmesiyle yapılmıştır. Polipropilen liflerin ilave işlemi yapılırken lifler tel tel birbirinden ayrılarak harcın üzerine el ile dağıtılmıştır. Bu işlem sırasında liflerin harç içerisinde mümkün olduğu kadar homojen olarak dağıtılmasına dikkat edilmiştir. Polipropilen liflerin harç içinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamak için harç kürekle yaklaşık 3 dk daha karıştırılmış ve liflerin harcın belirli bölgelerinde yığılmamasına özen gösterilmiştir. Toplamda polipropilen lifli harç 11 dk karıştırıldıktan sonra elde edilmiştir.

3.5. Duvar Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada 900x900 mm boyutlarında 18 adet duvar numunesi üretilmiş ve diyagonal olarak yerleştirilip yükleme yapılmıştır. Duvar numuneleri örgü malzemesi olarak harman tuğlası, bimsblok ve yığma tuğla ile örülerek elde edilmiştir. deney

numunelerinin tamamı tek bir işçi tarafından örülmüştür. Örgü malzemelerinin takviyeli harç ile polipropilen lifli harç kullanılarak birbirlerine bağlanması sağlanmıştır. Duvar örgü malzemelerinin örülmesine başlamadan önce ince bir kat harç serildikten sonra, örgü malzemeleri bu harcın üzerine konularak tuğla çekici ile konulan harç bulunduğu yatay derz aralarından taşacak şekilde hafifçe vurulmuştur. Bu sırada kırılıp çatlayan örgü malzemesinin duvar yapımında kullanılmamasına dikkat edilmiştir. Duvarda kullanılacak duvar örgü malzemeleri, düzgün, toz ve topraktan temizlenmiş bir şekilde örülmüştür. Duvar örgü malzemeleri, duvar yapımına başlamadan önce ıslatılmıştır. Harç, duvar üzerine düzgünce, dışarıya taşmayacak şekilde mala ile serilmiştir. Duvar örgü malzemeleri serilmiş olan harcın üzerine iyice bastırılarak oturtulmuştur. Düşey derzler, duvarın hiçbir yerinde üst üste gelmeyecek şekilde şaşırtmalı olarak örülmüştür. Örülen duvar numuneleri yaklaşık 25 °C sıcaklık ve % 40-50 bağıl nemli laboratuvar ortamında 28 gün boyunca el ile serpmeye yapılarak sulanmış ve böylece örgü harcının prizini alması aynı zamanda dayanımını kazanması sağlanmıştır.

Duvar örgü malzemeleri ile örülen duvarlarda derzler olabildiği kadar ince yapılmalı ve düşey derzler 10 mm den ve yatay derzler ise 15 mm den daha kalın olmamalıdır. Gerek birbirinin üstüne gelen sıralardaki ve gerekse aynı sıradaki düşey derzler birbirinden şaşırtılmalı ve bu şaşırtmada binme payları 45 mm den az olmamak koşulu ile taş yüksekliğinin % 40'ından küçük olmamalıdır [16].

Duvar numuneleri laboratuvarda düz ve yatay bir yüzey üzerinde örülmüştür. Numunelerin yükleme yüzeylerinin düz, birbirine paralel ve numune ana (düşey) eksenine dik olmasına dikkat edilmiştir [60].

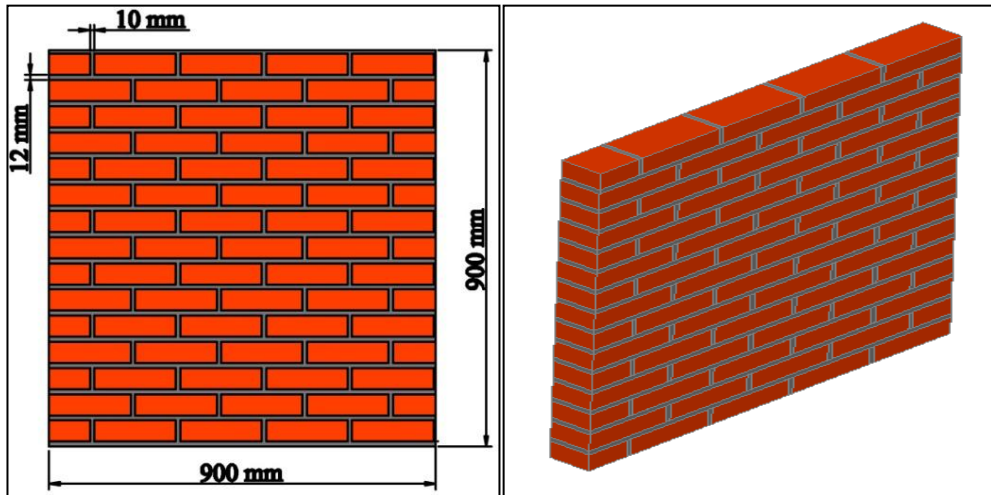
3.5.1. Duvar örgüsünde kullanılan örgü türü

Duvarlar, örgü malzemelerinin uç uca ve yan yana düzgün bir şekilde yerleştirilerek oluşan farklı dizi ve örgü şekillerinde inşa edilirler. Tüm duvar numunelerinin örülmesinde düz örgü tercih edilmiştir. Düz örgü, tek sıra halinde örgü

malzemelerinin üst üste yerleştirilerek oluşur. İkinci sıraya yarım blok ile başlanarak duvarda oluşan derzlerin üst üste gelmemesi sağlanır.

3.5.2. Harman tuğla ile duvar örülmesi

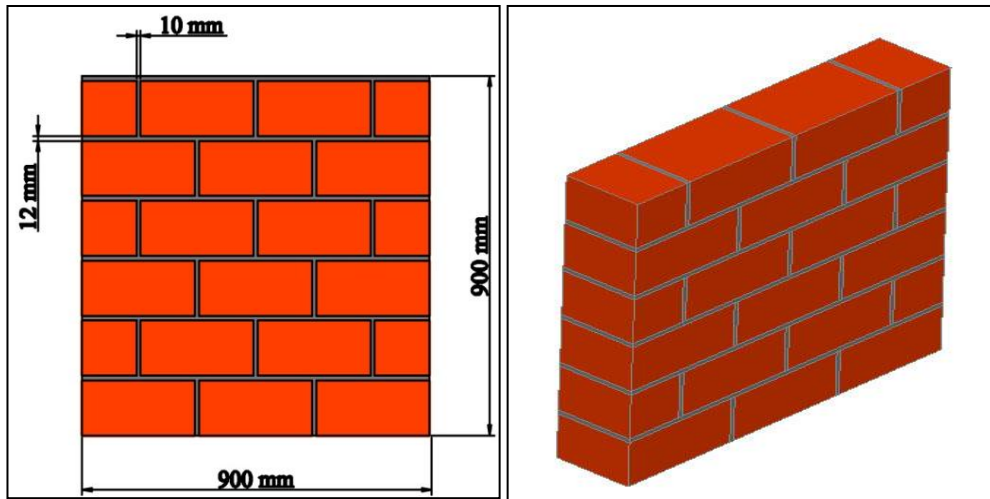
Duvar numunelerinin yapımında 50x190x90 mm boyutlarına sahip harman tuğlası kullanılmıştır. Harman tuğlası örgü işleminden önce temizlenerek yüzeyi düzgün hale getirilmiştir. Harman tuğlası kullanılmadan önce toz ve topraktan arındırılarak harcın suyunu emmemesi için ıslatılmıştır. Tuğla duvar örülmesi işinde, tuğla alt sıradaki en az iki tuğlaya temas edecek şekilde üzerlerine oturtulmuştur. Bir üst sıraya geçerken tuğla üzerine taşmayacak şekilde harç mala ile serilmiş ve düşey derzler birbiri üstüne gelmeyecek şekilde bir üst sıranın tuğlaları şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Duvarın düşey ve yatay doğrultuda sapma yapmaması için su terazisi ve şakül kullanılmıştır. Düşey derz aralığı 10 mm, yatay derz aralığı ise 12 mm olarak örülmüştür. Boyutları 900x900x50 mm olan örülmüş harman tuğla duvarın görüntüsü Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Örgü malzemesi harman tuğlası olan, bağlayıcı malzemesi ise takviyeli harç ve lifli harç olmak üzere sırasıyla üçer adet toplamda 6 adet numune üretilmiştir.



Şekil 3.1. Harman tuğlası ile örülmüş duvar

3.5.3. Yığma tuğla ile duvar örülmesi

Duvar örgü malzemesi yığma tuğla olan, bağlayıcı malzemesi ise takviyeli harç ve lifli harç olmak üzere sırasıyla üçer adet toplamda 6 adet numune üretilmiştir. Deney numuneleri 900x900x190 mm boyutlarında olup örgü şekli ise düz örgüdür. Yığma tuğla ile duvarın örülmesi işleminden önce temizlenerek yüzeyi düzgün hale getirilmiştir. Yığma tuğla kullanılmadan önce toz ve topraktan arındırılarak harcın suyunu emmemesi için ıslatılmıştır. Yığma tuğla duvar örülmesi işinde, tuğla alt sıradaki en az iki tuğlaya temas edecek şekilde üzerlerine oturtulmuştur. Bir üst sıraya geçerken tuğla üzerine taşmayacak şekilde harç mala ile serilmiş ve düşey derzler birbiri üstüne gelmeyecek şekilde bir üst sıranın tuğlaları şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Duvarın düşey ve yatay doğrultuda sapma yapmaması için su terazisi ve şakül kullanılmıştır. Düşey derz aralığı 10 mm, yatay derz aralığı ise 12 mm olarak örülmüştür. Boyutları 900x900x50 mm olan örülmüş yığma tuğla duvar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

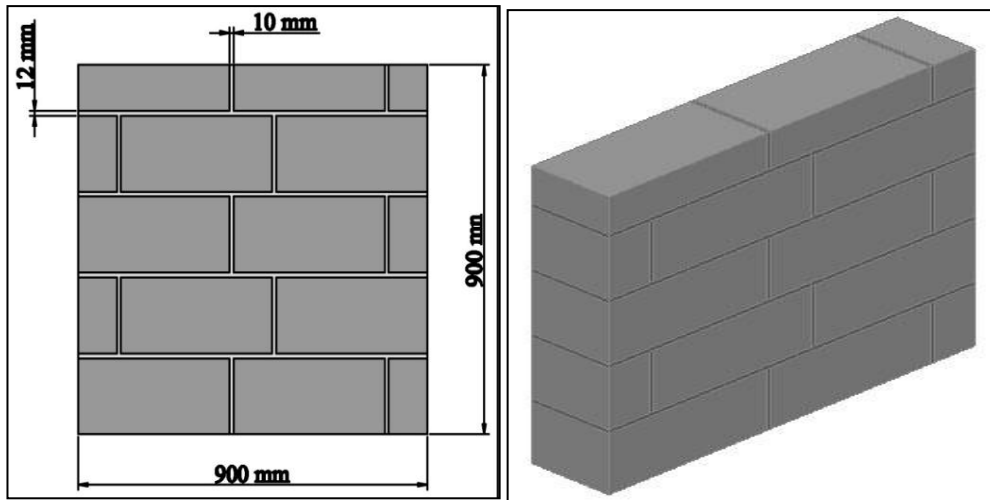


Şekil 3.2. Yığma tuğla ile örülmüş

3.5.4. Bimsblok ile duvar örülmesi

Örgü malzemesi bimsblok olan, bağlayıcı malzemesi ise takviyeli harç ve lifli harç olmak üzere sırasıyla üçer adet toplamda 6 adet numune üretilmiştir. Deney

numuneleri 900x900x190 mm boyutlarında olup örgü şekli düz örgüdür. Bimsblok ile duvarın örülmesi işleminden önce temizlenerek yüzeyi düzgün hale getirilmiştir. Bimsbloklar kullanılmadan önce toz ve topraktan arındırılarak harcın suyunu emmemesi için ıslatılmıştır. Bimsblok ile duvar örülmesi işinde, bimsbloğun alt sıradaki en az iki tuğlaya temas edecek şekilde üzerlerine oturtulmuştur. Bir üst sıraya geçerken bimsblok üzerine taşmayacak şekilde harç mala ile serilmiş ve düşey derzler birbiri üstüne gelmeyecek şekilde bir üst sıranın tuğlaları şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir. Duvarın düşey ve yatay doğrultuda sapma yapmaması için su terazisi ve şakül kullanılmıştır. Düşey derz aralığı 10 mm, yatay derz aralığı ise 12 mm olarak örülmüştür. Boyutları 900x900x50 mm olan örülmüş bimsblok ile örülen duvar Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bimsblok ile örülmüş duvar

3.5.5. Şekil değiştirme ölçerlerin montajı

Duvar numunelerindeki çatlakları ölçmek için 50 mm ölçüm boyuna sahip olan şekil yer değiştirme ölçer kullanılmıştır. Deneyde şekil değiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi için, duvar numunelerinin köşegenlerinin kesiştiği noktadan köşe noktalarına 300 mm uzaklıkta bulunan noktalar işaretlenerek 8 mm’lik matkap ile delikler açılmıştır. Daha sonra bu noktalara ankraj çubukları yerleştirilmiştir. Bu çubukların biri yatay diğeri de düşey deplasman ölçümü alınabilecek şekilde şekil

değiştirme ölçerlerin montajı yapılmıştır. Şekil değiştirme ölçerlerin, üretilen deney numunelerinin yan yüzeylerine yerleştirilmiştir. Çatlakların ölçülmesi için toplam 2 kanal veri hücresine bağlanmıştır. Duvara etkiyen yükün ölçülmesi için Yük ölçer cihazı yükleme cihazının üst kısmına yerleştirilmiştir. Resim 3.1’de şekil değiştirme ölçerlerin montajı ve kayma dayanımı deney düzeneği gösterilmiştir.



Resim 3.1. Şekil değiştirme ölçerlerin montajı ve deney düzeneği

3.6. Duvarlarda enerji tüketimi

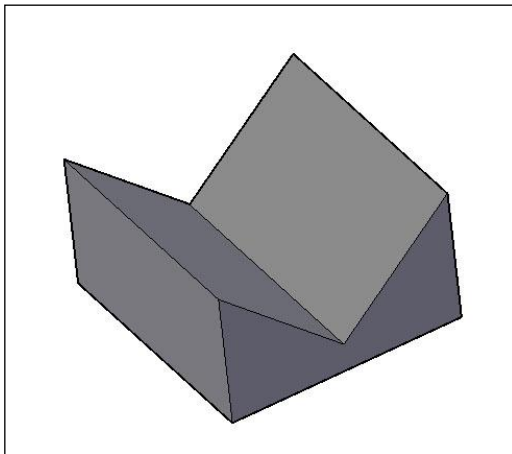
Bütün duvarlarda enerji tüketimleri yük-deplasman grafiklerindeki alanlardan hesaplanmıştır. Enerjinin belli bir kısmı deformasyona dönüşerek tüketilmiştir. Duvarlardaki enerji kapasitesi plastik bölgenin uzunluğu ile doğru orantılıdır. Enerji yapılan iş olduğu için tüketilen enerjide oldukça önem taşımaktadır.

3.7. Duvarlarda Kayma Dayanımı

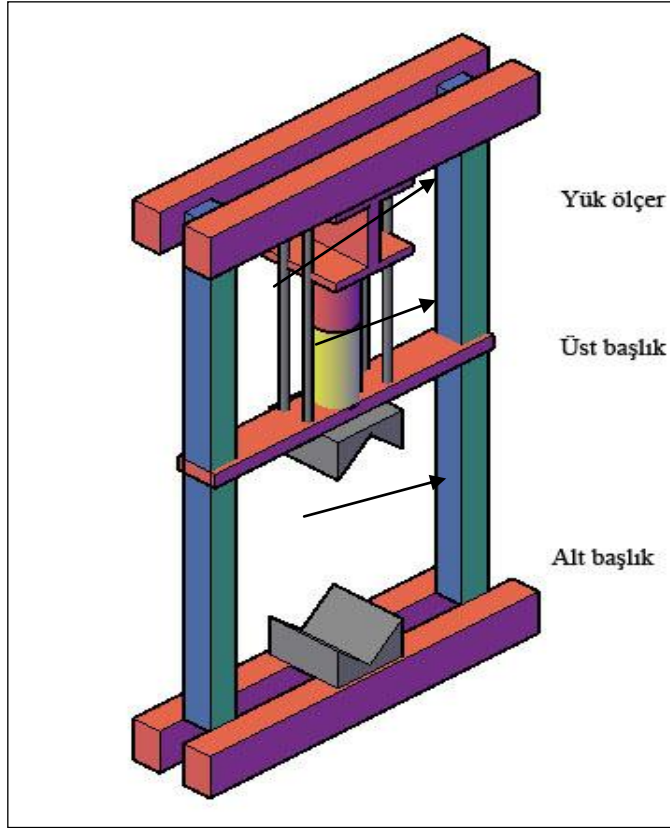
Yatay veya düşey yük altında duvarın kayma dayanımını, örgü malzemelerinin arasındaki yatay derzlere gelen kuvvetler altındaki bağlayıcı malzemenin kayma dayanımı etkilemektedir. Çünkü kırılma biçimleri duvardaki yatay derzlere paralel düzlem içinde etkiyen kuvvet altında kesme kırılmasıdır.

3.8. Deney Düzeni

Duvar numunesine düşey yük uygulayabilmek amacı ile Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda özel bir deney çerçevesi üretilmiştir. Duvar numunesinin deneye hazırlanması aşamasında ilk olarak numune 45° döndürülerek deney için özel üretilmiş olan Resim 3.1'de yer alan çelik başlığın içerisine yerleştirilmiştir. Bu aşamada çelik başlıkların içerisine kalan numune düşeyde gönyede olması ve başlık ile arasında boşluk kalmamasına özen gösterilmiştir. Numunenin üstüne yerleştirilen çelik başlığında yatayda gönyesinde olması sağlandıktan sonra çelik başlık ve yükleme çerçevesi arasına hidrolik krik ve yük ölçer yerleştirilerek yükleme düzeneğinin üç boyutlu şematik resmi Resim 3.2'de gösterilmiştir.



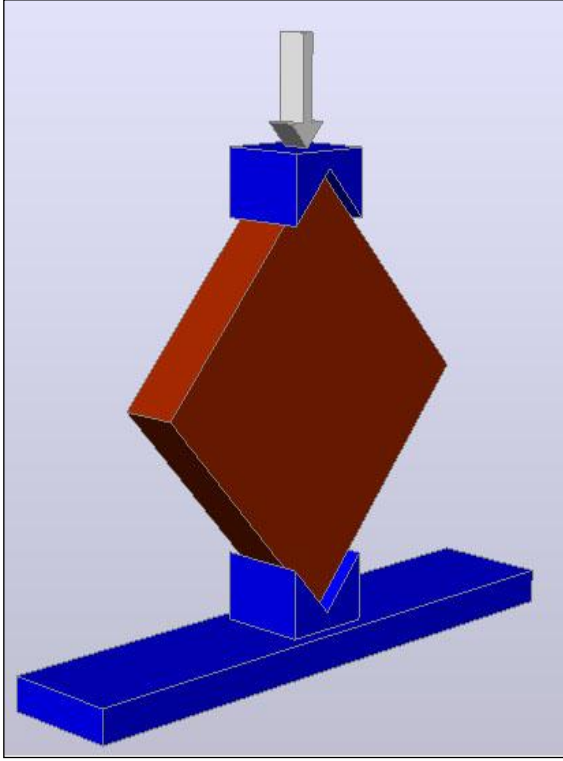
Resim 3.2. Çelik başlığın üç boyutlu şematik resmi



Resim 3.3. Yükleme düzeneğinin üç boyutlu şematik gösterimi

Basit kayma deneylerinde duvar numuneleri 45° döndürülerek düşey basınç kuvveti etkisinde monotonik olarak yüklemeye tabi tutulmuştur. ASTM E-519/81 (1981) standardında tarif edilen deney metodu uygulanmıştır [69].

Duvar numunelerinin tamamına kayma dayanımlarının hesaplanması için Şekil 3.6'daki gibi yükleme yapılmıştır.



Şekil 3.4. Duvar kayma dayanımı yükleme durumu

Yükleme 100 ton kapasiteye sahip bir hidrolik krika ile yapılmış ve yük değerleri 100 ton kapasiteye sahip bir yük ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Yükleme adımları, yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılarak, 1 kN'luk artımlar ile uygulanmıştır. Duvar numunelerinin düşey ve yatay yerdeğiştirmeleri, numunenin ön yüzüne yerleştirilen iki adet 50 mm kapasiteli şekil değiştirme ölçer kullanılarak ölçülmüştür.

3.9. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Düşey yük ölçümleri yük hücresiyle, yer değiştirmeler ise şekil değiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yükleme sonucunda yük hücresi ve şekil değiştirme ölçerler yardımıyla alınan değerler, bilgisayara veri toplayıcı sistemi yardımıyla 1 sn aralıklarla kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında deney elemanındaki deplasmanlar ile yükün değişimi bilgisayar ekranından grafik olarak izlenmiştir. Deney numunelerinde oluşan yük ve yer değiştirme verileri bilgisayar ortamına aktarılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

4.1. DeneySEL Bulgular

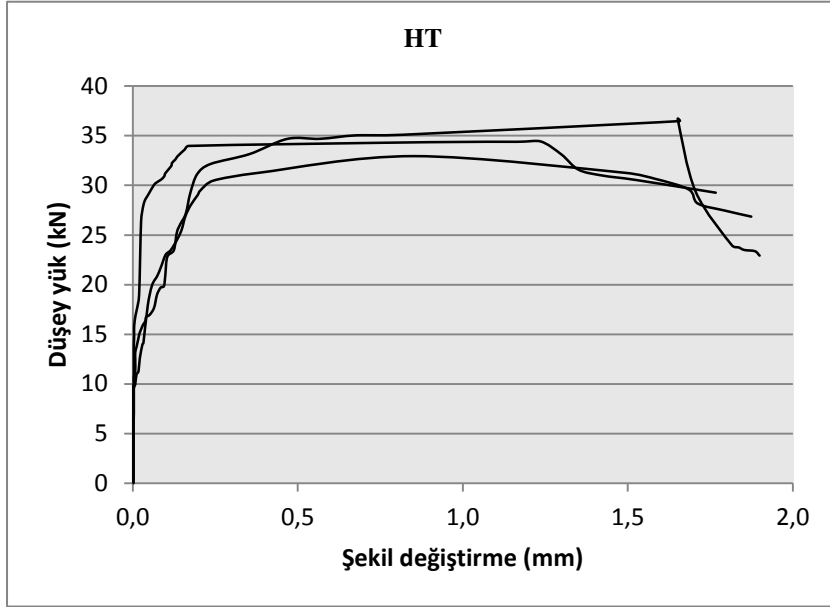
Deneyler esnasında duvarların davranış ve dayanımında izlenen değişiklikler gözlenmiş ve bütün ayrıntılarıyla sunulmuştur. Farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 900x900 mm boyutlarında 18 adet duvar numunesi örülmüştür. Deneylerden elde edilen gözlemler:

- Yük/deplasman grafikleri
- Duvarların göçme biçimleri
- Kayma dayanımı
- Rijitlik Modülü
- Enerji tüketme kapasitesi yönlerinden açıklanmaya çalışılmıştır.

4.2. Deplasman Değerleri

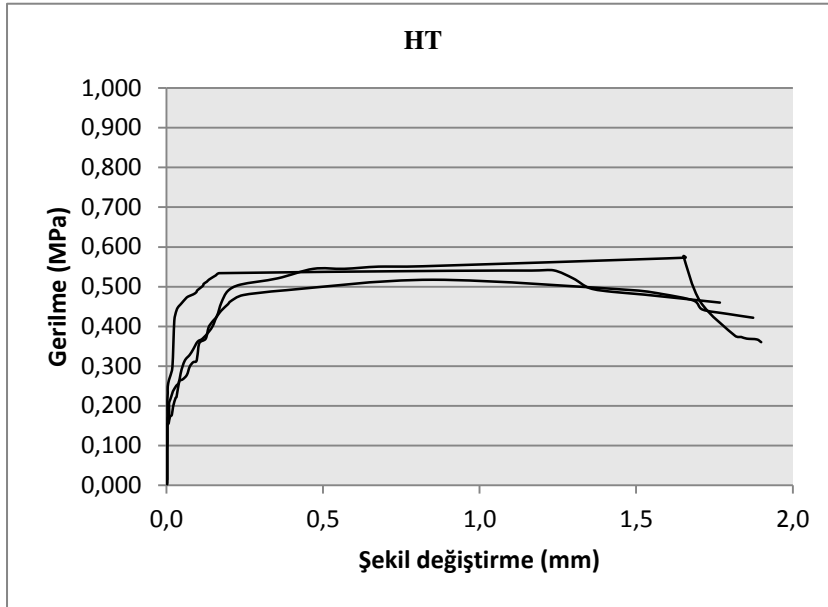
Bütün duvar numunelerinde aynı yerden şekil değiştirme ölçümü alınmıştır. Bunun için 0,001 mm hassasiyetli şekil değiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yükleme başlamadan Data Logger'e bağlı kanallar sıfırlanmıştır. Bunun dışında duvarlarda meydana gelen fiziksel değişimler gözlemlenerek bazı yerlerde daha iyi bir açıklama yapmak için fotoğraf çekimi yapılmıştır.

Takviyeli harç ile örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerine ait düşey yük-şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Takviyeli harçla örülen harman tuğlalı duvar numunelerinde en büyük yük 36,991 kN'a kadar yükselmiştir. Duvar elemanları en büyük yükü karşıladıktan sonra ani kırılmalara maruz kalarak benzer şekilde davranış göstermişlerdir.



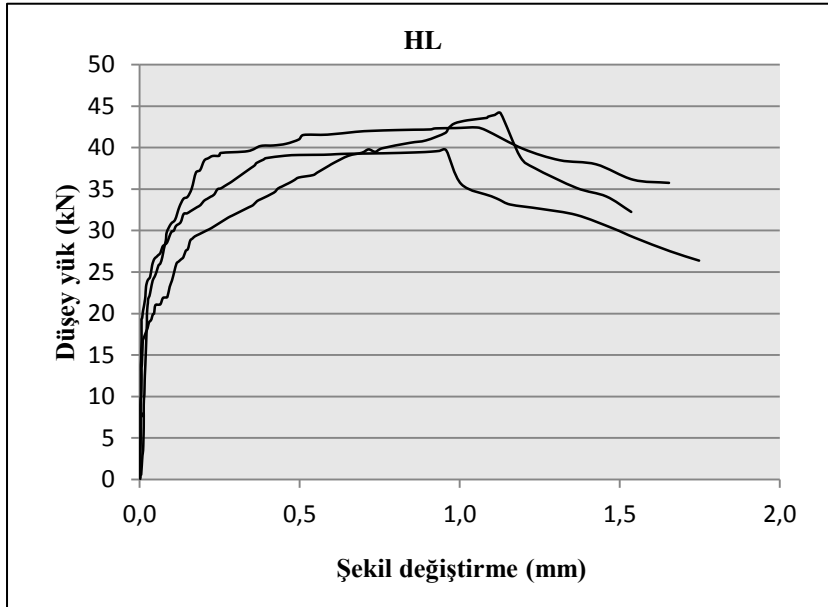
Şekil 4.1. HT numunelerinin düşey yük-şekil değişirme grafikleri

Takviyeli harçla örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerine ait gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Takviyeli harçla örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerinde en fazla gerilme 0,598 MPa, en düşük gerilme ise 0,520 seviyesindedir. HT numunelerinde genel olarak gerilme seviyeleri birbirlerine yakın değerlerde meydana gelmiştir.



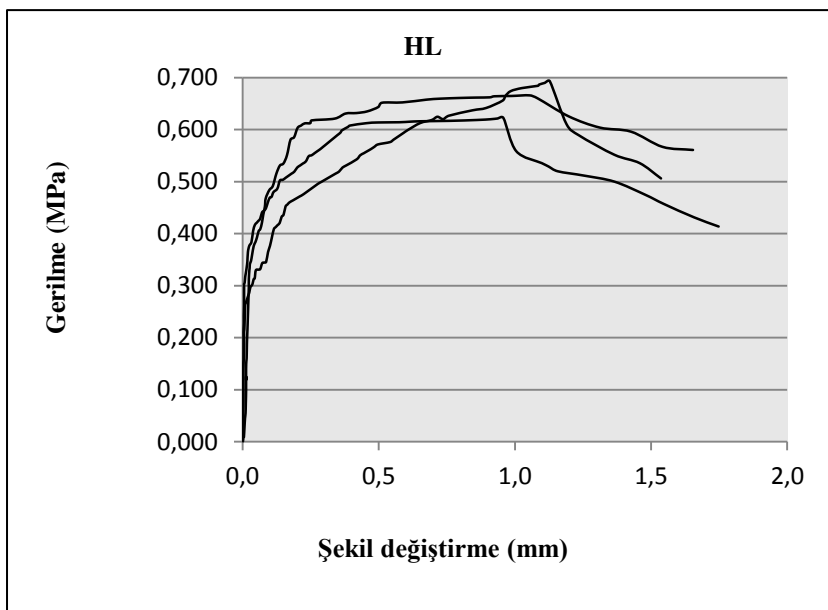
Şekil 4. 2. HT numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Polipropilen harç ile örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerine ait düşey yük-şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Polipropilen lifli harç ile örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerinde en fazla yük 44,154 kN seviyesine ulaşmakta ve daha sonra artan yatay şekil değiştirmeler ile numune ani kırılmaya maruz kalmaktadır. polipropilen harçla örülmüş harman tuğlalı duvarlar, takviyeli harçla örülmüş harman tuğlalı duvarlara göre % 19 oranında daha fazla düşey yüke ulaşmıştır. Takviyeli harçla örülmüş numunelere göre daha gevrek kırılmalar olduğu tespit edilmiştir.



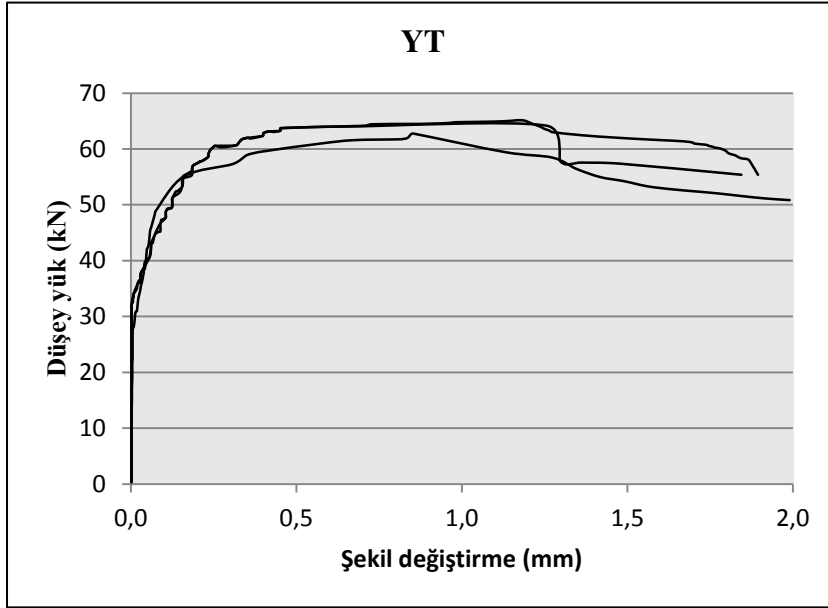
Şekil 4.3. HL numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri

Polipropilen lifli harçla örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir. HL numunelerinde en fazla gerilme 0,678 MPa, en düşük gerilme ise 0,615 MPa seviyesinde bir değer meydana gelmiştir. HL numunelerindeki gerilme HT numunelerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



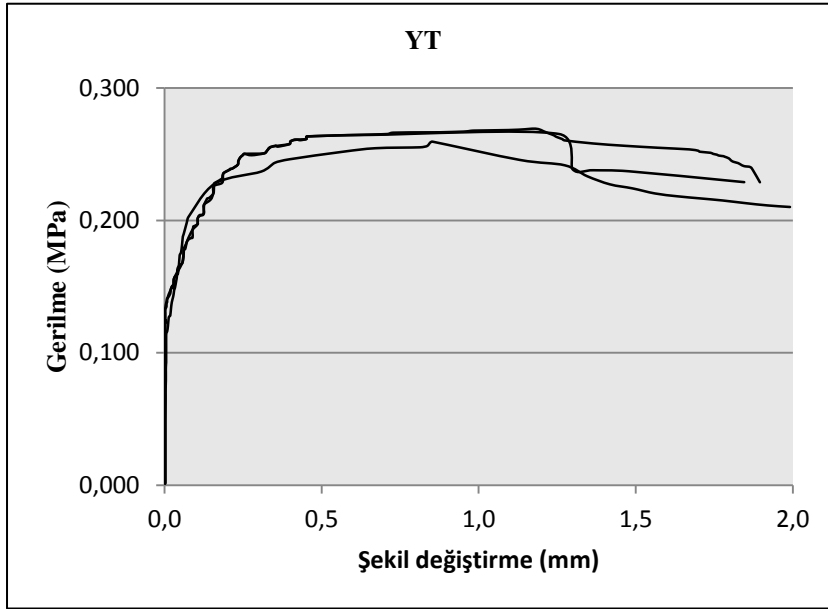
Şekil 4.4. HL numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Takviyeli harç ile örülmüş yığma tuğlalı duvar numunelerine ait düşey yük – şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Bu numuneler de en fazla yük 65,174 kN’a kadar ulaşmıştır.



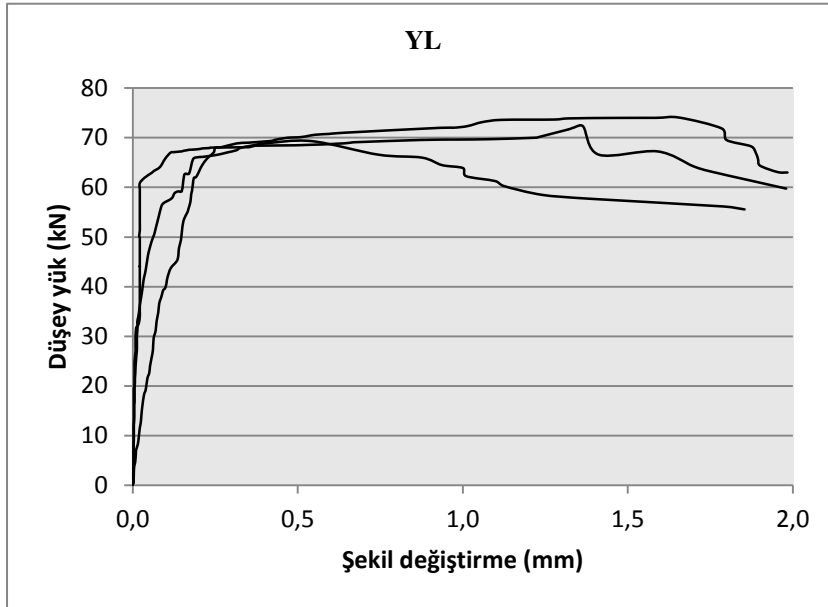
Şekil 4.5. YT numunelerinin düşey yük -şekil değiştirme grafikleri

Polipropilen lifli harçla örülmüş harman tuğlalı duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, YT duvar numunelerinde en yüksek ve en düşük gerilme değerleri sırasıyla 0,287 MPa ile 0,241 MPa olarak elde edilmiştir.



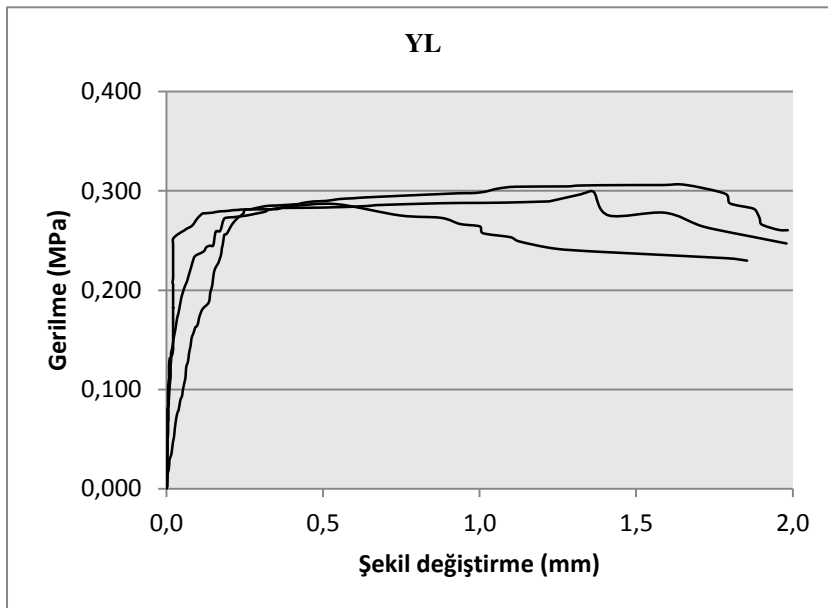
Şekil 4. 6. YT numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Polipropilen lifli harç ile örülmüş yığma tuğlalı duvar numunelerine ait düşey yük – şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.7’te gösterilmiştir. Bu numuneler de en fazla yük 74,046 kN’dur. Polipropilen lifle örülmüş yığma tuğlalı duvar numunesi, takviyeli harçla örülmüş yığma tuğlalı duvar numunesinden % 13 oranında daha fazla yüke ulaşmıştır. Numuneler en fazla yük seviyesine ulaştıktan sonra sünek davranış göstermiş daha sonra göçme meydana gelmiştir.



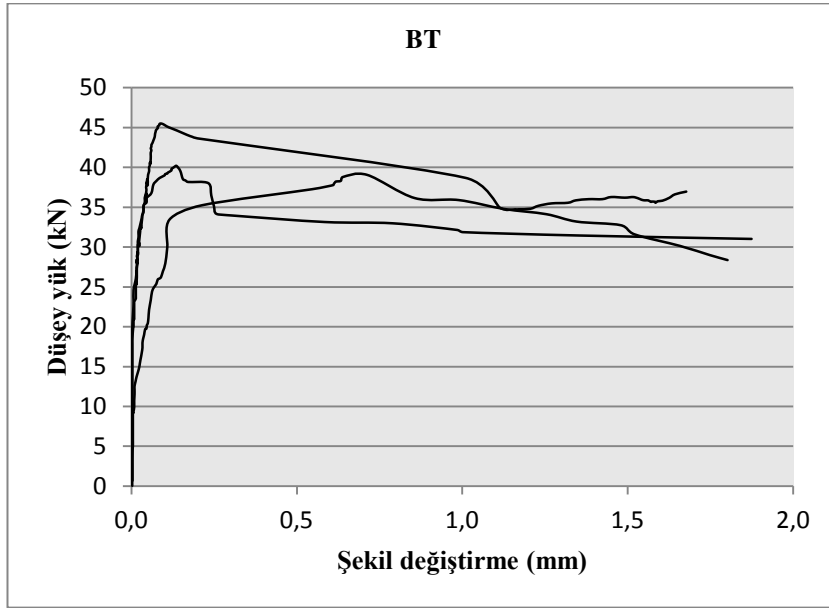
Şekil 4.7. YL numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri

Polipropilen lifli harçla örülmüş yığma tuğlalı duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.8’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, YL duvar numunelerinde en yüksek ve en düşük gerilme değerleri sırasıyla 0,315 MPa ile 0,284 MPa olarak elde edilmiştir.



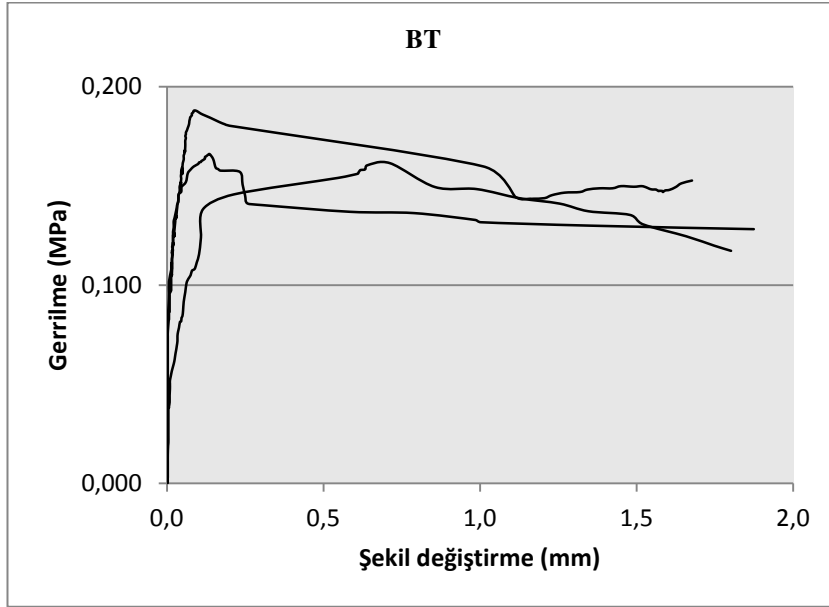
Şekil 4.8. YL numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Takviyeli harç ile örülmüş bimsblok ile örülen duvar numunelerine ait düşey yük-şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Takviyeli harç kullanılarak bimsblok ile örülmüş duvar numunelerinde en fazla yük 45,522 kN'dur.



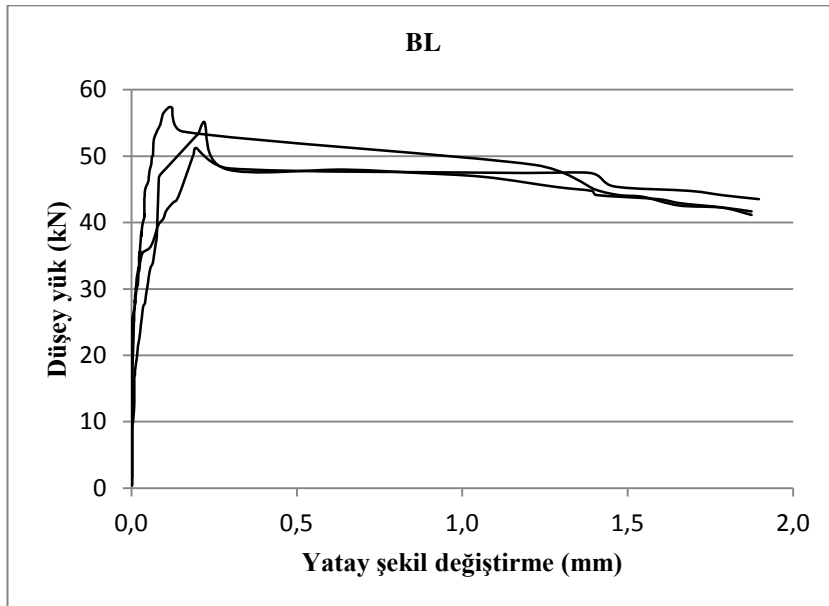
Şekil 4.9. BT numunelerinin düşey yük-şekil değiştirme grafikleri

Takviyeli harçla örülmüş bimsbloklu duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, BT duvar numunelerinde en yüksek ve en düşük gerilme değerleri sırasıyla 0,186 MPa ile 0,165 MPa olarak elde edilmiştir.



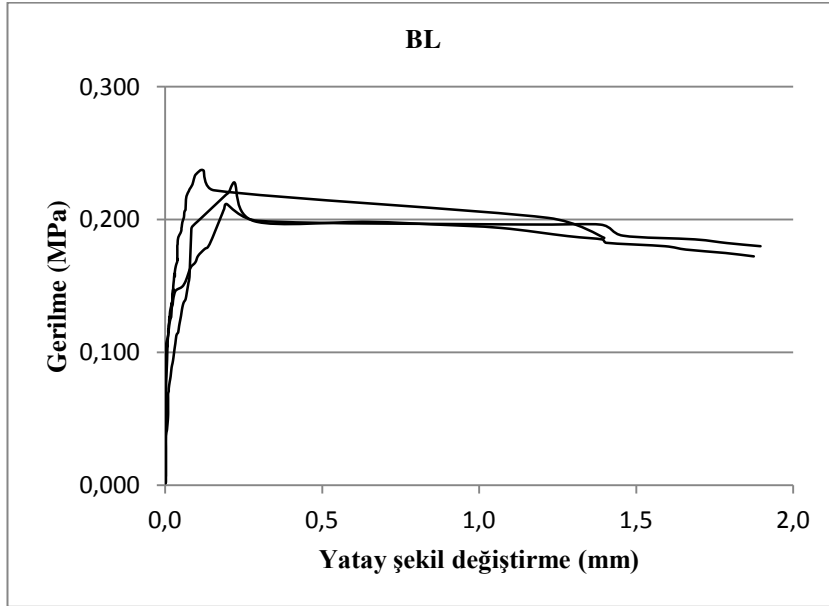
Şekil 4.10. BT numunelerinin gerilme-şekil değıştirme grafikleri

Polipropilen lifli harç ile örölmüş bimsblok ile örölen duvar numunelerine ait düşey yük – şekil değıştirme grafikleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Bimsblok ile örölmüş polipropilen lifli harçla örölmüş bimsblok duvar numunelerinde 54,526 kN seviyesine kadar ulaşmıştır.



Şekil 4.11. BL numunelerinin düşey yük / gerilme -şekil değıştirme grafikleri

Polipropilen lifli harçla örülmüş bimsbloklı duvar numunelerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, BL duvar numunelerinde en yüksek ve en düşük gerilme değerleri sırasıyla 0,245 MPa ile 0,208 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. . BL numunelerinin gerilme -şekil değiştirme grafikleri

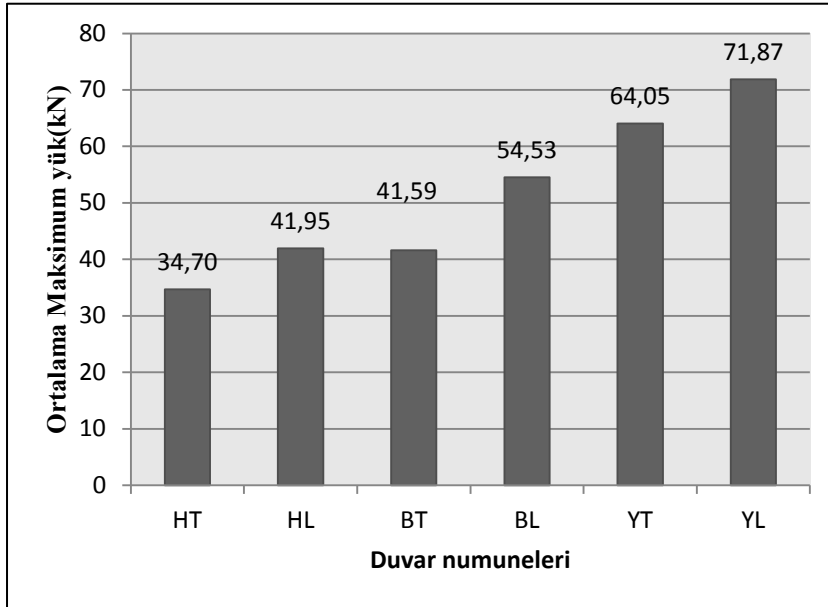
4.3. Çatlak Yükü Değerleri

Numunelere yükleme sırasında elde edilen veriler kullanılarak yük-yer değiştirme arasındaki ilişkileri bilgisayarda çizilmiştir. Duvar numunelerinin ön yüzeyine 2 adet birim deformasyon ölçer yerleştirilmiştir. Bunlardan biri ile yatay deplasman, diğeriyle de düşey deplasman değerleri ölçülmüştür. Meydana gelen çatlakların hangi yük değerlerinde olduğu Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Duvar numunelerin en fazla yüke karşı kesme çatlakları

Numuneler	En büyük Yük (kN)	Düşey Dep. ΔV (mm)	Yatay Dep. ΔH (mm)
HT01	34,482	0,953	1,236
HT02	36,691	0,985	1,651
HT03	32,933	0,529	0,852
HL01	42,052	1,152	1,084
HL02	39,652	1,242	0,958
HL03	44,154	1,395	1,128
YT01	65,174	1,168	1,170
YT02	64,183	0,864	1,256
YT03	62,789	1,891	0,853
YL01	69,312	0,411	0,542
YL02	72,251	1,891	1,365
YL03	74,046	0,803	1,657
BT01	40,181	0,457	0,136
BT02	39,053	0,450	0,712
BT03	45,522	0,486	0,087
BL01	55,082	0,368	0,221
BL02	51,209	0,470	0,196
BL03	57,286	0,279	0,123

Deneysel çalışmada örülen duvarların en yüksek ortalama düşey yük değerleri Şekil 4.7’de yer almaktadır. Ortalama düşey yük değerleri polipropilen lif kullanılarak örülen deney numunelerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Örgü malzemesinin harman tuğlası olduğu lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 20 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır. Örgü malzemesinin yığma tuğla olduğu lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 12 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır. Örgü malzemesinin bimsblok olan lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 30 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır. Lifli harç kullanılarak üretilen duvarların farklı değerlerde en büyük yüke ulaşmasında örgü malzemesinin de katkısı olmuştur.



Şekil 4.13. Duvar numunelerine ait ortalama en büyük yük değerleri grafiği

4.4. Kayma Dayanımı

Duvar numunelerinin kırılması, derzler boyunca harç ile örgü malzemesi arasındaki aderansın veya kenetlenmenin yetersiz kalması ve sona ermesiyle meydana gelir. Derzler boyunca örgü malzemesi ile harç arasındaki aderans, harçla örgü malzemesi arasındaki aderans ve sürtünme kuvvetlerinin yenilmesiyle ortadan kalkar.

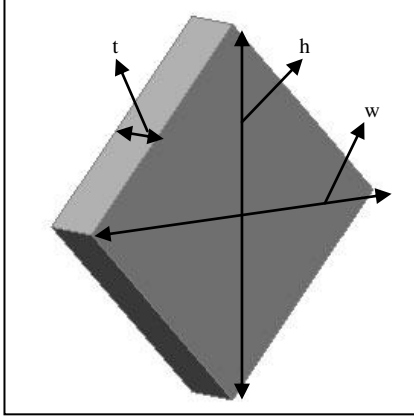
Numunelerin kesme dayanımları; deneylerden elde edilen en büyük yük değerleri kullanılarak ASTM E519/E519M-10 tarafından verilen eşitlik (1) yardımıyla bulunmuştur [64].

$$S_s = \frac{0,707 P}{A_n} \quad (1)$$

Duvar kesit alanı ise denklem (2) yardımıyla bulunmuştur.

$$A_n = \left(\frac{w+h}{2} \right) t \quad (2)$$

Denklem (2) deki kayma gerilmesinin hesaplanmasında kullanılan numune ölçüm ve yerleri (w,h,t) Şekil 4.8’de açıklanmıştır.



Şekil 4.14. Alan hesabında kullanılan numune ölçüm yerleri

ASTM E519’da ayrıca elemanların kesme şekil değiştirmesi ve kesme modülü değerlerinin belirlenebilmesi için denklem (3) ve (4) kullanılması belirtilmiştir.

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \quad (3)$$

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \quad (4)$$

Duvar numunelerinde en büyük yüke karşılık gelen kesme kuvveti hesaplanarak Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Numuneler arasında en fazla yüke karşılık gelen kesme kuvveti YL03 numunesinde 0,216 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Lifli harçla örülen numunelerde daha fazla kesme kuvveti oluşmuştur. Harman tuğlası ile örülmüş numunelerdeki kesme kuvvetinin fazla olmasının nedeni duvar kalınlığının diğer numunelere göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.2. Deney numunelerinin en büyük yüke karşılık gelen kesme kuvveti

Numuneler	En büyük Yük (kN)	Kayma Gerilmesi (MPa)
HT01	34,482	0,213
HT02	36,691	0,226
HT03	32,933	0,203
HL01	42,052	0,260
HL02	39,652	0,245
HL03	44,154	0,273
YT01	65,174	0,191
YT02	64,183	0,188
YT03	62,789	0,184
YL01	69,312	0,203
YL02	72,251	0,211
YL03	74,046	0,216
BT01	40,181	0,117
BT02	39,053	0,114
BT03	45,522	0,133
BL01	55,082	0,161
BL02	51,209	0,150
BL03	57,286	0,167

Deney numunelerinin en büyük yüke karşılık gelen kesme modülleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre 72,251 kN'luk yüke karşılık gelen en fazla kesme modülü 0,00256 oranında hesaplanmıştır. Kesme modüllerinin farklı olmasının nedeni oluşan düşey ve yatay deplesmanların numuneler arasında farklılık göstermesidir.

Çizelge 4.3. Deney numunelerinin maksimum yüke karşılık gelen kesme modülleri

Numuneler	En büyük Yük (kN)	Kayma Şekildeğiştirme γ	Düşey Dep. ΔV (mm)	Yatay Dep. ΔH (mm)
HT01	34,482	0,00172	0,953	1,236
HT02	36,691	0,00207	0,985	1,651
HT03	32,933	0,00109	0,529	0,852
HL01	42,052	0,00176	1,152	1,084
HL02	39,652	0,00173	1,242	0,958
HL03	44,154	0,00198	1,395	1,128
YT01	65,174	0,00184	1,168	1,170
YT02	64,183	0,00167	0,864	1,256
YT03	62,789	0,00216	1,891	0,853
YL01	69,312	0,00075	0,411	0,542
YL02	72,251	0,00256	1,891	1,365
YL03	74,046	0,00193	0,803	1,657
BT01	40,181	0,00047	0,457	0,136
BT02	39,053	0,00091	0,450	0,712
BT03	45,522	0,00045	0,486	0,087
BL01	55,082	0,00046	0,368	0,221
BL02	51,209	0,00052	0,470	0,196
BL03	57,286	0,00032	0,279	0,123

4.5. Numunelerin Göçme Biçimleri

Deneylerde yapılan gözlemler sonucunda takviyeli harç ve lifli harç kullanılarak harman, yığma ve bimsblok ile örülmüş numunelerde göçme, yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlaklar sonucunda örgü malzemesi ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmaları sonucunda gerçekleşmiştir. Numunelerde oluşan göçme biçimleri daha iyi anlaşılması bakımından resim ve çatlak desenleri gösterilerek aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

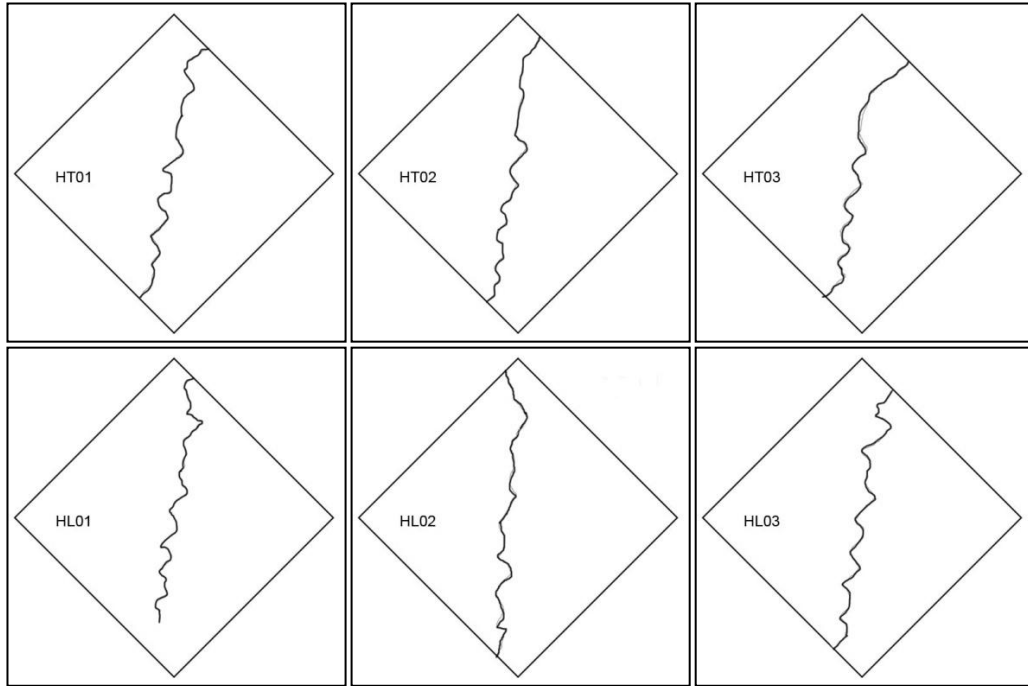
4.5.1. Harman tuğlası ile örülen duvarların göçme biçimi

Deneyler sonunda harman tuğlası ile takviyeli ve lifli harçla örülen duvar numunelerinde yapılan gözlemler sonucunda göçme, genel olarak derz boyunca diyagonal çatlakların oluşması ve numunenin harman tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla meydana gelmiştir. Numunelerde oluşan çatlaklar üzerlerine işaretleme yapılarak Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Düşey yönde ve derz

boyunca ilerleyen çatlak sonucunda harman tuğla ile harç ara yüzeyinden gevrek kırılmasıyla ikiye ayrılarak sona ermiştir. Deney boyunca harman tuğla ile örülen duvarın alt ve üst başlıklarında herhangi ezilme oluşmamıştır. Harman tuğlası ile lifli ve takviyeli harç ile örülen duvar numunelerinin de yükleme sonrası oluşan çatlaklar Resim 4. 1’de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Harman tuğlası ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri



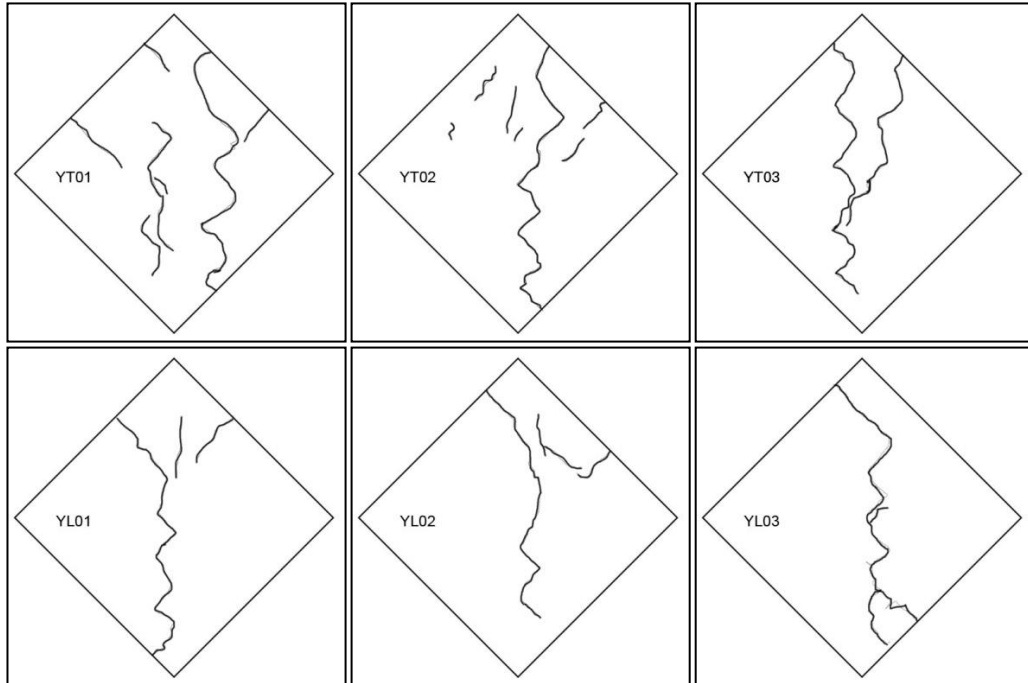
Şekil 4.15. Harman tuğlası ile örülen duvarların çatlak desenleri

4.5.2. Yığma tuğla ile örülen duvarların göçme biçimi

Deneyler sonunda duvar numunelerinde yapılan gözlemler sonucunda oluşan göçme biçimi, düşey yönde oluşan küçük çatlakların oluşması ile başlamıştır. Derz boyunca ilerleyen çatlak sonucunda yığma tuğla ile harç ara yüzeyin birbirinden ayrılmasına neden olmuştur. Bazı duvar numunelerinin üst tarafında yer alan yığma tuğla elemanında diyagonal çatlak oluşmuş, yığma tuğla duvarlarda duvarın alt ve üst başlıklarında herhangi ezilme oluşmamıştır. Bazı numunelerde çatlaklar yığma tuğlaların kırılmasıyla meydana gelmiştir. Duvar numunelerinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar Resim 4.2’de gösterilmiştir.



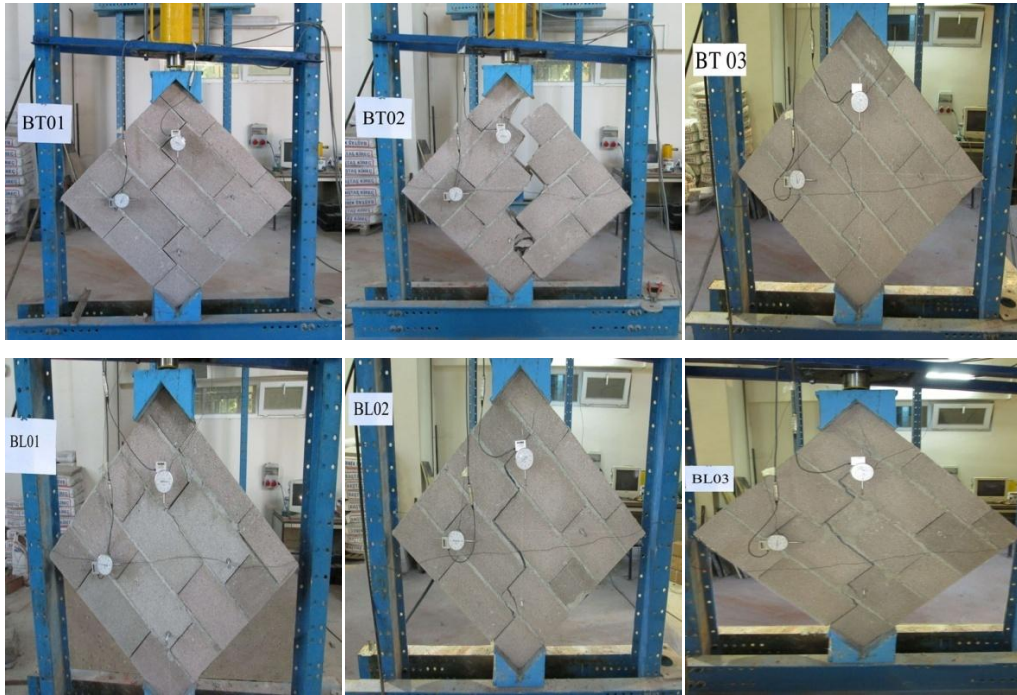
Resim 4.2. Yığma tuğla ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri



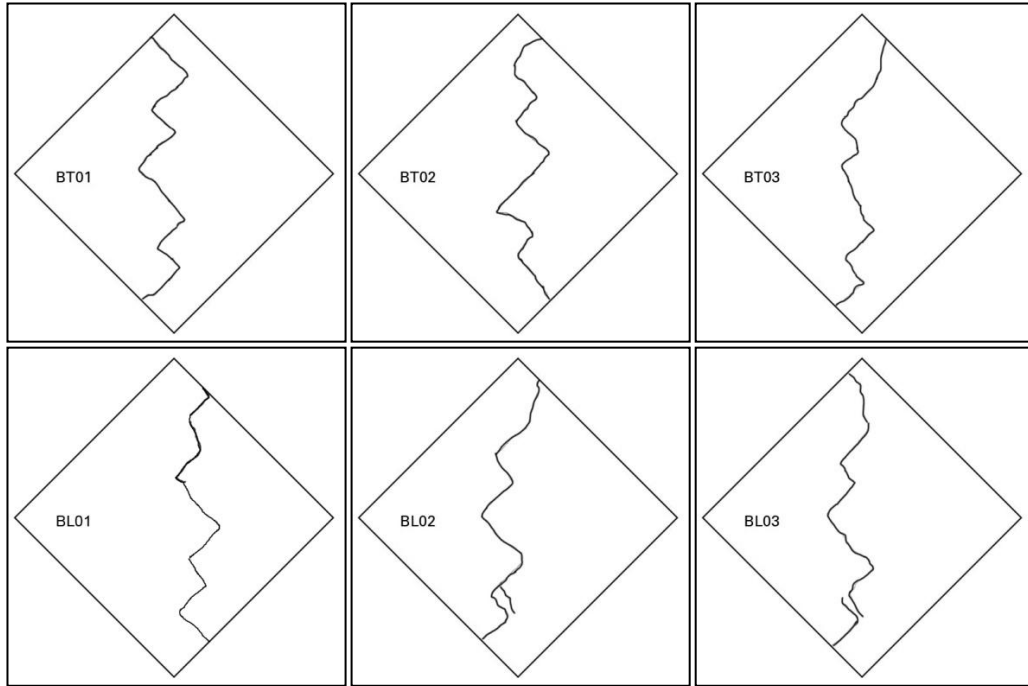
Şekil 4.16. Yığma tuğla ile örülen duvarların çatlak desenleri

4.5.3. Bimsblok ile örülen duvarların göçme biçimi

Deneyler sonunda bimsblok ile takviyeli ve lifli harçla örülen duvar numunelerinde yapılan gözlemler sonucunda oluşan göçme, derz boyunca oluşan diyagonal çatlakların oluşması ve numunenin bimsblok ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla meydana gelmiştir. Düşey yönde ve derz boyunca ilerleyen çatlak sonucunda yığma tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmasıyla sona ermiştir. Duvar orta bölgesinde diyagonal çatlak meydana gelmiştir. Deney boyunca bimsblok ile örülen duvarın alt ve üst başlıklarında herhangi ezilme oluşmamıştır. Ancak bimsblok ile örülen duvarlarda ani kırılmalar meydana gelmiştir. Çatlak genişliğinin aniden artmasıyla BT02 duvar numunesi artan yük etkisiyle aniden düşey doğrultuda ayrılmıştır. Duvar numunelerinde yükleme sonrası oluşan çatlaklar Resim 4.3'te gösterilmiştir.



Resim 4.3. Bimsblok ile örülen duvar numunelerinin göçme biçimleri



Şekil 4.17. Bimsblok ile örülen duvarların çatlak desenleri

4.6. Rijitlik Modülü

Duvar numunelerinin rijitlik modül değerleri düşey yük - düşey şekil değiştirme değerlerinin kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de numunelerin rijitlik modüllerinin hesap sonuçları verilmiştir. Rijitlik modüllerinin farklı değerler alması numunelerin yatay ve düşey yer değiştirme değerlerinin her numunede değişik ölçülerde olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.4. Numunelerin rijitlik modülleri

Numuneler	En büyük Yük (kN)	Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	Kayma şekil değiştirme γ	Rijitlik Modülü G (MPa)
HT01	34,482	0,383	0,00172	222,739
HT02	36,691	0,408	0,00207	196,817
HT03	32,933	0,366	0,00109	337,200
HL01	42,052	0,467	0,00176	265,928
HL02	39,652	0,441	0,00173	254,854
HL03	44,154	0,491	0,00198	247,458
YT01	65,174	0,191	0,00184	103,728
YT02	64,183	0,188	0,00167	112,655
YT03	62,789	0,184	0,00216	85,146
YL01	69,312	0,203	0,00075	270,633
YL02	72,251	0,211	0,00256	82,571
YL03	74,046	0,216	0,00193	112,004
BT01	40,181	0,117	0,00047	252,134
BT02	39,053	0,114	0,00091	125,059
BT03	45,522	0,133	0,00045	295,619
BL01	55,082	0,161	0,00046	347,985
BL02	51,209	0,150	0,00052	286,113
BL03	57,286	0,167	0,00032	530,259

4.7. Enerji Tüketme Değerleri

Deney sırasında numuneler tarafından tüketilen enerji miktarı numunelerin düşey yük-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alandan hesaplanmıştır. Alan hesabı yapılırken, her bir numune için düşey yük ve şekil değiştirme eğrisinin en yüksek yük seviyesinin düşmeye başladığı düşen kolu üzerinde en büyük düşey yük seviyesinin 0.85'i seviyelerine kadar gelen kısmın altında kalan alan dikkate alınmıştır. Duvar numunelerinde tüketilen enerji miktarı yer değiştirme ölçerler tarafından elde edilen veriler ile hesaplanmıştır. Bütün numuneler için elde edilen grafikler ve üzerinden hesaplanan alanlar Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Numuneler içerisinde arasında en fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olan yığma tuğlalar ile örülmüş duvar numuneleridir. Bunun nedeni en büyük yükün diğer duvarlara göre daha fazla olduğu ve numunelerde ani kırılmalar meydana gelmemesinden kaynaklandığı görülmektedir.

Çizelge 4.5. Duvar numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri

Numuneler	En büyük yük (kN)	Enerji tüketme kapasitesi (kNmm)
HT01	34,482	57,868
HT02	36,691	62,204
HT03	32,933	53,354
HL01	42,052	58,295
HL02	39,652	41,321
HL03	44,154	43,200
YT01	65,174	113,577
YT02	64,183	106,784
YT03	62,789	89,456
YL01	69,312	85,326
YL02	72,251	122,118
YL03	74,046	168,916
BT01	40,181	54,254
BT02	39,053	55,435
BT03	45,522	74,165
BL01	55,082	62,804
BL02	51,209	59,126
BL03	57,286	63,485

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Aynı geometrik özelliklere sahip 900x900 mm boyutlarında 18 adet duvar numunesi üretilerek deneysel sonuçlar alınmıştır. Duvar örgüsünde kullanılan bağlayıcı malzeme, takviyeli ve lifli harç, duvar örgü malzemesi olarak ise harman, yığma ve bimsblok kullanılmıştır. Üretilen deney numunelerinin yük-şekil değiştirme davranışı ve enerji tüketim kapasiteleri belirlenmiştir.

Duvar numunelerinin hemen hemen hepsinde yapılan gözlemler sonucunda oluşan göçme, derz boyunca oluşan diyagonal çatlakların oluşması ve örgü malzemesi ile harç ara yüzeyinden düşeyde duvar numunesinin ikiye ayrılmasıyla meydana gelmiştir. Bimsblok ile örülen numunelerde, diğer numunelere göre daha gevrek kırılmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.

Duvar örgü malzemeleri bakımından kayma dayanımı en fazla olan yığma tuğla ile örülen numunelerde gözlenmiştir. Bunun sebebi harç ile yığma tuğlanın aderansının fazla olması ve tuğlada bulunan deliklere harcın girerek kayma direncini artırdığı düşünülmektedir.

Polipropilen lifli harçla örülen duvar numunelerin duvarın kayma dayanımında katkı sağladığı tespit edilmiştir. Polipropilen lifli harç kullanılarak örülen duvar numuneleri, takviyeli harç kullanılarak örülen duvar numunelerinden daha fazla kesme dayanımı göstermiştir.

Polipropilen lifli harç kullanılarak üretilen duvarların farklı değerlerde en büyük yüke ulaşmasında sadece lifli harçtan kaynaklanmadığı örgü malzemesinin de katkısı olduğu görülmektedir. Numunelerin şekil değiştirme yapabilme yeteneği ve dayanımındaki artışta en iyi sonuç polipropilen lif kullanılarak örülen yığma tuğla duvar numunelerinde olduğu gözlenmiştir.

Farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar bundan sonra ki yapılacak çalışmaların geliştirilmesinde kaynak teşkil edecektir.

Örgü malzemesinin harman tuğlası olduğu lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 20 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır.

Örgü malzemesinin yığma tuğla olduğu lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 12 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır.

Örgü malzemesinin bimsblok olan lifli harçla örülen duvar numunesi lifsiz harçla örülen numunelerle göre yaklaşık % 30 oranında daha fazla ortalama düşey yük değeri alınmıştır.

Yığma yapılarda kullanılan duvarların, yapı için taşıyıcı özellikte olması duvar örgü malzemelerinin önemini artırmaktadır. Bu nedenle harman tuğlası, yığma tuğla ve bimsblok ile duvar örme işinde harçlara polipropilen lif ilave edilmesi yapıları daha güvenli hale getirecektir.

5.2. Öneriler

Bundan sonraki yapılacak olan deneysel çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir.

- Duvar numunelerinin mekanik özellikleri araştırılırken duvarların boyut etkisi araştırılabilir.
- Örgü türleri farklı duvar numuneleri üretilerek örgü türünün mekanik dayanıma etkisi incelenebilir.
- Farklı örgü malzemeleri kullanılarak denemeler yapılabilir.

- Harç yapımında mineral ve kimyasal katkıları kullanarak deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Duvarların mekanik özelliklerinin artırılması için duvar yapımında kullanılan malzemelerin maliyetleri karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. TS-EN 771-1, Kâgir birimler- özellikler- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (tuğlalar), **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 3-4 (2005).
2. Kozak, M. ve Ünal, O., “Hafif agregalı blokların özelliklilerinin araştırılması”, **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (2): 18 (2010).
3. Postacıoğlu, B., “Yapı malzemesi dersleri-bağlayıcı maddeler, agregalar ve beton”, **Teknik Üniversite Matbaası**, İstanbul, 302-304 (1975).
4. Arslan, M., “Yapı Teknolojileri 2”, Seçkin Yayınevi, Ankara, 21 (2012).
5. Dowrick, D.J., “Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects”, **John Wiley&Sons**, New York, (1987).
6. Kanıt ve ark, “Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı”, **YDGA Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara (2005).
7. Sucar, İ., “Betonarme yapılarda, yatay yükler etkisi altında dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, (2008).
8. Çağlayan, E., “Betonarme çerçevelerin yatay yüklere göre analizinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, (2006).
9. Bozdağangil, A.T., “Deprem yükleri altında yığma duvarların dayanımı ve takviyesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 16 (1998).
10. Özer, Ö., “Betonarme bina analizinde dolgu duvarların yatay ve düşey yüklere karşı davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 6 (2009).
11. Arioğlu, E. ve Anadol K., “Türkiye’de kırsal konutların son yıllardaki tahripkar depremlere mukabelesi”, **Deprem Araştırma Bülteni**, Ankara, 5: (1974).
12. Yılmaz, K., “Yığma Duvarlarda Kayma Dayanımının Artırılması Amacı İle Farklı Bağlantı Elemanı Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Aksaray, (2013).
13. Bakier,Ö. “Selçuklu öncesi ve selçuklu dönemi anadolu mimarisinde tuğla kullanımı, **Ortadoğu Teknik Üniverrsitesi**, Ankara, (1981).

14. Toydemir, N. “Geleneksel yapı malzemesi olarak pişmiş toprak ve yapı kavramına etkileri”, *Mimarlık Dergisi*, İstanbul 10, (1967).
15. Alamut, H.Ö. “Tuğla ve duvarlarda kalite ve standardizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Tarıkya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trakya, (2001).
16. Çöğürçü, M.T., “Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2007).
17. Erol, G., “Karbon liflerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeveler”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
18. Çiçek, Y. E., “Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerini fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2002).
19. Capozucca, R., “Shear behaviour of historic masonry made of clay bricks”, *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5: 89-96 (2011).
20. TS-EN 771-3, “Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 3: Beton kâgir birimler (yoğun ve hafif agregalı)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
21. Uzun, Ö., “Bimsblok ile örülen dış duvarların yapısal performansının değerlendirilmesi üzerine bir alan araştırması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aralık, (2008).
22. Kıvrak, O.S., “Uçucu kül katkılı bimsblokların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Ankara, (2006).
23. Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M., İsker, M., “Bimsbetonların geliştirilmiş perlit agregalar ile teknik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine teknik bir analiz”, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, (2006).
24. Kılıç, A., “Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2012).
25. Gür, N., V., Deniz, Ö. Ş. ve Ekici S., “Kagir yığma duvarlarda taşıyıcı malzeme ve bileşenler”, *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa, (2012).
26. DBYBHY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Ankara, (2007).

27. Bayülke, N., “Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği”, **1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, Ankara, Türkiye, (2011).
28. Arı, K., “Dolgulu duvar blokları imali ve ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana (2010).
29. TS EN 2510, “Kargir duvarlar- hesap ve yapım kuralları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1997).
30. Akbulut, D. E., “Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2006)
31. Şimşek, O., “Yapı Malzemeleri II”, **Seçkin Yayınevi**, Ankara, (2013).
32. Bayülke, N. “Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği” , **1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (2011).
33. Güneş ve ark., “Hazır yaş sıvanın (harçlarının) üretimi, kalite kontrolü ve deneysel çalışması”, **Hazır Beton Kongresi ve Uluslararası Beton ve Agregat Teknolojileri ve Ekipmanları Fuarı**, İstanbul, (2010).
34. TS EN 998-2, “Kâgir harcı - özellikler - Bölüm 2: Kâgir harcı”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 11 (2006).
35. EN 998-1, “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, **European Standards**, (2004).
36. Bosiljkov, V., Totoev, Y. Z. and Nichols, J. M., “Shear modulus and stiffness of brickwork masonry: An experimental perspective”, **Structural Engineering Mechanics An International Journal**, 20 (2005).
37. Döndüren, M.S., “Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışına etkisi”, Doktora Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, (2008).
38. Kanit, R. ve Döndüren, M. S., “Bağlayıcı özelliği artırılan harçla oluşturulan yığma duvarların mekaniksel davranışları”, **Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi**, 7, (2008).
39. Alecci, V., Fagone M., Rotunno T., Stefano, M. D., “Shear strength of brick masonry walls assembled with different types of mortar”, **Construction and Building Materials**, 40:1038–1045 (2013).

40. Shedid. M.T., Dakhakhni, W., Drysdale, R. G., "Behavior of fully grouted reinforced concrete masonry shear walls failing in flexure: Analysis", *Engineering Structures*, 31: 2032-2044 (2009).
41. Bayülke, N., "Betonarme yapının dolgu duvarı", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4:426 (2003).
42. Demirel, I.O., Erberik, M.A. ve Sucuoglu, H., "Tuğla Yığma Yapıların Performans Esaslı Değerlendirilmesi İçin Doğrusal Olmayan Çerçeve Modeli", *I. Türkiye Deprem Mühendislimi ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, (2011).
43. Özsayın, B., "Boşluklu tuğla duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesi ve davranışta harç etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
44. Sevil. T., Baran, M. ve Canbay, E., "Tuğla dolgu duvarların B/A çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar", *International Journal of Engineering Research and Development*, 2 (2): 7 (2010).
45. As, E. F., "Tarihi tuğlalar ile örülen duvarların güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
46. Ural, A., Doğangül, A., "Örgü biçimlerinin yığma duvarın kayma davranışına etkisi", *Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu*, Sakarya, (2009).
47. Prota ve ark., "Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementations matrix-grid composites", *Journal of Composites for Costruction*, 10 (3): 223-233 (2006).
48. Yılmaz, E., "Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
49. Coza, H., "Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
50. Alcaino, P., Santa-Maria, H., "Experimental Response of Externally Retrofitted Masonry Walls Subjected to Shear Loading", *Journal of Composites for Construction*, 12 (5): 489-49 (2008).
51. Begimgil, B., "Aderans arttırıcı katkı maddelerinin iki eksenli yükleme altındaki tuğla duvarların kayma davranışına etkisi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1990).

52. Yáñez, F., Astroza, M., Holmberg, A., Ogaz, O. “Behavior of confined masonry shear walls with large openings”, **13. World Conference on Earthquake Engineering Vancouver**, B.C., Canada, 3438 (2004).
53. Özkan, C., “Çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlı yükler altında davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2012).
54. Begimgil, M., “Tuğla duvarların kayma dayanımının güçlendirilmesi üzerine deneysel ve analitik bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1992).
55. Valluzzi, M.R., Tinazzi, D. and Modena, C., “Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates”, **Journal of Construction and Building Materials**, 16: 409-416 (2002).
56. Gabor ve ark., “Analysis and modelling of the in-plane shear behaviour of hollow brick masonry panels”, **Construction and Building Materials**, 20, 308–321 (2006).
57. Akkuzu, V.A., “Betonarme çerçeveli dolgu duvarların deprem etkisi altındaki dinamik davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2007).
58. Başaran, H., Demir, A. ve Bağcı, M., “Investigating the Behaviour of Plaster Mortared Rural Masonry Walls”, **II. International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering**, Epoka University, (2013).
59. Köksal, E., Köksal, H. O., Yıldırım, H., “Eksenel basınç altında beton briket yığıma prizmaların sonlu eleman analizi”, **İstanbul Mimarlar Odası Teknik Dergi**, 3249-3265 (2004).
60. Ganesan, T. P., Ramamurthy, K., “Behavior of Concrete Hollow-Block Masonry Prisms Under Axial Compression”, **Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineer**, 1751-1769 (1992).
61. ACI 530-92/ASCE 5-92/TMT, “Building Code Requirements for Masonry Structures”, **American Concrete Institute**, 402-92 (1992).
62. BS 5628-3, “Code of Practice for Use of Masonry”, **British Standard**, 1 : 5628 (1992)
63. Boulton, B. F., “Concrete masonry prism testing”, **ACI Journal**, 76: 513-535 (1979).
64. TS EN 1052-1, “Kâğıt - deney metotları -Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2000).

65. TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
66. TS EN 459-1, “Yapı kireci - Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
67. TS EN 1008, “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2003).
68. SİKA Yapı Kimyasalları, Beton ve harç için polipropilen lif, *Ürün bilgi föyü*, (2007).
69. ASTM E519/E519M-10, “Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages”, *American Society for Testing and Materials*, (2012).

EKLER

EK - 1 Deney resimleri



Harman tuğlası ile duvar örülmesi



Yığma tuğla ile duvar örülmesi

EK-1 (Devam) Deney resimleri



Bimsblok ile duvar örülmesi



Harman tuğla ile örülmüş duvar

EK-1 (Devam) Deney resimleri



Bimsblok ile örölmüş duvar



Yığma tuğla ile örölmüş duvar

EK-1 (Devam) Deney resimleri



Alt başlık



Üst başlıklar

EK-1 (Devam) Deney resimleri



Deney düzeneği



Yer değiştirme ۆlerlerin montajı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : DÜNDAR, Behçet
 Uyuğu : T.C
 Doğum Yeri ve Yılı : 09.03.1982 Osmaniye
 Medeni Hali : Bekar
 Yazışma adresi : Necdet Gören Cad. Ulus Apt. 17/2 Beşkavaklar / BOLU
 E-posta : behcet0680@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Yapı Eğitimi ABD	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi / Yapı Öğretmenliği	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Dündar B., ve Yılmaz H., “Türkiye’deki İnşaat Teknolojisi Programlarının Mevcut Durumu İle İnşaat Teknolojisi Programının Sorunları ve Çözüm Önerileri”, **2. Uluslararası 6. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu**, Aydın, (2011).

Atabey İ, İ., Dündar B., ve Bulut B., “LEED ve BREEAM İle Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, 681-685, (2010).

Dündar, B., “Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008

Hobiler

Masa tenisi, Voleybol, Kitap okumak