

**İÇTEN VE DIŞTAN DONATILI PÜSKÜRTME BETON İLE
GÜÇLENDİRİLEN YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI
TEKRARLI YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞI**

Tahir ATEŞ

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

**İÇTEN VE DIŞTAN DONATILI PÜSKÜRTME BETON İLE
GÜÇLENDİRİLEN YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI
TEKRARLI YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞI**

Tahir ATEŞ

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

Tahir ATEŞ tarafından hazırlanan İÇTEN VE DIŞTAN DONATILI PÜSKÜRTME BETON İLE GÜÇLENDİRİLEN YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEMDİŞİ TEKRARLI YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞI adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Recep KANIT

Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof.Dr. Metin ARSLAN

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Recep KANIT

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. Serkan SUBAŞI

İnşaat Mühendisliği, Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 10/07/2013

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.

Tahir ATEŞ

**İÇTEN VE DIŞTAN DONATILI PÜSKÜRTME BETON İLE
GÜÇLENDİRİLEN YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI TEKRARLI
YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞI
(Doktora Tezi)**

Tahir ATEŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2013

ÖZET

Bu çalışmada, içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yığma duvarın (D_2), mekaniksel davranışı ve güçlendirme yönteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu araştırma; güçlendirilmemiş model duvarın (D_0) mekaniksel davranışlarını inceleyen Kanit (2006) ve ön yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen model duvarın (D_1) mekaniksel davranışlarını inceleyen Kalkan (2008)' in çalışmalarının devamı olarak planlanmıştır. Aynı özelliklerde üretilen ve iki yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen duvar (D_2), aynı şartlarda deneye tabi tutulmuş, mekaniksel davranışları incelenmiş ve D_0 ve D_1 deney sonuçlarıyla mukayese edilerek, yöntemin performansı araştırılmıştır. Deney sonucunda; (D_2) duvarının, ilk çatlama yükünün -100 kN, kırılma yükünün -275 kN, sünekliğinin 6,15, ilk çatlama rijitliğinin 15,38 kN/mm, kırılma rijitliğinin 6,87 kN/mm ve enerji tüketiminin 9000 kNmm olduğu görülmüştür. Bu kapsamda D_2 duvarının performansı için D_0 ve D_1 ' nin deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sırasıyla; dayanımın 4,58 ve 1,47 kat arttığı, sünekliğin 2,79 ve 1,05 kat artarak 6,15' e ulaştığı, enerji tüketme kapasitesinin 28,12 ve 2,01 kat arttığı, rijitliğin 0,44 oranında azaldığı, buna ilaveten (D_2) duvarının, 1,06 g' lık yer ivmeli bir depremin sismik

kuvvetine dayanabileceği ve duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 4,56 ve 1,46 kat arttırdığı gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.3.035
Anahtar Kelimeler: Deprem, yığma bina, güçlendirme
Sayfa Adedi : 129
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Recep KANIT

**BEHAVIOUR OF UNDER OUT OF PLANE PERIODIC LOAD TO
INTERNALLY AND EXTERNALLY WITH STEEL SHOTCRETE
REINFORCED OF MASONRY WALLS**

(Ph.D.Thesis)

Tahir ATEŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2013

ABSTRACT

In this study, the performance of mechanical behaviour and reinforcement method of strengthening masonry wall (D₂) with internally and externally steel reinforced shotcrete has been examined in an experimental way. This research has been planned as the continuance of studies that examined mechanical behaviours of unreinforced model wall (D₀) by Kanit (2006) and examined mechanical behaviours of the front face strengthening model wall (D₁) with steel reinforced shotcrete by Kalkan (2008). The wall (D₂) which has been made with the same features and been reinforced on both faces by steel reinforced shotcrete has been tested in equal conditions; its mechanical behaviours have been examined and the performance of the method has been researched after being compared with D₀ and D₁ experiment results. At the end of the experiment; it has been proved that of the wall (D₂), however, first crack load; -100 kN, break load; -275 kN, ductility; 6,15 mm, stiffness of the first cracking; 15,38 kN/mm, fracture stiffness; 6,87 kN/mm and energy consumption; 9000 kNmm. In this extent, for the performance of the wall (D₂), the experimental results of D₁ and D₂ has been compared, and respectively observed that the resistance was increased 4,58 and 1,47 times, the flexibility increased 2,79 and 1,05 times, and reached 6,15, the capacity to consume energy is increased 28,12 and 2,01 times and rigidity decreased 0.44 times. In addition, the wall (D₂) is

resisted to seismic earthquake force with ground acceleration for 1,06 g and seismic force performance is increased approximate 4,56 and 1,46 times on the wall (D₂).

Science Code : 714.3.035

Key Words : Earthquake, masonry building, strengthening

Page number : 129

Adviser : Prof. Dr. Recep KANIT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam için; Tez danışmanım Prof. Dr. Recep KANIT' a, TİK üyeleri “Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği ve Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı” Prof. Dr. Metin ARSLAN' a ve Doç. Dr. Özgür ANIL' a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mürsel ERDAL ve Yrd. Doç. Dr. Ömer CAN' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Yığma Yapıların Tasarımı ve Davranışı ile İlgili Çalışmalar.....	7
2.2. Yığma Yapılarda Hasarları ile İlgili Çalışmalar.....	13
2.3. Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar.....	20
3. YIĞMA YAPILAR.....	43
3.1. Yığma Yapının Tanımı.....	43
3.2. Yığma Yapıların Analizi.....	43
3.2.1. Yığma yapıların analiz yöntemleri.....	44
3.3. Yığma Yapıların Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	45
3.3.1. Yığma yapılarda kullanılan harçlar.....	45
3.3.2. Tuğla.....	47
3.3.3. Doğal yapı taşları.....	49
3.3.4. Kerpiç.....	49

	Sayfa
3.3.5. Beton briket.....	49
3.3.6. Hafif beton bloklar	50
3.4. Yığma Yapıların Davranışı	50
3.4.1. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarlar	50
3.4.2. Yatay yükün duvarlara dağılımı.....	50
3.4.3. Yığma yapıların dinamik özellikleri	53
3.4.4. Yığma duvarların göçme şekilleri.....	56
3.4.5. Yatay kuvvetlere maruz duvarlarda oluşan kırılma biçimleri.....	58
3.4.6. Test yöntemleri	59
3.5. Depreme Dayanıklı Yığma Yapının Tasarım Kuralları	60
3.6. Yığma Yapılarda Görülen Hasarlar	64
3.6.1. Yığma yapılarda meydana gelen hasarların nedenleri	64
3.6.2. Yığma yapılarda görülen hasar biçimleri.....	65
3.6.3. Yığma yapılarda deprem hasar kriterleri	66
3.7. Onarım ve Güçlendirme.....	67
3.7.1. Onarım ve güçlendirmede terminolojik kavram ile amaç.....	67
3.7.2. Onarım ve güçlendirmede izlenen yol	68
3.7.3. Yığma yapıların güçlendirilmesi.....	68
4. MATERYAL VE METOD	70
4.1. Materyal	70
4.1.1 Deney elemanları	70
4.1.2. Duvar yapımında kullanılan malzemeler ve özellikleri	71
4.1.3 Duvarın güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler	73
4.1.4. Duvarın desteklenmesinde kullanılan malzemeler	76

Sayfa

4.1.5. Deney duvarının (D_2) geometrik ve mekânîk özellikleri.....	77
4.2. Metod	78
4.2.1. Duvarın örülmesi ve güçlendirilmesi.....	78
4.2.2. Deney elemanının üretilme aşamaları.....	79
4.2.3. Deney düzeneğinin hazırlanması ve deney mekanizması.....	87
4.2.4. Ölçme tekniği ve ölçüm düzeneği.....	89
4.2.5. Yük ölçümü.....	90
4.2.6. Deplasmanların LVDT' ler ile ölçülmesi	91
4.2.7. Deney süresince elde edilen ölçümlerin bilgisayara aktarımı.....	91
4.2.8. Veri değerlendirilmesi	92
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	93
5.1. İçten ve Dıştan Donatılı Püskürme Beton ile Güçlendirilmiş D_2 Duvarın Deney Sonuçları	93
5.2. D_2 Duvarının Dayanımı	105
5.3. D_2 Duvarının Sünekliği	106
5.4. D_2 Duvarının Rijitliği	107
5.5. D_2 Duvarının Enerji Tüketme Kapasitesi	109
5.6. D_2 Duvarının Analitik İncelemesi	109
5.7. D_2 Duvarının Güçlendirme Yönteminin Performansı.....	112
5.7.1. Çatlak deseni durumu	112
5.7.2. Dayanım performansı.....	114
5.7.3. Süneklik performansı	114
5.7.4. Rijitlik performansı	115
5.7.5. Enerji tüketim kapasitesi performansı	116

	Sayfa
5.7.6. Deprem yükü azaltma performansı	117
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	119
6.1. Sonuçlar	119
6.2. Öneriler	120
KAYNAKLAR	122

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Deprem bölgelerine göre; toplam nüfus, yüzölçümü, bina sayısı ve taşıyıcı yapı sistemi dağılımı	2
Çizelge 3.1. Harçlarda minimum basınç dayanımı	46
Çizelge 3.2. Deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayısı.....	61
Çizelge 3.3. Deprem bölgelerine göre yapılabilecek en fazla kat sayısı.....	62
Çizelge 3.4. DBYYHY' e göre minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları (cm).....	63
Çizelge 3.5. İTÜ Yapı ve deprem uygulama merkezi'nce hazırlanan yığma yapılarda hasar kriterleri	66
Çizelge 4.1. TS 7720-1'e göre kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekanik özellikleri	71
Çizelge 4.2. TS EN 197-1'e göre CEM IV sınıfı çimentonun özellikleri	72
Çizelge 4.3. Çimento harcı için karışım değerleri.....	72
Çizelge 4.4. TS 708'e göre hasır çeliklerde kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri	73
Çizelge 4.5. Ø6'lık Q 188/188 hasır çeliğin özellikleri	74
Çizelge 4.6. TS 4559'e göre nokta kaynaklı hasır çeliklerin kenetlenme boyları	74
Çizelge 4.7. TS 11747'ye göre ıslak karışımli püskürtme betona ait malzeme özellikleri	75
Çizelge 4.8. Püskürtme beton makinesinin pompalama özellikleri	76
Çizelge 4.9. Deneylerde kullanılan çelik levhaların mekanik özellikleri	77
Çizelge 4.10. Deney örneği tuğla duvarların geometrik özellikleri	77
Çizelge 4.11. Harman tuğlası ve çimento harcı ile üretilen kargir duvarın mekanik özellikleri.....	77
Çizelge 5.1. D ₂ deney örneğinin her çevrimde gözlenen davranışları	94
Çizelge 5.2. Model duvarların dayanım değerleri.....	114

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.3. Model duvarların süneklik değerleri.....	114
Çizelge 5.4. Model duvarların rijitlik değerleri	115
Çizelge 5.5. Model duvarların enerji tüketim kapasite değerleri.....	117
Çizelge 5.6. Model duvarların yıkılabileceği ivme (a) ve yük azaltma (R) değerleri.....	117
Çizelge 5.7. Model duvarların mekaniksel davranış performansları	118

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	47
Şekil 3.2. Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki.....	48
Şekil 3.3. Yatay yükün duvarlara dağılımı.....	51
Şekil 3.4. Yığma yapılarda deprem yükünün taşıyıcı elemanlara dağılımı	52
Şekil 3.5. “A” duvarı üzerinde oluşturulan deprem ve kesme kuvvet diyagramı.....	53
Şekil 3.6. Depreme maruz yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı yüklenmesi	55
Şekil 3.7. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri.....	56
Şekil 3.8. Yapı köşelerinin durumu	58
Şekil 3.9. Yarı statik test düzeneği.....	60
Şekil 3.10. Depreme dayanıklı binaların önerilen planları	64
Şekil 4.1. Tuğla duvarların örgü şekilleri.....	79
Şekil 4.2. Hasır çelik ile içten ve dıştan güçlendirilen duvar	81
Şekil 4.3. Deney düzeneği ve geometrik özellikleri	87
Şekil 4.4. Deney duvarı ve reaksiyon duvarı	88
Şekil 5.1. D ₂ deney örneğinin sol yan duvarda deney sonunda oluşan hasar durumu	104
Şekil 5.2. D ₂ deney örneğinde ön yüzeyinde oluşan hasar durumu	104
Şekil 5.3. D ₂ deney örneğinin yük/dış deplasman grafiği.....	105
Şekil 5.4. D ₂ duvarına ait süneklik değerleri grafiği.....	107
Şekil 5.5. D ₂ deney örneğine ait rijitlik değerleri	108
Şekil 5.6. D ₂ deney örneğinin yük/dış deplasman grafiği ve enerji tüketme kapasitesi (alan 9000 kNmm).....	109

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. D_0 , D_1 ve D_2 duvarları ilk çatlama ve kopma değerleri grafiği	115
Şekil 5.8. D_0 , D_1 ve D_2 duvarları yük-deplasman grafiği	116

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Van depreminde yıkılan binalar	3
Resim 1.2. Van depreminde ağır hasarlı binalar	3
Resim 4.1. ASE VP 500 TMK Püskürtme beton makinesi.....	75
Resim 4.2. Döşeme üzerine inşa edilen betonarme hatıl	79
Resim 4.3. Tuğla duvarın örülmesi	80
Resim 4.4. Ø12'lik hatıl donatısı ve Ø8'lik etriyeler.....	80
Resim 4.5. Hasır çelikle kaplanacak duvar	81
Resim 4.6. Duvar iç yüzeyinin hasır çelikle kaplanması	82
Resim 4.7. Duvar dış yüzeyinin hasır çelikle kaplanması	82
Resim 4.8. Hasır çeliğin ankraj çubukları ile duvara bağlanması ve çubukların hatıl ve duvara montajı	83
Resim 4.9. Hasır çeliklerin eklenmesi ve ankraj çubukları.....	83
Resim 4.10. Duvarın iç yüzünün püskürtme betonla sıvanması	84
Resim 4.11. Duvarın püskürtme betonla kaplanması uygulama aşamaları	85
Resim 4.12. Çelik profillerin, çelik çerçevelerin ve yükleme plakasının yığma duvara montajı	86
Resim 4.13. D ₂ deney duvarı ve reaksiyon duvarı	88
Resim 4.14. Yükleme mekanizması.....	89
Resim 4.15. Ölçüm düzeneğinin (LVDT'lerin) kurulması	90
Resim 4.16. Yük ölçümü	91
Resim 4.17. Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bağlantısı	92
Resim 5.1. D ₂ deney örneğinde sol iç duvar kesişiminde oluşan çatlak	98

Resim	Sayfa
Resim 5.2. D ₂ deney örneğinde +120 kN' da meydana gelen döşeme çatlağı	98
Resim 5.3. D ₂ deney örneğinde, -180 kN' da yükleme profilinin sol alt köşesinde oluşan kesme çatlağı.....	99
Resim 5.4. -200 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile dış yüzeyde oluşan çatlaklar	100
Resim 5.5. -200 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile iç yüzeyde oluşan çatlaklar.....	100
Resim 5.6. -220 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile dış yüzeyde oluşan çatlaklar	101
Resim 5.7. Deney düzeneği söküldükten sonra D ₂ duvar örneğinde ön ve sol yan yüzeyde oluşan çatlak deseni.....	101
Resim 5.8. D ₂ duvar örneğinin sol yan ve orta bölgede oluşan çatlaklar.....	102
Resim 5.9. D ₂ deney örneğinde deney sonucunda dış yüzünde oluşan çatlaklar	102
Resim 5.10. D ₂ deney örneğinin deneyden sonra hasır çeliğin görüntüsü.....	103

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Deprem bölgeleri haritası.....	1

SİMGELER VE KISALTMALAR

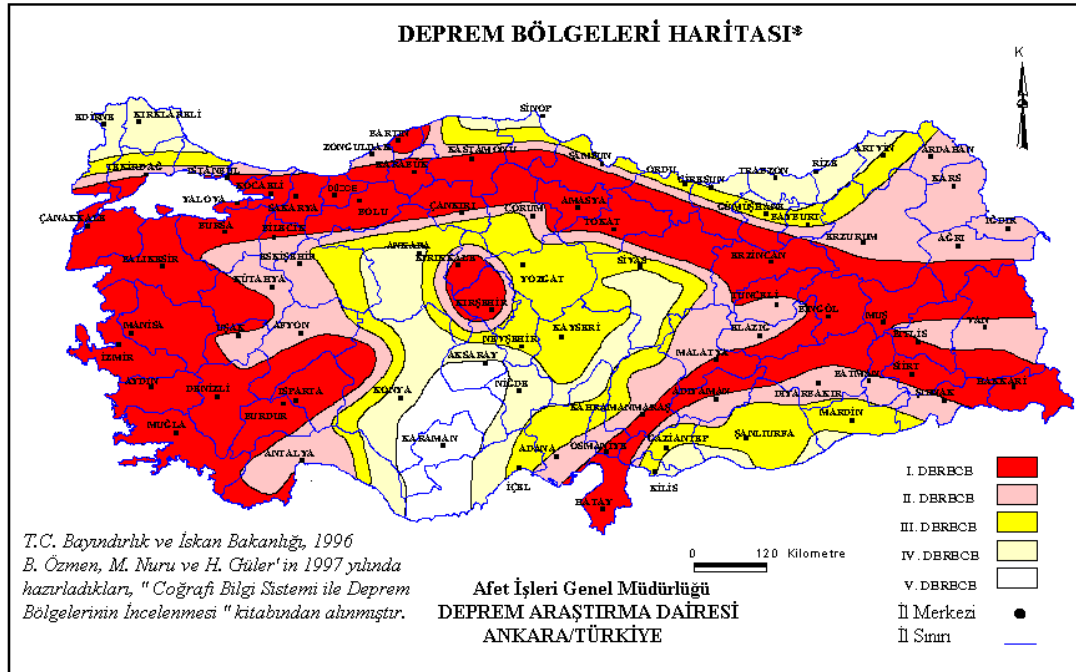
Tez konusu olan bu çalışma içersinde kullanılan simgeler ve kısaltmalar genel olarak aşağıda açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
$A_{(T)}$	Spektral ivme katsayısı
a_g	Tepki ivmesi
A_o	Etkin yer ivme katsayısı
Δi	Rijitlik
μ	Süneklik
E	Elastisite modülü
F_{cr}	Eğilme çatlama
F_u	Kesme kuvveti
FE	Duvara etki eden toplam kuvvet
f_e	Düzlem dışı düzgün yayılı sismik kuvvet
h_e	Etkili ivmenin yüksekliği
m	Kat kütlesi
$S_{(T)}$	Spektrum katsayısı
W	Duvarının birim alan ağırlığı
ε	Deformasyon
ε_{max}	Maksimum birim uzama gerilmesi
ε_u	Birim kopma uzaması
ε_y	Birim akma uzaması
δ	Deplasman
σ_m	Basınç dayanımı
σ_{max}	Maksimum gerilme
σ_y	Akma gerilmesi
σ_v	Kopma gerilesi
\emptyset	Donatı çapı (mm)

Kısaltmalar	Açıklama
AAC	Autoclaved aerated concrete
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AY	Afet Yönetmeliği
ALY	Atık lastik yastıkları
CC	Corner crashing
CFRP	Carbon fiber reinforced polymer
CMISF	Concrete masonry-in filled steel frames
D₀	Güçlendirilmemiş duvar modeli
D₁	Dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilmiş duvar modeli
D₂	İçten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilmiş deney duvarı
DBYYHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
FEMA	Federal emergency management agency
FRP	Fiber reinforced polymer
FSMB	Face steel mortar bedding
GFRP	Glass fiber reinforced polymer
GLD	Gravity load design
IDS	Inelastic demand spectrum
KLH	Kullanılmış lastik halkaları
LTK	Lif takviyeli kompozitler
MDOF	Multi Degree of freedom
NDT	Non-destructive testing
NSM	Near surface mounted
RC	Reinforced concrete
SDOF	Single degree of freedom
SIWIS	Seismic infill wall isolator subframe
TMS	The masonry society
TS	Türk Standartları
URM	Unreinforced masonry

1. GİRİŞ

Ülkemiz Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta ve nüfusumuzun % 95' i deprem bölgelerinde yaşamaktadır [1]. Ülkemizde betonarme ve çelik sistemlerle depreme dayanıklı yapı elde edilmesi için yoğun çalışma ve araştırmalar yapılmaktadır. Buna karşın aynı özende ahşap yapılar ve özelliklede yığma yapılar üzerinde çalışıldığı pek söylenemez. Yurdumuzda meydana gelen depremler, şehirlerde inşa edilen betonarme ve çelik yapıların yanı sıra, özellikle kırsal bölgelerde yapılan yığma yapılarda daha çok hasarlara sebep olmaktadır. Aşağıda verilen Harita 1.1 ve Çizelge 1.1' de deprem bölgeleri, toplam nüfus, toplam yüzölçümü, toplam bina sayısı ve taşıyıcı sistemler dikkate alınarak depremlerden etkilenme oranları ortaya konulmaktadır. Bu oranlara bakıldığında; yığma yapıların miktarı, en az iskeletli yapılar kadar, yeterli deprem güvenliğine sahip tasarımların elde edilmesi için yoğun çalışmaların yapılması gerektiğini göstermektedir.



Harita 1.1. Deprem bölgeleri haritası

Çizelge 1.1. Deprem bölgelerine göre; toplam nüfus, yüzölçümü, bina sayısı ve taşıyıcı yapı sistemi dağılımı [1]

Deprem Bölgeleri	Toplam Nüfus	Toplam Yüzölç. (km ²)	Toplam Bina Sayısı	Taşıyıcı Sistem				
				İskelet	Yığma	Tünel	Pre-fabrik	Bilinmiyor
I.Derece Deprem Bölgesi	13 207 434	149 865	2 142 402	1 183 623	939 695	1 856	9 234	3 994
II. Derece Deprem Bölgesi	15 695 580	370 091	2131 028	1 113 141	1004 825	3 385	5 489	4 138
III. Derece Deprem Bölgesi	9 336 641	171 779	1 265 111	608 026	651 920	31	2 640	1 876
IV. Derece Deprem Bölgesi	12 916 045	182 537	1 686 137	712 206	964 689	1 097	4 525	3 620
Tehlikesiz Bölge	2 525 566	63 937	484 458	94 337	388 206	8	722	1172

- I. Derece Deprem Bölgesi : Kocaeli, Sakarya, Bolu, Amasya, Tokat, Erzincan, Erzurum, Bursa, Manisa, İzmir, Aydın, Denizli, Isparta, Burdur, Hatay, Yalova, Düzce.
- II. Derece Deprem Bölgesi : Afyon, Tekirdağ, İstanbul, Bilecik, Çankırı, Çorum, Bingöl, Muş, Uşak, Van, Elazığ, Malatya, Karabük, Kahramanmaraş, Kars, Kayseri, Çanakkale, Muğla, Osmaniye, Bayburt, Ardahan, Bartın, Kırıkkale, Iğdır.
- III. Derece Deprem Bölgesi: Edirne, Balıkesir, Batman, Kütahya, Eskişehir, Kırşehir, Yozgat, Tunceli, Adana, Bitlis, Siirt, Ağrı, Gümüşhane, Samsun, Kastamonu, Zonguldak, Şanlıurfa.
- IV. Derece Deprem Bölgesi: Kırklareli, Antalya, Ankara, Nevşehir, Niğde, Sivas, İçel, Gaziantep, Adıyaman, Diyarbakır, Hakkâri, Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Sinop, Kilis.
- Tehlikesiz Bölge : Konya, Mardin, Karaman, Aksaray, Şırnak.

Son yıllarda meydana gelen, Mart 1992 Erzincan, Ekim 1995 Afyon-Dinar, Ağustos 1999 Sakarya-Kocaeli, Kasım 1999 Düzce, Şubat 2002 Afyon-Çay, Temmuz 2005 Ankara-Bala ve Ekim 2011 Van depremlerinde çok sayıda yığma ve betonarme binalarda büyük yapısal hasarlar meydana gelmiş ve ulusça derin acılar çektiğimiz, önemli sayıda can ve mal kayıplarımız olmuştur.

Özellikle, Afyon-Dinar, Afyon-Çay, Ankara-Bala ve Van depremlerinde yapıların çoğunluğunu oluşturan yığma binalar büyük hasarlar görmüştür. Yığma binaların deprem kuvvetleri altındaki genel davranışı hakkında önemli sonuçlar veren bu hasarlara dair fotoğraflar Resim 1.1 ve Resim 1.2' de verilmiştir.



Resim 1.1. Van depreminde yıkılan binalar



Resim 1.2. Van depreminden ağır hasarlı binalar

Deprem yerkabuğunun titreşimi ile oluşur, yapıyı mesnetlerinden yer değiştirmeye zorlar ve yapıda bir dinamik etki oluşturur. Yapı, bu etkiye karşı dayanıklı tasarlanmalı ve yapılmalıdır. Dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi, hafif şiddetli depremlerde sistem elemanlarının hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan hasarların onarılabilmesi, şiddetli depremlerde ise, yapının kısmen ve tamamen göçmesinin önlenmesidir [2].

Ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı ve güçlendirme yöntemlerinin performansı üzerine yapılan çalışmalar, betonarme, çelik ve kısmen de ahşap yapılar üzerine yoğunlaşmıştır. Yığma yapıların, süreklilik arz etmeyen malzemelerden yapılmış olması sebebiyle, gerçek davranışları matematiksel olarak ifade edilememektedir. Kompozit bir malzeme olan tuğla duvarın dayanımı, bileşenleri olan tuğla ve harcın dayanımları cinsinden ifade edilememektedir. Bu konuda geliştirilmiş olan ve belli kabullere dayanan formüllerinde, deney sonuçlarıyla doğrulaması yapılamamıştır [3].

Yığma yapılar ağır, hantal ve gevrek malzemeden inşa edilirler. Deprem sırasında oluşacak olan atalet kuvvetleri, yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Bir başka ifade ile yapı ne kadar ağır ise, deprem sırasında atalet kuvvetleri o kadar çok oluşur. Bu da yapı elemanlarının çok büyük iç tesirlere maruz kalacağı anlamına gelir ki; gevrek malzemeden oluşan yapı elemanları, deprem esnasında çok fazla deformasyon yapamadan aniden göçer [4].

Deprem etkisi altındaki yapı esneyebilmeli ve enerji tüketme özelliğine sahip olmalıdır. Bu da yapının sünekliği ile ilgilidir. Yığma yapılar rijit ve gevrek oldukları için, esneme ve enerji tüketme özelliklerine sahip değildir. Bu sebeple deprem sırasında ortaya çıkan enerjiyi tüketme kapasiteleri düşük olduğu için, büyük yatay kuvvetlere maruz kalırlar. Yatay kuvvetler altında yığma duvarlarda kesme kuvvetleri ve momentler oluşur. Bu durumda da; yığma duvarın düzlem içi kırılması, momentin oluşturduğu basınç/çekme eksenel kuvvetler ve/veya kesme kuvvetlerinin oluşturduğu eğik asal gerilmelerin etkisi ile meydana gelir.

Başlangıçta mağaralarda yaşayan insanoğlunun, birlikte yaşamaya başlamasıyla ihtiyaçları artmış ve çeşitlenmiş, bunları karşılamak için de evler, hanlar, medreseler, camiler, kemerler, köprüler, su yapıları vb. yapılar inşa etmişlerdir. İlkel geleneksel malzemeler diyebileceğimiz taş ve ağacın yanına zamanla kerpiç ve giderek tuğla, kiremit, ahşap, harç vb. yeni malzemeler eklenmiş, insan gücü ile kaldırılabilen ve yerine yine insan eliyle uygulanabilen bu malzemelerin kullanılmasıyla da geleneksel yapı oluşmuştur. Yerinde temin edilebilen bu malzemelerle ve yöresel işçilikle

yapılabilen ve maliyeti düşük olan bu teknoloji, giderek demirli betonunda uygulamaya dahil edilmesiyle, günümüzde uygulanan şekliyle yığma yapı teknolojisine ulaşılmıştır [5].

Kırsal kesimde konutlar, çiftlik binaları, hayvan barınakları vb. yapılar hâlâ yığma olarak inşa edilmektedir. TÜİK' in en son yaptığı araştırmaya göre (24 Nisan-30 Eylül 2000, 4. Bina sayımı), belediye mücavir alan sınırları içerisinde 224971 bina mevcuttur. Bu binaların % 51,1' i yığma sistemle, % 48,4 ü çerçeve sistemle inşa edilmiştir. Yığma sistemle yapılan binaların ise, % 59,6' sı tuğla, % 18,0' ı briket, % 9,8'i taş ve % 7,9'u da kerpiçtir. Ülkemizdeki tarihi miras olarak değerlendirdiğimiz, Selçuklu ve Osmanlı dönemi yapıları da (Cami, medrese, türbe, külliye, kervansaray, köprü, su kanalı, çeşme vb.) dikkate alındığında, yığma yapı stokumuzun büyük rakamlara ulaştığı görülmektedir. Yeni yapılaşmaya ek olarak, mevcut yığma yapılar da dikkate alındığında; mevcut yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışının bilinmesi ve deprem etkisine karşı dayanıklılığının artırılmasının önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Yığma yapıların düşey taşıyıcı elemanları duvarlardır. Duvarlar, düşey yükleri ve deprem, rüzgar ve başka nedenlerle oluşan yatay yükleri alır. Düşey ve yatay yüklerin birlikte etkilediği durumlarda, duvarda iki eksenli yükleme oluşur. Kompozit bir malzeme olan duvarın, iki eksenli gerilme altında davranışının bilinmesi, yapının gelen yükleri emniyetle taşımasını sağlaması bakımından önemlidir [6].

Bu çalışma, Kanit (2006) ve Kalkan (2008)' in çalışmalarının devamı şeklinde planlanmış ve uygulanmıştır. Kanit çalışmasında, model tuğla duvarın (D_0) mekaniksel davranışlarını deneysel olarak incelemiştir [7]. Kalkan da aynı model duvarı, ön yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirerek (D_1), aynı şartlarda deneye tabi tutmuş ve D_0 ' deki deney sonuçları ile karşılaştırmıştır [8].

Bu çalışmanın amacı; ön ve arka yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen model duvarın, düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışının incelenmesi ve önceki çalışmaların sonuçlarının ışığı altında yöntemin performansının ortaya konulmasıdır.

Bunun için; aynı model duvar (D_0), ön ve arka yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilmiş (D_2) ve aynı deney düzenekleriyle ve aynı şartlarda deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre D_2 deney duvarının çatlama deseni, ilk çatlama ve kırılma yükleri, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve rijitliği belirlenmiş, yıkılmadan dayanabileceği en büyük ivme ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanmıştır. Uygulanan güçlendirme yönteminin performansını ortaya koyabilmek için de, D_0 ve D_1 model duvar deney sonuçları ile mukayese edilmiştir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; ülkemizin bulunduğu deprem kuşağı, deprem bölgeleri ve bu bölgelerdeki nüfus, yüzölçümü, bina sayısı vb. bilgiler; ülkemizde yaşanan depremlerin etkisi ve yapıların üzerinde yarattığı sonuçlar; yığma yapıların genel olarak tanımlanması, inşasında kullanılan malzemeler ve tez konusu ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde; literatür taraması ile daha önce yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Üçüncü bölümde; yığma yapının tanımı, yığma yapıların analizi ve analiz yöntemleri; yığma binaların yapımında kullanılan malzemeler; yığma yapıların davranışları; depreme dayanıklı yığma yapının tasarım kuralları; yığma yapılarda görülen hasarlar, onarım ve güçlendirme anlatılmıştır. Dördüncü bölüm, materyal ve metod bölümüdür. Bu bölümde; deneyde kullanılan malzemeler ve deneyin yapılması anlatılmıştır. Beşinci bölümde; çalışma konusu D_2 deney duvarından elde edilen bulgular, bu bulguların yorumlanması ve D_0 ve D_1 deney duvarlarından alınan sonuçlar ile karşılaştırma ve değerlendirme yapılmıştır. Altıncı bölüm de ise, sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ülkemizde yapılaşma rezervleri üzerinde yapılan çalışmalar, kentlerden kırsala doğru yapılan kıyaslamalarda değişkenliklere rastlandığını göstermiştir. Şehir merkezlerimizde betonarme karkas yapıların yoğunluğu görülürken, kırsal bölgelerimizde bu yoğunluğun yığma yapılarda olduğu bilinmektedir. Hatta şehir merkezlerinde sosyo-ekonomik durumu düşük olan varoş dediğimiz ve kaçak yapıların yoğunlukta olduğu semt ve mahallelerde yine yığma yapılarda önemli bir yoğunluk bulunmaktadır. Söz konusu bu yapıların çoğu, mühendislik hizmeti almadan, yöresel malzemeler kullanılarak, geleneksel bir teknikle, birçoğu da ya kötü bir işçilikli ustalar tarafından, ya da kişilerin kendi becerisiyle inşa edildiğini görmekteyiz. Bu durum deprem ülkesi olduğumuz gerçeği ile birlikte düşünüldüğünde, ortaya çıkan vahim sonuçların nedenlerini bize açıkça göstermektedir. Özellikle 1999 Marmara depremi ve daha sonra meydana gelen depremler sonucunda karşılaştığımız vahim sonuçlardan sonra, son yıllarda depreme dayanıklı yığma yapı hususunda çalışmaların sayısını artırdıysa da, hala yeterli olmadığını söyleyebiliriz. Tez çalışması konusunda yapılan çalışmalar ile yığma yapılar, tasarım, malzeme, deprem etkilerine karşı davranışları, hasar biçimleri, onarım ve güçlendirmesine ilişkin konuları içeren diğer deneysel araştırma ve çalışmaların bazılarını bu bölümde incelemek mümkündür.

2.1. Yığma Yapıların Tasarımı ve Davranışı ile İlgili Çalışmalar

Arun (2005), Kârgir yapıda duvarların dolu ya da boşluklu olmasının, tek, iki ya da üç cidarlı oluşunun, duvarlara açılan boşluk biçiminin, çatı ve döşeme oluşturma şeklinin yapının davranışını etkilediğini, kârgir yapı oluşturmadan ya da hasar görmüş yığma yapıda önlem almadan yapı malzemesinin özelliklerinin oluşturulması gereğini, yığma yapıların dış etkiler altındaki davranışların bilinmesi gereğini ve yığma yapı üretiminde geleneksel yapı yöntemlerinin de kullanılmasını vurgulamıştır. Taşıyıcı yapı elemanlarının doğal taş, kumtaşı, tuğla, vb. bloklar ile düzenlenmiş yığma kârgir yapıların, dış etkilere dayanıklı malzemelerle üretildiği için, günümüze kadar ayakta kalabildiğini belirtmiştir. Yığma kârgir yapıların,

süneklikleri az, gevrek bir malzeme ile inşa edildiğini, yapılarında ve dayanımlarında işçiliğin önemli rol oynadığına özellikle değinmiştir.

Kârgir yapıların düşey yüklere ve yatay deprem yüklerine dayanımının, duvar geometrisine, kullanılan malzeme dayanımına, yığma blokların birleştirilme şekline bağlı olduğunu söylemiştir. Kârgir yapıların davranışında duvarı oluşturan blokların basınç dayanımının önemli olduğunu, çünkü blokların çekme dayanımının çok küçük olmasından kaynaklandığını, bu nedenle deprem kuvvetleri karşısında duvarın düzlemi doğrultusunda ve düzlemine dik birim ağırlığa gelen eğilme dayanımı çok zayıf olmasına dikkat çekmiştir. Doğası gereği duvarı oluşturan blokların yangın dayanımı yüksek, blokların su emme ve gözenek özelliği don hasarı dayanımında etkili olduğunu belirtmiştir. Birim ağırlığın taşıma gücüne oranının yüksek olması nedeniyle, yığma kârgir bloklarla ağır yapılar oluşturulur. Yığma kârgir duvarlarda kalın duvar, dolu ya da arası boşluklu yapılıdır. Kalın duvarların iki yüzünü oluşturan duvarlar aynı tip blokla yapılabildiği gibi her bir duvar ayrı tip blokla, karma bir şekilde de oluşturulabilir. Duvarlar arası boş bırakılır ya da moloz taş ve harçla doldurulur. Dolu duvar tek cidarlı, içi boş bırakıldıysa iki, doldurulduysa üç cidarlı duvar ya da sandık duvar olarak tanımlanır. Düşük dayanımlı, düktil olmayan ve gevrek malzemeyle oluşturulan yığma kârgir yapıların, uygun tasarım ve detaylandırma ile yapılması ya da güçlendirilmesi halinde düktilitesi zayıf ve kırılğan davranış göstermeyeceği ve deprem performansının artırılabilceğine dikkat çekmiştir [9].

Hendry A.W. (1998), Yığma Yapı kitabının kapsamı, son 10 yılda veya hazırlanmış ilk baskıdan beri yayınlanmış olan araştırma sonuçları dikkate alınarak revize edildiğini belirtmiştir. Yeni bölümlere hareket ve durabilite üzerinde ayrıca tahribatsız test üzerinde ekleme yapıldığını söylemiştir. Yığma yapıda son yıllarda yapısal tasarım, olgunlaşmaya ve daha karmaşıklığa karşılık olarak, pratiğin ilgili kurallarına artan bir şekilde sahip olmuştur. Bu, sırası gelince Eurocode 6 olacak olan yığma yapıların tasarımında, son zamanlarda yayımlanan Pratik veya Uygulamalar Avrupa Standardı Projesi ile gösterilmiştir. Bunun ve benzer kuralların

etkili kullanımı için bunun altında yatan ilkelerin sağlam bir şekilde kavranması esastır ve bu doğrultuda yardımcı olabilecek bu kitap ile bu umut verilmiştir [10].

Bayülke (2011), Yığma yapı düşey ve yatay deprem yükleri, tuğla ya da başka malzemeden yapılmış birimlerden, aralarına çeşitli nitelikte harç konularak örülmüş, duvarlarla taşıyan yapıdır. Kat döşemeleri betonarme, ahşap ya da volta döşeme gibi özel sistemlerden olabilir. Bazı yığma yapılar yüzlerce yıl önce yapıldıkları için anıtsal nitelik kazanmışlardır. Deprem davranış ve dayanımlarının bilinmesi özellikle kalıcılıklarının sürdürülebilmesi için gereklidir. Anıtsal nitelikte olsun ya da olmasın yığma duvarlı yapıların deprem davranış ve dayanımları kullanıcılarının can güvenliği ve gerekiyorsa güçlendirilmeleri için bilinmelidir. Yığma yapıların deprem davranışlarını 1970 yıllarından beri izleyen ve bu yapı modelleri üzerinde dinamik sarsma tablası deneyleri yapmış yazar deneyimlerini sunmaktadır. Bildiride yığma yapıların malzeme özellikleri, deprem hasar ve davranışları deneysel ve analitik çalışmalarla deprem davranışları ve depreme dayanıklı tasarım ilkeleri kısaca verilmektedir [11].

Aldemir ve ark.(2011), Yatay yükler altında zayıf davranış gösteren yığma yapıların daha iyi tasarlanması ya da daha önceden belirlenmiş yük etkileri altında nasıl davranacağını değerlendirilmesi için güncel yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu noktadan yola çıkarak, bu çalışmada tuğla yığma yapıların değerlendirilmesine imkan sağlayan performans dayalı yeni bir yöntem önerilmesi hedef olarak seçilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, sonlu eleman analizi kullanılarak farklı geometrik özelliklere, eksenel yük oranlarına ve duvar basınç dayanımlarına sahip yığma duvar elemanlarının kuvvet-yer değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Sonra, elde edilen bu kapasite eğrileri FEMA356'da önerilen doğrusallaştırma metodu kullanılarak iki çizgi ve dört parametre ile ifade edilebilecek şekilde basitleştirilmiştir. En son aşamada ise dört parametre ile idealize edilmiş yığma duvar veri tabanından faydalanılarak ve lineer olmayan regresyon analizleri kullanılarak ampirik denklemler elde edilmiştir. Bu denklemler duvarın geometrik özelliklerine, eksenel yük oranına ve basınç dayanımına bağlı olup herhangi bir tuğla yığma duvar biriminin yük ve yer değiştirme kapasitesinin sonlu

elemanlar yaklaşımına gerek olmaksızın gerçekçi bir şekilde tahmin edilmesine olanak vermektedirler. Böylece farklı özelliklerdeki yığma duvar birimlerinden oluşan bir yığma yapının performans değerlendirme aşamasında kapasite eğrisi çok kısa bir zamanda elde edilebilmektedir. Çalışmanın sonunda, basitleştirilmiş değerlendirme yöntemi ve sonlu eleman analiz sonuçlarının birbiriyle tutarlılığını ölçmek amacıyla mevcut bir binanın kapasite eğrisi elde edilip sözü geçen bu binanın olası bir deprem altındaki performansı mevcut deprem yönetmeliğindeki metotlar kullanılarak belirlenmiştir. Kapasite eğrileri karşılaştırıldığında bu araştırmada önerilen basit metodun sonlu eleman analiz tahminlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür [12].

Özer (2006), Yapılan bu çalışmanın amacının, yığma yapı tasarlamak için karmaşık hesaplamalar yapmaksızın gerekli ve yeterli olan temel strüktür bilgilerini mimarlık öğrencilerine sunmak olduğunu belirtmiştir. Bir yapı, onu oluşturan strüktür ile ayaktadır. Başka bir deyişle, yapının ayakta durabilmesini sağlayan strüktürünü, yapıdan bağımsız düşünmek yanlıştır. Bu nedenle mimar, henüz tasarım aşamasındayken yapının biçimini ve boyutunu etkileyebilecek olan strüktürü, yapı ile birlikte kurgulamak durumundadır. Bu çalışmanın kapsamında incelenen yığma yapılar, betonarme döşemeli değil; kemerli, kubbeli, tonozlu kârgir yığma yapılarıdır. Bu nedenle geçmişte yapılmış olan bu yapıları, 'geleneksel yığma yapı' başlığı altında ele almıştır. Mimarın bir yapı tasarlayabilmesi için karmaşık mühendislik hesaplarını bilmesine gerek olmadığına dikkat çekmiştir. Bu çalışma, uzun yıllar ayakta kalabilen, sağlam kemerli, kubbeli, tonozlu yığma yapı tasarlamak ve strüktürel elemanların kesit tayinini yapabilmek için gerekli temel strüktürel bilgileri içermektedir. Konunun özümsemesi için konstrüktif, biçimsel ve statik analizler yapıldığını belirtmiştir. Kemer, kubbe ya da tonozlu bir yığma yapının strüktürel sağlamlığı birçok değişkene bağlıdır. Bu değişkenler arasında en önemlisinin, örtüye gelen yükün itki çizgisinin açısı olduğu bu çalışmada ortaya konmuştur. Diğer tüm değişkenler, itki, çizgisinin konumuna göre ayarlanmalıdır. Kemer, kubbe ve tonozun biçimi (basıklık oranı ya da çeşidi), duvar ya da ayak kalınlığı, ağırlık kulesi, payanda, gergi çubuğu, kasnak, çember kirişi gibi elemanların gerekliliği gibi değişkenlerin hepsi, itki çizgisinin açısını değiştirmeye yöneliktir. Yalnız kendi

yükünü taşıyan kemer için ideal kesit, saf basınca çalışan tersine çevrilmiş zincir eğrisi biçimidir. Ters zincir eğrisi biçimindeki itki çizgisi kesitin orta üçte birlik kısmında olursa, kemer kesitinde çekme gerilmesi oluşmayacağından bu biçimdeki kemer ve bu kemer kesitine sahip kubbe ve tonoz da asırlar boyu sağlam bir şekilde ayakta kalacağına dikkat çekmiştir. Duvar içerisinde bulunan eğrisel strüktürel elemanların kesiti de itki çizgisinin açısına bağlı olarak oranlanarak tanımlanabileceğini söylemiştir.

Sonuç olarak bu çalışmanın, mimarın geleneksel yığma yapı tasarlayabilmesi için bu çalışma kapsamında ele alınan temel strüktürel bilgilere sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Bu iş için karmaşık hesaplamalar yapmak değil, strüktürel elemanların üzerindeki yüke bağlı olan itki çizgisinin, eleman üzerindeki yeri ve açısının bulunması esasını dile getirmiştir [13].

Er Akan ve ark.(2010), Yapılan bu çalışma yığma yapım sisteminin Türkiye'deki potansiyelini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu sebeple deprem bölgesinde yer alan küçük ölçekli şehirlerde (Bolu, Düzce, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Kırıkkale) yapılan alan çalışmasında konut tipolojileri incelenmiş ve betonarme yapım sistemlerinin çoğunlukla kullanıldığı gösterilmiştir. Bu şehirlerde yığma yapım sisteminin yeniden canlandırılmasının gereği tartışılmış ve yeniden canlandırıldığı takdirde sağlayacağı avantajlar saptanmıştır. Yığma yapım sisteminin betonarme sistemlere göre daha ekonomik olduğu da yapılan maliyet analizi ile gösterilmiştir. Yığma yapım sisteminin ülke ekonomisine katkısı, yapım sürecinin kısa oluşu, yeni iş imkânları sağlama potansiyeli, geleneksel yöntemlerin yeniden canlanmasına sebep olacağı, hammaddesi olan tuğlanın Türkiye'de önemli ölçüde üretilebildiği ve daha fazlasını da üretebilecek kapasitenin varlığı üzerine vurgular yapılmıştır. Bütün bu avantajlar düşünüldüğünde yığma yapımın Türkiye'nin küçük ölçekli şehirleri için uygun bir sistem olduğu söylenebileceğine dikkat çekmişlerdir. Ancak bunu doğrulayacak daha fazla veriye ihtiyaç olduğundan bundan sonraki çalışmalarda ilk amaç yine aynı plana sahip yığma bir yapı ile betonarme bir yapımın taşıyıcı sistem açısından performanslarını karşılaştırmak olabilir. Simülasyon sonuçlarından elde

edilecek verilere göre taşıyıcı sistem performansları hakkında da yorum yapılarak daha doğru sonuçlara erişilebileceğini belirtmişlerdir [14].

Karaman ve Zeren (2010), Geleneksel Türk konutu, zemin katını çevreleyen taş duvarları, bir anlamda iç mekânı dışarıya taşıyan ahşap çıkmaları ve kiremit örtülü kırma çatısıyla neredeyse tüm dünyaca tanınan bir ikon haline gelmiş ve pek çok araştırmanın da konusu olmuştur. Ahşap ise bu konutlarda kullanılan temel yapı malzemelerinden birisidir. Ahşap bulmanın zorlaştığı bölgeler dışındaki hemen her bölgede, genellikle taş olan giriş katı duvarlarının üzerinde yükselen ahşap iskelet sistem geleneksel Türk konutunun birinci katını ve çoğunlukla da ana yaşama mekânlarını oluşturmaktadır. Ancak, bu çalışma kapsamında odaklanmak istenilen nokta ise kârgir yapılarda ya da yapıların kârgir sistemi içerisinde kullanılan ve özellikle de depreme karşı çok önemli görevler üstlenen ahşap yapı elemanlarının önemine vurgu yapmak ve zarar görme nedenlerini tariflemek olarak belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışma ile ahşap destek elemanlarının geleneksel kârgir yapılardaki önemli rolü bir kez daha vurgulanmak istenmektedir. Ülkemizde, yangına, zararlı organizmaların etkisine maruz kalması ya da yalnızca kullanılan basit birleşim detayları gibi etkenlerin biri ya da birkaçının bir araya gelmesi sonucu zarar gören ahşap elemanların bulunduğu yapılarda kullanılan onarım ya da yenileme yöntemi genellikle zarar gören elemanların yenileriyle değiştirilmesi olmaktadır. Ancak çoğu zaman bu kolay bir çözüm olmadığını belirtmişlerdir. Bunun sebebinin, ahşap elemanların zarar görmesi yapı bütünü etkilemekte dolayısıyla yapının neredeyse yeniden inşası söz konusu olduğuna dikkat çekmişlerdir. Günümüzde kullanılan malzeme ve yapım tekniklerindeki farklılıklar da bu sürece ek bir zorluk getirmekte, bazı durumlarda sonuç başarısız restorasyon uygulamaları olarak görmüşlerdir. Bu bağlamda, yukarıda tariflenmeye çalışılan ahşap elemanlar ile kârgir yapı elemanlarının bir bütün olarak doğru bir biçimde çalışmaları sağlandığında ve periyodik olarak tüm sistemin bakımının devamlılığı sağlandığında, geçmiş yaşam biçimimizin mekânsal kurgusu, geleneksel yapım teknikleri, sanat anlayışının ender kalan örneklerinin geleceğe aktarılması hususunda yaşanan sorunlar minimuma indirgeneceği inancına sahip olduklarını belirtmişlerdir [15].

Batur (2006), Yapılan bu çalışmada yığma yapıların depreme karşı gösterdiği reaksiyonlardan yola çıkarak yığma yapı elemanlarında meydana gelen gerilmeler hesaplanmıştır. Seçilen deprem bölgesine göre yapı modellenmiştir. Belirlenen döşeme, hatıl ve duvar kalınlığına göre bina ağırlığı bulunup eşdeğer deprem yükü metoduna göre binaya gelen deprem yüklerini bulmuştur. Gelen yüklere karşı duvarlarda oluşan gerilmeler bulunarak emniyet gerilmeleriyle karşılaştırılmıştır. Deprem bölgelerinde yapılacak olan, hem düşey hem yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi dolu tuğla malzemesinden oluşturduğumuz yığma bina modelinin boyutlandırılması 2. derece deprem bölgesi için standardımızca belirlenen kurallara göre yapıldığını belirtmiştir. Yığma yapı modelinde düşey yüklerden dolayı oluşan basınç gerilmelerini ve yatay yüklerden dolayı oluşan kayma gerilmeleri standartlarımızdaki belirlenmiş kurallara göre bulunduğunu belirtmiştir. Yığma yapı duvarları üzerinde yapılan tahkikler sonucunda yapı modelindeki taşıyıcı duvarda yatay veya düşey yüklerden dolayı oluşan gerilmeler emniyet gerilmesinin altında çıktığı belirtilmiş, dolayısıyla incelenen yığma yapı modelinin 2.derece deprem bölgesi için uygun bir model olduğunu belirtmiştir [16].

2.2. Yığma Yapılarda Hasarları ile İlgili Çalışmalar

Önal ve Koçak (2008), Bu çalışmada, yığma yapılarda çeşitli sebeplerle hasar gören ve hasar görmesi muhtemel duvarların hasar sebepleri ve onarım ve güçlendirme yöntemlerini anlatmışlardır. Yığma binaların yapımında kullanılan tuğla, taş, briket vb. malzeme ve bağ düzeyleri, yatay ve düşey derz şekilleri, malzemelerin ve taşıyıcı elemanın davranışları, çözümlenme ve yapım kuralları dikkate alınmalıdır. Yığma yapıların duvarları taşıyıcı olduğu için, duvarlardaki her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemini ve tüm yapıyı etkilemektedir. Yığma yapılarda oluşan hasar nedenleri; taşıyıcı duvarda üst üste gelişigüzel konmuş duvar eleman birimlerinin kuvvetli bir harçla birbirine bağlanmamış olması, duvar bütünlüğünü bozacak büyüklükte kapı ve pencere boşluğu oluşturulması, dış duvarlar boyunca bir kuşak oluşturan ve iç duvarlara da yerleştirilen beton veya ahşap sürekli hatıllar oluşturulmaması, dik teşkil edilen iki duvarın birleşiminde düzgün kesilmiş taşlarla geçme yapılmaması, toprak örtülü çatı döşemesiyle yapının ağırlaştırılması, binanın duvarlarında tek tür

malzeme kullanılmaması; taş, kerpiç, hımış vb. karmaşık malzeme kullanılmasının başlıca nedenler olduğunu belirtmişlerdir.

Yığma binalardaki hasar biçimleri genellikle yığma yapılar deprem, dış yük ve temellerde meydana gelen oturmalarından dolayı hasara uğrayarak, elemanlarında çatlaklar oluşturur. Oluşan çatlağın biçimi, yeri ve boyutu yapıyı etkileyecek nitelikte veya önemsiz olabilmekte olduğunu belirtmişlerdir. Çatlak oluşumunda, oluşum şekli, yeri ve miktarına göre yapıya gerekli müdahale yöntemi belirlenmektedir. Yığma yapıların deprem etkisi altında kuvvet dağılımı olduğu takdirde kenar duvar çatıdan ve temelden gelen etkilerin altında kesme kuvvetleri ile zorlanmaktadır. Bunun neticesinde boşluklar arasındaki duvarlarda 45 derecelik eğik çekme çatlakları oluşmaktadır. Eğik çekme çatlakları, harç dayanımı tuğla dayanımından daha yüksek ise eğik çekme çatlakları tuğlaları da keserek oluşur. Deprem yükünün tersinir bir yük olması ve ilk oluşan çatlaklara dik yönde de çatlak olması sonucu X-Şeklinde eğik çekme çatlakları meydana gelir. Düşey gerilme az ise çatlaklar arasında 90 derece açı olan 45 derece eğimli kesme çatlakları oluşur. Çatlakların yeri ve açısı, duvardaki boşluk miktarına ve yerine göre değişeceğine dikkat çekmişlerdir.

Yığma yapıların hasar düzeyleri beş aşamalı olarak belirlemişlerdir. Burada incelenen yapı duvarları, taşıyıcı olan yığma yapıdır. Bir diğer deyişle “kutu” davranışı gösterecek olan yığma taş, tuğla ve briket yapıdır.

1- Hasarsız ya da Az Hasarlı Yapı: Bu hasar düzeyinde yapıda ya hiç çatlak olmamıştır ya da kılcal boyutu 1,0 mm’ den daha ince sıva çatlakları vardır. Çatlakların derinliği yüzeysel olup sıva tabakası ile sınırlıdır. Bu hasar düzeyindeki yapılar bir depremden sonra herhangi bir onarım ve güçlendirme gerekmeden kullanılabilir.

2- Az Hasarlı Yapılar: Bu hasar düzeyindeki yapılarda, yığma yapıların özelliği olan X-Şeklindeki kesme çatlakları oluşmuştur. Çatlakların genişliği 1,0–10,0 mm arasındadır ve büyük olasılık ile duvarın içine kadar uzanmaktadır. Kesme gerilmeleri taşıma limiti; yaklaşık 10-20 N/cm²’ dir.

3- Orta Hasarlı Yığma Yapılar: Bu düzeydeki hasarın belirtisi yine duvarlardaki tipik X şeklindeki kesme çatlaklarıdır. Ancak çatlak genişlikleri bir önceki hasar düzeyine göre 10–25 mm gibi daha fazladır. Duvarda oluşan kesme gerilmesinde ulaşılabilen maksimum değerine göre önemli azalma (%30–40) oluşmuştur. Ancak duvarların genel olarak boyutlarında önemli bir değişme yoktur. Duvar düzlemi dışına göre fazla deforme olmamıştır, şakulden uzaklaşmamıştır. 3.sınıf hasar yapının güçlendirilmesini gerektiren bir hasar olarak düşünülmektedir.

4- Ağır Hasarlı Yığma Yapılar: Bu hasar düzeyine giren yapılarda çatlakların boyutlarının 25mm'yi aşmasından başka: a-Duvarlarda düşeylerden uzaklaşma, b-Köşelerden duvarların ayrışması, c-Duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişmeler ki bunlar kesme kuvvetlerinin oluşturduğu çatlakların etkisi ile zayıflamış ve paralanmış duvarların düşey yükleri de taşıyamaz duruma gelmiş olduklarını gösterir, ve d-Kısmen yıkılmış duvarlardır ve bu tür hasar düzeyinde yapının zemin katının şakulden uzaklaşma miktarı (q/h) 1/50'den fazladır. Ağır hasar sınıfı hasar gören yığma yapıların onarımı mümkün olanları vardır. Bu hasar sınıfında onarım ve takviye yapılması bazı hallerde (yapının önemli yapı olması, acil kullanıma ihtiyaç duyulması gibi) düşünülebilir.

5-Yıkılmış Yığma Yapılar: Taşıyıcı duvarlarının önemli bölümü yıkılmış, döşemeler birbiri üstüne yığılmış ya da oturdukları duvarları yıkılması sonucu kendilerinde de çatlaklar ve kırılmalar olmuş döşemeleri olan yığma yapılardır. Bu tür yapıların onarılamayacağını söylemişlerdir. Yığma yapıların hasar düzeyi ve onarıp onarılamayacağı ya da güçlendirmenin gerekip gerekmediği yine yapıdaki hasar ile oluşan depremin şiddeti arasındaki ilişkiden gidilerek yapılmalıdır. 1. ve 2.düzeydeki hasar yığma yapılarda VI-VII şiddetindeki depremlerde beklenmelidir. 3. ve 4. düzeyindeki hasar VIII-IX şiddetlerinde, 5. düzeyindeki hasar ise IX' dan büyük şiddetlerde oluşması beklenen hasar düzeyleridir. Eğer ulaşılan hasar düzeyi beklenenden daha küçük bir şiddet düzeyinde olmuş ise güçlendirme, yeni yapıyı deprem öncesinden daha yüksek dayanımlı bir duruma getirmektedir. Öte yandan eğer yığma yapının ekonomik ömrü bitmiş ise yıkılarak yeniden yapılması daha doğru olacaktır. Yığma yapıların hasar düzeyleri belirlenirken duvarların yatay yükleri taşıma gücü göz önünde tutulması gerektiğine dikkat çekmişlerdir [17].

Karaşin ve Karaesmen (2005), Büyüklüğü 6.1 ile 6.4 arasında ifade edilen 1 Mayıs 2003'de Bingöl'de meydana gelen depremde, yüksek yapısal hasar ile 177 can kaybının meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu depremde Bingöl merkezine bağlı belde ve köylerdeki yıkık veya ağır hasarlı bina oranı % 30 civarında olduğunu söylemişlerdir. Kırsal yapı olarak nitelendirilebilen bu yapıların büyük bir çoğunluğu yığma yapılardan oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, deprem davranışı genelde zayıf olan yığma duvarlı basit binalarda davranış yönünden fikir veren gerek Bingöl merkezinde gerekse hasar yoğunluğunun fazla olduğu belde ve köylerdeki çeşitli yapısal hasarları ele almışlardır. Bingöl'de 2003'de meydana gelen depremde hasar gören yapıların çoğunluğunun yığma yapı olduğunu, hasar gören yığma duvarlı yapıların hatıllarının eksik olduğunu, köşe bağlantılarının sağlam ve tok olmadığını, köşeleri iri taştan yapılmış yapıların daha az hasar gördüğünü, sismik açıdan riski yüksek yapılarda güçlendirme çalışmalarının başlaması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu tip kırsal bölgelerdeki yapıların depremsel davranışı konusuna az eğilindiğini belirtmişlerdir. Bu yapıların çoğunlukla hiçbir mühendislik hizmetinden nasibini almadıklarını, dolayısıyla bu hususun önemli bir problem olduğu gerçeğinin bir kez daha çıktığına dikkat çekmişlerdir [18].

Çırak (2011), Yığma yapılar genellikle kırsal kesimlerde uygulandığı için deneyime dayalı olarak yapılmaktadırlar. Ancak, yığma duvarlar aynı zamanda taşıyıcı sistemi de oluşturduğu için, yapımında titiz davranılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Yığma yapı hasarları, genellikle duvarda çatlaklar, temelde oturmalar ve kullanılan malzemenin bozulması veya şekil değiştirmesi şeklinde oluşur. Bu çalışmada, hasar tipleri ve yapı kusurları dikkate alınarak yığma binaların yapımı sırasında dikkat edilecek hususlar ile ilgili bazı öneriler sunulmuştur. DBYBHY-2007'de yığma yapıların boyutlandırılması ve donatılması ile ilgili kurallar bulunduğu dikkat çekmiştir. Yığma binalar için kat yüksekliği, deprem bölgelerine göre kat adetleri, binaların simetrisi ve düzeni ile ilgili konstrüktif kurallar mevcuttur. Ancak bunların hayata geçirilebilmesi için öncelikle kırsal kesimlerde mühendislik hizmetlerinin sağlanması gerektiğini, çünkü bu tür binalar, genellikle deprem yükleri hesaplanmadan, gerekli detaylara önem verilmeden bilinçsizce yapıldığını belirtmiştir. Bu detaylarla aşağıdaki hususlara dikkat çekmiştir. Bu hususlar

genellikle; duvarlarda köşe bağlantıları iyi yapılması, planda duvar düzeninin simetriden ayrılmamasına dikkat edilmeli, gerekli konstrüktif kurallara uyulması gerekir. Yapım aşamasında eğer birbirinden farklı boyutlara sahip yapı elemanları kullanılıyorsa, birleşim bölgelerinde büyük olan elemanların kullanılmasına ve duvar örüm tekniklerine dikkat edilmelidir. Ayrıca yapı elemanı olarak mümkün olduğunca düzgün yüzeye sahip olanlar seçilmelidir. Çatı yapımında mümkün olduğunca hafif malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Betonarme yapılarda olduğu gibi, yapım aşamasında işçilik, yetersiz detaylandırma ve malzeme kalitesi yığma yapılarda da oldukça önemlidir. Ayrıca yük aktarımının sağlıklı bir şekilde sağlanabilmesi için malzemeler arasında aderans sağlanmalıdır. Düşey ve yatay yönde yapılması gereken hatılların detaylarına dikkat edilmelidir [19].

Aköz (2005), Yapılarda mekânîk yükler ve atmosfer etkileri ile zaman içinde hasarlar oluşur. Yapı başlangıçtaki performansını yitirir. Yapı performansını artırmak veya yeni işlev kazandırmak için özellikle de tarihi yapıların restorasyonundan önce yapıda etraflıca bir araştırmanın yapılması, hasarların tespit edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu durumlarda tahribatsız deneylerden yararlanılır. Tespit işlemlerinden sonra gerek duyulursa, yapıda onarım ve güçlendirme yapılır. Bu çalışmada da yığma yapılarda hasar tespit işlemleri ve deney yöntemleri açıklanmıştır [20].

Ergün ve Yurtçu (2007), Yapılar zaman içerisinde çeşitli nedenlerle işlevlerini, mukavemetlerini ve estetiklerini yitirmektedirler. Yapının gerek proje aşamasında, gerekse inşaatı sırasında yapılan hatalardan dolayı çeşitli elemanlarında görülen bu gibi durumların tümü hasar olarak adlandırılmaktadır. Depremlerde tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarının anlaşılması pek kolay değildir. Bu nedenle, deprem sonrası yapılan teknik incelemelerde ve hasar tespitlerinde genellikle orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Betonarme ve yığma yapı sistemlerinde deprem hasarları, taşıyıcı sistemin güvenliğini tehdit etmeyen önemsiz çatlaklardan, yapının alt katlarındaki kolon kırılmalarıyla, tam göçme olaylarına kadar geniş bir yelpaze içinde oluşmaktadır. Bu çalışmada deprem sonrası yığma ve betonarme yapılarda meydana gelen hasarlar özet fotoğraflarla sunulmuş ve meydana gelen hasarların teknik analizi yapılmaya çalışılmıştır [40].

Ural (2005), Bu çalışmada sırasıyla 2, 3, 4 ve 5 katlı sarılmış ve geleneksel tip yığma yapıların lineer elastik deprem davranışları incelenmiştir. Lineer elastik davranıştaki amaç, yığma yapıların elastik aşamadaki ve başlangıç seviyelerdeki hasarları yorumlamaktır. Bu inceleme sonucunda aynı kat adedine sahip olan sarılmış ve geleneksel tip yığma yapıların deprem davranışları arasındaki farklar grafikler ve tablolar yardımıyla ortaya konmuştur. Yapılmış olan modellerde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Matematiksel modelden elde edilen bu sonuçlar Türk Deprem Yönetmeliğinde yorumlanmış ve yönetmeliğe uygunluğu denetlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir;

2, 3, 4 ve 5 katlı geleneksel tip ve sarılmış yığma modellerin Model analizi yapılmış ve 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminin Doğu-Batı bileşeninin ivme kaydı SAP2000 programında uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Gerek geleneksel tip ve gerekse sarılmış yığma modellerinde yapı birbirine yakınsayarak azalmaktadır. Geleneksel tip yığma modellerde yapı periyotları orantısal olarak sarılmış tip yığma modellerdeki periyotlardan fazla çıkmıştır. Bunun sebebi düşey hatılların yapının periyodu üzerindeki olumlu etkisidir.
2. Bütün modellerde deprem etkisinden dolayı meydana gelen deplasmanlar bulunmuştur. 5 katlı geleneksel tip yığmada meydana gelen deplasmanlar azımsanamayacak kadar fazla çıktığından dolayı bu tür yapıların pratikte uygulanmaması gerekir.
3. Özellikle sarılmış yığma modellerde üst katlardaki rölatif deplasmanlar alt katlara göre daha az olmaktadır. Bundan dolayı üst katlar özellikle 1.kata göre daha rijit davranış göstermiştir.
4. Pratikte Yığma yapılar deprem karşısında özellikle boşluk kenarlarından hasar görmektedir. Bundan dolayı boşluk çevresinin güçlendirilmesi şarttır. Yapılan çalışmada güçlendirme işlemini düşey hatıllar yapmaktadır. Sonuç olarak bu bölgelerdeki gerilme yığılmaları azaltılmış olmaktadır [22].

Rao (1996), Özellikle son zamanlarda yapılan araştırmaların, ABD'deki çok katlı binaların deprem riski altında olduğunu ve bu binaların deprem etkisi düşünülmeden dizayn edildiğini, bu nedenle yeniden düzenlenerek güçlendirilmesi gerektiğine

dikkat çekmiştir. Yaptığı bu deneysel çalışmada, 1/3 ölçeğinde olan model numunelerin sarsma tablası yöntemi ile deprem güvenliğini araştırmıştır. Betonarme ile güçlendirilen yapının analizini sonlu elemanlar yöntemi ile yapmıştır. Bu deneysel çalışmasında 10 farklı yüklemeyi 2 aşamada uygulamıştır. Her iki grup yüklemeye maksimum iç kayma değerleri ve minimum temel yüklerini belirlemiştir. Deneyi, Inelastic Demand Spectrum (IDS) olarak tanımlamıştır. RC (reinforced concrete) kullanılmayan ve orta şiddette deprem etkisi uygulanan binalarda büyük deplasmanlar belirlenmiş ve bu binaların yeniden güçlendirilmesi önerilmiştir [23].

Poulay ve Priestly (1992), Yığma yapılarda karşılaşılan hasar ve sorunlar için aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapmışlardır. Bunlar;

- taşıyıcı duvarlar,
- birleştirilmiş duvarlarda ara duvar mafsallaşması,
- birleştirilmiş duvarlarda parapet mafsallaşması,
- birincil ve ikincil yanal kuvvet sistemlerinin seçimi,
- düzlem içi yüklenmiş duvarlardır.

Bununla birlikte yığma yapıların maruz kaldığı, düzlem dışı yüklenen bir duvar ile düzlem içi yüklenen duvarların ilişkisini de aşağıdaki gibi değerlendirmişlerdir.

- düzlem dışı esneklik için kesit analizi,
- düzlem dışı bükülme için tasarım,
- düzlem içi esneklik için kesit analizi,
- düzlem içi bükülme için tasarım konuları mekânîk formüllerle anlatılmış ve her biri için birer sayısal örnek verilmiştir [24].

Kanıt ve ark. (2005), Depreme maruz yığma yapıların sismik davranışını incelemişlerdir. Deprem kaynaklı yer hareketi yığma yapıyı sismik enerji ile yükler. Bu enerji yapıda yanal deplasmanlara yol açar. Dinamik ötelenmenin sonucu olarak zemin kattan çatı katına kadar oluşan ivmeler, zemin kattan çatı katına ulaştığında en büyük değeri alır. Çatı katında oluşan maksimum ivme yığma duvarı hem düzlem içi,

hem de düzlem dışı yükler. Göçme mekanizmasında duvarların düzlem dışı hakim olduğu varsayılmıştır. Düzlem dışı tersinir yükler ile yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçları sunulmuş ve açıklanmıştır. Tersinir yükün yönüne göre duvar davranışının değiştiğini tespit edilmiştir, erken göçmenin duvarın çevre mesnetlerini çekme gerilmesine maruz bırakan yükleme altında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Duvardaki ilk çatlaklar kırılma yükünün % 61'inde meydana gelmiştir. Çekme çatlakları oluştuğundan sonra duvarın rijitliği yaklaşık olarak %51 oranında azalmıştır. Duvarın göçmesi, köşe mesnetlerin tepeden düşey olarak ayrışması ile olmaktadır. Duvarda, çift yönlü betonarme döşemedeki akma çizgileri gibi çatlaklar oluşmuştur. Sonuç olarak, test edilen yığma duvarın yönetmelikte verilen süneklik şartını sağladığını gözlemlemişlerdir [25].

2.3. Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

Bayraktar (2005), Yapılan bu çalışmada, tarihi yapıların sismik güçlendirilmesi yapılırken, tarihi dokunun ve yapıya has mimari özelliklerin korunmasının zorunlu olduğu belirtilmiştir. Yine yazar çalışmasında değişik tiplerdeki tarihi yığma yapıların her biri için kendisine uygun güçlendirme prensiplerini ele almıştır. Esasen tarihi yığma yapılarda en temel sismik güçlendirme prensibinin, yapının tarihi dokusuna minimum zarar vererek, deprem anında oluşan çekme gerilmelerini alabilecek, yapının maddesel özellikleriyle uyum sorunu olmayan, uzun ömürlü, ileri teknoloji ürünü çekme elemanlarını yapı bünyesine entegre etmek olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında tarihi yığma yapıların dizayn ve yapım kurallarını ele almış, yapıların temel, kemer, kubbe ve minare gibi çeşitli bölümleri ayrı ayrı konu etmiştir. Çalışmada yer alan güçlendirme kuralları, tarihi yapı kapsamına giren, taşıyıcı elemanlarında kullanılan malzemesi taş ve Horasan kârgir olan yapıları kapsamıştır. Yazar çalışmasında betonarme elemanlar ile yığma yapıların güçlendirilmesinin uygun olmadığını belirtmiştir. Bunun sebebinin, mevcut duvarın birleşim bölgelerinde ortaya çıkardığı sorunlar ve daha rijit olan betonarme elemanların deprem esnasında çok daha büyük dış kuvvetleri üzerine çektiğini belirtmekte dolayısıyla yığma duvarların birleşim bölgelerinde oluşan büyük kuvvetlere karşı dayanıksız olduğunu ve sistemin bu bölgelerde dağılmasının

olduğunu söylemiştir. Yığma yapılarda, karbon, kevlar ve polipropilen elyaf esaslı iplerle örülmüş özel banları çekme elemanı olarak güçlendirmelerde kullanılmasını önermiştir. Nem ve rutubete dayanıklı olan bu yöntemin yıllarca görevini sürdüreceğini belirtmiştir [26].

Altın ve ark. (2005), Özellikle kırsal alanlarda yoğun olarak üretilen yığma yapılar orta şiddetli depremlerde bile hasar almakta veya yıkılarak önemli can kayıplarına neden olduğunu söylemişlerdir. Türkiye’de mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan bu yapıların deprem dayanımlarının artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada düşey delikli tuğladan yapılmış üç boyutlu tek katlı yığma bir yapı sarsma tablasında test edilerek önce hasar verdirilmiş, ardından hasarlı yapı dört farklı türde düzenlenen çelik şeritlerle güçlendirilerek tekrar test etmişlerdir. Güçlendirmeden sonra yapılan testler uygulanan rehabilitasyon yönteminin başarılı olduğunu göstermiş ve deney yapısında önemli sayılabilecek çatlak gelişimi gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada tuğla yığma yapılarda güçlendirme ve rehabilitasyon amaçlı kullanılacak bir tekniğin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada prototip’ e yakın ölçeklerde 3-boyutlu tek katlı tuğla bir yığma yapı deney yapısı olarak seçilip üretilmiştir. Deney yapısının karşılıklı iki duvarında pencere ve kapı boşlukları bulunmaktadır. Önce deney yapısı sarsma tablasında test edilerek taşıyıcı duvarlarına hasar verdirilmiştir. Hasarlı deney yapısının taşıyıcı duvarları dört farklı tipte düzenlenen çelik şeritlerle güçlendirilerek ardışık dört defa test edilmiştir. Değerlendirmesi devam eden deneysel çalışmadan elde edilen ön bulgular aşağıda verildiğini belirtmişlerdir;

Hasarlı bir yığma yapının kat döşemelerini birbirine bağlayan diyagonal çelik şeritlerle güçlendirilmesi etkili bir tekniktir. Güçlendirme tipleri içinde diyagonal çelik şeritlerin düşey çelik şeritlerle beraber kullanılması durumu en başarılı güçlendirme tekniği gibi görünmektedir. Bu çelik şerit düzenlemesi ile yapıda devrilme önlenmiş ve yükleme doğrultusunda taşıyıcı duvarlarda kesme çatlaklarının gelişimi engellemiştir. Hasarlı yığma yapılar için geliştirilen bu güçlendirme tekniği yeterli deprem güvenliği bulunmayan yığma yapıların güçlendirilmesi için de kullanılabilir görünmektedir. Tüm deneylerde çelik elemanları deney yapısına

bağlayan birleşim detaylarının yatay kuvvetleri başarıyla taşıdıkları gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Uygulanan güçlendirme yönteminin başarısı deney yapısı ile çelik elemanlar arasındaki bağlantının başarısına bağlı olduğu unutulmaması gerektiği, ayrıca uygulama hassas bir işçilikle yapılması gerektiğine dikkat çekmişlerdir [27].

Özen ve Türer (2005), Kullanılmış araba lastikleriyle güçlendirilmiş olan gerek yığma duvarlar gerekse yığma yapıların davranış ve dayanımlarındaki değişiklikler incelenmiş ve yapısal davranış üzerine genel bir fikre ulaşıldığını belirtmişlerdir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak çeşitli modeller oluşturulmuş ve değişik güçlendirme alternatifleri için karşılaştırmalar yapmışlardır. Yığma yapılarda genellikle gelir seviyesi düşük insanlar yaşadığı göz önüne alınırsa ucuz ve uygulaması kolay güçlendirme yöntemleriyle bu yapıların güçlendirilmesi kısa vadede en etkili çözüm olarak görülmektedir. Yapılan bu çalışmada kullanılmış araba lastikleri kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemleri değişik alternatifler için incelenmiş ve dayanım ile süneklikteki değişimler karşılaştırılmıştır. Yığma duvarlar düzlem içi ve düzlem dışı yüklemelere maruz bırakılmış, birebir ölçekli modeller ise yanal ivmelere maruz bırakılarak değişik alternatifler için lineer olmayan malzeme özellikleri kullanılarak çeşitli analizler yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda;

- Duvarlar ve yığma yapılar kullanılmış araba lastikleriyle ard-germe uygulanarak güçlendirilebilmekte; hem dayanımları hem de süneklikleri artmaktadır.
- Karmaşık yapılarda (Antakya'daki kütüphanede olduğu gibi) duvarlara uygulanan ard-germe sonucunda, duvarlarda oluşan çekme kuvvetlerinde aynı yük seviyesi için azalma meydana gelmektedir. Bu sebeple dayanımları artmaktadır.
- Deneyde, yanal yönde uygulanan ard-germe yükü, analizdekinin yarısı olarak verilmiştir. Modelleme ve uygulama arasındaki farklılıklar sebebiyle sonuçlar kesin olarak örtüşmemekle birlikte, yapı ve yapı elemanlarının davranışı hakkında gerçeğe yakın sonuçlar ve fikirler elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen deplasman değerleri ölçümlerden elde edilen değerlere yakın olarak bulduklarını belirtmişlerdir.

- Analitik çalışmalar, kullanılmış araba lastiği ile yapılan farklı güçlendirme tekniklerinin verimi hakkında mukayese yoluyla bilgi sağlamıştır ve analitik çalışmalara *yerleştirme optimizasyonu* ile halen devam edildiğine dikkat çekmişlerdir [28].

Kanıt ve ark. (2010), Yaptıkları bu çalışmada, deprem sırasında yığma duvarların düzlem dışı etkiler karşısında yük taşıma kapasitesinin, düşünülmesi gereken en önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Düzlem içi yüklere ilaveten, deprem ivmelerinin meydana getirdiği düzlem dışı kuvvetler, düşey olarak yüklenmiş betonarme döşemeye çok benzer bir şekilde, eğilme altındaki bir duvarın yenilmesine sebep olabileceğini söylemişlerdir. Yapılan bu çalışmada dört duvar örneği, düzlem dışı ivmeler altında yüklenerek davranışlarını değerlendirmek için test edilmiştir. Bununla birlikte, orjinal duvarın örneğinin hem dayanımının hem de sünekliğinin artırılması için farklı önlemlerin alınması şekillerini tanımlamışlardır. Yaptıkları testler sonucunda önerilen önlemlerin dayanımı büyük ölçüde artırdığını fakat sünekliği sadece biraz artırdığını göstermişlerdir. Bu çalışmada test edilen aynı geometrik özelliğe sahip dört duvar örneğine uygulanan aynı deneyler, aşağıdaki gibi özetlenecek olursa;

- A duvarı; düzlem dışı yüklenen ve güçlendirme yapılmamış bir duvar olarak modellenmiştir. A duvarında meydana gelen ilk kırılma çekme altında meydana geldiğini $F_{cr} = 40$ kN olarak belirlenmiştir. A duvarının rijitliği kırılma başlangıcı öncesi yükleme olan $S = 40$ kN/mm olduğunu belirtmişlerdir. A duvarına uygulanan maksimum yükün 65 kN' a ulaştığını belirtmişlerdir. Buradan A duvarının rijitliği 1,625 kN/mm olarak bulunmuştur. Bununla birlikte 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre $\mu = 1,88$ olması gereken sünekliğin, $\mu_A = 1,33$ olduğu görülmüş ve bu sonucun yetersiz olduğuna dikkat çekmişlerdir.
- B duvarı; duvarın örülmesi sırasında, duvar köşelerine ve üst bölgeye 500 mm aralıklar ile L şeklinde demir profiller düşey şekilde sabitlenerek yerleştirilmiş ve B duvarının örme işlemini tamamlamışlardır. B duvarında ilk çatlağın $F_{cr} = 20$ kN' da meydana geldiği görülmüş, bunda A duvarına göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre rijitliğin A duvarına göre 2,46 kat olduğu

belirtilmiştir. Bununla birlikte B duvarının sünekliğinin arttığını ve $\mu_B = 1,67$ olarak belirtilmiştir. A duvarına göre süneklik artsa da, hem A duvarının hem de B duvarının söz konusu deprem yönetmeliğine göre yeterli olmadığını belirtmişlerdir.

- C duvarı; duvarın dışında L-şeklinde takviye plakaları ile güçlendirme uygulanarak inşa edilmiştir. L-şeklinde güçlendirme plakaları 6 adet çelik cıvata ile her kenardan sabitlenmiştir. Bu uygulamada iki amaç hedeflendiğini belirtmişlerdir. Birinci amaçlarının L-şeklindeki güçlendirme plakaları ile köşelerde meydana gelebilecek dönmelere karşı önleme olduğunu, ikinci amaçlarının ise, bina dışından onarım ve güçlendirme yöntemi olarak kullanılan bir tekniğe imkân sağlamak olduğunu belirtmişlerdir. C duvarı da A duvarı ile aynı şekilde test edildiği belirtilmiş olup, C duvarının maksimum yüklemeye ($F_m = 65$ kN) kadar hemen hemen elastik bir davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. C duvarının rijitliği $S = 52$ kN/mm, sünekliğin ise $\mu_C = 2,0$ olarak bulunduğunu ve bulunan sünekliğin 2007 Deprem Yönetmeliğine göre 1,88'den büyük olduğuna dikkat çekmişlerdir.
- D duvarında ise; duvarın orta kısmında, duvarın alt kısmından duvarın üst kısmına kadar 300 mm genişliğinde yine duvarın dış yüzüne FRP ile güçlendirme uygulamasını yapmışlardır. Yine A duvarına uygulanan test aynı şekilde D duvarına uygulanmış ve test sonuçlarına göre, maksimum yüklemenin $F_m = 115$ kN'a eriştiğini ve sünekliğinin de $\mu_D = 2,125$ olarak bulunduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç olarak yapılan gözlemlere göre yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçların elde edildiğini, kârgir duvarların düzlem dışı yük taşıma davranışları oldukça kırılğan olduğunu belirtmişlerdir.

- Düzlem dışı yükleme ivmeleri altında kârgir duvar yenilmesi, oda içine doğru ve (-) yükleme doğrultusunda olduğunu yapılan testlerin gösterdiği belirtilmiştir. Halbuki yapılan bütün testlerde (+) yükleme doğrultusunda nihai yenilmenin meydana geldiğine dikkat çekmişlerdir.

- Düzlem dışı hareketlere karşı duvar dayanımını artırmak mümkün fakat sünekliğin aynı şekilde olmadığını belirtmişlerdir.
- Bütün duvarların sünek bir boşaltma davranışı gösterdiğini belirtmişlerdir.
- En iyi sonucun FRP uygulaması ile elde edildiğini belirtmişlerdir [29].

Peker (2005), Bu çalışma FRP malzemelerin tuğla, taş veya beton yığma yapılarda uygulamalarını anlatmaktadır. Bu yapıların yüzeyleri klasik betonarme uygulamalara göre daha farklı özellikler gösterir. Özellikle tarihi yapılarda deprem vb. etkiler altında yapının komple göçmemesi, tarihi görünümünü koruması ve orijinal yapısının bozulmaması istenir. Bu durumda klasik olarak uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin yapı sistemini ve görünümü değiştirmesi, ağırlığını arttırması, çelik, betonarme vb. elemanların mevcut taş, tuğla elemanlarla birlikte çalışmasının etkin olarak sağlanması gibi giderilemeyen veya giderilmesi çok zahmetli olan problemler ortaya çıkmaktadır. Pek çok durumda FRP malzemeler bu dezavantajları ortadan kaldırdığını belirtmiştir. FRP malzemelerden burada bahsedilecek olanları karbon, cam ve aramid dokumalar, karbon ince plakalardır. Ayrıca benzer çalışmalar betonarme çerçeveli tuğla duvarlar üzerinde de yapıldığını belirtmiştir [30].

Özden ve Türer (2005), Bu çalışma, ODTÜ laboratuvarlarında otomobil lastiği kullanarak daha ucuz sismik izolatör üretmek amacıyla yapılan analitik ve deneysel çalışmaları içermektedir. Sismik yalıtım, üzerinde birçok çalışmanın yapıldığı, uluslararası literatürde geçerlilik kazanmış, depreme karşı korunma yöntemlerinden biridir. Bu konu üzerinde yapılmakta olan çalışmaların çoğu sismik yalıtım sistemlerinin performans artırımı üzerinde odaklanmıştır. Bu çalışma, aynı zamanda maliyet ve ağırlık azaltılması gibi kriterleri de göz önüne almayı amaçlamaktadır. Otomobil lastikleri 1950'lerden beri içindeki çelik hasırın lastikle birbirine çeşitli şekillerde pişirilmesi (volkanizasyon) yoluyla üretilmektedir. Lastiklerin içindeki çelik hasır, elastomer-menşeli sismik yalıtıcılardaki çelik plaka veya fiberlere benzer bir etkiye yaratmaktadır. Birbirinin üzerine gerekli sayıda atık lastik katmanının yerleştirilmesiyle üretilecek Atık Lastik Yastıkları [ALY], geleneksel elastomer-menşeli sismik zemin yalıtıcılarına düşük maliyetli bir alternatif olarak

kullanılabileceğini belirtmişlerdir. ALY' lerin kullanım alanları düşük yoğunluklu trafik akımı taşıyacak kırsal alandaki köprü mesnetlerinin ve yığma yapıların sismik yalıtımı olarak öngörülmektedir.

Bu çalışmada, kullanılmış oto lastiklerinden elde edilen ALY' ler test edildiğini belirtmişlerdir. Farklı markalarda, sayılarda ve yönlerde ALY örneklerinin mekânîk ve dinamik özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçları, aynı deneylerde test edilen elastomer köprü yastığı sonuçlarıyla karşılaştırılmışlardır. Basınç deneyleri, ALY deneklerinin basınç dayanımlarının 8 MPa civarında olduğunu göstermiştir. Tasarım amacıyla emniyet basınç gerilmesi olarak 4 MPa basınç gerilme değeri yazarlar tarafından önerilmektedir. Bununla birlikte ALY' lerin basınç modülleri, basınç gerilmesi ve birim yer değiştirme değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Basınç modülleri $\varepsilon = 0,10$ ve $\varepsilon = 0,15$ birim yer değiştirmelerde hesaplanmış ve tablolarda tasarım amacıyla sunulmuştur. Statik kesme deneyleri, ALY' lerin kesme modüllerinin 0,95 MPa ila 1,85 MPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bu yüksek değerler, ALY' lerin ancak masif, yüksek ağırlığa sahip yapılarda kullanılabileceğini göstermektedir. Buna göre, ALY' ler geleneksel Türk yığma yapılarının izole edilmesinde ucuz alternatif seçeneği olarak düşünülebileceğine dikkat çekmişlerdir. Ne var ki, ALY' lerin bina altına yerleştirilmesi ancak yeni evler için öngörülmekte ve derin kiriş-döşeme gerektireceği için uygulama aşamasında potansiyel problemler oluşturmaktadır. ALY' lerin sönüm oranları markaya ve değişiklik göstermekte ve ortalama 10% civarındadır. Ancak, tasarım amacıyla sönüm oranı en düşük değer olan ve ortalama değere yakın olan 7% alınması uygun olur. Deneylerde kullanılan doğal kauçuktan imal edilmiş 150mm x 150mm x 40mm ebadındaki elastomer köprü yastığının sönüm oranı 2% civarında gözlemlenmiştir. Statik kesme deneylerinde, ALY' lerin arasında herhangi bir kimyasal yapıştırıcı bulunmamasına rağmen, 40% ve 70% birim yer değiştirmelerden geri gelebilmesi önemli ve olumlu bir özelliktir. Buna göre, yeterli eksenel yük altında, ALY' ler arasındaki sürtünme kuvveti, lastik katmanlarını bir arada tutmak için yeterli olmakta ve ALY katmanları bir bütün olarak davranabilmektedirler. Dikdörtgen ALY deneklerinin yatay rijitlik değerleri yönlerine bağlı olarak değişmektedir. 180mm x 200mm ebadındaki G-ALY' lerde yapılan dinamik deneylerde yönler arasındaki rijitlik farkının 80% ila 90% arasında

değiştirdiği gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte aynı deneylerde yatay rijitlik değerinin ALY katman sayısı ile doğrusal olarak değiştiği de gözlemlenmiştir. Buna göre, ALY'lerin tasarımı sırasında, istenilen yatay rijitlik değeri ALY'lerin katman sayılarını değiştirerek kolayca elde edilebilir.

Sonuç olarak, yapılan deneyler ve çalışmalar ışığında yazarlar ALY'lerin kırsal yığma yapıların sismik yalıtımında ve kırsal köprülerin mesnetlerinde elastomer izolatörlere ucuz ve hafif alternatif olarak kullanılabilceğini düşünmektedirler [31].

Kanıt ve ark. (2006), Yaptıkları çalışmada Türkiye'nin geleneksel yapı tipinin yığma bina olduğunu, yığma binaların da, deprem tehdidi altında olduğunu belirtmişlerdir. Yük taşıyıcı yığma duvarın düzlem dışı kırılmasının, yığma binanın deprem dayanımında zayıf halkayı oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yığma duvarın düzlem dışı kırılmasını anlamak, tasarım ipuçları ve kuralları çıkarabilmek ve mevcut binaların güçlendirilmesini kolaylaştırmak için yığma duvar deneyleri yapmışlardır. Yığma duvar deneylerini 1/1 ölçekli, dolu harman tuğlaları ve uygulamada kullanılan harç karışımları kullanılarak imal edilmişlerdir. Düzlem dışı zorlamaları, duvarın orta bölgesine dört noktadan tekil, ancak tersinir yükün uygulanması ile oluşturmuşlardır. Düzlem dışı tersinir yüklerle zorlanan yığma duvarın, betonarme plak döşemelerde oluşan çekme çizgilerine benzer kırılma deseni oluşturarak kırıldığını göstermişlerdir. Ancak, bu kırılma sünek değil gevrek olarak gerçekleşmiştir. Oysa Türk Afet Yönetmeliği, yığma duvarda belli bir sünekliğin oluşmasını öngörmekte ve Davranış Katsayısı olarak $R=2,5$ 'in kullanılmasını istemektedir. Düzlem dışı yükleme ve kırılma deneyinden çıkan sonuç, $R=2,5$ büyüklüğünde bir katsayının kullanılmasını desteklememektedir. Düzlem dışı yüklenen duvarda kırılma yapısının dışına doğru, kenar mesnetlerde çekme gerilmeleri oluşturacak şekilde oluşmuştur. Çekmeye çalışan mesnetlerde, aşağıdan yukarıya doğru mesnetlere paralel çekme çatlakları oluşmuştur. Mesnetlerin serbestçe dönmesine izin veren çekme çatlaklarının oluşmasından sonra duvar düzleminin üstünde "kırılma çizgileri" gözlenmiştir. Düzlem dışı yüklenen duvarın dayanımı büyük ölçüde, mesnet çizgilerine paralel düşey çekme çatlaklarının oluşmasına bağlı olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemden hareketle, ikinci bir deney planlanmış ve mesnetleri L-geometriye

sahip derzler arasına yerleştirilmiş levhalarla takviye ederek, etkisini araştırmışlardır. Köşelere $s=50$ cm aralıklarla yerleştirilen L-plakalar yığma duvarın kırılma modunu değiştirmiştir. Duvar üstünde “kırılma çizgileri” oluşmamış ve kırılma, bina dışına doğru değil, bina içine doğru ve sünek olmuştur. Köşelere yerleştirilen L-geometrilik takviye plakalarının kullanılması durumunda, Türk Afet Yönetmeliği'nin öngördüğü $R=2,5$ katsayısının gerektirdiği süneklik sağlanmıştır. Deneylelerden elde edilen histeresis eğrileri çizilmiştir [7].

Faella ve ark. (2009), FRP (Fiber-Reinforced Polymer)'nin yapıların ve dış yüzeylerin güçlendirilmesi için en yaygın şekilde kullanılan kompozit bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte CFRCM (carbon-fiber-reinforced-cement-matrix) malzemeler de özellikle son zamanlarda yığma duvarların güçlendirilmesinde kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu makalede, çimento esaslı harç ile inşa edilen kesmeye karşı güçlendirilmiş tuf taş yığma yapının deneysel bir çalışmanın sonuçları ile rapor edilmiştir. Güçlendirilmiş yığma duvarlar, güçlendirme tabakası ile duvar yüzeyi arasında yapışma kaybindan sonra yenilmeye uğradığını belirtmişlerdir. Güçlendirilmiş yığma duvarların kesmeye karşı dayanımının belirlenmesi için bilimsel literatürlerde mevcut bazı analitik formülasyonlar ve deneysel sonuçlar arasında karşılaştırmaların sonucunu ortaya koymuşlardır. Yenilme tiplerinin gözlemlenmesinde tüm farklı formülasyonlar arasında büyük farkların görülmediğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmanın, FRP ile yığma dış duvarların, nihai davranışının tanımlanması için teorik modelleri daha da arındırarak ve geliştirilmesi için kullanılabilir raporlar arasında olduğunu belirtmişlerdir[32].

Leung (2006), Fiber lifle güçlendirilmiş püskürtme betonların geniş yüzeylerde dış kaplama veya astar olarak kullanılmasını, bu uygulamalar sonucunda meydana gelen rötre çatlaklarının belirli değerlerde sınırlandırıldığını, yeni test yöntemlerinin çelikle birlikte uygulanan püskürtme beton uygulamalarını araştırmıştır. Söz konusu bu uygulamalarda sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, yapılan analizlerini, çelik donatı ağırlıkları ile sınırlamalar arasındaki ilişkileri çözümlemesinden sonra, bu yöntemin uygulanabilirliğini, büzülme sınırlanmasında bu test yönteminin fiberle

güçlendirilmiş püskürtme betonlarda uygulanabileceğine dikkat çekmiştir. Bu yöntemin, püskürtme beton ve fiberle güçlendirilmiş püskürtme beton uygulamalarının test sonuçlarına göre, rötre çatlakların kolayca belirlenebileceğini belirlemiştir [33].

Dakhkhni ve Wagih (2006), Çalışmalarında 24 adet güçlendirilmemiş yığma duvara modeline farklı şiddette, farklı yüklemeler yapmışlardır. Bunların dışında 5 adet yığma duvara modeline, çelik çerçeveler yerleştirerek, çeşitli tabaka uygulamaları ile güçlendirerek yeniden test etmişlerdir. Böylece düzlem dışı yüklenen duvarın yük taşıma kapasitesinde ve sağlamlığında artış gözlemlemişlerdir. Test sonuçlarında, katkılı ve güçlendirilmiş yığma duvarların deformasyonlarında azalma oluştuğunu ve yüklenme anında yığma duvarların daha az hasar göreceğini açıklamışlardır [34].

Chen ve ark.(2012), Çalışmalarında, Taiwan’ da mevcut okul binaların sismik olarak depreme karşı güçlendirilmesi konusunun önemine vurgu yapmışlardır. Okul binalarında koridorlar boyunca, zorunlu olarak birçok açıklık vardır. Burada mevcut kapı ve pencereleri değiştirmektense, onların düzlem dışı sismik kapasitelerini artırmak için tuğla duvarlar ile derslikler arasında CFRP (Karbon fiber takviyeli polimerler) ile kaplayarak depreme karşı güçlendirmenin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, tuğla duvarlar ile doldurulan güçlendirilmiş beton (RC) çerçevelerin, düzlem dışı sismik davranışı ile ilgilidir. 5 adet 1/1 ölçekli numune test edilmiştir. Yaptıkları bu test sonuçlarına göre; tuğla duvarlar ile doldurulan çerçevelerin mukavemeti açıklıkla görülmesine rağmen, çerçevelerin düzlem dışı yanal yüklere maruz tuğla duvarların mukavemet üzerindeki etkisinin açık bir şekilde olmadığını göstermişlerdir. Depreme karşı güçlendirme, test edilen numunelerde en yüksek yanal mukavemeti ve mukavemet artışını geliştirmiştir. Önerilen analitik model, bütün numunelerde yük-deplasman ilişkisini tatmin edici olduğunu öngörmüşlerdir [35].

Çılı ve ark. (2008), Bu çalışma ile ülkemizdeki yapı özelliklerine uygun, etkili, uygulanabilir ve ekonomik bir güçlendirme yolu ortaya çıkarmak konusuna katkı hedeflemişlerdir. Deneysel çalışmada kullanılan modellerin boyutlandırılmasında,

uygulamada çok karşılaşılan tipik bir betonarme yapının ½ ölçekle küçültüldüğü düşünülmüştür. Üretilen üç adet betonarme çerçevenin bir tanesi referans çerçeve olarak kullanılmak üzere yalın, yani içine dolgu panel yapılmaksızın üretilmiştir ve denenmiştir. Diğer iki tanesi ise içlerine hasır donatı ve ıslak karışimli püskürtme beton ile oluşturulmuş dolgu panel ile güçlendirilerek üretilmiş ve denendiğini belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlar referans olan yalın çerçeve deneyi sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Dolgu panelli çerçevelerde panel, çerçeve içerisine iki farklı şekilde yerleştirildiğini belirtmişlerdir. Deney numunelerinin bir tanesinde panel dört kenarından çerçeveye bağlanmış; diğerinde ise panel, kolonlara mesafeli olarak yerleştirilerek sadece kirişe ve temele bağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmanın kuramsal kısmında deneyleri yapılan numuneler, bir sonlu eleman programı ile modellenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ve kuramsal çalışmanın sonunda, önerilen güçlendirme yönteminin betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, yatay rijitliğini ve enerji sönümlenme kapasitesini arttırdığının gözlemlendiğine dikkat çekmişlerdir [36].

Hendry (1998), Yazar Yığma Yapılar kitabının ikinci baskısında, kârgirin gevrek doğası, düşey ve basınç gerilmelerinin hâkim olduğu yükün iletilmiş olduğu yerdeki durumlarda büyük dezavantaj olmadığını belirtmiştir. Bununla birlikte, önemli çekme gerilmelerinin geliştiği yerde ki elemanlar için kullanımında ağır kısıtlanmalar koyduğunu, ayrıca bu sınırlamanın üstesinden gelmek, güçlendirilmiş veya ön gerilmeli elemanları kullanmak yararlı olabildiğine dikkat çekmiştir. Aynı zamanda yapılarda, sismik alanlarda ve güçlendirilmenin kullanımı gerektirebilen ani hasarlara karşı mukavemet ile ilgili olarak da özel problemler doğabileceğini belirtmiştir. Tuğla duvar konstrüksiyonlar içinde güçlendirme çeliğinin geliştirilmesinin üç temel yolu vardır. Bu yerleştirme;

- Derz harçlarının içinde
- Özel olarak biçimlendirilmiş ceplere
- Tuğla duvarın yüzeyleri arasında harçla doldurulmuş bir boşlukta

Benzer olasılıklar blok duvar konstrüksiyonu için de olduğunu, fakat bu durumda, özel olarak şekillendirilmiş birimlerin kullanımı için ve boşluklu blokların göbek kısmında (ortasında) güçlendirilmenin birleştirilmesi için kapsamı daha büyük olduğunu belirtmiştir. Bu metotları kitabında şekillerle göstermiştir. Bu metodun pratik uygulamasında şimdiye kadar sınırlanmış olmasına rağmen kârgir duvarın eğilme sınırlamaları aynı zamanda ön gerilme teknikleri ile üstesinden gelinebileceğini belirtmiştir [10].

Curtin ve arkadaşları (1975), Okul binalarında, köşe duvarlar gibi kendi kullanımı ile bağlantıda 12 mm çubuklar ile ön gerilmiş boşluklu duvarlar üzerinde yapılan testleri bildirmişlerdir. Üstteki sürekli camla kaplı birimlerden yanal yüklere karşı mukavim olması gerekmektedir. Bu ön gerilme, duvarın iki tarafta yan yana bağlanan çelik bir levhaya karşı her bir çubuk üzerinde sıkıştırılan bir somun ile etkilemiştir [37].

Hendry ve Liauw (1994), Monotonik yükleme altında, güçlendirilmiş tuğla duvar veya blok duvar dolgu ile çelik çerçeveler üzerinde yapılan bir dizi test, tarafından rapor etmişlerdir. Tuğla duvar dolgu paneller, çeşitli miktarlarda yatak derzleri güçlendirmişlerdir. Burada çerçevenin gerilme dayanımı önemli bir şekilde artmadığını belirtmişlerdir. Yatay derz güçlendirilmesinin varlığı %44' e karşılık gelen güçlendirilmemiş dolgu ile % 66' lık maksimum yükten kaynaklanan, görülen ilk kırılmada bu yük azaltılmıştır. Kırılmadan önce, kompozit çerçevenin davranışı doğrusal olduğunu belirtmişlerdir. Öyle ki; elastik analiz bu noktaya kadar uygulanabilmiştir. Bunun ötesinde, çatlak numune, yapılan herhangi bir analitik gösterimde çok belirgin olmayıp son derece karmaşık olduğu bildirilmiştir [38].

Sallio (2006), Türkiye yapı stokunun yaklaşık %50' sinin yığma binalardan oluştuğunu, bu binaların genellikle mühendislik eğitimi almamış ev sakinleri tarafından inşa edildiğini ve bu evlerin genellikle ağır çatı kütleleri ile kapatıldığını belirtmiştir. Bu çatıların deprem anında, yığma bina duvarlarının düzlem dışı ve düzlem içi yönündeki duvarların büyük bir kuvvetle itilmesine ve binanın şiddetli bir şekilde yıkılmasına neden olduğunu, özellikle kırsal alanlarda yoğun olarak üretilen

yığma yapıların orta şiddetli depremlerde bile hasar gördüğünü veya yıkılarak can ve mal kayıplarına neden olduğunu, Türkiye’de mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan bu yapıların deprem dayanımlarının artırılması gereğini belirtmiştir. 1950’li yıllarda yığma olarak inşa edilen ve tez çalışması kapsamında incelenen Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi binasının mevcut durumu kesme kuvvetlerini karşılayacak yeterli duvar alanına (rijitlik ve dayanıma) sahip olmadığını, yapının rijitliğinin artırılması ve duvar kesme dayanımlarının yeterli düzeye çıkarılması için bazı duvarların püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmesi öngörmüştür. Binanın mevcut durumu ile güçlendirilmiş durumunu SAP 2000 de analiz edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulamaya ait detayları da vermiştir [39].

Nardone ve ark. (2010), Güçlendirilmiş beton kombinasyonu inşa edilen yığma binaların sismik davranışında karşılaştırmalı analizler içeren çalışmalarında; Güçlendirilmiş beton ile inşa edilen yığma binalar, 20. Yüzyılın başlarından beri Avrupa, Akdeniz ve Güney Amerika ülkelerinde daha yaygın hale geldiğini belirtmişlerdir. Bu birleşik yapı tipolojisi yaygın olmasına rağmen, kılavuzlar veya rehberlik açısından son zamanlarda özellikle güçlendirilmiş beton ile birleştirilmiş yığma binalar hakkında ayrıntılı bilgilerin takip edilmediğine dikkat çekmişlerdir. Yığma yapılar ve güçlendirilmiş beton çerçevelerin doğrusal olmayan analizi üzerinde geçmişte köklü bir şekilde odaklanmış olunmasına rağmen, güçlendirilmiş beton kombinasyonunda yığma binaların etkileşim etkileri çalışması için sayısal ve deneysel kriterleri ilgili bilgilerin sınırlı olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında; Üç boyutlu güçlendirilmiş beton kombinasyonunda inşa edilen yığma binalar üzerinde doğrusal olmayan statik analizleri (itme analizleri), bir doğrultuda dayanım sistemlerinde ve tüm binanın kapasite eğrilerini elde etmek için yaptıklarını belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile orijinal yığma yapıların iyileştirilmesinden elde edilen güçlendirilmiş beton kombinasyonu ile inşa edilen yığma binaların sismik davranışı hakkında ilginç açıklamalar sağlamaya ve güçlendirilmiş beton ile inşa edilecek binaların tasarımı için kılavuz ipuçları sunmuşlardır [40].

Shedid ve ark. (2010), Çalışmaları, eğilme etkisinde dikdörtgen, flanşlı ve güçlendirilmiş beton ile kaplanmış kargir perde duvarların, süneklik, rijitliğin azaltılması ve enerji tüketme özelliklerini değerlendirmek için yapılan deneysel bir çalışmanın detaylı analizlerini içermektedir. Bu deney programı, sismik yükleme etkileri simülasyonu ile tersinir çevrimsel yanal deplasmanlar altında test edilmiş yedi adet iki ve üç katlı güçlendirilmiş yığma perde duvarları kapsamaktadır. Duvar uçlarında, duvar temel eğrilikleri ve süneklik seviyeleri üzerinde elde edilen basınç gerilmelerini bir dokümantasyon halinde sunmuşlardır. Çalışmalarında, duvar yüksekliğince plastisitenin eğilmeye katkısını değerlendirmek, duvar boyunca kesme deformasyonları, rijitliğin azaltılması tespiti ve enerji tüketme miktarının niceliğinin belirlenmesi üzerine odaklanmışlardır. Kanada Standartlar Kuruluşunun (CSA), S304.1 Standardı kullanılarak nihai yükleme sonunda dikdörtgen duvarların deplasman tahminleri, Yığma Duvar Standartları Ortak Komitesi (MSJC) tarafından belirlenen tahmini sonuçlar ile karşılaştırılarak daha iyi sonuçlara ulaştıklarını belirtmişlerdir. Ancak hem MSJC yönetmeliği hem de CSA S304.1 standardında söz konusu duvarlar için test sonuçları önemli ölçüde abartıldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları deplasman ölçümlerin analizleri göstermiştir ki; Duvar boyunca deplasmana perdenin katkısı, sırasıyla 2,2 ve 1,5 boy oranı ile duvar için toplam deplasman ortalama %21-25 olarak belirlemişlerdir. Deney duvarları için enerji tüketme kapasitesi ile akma deplasmanları arasındaki ilişki hemen hemen lineer olduğunu bulmuşlardır. Buna ilave olarak, duvar rijitliği çok düşük bir duvar sapmasında (sapma %0,1) brüt rijitliğini %60 olarak hızla azalttığını belirtmişlerdir. Duvar diplerinde ölçülen basınç gerilmesi, her iki Kuzey Amerika yönetmeliğinde nerdeyse çift kat olarak belirtilmiştir. Duvar yüksekliğince plastisite kapsamı duvar uzunluğunun yaklaşık %75 kadar olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında sundukları verilerin araştırmacılara, uygulama mühendislerine ve yönetmelik geliştiricilerine, düzlem içi yük altında güçlendirilmiş kargir duvar davranışlarının daha iyi anlaşılmasında işleri kolaylaştıracağını beklenmektedir. Çalışmaları, Kuzey Amerika'da orta yükseklikte güçlendirilmiş yığma duvar inşasının sismik performansını artırmak için ekonomik-etkin alternatifler olarak flanşlı ve kaplamalı kategoriler sunmayı amaçlamışlardır [41].

Paquette ve Bruneu (2006), Yapılan çalışmada, 1/1 ölçekli yaptıkları güçlendirilmemiş yığma tuğla duvarda sanal deprem etkisi oluşturmuşlardır. Deneyler yapılırken, beklenen deprem davranışlarının belirlenmesi ve bina köşelerindeki yıpranmanın daha iyi gösterilmesi için, sünek döşeme, rijit duvar örneklerden faydalanmışlardır. Daha sonra güçlendirilmemiş yığma duvarlar genellikle fiberglas malzemelerle onarılıp yeniden teste tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda oluşan çatlamları diyagramlar halinde göstermişler, yük/deplasman davranışları ve büyük deformasyonları göstermişlerdir. Bu sonuçları FEMA 356 ve ABK gibi diğer deneysel çalışmalarla karşılaştırmışlardır [42].

Jin (2005), Çalışmasında, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilen yığma duvarları incelemiştir. 4 yığma duvar örneğine sayısal modelleme yapmış, 2D ve dörtgen elemanlar metodu ile araştırma yapılan örneklerle aksel yüklemeye ve artan yanal yüklemeye ile test etmiştir. CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilen duvarların yanal yüklemeye kapasitelerinde ve duktilitelerinde önemli artışlar gözlemlemiştir [43].

Elgaway ve ark. (2006), Yaptıkları çalışmada güçlendirilmemiş birçok yığma yapının yeniden güçlendirmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada düzlem içi deprem yükü ile yüklenen duvarların FRP ile hem güçlendirilmemiş hem de güçlendirildikten sonraki davranışlarını incelemiştir. Söz konusu örneğe iki farklı etkide moment/kesme hızı 0,7 ve 1,4 olan düzlem içi dinamik yüklemeye yapmışlardır. Örneklere bir yüzeylerinden farklı tip ve yapıda FRP uygulamışlar, bir grup deprem yükü ve yanal kuvvet uygulayarak, güçlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Buna ek olarak, her örneğin, temel frekans ve ilk boyutunu sabit tutularak da yüklemeye yapmışlardır. Test süresince silindirik örnekler çatlamıştır. FRP ile güçlendirilen örneklerin çatlamasında azalmalar ölçülmüş, geçiş bölümlerinde ise çatlama gözlenmemiş, çevrimsel yükler altında düzgün elastik davranışlar kaydedilmiş, yanal yük taşıma kapasitelerinde yaklaşık % 30 oranında artış belirlenmiştir [44].

Sımsır (2004), Yaptığı çalışmada düzlem dışı yüklenen duvarların deprem davranışını sarma tablası deneyi ile araştırmıştır. Güçlendirmede menteşeler kullanmış, her duvara belirli aralıklarla menteşe yerleştirerek, yüklemeye yapmış ve

sonuçları Single Degree of Freedom (SDOF) ve Multi Degree of Freedom (MDOF) modelleri ile test etmiştir. Deneyde FEMA 356'yı kullanmış ve çatlama ve rijitlik diyagramlarını oluşturmuştur [45].

Velmurugan ve Solaimurugan (2006), Çalışmalarında 6 katmanlı 300 x 300 mm boyutunda, 610 g/D3 yoğunlukta polyester esaslı cam fiber malzeme ile yığma yapıların güçlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları malzemeler, katmanlarının kalınlığı yaklaşık 3,4 mm, kevlar fiberler 175 g/km, 350 g/km, 525 g/km; cam ve karbon fiberler 1200 g/km, 800 g/km den yapılmış, .ASTM D861–89 ve ASTM 578–79 standardındadır. Deneyde ASTM D3039/ISO 3268–75 ve ASTM D 2344–00, ASTM D790–00/ ISO 178–75 ve BS 4994:1987, ASTM D256–00/ ISO 180–82, ASTM D5528–01 kullanmışlardır. Düzlem dışı yüklenen elamanlarda çatlamanın kontrolü için geleneksel FRP tabakaların yanı sıra cam/polyester fiberlerle dayanıklılığı araştırmışlardır. Düzgün olarak dağıtılan fiberlerin dayanıklılığı, sünekliği artırdığını, düzensiz yerleştirilen fiberlerin ise dayanıma fazla etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Bükülmeden, düzgün yerleştirilen fiberlerin ve özellikle Kevlar grubu fiberlerin kullanımının, karbon ve cam içerikli fiberlerden daha fazla dayanım ve süneklik sağladığını belirlemişlerdir [46].

Göralmış ve Türer (2005), Türkiye'deki yapı stokunun yaklaşık %50 sinin yığma yapı olduğunu, bu binaların çoğunun mühendislik eğitimi almayan kişilerce inşa edildiğini, bu evlerin çoğunun ağır çatı malzemeleri ile kaplandığını, bu çatıların deprem anında düzlem içi ve düzlem dışı yükleme ile duvarların büyük kuvvetle itilmesine ve binanın yıkılmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, kullanılmış araba lastiğine ard-germe uygulayarak, güçlendirme tekniği geliştirmişlerdir. Kullanılmış oto lastikleri yanaklarından kesilerek, lastik halkaları oluşturmuşlardır. 30 adet lastiğe çekme deneyi uygulamışlardır. Lastikleri bağlantı elemanları ile bağlayarak, yeniden çekme deneyi uygulamışlardır. En düşük çekme dayanımı 90 kN, en büyük çekme dayanımı 190 kN olarak ölçülmüştür. Deneyde birebir ölçekli üç tanesi tuğladan, iki tanesi briketten olmak üzere toplam 5 adet yığma duvar kullanmışlar ve bu duvarlara düzlem içi ve düzlem dışı yükleme yapmışlardır. Tuğla duvarlara üç aşamada uygulanan deneyde, ilk aşamada duvarlara

ard-germe kuvveti verilmeyerek, ikinci ve üçüncü aşamada duvarın üzerine 50 kN ve 100 kN' luk ard-germe kuvvetleri araba lastikleri kullanarak uygulanmıştır. Ard germe uygulanan duvarın zayıf yöndeki yanal yük dayanım artışı, ard-germe uygulanmayan duvara göre yaklaşık 10 kat olmuştur. Briket duvarlarda ise, iki aşamada zayıf yön yanal kuvvet dayanım deneyleri yapılmıştır. Birinci aşamada herhangi bir ard-germe kuvveti etki ettirilmezken, ikinci aşamada 30 kN' luk ard-germe kuvveti uygulanmıştır. Araba lastikleri ile ard-germe uygulanan duvarın zayıf yöndeki yanal yük dayanımları yaklaşık 5,5 kat artmıştır. Her iki deneyde de çatlak oluşumları ilk önce eğilme kuvvetinin en büyük değerinde olduğu yerlerde oluşmuştur. Ayrıca, güçlendirme tekniğinin birebir ölçekli bir ev üzerindeki etkisinin belirlenmesi için 3000 mm genişliğinde, 4000 mm uzunluğunda 3000 mm yüksekliğinde tek odalı yığma ev test edilmiştir. Aynı malzeme ve boyutta yeniden bir ev inşa edilerek, kullanılmış lastikler ile güçlendirilerek, yeniden test edilmiştir. Ard-gerilme uygulanmayan duvarda yaklaşık 18^0 ana duvarda ve zayıf duvarda çatlaklar oluşarak, ani çökme yaşanırken, araba lastikleri KLH (kullanılmış lastik halkaları) ile yatay yönde 20 kN, düşey yönde 50 kN ard-çekme kuvvetleri uygulanarak güçlendirilen binada 34^0 de pencerede oluşan ve temel seviyesine devam eden çatlaklar oluşmuştur. Bina başlangıçtaki konumuna getirilince ise, çatlaklar lastiklerin üzerinde bulunan çekme kuvvetlerinin etkisi ile kapanmıştır [47].

Popohn ve Schultz (2011), Düzlem dışı yüklenen ard-çekme kargir duvarlarda narinlik için sonlu eleman modelleri uygulanarak yaptıkları çalışmada; Doğrusal olmayan sonlu eleman modelleri geliştirilmiş, doğrulanmış ve bir laboratuarda üniform yanal yükleme altında geçmesi test edilmiş, 3,54 m uzunluğunda ard-çekme uygulanmış 12 adet kargir duvar ile 810 x 100 mm çerçeve kesitlerin tepkileri simulasyonu ile ölçülmüştür. Kargir duvar tipi, narin duvar, bağ sınır derecesi ve ön çekme büyüklüğü değişkenler arasında almışlardır. Söz konusu duvarların deneysel testlerinden elde edilen yük-deplasman ilişkileri, esnek olmayan iki boyutlu yapıların (DRAIN-2DX) geliştirilen bir versiyonunu kullanarak geliştirilen modeller ile simule etmişlerdir. Bununla birlikte, düzlem dışı yanal yükleme ile duvar üzerinde çekme gerilmesi, kargir duvar tipi, öngerilme büyüklüğü ve bağ sınırının etkisi sonuçları gösterilmiştir. Hesaplamaları göstermiştir ki; ard-çekme uygulanmış duvarlarda yük-

deplasman değerini, kargir duvar çekme gerilmesi ile etkilenmiştir. Ayrıca, rijitlik ve bağ sayısı en yüksek yük kapasitesi ve yük boşaltma eğrisi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uygulanan yükleme ile bağ gerilmeleri ve kargir duvar basınç gerilmesi tepkilerini sonlu eleman analizi kullanılarak araştırmışlardır [48].

Foraboschi (2004), yaptığı çalışmada iç veya dış yüzeyden bağlanan şeritler biçimindeki yüzeysel fiber takviyeli polimer ile güçlendirilmiş kârgir kemer ve tonozları incelemiştir. Mafsallı hata biçimlerini önleyen şerit düzeni göz önüne alındığında, olabilecek hata şekillerini sunmuş ve bunların; ezilme, kayma ve çözülme ile FRP kopmaları olduğunu düşünmüştür. Bu hata şekillerindeki nihai yükleri bulmak için matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Güçlendirilmiş kemerlerin özellikle en kesitinin nihai basınç kuvvetine karşı ezilmeye karşı duyarlı olduğunu göstermiştir [49].

Xu Li ve ark. (2012), Bazalt fiber (elyaf) takviyeli plastik laminatlar ile güçlendirilmiş (BFRP) yığma yapıların dinamik özellikleri ve tepkilerini inceleyen bu çalışmalarında, deney modeli ve sarsma tablası deneyi, bina sütunlarını içeren iki katlı ve iki açıklıklı yığma yapı modeli üzerinde yapılmıştır. Test sonucunda, güçlendirilmiş yığma yapıların dinamik özelliklerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Deprem etkisi altında güçlendirilmiş yığma yapıların, çatlakların gelişimi ve rijitlik durumu çalışılmış ve bu yapının deplasman değişimleri, ivme, gerilmelerin analizleri yapıldığını söylemişlerdir. Deneylerinde darbeli çekiç test metodu kullanılarak deney modeli esas alınarak analiz modeli için bu test ile basitleştirilmiş bir sayısal analiz modeli önermişlerdir. Yine, sarsma tablası deneyinden BFRP laminatlarının yapı rijitliğinin azaltılması, etkili çatlakların gelişimini yavaşlatabildiği, ayrıca BFRP ile güçlendirilmiş yığma yapıların mükemmel bir sismik performansa sahip olduğu sonucuna varmışlardır [50].

Kalali ve Kabir (2012), Çalışmalarında, cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirilmiş boşluklu yığma duvarların periyodik (çevrimsel) davranışını ele almışlardır. Mevcut güçlendirilmemiş yığma binaların çoğu deprem etkisine karşı

hassas oldukları ve güçlendirilmeleri gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalarında; 1/2 ölçekli, boşluklu, güçlendirilmemiş tuğla duvarlar, GFRP kullanarak güçlendirmeden önce ve sonraki 6 adet çevrimsel davranışı araştırmışlardır. Bu duvarlar, 20.Yüzyılın son 40 yılında İran'da geleneksel olarak inşa edilen duvarlara benzetilerek 1/2 ölçekli tam kil tuğlalar ve çimento harcı kullanarak inşa etmişlerdir. Bu duvarların ortasında bir pencere açıldığını belirtmişlerdir. Bir tuğla kalınlığındaki duvarlardan biri, güçlendirilmemiş ve referans alınmıştır. Sismik hasarlı güçlendirilmemiş duvar örneklerinden birine, GFRP ile güçlendirme yapılarak tekrar test etmişlerdir. Güçlendirme yapılan her bir numunenin iki kenar yüzeyi de depreme karşı güçlendirildiği belirtilmiştir. Tüm numuneler, sabit yük altında ve aşamalı bir şekilde artan, düzlem içi yüklenerek test edildiğini belirtmişler. Test sırasında her bir duvar kendi düzleminde deplasman yapmıştır. Anahtar parametre, güçlendirme yapılandırmaları arsında çapraz düzen, ızgara düzeni ve kombine düzen olduğunu söylemişlerdir. GFRP ile güçlendirmede, deformasyon mukavemeti kapasitesi ve tuğla duvarın enerji tüketme kapasitesini önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmişlerdir. Performans parametrelerindeki artışın GFRP düzenlemelerine bağlı olduğuna dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak; GFRP ile sarılmış yığma duvar panelinin basınç dayanımı, kuşatma etkisinden dolayı sarılmamış panellerin 1,68 katı olduğunu, ayrıca deformasyonda GFRP' den dolayı gözle görülür bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Söz konusu bu deneysel testler, GFRP' nin tuğlaları bir arada tutma yeteneği ile duvar bütünlüğünü koruduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir. Gerçek deprem sırasında, bütün bina ayakta kalsa bile tehlikenin ana kaynağının, URM (Güçlendirilmemiş Yığma Duvar) duvarlardan düşen enkazdan kaynaklandığına dikkat çekmişlerdir. GFRP' nin düzlem içi dayanımını 2,05-4,18 kat artırdığını gözlemlemişlerdir [51].

Wipplinger ve Arca (2004), Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş yığma yapıların deprem yüklerine karşı dayanıklı olmadığını, gelecekteki depremlerden zarar görmemeleri için daha da güçlendirilmeleri gereğini belirtmişlerdir. Temelden izolasyon sistemi ile güçlendirmede, izolasyonun büyük yapılarda ve yığma yapılarda iyi sonuçlar verdiğini, bu metotla üretilen yapılarda deprem enerjisini

tüketildiğini ve deplasmanların belirli değerlerde kaldığını ve yapıların yük taşıma kapasitelerinin arttığını belirtmişlerdir [52].

Milao (2005), Çalışmasında yığma duvarların dıştan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilmesini araştırmıştır. 4 örnek duvarı düzlem içi yanal yük ve düşey yük uygulanarak, test etmiştir. Yanal yüklemeye ötelenme, çatlama deseni ve CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) tabakaların duvara etkisini belirlemiştir. CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilen duvarların yüklemeye kapasitelerinde ve deplasman kabiliyetlerinde önemli iyileşmeler ile duvarın yanal yük altında taşıyıcılığında artışlar gözlemiştir [53].

Nazier (2004), Yaptığı çalışmada inşaat ve onarım tekniklerinde yeni malzemelerin üretildiğini, güçlendirmede lif takviyeli plastik (FRP) kullanımının 20 yıldır kullanıldığını belirtmiştir. FRP ile güçlendirmenin dezavantajının yangına dayanıklı olmaması ve bağlantı noktalarında ısı köprüleri oluşturması olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle güçlendirmede inorganik fiberlerin kullanımı gündeme gelmiştir. Deney sonuçlarına göre inorganik fiberle güçlendirilmiş elemanların dayanıklılığı artarken, düzgün yüzeyler de elde edilmiştir [54].

Yasser (2005), Yaptığı çalışmada deprem kuvvetleri altında yığma duvarlarda düzlem dışı yüklenme nedeni ile çökme veya çatlamlar oluşabildiğini, bunun da kültürel kayıplara, ekonomik kayıplara neden olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında, tarihi yapıların ve yığma yapıların fiber polimerler (FRP) ile güçlendirilmesini araştırmıştır. 42 güçlendirilmiş ve 10 tam ölçekli tuğladan duvarı fiber polimer malzemeler ile güçlendirmiş, statik ve dinamik yüklemeye tabi tutmuştur. Güçlendirilmiş duvarların taşıma kapasitelerinde, enerji tüketme kapasitelerinde ve dayanıklılıklarında olumlu gelişmeler oluşmuştur. Fiber polimerle güçlendirme yönteminin tarihi yapılarda da uygulanarak kültürel ve sosyal mirasa sahip çıkılabileceğini belirtmiştir [55].

Shang ve Shen (2012), HPFL (High Performance Ferrocement Laminate), yüksek performanslı, sık aralıklarla serilmiş sürekli ve küçük çaplı tel örgülerle donatılmış çimento harcından oluşan ince kesitli bir betonarme laminat çeşididir. Yığma yapılar

için HPFL şerit güçlendirme metodu; yüksek dayanım, düşük büzülme, yüksek dayanıklılık ve yangına karşı dayanıklı avantajlarına sahip, yeni, inorganik kompozit malzemelerden oluşan bir güçlendirme metodudur. Bununla birlikte, düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve yüksek güvenilirlik avantajlarından dolayı, inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan bir güçlendirme tekniği olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, yığma yapılar için HPFL güçlendirme tekniği hakkında, literatür üzerinde ve uygulama ile ilgili yaptıkları araştırma gösterilmiştir. HPFL güçlendirme tekniği ile sismik kapasite, kesme dayanımı, süneklik, enerji tüketme kapasitesi gibi duvarın birçok özelliğinin önemli ölçüde düzeltilebildiğini söylemişlerdir. Ayrıca, mühendislik yapıları üzerinde özel tasarım ve konstrüksiyon metodları da bu çalışmada sunmuşlardır [56].

Kalkan (2008), Bu çalışmada, Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların bir yüzü hasır donatılı püskürtme beton ile güçlendirildikten sonraki davranışını incelemiştir. Çalışmasında yığma yapıların donatılı püskürtme betonla güçlendirme yöntemini deneysel olarak incelemiştir. Bunun için, aynı geometrik ve malzeme özelliklerinde iki ayrı model duvar üretilmiş, ikincisi bir yüzü (dıştan) hasır donatılı püskürtme betonla güçlendirilmiş ve her iki duvar da aynı deney şartlarında düzlem dışı tersinir yükler altında deneye tabi tutmuştur. Deneyler sonucunda; güçlendirilmemiş duvarda ilk çatlama yükünün +45 kN' da ve kırılma yükünün +60 kN olduğunu, güçlendirilmiş duvarda ilk çatlama yükünün -70 kN' a ve kırılma yükünün +186 kN' a ulaştığı, dayanımın 3,1 kat arttığı, güçlendirilmemiş duvarın sünekliğin 2,2'de kaldığı, güçlendirilen duvarın sünekliğin 2.64 kat artarak 5,81'e ulaştığı, güçlendirilmiş duvarın enerji tüketme kapasitesinin 13,94 kat arttığı, rijitliğinin ise 0,46 oranında azaldığı, 0,722g' lık yer ivmeli bir depremin sismik kuvvetine dayanabileceği ve duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3,11 kat artırdığı gözlemlendiğini belirtmiştir [8].

Erdal (2010), Çalışmasında, düşük seviyede, güçlendirilmemiş şekilde inşa edilen bir yığma binanın sismik etki altında çökmesini ve düzlem dışı kuvvet ile duvarların çatı seviyesinde yenilmeye başlamasını araştırmıştır. Sismik etki simülasyonu ile tersinir yükleme uygulanarak test edilen güçlendirilmemiş duvarın (URM), mevcut sünekliği

ve dayanımını sunmuştur. Burada hem sünekliğin hem de dayanımın artırılması gerektiğini belirtmiştir. Güçlendirilmemiş duvar (URM) ile aynı geometrik özelliklere sahip FRP (Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilmiş bir başka duvarın inşa edildiğini belirtmiştir. Bu duvara aynı testi uygulayarak hem dayanımının hem de sünekliğinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Söz konusu nihai yenilmenin çekme etkisi ile meydana geldiğini belirtmiştir. Yaptığı bu çalışmada elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemiştir;

- Özellikle güçlendirilmemiş duvarın düzlem dışı gerilmelere karşı dayanım ve sünekliğinin artırılması, bu duvarın dış yüzeyinden ve orta kısmında 300 mm genişliğinde FRP şeritlerinin uygulanması sonucu dayanımın 2 kat, sünekliğinin de 4,25 kat arttığını belirtmiştir.
- Duvarın dış yüzeyinde sadece FRP uygulamasının yeterli olabileceğini söylemiştir. Bu uygulamada, duvarda meydana gelebilecek kırılmalarda molozların oda içine değil de dışa doğru düşüş göstereceğini söylemiştir.
- Söz konusu FRP şeridinin duvar tabakasından ayrılmasını önlemek için duvara cıvata ile sağlamlaştırılması gerektiğini göstermiştir.
- FRP' siz ve FRP ile güçlendirmenin farklı koşullar altında, duvarlara düzlem dışı gerilmenin belirlenmesi için daha fazla testlerin yapılması gerektiğini belirtmiştir [57].

Anıl ve ark. (2012), Çalışmalarında, güçlendirilmemiş yığma tuğla duvarların CFRP şeritleri ile güçlendirerek düzlem dışı davranışını incelemiştir. Birçok deneysel çalışmada; URM (unreinforced masonry) tuğla duvarların, düzlem içi yanal kuvvet etkilerine karşı yüksek dayanıma sahip olduğu kanıtlanmıştır. Ancak URM tuğla duvarın düzlem dışı yanal kuvvetlere karşı dayanımının oldukça düşük olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenle, URM tuğla duvarların düzlem dışı dayanımını geliştirmek için söz konusu deneysel çalışmayı tasarlamışlardır. Çalışmalarında; düşük basınç dayanımlı delikli tuğla kullanılarak, duvar örnekleri üretilmiş ve daha sonra bu duvar örneklerini güçlendirmek için CFRP malzemeleri kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan şerit düzenleme ve CFRP ankrajları incelenen değişkenlerdir.

Deneylelerinde; dayanım, rijitlik, süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve kırılma biçimleri incelenerek, güçlendirme tekniğinin performansını belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; CFRP şeritleri ile güçlendirme tekniği, URM yığma duvarlar ile karşılaştırıldığında; deney örneklerinin dayanımını 9 kat, süneklik oranını 3,5 kat; enerji tüketme kapasitesini de 125 artırdığını belirtmişlerdir [58].

Anıl ve Tatayoğlu (2012), Çalışmalarında, karbon fiber takviyeli polimer şeritler ile güçlendirilmiş gaz beton duvarların düzlem dışı davranışlarının iyileştirilmesini ele almışlardır. Çoğunlukla betonarme yapılarda kullanılan gaz beton duvarlar, deprem gibi dinamik kuvvetler altında zarar görebilir ve sakinlerinin yaşamı için tehlike oluşturabilir. Birçok deneysel çalışma, dolgu duvarların düzlem içi yanal kuvvetlere karşı yüksek mukavemete sahip olduklarını göstermiştir. Fakat düzlem dışı benzer kuvvetler karşısında mukavemetlerinin oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, gaz beton duvarların düzlem dışı dayanımını artırmak ve diğer davranışlarda iyileştirmeler elde etmek için bu deneysel çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında, üretilen 11 deney örneğinden biri referans numune olarak kabul edilmiş ve geri kalanlar, farklı düzenlemeler ile karbon fiber takviyeli polimer şeritler ile güçlendirilmiştir.

Deney numuneleri, düzlem dışı yanal kuvvet simülasyonu için eğilmeye zorlanarak dört noktada test edilmiştir. Çalışmalarında değişkenler olarak karbon fiber takviyeli polimer şerit düzenlemesi ve karbon fiber takviyeli polimer ankraj kullanımını incelenmiştir. Önerilen güçlendirme yönteminin performansı; rijitlik, süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve kırılma biçimleri incelenerek belirlenmiştir. Örneklerin kapasitelerini hesaplamak için, ACI 440 Komitesi raporunu kullandıklarını belirtmişlerdir. Karbon fiber takviyeli şeritler kullanılarak gaz beton duvarların güçlendirilmesinde kullanılan bu teknik; dayanımda 12,5 kat, süneklik oranında 6,1 kat ve enerji tüketme kapasitesinde 102,4 kat bir iyileşme sağlamıştır [59].

3. YIĞMA YAPILAR

3.1. Yığma Yapının Tanımı

Genel olarak yığma yapı veya yığma yapım sistemlerinde düşey yükler duvarlar tarafından taşınır. Bu taşıyıcı duvarların bağlanması ve birlikte çalışması için ara ve son seviyelerinde hatıllar yapılır. Taşıyıcı duvarlar üzerine oturan kirişler ve döşemeler, sistemin yatay yüklerini taşırlar. Bu sistemde duvarlar düşey taşıyıcı ve bölme duvarı durumundadır. Ülkemizde, farklı bölgelerde farklı yığma yapı teknikleri gözlenir. Kırsal bölgelerde duvarlar moloz taşla ve çamur harcı ile örülür. Bu yapıların tavan döşemeleri, direk adı verilen yuvarlak (dairesel kesitli) ağaç, üzeri kamış ve onun üzeri sıkıştırılmış killi toprak ve düz dam şeklindedir. Bazı bölgelerde duvarlar kerpiçten, bazı bölgelerde ise çimento harçla örülen taştan, tuğladan veya briketten yapılır. Bu evlerin bazılarının döşemeleri ahşap bazılarının da betonarmedir. Çatılar genellikle ahşap oturtma çatı ve üzeri kiremit veya çinko kaplamadır [5].

3.2. Yığma Yapıların Analizi

Yığma yapıların sayısal analizi oldukça güçtür. Çünkü içerdiği süreksizlikten dolayı heterojen ve anizotropiktir. Malzeme ve işçilik kalitesi, yapının kimi yerlerinde süreye bağlı olarak değişebilir ve mevcut hasar durumu tam olarak bilinmeyebilir. Yığma yapıyı oluşturan duvarların bağlantı bölgelerinde oluşan süreksizliklerin çekme dayanımları oldukça düşüktür. Bu da, yük altında bloklar arasında makaslama hareketleri oluşturur. Bu sebeple blokları oluşturan harç ve tuğla birleşim yüzeyinin makaslama dayanımı da yapının mekaniksel davranışını etkiler.

Ülkemizde bulunan ve yığma yapı tekniği ile inşa edilmiş olan tarihi yapılar, çok karmaşık geometrik formlara sahiptir. Bu sebeple modelleme yapılmadan önce, elastik yöntemlerle analiz edilmeli ve yapı içersindeki gerilme dağılım mekanizması belirlenmelidir.

Taş köprülerin formu, tonoz, kubbe, kemer vb. elemanlar ile inşa edilen diğer tarihi yapılara göre daha basittir. Bu bakımdan yapısal davranışını yorumlamak daha kolaydır. Üç boyutlu yapısal davranış sergileyen diğer yapıların aksine, köprüler yük aktarma mekanizmasını, köprü ana eksenini ve yerçekimi doğrultusundaki düşey ekseninin oluşturduğu düzlem içerisinde gerçekleştirirler. Deprem, sel vb. etkilerden dolayı, bu düzleme dik doğrultuda da önemli deformasyonlar ve iç kuvvetler oluşur. Ancak kemerli taş köprülerin geometrik formunu belirleyen yapısal davranışları söz konusu düzlem üzerinde oluşur [7].

3.2.1. Yığma yapıların analiz yöntemleri

Yığma yapıların analizi için geliştirilen ve uygulanan yöntemler;

- Geometrik yük faktörü
- Doğrusal elastik sonlu elemanlar analizi
- Limit bloklı analiz
- Doğrusal olmayan elastik-plastik sonlu elemanlar yöntemi ve
- Ayrık elemanlar' dır.

Geometrik yük faktörü yönteminde, kemerin kalınlığının uygulanan yükü karşılayabilecek minimum kalınlığa oranı, geometrik güvenlik faktörü olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, yük altında kemerde oluşan deformasyonları tam olarak hesaplayamamaktadır. Sonuçlar hassas bir biçimde yapılacak yorumlara bağlıdır. Doğrusal elastik sonlu elemanlar yöntemi, yük altında yığma yapıdaki deformasyonları hesaplayabilmekte, fakat yapının göçme mekanizması ve yükünü verememektedir. Limit bloklı analiz, yığma yapıyı rijit blokların bileşiminden oluştuğunu kabul ederek, yenilme yükünü ve mekanizmasını belirleyebilmektedir.

Doğrusal olmayan elastik-plastik sonlu elemanlar ise, süreksizlikler içeren yığma yapı sistemini sürekli ortam kabul ederek analiz yapar. Bu yöntem, yığma yapıların sistem deformasyonlarını, göçme mekanizmasını ve plastik bölgelerini hesaplayabilmektedir. Bu durumda da süreksizlikler içeren anizotropik yığma yapı sisteminin eşdeğer bir deformasyon modülü ve dayanım parametreleri ile temsil edilmesi gerekir [7].

3.3. Yığma Yapıların Yapımında Kullanılan Malzemeler

Yığma yapı inşasında malzeme seçilirken;

- Yöresel yapı dokusu
- Yöresel yapım teknolojisi
- Kullanıcı ihtiyaçları
- Yapım şartları
- Vb. hususlar dikkate alınır.

Ülkemizde son yıllarda yığma binalar, doğal taş temeller üzerine düşey ve yatay hatlarla uygulanarak; duvarlar taş, tuğla, briket vb. malzemelerle ve çimento harcı ile örülerek; betonarme döşeme ve ahşap oturtma çatı üzerine kiremit veya çinko kaplanarak inşa edilmektedir [5].

Çalışmanın bu bölümünde yığma binalarda kullanılan harman tuğlası, fabrika tuğlası, doğal taş, kerpiç, beton briket, hafif beton bloklar, harçlar vb. malzemeler ile ilgili Türk Standartlarında verilen tanımlar, özellikler ve değerler verilmiştir.

3.3.1. Yığma yapılarda kullanılan harçlar

Yığma yapılarda duvarları oluşturan kârgir birimleri birbirine bağlamak ve böylece duvara süreklilik kazandırmak görevini harçlar üstlenmektedir. TS EN 998-2 “*Kârgir Duvar Harçları*” nı TS 2717’ ye uygun harç kumu ile bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürülmüş toz kireç, harç çimentosunun ayrı ayrı veya bir kaçı bir arada kullanılarak ve yeteri kadar su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak elde edilen ve duvarların örülmesinde kullanılan yapı malzemesi” olarak tanımlamaktadır [60].

Harçların sınıflandırılması

Harçlar basınç dayanımlarına göre; A sınıfı harç, B sınıfı harç, C sınıfı harç, D sınıfı harç ve E sınıfı harç olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar [4].

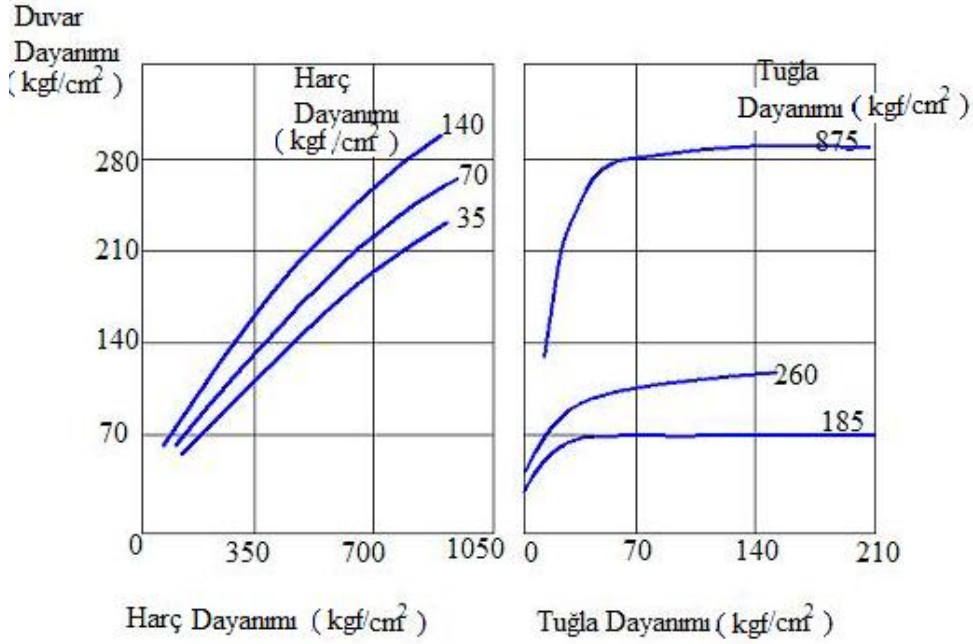
Harçların basınç dayanımı

Harç üzerine TS 2848’ de tarif edilen basınç dayanımı deneyi uygulandığında bulunan sonuç, minimum basınç dayanımlarının üzerinde olmalıdır. Harç sınıfları için basınç dayanımları Çizelge 2.1’ de verilmiştir. Ayrıca harç, üzerinde yapılan sarsma tablası deneyinde % 110 ± 5 oranında bir yayılma oluşturacak kıvamda olmalıdır [4].

Çizelge 3.1. Harçlarda minimum basınç dayanımı [4]

Harç Sınıfı	kgf/cm ²
A	150
B	110
C	50
D	20
E	5

Tuğla-harç-duvar basınç dayanımlarını gösteren grafik detaylı olarak Şekil 3.1’ de verilmiştir. Harç dayanımının birkaç kat artması ile tuğla duvar dayanımı % 25–30 kadar artmaktadır.



Şekil 3.1. Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki [4]

3.3.2. Tuğla

Yapılarda yük taşıyan esas duvarlar ile yük taşımayan bölme duvarlar, tuğla ile örülür. Tuğlalar; kil veya killi bileşiklerle elde edilen hamurun şekillendirilip pişirilmesi ile elde edilirler. Şekilleri itibariyle dolu ve delikli tuğlalar olmak üzere ikiye ayrılır ve taşıyıcı duvarların örülmesinde dolu tuğlalar kullanılır [4]. Yığma yapı duvarlarında kullanılan tuğlalar, üretim şekillerine göre; harman ve fabrika tuğlası olmak üzere başlıca iki tiptir. Bunlar; harman ve fabrika tuğlalarıdır.

Harman tuğlası; geçmiş yıllarda yaygın olarak kullanılmış ve günümüzde de halen kullanıla gelmektedir. Ancak son zamanlarda yerini fabrika tuğlasına bıraktığı bilinmektedir. Harman tuğlası özellikle kil, killi toprak ve balçığın gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla, kiremit tozu vb. ile karıştırılıp yoğrularak belirli boyutlara sahip kalıplarda (190x90x50 mm vb.) şekillendirildikten sonra kurutulup, ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen bir malzemedir. Ancak endüstriyel olarak üretilmediklerinden, her zaman bu standartlarda olması beklenemez.

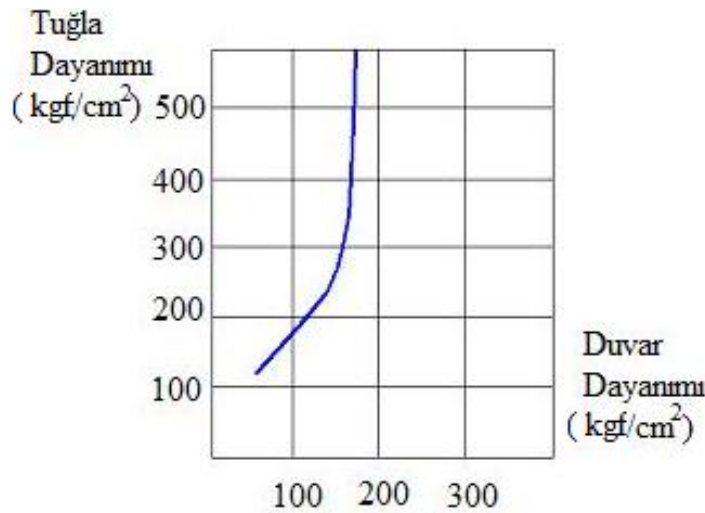
Fabrika tuğlası; günümüz teknolojisi ile üretilen fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı veya hep birlikte harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül vb. karıştırıldıktan, kalıp makineleri ile şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra, fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen bir malzemedir.

Türkiye’de yığma yapılarda TS 4377-T1’ye göre üretilen ve hafif tuğla denilen düşey delikli blok tuğla yaygın olarak kullanılmaktadır [61]. Günümüzde TS 771-1’e göre üretilen 190x190x135, 190x190x85 mm boyutunda yatay delikli dolgu tuğlası ile 190x190x135 ve 190x290x135 mm boyutundaki düşey delikli taşıyıcı blok fabrika tuğlası da kullanılmaktadır [61].

Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki

Tuğlanın basınç dayanımı, tuğla toprağının cinsi, tuğlanın porozitesi, pişirilme ısısı, üretim biçimi, delikli ise delik oranı, kenarlarının biçimi, yüklenme yönü gibi faktörlere bağlıdır [63].

Duvarın dayanımının artması yalnızca tuğlanın dayanımının artması ile sağlanamaz. Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi, belirli bir değere kadar tuğla dayanımının artması, duvar dayanımının artmasını sağlarken, belirli bir değerden sonra tuğla dayanımının artması duvar dayanımında aynı artışı sağlayamamaktadır.



Şekil 3.2. Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki [4]

3.3.3. Doğal yapı taşları

Doğal yapı taşı, TS EN 1467'ye göre; doğada mevcut taş ocaklarından çıkarılan, homojen, atmosfer etkilerine dayanıklı, petrografik ve teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanılmaya elverişli taşlardır. Yığma binaların yapımında kullanılan doğal taşların donmaya ve atmosfer şartlarına karşı yüksek dayanıklı olması ve harca iyi yapışmasının yanında kolay işlenebilir olması beklenir [64].

3.3.4. Kerpiç

Ülkemizde özellikle kırsal kesimlerdeki yığma yapıların büyük kısmı kerpiçten imal edilmektedir. Daha çok köy evleri, çiftlik evleri ve hayvan barınaklarının yapımında kullanılır. Hem maliyet açısından, hem de kışın sıcak tuttuğu için tercih edilir.

Kerpiç bloklar TS 2515' e göre; “killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler veya saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere ve rende talaşları vb. maddeler katılarak, su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirilmesi ve açık havada kurutulması ile elde edilen yapı malzemeleri” olarak tanımlamaktadır. Kerpiç blokların dikdörtgen prizma şeklinde olması ve bünyesinde çatlak ve kırıklık bulunmaması beklenen özelliklerdir [65].

3.3.5. Beton briket

Beton briket; TS 406 'ya göre, çimento, hafif ve normal ağırlıkta agregalar, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak yapılmış, anma yüksekliği en çok 135 mm olan beton malzemedir. Üretimlerinde agrega olarak kum-çakılın dışında cüruf, doğal hafif agrega da kullanılmaktadır ve basınç dayanımları oldukça düşüktür [66].

3.3.6. Hafif beton bloklar

Hafif beton bloklar, beton briket sınıfı içinde TS 453 yer alan “*hafif beton bloklar*” olarak anılan, gaz ya da köpüklü beton bloklar; ince öğütölmüş silisli agrega ve inorganik bağlayıcılara alüminyum katılmak sureti ile gözenek oluşturulan ve buhar kürü ile sertleştirilen yapı malzemelerdir [67].

3.4. Yığma Yapıların Davranışı

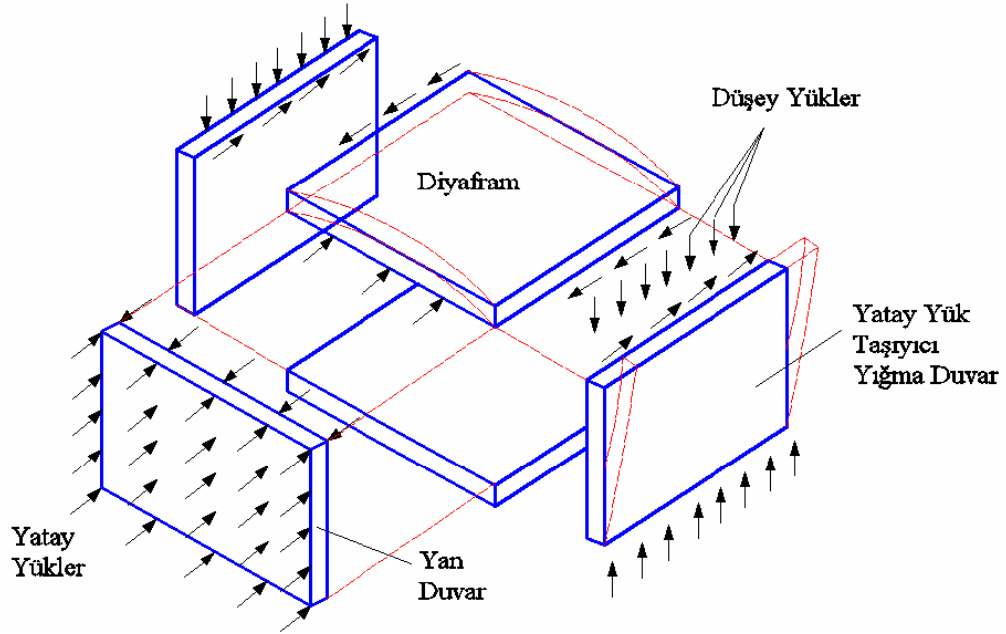
3.4.1. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarlar

Yatay ve düşey yük taşıyan duvarlar, donatılı veya donatısız olarak yapılabilirler. Tuğla vb. malzemeler gevrek malzemelerdir ve çekme dayanımları düşüktür. Malzemenin bu özelliği, düşey yük altındaki duvarda önemli bir dezavantaj oluşturmasa da, yatay yükün etkidiği hallerde duvarda büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşacağından, uygulamada bazı kısıtlamalara sebep olur.

Yığma duvarlarda bu durum, betonarmede olduğu gibi donatı veya öngerilme elemanları kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Donatı kullanılan yığma duvarların sünekliği artar ve göçme durumunda parçalanmaz. Donatı, duvardaki düşey ve/veya yatay boşluklara yerleştirilir ve beton veya harçla doldurulur. Donatılı betonla doldurulan bu boşluklar, yığma duvarın içinde rijit bir betonarme çerçeve oluştururlar [68].

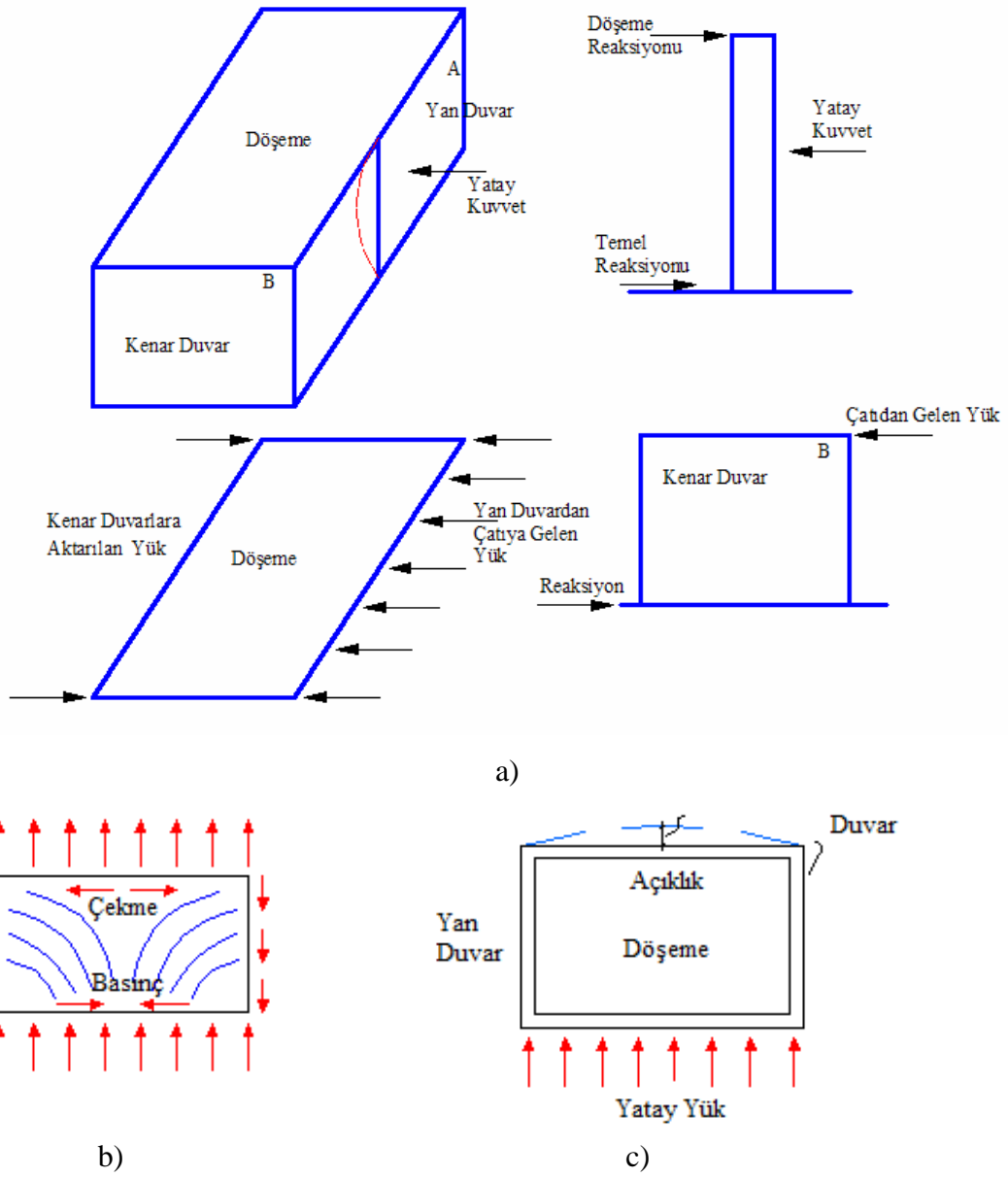
3.4.2. Yatay yükün duvarlara dağılımı

Yığma yapılara deprem sırasında gelen yatay kuvvetler duvarlar tarafından taşınmaktadır. Yığma yapılarda yan duvarlara gelen yatay kuvvet altındaki duvarın kesiti, uçlardan çatıya, ya da kat döşemesine ve zemine oturan bir kiriş gibi davranır. Bu durum Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yatay yükün duvarlara dağılımı [4]

Yan duvarlar yatay kuvvetlerle birlikte çatı döşemesi ve üst katlardan gelen aksel yükleri de taşırlar. Duvarların tasarımı sürecinde bu aksel yüklerin meydana getireceği gerilmeler de dikkate alınır. Duvarın üzerinden çatı sistemine aktarılan yatay kuvvetler, daha sonra eğer varsa çatı döşemesinde gerilme dağılımı oluştururlar. Bu yükler daha sonra çatının oturduğu kenar duvarlarda duvar düzlemine paralel kesme kuvvetleri oluşturur [69]. Bu durum Şekil 3.4' de görülmektedir.



Şekil 3.4. Yığma yapılarda deprem yükünün taşıyıcı elemanlara dağılımı [63]
 a) Yığma yapılarda yatay yüklerin dağılımı b) Döşemelerde oluşan gerilme dağılımı c) Yatay yük altında döşeme ve duvarda oluşan deformasyon

Burada döşemenin diyafram davranışı gösterebilmesi için belirli bir en/boy oranı olması gerekir. Bu oran yerinde dökme betonarme plak için 1/5, prefabrike betonarme döşemelerde 1/4, ahşap kontrplak döşemelerde ise 1/2' dir.

$$A_0(g) = 0,4 \quad \text{Maksimum yer ivmesi: DBYYHY–2007: 2.4.1}$$

$$S(T) = 2,5 \quad \text{Maksimum spektrum katsayısı: DBYYHY–2007: 5.2.1.}$$

$$a_{(3)} = 0,4(g)(2,5) = 1,0(g)$$

$$a_{(2)} = 2/3 a_{(3)} = 0,67g \quad (3.1)$$

$$a_{(ort)} = [a_{(3)} + a_{(2)}] / 2 = 0,835(g)$$

$$a_{(B)} = 2 \times 0,835(g) = 1,67(g)$$

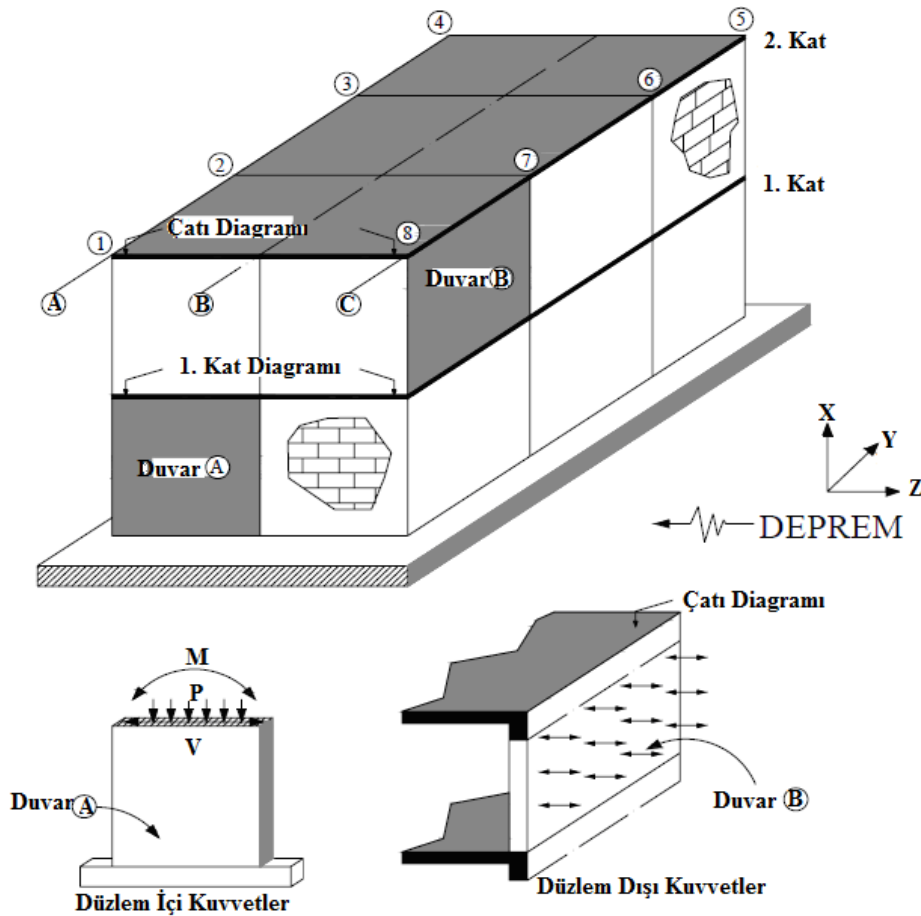
“B” duvarı Eşitlik 3.1’ den görüldüğü gibi 1,67(g)’ lık düzlem dışı bir ivmeye maruz kalmaktadır ve bu gerçekten çok büyük bir ivme düzeyidir.

Sağlam zeminlerde kısa periyotlu yapılara büyük ivmelerin geldiği, yumuşak zeminlerde ise uzun periyotlu yapılara büyük ivmelerin geldiği görülmektedir. Yığma yapılar kısa periyotlu yapılar olduğundan depremde büyük ivmelerin gelmesini önlemek için yumuşak zeminlere yapılması daha uygun olmaktadır. Birçok depremde sağlam zemin üzerindeki yığma yapıların daha çok hasar gördüğü gözlenmiştir [4].

Yapıların *sönüm oranı*, yapının dıştan gelen dinamik etkiyi giderek tüketmesi olarak tanımlanabilir. Sönüm oranı, periyot ve yapı elemanlarındaki gerilme düzeyi gibi faktörlere bağlıdır. Genellikle kısa periyotlu yapıların sönüm oranı küçüktür (% 2–5 gibi). Depremde hasar gören bir yapı çatladığında, çatlak yüzeyler arasındaki sürtünmeden dolayı yapının sönüm oranı artar ve yüksek bir düzeye ulaşır (% 5–10 gibi). Yığma yapılar hem kısa periyotlu hem de düşük sönümlü olmalarından dolayı depremde yüksek yatay kuvvetlere maruz kalırlar ve hasar gördüklerinde hem periyotlarında hem de sönüm oranlarında artış olur. Bu yüzden yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azalması söz konusu olabilir. Ancak bu değer beklenen bir değere ulaşmayabilir [69].

Yığma binalara düzlem içi ve düzlem dışı yük etkileri

Depreme maruz iki katlı yığma bir binada (Şekil 3.6), x-yönünden gelen deprem, x yönünde ivmeler ve bu ivmelerin sebep olduğu sismik kuvvetler oluşturur. Bunun sonucunda (A) duvarı, düzlem içi tersinir kesme kuvvetleri (V) ve momentlere (M) maruz kalır. Ayrıca, öz yükler, hareketli yükler ve devrilme momentleri etkisi ile aksenal (P) yükü oluşturur. x-yönünden gelen deprem (B) duvar' ında, duvar düzlemine dik kuvvetler de meydana gelecektir. Bu sismik kuvvetler, (B) duvar' ını düzlem dışı sehim yapmaya zorlarlar. Sismik kuvvetlerin belli düzeyde bir büyüklüğe gelmesiyle, (B) duvarı düzlem dışı kırılır ve yük taşıma yeteneğini yitirir. Çatı düzeyindeki duvarlardan bazılarının düzlem dışı kırılmasıyla, bir yük olarak çatı katı döşemesi taşınamaz olur. Sonuç, binanın çökmesidir [71].



Şekil 3.6. Depreme maruz yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı yüklenmesi [71]

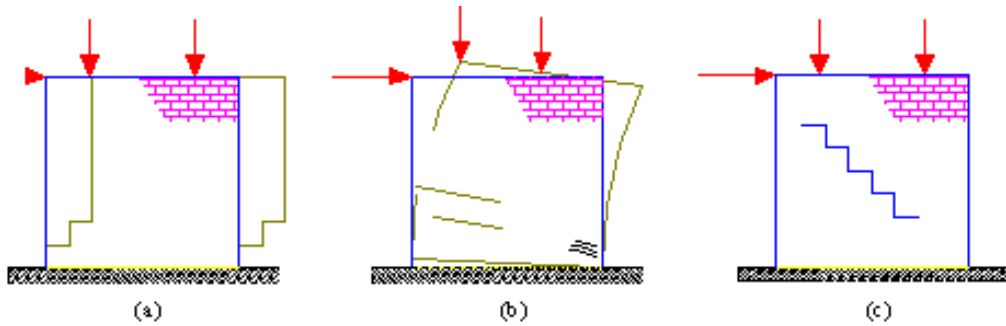
3.4.4. Yığma duvarların göçme şekilleri

Düşey ve yatay kuvvetlerin etkisi altındaki yığma duvarlar üç farklı şekilde göçerler.

Bunlar;

- Dönmeden yatay ötelenme göçmesi
- Eğilme göçmesi
- Kayma göçmesi' dir.

Bu göçme durumları Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri [4]

a) Yatay ötelenme göçmesi b) Eğilme göçmesi c) Kayma göçmesi

Dönmeden yatay öteleme göçmesi

Bu göçme, duvarın tüm kısımlarının taban veya harç yüzeyi boyunca toptan yatay ötelenmesi ile oluşur (Şekil 3.7 a). Duvar bu göçme şekline, tabandaki ankrajların veya duvar içinde bulunan düşey donatının dübel etkisi alması veya harç yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetiyle karşı koyar. Bu göçme şekli, donatılı duvarlar için önemli bir mahzur teşkil etmez. Donatısız duvarlarda ise sürtünme kuvvetinin, dönmeden yatay ötelenme göçmesine engel olacak büyüklükte olup olmadığı kontrol edilmelidir [72].

Eğilme göçmesi

Bu göçme şeklinde duvar, düşey bir konsol gibi davranır (Şekil 3.7 b). Bu göçme şeklinde duvarın taşıma kapasitesini, topuk bölgesindeki çekme donatılarının akması ya da uç bölgesindeki malzemenin ezilmesi belirler. Duvarın içinde bulunan tüm düşey donatıların aktığı ve basınç bölgesinin, duvarın uç kısmında olacağı kabulü yapılarak, duvarın dayanımı yaklaşık olarak hesaplanabilir [72].

Kayma göçmesi

Yatay ve düşey yüklerin etkisi altındaki duvarda iki eksenli gerilme oluşur. Bu durumda gerilmeler yatay ve düşey yüklerin, duvarın kesit alanına bölünmesi ile bulunur ve sırasıyla ortalama kayma gerilmesi ve ortalama normal gerilme cinsinden ifade edilir. Duvarın kayma dayanımı Coulomb formülü ile hesaplanır.

$$T = T_0 + U \cdot G_0 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

T; duvarın kayma dayanımını (t/m^2)

T_0 ; duvarın çatlama emniyet gerilmesini (t/m^2)

U; sürtünme katsayısını (0,5)

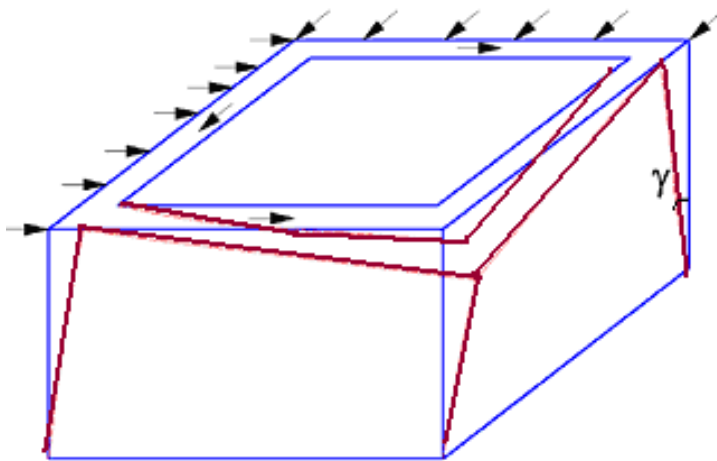
G_0 ; düşey eksenel yük altındaki gerilmesini (t/m^2) ifade etmektedir.

Kayma göçmesinde duvara etki eden düşey ve yatay yükler altında oluşan gerilmeler, duvar üzerinde kayma dayanımını aştığı zaman duvar eksenli boyunca birbirini izleyen düşey ve yatay derzler boyunca diyagonal çatlaklar oluşur ve duvar çöker (Şekil 3.7 c). Denklem 3.2' de görüldüğü gibi, yatay ve düşey yük altındaki donatısız duvarların kayma dayanımı, büyük ölçüde sürtünmeyi artırıcı etkisi olan düşey eksenel yüke (G_0) bağlıdır. Başlıklı yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlarda, duvarın kayma dayanımı hesaplanırken, başlıkların alanı ihmal edilir [73].

3.4.5. Yatay kuvvetlere maruz duvarlarda oluşan kırılma biçimleri

Çatıdan gelen deprem yükünün zemine aktarılması esnasında duvarda kesme gerilmeleri oluşur. Duvarın kesme dayanımı aşırsa, dolu duvarda 45° 'lik eğik çekme çatlakları meydana gelir. Duvardaki aksenal basıncın büyüklüğüne göre bu çatlakların açısı değişir. Büyük düşey basınç gerilmeleri varsa bu açı 45° 'den daha büyük olur. Deprem iki yönlü hareket olduğundan diğer yönde de eğik çekme çatlakları oluşur. Eğik çekme çatlakları bir kere duvarı zayıflattıktan sonra duvar daha önce bir problem olmadan taşıyabildiği düşey yükleri de taşıyamamaktadır. Deprem sırasında düşey yüklerde % 20-30 kadar bir artış veya azalış olmaktadır. Bu deprem süresince devam eden dinamik yüklemenin bir özelliğidir. Böylece eğik çekme çatlaklarından sonra düşey basınç çatlakları da oluşmaktadır [4].

Yapılar her iki asal doğrultularında yatay kuvvetlerle aynı anda zorlandıklarından özellikle yapıların köşelerinde gerilme birikimleri ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.8). Bu tip hasarı önlemek için yapıların köşelerine betonarme kolonlar yerleştirilebilir veya köşeler yuvarlatılabilir. Yığma yapı duvarları betonarme kat veya çatı döşemeleri ile bağlanmamışsa veya yeteri rijitliğe sahip olmayan döşeme ile bağlanmışsa hasarlar oluşabilir(74).



Şekil 3.8 Yapı köşelerinin durumu [4]

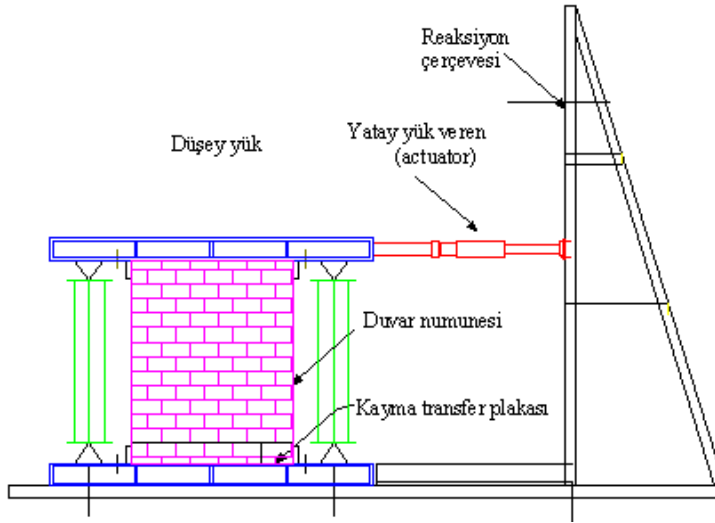
3.4.6. Test yöntemleri

Yığma yapının taşıyıcı sistemini oluşturan kârgir duvarların, kesme kuvvetine maruz kaldığı durumlarda gösterdiği davranışların araştırılması için bir kısım test yöntemleri uygulanmaktadır. Söz konusu test yöntemlerini başlıca iki sınıfa ayırmak mümkündür.

- Yarı statik test (Quaso static test)
- Sarsma tablası deneyi (Pseudo dinamik test)

Yarı statik test (quaso static test)

Yarı statik testte, sabit düşey yük altındaki bir örneğe büyüklüğü artarak değişen yatay deplasmanlar uygulanır. Her deplasman, örneğe basınç ve çekme olmak üzere iki yönde uygulanır. Her adımda iki yükleme deplasman eğrisi elde edilir. Bu yükleme şekli duvar örneğinde belirgin bir dayanım azalması oluşana kadar devam eder. Bu aşamadan sonra yükleme sayısı her adım için 3'e çıkarılır. Yatay yükleme bilgisayar kontrollü bir hidrolik sistem ile yapıldığından, yüklemenin her aşamasında uygulanan deplasmanlara karşı gelen farklı yük değerleri kolayca gözlenebilir. Ayrıca deplasmanların her yükleme adımında ölçülmesi ve kontrolünün sağlanması için duvar örneği deplasman ölçerler ile donatılır. Bu sayede deney aşamasında uygulanan yükün istenilen koşullarda uygulanıp uygulanmadığı ve yapısal davranışın belirlenmesinde yardımcı olacak belli noktaların deplasmanlarının tespiti yapılır (Şekil 3.9) [4].



Şekil 3.9. Yarı statik test düzeneği [4]

Sarsma tablası deneyi (pseudo dinamic test)

Kısa duvar örneklerine uygulanan bu deneyde, düşey yükün değeri, zemin ivmesi ve yükleme kütesinin duruş şekli belirlenir. Bu koşullarda sallanan masa deneyinde örneğe, öngerme kabloları yardımıyla sabit düşey yük ve duvarın orta yüksekliğine de yatay yük uygulanır. Kılavuz sistem sayesinde duvarın üst kısmının alt kısmına göre dairesel bir hareket yapması önlenir ve eğilme momentinin kuvvet çifti ile sağlanacağı koşul sağlanmış olur. Artan yoğunlukta farklı temel ivmelerine karşılık gelen yatay yükler örnek deforme olana kadar uygulanır [75].

3.5. Depreme Dayanıklı Yığma Yapının Tasarım Kuralları

Yığma yapıların boyutlandırılması ve donatılması, yürürlükteki standart ve yönetmeliklerle birlikte ABYYHY (Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik)' deki kurallara veya 2007 yılında güncellenmiş DBYYHY (Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik)' e göre yapılır. Yönetmeliğin ilgili bölümünde, “Bu bölümde verilen tüm kurallara uyulması durumunda ayrıca deprem hesabı yapılmasına gerek olmadığı, ancak yapılması durumunda bu bölümde verilen kuralların tümüne uyulması koşuluyla, $S(T_1) = 2,5$ ve $R_a(T_1) = 2,5$ alınarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap yapılacaktır” denilmektedir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvveti Denklem 3.3 ile hesaplanır [76].

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (3.3)$$

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T_1)$$

$S(T_1) = 2,5$ ve $R_a(T_1) = 2,5$ alınarak ifade yeniden düzenlenirse;

$$V_t = A_0 \cdot I \cdot W \text{ olur.} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

V_t : Eşdeğer deprem yükünü

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısını

I : Bina önem katsayısını

W : Duvar birim alan ağırlığını

ifade etmektedir.

Etkin yer ivmesi katsayısının değerleri deprem bölgelerine göre Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayısı [76]

Deprem Bölgesi	A_0 , Etkin yer ivmesi (En çok)
1. Derece	0,40
2. Derece	0,30
3. Derece	0,20
4. Derece	0,10

Deprem bölgelerinde yapılacak yığma binalar için en fazla katsayısı DBYYHY' de verilmiş ve Çizelge 3.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deprem bölgelerine göre yapılabilecek en fazla kat sayısı [76]

Deprem Bölgesi	En Fazla Kat Sayısı
1. Derece	2
2-3. Derece	3
4. Derece	4

Deprem yönetmeliğine göre döşemeler TS 500' e göre boyutlandırılıp donatılmalı veya dişli döşeme olarak tasarlanmalıdır. Aksi durumlarda, kat yüksekliğinin 3,0 m' yi geçmemesi ve tüm deprem bölgelerinde en fazla 2 katlı yapılması gerekir. Yine yönetmeliğe göre, birbirine dik doğrultudaki taşıyıcı duvarların, kapı ve pencere boşlukları hariç, toplam uzunluğun (I_d) brüt kat alanına oranının 0,25I' den az olmaması gerekir. Taralı alan uzunluğu; I_d , brüt kat alanı; A, bina önem katsayısı; I olduğuna göre;

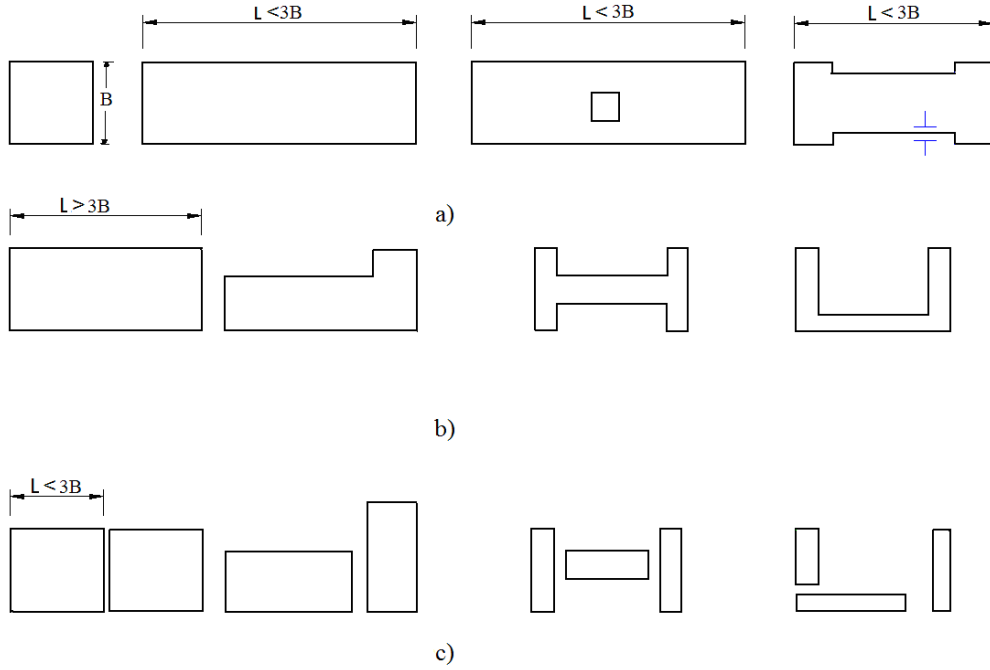
$I_d / A \geq 0,25 I$ olması istenir.

Ayrıca DBYYHY' de yığma binalarda minimum duvar kalınlıkları da verilmiştir. Bu değerler, Çizelge 3.4' de gösterilmiştir [76].

Çizelge 3.4. DBYYHY' e göre minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları (cm) [76]

Deprem Bölgesi	İzin verilen katlar	Doğal Taş (mm)	Beton (mm)	Tuğla	Diğerleri (Dolu bet., briket, yapay taş) (mm)
1, 2, 3 ve 4. Derece	Bodrum	500	250	1	400
	Zemin	500	-	1	300
1, 2, 3 ve 4. Derece	Bodrum	500	250	1.5	400
	Zemin	500	-	1	300
	1.	-	-	1	300
2, 3 ve 4. Derece	Bodrum	500	250	1.5	400
	Zemin	500	-	1.5	400
	1.	-	-	1	300
	2.	-	-	1	300
4. Derece	Bodrum	500	250	1.5	400
	Zemin	500	-	1.5	300
	1.	-	-	1.5	300
	2.	-	-	1	200
	3.	-	-	1	200

Depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından, arzu edilmeyen simetrik plan çeşitleri Şekil 3.10 a' da, simetrik ve istenmeyen plan çeşitleri Şekil 3.10 b' de, parçalanarak arzu edilen şekle sokulan planların çeşitleri de Şekil 3.10 c' de yer almaktadır [8].



Şekil 3.10. Depreme dayanıklı binaların önerilen planları [8]
 a) Simetrik plan çeşitleri b) Simetrik ve istenmeyen plan çeşitleri c) Parçalanan blok yapılar

3.6. Yığma Yapılarda Görülen Hasarlar

Yığma binalarda meydana gelen hasarların büyüklükleri, bina duvarlarında meydana gelen hasarların büyüklükleri ile orantılıdır. Bunun sebebi yığma binaların taşıyıcı sisteminin genelde duvarlar tarafından meydana gelmesindedir. Dolayısıyla duvar inşası sırasında uygun malzeme, harç seçimi ve uygun işçilik gibi birçok unsura dikkat edilmelidir.

3.6.1. Yığma yapılarda meydana gelen hasarların nedenleri

Yığma binalarda oluşan hasar nedenleri; taşıyıcı duvarda üst üste gelişigüzel konmuş duvar elemanlarının kuvvetli bir harçla birbirine bağlanmamış olması; duvar bütünlüğünü bozacak büyüklükte kapı ve pencere boşluğu oluşturulması; dış duvarlar boyunca bir kuşak oluşturan ve iç duvarlara da yerleştirilen beton veya ahşap sürekli hatılların oluşturulmaması; dik teşkil edilen iki duvarın birleşiminde düzgün kesilmiş taşlarla geçme yapılmaması; toprak örtülü çatı döşemesiyle yapının ağırlaştırılması;

binanın duvarlarında tek tür malzeme kullanılmaması; taş, kerpiç, hıms vb. karmaşık malzeme kullanılması sayılabilir [17].

3.6.2. Yığma yapılarda görülen hasar biçimleri

Yukarıda açıklanan hasar nedenlerine, inşa sürecinde yapılan hatalar sebep olmaktadır. Bu sebeplere dış etkenleri de eklemek gerekir. Yığma yapıları tehdit eden en önemli nedenler ve hasar biçimleri ise;

- Zeminde meydana gelen oturmalar
- Ağaçların meydana getirdiği hasarlar
- Nem ve yağmur suyu penetrasyonu
- Depremlerin etkisi
- Yangın vb. söylenebilir.

Yığma yapılarda zeminin yumuşak olması, temel cinsinin doğru seçilmemesi, kademeli temel yapımı ve yapının kendi ağırlığı vb. kaynaklı oturmalarından çeşitli çatlaklar oluşabilmektedir [8].

Taşıyıcı sistem ayrımı gözetmeksizin, ilgili deprem yönetmeliklerine göre inşa edilmemiş bütün yapılarda olduğu gibi, yığma yapılarda da hasar biçimleri incelendiğinde, yapılarda en büyük ve en önemli hasarların depremler sırasında ortaya çıktığı görülmektedir. Deprem, insanoğlunun günümüz teknolojilerine rağmen ne zaman olacağını öngöremediği, özellikle deprem bölgelerinde yaşayanların en çok korktuğu ve her an karşılaşılabileceğini düşündüğü bir psikoloji ile beklediği, oldukça yıkıcı ve ağır sonuçlar doğurabilen en tehlikeli doğa olaylarından biridir.

Deprem sırasında, yığma binalarda oluşan hasarları aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:

- Duvarların düzlemi içinde kesme çatlaklarının oluşması
- Düzlemi dışında devrilmesi
- Duvarların köşelerden ayrılması
- Döşemelerin duvarlardan ayrılıp yıkılması [8].

3.6.3. Yığma yapılarda deprem hasar kriterleri

Deprem sırasında yığma yapılarda hasar oluşması kaçınılmazdır. Bu hasarların belirlenmesi için bir dizi araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan biri de Çizelge 3.5’ de yer alan İTÜ Yapı ve deprem uygulama merkezi’nce hazırlanan hasar kriterleridir.

Çizelge 3.5. İTÜ Yapı ve deprem uygulama merkezi’nce hazırlanan yığma yapılarda hasar kriterleri [77]

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklama
0,1 mm’ den az	Önemsiz	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0,1 – 0,3 mm	Önemsiz - az	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0,3 – 1,0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari açıdan tamir gerektir.
1,0 – 2,0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari açıdan tamir gerektir.
2,0 – 5,0 mm	Orta	Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Pencere veya kapılar sıkışır ya da kapanmaz. Yapının kullanımı etkilenir.
5,0 – 15,0 mm	Orta -ağır	Pencere veya kapılar sıkışır, su ve kanal bağlantıları kırılır. Yapının içine su ve soğuk girer. Pencere camları çatlar ve kırılır, sıvalar dökülür, tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çöker. Kabul edilmez çatlak sınırına ulaşılmıştır.
15,0 – 25 mm	Ağır	Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gerektirir.
25 mm’ den çok	Çok ağır	Yapıda ağır hasar mevcuttur. Çok önemli takviye ya da yıkım gerektirir.

Çizelge 3.5’ den de anlaşılacağı üzere, çatlak kalınlığı 2,0–5,0mm’ye ulaştıktan sonra taşıyıcı sistem etkileneceği için, onarım ya da güçlendirme yapılması gerekli görülmektedir.

3.7. Onarım ve Güçlendirme

Ülkemizde *Onarım* ve *Güçlendirme* kavramları özellikle kırsal alanlarda ve denetimin çok yapılmadığı yerlerde çoğu zaman birbirine karıştırılmaktadır. Gerek deprem sonrasında gerekse diğer sebeplerden dolayı hasar görmüş yapıların, teknik analiz ve incelemeler yapılmadan çoğu zaman basit bir onarımla sorunun çözüldüğü düşünülerek ve hasarlı kısımların üstü örtülerek bu durumun geçirildiği gözlenebilmektedir. Bu duruma en iyi örneği, son yaşadığımız Van depreminde çeşitli kaplama ve dekorasyon malzemeleri ile hasarların onarıldığı ve sağlam diye konaklanan ve çok sayıda kayıp verdiğimiz yıkılan otel vb. yapıları gösterebiliriz. Bunun yanında, kırsal bölgelerde yığma binalarda önemli sayılabilecek çatlakların basit bir sıva ile örtüldüğü ve ekonomik şartlardan dolayı bunların gizlendiği ve buralarda yaşanmaya devam edildiği karşılaştığımız başka örnekler olarak verilebilir.

3.7.1. Onarım ve güçlendirmede terminolojik kavram ile amaç

Onarım, hasar görmüş bir yapıyı ya da yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine getirmek için yapılan işlemlerdir. Güçlendirme ise, hasar görmüş veya görmemiş bir yapıyı ya da yapı elemanını geçerli bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Konuyla ilgili İngilizce yayınlarda sıkça geçen ve giderek teknik literatürümüze de giren “Retrofit” kelimesi de, yapıların depreme karşı güçlendirilmesi anlamına gelen, genel bir kelimedir. Onarımdaki amaç önceki durumu geri getirmektir, bu kullanım bakımından olabileceği gibi yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve dayanıklılığını artırmak şeklinde de olabilir. Güçlendirmedeki amaç ise, yapının dayanım ve benzeri karakteristiklerini önceki düzeyinin üstüne çıkartmaktır [78].

Esas anlamda güçlendirmenin amacını; uzun yıllardan beri yaşadığımız ve ulusça çok muzdarip olduğumuz ve üzüldüğümüz depremlere karşı can kaybı olmayacak şekilde yapı dayanıklılığının artırılması için yapılacak işlemlerin tümü şeklinde tanımlayabiliriz.

3.7.2. Onarım ve güçlendirmede izlenen yol

Onarım ve güçlendirme süreçlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Yapının mevcut halinin belirlenmesi (çatlaklar, deformasyonlar, hasarlar) ve sistemin durumu
- Onarım ve/veya güçlendirmenin gereklerinin belirlenmesi
- Onarım ve/veya güçlendirme programının hazırlanması
- Onarım ve güçlendirmeden sonra yapıda temin edilmesi istenen hedeflerin belirlenmesi
- Önerilen onarım ve/veya güçlendirme sistemlerinin uygunluğunun belirlenmesi
- İnşaatın kalitesinin denetlenmesi [78].

Güçlendirme maliyetinin binanın yeniden yapılması bedelinin önemli bir oranını (örneğin % 40) geçmesi durumunda; güçlendirme gerektiren ve ekonomik ömrünün önemli bir kısmını tamamlamış olan ve herhangi bir tarihi değeri veya prestiji olmayan binalar ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ölçütlerine göre ağır hasarlı sınıfa giren binalar için yıkım kararı verilebilir [8].

3.7.3. Yığma yapıların güçlendirilmesi

Bütün taşıyıcı sistemlerde olduğu gibi yığma yapılarda da çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Özellikle eski veya tarihi yapıların güçlendirilmesinde tarihi dokuya uyum sağlaması zorunluluğu sebebiyle, çoğu zaman zorlanılmaktadır. Bir yığma yapının güçlendirilmesine karar verildikten sonra hasar sebepleri ve miktarı araştırılır. Söz konusu yapının yeterli deprem güvenliği belirlendikten sonra mevcut tasarımın deprem yönetmeliğine uygunluğuna bakılır. Örneğin yeterli dayanıma sahip olmayan duvarlar yeniden inşa edilir, fazla genişliğe sahip kapı, pencere vb. boşluk ve açıklıklar yeniden doldurulur. Bu şekilde kesme dayanımları artırılmış olur. Bunların dışında aşağıda verilen, günümüzde uygulama alanında sıkça görülen güçlendirme tekniklerinin yanında, deneyimizde de uyguladığımız duvarın

her iki yüzeyine çelik hasır ve püskürtme beton uygulaması ile yine duvarın kesme kuvveti kapasitesi önemli ölçüde artırabilir.

Yığma yapıları güçlendirme yöntemlerini, özellikle kullanılan *malzeme yönünden* aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Donatılı püskürtme beton ile güçlendirme
- Hazır tamir harçları ile güçlendirme
- Perde duvar ile güçlendirme
- Dıştan perde duvar ile güçlendirme
- Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme
- Epoksi ile güçlendirme
- Betonarme yatay ve düşey hatlarla güçlendirme
- Gergi demirleri ile güçlendirme
- Çelik şeritler ile güçlendirme
- FRP ve CFRP ile güçlendirme
- Ahşap dikme, çapraz ve payandalar ile güçlendirme
- Elastik Ard-Germe şeritleri ile güçlendirme

4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada D_2 deney duvarı, daha önce Kanıt (2006) ve Kalkan (2008) tarafından yapılan D_0 ve D_1 model duvarları ile aynı ölçü ve özelliklere sahiptir. D_2 duvarı, 2600 mm uzunluğunda, 2700 mm yüksekliğinde ve 1100 mm yan duvar ölçülerindedir. Duvar, 1 tuğla kalınlığında dolu harman tuğlası ve çimento harcı ile örülmüştür. Hatıl yüksekliği 200 mm ve döşeme yüksekliği 100 mm olarak üretilen D_2 duvarı, Ø6' lık Q188/188' lik hasır çelik ve 50 mm kalınlığında, iki yüzünden (iç ve dış yüzünden) donatılı püskürtme betonla güçlendirilmiştir. Daha sonra D_2 duvarı, aynı laboratuarda, aynı yükleme sistemi ve cihazlarla deneye tabi tutulmuş ve D_0 ve D_1 duvar deneylerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışma, TS 7720-1 “Yük Taşıyıcı Duvarlar ve Betonarme Döşemeler Arasındaki Yatay Birleşmeler-Mekanik Laboratuvar Deneyleri” ne uygun olarak gerçekleştirilmiştir [79].

Kârgir olarak inşa edilen D_2 deney duvarı, TS 2510 “Kârgir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları”na uygun olarak oluşturulmuştur [80]. Yığma yapıların test yöntemi olan “*yarı statik test yöntemi*” uygulanmıştır. Deney sırasında yükleme programı *yük kontrollü* olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. Materyal

Deneysel çalışmada, D_2 model duvarının yapımında, D_0 ve D_1 duvarlarının yapımı için kullanılan malzeme ve yöntemlerinin aynısı kullanılmıştır. D_2 duvarının güçlendirilmesinde de, D_1 duvarının güçlendirilmesinde kullanılan malzemelerin aynısı kullanılmış ve aynı yöntem uygulanmıştır.

4.1.1. Deney elemanları

Deney çalışmasında kullanılan D_2 duvarını oluşturan elemanlar; duvar elemanları, güçlendirme elemanları ve duvar dış kısmında yer alan elemanlar şeklinde açıklanmıştır.

4.1.2. Duvar yapımında kullanılan malzemeler ve özellikleri

Deneysel çalışmamızda, D_0 ve D_1 çalışmalarında olduğu gibi; Türk Standartları'na uygun olan malzeme, makine ve donanımlar kullanılmıştır.

Tuğla

D_2 duvarının yapımında TSEN 771-1' e uygun 190x90x50 mm ölçülerinde, dolu harman tuğlası (kil bazlı) kullanılmıştır [62]. Kullanılan tuğlalar TS 7720-1 standardına göre üretilmiş olup, fiziksel ve mekânîk özellikleri Çizelge 4.1' de yer almaktadır [79].

Çizelge 4.1. TS 7720-1' e göre kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekânîk özellikleri [81]

Fiziksel-Mekânîk Özellikler	Değer
Boyutlar (mm)	190 x 90 x 50
Basınç Dayanımı (MPa)	23,17
Eğilme Dayanımı (MPa)	2,61
Elastisite Modülü (MPa)	3000

Harç

Gerek duvar örgüsünde gerekse sıva işleminde kullanılan harç TS EN 998-2' ye uygun çimento harcıdır [60]. Harcın yapımında Bolu Çimento Sanayisince üretilen TS EN 197-1' e uygun CEM IV/BP 32.5R PÇ35 çimentosu ile TS EN 13139' a uygun agrega ve Ankara şebeke suyu kullanılmıştır.

Bolu Çimento Sanayi AŞ'nin TS EN 197-1'e uygun olarak ürettiği CEM IV/BP 32,5R PÇ35 çimentosuna ait özellikler Çizelge 4.2' de verilmiştir [82].

Çizelge 4.2. TS EN 197-1 'e göre CEM IV sınıfı çimentonun özellikleri [82]

Çim. Sınıfı	Çim. Türü	Birleşim (Kütle % olarak)							
		Ana Bileşenler							
		Klinker	Yük. Fırın Cürufu	Sika Dumanı	Puzolan		Uçucu kül		Pişmiş Şist ve Kalker
Doğ.	Doğal Kalsin Edilm.				Silisli	Kalker li			
CEM IV	Puz.	CEM IV A	65-89	-	11-35				-
	Çim.	CEM IV B	45-64	-	36-55				-

Harç yapımında kullanılan çimento harcının karışım değerleri ise Çizelge 4.3' de gösterilmiştir [8].

Çizelge 4.3. Çimento harcı için karışım değerleri [8]

Kullanılan Malzeme	Miktar (kg)
Kum	1425
Çimento	250
Su	400

Duvar örgü işlemleri ile sıva yapımında TS EN 13139' a uygun kum kullanılmıştır [83].

Donatı

Örülen duvarın üzerine 200 mm yüksekliğinde hatıl ve 100 mm kalınlığında döşeme yapılmıştır. Hatıl ve döşemede S420 gurubu çelik kullanılmış olup; düz demirler Ø12 ve etriyeler ise Ø8 çapındadır.

Hatıl ve döşeme betonu

Hatıl ve döşemede C16 betonu kullanılmıştır. Beton mikserle karıştırıldıktan sonra yerine yerleştirilmiştir.

4.1.3 Duvarın güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler

D₂ duvarının içten ve dıştan güçlendirilmesinde, D₁ duvarı ile aynı malzeme ve yöntem kullanılmıştır.

Hasır çelik

Model duvarın her iki yüzünün de güçlendirilmesinde TSEN 4559/T' ye uygun, Ø6' lık, Q188/188 hasır çelik kullanılmıştır [84]. Bu çeliğin sınıf açılımı 6, 6 150d 150'dir. Nervürlü hasır çeliğe dair TS 708' de belirtilen özellikler Çizelge 4.4' de verilmiştir [85].

Çizelge 4.4. TS 708' e göre hasır çeliklerde kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri [85]

Özellikler	Değer
Minimum akma sınırı	500 N/mm ²
Minimum çekme dayanımı	550 N/mm ²
Minimum kopma uzaması	% 5 - % 8

Deneyde kullanılan Q sınıfı hasır çeliğin özellikleri Çizelge 4.5' de yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Ø6' lık Q 188/188 hasır çeliğın özellikleri [84]

Hasırın		Hasır Çubuğın								Ağırlık	
Tipi	Boy/Eni	Aralığı		Çapı		Çıkıntısı		Alanı		m ²	Hasır
		Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En		
	m	mm						mm ²	m	N	
Q188/188	5,00/2,15	150	150	6	6	100/100	25/175	188	188	29,6	312,9

Hasır çeliklerle donatılar nokta kaynağı ile birbirlerine tutturulmuştur. TS 4559' e göre Çizelge 4.6' da yer alan kenetleme boyuna uygun olarak eklenmiştir [86].

Çizelge 4.6. TS 4559' e göre nokta kaynaklı hasır çeliklerin kenetlenme boyları [86].

Donatı yüzeyi	Φ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	<i>l_b</i> (mm)	n	<i>l_b</i> (mm)
Düz	<8,5	3	500	3	400
	≥8,5	4	600	4	500
Nervürlü	<8,5	3	400	3	350
	≥8,5	3	450	3	400

n: Bindirilen göz sayısı

Püskürtme beton

Islak karışımli püskürtme beton TS 11747' ye göre üretilerek uygulanmıştır [87]. Hasır çelik üzerine uygulanmış olan bu beton karışım oranları TS 802' ye göre hazırlanmıştır. Betonda TS EN 13139' a uygun agrega [83], TS EN 197-1' e uygun çimento [82] ve TS 1247' ye uygun Ankara şebeke suyu kullanılmıştır [88]. Betonun akışkanlığını sağlamak ve pompa içerisinde sertleşmesini önlemek için, çimento miktarının %3' ü oranında YKS Rhomix 301 akışkanlaştırıcısı katılmıştır.

Hazırlanan betonun yüzeye püskürtülmesinde yapı mekaniği laboratuvarında mevcut olan ASE VP 500 TMK beton püskürtme makinesi kullanılmıştır. Püskürtme betona ait malzeme özellikleri Çizelge 4.7' de verilmiştir [87].

Çizelge 4.7 TS 11747' ye göre püskürtme betona ait malzeme özellikleri [87].

Malzeme - Özellik	Değer
Çimento miktarı	300 – 400 kg/m ³
Toplam agrega içerisindeki çakıl oranı	%20 - %40
Çökme değeri	4 – 10 cm
Su/çimento oranı	0,35 – 0,55

Deney makineleri

Hasır çelikle kaplanan D₂ duvarını, püskürtme betonla güçlendirmek için, Yapı Mekâniği laboratuvarında mevcut bulunan, ASE VP 500 TMK püskürtme beton makinesi kullanılmıştır. Söz konusu makine Resim 4.1. de gösterilmiştir.



Resim 4.1. ASE VP 500 TMK Püskürtme Beton Makinesi

ASE 500 Püskürtme beton makinesi' nin pompalama özellikleri ise Çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Püskürtme Beton Makinesinin Pompalama Özellikleri

Pompalama Kapasitesi *	Pompalama Özelliği
Standart pompa ile	35 l/dk
Değişik pompa ile	70 l/dk
Pompalama basıncı	40 bar
Pompalama mesafesi	80-100 m
Pompalama yüksekliği	40 m
Çalıştırma	400 V, 50 Hz

* Motor devri, harç kalitesi, harç bileşimi, karışım yoğunluğu, pompa tipi, pompanın durumu, harç hortum çapı, pompalama yüksekliğine göre değişebilir.

4.1.4. Duvarın desteklenmesinde kullanılan malzemeler

Deney duvarının desteklenmesi amacı ile lamalar, yükleme plakası, çelik ve kutu profiller kullanılmıştır. Bunlardan özellikle yükleme plakası ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir.

Yükleme plakası

Deney duvarına yükün düzgün dağıtılması için, D₂ duvarının orta noktasına, karşılıklı iki adet çelik plaka yerleştirilmiştir. Kalınlığı 20 mm olan söz konusu çelik plakanın boyutları 1000×1000 mm' dir. Yükleme plakasının her dört köşesine, yükün eşit olarak dağıtılması amacı ile, 120x120 mm boyutunda ve 5 mm kalınlığında plakalar kaynak yapılarak sabitlenmiştir. Kullanılan çelik levhanın mekânîk özellikleri Çizelge 4.9' da verilmiştir [4].

Bununla birlikte deney duvarının orta kısmına yerleştirilen yükleme plakası, deney sırasında çekme kuvvetleri uygulanırken hasar görmemesi için 100x100 mm' lik U profillerle çapraz bir şekilde desteklenmiştir.

Çizelge 4.9. Deneide kullanılan çelik levhaların mekânîk özellikleri [4]

Mekânîk Özellikler	Değer
Akma gerilmesi (σ_y) (N/mm ²)	370,9
Maksimum gerilme (σ_{max}) (N/mm ²)	515,7
Kopma gerilmesi (σ_u) (N/mm ²)	428,6
Akma birim uzaması (ϵ_y)	0,0019
Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim uzama (ϵ_{max})	0,170
Kopma birim uzaması (ϵ_u)	0,214
Elastisite modülü (E) (N/mm ²)	1195210

4.1.5. Denei duvarının (D₂) geometrik ve mekânîk özellikleri

Denei duvarının geometrik özellikleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Denei örneği tuğla duvarın geometrik özellikleri

Duvar Boyu (mm)	Yan Duvar Uzunluğu (mm)	Duvar Yüksekliği (mm)	Hatıl Yüksekliği (Alta ve üstte) (mm)	Betonarme Döşeme Kalınlığı (mm)
2600	1100	2700	200	100

Çizelge 4.10’da verilen boyutlarda inşa edilen model duvarın iç ve dış yüzeylerine çimento + kireç harcı ile kaba ve ince sıva uygulaması yapılmıştır. Harman tuğlası ve çimento harcı ile inşa edilen söz konusu model duvarın mekânîk özellikleri ise Çizelge 4.11’de verilmiştir [89].

Çizelge 4.11. Harman tuğlası ve çimento harcı ile inşa edilen model duvarın mekânîk özellikleri [89].

Mekânîk Özellik	Değer
Basınç dayanımı (σ_m)	8 – 12 N/mm ²
Kesme dayanımı	1,0 – 2,0 N/mm ²
Güvenlik katsayısı	3,0 – 5,0

4.2. Metod

Bu çalışmada, iki yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yığma duvarın (D_2) düzlem dışı tersinir yük altındaki davranışı incelenmiş; daha önce Kanıt (2006) ve Kalkan (2008) tarafından incelenen, D_0 ve D_1 model duvarlarının aynı yükleme altındaki davranışları ile mukayese edilerek performansı ortaya konulmuştur.

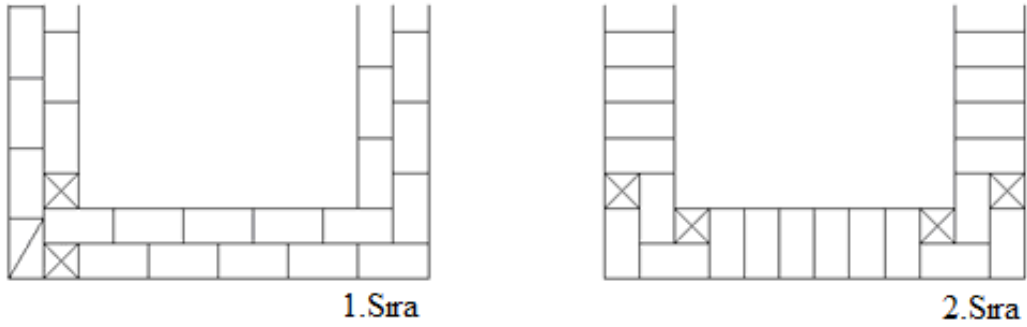
4.2.1. Duvarın örülmesi ve güçlendirilmesi

Duvarın örülmesi ve güçlendirilmesinde sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır. Bu aşamalar sırasıyla;

- D_2 duvarının örme işlemi tamamlanmıştır.
- Püskürtülecek beton ve duvarın bağlantısını sağlamak için duvar derzleri açılmıştır.
- Duvar iç ve dış yüzeyi hasır çelikle TS4559/T3'e uygun şekilde ekleri bindirme oranlarında dikkate alınarak kaplanmıştır.
- Hasır çelik su basman hatılı ve döşeme hatılına Ø8'lik çubuklarla sabitlenmiştir.
- Püskürtme beton tabakası ile tuğla duvarın birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla, hasır çelik 50 cm aralıklarla duvara epoxy yardımı ile ankrajlanmıştır.
- Duvar yüzeyi basınçlı hava püskürtülerek temizlenmiştir.
- Hazırlanan beton püskürtme makinesi kullanılarak duvara 5 cm kalınlığında uygulanmıştır.
- Püskürtme betonla kaplanılan duvara 7 gün kür uygulanmıştır.
- D_0 ve D_1 duvar deneylerinde olduğu gibi duvarın iç ve dış yüzeylerine sıva yapılmıştır.
- Sıvanın sertleşmesi için 7 gün beklenmiş, daha sonra deney düzeneği ve yükleme mekanizması kurulmuştur.

4.2.2. Deneysel elemanının üretilme aşamaları

İç ve dış yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen D_2 duvarı ile ilgili deneysel çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya konu olan duvar, bu laboratuvarında üretilmiş ve deneyler bu laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan D_2 duvarının tüm özellikleri, daha önceden de belirtildiği gibi D_0 ve D_1 duvarları ile bire bir aynıdır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında laboratuvarın döşemesinde bulunan temel üzerine kalıp yerleştirilerek, 200 mm kalınlığında betonarme hatıl inşa edilmiştir (Resim 4.2). Bunun üzerine 1 tuğla kalınlığında tuğla duvar örülmüş, örgü işleminde harman tuğlası kullanılmış ve çimento harcı standartlara uygun hazırlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tuğla duvar örgü şekilleri



Resim 4.2. Döşeme üzerine inşa edilen betonarme hatıl

Harman tuğlası ve imento harcı ile örülen duvarın görünüşü Resim 4.3’de verilmiştir.



Resim 4.3. Tuğla duvarın örülmesi

Örme işlemi tamamlanan duvar prizini aldıktan sonra, üzerine hatıl ve döşeme oluşturulması için betonarme kalıp hazırlanmış ve bu kalıplara hatıl ve döşeme donatıları yerleştirilmiştir. Hatıl yüksekliği 200 mm ve döşeme kalınlığı 100 mm olacak şekilde, C16 olarak üretilen beton mikserle karıştırılarak, dklmştir. Döşeme ve hatılarda 12’lik donatı kullanılmıştır. Hatılarda kullanılan 8’ lik etriyeler Resim 4.4’ de görüldüğü gibi, 150 mm ara ile yerleştirilmiştir. Kullanılan elik S420’ dir.



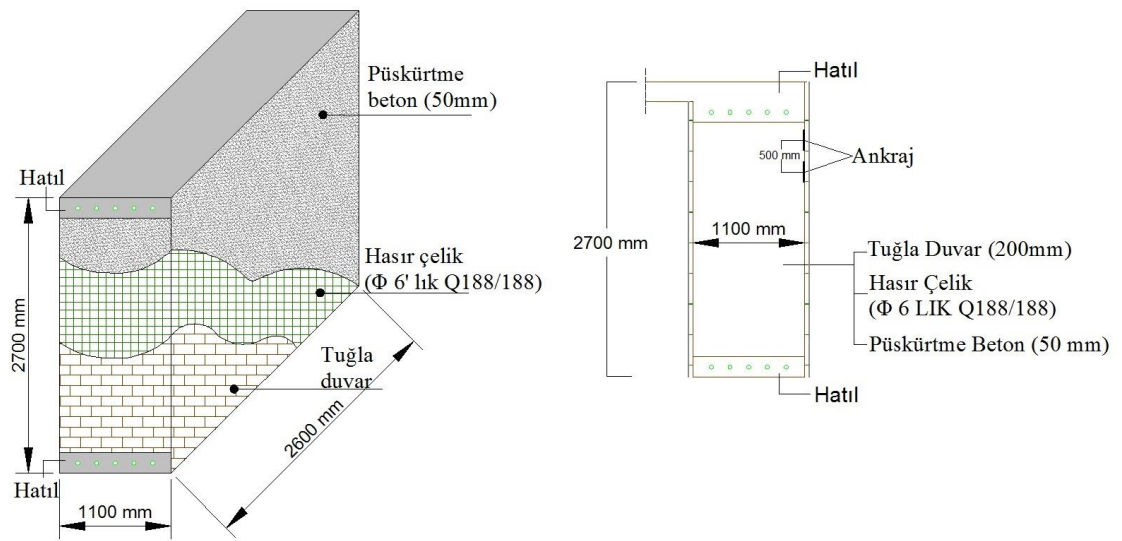
Resim 4.4. 12’ lik hatıl donatısı ve 8’lik etriyeler

Donatıları yerleştirilen döşemenin, beton dökme işlemi tamamlandıktan sonra örülen duvar yüzeyine 7 gün kür işlemi uygulanmış ve daha sonra 3 gün kurumaya bırakılmıştır. Kürleme ve kuruma işlemi tamamlanan D₂ duvarının kalıpları alınarak hasır çelikle kaplanmaya hazır hale getirilmiştir ve yüzeyi temizlenmiştir (Resim 4.5).



Resim 4.5. Hasır çelikle kaplanacak duvar

Şekil 4.2' de her iki yüzeyinden hasır çelikle sarılan duvar verilmiştir.



Şekil 4.2. Hasır çelikle içten ve dıştan güçlendirilen duvar

Resim 4.6 ve Resim 4.7’de gösterildiği gibi, duvar örneği hasır çelikle hem içten hem de dıştan kaplanmıştır.



Resim 4.6. Duvar iç yüzeyinin hasır çelikle kaplanması



Resim 4.7. Duvar dış yüzeyinin hasır çelikle kaplanması

Püskürtme betonun yüzeye uygulanması sırasında hasır çeliklerin duvardan ayrılmaması veya sıyrılmaması için, Resim 4.8’ de görüldüğü gibi hatıllara ve duvara ankrajlanmıştır. Söz konusu hasır çelikler, duvar yüzeyine matkapla 500 mm

aralıklarla açılan deliklere, 100 mm uzunluğunda Ø8'lik çubuklar, epoksi ve bağ telleri ile bağlanmıştır.



Resim 4.8. Hasır çeliğin ankraj çubukları ile duvara bağlanması ve çubukların hatıl ve duvara montajı
a) Ankraj çubuğu b) Hasır çeliğin ankraj ve montajı tamamlanmış hali

Hasır çeliğin eklenmesi sırasında Resim 4.9' da görüldüğü gibi ilgili standartlardaki değerlere uyularak gerekli eklemeler yapılmıştır.



Resim 4.9. Hasır çeliklerin eklenmesi ve ankraj çubukları

Hasır çeliklerin ankrajlama ve bağlanması işlemi bittikten sonra, duvar yüzeyi kompresörle basınçlı hava üflenerek temizlenmiştir. Daha sonra; Resim 4.2' de

görülen ASE VP 500 TMK püskürtme beton makinesi ile duvar yüzeyi alttan yukarıya doğru ve kademeli olarak püskürtme beton ile kaplanmıştır. Bu uygulama aşamaları, Resim 4.10' görüldüğü gibi yapılmıştır.



a)



b)

Resim 4.10. Duvarın iç yüzünün püskürtme betonla sıvanması

a) ASE VP 500 TMK Püskürtme beton makinesi ile betonun hazırlanması b) Duvar iç yüzeyine püskürtme beton uygulaması

Duvar iç yüzeyin ilk katı püskürtme betonla kaplandıktan sonra duvar yan yüzeylerin ve duvar arka yüzeyin betonlama işlemi, şekilde Resim 4.11'de görüldüğü gibi duvarın tüm yüzeylerinde 50 mm kalınlığında yapılmıştır.



a)



b)



c)



d)

Resim 4.11. Duvarın püskürtme betonla kaplanması uygulama aşamaları
 a) Duvar iç yüzeyine ikinci kat püskürtme beton uygulaması b) Dış yüzeye püskürtme beton uygulaması c) Duvar iç yüzeyinin kaplanmış hali d) Duvar dış yüzeyinin püskürtme beton uygulamasının tamamlanmış hali

D₂ duvarının püskürtme betonla kaplanması işlemi tamamlandıktan sonra, 7 gün kür uygulanmış, daha sonra kaba+ince sıva yapılmış ve sıvanın sertleşmesi için de 7 gün beklenilmiştir. Yükleme sisteminin D₂ duvarına bağlanması için, çelik profil ve çerçevelerin bağlanma işlemleri Resim 4.12’de gösterilmiştir.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

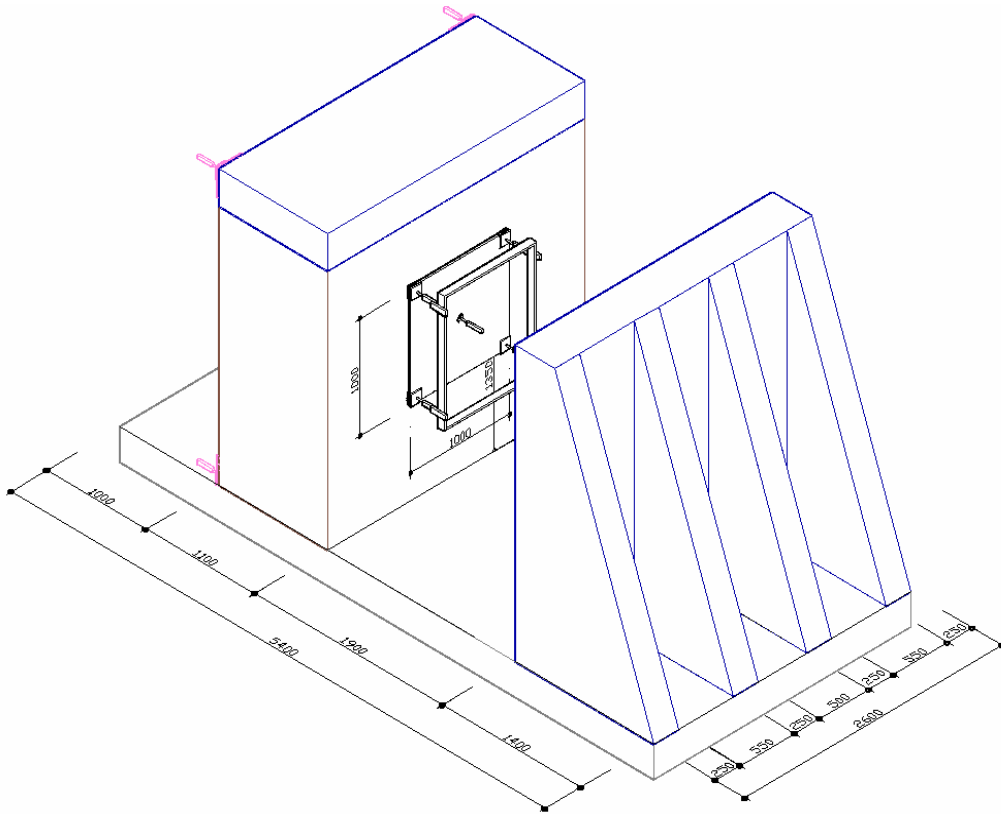
Resim 4.12. Çelik profillerin, çelik çerçevelerin ve yükleme plakasının yığma duvara bağlanması

- a) Yükleme plakasının montaj deliğinin açılması b) Açılmış profil deliklerinin epoksi ile doldurulması c) Çelik çubukların yerleştirilmesi d) Çubuklara geçirilen çelik plakanın kaynaklandıktan sonra sabitlenmesi e) İç duvara yerleştirilen yükleme plakasının somunla sabitlenmesi f) Dış duvara yükleme plakası ve LVDT askı montajının tamamlanması

Çelik çerçeveler ve profillerle desteklenen güçlendirilmiş duvar örneği deneye hazır hale getirilmiştir.

4.2.3. Deney düzeneğinin hazırlanması ve deney mekanizması

Deney, yapı mekânîği laboratuvarında bulunan reaksiyon duvarından yararlanılarak yapılmıştır. Yük, çekme ve basınç olarak iki yönlü ve bir kriko yardımıyla uygulanmış ve uygulanan basınç ve çekme kuvvetleri ile tersinir sismik etki yaratılmıştır. Deney düzeneği ve geometrik özellikleri aşağıda Şekil 4.3' de ve Resim 4.13'de verilmiştir. Düzenekte; duvarın her iki yüzeyine aynı özelliklere sahip çelik plakalardan rijit bir çelik çubuk geçirilmiştir. Duvarın ortasından uygulanılacak yüklerin düzgün yayılı yükün oluşturacağı moment diyagramına benzer bir zorlama yapacağı kabul edilmiştir.



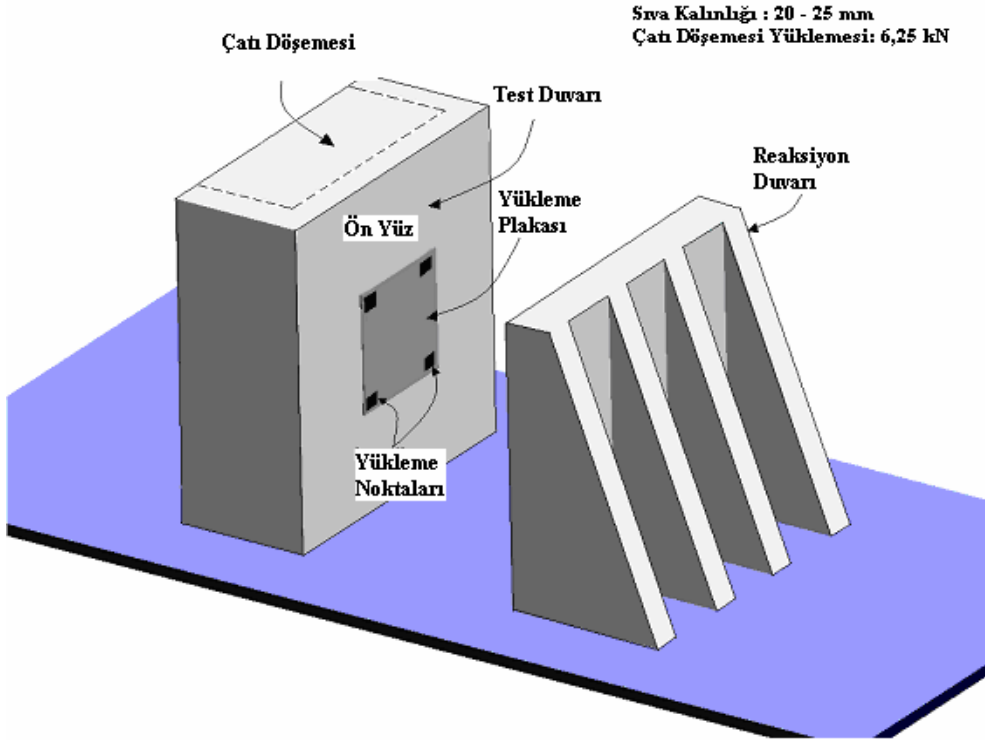
Şekil 4.3. Deney düzeneği ve geometrik özellikleri [70].

D₂ duvarının düzlem dışı yüklenmesinde reaksiyon duvarından yararlanılmıştır (Resim 4.13).

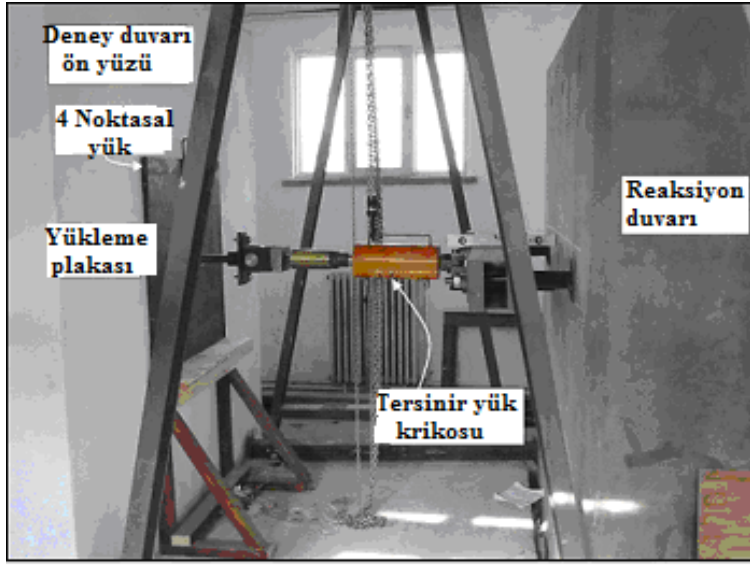


Resim 4.13. D₂ deney duvarı ve reaksiyon duvarı

Deney uygulanan duvar ve reaksiyon duvarının şekli ise Şekil 4.4 ve yükleme mekânizması Resim 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deney duvarı ve reaksiyon duvarı [70]



Resim 4.14. Yükleme mekanizması [8]

4.2.4. Ölçme tekniği ve ölçüm düzeneği

Deneyde; yük ölçümleri yük hücreleri yardımıyla, deplasmanlar ise LVDT' ler kullanılarak ölçülmüştür. Alınan ölçüm değerleri, anında bilgisayara Data-Logger sistemi yardımı ile aktarılıp kaydedilmiş ve bu değerlere göre sonuçlar yorumlanmıştır. LVDT' ler önceki deneylerde olduğu gibi aynı sayıda, aynı noktalara ve yine aynı şekilde yerleştirilmiştir. Buna göre; duvarın alt ve üst uçlarının yatay deplasmanlarını ölçmek için ön ve arka tarafa olmak üzere 4'er; duvarların, sol ve sağ tarafına ikişer, ön ve arkadaki çelik levhaların köşelerine 4'er LVDT yerleştirilmiş olup aşağıda Resim 4.15'de gösterilmiştir.



a)



b)



c)

d)

Resim 4.15. Ölçüm düzeneğinin (LVDT' lerin) kurulması.

- a) Alt köşeye LVDT yerleştirilmesi b) Yükleme plakası alt köşelerine LVDT' lerin yerleştirilmesi c) İç yüzeydeki plakaya LVDT bağlantısı d) Yandan görünüşü

4.2.5. Yük ölçümü

Deney sırasında yük ölçümlerinde, yük hücresi kullanılmış ve bunun için deney örneklerine hidrolik kriko yardımıyla uygulanan çekme ve basınç kuvvetleri değerlerinden yararlanılmıştır. Yük hücresinin çıkış ucu Data-Logger kutusuna bağlıdır ve oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda, yük hücresinden okunan yük değerleri ekrandan takip edilebilmekte ve kaydedilmektedir. Elde edilen değerler daha sonra değerlendirilmektedir (Resim 4.16).



a)

b)

Resim 4.16. Yük Ölçümü

a) Yükün kriko ile uygulanması

b) Ölçümlerin Data-Logger ile bilgisayara aktarılması

4.2.6. Deplasmanların LVDT' ler ile ölçülmesi

D_2 duvarında oluşturulan deney düzeneğinde yerleştirilen LVDT' ler, duvarda meydana gelen deplasmanlar ile boy kısalma ve uzamalarının ölçümlerinde elektronik deplasman ölçer olarak kullanılmıştır. Kullanılan bu LVDT' ler ile 0.01 mm hassasiyetle okuma yapılabilmektedir. Duvar üzerine tespit edilen çelik çerçeve sisteminin alt ve üst uçlarının yatay deplasmanlarının, tabanda ve üst başlıktaki dönmelerin tespiti için duvarın ön ve arka yüzlerinde 4'er köşesine, ön ve arka duvarların sol ve sağ üst köşelerine 2'şer adet deplasman ölçer yerleştirilmiştir.

4.2.7. Deney süresince elde edilen ölçümlerin bilgisayara aktarımı

Data-Logger' lar yük hücresi ve deplasman ölçerlerden alınan basınç ve çekme gerilmelerin bilgisayara aktarılması için kullanılmıştır. Data-Logger' lar üzerinde bulunan kanallar aracılığı ile bilgisayara aktarımı yapılabilmektedir. Bilgisayardaki veriler "PCLAB" programı ile oluşturulmaktadır. Bu veriler "EXCEL" programı ile kullanılarak, ilgili parametreler için grafikler çizilmiştir. Yük hücresi ve LVDT' lerden alınan okumaların değerlendirilmesine kullanılan Data-Logger sistemi uygulama örnekleri Resim 4.37'de görülmektedir.



Resim 4.17. Deneyde kullanılan veri aktarım sistemi ve bağlantısı

4.2.8. Veri değerlendirilmesi

Yapılan deney süresince, deplasman ölçerlerden ve yük hücresinden elde edilen okuma değerlerinden yararlanarak, deney duvarının yük etkisi karşısında gösterdiği davranışlar belirlenmiştir. Edinilen bu değerlere göre, yatay yük/dış deplasman ve yatay yük/iç deplasman grafikleri çizilmiş ve analiz edilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, içten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen duvarın (D_2) tersinir yük altındaki davranış özellikleri ve değerleri incelenmiştir. Bu kapsamda; deneyden elde edilen sonuçlar, deney duvarının davranışı ve meydana gelen hasarlar detaylı bir biçimde sunulmuştur. Deneyin yapılış yöntemi ve gözlenen davranış özellikleri anlatılmış ve deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir. Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesiyle; her çevrimde meydana gelen çatlak ve hasarların, yük-deplasman değerleri ile beraber belirtildiği detaylı çatlak analiz tablosu düzenlenmiş, maksimum yükte ve son çevrimde oluşan çatlakların şematik olarak gösterildiği resimler ve ilk yüklemeye kadar önemli görülen yük adımları için fotoğraflar sunulmuştur.

Yine bu bölümde, deney sırasında elde edilen verilerden, yük-deplasman grafiği çizilmiştir. Deney bulgularına göre; D_2 duvarının, mekaniksel davranış değerleri olan dayanım değerleri, sünekliği, rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi ile duvarın yıkılmadan dayanabileceği ivme ve deprem yükü azaltma katsayısı (R) hesaplanmıştır. Yığma duvarların içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi yönteminin performansını ortaya koyabilmek bakımından; bu yöntemle güçlendirilen D_2 duvarının mekaniksel davranış değerleri, Kanit (2006) tarafından incelenen güçlendirilmemiş D_0 duvarının değerleri ve Kalkan (2008) tarafından incelenen dış yüzü donatılı püskürtme betonla güçlendirilen D_1 duvarının değerleri ile karşılaştırılmıştır.

5.1. İçten ve Dıştan Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirilmiş D_2 Duvarın Deney Sonuçları

Çalışmaya konu olan, duvarın her iki yüzeyi (içten ve dıştan) hasır çelikle donatılmış ve püskürtme betonla güçlendirilmiş D_2 duvar deneyi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, D_2 deney duvarının örülmesinde kullanılan tuğlanın ortalama basınç dayanımı 23,17 MPa, çimento harcının ortalama

basınç dayanımı 6,6 MPa, betonarme döşeme ve betonarme hatılarda kullanılan Ø8'lik çelik çubukların akma dayanımı 375 MPa, çekme dayanımı 490 MPa, Ø12'lik çelik çubukların akma dayanımı 420 MPa ve çekme dayanımı 500 MPa olarak belirlenmiştir. Söz konusu verilen bu değerler, hem D₀ deney örneği hem de D₁ deney örneği ile aynıdır. D₂ deney duvar örneği; eni 2600 mm, yüksekliği 2700 mm ve yan uzunluğu 1100 mm olarak, dolu harman tuğlası ile 1 tuğla kalınlığında üretilmiş ve iç ve dış yüzünden hasır çelik ve püskürtme beton ile güçlendirilmiştir.

D₂ duvarına uygulanan yükler, 1 kN' dan başlatılarak, sırasıyla 4 kN, 8 kN ve 10 kN olarak uygulanmıştır. Daha sonra 10 kN artışlarla periyodik bir şekilde deneye devam edilmiş, son çevrimde 5 kN artışla okunmuştur. İleri çevrimler 1, geri çevrimler 2 no' lu adımlar ile numaralandırılmıştır (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 vb.). İleri çevrimler basınç (+), geri çevrimler çekme (-) olarak değerlendirilmiştir. Deney sırasında, çevrim numaraları ile her çevrimde uygulanan yük ve gözlemlenen davranışlar Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 D₂ deney örneğinin her çevrimde gözlenen davranışları

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm)		Gözlenen Davranış
		Dış	İç	
1.1	1	0	0	-
1.2	-1	0	0	-
2.1	4	0	0	-
2.2	-4	0	0	-
3.1	8	-0,1	0,1	-
3.2	-8	0,1	-0,2	-
4.1	10	-0,1	0,1	-
4.2	-10	0	0	-
5.1	20	-0,1	0,3	-

Çizelge 5.1. (Devam) D₂ deney örneğinin her çevrimde gözlenen davranışları

5.2	-20	0,1	-0,1	-
6.1	30	-0,3	0,4	-
6.2	-30	0,1	-0,2	-
7.1	40	-0,7	0,9	-
7.2	-40	2,6	-1,9	-
8.1	50	-0,9	1,4	-
8.2	-50	3,5	-2,8	-
9.1	60	-1,1	2,2	-
9.2	-60	3,9	-3,0	-
10.1	70	-1,9	3,7	-
10.2	-70	5,0	-3,3	-
11.1	80	-2,1	4,9	-
11.2	-80	5,8	-3,6	-
12.1	90	-3,2	6,1	-
12.2	-90	6,2	-3,9	-
13.1	100	-4,3	7,7	Duvarda hafif çatlak görüldü.
13.2	-100	6,5	-4,8	Duvarın iç kısmında yan duvarların kesişme bölgelerinde sol yan duvarda ilk çatlak görüldü.
14.1	110	-9,4	10,5	İtme kuvveti sonucu, döşeme-temel kısmında hafif çatlak meydana geldiği gözlemlendi.
14.2	-110	11,6	-5,6	Değişiklik gözlenmedi.
15.1	120	-10,5	10,8	İtme kuvveti sonucu, döşeme-temel kısmında çatlamlar biraz büyüdü, sol yan duvarda çatlak oluştu.
15.2	-120	12,3	-6,4	İç ve yan duvarlarda birkaç adet eğilme ve sağ yan duvarda 1 adet kesme çatlakları oluştu.
16.1	130	-11,5	13,7	Değişiklik gözlenmedi.
16.2	-130	12,9	-7,9	Eğilme çatlaklarında artış gözlemlendi.

Çizelge 5.1. (Devam) D₂ deney örneğinin her çevrimde gözlenen davranışları

17.1	140	-12,6	16,8	Çelik yükleme profili altındaki sıva ezilmeleri artışı gözlemlendi.
17.2	-140	13,6	-9,9	Değişiklik gözlenmedi.
18.1	150	-13,5	19,8	Temel çatlakları yukarı ve yanlara doğru dış duvarda artarak devam etti.
18.2	-150	14,3	-10,2	Değişiklik gözlenmedi.
19.1	160	-14,7	21,0	Deplasmanlarda azalmalar görüldü.
19.2	-160	22,0	-10,4	Özellikle her iki yan duvarda kesme çatlakları artarak görülmeye başlandı.
20.1	170	-15,4	21,9	Eğilme çatlakları artarak devam etti.
20.2	-170	23,0	-10,7	Değişiklik gözlenmedi.
21.1	180	-16,3	23,4	Değişiklik gözlenmedi.
21.2	-180	23,9	-11,3	Dış duvarda yükleme profilinin sol alt köşesinden itibaren uzayan çatlak oluştu.
22.1	190	-17,2	24,8	İç ve yan duvarda eğilme çatlakları ile tüm dış duvarda çatlaklar oluştu; çatlakların uzunluk ve derinlikleri artmaya devam etti.
22.2	-190	24,8	-12,2	Tüm çatlaklar genişleyerek iyice kendini göstermeye başladı
23.1	200	-18,1	26,4	Çatlaklar duvarın dış kısmında artarak ve uzayarak oluştu.
23.2	-200	25,9	-13,9	Duvarın dış kısmında -180 kN ile uygulanan çekme kuvveti sonucu yükleme profilinin sol alt köşesinde meydana gelen çatlama uzadı ve eksen çakışması ile yeni çatlaklar ve yükleme profilinin diğer köşelerinde ve duvarın iç kesişim kısmında yeni çatlaklar oluştu.
24.1	210	-19,1	27,3	Çatlaklar duvarın üst köşelerinden aşağıya doğru çapraz bir şekilde derinleşerek arttı.
24.2	-210	26,7	-15,8	Çatlamalar devam etti.
25.1	220	-19,9	28,1	Çatlamalar devam etti.
25.2	-220	27,8	-16,0	Duvarın tüm yüzeylerinde çatlak genişlikleri artarak ve devam ederek yeni kesme ve eğilme çatlakları oluştu.

Çizelge 5.1. (Devam) D₂ deney örneğinin her çevrimde gözlenen davranışları

26.1	230	-21,2	28,3	Çatlaklar genişleyerek arttı.
26.2	-230	28,5	-16,3	Duvarın her iki yüzeyinde üst kısımdan başlayarak aşağı doğru ve çapraz çatlamlar giderek arttı.
27.1	240	-22,1	28,5	Değişiklik gözlenmedi.
27.2	-240	29,9	-16,4	Yük ve deplasmanlarda hafif artış oldu.
28.1	250	23,2	28,6	
28.2	-250	31,6	-16,7	Yükleme profilinden yanlara doğru çatlaklar artarak oluştu.
29.1	260			
29.2	-260	33,3	-16,8	Çatlak genişlikleri arttı.
30.1	270			
30.2	-270	35,2	17,0	Çatlaklar büyüyerek ve genişleyerek arttı.
31.1	275			
31.2	-275	40,0	17,2	Duvar yük alamaz duruma geldi ve deney sonlandırıldı. Oluşan son çatlaklarda gözlenerek duvar üzerinde belirtildi.
32.1	280			
32.2	280	36,5	17,1	Duvar yük alamaz durumdadır.

Deneyin uygulanması sürecinde;

13. çevrimde, +100 kN' luk yüklemeye ulaşıldığında duvar yüzeylerinde hafif çatlaklar gözlemlenmiştir. -100 kN çekme kuvveti uygulanırken, duvarın iç kısmında, yan duvarların kesişme bölgelerinde ve sol yan duvarda 80 mm civarında ilk çatlak görüldü (Resim 5.1). Bu sırada meydana gelen deplasmanlar; +100 kN' luk itme kuvvetinde, dış deplasman 4,1 mm ve iç deplasman 7,7 olarak, -100 kN' luk çekme kuvvetinde ise, dış deplasman 6,5 mm ve iç deplasman 4,8 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 5.1. D₂ deney örneğinde sol iç duvar kesişiminde oluşan çatlak

14. ileri çevrimde +110 kN' luk itme kuvveti uygulanırken temel döşeme kısmında hafif çatlak gözlemlenmiştir. Bu çevrimde 9,4 mm dış, 10,5 mm iç deplasman ölçülmüştür.

15. çevrimde +120 kN' luk itme kuvvetinden sonra döşeme kısmında çatlaklar oluşmuştur. Bu kuvvette 10,5 mm dış, 10,8 mm iç deplasmanların meydana geldiği ölçülmüştür. -120 kN' da ise 12,3 mm dış, 6,4 mm iç deplasman ölçülmüştür (Resim 5.2)



Resim 5.2. D₂ deney örneğinde +120 kN' da meydana gelen döşeme çatlağı

21. çevrimde -180 kN ' luk çekme kuvvetinden sonra, dış duvarda yükleme profilinin sol alt köşesinde uzayan kesme çatlakları oluşmuştur (Resim 5.3). Bu yükleme sırasında $23,9 \text{ mm}$ dış, $11,3 \text{ mm}$ iç deplasman ölçülmüştür.



Resim 5.3. D_2 deney örneğinde, -180 kN ' da yükleme profilinin sol alt köşesinde oluşan kesme çatlakları

23. çevrimde -200 kN ' luk uygulanan çekme kuvveti sırasında, duvarın dış kısmında, -180 kN ile uygulanan çekme kuvveti sonucu yükleme profilinin sol alt köşesinde meydana gelen çatlama uzamış, eksen çakışması ile yeni çatlaklar oluşmuş ve yükleme profilinin diğer köşelerinde ve duvarın iç kısmında yeni çatlaklar görülmüştür (Resim 5.4 ve Resim 5.5). Söz konusu yükleme sırasında $25,9 \text{ mm}$ dış, $13,9 \text{ mm}$ ' lik iç deplasmanlar ölçülmüştür.



Resim 5.4. -200 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile dış yüzeyde oluşan çatlaklar



Resim 5.5. -200 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile iç yüzeyde oluşan çatlaklar

25. çevrimde -220 kN' luk uygulanan çekme kuvveti sırasında, duvarın tüm yüzeylerinde çatlak genişlikleri artarak devam etmiş ve yeni kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur (Resim 5.6). -220 kN' luk uygulanan çekme kuvveti sırasında 27,8 mm dış, 16 mm iç deplasmanlar ölçülmüştür.

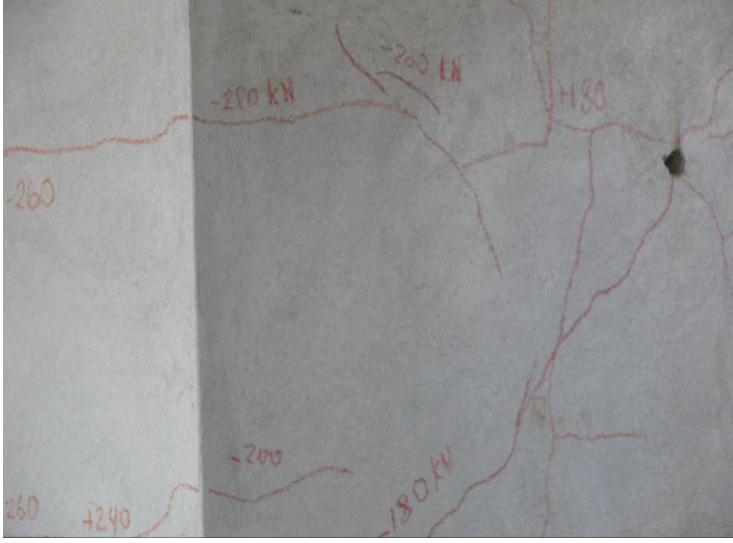


Resim 5.6. -220 kN' luk uygulanan çekme kuvveti ile dış yüzeyde oluşan çatlaklar

31. çevrimde -275 kN' luk ve 32. çevrimde -280 kN' luk çekme kuvveti uygulanmış ve duvar yük almadığından deney sonuçlandırılmıştır. Bu yüklerin uygulanması sırasında meydana gelen çatlakların görüntüleri, deney düzeneği söküldükten sonraki durumu Resim 5.7, Resim 5.8 ve 5.9'da verilmiştir. -275 kN' luk çekme kuvveti sırasında, 40,0 mm dış, 17,2 mm iç deplasman ölçülmüştür.



Resim 5.7. Deney düzeneği söküldükten sonra D₂ duvar örneğinde ön ve sol yan yüzeyde oluşan çatlak deseni



Resim 5.8. D₂ duvar örneğinin sol yan ve orta bölgede oluşan çatlaklar



Resim 5.9. D₂ deney örneğinde deney sonucunda dış yüzünde oluşan çatlaklar

Genel olarak deney incelendiğinde, duvar her iki yüzeyinden hasır çelikle ve püskürtme beton ile güçlendirildiği için, ilk yüklemelerde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. 100 kN' luk çekme kuvveti uygulandığında ilk hafif hasar; duvarın

iç kısmında, yan duvarların kesişme bölgelerinde, sol yan duvarda 6,5 mm civarında ilk çatlak olarak tespit edilmiştir. Yükleme miktarı arttıkça hasarlar özellikle duvarın dış yüzeyinde ve sol yan duvarda daha fazla oluşmuştur. Söz konusu çatlaklar genelde eğilme çatlağı şeklinde meydana gelmiştir. Çatlak sayısının artmasıyla duvarın rijitliğinde meydana gelen azalma ile azda olsa kesme çatlaklarının oluşması da gözlenmiştir.

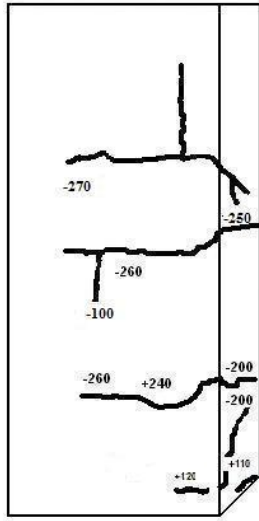
+120 kN' luk itme kuvveti uygulanması sırasında, duvarın döşemeden ayrılması ilk olarak dış duvar ön yüzünde oluşmuştur. İlk hasarlar genelde basınç kuvveti uygulandığında meydana gelse de, sonraki yüklemelerde çekme kuvvetlerinde de çatlakların arttığı gözlemlenmiştir.

Deney düzeneğinin sökülmesinden sonra, yükleme profilinin arkasında bulunan duvarın sıvası kaldırılarak hasır çelikler incelendiğinde ise, hasır çeliklerde herhangi bir hasarın meydana gelmediği gözlenmiştir (Resim 5.10).



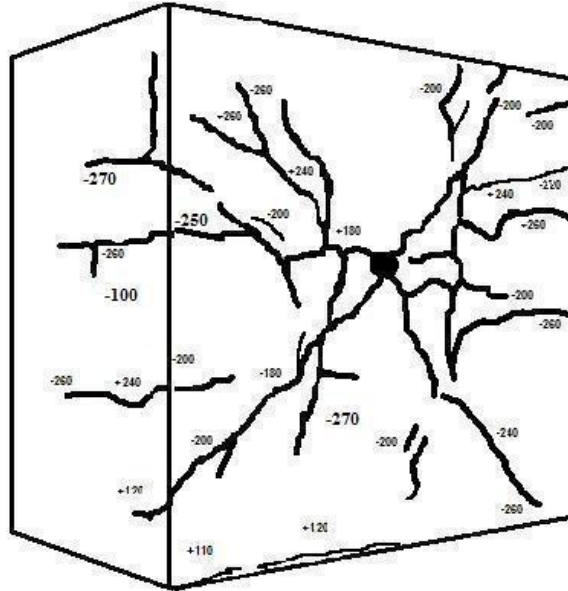
Resim 5.10. D₂ deney örneğinin deneyden sonra hasır çeliğin görüntüsü

Çekme çatlakları sol yan duvarda ilk çatlaklar olarak gözlemlenirken, yükün artmasıyla eğilme çatlakları da meydana gelmiştir (Şekil 5.1).



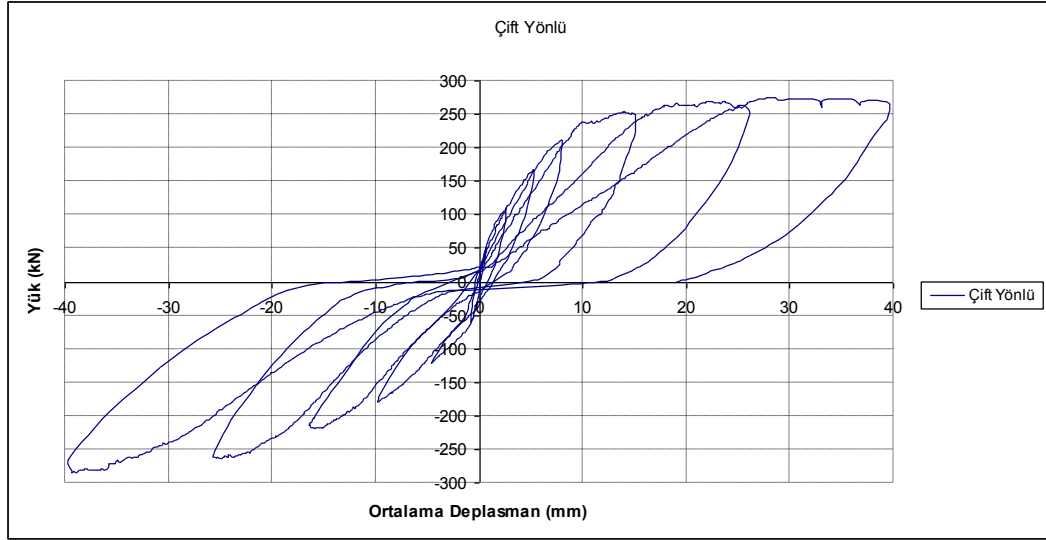
Şekil 5.1. D₂ deney örneğinin sol yan duvarda deney sonunda oluşan hasar durumu

D₂ deney örneğinde dış duvar olarak belirtilen ön yüzünde maksimum yüklemde meydana gelen çatlaklar ve duvar yan yüzünde de devam eden ve diğer çatlaklar da Şekil 5.2’ de görülmektedir.



Şekil 5.2. D₂ deney örneğinde ön yüzeyinde oluşan hasar durumu

Deney sırasında kaydedilen deplasmanlara ait iç ve dış deplasman değerleri birleştirilerek, iç-dış deplasman grafiği olarak Şekil 5.3’de verilmiştir. Buna göre; ilk çatlak, basınç kuvveti uygulanırken oluşmuş, çatlak artışları ve deneyin sonlandırılması çekme kuvvetleri uygulanırken meydana gelmiştir.



Şekil 5.3. D₂ deney örneğinin Yük/Dış deplasman grafiği

5.2. D₂ Duvarının Dayanımı

Dayanım, taşıyıcı sistem elemanlarının kendilerini etkileyen yük ya da yük etkileri altında oluşacak kesit tesirlerini, kırılmadan (taşıma gücünü aşmadan) taşımasıdır. Her malzemenin dayanım değerlerinin yüksek olması beklenir. Bununla birlikte, taşıyıcı elemanları oluşturan malzemelerin dayanımlarının yüksek olması daha fazla önem taşır [86].

Bir malzemede aranılan en önemli özelliğin dayanım olduğu söylenebilir. Yığma yapılarda deprem sırasında meydana gelen hasarların sebepleri irdelenirken, bunlardan birinin de malzeme olduğu ifade edilmişti. İnşa sürecinde kullanılan malzemelerin dayanım testlerine tabi tutulmamasından dolayı, yeterli dayanıma sahip olmayan malzemelerle inşa edilen yığma binalarda büyük hasarlar olduğu görülmüştür. Yığma yapılarda özellikle taşıyıcı duvarlarda kullanılan malzemelerin dayanımlarının yüksek olması gerekmektedir.

D_2 duvarının ilk eğilme çatlama yükü, $F_{cr} = -100$ kN yük altında; Kopması (göçme) ise $F_{kopma} = -275$ kN yük altında gerçekleşmiştir.

5.3. D_2 Duvarının Sünekliği

Süneklik, depremde ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünün, dayanımlarını kaybetmeden, yapı elemanları tarafından tüketilmesidir. Sünek yapılar deprem sırasında kalıcı deformasyon yaparak ayakta kalırlar ve yıkılmadan deprem enerjisini tüketirler. Bu sebeple; taşıyıcı elemanların sünek davranabilmesi için sünek malzemelerle üretilmesi gerekir. Bununla birlikte, taşıyıcı elemanlara bazı sünek malzemeler eklenmesi suretiyle, bir miktar süneklik kazandırılması da mümkündür. Donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi, gevrek bir malzeme olan tuğla duvara bir miktar süneklik kazandırır.

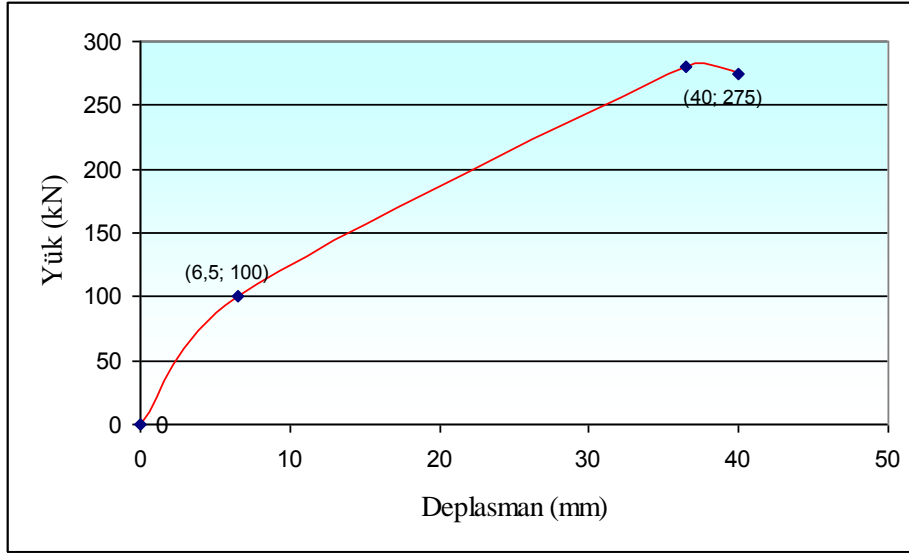
D_2 duvarının ilk çatlama yükü, $F_{cr} = -100$ kN, bu sırada meydana gelen deplasman değeri, 6.5 mm ve kopma yükü, $F_{kopma} = -275$ kN ve deplasman değeri, 40.0 mm olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre oluşturulan dayanım eğrisi Şekil 5.4' de verilmiştir.

Buna göre süneklik değeri aşağıdaki Eşitlik 5.1 yardımı ile hesaplanır [8].

$$\mu = \frac{\delta_{kopma}}{\delta_{çatlama}} \quad (5.1)$$

Eşitlikte μ sünekliği, δ ise deplasmanı ifade eder.

$$\mu = \frac{40,0}{6,5} = 6,15$$



Şekil 5.4. D₂ duvarına ait süneklik değerleri grafiği

5.4. D₂ Duvarının Rijitliği

Rijitlik, dış kuvvetler altında şekil değişikliği göstermeme ve deplasman yapmama özelliğidir. Bir taşıyıcı sistemin rijitlik değerinin yüksek olması, onun sünekliğinin az, tersine sünekliğinin yüksek olması da, rijitliğinin daha az olacağı anlamına gelir. Rijitliğin, özellikle deprem sırasında yapıların devrilme-kırılma gibi sonuçların ortaya çıktığı düşünülen, istenmeyen bir durum olduğuna dikkat çekmekte fayda vardır. Oysaki yığma yapıların rijit oldukları bilinmekte ve bundan dolayı yığma yapıların deprem sırasında enerji tüketme kapasiteleri oldukça düşük olması söz konusudur. Bu durum sonucunda duvarlarda büyük yatay kuvvetler oluşması, bu yatay kuvvetlere maruz kalan yapının depreme dayanıklı olarak inşa edilmesi, bir başka deyişle sünekliğin artırılması gerekir.

D₂ duvarının rijitliği incelenmiş ve Eşitlik 5.2' ye göre sonucu aşağıda gösterilmiştir.

$$\Delta i = \frac{F}{\delta} \quad (5.2)$$

Eşitlikte;

Δi = Rijitlik (kN/mm); F= Yük (kN); δ =Deplasman (mm); 'dır.

D₂ deney örneğinde, ilk çatlama değerine göre rijitlik Eşitlik 5.2' den:

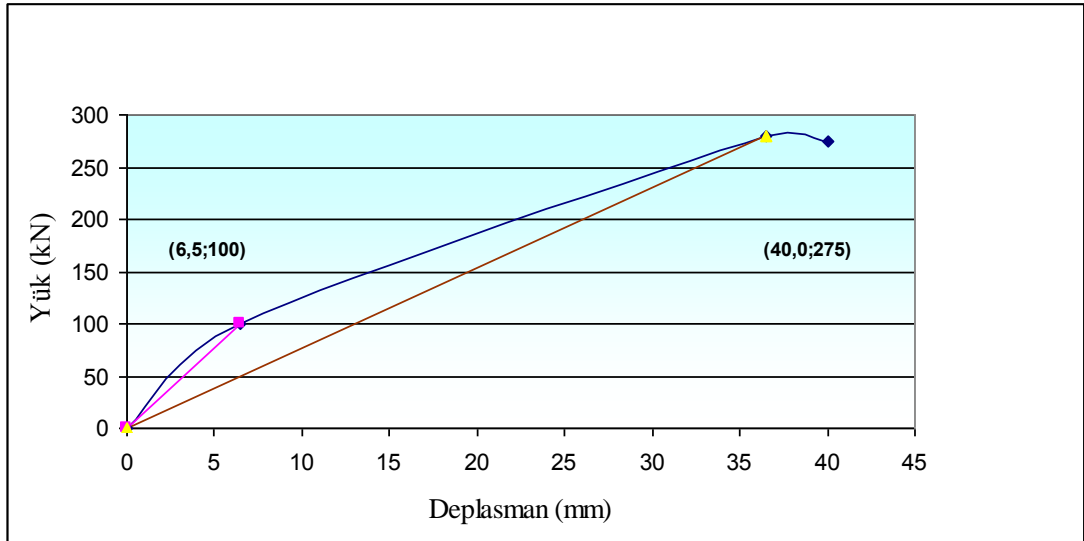
$$\Delta i = \frac{100}{6,5} = 15,38 \text{ kN / mm}$$

Kopma değerine göre rijitlik ise;

$$\Delta i = \frac{275}{40} = 6,87 \text{ kN / mm}$$

olarak bulunmuştur.

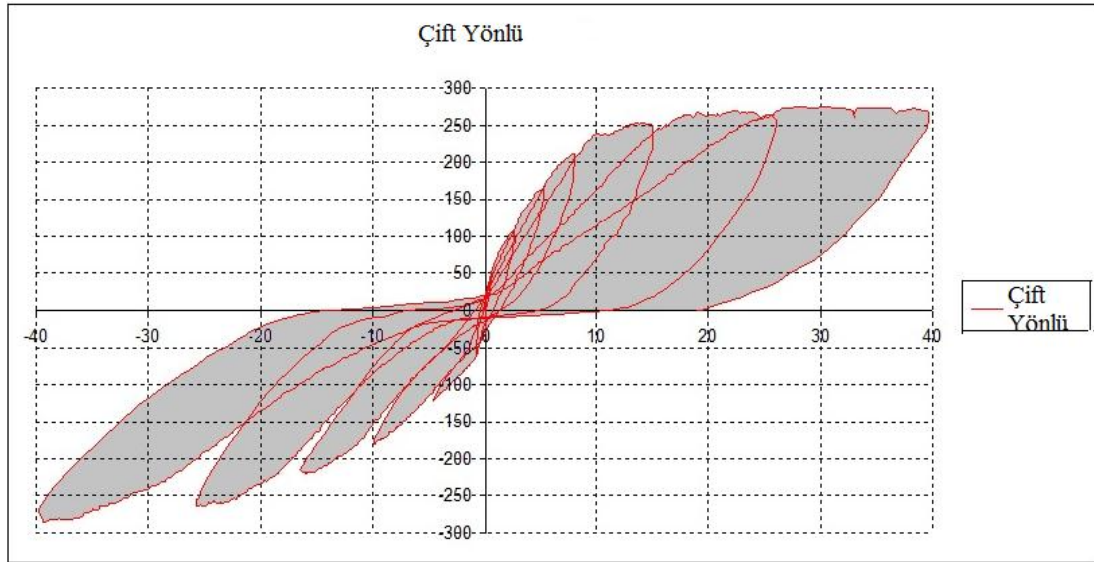
Bu değerler grafiksel olarak Şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. D₂ duvarına ait rijitlik değerleri

5.5. D₂ Duvarının Enerji Tüketme Kapasitesi

Yapıların depreme karşı dayanıklılığı, enerji tüketme kapasiteleri ile doğru orantılıdır. Başka bir ifadeyle, yapı ne kadar çok enerji tüketme yeteneğine sahip ise, depreme karşı o kadar dayanıklıdır. Bu çalışmada da D₀ ve D₁ duvarlarında olduğu gibi; D₂ duvarının enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesinde, yük-dış deplasman grafiğinde eğrilerin yatayla sınırladığı alan alınmış ve 9000 kNmm olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. D₂ duvar örneğinin, yük/dış deplasman grafiği ve enerji tüketme kapasitesi (alan 9000 kNmm)

5.6. D₂ Duvarının Analitik İncelemesi

Bu çalışma, daha önce Kanıt (2006) ve Kalkan (2008) tarafından yapılan çalışmaların devamı olacak şekilde planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. D₂ duvarında uygulanan, “duvarın iç ve dış yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi” yönteminin performansını ortaya koyabilmek için; D₀ ve D₁ duvar deneylerinin değerlendirilmesinde kullanılan analitik yöntem uygulanmıştır.

Kanıt (2006) ve Kalkan (2008), yapmış oldukları D₀ ve D₁ model duvarın analitik incelemesinde ortalama ivmeyi;

$$a_{ort} = 1,21g$$

olarak almışlardır.

Model duvarı titreşim yapmaya zorlayan ivmeyi de deprem yönetmeliğine göre, büyütme katsayısını 2,5 alarak, büyütülmüş düzlem dışı ivme şeklinde almışlardır.

Bu ivme;

$$a_{(M \max)} = 1,21g \times 2,5 = 3,03g$$

olarak bulunmuştur.

Burada, 1. derece deprem bölgesi için gerekli olan maksimum yer ivmesi, 0,4 g; deprem kuvvetlerinin etkisi ile artmış ve güçlendirilmiş duvarı düzlem dışı zorlayarak, 3,03 g' lık bir ivmeye dönüşmüştür.

Bu ivmenin, duvarın düzlemi üzerinde düzgün yayılı yük olduğu kabul edilirse; duvar üzerinde etkili olan düzgün yayılı düzlem dışı sismik kuvvetler, Eşitlik 5.3 ile hesaplanır [66].

$$f_e = \frac{W_{(B)}}{g} \times [a_{(M \max)}] \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (5.3)$$

f_e = Düzlem dışı düzgün yayılı sismik kuvvet (kN/m²)

$W = B$ duvarının birim alan ağırlığı (kN/m²)' dır.

Duvarın birim alan ağırlığı;

$W_M = (0,30 \times 1,0 \times 1,0 \times) \times 20 = 6 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunur. Bulunan W değeri Eşitlik 5.3' de yerine konursa;

$$f_e = \frac{6}{g} \times (3,03g) \text{ ' den } 18,18 \text{ kN/m}^2 \text{ olur.}$$

Duvara etkileyen toplam yük FE Eşitlik 5.4' den hesaplanır;

$$FE = f_e \times A \text{ hesaplanır.} \quad (5.4)$$

$FE =$ Duvara etkiyen toplam yük (kN)

$A=$ Duvarın alanı (m^2)' dır.

Duvar boyutları $2,70 \times 2,10$ m olduğundan; duvara etkiyen toplam yük Eşitlik 5.4' den;

$$FE = (18,18) \times (2,70) \times (2,10) = 103,08 \text{ kN}' \text{ dur.}$$

Eşdeğer kırılma yükü Eşitlik 5.5' den hesaplanır.

$$fe = \frac{F}{A} \quad (5.5)$$

Burada;

$F=$ Kırılma yükü (kN),

$A=$ Duvarın alanı (m^2)' dır.

D_2 duvarının kırılma yükü 275 kN olduğuna göre;

$$fe = \frac{275}{(2,1) \times (2,7)} = 48,50 \text{ kN} / \text{m}^2$$

olur.

D_2 duvarının;

- Kabul edilen maksimum yer ivmesi $a = 0,4g$
- Teorik olarak hesaplanan düzlem dışı sismik kuvvet $fe = 18,18 \text{ kN/m}^2$
- Deneysel olarak bulunan düzlem dışı sismik kuvvet $fe = 48,50 \text{ kN/m}^2$ 'dir.

Bu sonuçlara göre D_2 duvarın ivmesi;

$$a_{D2} = 0,4g \times \left(\frac{48,50}{18,18} \right) = 1,06g$$

olur.

Bu durumda, iç ve dış yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen D₂ duvarının, tersinir düzlem dışı yüklenmesi halinde, $a_{D2} = 1,06 g$ 'lık bir ivme ile yıkılacağı beklenebilir.

Deprem yükü azaltma katsayısının (R) değeri ise Eşitlik 5.6' dan hesaplanır;

$$R = \frac{FT}{FE} \quad (5.6)$$

FT = Model duvarın taşıyabileceği düzlem dışı sismik kuvveti (kN/m²)

FE = Duvara etkiyen düzlem dışı sismik kuvveti (kN/m²) göstermektedir.

$$R_{D2} = \frac{48,50}{18,18} = 2,66$$

olur.

D₂ duvarının deprem yükü azaltma katsayısı R=2,66; DBYYHY'de önerilen R=2,0 değerini karşılamaktadır.

5.7. D₂ Duvarının Güçlendirme Yönteminin Performansı

İçten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirme yönteminin performansını belirleyebilmek için; D₂ model duvarı ile Kanit (2006)'da incelenen D₀ ve Kalkan (2008)'de incelenen D₁ model duvarlarına dair çatlak deseni durumu ve dayanım, süneklik, rijitlik, enerji tüketme kapasitesi değerleri karşılaştırılmıştır.

5.7.1. Çatlak deseni durumu

D₀ duvarının çatlak deseni (Kanit 2006)'da, D₁ duvarının çatlak deseni (Kalkan 2008)'de ve D₂ duvarının çatlak deseni de bu çalışmanın ilgili bölümünde; gözlem, fotoğraf, yük-deplasman çevrim eğrileri ve deney sonuçlarına göre geniş bir şekilde açıklanmıştır.

Duvarlarda, ilk çatlaklar D_0 ' de 45,00 kN, D_1 'de 70,00 kN ve D_2 ' de ise 100,00 kN yük altında gerçekleşmiştir. Kırılma yükleri ise, D_0 ' de 60,00 kN' a, D_1 ' de 186,00 kN' a ve D_2 ' de ise 275,00 kN' a ulaşmıştır.

Duvarlarda ilk çatlamanın kırılma yüküne oranı;

D_0 ' de; $45,00/60,00 = 0,75$ yani % 75' ine

D_1 ' de; $70,00/186,00 = 0,38$ yani %38' ine

D_2 ' de; $100,00/275,00 = 0,36$ yani %36' sına ulaşıldığında meydana gelmiştir.

Çatlaklar; D_0 ' de basınç etkisi altında, betonarme plak döşemelerdeki akma çizgilerine benzer bir şekilde, duvar içinde iki yöne dağılarak kenar mesnetlere doğru; D_1 ' de ilk çatlama iç duvarda, çekme zorlanmasında mesnetlerden ortaya doğru; D_2 ' de ise ilk çatlama eğilme çatlama olarak, iç duvarda köşelerde ve çekme etkisi altında mesnetlerden ortaya doğru, D_1 ' in ilk çatlak desenine benzer bir şekilde oluşmuştur.

D_0 ' in ön ve yan duvarlarında genelde kesme, arka duvarda da eğilme çatlakları, D_1 ve D_2 ' de, D_0 ' in aksine genelde eğilme çatlakları görülmüştür.

Çatlama ve göçme D_0 ' da basınç, D_1 'de çatlama çekme zorlaması altında, göçme ise basınç altında meydana gelmiştir. Bunun nedeni olarak D_1 duvarının dıştan güçlendirilmesiyle çekmeye karşı dayanıklı olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. Göçmenin içe doğru meydana geldiği gözlenmiştir [8].

D_2 ' de ise çatlama ve göçme, çekme zorlaması altında meydana gelmiştir. Bunun sebebinin de, duvarın içten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmiş olmasından kaynaklandığı, dolayısıyla D_2 dışarıya doğru kırılacağı şeklinde değerlendirilmiştir.

5.7.2. Dayanım performansı

Model duvarların dayanım değerleri Çizelge 5.2' de verilmiştir;

Çizelge 5.2. Model duvarların dayanım değerleri

Dayanım Değerleri (kN)	D ₀	D ₁	D ₂
İlk Çatlama	45,00	70,00	100,00
Kırılma	60,00	186,00	275,00

Çizelge 5.2' ye göre, D₂' nin ilk çatlama değerinin; D₀' a göre 2,22 kat, D₁' e göre 1,42 kat, kırılma değerinin ise; D₀' a göre 4,58 ve D₁' e göre 1,47 kat daha fazladır. Buna göre; iç ve dış yüzden donatılı püskürtme betonu ile güçlendirme yöntemine göre duvarın dayanımını, D₁' e göre yaklaşık 1,5 kat artırmıştır.

5.7.3. Süneklik performansı

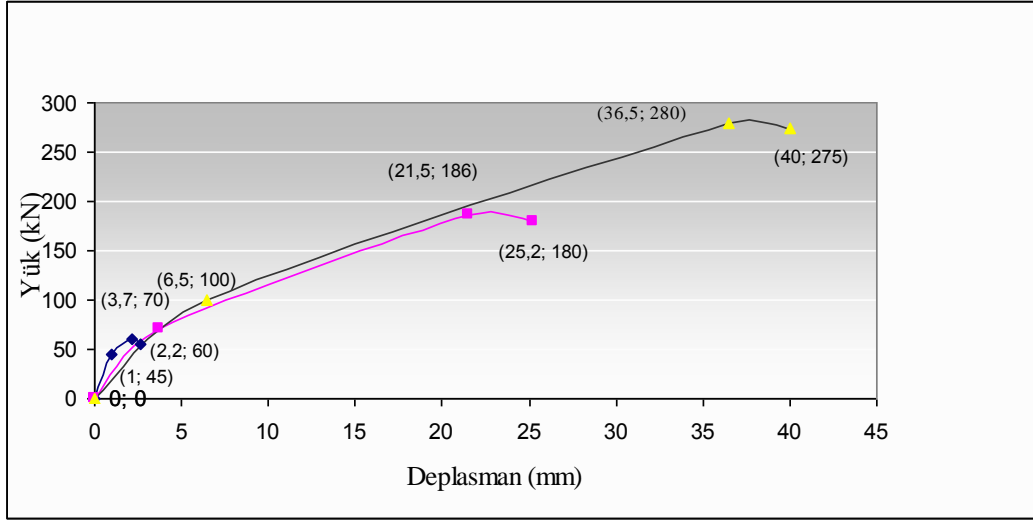
Model duvarların süneklik değerleri, Çizelge 5.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Model duvarların süneklik değerleri

Süneklik	D ₀	D ₁	D ₂
$\mu = \frac{\delta_{kopma}}{\delta_{çatlama}}$	2,20	5,81	6,15

Bu değerlere göre D₂ duvarı; D₀' a göre 2,79 kat, D₁' e göre de 1,05 kat daha fazla sünek davranış göstermiştir. Gevrek bir malzeme olan tuğla ile yapılan duvarın ön yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi, duvar sünekliğini 5,81/2,2=2,64 kat, iç ve dış yüzünden aynı yöntemle güçlendirilmesi, sünekliği 6,15/2,2=2,79 kat artırmıştır.

Bu sonuçlara göre, donatılı püskürtme beton ile güçlendirmenin duvarın sünekliğini çok büyük oranda arttırdığı görülmektedir. Her üç model duvarda da süneklik değerlerinin ulaşıldığı deplasman verilerini gösteren grafik Şekil 5.7’ de verilmiştir.



Şekil 5.7. D₀, D₁ ve D₂ duvarları ilk çatlama ve kopma değerleri grafiği

5.7.4. Rijitlik performansı

D₀, D₁ ve D₂ duvarlarının rijitlik değerleri, Çizelge 5.4’ de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Model duvarların rijitlik değerleri

$\Delta i = \frac{F}{\delta}$ kN/mm	D ₀	D ₁	D ₂
İlk Çatlama Değerine Göre	45,00	18,92	15,38
Kopma Değerine Göre	27,27	8,65	6,87

Buna göre; D₂ duvarı, ilk çatlama değerini dikkate alındığında D₀’ a göre 2,92 kat, D₁’ e göre 1,23 kat, daha az rijit davranmıştır. Bu değerler, sünekliği artan taşıyıcı yapı elemanlarının rijitliğinin azalacağı kuralı ile örtüşmektedir. Zira D₁’ in sünekliği

D_0 ' a, D_2 ' nin sünekliği de D_1 ' e göre artarken; bunun aksine, D_1 ' in rijitliği D_0 ' a göre ve D_2 ' nin rijitliği de D_1 ' e göre azalmıştır.

Model duvarların, ilk çatlama anındaki rijitlikleri ile kırılma (kopma) anındaki rijitlikleri karşılaştırıldığında;

$$D_0 \text{ için; } 27,27/45 = 0,61$$

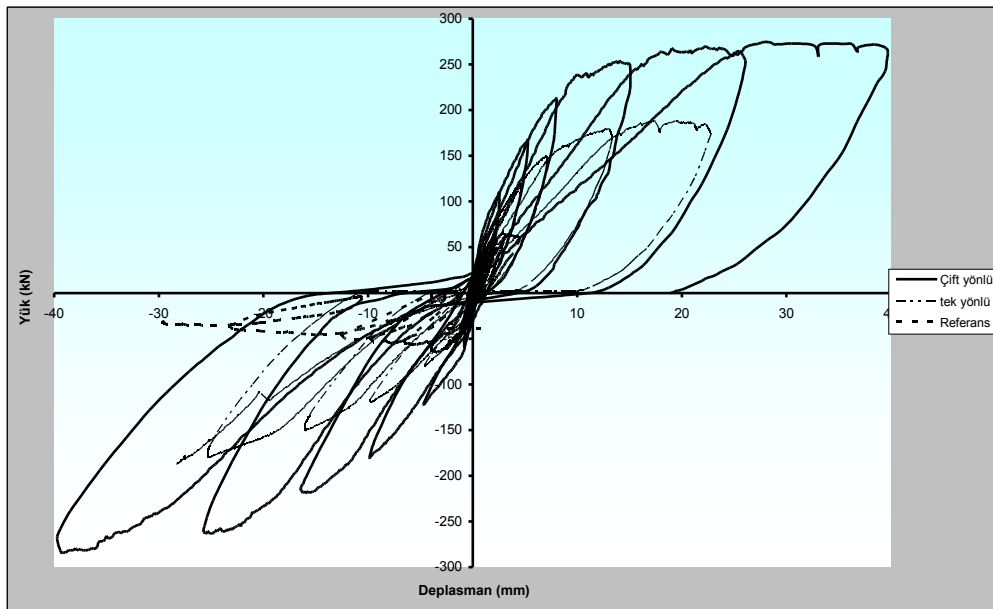
$$D_1 \text{ için; } 8,65/18,92 = 0,46$$

$$D_2 \text{ için; } 6,87/15,38 = 0,44$$

oranlarında rijitliğin azaldığı görülmektedir.

5.7.5. Enerji tüketim kapasitesi performansı

Her üç model duvarın (D_0 , D_1 ve D_2), deney sırasında elde edilen değerlere karşılık gelen deformasyonların karşılaştırmalı olarak gösterildiği yükleme-deplasman eğrisi grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir. Model duvarların enerji tüketme kapasiteleri grafik alanlarından elde edilmiş ve ilgili bölümde belirtilmiştir.



Şekil 5.8. D_0 , D_1 ve D_2 duvarları yük-deplasman grafiği

Model duvarların enerji tüketme kapasiteleri Çizelge 5.5' de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Model duvarların enerji tüketim kapasite değerleri

Enerji Tüketim Kapasitesi	D₀	D₁	D₂
(kNmm)	320,00	4461,00	9000,00

Enerji tüketim kapasite değerleri, D₀ için Kanıt (2006), D₁ için Kalkan (2008)'den alınmış ve D₂ için ise, bu çalışmanın ilgili bölümünde hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Bu durumda, D₂ duvarı;

D₀' a göre; $9000/320 = 28,12$

D₁' e göre de; $9000/4461 = 2,01$ kat daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahiptir.

5.7.6. Deprem yükü azaltma performansı

Model duvarların yıkılabileceği ivme (*a*) ve yük azaltma katsayısı (R) değerleri Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Model duvarların yıkılabileceği ivme (*a*) ve yük azaltma katsayısı (R) değerleri

Model Duvarlar	Duvarın Yıkılabileceği İvme (<i>a</i>)	Yük Azaltma Katsayısı (R)
D ₀	0,232 g	0,58
D ₁	0,722 g	1,80
D ₂	1,06 g	2,66

Çizelge 5.6' dan, D₂ duvarının yıkılmadan D₀' a göre 4,56 ve D₁' e göre 1,46 kat daha fazla ivmeye dayanabileceği; yük azaltma katsayısının da, D₀' a göre 4,58 ve D₁' e göre de 1,47 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, D₂

duvarının deprem yükü azaltma katsayısı (R); DBYYHY’de önerilen 2,0 değerinden de büyük ($2,66 > 2,0$) olduğu görülmektedir.

D₂ duvarının performansını ortaya koyabilmek için, D₀ ve D₁ duvarlarının mekaniksel davranış değerleriyle yapılan karşılaştırmalar, aşağıdaki Çizelge 5.7’ de toplu bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Model duvarların mekaniksel davranış performansları

Mekaniksel Davranış Değerleri		Model Duvarlar		
		D ₀	D ₁	D ₂
Dayanım (kN)	İlk Çatlama	45,00	70,00	100,00
	Kırılma (Kopma)	60,00	186,00	275,00
Süneklik (mm) $\mu = \frac{\delta_{kopma}}{\delta_{çatlama}}$		2,20	5,81	6,15
Rijitlik $\Delta i = \frac{F}{\delta}$ (kN/mm)	İlk Çatlama	45,00	18,92	15,38
	Kırılma (Kopma)	27,27	8,65	6,87
Enerji Tüketimi (kNmm)		320,00	4461,00	9000,00
Duvarı Yıkabilecek İvme (a)		0,232 g	0,722 g	1,06 g
Deprem Yükü Azaltma Katsayısı (R)		0,58	1,80	2,66

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İç ve dış yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yığma duvarların, düzlem dışı tersinir yük altındaki davranışlarını incelemek ve bu güçlendirme yönteminin, performansını ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar ve bunlara bağlı olarak oluşturulan öneriler aşağıda verilmiştir.

6.1. Sonuçlar

- İç ve dış yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen duvarda (D_2); düzlem dışı tersinir yük altında iki yönlü betonarme döşemelerin kırılmasına benzer çatlaklar oluşmuş ve bu çatlakların akım çizgilerine dönüşmesi ile duvar kırılmıştır. Bu sonuç, güçlendirilmemiş D_0 ve ön yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilen D_1 duvarlarının sonuçları ile örtüşmektedir.
- D_2 duvarında, ilk çatlak duvarın iç yüzünde -100 kN' luk çekme yüklemesinde oluşmuştur. Bunun, duvarın geometrisi ile ilgili olduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Basınç yüklemesinde yük uygulanan duvarın, yan duvarların yardımıyla daha rijit davrandığı düşünülmektedir. İlk çatlama, çekme yüklemesinde oluşmuştur. Buna göre, duvarın dışa doğru göçeceği söylenebilir.
- D_2 duvarının, ilk çatlama yükü 100 kN, kırılma yükü de 275 kN' dur. Kırılma yükü esas alındığında; D_2 duvarı, D_0 duvarına göre 4,58 kat ve D_1 duvarına göre de 1,47 kat daha fazla kırılma yüküne dayanabilmektedir.
- D_2 duvarının sünekliği, 6,15 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlere göre, D_2 duvarı D_0 duvarından 2,79 kat ve D_1 duvarından da 1,05 kat daha sünek davranış göstermiştir. Bu sonuç, Kalkan (2008)'de belirtildiği gibi, duvarın donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi halinde, sünekliğinin daha da artabileceği yaklaşımını doğrulamaktadır.
- D_2 duvarının düzlem dışı kırılması, kesme kırılmasını andıracak şekilde, ancak sünek olmuştur. Deprem enerjisi tüketme kapasitesi 9000 kNmm olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, D_0 duvarına göre 28,12 kat ve D_1 duvarına göre de 2,01 kat artmıştır.

- D_2 duvarının rijitlik değeri, ilk çatlama değerine göre 15,38 kN/mm' dir. Bu değer D_0 duvarının rijitliğine göre 2,92 kat, D_1 duvarının rijitliğine göre de 1,23 kat daha azalmıştır. Bununla birlikte, model duvarların ilk çatlama ile kırılma anındaki rijitlikleri karşılaştırıldığında; D_0 için 0,61, D_1 için 0,46 ve D_2 için ise 0,44 oranlarında rijitliğin azaldığı görülmektedir.
- D_2 duvarının, yıkılmadan dayanabileceği en büyük ivme $a_{D2} = 1,06$ g olarak hesaplanmıştır. Bu değer, D_0 duvarının değerine göre 4,56 kat ve D_1 duvarının değerine göre de 1,46 kat daha fazladır.
- DBYYHY'de deprem yükü azaltma katsayısı $R=2,0$ olarak verilmiştir. R değeri; D_2 duvarı için $R=2,66$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, D_0 duvarına göre 4,58 kat, D_1 duvarına göre de 1,47 kat daha fazladır. Ayrıca DBYYHY'de öngörülen deprem yükü azaltma katsayısı değerini de fazlasıyla karşılamaktadır.

Sonuç olarak; içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yığma duvarın çatlak deseninin D_0 ve D_1 ' in çatlak desenleri sonuçları ile örtüştüğü; ilk çatlama ve kırılma değerlerinin sırasıyla 100 kN ve 275 kN, sünekliğinin 6,15, ilk çatlama rijitliğinin 15,38 kN/mm ve kırılma rijitliğinin 6,87 kN/mm, enerji tüketiminin 9000 kNmm, duvarı yıkabilecek ivmenin $a_{D2} = 1,06$ g ve deprem yükü azaltma katsayısının $R=2,66$ olduğu görülmüştür.

Bu güçlendirme yönteminin, D_0 ve D_1 ' in sonuçları ile mukayese edildiği zaman; sırasıyla, ilk çatlama yükünü % 122 ve % 42, kırılma yükünü % 358 ve % 47, sünekliği % 179 ve % 5, enerji tüketimini % 2712 ve 101, duvarı yıkabilecek ivmeyi % 356 ve % 46 ve deprem yükü azaltma katsayısını % 358 ve % 47 artırdığı; bununla birlikte, ilk çatlama rijitliğini % 65,8 ve % 18,7 ve kırılma rijitliğini de % 74,8 ve % 20,5 azalttığı görülmüştür.

6.2. Öneriler

- Özellikle Ekim 2011'de yaşadığımız Van depreminden sonra, ülkemizde depreme dayanıksız yapıların tespiti ve bu yapıların güçlendirilmesi hususunda

devletimizin aldığı karar ile yürütülen çalışmalarda; güçlendirilmesine karar verilen ve yenilenmesi gereken yığma yapılar, yıkılıp yeniden inşa edilmesi yerine, iki yüzünden donatılı püskürtme betonla güçlendirilip, olası depremlere karşı yeterli dayanıma sahip bir duruma getirilebilir.

- Bu çalışma boşluksuz bir duvarda gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, karşılaştırma yapabilmek için aynı geometrik özelliklere sahip pencere ve/veya kapı boşlukları bulunan duvar da, aynı deney şartlarında incelenmelidir.
- Yığma duvarların yapımında, dolu harman tuğlasının yanı sıra, farklı malzemelerde kullanılmaktadır. Yine karşılaştırma yapabilmek ve söz konusu diğer malzemelerle üretilen yığma yapıların performansını artırmak için, aynı deney şartlarında farklı malzemelerle inşa edilecek duvarlar incelenebilir.
- Bu çalışmada, içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilen bir model duvarın, belirli kabuller çerçevesinde tersinir yük etkisi altındaki davranışları incelenmiş ve güçlendirme yönteminin performansı ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, bu çalışma bir model duvar, yani bir eleman üzerinde gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme yönteminin performansı hakkında, daha gerçekçi bir yargıya varabilmek için, benzer bir çalışmanın model bir yığma bina üzerinde yapılması düşünülebilir. Bunun da, bir deprem ülkesi olduğumuz gerçeğini bir kez daha hatırlayarak ve özellikle kırsal bölgelerde inşa edilen yığma binaların, mühendislik hizmeti almadığı gerçeği de düşünüldüğünde, yapılacak böyle bir araştırmanın ülkemize çok faydalı olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. DİE., “Türkiye istatistik yıllığı, bina inşaat istatistikleri”, *T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü*, Ankara, 448-449 (2005).
2. Gürdil, F.A., “An Investigation of the Failure Criterion for Adobe Walls” Ph. D. Dissertation, **Department of Civil Engineering, Middle East Technical University**, Ankara, Türkiye, 172 (1986).
3. Bayülke, N., “Yığma Yapılar”, **T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı**, Ankara, 1-35 (1980).
4. Cöğürçü, M.T., “Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-144 (2007).
5. Arslan, M., “Yapı Teknolojileri I-II”, *Seçkin Yayıncılık A.Ş. Teknik Kitaplar Dizisi:22*, ISBN 978-975-02-0767-9, Ankara, 21-33 (Mayıs-2008).
6. Yokel, E.Y., Fattal S.G., “Failure Hypothesis for Masonry Shear Walls”, **Journal of the Structural Division**, 102 (ST3): 515-532. (1976).
7. Kanit, R., Atımtay,E., “Experimental Assessment of the Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Walls Loaded Out-of-Plane”, *Turkish J. Eng. Env.Sci.*, 30: 101-113 (2006).
8. Kalkan, N., “Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesi”, Doktora Tezi, *T.C.Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-147 (2008).
9. Arun, G., “Yığma kârgir yapı davranışı”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C.Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 84-90 (2005).
10. Hendry, A.W., “Structural masonry”, *University of Edinburgh Past President, The British Masonry Society*, 1-13 (1998).
11. Bayülke, N., “Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği”, *1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 1-5 (2011).
12. Aldemir, A., Erberk, M.A., Sucuoğlu, H., “Tuğla yığma duvarlar için performansa dayalı bir değerlendirme yöntemi”, *1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 1-5 (2011).
13. Özer, S.S., “Geleneksel yığma yapılarda strüktürel elemanların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C.Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 34-35 (2006).
14. Er, A., Yüçetürk, G., “Türkiye'nin küçük ölçekli şehirleri için yığma konut potansiyelinin değerlendirilmesi”, *SDU International Technologic Science*, 2:12–9-40 (February 2010).
15. Karaman, Ö.Y., Zeren, M.T., “Geleneksel Türk konutunda kullanılan ve kargir sistemi destekleyen ahşap yapısal elemanların önemi ve bozulma nedenleri”,

T.C.Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12:2–75-87 (Mayıs 2010).

16. Batur, N., “Yığma yapı tasarımı analizi”, Bitirme Tezi, *T.C.İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 4-14 (Haziran 2006).
17. Önal, M.M., Koçak, A., “Yığma yapı hasarları ve güçlendirme yöntemlerinin ayrıntıları”, *T.C.Gazi Üniversitesi Kırşehir Meslek Yüksekokulu, Kırşehir, T.C.Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul*, 2-8 (2008).
18. Karaşin, A., Karaesmen, E., “1 Mayıs Bingöl depreminde meydana gelen yığma yapı hasarları”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 112-119 (17 Şubat 2005).
19. Çırak, İ.F., “Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri, ve öneriler”, *SDU International Technologic Science*, 3:2–55-60 (February 2011).
20. Aköz, F., “Yığma kargir yapılarda hasar tespiti”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1-5 (17 Şubat 2005).
21. Ergün, A., Yurtçu, Ş., “Yığma ve betonarme yapılarda deprem sonrası oluşan hasarların teknik analizi”, *Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Afyonkarahisar 1–65-76 (2007).
22. Ural, A., “Sarılmış ve geleneksel tip yığma yapıların deprem davranışlarının incelenmesi”, 295 (1996). *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 400-406 (23-25 Mart 2005).
23. Rao, R.S., “Seismic retrofit pf NON-ductile RC frames using friction dampers”, Ph.D.Thesis, *Cornell University*, NewYork, 295 (1996).
24. Poulay, T., Priestly M.S.N. “Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings”, *John Wiley & Sons, Inc.*, 7: 8-9 (1992).
25. Kanit, R. Atımtay, E., Erdal, M., Can, Ö.,”Depreme maruz yığma duvarın kırılması ve deprem yönetmeliğinin irdelenmesi”, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 232-240 (2005).
26. Bayraktar, A., “Tarihi yığma yapıların depreme karşı güçlendirilmesi”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1-6 (17 Şubat 2005).
27. Altın, S., Kuran, F., Kara, M.E., Anıl, Ö., “Yığma yapıların rehabilitasyonu için bir yöntem”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C.Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 4-6 (17 Şubat 2005).
28. Özen, G.Ö., Türer, A., “Güçlendirme alternatiflerinin doğrusal olmayan analitik yöntemlerle irdelenmesi”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1-6 (17 Şubat 2005).

29. Kaniş, R., Erdal, M., Can, Ö., “Assesing the experimental behaviour of load bearing masonry walls subjected to out-of plane loading”, *Faculty of Technical Education, Construction Department, Gazi University, Scientific Research and Essays*, Academic Journal, 5 (21), 3336-3344 (4 November 2010).
30. Peker, İ.Y., “Yığma ve tarihi yapılarda FRP malzemeler kullanılarak yapılan güçlendirme uygulamaları”. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 295 (1996) (23-25 Mart 2005).
31. Özden, B., Türer, A., “Ucuz araba lastiği (ALY) kullanarak sismik izolasyon”, *YDGA-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1-5 (17 Şubat 2005).
32. Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E., Paciello, S., “Shear capacity of masonry walls externally strengthened by a cement-based composite material; An experimental campaign”, *Dept. of Civil Engineering, University of Salerno, Italy, Dept. of Structural Engineering, University of Naples, “FedericoII”*, Italy, 1-3 (2009).
33. Leung, M., Christopher, K.Y., “A new testing configuration for shrinkage cracking of shotcrete and fiber reinforced shotcrete”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25 (10): 571-579 (2006).
34. Dakhkhni, E., Wagih, W., “Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites”, Ph.D. Thesis, *Drexel University*, Pennsylvania, 155-165 (2006).
35. Chen, W.W., Yeh, Y.K., Hwang, S.J., Lu, C., “Out of-plane seismic behaviour and CFRP retrofiting of RC frames infilled with brick walls”, *Engineering Structures*, N.T.U. Taiwan, 34: 213-224 (Jan 2012).
36. Çılı, F., Pala, S., Yüksel, E., Teymür, P., “Düşük süneklikli betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde püskürtme beton kullanımı”, *TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu*, Proje No:106M075 İstanbul, 9 (Mayıs 2008).
37. Curtin, W.G., Adams, S., Sloan, M., “The use of post-tensioned brickwork in the SCD system”, *Proc Br.Ceramic soc.* 24: 235-45 (1975).
38. Hendry, A.W., Liauw, T.C., “Tests on steel frames with reinforced masonry infilling”, *Proc.Br.Masonry Soc.* 6:108-14, (1994)
39. Sallio, N., “Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 38-111 (2006).
40. Nardone, F., Verderame, G., Prota, A., Manfredi, G., “Comperative analysis on the seismic behaviour of combined RC-masonry buildings”, Ph.D. *J.Struct. Eng.*, 136, 1483 (2010).
41. Shedid, M.T., El-Dakhani, W.W., Drysdale, R.G., “Characteristics of rectangular, flanged, and end-confined reinforced concrete masonry shear walls for seismic design”, *J. Struct. Eng.*, 136, 1471 (2010).

42. Paquette, J., Bruneu M., “Pseudo-dynamic testing of reinforced masonry building with flexible diaphragm and comparison with existing procedures”, *Science Direct, Construction and Building Material*, 20 (4): 220-228 (2006).
43. Jin, X., “Numerical analysis of masonry shear walls strengthened with CFRP sheet”, M.Sc., *University of Alberta*, Canada, 22-34 (2005).
44. Elgaway, M. A., Pierino, L., Badoux, M., “Shear strength of URM walls retrofitted using FRP”, *Science Direct, Engineering Structures*, 28 (12): 1658-1670 (2006).
45. Sımsır, C.C., “Influence of diaphragm flexibility on the out-of plane dynamic response of unreinforced masonry walls”, Ph.D. Thesis, *University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois*, 250 (2004).
46. Velmurugan, R., Solaimurugan, S.S., “Improvements in mode I inter laminar fracture toughness and in-plane mechanical properties of starched glass/polyester composites”, *Composites Science and Technology*, 67: 61-69 (2006).
47. Gölalmış, M., Türer, A., “Kullanılmış araba lastikleri kullanarak yığma bina duvarlarının depreme karşı güçlendirme çalışmaları”, *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, ODTÜ, Ankara, 48-58 (2005).
48. Popehn, J.R.B., Schultz, A.E., “Finite-element models for slender, posttensioned masonry walls loaded out-of-plane”, *J. Struct. Eng.*, 137, 1489 (2011).
49. Foraboschi, P., ”Strengthening of masonry arches with fiber-reinforced polymer strips”, *Journal of Composites For Construction © Asce*, 2-17 (2004).
50. Xu, L., Zhang, S., Hu, X., Zhang, M., Yang, F., Cai, Y., “Dynamic properties and seismic responses of the masonry structure model strengthened with BFRP laminates”, *Advanced Materials Researchs*, 446-449: 3279-3286 (2012).
51. Kalali, A., Kabir, M.Z., “Cyclic behaviour of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers”, *Scientia Iranica*, 19 (Issue 2): 151-165, (April 2012).
52. Wipplinger, M.P.E., “Dynamic testing of a masonry structure on a passive isolation system”, *Journal of Architectural Engineering © Asce*, 15-21 (2004).
53. Milao, H., “CFRP sheets application to masonry shear walls with openings”, Doctorate Thesis, *University of Alberta*, Canada, 138 (2005).
54. Nazier, M., “Evulation of high strength composites and new construction techniques for their effective use”, Ph.D. Thesis, *University of New Jersey-New Brunswick*, New Jersey, 293 (2004).
55. Yasser, K., “Rehabilitation of masonry walls using unobtrusive FRP techniques for enhanced out of plane seismic resistance”, Ph.D. Thesis, *McMaster University*, Canada, 333-341 (2005).

56. Shang, S., Shen, R., “HPFL strip strengthening method for masonry structure”, *Advanced Materials Research*, 374-377: 2593-2598 (2012).
57. Erdal, M., “Improving out-of plane strength and ductility of reinforced masonry walls in low-rise buildings by centrally applied FRP strip”, *International Journal of The Physical Sciences*, Gazi University, Technical Education Faculty, Construction Department, Ankara 5 (2): 116 -131 (31 February 2010).
58. Aml, Ö., Tatayoğlu, M., Demirhan, M., “Out-of-plane behavior of unreinforced masonry brick walls strengthened with CFRP strips”, *Journal of Construction and Building Materials*, Civil Eng. Dept., Gazi University, Maltepe 06570, Ankara, Türkiye, 35: 614-624 (25 April 2012).
59. Aml, Ö., Tatayoğlu, M., “Improving out-of-plane behavior of aerated concrete walls with carbon fiber-reinforced polymer strips”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Civil Eng. Dept., Gazi University, Maltepe 06570, Ankara, Türkiye, 31(23): 1601-1615 (2012).
60. TS EN 998-2, “Kârgir harç özellikleri-Bölüm:1, kârgir harcı”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-11 (2007).
61. TS 4377-T1, “Fabrika tuğlaları, duvarlar için, düşey delikli blok tuğla”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-6 (2001).
62. TS EN 771-1, “Kârgir birimler – özellikler, Bölüm: 1, kil kârgir birimler, tuğlalar”. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 9-35 (2005).
63. Bayülke, N., “Depremlerde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesi”, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir, 15:84-230 (1999).
64. TS EN 1467, “Doğal yapı taşları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2005).
65. TS 2515, “Kerpiç yapıların yapım kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-8 (1985).
66. TS 406, “Beton bloklar, briketler, duvarlar için”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (1988).
67. TS 453, “Ön yapımlı (prefabrike) donatılı gazbeton yapı elemanları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (2006).
68. Corradi, M., Borri, A., Vignoli A., “Experimental Study on The Determination of Strength of Masonry Walls”, *Construction and Building Materials* 17 325-337 (2003).
69. Kaya, E., “ Yığma yapıların çelik ve betonarme takviyesi, uygulanabilirliği ve yapım hataları”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 28-69 (2003).
70. Kanit, R. Atımtay, E., Erdal, M., Can, Ö., “Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı”, *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 60-67 (2005).
71. Çöğürçü, M.T., Kamanlı, M., “Yığma yapıların dinamik ve mühendislik davranışının düzlem dışı kuvvetler altında deneysel olarak incelenmesi”, *Selçuk*

- Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 6:2 (2007).
72. Demir, H. “Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, **İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası**, İstanbul, 1-40 (1992).
 73. Stierwalt, D.D., Hamilton, H.R. “Creep of Concrete Masonry Walls Strengthened With FRP Composites”, **Construction and Building Materials**, 2-11 (2004).
 74. Marzahn, G., “Shear Strength of Dowelled Masonry”, **University of Leipzig**, 2:1-40 (1997).
 75. Hamoush, S., Mc Ginley, M., Mlakar, P., Terro, J.M., “Out-of-plane behavior of surface reinforced masonry walls”, **Construction and Building Materials, Elsevier Science Ltd.**, Great Britain, 1-22 (2002).
 76. DBYYHY, “ Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Ens. Bşk.**, Ankara, 86-96 (2007).
 77. Batur, N., “Donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı ve bazı ülkelerin şartnamelerinin incelenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 10-24 (1999) .
 78. Coşkun, E., “Betonarme yapıların geleneksel yöntemlerle depreme karşı güçlendirilmesi”, Slayt, **T.C.İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü**, İstanbul, 3-31 (13.01.2005).
 79. TS 7720–1, “Yük taşıyıcı duvarlar ve betonarme döşemeler arasındaki yatay birleştirmeler - mekânîk laboratuvar deneyleri - düşey yüklerin ve döşemelerden aktarılan momentlerin etkileri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-9 (1989).
 80. TS 2510, “Kârgir duvarlar, hesap ve yapım Kuralları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1–12 (1977).
 81. Çamlıbel, N., “Yapıların taşıma gücünün iyileştirilmesi”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 31-32 (2000).
 82. TS EN 197-1, “Çimento- Bölüm 1: genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 8-10 (2002).
 83. TS EN 13139, “Agregalar, harç yapımı için”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1–8 (2005).
 84. TS 4559/T, “Beton çelik hasırları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-6 (2007).
 85. TS 708/T, “Beton çelik çubukları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-12 (2007).
 86. Doğançün, A., “Betonarme yapıların hesap ve tasarımı”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 91-100 (2005).

87. TS. 11747, “Püskürtme beton (Shotcrete) yapım uygulama ve bakım kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-16 (1995).
88. TS. 1247, “Beton yapım, döküm ve bakım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-10 (1984).
89. Mertol, A., Mertol, H.C., “Deprem mühendisliği, depreme dayanıklı yapı tasarımı”, *Kozan Ofset*, İstanbul, 232-368 (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı: ATEŞ Tahir
 Uyuğu: T.C.
 Doğum tarihi ve yeri: 25.08.1970 Ergani
 Medeni hali: Evli
 Telefon : 0 505 708 25 12
 e-mail : tahirates21@yahoo.com.tr

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Yüksek lisans	G.Ü. Teknik Eğitim Fak. Yapı Eğitimi Bölümü	2000
Lisans	G.Ü. Teknik Eğitim Fak. Yapı Eğitimi Bölümü	1994
Lise	D.Bakır Endüstri Meslek Lisesi Yapı Bölümü	1987

İş Deneyimi

Yıl

Yer

Görev

1994-1995	Erzincan Endüstri M.L.	Öğretmen
1995-Halen	M.A.Ü.Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ateş, T., "Kemerler", *I. Uluslararası Mardin Tarihi Sempozyumu*, Mardin 2006

Hobiler

Futbol, Sinema, Müzik