T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAĞLAYICI ÖZELLİĞİ ARTIRILAN DUVAR VE SIVA HARCININ DÜZLEM DIŞI YÜKLENEN TUĞLA DUVARLARIN MEKANİKSEL DAVRANIŞINA ETKİSİ

Mahmut Sami DÖNDÜREN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Konya, 2008

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAĞLAYICI ÖZELLİĞİ ARTIRILAN DUVAR VE SIVA HARCININ DÜZLEM DIŞI YÜKLENEN TUĞLA DUVARLARIN MEKANİKSEL DAVRANIŞINA ETKİSİ

Mahmut Sami DÖNDÜREN
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI

Prof. Dr. Recep KANIT **Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI**

Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN **Yrd. Doç. Dr. H.Hüsnü KORKMAZ**

ÖZET

Doktora Tezi

**BAĞLAYICI ÖZELLİĞİ ARTIRILAN
DUVAR VE SIVA HARCININ DÜZLEM DIŞI
YÜKLENEN TUĞLA DUVARLARIN
MEKANİKSEL DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Mahmut Sami DÖNDÜREN
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Recep KANIT
2008, 230 sayfa

Jüri:
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI (S.Ü. , T.İ.K. üyesi)
Prof. Dr. Recep KANIT (S.Ü. , Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI (S.Ü. , T.İ.K. üyesi)
Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN (S.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. H.Hüsnü KORKMAZ (S.Ü.)

Yığma yapılar dünyadaki yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ülkemizde de özellikle kırsal bölgelerdeki yapıların büyük bir kısmı yığma binalardan oluşmaktadır. Özellikle yerel malzeme avantajları, yapım kolaylıkları ve ekonomik nedenlerden dolayı yığma binaların yapımı devam etmektedir. Deprem tehlikesi altında olan bu yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, çelik ve betonarme yapılar kadar bilinen bir konu değildir.

Yatay ve düşey yüklere karşı taşıyıcı özellik göstermesi beklenen yığma duvarlar, tuğla, beton briket, kumtaşı, gazbeton blok vb. yapay taşların, kireç, çimento vb. bir mineral bağlayıcı ile yapılmış harç kullanılarak örülmesi yoluyla oluşturulan yapı elemanlarıdır. Sürekli ortam oluşturmayan yığma yapıların yük altındaki davranışları ancak deneysel çalışmalarla ortaya konulmaktadır.

Bu çalışmada, normal harçla hazırlanan bir yığma duvarla, Sikalatex katkı malzemesiyle bağlayıcı özelliği artırılmış harçla hazırlanan bir yığma duvarın düzlem dışı kırılması araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bunun için ilk önce kesme kuvveti yönünden en uygun yapışma değerini verecek katkı malzemesinin miktarını belirlemek amacıyla ön deney çalışması yapılmış, 6 adet aynı boyutlarda duvar numunesi değişik katkı miktarları kullanılarak örülmüştür. Yapılan ön deneyler sonucunda en fazla yük 3 nolu deney numunesinde 98.7 kN olarak bulunmuştur. Bu numunede elde edilen τ değeri 1.93 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Daha sonra, gerçekçi boyutlara sahip aynı geometri ve malzeme özelliğinde 2 ayrı prototip duvar üretilmiştir. Referans duvar olarak belirlenen birinci duvar numunesi deprem etkisini modelleyen düzlem dışı tekrarlanır yük altında denenmiş ve oluşan ilk çatlak, kırılma davranışı, süneklik, enerji tüketimi, çatlak deseni incelenmiştir. Model duvar olarak belirlenen ikinci duvarda, duvar örümü ve sıvada kullanılan harca, harcın bağlayıcı özelliğini artıracak katkı maddesi ön deneylerde belirlenen miktarda ilave edilerek örülmüş ve aynı şartlarda deneye tabi tutularak duvarda oluşan ilk çatlama, kırılma, süneklik, enerji tüketimi, çatlak deseni gibi mekaniksel davranışlar incelenerek karşılaştıılmıştır.

Çalışmaların sonucunda; yığma duvarların tekrarlanır düzlem dışı yükler altında betonarme döşemede oluşan akma çizgilerine benzer kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığı, kırılma türünün gevrek olduğu ve akma çizgilerinin işaret ettiği sünekliğe sahip olmadığı ayrıca, katkı malzemesi kullanılarak harcın bağlayıcı özelliğinin artırılması ile duvarın %25 fazlası ile kırıldığı görülmüştür. Ayrıca, model duvardaki oluşan sünekliğin, referans duvardaki sünekliğe göre %41 azaldığı ve model duvarın, referans duvara göre %25 daha az enerji tükettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yığma yapı, katkı malzemesi, harç

ABSTRACT

Ph. D.Thesis

THE EFFECT OF THE INCREASED ADHERENCE PROPERTY OF THE MORTAR USED FOR PLASTERING AND MASONRY ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE BRICK WALLS UNDER OUT-OF-PLANE LOADING

Mahmut Sami DÖNDÜREN
Selcuk University
Graduate School of Natural and Apllied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Recep KANIT
2008, 230 pages

Jury:
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI (S.Ü. , T.İ.K. member)
Prof. Dr. Recep KANIT (S.Ü. , T.İ.K. adviser)
Asist. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI (S.Ü. , T.İ.K. member)
Asist. Prof. Dr. S. Kamil AKIN (S.Ü.)
Asist. Prof. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ (S.Ü)

Masonry structures constitute a considerable portion of the building stock of the world, and most of the structures especially in the rural regions of our country are the masonry constructions. The advantages of the construction materials existing in the local region, the easiness of the construction and the economic reasons result in the continuity of the masonry structures. The seismic behavior of the masonry structures is not a well known subject as it is for the steel and reinforced concrete structures.

The masonry walls are the structural members produced by building the artificial stones like bricks, concrete briquettes, lime sandstones, lightweight bricks with the mortar made with lime, cement etc. like mineral binders, and they are estimated to present load-carrying characteristic against the vertical and horizontal loads. The behaviors of the masonry structures that are not always on the agenda can only be determined by the experimental studies.

In this study, an unstrengthened masonry wall and another masonry wall strengthened with mortar prepared by the additive material of Sikalatex were investigated in terms of their out-of-plane failure and the results were compared.

Therefore, to determine the amount of the additive material ratio that will give the appropriate adherence value in terms of shear force, a preliminary test was performed with 6 wall specimens of same dimensions produced with different additive ratios. As a result of these preliminary tests, the maximum load of 98.7 kN was recorded for the No.3 test specimen whose τ value was calculated as 1.93 kg/cm^2. Then, 2 separate prototype walls with realistic dimensions of same geometries and material properties were built. The first wall expressed as the reference specimen was tested under out-of-plane reversed loading representing seismic effect, and the failure behavior of the wall was examined in terms of the occurrence of the first crack, ductility, energy consumption and crack pattern. The second wall stated as the model wall was produced with the mortar used for plastering and masonry and whose adherence property was increased by adding the amount of additive material which was determined in the preliminary tests, and the wall's mechanical behaviors as the occurrence of the first crack, failure, ductility, energy consumption and crack pattern were investigated and compared.

At the end of the study, the following findings were observed; the failure of the masonry walls were occurred under out-of-plane reversed cycling loads by forming cracking lines similar to the yielding lines existing at the reinforced concrete slab, the failure type was found to be brittle and not having ductility indicated by the yielding lines, and the wall failed with 25% more load than normal due to the increased adherence performance of the mortar produced by using the additive material. Additionally, it was determined that the ductility occurred on the model wall was

reduced by 41% with respect to the reference wall, and the model wall consumed 25% less energy than the reference wall.

Keywords : Masonry construction, additive material, mortar

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmamın ve akademik hayatımın bütün safhalarında beni yönlendiren ve destekleyen, teşvik eden, her konuda yardımcı olan, laboratuar imkânlarının sağlanması konusunda her türlü kolaylığı sağlayan, aynı zamanda tez izleme komitesi üyem Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI hocama ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI hocama öncelikle teşekkür ederim. Bu çalışmamda özellikle deneylerin yapılması sırasında desteğini ve yardımını hiç esirgemeyen, doktora çalışmamı tamamlamamda büyük katkıları olan tez danışman hocam Prof. Dr. Recep KANIT hocama sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında her zaman yanımda olan ve sabırla yardımlarını esirgemeyen arkadaşım ve dostum Yrd. Doç. Dr. M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ'ye, Teknik Bilimler M.Y.O Öğr. Grv. Mustafa ALTIN'a, Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Arş. Grv. Dr. Mürsel ERDAL'a, Arş. Grv. Ömer CAN'a ve Gökalp SERİMER beylere ve bana yardımcı olan tüm hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne de teşekkür ederim.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu doktora tezi çalışmasında, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü; 06401066 nolu araştırma projesi kapsamında "Bağlayıcı özelliği artırılan harcın düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların güçlendirilmesine etkisi" ismiyle 30.000 YTL maddi destek sağlanmıştır. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Bu çalışma ayrıca, YUUP-KP20760–08–11-DPT–2004 projesi kapsamında da desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **I**
ABSTRACT ..... **III**
TEŞEKKÜR ..... **VI**
ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR ..... **VII**
İÇİNDEKİLER ..... **VIII**
KULLANILAN SEMBOLLER ..... **XII**
ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **XIV**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **XVI**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Yığma Yapının Tanımı 7
1.2. Yığma Yapıların Analizi 8
1.2.1. Yığma yapıların analizinde kullanılan yöntemler 8
1.3. Yığma Binaların Yapımında Kullanılan Malzemeler 9
1.3.1. Yığma yapılarda kullanılan harçlar 10
1.3.1.1. Harçların sınıflandırılması 10
1.3.2. Harç karışımları 11
1.3.2.1. Harçların basınç dayanımı 11
1.3.3. Tuğla 12
1.3.4. Harman tuğlası 13
1.3.5. Fabrika tuğlası 15
1.3.6. Doğal yapı taşları 17
1.3.7. Kerpiç 19
1.4. Yığma Yapılarda Genellikle Kullanılan Örgü Türleri 21
1.5. Düşey ve Yatay Kuvvetler Altında Kalan Yığma Yapıların Davranışı 23
1.5.1. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarlar 23
1.5.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı 24
1.5.1.2. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarların göçme şekilleri 25
1.5.1.2.1. Dönmeden yatay ötelenme göçmesi 26

1.5.1.2.2. Eğilme göçmesi 26
1.5.1.2.3. Kayma göçmesi 26
1.5.1.3. Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar 27
1.5.1.4. Yığma dolgu duvarlar 30
1.6. Yığma Yapılarda Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları 32
1.6.1. Yatay hatıllar 37
1.6.2. Düşey hatıllar 37
1.6.3. Temeller 38
1.6.4. Yığma duvarın kayma dayanımı 38
1.7. Yığma Yapıların Dinamik Kuvvetler Altındaki Davranışı 39
1.7.1. Pseudo dinamik test 47
1.7.2. Yarı statik test 47
1.8. Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri 48
1.8.1. Zeminden kaynaklanan oturma çatlakları 48
1.8.2. Deprem Hasarı 50
1.8.2.1. Yığma yapılarda deprem hasar düzeyleri 53
1.8.2.1.1. Hasarsız veya az hasarlı yığma yapılar 53
1.8.2.1.2. Az hasarlı yığma yapılar 54
1.8.2.1.3. Orta hasarlı yığma yapılar 54
1.8.2.1.4. Ağır hasarlı yığma yapılar 54
1.8.2.1.5. Yıkılmış yığma yapılar 55
1.8.3. Kırsal yapıların hasar biçimleri 55
1.9. Yığma Yapıların Onarım Ve Güçlendirme Esasları 57
1.9.1. Yığma yapılarda onarım ve güçlendirme ile igili temel ilkeler 58
1.9.1.1. Betonarme mantolama 61
1.9.1.2. Duvar ve payandaların çimento enjeksiyonu ile güçlendiilmesi 62
1.9.1.3. Gergi demirleri ile güçlendirme 63
1.9.1.4. Betonarme hatıllarla güçlendirme 64
1.9.1.5. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme 66
1.10. Kullanılan Katkı Maddeleri ve Tamir Harçları 67
1.10.1. Hazır yaş harç 67
1.10.2. Melmix katkı malzemesi 69

1.10.3. Febond PVA 69
1.10.4. Emaco® ECC 735 70
1.10.5. Albarıa Inıezıone 50 71
1.10.6. Sika®Mate-Yapıştırıcı 73
1.10.6.1. Avantajları 73
1.10.6.2. Harç-yüzey hazırlığı 73
1.10.7. Sikalatex katkı malzemesi 74
1.11. Amaç ve Kapsam 75
2. LİTERATÜR ÖZETİ 77
2.1. Genel Çalışmalar 77
3. MATERYAL VE METOD 96
3.1. Materyal 96
3.2. Duvar Yapımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri 97
3.2.1. Çerçevelerin desteklenmesinde kullanılan çelik profillerin geometrik ve mekanik özellikleri 97
3.2.2. Deneylerde kullanılan yükleme levhasının mekanik özellikleri 98
3.2.3. Duvar temeli ve döşemenin oluşturulmasında kullanılan donatının özellikleri 99
3.2.4. Duvar elemanlarının özellikleri 101
3.2.5. Harçta kullanılan çimento ve kumun özellikleri 102
3.2.6. Kullanılan harcın özellikleri 104
3.2.7. Kullanılan Sikalatex katkı malzemesinin özellikleri 104
3.3. Yığma Duvar Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları 107
3.4. Deney Elemanlarının Üretimi 107
3.4.1. Ön deney elemanlarının üretimi 107
3.4.2. Esas deney elemanlarının üretimi 111
4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ 119
4.1. Giriş 119
4.2. Deney Düzeneği 119
4.3. Ölçme Tekniği 121
4.3.1. Yük ölçmeleri 121
4.3.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi 122

4.3.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması ……...124
4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği 125
4.5. Ölçmelerin Değerlendirilmesi 126
4.5.1. Yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi 126
4.6. Ön Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği 126
5. DENEY SONUÇLARI 128
5.1. Ön Deneyler 129
5.1.1. 1 nolu ön deney 130
5.1.2. Ön deney sonuçlarının karşılaştırılması 133
5.2. Referans Duvar (1 Nolu Deney) 135
5.3. Model Duvar (2 Nolu Deney) 154
6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRLMASI 171
6.1. Giriş 171
6.2. Bulgular ve Değerlendirmeler 172
6.2.1. Harcın bağlayıcı özelliğini artıran katkı maddesinin miktarı ile ilgili bulgular ……...172
6.2.2. Referans duvar deneyi ile ilgili bulgular 173
6.2.3. Model duvar deneyi ile ilgili bulgular 174
7. ANALİTİK İNCELEME 176
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 178
9. KAYNAKLAR 181

KULLANILAN SEMBOLLER

ε	: Şekil değiştirme
P	: Donatı oranı
A_s	: Donatı kesit alanı
E_s	: Elastisite modülü
P	:Yük
δ	: Deplasman
σ	: Gerilme
M	: Moment
M_j	: Her bir moda ait moment
M_{max}	: Maksimum moment
M_{bil}	: Bileşik moment
D	: Tuğla derinliği
T	: Derz kalınlığı
E_h	: Harç elastisite modülü
E_t	: Tuğla elastisite modülü
E_d	: Duvar elastisite modülü
σ_u	: Duvar ait gerilme dayanımı
σ_y	: Duvar yükünden oluşan gerilme
σ_o	: Tuğla basınç dayanımı
σ_t	: Tuğlada mevcut gerilme
σ_h	: Harçta mevcut gerilme
μ_h	: Harç poisson oranı
μ_t	: Tuğla poisson oranı
τ_b	: Kesme aderans kırılması durumunda gerilme
M	: Tuğla ile harç arasında sürtünme katsayısı
D	: Tuğla derinliği
T	: Derz kalınlığı
E_h	: Harç elastisite modülü
V_{bo}	: Harcın aderansından oluşan kesme taşıma gücü

FRP	: Fiber Reinforced Polimer (Lif Takviyeli Polimer)
V_{bo}	: Harcın aderansından oluşan kesme taşıma gücü
τ_t	: Makaslama çekme kırılmasında kesme gerilmesi
T	: Yapı periyodu
N	: Kat adedi
R	: Yığma yapıda bir duvarın rijitliği
H	: Duvarın yüksekliği
L	: Duvar uzunluğu

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1 Türkiye deprem bölgelerinin, coğrafi bölgelerin yüzölçümüne göre dağılımı 2
Çizelge 1.2 Harç karışımları (hacim olarak) 11
Çizelge 1.3 Harçlarda minimum basınç dayanımları 12
Çizelge 1.4 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası 14
Çizelge 1.5 Harman tuğlasının boyutları 14
Çizelge 1.6 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları (k*) 17
Çizelge 1.7 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları 18
Çizelge 1.8 Kerpiçlerin sınıflandırılması 20
Çizelge 1.9 Deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayısı 33
Çizelge 1.10 Deprem bölgesine göre en fazla yapılacak kat sayısı 34
Çizelge 1.11 A.B.Y.Y.H.Y'de verilen minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları 35
Çizelge 1.12 Melmix katkı malzemesinin teknik özellikleri 69
Çizelge 1.13 Emaco® ECC 735 katkı malzemesinin teknik özellikleri 70
Çizelge 1.14 Albarıa ınıezıone 50 malzemenin teknik özellikleri 72
Çizelge 1.15 Sikalatex katkı malzemesinin özellikleri 75
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan profillerin geometrik ve fiziksel özellikleri 97
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan çelik levhaların mekanik özellikleri 98
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan donatının özellikleri 100
Çizelge 3.4 Kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekanik özellikleri 102
Çizelge 3.5 Kullanılan çimentonun özellikleri 103
Çizelge 3.6 Harç kumunun granülometrik değerleri 103
Çizelge 3.7 Çimento harcı için karışım değerleri 104
Çizelge 3.8 Çimento harcına ait mekanik özellikler 104
Çizelge 3.9 Sikalatex katkı malzemesinin tipik özellikleri 105
Çizelge 3.10 Deney numunelerinin geometrik özellikleri 107
Çizelge 3.11 Numunelerde kullanılan karışım oranları 108
Çizelge 5.1 1 nolu ön deney numunesinde kullanılan karışım oranları 130
Çizelge 5.2 1 nolu ön deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranışı 131

Çizelge 5.3 1 nolu ön deney numunesinde oluşan çekme dayanımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri 133
Çizelge 5.4 Numunelere ait max. yük ve kesme kuvveti değerleri..... 134
Çizelge 5.5 Referans deney numunesinin özellikleri 135
Çizelge 5.6 Referans duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış..... 140
Çizelge 5. 7 Model duvar numunesinin özellikleri 154
Çizelge 5.8 Model duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış..... 158
Çizelge 5. 9 devamı. Model duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış 159

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki genel davranışı 4
Şekil 1.2 Afyon-Dinar depreminde hasar gören bazı yığma yapılar 5
Şekil 1.3 Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki 12
Şekil 1.4 Harman tuğlası şekli 13
Şekil 1.5 Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki 16
Şekil 1.6 Fabrika tuğlası şekilleri 17
Şekil 1.7 Doğal yapı taşı ile duvar örgüsü 18
Şekil 1.8 Düz örgü, kilit örgü ve haç örgü örme şekilleri 22
Şekil 1.9 Hollanda örgü, polonez örgü ve blok örgü örme şekilleri 23
Şekil 1.10 Yatay yükün duvarlara dağlımı 24
Şekil 1.11 Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı 25
Şekil 1.12 Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri 25
Şekil 1.13 Basit donatılı yığma bina 29
Şekil 1.14 Donatılı yığma yapının örülmesi 30
Şekil 1.15 Betonarme çerçeveli yapıda dolgu duvarların düzlem dışı kırılması 31
Şekil 1.16 Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları .. 31
Şekil 1.17 Yığma bir duvarın mesnetlenme şekli 37
Şekil 1.18 Depreme maruz yığma bir bina 41
Şekil 1.19 A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı 42
Şekil 1.20 Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri 42
Şekil 1.21 B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler 43
Şekil 1.22 X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu 43
Şekil 1.23 B duvarında oluşan düzlem dışı ivme 44
Şekil 1.24 T_w / T_f oranında etkitilmiş A duvarının dinamik tepkisi 45
Şekil 1.25 Yarı statik test mekanizması 48
Şekil 1.26 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar 51
Şekil 1.27 San Salvador'da hasar görmüş yığma yapı 53

Şekil 1.28 Kırsal kesimde bulunan ağır toprak damlı yığma yapı 57
Şekil 1.29 Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı 62
Şekil 1.30 Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi 63
Şekil 1.31 Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme 64
Şekil 1.32 Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme 65
Şekil 1.33 Ahşap çaprazlarla güçlendirme 67
Şekil 3.1 Deney numunesi yükleme levhasının deney esnasındaki görüntüsü 99
Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan donatının gerilme deformasyon eğrisi 100
Şekil 3.3 Bağ kirişi donatı görüntüsü 101
Şekil 3.4 Döşeme donatısının görüntüsü 101
Şekil 3.5 Örülmüş tuğla duvarın görüntüsü 102
Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan sikalatex katkı malzemesi 106
Şekil 3.7 Düz örgü örülme şekli 108
Şekil 3.8 Ön deney numunelerinin örümünde kullanılacak harcın hazırlanması 109
Şekil 3.9 Ön deney numunelerinin hazırlanması 110
Şekil 3.10 Ön deney numunelerinin sıvanması 111
Şekil 3.11 Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli 112
Şekil 3.12 Referans duvar numunesinin örülmesi 112
Şekil 3.13 Referans duvar numunesine kalıp kurulması ve beton dökülmesi 113
Şekil 3.14 Referans duvar numunesinin sıvanması ve boyanması 114
Şekil 3.15 Model duvar numunesinde kullanılacak katkılı harcın hazırlanması 115
Şekil 3.16 Model duvar numunesinin örülerek hazırlanışı 116
Şekil 3.17 Model duvar numunesinde döşemenin hazırlanışı 117
Şekil 3.18 Model duvar numunesinin sıvanması 118
Şekil 4.1 Yığma duvar deney elemanı ve reaksiyon duvarı 120
Şekil 4.2 Tekrarlanır sismik hareketi modelleyen yükleme mekanizması 120
Şekil 4.3 Deney duvarının geometrik şekli 121
Şekil 4.4 LVDT'ler ve bağlantı sistemi 123
Şekil 4.5 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği 124
Şekil 4.6 Test edilen sistemde kullanılan ölçüm düzenekleri 125
Şekil 4.7 Ön deney numunelerinin yükleme şekli 127
Şekil 5.1 1 nolu ön deney numunesinin hazırlanması 130

Şekil 5.2 1 nolu ön deney numunesinde oluşan çatlaklar 132
Şekil 5.3 1 nolu ön deneyde oluşan yük-deplasman grafiği..... 133
Şekil 5.4 Altı adet numunenin yük-deplasman grafiği..... 134
Şekil 5.5 Referans duvar numunesinin deneyden önceki ön görünüşü..... 136
Şekil 5.6 Referans duvar numunesinin deneyden önceki arka görünüşü..... 137
Şekil 5.7 Referans duvar numunesine ait yükleme geçmişi..... 138
Şekil 5.8 Referans duvar da sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak 139
Şekil 5.9 Referans duvarda 6. çevrimde oluşan çatlaklar 139
Şekil 5.10 Referans duvarda sol arka mesnette oluşan çatlak..... 142
Şekil 5.11 Referans duvar numunesinin 45kN'la 55 kN arasındaki hasar durumu 142
Şekil 5.12 Referans duvarın 65 kN'luk yük aşamasındaki durumu..... 143
Şekil 5.13 Referans duvarda 65 kN'da gözlemlenen çatlaklar 144
Şekil 5.14 Referans duvar numunesinde ölçülen çatlak genişlikleri..... 145
Şekil 5.15 Referans duvar numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu 146
Şekil 5.16 Referans duvar numunesinde deney sonunda oluşan hasar durumu..... 147
Şekil 5.17 Referans duvar numunesinin deney sonundaki genel görünüşü 148
Şekil 5.18 Referans duvarda dış yüzeydeki çatlak deseni..... 149
Şekil 5.19 Referans duvarda maksimum yüklemedeki çatlak deseni 150
Şekil 5.20 Referans duvar numunesine ait yük-dış deplasman grafiği 151
Şekil 5.21 Referans duvar numunesine ait yük-iç deplasman grafiği..... 152
Şekil 5.22 Referans duvar numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği..... 153
Şekil 5.23 Model duvar numunesinin deneyden önceki ön ve arka görünüşü..... 155
Şekil 5.24 Model duvar numunesine ait yükleme geçmişi 156
Şekil 5.25 Model duvar numunesinde yan duvardan mesnete uzanan ilk çatlak... 157
Şekil 5.26 Model duvar numunesinde 7. çevrimde oluşan çatlaklar..... 157
Şekil 5.27 Model duvar numunesinde -60 kN'da oluşan çatlaklar 160
Şekil 5.28 Model duvarda -60 kN'daki çatlak durumları 160
Şekil 5.29 Model duvar numunesinin 65 kN'luk yük aşamasındaki durumları..... 161
Şekil 5.30 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları..... 162
Şekil 5.31 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları..... 163
Şekil 5.32 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları..... 164
Şekil 5.33 Model duvarda 75 kN'luk yük aşımından sonra oluşan durumlar..... 165

Şekil 5.34 Model duvarda maksimum yüklemede yan devardaki çatlak deseni.... 166
Şekil 5.35 Model duvarda maksimum yüklemede iç yüzeydeki çatlak deseni..... 167
Şekil 5.36 Model duvar numunesine ait yük-iç deplasman grafiği..... 168
Şekil 5.37 Model duvar numunesine ait yük-dış deplasman grafiği..... 169
Şekil 5.38 Model duvar numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği..... 170
Şekil 8.1 Referans duvar numunesi..... 179
Şekil 8.2 Model duvar numunesi 180

1. GİRİŞ

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları, bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim bölgelerinde ve toplu konut alanlarında da meydana gelmiş olması dikkat çekicidir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşaa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Deprem doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Deprem, yerkabuğunun titreşimi ile oluştuğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde, yapılardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla yapıların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir (Gürdil 1986).

Betonarme ve çelik yapılar kadar yığma yapılarda depremden etkilenmektedir. Depreme dayanıklı yapılar yapabilmek için araştırma çabaları, çok büyük ölçüde betonarme ve çelik yapılar üzerinde yoğunlaşmışken ülkemizin iç ve doğu bölgeleri ile kuzey bölgelerinin bir kısmında olduğu kadar Doğu ve Ortadoğu'da yer alan ülkelerde, tuğla, kerpiç ve taş yığma duvarlardan yapılan binalar geleneksel yapı tipini oluşturmaktadır. Bundan dolayı yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışıda araştırılmalıdır.

Ülkemizin yüzölçümünün büyük bir bölümü deprem kuşağında bulunmakta ve bu coğrafya da yaşayan insanların büyük çoğunluğunun yaşamını sürdürdüğü yapılar birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Türkiye deprem bölgelerinin, coğrafi bölgelerin yüzölçümüne göre dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir. Ülkemizdeki yapıların büyük çoğunluğu, özellikle Anadolu'nun kırsal

kesimlerinde, hatta büyük şehirlerin çevre mahallelerinde ve gecekondu semtlerinde neredeyse yapılaşmanın tamamına yakını yığma yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum büyük olasılıkla gelecekte de geçerli olacaktır, zira malzeme teminindeki kolaylık, göreceli ucuzluk ve yapının gerektirdiği işçiliğin basitliği yığma yapıyı özellikle konut yapımında cazip kılmaktadır (Akıncıtürk 2003).

Çizelge 1.1 Türkiye deprem bölgelerinin, coğrafi bölgelerin yüzölçümüne göre dağılımı

Deprem Bölgesi	Marmara Bölgesi (km^2)	Ege Bölgesi (km^2)	Akdeniz Bölgesi (km^2)	İç Anadolu Bölgesi (km^2)	Karadeniz Bölgesi (km^2)	Doğu Anadolu Bölgesi (km^2)	G.Anadolu Bölgesi (km^2)
I. D. D.B.	19 486	45 658	21 223	-	26 529	36 969	-
II. D. D.B.	25 968	32 909	14 327	29 736	12 820	75 413	-
III. D.D.B.	20 568	11 875	17 253	34 345	37 891	25 857	28 684
IV. D.D.B.	6 550	-	36 444	83 762	34 838	7 121	30 611
Tehlikesiz Bölgeler	-	-	-	38 257	-	-	16 063
Toplam	72 572	90 442	89 247	186 100	112 078	145 360	75 358

Yığma yapıların betonarme ve çelik gibi diğer yapılara oranla avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Yığma yapıların en büyük dezavantajı oldukça ağır, hantal ve gevrek malzemeden inşa edilmiş olmalarıdır. Bilindiği gibi yapı ağırlığı ne denli fazla olursa deprem esnasında oluşacak atalet kuvvetleri de o denli fazla olmaktadır. Bu da yapı elemanlarının çok büyük iç tesirlere maruz kalması demektir. Gevrek malzemeler deprem esnasında çok fazla deformasyon yapmadan aniden göçerler.

Yığma yapıyı oluşturan duvarlar sadece düşey yük etkisinde kalmayıp, rüzgar, deprem veya başka nedenlerle yatay yük etkisine de maruz kalırlar. Böylece düşey-yatay tesirlerin birlikte etkimesinde, duvarlarda iki eksenli yükleme hali meydana gelir. Tuğla duvara yatay bir yük uygulandığında harcın, tuğlaya göre dayanımının az olması ve tuğla ile harç arasındaki aderans köprü bağı yeterli olmadığından

genellikle çatlaklar harçta oluşmakta, ayrılmalar tuğla ile harcın birleşim yerlerinde olmaktadır (Begimgil 1990).

Yapılar deprem etkisi altında kaldıklarında esneme ve enerji yutma yeteneğine sahip olmalıdırlar. Buda yapının sünekliliği ile alakalıdır. Yığma yapılar rijit ve gevrek olmalarından dolayı esnek yapılar gibi esneme ve enerji yutma yeteneğine sahip değillerdir. Sonuçta, depremde ortaya çıkan enerjiyi azaltma kapasitesi düşük olduğu için büyük yatay kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Üstelik yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek malzemeler olmasından dolayı mühendislik açısından istenmeyen davranışlar göstermekte, taşıma limitini aştıkları anda ani çatlamalara ve kırılmalara sebep olmaktadırlar. Bu sebeplerden dolayı yığma yapılar depreme dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmezler. Bununla beraber yığma yapılar deprem açısından tamamen olumsuz yapılar olarak algılanmamalıdır. Bütün diğer yapılarda olduğu gibi yığma yapılar da standartlara, yönetmeliklere uygun olarak yapıldığı ve mühendislik çalışması gördüğü takdirde sağlam ve emniyetli olabilirler(Arıoğlu 1974).

Yığma bir yapıda iyileştirme ve güçlendirme çabalarına başlamadan önce, depreme maruz yığma binanın deprem davranışı ve göçme mekanizması iyi bilinmelidir. Yığma binanın deprem davranışında, betonarme binaya göre benzerlik olduğu kadar farklılıklar da vardır. En çarpıcı farkın, yığma duvarın düzlem dışı kırılması olduğu söylenebilir.

Yatay yükler altında, yığma duvarda kesme kuvvetleri ve momentler oluşur. Bunun sonucu olarak, yığma duvarın düzlem içi kırılması, momentin oluşturduğu basınç/çekme eksenel kuvvetler ve/veya kesme kuvvetinin oluşturduğu eğik asal gerilmeler etkisi ile meydana gelir. Yığma duvarın düzlem dışı kırılması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki genel davranışı

Eski tarihi yapılarda genellikle yığma yapı olarak inşaa edilmişlerdir. Bunlar arasında camiler, konaklar, saraylar, kümbetler, medreseler, kemerler, köprüler, kervansaraylar, tapınaklar, hanlar, tarihi anıtlar, kiliseler, manastırlar, kubbeler, tonozlar vb. söylenebilir(Çöğürcü 2007).

Türkiye genelinde yapılan bina sayımı, belediyelerin mücavir alanlarında da uygulanmış ve bu bölgede toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sisteme göre, binaların %51,1'i yığma, %48,4'ü ise çerçeve sistem olarak inşaa edildikleri tespit edilmiştir. İnşaatların dolgu maddesi cinslerine göre ise en fazla payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Bunu %18,0 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir. Tamamına yakını aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı son derece önemlidir. Son yıllarda meydana gelen Mart 1992 Erzincan, Ekim 1995 Dinar, Ağustos 1999 Sakarya-Kocaeli ve Ekim 1999 Düzce depremlerinde çok sayıda yığma ve betonarme binada büyük yapısal hasarlar sonucu önemli sayıda can ve mal kayıpları olmuştur. Afyon-Dinar depreminde hasar gören bazı yığma yapıların şekilleri Şekil 1.2'de verilmiştir. Geçmişteki depremlerde en çok can ve mal kaybı; taş, tuğla, kerpiç, ağaç vb. geleneksel malzemeler ile yapılan

yığma binalarda görülmüştür. Can kaybının büyük olması, bu tür binaların projelendirilmesi ve yapım aşamasında, mühendislik tasarımı görmemiş olmasından ve mevcut şartnamelere uyulmamasından kaynaklanmaktadır. Yukarıda ki veriler dikkate alındığında, yığma yapıların deprem kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarının incelenmesiyle ilgili üzerine daha çok araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir(Kanıt 2005).



Şekil 1.2 Afyon-Dinar depreminde hasar gören bazı yığma yapılar

Yeni yapılaşmaya ek olarak mevcut yığma yapılar da gözönüne alındığı takdirde, yığma yapıların depreme karşı davranışlarının bilinmesi ve dayanıklılıklarının artırılması gerekmektedir. Depremde hasar görmüş yığma yapıların ve özellikle tarihi eserlerin onarılması ve güçlendirilmesi önem

kazanmaktadır. Yığma yapıların düşey taşıyıcı elemanları duvarlardır. Duvarlara düşey yüklerin yanı sıra, deprem, rüzgâr veya başka nedenlerle yatay yükler de etki edebilir. Düşey ve yatay yüklerin birlikte etkidiği hallerde, duvarlarda iki eksenli yükleme hali meydana gelmektedir. Kompozit bir malzeme olan duvarın, iki eksenli gerilme altındaki davranışının bilinmesi, yapının üzerine gelen yükleri emniyetle taşımasını sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır (Yokel ve ark. 1976).

Yığma yapıların düşey ve özellikle yatay yükler altındaki davranışı betonarme ve çelik yapılara göre daha belirsizdir. Dolayısıyla gerçek davranışı matematiksel olarak ifade edilememektedir. Yığma yapıların deprem karşısında ki davranışı, yetersizlikleri, depreme dayanıklı donatı takviyeli binaların tasarımı, hasar görmüş binaların onarımı vb. konular üzerinde halen çalışmalar devam etmektedir. Kompozit bir malzeme olan tuğla duvarın dayanımını, bileşenleri olan tuğla ve harcın dayanımları cinsinden ifade etmek olanaksızdır. Bu konuda yapılmış olan teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilmiş formüller mevcuttur. Formüllerin tümü duvarların düşey taşıma güçlerini vermektedir. Ayrıca bunları güvenilir varsaymak da mümkün değildir (Bayülke 1980).

Yapı yönetmeliklerinde yığma yapılar için alt sınırlara ek olarak üst sınırlar da verilmiştir. Örneğin; betonarme yapılarda pencere, kapı gibi boşlukların konumu ve boyutunda sınırlandırma yok iken, bu boşluklar yığma yapılarda en önemli sınırlandırmayı teşkil etmektedir. Deprem sırasında yığma yapıların hızla çatlayıp ağır hasarlı bir duruma ulaşmalarından dolayı, bu durumun oluşmasını önlemek için dünya üzerindeki birçok ülke depremselliklerine göre, şartnamelerinde değişiklik gösteren geometrik sınırlandırmalar getirmişlerdir(Çöğürcü 2007).

Bu çalışmada, yığma yapının davranışını karakterize eden prototip yapının, deprem yükü altında en elverişsiz olduğu kabul edilen kısmı numune olarak seçilmiştir. Deney numuneleri deprem yönetmeliği esas alınarak boyutlandırılmıştır. Çözüm, doğrudan tuğla duvar üzerinde uygulanan deneylerle elde edilmeye çalışılmıştır. Numune duvarlar, düzlem dışı ve düzlem içi yüklemelerle her adımda 10 kN ilerlemek suretiyle tersiyer yükleme yapılarak test edilmiştir. Düzlem dışı yüklenmiş iki eksenli yük etkisine maruz kalan numune duvarlara ait yük, deplasman, süneklik, enerji yutma kapasitesi ve kırılma desenleri elde edilmiştir. 1.

numune olan referans duvarın örümünde ve sıvasında normal harç kullanılarak, 2. numune olan model duvarın örümünde ve sıvasında ise, kullanılan harca, harcın yapışma performansını artıracak katkı maddesi ön deneylerde belirlenen miktarda ilave edilmek suretiyle dayanım ve yük değişimleri izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, afet yönetmeliği esas alınarak yapılan çalışmalarda analitik çözümlemeler yapılmış ve yapılan uygulamanın geçerliliği ve uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

1.1. Yığma Yapının Tanımı

Düşey ve yatay (deprem, rüzgâr vb.) yüklerin taşıyıcı duvarlarla karşılandığı yapılara yığma yapılar denir. Bu duvarlarda oluşan hasarlar taşıyıcı sistemi etkiler. Yığma kargir yapı için şu tanımlar yapılmaktadır:

Yığma yapılar binadaki döşeme ve çatı gibi yatay taşıyıcı sistem yükleri, iç ve dış duvarlar tarafından taşınarak temele nakledilecek şekilde yapılan yapılardır. Bu tür yapılarda yükün tamamını duvar taşıdığından, yapının bazı bölümdeki duvarlarının yerlerinin değiştirilmesi veya kaldırılması yapının statiği bakımından tehlikeli ve zordur.

Yığma duvar, doğal taşların veya tuğla, beton briket, kumtaşı, gazbeton blok vb. yapay taşların, kireç, çimento vb. bir mineral bağlayıcı ile yapılmış harç kullanılarak örülmesi yoluyla oluşturulan yapı elemanıdır (Üstündağ 2000).

Ülkemizde, kırsal yörelerdeki yığma yapılar, duvarları moloz taşla örülmüş, harç olarak çamur kullanılmış ve damları topraktan inşa edilmiş yapılardır. Anadolu'nun kırsal yörelerinde evlere bakıldığında bir çeşitlilik vardır. Evlerin duvarları bazen taştan, bazen harman tuğlası veya briketten veya kerpiçtendir. Döşemeler bazen ahşap bazen betonarmedir. Damlar bazen topraktan, bazen betondan, bazen de ahşap iskelet üstünde kiremitten veya çinkodandır (Çöğürcü 2007).

1.2. Yığma Yapıların Analizi

Yığma yapıların içerdiği süreksizliklerden dolayı hetorojen ve anizotropik olması yapım sürecinin uzunluğuna bağlı olarak işçilik ve malzeme kalitesinin değişebilmesi, mevcut hasar durumunun tam olarak bilinememesi sebebiyle sayısal analizleri güç olmaktadır. Yığma yapıyı oluşturan blokların bğlantı bölgelerinde oluşan süreksizliklerin çekme dayanımları oldukça düşüktür ve yük altında bloklar arasında makaslama hareketleri oluşturmaktadır. Bu nedenle harç-blok birleşim yüzeyinin makaslama dayanımıda yapının mekanik davranışını etkilemektedir.

Çok karmaşık geometrik formlara sahip olan tarihi yapılar öncelikle elastik yöntemlerle analiz edilmeli, yapı içerisinde gerilme dağılım mekanizması belirlenmeli ve daha sonra komplike modellemeler yapılmalıdır.

Taş kemer köprüler, basit geometrik formlarından dolayı kubbe, tonzo ve kemerlerden oluşan diğer tarihi yapılara oranla daha kolay yorumlanabilen yapısal davranışa sahiptirler. Yığma yapılar, 3 boyutlu yapısal davranış sergileyen diğer yapıların tersine, köprü ana ekseni ve yerçekimi doğrultusundaki düşey eksenin oluşturduğu düzlem içerisinde asıl yük aktarma mekanizmasını gerçekleştirirler. Deprem ve sel gibi doğal afetlerin neden olduğu yük etkilerinden dolayı, elbette bu düzleme dik doğrultuda da önemli deformasyon ve iç kuvvetler oluşmaktadır. Ancak kemerli taş köprülerin geometrik formunu belirleyen yapısal davranış unsurları söz konusu düzlem üzerinde gerçekleşir (Kanıt 2006).

1.2.1. Yığma yapıların analizinde kullanılan yöntemler

Yığma yapıların analiz edilebilmesi için bugüne kadar çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bunları kısaca sıralayacak olursak;

- ✓ Geometrik yük faktörü
- ✓ Doğrusal elastik sonlu elemanlar analizi

- ✓ Limit bloklu analizi
- ✓ Doğrusal olmayan elastik-plastik sonlu elemanlar yöntemi
- ✓ Ayrık elemanlar yöntemi

Geometrik yük faktörü yönteminde, geometrik güvenlik faktörü kemerin kalınlığının, uygulanan yükü karşılayabilecek minimum kalınlığa oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem yük altında kemerde oluşan deformasyonları hesaplayamamaktadır ve sonuçları mühendisin yargısına oldukça hassas bir biçimde bağlıdır (Kanıt 2006).

Doğrusal elastik sonlu elemanlar yöntemi ise çalışma yükleri altında yığma yapıda, oluşacak olan deformasyonları hesaplayabilmekle birlikte yapının göçme mekanizmasını ve yükünü verememektedir.

Limit bloklu analizi, yığma yapıyı rijit blokların birleşiminden oluştuğunu kabul ederek yenilme yükünü ve mekanizmasını belirleyebilmektedir.

Doğrusal olmayan elastik-plastik sonlu elemalar yöntemi ise, hem yığma yapı sisteminin deformasyonlarını hem de göçme mekanizması ile plastik bölgelerini hesaplayabilmektedir. Ancak, bu yöntemin en önemli dezavantajı süreksizlikler içeren yığma yapı sisteminin, sürekli ortam kabulleriyle çözülmeye çalışılmasıdır. Bu nedenle süreksizlikler içeren anizotropik yığma yapı sisteminin eşdeğer bir deformasyon modülü ve dayanım parametreleri ile temsil edilmesi gerekir. (Kanıt 2006).

1.3. Yığma Binaların Yapımında Kullanılan Malzemeler

Yığma binalarda kullanılan harçların, sınıflandırılması, harç karışımları, harçların basınç dayanımı, harman tuğlası, fabrika tuğlası, briket ve kerpiç ile ilgili Türk Standartlarında verilen tanımlar bu bölümde ele alınmıştır.

Yığma ünitelerde, duvarların inşasıyla ilişkili olarak kullanılan mekaniksel ve fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir (Hendry 2001).

- ✓ Renk
- ✓ Emme ve yapıdaki gözenek
- ✓ Yangın direnci
- ✓ Doku yüzeyi
- ✓ Isı iletkenliği
- ✓ Basınç mukavemeti
- ✓ Ağırlık
- ✓ Isı ve nem hareketi
- ✓ Çekme mukavemeti

1.3.1. Yığma yapılarda kullanılan harçlar

Taşıyıcı duvarları oluşturan taş, tuğla, briket vb. elemanları birbirine bağlayan malzemeye harç denir. TS 2848 Kargir Duvar Harçları ile ilgili standartlarda harç için yapılan tanım söyledir;

Harç, TS 2717' ye bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürülmüş toz kireç, harç çimentosunun uygun harç kumu ile 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 malzemesidir. Harçların basınç dayanımlarına göre hangi sınıfa girdikleri belirlenebilir.

1.3.1.1.Harçların sınıflandırılması

Harçlar basınç dayanımlarına göre beş sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflama aşağıda verilmiştir.

1-A sınıfı harç **2-** B sınıfı harç **3-** C sınıfı harç **4-** D sınıfı harç **5-** E sınıfı harç

1.3.2. Harç karışımları

Duvar harcı karışımlarında, harç grubuna göre gerekli agrega ve bağlayıcı miktarları hacim olarak Çizelge 1.2'de verilen değerlere uygun olmalıdır. Harcın kullanılacağı yere ve koşullara uygun kıvamda olabilmesini sağlayacak miktarda su katılmalı, derzden akıp giderek derzi kısmen boş bırakacak kadar akıcı olmayan plastik bir kıvam gerçekleştirilmelidir (Çöğürcü 2007).

Çizelge 1.2 Harç karışımları (hacim olarak)

Harç Sınıfı	Tip No	Kum	Çimento	Harç Çimentosu	Kireç Hamuru	Toz Kireç
		1.3 t/m^3	1.2 t/m^3	1.0 t/m^3	1.3 t/m^3	0.6 t/m^3
A	-	3	1	-	-	-
B	1	4	1	-	-	-
	2	4	1	½	-	-
	3	4	1	-	-	½
	4	4	1	-	-	1
C	1	7-9	1	2	-	-
	2	5	1	-	-	-
	3	5	1		1	
D	1	6-8	1	-	2	-
	2	6-8	1	-	-	3
	3	2-3	-	1	-	
E	-	3	-	-	1	-

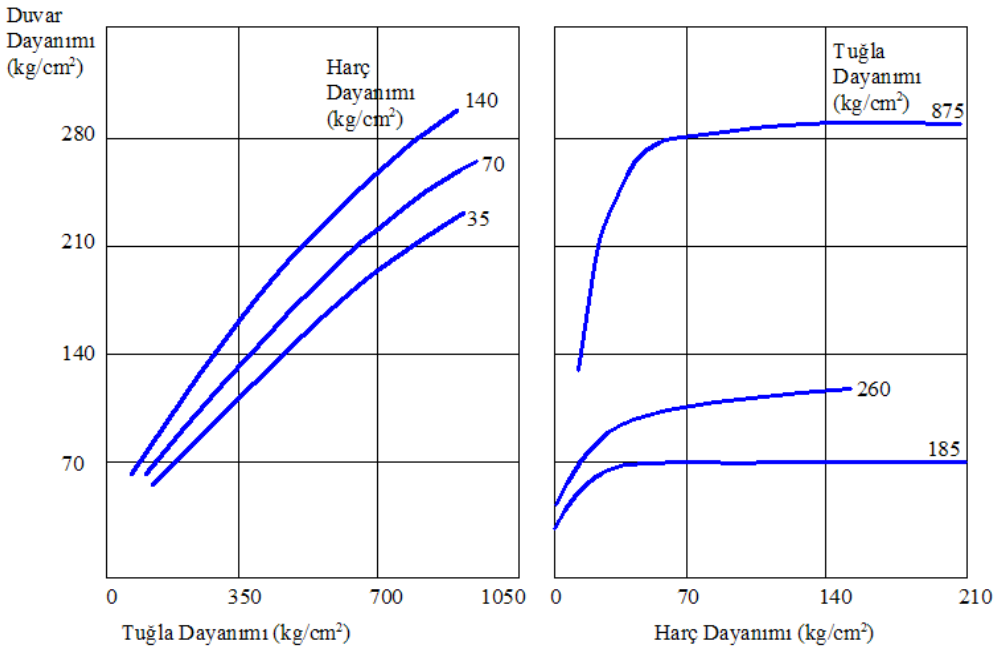
1.3.2.1. Harçların basınç dayanımı

Harç üzerine TS 2848'de tarif edilen basınç dayanımı deneyi uygulandığında bulunan sonuç minimum basınç dayanımlarının üzerinde olmalıdır. Harç sınıfları için minimum basınç dayanımları Çizelge 1.3'de verilmiştir. Ayrıca harç, üzerinde yapılan sarsma tablası deneyinde % 110 ± 5 oranında bir yayılma oluşturacak kıvamda olmalıdır.

Çizelge 1.3 Harçlarda minimum basınç dayanımları

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

Tuğla-harç-duvar basınç dayanımlarını gösteren grafik detaylı olarak Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3 Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki

1.3.3. Tuğla

Yığma yapı duvarlarında fabrika tuğlası ve harman tuğlası olmak üzere başlıca iki tip tuğla vardır.

Harman tuğlası ile ilgili tüm bilgiler TS704'ten, fabrika tuğlası ile ilgili tüm bilgiler TS 705'ten alınmıştır.

1.3.4. Harman tuğlası

Duvar yapımında kullanılan harman tuğlası kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya birlikte yoğrulup su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu ve benzerleri ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup genellikle harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen bir malzemedir. Harman tuğlaları basınç dayanımlarına ve biçimlerine göre iki şekilde sınıflandırılırlar(Kaya 2003).

Harman tuğlaları basınç dayanımlarına göre iki sınıfa ayrılırlar.

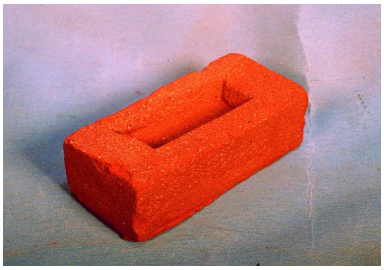
I- Az dayanımlı harman tuğlası **II-** Orta dayanımlı harman tuğlası

Harman tuğlaları biçimlerine görede iki sınıfa ayrılırlar.

I-Dolu Harman Tuğlası (DOHT) **II-**Delikli Harman Tuğlası (DEHT)

Harman tuğlalarının biçim ve basınç dayanımlarına göre ortalama değerleri Çizelge 1.4'de verilmiştir (Çöğürcü 2007).

Dolu harman tuğlası dikdörtgenler prizması şeklinde olmalı, yüzleri ve kenarları düzgün bulunmalıdır. Dolu tuğlaların üst yüzünün ortasında, derinliği 10 mm'den fazla olmayan çukurluklar bulunabilir. Kullanılan harman tuğlası şekli Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.4 Harman tuğlası şekli

Çizelge 1.4 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası

SINIFLAR		Tuğlanın Sembolü	Ortalama Hacim Ağırlığı (max) kg/dm^3	Ortalama Basınç Dayanımı (min) kg/cm^2	Basınç Dayanımı (min) kg/cm^2
Dolu Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DOHT/50	Sınırlandırılmamıştır.	50	40
	Az Dayanımlı	DOHT/30	Sınırlandırılmamıştır.	30	25
Delikli Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DEHT/50	1.40	50	40
	Az Dayanımlı	DEHT/30	1.40	30	25

Düşey delikli harman tuğlasında bulunan delikler, tuğlanın alt ve üst yüzlerinde olabildiğince eşit aralıklarla yayılmış bulunmalı ve bu yüzlere dik olarak tuğlanın bütün yüksekliği boyunca devam etmelidir(Kaya 2003).

Deliklerin toplam enkesit alanı, bulundukları tuğla yüzü alanının %25'inden büyük olmamalıdır. Dikdörtgen biçimli bir delik kesitin kenar uzunluğu 15 mm'den küçük ve enkesiti 4.5 cm’den büyük olmamalı ve daire biçimli deliklerin çapları 25 mm'yi aşmamalıdır. Harman tuğlasının boyutları Çizelge 1.5’de verilmiştir.

Çizelge 1.5 Harman tuğlasının boyutları

		TOLERANSLAR (mm)
Uzunluk (mm)	190	+6
		-13
Genişlik (mm)	90	+4
		-5
Yükseklik (mm)	50	+3
		-2

1.3.5. Fabrika tuğlası

Kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinelerle şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen fabrika tuğlası duvar yapımında kullanılan malzemelerden biridir. Fabrika tuğlaları dona dayanıklılıklarına ve delik oranlarına göre iki şekilde sınıflandırılırlar.

Delik oranlarına göre fabrika tuğlaları üç sınıfa ayrılır(Kaya 2003).

1. Az Delikli Tuğla **2.** Seyrek Delikli Tuğla **3.** Dolu Tuğla

Dona Dayanıklılıklarına göre ise iki sınıfa ayrılırlar.

1. Dona Dayanıklı Tuğla (Cephe Tuğlası) **2.** Dona Dayanıksız Tuğla

Fabrika Tuğlasının basınç dayanımı yapıldığı toprağın cinsine, porozitesine, pişirilme ısısına, üretim biçimine, delikli tuğla ise deliklerin miktarına ve deliklerin yerine, kenarların biçimine ve yükleme yönüne bağlıdır.

Tuğlalardan oluşturulan duvarın basınç dayanımı ile fabrika tuğlalarının basınç dayanımları arasındaki ilişki Şekil 1.5'de verilmiştir(Aytun 1982).

Fabrika tuğlasının basınç dayanımı TS705'e göre uygun olarak hazırlanan numunenin kırılmasına neden olan P_k yükü, A yükleme alanına bölünerek (1.1)'deki bağıntıyla hesaplanır:(Çöğürcü 2007).

$$f_b = \frac{P}{A_o}.k^* \tag{1.1}$$

Burada;

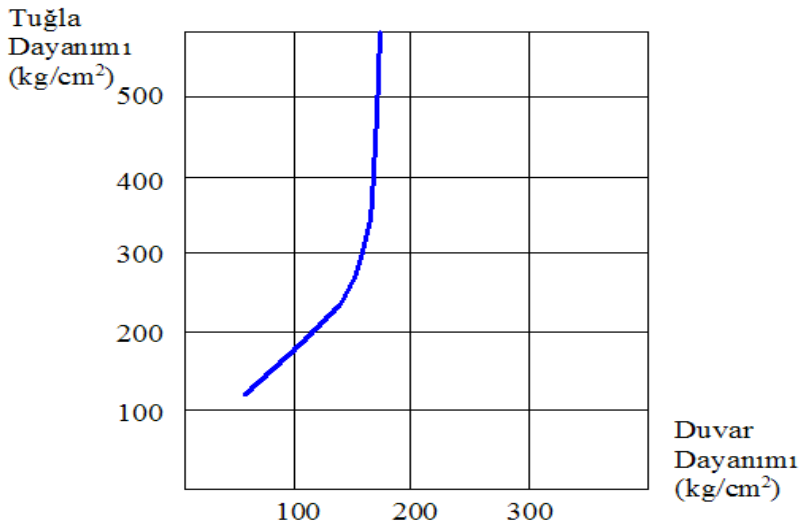
f_b = Tuğlanın basınç dayanımı (kg/cm^2)

P_k = Kırılma anındaki yük (kg)

A_0 = Tuğlanın basınç uygulanan yüzünün alanı (cm^2)

k^* = Tuğlanın biçim katsayısı (Çizelge 1.6)

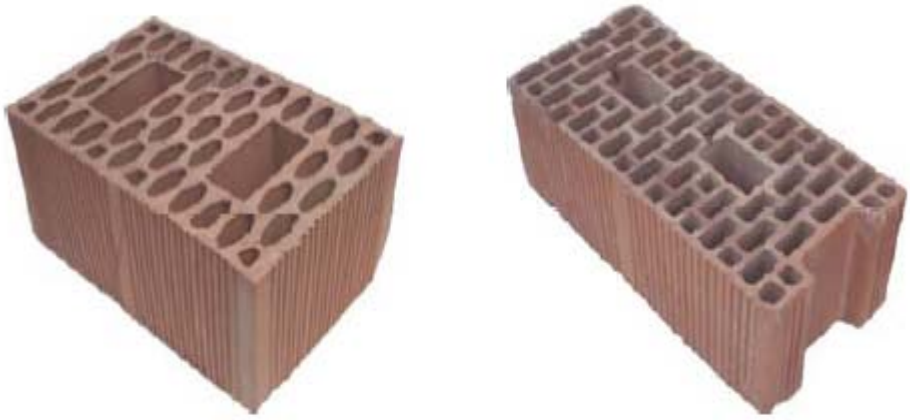
Alanın hesaplanmasında, delik alanları A_0 yükleme alanından düşülmez.



Şekil 1.5 Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki

Tuğlaların basınç dayanımında deliklerin oranı kadar tuğlanın biçimleri de etkiler. Delik oranı aynı fakat daha çok sayıda küçük deliklerden oluşan bir tuğlanın basınç dayanımı daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni boşlukları çevreleyen dolu kesitlerin burkulma boylarının küçük delikli tuğlalarda daha küçük olmasıdır.

Boşluk oranı aynı fakat delik biçimleri farklı olan tuğlaların da basınç dayanımı farklı olmaktadır. Aynı boşluk oranına sahip farklı boşluk şekillerinden oluşan tuğlalar üzerinde yapılan bir araştırmada delikler nedeniyle oluşan gerilme birikimlerinin oranları karşılaştırmıştır. Buna göre dolu tuğlada gerilim birikimi 1.0 olarak alınırsa dairesel delikli tuğlada bu oran 4.97, eliptik delikli tuğlada 991, dikdörtgen delikli tuğlada 7.1 olmaktadır. Eğer dikdörtgen deliklerin köşeleri yuvarlatılırsa gerilme birikimi daha da azalmaktadır. Söz konusu araştırmada dairesel delikli tuğla, delik oranlarının aynı olduğu dikdörtgen ve kare delikli tuğlalara göre daha yüksek dayanımlı olduğu ortaya çıkmıştır. Fabrika tuğlası ile ilgili şekiller Şekil 1.6'da verilmiştir(Çöğürcü 2007).



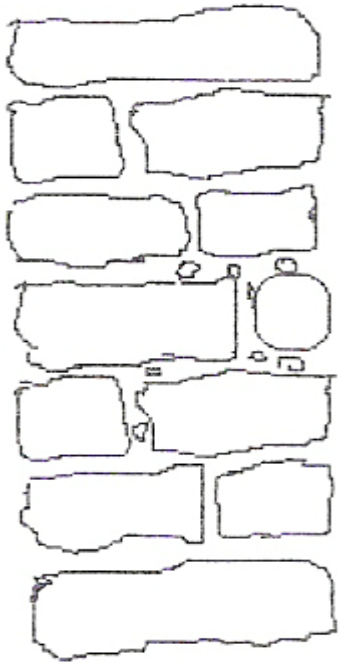
Şekil 1.6 Fabrika tuğlası şekilleri

Çizelge 1.6 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları (k*)

Tuğla Anma Yüksekliği (mm)	Biçim Katsayısı (k*)
135	1.00
185	1.10
235	1.25

1.3.6. Doğal yapı taşları

Mevcut taş ocaklarından çıkarılan, homojen, atmosfer etkilerine dayanıklı, petrografik ve teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanılmaya elverişli olan taşlara doğal yapı taşları denir. Yığma yapıların yapımında kullanılacak doğal taşlar ocak taşı olmalı ve bünyelerinde çatlak kısımlar ve hava etkisi ile ayrışmış veya ayrışmaya başlamış kısımlar bulunmamalıdır. Taşların, elde edildikleri ocağın açık yüzeyine yakın yerlerinden çıkarılmış olanlarının, hava tesirleri ayrışmış, bozulmuş veya rengi değişmiş kısımları, taş ocağında iken temizlenmeli ve yapı yerine getirilmiş olan taşların hiç bir yerinde bu şekilde bozulmuş, ayrışmış veya renk değiştirmiş kısımların bulunmaması sağlanmalıdır(Kaya 2003). Doğal yapı taşı örgü biçimi Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7 Doğal yapı taşı ile duvar örgüsü

Doğal yapı taşlarının cinslerine göre TS 2513'de verilen minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları Çizelge 1.7'de verilmiştir.

Çizelge 1.7 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları

Taşın Cinsi	Minimum Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Eğilmede Minimum Çekme Dayanımı (kg/cm^2)
Kalker, traverten, kireç bağlayıcılı kumtaşı	350	30
Yoğun kalker, dolomit, bazalt	500	40
Silis bağlayıcılı kumtaşı, grovak	800	60
Granit, siyenit, diorit, melafir, diabaz, andezit	1200	75
Diğer tortul ve metamorfik taşlar	500	50
Diğer püskürük taşlar	1400	80

1.3.7. Kerpiç

Ülkemizdeki özellikle kırsal kesimlerdeki yığma yapıların büyük oranı kerpiçten imal edilmektedir. Bu yapıların belirli kurallara göre yapılmasını ve dolayısıyla deprem ve su baskını gibi afetlerde can ve mal kaybının en aza indirilmesini amacıyla Nisan 1985'te Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları adıyla TS 2515 hazırlanmıştır. Kerpiç bloklar ve bu blokların yapım kuralları ile ilgili yönetmelik ise Şubat 1977'de hazırlanan TS 2514'tür. Kerpiç bloklar bu yönetmeliklere uygun imal edilmelidir.

Kerpiç, duvar örmek için kullanılmak üzere tahta kalıplara dökülmek suretiyele güneşte kurutularak üretilen bir yığma yapı malzemesidir. Daha çok köy evlerinin yapımında kullanılır. Hem iktisadi bakımından ucuz, hem de kışın sıcak tuttuğu için tercih edilir. Bir çeşit pişirilmemiş tuğla gibidir. Kerpiç yapılacak toprak, su ile karıştırılarak içine saman serpilir ve karışım ayakla çiğnenip ezilmek suretiyle çamur haline getirilir. Bu işe çamurun özlendirilmesi denir. Özlendirilmiş çamur, kerpiç biçimine sokulmuş, tahta bölmelerden yapılı kalıplara dökülür. Çamur kalıplara döküldükten sonra iyice sıkıştırılır. Bu sıkıştırma yapılmazsa kerpiç zayıf olur. Sıkıştırılan çamurun üstü düzgünce bir tahta ile düzeltilir ve fazla çamur da atılmış olur. Sonra kalıp çekilerek, çamur düz bir yerde kalır. İmkân varsa önce gölgede kurutulduktan sonra güneşte bırakılır. Kerpicin her tarafının kuruması için güneşe bakan yüzleri zamanla değiştirilerek çabuk kuruması sağlanır.

Kerpiç blokları boyutlarına göre ikiye ayrılırlar. Bunlar ana ve kuzu diye adlandırılır. Kerpiçlerin boyutlarına göre sınıflandırılması Çizelge1.8'de verilmiştir(Gülkan ve ark. 1988).

Çizelge 1.8 Kerpiçlerin sınıflandırılması

Sınıf	Boyutlar (cm)	1 Hacim (dm^3)	Yaklaşık Ağırlık (kg)
I	12x19x40	9.12	10–12 (Kuzu)
II	12x30x40	14.40	15–25 (Ana)
III	12x18x30	6.48	7–11 (Kuzu)
IV	12x25x30	9.00	10–15 (Ana)

Bu bloklarda basınç deneyi, mastar görevi yapacak olan bir çerçeve içine aralarına bir kısım çimento, üç kısım yıkanmış ince kum (0.2 mm – 1.0 mm) dan yapılan bir harç ile ve en çok 1.5 cm kalınlığında bir harç konulmak suretiyle birbirleri üzerine oturtularak yapılır. Mastar çerçeve çevrilerek dikilmek suretiyle kerpiçlerin dış yüzleri 3 mm 'yi geçmeyecek şekilde aynı harçla birbirlerine paralel olacak şekilde düzeltilir. Basınç deneyi bu şekilde hazırlanan numune 7 gün bekletildikten sonra uygulanır. 7 gün sonra mastar çerçeveden çıkarılan deney numunesinin kırılma yükü deney presi altında saptanır(Çöğürcü 2007).

Kerpicin basınç dayanımı:

$$\sigma_k = \frac{P_{max}}{A} \tag{1.2}$$

Burada;

P_{max} = Kırılma yükü (kg)

A = Numunenin basınç uygulanan alanı (cm^2)

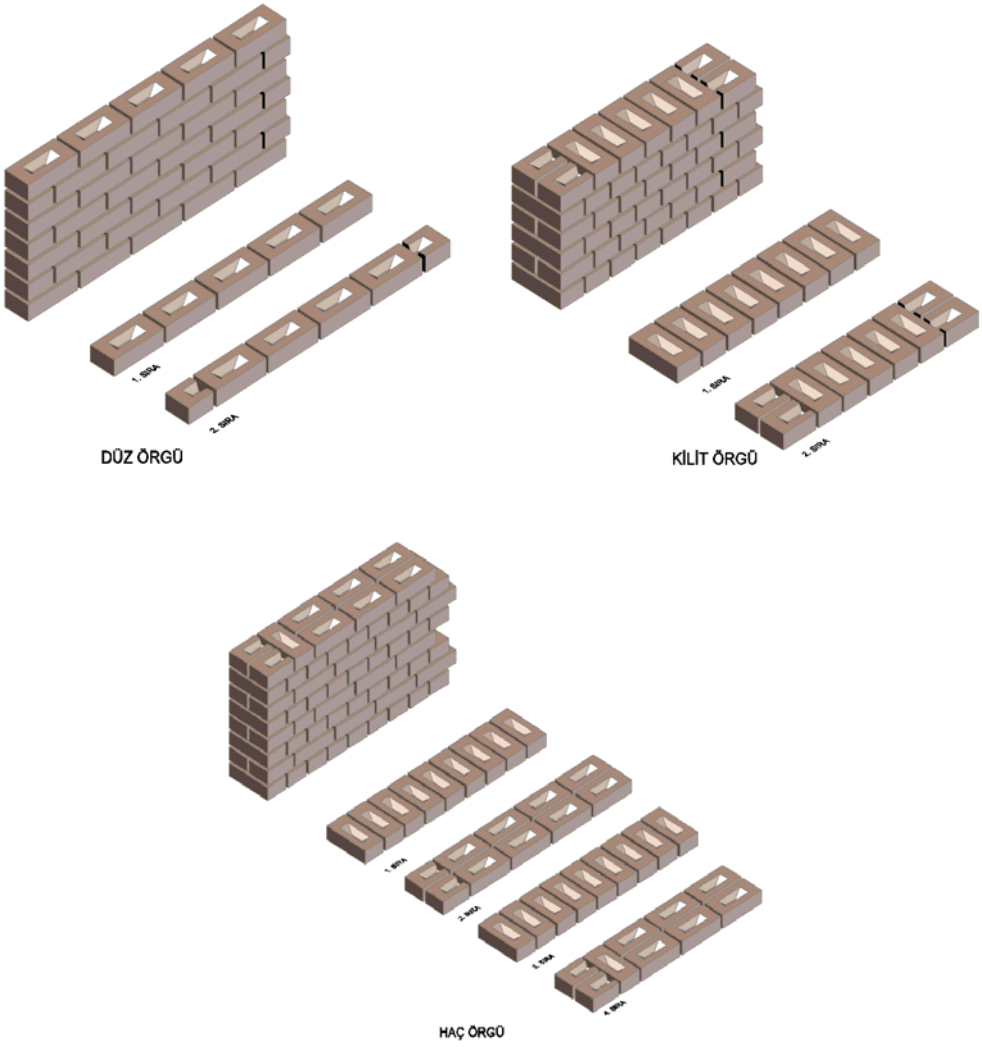
σ_k = Kerpicin basınç dayanımı (kg/cm^2)

Deney uygulandığında kerpiçlerin en küçük basınç dayanımı 8 kg/cm^2,den az ve ölçülen numunelerin ortalaması 10 kg/cm^2'den az olmamalıdır(TS 705).

1.4. Yığma Yapılarda Genellikle Kullanılan Örgü Türleri

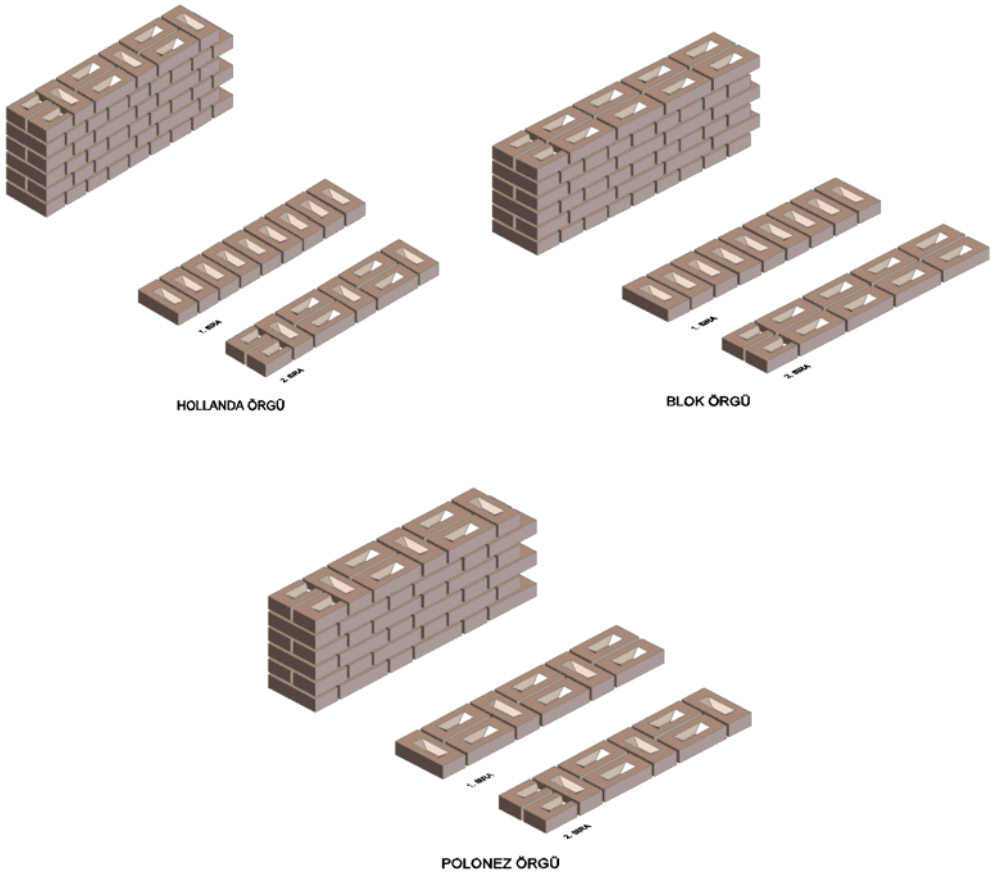
Yığma yapılar, tuğlaların uç uca ve yan yana düzgün bir şekilde konumlandırılması ile oluşan farklı dizi ve örgü şekillerinde inşaa edilirler. Yığma yapı örümünde en çok kullanılan 6 tane örgü türü vardır. Bunlar düz örgü, kilit örgü, haç örgü, polonez örgü, blok örgü ve hollanda örgüdür.

Düz örgü, düz dizilerin üst üste konulması ile oluşturulur. İkinci sıraya yarım tuğla ile başlanarak dik derzlerin üst üste gelmemesi sağlanır. Yarım tuğla kalınlığındaki yük taşımayan bölme duvarların ve bacaların örülmesinde kullanılır. Kilit örgü, dizilerin birbiri üzerine çeyrek tuğla kaydırılarak konulması ile oluşturulur. Çeyrek tuğla kaydırmayı sağlamak için ikinci sırada düz olarak bitirilecek uca iki adet üççeyrek tuğla düz olarak konulur. Bir tuğla kalınlığındaki düz ve kavisli duvarların örülmesinde kullanılır. Haç örgü, kilit ve düz sıralar kullanılarak yapılır. Düz sıraların dik derzleri bir alttaki düz sıranın dik derzlerinden yarım tuğla kaydırılarak yapılmasıdır. Böylece duvar yüzeyinde haç görüntüleri ortaya çıkar. Bir tuğla kalınlığındaki veya daha kalın duvarların örülmesinde kullanılır. Düz örgü, kilit örgü ve haç örgü ile ilgili örülme şekilleri Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8 Düz örgü, kilit örgü ve haç örgü örme şekilleri

Kilit örgü, ilk sıranın üzerine düz sıra konulması ile oluşturulur. Dik derzler çeyrek tuğla kaydırılır. Bunun için ikinci sıraya üççeyrek tuğlalarla başlanır. Bir tuğla kalınlığındaki ve daha kalın duvarların yapımında kullanılır. Polonez örgü, tuğlaların bir düz bir kilit konmasıyla elde edilir. Birinci sıra kilit konulan tuğla ile başlar. İkinci sırada kilit tuğlaların üzerine düz, düz tuğlaların üzerine kilit tuğla konur. Bir veya iki tuğla kalınlığındaki yüzeyi sıvanmayacak, görünüşü güzel olması istenen duvarların yapımında kullanılır. Hollanda örgü ise, duvarın birinci sırası kilit dizi, ikinci sırası Polonez örgünün ikinci sırası kullanılarak yapılan örgüdür. polonez örgü, blok örgü ve hollanda örgü ile ilgili örme şekilleri Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9 Hollanda örgü, polonez örgü ve blok örgü örme şekilleri

1.5. Düşey ve Yatay Kuvvetler Altında Kalan Yığma Yapıların Davranışı

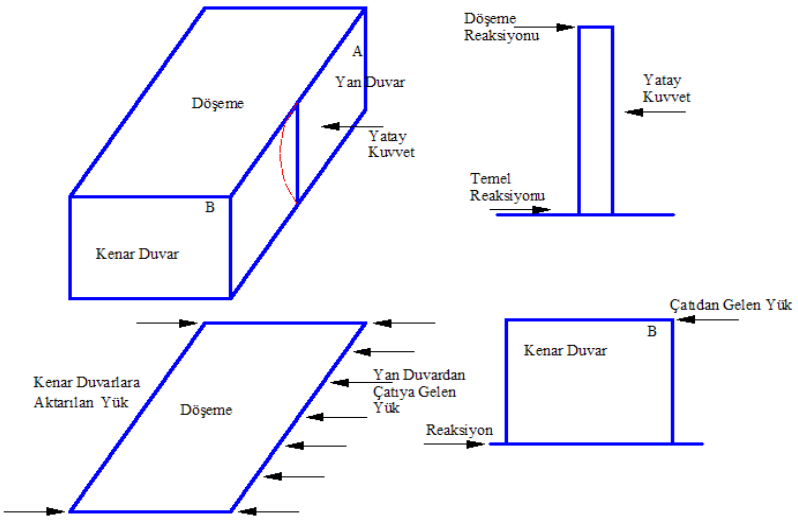
1.5.1. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarlar

Yığma yapılara gelen yatay ve düşey yükler düşey elemanlar yani duvarlar tarafından karşılanır. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar, donatılı veya donatısız olarak üretilebilirler. Tuğla gibi yığma yapı elemanları gevrek malzemelerdir ve çekme mukavemetleri çok düşüktür. Yapıya sadece düşey yükler etkidiği zaman bu özellik önemli bir dezavantaj oluşturmasa da, duvarda büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğunda, malzemenin bu karakteristik özelliği uygulamaya bazı kısıtlamalar getirir. Betonarme de olduğu gibi, yığma

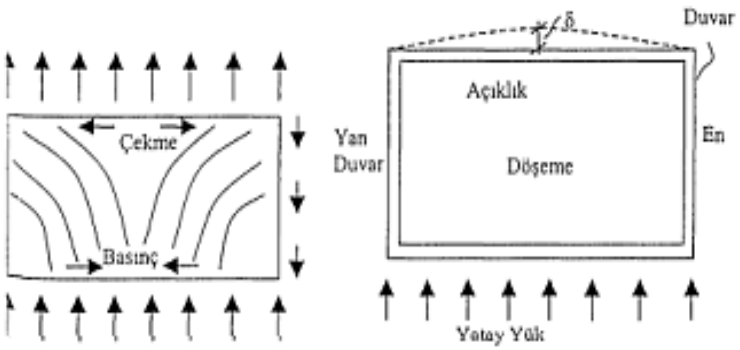
duvarlarda da donatı veya öngerilme elemanları kullanılarak bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler ve hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır. Donatı, duvardaki düşey ve/veya yatay boşluklara yerleştirilir ve daha sonra bu boşluklar beton veya harç ile doldurulur. Donatı konulup betonla doldurulmuş bu boşluklar, yığma duvarın içinde rijit bir betonarme çerçeve oluştururlar(Corradi 2003).

1.5.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı

Yığma yapılarda yan duvara gelen yatay kuvvet (deprem kuvveti veya rüzgar basıncı) altında duvarın kesiti, uçlarından çatıya ya da kat döşemesine ve zemine oturan bir kiriş gibi davranmaktadır. Yatay yükün duvarlara dağılımı Şekil 1.10'da gösterilmiştir. Bundan başka duvar üst kattan ve çatı döşemesinden gelen eksenel yüklerinde etkisi altındadır. Bu eksenel gerilmelerde dikkate alınmalıdır. Duvarın üstünden çatı sistemine aktarılan yatay kuvvetler daha sonra eğer varsa çatı döşemesinde Şekil 1.11'de görülen gerilme dağılımını oluşturur. Bu yükler daha sonra çatının oturduğu kenar duvarlarda duvar düzlemine paralel kesme kuvvetleri oluşturmaktadır(Kaya 2003).



Şekil 1.10 Yatay yükün duvarlara dağılımı

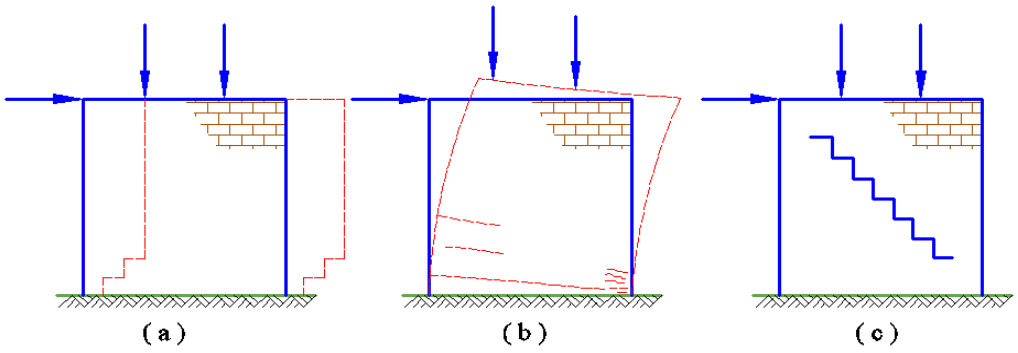


Şekil 1.11 Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı

Burada döşemenin diyafram davranışı gösterebilmesi için belli bir en / boy oranı vardır. Bu oran yerinde dökme betonarme plak için 1 /5, prefabrike betonarme döşemelerde 1 / 4, ahşap kontraplak döşemelerde 1 / 2 olarak verilmektedir.

1.5.1.2. Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarların göçme şekilleri

Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarlarda göçme şekli üç farklı şekilde meydana gelir. Bunlar; dönmeden yatay ötelenme göçmesi, eğilme göçmesi ve kayma göçmesidir. Bunlarla ilgili şekiller Şekil 1.12' de verilmiştir.



Şekil 1.12 Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri

1.5.1.2.1. Dönmeden yatay ötelenme göçmesi

Düşey ve yatay kuvvet taşıyan yığma duvarların göçme şekillerinden biri dönmeden yatay ötelenme göçmesidir. Bu göçme şekli, duvarın tüm kısımlarının taban veya harç yüzeyi boyunca toptan yatay ötelenmesi ile olur (Şekil 1.12a). Duvar bu göçme şekline, tabandaki ankrajların veya duvar içinde bulunan düşey donatının dübel etkisi yapması ile veya harç yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti ile karşı koyar. Genellikle bu göçme şekli donatılı duvarlar için büyük bir tehlike olmamakla birlikte, donatısız yatay yük taşıyıcı duvarlarda ve buhar kesici, rutubet önleyici kullanılan duvarlarda, sürtünme kuvvetinin, dönmeden yatay ötelenme göçmesine engel olacak büyüklükte olup olmadığı kontrol edilmelidir(Demir 1992).

1.5.1.2.2. Eğilme göçmesi

Eğilme göçmeside diğer bir göçme şeklidir. Bu göçme şeklinde duvar düşey bir konsol gibi davranır(Şekil 1.12b). Duvarın içinde bulunan tüm düşey donatıların aktığı ve basınç bölgesinin, duvarın uç kısmında olacağı kabulü yapılarak, duvarın mukavemeti yeterli yaklaşıklıkta hesaplanabilir. Duvarın topuk bölgesindeki çekme donatılarının akması ya da uç bölgesindeki malzemenin ezilmesi bu tip göçme şeklinde duvarın taşıma kapasitesini belirleyen etkenlerdir.

1.5.1.2.3. Kayma göçmesi

Bir başka göçme türü ise kayma göçmesidir. Yatay ve düşey kuvvet taşıyan yığma duvarların kayma göçme şeklini anlayabilmek için öncelikle bu duvarların kayma ve basınç kuvvetleri etkisindeki davranışlarını incelemek gerekir.

Yığma duvarların kayma kuvvetlerine dayanımı, yığma yapı elemanı ve harç arasındaki bağ kuvvetlerine bağlıdır. Yığma yapı elemanı ve harç arasındaki aderansın mekanizması tamamen anlaşılamamış olmasına rağmen, aderansı

etkileyen, harç dayanımı gibi, birçok faktörün bulunduğu bilinmektedir. Bu faktörlerin içinde en önemlilerinden biri, yığma duvar elemanının su emme kapasitesidir. Yüksek su emme kapasitesine sahip yığma duvar elemanları, harcın içindeki suyu kapiler olarak çekeceğinden, harçtaki çimentonun prizini alabilmesi için yeterli miktarda su bulunmayacak ve yığma yapı elemanı ve harcı arasında birkaç milimetrelik kötü dayanımlı tabaka oluşacaktır. Bu tabaka yığma yapı elemanı ve derz arasındaki aderansın mukavemetini düşüreceğinden dolayı, yığma duvarın kayma dayanımım kötü yönde etkileyecektir. Çimento/kireç/kum harçlarının su tutma özelliği çimento/kum harçlarından daha yüksektir ve bu tür harçlardan yapılmış derzlerde bu etki daha az olmaktadır(Çöğürcü 2007).

Yatay ve düşey yükler etkisi altında kalan yığma duvarlarda iki eksenli gerilme hali meydana gelir. Bu yükleme durumunda duvarlarda oluşan gerilmeler, genellikle, yatay ve düşey yüklerin duvar kesit alanına bölünerek hesaplanan, sırasıyla, ortalama kayma gerilmesi ve ortalama normal gerilme cinsinden ifade edilir. Duvarın kayma dayanımı Coulomb formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$T = To + U.Go \qquad (1.3)$$

Kayma göçmesinde duvara etki eden düşey ve yatay yükler altında oluşan gerilmeler, duvar üzerinde kayma dayanımını aştığı zaman, duvar ekseni boyunca birbirini izleyen düşey ve yatay derzler boyunca oluşan diyagonal çatlaklar oluşur ve duvar göçer. (Şekil 1.12c) Donatısız yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma mukavemeti, denklem (1.3)'de de görüldüğü gibi, sürtünmeyi arttırıcı etkisi olan düşey eksenel yüke (Go) önemli ölçüde bağlıdır. Başlıklı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda, duvarın kayma mukavemeti hesaplanırken, başlıkların alanı ihmal edilir(Stierwalt 2004).

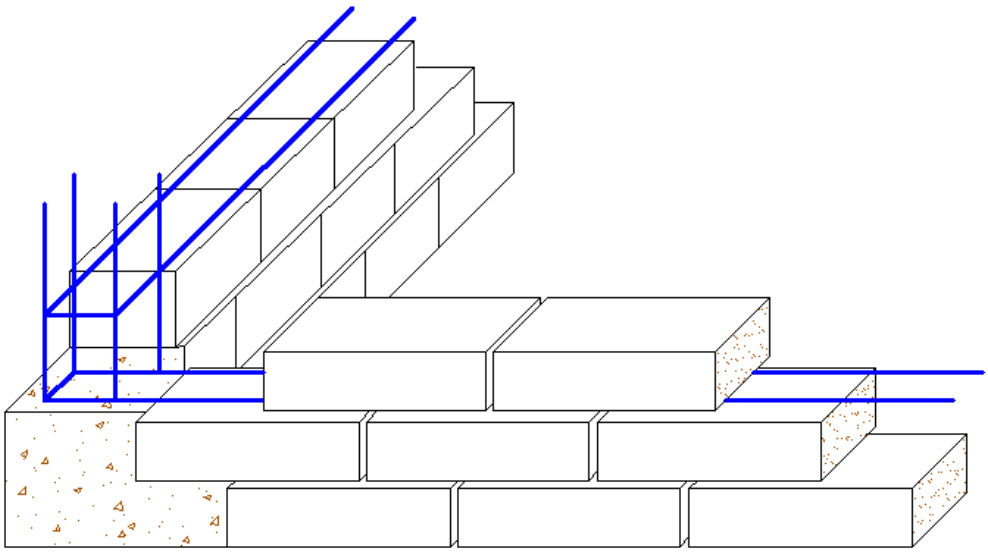
1.5.1.3. Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar

Esasen yığma yapıların çoğunluğu donatısız olarak yapılmaktadırlar. Harç, mukavemeti düşük bir malzemedir ve tuğlaların birbirleri ile olan bağları duvarın dayanımını etkilemektedir. Kalın duvarlar boyuna yönde olduğu kadar kalınlığına

olan yönde de bağları sağlam olmalıdır. Bütün duvarlarda bilinmesi gereken yapım kurallarından birisi dikey olarak derzlerin çakışmaması gerektiğidir. Buna rağmen tuğla duvarların eğilme dayanımları; basınç dayanımlarının yanında çekme dayanımlarının çok az olmasından dolayı sınırlıdır(Kaya 2003).

Donatılı yığma yapılar deprem etkisinden dolayı oluşacak kesme, eğilme ve torsiyon etkilerine karşı efektif olarak dayanıklı olan bir sistemdir. Bu dayanımını harç içine yerleştirilmiş olan donatı çubukları sayesinde kazanmaktadır(Emeritus 2001). Donatılı yığma yapılar depreme karşı dayanımını kanıtlamış bir sistemdir. Özellikle az ve orta gelirli ülkelerde ve deprem tehlikesine maruz bölgelerde alternatif bir sistem olarak uygulanmaktadır.

Yığma duvarlarda donatı kullanılması birçok avantaj sağlar. Daha önce de açıklandığı gibi, gevrek malzeme olan yığma yapı elemanlarının çekme mukavemetleri çok düşüktür ve bu özellik büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğu hallerde uygulamaya kısıtlamalar getirir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler, hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır ve kayma göçmesini, dübel etkisi yaparak, engeller, fakat duvarın kayma taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemez (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 Basit donatılı yığma bina

Donatılı yığma duvarların kayma dayanımlarını etkileyen faktörler, duvarın yüksekliğinin enine oranı (h/l), donatının miktarı donatının dağılımı ve yığma yapı elemanının malzeme özellikleridir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, duvarın kayma dayanımı, duvarın yükseklik/en (h/l) oranındaki düşüş, düşey eksenel yükteki artış ve duvarın boşluklu blok tuğladan örülmüş olması halinde donatı yerleştirilmemiş boşlukların da harç veya beton ile doldurulması ile artmaktadır. Duvar yüksekliği boyunca düzenli yerleştirilmiş yatay donatılar, yatay yükler altında duvarda diyagonal çatlaklar oluşmasıyla çekme gerilmelerine maruz kalırlar ve böylece duvardaki kayma gerilmelerinin karşılanmasında önemli rol oynarlar. Düşey donatılar ise bu etkileri dübel davranışı ile karşılarlar (Mcniven ve ark. 1989).

Tuğla duvarlarda donatı uygulanmasının en basit formu derzlere donatı yerleştirilmesidir. Bu genellikle boşlukların kenarlarında uygulanabilir. Çünkü boşluk köşeleri gerilme yığılmalarının oluştuğu ve çatlakların başladığı yerlerdir. Derzlerde ıslak harç içerisine donatı yerleştirmenin uygulama zorlukları vardır. Donatının etrafı tamamıyla harç tarafından kaplanmalıdır. Korozyon tehlikesi olan yerlerde galvanizli çelik kullanılması uygun olurken deniz kıyılarında ve kirli çevrelerde

paslanmaz çelik kullanılması tavsiye edilir. Donatılı yığma yapının örülmesi Şekil 1.14'de verilmiştir.



Şekil 1.14 Donatılı yığma yapının örülmesi

1.5.1.4. Yığma dolgu duvarlar

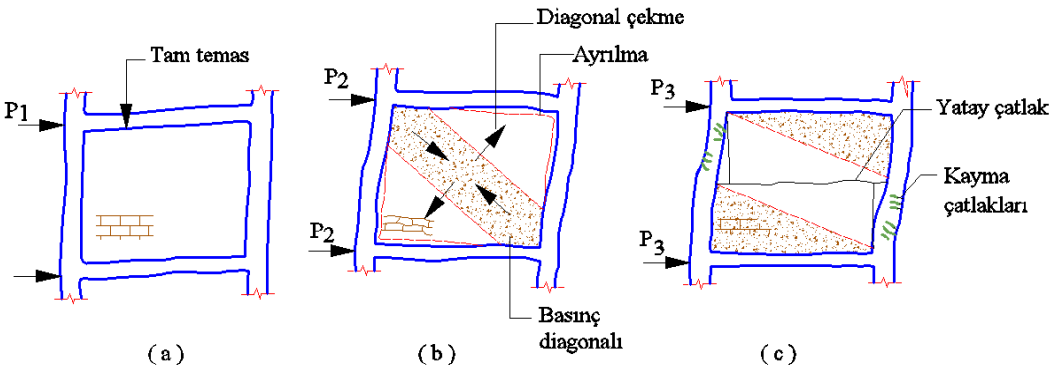
Taşıyıcı sistemi betonarme veya çelik çerçevelerden oluşan birçok sistemde, bu çerçevelerin içine yığma dolgu duvarlar örülür. Yığma dolgu duvarlar, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen, taşıyıcı sistemin yatay yükler altında çözümü esnasında, sistemin kompozit davranışının tam olarak anlaşılamamış olması, yığma duvar ve çerçevenin birleşiminin iyi teşkil edilmemiş olma ihtimali ve yapının kullanımı süresince bu duvarların kaldırılabileceği gibi sebeplerden dolayı, çoğu kez bu etki ihmal edilir. Daha önce de değinildiği gibi, birçok araştırmacı çerçevenin ve yığma dolgu duvarın beraber çalışmasını dikkate alan bir hesap yöntemi geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır(Çöğürcü 2007).

Betonarme binaların dolgu duvarlarında da, düzlem dışı kırılmalar görülür. Ancak, doğal olarak, dolgu duvarların bir taşıyıcılık görevi yoktur ve bunların düzlem dışı kırılması, yapının çökmesine neden olmaz. Betonarme çerçeveli yapıda dolgu duvarların düzlem dışı kırılması Şekil 1.15'de gösterilmiştir.



Şekil 1.15 Betonarme çerçeveli yapıda dolgu duvarların düzlem dışı kırılması

Çerçeve ve yığma dolgu duvarlara yatay yük ilk etkidiğinde, dolgu duvar ve çerçeve arayüzünde tam temas vardır, dolgu duvar ve çerçeve kompozit bir davranış gösterir ve beraber şekil değiştirirler. Sistem, çıplak çerçeveye nazaran daha rijittir ve ilk çatlakların oluşması daha büyük yatay yükler altında olur. Bu aşamanın süresi, çerçeve ve yığma dolgu duvar arasındaki bağlantının kalitesine bağlıdır ve çerçeve ile yığma dolgu duvarı ara yüzeyinde çatlakların oluşmasıyla son bulur. (Şekil 1.16a)



Şekil 1.16 Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları

Dolgu duvarlarda yatay yük arttıkça şekil değiştirmeler artar ve yığma duvara basınç kuvvetlerinin aktarıldığı iki köşenin civarı dışındaki çerçeve-duvar ara yüzeylerinde ayrılmalar başlar. (Şekil 1.16b) Bu aşamada, yığma dolgu duvar, çerçevenin içerisinde bir basınç diyagonali gibi davranır. Oluşan basınç diyagonalinin efektif genişliği, çerçevenin ve dolgu duvarının rölatif rijitliklerine, dolgu duvarının yüksekliğinin enine oranına (h/l) ve yığma dolgu malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. Yığma dolgu duvarında birbirini izleyen yatay ve düşey derzler boyunca diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamasıyla rijitlik azalır(Bindal ve ark. 1997).

Yığma dolgu duvarlarda yatay yük artmaya devam ettikçe, dolgu duvarda ilk çatlaklara paralel yeni diyagonal çatlaklar oluşur ve bu durum yığma dolgu duvarın kayma kuvvetleri altında ve kolonların eğilme etkisinde göçmesine kadar sürer. Yatay yük etkisindeki yığma dolgu duvarlar, bu göçme şeklinden farklı olarak iki göçme şekliyle daha taşıma güçlerini kaybedebilirler. Bunlardan biri, dolgu duvarının bir derz yüzeyi boyunca dönmeden yatay ötelenmesi ile ortaya çıkar. (Şekil 1.16c) Bu yatay çatlak, dolgu duvarı iki parçaya böler ve efektif kolon yükseklikleri, yaklaşık olarak yarı değere düşer. Kolonların kayma ve eğilme kapasiteleri, göçme şeklini belirleyici etken olacaktır. Üçüncü göçme şekli ise basınç diyagonalinin uçlarındaki lokal ezilmeler ile oluşur(Marfia 2001).

1.6. Yığma Yapılarda Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

Deprem bölgelerinde yapılacak olan ve hem düşey, hem de yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yığma binaların boyutlandırılması ve donatılması, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'teki yığma kargir binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları bölümünde belirtilen kurallara göre yapılmalıdır. Yönetmeliğin ilgili bölümünde, bu bölümde verilen tüm kurallara uyulması durumunda, ayrıca deprem hesabı yapmaya gerek olmadığı, ancak yapılması durumunda bu bölümde verilen kuralların tümüne

uyulması koşuluyla $S(T_1) = 2.5$ ve $Ra(T_1) = 2.5$ alınarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesap yapılacaktır. Eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvveti denklem (1.4) ile hesaplanır (ABYYHY 1997).

$$Vt = \frac{W * A(T_1)}{Ra(T_1)} \geq 0.10 \times Ao \times I \times W \qquad (1.4)$$

$$A(T_1) = Ao \times I \times S(T_1)$$

$S(T_1) = 2.5$ ve $Ra(T_1) = 2.5$ alınarak ifade yeniden düzenlenirse;

$$Vt = Ao \times I \times W \qquad (1.5)$$

şeklini alır. Burada;

W = Binanın toplam ağırlığı, Ao = Etkin yer ivmesi katsayısı, I = Bina önem katsayısıdır. Etkin yer ivmesi katsayısının deprem bölgesine göre değerleri Çizelge 1.9'da verilmiştir.

Çizelge 1.9 Deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayısı

Deprem Bölgesi	En Fazla Kat Sayısı
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Deprem Yönetmeliği'nde yığma binalar için deprem bölgelerine göre yapılabilecek en fazla kat sayısı Çizelge 1.10'da verilmiştir.

Çizelge 1.10 Deprem bölgesine göre en fazla yapılacak kat sayısı

Deprem Bölgesi	En Fazla Kat Sayısı
1	2
2,3	3
4	4

Deprem Yönetmeliği'nde yığma binalarda döşeme sisteminin TS500'e uygun boyutlandırılıp donatılmış plak veya dişli döşemeler olması istenmektedir. Aksi söz konusu olduğunda, tüm deprem bölgelerinde varsa bodrum kat hariç en fazla iki katlı yığma yapı inşa edilebilir. Kat yüksekliğ 3 m ile sınırlandırılmıştır (Kaya 2003).

ABYYHY'de birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları hariç olmak üzere; toplam uzunluğun (l_d), brüt kat alanına oranının (0.25 I)' dan daha az olmaması istenir. Taralı alan uzunluğu l_d, brüt kat alanı A ve bina önem katsayısıda I olduğuna göre; l_d / A $\geq$ 0.25 I olmalıdır.

Deprem bölgelerinde yapılacak yığma yapılarda minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te belirtilmiştir. Yapılabilecek minimum duvar kalınlıkları Çizelge 1.11'de verilmiştir.

Çizelge 1.11 A.B.Y.Y.H.Y'de verilen minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları

Deprem Bölgesi	İzin Verilen Katlar	Doğal Taş(cm)	Beton (cm)	Tuğla (kalınlık)	Diğerleri (cm)
1, 2, 3, 4	Bodrum Kat	50	25	1	20
	Zemin Kat	50	-	1	20
1, 2, 3, 4	Bodrum Kat	50	25	1.5	30
	Zemin Kat	50	-	1	20
	Birinci Kat	-	-	1	20
2, 3, 4	Bodrum Kat	50	25	1.5	30
	Zemin Kat	50	-	1.5	30
	Birinci Kat	-	-	1	20
	İkinci Kat	-	-	1	20
4	Bodrum Kat	50	25	1.5	30
	Zemin Kat	50	-	1.5	30
	Birinci Kat	-	-	1.5	30
	İkinci Kat	-	-	1	20
	Üçüncü Kat	-	-	1	20

ABYYHY'de taşıyıcı duvarlarda bırakılacak boşluklarla ilgili sınırlandırmalar vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir;

- ✓ Bina köşesine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.5 m' den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 1.0 m'den az olmamalıdır.

- ✓ Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşluklarının arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m' den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 0.8 m'den az olmamalıdır.

- ✓ Pencere veya kapı boşluklarının her iki kenarında düşey hatıllar yapılması durumunda minimum dolu duvar parçası uzunluğu %20 azaltılabilir.

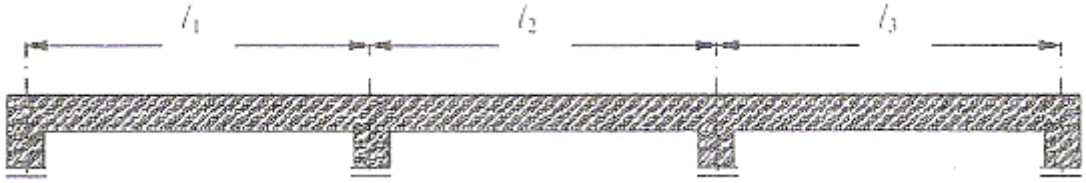
- ✓ Bina köşeleri dışında, birbirini dik kesen duvarların arakesitine en yakın kapı veya pencere boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0.50 m'den az olmayacaktır. Aksi takdirde, boşlukların her iki kenarında kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar yapılması zorunludur.

- ✓ Kapı veya Pencere boşluklarının herbirinin plandaki uzunluğu 3.0 m'den fazla olmayacaktır.

- ✓ Herhangi bir duvarın mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı, mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40'ından fazla olmayacaktır(A.B.Y.Y.H.Y 1997).

Herhangi bir duvarın, planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş uzunluğu, birinci derece deprem bölgesinde 5.5 m'yi, diğer deprem bölgelerinde ise 7.0 m'yi geçmemesi

istenmektedir. Duvarın mesnetlenmesi şekli Şekil 1.17'de verilmiştir(Üstündağ 2000).



Şekil 1.17 Yığma bir duvarın mesnetlenme şekli

1.6.1. Yatay hatıllar

Merdiven sahanlıkları da dahil olmak üzere, her bir döşemenin taşıyıcı duvarlara oturduğu yerlerde, betonarme döşeme ile birlikte dökülmek üzere duvar genişliğinde ve 20 cm' den az olmayan yükseklikte yatay hatıllar yapılması istenmektedir. Yatay hatıllarda en az BS 16 kalitesinde beton kullanılması, içlerine taş duvarlarda en az üçü altta, üçü üstte olmak üzere $6\varnothing 10$, diğer taşıyıcı duvarlarda ise $4\varnothing 10$ boyuna donatı ile birlikte en fazla 25 cm ara ile $\varnothing 8$'lik etriye konulması gerekmektedir Yönetmelikte ayrıca, moloz taş duvarlarda, döşeme ve merdiven sahanlıkları dışında, düşeyde eksenden eksene aralıkları 1.5 m'yi geçmemek üzere betonarme düşey hatıl yapılması öngörülmüştür.

1.6.2. Düşey hatıllar

Yığma binaların depreme dayanıklılıklarının arttırılması amacı ile bina köşelerinde, taşıyıcı duvarların düşey arakesitlerinde, kapı ve pencere boşluklarının her iki yanında kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar yapılması uygun görülmektedir. Düşey hatıllarda beton kalitesi en az BS 16 olacak, içlerine taş duvarlarda her iki duvar yüzüne paralel en az üç adet olmak üzere $6\varnothing 12$, diğer

taşıyıcı duvarlarda ise en az 4 $\varnothing$ 12 boyuna donatı ile birlikte en fazla 20 cm ara ile $\varnothing$ 8'lik etriyeler konulmalıdır (Üstündağ 2000).

1.6.3. Temeller

Deprem Yönetmeliği'nde yığma binalarda taşıyıcı duvarların altında betonarme sürekli temel yapılması öngörülmüştür. Temel derinliği, zemin özellikleri, yeraltı su düzeyi ve yerel don derinliği göz önüne alınarak saptanacaktır. Bodrumsuz binalarda temellerin üzerine yapılacak taş veya beton duvarların üst kotu, kaldırım kotundan en az 50 cm yukarıda olmalıdır. Duvar altı temellerinin beton kalitesi en az BS 16 olmalıdır. Kerpiç binalarda temeller, bodrumsuz binalarda en az 50 cm, bodrumlu binalarda ise en az 60 cm kalınlıkta moloz taş duvar olarak yapılacaktır. Temel derinliği ise, don derinliğinin altında kalmak üzere en az 80 cm olmalı ve dış zemin yüzeyinden en az 50 cm yukarıya çıkacak şekilde yapılmalıdır.

1.6.4. Yığma duvarın kayma dayanımı

TS2510 Kargir Duvarlar Hesap ve Yapı Kuralları 'nda taşıyıcı duvarlarda yatay yüklerin oluşturacağı kayma gerilmeleri denklem (1.6) ile;

$$\tau = T / S \tag{1.6}$$

hesaplanır. Yatay yüklerin duvarda oluşturacağı kayma tesirleri için emniyet gerilmesi; Doğal taş duvarlarda;

$$\tau = 0.10\ \sigma_b \leq 2\ \text{kg} / \text{cm}^2 \tag{1.7}$$

Yapay taş duvarlarda;

A ve B tipi harçlar kullanıldığında;

$$\tau = 0.12\ \sigma_b \leq 3\ \text{kg} / \text{cm}^2 \tag{1.8}$$

C, D, ve E tipi harçlar kullanıldığında (1.9) denklemiyle hesaplanır.

$$\tau = 0.10\ \sigma_b \leq 3\ \text{kg} / \text{cm}^2 \qquad (1.9)$$

Burada σ_b: Duvar etki yapan düşey yüklerin oluşturduğu gerçek ortalama basınç gerilmesidir.

1.7. Yığma Yapıların Dinamik Kuvvetler Altındaki Davranışı

Dinamik kuvvetler etkisi altında kalan yığma yapıların mekanik özelliklerini belirlemek, beton ve çeliğin mekanik özelliklerini belirlemekten oldukça karmaşıktır. Yığma yapının mekanik özelliklerini etkileyen çok faktör vardır.

Yığma yapıların, mod şekilleri, periyotları ve sönüm oranları dinamik özellikleridir. Yığma yapılar çok rijit yapılar olduğu için doğal titreşim periyotları genellikle çok küçüktür.(0.05–0.20 saniye civarında). Bir yapının periyodu; kat yüksekliği, eni, boyu ve dolu duvar oranı ile ilgilidir. Yüksek yapıların periyodu uzun olur. Eni ve boyu büyük yapıların ise periyotları kısa olur. Deprem esnasında yapıda hasar meydana gelir ve çatlama olursa periyodu uzar. Yapı rijitliği arttıkça periyodu kısalmaktadır. Örneğin betonarme çerçeve yapıların periyodu, yığma yapıların periyodundan uzundur. Betonarme perde yapıların ise periyodu kısadır. Betonarme yapılarda periyot ile kat adedi arasında yaklaşık olarak formül (1.10)'da gösterilen ilişkinin olduğu kabul edilir(Çöğürcü 2007).

$$T=(0.1\text{-}0.07)N \qquad (1.10)$$

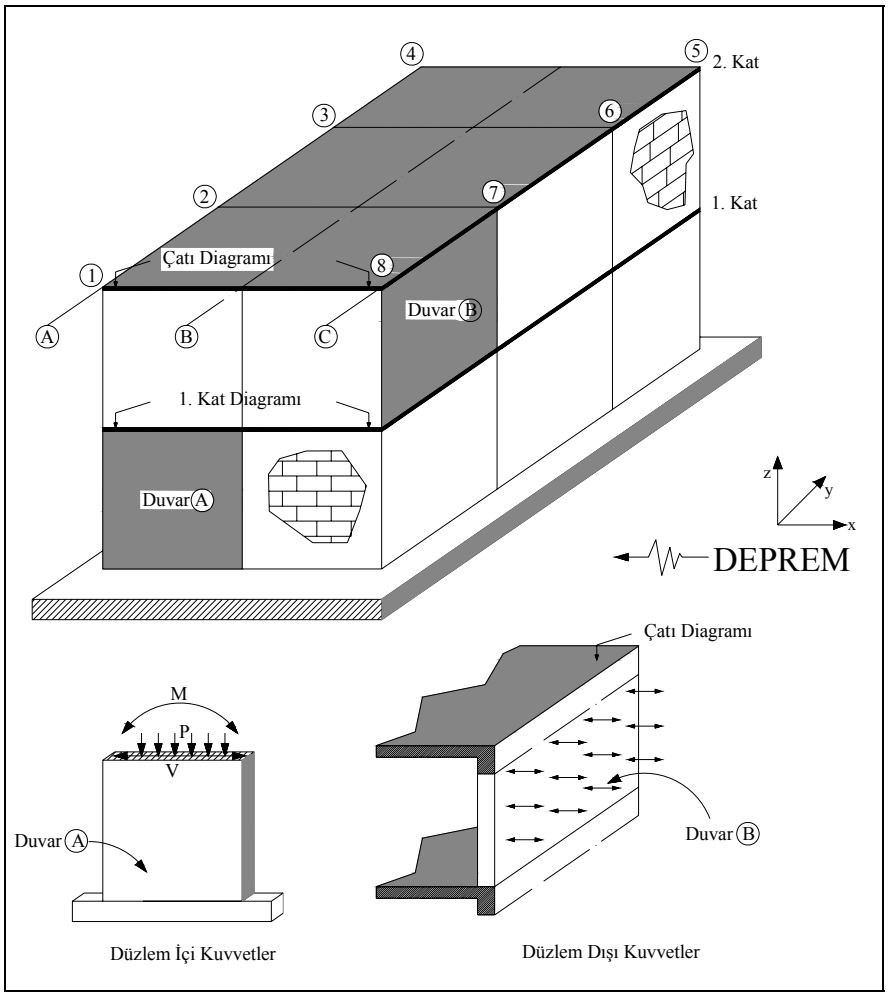
Formülde geçen N kat adedidir. Örneğin 10 katlı betonarme bir yapının periyodu 0.8-1.0 saniye civarında olur. Betonarme yapıların periyotları çok sayıda ölçüm ile saptanabilmesine karşın yığma yapılar için sınırlı sayıda ölçüm yapılabilmektedir. Bu ölçümlere dayanarak formül (1.10)'dakine benzer şekilde şöyle bir formül verilmiştir (Bayülke 1990).

$$T=(0.035)\ N \qquad (1.11)$$

Ülkemizde yığma yapılar yönetmeliklere göre en çok 4 katlı yapılabildiği için yığma yapı periyotlarının 0.05-0.20 saniye arasında değişebileceği görülmektedir. Bu değerlerde yığma yapıların rijit yapılar olduğunu göstermektedir. 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. Gerçektende birçok depremde sağlam zemin üzerindeki yığma yapıların daha çok hasar gördüğü gözlenmiştir.

Şekil 1.18'de gösterildiği gibi depreme maruz iki katlı yığma bir bina düşünelim. x-yönünden gelen deprem, x-yönünde ivmeler ve bu ivmelerin neden 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 eksenel (P) yükü oluşturur.

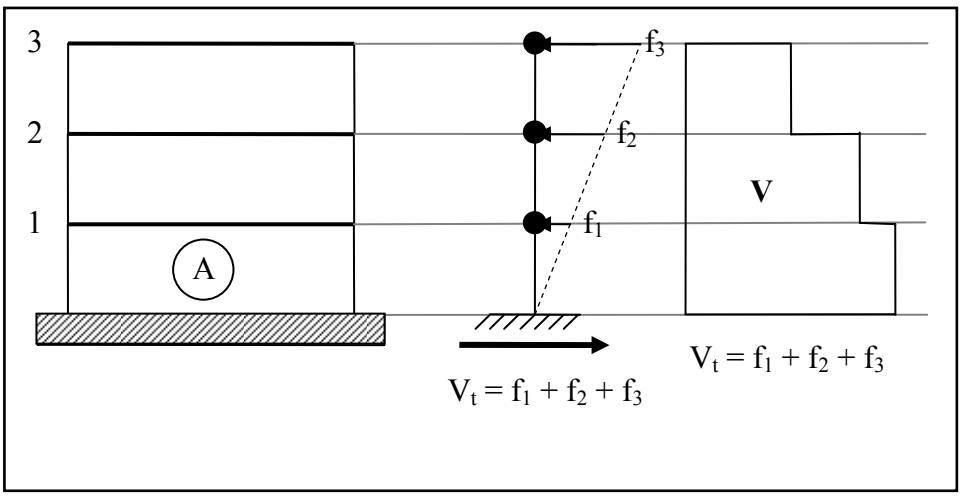
x-yönünden gelen deprem (B) Duvarı'nda, duvar düzlemine dik kuvvetler de oluşturur. Bu sismik kuvvetler, (B) Duvarı'nı düzlem dışı sehim yapmaya zorlar. Sismik kuvvetlerin belli düzeyde bir büyüklüğe gelmesiyle, (B) Duvarı düzlem dışı kırılır ve yük taşıma yeteneğini yitirir. Çatı düzeyindeki duvarlardan bazılarının düzlem dışı kırılmasıyla, bir yük olarak çatı katı döşemesi taşınamaz olur. Sonuç, binanın çökmesidir(Kanıt 2006).



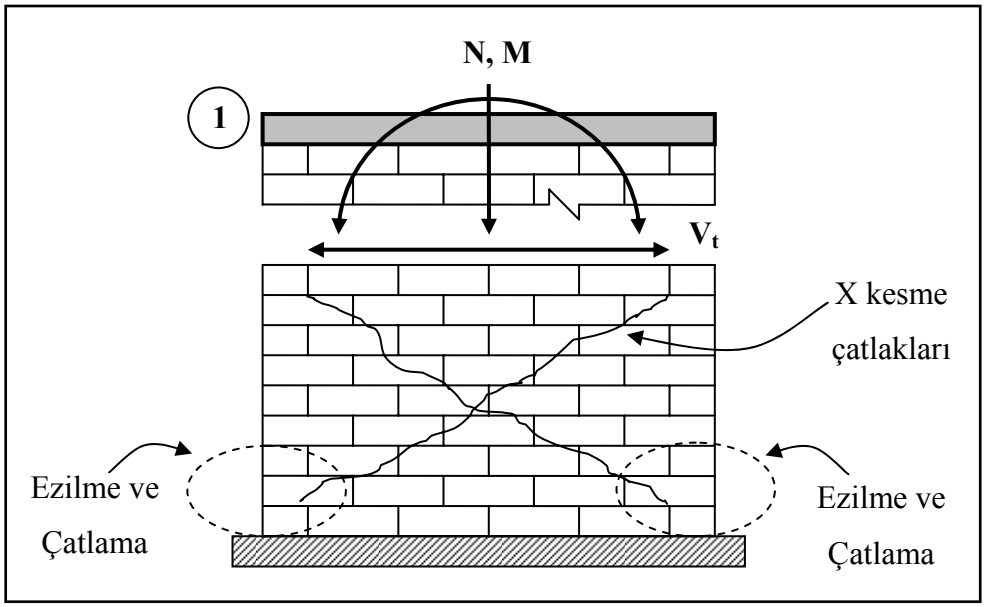
Şekil 1.18 Depreme maruz yığma bir bina

x-yönünden depreme maruz yığma bina, doğal periyoduna (T_o) bağlı olarak, x-yönünde ötelenir. Yığma binanın depreme karşı göstereceği tepki, eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistem yapılarak ve eşdeğer etkili kütle ile yüksekliği hesaplanarak basitleştirilebilir. Depreme maruz yığma bina 1. modunun gerektirdiği yönde ötelenir, y(t). Bu ötelenmenin ikinci zaman türevi olarak, temelden çatıya bir ivme dağılımı ortaya çıkar. Afet yönetmelikleri bu ivme dağılışının doğrusal olduğunu kabul ederler. Ancak, temel kotunda ivmenin sıfır değil $A_0(g)$ olduğu gerçeği de göz önünde bulundurulmalıdır. Yığma yapının doğal periyoduna bağlı olarak, yapıda deprem kuvvetleri oluşur. Kat düzeylerinde yoğunlaştırılan kütlelere ve bunlara tekabül eden ivmelere bağlı olarak, bu deprem kuvvetlerinin dağılımı "ters üçgen" görünümündedir. Şekil 1.19'da gösterildiği gibi, A duvarı düzleminde

f1, f2 ve f3 kat deprem kuvvetleri ve kesme kuvvetleri oluşmaktadır. En alt katta (1. kat altında) maksimum deprem etkilerine maruz A duvarı düzlem içi yüklendiği zaman oluşan çatlak deseni ve deprem zorlamaları etkileri Şekil 1.20'de gösterilmiştir(Çöğürcü 2007).



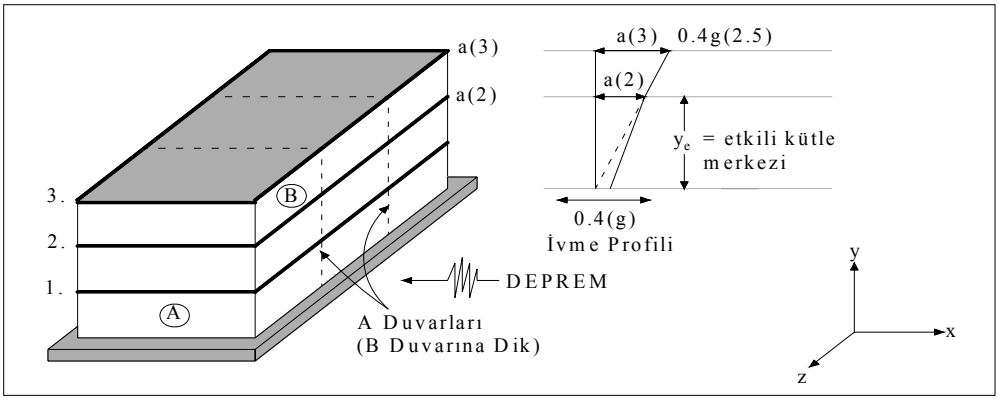
Şekil 1.19 A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı



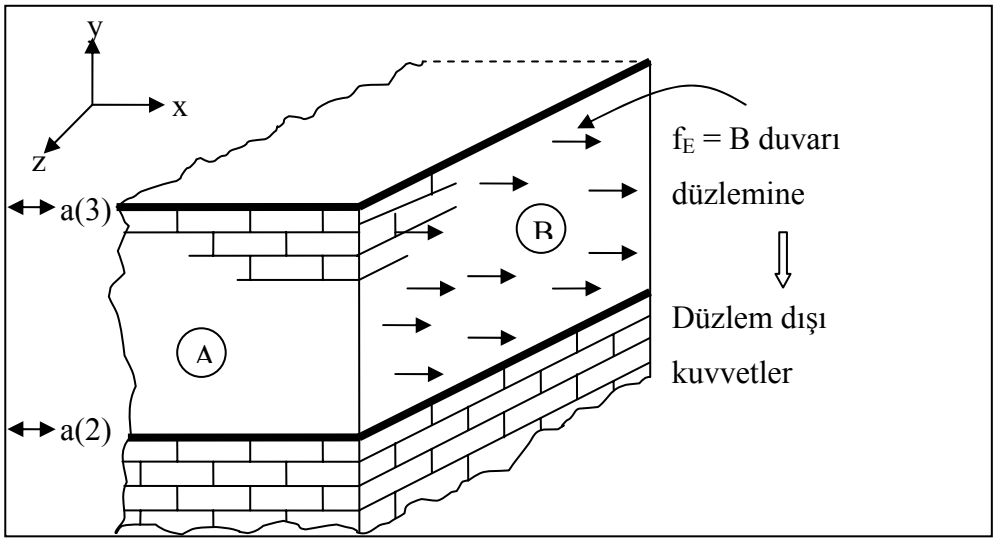
Şekil 1.20 Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri

Bütün bunlarla beraber 3-boyutlu yığma binada, B duvarında da deprem etkileri oluşacaktır(Kanıt 2005).

Şekil 1.21'de de görüldüğü gibi, maksimum yer ivmesinin 1. derece deprem bölgesine tekabül eden 0.4(g) değerinde olduğu düşünülürse, X-yönündeki deprem altında, 1. moda bağlı olarak x-yönünde ötelenen yığma yapıda, 2. ve 3. kat döşemelerinin ivmeleri bu değerlerde oluşur. 2. ve 3. katlar arasında yer alan B duvarı da düzlemine dik olarak, ivmelere ve ötelenmelere maruz kalacaktır. Bu durum Şekil 1.22'de gösterilmiştir.



Şekil 1.21 B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler

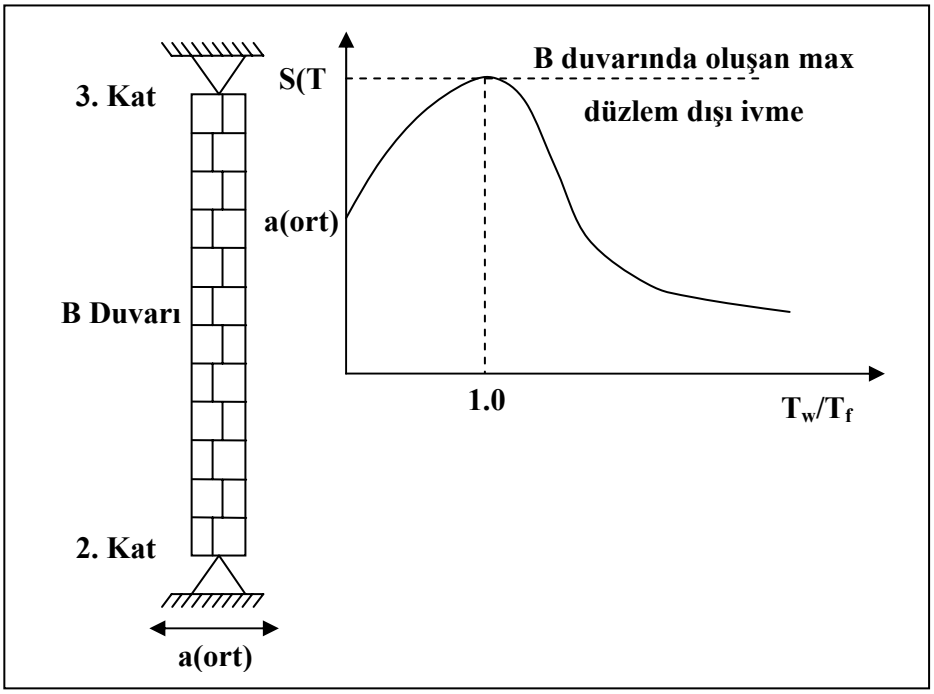


Şekil 1.22 X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu

B duvarıda a(2) ve a(3) ivmelerinin ortalaması ile zorlanmaktadır. O zaman ortalam ivme formül (1.12)'de verilen şekilde olur.

$$a(ort) = [a(2) + a(3)] / 2 \qquad (1.12)$$

B duvarının düzlem dışı doğal periyodu T_w, 2. ve 3. kat döşemelerinin doğal periyodu ise T_f olursa, a(ort) ivmesine maruz kalan B duvarı T_w/T_f oranına bağlı olarak a(ort) ivmesini büyütecektir. B duvarında oluşan düzlem dışı ivme Şekil 1.23'de verilmiştir.

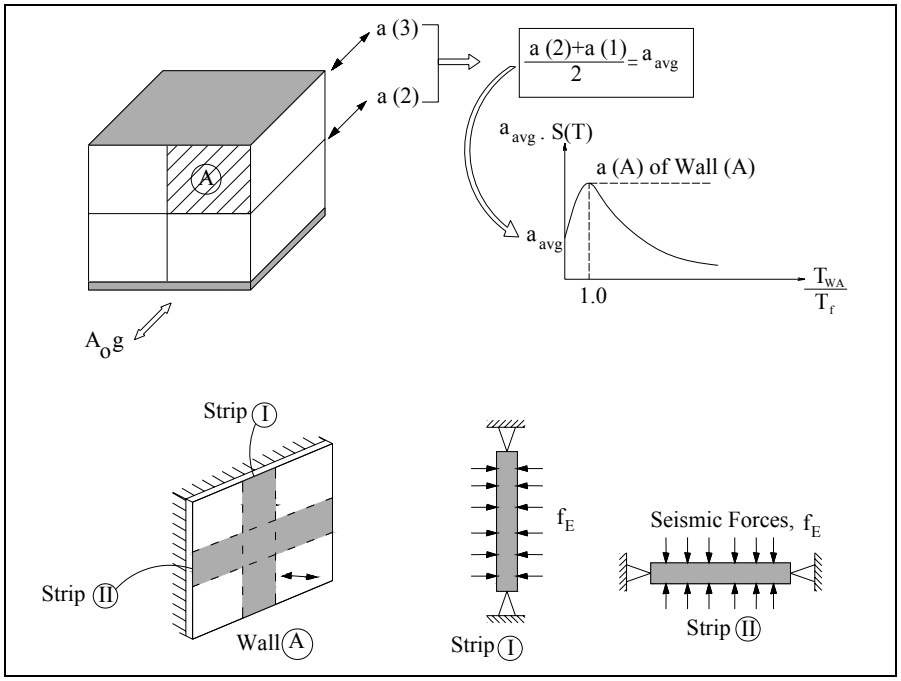


Şekil 1.23 B duvarında oluşan düzlem dışı ivme

Tabandan alınan ivmenin, yapının doğal periyoduna bağlı olarak büyümesi, Tepki Spektrumu kavramını oluşturan gerçek olarak karşımıza çıkar. Türk Deprem Yönetmeliği'nde (AY-97) bu büyüme S(T) = 2.5 olarak kabul edilmektedir.

B duvarında, döşemenin doğal periyodu T_f ile B duvarının düzlem dışı doğal periyodu T_w arasındaki oranın belirlenmesi kolay değildir. Bu hesap çok karmaşıktır ve non-lineer analizlerin yapılmasını gerektirir. Bazı analiz ve deneylerden sonra, Paulay (1992), bu büyümenin ortalama 2.0 olarak alınabileceğini önermektedir (Şekil 1.24).

1. derece deprem bölgesinde olduğu kabul bir yığma yapıda, 2. ve 3. kat arasında yer alan B duvarında, maksimum düzlem dışı ivmesi formül (1.13) ile hesplanabilir.



Şekil 1.24 T_w / T_f oranında etkitilmiş A duvarının dinamik tepkisi

1. derece deprem bölgesi için; A0(g)= 0.4 ve S(T) = 2.5 ise;

a(3) = 0.4(g)(2.5) = 1.0(g)

a(2) = 2/3 a(3) =0.67(g) (1.13)

a(ort) = [a(3) + a(2)] / 2 = 0.835(g)

a(B) = 2 × 0.835(g) = 1.67(g) B duvarının düzlem dışı ivmesi

Formül (1.13)' de görüldüğü gibi B duvarı 1.67(g)'lik düzlem dışı bir ivmeye maruz kalmaktadır. Bu gerçekten çok büyük bir ivme düzeyidir.

Kırılma ve çatlama olduktan sonra yığma yapılar taşıma güçlerini hızla yitirirler. Çünkü yığma yapılar gevrek malzemelerden oluşmaktadırlar ve enerji yutma kapasiteleri çok küçüktür. Betonarme binalarda ise, yığma yapıların aksine çatlama

ve kırılmadan sonra taşıma gücü kaybı yavaş bir biçimde azalır, süneklik aniden oluşmaz. Yapı çatladıktan sonra bir süre eski yük taşıma gücünü korur(Kanıt 2005).

Sönüm oranı yapı elemanlarındaki gerilme düzeyi ve periyot gibi faktörlere bağlıdır. Yapıların sönüm oranı, yapının dıştan gelen dinamik etkiyi giderek harcaması olarak nitelenebilir. Genellikle kısa periyotlu yapıların sönüm oranı küçüktür. Depremde hasar gören bir yapı çatladığında çatlak yüzeyler arasındaki sürtünmeden dolayı yapının sönüm oranı artar ve yüksek bir düzeye ulaşır. Yığma yapılar hem kısa periyotlu hem de düşük sönümlü olmalarından dolayı depremde yüksek yatay kuvvetlere maruz kalırlar ve hasar gördükleri vakit hem periyotlarında hem de sönüm oranlarında artış olur. Bu yüzden yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azalması söz konusu olur ancak bu önemli mertebeye ulaşmaz(Kanıt 2006).

Harman tuğlasından örülmüş bir duvarı ele alalım. Bu duvarı oluşturan tüm elemanların, yani tuğla ve bağlayıcı harcın mekanik özellikleri duvarın genel mekanik özelliklerini etkileyecektir. Genelde kırsal yörelerde insanların evlerini inşa ettikleri tuğlalar fabrikalarda belirli standartlarda değil, yerel ocaklarda üretilmektedir. Bu nedenle tuğlalar için uygun standardı yakalamak her zaman mümkün olmamaktadır. Kullanılan harç da değişkenlik göstermektedir. Harcı oluşturan bileşenlerin oranı tamamen ustanın/kalfanın deneyimine kalmıştır. Öte yandan kırsal yörelerde insanlar evlerini inşa ederken harç yerine çamur kullanmaktadır. Kil bazlı olan çamur, zamanla parça parça dökülmekte ve bağlayıcı özelliğini yitirmektedir. Duvarı ören şahsın duvar örgü tekniklerini iyi bilmesi gerekmektedir. Bina köşelerindeki örgü hataları yüzünden deprem sırasında bazı yığma yapılarda ağır hasar meydana gelebilmektedir (Çöğürcü 2007).

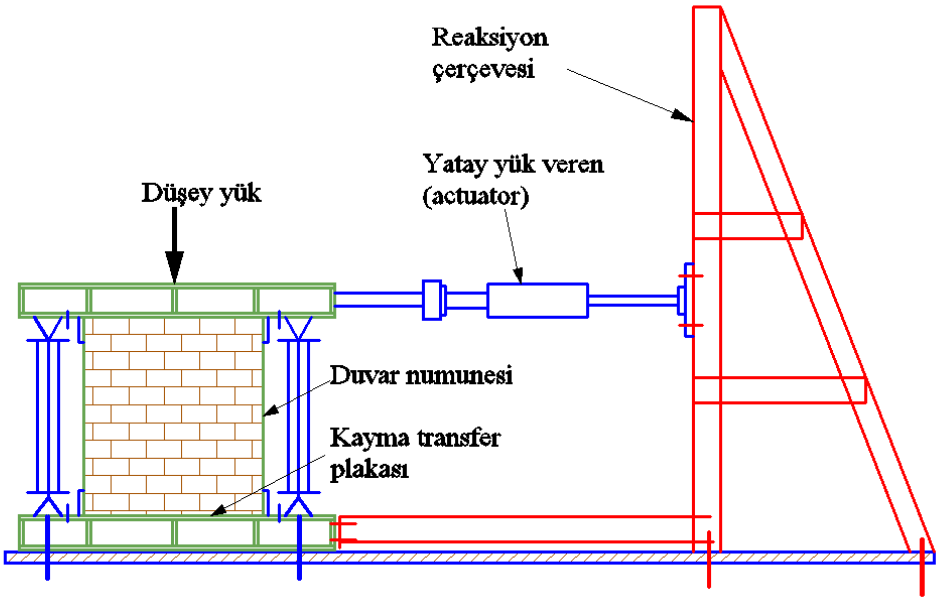
Kargir duvarların kesme kuvveti etkisinde davranışını tespit edebilmek için çeşitli testler yapılmaktadır. Mevcut bir yığma yapı için, bir köşesinden numune alıp o numune üzerinde deneyler yaparak o yapı hakkında bir sonuca varmak doğru bir yaklaşım olmaz. Kargir bir duvarın kesme kuvvetini belirlemek için pseudo dinamik test ve yarı statik test (quaso static test) yöntemleri uygulanabilir.

1.7.1. Pseudo dinamik test

Kısa duvar numunelerine de uygulanabilen pseudo dinamik testte, deney numunesi için düşey yükün değeri, zemin ivmesi ve yükleme kütlesinin duruş şekli belirlenir. Bu koşullara bağlı olarak sallanan masa deneyi oluşturulur. Sabit düşey yük öngerme kabloları yardımıyla numuneye uygulanır. Duvarın üst kısmı, sadece yatay hareket sağlanan bir kılavuz sisteme yerleştirilir ve yatay yük duvarın orta yüksekliğinde uygulanır. Kılavuz sistem vasıtasıyla duvarın üst kısmının alt kısmına göre dairesel bir hareket yapması önlenir. Artan yoğunlukta farklı temel ivmelerine karşılık gelen yatay yükler numune deforme olana kadar uygulanır(Hamoush 2002).

1.7.2. Yarı statik test

Sabit düşey yük altındaki bir numuneye büyüklüğü artarak değişen yatay deplasmanlar uygulanan yönteme yarı statik test denir. Her deplasman numuneye basınç ve çekme olmak üzere iki yönde uygulanır. Her adımda iki yükleme deplasman eğrisi elde edilir. Şekil 1.25'de de verildiği gibi bu yükleme şekli duvar numunesinde belirgin bir dayanım azalması oluşana kadar devam eder. Bu aşamadan sonra yükleme sayısı her adım için üçe 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 kontrolünü sağlamak için duvar numunesi deplasman ölçerler ile donatılır. Bu sayede deneyin seyri esnasında uygulanan yükün istenilen koşullarda uygulanıp uygulanmadığı ve yapısal davranışın belirlenmesinde yardımcı olacak belli noktaların deplasmanlarının tespiti yapılır(Hamoush 2002).



Şekil 1.25 Yarı statik test mekanizması

1.8. Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri

Yığma yapıları oluşturan duvarlar gevrek malzemelerden oluştuğu için bu yapılarda düşey ve yatay yükler altında değişik bölgelerde hasarlar meydana gelir. Bunun yanında yığma yapılar basınç ve çekme dayanımı düşük malzemelerden oluştuğu için, kırılmadan önce dayanabileceği elastik gerilmeler ve taşıyabileceği yük küçük mertebelerdedir. Bu yüzden temeldeki küçük oynamalardan ve az miktardaki deplasmanlardan bile etkilenirler ve bu oturma veya deplasman duvarın çatlamasından hemen anlaşılabilir. Bu durumlara dikkat edilmelidir.

1.8.1. Zeminden kaynaklanan oturma çatlakları

Yığma yapılarda zemindeki oturmalardan kaynaklanan çeşitli çatlaklar oluşabilmektedir. Oturmanın meydana geldiği bölge veya oturma miktarına bağlı olarak üst yapıdaki çatlak biçimi ve çatlak genişliği kendini gösterir. Oturma

köşelerde meydana geliyorsa yapıdaki çatlak genişliği yukarılara doğru genişlemektedir. Şayet oturma köşelere nazaran orta bölgelerde kendini gösterirse çatlak genişliği yukarıya doğru azalma gösterir. Buna bağlı olarak çatlaklar şayet oturmadan dolayı oluşuyorsa çatlağın meydana geldiği yer ve çatlağın biçimine bağlı olarak hangi bölgede oturma veya çökme meydana geldiği kolayca anlaşılabilmektedir(Hendry 1990).

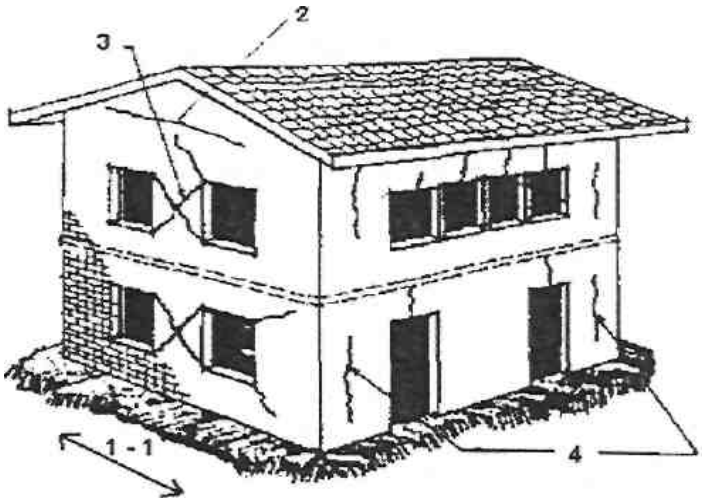
Zemindeki oturmalar zemin hareketleri, yeraltı su seviyesinin yükselmesi ve alçalması, temel tabanında çürümelerin oluşması, temellerdeki havalandırma sisteminin işlevini kaybetmesinden dolayı oluşabilir. Farklı oturmaların dışında temelde yapılan kademelerde üst yapıda çatlamalara neden olabilir. Farklı derinlik ve farklı kotlara oturan temellerde zeminin farklı sıkışması sonucu üst yapıda çatlaklar meydana gelebilecektir. Bunun yanında, derin temellerin altındaki zemin tabakası daha sıkı olacağından zaman içerisinde daha az sıkışma yapacaktır. Bu yüzden farklı derinliklere oturan veya kademeli olarak yapılan temeller farklı oturmalar yapacaktır ve üst yapıda çatlaklar meydana getirmenin yanında temelde de bazı hasarlar ve ezilmeler meydana gelebilecektir(Ehsani 1997).

Yığma yapının bütün duvarları taşıyıcı olduğu için ve bütün duvarın altına temel sömeli yapıldığı için duvarlardaki gerilmeler az miktarda meydana gelmektedir. Yığma yapılarda hasara neden olan farklı oturmaların çeşitli nedenleri olabilir. Farklı oturmalar doğal olarak temel altındaki zeminin davranışından meydana gelmektedir. Bunun yanında duvar boyutu ile temel sömeli boyutu arasındaki fark da göz önüne alındığı vakit temel altındaki zemine aktarılan yükün çok fazla olmadığı ve gerilmelerin oldukça düşük seviyelerde olduğu görülür. Bu değerlendirmenin ardından şayet temel çok sığ yapılmamış ise yapının kendi ağırlığından dolayı zeminin oturma yapmayacağı veya bu ihtimalin az olduğu anlaşılır. Öyle ise oturma nedenlerini temel altındaki zeminde meydana gelen değişimlerde aramak gerekmektedir. Temel altındaki zemin killi zemin ise yapıdan veya kanalizasyondan kaynaklanan su kaçakları ya da zemin suyu temel altındaki killi zemini boşaltabilir. Bu durum da oturma hasarlarına yol açabilmektedir. Fazla miktardaki su ise killi zeminin kohezyonunu azaltmakta ve bu yüzden oturmalar oluşabilmektedir. Bunun yanında zemin plastisite indisi yüksek kilden meydana geliyor ise kil içindeki suyun

basınçtan dolayı atılması çok uzun zaman alabilmektedir ve oturmalar uzun süre içerisinde meydana gelmektedir. Bütün bunların yanında zemini etkileyen su kesildiği vakit kildeki kurumadan ve büzülmeden dolayı oturmalar gözlenebilir. Kurak zamanlarda oturma had safhaya ulaşmaktadır. Yağışlı zamanlarda ise su alan kil tekrar şişme eğilimi gösterir. Bu yüzden yapıdaki çatlaklar zaman içerisinde açılıp kapanma yapabilmektedir.

1.8.2. Deprem Hasarı

Deprem etkisinde kalan yığma yapılar depreme karşı tepkilerini deprem kuvvetinin oluştuğu yöndeki paralel duvarlar sayesinde karşılarlar. Deprem kuvvetine dik yöndeki duvarlar temelden ve üst döşemeden mesnetli bir kiriş gibi davranarak kendisine gelen kuvvetin bir kısmını temele bir kısmını ise döşemeye aktarır. Üst döşeme ise bu duvarlardan gelen kuvvetleri ve kendi kuvvetini, yandaki duvarlara yani depreme paralel yöndeki duvarlara aktarırlar. Döşeme yan duvarlara mesnetli kiriş gibi davranır. Depreme paralel yöndeki bu duvarlar ise döşemeden gelen kuvvetler ile temel reaksiyonu etkisi altında kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Yapıdaki deprem hasarı; deprem yönüne, kalkan duvarında oluşan yatay çatlaklara, pencere boşlukları arasındaki dolu duvar parçasında oluşan diyagonal çatlaklara ve duvarda oluşan düşey çatlakların durumuna göre değişir.



Şekil 1.26 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar

Yığma duvarlarda oluşan deprem hasarlarının nedenleri şöyle sıralanabilir;

- ✓ Duvarların düşey yükler altında taşıma gücüne ulaşması
- ✓ Duvarların düşey yükler altında taşıma gücüne ulaşması
- ✓ Duvar kesitlerinde çekme gerilmelerinin oluşması
- ✓ Tersinir deprem yükleri etkisinde oluşan kılcal çatlakların, ileriki yıllarda derinleşerek ciddi boyutlara ulaşması
- ✓ Derzsiz inşaa edilen taş duvarlarda gerilme yığılmalarından dolayı dökülmelerin olması

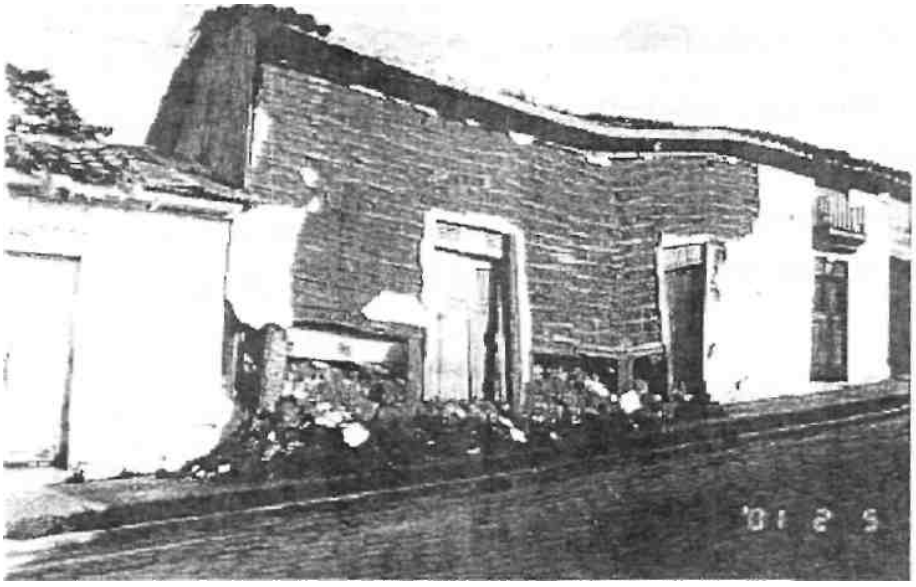
Yığma yapılarda eğik çekme çatlakları 45 derece eğimlerle oluşurlar. Ancak bu çatlakların eğimi ve yeri duvardaki boşluk miktarına ve boşluk yerine göre değişir. Bunun yanında duvardaki düşey gerilmeler çok fazla ise bu çatlak eğimleri 45 dereceden fazla meydanda gelir. Yapı cephelerinde büyük boşluklar varsa kalan duvar parçalarında yüksek düşey gerilmeler meydana geleceğinden yine buralarda 45 dereceden büyük eğimli çatlaklar oluşur. Deprem kuvvetlerinin tersinir olmasından dolayı bu çatlaklara dik yönde de çatlaklar meydana gelerek Şekil 1.26'da da görüldüğü gibi X şekline haiz duvar çatlakları görülür. Bir tuğla duvarda harç dayanımı tuğla dayanımından fazla ise eğik çekme çatlakları tuğla duvarı keserek

meydana gelir. Tuğla dayanımı harç dayanımından fazla ise eğik çekme çatlakları derzlerden geçer(Juhasova 2002).

Deprem merkezine yakın yerlerde yatay yükün yanında düşey yüklerde önemli mertebelere ulaşabilir. İşte bu gibi yerlerde düşey kuvvetler büyük olacağından yığma yapılarda düşey boşluklar arasındaki bölümlerde kesme çatlakları oluşabilir. Deprem kuvvetine dik yöndeki duvarların döşeme ile temele mesnetli olarak çalıştığını kabul edersek, bu duvarlar üst taraflarından döşemeye yeteri kadar rijit olarak bağlanmamış ise veya duvarlar üst başlarından yeteri kadar rijit bir döşeme plağı, çatı makası veya hatıl ile birbirlerine bağlanmamış iseler kendi düzlemlerine dik yönde zarar görebilirler (Çöğürcü 2007).

Bilindiği gibi deprem yapıya her iki asal eksende etki etmektedir. Bundan dolayı yapı köşelerindede hasarlar meydana gelir. İki yönlü kuvvet oluşmasından ötürü yapı köşelerinde duvarlar birbirlerini düzlemleri dışına itmeye çalışırlar (Şekil 1.27). Köşede duvarlar birbirine iyi bağlanmamış ise ya da hatıl veya tavan döşemesi yoksa bu hasarlar oluşabilir. Yapı köşelerinde oluşan bu hasarlar duvarların köşede yeterli bir örgü düzeni ile bağlanmamış olması, yüksek ve uzun duvarların yetersiz rijitlikte bir çatı sistemi ile bağlanmış olması veya kesişen duvarlara depremde gelen büyük zorlamalar nedeni ile oluşabilir. Bu nedenlerden dolayı oluşan çatlaklar ileri aşamalarda bütün duvara yayılmakta ve duvar düşey yükleri de taşıyamaz hale gelmektedir(Begimgil 1991).

Duvarlar üst başlarından yeterli biçimde bağlanmamış iseler bahçe duvarı gibi serbest durmaktadırlar. Cami, okul gibi yüksek duvarlı veya büyük hacimli alanları çeviren duvarlar mutlaka üst başlarından rijit bir plakla çevrelenmelidirler. Aynı durum çok yüksek duvarlar içinde geçerlidir. Bu gibi duvarlar kendilerine dik yönde gelen deprem kuvveti altında üst başlarından hasar görürler. Duvar üstleri göçebilir veya birbirlerinden ayrılabilirler.



Şekil 1.27 San Salvador'da hasar görmüş yığma yapı

Yığma yapı duvarlarında düşey yüklerden dolayı oluşan çatlaklar düşey yönde meydana gelmekte ve duvar düzlemine dik yönde genişlemektedir. Tuğla ve taş yığma duvarlarda düşey basınçtan dolayı şişmeler meydana gelmektedir. Herhangi bir yapı cephesinde boşlukların çok büyük olması veya don nedeniyle basınç dayanımı azalmış tuğla duvarlarda ezilmeler meydana gelebilmektedir (Çöğürcü 2007).

1.8.2.1. Yığma yapılarda deprem hasar düzeyleri

Yığma yapıların hasar düzeyleri beş aşamalı bir ölçek ile belirlenebilir. İncelenen yapı betonarme plak kat ve çatı döşemeleri olan, duvarları taşıyıcı olan yığma yapıdır. Bir diğer deyişle kutu davranışı gösterecek olan yığma yapıdır (Bayülke 1999).

1.8.2.1.1. Hasarsız veya az hasarlı yığma yapılar

Bu hasar düzeyinde, ya hiç hasar olmamıştır ya da 1 mm' den daha ince kılcal düzeyde çatlaklar vardır. Bu çatlaklar sıva çatlakları şeklinde olup daha derine

inemezler, yüzeylerde sınırlı kalırlar. Bu aşamadaki bir yapıya herhangi bir şekilde onarım veya güçlendirme gerekmez(Ersoy 1999).

1.8.2.1.2. Az hasarlı yığma yapılar

Bu hasar düzeyinde, yığma yapılarda genellikle görülen X şeklindeki çatlaklar görülür. Çatlak genişliği genel olarak 1.0 ile 10.0 mm arasında değişebilir ve büyük ihtimal ile çatlak duvarın içine kadar uzanmaktadır. Duvardaki kesme gerilmesi taşıma limitine kadar ulaşmıştır. Duvarın elastik eğri altında taşıyabileceği kesme kuvveti az miktarda aşılmıştır.

1.8.2.1.3. Orta hasarlı yığma yapılar

Bu hasar biçiminde çatlak genişliği daha fazla olacaktır ve 10.0 - 25.0 mm gibi değerlere ulaşabilir. Yine az hasarlı yığma yapılarda olduğu gibi X şeklinde çatlaklar gözlenebilir. Duvarın taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değerlerinde önemli azalmalar gözlemlenir. Ancak duvar çok fazla deforme olmuş değildir. Duvar düzlemi dışına doğru şişme veya şakulden uzaklaşma gibi bir değişim yoktur. Bir önceki hasar düzeyine nazaran güçlendirme isteyen, ayrıntılar gerektiren düzeyde hasar biçimidir(Ersoy 1999).

1.8.2.1.4. Ağır hasarlı yığma yapılar

Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapıda çatlaklar 25 mm' yi geçmektedir. Bunun yanında yapıda şu değişmeler görülür;

- ✓ Duvarlarda düşeyden uzaklaşma
- ✓ Köşelerde duvarın ayrışması
- ✓ Duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişme

- ✓ Duvarların kısmen yıkılması.

Böyle bir hasar düzeyinde yapının zemin katının şakulden uzaklaşma miktarı 1/50' den fazladır. Bu hasar sınıfına giren yığma yapılardan onarımı mümkün olanlar vardır. Özellikle duvarda yıkılma, şişme ve yataydan uzaklaşma olayının seyrek görüldüğü durumlarda onarım ve güçlendirmeye gidilebilir. Bunun yanında döşemede de yukarıda saydığımız duvarlarda yıkılma, şişme veya şakulden uzaklaşma gibi nedenlerle hasarlar meydana gelmemiş olmalıdır. Bu nedenlerden dolayı meydana gelebilecek aşın deformasyonlardan döşemelerde etkilenebilirler. Bu hasar düzeyine ulaşmış yapılarda onarım ve güçlendirme işlemi yapılsa dahi bütün bunlardan sonra yapının kullanım biçimi değiştirilmelidir. Örneğin bu derece hasara uğramış bir okulun onarım ve güçlendirme işleminden sonra konut olarak kullanılması daha uygun olacaktır(Hendry 2001).

1.8.2.1.5. Yıkılmış yığma yapılar

Bu gruptaki yığma yapıların taşıyıcı duvarlarının tamamı veya büyük bölümü yıkılmıştır. Döşemeler ise mesnetlendikleri duvarın yıkılması sonucunda birbiri üstüne yıkılmış veya önemli çatlaklar meydana gelmiştir. Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapının onarılması mümkün değildir.

1.8.3. Kırsal yapıların hasar biçimleri

Kırsal yapılar derken; duvarları moloz taştan yapılmış, harç olarak çamur kullanılmış ve çatı döşemesi olarak ise topraktan müteşekkil yapılar kastedilmektedir. Islak halde iken bir miktar yapıştırma özelliğine sahip olan çamurların kuruduktan sonra hiçbir yapıştırıcılık özelliği kalmaz. Çamurun kuruduktan sonraki büzülmesi ise taşlar arasındaki boşluğu artırmaktadır. Çatı kirişlerinin bastığı duvarlarda basınç daha fazla olduğundan bu duvarlarda sürtünme gücü daha fazla oluşur. Bu yüzden iç duvarların kesmeye karşı biraz daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Kalın duvarların iç ve dış yüzlerine konulan birbirinden

bağımsız taşlar zamanla kolayca duvardan ayrılmakta ve duvar yıkılmaktadır. Özellikle köşelerde duvar bağlantıları iyi olmadığından çatlaklar oluşmaktadır. Damı teşkil eden elemanlar ise tomruk (biçilmemiş kütük), yassı tahtalar, yapraklı dal veya çalı, taş ve tahta parçaları ile topraktır. Evvela tomruklar duvarlara oturtulmakta ve bunun üzerine kaplama olarak tahta serilmektedir. Bununda üzerine yapraklı dallar veya çalı örtülmekte en son olarak ta bol miktarda toprak ile sıkıştırılmaktadır(Çöğürcü 2007).

Bu tip yığma yapılarda çatı ağırlığı ise 750-1000 kg/m^2 'yi bulmaktadır. 12 cm kalınlığındaki betonarme döşeme ise 300 kg/m^2 civarında bir ağırlığa sahiptir Çatıdan su akmasını engellemek için her sene toprak dökülerek sıkıştırılmaktadır. Ortalarda oluşan sehimden dolayı su birikintisi meydana gelmekte bu yüzden ortalara daha fazla toprak dökülerek yuvak denilen ağır taşlarla sıkıştırılmaktadır. Bu sürekli olarak ağırlığının artmasına sebep olmaktadır. Böyle bir damda toprak kalınlığı neredeyse 50 cm' ye ulaşmaktadır. (Marfia 2001).

Çatı kirişlerinin duvara oturduğu yerler böyle bir ağırlık için oldukça kısa kalmaktadır. Zamanla kirişler su ve nem nedeniyle çürümekte veya böcekler tarafından yenmektedir. Bu sebeplerden zaman içinde çatı ile duvar bağlantısı oldukça zayıflamaktadır. Çok büyük mertebelere ulaşan dam ağırlığı ve kirişler oldukça zayıf hale düşmektedir. Şekil 1.28'de kırsal kesimde bulunan ağır toprak damlı bir yığma yapı gösterilmiştir.



Şekil 1.28 Kırsal kesimde bulunan ağır toprak damlı yığma yapı

1.9. Yığma Yapıların Onarım Ve Güçlendirme Esasları

Bir yapının hasarının giderilmesinde iki ana hedef olabilir. Bunlardan birincisi onarımdır. Onarım, yapının veya elemanlarının hasardan önceki dayanımının yeniden kazandırılmasıdır. İkincisi ise güçlendirmedir. Güçlendirme yapının dayanımını hasarlı hale gelmeden önceki dayanımından daha ileri düzeye taşımaktır.

Deprem mühendisliği kapsamında onarım ve güçlendirme kavramları şu şekilde tanımlanır; Onarım, depremde hasar görmüş bir yapının, fiziksel ve taşıyıcı sistem güvenliği açısından deprem öncesi durumuna getirme işlemidir. Güçlendirme ise, bir yapının, hasar görmüş veya görmemiş, deprem öncesinde sahip olduğu taşıyıcı sistem güvenliği ve performansından daha iyi bir duruma getirmektir. Yani güçlendirme işi için yapının hasar görmüş olması gerekmez.

Sismik açıdan yeterli dayanıma sahip olmayan bir yığma yapı güçlendirilmelidir. Özellikle ülkemiz şartlarında, kırsal yörelerdeki yığma yapılarda hasarlar, yığma yapının inşasında standartların öngördüğü kurallara, sınırlandırmalara uyulmaması nedeniyle oluşuyor. Yığma yapıyı güçlendirme ile ilgili temel ilkeler aşağıda verilmiştir.

Yığma bir yapıda hasar durumu oluştuğunda yapı veya yapı elemanlarının taşıma gücünün azalması nedeniyle düşey yükleri taşımadaki emniyeti kalmaz. Yapının taşıma gücünün eskisinden daha dayanıklı bir hale getirilmesi aynı dayanım düzeyine getirilmesinden daha pahalıdır. Şayet yapının hasardan önce düşey yükleri taşımada bir sorunu yoksa ve bunun yanında yapıda hasar meydana getiren deprem sıklıkla yani üç veya beş yıl gibi arayla meydana gelmiyor ve yapının kalan ekonomik ömrü içerisinde aynı şiddette bir deprem meydana gelme olasılığı çok az ise yapı daha önceki dayanım düzeyine getirilebilir. Bu deprem 50 yılda bir meydana gelebilecek büyüklükte ise ve zaten yapı üç veya beş yıl sonra tümüyle yıkılıp yeniden inşa edilecek ise bu yapının 50 yılda bir meydana gelebilecek depreme göre onarılmasının ekonomik açıdan bir anlamı yoktur(Guinea 2000).

Yapının dayanım düzeyinin depremden önceki dayanım düzeyinden daha yüksek bir hale getirilmesi güçlendirme ile mümkündür. Yapıda hasar meydana getiren depremin sıklıkla karşılaşılma olasılığı yüksek ise yapı daha öncekine nazaran yüksek düzeyde bir dayanıma sahip olmalıdır. Böyle bir deprem altında yapının tekrar hasara uğrayıp onarılmasından ise yapı önceki dayanımından daha yüksek düzeyde bir dayanıma kavuşturulmalıdır. Normal yükler altında yapı aşırı sehim, deformasyon veya çatlama yapıyor ise bu yapının yükleri taşırken zorlandığını gösterir. Böyle bir durumda bu etkiyi meydana getiren yük azaltılmalı veya yapı elemanının dayanım düzeyi artırılmalıdır.

1.9.1. Yığma yapılarda onarım ve güçlendirme ile igili temel ilkeler

Onarım ve güçlendirme ilkesi hasarın nedenine bağlı olarak belirlenebilir. Bir yapının onarım veya güçlendirmesinde çeşitli amaçlar olabilmektedir. Onarım vaya güçlendirme, hasarın nedenlerini giderecek önlemlerin alınması, hasardan dolayı

meydana gelen dayanım kayıplarının yeniden kazandırılması veya bir daha hasar meydana gelmemesi için yapılabilir. Onarım ve güçlendirmede çeşitli amaçlara göre çeşitli ilkeler benimsenmesinin yanında hemen hepsinde kullanılan ortak önlemler vardır.

Bunlardan ilki yapıya etkiyen deprem kuvveti yapının ağırlığı ile doğru orantılı olduğundan yapının yükünün azaltılmasıdır. Özellikle kırsal yörelerde tercih edilen toprak dam yapıya fazladan ağırlık yüklemektedir. Daha hafif çatı malzemesi kullanılabilir. Yapı ağırlığının azaltılmasıyla birkaç açıdan fayda sağlanabilir. Şayet bir yapıda çatlama var ise bu üzerindeki yüklerden dolayı dayanım sınırına yaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Yani eleman dayanımına göre üzerindeki yük gerektiğinden fazla demektir. Bu durumda yapı yükünün azaltılması faydalı olacaktır. Bunun yanında depremde yapıya gelen dinamik kuvvetler yapının ağırlığı ile artacağından yapı yükünün azaltılması depremde daha fazla kuvvete maruz kalmasını engelleyecektir. Yapıyı hafifletmek için çeşitli yollara başvurulabilir. Bunlardan ilk akla gelenleri tuğla bölme duvarların değiştirilerek yerine daha hafif gazbeton, alçı gibi malzemelerin kullanılması, yapı üst katlarının yıkılması, yapı içindeki kalın sıvaların veya taş duvarların kaldırılması, çatı yalıtımında daha hafif malzeme kullanılması veya merdivenlerin direkt olarak zemine oturtulması gibi bazı önlemlerdir. Yapının sünekliğinin artırılması önemli bir etkendir. Yapı ne kadar sünek olursa o derece enerji yutma kapasitesine sahip olmaktadır. Sünek olmanın yanında betonarme yapılarda kiriş kolon birleşimlerinde çatlamalar meydana gelerek mafsallı hale dönüşür ve deprem enerjisini tüketmeye çalışırlar. Tabii bununla beraber birleşim taşıma gücünü kaybetmemelidir. Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde genellikle sistem daha rijit hale getirilmeye çalışılır, bu ise yapının süneklikten uzaklaşması anlamına gelir. Rijitliği yüksek elemanların sünekliği az olur (Bayülke, 1999). Donatı miktarının artması da yine sünekliğin azalması demektir. Onarım ve güçlendirme durumlarında yapının süneklik kazanıp kazanmadığını belirlemek kolay değildir. Genellikle onarım ve güçlendirme olayları sistemin sünekliğini azaltmaktadır(Çöğürcü 2007).

Yapıda ABYYHY'de ön görülen sınırlar aşılarak açılan kapı pencere, boşlukları özellikle bina köşesine yakın bölgede kısmen veya tamamen kapatılmalıdır. Yapı asal

titreşim periyodu ile zemin hâkim periyodu birbirine çok yakın ise oluşan rezonanstan dolayı yapı büyük hasarlar görebilir. Bu durumda yapının dinamik özelliklerinin değiştirilmesi sağlanarak oturduğu zemine uygun hale getirilmelidir. Tabii bunun için zeminin dinamik özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunlar bilindiği takdirde yapı daha esnek ya da daha rijit hale getirilerek yapı periyodunun zemin hâkim periyodundan uzaklaşması sağlanmalıdır. Ancak yığma yapılar ağır ve çok rijit olmalarından dolayı ve taşıyıcı sistemi olan duvarların rijitliği ile fazla oynanamamasından dolayı fazla şansa sahip değillerdir. Yığma yapılar çok rijit yapılar olduğundan doğal titreşim periyotları oldukça kısadır ve bu özelliği fazlaca değiştirilemez. Bu yüzden yığma yapıların yapımında zemin hâkim periyotunun daha uzun olduğu bölgeler seçilmelidir. Böylece periyotların birbirine yaklaşması ve yapının rezonansa girmesi engellenmiş olur(Celep 2001).

Yapının rijitlik merkezi, kütle merkezi ile çakışmıyorsa, yapıda bir burulma etkisi oluşmaması için, yapılacak yeni duvarlarla, kütle ve rijitlik merkezleri çakıştırılmalıdır. Yığma yapılarda taşıyıcı sitemi meydana getiren tuğla duvarlar gevrek bir yapıya sahiptirler. Yığma yapılar oldukça ağır ve rijit olduğundan depremde büyük yanal kuvvetlere maruz kalırlar. Bu dinamik kuvvet duvarlarda oldukça büyük kesme gerilmeleri meydana getirir. Bunun yanında yapı planındaki burulmadan dolayı ek olarak kayma gerilmelerinin gelmesi olabildiğince engellenmelidir. Planda taşıyıcı sistemi meydana getiren duvarlar olabildiğince yapıda burulma oluşturmayacak şekilde yerleştirilmelidirler.

Yapıda meydana gelen hasarlar mevcut yapının depremde gelen kuvvetlere karşı yetersiz dayanıma sahip olduğunu gösterir. Yani yapının taşıma gücünün yetersizliği kanıtlanmış olur. Bu yüzden özellikle yatay kuvvetlere karşı yapının taşıma gücünün artırılması gerekir. Zaten yetersiz olan taşıma gücü depremde meydana gelen hasar ile daha da yetersiz bir hale gelmiştir. Bu esnada düşey yükler hala devam etmektedirler ancak depremde meydana gelen hasardan dolayı yapı aynı zamanda düşey yüklere karşı taşıma güvenliğini de kaybetmiş olur. Özellikle kalıcı yatay ötelenmeden dolayı taşıyıcı duvarlarda ikinci mertebe etkiler önem kazanmaktadır. Yani yapı düşey yükleri daha öncekine nazaran çok daha küçük bir güvenlikle taşıyabilmektedir. Taşıma gücünün artırılması yapıya yatay ve düşey yükleri

karşılamak üzere yeni elemanların eklenmesi veya mevcut elemanların en kesitlerinin büyütülmesi ile sağlanabilir(Çöğürcü 2007).

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde diğer bir önemli nokta ise mevcut olanakların göz önüne alınmasıdır. Yapının bulunduğu yerdeki mevcut olanaklar ile yeterince dayanıma sahip bir yapı yapılamamış ise onarım ve güçlendirmede kullanılması gereken daha üst düzeyde bir işçilik ve malzemenin nasıl elde edilebileceği ciddi anlamda düşünülmeli ve karara bağlanmalıdır. Bunun yanında onarım ve güçlendirme projeleri istenilen amaca ulaşmayı sağlayacak şekilde en ince ayrıntılarına kadar ödün verilmeden kontrol edilmeli ve yaptırılmalıdır (Bayülke 1999).

Güçlendirme çalışmaları sırasında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar:

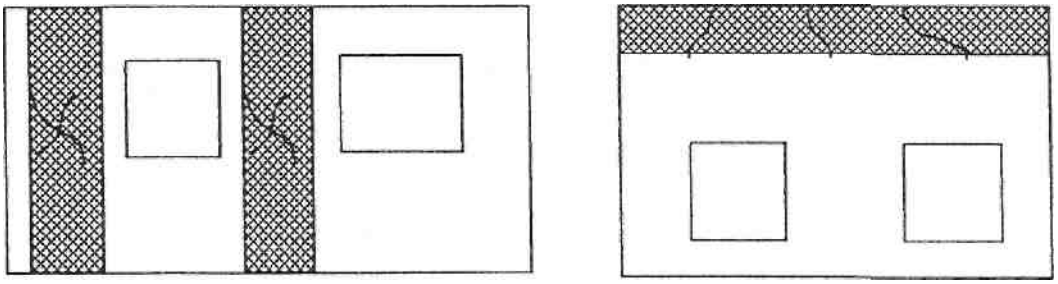
- Yapının yatay ve düşey yüklere karşı dayanımının arttırılması
- Yapının rijitlik ve kütle merkezlerini çakışması
- Yapının taşıyıcı sistem güvenliği ve performansının arttırılmasıdır.

Günümüzde sıkça kullanılan güçlendirme metotları aşağıda anlatılmıştır.

1.9.1.1. Betonarme mantolama

Bu yöntem sıkça kullanılan bir yöntemdir. Duvarın iç ve dış yüzü hasır çelikli betonarme bantlar ile kaplanır. Bu işlem şu şekilde yapılır: Önce duvarın iç ve dış yüzeyine hasır çelik yerleştirilir. İçte ve dıştaki bu hasır çelikler birbirlerine duvarda belirli aralıklarda açılan deliklerle birbirlerine bağlanır. Daha sonra donatı hasırının üzerine yüksek basınçlı çimento kum harcı püskürtülür. Bu işleme duvar üzerinde yaklaşık 5 cm'lik bir beton bant oluşuncaya kadar devam edilir. Beton püskürtülecek yüzeyin temiz olması önemlidir. Beton ile yığma duvarın birlikte çalışmasını sağlamak için, duvar yüzeyindeki küçük parçacıklar temizlenmelidir(Çöğürcü 2007). Bu bağlamda duvara beton püskürtmeden önce yüksek basınçlı su püskürtülür. Böylelikle derzlerde harap olmuş olan harç dökülür ve beton püskürtüldüğü sırada,

bu boşluklar dolarak kompozit bir çalışma söz konusu olur. Bu güçlendirme işlemi Şekil 1.29'da görülmektedir(Benmakrone 2000).



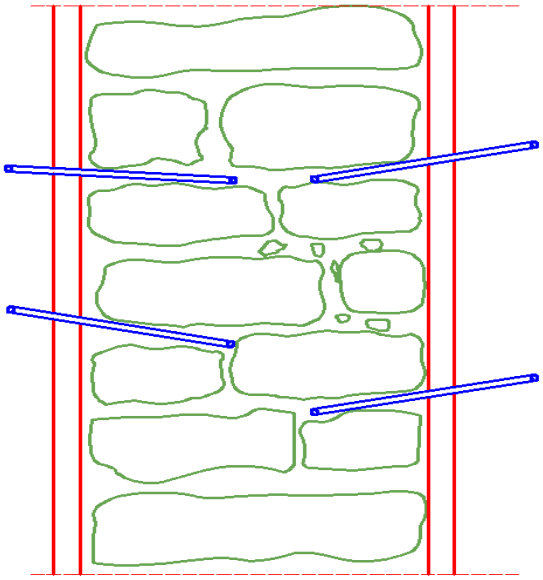
Betonarme Düşey Takviye Bantları Betonarme Yatay Takviye Bantları

Şekil 1.29 Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı

1.9.1.2. Duvar ve payandaların çimento enjeksiyonu ile güçlendiilmesi

Enjeksiyon taş duvarlarda çatlakları doldurmak, gevşek veya zayıf taş çekirdekleri pekiştirmek için kullanılır. Güçlendirme yöntemlerinden biri olan çimento enjeksiyonu yöntemi ile çok zayıf ve düşük dirençli moloz taş duvarların direncinin yükseltildiği ve daha sağlam bir duvar oluşturulduğu gözlenmiştir. Özellikle kırsal yörelerde harç olarak kullanılan çamur zamanla dökülmektedir. Böyle, taşları arası boşluklar olan duvarlar çimento enjeksiyonu ile güçlendirilebilirler(Sadatmanesh 1997).

Moloz taş duvarlarda düşük basınç altında çimento enjeksiyonu yöntemi uygulanır. Bunun için duvarın içine kadar uzanan borular yerleştirilir. Duvarın iç ve dış yüzeyi 2 - 3 cm kalınlığında dış sıva ile kaplanır. Daha sonra alttaki deliklerden başlayarak düşük basınç altında çimento şerbeti enjeksiyonu yapılır. Herhangi bir borudan çimento pompalama, yandaki borulardan çimento şerbeti akmaya başlayıncaya kadar sürdürülür. Çimento şerbeti içirilmiş delikler kapatılır. Bu işlem her bir sıradaki delikler doluncaya kadar sürdürülür. Daha sonra aynı işlemler bir üst sıradaki enjeksiyon deliklerine uygulanır. Delikler arasında 30 – 40 cm kadar aralık olabilir. Şekil 1.30'da da görüldüğü gibi bu deliklerin duvardaki taş ya da tuğla ve benzeri malzeme arasındaki derz durumlarına göre yerleştirilmesi gerekir

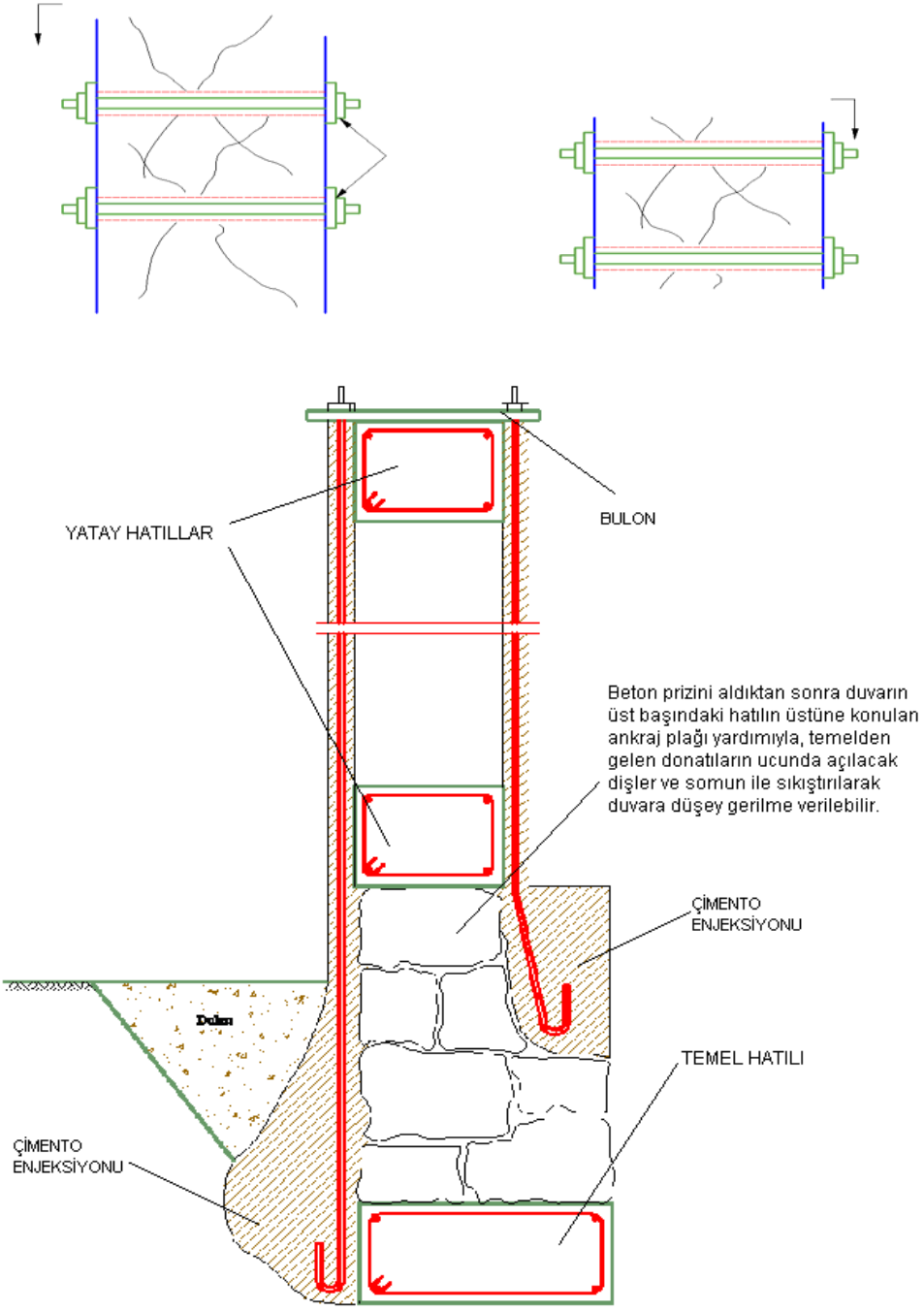


Şekil 1.30 Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi

Çimento şerbetinin yapımında ilk dayanımı yüksek portland çimentosu (IPÇ) ve genleşen çimento kullanımı onarımı hızlandırır. Genleşen çimento, çatlakların içine giren şerbetin genleşip bütün boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içine sülfoalüminat konulmuş bir çimentodur(Çöğürcü 2007).

1.9.1.3. Gergi demirleri ile güçlendirme

Çok fazla kullanılmayan bir yöntem olan gergi demirleri ile güçlendirme yöntemi, yığma yapılarda duvarlara yatayda ve/veya düşeyde gergi demirleri ilavesi ile gerçekleştirilir. Yapılan bazı araştırmalar bu tarz gergilerin duvarın direncini arttırdığı ve dağılmasını engellediğin göstermiştir. Yapılmış deneylerde gergi demirlerinin en etkin yerleştirileceği yerin duvar yüksekliğinin 1/3 aralıklara bölünerek konulması olduğudur. Böylece duvarda oluşacak eğik çekme çatlakları bir kaç adet gergi demiri tarafından kesilerek daha yüksek bir güçlendirme sağlanır(Bayülke 1990). Duvarlarda uygulanan gergi demirleri ile ilgili ayrıntılı şekiller Şekil 1.31'de verilmiştir.

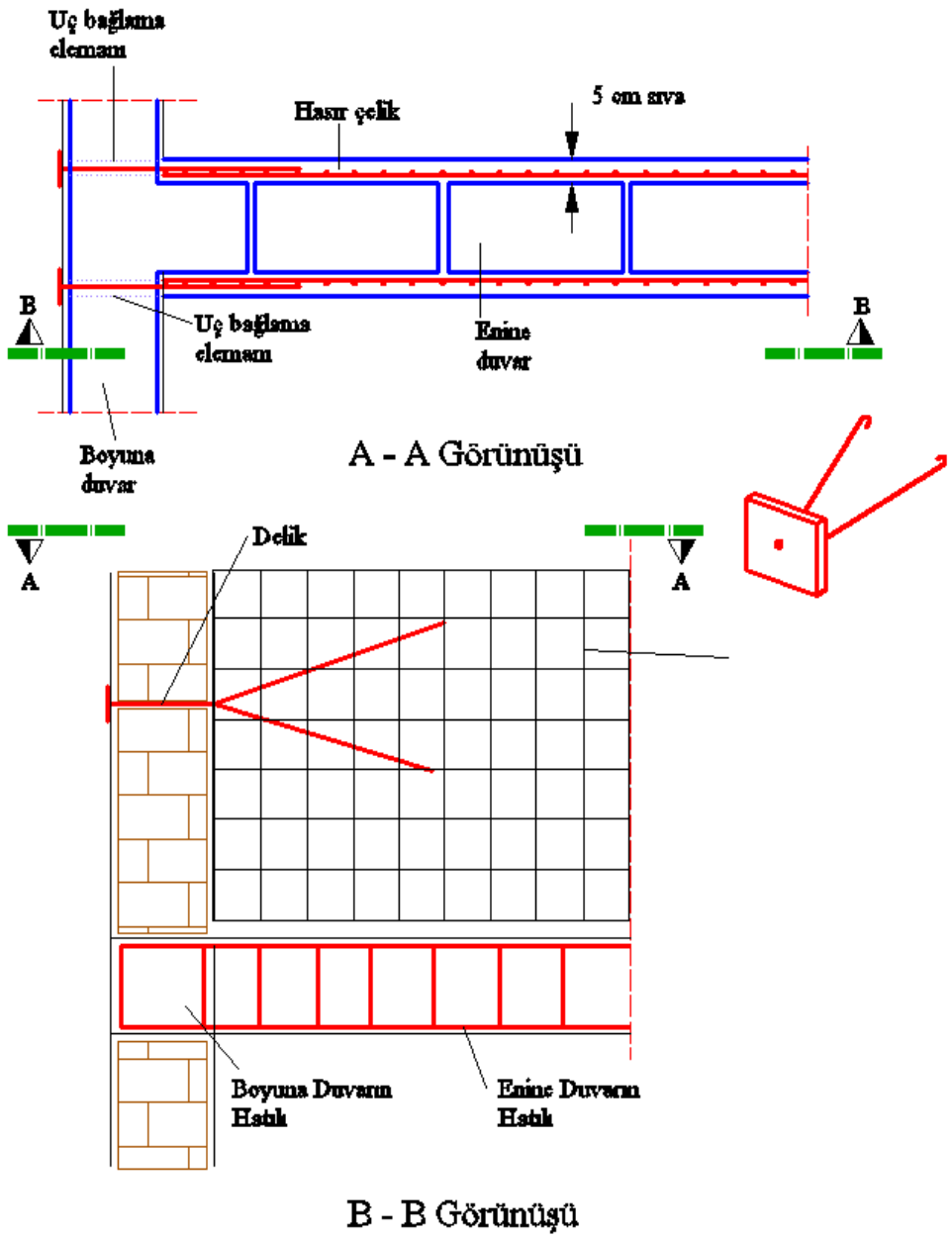


Şekil 1.31 Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme

1.9.1.4. Betonarme hatıllarla güçlendirme

Betonarme hatıllarla güçlendirmede yığma yapılarda duvarları takviye etmenin diğer bir yoludur. Hiç düşey hatıl konulmamış uzun duvarlarda, rijitliği zayıf görülen

duvarlarda tek veya çift taraflı olarak betonarme hatıllarla takviye etmek mümkündür(Nanni 1999).



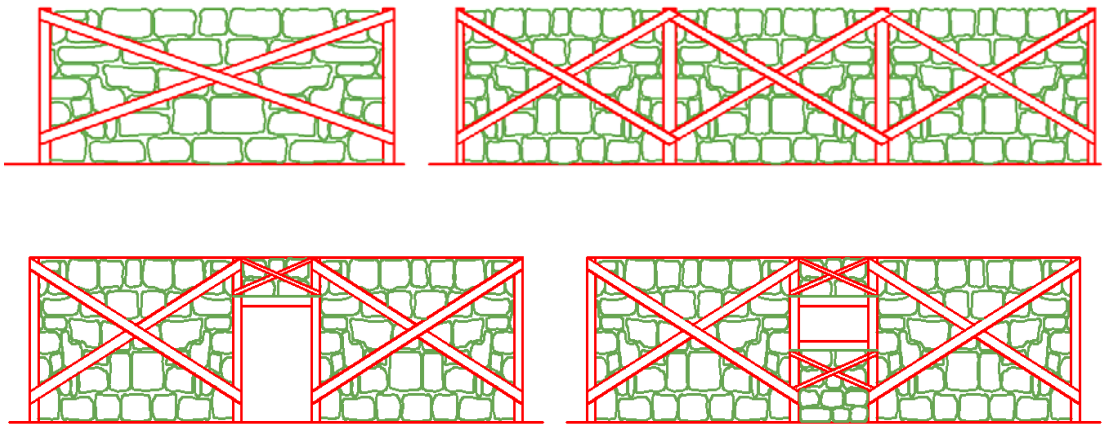
Şekil 1.32 Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme

Özellikle taşıyıcı duvarların kesişim bölgesinde düşey hatıllar teşkil edilmelidir. Bu düşey hatıllar yatay hatıllarla birleştirilerek çerçevede olşturulabilir. Bu hatılları, mevcut bir yapıda teşkil etmek pek kolay değildir. Düşey betonarme hatılın genişlikleri duvar genişliklerine eşit olmalıdır. Kolonun teşkil edileceği köşede kolon boyutunca duvar parçası yıkılır. Açığa çıkan duvar yüzeylerinin pürüzlü olması, betonla yığma duvarın birlikte çalışmasını sağlamak açısından önemlidir(Paulay 1992).

Yığma yapıların güçlendirilmesinde uygulanan diğer bir teknikte taşıyıcı duvarlara yerleştirilen yatay betonarme bağ kirişleridir. Yönetmeliklerde yeni yapılan yığma yapılarda döşeme ve çatı hizasında yatay hatıllar teşkil edilmesi istenmektedir(Valuzzi 2005). Mevcut bir yığma yapıda özellikle kat hizasında yatay hatıl teşkil etmek pek kolay değildir. Çatıda hatıl teşkil etmek daha kolaydır. Çatı kaldırılır, yatay hatıllar teşkil edilir ve sonra tekrar yerine konur. Kat hizasında yatay hatıl teşkil etmek için önce hatılın yapılacağı bölgede bir kısım duvar parçası çıkarılır üstte kalan duvar desteklenir, açılan kısma donatı yerleştirilir, beton dökülür ve bu işlem geri kalan kısımlarda tekrarlanır. Yatay hatıl teşkil edilirken üst taraftaki duvarın desteklenmesi açılan boşluğa kalıcı destekler yerleştirmeyle mümkün olabilir. Yığma yapılarda uygulanan yatay ve düşey hatıllarla güçlendirme şekli Şekil 1.32'de verilmiştir(Çöğürcü 2007).

1.9.1.5.Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme

Özellikle kırsal yörelerde çok rastlanan tek katlı yığma yapılar, ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirilebilir. Deprem sırasında gerilmelerin toplandığı kapı pencere boşlukları ahşap çerçeveler ile güçlendirilebilir(Şekil 1.33)(Wenzel 1990).



Şekil 1.33 Ahşap çaprazlarla güçlendirme

Bu yöntemlere ek olarak günümüzde katkı malzemesi, polimer grid (ızgara), epoksi bağlayıcılı FRP (fibrik olarak güçlendirilmiş polimer) plakalar, CFCM (Carbon Fiber Cement Matrix) sistem ile güçlendirme gibi yeni yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır(Celep 2001).

1.10. Kullanılan Katkı Maddeleri ve Tamir Harçları

1.10.1. Hazır yaş harç

Hazır yaş harç; sıva, şap ve duvar harcı olarak kullanılabilen, içerisinde kireç bulundurmayan, homojen, ısı ve ses izolasyonu sağlayan, her tür yüzeyde rahatlıkla kullanılabilen, santrallerinde hazır olarak üretilen, transmikser ile müşteri şantiyelerine taşınan çimento esaslı bir yapı malzemesidir.

Avantajları;

- ✓ Hazır yaş harcın hava içeriği yüksek olup yoğunluğu düşüktür.
- ✓ Elle şantiyede hazırlanan sıva ile karşılaştırıldığında, malzeme kayıplarını ortadan kaldırır.

- ✓ Karışım hazırlama için gerekli işçilik maliyeti ve süresinden tasarruf sağlar.
- ✓ Şantiyede, malzemeden ve karışım işleminden kaynaklanan kirliliği ortadan kaldırır.
- ✓ Rötre çatakları oluşmaz.
- ✓ Her tür yüzeyde mükemmel yapışma sağlar, özellikle gaz beton esaslı beyaz tuğla duvarlar için idealdir.

Hazır yaş harç, konut, endüstriyel yapılar gibi her tür yapının iç ve dış yüzeyine, duvar ve tavanlara uygulanabilir. Tuğla, bims, gaz beton, bürüt beton, briket duvar gibi yüzeylere elle veya sıva makinesi ile uygulama yapılır.

Hazır yaş harcın özellikleri aşığıda verilmiştir;

- ✓ Basınç ve eğilime dayanımları yüksektir.
- ✓ Teneffüs eder, su geçirimsizlik özelliği vardır.
- ✓ Boyada %20'ye varan tasarruf sağlar.
- ✓ Çimento esaslı olması nedeni ile yapılardaki metal ve çelik elemanlarda korozyona neden olmaz.
- ✓ Kireç içermez, zor hava şartlarında bile durabilitesi yüksektir.
- ✓ Hazır beton santrallerinde sürekli standart kalitede yüksek miktarlarda üretimi mümkündür.
- ✓ Rengi ve kompozisyonu değişkenlik göstermez.
- ✓ Homojendir, kolay perdah yapılır.
- ✓ Hem el, hem de makine ile uygulanabilmesi sebebi ile şantiye şartlarına uygun bir malzemedir.
- ✓ Anında tüketilmesi gerekmez, kullanıcının isteğine göre 12 veya 48 saatlik bekleme sürelerine sahip hazır yaş harç üretilebilir. Bu süre içerisinde bozulmaz ve uygulandığında hemen perdaha hazır hale gelir.
- ✓ Hem iç hem dış sıva olarak kullanılabilir.
- ✓ Elle hazırlanan sıva karışımına göre daha hızlı ve kolay işlenir.
- ✓ Çelik mala ile uygulandığında pürüzsüz yüzey sağlar, alçı sıva yapılması gerektirmez.

1.10.2. Melmix katkı malzemesi

Hazır yaş sıva ve harç üretiminde kullanılan; priz geciktirici özelliği olan, mükemmel görünümlü, pompalanabilir, sıva ve harç üretiminde kullanılan katkı malzemesidir. Kaba ve ince sıva üretimi için formüle edilmiş, priz geciktirici özelliği olan, kullanıma hazır, klor içermeyen, yaz ve kış aylarında kullanabilme özelliği olan, bir katkı malzemesidir. Melmix katkı malzemesinin kullanım yerleri aşağıda verilmiştir.

• Her türlü inşaat işinin kaba ve ince sıva üretiminde (toplu konut,endüstriyel tesis,...)
• Tuğla ve ytong örme imalatında kullanılan harçlarda
• Uzun süre işlenebilirlik istenen sıva ve harçlarda
• Geçirimsizlik ve ısı izolasyonu istenen sıva ve harçlarda
• Donma-çözülmeye karşı dayanıklılık istenen sıvalar ve harçlarda

Katkı malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 1.12'de verilmiştir.

Çizelge 1.12 Melmix katkı malzemesinin teknik özellikleri

Yoğunluğu (g/cm3)	-1,175-0.03
Klor % (EN 480-10)	<0.1
pH (200C)	8-1
Renk Homojenite	Pembemsi yarı şeffaf sıvı homojen
Viskozite (200C)	< 30 cps
Temel görevi	Pirizin geciktirilmesi
İkincil görevi	Uzun dönem dirençlerin artması

1.10.3. Febond PVA

Su ve nem içermeyen ortamlardaki sıva ve şaplar için çok amaçlı astar, bağlantı ajanı, yapışkan ve yüzey yalıtkalı bir malzemedir. Malzemenin özellikleri şöyledir;

- ✓ Febond PVA, çok uygulamaları olan, ekonomik, yapıştırıcıdır.
- ✓ Febond PVA, BS 5270 gereksinmelerine uygundur.
- ✓ En yaygın yapı malzemeleri için bir yapıştırıcı olarak kullanılır.
- ✓ Harç için bağlama ajanı olarak kullanılır.
- ✓ Yalıtkan kaplama olarak kullanılır.

1.10.4. Emaco® ECC 735

3 bileşenli, epoksi modifiyeli yüzey düzeltme, tamir ve izolasyon harcı Emaco® ECC 735, çimento esaslı dolgu malzemesidir. Taş ve çimento esaslı yüzeyler üzerine 0.5- 3.0 mm kalınlığında ince tamir harcı olarak, düşey ve yatay yüzeylerde onarım ve izalasyon amacıyla dolgu malzemesi olarak, agresif kimyasal ortamlardaki beton yüzeylerin onarımında ve izalasyonunda kullanılırlar. Emaco® ECC 735 katkı malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 1.13'de verilmiştir.

Çizelge 1.13 Emaco® ECC 735 katkı malzemesinin teknik özellikleri

Renk	Gri
Karışım oranı (Ağırlıkça)	Bileşen A : 1.3 kg Bileşen B : 2.3 kg Bileşen C : 17.0 kg
Karışımın yoğunluğu	2.00 ± 0.05 kg/lt
Teorik Sarfiyat	Yak. 2 kg / m^2 / mm
Basma Muk.	40 N / mm^2 (28 gün)
Eğilme Muk.	9 N / mm^2 (28 gün)
Elastislte Modülü	12500 N / mm^2 (28 gün)
Yapışma Muk. (betona)	3.5 N / mm^2 (28 gün)
Tam kürlenme	20 °C'da 28 gün
Yeniden kaplanabilme zamanı	18-24 saat
Tava Ömrü	Yak. 40 dak (23°C)

1.10.5. Albarıa Inıezıone 50

Sıvaların, fresk sıvalarının ve mozaiklerin güçlendirilmesi için kullanılan hidrate kireç, puzolanik metakaolen ve karbonat tozları içeren enjeksiyon grout harcıdır. Albarıa ınıezıone 50 toz formda, suda çözünür tuzlar içermeyen, kullanıma hazır enjeksiyon malzemesidir. Çok saf hidrolik kireç, seçilmiş mikronize karbonatlar ve puzolanik metakaolen içeren malzemeye aşağıdaki kimyasal katkılar ilave edilmiştir.

Malzemenin genel özellikleri şunlardır;

• Güçlendirilecek hasarlı yapıda zarar verici kuvvetler yaratmaksızın plastik halde iken rötreyi engelleyici, genleşme ajanlarının sağlanması ve oluşturulması.
• Doğal su tutucudur. Bu nedenle, desteğin önceden ıslatılmadan grout malzemesinin kullanılmasına izin verir. Suyun grout harcından fazla ayrışarak fresklere ulaşmasını önler.
• Polikarboksilik eter bazlı yeni nesil süperakışkanlaştırıcıdır. Bu nedenle, düşük basınçlı pompalar, şırıngalar veya ince iğneler kullanılarak kolayca ve etkili bir şekilde enjekte edilebilir. Katkı maddelerinin hiçbirisi çözünür tuzlar (alkali, sülfat, klor veya nitrat) içermemektedir ve zamanla albarıa ınıezıone 50 grout harcı kompozisyonu ve fonksiyonları itibariyle Rönesans "porselen" grout harcının bilimsel versiyonudur. Kalsine edilmiş kaolenden elde edilen yaygın ve puzolanik reaktif kireçlerin doğru karışımı, mükemmel dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin anahtarıdır.

Albarıa ınıezıone 50'nin çalışma mekanizması mikronize kaolen ile hidrate kirecin puzolanik etkileşiminden meydana gelen tobermorit (CSH) ve gehlenit (C2ASH8) içerir. Bu bileşenler, kireç ve puzolan kombinasyonundan elde edilen bileşenlere benzemektedir. Bu reaksiyon sırasında ve grout harcının daha sonraki sertleşmesinde, tüm kireç hızla ve tamamen tüketilir. Böylece duvarlarda istenmeyen yüzey çiçeklenmesine (beyazlanma) neden olan serbest kirecin hareketi önlenir.

Albarıa ınıezıone 50 özellikle geleneksel sıvaların, fresklerin ve değerli duvar sıvalarının güçlendirilmesi için geliştirilmiş bir üründür. Aynı zamanda, tuğla, taş ve tüf duvar yüzlerindeki veya tarihi ve kültürel değeri olan duvarların içindeki boşlukların doldurulması için kullanılabilir. Malzemenin teknik özellikleri Çizelge 1.14'de verilmiştir.

Çizelge 1.14 Albarıa ınıezıone 50 malzemenin teknik özellikleri

Görünüş	Toz halde
Renk	Beyaz
Grout harcının tane boyutu	0-30 mm D85 = 10 mm
Karışım suyu	Toz ağırlığının % 42'si
Akışkanlık akma-konisi	<25 saniye başlangıçta < 25 saniye 30 dakika sonra < 25 saniye 60 dakika sonra
Taze karışımın yoğunluğu	1.7 kg/lt
Priz süresi	20 - 30 saat
Basınç dayanımı, UNI EN 196	7 günde 35 kgf/cm^2 28 günde 50 kgf/cm^2
Eğilme dayanımı, UNI EN 196	7 günde 10 kgf/cm^2 28 günde 15 kgf/cm^2
Statik elas modülü, UNI 8556	45.000 kgf/cm^2
Isı oluşumu	Sertleşme sırasında maksimum sıcaklık <30°C
Isı genleşme katsayısı	8 x10-6
Terleme	Yok
Suda çözünür tuzlar	I.C.R. tavsiyelerinin altında
Organik maddeler	I.C.R. tavsiyelerinin altında
Çiçeklenme	Normal M33/87'ye göre mevcut değil bozulmamaktadır.

1.10.6. Sika®Mate-Yapıştırıcı

Binalara iç veya dıştan uygulanan ısı yalıtım levhalarının yapıştırılması için geliştirilmiş polimer modifiyeli çimento esaslı bir malzemedir. Şantiyede sadece su eklenerek kullanılması kolaylık ve kalite avantajı sağlamaktadır. Yüzey ile Polistiren levha arasında yeterli yapışma sağlar.

1.10.6.1. Avantajları

SikaMate-Yapıştırıcı, aşağıdaki avantajları sağlar:

- Su geçirmezlik sağlar.
- Yeterli yapışma, esneklik oluşturur.
- Yapıştırılan plâkaların kayma ve sarkmasını önler.
- Düşey ve baş üstü uygulamalara uygundur.
- Uygulama kolaylığı sağlar.

1.10.6.2. Harç-yüzey hazırlığı

SikaMate-Yapıştırıcı, şantiye alanında; 25 kg torbaya 5.0 -5.5 kg su katılarak veya hacimce 2.7 -2.9 ölçek malzemeye yaklaşık olarak 1 ölçek su katarak bir karıştırıcı mikser yardımıyla 3-5 dakika karıştırılıp hazırlanmalıdır. Karışlım suyu üzerine toz halindeki ürün eklenerek karıştırılmalıdır. 10 dakika dinlendirdikten sonra harç tekrar karıştırılarak uygulanmasına başlanılmalıdır. Sadece kullanılacak kadar malzeme karıştırılmalıdır. Yüzeydeki bütün oynak parçacıklar, toz, yağ, yabancı kaplama malzemesi vb. temizlenir, yüzey su ile ıslatılarak suya doygun hale getirilir.

Polistiren levhaların arka yüzeyinin tüm kenarları boyunca sürekli olarak ve ortalarına mala ile nokta şeklinde harç yerleştirilir. Levhalar yapıştırılırken, istenilen düzey ve eşitlik sağlanana kadar levhalar bastırılarak yerlerine oturtulur. Ortam

sıcaklığına bağlı olarak yapıştırıcı yeterli kürünü aldığında mekanik dübel ile tutturulur. Levhaların yerine oturtulması esnasında levhaların yüzeyindeki harcın kuruyarak şilm tabakası oluşturulması engellenmelidir.

1.10.7. Sikalatex katkı malzemesi

Sikalatex, iyi bir yapışma ve su geçirimsizlik istenen yerlerde çimento harçlarına katılan, sıvı sentetik kauçuk emülsiyondur. Sikalatex, çimento harçlarının kalitesini önemli ölçüde arttıran yüksek nitelikli bir emülsiyon olarak aşağıdaki uygulamalarda kullanılır.

- ✓ İnce tabaka tamir harçlarında
- ✓ Sıvalarda
- ✓ Döşeme şaplarında
- ✓ Beton tamir harçlarında
- ✓ Aşınma dayanımlı kaplamalarda
- ✓ Seramik yapıştırma harçlarında
- ✓ Duvar ve sıva harçlarında

Sikalatex, harca aşağıdaki özellikleri kazandırmak üzere karışım suyuna ilâve edilir.

- ➢ Mükemmel yapışma
- ➢ Büzülmenin azaltılması
- ➢ Daha fazla elastikiyet
- ➢ Mükemmel su geçirimsizlik
- ➢ Aşınma dayanımının artırılması
- ➢ Kimyasal dayanımın iyileştirilmesi

Orijinal açılmamış ve hasar görmemiş ambalajlarda doğrudan güneş ışığından, aşırı sıcak ve dondan koruyarak + 5 C^o ile + 35 C^o arasında depolandığı takdirde üretim tarihinden itibaren 12 ay saklanabilir. Sikalatex malzemesinin genel özellikleri Çizelge 1.15'de verilmiştir. Sikalatex katkı malzemesinin yapışma

performansını ve aderansı artırıcı özelliği olmasından dolayı deneylerin yapılmasında bu katkı malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 1.15 Sikalatex katkı malzemesinin özellikleri

Sikalatex	Özellikleri
Renk	Beyaz
Görünüm	Homojen emüsyon
Yoğunluk	1.015 ± 0.01 kg / l
pH Değeri	8-12
Donma noktası	- 5 C^o

1.11. Amaç ve Kapsam

Ülkemizde yapıların büyük bir bölümü, özellikle Anadolu'nun kırsal kesimlerinde, hatta büyük kentlerimizin varoşlarında yapı stoğunun neredeyse tamamı yığma yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'nin büyük bir bölümü deprem kuşağında bulunmakta ve bu coğrafyada yaşayan birçok insanımızın yaşamını sürdürdüğü yapılarda birinci ve ikinci derece deprem kuşağında yer almaktadır.

Yığma yapılar rijit olmalarından dolayı enerji yutma yeteneğine sahip değildirler. Depremlerde ortaya çıkan enerjiyi azaltma kapasitesi düşük olduğu için büyük yatay kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Üstelik yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek malzemeler olmasından dolayı mühendislik açısından istenmeyen davranışlar göstermekte, taşıma limitini aştıkları anda ani çatlamalara ve kırılmalara sebep olmaktadırlar. Bu sebeplerden dolayı yığma yapıların depreme dayanıklı yapılar olarak nitelenmeleri olanaksızdır. Bununla beraber, yığma yapıların deprem açısından tamamen olumsuz yapılar olarak algılanması da doğru değildir. Diğer bütün yapılarda olduğu gibi yığma yapılar da standartlara, yürürlükteki kanun ve yönetmeliklere uygun olarak yapıldığı, bununla beraber mühendislik hizmeti

gördükleri takdirde gayet sağlam ve emniyetli olarak görevlerini yerine getirebilen yapılar olarak karşımıza çıkarlar.

Son yıllarda meydana gelen depremler incelendiğinde can ve mal kayıplarının kırsal kesimlerde meydana gelen depremlerde; yığma yapıların göçmesiyle meydana geldiği görülmektedir. Kırsal kesim yapı stoğumuzun %80'nin yığma yapılardan oluştuğu görülmektedir. Bu yapıların, standardize olmamış yerel malzemelerden, standart beceriye ulaşamamış yerel işçiliklerle ve çoğu kere ilgili teknik mevzuata uyulmadan yöresel yapı kültürü ile yapıldığı gözlemlenmiştir.

Kıral kesimlerdeki yığma yapılarda büyük hasarların oluşması, kat farklığı, katlarda duvar kalınlığı, dolu duvar boyları, açıklık mesafeleri, bina köşe mesafeleri, duvarlarda doluluk, boşluk oranları, kat yükseklikleri, hatıl ölçüleri vb. konularda planlama hatalarından kaynaklanmaktadır.

Yığma yapıların deprem yükü altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; yapının, duvarda meydana gelen malzeme çatlaklarının ilerleyerek çatlak akma çizgileri haline gelmesiyle çöktüğünü göstermiştir. Bu araştırmada; yığma duvarlarda, harcın yapışma performansını artırarak kırılmayı geciktirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla harcın içine belirli oranda katkı malzemesi katılarak model duvar numunesinin performansı artırılmıştır.

Bu çalışmada, yığma yapının davranışını karakterize eden prototip yapının, deprem yükü altında en elverişsiz olduğu tespit edilen kısmı numune olarak seçilmiştir. Deney numunesinin boyutlandırılmasında 1997 afet yönetmeliği esas alınmıştır. Çözüm, doğrudan tuğla duvar üzerinde uygulanan deneylerle elde edilmeye çalışılmıştır. Numune duvar düzlem dışı ve düzlem içi yüklemelerle her adımda 10 kN ilerlemek suretiyle ileri ve geri yükleme yapılarak test edilmiştir. Düzlem dışı yüklenmiş iki eksenli yük etkisine maruz kalan numune duvara ait yük, deplasman ve kırılma desenleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, yapılan çalışmalar 1997 afet yönetmeliğindeki kurallar ve hesap yöntemleri esas alınarak analitik çözümlemeler yapılmış ve yapılan güçlendirme yönteminin geçerliliği ve uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Genel Çalışmalar

Ülkemizdeki yığma yapıların yapısal davranışları ve depreme karşı dayanıklılığı hakkında yapılan teorik ve deneysel çalışmalar yok denecek kadar azdır. Fakat son yıllarda meydana gelen depremlerde, yığma yapı hasarları büyük maddi ve can kayıplarına neden olmuştur. Dolayısıyla bu konuda yapılan çalışmalar hız ve yoğunluk kazanmıştır.

Bu çalışmalar genelleştirildiğinde, alfa açılarının belli değerler civarını tutmak gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Göçme parametresi olan m 'in 0.6 ve 1.00 değerleri aldığı düşünülürse alfa açısının dolu tuğlada 60° , boşluklu tuğlada 45° civarında olması gerektiği bulunur. Bu çalışmalar boşluklu tuğla duvarlar deprem etkisinde kayma moduna bile varmadan ezildiğini ve böylece depreme dayanıklılığı önemli ölçüde azaldığını gösterir.

Diğer bir araştırmada, son yıllarda İtalya ' da Pavia Üniversitesi'nde yapılmış olan deneylerdir. Bu deneylerde yapı davranışını karakterize eden yükseklik/genişlik oranları farklı iki tip numune kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde yarı - statik, pseuda - dinamik ve dinamik deney yöntemleri uygulanmış elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve sayısal yöntem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Örneğin; yarı - statik deney yönteminde duvar numunesi betonarme bir plağın üzerine oturduktan sonra sabit düşey yük ve yatay yüke maruz kalmıştır. Duvar hatılın üzerine boyutu sehim koşullarını sağlayan bir çelik profil yerleştirmiş ve sabit düşey yük hidrolik kollar ile profilin iki ucunda uygulanır. Yatay yük ise deplasman kontrollü yükleme sistemiyle artan değerlerle adım adım verilmiştir. Duvar numunesinin deplasman ölçerlerle donatılması sayesinde oluşan deplasmanlar gözlenmiş ve yüklemeye ait diyagramlar yükleme -boşaltma eğrileri ile ifade edilerek çizilmiştir. Bu deneylerde yükseklik / genişlik oranı fazla olan yüksek

duvarın alçak duvara oranla daha esnek bir davranış sergilediği ve %0.6 eğiminde çatlakların oluştuğu ve yük altında basit bir sallanım hareketi yaptığı gözlenmiştir.

Burada konu ile ilgili bazı deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesinde yıllar önce sürdürülen çalışmalarda uygulanan yöntemler kompozitin denenmesi açısından faydalı olmuştur.

5 sıra tuğladan oluşan küçük bir tuğla duvar elemanı eğimli olarak beton bir prizma içine gömülmektedir. Prizma beton basınç presi altına yerleştirilerek kırılmaktadır. Tuğla duvara uygulanan basınç kuvveti diyagonal olarak etkimektedir. Duvara düşey ve yatay yönde etkiyen yükleme hali için bir model oluşturmaktadır. Bu iki kuvvetin bileşkesi olan basınç kuvveti duvarın göçme modunu (basınç göçmesi - kayma göçmesi) belirleyen bir parametredir. Kayma kuvveti ; Q, Basınç kuvveti ; N ve Presin uyguladığı kuvvet ; P ise; Q = P x Cos a N = P x Sin a 'dır. Bu durumda göçme modunu belirleyen parametre m ise; m =Q x I x N veya m= Cot a ifadesiyle karşılık bulmaktadır. Daha sonra yapılan diğer bir çalışmada tuğla ve harç göçmenin kayma moduna dönüştüğü m değeri 0.60, boşluklu tuğlada ise 1.0 olduğu gözlenmiştir. Bundan çıkaracağımız sonuç; boşluklu tuğla ile örülen duvarlarda göçmenin öncelikle basınç etkisiyle meydana geldiğidir. Dolayısıyla boşluklu duvarların deprem durumunda çok elverişsiz olduğu sonucu da çıkmıştır. Çünkü bu tip duvarlar deprem kuvveti altında kayma göçmesine varmadan basınç kuvveti göçmesiyle yük taşıyamaz hale gelmektedirler. Alçak yığma duvarda son yatay yük altında %0.2 eğimli çatlaklar oluşmuş, duvar gevrek davranmış ve kesme etkisinde hasarlar meydana gelmiştir. Alçak yığma duvarın gevrek bir davranış sergilediği görülmüştür.

Sabit düşey yük altındaki duvar numunelerine yatay yük uygulanmış. her numune duvarına deplasman kontrollü yükleme yapılmıştır. Bütün numunelerde gözlenen oranlar birbirlerine oldukça yakındır. Numunelerde ölçülen düşey basınç gerilmeleri 0.52 ile 0.99 Mpa arasında değişmektedir. Yığma duvar olmasına rağmen son hasardan sonra dahi duvarda tamamen bir göçme gözlenmemiştir. Eğilme çatlakları duvarın topuk bölgesinde meydana gelmiştir. Yatay kuvvet son yükün %40 'ı mertebesinde iken oluşmuştur.

Çöğürcü (2007), yaptığı çalışmada, düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlamaların kontrol altına alınmasını sağlayacağı düşünülen epoksi reçineli FRP ile yatay derz takviyesi uygulaması, analitik ve deneysel olarak araştırmıştır. Bunun için gerçekçi boyutlara sahip, aynı geometri ve malzeme özelliğinde 2 ayrı prototip duvar üretilmiştir. Birinci duvar deprem etkisini modelleyen düzlem dışı tersinir yük altında denenmiş ve kırılma davranışı incelenmiştir. İkinci duvarın yatay derzleri epoksili FRP ile takviye edilmiş ve eşdeğer şartlar altında denenerek uygulamanın duvarı kırılmaya karşı ne kadar güçlendirdiği araştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda; yığma duvarların tersinir düzlem dışı yükler altında betonarme döşemede oluşan akma çizgilerine benzer kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığı, kırılma türünün gevrek olduğu ve akma çizgilerinin işaret ettiği sünekliğe sahip olmadığıgörülmüştür. Yatay derzin, epoksili FRP ile takviyesi ile güçlendirilen duvarın kırılmaya karşı 3 (üç) kat daha fazla dayanıklı hale geldiği görülmüştür.

Yorulmaz ve ark. (1968), yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında davranışları üzerine olan araştırmaları sırasında ufak model tuğlalarla imal edilmiş duvar numuneleri iki eksenli gerilme haline maruz bırakarak bir seri deneyle konuyu incelemişlerdir. Bu testlerin sonucunda mümkün olan kırılma mekanizmaları belirlenmiş, tuğla duvarlı çerçevenin enerji yutabilmesi için düşük olan aderansını geliştirme yöntemleri araştırılmıştır.

Mcniven ve ark. (1989), tarafından, donatılı tuğla duvarların çeşitli kayma modlarında sisimik yüklere davranışı üzerine bir çalışma yapılmış, yeni bir sismik kayma davranışı önerilmiştir.

Gürdil (1986), çalışmasında kerpiç duvarlara, düzleminde üst kenardan uygulanan sabit basınç yükü ile çarpraz iki köşeden uygulanan artan basınç yükü etkimesindeki duvarın dayanımını incelemiştir. Bu yükler altında beş kerpiç duvar elemanı kırılıncaya kadar denenmiş, maksimum kayma ile düşey basınç gerilmesi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Daha sonra ortotrop doğrusal olmayan bir model geliştirilmiş ve bu model üzerinde değişik basınç dayanımları kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır.

Gülkan ve ark. (1988), kerpiç duvarların duvar düzlemi içinde üst kenarından yatay harç birleşim yerlerine dik, üniform yayılı sabit yük ile çapraz iki köşeden artarak uygulanan diyagonal basınç yükü etkisindeki dayanımlarını deneysel olarak incelemiştir. Bunun sonucunda iki eksenli gerilme halindeki bu duvar elemanlarında doğrusal olmayan sonlu elemalar yönteni uygulayarak bir çözüm geliştirilmiştir. Bu çözümde zemin elasto-plastik bir malzeme olarak kabul edilmiş, duvar içinde mohr-Coulumb yöntemine bağlı kalınmış, deneysel ve analitik çalışmanın kıyaslanması yapılmıştır.

Yokel ve ark. (1976), diyagonal basınç yükü ve tuğla duvar düzlemi içinde düşey üniform basınç yükü etkisinde test numunelerinde, elastik özelliklerin yönlere göre değişimi ile ilgili bilgilerin eksikliğinden anisotropik bir model yerine isotropik elastik model kullanılarak gerilmeler hesaplanmıştır. Sonlu elemanlarla inceleme sırasında, poisson oranının dağılımının ve büyüklüğünün gerilmeler üzerinde çok etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Poulay ve ark. (1992), yazdıkları kitabın yığma yapılarla ilgili olan bölümlerinde önce yığma duvarlar ile bu duvarlarda karşılaşılan durumlar için bir sınıflandırma yapılmıştır. Bunlar;

- Taşıyıcı duvarlar
- Birleştirilmiş duvarlarda ara duvar mafsallaştırılması
- Birleştirilmiş duvarlarda parapet mafsallaştırılması
- Birincil ve ikincil yanal kuvvet sistemlerinin seçimi
- Yüz yüklü (Düzlem içi yüklenmiş) duvarlardır.

Düzlem dışı yüklenen bir duvarın düzlem içiyle bağlantısına değinilmiştir.

- Düzlem dışı esneklik için kesit analizi
- Düzlem dışı bükülme için tasarım
- Düzlem içi esneklik için kesit analizi
- Düzlem içi bükülme için tasarım

konuları mekanik formüllerle anlatılmış ve her biri için çözümlü birer sayısal örnek verilmiştir. Dikdörtgen ve dikdörtgen olmayan kesit durumlarının yumuşaklık unsurları irdelenen kitapta duvarı kesme reaksiyonlarına göre tasarlarken nelere ihtiyaç duyulacağı, tavsiye niteliğindeki açıklamalar ve formüllerle ifade edilmiştir.

Kitapta yığma yapının çelik donatılarla güçlendirilmesinden bahsedilmiş, bu donatıların ankraj ve bağlantıları, minimum ve maksimum donatı kısıtlamaları hakkında bilgi verilmiştir. Duvarın düzlem dışı bükülmesini önleyecek duvar kalınlığı amprik olarak belirlenmiştir.

Kargir perde ve kiriş bağlantısının nasıl güçlendirileceği mekanik olarak ifade edilmiş; betonarme çerçevenin içini kargir ile doldurulması sonucu oluşan sistemin sismik davranışı incelenmiştir. Pencerealtı gibi önemsiz kargir duvarların ve pencere üstünde bulunan parapetlerin esneklik tasarımı konu edilmiştir.

Güçlendirilmiş bu duvarların temel bağlantıları mekanik olarak anlatılmıştır. Son olarak da üç katlı, boşluklu yığma bir duvarın geniş bir tasarım örneği sayısal olarak verilmiş; güçlendirilmiş yığma yapıların sismik davranışı irdelenmiştir.

Akıncıtürk (2003), yaptığı çalışmada deprem bilgileri ülkemizde yol açtığı ve bıraktığı etkileri istatistiki veriler ve fotoğraflarla vurgulanarak incelenmiştir. Tasarımcı mimar ve mühendislere tasarım ve yapım evrelerinde yardımcı olmak amacıyla depreme dayanıklı yapıda olması gerekli özelliklere yer verilmiştir. Ülkemizin çeşitli bölgelerinde yapılan gözlemler sonucunda iklimsel, yöresel koşullar ve yapı yapma tekniklerinin farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur. Gözlemlenen bölgesel veriler, yapı sistem ve gereçlerine deprem etkilerinin sonuçlarından örnekler ile üzerinde durulması gereken güçlendirme ve onarıma dikkat çekilmiştir. Bu çalışmada, depremle birlikte yaşama ve depreme dayanıklı tasarım bilinci verilmesi hedeflenmiştir.

Arıoğlu ve ark. (1974), Türkiye'deki 1969 -1972 yılları arasındaki gerçekleşmiş 3 büyük deprem belgelenmiş, ucuz kırsal konutların deprem etkileri gözlenmiş, yapısal performansları irdelenmiştir.

Aytun (1982), ülkemizdeki kırsal konut tipleri, bölgelere ve yoğunluklarına göre dağılımları araştırılmış ve kırsal konut yapım sistemlerinden taş, tuğla, kerpiç yığma, ahşap karkas (hımış ve bağdadi) türlerinde deprem davranışları irdelenmiş ve alınması gereken önlemler açıklanmıştır.

Bindal ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada, uygun harçların enjeksiyonunu taş yığma duvarların doğru bir şekilde seçilen ve kontrol edilen malzemelerle sağlamlaştırılması ve tamiri üzerinde durmuşlardır. Bu teknik başlangıçta yapı yerinde enjeksiyon testleri ve enjeksiyonun faydası yoluyla ayarlanması sağlanmıştır. Boşlukların sağlam kısımlarının doldurulması amaçlanmıştır. Metodoloji olarak üç ana adıma dikkat etmişlerdir, bunlar;

(i) duvardan alınmış olan malzeme örneklerinin laboratuarda tanımlanması ve enjekte edilebilme testi için enjeksiyon boyunca uygun doldurulacak harçların seçimi

(ii) kontrol noktalarının bulunduğu yere enjeksiyon

(iii) flatjack testi ile enjeksiyonun etkisinin ölçülmesi ve harcın içine işleme ve difüzyonunun denetlenmesi

El-Sakhawy ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada yük taşıyan yığma duvarlarda rüzgâr, toprak basıncı, deprem eğilme etkileri ve kesme gerilmeleri oluşturur. Yığma noktalarının kesmesi esnasında gerilme ve uzama cevabı verilemeyen kesme ve normal deformasyonu işaret eder. Elastoplastik nokta olumlu kanunu ile yüklü yığma duvar üzerindeki noktaların kesme davranışının modellenmesi önerilmiştir. Tuğla harcı yatak noktaları keme kutusu deneyi ile kesilmiştir. Deneysel bilgilerden modelin parametreleri belirlenmiştir. Model tuğla harcı yatak noktasının tahmini kesme davranışını ortaya koymuşlardır.

Maltase ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada çimento esaslı harçların boyutsal stabilitesini geliştirmek için, çimentonun hidratasyonuyla küçük büzülmelerden oluşan etkileri ve karışımın genişlemesini araştırmışlardır. Harç numunelerinin basınç mukavemeti ölçümleri ve su buharlaşması vasıtasıyla, büzülme durumları ve genişleme ölçüleri karşılaştırılmıştır. Priz süresi ve serbest genişleme çimento yapışım numuneleri üzerinde denetlenmiştir.

Kanıt ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların gerçek mekanik davranışlarının sayısal analiz yöntemleriyle ortaya konulması güçlüğünü göz önüne alarak; üç ayrı şekilde yapılan model tuğla kemeri deneysel ve sayısal analizlere tabi tutarak; deneysel ve sayısal aniliz sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Batur (1999), yaptığı çalışmada, donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışını incelemiştir. Çeşitli şartnameler ile ülkemizde geçerli olan TS 2510 Kagir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları (1977) ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997) karşılaştırmıştır.

Üstündağ (2000), yaptığı çalışmada, bir ve iki katlı yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı incelemiştir. Bu inceleme kapsamında; yığma duvarı oluşturan elemanların özellikleri ve mevcut Türk Standartları'na bu elemanların sağlamaları gereken koşulları, yatay yükler altında yığma duvarlarda oluşan hasar şekillerini, yığma yapılarda geleneksel ve yeni onarım ve güçlendirme teknikleri hakkında bilgi vermiştir. Çalışmanın sonunda, tek ve iki katlı iki yığma binanın yatay ve düşey yükler altında çözümünü yapmıştır.

Marfia ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, bileşik malzemelerle takviye edilmiş yığma yapı malzemelerinin tepkilerinin değerlendirilmesinin mikromekanik soruşturmasını yapmışlardır. Yığma yapı harçlarını bir dizi içinde (yatay ve düşey derzler) blokların düzenli bir şekilde heterojen bir ortamda yerleştirilmesi olarak almışlardır. Homojenleştirme işlemi takviyeli yığma yapı problemlerinin bir boyutu, blok ve harçlarda gelişen hasar ve plastikliği göz önünde tutmak için geliştirmişlerdir. Bundan başka, fiber destekli plastik takviyesinin gevreme özelliği izah edilmiştir. Aynı zamanda yığma yapı elemanlarından bileşik katmanların etkilerinin tabakalar halindeki dizilim modeli (delaminasyon) ele alınmıştır. Sayısal işlemleri (prosedür) gelişmiş denklemlerin Eular entegrasyonu ile geri beslenmesi ile kemer uzunluk metodu temelinde oluşturmuşlar, takviyeli yığma yapı davranış çalışmaları için geliştirmişlerdir. Malzemelerin eksenel ve eğilme tepkileri ile ilgili nümerik uygulamalara yer verilmiştir.

Luciano ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, yığma bir yapının mekanik davranışını incelemişlerdir. Yığma yapı malzemeler, bir harç derzinde blokların düzenli yerleşimiyle gerçekleştirilen bir bileşik malzeme olarak değerlendirilmektedir. Bundan dolayı, bir yığma yapı panel duvar düzleminde sonlu kalınlığı ve R2 periyodikliği olan üç boyutlu heterojen bir gövdedir. Yığma yapının genel özelliklerini görmek için mikromekanik yaklaşım önerilmektedir. Sonra FRP katmanlı saçlarla kuvvetlendirilmiş bir duvar (Bu duvarın yüzeyine bu saçlar eklenmiştir) analiz edilmektedir. Desteklenmiş ve desteklenmemiş yığma yapının genel davranışını modellemek için; harcın, bloğun ve FRP saçların ilerleyen hasarını da dikkate alarak basit bir homojenleştirme tekniği önerilmektedir. İzotropik viskozite ve elastik hasar modellerinde, harç ve blok için iki farklı hasar kriteri uygulanmaktadır. Daha fazlası, destek için kolay kırılgan (gevrek) hasar modeli kullanılmaktadır. Son olarak, desteklenmiş ve desteklenmemiş yığma yapı panellerin üzerindeki hasarı incelemek için önerilen prosedür uygulanarak sayısal uygulamalar geliştirilmektedir.

Guinea ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, tuğla yığma binanın Mod I kırığının analizi için mikromekanik bir model sunmaktadır. Analiz, güvenilmez (yâda yapıştırıcı) kırılma modelinin aracılığıyla tuğla ve harç kırığının detaylanmış model temellerine dayanmaktadır. Tuğla ve harç için kırık özellikleri spesifik testlerle bağımsız bir şekilde tespit edilmeli ve ardından tuğla ve harç birleşimlerine ayrı ayrı uygulanması ile nümerik modele konmalıdır. Birleşik kırık modeli, bu yolla yığma yapı panellerinin doğru olarak kırılma tahminiyle elde edilir.

Mayrhofer (2001), yaptığı çalışmada, yığma yapı duvarların derz aralıklarında gevreklik (kırılganlık) ve esnekliğin artmasını güçlendirme ile değiştiğini, dinamik kuvvet artışının, takviyesiz tuğla işçiliği ile kıyaslandığında 4 faktörden biri tarafından oluştuğuna vurgu yapmışlardır. Desteklenmiş kâgir duvarların, yük uygulama şartlarında kullanılabilirliği, deneysel test sonuçları ve tasarım kuralları etraflıca anlatılmıştır. Yük uygulaması şartları altında yığma yapı duvarların dinamik davranışları hakkında hemen hemen hiçbir bilgi mevcut değildi. Takviyeli yığma yapı duvarlarına ait geçerli sonuçlar statik yükleme şartlarında odaklanmıştır. Şayet patlamalar meydana gelirse, yumuşak malzeme davranışı gereklidir. Yığma yapılar

eğilme şartlarındaki gevrek davranışları, takviye çelik donatıların ilavesi ile daha yumuşak davranış kazandırılarak iyileştirilebilir. Analizin yapılması için takviye sadece yatay derzde uygulanmıştır. Yatay derzde takviye edilen yığma yapı duvarları şok tünelinde incelemiştir. Farklı tuğla malzemelerin etkisi, esneme ve yük taşıma kapasitesinde çelik takviyenin miktarı statik olarak test edilmiştir. Farklı destek şartları, tek, sabitlenmiş ve kavis (kemer) etkileri araştırılmıştır. Statik davranışın tespitinde elastikiyet (uzama) hattı teorisi uygulanmıştır. Dinamik tepki serbest sistemin prensibi üzerine hesaplanmıştır. Basınç – itme diyagramları geliştirilmiştir.

Juha´sova´a ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların sismik (depremsel) tepkilerini incelenmişler ve 6DOF sarsma tablasında geniş ağır modelin sınırlı şartlarda testi süresince modellemesini özetlemişlerdir. Çalışmanın temel hedefi, orta ve kuvvetli sismik etkiler içeren eski yığma yapıların dinamik direnç kapasitelerinin nasıl azaltılacağıdır. Kuramsal (teorik) ve nümerik (sayısal) analizlerin sonuçları herhangi bir test başlamadan önce başlangıç oransal hesaplamaları içerecek şekilde karşılaştırmışlar, geniş yığma yapı modelinin sarsma tablası ile uyarması boyunca sınırlı şartlara ulaşıldığı vurgulanmıştır. Güçlendirme ve yeniden düzenleme (retrofitting) ve onların özel lifli harçlar kullanılarak tamiri ve yapının yığma bölümlerinin güçlendirilmesi hakkında tartışmalar yapılmıştır.

Salonikios ve ark.(2003), yaptıkları çalışmada, FEMA 273 yönergesinde önerilen mevcut yapıların sismik kapasitelerinin değerlendirilmesi için, güçlendirilmemiş yığma yapı tip plan çerçevelerin durumları için uygulanmıştır. Mukayeseli yük artırımı analizlerinin yığma yapı plan çerçeveleri için elde edilen sonuçlarını sunmaktadır. Hesaplamalar SAP2000 Nonlinear ve CAST3M programları tarafından gerçekleştirilmiştir. SAP2000 Nonlinear programı analizler için doğrusal elemanlar ile uygun plastik mafsallar kullanılarak modellemek için kullanılmıştır. CAST3M programı analizler için birleşme elemanları ve ayrık tuğladan veya homojen plan elemanlarından biri kullanılarak, modellerin iki farklı tipi incelemiştir. Analitik sonuçlardan, sismik yanal kuvvetlerinin üç farklı dağılımı altında yığma yapı çerçevelerin elastik olmayan davranışları ve gerilimleri faydalı sonuç olarak çizilmektedir.

Giordano ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların analizi için farklı nümerik tekniklerin uygulanabilirliğini incelemişler, tam ölçekli yığma yapı örneği üzerinden elde edilen deneysel test verileri ile hesaplanan sonuçları karşılaştırmışlardır. Üç yaklaşım hesaba katılmıştır. Yani, homojenize malzeme ve leke testi çatlaklarını oluşturan kural kavramları temeline dayanan standart FEM modelleme stratejisi, HKS tarafından ABAQUS ticari program kodlarının uygulandığı sürüm kullanıldı. Visual CASTEM 2000, dikey ve yatay harç birleşimlerinin mevcudiyetinde benzetilmeye çalışılan süreksiz elemanlarla, sonlu elemanlar metodunun uygulanması için kullanılmıştır. Sonuç olarak, ITASCA grubu tarafından UDEC yazılımı Ayrık Eleman Modellemesi için benimsendi. Bu tip nümerik metotların izlenmesi, onların kuramsal görünümünün kısa tanımı kadar, basit karşılaştırma ile de elde edilir. Bunun yanında, genellikle karar verilmesi oldukça zor olan kullanıma hazır giriş parametre değerleri, büyük çaplı hassasiyet analizleri ve deneysel geçerlilikten oluşan bilgilerde önerilir. Monoton bir yolla artan yük altında yığma yapı modellemesinde bu tür değerler yeterliliği ispatlanmış sonuçlar verirler ve bu sebeple pratikte faydalılıkları olabilir.

Valluzzi ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, aşırı yükleme olayına tabi tutulmuş tuğla yığma yapıların mekanik davranışını sunmuşlardır Bu şekilde çok özel hasara maruz kalmış yapılar, uzun zamanın etkisi ile ani çökmeye sebep olabilecek yayılan ince çatlaklar göstermiştir. Yatak derzine çelik çubukların yerleştirilmesi temeline dayanan güçlendirme tekniği teklif edilmektedir. Deneysel testler ve nümerik analizler, çubukların varlığının çatlama olayının kontrolü ve yapının istenen güvenlik şartları içinde tutulmasına müsaade ettiğini göstermiştir. Milan Politeknik tarafından yığma yapı kulelerinde yürütülen iki vaka çalışmasından bahsedilmiştir. Sonuç olarak, iki yığma yapı kilisesi için uygulanan güçlendirme tekniğini kısaca tanımlanmıştır.

Gambarotta ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada, rehber aldıkları makalede önerilen harç birleşim noktaları için hasar modeli, tuğla yığma yapı kesme duvarlarının plan düzlemindeki yüklemelerinin yanal tepkilerinin değerlendirilmesi için genişletilmiş bir yaklaşım uygulamışlardır. Burada dikkate alınacak sürey (bölünmemiş şey) modelinde, sırasıyla harçlı düşey derz ve tuğlaların üniteleri ve

harç yatak birleşimlerini temsil eden katmanlardan oluşmuş çok katlı eşit bir ortamda varsayılan basitleştirme temelindedir. Tuğla yığma yapı için denklemler oluşturan, tuğla katmanları için oluşturulan basit hasar denklemleri ve rehber makalede önerilen hasar modelini içeren bir homojenleştirme yöntemi boyunca elde edilmektedir. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak oluşturulan modelin tuğla yığma yapı kesme duvarlarının plan düzlemindeki yüklü yanal tepkileri ya düşey yükler üzerine eklenen döngüsel yatay etkiler ile ya da dinamik yükler ile ki bunlar sismik etkileri temsil etmektedir.

Stierwalt ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada, FRP kompozitleriyle güçlendirilmiş yığma duvarların sünme davranışıyla geleneksel donatılı yığma duvarların davranışının karşılaştırılıp incelemişlerdir. 8 adet tam ölçekli, donatısız beton yığma duvar, uzun süreli düzlem dışı sehimin denenmesi için imal edilmiştir. Bu duvarlar dıştan kenetlenmeli CFRP veya GFRP kompozitleriyle güçlendirilmiştir. 2 ilave duvar, elemanlarının merkez hücrelerinde harçla kuşatılmış donatıyla üretilmiştir. FRP donatılı duvarlardaki sünmeden dolayı uzun süreli sehimler çelikle donatılmış duvarlarınkinden %22-56 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Hendry (2002), yaptığı çalışmada, çok katlı yük taşıyan yığma yapıların İngiltere ve Avrupa komitesi tarafından 20 Y.Y ikinci yarısında yapısal dizaynın gelişmesi konusu anlatılmıştır. Bu türdeki uzun yapılar yüzyılın ilk yarısında kullanılamaz durumda iken, aşırı kalın duvarların deneysel kurallarla yönetilerek dizaynına başlandı. Yük taşıyan duvarlarda mühendislik ilkelerinin uygulanmasına, 1949 yıllarında temel kuralların pratikçe belirlenmesine İsviçre ve İngiltere öncülük etmiştir. Bu gelecek yıllarda da yapıların dizaynı için kullanıldı. Fakat bu sınırlı araştırma çalışmalarında pek çok temel problemlerle karşılaşıldı ve nihayet 1978 yılları içinde tam yeni kurallar, sınır durum ilkelerinin temeli yayınlandı. Paralel çalışmalar, uluslar arası organizasyon tarafından ve sonraları EU 1995'de EU' nun ülkelerinin kullanması için planlanan taslak kuralların yayınlanmasına yol açtı. Bütün stabilitenin, güvenliğin, duvarların basınca karşı dizaynının, basınç ve yanal yükler altındaki zorunlu problemlerin çözümü yapıldı. Bu çalışma özetlenirken problemlere yaklaşımda EK ve EU yönetmelikleriyle araştırılmış çalışmalarla ilişkili referanslar ve özellikle bu konularla ilgili yazarların çalışmaları benimsenmiştir.

Cluni ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, homojen bir yaklaşım mekanik yığma yapıların karakteristiğini değerlendirmede bu çalışmada sunulmuştur. Gerçek bir yığma yapıyı değerlendirmek için, periyodik yığma yapının literatüründe kullanılan periyodik hücrenin davranışı hacim element temsiliyle gerçekleşir. Bu hacim sınırlı deney formüllerine dayalı bir formül uygulanarak bulunur. Homojenleşme rijit vektör yoluyla hiyerarşik ilgili temel tahminlerin ve doğal sınırlanır şartların göz önüne alınmasıyla elde edilir. Dahası ortalama bir topluluk verilen yapıda boşluktaki deney - penceresi farkı göz önüne alaraktan gerçekleşir. Bir uygulama önerilen yaklaşımın etkililiğini gösterir.

Corradi ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, 1997–1998 yılları arasında gerçekleşen Umbria-Marchigiano deprem yapılarından elde edilen kargir yapı duvar panelleri üzerinde gerçekleştirilen araştırma sonuçları mevcut bulunmaktadır. Bu proje iki kısımdan meydana gelmektedir; Bu testler kargir yapı hareketlerini tanımlayabilmek için doğru parametreler kullanabilmek amacıyla laboratuarlarda yapılmıştır. Laboratuar testlerine gelince, silindirik taş örnekleri üzerine çok çeşitli basınç testleri yapılmıştır. Önceden üzerinde doğal durumda test yapılmış panellerden taş örnekleri elde edilmiştir. Deneyler üç duruma bağlı olarak gerçekleştirildi. Doğal durumda yapılan deneylerde (basınç testi, diagnol basınç testi, kesme–basınç testi) uygun kesme tekniklerinin karşılaştırılması için farklı boyutlarda paneller kullanıldı. Kesme direnci, Young ve kayma modülleri ölçülmüştür. Bu sonuçlar önerilen farklı standartlarda ki değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu deneysel araştırma Umbria da eski binalarda ki bazı tipik kargir yapı duvarların mekaniksel özelliklerini karakterize etmeye müsaade etmektedir. Bu sonuçlar kargir yapı dokusu ve bölümlerinin analizleri ile birlikte rapor edilmektedir.

Hendry (2001), yaptığı çalışmada, çağdaş yığma duvarların imalatının incelenmesi, uygulamaların özetle anlatılması ve bu imalatın oluşturulmasının avantajlarını sunmuştur. Yığma materyaller, kil, beton ve kalsiyum silikat içeren birim boyutlarının, biçimlerinin ve renklerinin çok çeşitlilik içereceği şekilde üretilebilir. Harçlara genellikle çimento, kum ile diğer kireç veya plastikleştirici ilave edilerek işlenebilirliği artırılır. Son zamanlarda, boyutlandırma birimlerini doğru olarak kullanmak, ince sıva harçları ve ısısal özelliklerin geliştiği harçları içeren

harçların yeni türleri geliştirildi. Yük taşıyan ve yük taşımayan duvarlar için dizaynın önemi özetlendi, imal metotları ve yer uygulamaları amaçlandı, ekonomikliği ve verimliliği artıracak tanımlamalar yapıldı. Anahtar referansın listesi verildi.

Hao ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, hareketli halde bulunan yeraltı patlamalarıyla yer kabuğunun hareket etmesine maruz kalan beton çerçevelerle hasarlı binalar üzerinde kargir yapı dolgu etkilerini araştırmaktadır. İki katlı çıplak betonarme çerçeve ve farklı dolgu modelleri kullanılan kargir yapı çerçeveleri analiz edilmektedir. Kargir yapıya kontinum malzeme modeli uygulanmaktadır. Kargir yapının ortatropik elastik özellikleri, mukavemet zarfı ve hasar eşiği örnek birim elementi analizleriyle homojenize edilir. Kırılma göstergeleri ve plastik göstergeler çerçevenin güçlendirilmesinin plastik akışını ve beton hasarını gösterme özeliliğine göre tanımlanır. Güncel çalışmalara dayanan sayısal sonuçlar bizlere, kargir yapı dolgusunun sadece çerçevenin hasar seviyesini değil, aynı zamanda hasar modelini de etkilediğini göstermektedir. İskan binalarının yer altı mühimmat depolama alanlarına olan iskan binalarının uzaklıkları için ampirik düzenlemeler gözden geçirilerek değerlendirilmektedir. Yer altı patlamasının üzerindeki yüzey yapıları için ampirik hasar ölçülerinin modern betonarme yapılar için oldukça korunumlu olduğu fakat, çerçevelerdeki kargir yapı dolgusu için de makul seviyede olduğu ortaya çıkmıştır.

Yorulmaz ve ark. (1996), yapıkları çalışmada, yapı taşı olarak taşıyıcı delikli tuğla, Ytong ve karkas dolgu tuğlası (boşluklu tuğla), harç olarak da çimento harcı ve melez harç kullanarak üretilen model duvar numunelerinin iki istikametli yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Numunelerde iki istikametli yükleme hali, yatay derzleri ile Çeşitli açılar yapan basınç kuvvetleri uygulanarak elde edilmiştir. Numunelerin taşıma gücünü kaybetmesinin, derz boyunca harç ve yapı taşı arasındaki bağın sona ermesiyle meydana gelen kayma kırılmaları veya duvar basınç mukavemetine erişilmesiyle meydana gelen basınç kırılmaları şeklinde olduğu gözlenmiştir. Kırılma hali için kayma gerilmesi-normal gerilme (x-a) bağıntısının, iyi bir yaklaşımla, kayma kırılmaları bölgesinde bir doğru ve basınç kırılmaları bölgesinde bir ikinci derece parabolü olarak ifade edilebileceği saptanmıştır. Şekil 1.1'de örnek bir x-a diyagramı verilmiştir. Kayma kırılmaları bölgesindeki doğrunun

eğimi yapı taşı ile harç arasındaki sürtünme katsayısını, sabit terim ise yapı taşı ile harç arasındaki aderans mukavemetini göstermektedir. Bu tezin konusu olan çalışmada, duvar numunelerinin yatay derzleri ile 45° yapan basınç kuvvetleri uygulanarak yüklendikleri de gözönüne alınırsa, x-g diyagramının kayma kırılması bölgesinde sadece bir nokta ile ifade edilen değer tanımlanmıştır.

Begimgil (1991), yaptığı çalışmada, model tuğlalarla örülmüş duvar numunelerinin harçlarına çeşitli katkı maddeleri koyarak, tuğla ile harcın arasındaki aderansın iyileştirilmesi ve tuğla duvarın çekme dayanımım arttırılması amaçlı deney çalışması yapmıştır. Numunelerde iki eksenli gerilme hali oluşacak şekilde yükleme yapılmıştır. İki tip matematik model sonlu elemanlarla çözülerek, deney sonuçları kıyaslanmıştır.

Itoh ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, betonarme panellerin kayma dayanımları üzerine bir çeşit malzeme kullanarak yaptığı deney çalışmalarını, sınıfı ve dayanımı farklı birkaç çeşit beton ile tekrarlamış ve aynı metottan yararlanarak analiz etmiş ve önerilen metodun uygunluğu araştırmışlardır. Farklı beton ve donatı sınıflarına ve donatı oranlarına sahip numuneler düşey düzlemde denenmiştir. Numunelerde basit kayma hali yaratılması amacıyla, yirmi dört adet yük veren ile numunenin diyagonalleri doğrultusunda çekme ve basınç kuvvetleri uygulanmıştır ve şekil değiştirmeler, yerdeğiştirme ölçerler ve şekil değiştirme ölçerler yardımıyla ölçülmüştür. Deneysel ve teorik çalışmaların değerlendirilmesi ile farklı dayanımlardaki betonlar kullanılmasına rağmen, önerilen metodun yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Uygulanan deney tekniğinde yükün çok sayıda yük veren tarafından uygulanması nedeniyle, yük dağılımının uniformluktan uzaklaşması söz konusu olabilir. Ayrıca, numunenin ağırlığının yüklerin etkidiği düzlemde olması bir dezavantaj yaratabilir.

Yorulmaz ve ark. (1997), yaptıkları deney çalışmasında, yedi adet yığma dolgu duvarlı ve üç adet dolgu duvarsız, küçük ölçekli, tek açıklıklı tek katlı betonarme çerçevelerin, yatay yükler altında göçme mekanizmalarını, yük taşıma ve enerji yutma kapasitelerini araştırmışlardır. Dolgu duvarsız çerçevelerin analizi için bilinen metotlar kullanmış ve deney sonuçlan ile teorik hesap yöntemlerinden elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu gösterilmiştir. Yığma dolgu duvarlı çerçevelerin çatlak

oluşmadan önceki ve sonraki davranışları iki farklı metotla analiz edilmiş ve bu sonuçların da deney sonuçları ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Zarnic (1985), yaptığı çalışmada, betonarme çerçeve ve yığma dolgu duvardan oluşan sistemlerin, monoton artan yatay yükler ve dinamik yatay yükler altında elastik olmayan davranışlarını modelleyen iki matematik hesap yöntemi önermiştir. Birinci hesap yöntemi, şekil değiştirmeler ve taban kesme kuvveti arasında ilişki kurmaktadır ve yığma dolgu duvarlı çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijitliği hakkında bir fikir edinilebilmesine olanak sağlar. İkinci hesap yöntemi, yapıların dinamik analizi için kullanılan bir bilgisayar programına uygulandığında, dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik analizinin yapılmasına imkan verir. Bu yöntemde çerçeve elemanları eğilme yaylan, yığma dolgu duvar ise bir çift boyuna basınç yayı olarak modellenmiştir. DRAIN-2D programı kullanılarak elde edilen sonuçlar, otuz dört adet tek açıklıklı tek katlı numuneyle yapılan deneylerin sonuçlan ile karşılaştırılmış ve önerilen hesap yöntemlerinin uygunluğu görülmüştür. Yığma dolgu duvarın iki adetten fazla boyuna basınç yayı ile modellenmesi halinde, çerçevelerdeki ve özellikle dolgu duvardaki şekil değiştirmeler daha gerçekçi değerler vermektedir.

Lafuente ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada, standartlarda yer alan basit deney tekniklerinin, gerçek, boyutlardaki duvarların davranışlarını doğru olarak yansıtmadıklarını belirtmiş ve yatay yükler etkisindeki yığma duvarlar için deneylerden elde edilen sonuçların, bazı katsayılar kullanılarak düzeltilmesinin Önerildiğini söylemişlerdir.

Kaya ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, hasarlı veya kısman yıkıma uğramış yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesini incelemişlerdir. Onarım ve güçlendirme tekniklerinde betonarme ve çeliğin hangi durumlarda ve ne şekilde kullanılabileceği üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Az veya çok hasarlı tarihi ve yığma yapıların onarımları ve güçlendirme tekniklerini incelemişlerdir.

Kanıt ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların sismik davranışlarını özetlemişlerdir. Düzlem dışı tersinir yükler ile yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçlarını sunmuş ve açıklamışlardır. Tersinir yükün yönüne göre duvar davranışını

gözlemlemişler, erken göçmenin duvarın çevre mesnetlerini çekme gerilmesine maruz bırakan yükleme altında oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Kanıt, R. (2006), yaptığı çalışmada, düzlem dışı yüklenen yığma duvarın kırılma davranışını, analitik ve deneysel olarak araştırmıştır. Düzlem dışı yüklenen yığma duvarın kırılma davranışı, gerçekçi boyutlara sahip bir prototip duvar üzerinde deneysel olarak araştırılmıştır (Şekil 2.1). Deprem etkisini modelleyen tersinir, düzlem dışı yükler altında yığma duvarın, betonarme döşemede oluşan akma çizgilerine benzer kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığını tespit etmiştir.

x-yönünden gelen deprem, x-yönünde ivmeler ve bu ivmelerin neden olduğu sismik kuvvetler oluşturduğu, bunun sonucunda (A) Duvarı, düzlem içi tersinir kesme kuvvetleri (V) ve momentlere (M) maruz kaldığı, ayrıca, öz yükler, hareketli yükler ve devrilme momentleri etkisi ile eksenel (P) yükü oluşturduğunu kabul etmiştir.

x-yönünden gelen deprem (B) Duvarı'nda, duvar düzlemine dik kuvvetler de oluşturur. Bu sismik kuvvetler, (B) Duvarı'nı düzlem dışı sehim yapmaya zorlar. 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.

x-yönünden depreme maruz yığma bina, doğal periyoduna (T_o) bağlı olarak, x-yönünde ötelenir (Şekil 2.2). Yığma binanın depreme karşı göstereceği tepki, eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistem yapılarak ve eşdeğer etkili kütle ile yüksekliği hesaplanarak basitleştirilebilir.

Kaya ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların duvarlarının yalnızca düzlemlerine paralel düşey eksenel yüklere maruz kalmadıklarını, özellikle deprem sırasında yığma kâgir duvarların önemli ölçüde yatay kuvvetlere de maruz kaldıkları üzerinde araştırma yapmışlardır. Düşey yükleri de taşıyan duvarlar, bir deprem sırasında hem düşey hem de yatay kuvvetlere maruzdurlar.

Bir duvara kendi düzlemi içinde ve derzlere paralel yatay kuvvet uygulanınca kırılma ya derzlerde yatay kesme veya diyagonal çekme biçiminde olmaktadır. Tuğla duvarın taşıdığı normal yük bazen kesme dayanımını artırmaktadır. Tuğla duvarın kesme dayanımı ya derzlerin düzlemi içinde yatay kesme aderans dayanımına ya da makaslama çekme dayanımına bağlı olacaktır. Birinci durumda kesme aderans kırılması halinde dayanım şu şekildedir;

$$\tau_t = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_t \sigma_y} \tag{2.1}$$

$$\tau_b = \nu_{b0} + \mu\sigma_y \tag{2.2}$$

Burada;

τ_b : kesme aderans kırılması durumunda gerilim,

ν_{b0}: Sıfır eksenel basınç durumunda yalnızca harcın aderans dayanımından oluşan kesme aderans taşıma gücü,

μ:tuğla ile harç arasındaki sürtünme katsayısı, σ_y duvardaki eksenel yükten oluşan gerilmedir.

Formül (2.2)'deki ν_{b0} = 2-10 kg/cm^2, μ = 0.45-0.88 değerleri arasında değişmektedir. Gerçek yapıların duvarlarındaki σ_y = eksenel yükten dolayı oluşan basınç, duvarın yapının kaçıncı katında olduğuna, yapının toplam kaç katlı olduğuna ve duvar kalınlığına bağlıdır. Depremlerde yığma yapıların en çok zemin kat duvarlarında kesme kırılmaları olduğu bilinmektedir. (2.2) nolu formülün daha çok basınç gerilmelerinin küçük olduğu duvarlar için geçerli olduğu ileri sürülmektedir. Bir başka deneyin sonuçlarına göre harç cinsine bağlı olarak şu formüller verilmektedir:

$$\tau_b = 5.14 + 0.425\,\sigma_y \quad \text{kg/cm}^2 \text{ (çimento harçlı)} \tag{2.3}$$

$$\tau_b = 4.02 + 0.407\,\sigma_y \quad \text{kg/cm}^2 \text{ (melez harçlı)} \tag{2.4}$$

İkinci tip kırılma durumunda (Makaslama çekme kırılması) elemanın içinde direkt basınç ve kesme gerilmeleri σ_y ve τ'nun oluşturduğu çekme gerilmeleri kırılmayı getirmektedir. σ_y ve τ gerilmelerinden asal basınç gerilmesi P_c ve çekme gerilmesi P_t meydana gelmektedir. τ_t makaslama çekme kırılmasını oluşturan kesme gerilmesi olsun:

$$\tau_t = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_t \sigma_y} \tag{2.5}$$

Tuğla duvarın çekme dayanımının bilinmesi gerekmekte ve bunun için de Silindir Yarma deneyi yapılmalıdır. Duvarların kesme dayanımını bulmak için en çok kullanılan deney, Racking (Cendere) deneyidir.

Myers ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, çevre koşullarının FRP malzemenin betonarme elemana yapışması üzerine yaptıkları çalışmada 48 adet kiriş deneyi yapmışlardır. Kirişler çeşitli FRP malzemelerle güçlendirildikten sonra, yük altında donma- çözülme, yüksek nem, yüksek sıcaklık ve güneşin ultraviyole ışınlarına maruz bırakılmıştır.

Daha sonra orta bölgeden iki eşit noktasal yükle, eğilme testine tabi tutulmuş, elemandaki çatlaklar ve FRP malzemedeki gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre incelenen çevre koşulları FRP malzeme ile betonarme elaman arasındaki bağ üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Elemanların eğilme rijitliklerinde azalma olmuştur. Daha yüksek sabit yükler altındaki numunelerdeki bağlarda daha fazla etkilenme olmuştur. Uygulamalar şartnamelere uygun yapılırsa FRP malzemede ani sıyrılma, ani bağ kaybı olmamaktadır.

İlki ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, FRP malzemelerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi hakkındaki araştırma sonuçlarına göre, uygulanan güçlendirme yöntemi numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında değişen değerlerle arttığını tespit etmişlerdir. Bu artış ilerleyen yükleme adımlarında azalmakla beraber orijinal numunelerin kapasitelerinin üstünde

kalmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile basınca maruz beton kesitin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyi artırılmış, bu da elemanların sünekliğini artırmıştır. Özellikle yüksek eksenel basınca maruz elemanlarda görülen dayanım kaybım geciktirmiştir. Güçlendirilmiş elemanların eğilme rijitlikleri orijinal rintliklerinin üzerine çıkmıştır. Bu yöntemin, elemanın enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Söz konusu yöntemin güvenli bir şekilde uygulamada kullanılabilmesi için uygun hesap esaslarının geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, aynı geometrik özelliklere sahip 2 adet yığma duvar, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında düzlem dışı yüklenerek test edilmiştir. Deney numunelerinin belirlenmesinde dikkate alınan değişkenler şunlardır:

1- Yığma duvarın dolu harman tuğlasıyla normal harç kullanılarak örülmesi

2- Yığma duvarın dolu harman tuğlasıyla bağlayıcı özelliği artırılan harç kulanılarak örülmesi

Çerçevenin hazırlanmasında, çelik levhaların soğuk olarak bükülmesi ile elde edilmiş profiller kullanılmıştır. Sözü edilen profiller elektrik ark kaynağı ile kaynatılması sonucu rijit düğüm noktaları oluşturulmuştur. Deney duvarının yapımında TS-771-1'e uygun 190×190×50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Deney duvarı 1 tuğla kalınlığında olup, her iki yüzüne 20 mm kaba sıva ve 10 mm ince sıva uygulanmıştır. 2. deney numunesinde harcın bağlayıcı özelliğini artırabilmek için Sikalatex katkı malzemesi kullanılmıştır.

3.2. Duvar Yapımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.2.1. Çerçevelerin desteklenmesinde kullanılan çelik profillerin geometrik ve mekanik özellikleri

Deney numunelerinin desteklenmesinde kullanılan I ve L çelik profiller Ereğli Demir Çelik Fabrikasında üretilen malzemelerden alınarak imal edilmiştir. Kullanılan profillere ait geometrik ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan profillerin geometrik ve fiziksel özellikleri

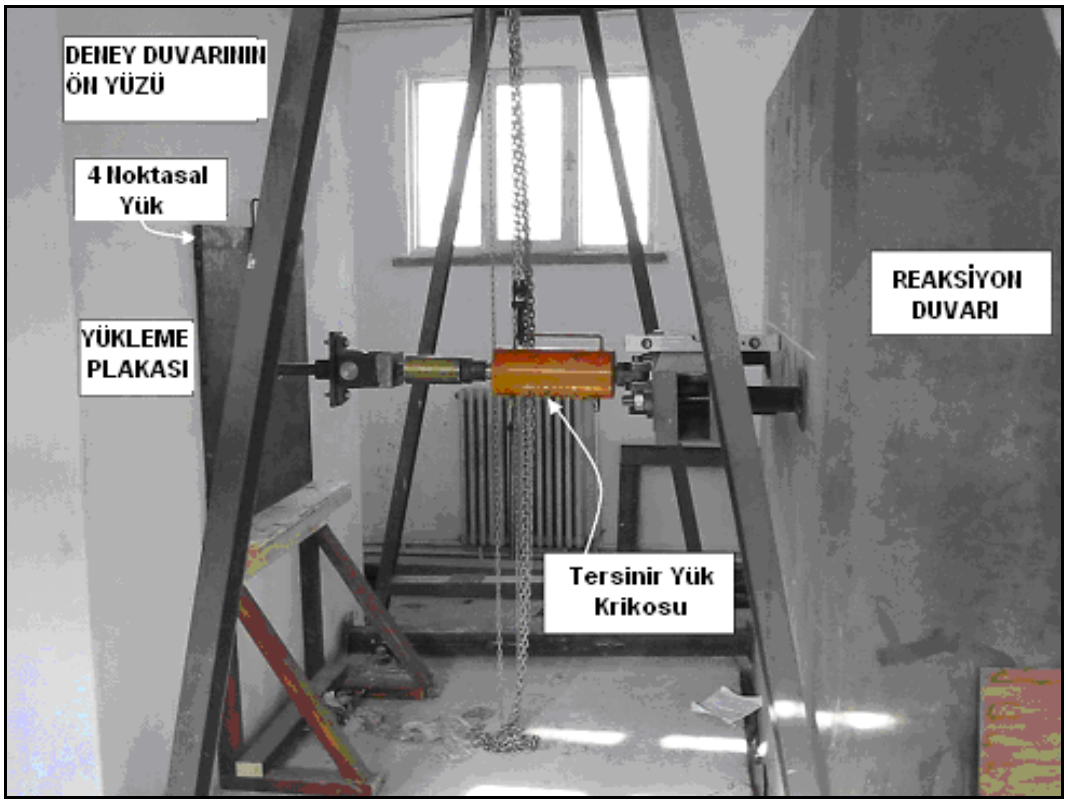
b	(mm)	60
h	(mm)	120
t	(mm)	5
F	(mm^2)	1150
G	(Kg/m)	9.03
I_x	(mm^4)	398156
I_y	(mm^4)	2539583
e^{x1}	(mm)	16.85
e^{x2}	(mm)	43.15
e^{y}	(mm)	60
$W_{ex}{}^2$	(mm^3)	9227
$W_{px}{}^2$	(mm^3)	16620
W_y	(mm^3)	42326

3.2.2. Deneylerde kullanılan yükleme levhasının mekanik özellikleri

Deney numunesine yükün düzgün dağıtılması için, numunenin orta noktasına çelik levha yerleştirilmiştir. Levhanın boyutları 1000×1000 mm'dir. Kullanılan çelik levhanın mekanik özelliklerini belirlemek için 400×40 mm ebadındaki çelik levha numuneler laboratuarda eksenel çekme deneyine tabii tutulmuş ve elde edilen mekanik özellikler Çizelge 3.2'de, deney levhasının deney esnasındaki görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan çelik levhaların mekanik özellikleri

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
Max.Gerilmeye Karşılık Gelen Birim Uzama (ε_{max})	0.170
Kopma Birim Uzaması (ε_u)	0.214
Elastisite Modülü (E) (N/mm^2)	195210



Şekil 3.1 Deney numunesi yükleme levhasının deney esnasındaki görüntüsü

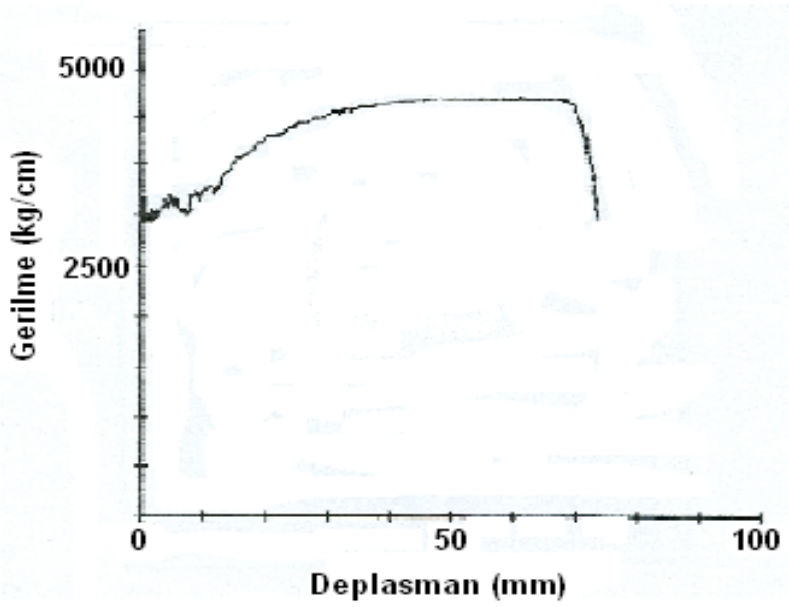
3.2.3. Duvar temeli ve döşemenin oluşturulmasında kullanılan donatının özellikleri

İmal edilen numunelerde boyuna ve enine donatı olarak TS5002'de verilen ve TS708'e uygun olan nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. BÇIII donatı çelik çubukların çapları etriyelerde 8 mm, boyuna donatılarda ise 12 mm. olarak seçilmiştir. Numunelerde kullanılan 12 mm.'lik çelik çubuklardan 3'er adeti Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Laboratuarında TS138 yönetmeliğine uygun olarak çekme testine tabii tutulmuştur. Elde edilen test sonuçları Çizelge3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan donatının özellikleri

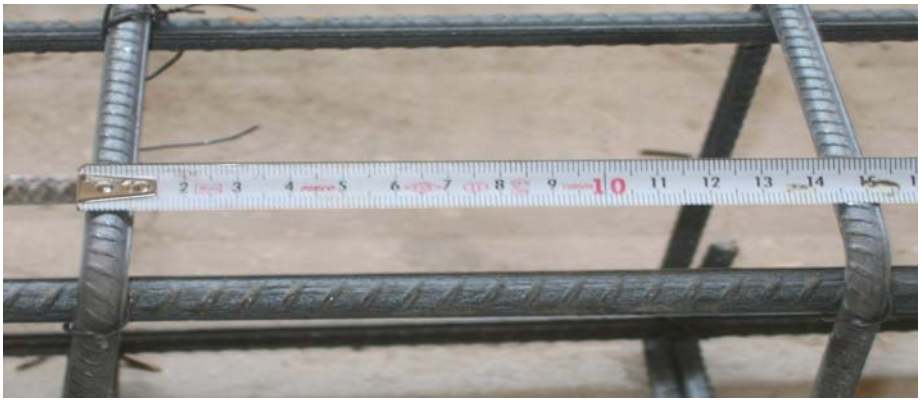
Donatı çapı(mm.)	Donatı sınıfı	Akma Dayanımı f_{yk} (kg/cm^2)		Kopma Dayanımı f_{su} (kg/cm^2)		Kopma Uzaması ε_{su}	
		Min.	Deneysel	Min.	Deneysel	Teorik	Deneysel
8	BÇIII	4200	4428	5000	6000	0.12	0.18
8	BÇIII	4200	4650	5000	5910	0.12	0.19
8	BÇIII	4200	4540	5000	6150	0.12	0.175
12	BÇIII	4200	5015	5000	5620	0.12	0.19
12	BÇIII	4200	4840	5000	6150	0.12	0.21
12	BÇIII	4200	4520	5000	6100	0.12	0.20

Deneylerde kullanılacak ∅12 donatıdan 3 adet alınarak TS138'e göre çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen grafiklerin bir örneği Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan donatının gerilme deformasyon eğrisi

Deney için imal edilen bağ kiriş donatılarının resmi Şekil 3.3'de, döşemeyi oluşturan donatıların resmi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Bağ kirişi donatı görüntüsü



Şekil 3.4 Döşeme donatısının görüntüsü

3.2.4. Duvar elemanlarının özellikleri

Deney duvarlarının yapımında TS-771-1'e uygun 190*190*50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu Harman tuğlası kullanılmıştır. Kullanılan tuğlanın TS7720–1:2000 standardına göre yapılmış fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4'de,örülmüş tuğla duvarın görüntüsü Şekil 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekanik özellikleri

Boyutlar (mm)	190*190*50
Basınç Dayanımı (MPa)	23.17
Eğilme Dayanımı (MPa)	2.61
Elastisite Modülü (MPa)	3000



Şekil 3.5 Örülmüş tuğla duvarın görüntüsü

3.2.5. Harçta kullanılan çimento ve kumun özellikleri

Harçların yapımında SET Çimento Sanayi A.Ş'nin TS12143'e uygun olarak ürettiği Portland Kompoze Çimento (PKÇ/B 32.5) kullanılmıştır. SET Çimento Sanayi A.Ş. tarafından üretilen çimentonun TS 19'a uygunluğu araştırılmış ve elde edilen değerler standart değerler ile birlikte Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Kullanılan çimentonun özellikleri

Özellikler		TS 19 'da İstenen Değerler	Deneyde Bulunan Değerler
Priz	Bşlama süresi	> 1 saat	1 saat 30 dak.
	Sona erme süresi	< 10 saat	4 saat 40 dak.
Hacim genişlemesi		< 10 mm.	3 mm.
200 mikron elek üzerindeki miktar		< %1	%0,3
90 mikron elek üzerindeki miktar		< %14	%9,3
Özgül yüzey		% 2400 cm^2 / g	2900 cm^2 / g
Basınç dayanımları (kg/cm2)	7 günlük	>210	224
	28 günlük	325	354
Eğilmede çekme dayanımı (kg/cm2)	7 günlük	40	51
	28 günlük	55	64

Gerek sıva, gerekse duvar örgü işleminde kullanılan harcın imalatında kullanılan kum, Ankara piyasasından temin edilmiş ve herhangi bir işleme tabi tutulmamıştır. Kullanılan kumun granülometrik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Harç kumunun granülometrik değerleri

Elek Çapı	Elekten geçen	Elek üstünde Kalan
8	100	0
4	75	25
2	54	46
1	33	67
0.5	17	83
0.25	6	94

3.2.6. Kullanılan harcın özellikleri

Referans duvarın örgüsünde ve sıva işleminde TS 705'e uygun olarak hazırlanan çimento harcı kullanılmıştır. Kullanılan çimento harcının karışım değerleri Çizelge 3.7'de ağırlık cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.7 Çimento harcı için karışım değerleri

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

Duvar örümü yapıldıktan sonra 1 hafta boyunca kür uygulanmış ve 28 gün sonra deney yapılmıştır. Aynı süreçte harçtan numuneler alınarak 70 mm çaplı 175 mm boylu silindirik örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler üzerinde tek eksenli dayanım ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen mekanik özellikler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Çimento harcına ait mekanik özellikler

Numune boyutları (mm)	70*175
Basınç dayanımı (MPa)	6.6
Eğilmede çekme dayanımı	489
Elastisite modülü	8000

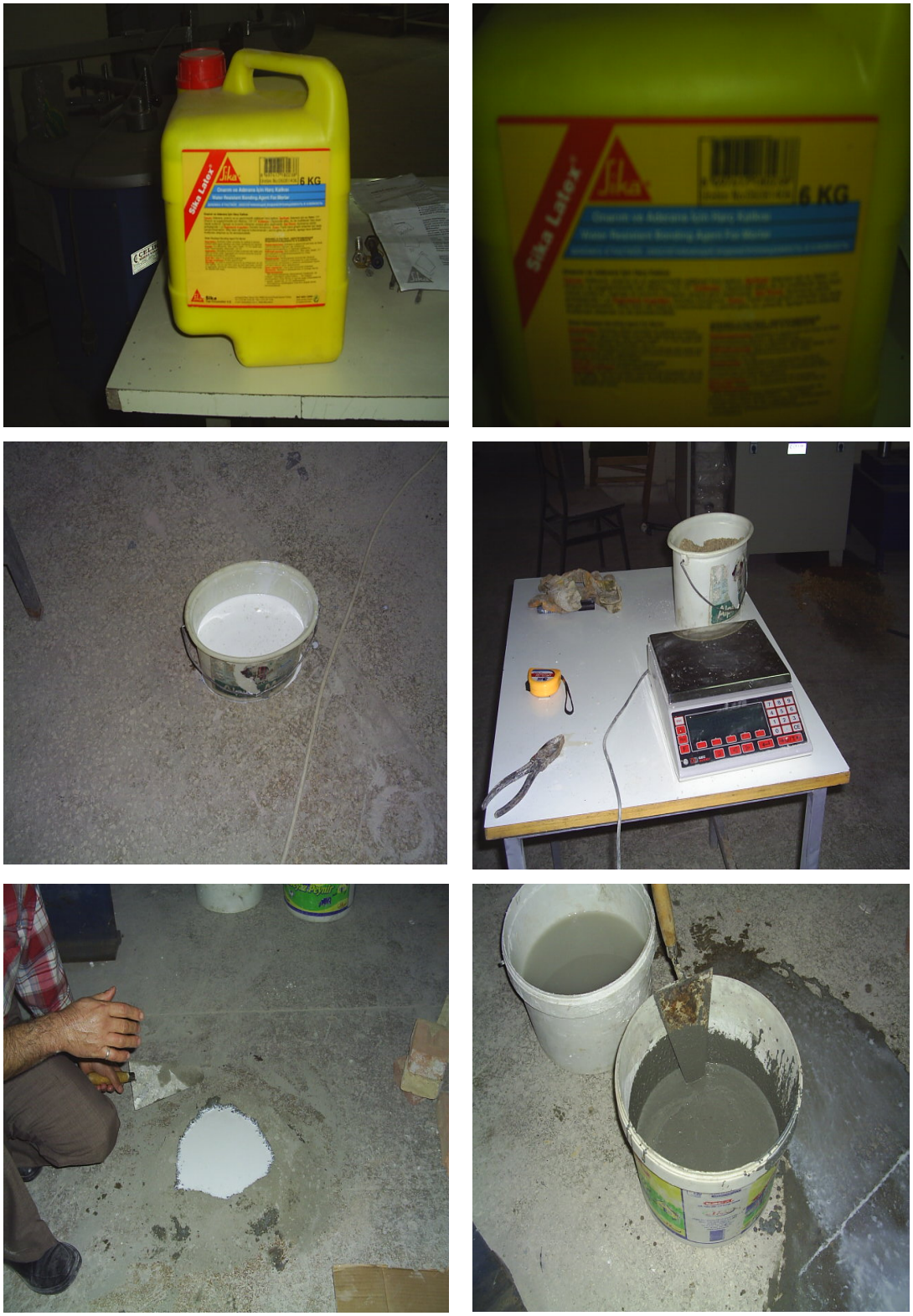
3.2.7. Kullanılan Sikalatex katkı malzemesinin özellikleri

Kullanılan Sikalatex katkı malzemesi mükemmel yapışma, aderans ve daha fazla elastikiyet sağlama özelliğine sahiptir. Kullanılan malzemeye su geçirmezlik özelliği

kazandırır. Aşınma dayanımını artırır. Kimyasal dayanımın iyileştirilmesinde kullanılır ve uygulama kolaylığı vardır. Orijinal açılmamış ve hasar görmemiş ambalajlarda doğrudan güneş ışığından, aşırı sıcak ve dondan koruyarak + 5 C^o ile + 35 C^o arasında depolandığı takdirde üretim tarihinden itibaren 12 ay saklanabilir. Sikalatex katkı malzemesi, harcın yapışma performansını artırması ve iyi bir aderans sağlamsından dolayı deneylerde tercih edilmiştir. Sikalatex katkı malzemesinin tipik özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. Deneylerde kullanılan Sikalatex katkı malzemesinin resimleri Şekil 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Sikalatex katkı malzemesinin tipik özellikleri

Sikalatex	Özellikleri
Renk	Beyaz
Görünüm	Homojen emüsyon
Yoğunluk	1.015 ± 0.01 kg / l
pH Değeri	8-12
Donma noktası	- 5 C^o



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan sikalatex katkı malzemesi

3.3. Yığma Duvar Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları

Bu çalışmada, aynı geometrik özelliklere sahip 2 adet yığma duvar, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında düzlem dışı yüklenerek test edilmiştir. Deney numunelerine ait geometrik özellikler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Deney numunelerinin geometrik özellikleri

Duvar Boyu (mm)	Yan Duvar Uzunluğu (mm)	Duvar Yüksekliği (mm)
2600	1100	2600

3.4. Deney Elemanlarının Üretimi

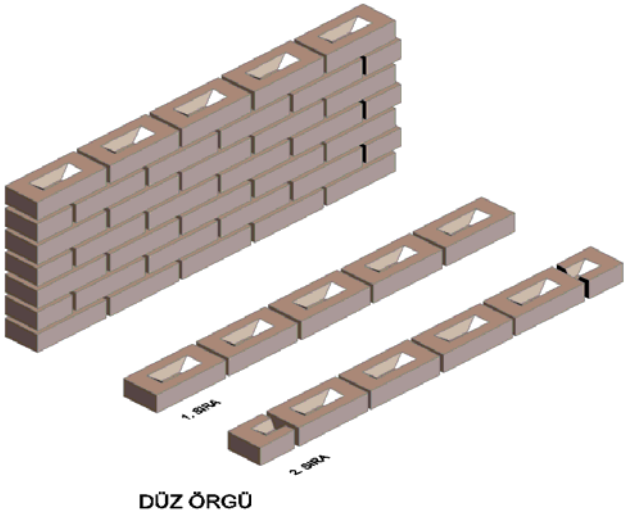
3.4.1. Ön deney elemanlarının üretimi

Bu çalışmada 6 adet duvar numunesi üretilmiş ve numuneler diagonal olarak yerleştirilip yüklenmiştir. Deney numuneleri, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuarında oluşturulmuştur. Ön deneyin yapılma amacı, kesme kuvveti yönünden en uygun yapışma değerini verecek Sikalatex katkı malzemesinin miktarını belirlemektir. Numunelerde kullanılan karışım oranları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Numunelerde kullanılan karışım oranları

NUMUNE	Sikalatex(kg)	Su(kg)	Çimento(kg)	Kum(kg)
1	0.5	1.5	2.5	8
2	0.75	0.75	3	10
3	1.2	0.6	4	9
4	2.6	1.6	7.5	15
5	3	1.2	7.5	15
6	3.5	1	7.5	15

Numuneler düz örgü şeklinde örülmüştür. Düz örgü, düz dizilerin üst üste konulması ile oluşturulur. İkinci sıraya yarım tuğla ile başlanarak dik derzlerin üst üste gelmemesi sağlanır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Düz örgü örülme şekli

6 farklı numuneyi oluşturmak için değişik miktarlarda karışım kullanılmıştır. Sikalatex katkısı azdan başlayarak çoğaltılmıştır. En uygun karışım bu şekilde elde edilmiştir. İlk olarak belirlenen orana göre katkı malzemesi temiz bir kaba konmuştur. Bu karışım az bir süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra su ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan bu karışım, kum-çimento karışımına ilave edilerek

harmanlama yapılarak kullanılacak harç elde edilmiştir. Harcın hazırlanması Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Ön deney numunelerinin örümünde kullanılacak harcın hazırlanması

Her numune için bu şekilde ayrı ayrı harç karışımı hazırladıktan sonra numunelerin örümüne geçilmiştir. Bunun için laboratuara getirilen dolu harman tuğlaları tozlarından temizlendikten sonra 60* 60 cm boyutlarında örme şekline uygun olarak ortalama 2 cm'lik derz aralığı bırakılarak numuneler üretilmiştir. Deney numunelerinin hazırlanması Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Ön deney numunelerinin hazırlanması

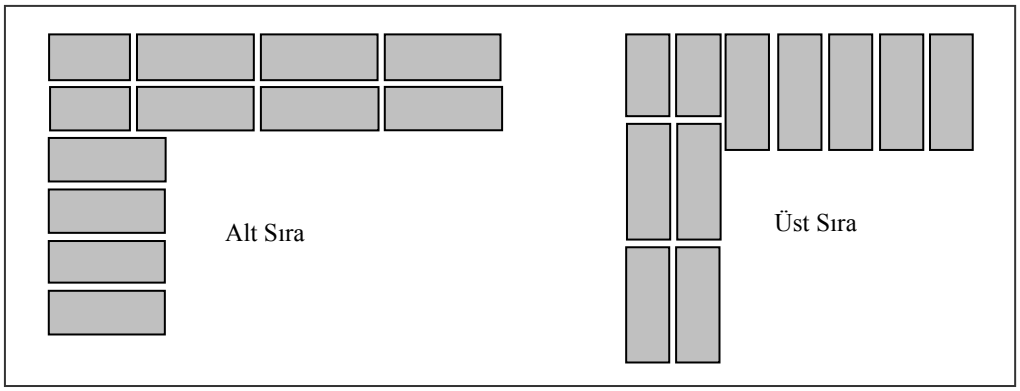
Duvar örme işlemi tamamlandıktan sonra aynı karışım oranları kullanılarak sıva harcı oluşturulup sıvama işlemine başlanmış, 7 gün sulama işlemi gerçekleştirildikten sonra 3 gün kurumaya bırakılmıştır. Numunelerin sıvanma şekli Şekil 3.10'da verilmiştir. Sulama ve kuruma işlemi tamamlanan numuneler laboratuarda hazırlanan kireç badana ile boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.10 Ön deney numunelerinin sıvanması

3.4.2. Esas deney elemanlarının üretimi

Bu çalışmada, 2 adet duvar numunesi üretilmiş ve düzlem dışı tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri oluşturulurken, numune duvarı oluşturan elemanlar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Deprem Araştırma Laboratuarında oluşturulmuştur. Dolu harman tuğlaları tozlarından temizlendikten sonra, daha önceden oluşturulmuş bina temeli üzerine örme şekline uygun olarak ortalama 2 cm'lik derz aralığı bırakılarak panel duvarın oluşturulması tamamlanmıştır. Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli

Referans duvarın oluşmasında tuğlaları birleştiren harç, standartlara uygun olarak laboratuarda hazırlanmıştır. Şekil 3.12'de de görüldüğü gibi kurallara uygun olarak duvar örümü yapılmıştır. Duvarın üzerine döşeme oluşturulması için betonarme kalıbı hazırlanmış ve çakılmıştır. Döşeme ve bağ kirişi donatıları laboratuarda demirci ustası tarafından hazırlanarak döşeme kalıbı içine yerleştirilmiştir. Hazırlanan kalıba C16 döşeme betonu dökülerek duvar numunesi kaba hali tamamlanmıştır. Bununla ilgili resimler Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.12 Referans duvar numunesinin örülmesi



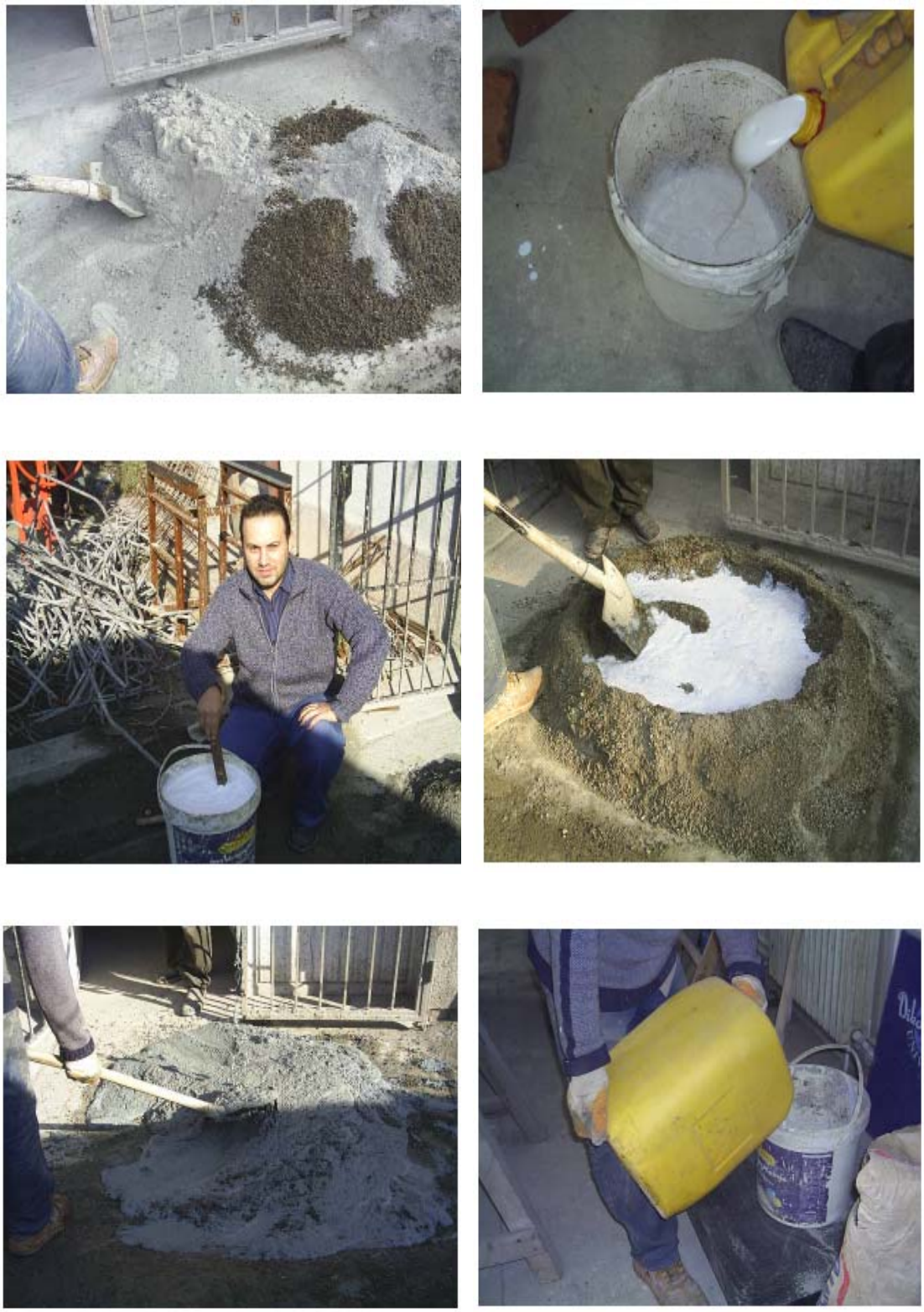
Şekil 3.13 Referans duvar numunesine kalıp kurulması ve beton dökülmesi

Duvar örme işlemi tamamlandıktan sonra referans duvar için standartlara uygun sıva harcı oluşturularak sıvama işlemine başlanmış, 7 gün sulama işlemi gerçekleştirildikten sonra 3 gün kurumaya bırakılmıştır. Sulama ve kuruma işlemi tamamlanan referans duvar, Şekil 3.14'de gösterildiği gibi laboratuarda hazırlanan kireç badana ile boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.14 Referans duvar numunesinin sıvanması ve boyanması

Model duvarın örümü için, ön hazırlıkta yapılan deneyler neticesinde bulunan karışım miktarı kullanılarak harç hazırlanmıştır. Önce Sikalatex malzemesi temiz bir kovaya kullanılacağı oranda dökülmüştür. Daha sonra gerekli miktardaki su bunun üzerine ilave edilmiştir. Belirlenen miktarlara göre hazırlanan kum ve çimento karışımının ortasına, su ile karıştırılan katkı malzemesi dökülmüştür. Sonra kürek yardımıyla harmanlama yaparak harç malzemesi elde edilmiştir. Harcın hazırlanışı Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Model duvar numunesinde kullanılacak katkılı harcın hazırlanması

Sikalatex katkı malzemesiyle hazırlanmış olan harçla duvar örümüne geçilmiştir. Hazırlanan harç çabuk donduğundan örülebilecek miktarlarda harç hazırlanmıştır. Model duvar numunesinin örülmesi Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Model duvar numunesinin örülerek hazırlanışı

Referans duvar numunesinde olduğu gibi, model duvar numunesindede duvarın üzerine döşeme oluşturulması amacıyla numune üzerine betonarme kalıbı hazırlanmıştır. Döşeme ve bağ kirişi donatıları laboratuarda demirci ustası tarafından hazırlanarak döşeme kalıbı içine yerleştirilmiştir. Hazırlanan kalıba C16 döşeme betonu dökülerek duvar numunesi hazır hale getirilmiştir. Bununla ilgili şekiller Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Model duvar numunesinde döşemenin hazırlanışı

Katkı malzemesi uygulanarak hazırlanmış olan numunenin sıvanması işlemine geçilmiştir. Katkı malzemesiyle aynı oranlarda sıvanan numune deneye hazır hale getirilmiştir. Numunenin sıvanma şekilleri Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Model duvar numunesinin sıvanması

4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

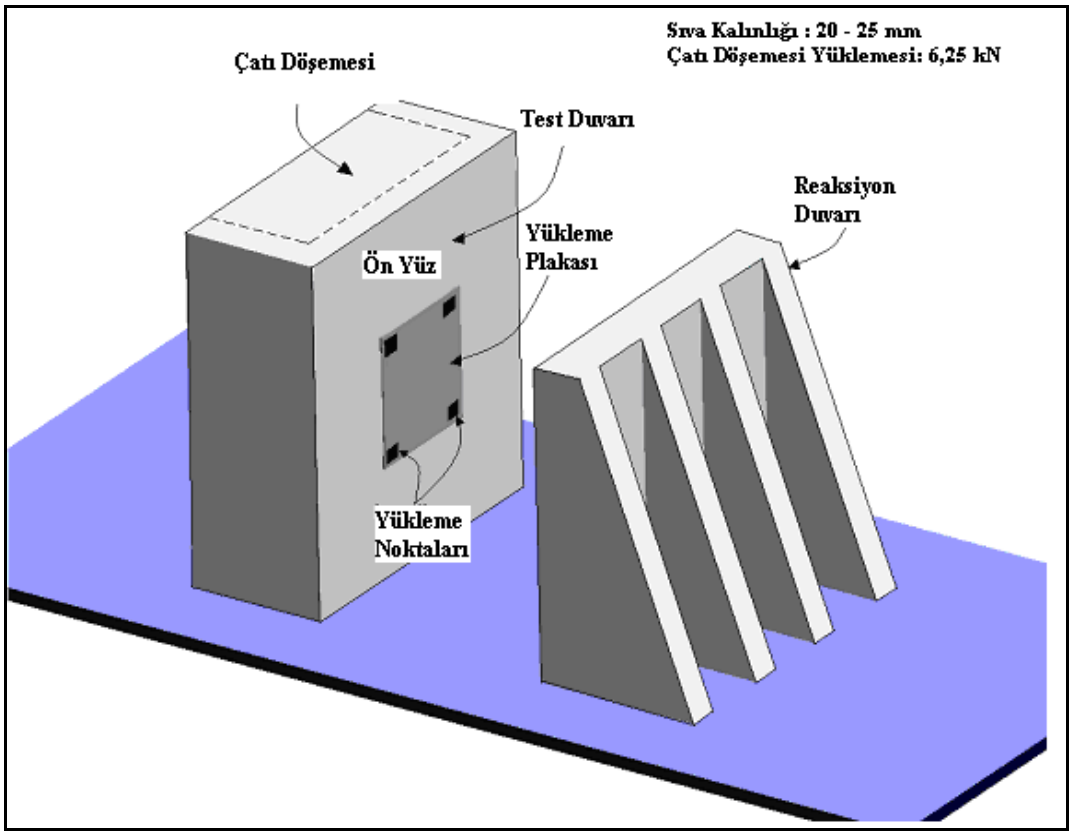
4.1. Giriş

Bu doktora tez çalışmasının deneysel bölümü Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyde normal harçla hazırlanan bir yığma duvarla, Sikalatex katkı malzemesi katılarak bağlayıcı özelliği artırılmış harçla hazırlanan bir yığma duvarın düzlem dışı kırılmaları, süneklilikleri, enerji tüketimleri, ilk çatlak oluşumları araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı geometrik özelliklere sahip bu iki adet yığma duvar, düzlem dışı ve depremi benzeştiren tekrarlanır yatay yük altında kırılma oluşuncaya kadar denenmiştir. Deney sırasında bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kaydedilmiştir.

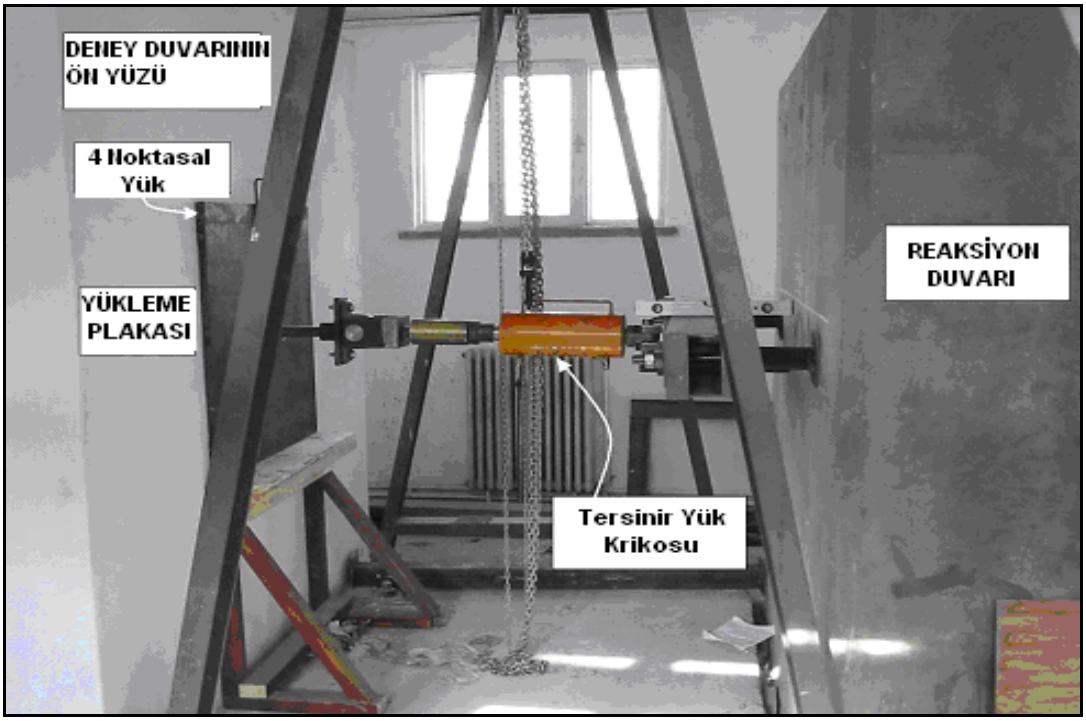
4.2. Deney Düzeneği

Düzlem dışı yüklenen yığma duvarın davranışının ve kırılma şeklinin anlaşılması için Şekil 4.1'de gösterilen duvar deneye tabi tutulmuştur.

Yükleme mekanizması Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yük, 2 yönlü hareketle basınç ve çekme uygulayabilen bir kriko ile verilmiştir. Duvar ortasındaki delikten rijit bir çelik çubuk geçmektedir. Özdeş bir yükleme plakası, duvarın arka yüzünde de mevcuttur. Duvara uygulanan basınç/çekme hareketi ile, sismik kuvvetlerin tersinir etkisi modellenmiştir. Yükleme plakası ile duvarın tam ortasından uygulanan yüklerin, düzgün yayılı yükün oluşturacağı moment dağılımına benzer bir zorlama oluşturacağı kabul edilmiştir.

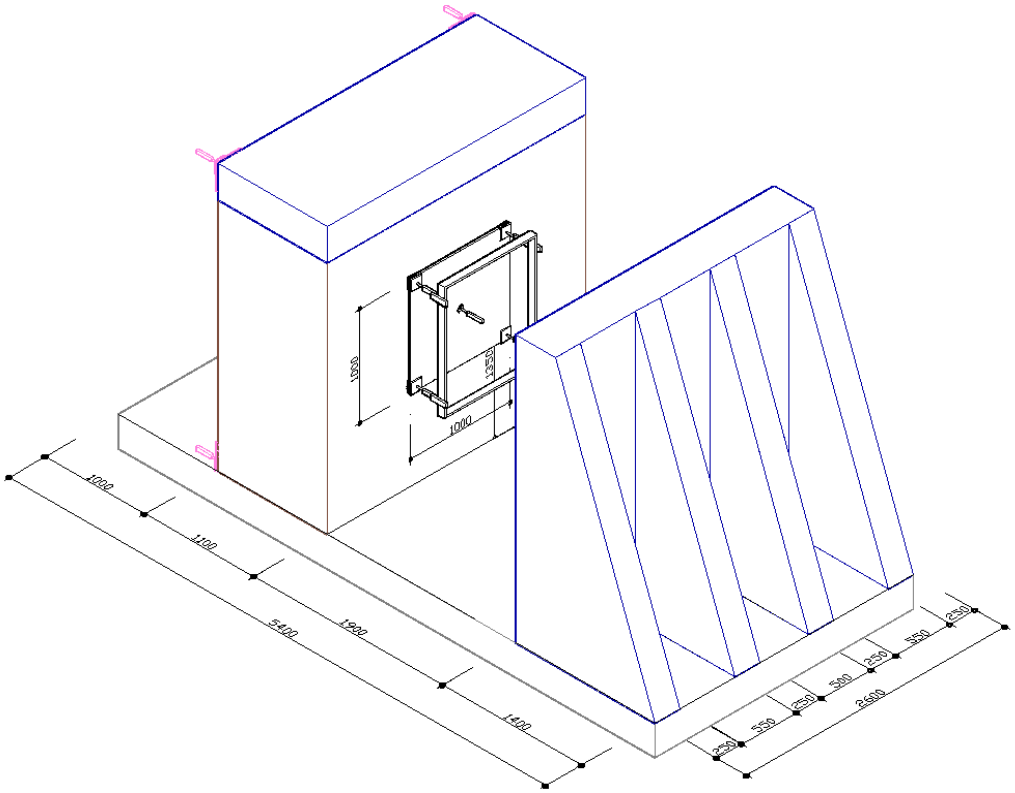


Şekil 4.1 Yığma duvar deney elemanı ve reaksiyon duvarı



Şekil 4.2 Tekrarlanır sismik hareketi modelleyen yükleme mekanizması

Deney duvarının geometrik özellikleri Şekil 4.3' de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, deney elemanı bir prototip olup, 2.6 x 2.1 m boyutlara sahiptir.



Şekil 4.3 Deney duvarının geometrik şekli

4.3. Ölçme Tekniği

Deneylerde yük ölçmeleri yük hücresi, yer değiştirmeler ise LVDT'ler kullanılarak yapılmıştır. Yük hücresi ve LVDT' ler yardımıyla alınan değerler, anında bilgisayara data logger sistemi yardımıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

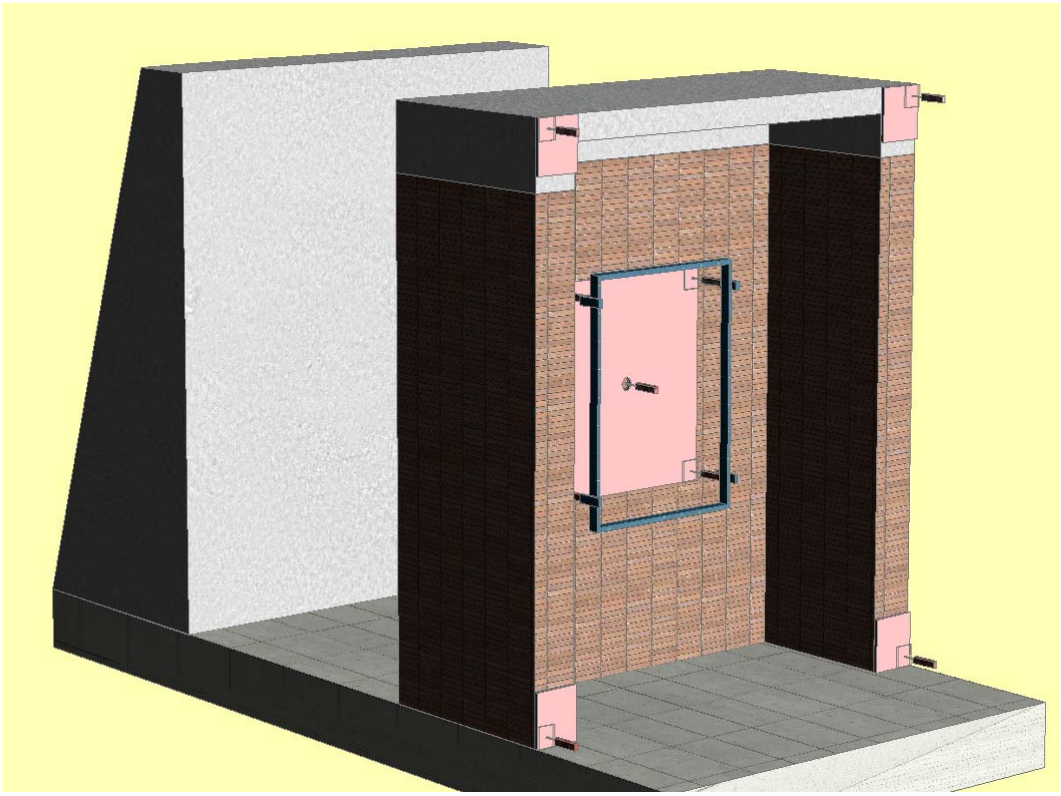
4.3.1. Yük ölçmeleri

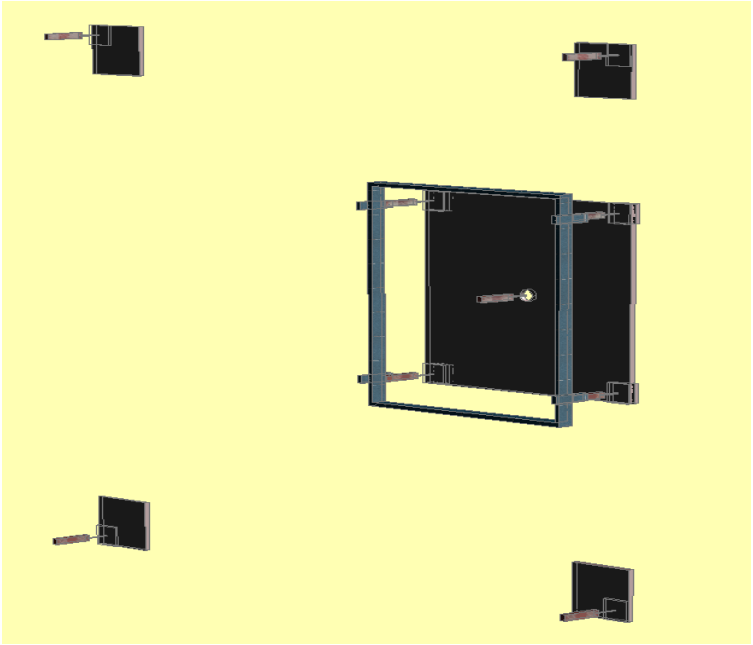
Numunelere hidrolik kriko yardımıyla uygulanan çekme ve basınç kuvveti yük hücresi kullanılmak suretiyle okunmuştur CoDA markalı yük hücresi, tatbik edilen

yük durumunda basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu datalogger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda yük hücresinden okunan yük ekrandan da takip edilebilmektedir. Bu deneylerde CoDA markalı yük hücreleri kullanılmıştır.

4.3.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deney süresince yığma duvarda meydana gelen yer değiştirmeler ile boy kısalma ve uzamalarının ölçümleri, elektronik LVDT' ler kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyuijo Co.Ltd. marka LVDT' ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. Kullanılan bu LVDT' ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT' ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları data logger sistemine bağlanmaktadır. Deneylerde 100 ve 200 mm'lik LVDT' ler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan LVDT' ler ve bağlantı sistemi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

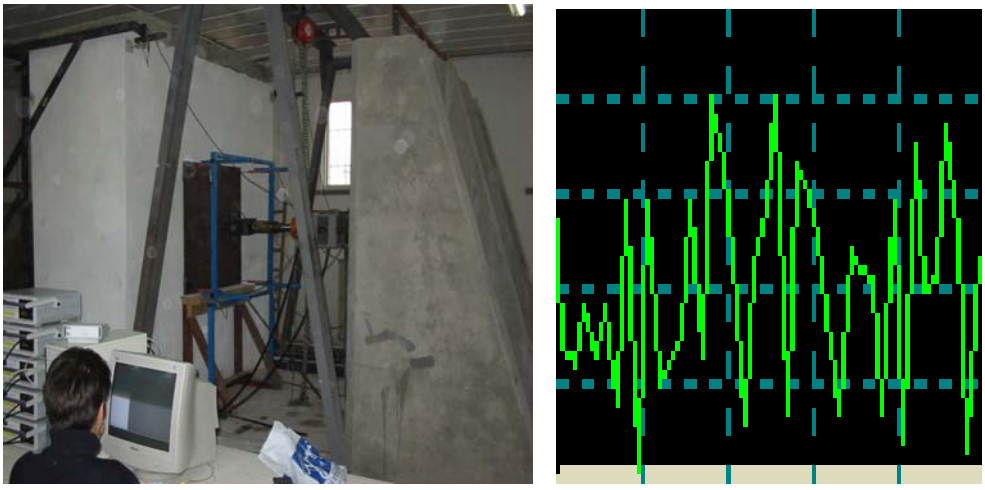




Şekil 4.4 LVDT'ler ve bağlantı sistemi

4.3.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

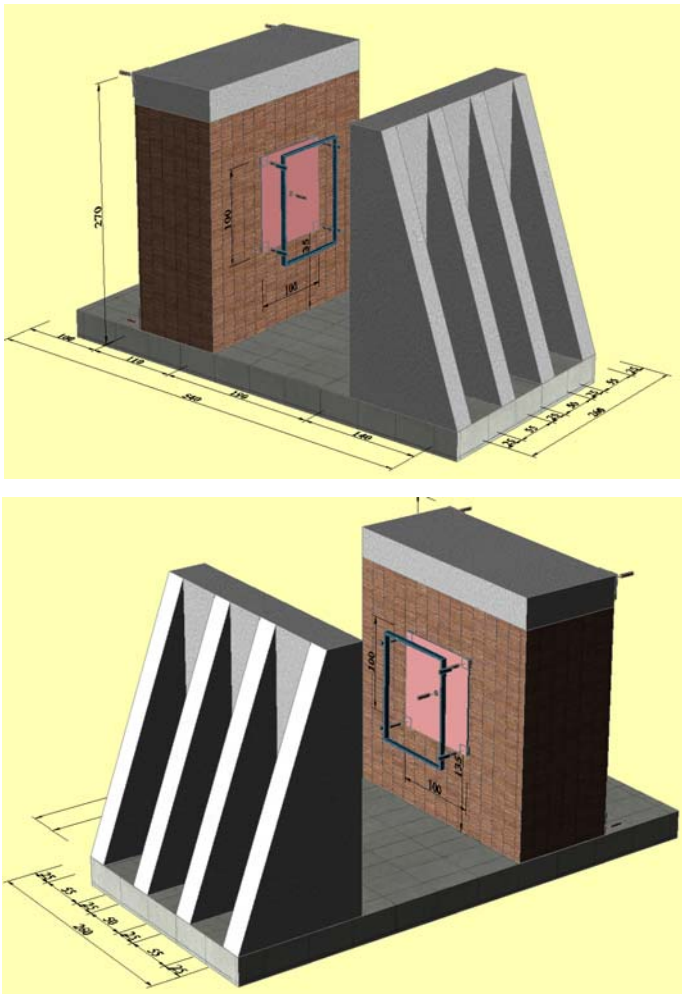
Yük hücresi ve LVDT'ler den alınan gerilmeler, ara bağlantı elemanları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Data logger sistemi, üzerinde yük hücresi ve LVDT'lerin bağlandığı 16 adet kanala sahiptir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım ''PCLAB'' programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm hassasiyetle, yük hücresi için ise kilogram seviyesinde hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir. İşlem gören kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayara kayıt edildiği gibi deney anında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Bir deney süresince, istenen zaman sıklığında kayıt almak mümkün olduğu için, deney süresince oldukça çok sayıda okuma almak mümkündür. Böylelikle, deneyin tüm safhaları hassas bir şekilde kayıt altına alınmaktadır. Alınan okuma değerlerinin çıktısı ''EXCEL'' programı tarafından okunabilen şekilde olup, alınan okumalar daha sonra Excel programı kullanılarak ilgili parametreler için grafik olarak çizdirilmiştir. Yük hücresi ve LVDT'ler den alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan data logger sistemi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

Deneylerde test edilen her bir sistem için, mümkün olduğunca aynı yerlerden olacak şekilde ölçüm sistemi kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçümleri, çelik çerçeve sisteminin alt ve üst uçlarının yatay yer değiştirmelerinin, tabanda ve üst başlıktaki dönmelerin tespiti amacıyla gerekli yerlerde ve gerekli sayıda LVDT kullanılarak yapılmıştır. Yük ölçümleri ise, hidrolik kriko ile bağlantılı olarak çalışan yük hücresi kullanılarak yapılmıştır. Test edilen yığma yapı sistemlerinde kullanılan ölçüm düzenekleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Test edilen sistemde kullanılan ölçüm düzenekleri

4.5. Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Deneyler sırasında LVDT, DG (komparametre), potansiyometrik cetvel ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden faydalanarak, deney numunelerinin davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, 2 deney numunesi içinde yatay yük deplasman grafiği çizilmiştir.

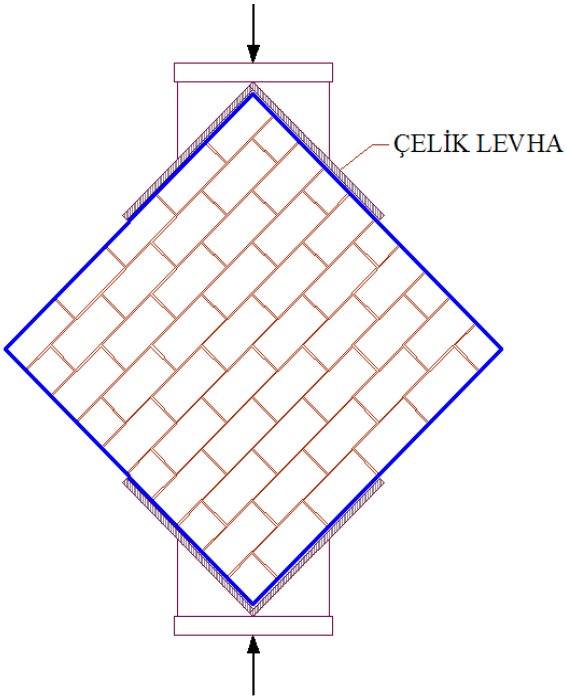
4.5.1. Yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi

Her bir deney numunesinin yük geçmişi grafiklerini elde etmek için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri belirlenmiştir. Deplasman geçmişi için yine aynı şekilde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu değerler belirlendikten sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek, her numune için yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği çizilmiştir.

4.6. Ön Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

Numunelerin, düşeyde 45^0 açı ile durmalarını sağlamak için, iki adet çelik başlık yapılmıştır. Klavuzunda duran alt çelik başlığın içine alçıdan bir yüzey hazırlanıp, duvar numunesi şakülünde başlığa yerleştirilmiştir. Üst çelik başlığın da içinde alçı yüzey hazırlandıktan sonra, üst başlık numunenin üstüne oturtulmuştur. Numunenin yükleme sırasında düzlemi içerisinde kalması, Şekil 4.7'de görülen, numunenin ön ve arka tarafına yanaştırılan metal kollar ile temin edilmiştir. Bu metal kollar ve numune arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak amacıyla, ara yüzeye yağ sürülerek kayganlığı arttırılmıştır.

Deney numunelerine düşey yük, 500 kN kapasiteli manuel hidrolik kriko yardımıyla uygulanmıştır. Çelik üst başlığının üzerine, yükseklik seviyesini ayarlamak için, çelik bir plaka konulmuş ve üstüne hidrolik veren yerleştirilmiştir. Uygulanan yükün değeri, hidrolik verenin üzerine konulan, 500 kN kapasiteli yük ölçer (load cell) ile ölçülmüştür. Yükleme, yaklaşık 10 kN'luk yük adımları ile yapılmış ve her yük adımından sonra yerdeğiştirme ölçümleri alınmıştır.



Şekil 4.7 Ön deney numunelerinin yükleme şekli

5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, her bir numunenin deneysel özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda; deneylerden elde edilen sonuçlar, deney numunelerinin davranışı ve meydana gelen hasarlar detaylı bir biçimde sunulmuştur. Her deney için deneyin yapılış yöntemi ve gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir.

Deney numunelerinin farklı özelliklerde ve dayanımlarda olması, özdeş bir yükleme programının uygulanmasına imkân vermemiştir. Fakat bütün deney elemanları aynı ilke doğrultusunda yük kontrollü olarak yüklenmiştir.

Bu bölümde; 6 adet ön deneyde elde edilen yük-deplasman grafikleri ve esas deneyler sonucu elde edilen verilerden, her bir numune için yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesiyle ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'te verilmiş olmakla birlikte burada kısaca özet bilgi de verilecektir.

Bütün deney elemanları için, her çevrimde meydana gelen çatlak ve hasarların yatay yük-deplasman ile beraber belirtildiği detaylı çatlak analiz tablosu, maksimum yükte ve son çevrimde oluşan çatlakların şematik olarak gösterildiği eleman resimleri, ilk yüklemeden göçmeye kadar önemli görülen yük adımları için deney fotoğrafları da sunulmuştur.

Yük geçmişi grafikleri, deney numunelerinin yükleme şeklini göstermektedir. Deneylerde yükleme programı yük kontrollü olarak gerçekleşmiştir. Bu grafiklerden, her bir çevrimde elde edilen maksimum yük ve deplasman değerleri gözlenebilmektedir.

5.1. Ön Deneyler

Ön deneylerde, 6 adet duvar numunesi üretilmiş ve numuneler diagonal olarak yerleştirilip yüklenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, ASTM 1391-81'de önerilen, yığma duvar numuneleri için standart kesme kuvveti deney tekniği kullanılmıştır. Ön deneyin yapılma amacı, kesme kuvveti yönünden en uygun yapışma değerini verecek katkı malzemesinin miktarını belirlemektir. Sıva ve duvar örümünde kullanılacak harca katılan katkı malzemeleri ile ilgili katologlar incelendiğinde harcın yapışma performansını ve aderansı artıran özelliğe sahip katkı malzemesi Sikalatex olduğundan dolayı deneylerde bu katkı malzemesi kullanılmıştır.

6 farklı numuneyi oluşturmak için değişik miktarlarda hazırlanan karışım kullanılmıştır. Sikalatex katkısı azdan başlayarak çoğaltılmıştır. En uygun karışım bu şekilde elde edilmiştir. Elde edilen bu karışıma kum-çimento karışımı ilave edilmiş, harmanlama yapılarak kullanılacak harç elde edilmiştir.

Her numune için bu şekilde ayrı ayrı harç karışımı hazırladıktan sonra numunelerin örümüne geçilmiştir. Bunun için laboratuara getirilen dolu harman tuğlaları tozlarından temizlendikten sonra 60* 60 cm boyutlarında örme şekline uygun olarak ortalama 2 cm'lik derz aralığı bırakılarak numuneler üretilmiştir.

Yapılan 6 adet ön deneyden 1 tanesi için deney esnasında belirli yüklerde gözlenen davranışlar tablo halinde verilmiştir. Elde edilen verilere göre her bir numunenin yük- deplasman grafikleri çizilmiştir. Her deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Diğer deneylerde, deney esnasındaki gözlenen davranışlar, yük-deplasman grafikleri, karışım oranları, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları ek kısmında verilmiştir.

5.1.1. 1 nolu ön deney

1 nolu ön deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Numuneyi hazırlamada kullanılan harç karışım oranları Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 1 nolu ön deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
8	2.5	1.5	0.5

Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir. Numunenin hazırlanması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



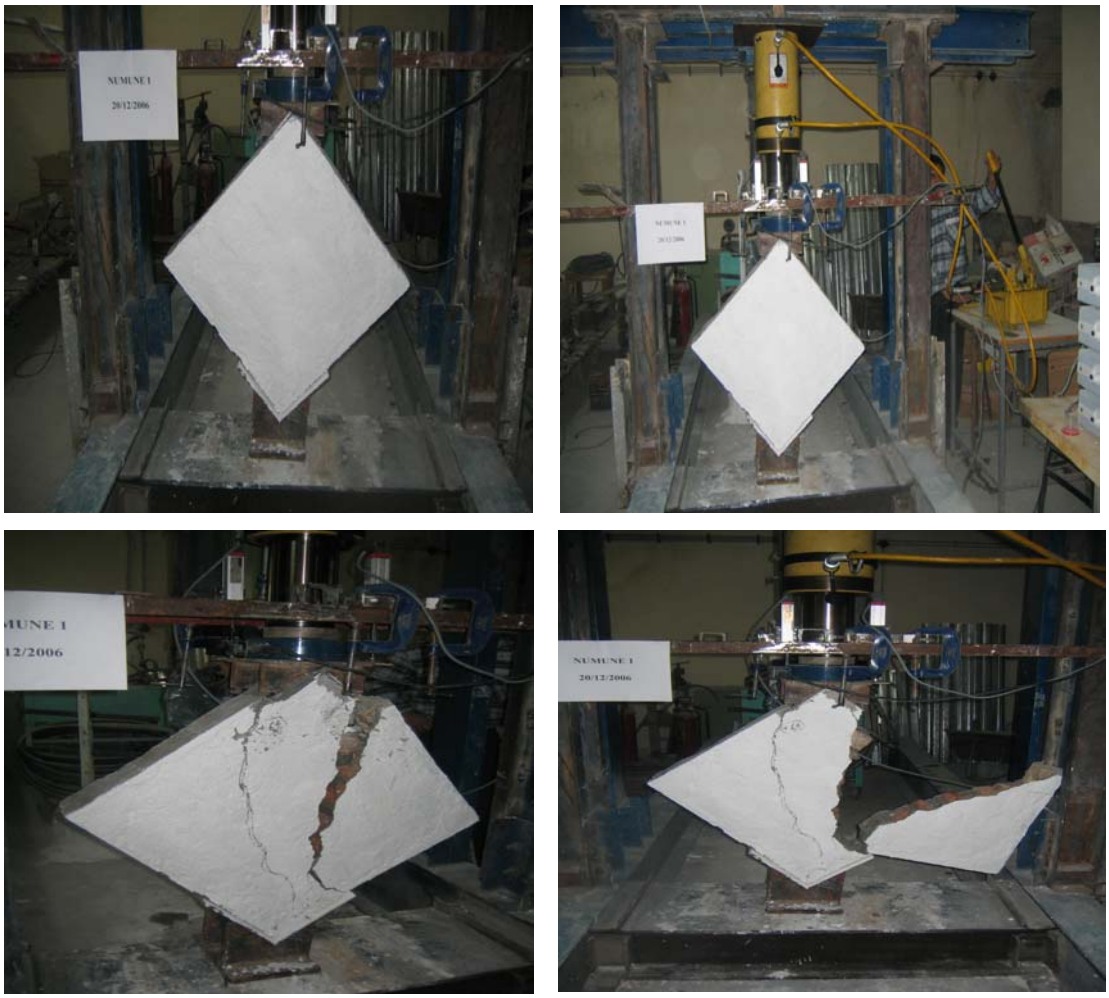
Şekil 5.1 1 nolu ön deney numunesinin hazırlanması

1 nolu ön deneyde her çevrimde oluşan deplasman belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2 1 nolu ön deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranışı

Çevrim No	Yük (Kn)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	10	2.1	-
2	20	3.2	-
3	30	4.5	Numunenin sağ üst kısmında ilk çatlak gözlemlenmiştir.
4	40	5.8	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.
5	50	7.7	İlk çatlak uzunluğu ve genişliği artmıştır.
6	55	8.9	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.
7	59,6	9.6	Numunede kırılma meydana gelmiştir. Max. yük 59.6 Kn'da oluşmuştur.
8	55	10.4	Deplasman artarken numunenin yük alımı azalmıştır.
9	50	12.6	Deplasmanlar artmıştır.
10	40	14.2	Deplasmanlar artmıştır.
11	30	16.2	Deplasmanlar artmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 3 Kn'da ilk çatlak meydana gelmiştir. İlk çatlak numunenin sağ üst kısmında oluşmuştur. Yükleme devam ettiğinde numunenin sol üst kısmında çatlak oluşmuş ve 59.6 Kn'a ulaşıldığın da numunenin yük taşımadığı, dolayısıyla kırıldığı gözlenmiştir.(Şekil 5.2)



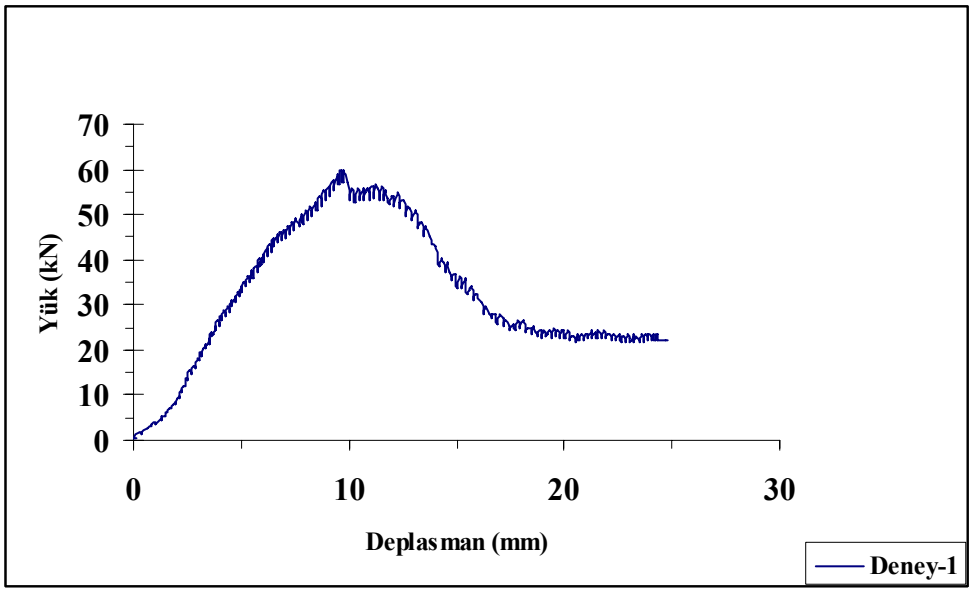
Şekil 5.2 1 nolu ön deney numunesinde oluşan çatlaklar

1 nolu ön deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 1 nolu ön deney numunesinde oluşan çekme dayanımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede ÇekDay (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
1	178.13	193.2	5969	1.17

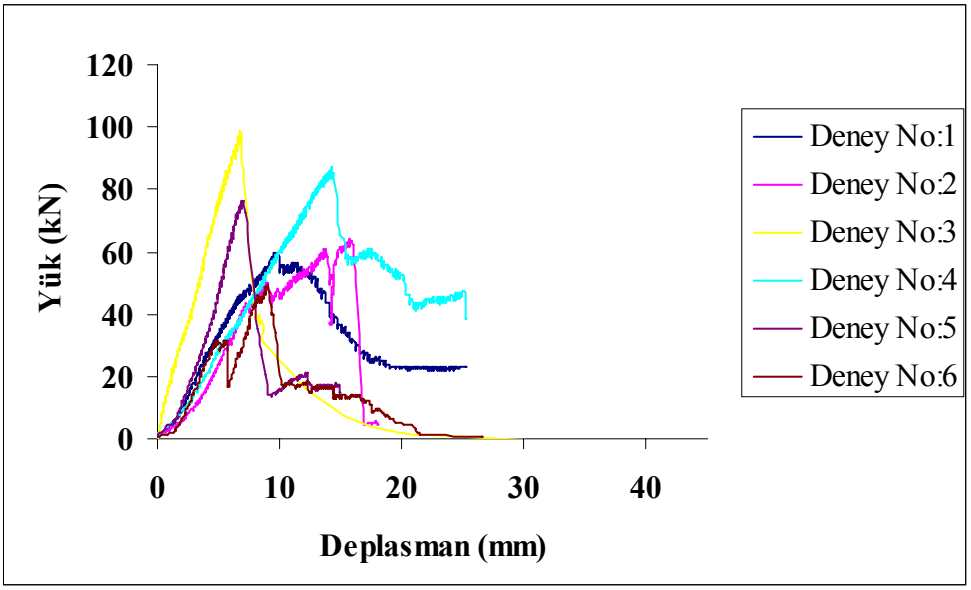
1 nolu ön deney sonucunda elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 1 nolu ön deneyde oluşan yük-deplasman grafiği

5.1.2. Ön deney sonuçlarının karşılaştırılması

Ön deneylerde, 1 nolu deney numunesinde anlatıldığı gibi değişik karışım oranlarında 6 adet duvar numunesi üretilmiş ve numuneler diagonal olarak yerleştirilip yüklenmiştir. Ön deneyin yapılma amacı, kesme kuvveti yönünden en uygun yapışma değeini verecek Sikalatex katkı malzemesinin miktarını belirlemektir. Yapılan deneyler sonucunda 3 nolu ön deneyde en yüksek performans elde edilmiştir. Esas deneydede bu karışım oranı kullanılacaktır. Altı adet numunenin yük-deplasman grafikleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Altı adet numunenin yük-deplasman grafiği

6 numunede oluşan max. yükler ve τ kayma gerilmesi sonuçları Çizelge 5.4'de verilmiştir. Çizelgedede görüldüğü gibi 3 nolu numunede maksimum yük oluşmuş, kesme kuvvetide maksimum olmuştur.

Çizelge 5.4 Numunelere ait max. yük ve kesme kuvveti değerleri

NUMUNE	MAX. YÜK (Kn)	τ (kg/cm^2)
1	59.69	1.17
2	63.64	1.25
3	98.17	1.93
4	76.47	1.501
5	87.07	1.710
6	49.58	0.973

5.2. Referans Duvar (1 Nolu Deney)

Referans duvar numunesi, dolu harman tuğlası ile güçlendirme yapılmadan örülmüş yığma duvar özelliği taşıyan bir elemandır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.5'de verilmiştir. Bu deneyin amacı; normal harçla örülmüş yığma bir duvarın, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip yığma bir duvarın güçlendirmesi sonucunda değişen davranış özelliklerinin belirlenmesine temel teşkil etmesidir.

Çizelge 5.5 Referans deney numunesinin özellikleri

Duvar Numunesi	Numune Duvar Tipi	Tuğlanın Ortalama Basınç Mukavemeti (MPa)	Harcın Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)	
				Φ8	Φ12
Referans Duvar		23.17	6.6	$\frac{375}{490}$	$\frac{420}{500}$

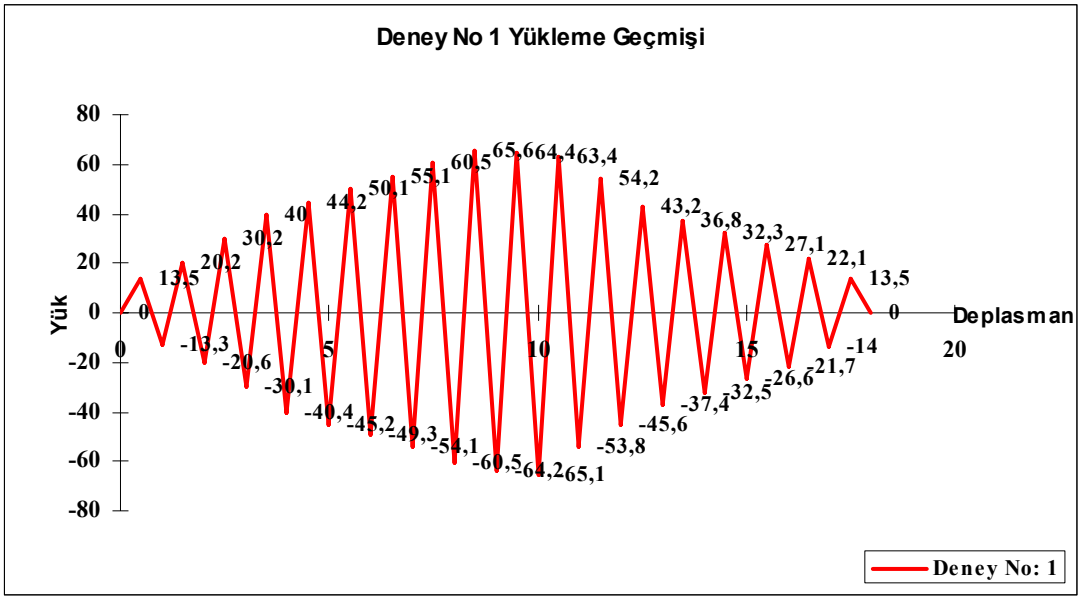
Referans duvar numunesinin deneyden önceki ön görünüşü Şekil 5.5'de ve arka görünüşü Şekil 5.6'da, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.5 Referans duvar numunesinin deneyden önceki ön görünüşü



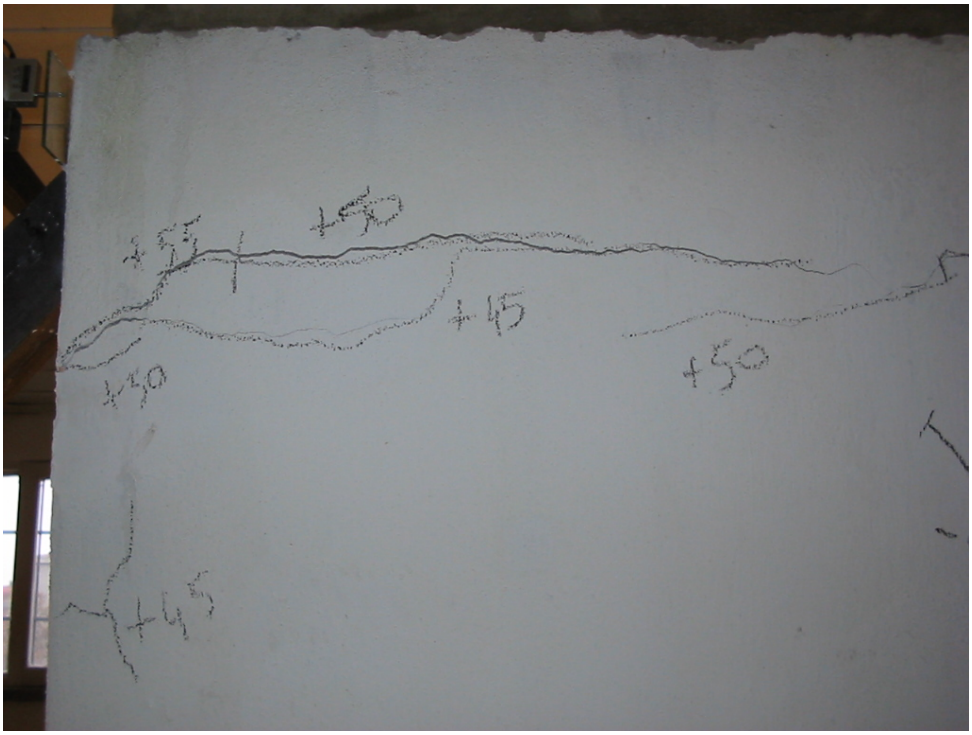
Şekil 5.6 Referans duvar numunesinin deneyden önceki arka görünüşü



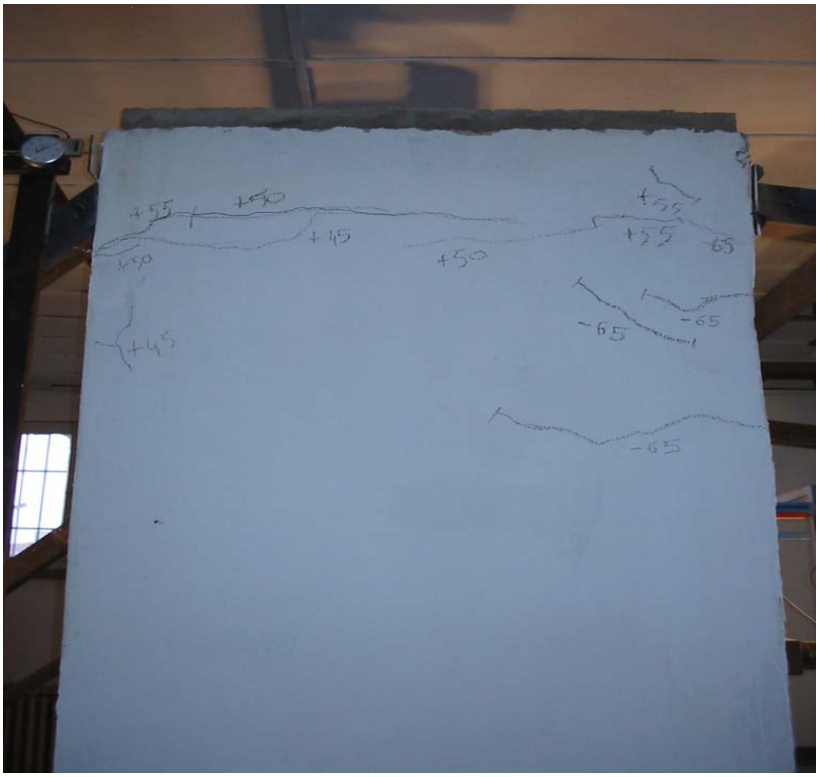
Şekil 5.7 Referans duvar numunesine ait yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, duvar ekseninden yatay yüke göre verilmiştir. Yükleme programına göre, 40 kN' a kadar 10 kN 'lik artışlarla, daha sonra ise 5 Kn'lik artışlarla deney sonuna kadar gidilmiş ve ileri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.

Duvar numunesinde, 5. ileri çevrimde yan duvarda sol arka mesnetin 15 cm kadar altında +40 kN'lik yük anında ilk çatlak meydana gelmiştir.(Şekil5.8) 6. çevrimden sonra sistemde farklı bölgelerde yükleme devam ederken 17 adet farklı çatlak sayılmıştır(Şekil5.9). Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasınca alınan önemli notlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



Şekil 5.8 Referans duvar da sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak



Şekil 5.9 Referans duvarda 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Çizelge 5.6 Referans duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

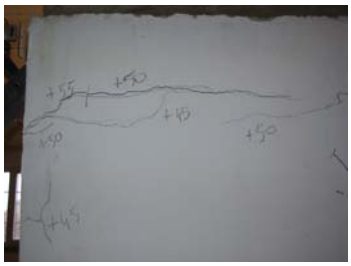
Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm) Dış	İç	Gözlenen Davranış
1.1	10	-0,3	0,3	-
1.2	-10	0,1	-0,1	-
2.1	20	-0,4	0,4	-
2.2	-20	0,4	-0,3	-
3.1	30	-0,6	0,7	-
3.2	-30	0,6	-0,4	-
4.1	40	-0,8	1,2	-
4.2	-40	0,8	-0,6	Yan duvarda sol arka mesnetin 15 cm kadar altında ilk çatlak meydana gelmiştir.
5.1	45	-1,0	1,7	Çok hafif çatlaklar başlamıştır.
5.2	-45	1,1	-0,7	Çok hafif çatlaklar başlamıştır.
6.1	50	-1,3	2,3	Bu yüklemede sol arka mesnetin ortalama 6-7 cm alt tarafında 2.çatlak oluşmuş ve çatlak devam eden yükleme altında duvarın içerisine doğru ilerlemiştir. Yükün bu değerlere ulaşmasıyla, duvar köşelerinde ve yüzeyinde oluşan çatlakların hem uzunlukları hem de kalınlıkları artmıştır.
6.2	-50	1,4	-0,8	Çatlak sayısı artmıştır. Yaklaşık 17 tane çatlak meydana gelmiştir.
7.1	55	-1,7	3,1	55 kN'lik yük altında ön ve arka sol mesnetin altında birbirine doğru numunenin sol yan duvarında 50 kN'de oluşan ince çatlaklar ön ve arka doğrultuda ilerlemeye başlamıştır.
7.2	-55	1,6	-0,9	Sağ ve sol yan duvar ortasına doğru derin, yatay ve eğik çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar duvar ön ve arka yüzünde derinleşerek devam etmiştir.

8.1	60	-2,2	4	Duvar kırılmasının çekme altındaki köşelerde ve duvarın düzlemi içinde oluştuğu görülmüştür. Bu davranış altında, düzlem dışı yüklenen duvarın "bina dışına" doğru kırılacağı sonucuna varılmıştır.
8.2	-60	2,5	-1,1	+ 60 Kn'da gözlemlenen davranış, benzer şekilde bu çevrimde de oluşmuştur.
9.1	65	-3	5	Güç tükenmesine tekabül eden Fu = 65 kN'a ulaştıktan sonra, yük taşıma yeteneğinde çok süratli bir azalma oluşmuş ve duvar, kesme kırılması davranışına benzer şekilde üzerindeki yükü boşaltmıştır.
	-65	3,4	-1,6	Duvar ön yüzü ve sol yan yüz köşesinde yatay çatlaklar oluşmuştur.
	50	-4,5	6,2	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.
	-50	6,5	-3	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.
	40	-12,5	14	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.
	-40	13	-18	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.
	30	-28	20	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.
	-30	29,5	-31	Deplasmanlar ve çatlaklar devam etmiştir.

Yükleme devam ederken, 5. çevrimde +40 kN'luk yük altında ilk çatlak oluştuktan sonra ilerleyen çevrimlerde çatlaklar hızla oluşmuş ve ilerlemiştir (Şekil 5.10). Referans duvarda 45 Kn ile 55 Kn arasındaki hasar durumu Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.10 Referans duvarda sol arka mesnette oluşan çatlak



a) Yan duvarın sol tarafındaki çatlaklar



b)Yan duvarın alt noktasındaki çatlaklar



c) Yan duvarın üst noktasındaki çatlaklar



d) Yan duvarın kenar bölgesindeki çatlaklar



e) Duvarın arka üst bölgesindeki çatlaklar



f) Duvarın arka bölgesindeki çatlaklar

Şekil 5.11 Referans duvar numunesinin 45kN'la 55 kN arasındaki hasar durumu

7.çevrimde yük +65 kN'a geldiğinde güç tükenmesine tekabül eden Fu = 65 kN'ye ulaştıktan sonra, yük taşıma yeteneğinde çok süratli bir azalma oluşmuş ve

duvar, kesme kırılması davranışına benzer şekilde üzerindeki yükü boşaltmıştır.(Şekil 5.12, Şekil 5.13)



a) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



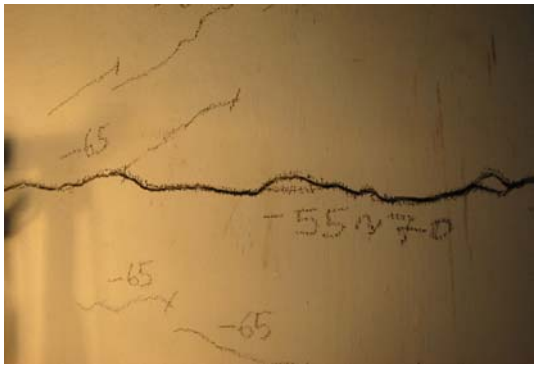
b)Arka duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c)Arka duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarın orta kısmındaki çatlaklar



e) Mesnet levhasının sol yanında çatlak



f) Sağ yan duvarda oluşan çatlaklar

Şekil 5.12 Referans duvarın 65 kN'luk yük aşamasındaki durumu



a) Arka duvarın üst bölgesinde oluşan çatlaklar



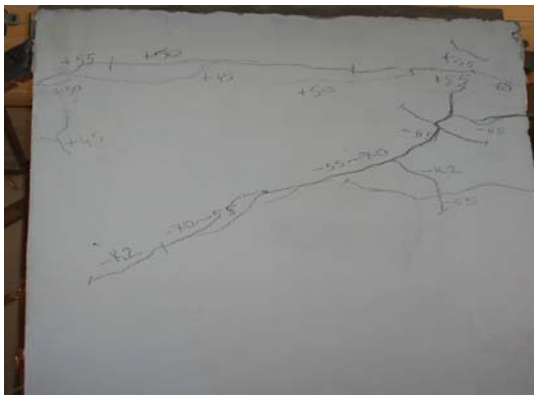
b) Ön duvarla sol yan duvarın üst birleşiminde oluşan çatlaklar



c) Yükleme levhasının sol üst ve alt bölgesinde oluşan çatlaklar



d) Arka duvarın üst ve yan tarafında oluşan çatlaklar



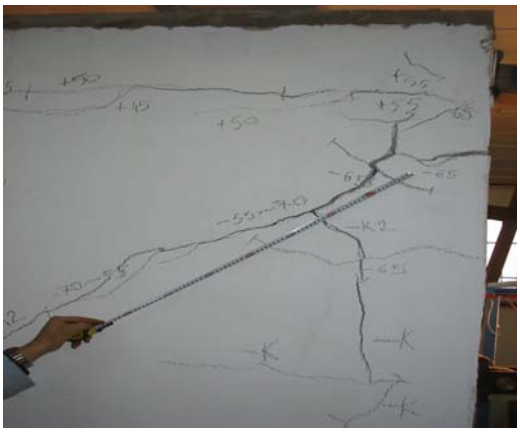
e) Sol yan duvar yüzünde oluşan çatlaklar



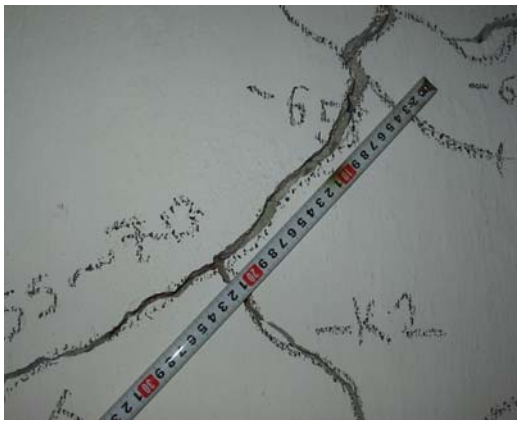
f) Yükleme levhasının sağ üst köşesinde oluşan çatlak

Şekil 5.13 Referans duvarda 65 kN'da gözlemlenen çatlaklar

Göçme anında deney numunesinin farklı yüzlerinde oluşan çatlak genişlikleri ortalama 2 cm olarak ölçülmüştür. (Şekil 5.14)



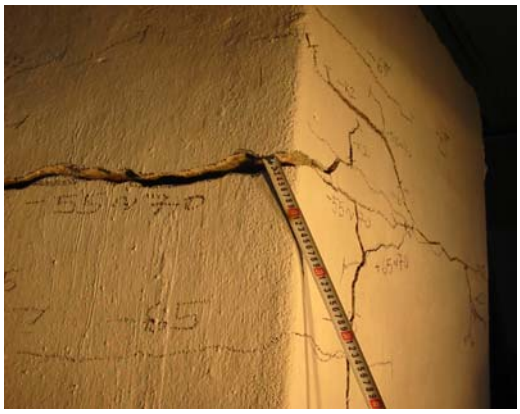
a) Sol yan duvarda ölçülen çatlak



b) Sol yan duvarda ölçülen çatlak



c) Sağ yan duvarda ölçülen çatlak



d) Duvarın ön yüzüyle sağ yan duvar arasında ölçülen çatlak



e) Duvarın ön yüzünde ölçülen çatlak



f) Duvarın ön yüzünde ölçülen çatlak

Şekil 5.14 Referans duvar numunesinde ölçülen çatlak genişlikleri



a) Duvarın sol yandan görünümü



b) Duvarın sağ yandan görünümü



c) Duvarın arkadan görünümü



d) Duvarın önden görünümü

Şekil 5.15 Referans duvar numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu

Deney sonunda oluşan, referans duvar numunesinin farklı açılardan hasar durumu Şekil 5.15'de ve Şekil 5.16'da, deney sonundaki genel görünüş ise Şekil 5.17'de verilmiştir.



a) Soldan görünüş



b) Sağdan görünüş



c) Önden görünüş



d) Sağ yan taraftan görünüş



e) Arkadan görünüş



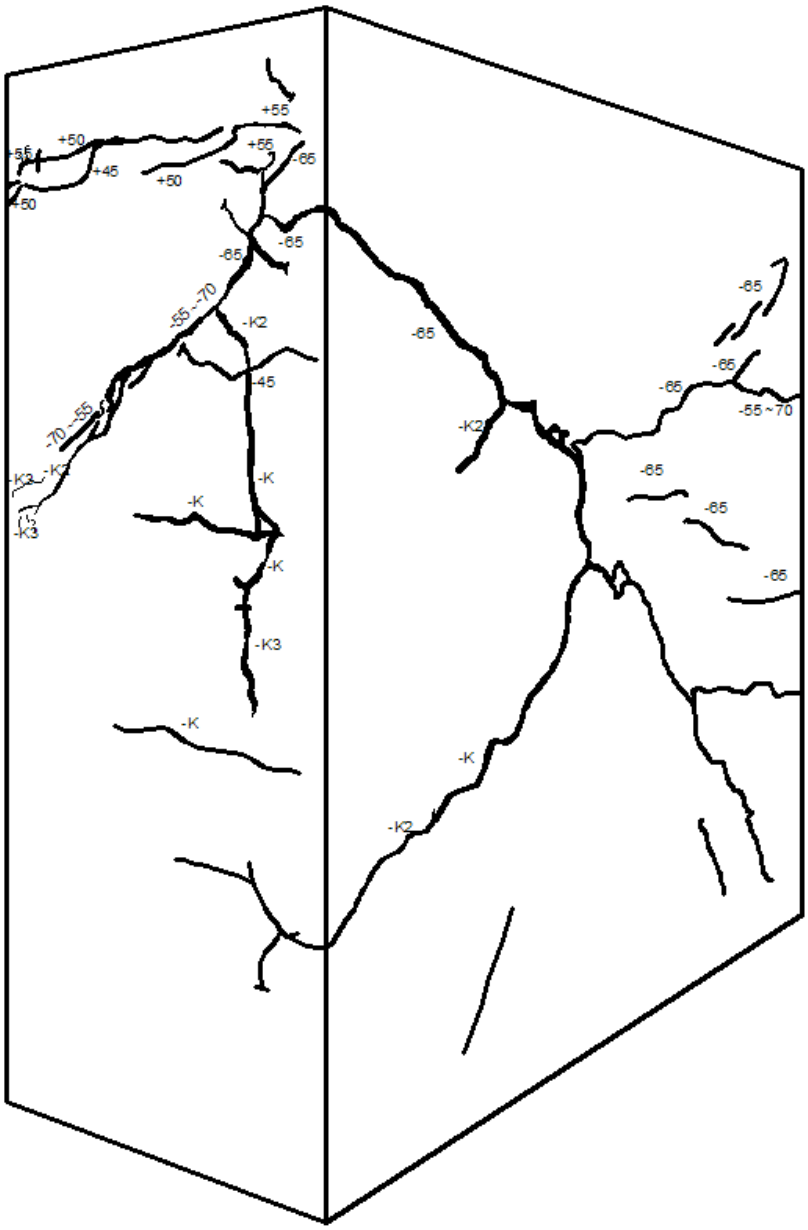
f) Arkadan görünüş

Şekil 5.16 Referans duvar numunesinde deney sonunda oluşan hasar durumu



Şekil 5.17 Referans duvar numunesinin deney sonundaki genel görünüşü

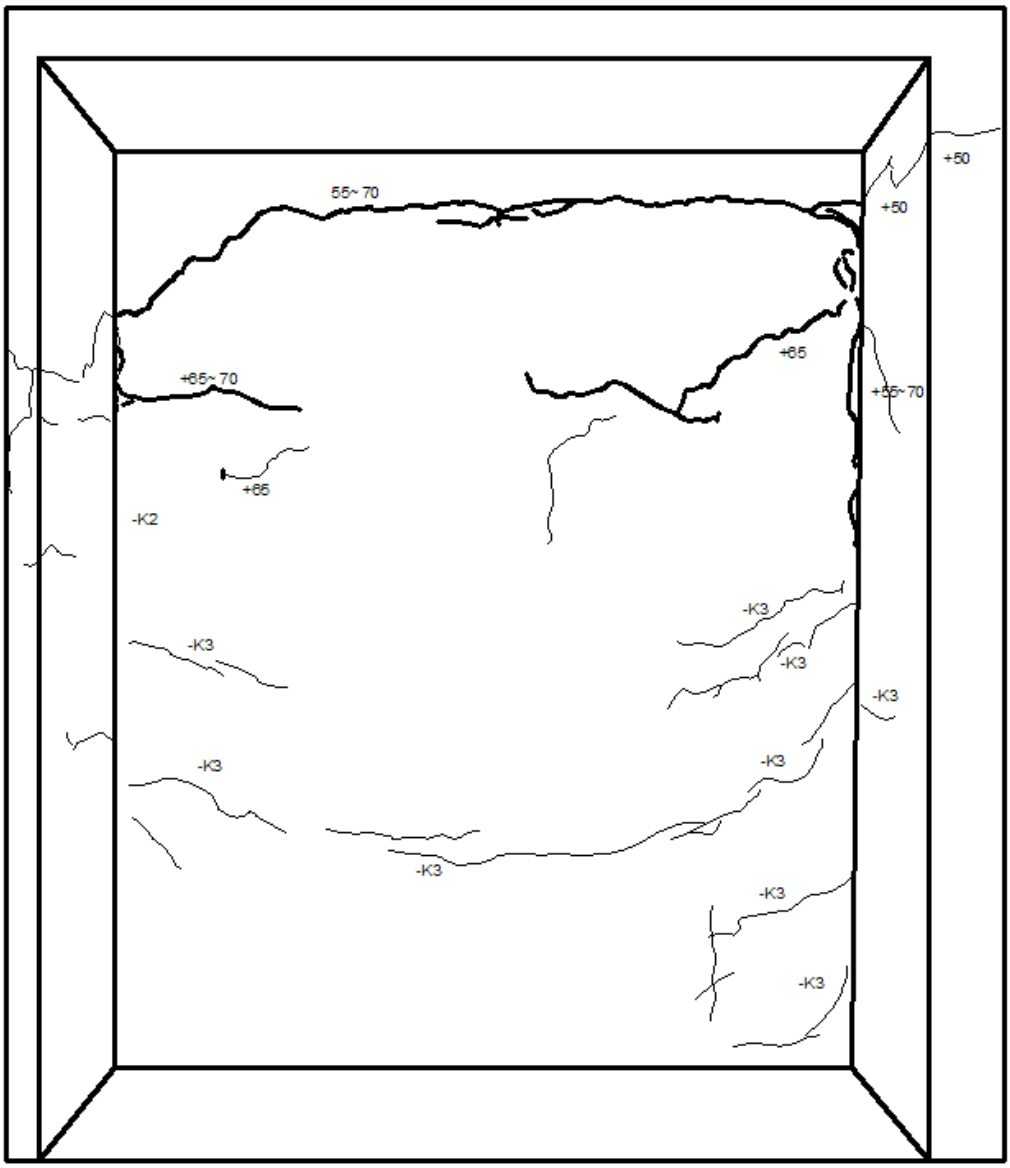
Maksimum yük altında çerçeve sisteminde oluşan çatlaklar, deney sırasında alınan notlara, çekilen fotoğraflara ve video kayıtlarına göre tek tek numune üzerinde işaretlenmiş ve Şekil 5.18'de referans duvar numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlak deseni gösterilmiştir.



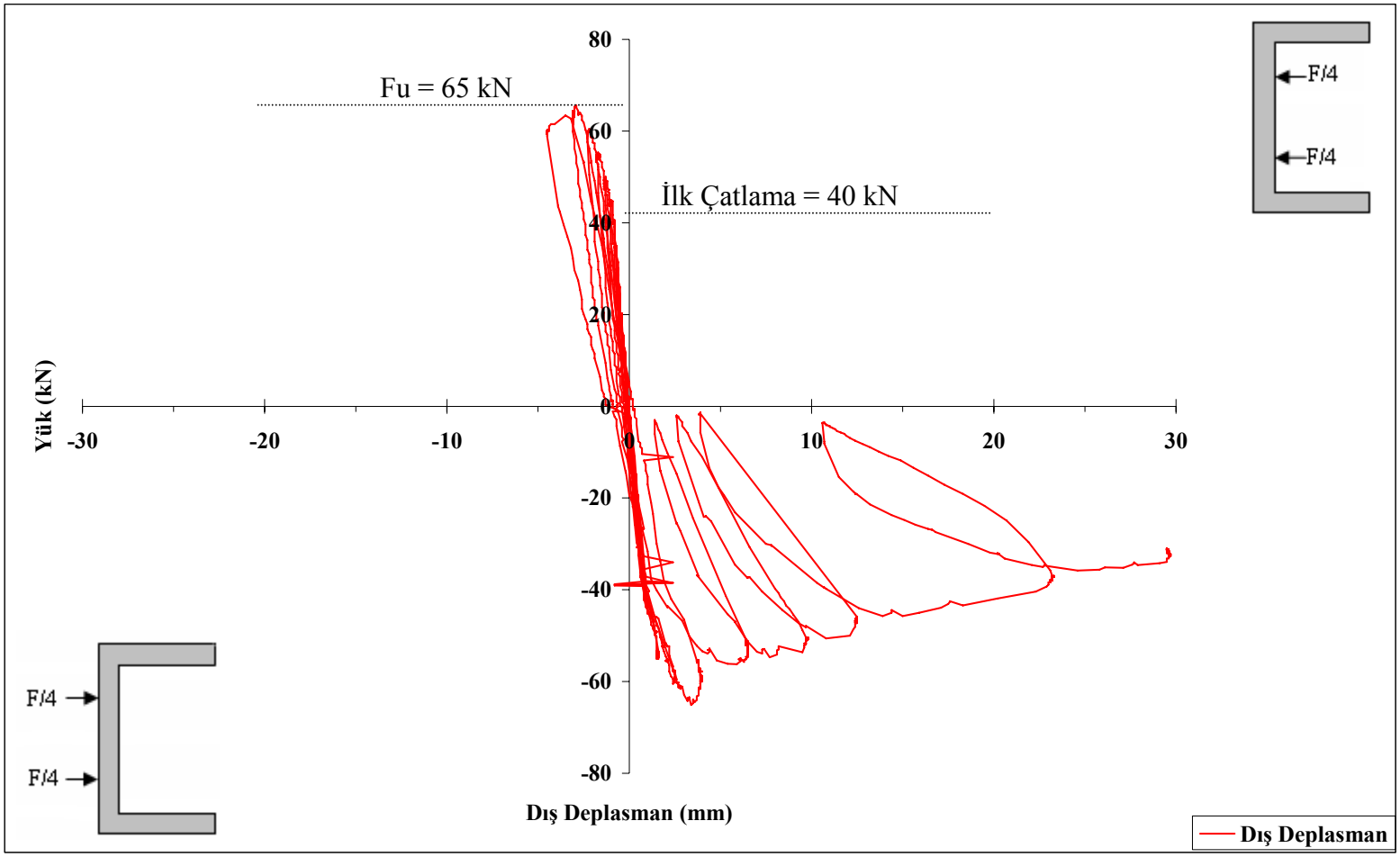
Şekil 5.18 Referans duvarda dış yüzeydeki çatlak deseni

Deney sonucunda çerçeve elemanının genel durumu ve oluşan çatlak deseninin şematik görünümü Şekil 5.19'da görülmektedir. Deney sırasında kaydedilen

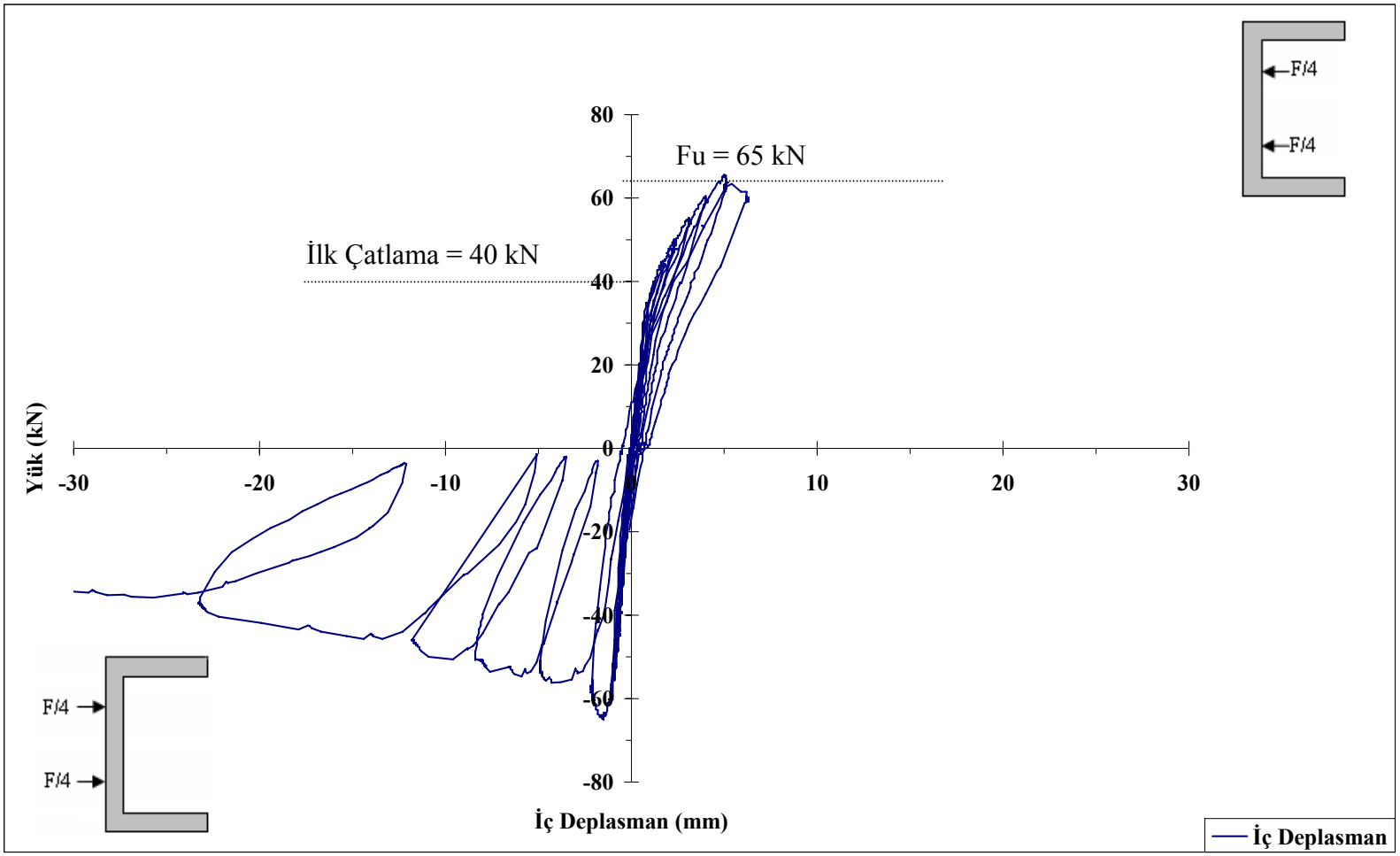
deplasmanlara ait iç ve dış deplasman değerleri grafikleri (Şekil 5.20, Şekil 5.21) ile birleştirilmiş iç-dış deplasman grafiği Şekil 5.22 ‘de verilmiştir.



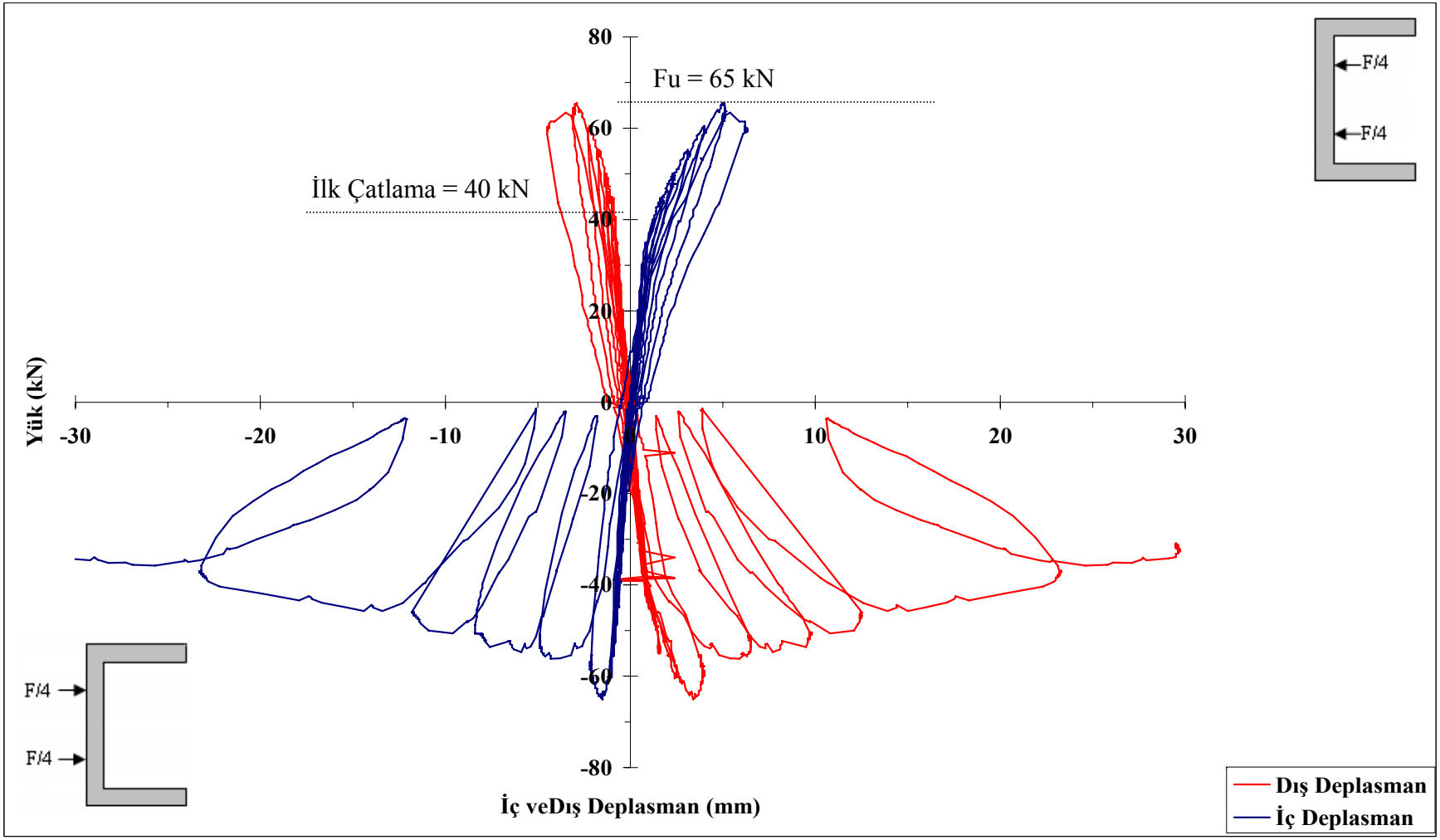
Şekil 5.19 Referans duvarda maksimum yüklemedeki çatlak deseni



Şekil 5.20 Referans duvar numunesine ait yük-dış deplasman grafiği



Şekil 5.21 Referans duvar numunesine ait yük-iç deplasman grafiği



Şekil 5.22 Referans duvar numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği

5.3. Model Duvar (2 Nolu Deney)

Model duvar numunesi, harcın yapışma performansını artırıcı katkı malzemesiyle ön deneyler sonucunda belirlenen uygun oranda oluşturulan harçla örülmüş ve sıvanmış dolu harman tuğlasından oluşan yığma duvar özelliği taşıyan bir elemandır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.7'de verilmiştir. Bu deneyin amacı; katkı malzemesi kullanarak yapışma performansı artırılmış harçla örülmüş ve sıvanmış yığma bir duvarın, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, enerji tüketiminin, deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip katkı malzemesi kullanılmadan normal harçla örülen ve sıvanan yığma bir duvarla aralarında oluşacak farkın belirlenmesine temel teşkil etmesidir.

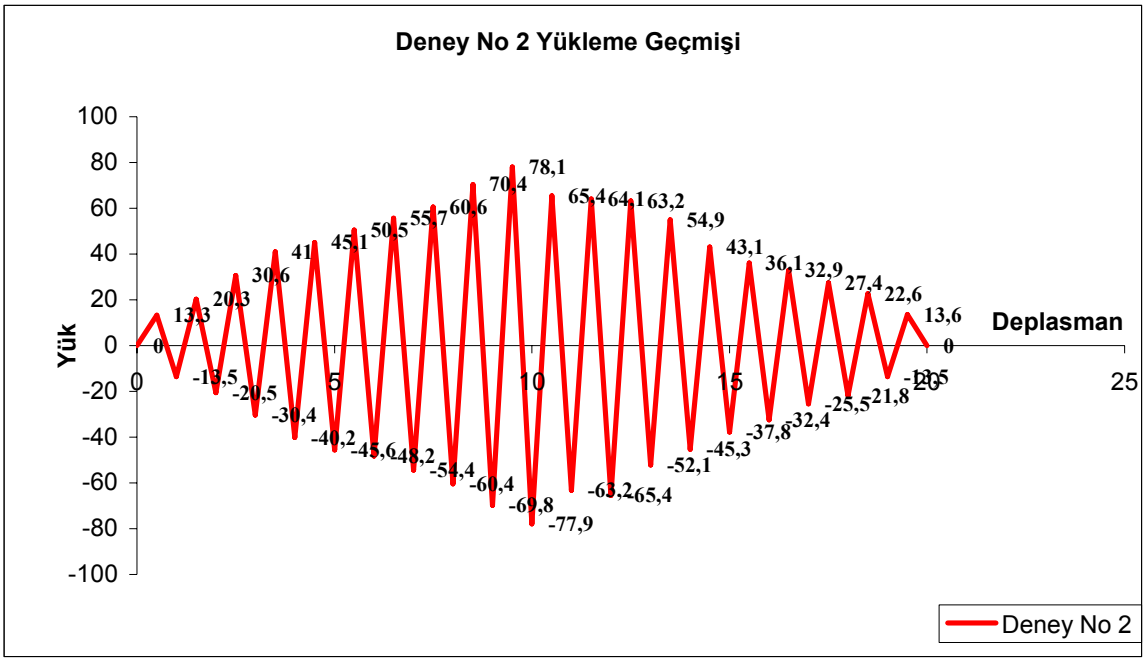
Çizelge 5. 7 Model duvar numunesinin özellikleri

Duvar Numunesi	Numune Duvar Tipi	Tuğlanın Ortalama Basınç Mukavemeti (MPa)	Harcın Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Model Duvar		23,17	8,5

Model duvar numunesinin deneyden önceki ön ve arka görünüş şekli Şekil 5.23'de, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi Şekil 5.24'de verilmiştir.



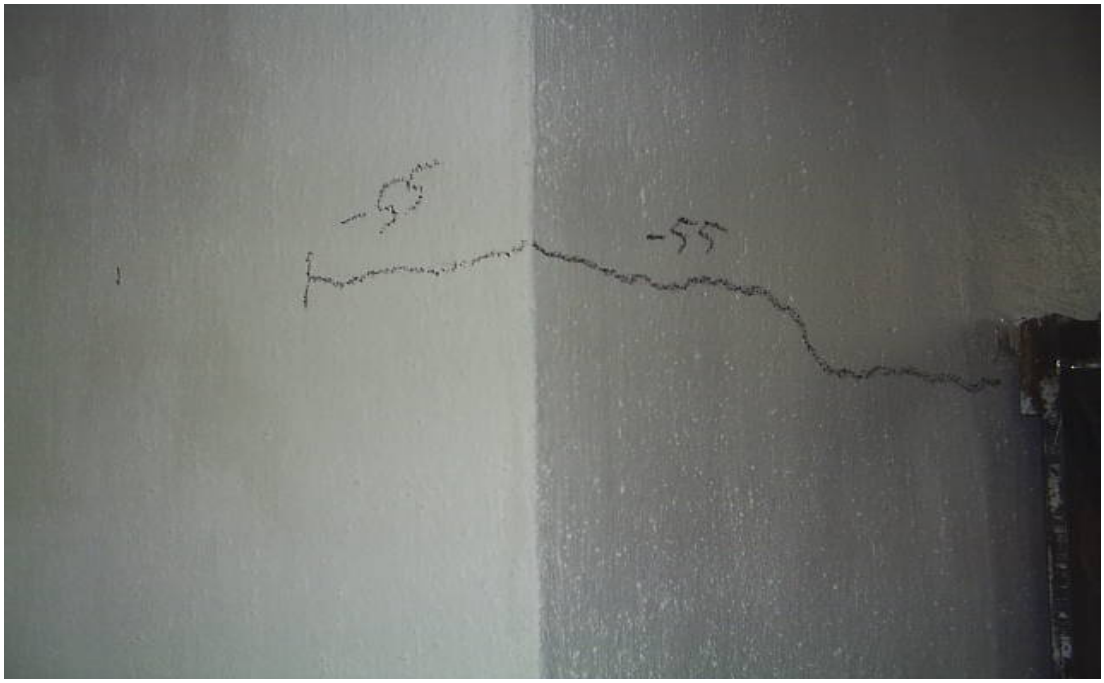
Şekil 5.23 Model duvar numunesinin deneyden önceki ön ve arka görünüşü



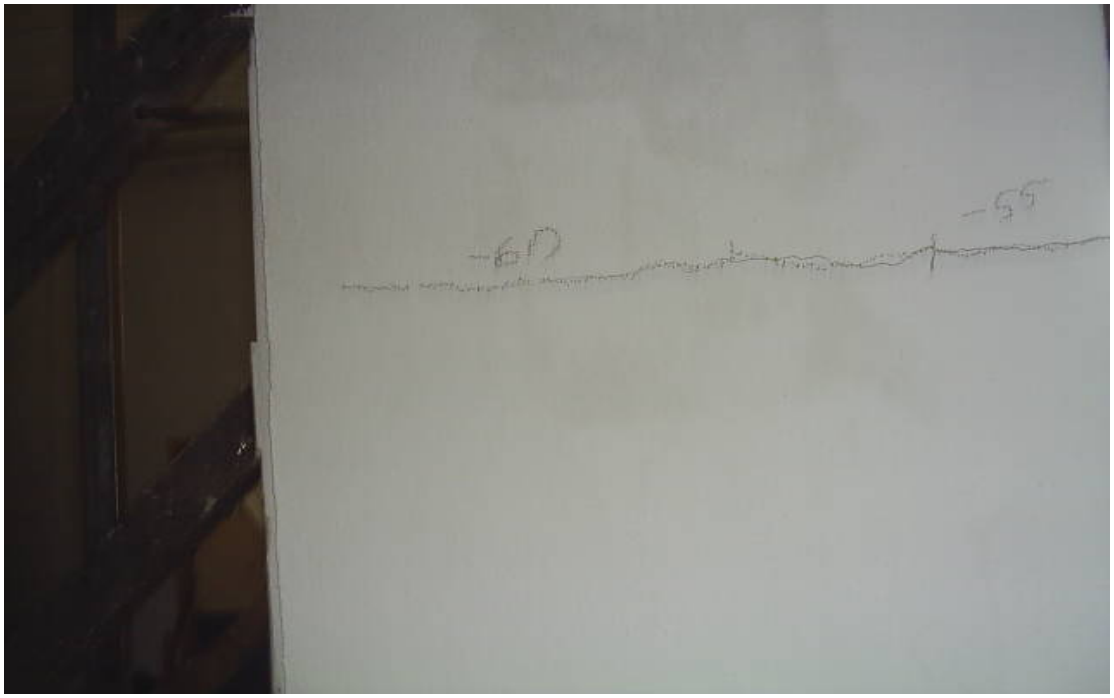
Şekil 5.24 Model duvar numunesine ait yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, duvar ekseninden yatay yüke göre verilmiştir. Yükleme programına göre, 40 kN' a kadar 10 kN 'lik artışlarla, daha sonra ise 5 kN'lik artışlarla deney sonuna kadar gidilmiş ve ileri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.

Deney numunesinde, 7. geri çevrimde -55 kN'luk yük anında, duvarın sol üst kısmından başlayıp ön tarafında yükleme levhasının üst kısmına kadar uzunlamasına yatay olarak kılcal sıva çatlakları meydana gelmiştir. Oluşan ilk çatlak budur. (Şekil 5.25) Farklı bölgelerde yükleme devam ederken çatlak sayısı da artmıştır. (Şekil 5.26) Yüklemeye devam edildikçe duvar yük almaya devam etmiş ve 78 kN 'luk yük altında göçme meydana gelmiştir. Çatlaklar yükleme devam ettiği sürece açılmaya ve genişlemeye devam etmişler, deplasmanlar artmıştır. Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasınca alınan önemli notlar Çizelge 5.8'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



Şekil 5.25 Model duvar numunesinde yan duvardan mesnete uzanan ilk çatlak



Şekil 5.26 Model duvar numunesinde 7. çevrimde oluşan çatlaklar

Çizelge 5.8 Model duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm) Dış	İç	Gözlenen Davranış
1.1	10	0	-0,1	Deplasmanlar oluşmaya başlamıştır.
1.2	-10	-0,1	0,1	-
2.1	20	0,3	-0,2	-
2.2	-20	-0,3	0,3	-
3.1	30	0,5	-0,4	-
3.2	-30	-0,5	0,5	-
4.1	40	0,8	-0,9	Deplasmanlar küçük değerlerle artmaktadır.
4.2	-40	-0,9	1,0	
5.1	45	1,2	-1,3	-
5.2	-45	-1,1	1,2	-
6.1	50	1,2	-1,3	-
6.2	-50	-1,3	1,3	-
7.1	55	1,5	-1,6	-
7.2	-55	-1,6	1,8	-55 Kn'luk yük altında duvarın sol tarafında üst bölgede ilk çatlak oluşmuştur. Ayrıca bu yük altında duvarın ön kısmında yükleme levhasından duvarın sol kısmına doğru yatay çatlak meydana gelmiştir.
8.1	60	2,2	-2,3	+60 Kn'da çatlak uzamıştır.
8.2	-60	-2,1	2,2	-55 Kn'da duvarın sol kısmında oluşan çatlak ilerlemiştir. Duvarın arka kısmı ile sağ yanın birleştiği bölgede uzunlamasına çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca arka duvarın üst bölgesinde uzunlamasına çatlak oluşmuştur.

Çizelge 5. 9 devamı. Model duvar numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm) Dış	İç	Gözlenen Davranış
9.1	65	2,5	-2,4	Duvarın sağ yan ksımında üstten aşağıya doğru bir çatlak meydana gelmiştir. Duvarın ön yüzünde mesnet levhasının sol üst kısmında yatay çatlak oluşmuştur. Yine mesnet levhasının sağ üst kısmında yukarı doğru eğik bir çatlak meydana gelmiştir.
9.2	-70	-3,8	3,2	Çatlak genişlikleri artmış, yeni çatlaklar oluşmuştur.
10.1	75	4,4	-3,6	+73 kN'da sağ yan duvarda uzunlamasına çatlak oluşmuştur. Ayrıca sağ yan duvarın iç kısmında ve arka duvarda mesnet levhasının sağ alt kısmında uzunlamasına bir çatlak oluşmuştur.
10.2	-75	-5,1	5,1	Deplasmanlar ve çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir.
11.1	80	6,5	-6,2	Duvar göçme durumuna gelmiştir. Yük almamaya başlamıştır. Ayrıca ön duvarın alt kısmında yeni bir çatlak oluşmuştur.
11.2	-70	-6,9	7,1	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.
12.1	60	11,9	-11,1	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.
12.2	-60	-12,1	12,2	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.

-60 kN'lik yük altında -55 kN'da duvarın sol tarafında oluşan çatlak devam etmiştir. Ayrıca duvarın arka tarafında uzunlamasına yeni bir çatlak oluşmuştur (Şekil 5.27) . Duvarın iç kısmında sağ yan bölgede aşağı doğru uzunlamasına çatlak meydana gelmiştir.

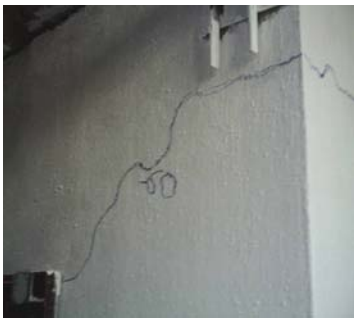


Şekil 5.27 Model duvar numunesinde -60 kN'da oluşan çatlaklar

-60 kN'da oluşan kılcal çatlak şekilleri, Şekil 5.28'de verilmiştir.



a) Ön duvarın sağ tarafındaki çatlak



b) Ön duvarda mesnet levhasının sol üst kısmınadaki çatlaklar



c) Ön duvarda mesnet levhasının sağ alt kısmındaki çatlaklar



d) Ön duvarla yan duvarın birleştiği bölgedeki çatlaklar



e) Arka duvarda oluşan çatlaklar



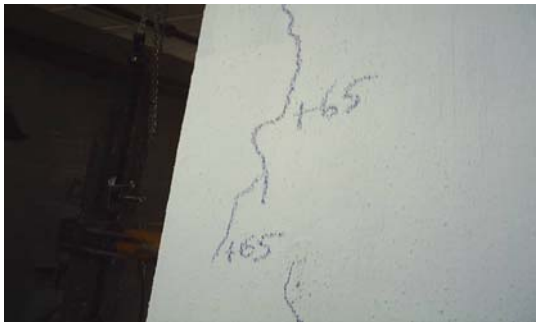
f) Arka duvarla sağ yan duvarın iç kısımındaki çatlak

Şekil 5.28 Model duvarda -60 kN'daki çatlak durumları

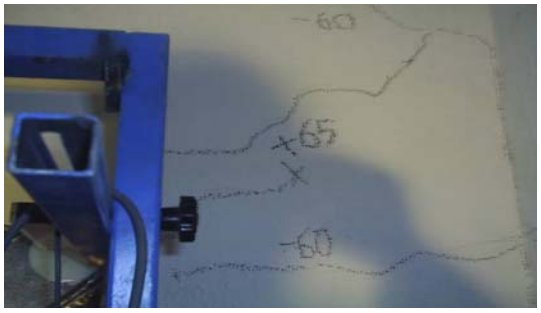
+65 kN'da duvarın sağ yan kısımında üstten aşağıya doğru bir çatlak meydana gelmiştir. Duvarın ön yüzünde mesnet levhasının sol üst kısmında yatay çatlak oluşmuştur. Yine mesnet levhasının sağ üst kısmında yukarı doğru eğik bir çatlak meydana gelmiştir. Bu durumlarla ilgili şekiller, Şekil 5.29'da verilmiştir. +73 kN'da sağ yan duvarda uzunlamasına çatlak oluşmuştur. Ayrıca sağ yan duvarın iç kısmında ve arka duvarda mesnet levhasının sağ alt kısmında uzunlamasına bir çatlak oluşmuştur. 65 kN ile 75 kN arasında oluşan çatlak şekilleri Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de verilmiştir. +78 kN'da duvar göçme durumuna gelmiştir. Yük almamaya başlamıştır. Ayrıca ön duvarın alt kısmında yeni bir çatlak oluşmuştur. Bununla ilgili şekiller Şekil 5.33'de verilmiştir.



a) Ön duvarda mesnet levhasının sol alt kısmındaki çatlak



b) Sol yan duvarda uzunlamasına oluşan çatlaklar

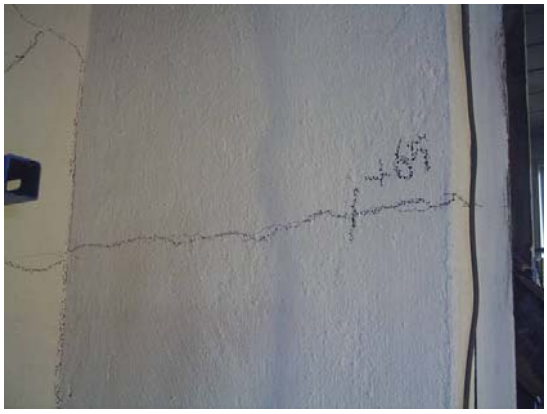


c) Ön duvarda mesnet levhasının sol üst kısmıyla yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar

Şekil 5.29 Model duvar numunesinin 65 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Duvarın iç kısmında sol yan duvardaki çatlak



b) Yükleme levhasının etrafındaki çatlaklar



c) Ön duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Sol yan duvarda oluşan çatlaklar

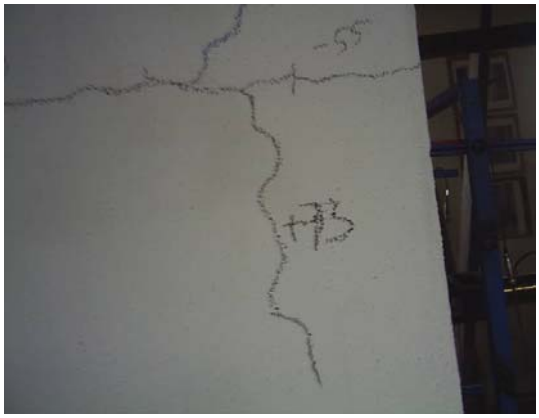


e) Sağ yan duvarda oluşan çatlaklar



f) Mesnet levhasının sağ üst kısmında oluşan çatlaklar

Şekil 5.30 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Sağ yan duvarın üst kısmındaki çatlaklar



b) Sol yan duvarın alt kısmında oluşan çatlaklar



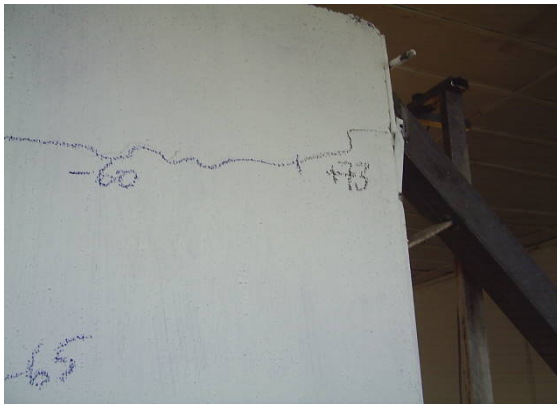
c) Sağ yan duvarın iç kısmında oluşan çatlaklar



d) Arka duvarın sol alt kısmındaki çatlaklar



e) Arka duvarın sağ alt kısmındaki çatlak



f) Sol yan duvarda oluşan çatlaklar

Şekil 5.31 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları



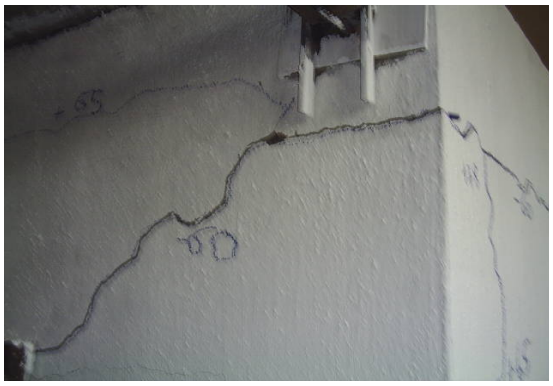
a) Ön duvarın sağ alt kısmındaki çatlaklar



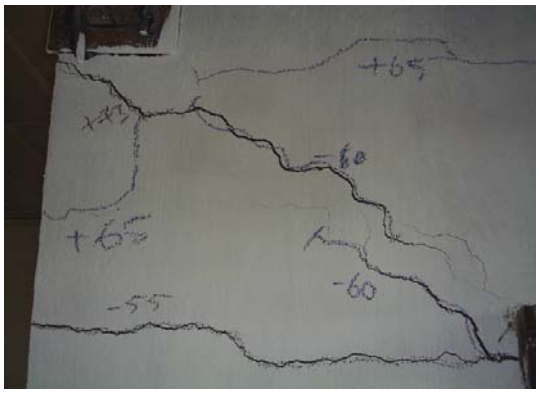
b) Arka duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c) Ön duvarda oluşan çatlaklar



d) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



e) Mesnet levhasının sağ üst kısmındaki çatlaklar

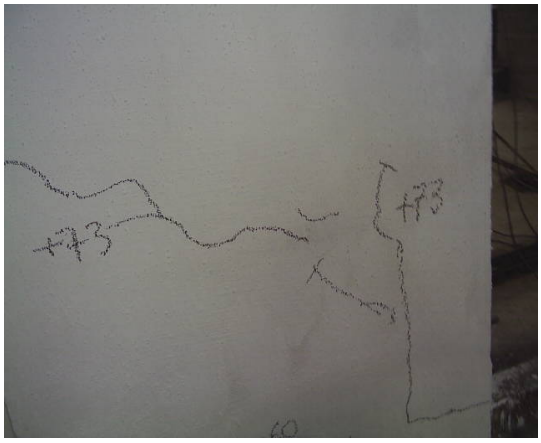


f) Ön duvarın üst kısmında oluşan çatlaklar

Şekil 5.32 Model duvarın 65-75 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



b) Sağ yan duvardaki çatlaklar



c) Arka duvarda oluşan çatlaklar



d) Ön duvarın sağ kısmındaki çatlaklar



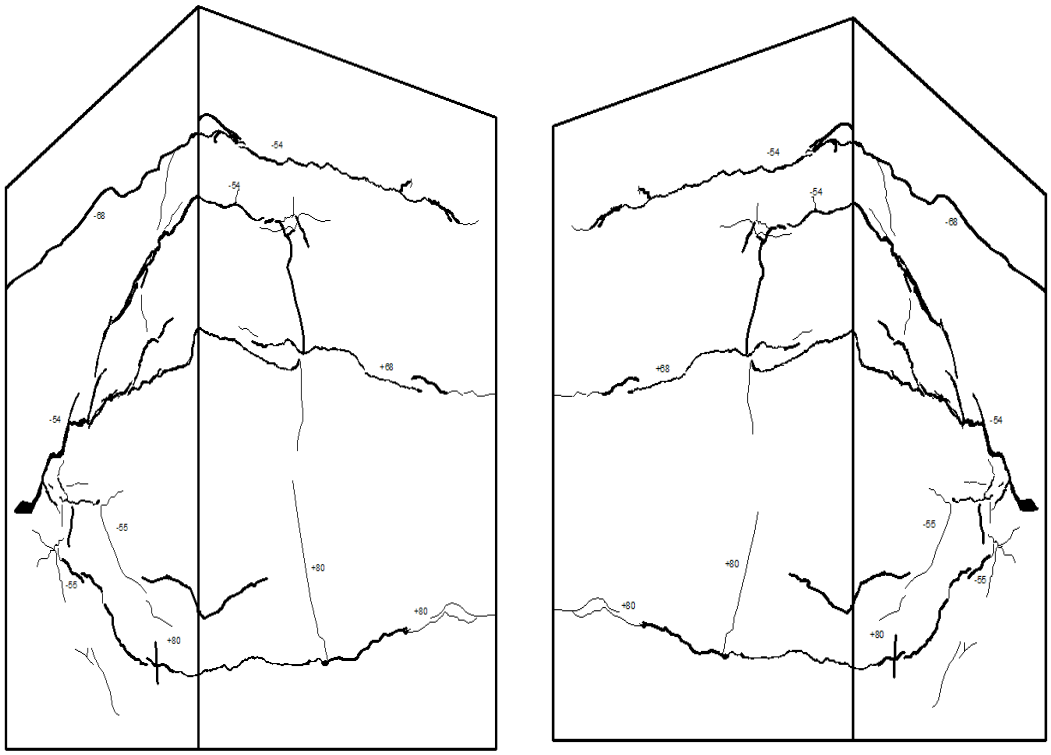
e) Mesnet levhasının sol yanındaki çatlaklar



f) Sol yan duvarlı ön dvarın birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar

Şekil 5.33 Model duvarda 75 kN'luk yük aşımından sonra oluşan durumlar

Maksimum yük altında çerçeve sisteminde oluşan çatlaklar, deney sırasında alınan notlara, çekilen fotoğraflara ve video kayıtlarına göre tek tek numune üzerinde işaretlenmiş ve Şekil 5.34'de önyüz, Şekil 5.35'de arka iç yüz olmak üzere model duvar numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlak deseni şematik olarak gösterilmiştir.

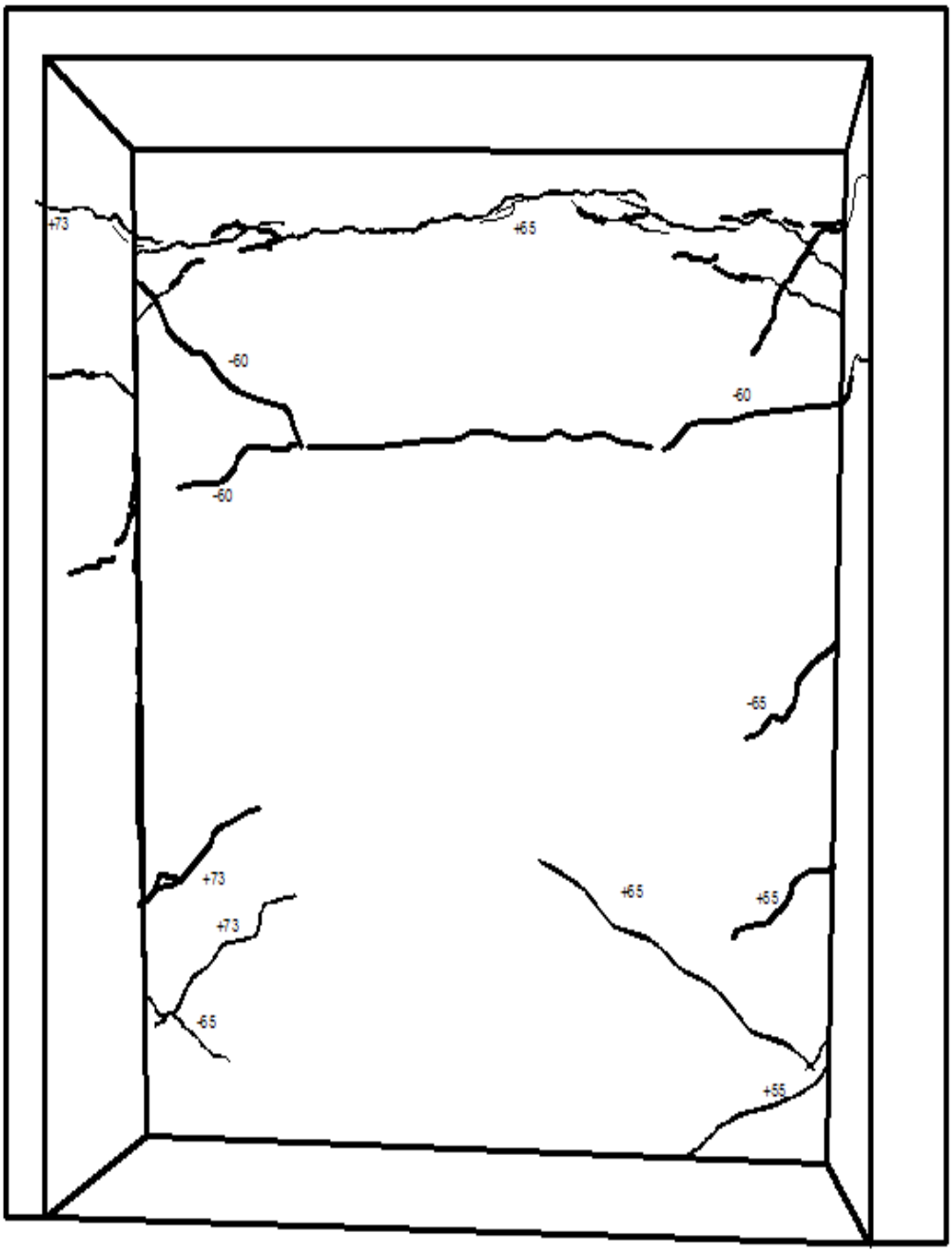


Sağ Yan Sol Yan

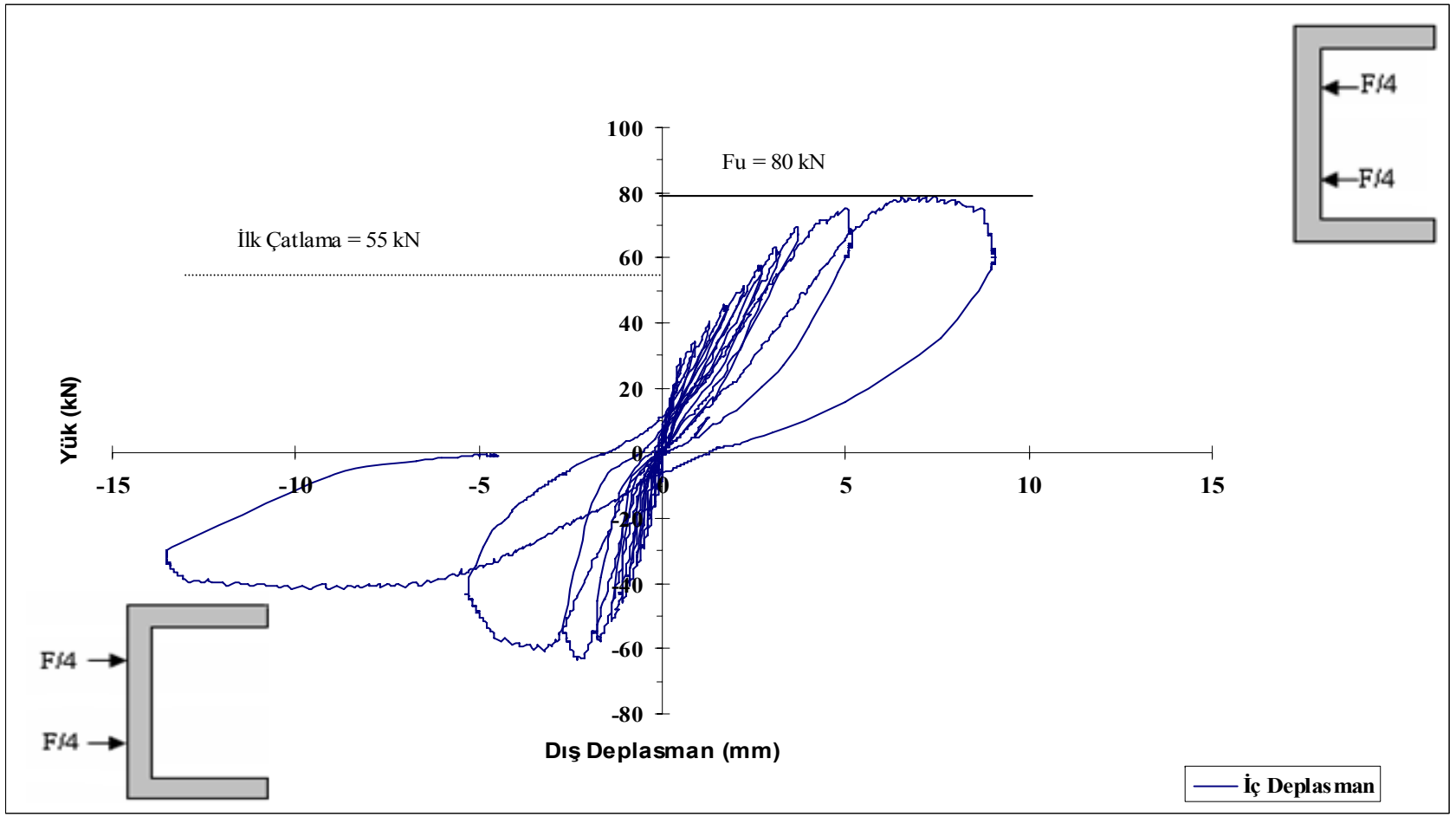
Şekil 5.34 Model duvarda maksimum yüklemede yan devardaki çatlak deseni

Deney sonunda özellikle duvar ile döşeme birleşim bölgesi olan bağ kiriş altında ve yüklemenin yapıldığı levhanın kenar bölgelerinde gözle görülür derecede deplasmanlar meydana gelmiştir. Oluşan deplasmanlar sonucu ortaya çıkan derin çatlaklar duvarın sağ ve sol yan yüzlerinde devam etmiş ve her yükleme artışında çatlak genişlikleri artmıştır. Deney sırasında meydana gelen deplasmanların kaydı

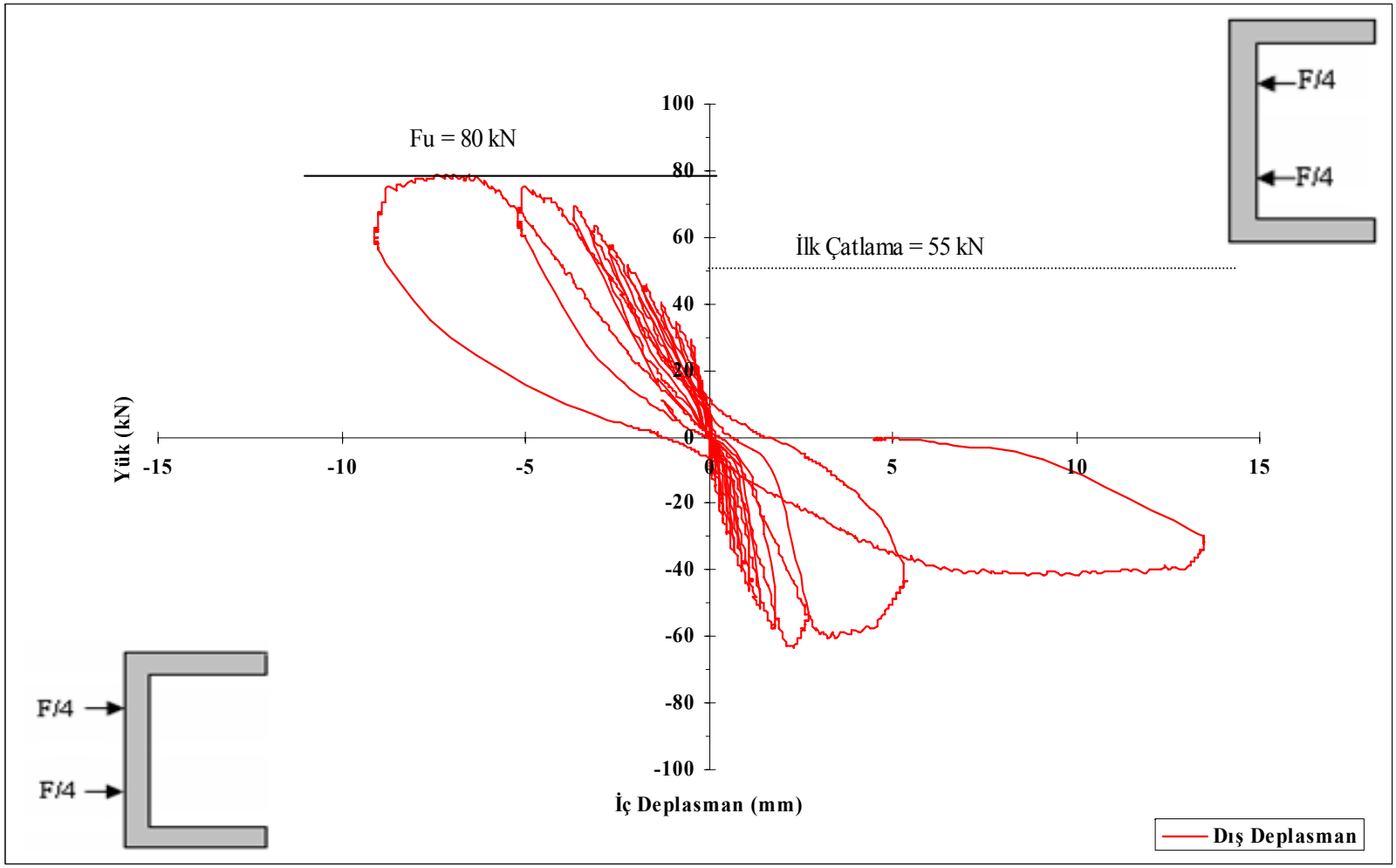
sonucu oluşan, iç ve dış deplasmanların grafikleri ve birleştirilmiş deplasman grafiği Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de verilmiştir.



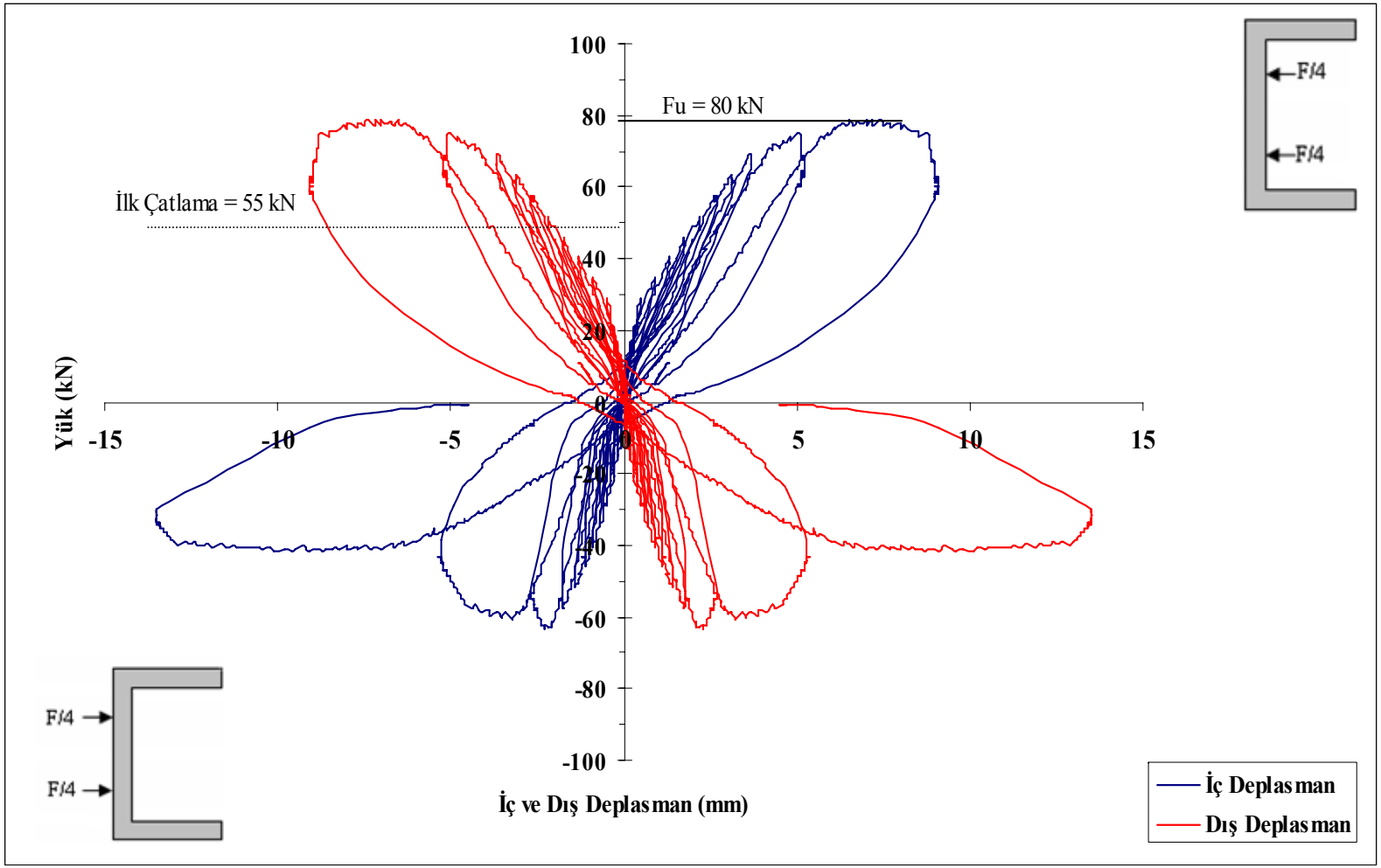
Şekil 5.35 Model duvarda maksimum yüklemede iç yüzeydeki çatlak deseni



Şekil 5.36 Model duvar numunesine ait yük-iç deplasman grafiği



Şekil 5.37 Model duvar numunesine ait yük-dış deplasman grafiği



Şekil 5.38 Model duvar numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRLMASI

6.1. Giriş

Ülkemizde son 60 yılda meydana gelen depremlere bakıldığında can ve mal kaybı çoğunluğunun kırsal kesimlerde meydana gelen depremlerde; yığma yapıların göçmesiyle meydana geldiği görülmektedir. Bilindiği gibi ülkemiz aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp deprem kuşağı üzerindedir ve DİE verilerine göre topraklarımızın yaklaşık %93'ü deprem riski altındadır.

Kırsal kesim yapı stoğumuzun %80'nin yığma yapılardan oluşmaktadır.Bu yapılar ;

- Standardize olmamış yerel malzemelerden,
- Standart beceriye ulaşamamış yerel işçiliklerle,
- Çoğu kere ilgili teknik mevzuata uyulmadan yöresel yapı kültürü ile imal edilmektedir.

İmlatta kat farklığı, dolu duvar boyları, açıklık mesafeleri, boşluk, bina köşe mesafeleri, duvarlarda doluluk- boşluk oranları, kat yükseklikleri, hatıl ölçüleri, betonarme döşeme oluşturulmaması vb. planlama hataları deprem etkisinde kalan bu türdeki yığma binaların göçmesine sebep olmaktadır.

Duvarlar sadece düşey yük etkisinde kalmayıp, rüzgar, deprem veya başka nedenlerle yatay yük etkisine de maruz kalırlar. Böylece düşey-yatay tesirlerin birlikte etkimesnde, duvarlarda iki eksenli yükleme hali meydana gelir. Tuğla duvara yatay bir yük uygulandığında harcın, tuğlaya göre dayanımının az olması ve tuğla ile harç arasındaki aderans köprü bağı yeterli olmadığından genellikle çatlaklar harçta oluşmakta, ayrılmalar tuğla ile harcın birleşim yerlerinde olmaktadır.

Yığma yapıların deprem yükü altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; yapının, duvarda meydana gelen malzeme çatlaklarının ilerleyerek çatlak akma çizgileri haline gelmesiyle çöktüğünü göstermiştir. Bu

araştırmada; yığma duvarlarda, harcın yapışma performansını artırarak kırılmayı geciktirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla harcın içine belirli miktarda katkı malzemesi katılarak numunenin performansı artırılmıştır.

6.2. Bulgular ve Değerlendirmeler

Bulgular ve değerlendirmeler kısmı üç bölümde incelenecektir. Birinci bölümde harcın bağlayıcı özelliğini artıran katkı maddesinin miktarının bulunması ile ilgili deney bulguları, ikinci bölümde referans duvar ile ilgili bulunan bulgular, üçüncü bölümde ise, model duvar ile ilgili bulunan bulguların değerlendirilmesi açıklanmıştır.

6.2.1. Harcın bağlayıcı özelliğini artıran katkı maddesinin miktarı ile ilgili bulgular

Kesme kuvveti yönünden en uygun yapışma değerini verecek katkı malzemesinin kullanım miktarının belirlenmesi için 6 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda yük-deplasman grafikleri, τ (kayma gerilmesi) ve σ (normal gerilme) değerleri bulunmuştur. Bu deneyler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

a. Yapılan deneyler sonucunda en büyük göçme yüküne 3 nolu deneyde ulaşılmıştır. Bu deneyde göçme yükü 98,17 kN olarak bulunmuştur.

b. 3 nolu deneyde kayma gerilmesi 1,93 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

c. En uygun karışım oranı; 1,2 kg Sikalatex, 0,6 kg su, 4 kg çimento ve 9 kg kum karışımıdır.

d. Yapılan deneylerde katkı malzemesi miktarı belirli orandan fazla kullanıldığı zaman yük taşıma kapasitesinin düştüğü gözlemlenmiştir.

6.2.2. Referans duvar deneyi ile ilgili bulgular

Yığma yapıların tekrarlanır düzlem dışı yükler altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla; çalışmanın materyal bölümünde açıklanan ve Şekil 3.1'de gösterilen yığma duvarda; oluşan düzlem dışı sehimler, duvarın ön ve arkasında yer alan yükleme plakalarının 4 köşe noktasında ölçülmüştür. 4 sehimin ortalaması, döşeme merkezinde oluşan sehim olarak kabul edilmiştir.

Yükün ve sehimin işareti duvar köşeleri basınç altında kaldığı zaman (+) kabul edilmiştir.

Deney duvarının yük-sehim çevrim eğrilerinin ilişkisine dair şekil incelendiğinde aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

a. Tersinir yükün işaretine göre, düzlem dışı yüklenen duvarda değişik tepkiler oluşmaktadır.

b. Tersinir yük altında ilk duvar çatlaması elastik sınırlar içinde oluşmaktadır.

c. İlk çatlama, duvar köşelerini çekme altında bırakan yük altında oluşmaktadır.

d. İlk çatlama duvar merkezinde F_{cr} = 40 kN yük altında ve momentin maksimum olduğu bölge içinde oluşmaktadır. Çatlama sonrasında, duvarın rijitliğinde yaklaşık % 50 azalma olmaktadır.

e. Çatlamadan sonra, duvarın doğal periyodu yaklaşık 1,40 kez büyümektedir. Kuşkusuz, bu periyot büyümesi sonucunda, düzlem dışı titreşimler gösteren duvar ile döşeme diyaframı arasındaki enerji alış verişinde bir azalma olmaktadır. Ancak, duvarın doğal periyodundaki uzama oldukça küçük düzeydedir ve duvara düzlem dışı ivme büyümelerini durduracak gibi değildir. Bu sonuca, AY-97'de [1] verilen İvme Tepki Spektrumu incelenerek ve karşılaştırmalar yapılarak ulaşılmıştır.

f. Köşelerde basınç oluşturan (- işaretli) yükleme altında, duvar elastik davranmakta ve çok az sismik enerji tüketebilmektedir. F = -45 kN yük büyüklüğünde çok hafif bir çatlama belirtisi vardır.

g. Dayanım tükenmesi ve kırılma, duvar köşelerinin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda oluşmaktadır. Duvar köşelerinde, düşey köşe çizgisine paralel çatlağın genişliği dikkatle izlenmiştir. Bu, kesinlikle bir çekme çatlağı olup duvar düzlemini köşe mesnetlerinden ayrılmaya zorlamaktadır.

h. Düzlem dışı yüklenen duvarda oluşan çatlak haritası Şekil 5.18 ve 5.19'da gösterilmiştir. Duvar kırılmasının çekme altındaki köşelerde ve duvarın düzlemi içinde oluştuğu açıkça görülmektedir. Bu davranış altında, düzlem dışı yüklenen duvarın "bina dışına" doğru kırılacağı sonucuna varılabilir.

i. Yükün 40 kN'dan daha büyük değerlere ulaşmasıyla, duvar köşelerinde ve yüzeyinde oluşan çatlakların hem uzunlukları hem de kalınlıkları artmıştır. Güç tüketimi F_u = 65 kN yük büyüklüğünde oluşmuştur. Duvar düzlemindeki çatlak haritası, betonarme plak döşemede oluşan "akma çizgileri"ni andırmaktadır.

j. Oluşan çatlak haritasından, düzlem dışı yüklenen yığma duvarın davranışının betonarme plak döşemenin davranışına benzediği söylenebilir. Öyle ise, düzlem dışı duvar yükünün duvar içinde iki yönde dağılarak kenar mesnetlere ulaştığı belirtilebilir. Duvarın tuğla örgüsü ve duvar düzleminin iki yüzüne de uygulanan sıvanın, süreklilik gösteren bir yük dağılımına izin verdiği sonucu çıkarılabilir.

6.2.3. Model duvar deneyi ile ilgili bulgular

Model duvar numunesi aynı geometri özelliklerinde tekrar inşa edilmiştir. Model duvarda, duvar örümü ve sıvada kullanılan harca, harcın bağlayıcı özelliğini

artıracak katkı maddesi ön deneylerde belirlenen miktarda ilave edilerek, sıvanın prizini almasını takiben aynı deney koşullarında düzlem dışı tekrarlanır yükle yüklenmiş ve ilk deneyin benzer yerlerinden sehim ölçüm değerleri alınarak yük-sehim eğrileri çizilmiştir. Bu eğriden aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

a. Tersinir yük altında ilk duvar çatlaması elastik sınırlar içinde oluşmaktadır.

b. İlk çatlama duvar köşelerini çekmeye zorlamada F_{cr} = 55 kN yük altında oluşmuştur. Çatlama sonrasında arka yönde, duvarın rijitliğinde % 40 'lık bir azalma olmuştur.

c. Basınç oluşturan yükleme altında duvar elastik davranmakta ve çok az sismik enerji tüketilmektedir.

d. Yükleme duvarında çatlakların duvar köşelerinde ve yaklaşık köşe çizgilerine paralel ve bu çatlakların duvarın çekmeye çalıştığı hallerde oluştuğu görülmüştür. Bu durum, duvar düzlemini köşe mesnetlerinden ayırmaya zorlama olarak değerlendirilmiştir.

e. Yükün 55 kN'dan daha büyük değerlere ulaşmasıyla duvar köşelerinde, yükleme levhasının üst bölgesinde ve duvarın arka bölgesinde oluşan çatlaklara ilaveten döşeme hatılına paralel çatlakların oluştuğu görülmüştür.

f. Duvar F_u = 80 kN'a kadar yük çekmiştir. Bu noktadan itibaren duvar yük almamasına rağmen yüklemeye devam edilmiş ve yaklaşık 9 mm'lik deplasmana kadar yük düşmesi olmamıştır. Bu aşamada çatlakların akma çizgileri şeklinde devam etmesine rağmen, duvar aynı yük altında yeterli sünekliliği gösterebilmiştir.

g. Model duvarın F_u = 80 kN yük altında yaklaşık 2,5 mm deplasman yaptığı ve bu noktadan itibaren yük almamakla birlikte 14 mm deplasman yapabildiği gözlenmiştir.

7. ANALİTİK İNCELEME

Kanıt (2005) yaptığı çalışmada, 0,4g'lik bir yer ivmesinin büyüyerek duvarı düzlem dışı zorladığını ve 1,96g'lik bir ivmeye dönüştüğünü göstermiştir. Bu ivmenin duvarın düzlemi üzerinde düzgün yayılı olduğu kabul edilirse; duvar üzerinde düzgün yayılı düzlem dışı sismik kuvvetler Denklem 7.1 ile hesaplanabilir.

$$f_e = \frac{W(B)}{g} \times [1{,}96g] \text{ kN / m}^2 \qquad (7.1)$$

Eşitlikte W, duvarın birim alan ağırlığıdır ve W = (0,25 × 1,0 × 1,0 ×) × 20 = 5 Kn / m^2 olarak bulunur. Bulunan W değeri Denklem 7.1'de yerine konursa;

f_e ise; $\frac{5}{g} \times (1{,}96g)$ =9,8 kN/ m^2 olur.

Duvar boyutları 2,70 × 2,10 m ise; duvara etkiyen toplam yük;

F_E = (9,8) × (2,70) × (2,10) = 55,6 kN'dur. Buna göre;

F_E # F_{cr} × 40 kN

Referans duvarda kırılma yükü 65 kN olduğuna göre;

f_e = 65 / (2,1) × (2,7) = 11,46 kN / m^2

$a_{f_{d1}}$ = 0,4 g ($\frac{11{,}46}{9{,}8}$) = 0,468 g olarak bulunur.

Model duvarda kırılma yükü 80 kN olduğuna göre; eşdeğer kırılma yükü;

$f_e = \frac{80}{(2{,}1 \times 2{,}7)}$ = 14,1 kN / m^2 olur.

Kabul edilen max. yer ivmesi a = 0,4g

Teorik olarak hesaplanan $f_{Ez} = 9,8\ kN / m^2$

Deneysel olarak bulunan $f_E = 14,1\ kN / m^2$ 'dir. Buna göre;

$a_{f_{d2}} = 0,4\ g\ (\frac{14,1}{9,8}) = 1,44\ g$ olarak hesap edilir.

Bu durumda model duvar 1,44 g'lik bir ivme altında kırılacaktır. Referans duvarın $a_{g_{d1}} = 0,468$ g'lik bir ivme etkisiyle, model duvarın ise, $a_{g_{d2}} = 1,44$ g'lik ivme etkisi ile kırılacağı dikkate alındığında; duvarın katkı malzemesi kullanılarak bağlayıcı özelliği artırılmış harçla, kırılmaya karşı yığma yapıların sismik dayanım performansını matematiksel olarak $\frac{a_{g_{d2}}}{a_{g_{d1}}} = \frac{1,44g}{0,468g} = 3$ kat artırdığı söylenebilir.

Referans duvarda bulunan göçme yükü $F_u = 65$ kN'dur. Model duvarda ise göçme yükü $F_u = 80$ kN olarak bulunmuştur. Model duvarda bulunan göçme yükü ile referans duvarda bulunan göçme yükü karşılaştırılırsa;

F_u (Model duvar) = 80 kN > F_u (Referans duvar) = 65 Kn olduğu görülmektedir. Bu duruma göre, bağlayıcı özelliği artırılmış harç kullanılarak örülmüş ve sıvanmış model duvar numunesinin, normal harçla örülmüş ve sıvanmış referans duvar numunesinden 1,25 kat daha fazla krılma yüküne sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

TS 705' e uygun olarak hazırlanmış harçla örülen ve sıvanan bir referans yığma duvarla, Sikalatex katkı malzemesi kullanılarak bağlayıcı özelliği artırılmış harçla örülen ve sıvanan bir model yığma duvarın, tekrarlanır düzlem dışı yükler altındaki mekaniksel davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler şöyledir;

1-) Düzlem dışı tersinir yükler, yük taşıyan yığma duvarları çökmelere karşı çok dayanılmaz hale getirir.

2-) Düzlem dışı yüklenen duvarlarda, 2 yönlü betonarme döşemelerin kırılmalarına benzer çatlaklar oluşur ve bu çatlaklar akım çizgilerine dönüşerek duvarın yıkılmamasına sebep olur.

3-) Test edilen referans yığma duvar 65 kN'luk bir tekrarlanır yük altında kırılmakta iken, bağlayıcı özelliği artırılmış harçla oluşturulan model duvar 80 kN'luk bir kırılma yüküne ulaşmıştır. Yani başka bir söyleyişle model duvar, refarans duvardan 1,25 kat daha fazla kırılma yüküne dayanabilmektedir.

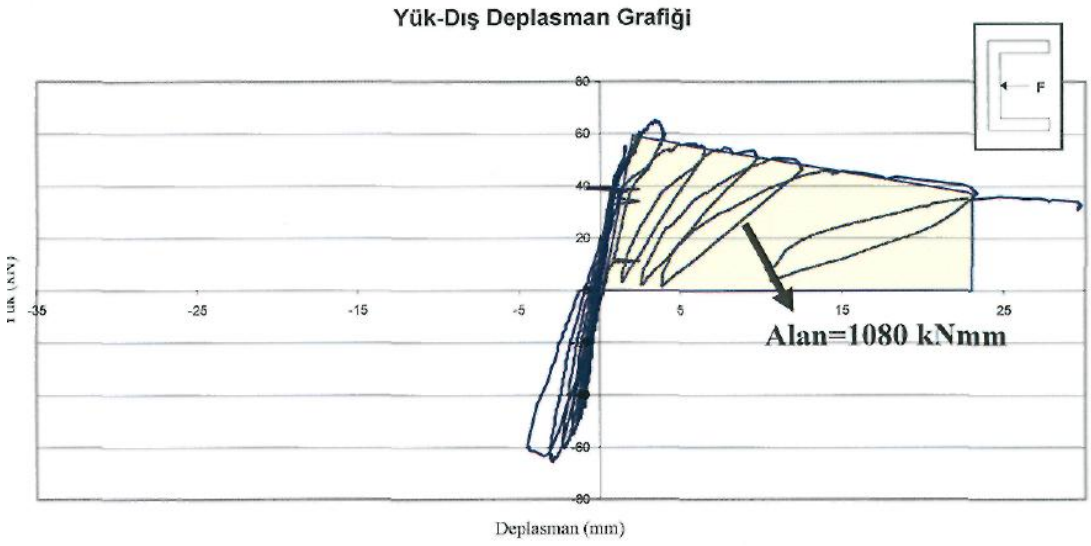
4-) İyi hazırlamış sıva sürekli yük iletim vasıtası oluşmasına yardımcı olur. Yığma duvarlarda deprem güvenliğini artırmak için duvarın her iki yüzü sıvanmalıdır. Sıva yapılırken bağlayıcı özelliği artırılmış harç malzemesi kullanılması kırılmayı geciktirmektedir.

5-) Deney duvarlarının düzlem dışı kırılması kesme kırılmasını andıracak şekilde gevrek olmuştur. Bu yönden çok az sismik enerji tüketebilmişlerdir.

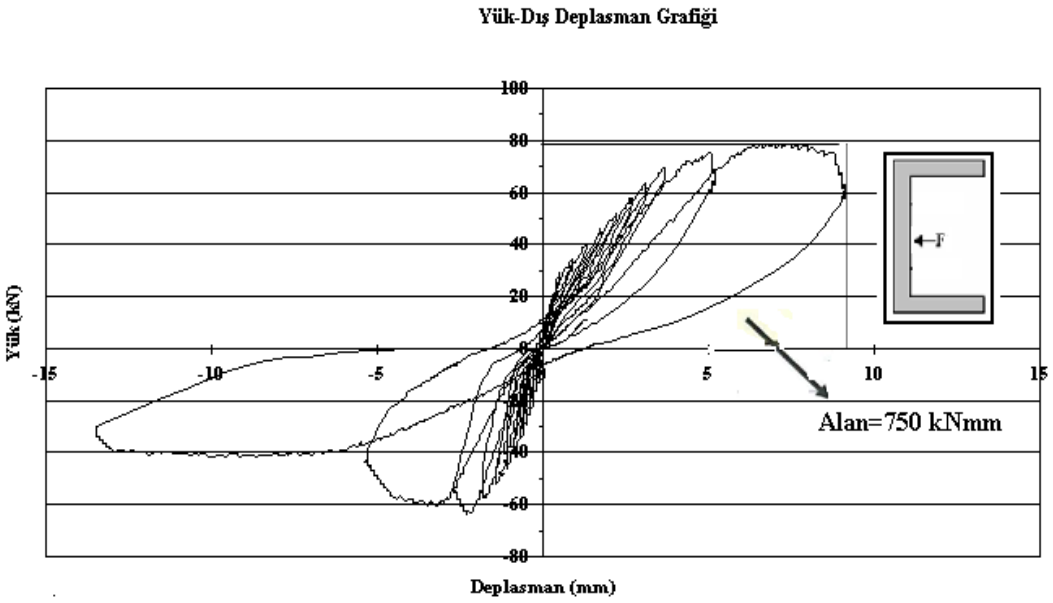
6-) Test edilen duvarın dayanımı 0,4g'lik yer ivmeli bir depremin gerekli kılacağı sismik dayanıma karşılık gelmektedir. Ancak bu durumun belirli boyutlara ve malzeme özelliklerine sahip bir test duvarı için söz konusu olduğu unutulmamalıdır.

Yapılar deprem etkisine deprem enerjisini sönümleyerek karşı koyarlar. Buda yapının sünekliğine bağlıdır. Deneysel çalışmalarda ve literatürde yapının hem yeteri kadar sünek olmasının hem de yük taşıma kapasitesinin yüksek olması gerektiği ifade edilmektedir. Yığma yapılarda; bağlayıcı özelliği artırılmış harç kullanılması yöntemine dair deneysel çalışma sonuçları bu çerçevede değerlendirildiğinde:

a. Referans duvarda ilk çatlama 40 kN'da meydana gelmişken, model duvarda ilk çatlama 55 Kn'da meydana gelmiştir. Ayrıca, referans duvar 65 kN'luk düzlem dışı tekrarlanır yük altında kırılmışken, bağlayıcı özelliği artırılmış harçla oluşturulmuş model duvarın kırılma yükü 80 kN olmuştur. Buna göre %25'lik bir dayanım artışı sağlanmıştır.
b. Referans duvarın sünekliği 23 mm iken, model duvarın sünekliği 14 mm olmuştur. Süneklik % 41 azalmıştır. Buna göre yapışma özelliği artırılan katkı maddelerinin duvar ve sıva harçlarında kullanılmasının duvarı daha rijit hale getirdiği düşünülmektedir.
c. Referans duvar ile model duvar enerji yutma kapasiteleri bakımından karşılaştırıldığında (Şekil 8.1, Şekil 8.2) referans duvarın yaklaşık 1080 kNmm, bağlayıcı özelliği artırılmış harçla oluşturulan model duvarın ise, yaklaşık 750 kNmm enerji tükettiği görülmektedir. Buda model duvarın %25 oranda daha az enerji tükettiği anlamına gelmektedir.



Şekil 8.1 Referans duvar numunesi



Şekil 8.2 Model duvar numunesi

Bulunan bu değerlere göre; bu yöntem uygulandığında, deprem etkisine karşı %25'lik bir dayanım artışı sağlanırken %41'lik bir süneklik azalması oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle yapı depreme karşı güçlendirilirken kırılganlığı artmaktadır.

Bina yapım aşamasında, binayı tekrarlanır yatay yüklere (deprem yüklerine) karşı daha dayanıklı, yeni binayı daha güçlü hale getirmek için bir yöntem olarak algılanabilecek olan bu uygulamanın maliyet boyutu incelenmemiştir. Bununla birlikte sadece duvar ve sıva hazırlanışı sırasında bir katkı maddesi ilavesi olarak değerlendirildiğinde; diğer yığma yapı güçlendirme yöntemlerine göre maliyetinin oldukça uygun olduğu söylenebilir. Yaklaşık 100 m^2 'lik tek katlı bir yığma konutta 12 m^3 harç kullanıldığı kabul edilirse; 1 m^3 harç için 40 kg katkı maddesi ilave edildiğinde ve katkı maddesininde birim fiyatı 3 YTL olduğuna göre; ilave maliyetin 1200 YTL olduğu ifade edilebilir.

9. KAYNAKLAR

A. İlki ve N. Kumbasar, "Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompositlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması", Yapı Mek. Lab. Kongresi. TÜBİTAK

ABYYHY 1997. " Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Ens. Bşk., Ankara.

Akıncıtürk N., 2003. "Ülkemizdeki Deprem Etkileri ve Yapısal Tasarımda Alınması Gereken Önlemler", Bursa.

Arıoğlu E., Anadol K., 1974. "Türkiye'de Kırsal Konutların Son Yıllardaki Tahripkar Depremlere Mukabelesi", Deprem Araştırma Bülteni, Sayı:5, Ankara.

Aytun A., 1982. "Kırsal Konutların Deprem Dayanımı"İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Bayülke N., 1980. "Yığma Yapılar", T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara,

Bayülke N., 1992. "Yığma Yapılar", İnşat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, No 26, Ankara.

Bayülke N., 1999. "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, No 15, İzmir, 255 s.

Bayülke, N.,1999. "Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", 3. Baskı, İMO İzmir Şubesi.

Begimgil, M., 1991. "The Effect of Additivies on the Shear Strength of Brick Masonry Wall under Biaxial Loading", Asia-Pasific Conference on Masonry, Singapore, , pp. 21-25.

Benmokrane, B., Rahman, H.,Mukhopadhyaya, P., 2000. "Use Of Fiber Reinforced Polymer Reinforcement İntegrated With Fiber Optic Sensors For Concrete Bridge Deck Slab Construction", Canadian Journal of Civil Engineering 27: 928-940

Binda, L., Modena, C, Baronio and G., Abbaneo, S., 1997. "Construction and Building Materials", Vol.l 1, NO.3, 133-142 p.

Bommer, J., Hernândez, D. A., Navarrete, J. A., Salazar, W. M., 1996. "Seismic Hazard Assessments for El Salvador", Geofîsica International, 35(3).

Celep, Z., 2001. "Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi", Mevcut Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesi ve Çıkmalı Binalardaki Sorunlar Sempozyumu, İstanbul.

Corradi, M., Borri,A., Vignoli A. 2003. "Experimental Study on The Determination of Strength of Masonry Walls", Construction and Building Materials 17 325–337

Çöğürcü, M., T., 2007. " Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi" , Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya

De Luca, A., Giordano, A., Mele, E. 2004. "A Simplified Procedure For Assessing The Seismic Capacity of Masonry Arches", Engineering Structures 26 1915–1929

Demers, M., Neale, K., 1999. "Confinement Of Reinforced Concrete Columns With Reinforced-Reinforced Composite Sheets - An Experimental Study", Canadian Journal of Civil Engineering, 26,: 226-241

Demir, H. 1992. "Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul,

Deniaud, C., Cheng, JJ., 2001. "Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets", Canadian Journal of Civil Engineering 28 (April, 2001):271-281

Efrosini H., 1995. "Shear Strengthening Of Concrete Girders Using Carbon Fiber Reinforced Plastic Sheets". 1964-Publication, Ottavva, National Library of Canada, Bibliotheque nationale du Canada.

Ehsani, M. R., 1997. "Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets"Journal of Structural Engeneering

Ehsani M.R., Saadatmanesh H. 1996. "Seismic Strenghthening of Circular Bridge Pier Models with Fiber Composites" ACI Structural Journal (V93, No:6)

Emeritus, A., 2001. "Masonry Walls: Materials and Construction", Construction and Building Materials, Vol. 15, 323-330 p.

Ercan A., 2003. "Yapı İnceleme Yöntemleri", Mühendislik Jeofiziği II, birsen Yayınevi, İstanbul, 188s.

Ersoy, U., 1999. " Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi" Tubitak, İMO

Fam, A.Z., Yassa H., 1996. "Carbon fiber reinforced plastic prestressing and shear reinforcements for concrete highway bridges", 1969- Publication, Ottawa, National Library of Canada Bibliotheque Nationale du Canada,

Foraboschi, P. 2004. ” Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips”**,** Journal Of Composıtes For Constructıon © Asce / May/June 2004

Ghobarah,A., El Mandooh Galal, K. 2004. “Out-of-Plane Strengthening of Unreinforced Masonry Walls with Openings”, Journal Of Composıtes For Constructıon © Asce / July/August 2004

Guinea, G. V., Hussein, G., Elices, M. and Planas, J. 2000. “Micromechanical modelling of brick-masonry fracture,” Cement and Concrete Research, 30, pp. 731–737,

Gülkan, P., Gürdil, F., 1988. “Strenght of Earthen Wall Subassemblies: An Experimental and Analtical Study” Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto.

Gürdil, F.A., 1986. “An Investigation of the Failure Criterion for Adobe Walls” Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 172 pp.

Hamoush, S., McGinley, M., Mlakar, P., Terro,M.J., 2002. “Out-of-Plane Behaviour of Surface Reinforced Masonry Walls”, Construction and Building Materials, Elsevier Science Ltd., Great Britain, 2002.

Hendry, A.W. 1990. “Structural Masonry”, MacMillan Education Ltd., Hong Kong,

Hendry A.W. 2001. “Masonry Walls: Materials and Construction”, Construction and Building Materials 15.323_330

Houben, H. and Guillaud, H., 1989. “Earth Construction - A Comprehensive guide", Intermediate Technology Publications, London.

İlki, A., Kumbasar, N., 2000. "Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması", Tubitak

Juha´sova´a, E., Hura´ka, M., Zembatyb,Z. 2002. "Assessment of seismic resistance of masonry structures including boundary conditions", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22, 1193–1197

Kanıt, R., Atımtay,E., 2006. "Experimental Assessment of the Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Walls Loaded Out-of-Plane" Turkish J. Eng. Env. Sci., 30 , 101,113.

Kanıt, R., Atımtay,E., ve ark. 2005. "Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı", YDGA Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, ODTÜ, 17 Şubat 2005, Ankara,

Kanıt, R., Işık, N., 2006. " Tuğla Kemer Performanslarının Sayısal ve Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi" Gazi Ün., Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl. Ankara, Turkey.

Kaya, E., 2003. " Yığma yapıların çelik ve betonarme takviyesiuygulanabilirliği ve yapım hataları" Ege Üniversitesi, fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İZMİR

Karantoni, F., Fardis, M.,N., 1990. "Assessment of Analysis Methods and of Strengthening Techniques for Earthquake Resistant Masonry Structures", Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Kora, D., 1990. "Practical Techniques to Improve the Structural Stability of Stone Masonry Retaining Walls in Situ", Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Kasumata 1997. "R/C Rectangular Columns Strentgthening with CFRP Laminetes" JPDPA, Japan

Lara, M. A., 1987. "The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 --History of Construction Practices in San Salvador", Earthquake Spectra, 3(3), pp. 491-496.

Lee, C., Bonacci, J., Thomas, M., 2000. "Acceîerated Corrosion And Repair Of Reinforced Concrete Columns Using Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets", Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 941-948

Lucıano, R., Sacco, E. 1998. "A Damage Model for Masonry Structures" European Journal of Mechanics, A/Solids, 17, no 2, 285-303,

Maltase. C, Pistolesi C., Lolli A, Bravo A., Cerulli T., Salvioni D., 2004. "Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars", 22,20158 Milan, İtaly, 2004.

Marfia, S., Sacco, E. 2001. "Modelling of Reinforced Masonry Elements ", International Journal of Solids and Structures, 38 4177-4198

Marzahn, G., 1996. "Improving the Shear Bond Behaviour of Masonry", University of Leipzig, LACER Vol. 1.

Marzahn, G., 1997. "Shear Strength of Dowelled Masonry", University of Leipzig, Lacer Vol. 2.

Mayrhofer., C, 2001. "Reinforced Masonry Walls Under Blast Loading", International Journal of Mechanical Science, Volume 44, 1067-1080 p.

Myers, J. J., Murthy, S., Micelli, F., 2001. "Effect of Combined environmental cycles on the bond of FRP sheets to concrete", Proceedings-Composites in Construction, 2001 International Conference, Porto, Portugal

Nanni, A., Alkhrdaji, Chan, G., Bosko, M., Xinhao, Y., and Mayo, R., **1999.** "Overview of Testing To Failure Program of A Highway Bridge Strengthened With FRP Composites", Selected proc, 4 th Int. Symp on PRP for Reinforcement of Concr Str. (FRPRCS4), Baltimore, MP, Nov, , pp. 67-80

Norris,1997 " Shear and Flexural Stengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets" J. Struct. Engrg., Volume 123, Issue 7, pp. 903-911

Orbay A., 1996. "The Use of Reinforced Masonry System For Low Rise Multistory Residental Buildings in Türkiye", XXIVth LAHS World Housing Congress, 64-75 p.

Ozkul,H., Yıldırım, **H. 2000.** "Strengthening of Steel Reinforced Concrete Beams with FRP",Second Japan-Turkey Workshop on Repair And Strengthening.

Paulay, T., Prestly, M.J.N., 1992. "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons Inc.,

Proto, A., Nanni, Manfredi, G., and Cosenza, E., 2001. "Selective Upgrade of Beam-Column Joints with Composites"., Proceedings of the Int. Conf. on FRP Composites in Civil Eng., Dec., Hong Kong.

Rosa, M. V., Valdemarca, M., Modena,C., 2001. " Behavıor of Brıck Masonry Vaults Strengthened by Frp Lamınates", Journal of Composıtes For Constructıon ,August 2001

Sadatmanesh,1997 "RC Beams Strengthened with GFRP Plates" Structure Journal, ,94(5):493-551

Scielzo A., 1990. ”Structural Problems of Conservation and Reinforced Work of a Monumental Building in the Old Part of Salerno (Italy)”, Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Shehata, Emile; Morphy, Ryan; Rizkalla, Sami, 2000. “Fibre Reinforced Polymer Shear Reinforcement for Concrete Members; Behavior and Design Guidelines”, Canadian Journal of Civil Engineering: 859-872

Sinha, B.P. 1978. “An Ultimate Load Analysis of Laterally Loaded Model Orthotropic Brickwork Panels of Low Tensile Strength”, Structural Engineer, 56,

Sinha, B.P., Loftus, M.D. and Temple, R., 1979. “Lateral Strength of Model Brickwork Panels", Proceedings Institution of Civil Engineers, 67,

Stierwalt, D.D., Hamilton, H.R. 2004. “Creep of Concrete Masonry Walls Strengthened With FRP Composites”, Construction and Building Materials

Soudki, K., Shervvood, T., 2000. “Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened With Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates Subjected To Corrosion Damage”, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 1005-1010

Sucuoğlu, H., Mcnıven, H.D., 1989. “Seısmıc Shear Capacity of Reınforced Masonry Pres” Submitted to the Journal of the Structural Engineering ASCE, 35 pp.

TS 2510 “Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları”

TS 705 “Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli Tuğla Kuralları”

TS 2513 "Doğal Yapı Taşları"

TS 2514 "Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları"

TS 2515 "Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları"

TS 2848 "Kargir Duvar Harçları"

TS 2717 EN 13139 "Agregalar - Harç yapımı için"

TS EN 206-1 "Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk"

TS EN 771-1 "Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)"

TS 708 "Beton Çelik Çubukları"

TS 138 EN 10002-1 "Metalik malzemeler – Çekme deneyi – Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu"

TS 7720-1:2000 "Yük Taşıyıcı Duvarlar ve Betonarme Döşemeler Arasındaki Yatay Birleştirmeler - Mekanik Laboratuvar Deneyleri - Düşey Yüklerin ve Döşemelerden Aktarılan Momentlerin Etkileri"

TS 12143 "Çimento-Portland Kompoze"

TS 19 "Çimento-Portland Çimentoları"

United Nations Deveiopment Programme, 1984. "Repair and Strengthening of Historical Monuments and Buildings in Urban Nuclei", Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region, Volume 6, Vienna, 296 s.

Üstündağ, C., 2000. "Bir-İki Katlı Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Kesme Güvenliğinin Sağlanması" , İTÜ, Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Valluzzi, M. R., Binda , L., Modena C. 2005. "Mechanical Behaviour of Historic Masonry Structures Strengthened by Bed Joints Structural Repointing ", Construction and Building Materials 19 63–73

Voyrderis, A., Tzanetos. and G., Froussos, A., 1990. "Additional Stres on Masonry During Repairing and Strengthening Works and Application Problems of Restoration Techniques on Masonry With Heavy Damages", Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Yang, X., Nanni, A., Chan, G., 2001. "Effect of Comer Rdius on Performance of Externally Bonded FRP Reinforcement", Non-Metallic Reinf.for Concrete Structures-FRP RCS- 5, Cambridge, July 16-18, 2001, pp. 197-204

Yokel, E.Y., Fattal S.G., 1976. "Failure Hypothesis for Masonry Shear Walls" Journal of the Structural Division, ASCE Vol 102, No. ST3, pp. 515-532.

Yong, X., A. Nanni, 2001. "Concrete Beams Srengthened with misaligned CFRP laminates, Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures-FRPRCS-5, Cambridge, July 16-18, 2001, pp. 79-85

Yorulmaz, M., Sözen M.A. 1968, "Behavior of Single Story Reinforced Concrete Frames With Filler Walls" SRS 337 Universityof Illinois, Urbana

Wenzel, F., 1990. "On the State of Structural Repair of Masonry", Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

West, H.W.H., Hasetline, B.A. 1977, "The Lateral Load Resistance of Brickwork to Lateral Loading Experimental Methods and Results of Tests on Small Specimens and Full Sized Walls", Structural Engineer, 55, 113

Zepnik, R., Schönbrodt, N., 1990. "Application of Cement Grouting To Historic Buildings", Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Zonta D., 2000. "Structural Damage Detection and Localization by Using Vibrational Measurements", Ph.D. Thesis, Universita Degli Studi Di Bologna.

10. EK

Bu kısımda Bölüm 5.1'de verilen ön deneylerin diğerleri için yükleme anındaki gözlemler, yük-deplasman grafikleri, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları verilmiştir.

10.1. 2 Nolu Deney

2 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Numune hazırlanırken kullanılan harç için hazırlanan karışım oranları Çizelge 10.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 10.1 2 nolu deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
10	3	0,75	0,75

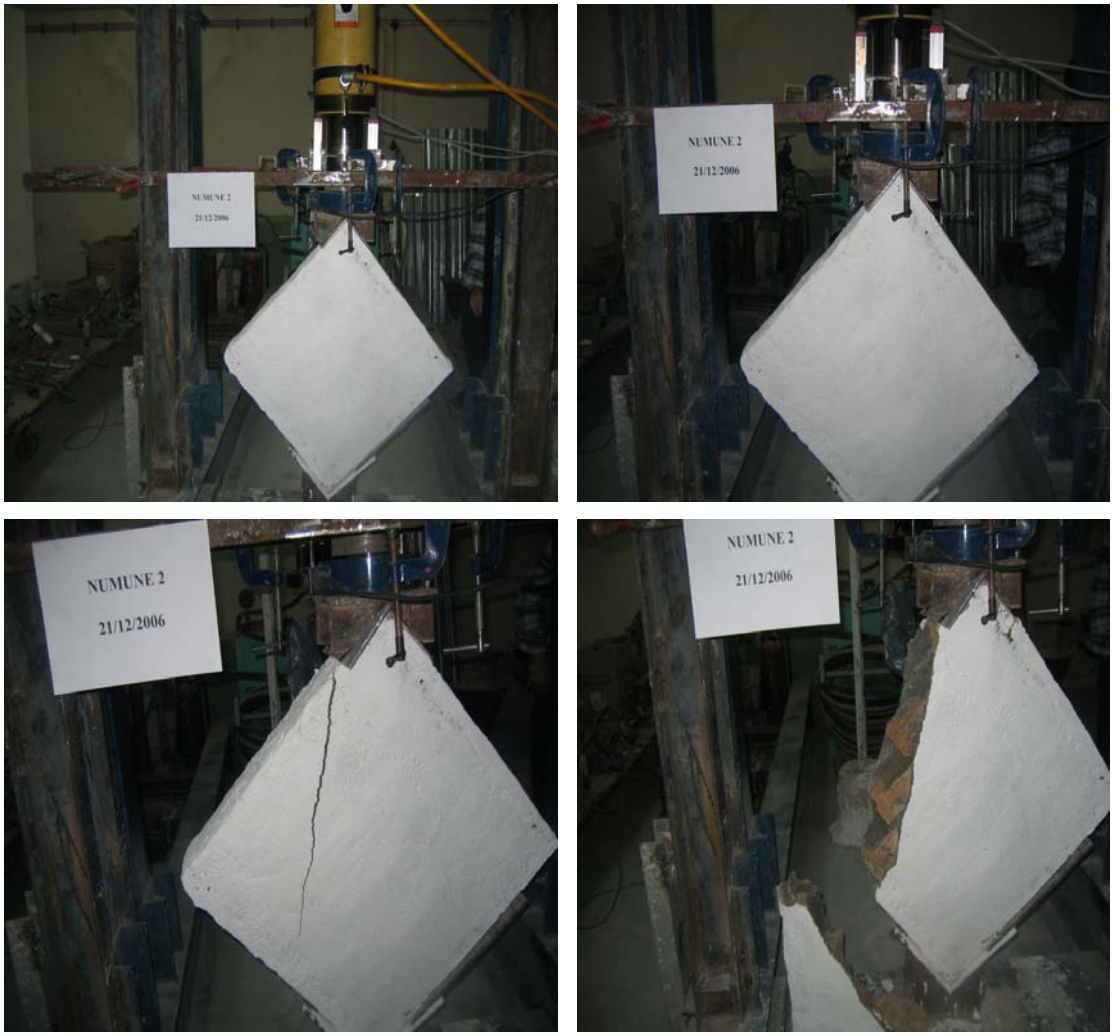
Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir.

2 nolu deneyde her çevrimde oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 10.2' de verilmiştir.

Çizelge 10.2. 2 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	1	2,95	-
2	2	4,5	-
3	3	5,8	-
4	4	6,8	Numunenin sağ üst kısmında ilk çatlak görülmüştür.
5	5	9,1	İlk çatlak uzunluğu ve genişliği artmıştır.
6	6	13,6	Deplasmanlar artmaya devam etmiştir.
7	5	14,1	Numunenin sağ üst kısmında oluşan çatlak aşığıya kadar uzamıştır.
8	4	14,6	Deplasman artarken numunenin yük alımı azalmıştır.
9	5	15,1	Deplasmanlar artmış, yük alımıda artmaya başlamıştır.
10	6,36	15,7	Max. yüke ulaşılmış, numune sağ üst kısmından başlayan çatlağın devamıyla kırılmıştır.
11	4	17,1	Deplasmanlar artmış, yük alımı azalarak sıfırlanmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 4 tonda ilk çatlak meydana gelmiştir. İlk çatlak numunenin sağ üst kısmında oluşmuştur. Yükleme 6 tonu geçtiğinde numunenin yük alımı azalmış ve yük 4 tona kadar düşmüştür. Yükleme devam edince 10. çevrimde maksimum yüke ulaşılmış ve numune 6,36 tonda kırılmıştır.(Şekil 10.1)



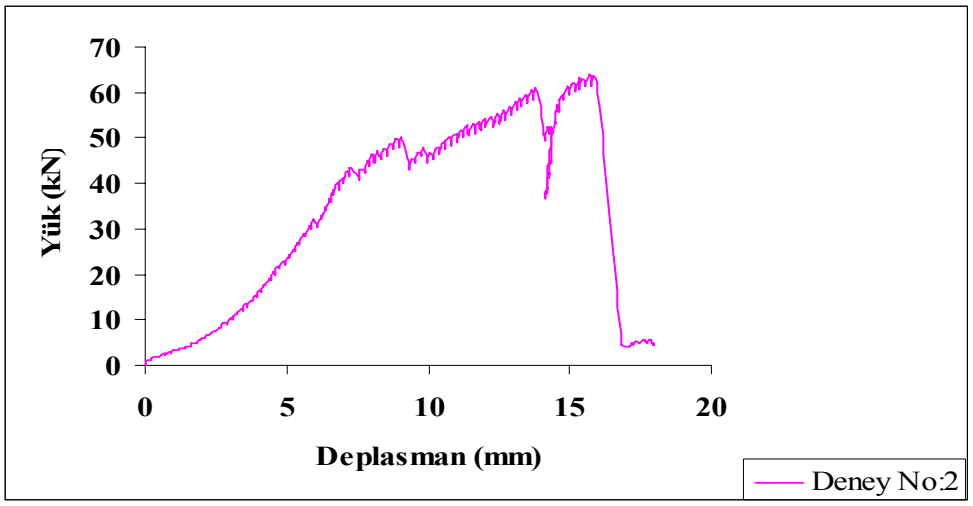
Şekil10.1 2 nolu deney numunesinde oluşan çatlaklar

2 nolu deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 10.3'de verilmiştir.

Çizelge 10.3 2 nolu deney numunesinde oluşan çekme dayanımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede Çek Day (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
2	304,68	249,1	6364	1,25

2 nolu deney sonucunda elde edilen yük- deplasman grafiği Şekil 10.2'de gösterilmiştir.



Şekil 10.2 2 nolu deneyde oluşan yük-deplasman grafiği

10.2 3 Nolu Deney

3 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Numune hazırlanırken kullanılan harç için hazırlanan karışım oranları Çizelge 10.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 10.4 3 nolu deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
10	3,5	0,75	1

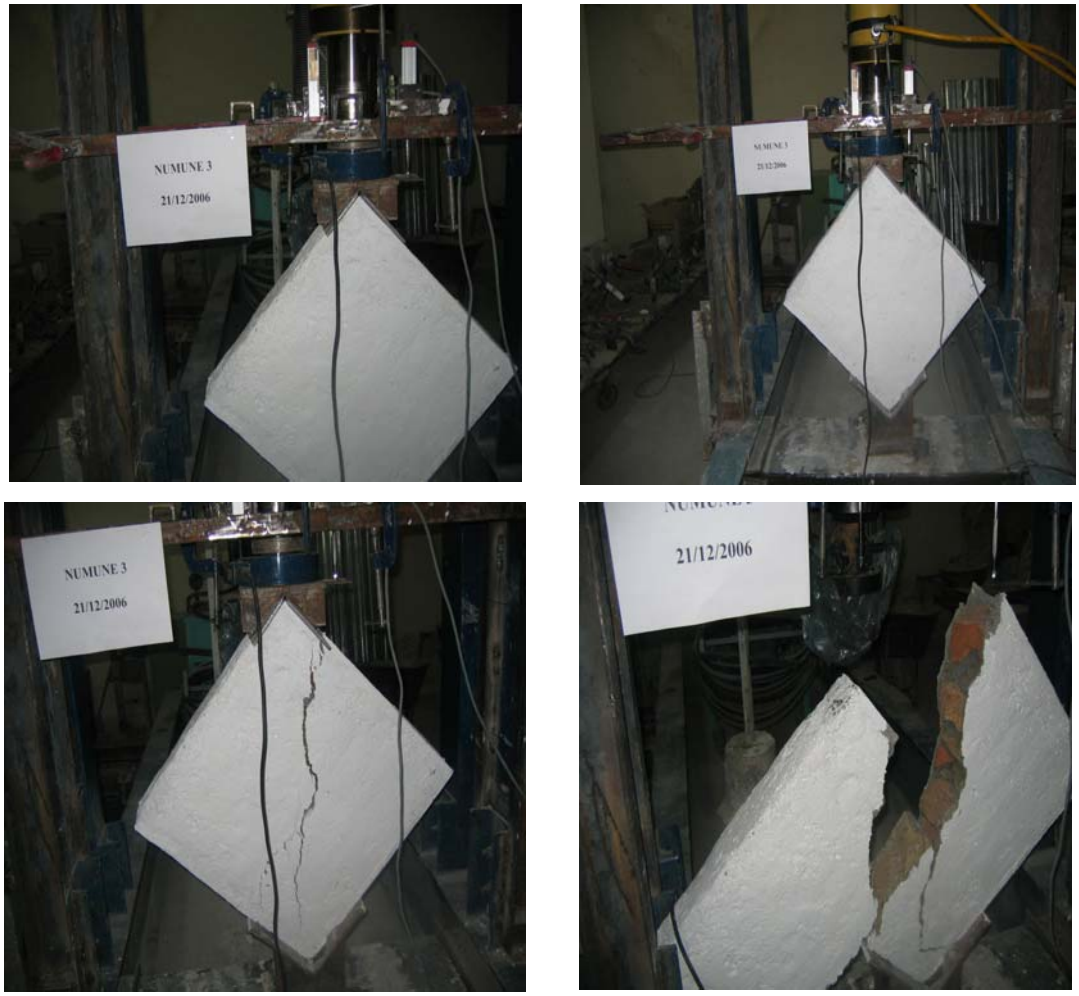
Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir.

3 nolu deneyde her çevrimde oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 10.5' de verilmiştir.

Çizelge 10.5 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	1	0,5	-
2	2	1,1	-
3	3	1,95	-
4	4	2,76	-
5	5	3,49	Numunenin sol kısmında ilk çatlak oluşmuştur.
6	6	4,07	Çatlak ilerlemiş, deplasmanlar artmıştır.
7	7	4,5	Deplasmanlar artmıştır.
8	8	5,3	Deplasman artarken oluşan çatlak numunenin alt kısmına doğru ilerlemiştir.
9	9	6,1	Deplasmanlar artmış, çatlak genişliğide artmıştır.
10	9,86	6,74	Max. yüke ulaşılmış, numune ilk çatlağın oluştuğu bölgeden kırılmıştır.
11	4	7,8	Deplasmanlar artmış, yük azalarak sıfırlanmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 5 tonda ilk çatlak meydana gelmiştir. İlk çatlak numunenin sol üst kısmında oluşmuştur. Yükleme 9 tonu geçtiğinde çatlak genişliği ve uzunluğu artmıştır.10. çevrimde 9,86 tonda numune ilk çatlağın oluştuğu bölgeden kırılmıştır.(Şekil 10.3)



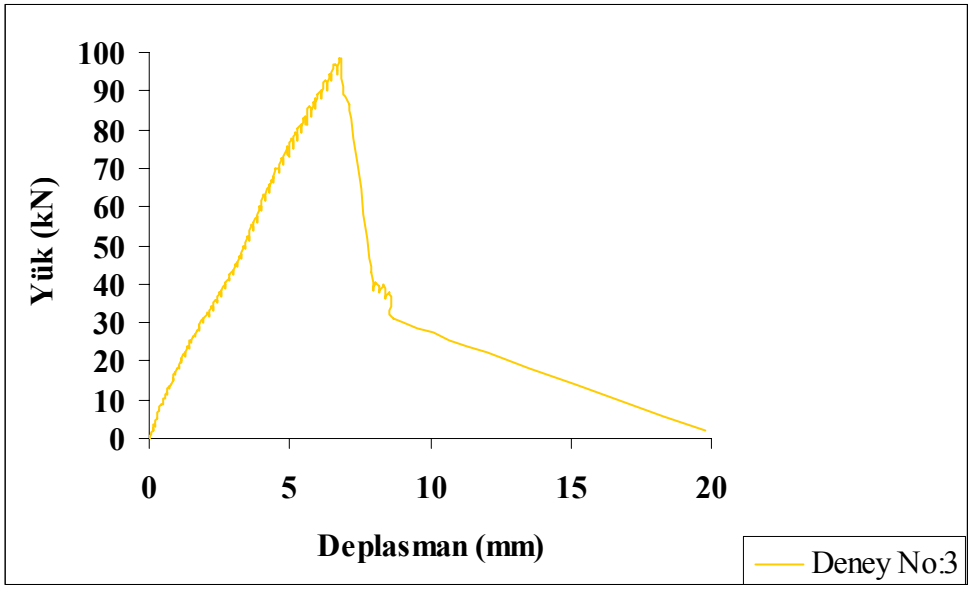
Şekil 10.3 3 nolu deney numunesinde oluşan çatlaklar

3 nolu deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 10.6'da verilşmiştir.

Çizelge 10.6 3 nolu deney numunesinde oluşan çekme dayanımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede Çek Day (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
3	367,96	320,16	9817	1,93

3 nolu deney sonucunda elde edilen yük- deplasman grafiği Şekil 10.4'de gösterilmiştir.



Şekil 10.4 3 nolu deneyde oluşan yük-deplasman grafiği

10.3 4 Nolu Deney

4 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Numune hazırlanırken kullanılan harç için hazırlanan karışım oranları Çizelge 10.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 10.7 4 nolu deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
15	7,5	1,6	2,6

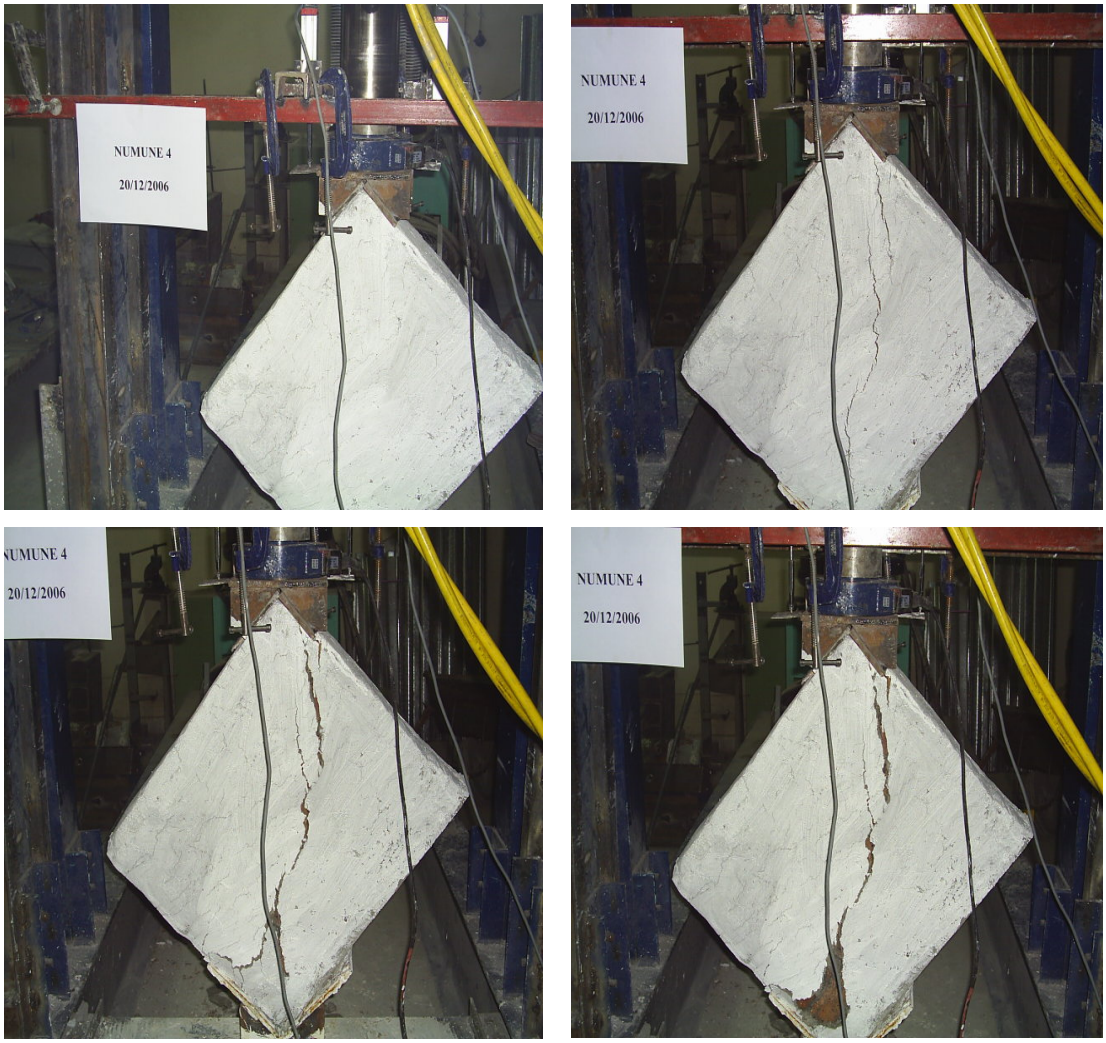
Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir.

4 nolu deneyde her çevrimde oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 10.8' de verilmiştir.

Çizelge 10.8 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	1	2,39	-
2	2	3,95	-
3	3	5,39	-
4	4	6,96	Numunenin sol üst kısmında ilk çatlak oluşmuştur.
5	5	8,5	Numunenin sol üst kısmında oluşan çatlak ilerlemiştir.
6	6	9,9	Numunenin sol alt kısmında oluşan çatlak yukarı doğru uzamıştır.
7	7	11,5	Deplasmanlar ve çatlak uzunlukları artmıştır.
8	8	12,9	Numunenin alt kısmında sıva patlamış çatlak sağ tarafa doğru ilerlemiştir.
9	8,77	14,16	Numune alt ve üst ksımda oluşan çatlağın birleşmesiyle kırılmıştır.
10	7	14	Yük alımı azalırken deplasmanlar artmıştır.
11	6	16,9	Deplasmanlar artmış, yük alımı azalarak sıfırlanmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 4,5 tonda ilk çatlak meydana gelmiştir. İlk çatlak numunenin sol üst kısmında oluşmuştur. Yükleme 8 tonu geçtiğinde numunenin alt kısmında sıva patlamış, çatlak genişliği ve uzunluğu artmıştır. 9. çevrimde 8,77 tonda numune alt ve üst çatlağın birleşmesiyle kırılmıştır.(Şekil 10.5)



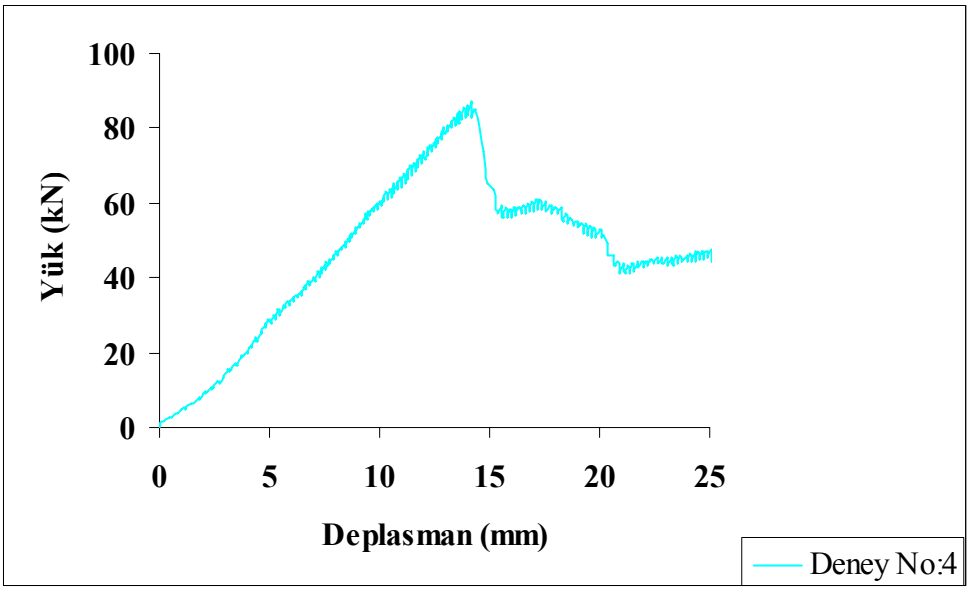
Şekil 10.5 4 nolu deney numunesinde oluşan çatlaklar

4 nolu deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 10.9'da verilmiştir.

Çizelge 10.9 4 nolu deney numunesinde oluşan çekme dayanımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede Çek. Day (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
4	180,11	251,12	7647	1,501

4 nolu deney sonucunda elde edilen yük- deplasman grafiği Şekil 10.6'da gösterilmiştir.



Şekil 10.6 4 nolu deneyde oluşan yük-deplasman grafiği

10.4 5 Nolu Deney

5 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Numune hazırlanırken kullanılan harç için hazırlanan karışım oranları Çizelge 10.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 10.10 5 nolu deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
15	7,5	1,2	3

Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir.

5 nolu deneyde her çevrimde oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 10.11' de verilmiştir.

Çizelge 10.11 5 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	1	1,9	-
2	2	2,9	-
3	3	3,88	Numunenin ön bölgesinde sıva çatlakalrı oluşmuştur.
4	4	4,64	Numunenin sol üst kısmında ilk çatlak oluşmuştur.
5	5	5,3	Numunenin sol üst kısmında oluşan çatlak hızlı bir şekilde aşağı yönde ilerlemiş ve çatlak genişliği artmıştır.
6	6	5,7	Numunenin sağ alt kısmında ufak çatlaklar oluşmuştur.
7	7	6,44	Deplasmanlar ve çatlak genişlikleri artmış oluşan ilk çatlak numunenin sol ucuna doğru yukarı yönde ilerlemiştir.

8	7,64	7,01	Çatlakalrın oluştuğu bölgeden numune kırılmıştır.
9	5	8,8	Yük alımı azalırken deplasmanlar artmıştır.
10	4	9,1	Deplasmanlar artmış, yük sıfırlanmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 3 tonda sıva çatlakları başlamıştır. İlk çatlak 4 tonda, numunenin sol üst kısmında oluşmuştur. Yükleme 5 tonu geçtiğinde numunenin alt kısmında başlayan çatlak yukarı doğru genişleyerek ilerlemiştir. 8. çevrimde 7,64 tonda numune alt ve üst çatlağın birleşmesiyle kırılmıştır.(Şekil 10.7)



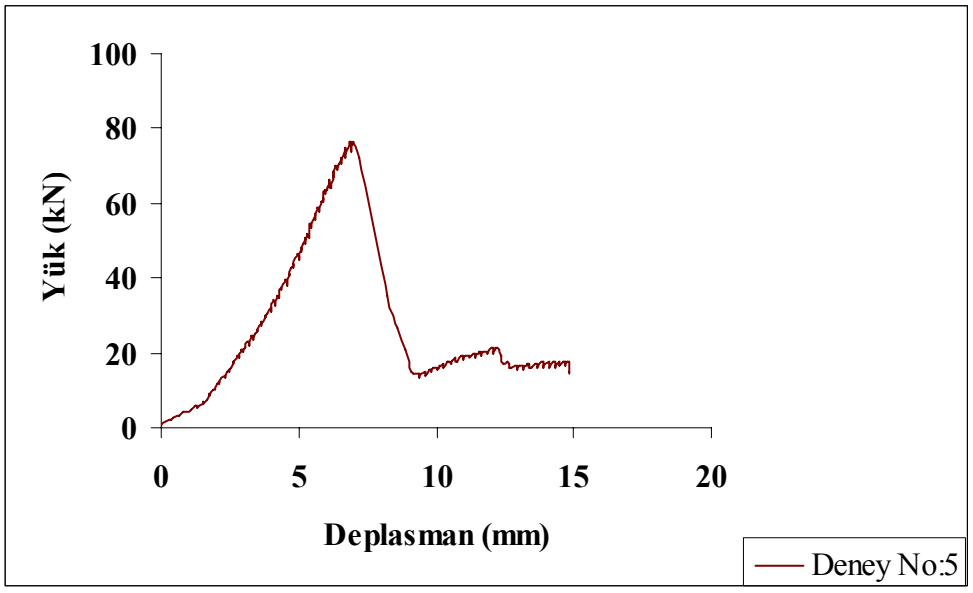
Şekil 10.7 5 nolu deney numunesinde oluşan çatlaklar

5 nolu deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 10.12'de verilşmiştir.

Çizelge 10.12 5 nolu deney numunesinde oluşan çekme daynımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede Çek Day (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
5	171,12	231,13	8707	1,710

5 nolu deney sonucunda elde edilen yük- deplasman grafiği Şekil 10.8'de gösterilmiştir.



Şekil 10.8 5 nolu deneyde oluşan yük-deplasman grafiği

10.5 6 Nolu Deney

6nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası kullanılarak 60 * 60 cm boyutunda hazırlanmıştır. Bu deneyde katkı malzemesi kullanılmamıştır. Numune hazırlanırken kullanılan harç için hazırlanan karışım oranları Çizelge 10.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 10.13 6 nolu deney numunesinde kullanılan karışım oranları

Kum (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Sikalatex (kg)
15	7,5	1	3,5

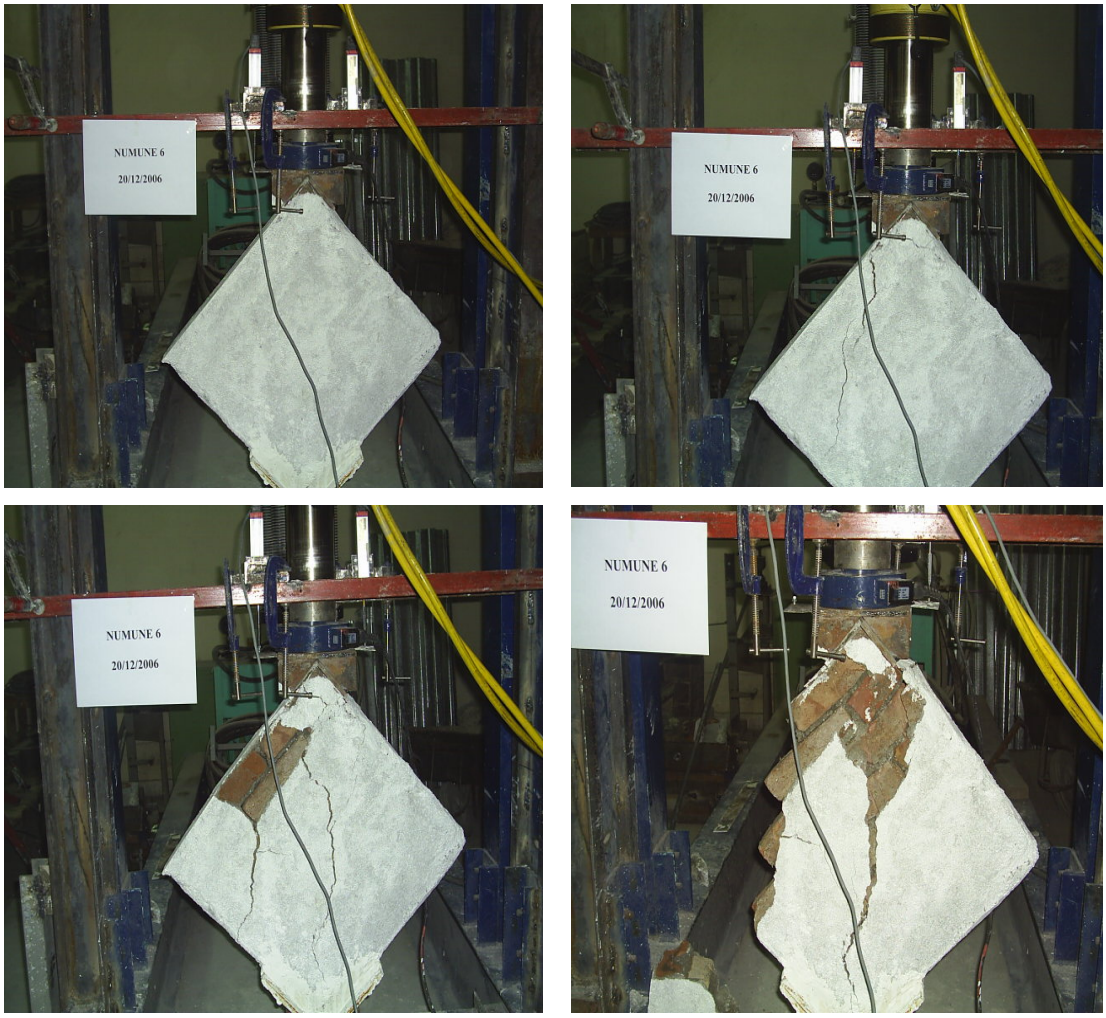
Ölçülerine göre hazırlanan harçla numunenin örüm işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numune sıvanmış, kuruduktan sonra boya sürülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yatay yük etkisini hesaplayabilmek için numune V şeklinde yerleştirilmiştir.

6 nolu deneyde her çevrimde oluşan deplasmanlar belirlenmiş ve numunenin davranışı gözlemlenmiştir. Gözlenen davranışlar Çizelge 10.14' de verilmiştir.

Çizelge 10.14 6 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1	1	2,54	-
2	2	3,63	-
3	3	4,7	Numunenin sağ üst kısmında ilk çatlak oluşmuştur.
4	4	7,8	Oluşan çatlak aşağı yönde ilerlemiş, sağ kısımda sıva patlamıştır.
5	4,96	9,06	Numunenin sağ alt kısmında da çatlak oluşmuş ve numnue 4,96 tonda kırılmıştır.
6	4	9,4	Yük alımı azalırken deplasmanlar artmıştır.
7	3	10,2	Yük alımı azalırken deplasmanlar artmıştır.
8	2	11,3	Deplasmanlar artmış, yük alımı azalarak sıfırlanmıştır.

Hazırlanan numune yüklemeye tabi tutulmuştur. Yükleme sonucunda 3 tonda numunenin sağ üst bölgesinde ilk çatlak oluşmuştur. 4 tonda çatlak genişlemiş ve aşağı yönde ilerlemiştir. 5. çevrimde 4,96 tonda numune kırılmıştır. (Şekil 10.9)



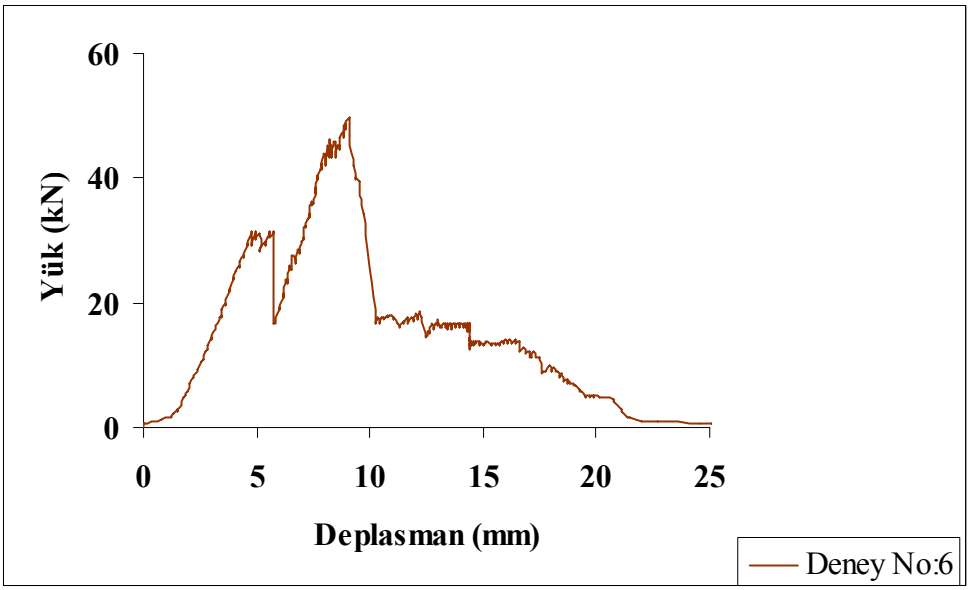
Şekil 10.9 6 nolu deney numunesinde oluşan çatlaklar

6 nolu deneyde kullanılan harçtan 3 adet numune alınmış, bu numuneler eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınarak, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları bulunmuştur. Ayrıca maksimum yüke göre σ ve τ değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 10.15'de verilşmiştir.

Çizelge 10.15 6 nolu deney numunesinde oluşan çekme daynımı, basınç dayanımı ve σ , τ değerleri

Numune	Eğilmede Çek. Day (kg/cm^2)	Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Max. Yük (kg)	$\sigma = \tau$ (kg/cm^2)
6	160,16	157	4958	0,973

6 nolu deney sonucunda elde edilen yük- deplasman grafiği Şekil 10.10'da gösterilmiştir.



Şekil 10.10 6 nolu deneyde oluşan yük-deplasman grafiği