

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HARMAN TUĞLASI İLE İNŞA EDİLMİŞ YAN DUVARI BOŞLUKLU YIĞMA  
YAPILARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞLARININ EĞİLME MASASI  
YARDIMI İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fırat KIPÇAK  
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

VAN-2018



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HARMAN TUĞLASI İLE İNŞA EDİLMİŞ YAN DUVARI BOŞLUKLU YIĞMA  
YAPILARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞLARININ EĞİLME MASASI  
YARDIMI İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fırat KIPÇAK

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 117M316 No.lu proje ile desteklenmiştir.

VAN-2018

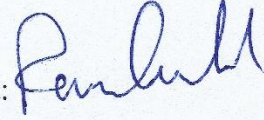




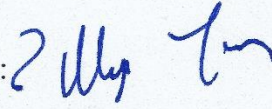
## KABUL VE ONAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL danışmanlığında, Fırat KIPÇAK tarafından sunulan "Harman Tuğlası ile İnşa Edilmiş Yan Duvarı Boşluklu Yığma Yapıların Düzlem Dışı Davranışlarının Eğilme Masası Yardımı ile Belirlenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 03/ 12/ 2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

imza: 

Üye: Doç. Dr. Mucip TAPAN

imza: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

imza: 

Üye: .....

imza:

Üye: .....

imza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.12.2018 tarih ve 2018/6.5-J sayılı kararı ile onaylanmıştır.

imza:   
Enstitü Müdürü  




## TEZ BİLDİRİMİ

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

  
(İmza)  
Fırat KIPÇAK





## ÖZET

### HARMAN TUĞLASI İLE İNŞA EDİLMİŞ YAN DUVARI BOŞLUKLU YIĞMA YAPILARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞLARININ EĞİLME MASASI YARDIMI İLE BELİRLENMESİ

KIPÇAK, Fırat

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

Aralık 2018, 86 sayfa

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler yığma binaların yatay yükler altındaki davranışlarının yeterli düzeyde olmadığını göstermiştir. Depremler sonrası yazılmış olan raporlarda ve makalelerde taşıyıcı yığma duvarların kendilerine mesnet oluşturan yan duvarlar ile bağlantılarının kopması neticesinde düzlem dışı deplasmanlar yaparak toptan göçmeye sebep olduğu belirtilmektedir. Düzlem dışı davranış probleminin anlaşılması yığma binaların daha gerçekçi deprem performanslarının belirlenebilmesine ve olası bir güçlendirme çalışmasına katkı sağlamasına imkân verecektir. TÜBİTAK 3501-Kariyer geliştirme programı kapsamında 117M316 proje numarası ile desteklenen bu tezde harman tuğlası ile inşa edilen 7 adet farklı tipteki yığma yapı modeli ve her bir tipte üçer tane aynı olmak üzere toplamda 21 adet yığma yapı modeli eğilme masası yardımı ile test edilmiştir. Deney duvarları içerisinde U ve L biçimli olmakla birlikte yan duvarlarında kapı pencere boşlukları bulunmaktadır. 2 farklı grupta toplanan bu 7 tuğla duvar, tuğlalar arasında herhangi bir bağlayıcı malzeme bulunmadan harçsız inşa edilmiştir. Yan duvarında kapı ve pencere boşluğu bulunan yığma yapıların düzlem dışı göçmeye olan etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler;** Düzlem dışı davranış, Düzlem dışı deplasman, Eğilme masası, Harman tuğlası, Kırsal yığma yapı, Tarihi yığma yapı, Tuğla duvar.



## ABSTRACT

### **TILTING TABLE EXPERIMENTS TO DETERMINE THE OUT-OF-PLANE BEHAVIOR OF MASONRY STRUCTURES WHICH SIDE WALL HOLLOW IS CONSTRUCTED FROM BRICK**

KIPÇAK, Fırat

M.Sc. Thesis, Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Barış ERDİL

December 2018, 86 pages

Recent earthquakes in Turkey revealed that the lateral load capacities of masonry buildings are not adequate. It is stated in the reports and articles written after the earthquakes that if the connections between the restrained walls and the main wall are lost, the load carrying masonry walls may exhibit total collapse. Understanding the out-of-plane behavior phenomenon will enable one to determine a realistic seismic performance of masonry buildings and contribute to reliable strengthening studies.

In this thesis, which has been supported by TUBITAK 3501-Career Development Program with a Project ID of 117M316, 7 different masonry structures, each structure having 3 samples ending up with a total of 21 masonry structures, were built using clay bricks on a specially designed tilting table and tested accordingly. Masonry structures either having side walls at both ends or one end, had window and/or door openings at the side walls. Compiling those 7 masonry structures in two groups, none of the structure were built with mortar, i.e., no mortar was used between bricks. The aim of the study was to understand the effect of side wall openings on out-of-plane behavior of the brick masonry walls.

**Keywords:** Brick wall, Harman brick, Historical masonry structure, Out-of-plane behavior, Out-of-plane displacement, Rural masonry structure, Tilting table.





## ÖN SÖZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu yüksek lisans tez çalışması TÜBİTAK tarafından 117M316 no.lu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya 117M316 no'lu proje kapsamında destek veren TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ve yüksek lisans öğrenimim boyunca, hep yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL, Doç. Dr. Mucip TAPAN olmak üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm hocalarına teşekkür ederim.

**2018**  
**Fırat KIPÇAK**



# İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| ÖZET .....  | i            |
| ABSTRACT .....  | iii          |
| ÖN SÖZ.....   | v            |
| İÇİNDEKİLER.....  | vii          |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....  | ix           |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....   | xi           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....   | xv           |
| 1. GİRİŞ.....   | 1            |
| 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....  | 3            |
| 2.1. Giriş .....  | 3            |
| 2.2. Tuğla Yığma Yapılar .....  | 4            |
| 2.3. Harman Tuğlası Standartları.....   | 5            |
| 2.4. Yığma Yapı Davranışı .....   | 7            |
| 2.4.1. Yığma yapılarda yatay yük dağılımı.....  | 7            |
| 2.4.2. Yığma yapılarda oluşan hasar türleri .....   | 8            |
| 2.4.2.1. Deprem hasarı.....   | 8            |
| 2.4.2.2. Zeminden kaynaklanan oturma çatlakları.....  | 10           |
| 2.4.3. Konu ile ilgili diğer çalışmalar .....   | 11           |
| 2.5. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019) Bölüm 11’de Verilen Yığma Yapıların Başlıca Tasarım Kuralları ..... | 19           |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....  | 25           |
| 3.1. Materyal.....  | 25           |
| 3.1.1. Harman tuğlası .....   | 26           |
| 3.1.2. Eğilme masası tasarımı .....   | 29           |
| 3.2. Yöntem .....   | 30           |
| 3.2.1. Düzlem dışı deplasmanlar.....  | 31           |
| 3.2.2. Yığma duvar yapılarının yatay yük kapasitesi.....  | 31           |
| 4. BULGULAR.....  | 33           |
| 4.1. U-00 Test Duvar Yapısı.....  | 39           |

|  |    |
|--|----|
| 4.2. U-W0 Test Duvar Yapısı .....                              | 45 |
| 4.3. U-0D Test Duvar Yapısı .....                              | 49 |
| 4.4. U-WD Test Duvar Yapısı .....                              | 53 |
| 4.5. L-00 Test Duvar Yapısı .....                              | 58 |
| 4.6. L-W0 Test Duvar Yapısı .....                              | 62 |
| 4.7. L-0D Test Duvar Yapısı .....                              | 66 |
| 5. TARTIŞMA .....  | 71 |
| 5.1. İtme Grafiklerinin Karşılaştırması .....                  | 71 |
| 5.2. Düzlem Dışı Deplasman Profillerinin Karşılaştırması ..... | 75 |
| 5.3. Göçme Zamanlarının Karşılaştırması .....                  | 77 |
| 6. SONUÇ .....   | 79 |
| KAYNAKLAR .....  | 81 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 85 |

## ÇİZELGELER LİSTESİ

| Çizelge   | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 2.1. Şekil ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası (TS EN 771-1).....                     | 6     |
| Çizelge 2.2. Harman tuğlasının boyutları (TS EN 771-1).....   | 6     |
| Çizelge 2.3. Yığma yapılarda oluşan hasarların durumları .....  | 10    |
| Çizelge 2.4. Deprem bölgesine göre en fazla yapılacak kat sayısı (TBDY 2019) .....                    | 20    |
| Çizelge 2.5. Yığma birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY 2019).....                 | 20    |
| Çizelge 2.6. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, $f_k$ (MPa)<br>(TBDY 2019)..... | 21    |
| Çizelge 2.7. Duvarların başlangıç kesme dayanımları, $f_{vko}$ (MPa) (TBDY 2019) .....                | 22    |
| Çizelge 3.1. Harman tuğlası numune bilgileri.....   | 27    |
| Çizelge 3.2. Yüzeyi düzleştirilmemiş numunelerin basınç testi.....                                    | 29    |
| Çizelge 3.3. Yüzeyi düzleştirilmiş numunelerin basınç testi.....                                      | 29    |
| Çizelge 4.1. Test duvarlarının kütlesi.....   | 36    |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

| Şekil  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Van'ın Çakır Bey köyünde gözlenen yığma bina hasarları (Akansel ve ark., 2014). .....   | 3     |
| Şekil 2.2. Tuğla duvar. ....   | 5     |
| Şekil 2.3. Harman tuğlası şekli. ....  | 6     |
| Şekil 2.4. Yığma yapı deprem yükü dağılımı ve düzlem dışı duvar deformasyonu. ....   | 8     |
| Şekil 2.5. Deprem yükü ve farklı oturmalar altında yığma binada meydana gelen hasarlar. ....   | 9     |
| Şekil 2.6. Ana duvarlar üzerinde oluşan çapraz çatlakların dağılımı (Türer ve ark., 2013). ....  | 12    |
| Şekil 2.7. Güçlendirilmiş yığma bina deneyi (Türer ve ark., 2013). ....  | 12    |
| Şekil 2.8. Deneysel test S24 numune (Tafrel ve ark., 2013). ....   | 13    |
| Şekil 2.9. LMGC90 ile elde edilen simülasyon sonucunda, ParaView ile kinematik değerlendirmeler ve görselleştirme sayesinde numunenin devrilmesinin tahmini (Tafrel ve ark., 2013). .... | 14    |
| Şekil 2.10. 0.50g de yapıda oluşan çatlaklar (Magenes ve ark., 2013). ....   | 14    |
| Şekil 2.11. 0.60g de yapıda oluşan kırılmalar (Magenes ve ark., 2013). ....  | 15    |
| Şekil 2.12. 0.70g de yapıda oluşan kırılmalar (Magenes ve ark., 2013). ....  | 15    |
| Şekil 2.13. Kat ötelenmeleri, sol şekilde 0.60g, sağda ise 0.70g sonuçları gösterilmiştir (Magenes ve ark., 2013). ....  | 15    |
| Şekil 2.14. Kuvvet deplasman eğrisi (Magenes ve ark., 2013). ....  | 16    |
| Şekil 2.15. Kapı ve pencere boşluklu deney numunesi (Restrepo Velez ve ark., 2012). ....   | 17    |
| Şekil 2.16. Yan duvar kapılı, ön duvar pencereli ve kapı, pencere boşluklu 2 katlı yapı testi (Restrepo Velez ve ark., 2012). ....   | 17    |
| Şekil 2.17. Boşluk içeren yığma duvarların düzlem dışı davranışları. ....  | 18    |
| Şekil 3.1. Deney araçları şeması. ....   | 26    |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 3.2. Ölçüm alınan tuğla duvar malzemeleri. ....   | 27           |
| Şekil 3.3. Harman tuğlası boyutları. ....   | 27           |
| Şekil 3.4. Dolu harman tuğlası basınç testi hazırlığı. ....                                   | 28           |
| Şekil 3.5. Dolu harman tuğlası basınç testi. ....   | 28           |
| Şekil 3.6. Eğilme masasının şematik görünümü. ....  | 30           |
| Şekil 3.7. Eğilme masasının düzlem ile yaptığı açı. ....                                      | 32           |
| Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan duvar tipleri. ....                                  | 35           |
| Şekil 4.2. Duvar örgü şekli. ....   | 36           |
| Şekil 4.3. Eğilme masası özellikleri. ....  | 37           |
| Şekil 4.4. Deplasman ölçerlerin konumu. ....  | 38           |
| Şekil 4.5. Deplasman ölçerlerin test duvarı ile teması. ....                                  | 39           |
| Şekil 4.6. U-00 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....             | 40           |
| Şekil 4.7. U-00 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                        | 41           |
| Şekil 4.8. U-00 duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                       | 42           |
| Şekil 4.9. U-00 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....  | 43           |
| Şekil 4.10. U-00 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....  | 44           |
| Şekil 4.11. U-W0 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....            | 46           |
| Şekil 4.12. U-W0 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                       | 47           |
| Şekil 4.13. U-W0 duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                      | 47           |
| Şekil 4.14. U-W0 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. .... | 48           |
| Şekil 4.15. U-W0 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....   | 49           |



| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 4.16. U-0D duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....            | 50           |
| Şekil 4.17. U-0D duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                       | 51           |
| Şekil 4.18. U-0D duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                      | 51           |
| Şekil 4.19. U-0D duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. .... | 52           |
| Şekil 4.20. U-0D duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....   | 53           |
| Şekil 4.21. U-WD duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....            | 54           |
| Şekil 4.22. U-WD duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                       | 55           |
| Şekil 4.23. U-WD duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                      | 55           |
| Şekil 4.24. U-WD duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. .... | 56           |
| Şekil 4.25. U-WD duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....   | 57           |
| Şekil 4.26. L-00 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....            | 58           |
| Şekil 4.27. L-00 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                       | 59           |
| Şekil 4.28. L-00 duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                      | 60           |
| Şekil 4.29. L-00 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. .... | 61           |
| Şekil 4.30. L-00 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....   | 61           |
| Şekil 4.31. L-W0 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları. ....            | 63           |
| Şekil 4.32. L-W0 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri. ....                       | 64           |
| Şekil 4.33. L-W0 duvar yapılarının itme grafikleri. ....                                      | 64           |
| Şekil 4.34. L-W0 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları. .... | 65           |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 4.35. L-W0 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları. ....                                   | 66           |
| Şekil 4.36. L-0D duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.....   | 67           |
| Şekil 4.37. L-0D duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.....  | 68           |
| Şekil 4.38. L-0D duvar yapılarının itme grafikleri.....   | 68           |
| Şekil 4.39. L-0D duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.....                                  | 69           |
| Şekil 4.40. L-0D duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.....                                    | 70           |
| Şekil 5.1. U geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.....   | 71           |
| Şekil 5.2. L geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.....   | 73           |
| Şekil 5.3. U-00 ve L-00 duvar yapılarının ortalama itme grafiği.....  | 74           |
| Şekil 5.4. U ve L geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.....  | 74           |
| Şekil 5.5. U geometrisine sahip duvar yapılarında düzlem dışı deplasmanların.<br>a) yükseklik ve b) uzunluk ile değişimi..... | 76           |
| Şekil 5.6. L geometrisine sahip duvar yapılarında düzlem dışı deplasmanların.<br>a) yükseklik ve b) uzunluk ile değişimi..... | 76           |
| Şekil 5.7. U geometrisine sahip duvar yapılarında. a) eğilme masasının açısı.<br>b) öteleme oranının zamanla değişimi.....    | 77           |
| Şekil 5.8. L geometrisine sahip duvar yapılarında. a) eğilme masasının açısı.<br>b) öteleme oranının zamanla değişimi.....    | 78           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b>              | <b>Açıklama</b>     |
|------------------------------|---------------------|
| <b>H</b>                     | Duvar yüksekliği    |
| <b>t</b>                     | Duvar kalınlığı     |
| <b>H/t</b>                   | Duvarın narinliği   |
| <b>P</b>                     | Yük                 |
| <b>V</b>                     | Taban kesme kuvveti |
| <b>W</b>                     | Ağırlık             |
| <b>a</b>                     | İvme                |
| <b><math>\alpha</math></b>   | Eğilme masası açısı |
| <b><math>\sigma</math></b>   | Basınç gerilmesi    |
| <b><math>\sigma_e</math></b> | Eğilme gerilmesi    |
| <b><math>\sigma_c</math></b> | Çekme gerilmesi     |
| <b>g</b>                     | Gram                |
| <b>g</b>                     | Yer çekimi ivmesi   |
| <b>m</b>                     | Kütle               |
| <b>kg</b>                    | Kilogram            |
| <b>kN</b>                    | Kilo Newton         |
| <b>MPa</b>                   | Mega Pascal         |
| <b>cm</b>                    | Santimetre          |
| <b>m</b>                     | Metre               |
| <b>mm</b>                    | Milimetre           |
| <b>dm<sup>3</sup></b>        | Desimetre küp       |
| <b>m<sup>2</sup></b>         | Metre kare          |
| <b>m<sup>3</sup></b>         | Metre küp           |

## **Kısaltmalar**

## **Açıklama**

**TS**

Türk Standardı

**TBDY 2019**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019

**U-WD-1 (veya L-00-2)**

Deney duvarlarının kodlarında ilk harf duvar geometrisini (U ve L duvar), ikinci harf yan duvarda pencere boşluğu olup olmadığını (W ise pencere boşluğu var, 0 ise yok), üçüncü harf yan duvarda kapı boşluğu bulunup bulunmadığını (D ise pencere boşluğu var, 0 ise yok) ve sonda bulunan sayı ise o test grubundaki kaçınıcı deney duvarı olduğunu belirtmektedir.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve depremin yaşandığı birçok ülkede deprem etkisinden kaynaklanan kuvvetle yapılar ağır hasar alma veya göçme durumuyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Yapı stoğu içerisindeki en zayıf binaların tarihi yığma yapılar ile mühendislik hizmeti almamış kırsal yığma yapılar olduğu 2010 Elazığ ve 2011 Van depremlerinde bir kez daha görülmüştür. Tarihi yığma yapıların geleceğe güvenle aktarılabilmesi, mevcut yığma yapıların hasarların azaltılabilmesi ve yeni tasarlanacak yapıların daha güvenli inşa edilebilmeleri hem can güvenliği hem de ekonomik sebeplerden ötürü önemlidir.

Yığma yapıların olası bir deprem durumunda hangi oranda hasar alacaklarını belirlemek amacı ile laboratuvarlarda depremi taklit edecek tarzlarda geliştirilmiş aletler ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi olan sarsma tablası ile gerçek bir deprem verileri kullanılarak yapı 3 doğrultuda titreşimlere maruz bırakılmaktadır. Bu deney sayesinde yapıların düzlem içi ve düzlem dışı davranış profilleri kolayca çıkarılabilmektedir. Fakat sarsma tablası düzeneğinin çok büyük maliyetler gerektirmesi sebebi ile nispeten daha ekonomik çözümler üretilmiştir. Burada yığma yapının düzlem içi ve düzlem dışı davranışları farklı deney düzenekleri ile belirlenmektedir. Düzlem içi davranış deneylerinde çoğunlukla yapının iki boyutlu bir duvarı ele alınmakta ve bu duvar itme-çekme yapabilen bir piston vasıtası ile deprem benzeri kuvvet bir şekilde yüklenmektedir. Düzlem dışı davranış deneylerinde ise yığma yapının iki boyutlu bir duvarı da ele alınabilmekte, yapının tamamı da kullanılabilmektedir. İki boyutlu bir duvar ele alındığı durumda düzlem dışı davranış deneyi, duvara düzgün yayılı yük uygulayabilecek bir ekipman kullanılarak yapılmaktadır. Yapının tamamının kullanıldığı durumda ise eğilme masası (tilting table) düzeneği kullanılmaktadır.

Yığma yapılar çeşitli boyutlarda ve geometrilerdeki farklı birimlerin bir araya getirilerek taşıyıcı duvarlar oluşturulması ile şekil almaktadır. Bu duvarların davranışı yığma birimler arasındaki aderansın doğrudan etkilenmektedir. Yığma birimler arasındaki aderansın en önemli kaynağı harç ve sürtünmedir. Harç olmadığı durumda yığma duvar davranışı sürtünme kuvvetlerine bağlı kalmaktadır. Düzlem içi yükleme durumunda duvar sürekli bir sürtünme ile dış kuvvete karşı koyduğundan devrilme kuvvetleri ve yığma birimlerin birbirleri üzerinde kayma hareketi zorlaşacak ve yığma

duvar bir bütün halinde yatay kuvvetlere direnecektir. Fakat düzlem dışı yükleme durumunda aynı etki beklenmemektedir. Nispeten daha düşük sürtünme katkısı ve devrilme momentlerine gösterilen direnç az olduğundan yığma birimler hem birbirleri üzerinde kayabilecek hem de devrilebilecektir.

Mevcut yığma yapılarda ve tarihi yapılarda çevresel yüklemeler ve çeşitli titreşimler sebebi ile yığma birimler arasındaki harçlar zamanla özelliklerini kaybetmektedir. Harcın katkı vermediği bir yığma duvar harçsız yığma duvar olarak varsayılabilir.

2010 Elazığ ve 2011 Van depremleri yığma duvarların düzlem dışı doğrultuda zayıf olduklarını göstermiştir. Bu zayıflığın sebepleri arasında zayıf harç katkısı, kötü işçilik, duvarların yan duvarlar ile zayıf ilişkisi ve duvar rijitliğini etkileyen duvar boşlukları gösterilebilir. Duvarların düzlem içi davranışları ile ilgili literatürde birçok araştırma bulunurken düzlem dışı davranış konusunda yapılan araştırmalar yetersiz düzeydedir. Halbuki meydana gelen depremler sonrasında yapılan gözlemlerde yığma taşıyıcı duvarların düzlem dışı çok fazla hasar aldığı ve bu hasarın yapının göçmesine neden olduğu belirtilmektedir. Düzlem dışı hareket edecek duvarlara bitişik olarak inşa edilen yan duvarlar eğer boşluklu bir yapıya sahipler ise meydana gelen hasar büyümekte ve olası felaketleri ortaya çıkarmaktadır. Birbirlerine dik olarak birleşen taşıyıcı duvarların zayıf buldukları yönde hasar meydana gelmektedir.

Yapılan bu yüksek lisans tezinde yığma yapıları temsil edebilecek şekilde yığma duvarlar inşa edilerek düzlem dışı davranışları, düzlem dışı hareketlerini etkileyen yan duvar özellikleri, yan duvar pencere boşluğu ve kapı boşluğunun etki durumları eğilme masası yardımı ile araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle mevcut yığma binalarda kullanılan duvar şekilleri, boşluk miktarları ve boyutları referans alınmış ve bunlar laboratuvar koşulları sebebi ile yarı ölçekte tasarlanmıştır. Yığma malzeme olarak harman tuğlası kullanılmış ve en olumsuz durumu temsil etmesi açısından tuğla birimler arasında herhangi bir bağlayıcı malzeme kullanılmamıştır. Yapılan deneyler toplam 7 adet yığma duvar tipinden oluşmak üzere temelde L ve U geometrisine sahiptirler.

## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

### 2.1. Giriş

Nüfusun %70'inin birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde yer aldığı ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremlerde önemli miktarda can kaybı meydana gelmiş, ülke ekonomisi de ciddi yaralar almıştır. Depremlerde yığma bina hasarlarının ciddi mertebelerde olması bu binaların yatay yükler altındaki performanslarının yeterli olmadığını göstermiştir. Ülkemizdeki son büyük depremler 2011 yılında Van'da 17 gün ara ile gerçekleşmiştir. 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 depremi sonrası bölgede yapılan gözlemlerde kırsal bölgelerdeki yığma yapıların çoğunun hasar aldığı, bazı bölgelerde ise yığma binaların tamamının ağır hasarlı veya yıkık olduğu, ifade edilmiştir (Şekil 2.1) (Akansel ve ark., 2014). Bölgeden edinilen bilgiler ve ülkemizde meydana gelen depremler sonrası yazılmış makaleler ve raporlar incelendiğinde yığma binaların inşası sırasında mühendislik bilgilerinin kullanılmadığı ve inşaatların yerel ustalar yardımı ile yerel malzemeler kullanılarak yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum mühendislik bilgisinin mevcut yığma binalara bir şekilde aktarılarak davranışlarının iyileştirilmesinin mümkün olmadığını göstermektedir. Mühendislik hizmeti olmadığı takdirde her deprem hem maddi hem de manevi zararlarının tekrarlanmasına yol açacaktır.



Şekil 2.1. Van'ın Çakır Bey köyünde gözlenen yığma bina hasarları (Akansel ve ark., 2014).

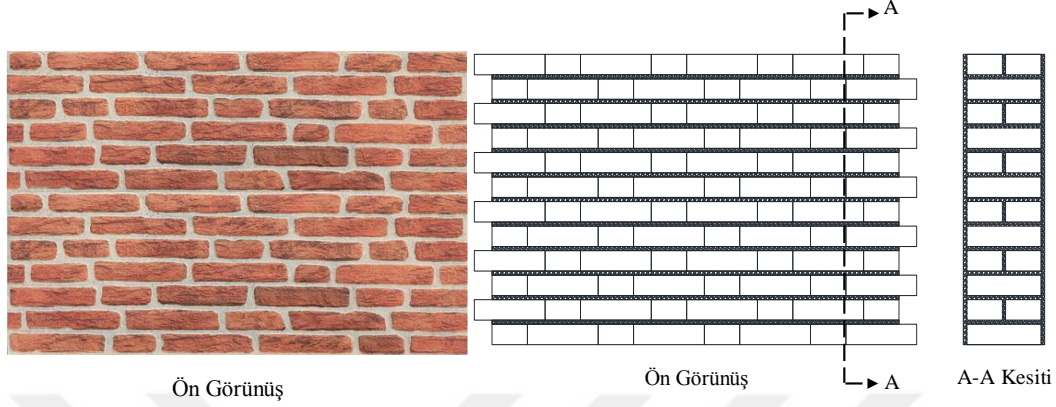
## 2.2. Tuğla Yığma Yapılar

Tuğla yığma birimlerinin belirli bir düzende üst üste yerleştirilmesi ile oluşturulan ve birimler arasında çoğunlukla hem düşey hem de yatay bağlayıcıların bulunduğu taşıyıcı özelliğe sahip yapı türüne tuğla yığma yapı denir. Tuğla birimleri arasında kullanılan bağlayıcı malzemeler yığma birimleri bir arada tutarak duvarın taşıyıcılık yeteneğini artırmaktadır. Yığma yapılar çeşitli yığma malzemelerden oluşturulmasına rağmen tarihi yapılarda sıklıkla doğal taş ve pişirilmiş kilden oluşan harman tuğlası kullanılması sebebi ile bu çalışmada harman tuğlası ele alınmış ve Bölüm 2.2.1’de harman tuğlası yapım tekniği, boyutları ve minimum dayanımları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tuğlalar el veya makine ile fırında üretilen doğal olmayan yapı taşlarıdır. Yığma duvar yapımında dolu tuğla veya boşluk oranı az olan delikli tuğla kullanılır. Delikli tuğlanın boşlukları duvarda dik konumda bulunacak şekilde inşa edilir. Duvar örgüsünde tuğlalar; söndürülmüş kireç, kum, taş tozu ve suyun karışımından elde edilen bir malzeme veya çimento, kum ve su karışımı harç kullanılarak inşa edilmektedirler. Pencere ve kapı üstü hatılları genel olarak bölgede bulunan ahşap malzeme ile yapılmaktadır. Ancak hatıllar betonarme veya çelik olarak da kullanılmaktadır. Hatıllar düşey hatıl ve yatay hatıl olarak yapılırlar ve isimlerini yapıldığı doğrultudan alırlar. Tuğla yığma yapılarda kullanılan betonarme, çelik ya da ahşap hatıllar yapının deprem dayanımına katkıda bulunurlar ve üzerine gelen yükü diğer taşıyıcı duvarlara iletirler. Betonarme hatıllar duvar kalınlığında olup içerisine donatı yerleştirilir. Betonarme döşemeli yapıların inşasında düşey hatıllar döşeme ile birlikte dökülmektedir. Kapı ve pencere boşluklarının üstünden geçen hatıllar, sürekli olmakta veya sadece pencere ve kapı üzerinde bulunmaktadır. Düşey hatıllar genellikle duvar birleşimlerinde yapılırlar fakat düşey hatılların taşıyıcı yığma duvar yapısına dişli bir şekilde, yönetmelikte belirtilen bir tuğla düşey hatılın içine girerken bir tuğla geride kalarak hatılın bir uzantısını içine alması gerekmektedir, böylelikle kenetlenme gerçekleşmektedir. Kenetlenme yapacak şekilde inşa edilmeyen düşey hatılların yapıya ciddi zarar verdiği düşünülmektedir. Bunun nedeni olarak da iki yan duvar arasında yeterli aderansın sağlanmaması ve duvarların düzlem dışı göçme yapabilmesi gösterilebilir. Bu hatıllar düşey yükü taşımaktan çok duvarların deprem esnasında birbirinden ayrılmasını engellemekte ve duvarlar arasında bağlayıcı



unsur olarak görev yapmaktadır. Tuğla yığma yapıların genel duvar örgüsünü ve şeklini göstermek amacı ile Şekil 2.2’de tuğla duvar ön görünüş ve kesiti çizilmiştir.



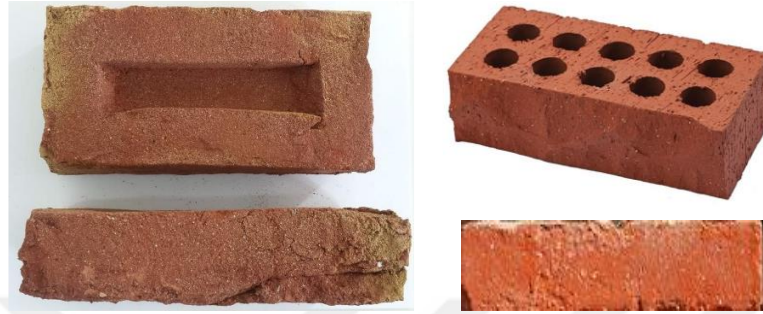
Şekil 2.2. Tuğla duvar.

Yığma olarak inşa edilen yapılar düşük ekonomik kaynaklar ile yapıldığından ve yeterli özen gösterilmediğinden dayanım, rijitlik ve süneklik kapasiteleri de düşük olmaktadır. Düşük bütçe, bölgenin toprak tapısı, geleneksel anlayış ve doğal malzemenin çok etkili olduğu bu yapılar çok katlı yapılmamakta ve uzun ömre sahip olmamaktadırlar. Kırsal alanlarda inşa edilen bu yapılar doğal felaketlerden oldukça etkilenmekte ve kullanılamaz hale gelmektedirler. Ayrıca can kaybı ve mal kaybına da yol açmaktadırlar. Tuğla birimleri buldukları bölgenin toprak özelliklerine göre orta dayanıma (en az yaklaşık 5 MPa) ya da düşük dayanıma (en az 3 MPa) sahip olmaktadır. 2019 tarihli Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019) bu tür yapılarda maksimum 7 m yapı yükseklik sınırlandırması getirerek güvenli bir yapı yapılmasını sağlamaktadır.

### 2.3. Harman Tuğlası Standartları

Harman tuğlası kil, kum ve su karışımı yarı likit bir malzemenin karıştırılması ve kalıpların içine konularak son şeklinin verilmesi ile oluşturulur ve kurutulmaya bırakılır ve pişirilir. Minimum basınç dayanımlarına ve şekillerine göre iki şekilde sınıflandırılmıştır: Tuğlanın tek yüzeyinde 30x15x110 mm boyutunda bir oyuk açılarak imal edilen dolu harman tuğlası (Şekil 2.3.a) ve geniş yüzeyinde derinliği 15 mm'den fazla olmayan çukurluklar konularak yapılan delikli harman tuğlası (Şekil 2.3.b). Basınç

dayanımları yönünden ise az dayanımlı ve orta dayanımlı harman tuğlası olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Harman tuğlasının şekil ve basınç dayanımlarına göre en az sahip olması gereken değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Harman tuğlasının boyutları Çizelge 2.2’de verilmiştir.



a) Dolu harman tuğlası

b) Delikli harman tuğlası

Şekil 2.3. Harman tuğlası şekli.

Çizelge 2.1. Şekil ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası (TS EN 771-1)

| SINIFLAR               | Tuğla Sembölü  | Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (min.) t/m <sup>3</sup> | Ortalama Basınç Dayanımı (min.) MPa | Basınç Dayanımı (min.) MPa |     |
|------------------------|----------------|---|-------------------------------------|----------------------------|-----|
| Dolu Harman Tuğlası    | Orta Dayanımlı | DOHT/50   | Sınırlandırılmamış                  | 5                          | 4   |
|                        | Az Dayanımlı   | DOHT/30   | Sınırlandırılmamış                  | 3                          | 2.5 |
| Delikli Harman Tuğlası | Orta Dayanımlı | DEHT/50   | 1.40                                | 5                          | 4   |
|                        | Az Dayanımlı   | DEHT/30   | 1.40                                | 3                          | 2.5 |

Çizelge 2.2. Harman tuğlasının boyutları (TS EN 771-1)

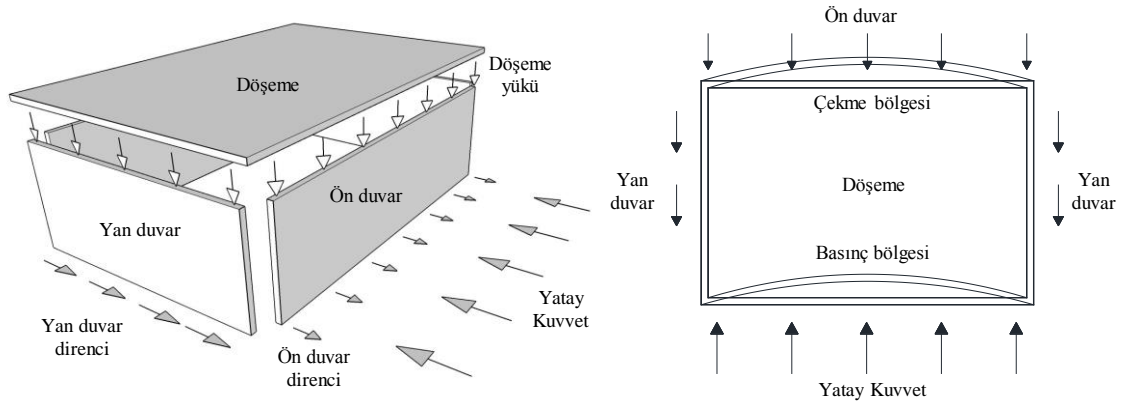
| Toleranslar (mm) |     |           |
|------------------|-----|-----------|
| Uzunluk (mm)     | 190 | +6<br>-13 |
| Genişlik (mm)    | 90  | +4<br>-5  |
| Yükseklik (mm)   | 50  | +3        |

## 2.4. Yığma Yapı Davranışı

Bağlayıcılar ve yığma birimlerden oluşturulan taşıyıcı yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranışları arasında önemli farklılıklar olabilmektedir. Yığma yapıların taşıyıcı özellikleri ve süneklik enerjileri düşük olduğundan yatay deprem kuvvetlerine karşı dirençleri düşüktür. Deprem kuvvetine karşı kapasiteleri yeterli düzeyde olmak zorundadır. Aksi durumda olası doğal olaylardan çok çabuk etkilenmekte ve zarar görmektedirler. Taşıyıcı yığma duvarların yapıya etki eden yükler altında; deprem sırasında veya herhangi bir dış kuvvet etkimesi esnasında düzlem dışı davranışları çeşitli faktörlere bağlıdır. Duvarda kullanılan malzeme karakteristik özellikleri (tuğla, kerpiç, doğal taş vs.), duvarı oluşturan yığma birimler arasındaki ilişki (harç kullanımı veya sürtünme), duvarın yükseklik-kalınlık ilişkisi (narınlık ilişkisi), bırakılan boşluk boyutları ve miktarları, yan duvarlar ve çatı ile olan ilişki. Bu gibi etkenler yığma yapının davranışını etkilemekte, avantaj sağlamakta veya dezavantaja neden olmaktadır.

### 2.4.1. Yığma yapılarda yatay yük dağılımı

Yapılara etki eden deprem yükü, yüksek rijitliğe sahip elemanın daha fazla deprem yükü taşıması prensibi ile taşıyıcı duvarlar içerisinde dağılır ve en yakın noktadan temele iletilir. Yapılarda deprem yükünü taşıyıcı düşey elemanlara iletmek amacıyla diyafram özelliğine sahip döşeme bulunmaktadır. Yığma yapılarda diyafram olarak bulunan döşeme genel olarak ahşap kirişler üzerine atılan ahşap ızgara ve onun üzerine atılan ahşap plaka daha sonra kil, kum, saman karışımı malzemenin yoğurulup sıkıştırılmasından elde edilen döşeme bulunmaktadır. Bu tür döşemeler betonarme ve çelik döşemeler kadar rijit olmasa da üzerine gelen düşey yükü duvarlara iletir ve deprem yükünün de duvarlara dağılmasını sağlar. Şekil 2.4'te yatay yükler altında yığma duvarların gösterdiği direnç ve düzlem dışı deformasyonları verilmiştir.



Şekil 2.4. Yığma yapı deprem yükü dağılımı ve düzlem dışı duvar deformasyonu.

## 2.4.2. Yığma yapılarda oluşan hasar türleri

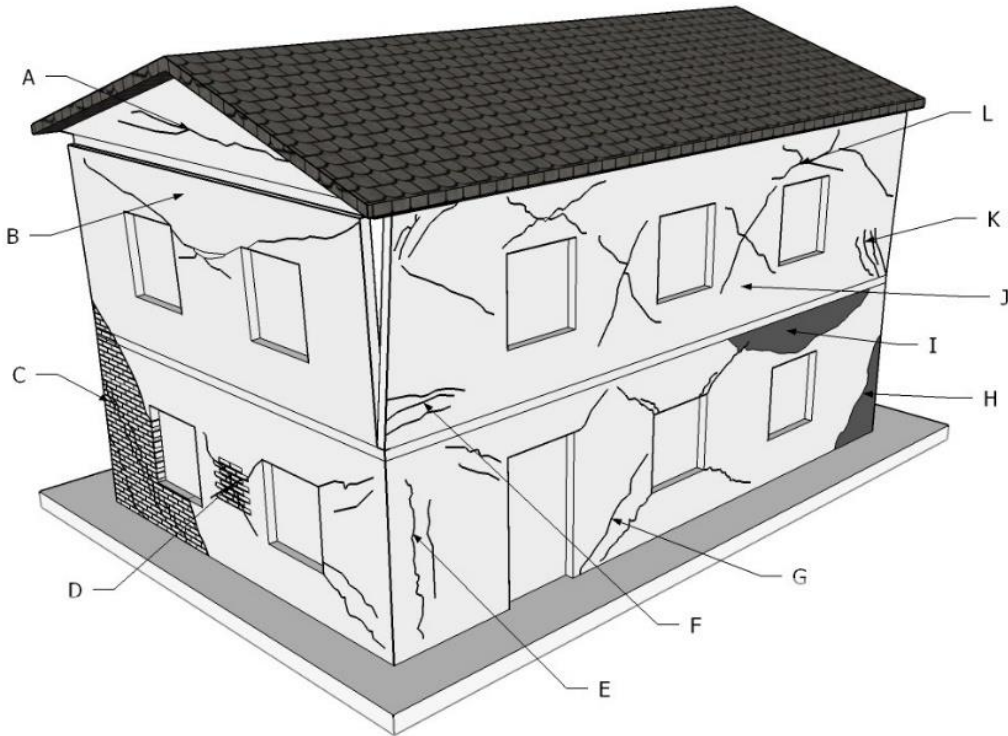
Yığma yapılarda kullanılan malzeme elastik ve süneklik enerjisi yüksek olan bir türe sahip olmadığından çok düşük düzeydeki kuvvetlerden etkilenmekte ve hasar meydana gelmektedir. Kırsal kesimde inşa edilen bu tür yapılarda çoğunlukla deprem kuvvetleri ve zemin oturmalarından kaynaklı hasarlar meydana geldiği söylenebilir. Deprem kuvveti tekrarlı bir yük olduğu için yığma yapıların bu tür kuvvetler altında yeterli dayanımlarının ve deformasyon kabiliyetlerinin olması gerekmektedir. Ancak meydana gelen depremlerde yığma yapılar önemli hasarlar almakta ve kullanılamaz hale gelmektedir. Yatay kuvvete karşı gevrek davranış sergilemekte ve taşıyıcı duvarlarda kesme çatlakları olmaktadır.

### 2.4.2.1. Deprem hasarı

Deprem etkisine maruz kalan yığma yapılar depreme karşı tepkilerini büyük oranda deprem kuvvetinin olduğu yöndeki düzlem içi bulunan duvarlar sayesinde karşılarlar. Yığma duvarlar deprem kuvvetini döşeme yardımıyla paylaşırlar ve doğrudan temele en düşük enerji ile ileterek karşı koyarlar. Depremle aynı doğrultuda bulunan duvarlarda düzlem içi kesme çatlaklıkları görülürken deprem kuvvetine dik doğrultudaki taşıyıcı elemanlar düzlem dışı deplasman göstererek devrilmeye maruz kalırlar. Yığma duvarlarda oluşan deprem hasarlarının nedeni duvarların yetersiz malzeme mukavemetine sahip olması ve malzemenin hassas, kırılğan olması, düşey yükler fazlalığı ve özensiz bir şekilde yapılan tasarım, dış etkiler ile kapiler çatlakların oluşması ve donma

çözülme ile çatlakların genişlemesi ve dayanımın düşmesi, yetersiz derz bırakılması, bireşim bölgesi yeterli aderansının sağlanmaması, harç dayanımının çok düşük olması, planda ve düşeyde yapılan düzensizlikler ile binanın burulmaya uğramasıdır. Deprem yükü ve farklı oturmalar altında yığma yapılarda oluşan hasarlar özetlenerek Şekil 2.5'te verilmiştir. Şekilde gösterilen hasar türleri Çizelge 2.3'te açıklanmıştır.

Yapı cephelerinde büyük boşluklar var ise yığma duvarlarda süreksizlikler oluşur ve süreksizlik köşelerinde gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu gerilmeler büyük oranda duvarda kesme çatlakları oluşturarak enerjinin boşalması ile son bulur. Deprem kuvvetlerinin tersinir olması bu çatlaklarının büyümesine sebebiyet vermektedir. Yığma duvarda harç dayanımı tuğla dayanımından fazla olduğu durumlarda çatlamlar tuğla vs. birimlerini keserek ilerler. Harç dayanımı birim elemanlardan düşük ise çatlamlar derzlerden geçerek duvar hasar görür. Çatlamlar derzlerden geçtiği durumda büyük oranda düzgün yıkılma meydana gelir.



Şekil 2.5. Deprem yükü ve farklı oturmalar altında yığma binada meydana gelen hasarlar.

Çizelge 2.3. Yığma yapılarda oluşan hasarların durumları

| İsim | Hasar Tipi                           | Açıklama  |
|------|--------------------------------------|---|
| A    | Çatı duvarı yatay hasarı             | Çatı duvarının yüksek yapılması ve üzerine gelen kar yükünün aşırı olmasından kaynaklı oluşan yatay çatlak türüdür.   |
| B    | Düzlem dışı hasar                    | Taşıyıcı yığma duvarın tümünün birlikte hareket ederek zayıf yönde gösterdiği devrilme hasar durumudur.   |
| C    | Sıva dökülmesi ve köşe diyagonalleri | Deprem kuvvetiyle oluşan köşe diyagonal çatlamlar ve plan düzensizliklerinden kaynaklı meydana gelen burulma kuvvetinin oluşturduğu hasarlar.                               |
| D    | Düzlem içi düşey kesme çatlağı       | Genelde boşluklar (kapı, pencere, balkon vs.) etrafında oluşan düzlem içi hareket eden duvarın, deprem kuvveti kaynaklı düşey doğrultuda uzanan kesme çatlağı türüdür.      |
| E    | Birleşim bölgesi düşey çatlağı       | Birbirlerine dik doğrultuda bağlanan yığma duvarların yeterli düzeyde aderansının sağlanamamasından kaynaklı, iki duvarın birbirlerinden ayrılmasıyla oluşan çatlaklardır.  |
| F    | Devrilme çatlağı                     | Yatay kuvvet ile oluşan düzlem içi duvarda meydana gelen ötelenmeden kaynaklı devrilme çatlağı türü.  |
| G    | Diyagonal çatlak                     | Aşırı boşluktan meydana gelen kesme çatlağı.  |
| H    | Temel oturması çatlağı               | Temelde farklı oturmalarından oluşan taşıyıcı duvar çökmesi.  |
| I    | Düzlem dışı lokal göçme              | Düzlem dışı hareket eden duvarın boşluk üzerinde kısmi göçmesi.   |
| J    | Düzlem içi hasar                     | Taşıyıcı yığma duvarın dayanımının fazla olduğu yönde gösterdiği ötelenmeden oluşan hasar türü.   |
| K    | Ezilme çatlağı                       | Düzlem içi deformasyona uğrayan taşıyıcı duvarın devrildiği yönde ekstra oluşturduğu basınç kuvvetiyle o bölgede oluşan ezilme çatlakları.                                  |
| L    | Düzlem içi yatay kesme çatlağı       | Deprem kuvvetinin taşıyıcı duvarın dayanım kapasitesini aştığı durumda ve yatay hatılların yapılmadığı durumlarda meydana gelen uzun kolları yatay doğrultulu kesme çatlağı |

#### 2.4.2.2. Zeminden kaynaklanan oturma çatlakları

Zemindeki oturmalar zemin cinsi, zemin hareketleri, yeraltı su seviyesinin yükselmesi ve alçalması, zeminde meydana gelen sıvılaşma gibi nedenlerden oluşabilir. Toptan oturmanın yanında farklı oturma tipleri de görülür. Yığma yapılar zemindeki farklı oturmalarından oldukça etkilenmektedir. Farklı oturmalar ile üst yapılar hasar almakta ve üst yapılarda çökme gerçekleşmektedir. Oturmanın arışı ile yapıda oluşan çatlakların artışı birbirleriyle orantılıdır. Zemin oturması köşelerde meydana geldiğinde yapıdaki çatlak genişliği yukarılara doğru genişlemekte ve bağlantı noktalarına ciddi hasarlar vermektedir. Ancak zemin oturmasının orta bölgelerde oluşması durumunda gelen yük kemerleşme gösterip yan duvarlara aktarılmaktadır.

Farklı oturmalar doğal olarak temel altındaki zeminin davranışından oluşmaktadır. Duvar boyutu ile temel sömeli boyutu ilişkisi yapı yükünün zemine aktarılması noktasında önemli olmaktadır. Temel sömelinin yetersiz boyutlarda yapılması ile gerilme fazlalığı oluşur ve bu durum sıkışma ile duvarın oturmasına sebebiyet verir.

Tüm taşıyıcı duvarların altında sürekli bir temelin olması yapı ağırlığını zemine iletmede oldukça avantaj sağlar. Bunun verdiği avantaj ile kırsal kesimde genel olarak temeller çok sığ yapılmakta ve don seviyesinin altına inilmemektedir. Temel altındaki zemin killi zemin ise temele inen suların killi zemini şişirmesi ve suyun çekilmesi ile kilde büzülme meydana gelmesi yapıda oturma çatlakları oluşturur. Su içeren kumlu zemin olması durumunda ise sıvılaşma riski oluşur. Fazla miktardaki su killi zeminin kohezyonunu azaltmakta ve oturmalar oluşturmaktadır.

### **2.4.3. Konu ile ilgili diğer çalışmalar**

Simsir ve ark. (2004), esnek ve rijit diyafram bağlantılı duvarların düzlem dışı davranış testlerinde esnek diyaframlı duvarların daha fazla düzlem dışı deplasman yaptığını belirtmişlerdir. Erdik ve ark. (2003) 2003 Bingöl Depremi sonrası bölgede yapmış oldukları incelemelerde yeterli yanal bağlantısı olmayan yığma duvarların kısmi olarak düzlem dışı göçtüğünü, bazı bağlantıların iyi tasarlanmaması nedeni ile kısmi veya toptan göçmelerin gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Türer ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada 3.00\*4.00 m boyutlarında bir eğilme masası üzerinde farklı malzeme kullanılarak deneyler yapmıştır. İnşa edilen 2 binadan biri referans binası olan tek katlı güçlendirilmemiş bir yapı iken diğeri ise kullanılmış araba lastiğinden alınan lastik halkası KLH olarak isimlendirilmiş olan malzeme ile güçlendirmeleri yapılmış tek katlı yapıdır. 3.00 m\*4.00 m\*3.00 m boyutlarında tek odalı yığma ev test edilmiştir. Aynı malzeme ve boyutlarda inşa edilen ikinci ev kullanılmış lastikler ile güçlendirildikten sonra tekrar test edilmiştir. Bu iki durumda da çatı yükü 55 kN olarak belirlenmiştir. Birinci deneyde, art-germenin uygulanmadığı modelde, binanın yaklaşık 18° derecede (0.31\*m\*g yanal yükte), ana duvarlarda ve zayıf duvarlarda büyük çatlaklar oluşmasıyla birlikte aniden ve şiddetli bir biçimde yıkıldığı ifade edilmiştir. Yapıda oluşan hasarlar Şekil 2.6'de görülmektedir.





Şekil 2.6. Ana duvarlar üzerinde oluşan çapraz çatlakların dağılımı (Türer ve ark., 2013).

İkinci deneyde ise kullanılmış araba lastikleri ile yatay yönde 25 kN ve düşey yönlerde 50 kN art-germe kuvvetleri uygulanarak tek odalı yapı güçlendirilmiştir. Bina test edildiğinde neredeyse 34° dereceye (0.56\*m\*g yanal yük) kadar yüklenmesine rağmen, sadece pencere altlarında oluşan ve temel seviyesinde devam eden hasarlar oluşmuş, ancak ilk deneye göre çok küçük seri çatlaklar oluştuğu ifade edilmiştir (Şekil 2.7). Bina başlangıçtaki konumuna geri getirildiğinde, duvarlar üzerindeki kırılmalar lastiklerin sahip olduğu çekme kuvvetlerinin etkisiyle kapanmıştır. Çalışmada KLH zincirleri ile güçlendirilmiş birebir ölçekli binada, güçlendirmemiş binaya oranla yaklaşık %100'lük bir dayanım artışı gözlemlenmiştir. Yapı daha sünek hale gelirken enerji sönümleme kapasitesi artmıştır.



Şekil 2.7. Güçlendirilmiş yığma bina deneyi (Türer ve ark., 2013).

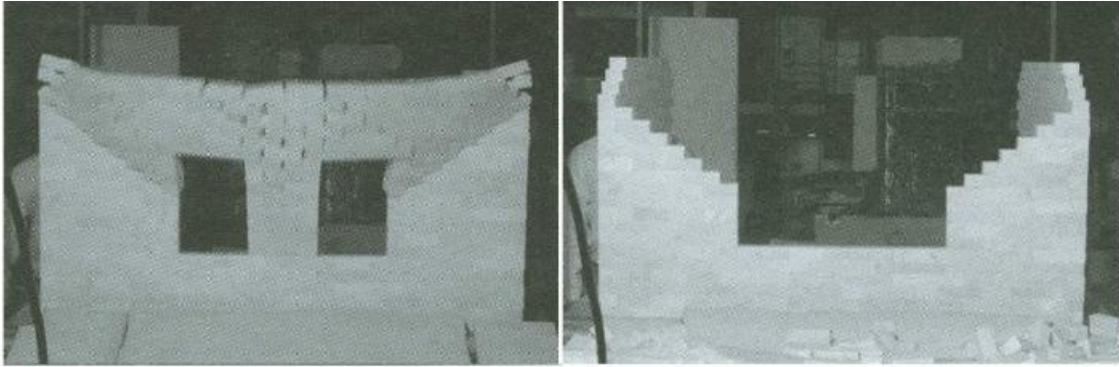
Dazio (2008), 2.40 m yüksekliğinde ve 1.20 m genişliğinde inşa edilmiş harç bağlantılı tuğla duvarları alt ve üst kenarlarından çeşitli mesnetlenme koşullarına göre desteklemiş ve mesnet koşullarının düzlem dışı davranışa olan etkisini incelemiştir.



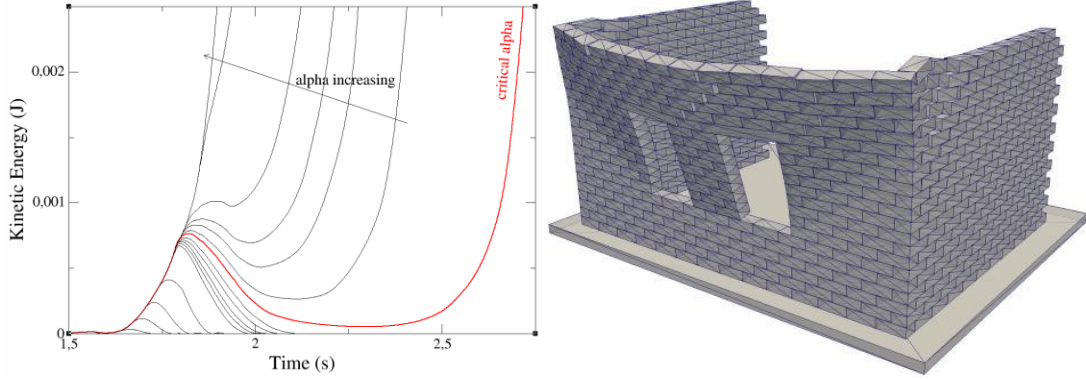
Yapılan deneyler sonucunda sabit mesnet varsayımının daha fazla düzlem dışı deplasmanlara yol açtığı fakat nispeten daha rijit mesnetlenmenin ise daha düşük ivmelerde duvarın göçmesine sebep olduğunu belirtmiştir.

Döndüren (2008), 2.60 m uzunluğunda 2.10 m yüksekliğinde kısa yan duvar (1.10 m uzunluğunda) inşa edilmiş yığma duvarlarda yığma birimler arasındaki harç malzemesinin güçlendirilmesi neticesinde düzlem dışı davranışın nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla iki adet deney gerçekleştirmiştir. Deneylerde tersinir tekrarlanır statik yükleme uygulanıp tepe noktadan deplasman ölçerler ile düzlem dışı deplasmanlar kaydedilmiştir. Sonuç olarak yığma duvarın yük taşıma kapasitesinin arttığı fakat duvar sünekliğinin ve enerji yutma kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir.

Taforel ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada tek bir U geometrisine sahip duvarı düzlem dışı numerik olarak ve eğilme masası üzerinde incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda NLGS parametrelerinin seçiminin etkisini göstermiştir. Numune 1/5 ölçeğe ve sürtünme  $0.67 \leq \mu \leq 0.77$  arasındadır. Sürtünmeli temas modelinin seçimi NLGS yöntemi üzerinde bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte, farklı bir modelin benzer davranışlar verdiğini, ancak hesaplama süresi üzerinde önemli bir etkisi olabileceği açıkça görülmüştür. Aşağıdaki şekillerde yapılan deneysel çalışma ve nümerik analiz sonucunda görülen yıkılma şekilleri gösterilmiştir.

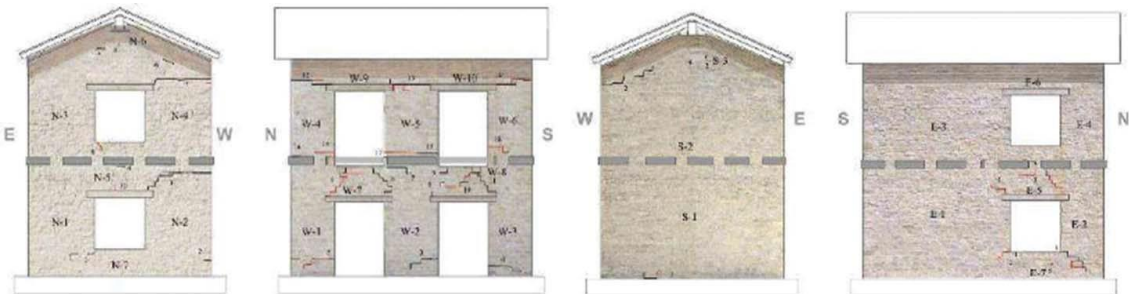


Şekil 2.8. Deneysel test S24 numune (Taforel ve ark., 2013).

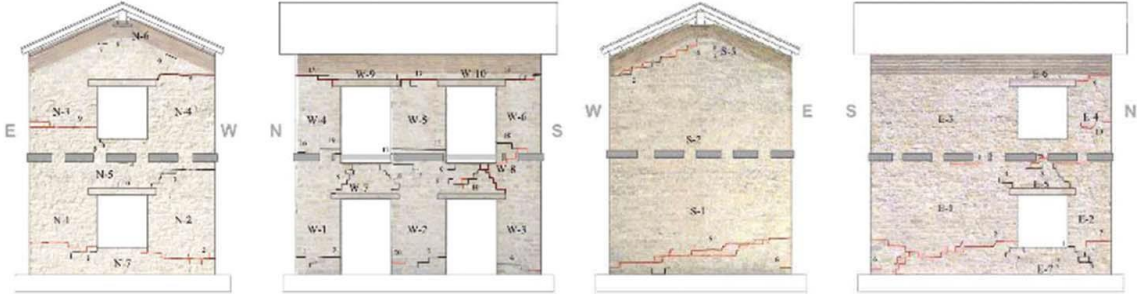


Şekil 2.9. LMGC90 ile elde edilen simülasyon sonucunda, ParaView ile kinematik değerlendirmeler ve görselleştirme sayesinde numunenin devrilmesinin tahmini (Taforel ve ark., 2013).

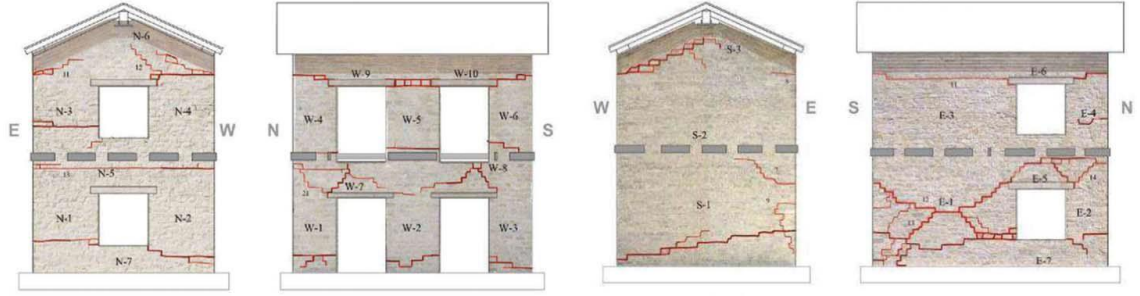
Magenes ve ark. (2013), “Esnek diyaframlı güçlendirilmiş tam ölçekli taş yığma binanın sarsma tablası testi” başlıklı çalışmada 2 katlı 2 yapıyı sarsma masası üzerinde test etmişlerdir. Güçlendirilmemiş savunmasız bir yapıyı temsil eden bir ilk prototipte (Bina 1), esnek bir diyafram yapıp yapı tepkisi test edilmiştir. Bina 2’de, ahşap diyaframlarının yalnızca orta düzlemde bağlantı sağladığı diyafram geliştirilmiştir. Sarsma testine tabi tutulduğunda, güçlendirilmiş bina, düzlem dışı mekanizmaların oluşması olmadan bütünsel tepki göstermiştir. Güçlendirilmemiş Bina 1’de ise lokal çatlaklar gözlenmiştir. Deneyde 0.05g den başlayıp 0.70g ye kadar ivmeye sahip sarsılma kuvveti verilmiştir. Aşağıdaki şekillerde gösterilen sonuçlarda siyah çizgiler önceki sarsmada oluşan çatlaklar, kırmızı çizgiler ise yeni oluşan çatlaklar olarak gösterilmiştir (Şekil 10, 11 ve 12). Kat ötelenmelerinin gösterildiği Şekil 13 ve 14’te 0.60g den 0.70g etkin yer ivmesine geçilirken kat ötelenmelerinin arttığı, ikinci katın birinci kata göre daha fazla deplasman yaptığı görülmüştür.



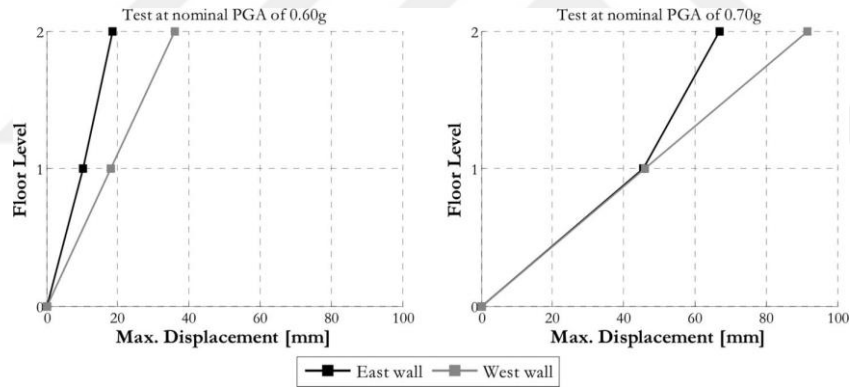
Şekil 2.10. 0.50g de yapıda oluşan çatlaklar (Magenes ve ark., 2013).



Şekil 2.11. 0.60g de yapıda oluşan kırılmalar (Magenes ve ark., 2013).

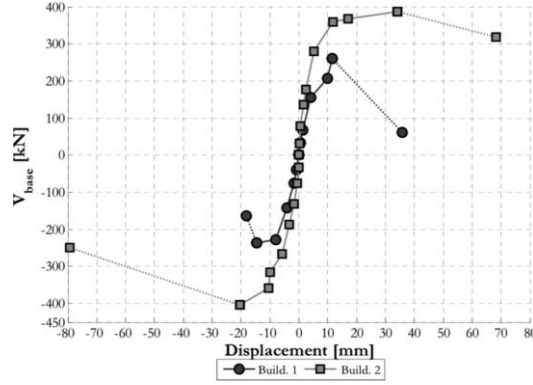


Şekil 2.12. 0.70g de yapıda oluşan kırılmalar (Magenes ve ark., 2013).



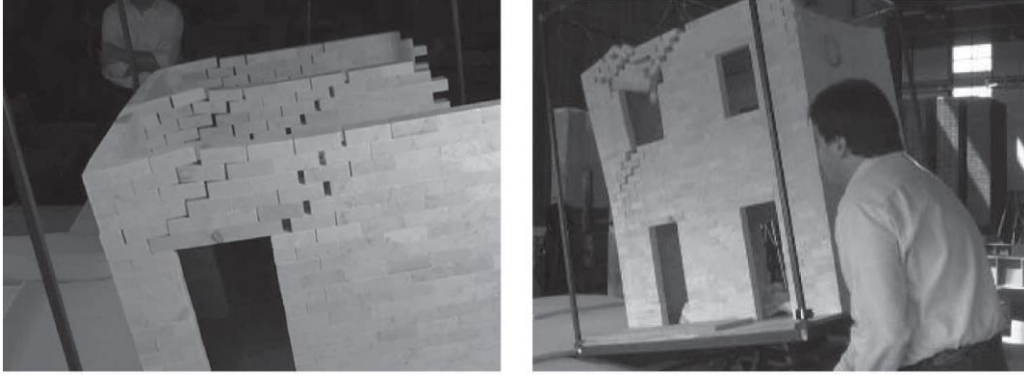
Şekil 2.13. Kat ötelenmeleri, sol şekilde 0.60g, sağda ise 0.70g sonuçları gösterilmiştir (Magenes ve ark., 2013).

Şekil 2.14., taban kesme kuvveti ile tepe deplasmanı ilişkisini test edilen iki bina için karşılaştırmalı olarak vermektedir. Grafikten ikinci binanın dayanımı ve sünekliğinin birinci binadan fazla olduğu görülebilir.

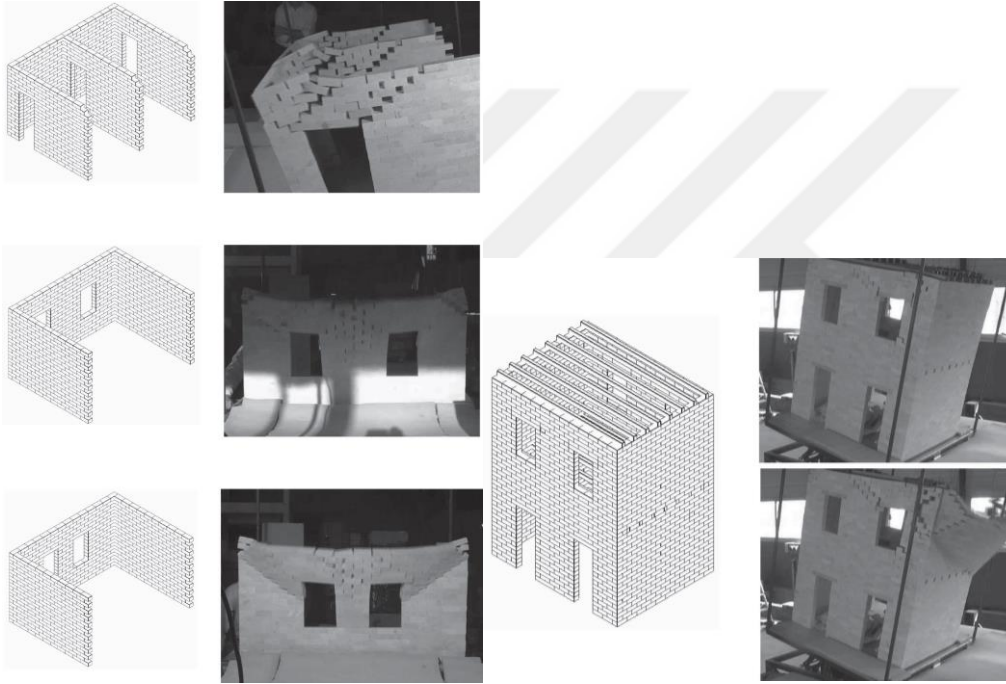


Şekil 2.14. Kuvvet deplasman eğrisi (Magenes ve ark., 2013).

Restrepo-Velez ve ark. (2012), yapılan deneysel çalışmalarda birçok modelde farklı boyutlarda numune test etmişlerdir. Yapılan çalışmada genel olarak, incelenen hemen hemen tüm mekanizmaların basitleştirilmiş teorik modellerin sahip olduğundan daha karmaşık ve ayrıca sürtünme direncinin mekanizmaya bağlı olarak farklı katkıları olduğu gözlenmiştir. Temas yüzeyleri arasındaki kayma neticesinde göreceli rotasyon meydana geldiği ve böylece tuğlaların yükselmesine neden olduğu, çoğu zaman tek noktali bir temas yüzeyine sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle incelenen yığma biriminin burulmaya karşı davranışının da incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu durumlarda cephe duvarının ne kadar uzun olduğu, duvar yüksekliğinin ne kadar olduğu yapının direncini etkilediği gibi burulmanın sürtünme direncini etkilediği belirtilmiştir. Deneysel mekanizmalarının basitleştirilmiş modellerden daha karmaşık olması, kuru duvarların basitleştirilmiş modellerde formülizasyonundan çok daha fazla iç kinematik serbestlik derecesine sahip olmasının bir sonucu olduğuna ulaşılmıştır. Aynı nedenden ötürü, elde edilen deney sonuçlarının her zaman harçlı duvarda gelişebilecek mekanizmaları yeterli bir şekilde temsil edemeyeceği belirtilmiştir. Tüm duvarda hasar görülmeden sadece lokal bir hasar görerek yapı işlevini yitirmiştir. Yapılan birçok deneyden sadece düzlem dışı deplasman gösteren yan duvarı boşluklu yapıya sahip numunelerin test görüntüleri alınmıştır (Şekil 2.15 ve 2.16).



Şekil 2.15. Kapı ve pencere boşuklu deney numunesi (Restrepo Velez ve ark., 2012).



Şekil 2.16. Yan duvar kapılı, ön duvar pencereli ve kapı, pencere boşuklu 2 katlı yapı testi (Restrepo Velez ve ark., 2012).

Korkmaz (2007), duvarda bulunan mevcut boşlukların duvarların yatay yükler altındaki kapasitelerini azalttığını, düzlem içi davranış durumunda çatlakların pencere ve kapı boşlukları doğrultusunda ilerlediğini belirtmektedir. 1/10 ölçekli olarak tasarlanan yığma binalar traverten taşlardan kesilerek oluşturulmuş tuğla malzemeleri ile inşa edilmiş harç malzemesi olarak killi toprak kullanılmıştır. Binalar kırsal kesimde yaygın bir çatı sistemi olan ahşap çatı kirişleri üzerine döşenen dam sazlari ve onun üzerine toprak konularak döşeme oluşturulmuştur. Binaların tamamı kapı ve pencere boşlukları bırakılarak imal edilmiş ve sarsma masası altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Test edilen güçlendirilmemiş binanın tamamının boşluk köşelerinden uzanan çatlaklar

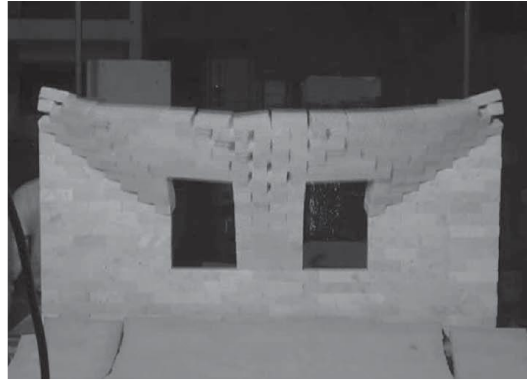


nedeniyle duvar elemanları arasındaki bağlantıların yitilmesi şeklinde gerçekleştiği belirtilmektedir (Şekil 2.17.a). Elastik malzeme ile sarılmış deney numunelerinin dayanımında artış olduğu ve daha uzun bir sürede çatlakların oluştuğu belirtilmiştir. Davranış hususunda ise sarsma masasında göçme durumunda kaydedilen ivmeler referans alınmıştır. Deneyler üzerinden yük ve deplasman değerleri ile ilgili bilgiler kaydedilmemiştir.

Restrepo Velez ve ark. (2014)'de kesilmiş taş ana duvar malzemesi olarak kullanılarak harçsız ve bağlantısız bir şekilde 1/5 ölçekli 50 adet duvar inşa edilmiştir. Duvarlar çeşitli konfigürasyonlara ve özelliklere sahip olup eğilme masası yardımı ile düzlem dışı davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Kapı ve pencere boşluğu içeren duvarlarda göçmenin boşluk çevresinde başladığı belirtilmiştir (Şekil 2.17.b). Çalışmada deplasman ölçümleri alınmamış sadece eğilme masasının eğimi bina kütlesi ile ilişkilendirilip göçmeye sebep olan yükler kütlelerin belli bir oranı şeklinde ifade edilmiştir. Deneysel çalışmalarda en düşük kapasitelerin tek yan duvarlı sistemlerden elde edilmesi duvarların tek kenardan mesnetlenmelerinin yatay yükler altındaki göçme risklerini arttırdığını göstermektedir. Duvarın iki kenardan mesnetlendiği iki yan duvarlı sistemlerin ise kapasitelerinin diğer duvar tiplerine oranla daha yüksek olduğu ifade edilmektedir.



a) Yığma bina testi (Korkmaz, 2007).



b) Taşıyıcı yığma duvar testi (Restrepo Velez ve ark., 2014).

Şekil 2.17. Boşluk içeren yığma duvarların düzlem dışı davranışları.

Deneyler eğilme masası (tilting table) ile yapıldığında amaç taşıyıcı yığma duvarı oluşturan bütün kütleleri kuvvet doğrultusunda harekete geçirmektir. Sarsma masası deneyleri hem maliyetleri hem de zahmetli olması eğilme masası deneylerini tercih

ettirmektedir. Sarsma masası kullanılarak yapılan büyük ölçekli deneylerde çoğunlukla duvarın göçmesine sebep olan ivmeler kaydedilmektedir. Duvarın üzerine belli noktalarda yerleştirilmiş ivmeölçerlerden elde edilen ivme değerleri deplasmanlara dönüştürülerek duvar deplasmanları ve görelî kat öteleme miktarları hesaplanmaktadır (Simsir ve ark., 2004; Dazio 2008; Shawa ve ark., 2012).

## **2.5. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019) Bölüm 11’de Verilen Yığma Yapıların Başlıca Tasarım Kuralları**

Deprem bölgelerinde yapılacak olan taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzeme ile oluşturulan yığma binalar, boyutlandırılması ve donatılması konusunda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte TBDY (2019)’daki yığma binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları bölümünde belirtilen kurallara göre yapılmalıdır. Yönetmeliğin ilgili bölümünde verilen tüm kurallara uyulması durumunda, ayrıca deprem hesabı yapmaya gerek olmadığı ancak yapılması durumunda bu bölümde verilen kurallara uyulması ile taşıma gücü yöntemine göre hesap yapılması istenmektedir. Taşıma gücü yöntemine göre dikkat edilmesi gerekenlerin başında aksel yük kapasitesi ve kesme kuvveti kapasitesi gelmektedir. Yığma yapıların tasarımında kullanılan formüller çok detaylı anlatıldığından ayrıca burada yer almamıştır. Deprem yönetmeliğinde yığma binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile dayanım fazlalığı katsayısı ve yapılabilecek en fazla bina yüksekliği bir arada verilmiştir. Dayanım fazlalığı katsayısı (D), aksel dayanımının tasarım dayanımına oranla fazlalığını ifade etmektedir. Bina yükseklik sınıfları BYS olarak kısaltılmış ve donatılı, donatısız yığma yapılar için bina yüksekliği (BYS) Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Yönetmelikte yığma binalarda hem yatay hem de düşey bütün derzlerin bağlayıcı harç ile doldurulması istenmiştir. Yığma taşıyıcı duvarların tuğla birimlerinin TS EN 771-1 (2015) yönetmeliğine göre üretilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yığma binada kullanılan birimler oldukça önemli olduğundan bunlarda bulunan boşluk oranları da önem arz etmektedir. Bu nedenden ötürü yönetmelikte de bu durum dikkate alınmıştır. Böylelikle yığma birimler malzeme tipi ve delik oranına göre Çizelge 2.5’de iki gruba ayrılmıştır.

Çizelge 2.4. Deprem bölgesine göre en fazla yapılacak kat sayısı (TBDY, 2019)

| Yığma Bina Taşıyıcı Sistemleri  | Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) | Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) | İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) |
|---|--|---------------------------------|---|
| A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler                         |  |                                 |   |
| A11. Donatılı yığma binalar   | 4                                      | 2                               | BYS $\geq 7$                                |
| A12. Donatılı gaz beton panel binalar                                 | 4                                      | 2                               | BYS $\geq 7$                                |
| A2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1 TDY 2019) |  |                                 |   |
| A21. Kuşatılmış yığma binalar   | 3                                      | 2                               | BYS = 8                                     |
| A22. Donatısız yığma binalar  | 2.5                                    | 1.5                             | BYS = 8                                     |

Çizelge 2.5. Yığma birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY, 2019)

| Yığma Birim Cinsi | Grup I             | Grup II                   |
|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Tuğla             | $\alpha \leq \%35$ | $\%35 < \alpha \leq \%50$ |
| Beton             | $\alpha \leq \%35$ | $\%35 < \alpha \leq \%50$ |

Yönetmelikte belirtilen yığma birimlerin en küçük basınç dayanımının dik doğrultuda  $f_{bmin} = 5.0$  MPa, yatay doğrultuda ise  $f_{bhmin} = 2.0$  MPa olması gerektiği belirtilmiştir. Boşluklu beton briketler, dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar, kerpiç, moloz taş, ponza taşı ve benzeri biçim verilmiş blokların homojenlikten uzak ve oldukça düşük dayanıma sahip olmaları sebebi ile hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir. Yığma yapıda kullanılan bağlayıcı harcın TS EN 1015-11 (2000)'e göre en küçük küp basınç dayanımının donatısız ve kuşatılmış yığma için  $f_{m(min.)} = 5.0$  MPa'dan, donatılı yığma için  $f_{m(min.)} = 10.0$  MPa'dan daha küçük bir değerde olmaması istenmiştir.

Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı,  $f_k$  ya doğrudan duvar numunelerinin basınç testine konulmasıyla elde edilmekte ya da standartlara uygun bir şekilde harç ve yığma birimi için ayrı ayrı yapılan deneylerden belirlenmekte eksenel basınç dayanımları kullanılarak Çizelge 2.6'den elde edilebilir.



Çizelge 2.6. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı,  $f_k$  (MPa) (TBDY, 2019)

| Birim-<br>Birim Sınıfı    | Harç<br>Sınıfı       | Harç Basınç<br>Dayanımı,<br>$f_m$ (MPa)* | Yığma Birim Basınç Dayanımı, $f_b$ (MPa) |         |         |          |           |           |
|---------------------------|----------------------|--|--|---------|---------|----------|-----------|-----------|
|                           |                      |  | 5  | 10      | 15      | 20       | 25        | 30        |
| Grup I                    | Genel amaçlı harç    | M10-M20                                  | 3.4-4.2                                  | 5.5-6.8 | 7.3-9.0 | 8.9-11.0 | 10.4-12.9 | 11.9-14.6 |
|                           |                      | M2.5-M9                                  | 2.2-3.3                                  | 3.6-5.3 | 4.8-7.1 | 5.9-8.7  | 6.9-10.1  | 7.8-11.5  |
|                           |                      | M1-M2                                    | 1.7-2.1                                  | 2.8-3.4 | 3.7-4.5 | 4.5-5.5  | 5.2-6.4   | 5.9-7.3   |
|                           |                      | M10-M20                                  | 2.8-3.4                                  | 4.5-5.5 | 6.0-7.4 | 7.3-9.0  | 8.5-10.5  | 9.7-12.0  |
|                           |                      | M2.5-M9                                  | 1.8-2.7                                  | 3.0-4.4 | 3.9-5.8 | 4.8-7.1  | 5.6-8.3   | 6.4-9.4   |
| Grup II ve Kesme taş      |                      | M1-M2                                    | 1.4-1.7                                  | 2.3-2.8 | 3.0-3.7 | 3.7-4.5  | 4.3-5.3   | 4.9-6.0   |
| Tuğla (Grup I)            |                      |  | 2.9                                      | 5.3     | 7.5     | 9.6      | 11.6      | 13.5      |
| Tuğla (Grup II)           | İnce tabakalı harç** |  | 2.2                                      | 3.5     | 4.7     | 5.7      | 6.7       | 7.6       |
| Beton (Grup I), Gaz beton |                      |  | 3.1                                      | 5.7     | 8.0     | 10.2     | 12.3      | 14.4      |
| Beton (Grup II)           |                      |  | 2.6                                      | 4.6     | 6.5     | 8.3      | 10.0      | 11.7      |

(\*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

(\*\*) İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.

Kullanılan malzemeden elde edilen karakteristik basınç deneylerinin varyasyon katsayısının %25'den fazla olmaması gerektiği ifade edilmiştir. Çift katmanlı taşıyıcı yığma duvar için verilen değerler 0.8 katsayısı ile çarpılmalıdır. Basınç dayanımının yanında kesme dayanımı da önemli olduğundan taşıyıcı yığma duvarın karakteristik kesme dayanımı  $f_{vk}$ , hem duvar numuneleri üzerinden yapılan deneylerden elde edilebilir hem de karakteristik basınç dayanımının bilinmesi ile Eş. 2.1 ile hesaplanabilir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \leq 0.10 f_b \quad (2.1)$$

Burada  $\sigma_d$  yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan düşey doğrultulu basınç gerilmesidir. Duvarın karakteristik başlangıç kesme dayanımı ise  $f_{vko}$  doğrudan yapılan deneyler ile elde edilirken Çizelge 2.7'de verilen tablodan da bulunabilir.

Çizelge 2.7. Duvarların başlangıç kesme dayanımları, fvko (MPa) (TBDY, 2019)

| Yığma Birim          | Genel Amaçlı Harç (*) |      | İnce Tabaka Harç |
|----------------------|-----------------------|------|------------------|
| Tuğla                | M10-M20               | 0.30 | 0.30             |
|                      | M2.5-M9               | 0.20 |                  |
|                      | M1-M2                 | 0.10 |                  |
| Beton                | M10-M20               | 0.20 | 0.30             |
|                      | M2.5-M9               | 0.15 |                  |
| Doğal veya Yapay Taş | M1-M2                 | 0.10 | Kullanılmaz      |

(\*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

Duvarların tasarım dayanımları belirlenirken yığma malzemede  $\gamma_m$  ve donatıda  $\gamma_s$  dayanım azaltma katsayıları kullanılmalıdır.  $\gamma_s$  katsayısı 1.15 alınmalı, yığma malzeme katsayısı  $\gamma_m$  ise gaz beton malzemede 1.75, diğer malzemelerde 2.0 olarak alınmalıdır. Yığma binaların tümünde yapılan betonarme bileşenlerin beton sınıfının en az C25 olması istenmiştir. Yığma taşıyıcı duvarların elastisite modülü,  $E_{duv}$  TS EN 1052-1'e göre yapılan deneyler yolu ile belirlenebilmektedir. Malzeme karakteristiklerini belirlemek için yapılacak deneylerin yapılmadığı durumlarda  $E_{duv}$  değeri yapısal çözümlene için  $750f_k$  değerine eşit alınabilir. Donatılı paneller ile oluşturulmuş duvarların elastisite modülü ise  $450f_k$  olarak alınabilir. Duvar kayma modülü de  $G_{duv}$  elastisite modülünün %40'ı olarak alınması gerektiği vurgulanmıştır. Deprem yönetmeliğinde yığma yapıların yatay ve düşey yüklerin birleşik etkileri altında yapısal çözümlenmede sonlu elemanlar ya da eşdeğer çubuk yöntemlerinden biri kullanılarak yapılması istenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan çözümlenmede mikro modelleme ya da makro modelleme yapılarak çözümlene yapılabilir. Makro modelleme tekniği, yığma malzeme kompozit bir yapı olarak düşünülmektedir. Mikro modellemeye ise yığma birimler arasındaki derzler de dikkate alınarak hesap yapılmaktadır. Yapılması istenen iki analiz yöntemi TBDY (2019)'da detaylı olarak verildiğinden ayrıca burada verilmemiştir. Yığma yapılarda rijit diyafram etkisini sağlamak amacıyla, en az 10 cm kalınlığında betonarme döşeme yapılması istenmiştir. Bu döşemede  $6/\phi 12$  boyuna,  $\phi 8/15$  cm enine donatı yerleştirilmeli ve yatay hatıllara mesnetlenmelidir. Yatay hatılların genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olmalı ve düşeydeki aralığı 4.00 m'yi aşmamalıdır. Kuşatılmış yığma binalarda inşa edilen betonarme düşey ve yatay hatıllar yapısal modellemeye dikkate

alınmaması gerektiği vurgulanmıştır. Duvar uzunluğu, kalınlığının iki katından küçük olan duvarların hesaplarda taşıyıcı duvar olarak dikkate alınmaması ifade edilmiştir. Kat yüksekliği maksimum 4.00 m olmalıdır. Deprem bölgelerinde yapılacak yığma yapılarda taşıyıcı duvar olarak alınmaları için minimum duvar kalınlıkları TBDY (2019)'da belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada deprem yönetmeliğindeki verilen ölçüler (maksimum boşluk miktarları, maksimum düşey hatıl aralıkları) dikkate alınmadan deney numuneleri hazırlanmıştır.





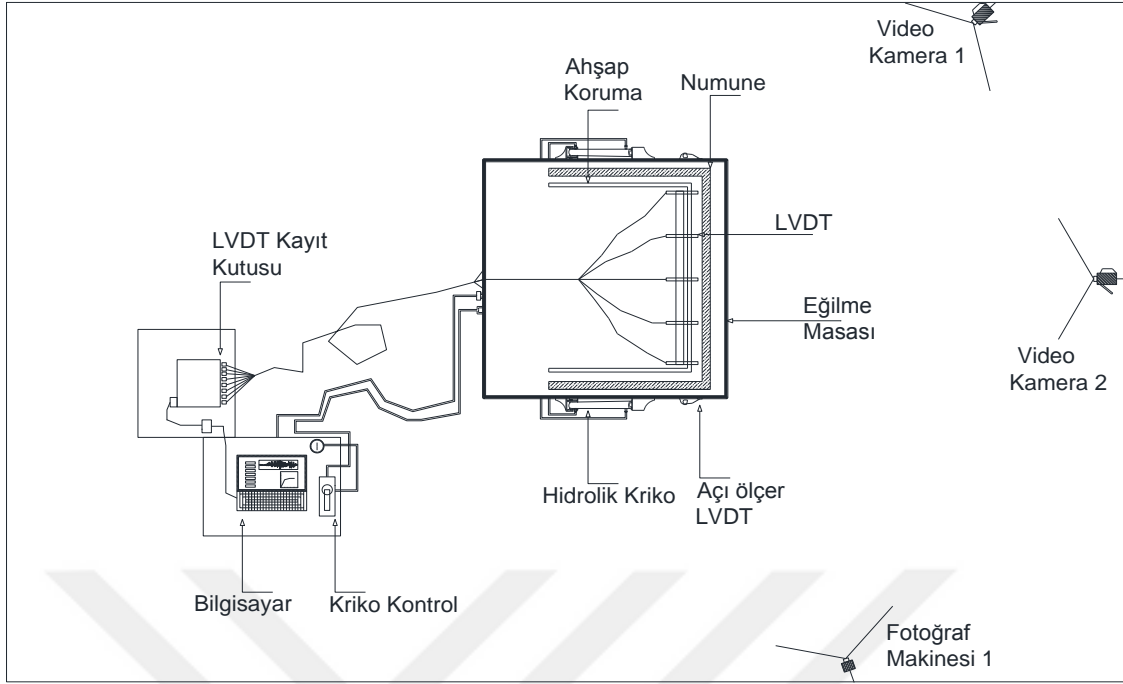
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Yapılan deneysel çalışmada 7 farklı tipte toplam 21 adet tuğla yapısı test edilmiştir. Tuğla malzemesi olarak dolu tuğla yani harman tuğlası kullanılmıştır. Tuğla yaklaşık boyutları 5x10x20 cm'dir. 21 adet deney numunesi için kullanılan toplam tuğla malzemesi miktarı ise 174.72 m<sup>2</sup>'dir. 174.72/ (0.05\*0.2)'dan elde edilen sonuç yaklaşık 17472 adet harman tuğlası olmaktadır. Kullanılan tuğla duvar malzemesinin detaylı özellikleri harman tuğlası başlığı atında anlatılmaktadır (Bkz. Bölüm 3.1.1).

Şekil 3.1'de deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmektedir. Eğilme masası plan boyutu 3.00x3.00 m ebatlarında bir çelik platformdan oluşmaktadır. Platform iki kenarında bir hidrolik kriko vasıtası ile bir kenarından kaldırılıp diğer kenarı etrafında dönmesi sağlanmaktadır. Eğilme masası üzerine yerleştirilen deney numunesine duvar uzunluğu ve yüksekliği boyunca farklı noktalarına konumlandırılan toplam 15 LVDT düzlem dışı deplasmanları kaydetmek amacı ile bağlanmaktadır. LVDT aletlerinin konumlandığı ahşap bir çerçeve bulunmaktadır. Test sırasında oluşan duvar yıkılmalarının masa içerisine göçmesi ile LVDT'lerin zarar görmesini önlemek için de basit bir ahşap koruma çerçevesi yapılmıştır. Bunlara ilave olarak 2 adet LVDT, hidrolik krikoların bulunduğu kenarlarda olmak üzere mafsallara yakın bir noktaya yerleştirilerek eğilme masasının düşey deplasmanı kaydedilmektedir. LVDT'ler eğilme masasının arka tarafına yerleştirilen veri toplama cihazlarına bağlanarak kayıtlar alınmakta, daha sonra bu kayıtlar bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Hidrolik kriko kontrol ünitesi de eğilme masası arkasında konumlandırılarak olası hasarlar engellenmeye çalışılmıştır.

Deney numunelerini test sürecinde kayıt edebilmek için iki video kamera ve bir hızlı çekim yeteneği olan fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Bir video kamera üst çapraz köşeye konulurken bir tane de deney numunesinin tam karşısına yerleştirilmiştir. Fotoğraf makinesi ise diğer üst köşeye masayı diğer açıdan görmek için konumlandırılmış olduğundan video kameralara oranla daha geniş bir açıda yer almaktadır. Testlerde kullanılan materyaller Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



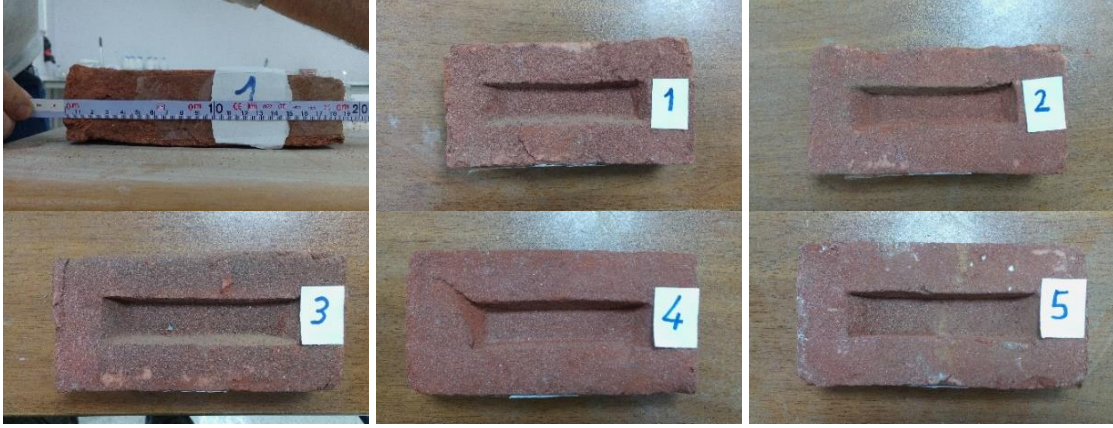
Şekil 3.1. Deney araçları şeması.

### 3.1.1. Harman tuğlası

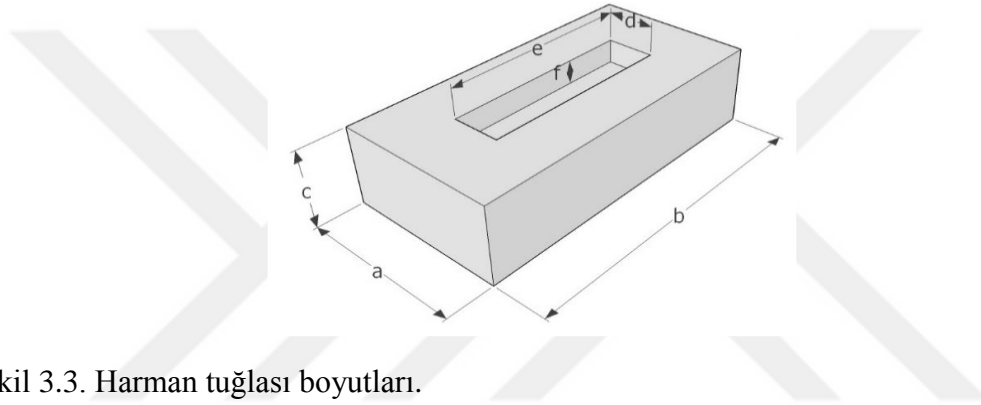
Testlerde kullanılan tuğla dolu harman tuğlasıdır. Harman tuğlası sadece kum, kil, su karışımı olan elle yapılan bir yığma yapı birimidir. Tuğla, kalıplara dökülüp şekil verildikten sonra priz almaya bırakılır. Daha sonra bir arada pişirilir veya şimdilerde kömür közü içerisinde pişirilerek tuğla yapılır. Makine kullanılmadan şekil verildiği için tuğlaların tümü aynı tam ölçülere sahip değildir. Belirli bir tolerans miktarına sahiptirler. Tuğla duvarlarda kullanılan malzemeden 5 adet tuğla numunesi alınarak birim ölçüleri tabloda verilmiştir. Kullanılan harman tuğlası Şekil 3.2’de gösterildiği gibidir ve birim hacim ağırlıkları belirlenmesi için ortalama ölçüleri alınmıştır.

Elde edilen numune bilgileri ile aşağıdaki gibi birim hacim ağırlık bulunmuştur. Bunlar;

- Ortalama hacim  $777.27 \text{ cm}^3$
- Ortalama birim hacim ağırlık  $2.00 \text{ t/m}^3$



Şekil 3.2. Ölçüm alınan tuğla duvar malzemeleri.



Şekil 3.3. Harman tuğlası boyutları.

Çizelge 3.1. Harman tuğlası numune bilgileri

| Numune   | Ağırlık(g) | a (cm) | b (cm) | c (cm) | Boşluk (cm) |      |     |
|----------|------------|--------|--------|--------|-------------|------|-----|
|          |            |        |        |        | d           | e    | f   |
| 1        | 1567.6     | 9.4    | 19.2   | 5.0    | 3           | 12.0 | 1.5 |
| 2        | 1506.2     | 9.3    | 19.0   | 4.6    | 3           | 11.5 | 1.5 |
| 3        | 1475.3     | 8.9    | 18.9   | 4.8    | 3           | 12.0 | 1.5 |
| 4        | 1589.2     | 9.3    | 19.3   | 4.7    | 3           | 11.5 | 1.5 |
| 5        | 1645.5     | 9.3    | 19.1   | 4.4    | 3           | 12.0 | 1.5 |
| Ortalama | 1556.76    | 9.25   | 19.1   | 4.7    | 3           | 11.8 | 1.5 |

Kullanılan harman tuğlalarının basınç dayanımlarını belirlemek amacı ile bir dizi deney yapılmıştır. Harman tuğlası malzemesinin yüzeyi pürüzlüğü olduğundan yüzeyi kesiciler ile pürüzsüzleştirilerek ve daha sonra temas eden iki yüzeye çimento, söndürülmüş toz kireç ve su karışımı başlık yapılmıştır (Şekil 3.4.). 5 adet harman tuğlası yüzeyi pürüzsüzleştirilerek ve iki yüzeye başlık yapıp basınç testi yapılırken 5 adet harman tuğlası da yüzeyi pürüzsüzleştirilmeden doğrudan iki yüzeye başlıklar yapılarak

test edilmiştir. Burada toplamda 10 adet tuğla basınç testi yapılmasının nedeni harman tuğlasının yüzeyi düzleştirilmeden doğrudan test edilmesi durumunda herhangi bir farklılık olup olmadığını belirlemektir.

Çizelge 3.2’de yüzeyi kesiciler ile düzleştirilmemiş numunelerin ve Çizelge 3.3’te yüzeyi düzleştirilmiş numunelerin boyutları ve basınç testinde ölçülen maksimum yük ve gerilmeleri verilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Yapılan tuğla basınç testleri dolu harman tuğlası malzemesini tanımak amacıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, eğilme masası ile yapılan deneysel çalışmada bulunan grafik ve sonuçlara bir etkisi olmamıştır.



a) 5 adet numunenin yüzey düzleştirilmesi



b) Numune başlık yapımı

Şekil 3.4. Dolu harman tuğlası basınç testi hazırlığı.



a) Tüm numuneler



b) Yüzeyi düzleştirilmemiş numune basınç testi



c) Yüzeyi düzleştirilmiş numune basınç testi

Şekil 3.5. Dolu harman tuğlası basınç testi.



Çizelge 3.2. Yüzeyi düzleştirilmemiş numunelerin basınç testi

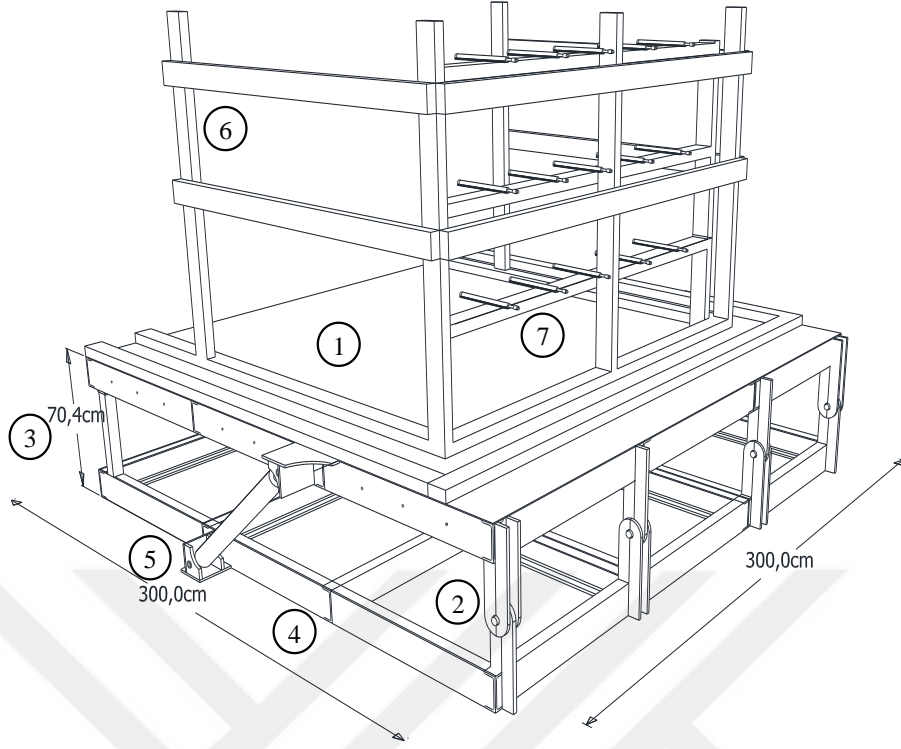
| Yüzeyi Düzleştirilmemiş |            |             |                                   |                  |                       |
|-------------------------|------------|-------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------|
|                         | En<br>(mm) | Boy<br>(mm) | Yüzey Alanı<br>(mm <sup>2</sup> ) | Mak. Yük<br>(kN) | Mak. Gerilme<br>(MPa) |
| 1                       | 95         | 190         | 18050                             | 423              | 23                    |
| 2                       | 96         | 192         | 18432                             | 465              | 25                    |
| 3                       | 95         | 193         | 18335                             | 402              | 22                    |
| 4                       | 95         | 194         | 18430                             | 464              | 25                    |
| 5                       | 92         | 189         | 17388                             | 375              | 22                    |
| Ortalama                |            |             |                                   |                  | 23                    |

Çizelge 3.3. Yüzeyi düzleştirilmiş numunelerin basınç testi

| Yüzeyi Düzleştirilmiş |            |             |                                   |                  |                       |
|-----------------------|------------|-------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------|
|                       | En<br>(mm) | Boy<br>(mm) | Yüzey Alanı<br>(mm <sup>2</sup> ) | Mak. Yük<br>(kN) | Mak. Gerilme<br>(MPa) |
| 1                     | 95         | 191         | 18145                             | 635              | 35                    |
| 2                     | 89         | 194         | 17169                             | 686              | 40                    |
| 3                     | 96         | 193         | 18384                             | 460              | 25                    |
| 4                     | 94         | 190         | 17860                             | 732              | 41                    |
| 5                     | 96         | 192         | 18288                             | 684              | 37                    |
| Ortalama              |            |             |                                   |                  | 36                    |

### 3.1.2. Eğilme masası tasarımı

Yapılan deneysel çalışmalarda 3.00x3.00 m plan boyutlarında bir eğilme masası kullanılmıştır. Üniversitemiz envanterinde böyle bir deneysel eğilme masası bulunmadığı için TÜBİTAK'ın vermiş olduğu destek ile 117M316 no'lu proje kapsamında eğilme masası imal edilmiştir. Eğilme masası bu proje kapsamında yapıldığından tasarımı projeye aittir. Bu nedenle detaylı tasarımı, tez içerisinde yer almamıştır. Bu projenin devamı niteliğinde bu yüksek lisans tezi de hazırlanmıştır. Eğilme masası 7 ayrı parçaya ayrılıp imal edilmiştir; 1. Üst Tabliye, 2. Mafsal Ayakları, 3. Sabit Ayaklar, 4. Alt Izgara, 5. Hidrolik Kriko, 6. Koruma Ahşabı, 7. LVDT- Destekleri.



Şekil 3.6. Eğilme masasının şematik görünümü.

### 3.2. Yöntem

Hazırlanan yüksek lisans tezinde inşaat mühendisliği laboratuvarında eğilme masası üzerinde inşa edilen 7 farklı tipteki deney duvarının düzlem dışı davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada düzlem içi herhangi bir ölçüm alınmamış ve değerlendirme yapılmamıştır. Eğilme masası yaklaşık  $45^\circ$  ye kadar eğilebilmektedir. Deney numunelerinden alınan ölçümler doğrudan yığma birimler üzerinden alınmıştır. Eğilme masası deneylerindeki en önemli olgulardan biri eğilme masasının sahip olduğu birim zamandaki yaptığı açıdır. Literatür çalışma neticesinde eğilme masası deneylerinde sabit ve belirlenmiş bir hız değerinin kullanılmadığı görülmüştür. Bu sebeple bu çalışmada referans alınacak herhangi bir hız değeri bulunmamaktadır. Test sürecinde deney numunelerinin yaptığı deplasmanların kolay ve güvenilir bir şekilde kaydedilmesine olanak verecek bir şekilde eğilme masasının hızı saniyede  $0.25^\circ$  ile  $0.40^\circ$  arasında ayarlanmıştır. Her deney sırasında hız sabit tutulmaya çalışılmıştır. LVDT ile ölçümler saniyede 8 kayıt alacak şekilde ayarlanmıştır.

### 3.2.1. Düzlem dışı deplasmanlar

Eğilme masası ile yapılan deneylerde masanın kalkarken ve inerken yaptığı açı, bu açıya ulaşırken kazanılan hız ve eğilme masası üzerinde bulunan deney numunesinin düzlem dışı deplasmanları belirlenebilmektedir. Yapılan deneylerde ölçümler LVDT'ler yardımı ile eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Literatürde düzlem dışı deplasmanları belirlemeye yönelik olarak yapılan çoğu deneyde deplasmanlar çoğunlukla sarsma masalarında ivmeölçerlerin kaydettiği ivme değerlerinin deplasmanlara dönüştürülmesi ile belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise deplasman değerlerinin doğrudan düzlem dışı davranışı sergileyen duvarlardan alınması bu konuda bir ilk olmaktadır. Ölçümler duvarın yatay ve düşey konumunda önceden belirlenmiş 15 noktaya yerleştirilen LVDT'ler yardımı ile yapılmıştır. Eğilme masasının birim zamanda yaptığı açıyı ölçmek için ise 2 adet LVDT masanın iki yanına konumlandırılmıştır. Deplasman profillerinin belirlenmesi düzlem dışı davranışı anlamaya katkıda bulunarak bu tip duvarlara nasıl müdahale edilmesi gerektiği konusuna ışık tutacaktır.

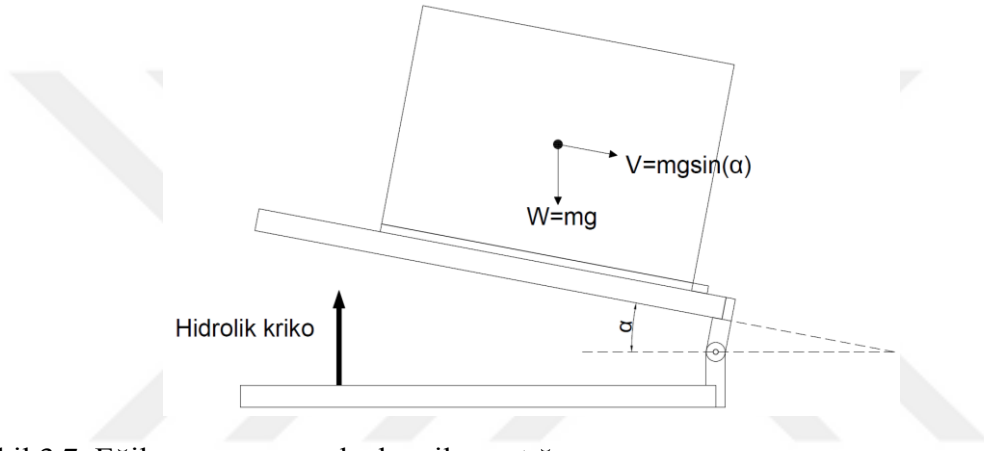
### 3.2.2. Yığma duvar yapılarının yatay yük kapasitesi

Yapılara etki eden deprem yükü sarsma masasında deprem ivme zaman verisi etki edilerek kuvvete dönüştürülür iken eğilme masasının söz konusu olduğu deneysel çalışmalarda masanın açısı kullanılarak kuvvet bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında etki eden kuvveti bulmak için kullanılan eğilme masasının açısı iki deplasman ölçerinin masa yüksekliğini ölçmesi ve daha sonra o yüksekliğin açıya dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Yığma duvar yapılarının düzlem içi veya düzlem dışı yük taşıma kapasiteleri duvarın kütlesiyle doğrudan orantılıdır. Kütle arttıkça yapıya etki eden yatay kuvvet artmaktadır. Burada yığma yapı rijitliği önem kazanmaktadır. Deprem kaynaklı yatay kuvvet altında yapının belirli bir performans sağlaması gerekmektedir. Newton'un 2. yasası gereği  $F=ma$ 'dan temel prensip olarak kuvvet bulunmaktadır. Burada "a" sistemin kazandığı ivmedir ve bu tez kapsamında yapılan çalışmada "g" (yerçekimi ivmesi) olarak alınmıştır. "m" ise kütledir.

Eğilme masası üzerinde belirli bir "m" kütlesine sahip yığma yapının kütlesi yer çekimi doğrultusunda zemine dik bir şekilde etkimektedir. Eğilme masası eğildikçe bu

kütle eğim açısı ile orantılı bir şekilde yatay ve düşey kuvvetlere dönüşmektedir. Düşey kuvvet yine yığma yapının kütesini temsil etmekte fakat yatay kuvvet, yığma yapıya kütesinin belirli bir oranında etkiyen taban kesme kuvvetine karşılık gelmektedir. Taban kesme kuvveti ( $V$ ), kütle ( $m$ ) ve eğilme masasının açısı  $\alpha$  (Şekil 3.7) ile doğrudan bağlantılı olduğundan Eş. 3.1 ile hesaplanabilmektedir. Taban kesme kuvveti tepe noktası maksimum deplasmanı ile ilişkilendirilerek  $V/W$  itme (pushover) grafikleri çizilmiştir.

$$V = mgsina \quad (3.1)$$



Şekil 3.7. Eğilme masasının düzlem ile yaptığı açısı.

#### 4. BULGULAR

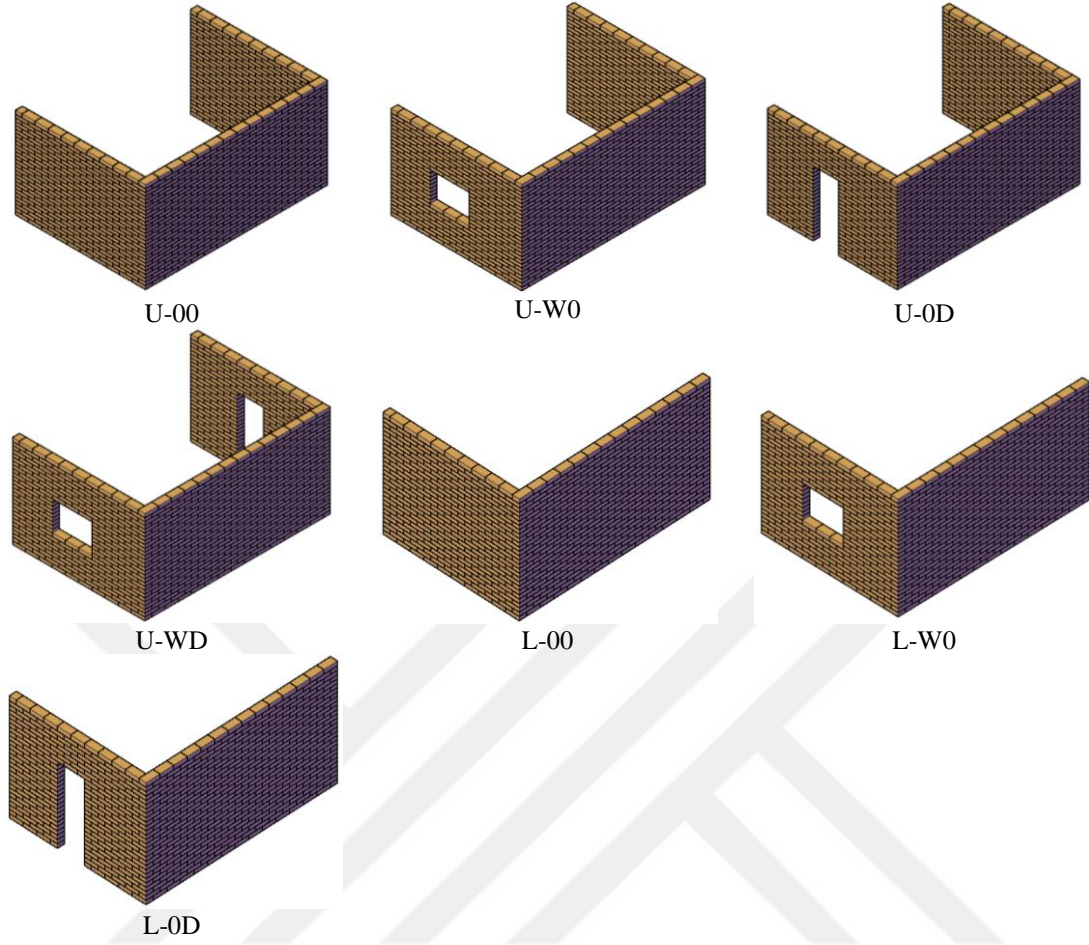
Literatürde düzlem dışı davranış deneyleri çoğunlukla küçük ölçekli duvarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Büyük ölçekli duvarların davranışlarının küçük ölçekli duvarlardan ne ölçüde farklı olduğunun belirlenmesi önemlidir. Bu hususun aydınlığa kavuşturulabilmesi amacı ile nispeten büyük ölçekli ( $\frac{1}{2}$  ölçekli) duvarlar kullanılarak düzlem dışı davranışlar belirlenmeye çalışılmıştır. Laboratuvar kısıtlamaları sebebi ile 1/1 ölçekli duvar testleri yapılamamıştır. Hem deprem sonrası gözlemler hem de literatürdeki eksiklikler dikkate alındığında yüksek lisans tezi kapsamında yapılan düzlem dışı davranış testlerinin önemli bir açığı kapatacağı düşünülmektedir. Elde edilecek veriler bu tip davranışın daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacak ve yapılacak olan matematiksel modellere bir temel oluşturacaktır.

Yapılan deneylerde asıl olarak göçmeye sebep olan deplasmanlar kaydedilmiştir. Genel olarak literatürdeki düzlem dışı deplasman çalışmaları analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu projede harman tuğlası ile inşa edilmiş yığma duvarların hem düşey hem de yatay deplasman profillerinin çıkarılabilmesi amacı ile 15 adet deplasman ölçer eğilme masası üzerine yerleştirilmiş ve gerçek zamanlı ölçümler alınarak her bir duvar tipi için itme grafikleri (pushover), yatay ötelenme grafikleri ve düşey ötelenme grafikleri oluşturulmuştur. İtme grafikleri duvarın rijitlik, dayanım ve süneklik bilgilerini barındırdığı için önemli bir yer tutmaktadır. Buna ek olarak Türkiye Deprem Yönetmeliği 2019'nda da doğrusal olmayan itme yöntemlerinin alternatif bir deprem yüklemesi olarak düşünülmüş olması elde edilecek itme grafiklerini daha da önemli hale getirmektedir. Yapılan çalışmada düzlem dışı davranışa etkisi olduğu bilinen yan duvar karakteristik özellikleri bu çalışmada incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada düzlem dışı hareket eden duvar özellikleri sabit tutulmuş herhangi bir boyut, malzeme, harç kullanımına, boşluk olması durumuna göre değişiklik yapılmadan tüm deneyler test edilmiştir. Değişen ve bu değişikliğin düzlem dışı davranışa etkisi ölçülen duvarlar yan duvarlardır. Yan duvarlarda kapı ve pencere boşluklarının oluşması ile ana duvarların nasıl bir davranış sergileyeceği araştırılmıştır. Yan duvarlarda bırakılan boşlukların, düzlem dışı davranış gösteren duvarda ne ölçüde bir rijitlik, dayanım ve deplasman kapasitesi kaybı yaşattığını ölçmek amacıyla testler yapılmıştır. Bu amaçla toplamda 7 farklı deney duvarı

hazırlanmıştır (Şekil 4.1). Bütün duvar tiplerinde duvar yüksekliği 1.40 m, yan duvar uzunluğu ise 2.00 m olarak alınmıştır. Düzlem dışı davranışı belirlenmek istenen duvarın uzunluğu 2.80 m ve düzlemsel narınlığı ise 0.5 tir.

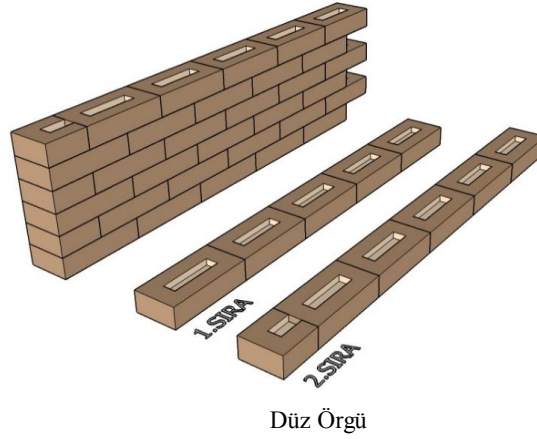
U-00 ve L-00 duvarları referans deneyler olarak kullanılmıştır. Kapı boşluğunun etkisinin görülmek istendiği U-0D ve L-0D duvarlarında kapı boşluğu genişliği 50cm, yüksekliği 1m kapı üst noktasının duvar üst noktasına olan yüksekliği 40 cm olup düzlem dışı hareket eden duvara 60 cm uzaklıkta konumlandırılmıştır. U-W0 ve L-W0 duvarlarında yerden yüksekliği 45 cm, en üst noktaya olan yüksekliği de 45 cm olarak bırakılan pencere boşluklarının düzlem dışı duvara etkisinin araştırıldığı testlerde pencere; düzlem dışı hareket eden duvara 60cm uzaklıkta konumlandırılmıştır ve boyutları 50 cm (genişlik) ve 50 cm (yükseklik) olarak alınmıştır. U-WD duvarı ise hem kapı boşluğu hem de pencere boşluğu olacak şekilde sadece U şeklindeki duvarda için yapılan bir konfigürasyondur. Kapı ve pencere boşluklarının boyutları tüm duvarlarda aynı boyutta ve aynı konumda yer almaktadır.

Yapılan testlerde yan duvarda bulunan kapı boşluğunun, pencere boşluğunun hem kapı hem de pencere boşluğunun, duvar geometrisinin farklılığının düzlem dışı davranışa olan etkisi araştırılmıştır. Olası lokal problemleri minimuma indirmek için her bir deney duvarından üçer olmak üzere toplamda 21 adet duvar test edilmiştir. Test duvarları her bir testi daha iyi anlamak için ayrı ayrı başlıklar altında yazılmıştır. Testlerde çok sayıda veri ağı olduğu için bunlar tablolar dahilinde her bir test için ayrı ayrı verilmiştir. Tablolarda öncelikle duvarların yıkılma şekilleri verilmiştir. Yıkılma şekillerinden sonra yatay ötelenmeleri iki ayrı grafikte; yandan görünüş ve üstten görünüş, şeklinde verilmiştir. Her bir test başlığındaki testleri daha iyi anlamak için bölüm içerisinde bir karşılaştırma ve tanımlama yapılmıştır. Çizelge 4.1'de deney elemanlarının özelliklerini göstermektedir. Duvar kalınlığı için yapılan literatür taramasında tuğla duvarların kalınlığının kullanım amacına göre değişmekle beraber 20 cm ile 100 cm arasında değiştiği görülmüştür. 7 adet tuğla duvar yapıları görsel olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan duvar tipleri.

Şekil 4.1’de belirtilen her bir duvar örneğinden üçer adet deney numunesi test edilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında ve Türkiye’deki çoğu yapıda kullanılan örgü şeklinin geleneksel düz örgü olduğu görüldüğünden yapılan çalışmada bu tür yapıları temsil etmesi gayesi ile 21 adet duvarda da düz örgü kullanılmıştır. Şekil 4.2’de test duvarlarında yapılan düz örgü şekli gösterilmiştir. Çalışmada harman tuğlası kullanılarak inşa edilmiş tek cidarlı harçsız duvarlar test edildiğinden tuğla duvarların kalınlığı 10 cm ( $\frac{1}{2}$  ölçekli durumda) olarak alınmıştır (Şekil 4.2). Duvar numunelerin her birinin kütlesi yapılan deneylerde önem arz ettiğinden tüm 7 test duvarının kütleleri Çizelge 4.1’te verilmiştir. Tuğla birimlerinin ortalama birim hacim ağırlığı  $2.00 \text{ g/cm}^3$  ya da birim dönüşümü ile  $2 \text{ t/m}^3$ ’tür.



Şekil 4.2. Duvar örgü şekli.

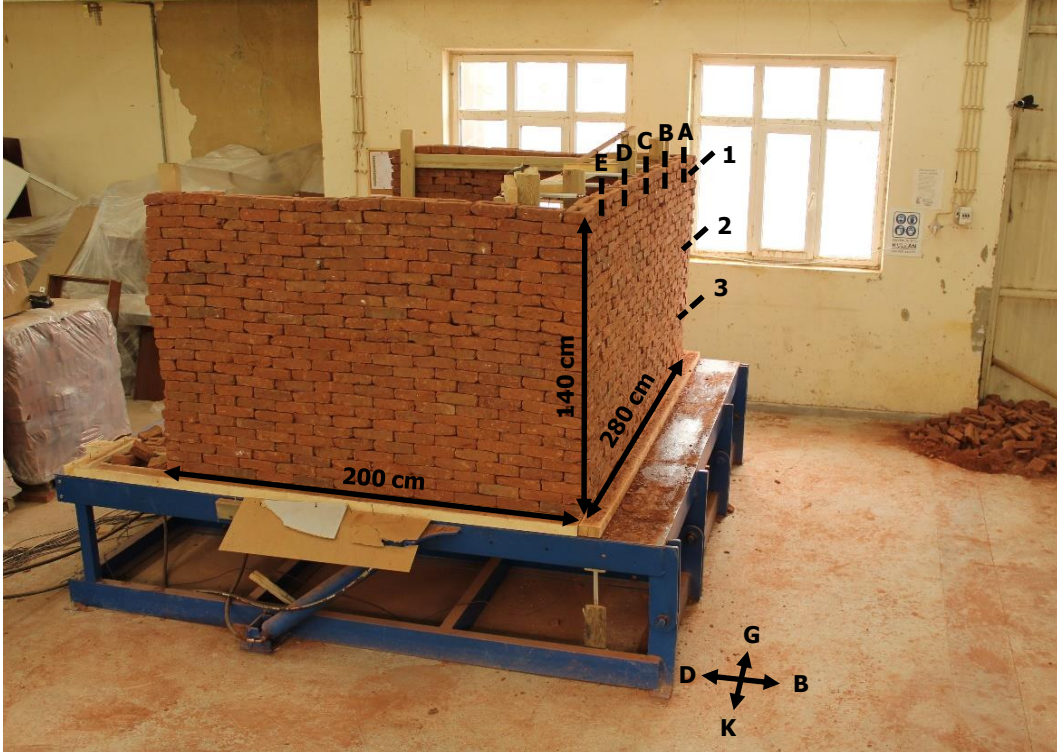
Çizelge 4.1. Test duvarlarının kütlesi

| Duvar Adı | Yan Duvar Adedi | Kapı Boşluğu (en/boy), (cm) | Pencere Boşluğu (en/boy), (cm) | Tuğla brm. (t/m <sup>3</sup> ) | Tüm Duvarın Hacmi (m <sup>3</sup> ) | Tüm Duvarın Kütlesi (t) |
|-----------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| U-00      | 2               |                             |                                | 2                              | 0.952                               | 1.904                   |
| U-W0      | 2               |                             | 50*50                          | 2                              | 0.927                               | 1.854                   |
| U-0D      | 2               | 50*100                      |                                | 2                              | 0.902                               | 1.804                   |
| U-WD      | 2               | 50*100                      | 50*50                          | 2                              | 0.877                               | 1.754                   |
| L-00      | 1               |                             |                                | 2                              | 0.672                               | 1.344                   |
| L-W0      | 1               |                             | 50*50                          | 2                              | 0.647                               | 1.294                   |
| L-0D      | 1               | 50*100                      |                                | 2                              | 0.622                               | 1.244                   |

Çalışmada kullanılan eğilme masası ve yığma duvarın eğilme masası üzerindeki konumu Şekil 4.3.a'da deplasman ölçerlerin konumu Şekil 4.3.b'de ve yığma duvarın göçme anında eğilme masasının görünümü Şekil 4.3.c'de verilmektedir. Eğilme masasının plan boyutları 300x300 cm olup yüksekliği 70.4 cm'dir. Masa her iki kenarına konumlandırılmış hidrolik krikolar ile kaldırılarak sağ kenarında bulunan dört adet mafsal etrafında dönmektedir. Eğilme masasının üzerine sabitlenmiş çerçevelerin deplasman ölçerlere mesnet olmaları sağlanmıştır (Şekil 4.3.b). Eğilme masası üzerinde belirli mesafelerde delikler açılarak duvara temel etkisi verecek şekilde ilk duvar sırasını tutacak ahşaplar bağlanmıştır. Bu bağlantıların olmaması durumunda, duvar ile eğilme masası arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yeterli olamaması sebebiyle duvar eğilme sırasında masa üzerinden kayabilecektir. Eğilme masası hareket yönü tek yönde eğilecek şekilde



tasarlanmıştır. Bunun nedeni iki yönlü eğilme durumu karmaşık bir davranışa sebep olacağından sistemi olabildiğince basitleştirip değişken sayısını azaltmanın davranışı yorumlamada faydalı olacağı düşünülmüştür.



a) Eğilme masası düzeneği ve deney elemanı.



b) Deney elemanı ve deplasman ölçerlerin konumları.

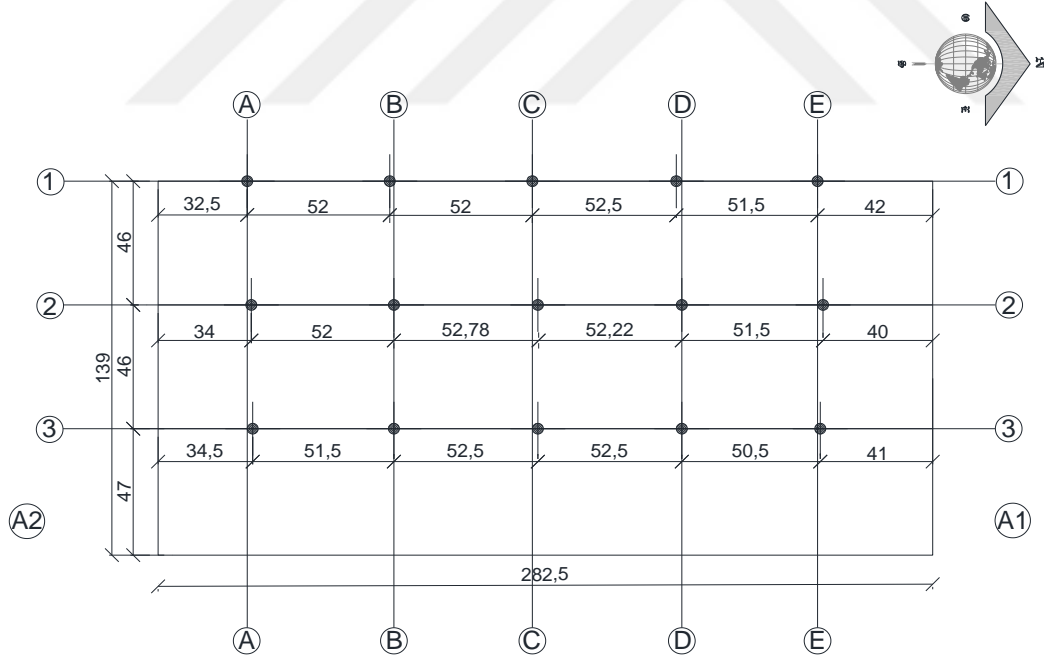
c) Göçme durumunda eğilme masasının ve deney elemanının durumu.

Şekil 4.3. Eğilme masası özellikleri.

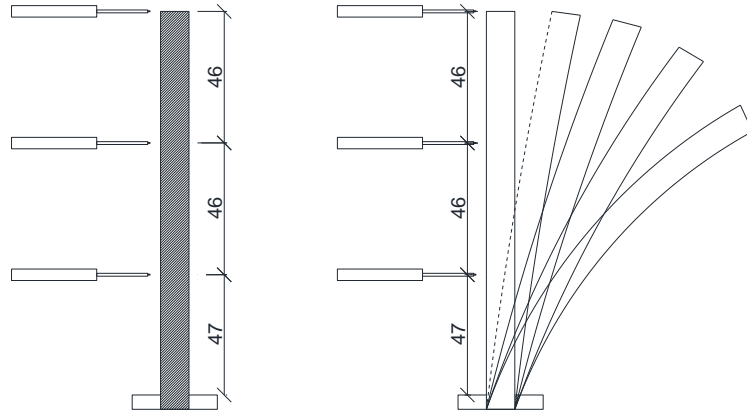
Deplasman ölçerler duvarın 0.47 m, 0.93 m ve 1.39 m yüksekliğine denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.4). Düşeyde 3 farklı yükseklikte, yatayda ise 5 farklı uzunlukta okuma yapılacak şekilde LVDT'ler (deplasman ölçerler) yerleştirilmiştir.

LVDT'lerin fazla olması duvarın düzlem dışı deplasman hareketleri hakkında daha fazla veri elde ederek gerçek davranış profilinin belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Deplasman ölçerler yığma duvar elemanlarına sıcak silikon ile bağlanarak duvar elemanı ile göçme anına kadar beraber hareket etmesi amaçlanmıştır, göçme durumunda ise bu silikonların duvardan kopması planlanmıştır. Silikon kullanılmasının nedeni göçme durumunda yığma birimden (tuğla) koparak aletlerin zarar görmesini önlemektir. İki deplasman ölçer de eğilme masasının yükselmesini ve masa açısını ölçmesi amacı ile eğilme masası altına yerleştirilerek düşey deplasmanı eş zamanlı olarak kaydedip yatay deplasman ile düşey deplasman arasında ilişki kurulmasını sağlamaktadır.

Deplasman ölçerlerin konumu yapılan ölçümlerde ve elde edilen verilerden sağlıklı bir sonuç çıkarmak için çok önem arz etmektedir. Deplasman ölçerlerin konumu Şekil 4.4'te verilmiştir. A1 ve A2 olarak gösterilen iki kenardaki deplasman ölçerler ise düşeyde sadece eğilme masası yükselmesini ölçmektedir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi deplasman ölçerler silikon ile tuğla birimlerine bağlanmıştır.



Şekil 4.4. Deplasman ölçerlerin konumu.



Şekil 4.5. Deplasman ölçerlerin test duvarı ile teması.

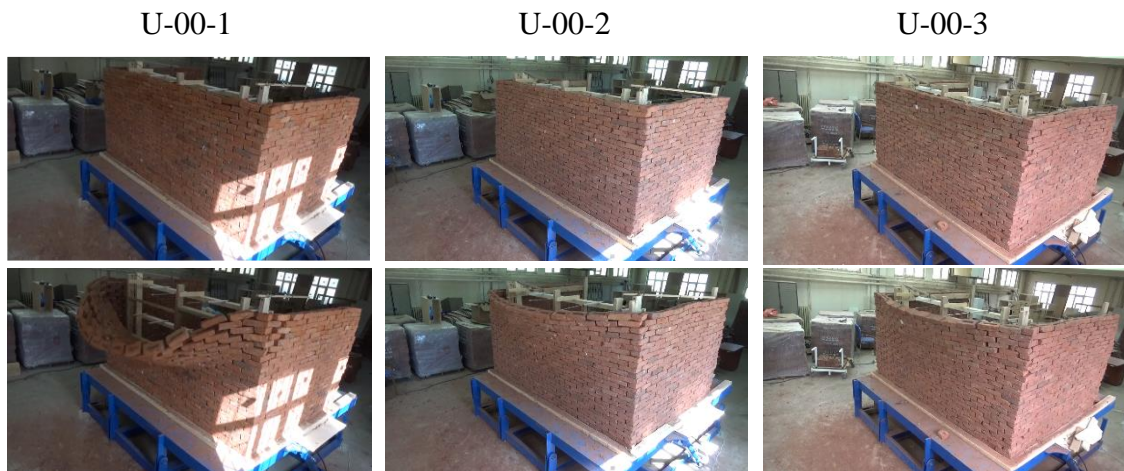
#### 4.1. U-00 Test Duvar Yapısı

U-00 harç kullanılmadan harman tuğlalarının düz örgü biçiminde örülmesi ile inşa edilen U-geometrisine sahip duvarı temsil etmektedir. Bu duvarda bulunan iki yan duvarda da boşluk bulunmamaktadır. Bu duvar tipi kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Şekil 4.6'da test edilen duvar yapılarının yıkılma görselleri verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere üç duvar da (U-00-1, U-00-2, U-00-3) ön duvarın büyük düzlem dışı deplasmanları neticesinde göçmüştür. Düzlem dışı deplasmanlar duvarın desteklenmemiş üst ucunun orta bölgesinde maksimum değere ulaşmış, desteklenmiş yan duvarlara ve temel seviyesine doğru gidildikçe azalmaya başlamıştır. Bu durum duvarların üç boyutlu bir kemer halini almasına yol açmıştır. Yan duvarlar büyük düzlem içi rijitlikleri sebebi ile nispeten daha az hasar görmüşlerdir. Düzlem içi yüklenen yan duvarlarda tuğla birimler arasındaki sürekli sürtünme, yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe aşılammış ve bu duvarlardaki hasar çoğunlukla duvarların birleştiği üst köşelerde lokal olarak gerçekleşmiştir.

En büyük yan duvar hasarı U-00-1 duvarında görülmüştür. Bu duvarda sol tarafta bulunan yan duvar ön duvarın göçmesini takiben düzlem dışı ötelenerek göçmüştür. U-00-1 duvarının nispeten düşük kapasiteye sahip olması tuğla birimlerinin geometrik bozuklukları dikkate alınmadan yapılan işçilik hatası ile lokal problemler, duvar yapısının sahip olması gereken yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmadan daha küçük bir değerde göçmesine neden olmuştur.

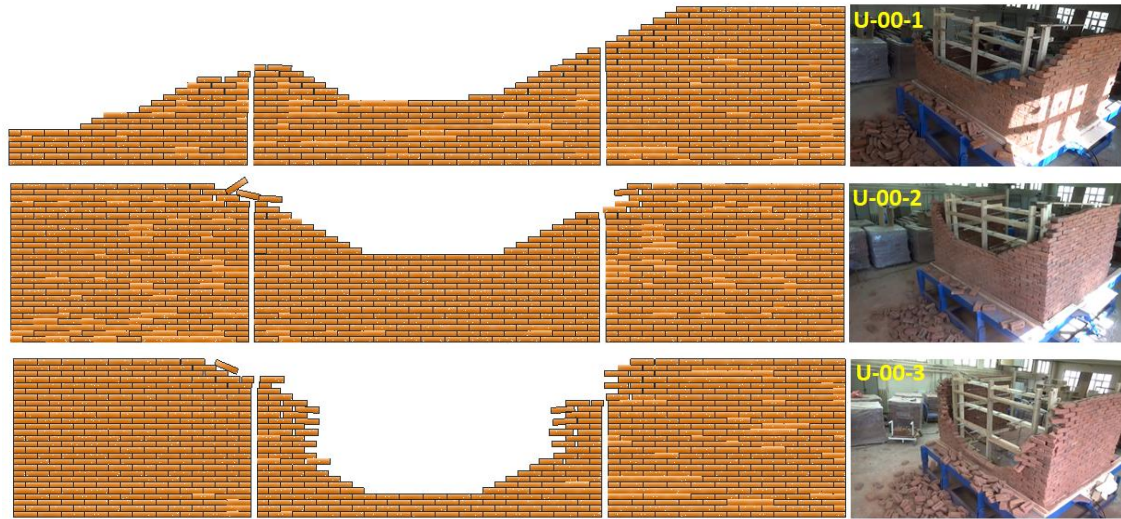
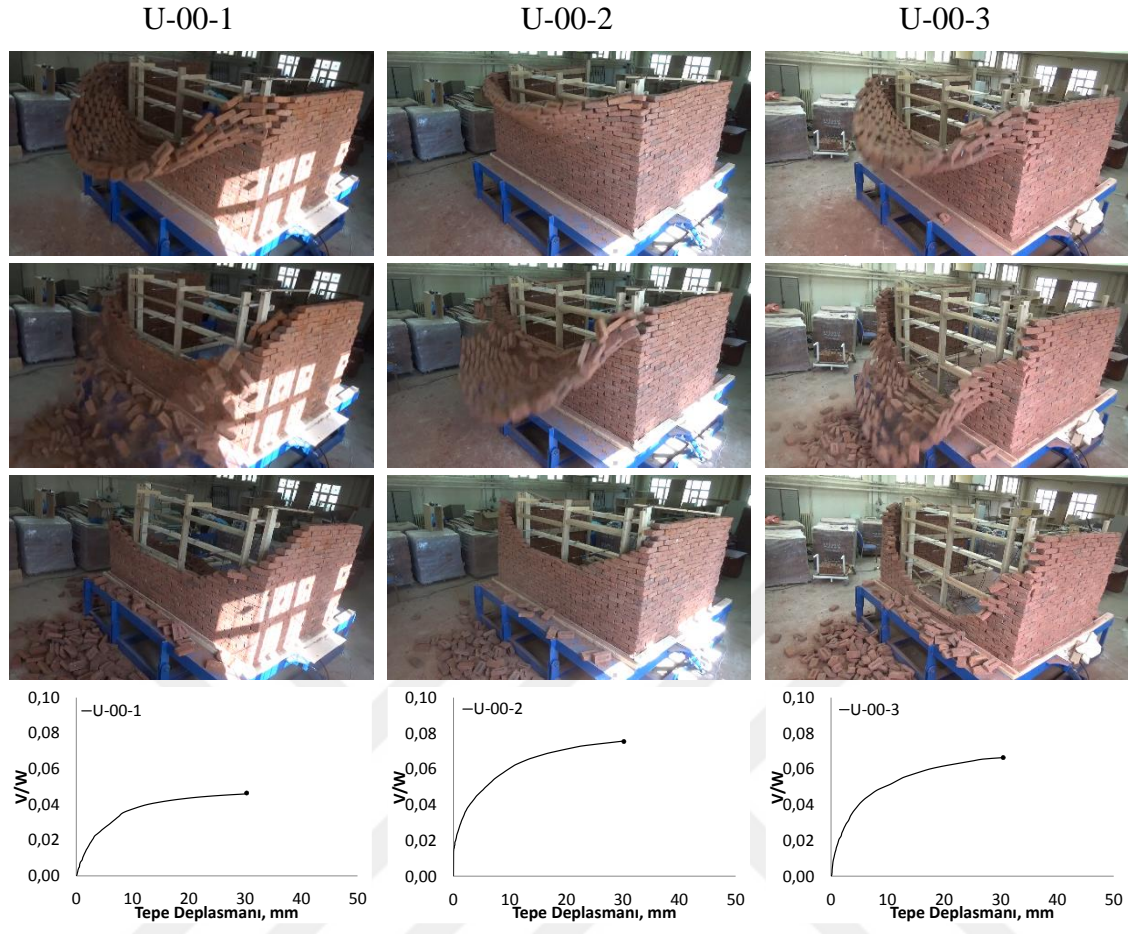
Üç duvarın düzlem dışı deplasman profilleri incelendiğinde, yan duvarların düşük deplasmanlarda çok önemli bir katkısının olduğu, duvarın iki yan kenarı ile temel seviyesi ankastre mesnetli bir kabuk eleman gibi davrandığı görülmüştür. Büyük deplasmanlarda ise ankastreliğin bir miktar kaybolarak plastik mafsalların oluştuğu ve büyük dönmelerin gerçekleştiği görülmüş, bu durumun ise iki yan kenarı sabit (veya kısmi kayıcı) mesnetli temel seviyesi yine ankastre mesnetli bir kabuk eleman gibi davrandığı tespit edilmiştir.

Duvarların göçme profillerini anlayabilmek amacı ile Şekil 4.7’de duvarlar göçtükten sonra tüm yığma birimlerin yerleri ve deformasyonları çizilmiştir. Şekilden görüleceği üzere üç duvarda da orta bölgenin desteklenmemiş üst kenarı göçmüştür. Duvarlar harç kullanılmadan inşa edildiğinden tuğla birimler arasındaki yük aktarımı sadece sürtünme kuvveti ile olmaktadır. Sürtünme kuvvetinin erken aşılması elemanlar arasındaki bağlantının erken kopmasına neden olmaktadır. Sürtünme kuvvetinin düşey yüke ve elemanın yüzeyine bağlı olması hatırlandığında, U-00-2 duvarında elemanlar arasındaki bağlantıların diğerlerine nazaran daha iyi olduğu söylenebilir. U-00-3 duvarında ön duvardaki elemanlar arasındaki bağlantı iyi olmamasına rağmen ön duvarın yan duvarlar ile birleştiği kenarlarda çok iyi bağlantılar oluşturulduğu görülebilir. U-00-1 ise en kötü bağlantı özelliğine sahip duvar olarak öne çıkmaktadır. Çünkü bu duvarda yan duvar hasarı önemli mertebelere ulaşmıştır. Ön duvar üç farklı noktada mafsal oluşturarak göçmüştür. İlk mafsal ön duvarın orta yüksekliğine yakın bir yatay eksen üzerinde, diğer iki mafsal ise her iki duvarın birleştiği noktadan diyagonal uzanarak meydana gelmiştir (Şekil 4.7).



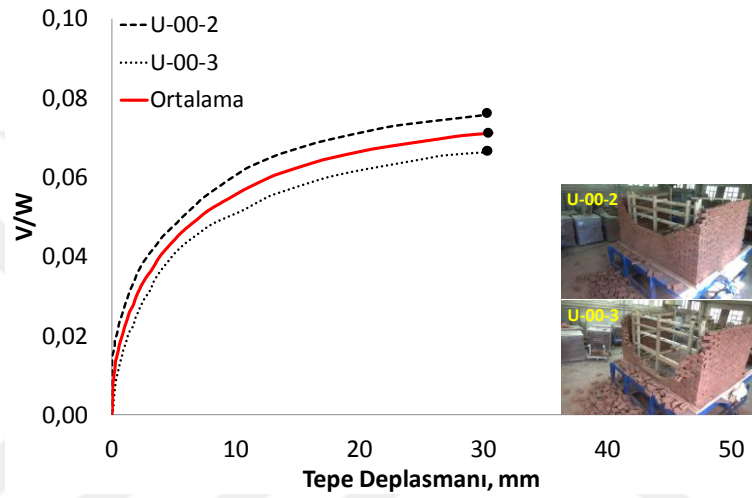
Şekil 4.6. U-00 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.





Üç duvar numunesinin global açıdan benzer fakat lokal açıdan farklı davranış sergilemesi, duvar inşası sırasında yüzeyleri düzgün olmayan tuğla elemanların lokal

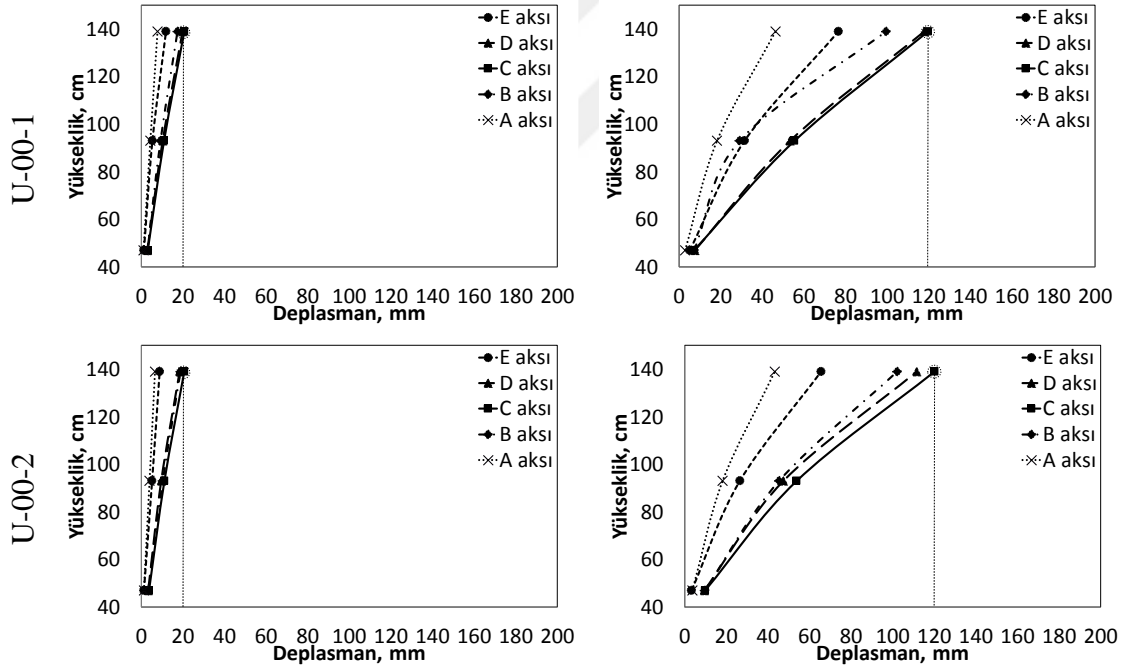
zayıflıklar oluşturması ile açıklanabilir. Grafiklerdeki  $V$  taban kesme kuvvetini,  $W$  ise duvar kütleini temsil etmektedir. İtme grafikleri incelendiğinde U-00-1'in %4.6, U-00-2'nin %7.6 ve U-00-3'ün ise %6.9 yatay yük kapasitesine sahip olduğu görülebilir. U-00-1 duvarının deney sonucunun diğerlerine nazaran çok farklılık göstermesi sebebi ile bu duvarın sonuçları ortalama itme grafiğine dahil edilmemiştir. İki grafiğin ortalaması alındığında iki yan duvara sahip boşluksuz tuğla duvarın %7.3 yatay yük kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4.8. U-00 duvar yapılarının itme grafikleri.

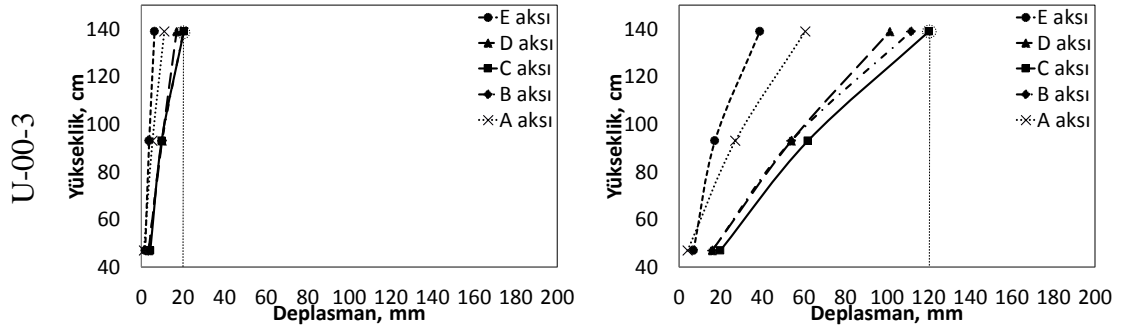
Yapılan testler sonucunda U-00 duvarlarının deplasman profillerini belirlemek amacıyla ön duvar yatayda 5 aks ve düşeyde 3 aks olmak üzere akslara bölünmüştür (Bkz. Şekil 4.4). Birçok tasarımda kullanılan görelî kat ötelenmelerine benzer şekilde düşeyde 3 noktadan alınan veriler ile düşey deplasman grafikleri her 3 deney için Şekil 4.9'da çizilmiştir. Grafiklerde düzlem dışı hareket eden duvarın davranışını modellemek için duvarın en hızlı ilerleyen ve hasar gören noktasının 20mm ve 120mm deplasman anındaki deformasyonu baz alınarak duvar göçme durumu, deformasyon ölçüm noktalarına göre çizilmiştir. Üç duvarın çok az da olsa farklı davranış sergilediği görülmüştür. Birinci deneyde 120mm'de A aksı ile E aksı birlikte hareket ederken 2. ve 3. de birlikte hareket etmemiştir. Fakat üç deneyde de D ve B aksı birlikte hareket etmiştir. Bütün deneylerde desteklenmemiş en üst noktanın (1.39m) diğerlerine nazaran daha fazla deforme olduğu, deformasyonların yükseklik ile lineer değişmediği, aksine dış bükey bir profil sergilendiği tespit edilmiştir (Şekil 4.9).

Şekil 4.10'da duvar deplasmanlarının duvar uzunluğu ile değişimi gösterilmektedir. Tüm duvar yapıları alt (3), orta (2) ve üst (1) nokta olmak üzere üç aks ile isimlendirilmiştir. Grafiklerde 140 cm uzunluğu belirtilmiş ve oluşan deplasmanların orta noktaya göre simetrik olup olmadığı anlaşılmaya çalışılmıştır. Düşeyde olduğu gibi yatayda da 20 mm ve 120 mm'deki deplasman durumları belirlenmek istenmiştir. Duvarın tamamıyla simetrik inşa edildiği birinci deneyde duvarın simetrik davranmadığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak tuğla birimler arasında herhangi bir bağlayıcı malzeme olmaması ve tuğla yüzeylerinin sadece sürtünme ile birbirine tutunduğu söylenebilir. Yan duvarların ön duvara mesnet oluşturması sebebi ile yan duvarlara gidildikçe düzlem dışı deplasmanlar önemli ölçüde azalmaktadır. Bu durum deplasman profilinin kemer formunu almasına sebep olmuştur. Kemer formu duvarın 1 aksında belirgin olmasına karşılık 3 aksında nispeten daha az belirgindir. Bunun sebebi 3 aksının temel seviyesine yakın olmasıdır.



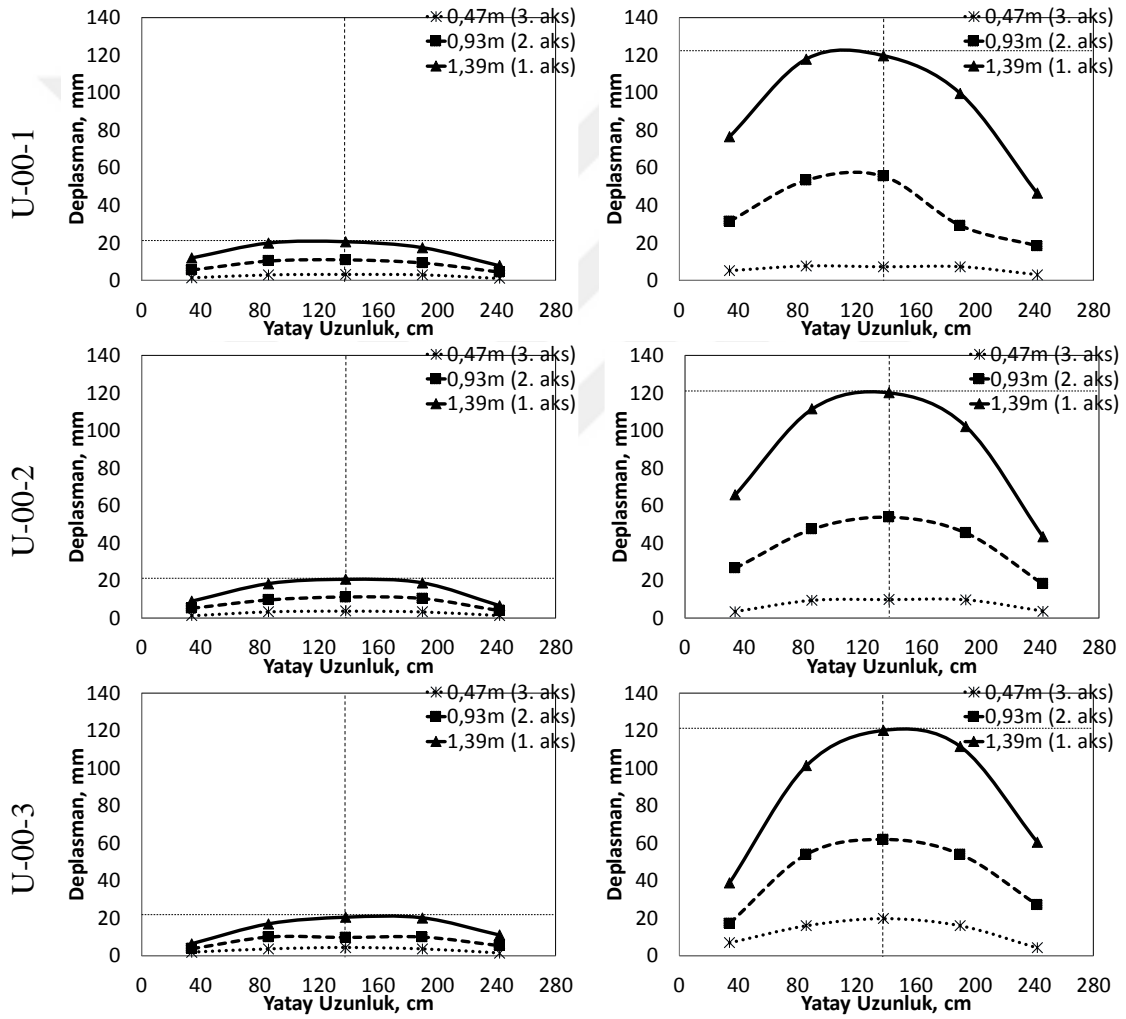
a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.9. U-00 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.



a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.9. (devam ediyor).



a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.10. U-00 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.

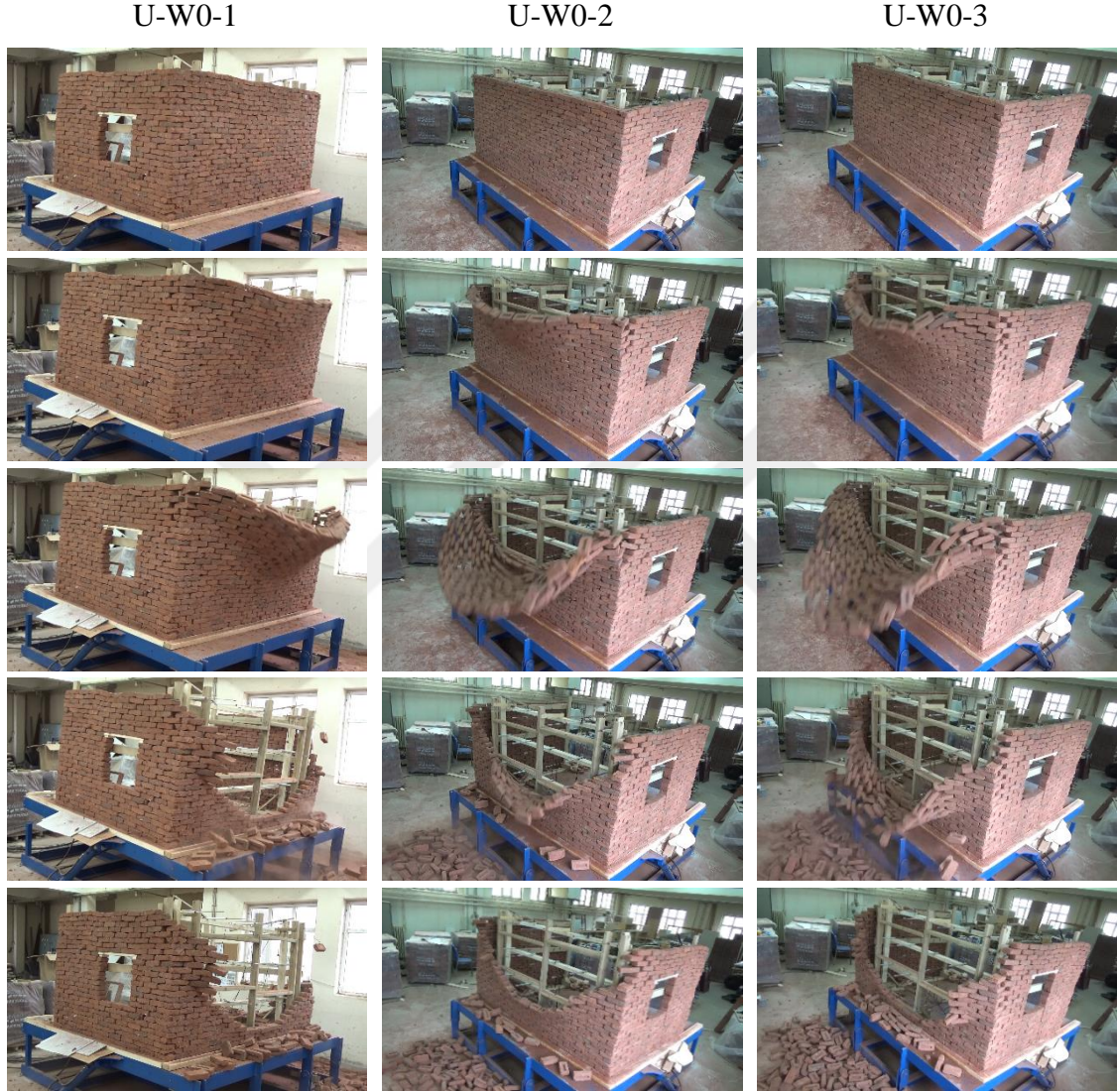


## 4.2. U-W0 Test Duvar Yapısı

U-W0 duvarı, iki yan duvarlar sahip harman tuğlası ile inşa edilmiş U geometrisindeki bir duvardır ve bu duvarın yan duvarlarından birinde 50x50 cm boyutlarında bir pencere boşluğu bulunmaktadır. Şekil 4.11’de test edilen duvarların deney öncesi, sırası ve sonrasına ait fotoğraflarını vermektedir. Şekil 4.11’de verilen görsellerde göçme durumları 5 resim ile sırayla verilmiştir: İlk görsel deney öncesini, ikinci resim duvarın ilk hareketini, üçüncü resim göçme anını, dördüncü resim göçme sonrasını ve son resim deneyin bitiş anını göstermektedir. Fotoğraflardan görüleceği üzere bütün deneyler ön duvarın orta bölgesinin diğer bölgelere nazaran daha büyük deplasmanlar yaparak göçmesi ile sonuçlanmıştır. Yan duvarların ve temelin mesnet vazifesi görmesi ile bu bölgelere doğru deplasmanlar kademeli olarak azalarak ön duvarın kemer şeklini almasına sebep olmuştur. U-W0-1 testinde, düzlem içi hareket etmesi beklenen boşluksuz yan duvar deney sonuna doğru düzlem dışı deplasmanlar yaparak göçmüştür. Diğer duvarlarda bu durum gözlenmemiştir. U-W0-1 ve U-W0-3 duvarlarında deney sonrası ön duvarın çok fazla hasar aldığı belirlenmiştir. Bütün duvarlar U-00 duvarında olduğu gibi yaklaşık üç adet mafsallık neticesinde göçmüştür. İlk mafsallık temele paralel gerçekleşmiş, diğer mafsallar ise kenarlara yakın bir noktadan duvar üst köşelerine doğru gelişmiştir. Yan duvarın düzlem içi dayanımı ve rijitliğinin düzlem dışı deplasmanlara olumlu bir etkisi olduğu daha önce belirtilmişti. Görsellerden görüleceği üzere yan duvarların ön duvar ile birleştiği kenarlarda ve kenarların üst köşesine doğru bir miktar hasar oluşmuştur (U-W0-1 duvarında boşluksuz yan duvar göçmüştür). Fotoğraflar ayrıntılı incelendiğinde, pencere boşluğu sebebi ile sürtünme sürekliliğinin kesintiye uğraması yan duvar rijitliği ile dayanımının azalmasına sebep olarak pencere boşluğu ile ön duvarın kenarında bulunan tuğla elemanlarının birbirleri üzerinden kaymaya başlamasına yol açmıştır. Fakat bu kaymanın dayanımı ne ölçüde değiştirdiği itme grafikleri neticesinde belirlenebilecektir.

Şekil 4.12’de göçme sonrası oluşan hasarları göstermektedir. Şekillerden görüleceği üzere temele paralel oluşan mafsallık U-W0-1 duvarında temelden 20 cm, U-W0-2 duvarında 45 cm ve U-W0-3 duvarında ise 15 cm yukarıda oluşmuştur. Diyagonal mafsallar ise yaklaşık 25-30° açı ile duvar kenarından duvar ortasına doğru uzanmaktadır. En büyük yan duvar hasarı U-W0-1’de daha sonra U-W0-3’te görülmüştür. Pencere

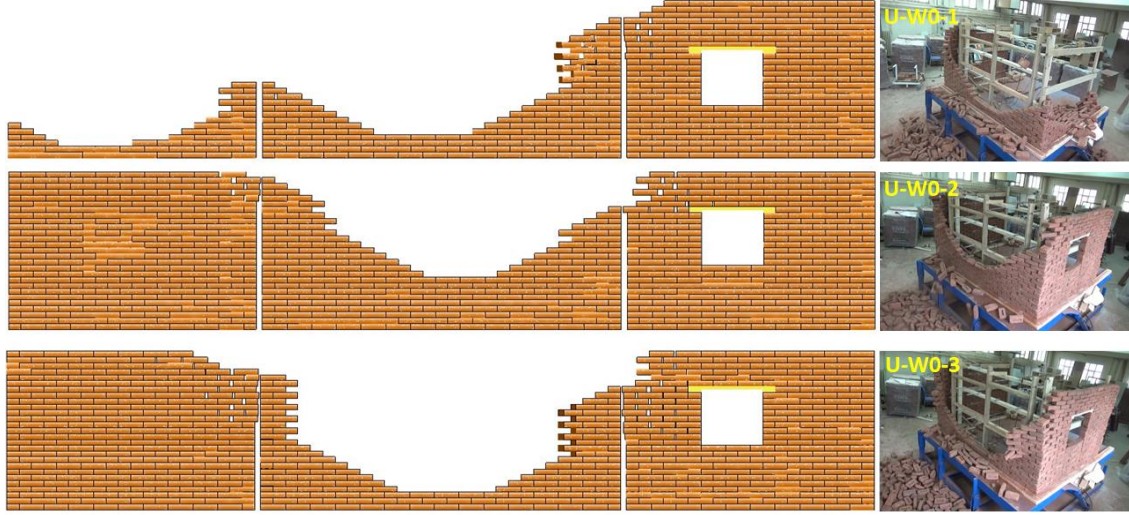
boşluğu bulunan yan duvarda hasarın nispeten daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu duvarda her ne kadar tuğla elemanlarda sürtünme kaybı sebebi ile kayma gözlene de göçme gerçekleşmemiştir. Sonuç olarak pencere boşluğunun hasara çok fazla etki etmediği söylenebilir.



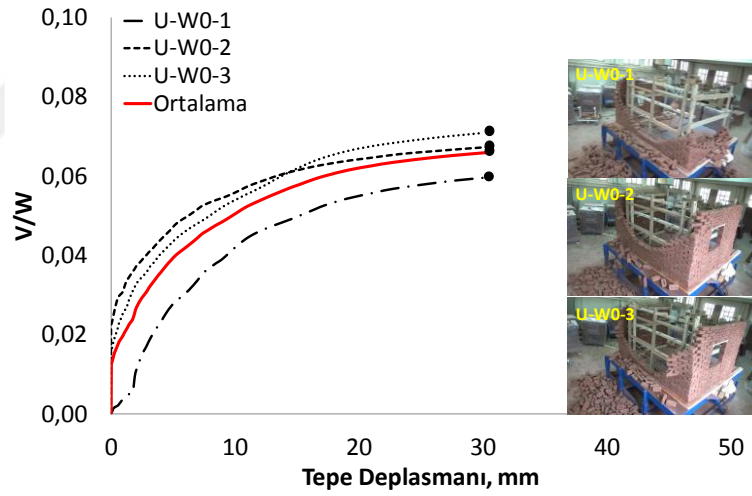
Şekil 4.11. U-W0 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

Şekil 4.13'te test edilen U-W0 duvar yapılarının itme grafiklerini göstermektedir. Grafiklerden görüleceği üzere en büyük hasarın gözlemlendiği U-W0-1 duvarında kapasite yaklaşık %6 olmakla en düşük değere sahip olmuştur. En az hasarın olduğu U-W0-2 duvarının yatay yük kapasitesi %6.8, son duvarın ise %7.1 olduğu belirlenmiştir. Üç duvarda da itme grafikleri birbirlerine yakın elde edilmiştir. Şekilde ayrıca ortalama itme

grafiği de çizilmiş ve U-W0 duvarının ortalama kapasitesinin % 6.6 olduğu sonucuna varılmıştır.



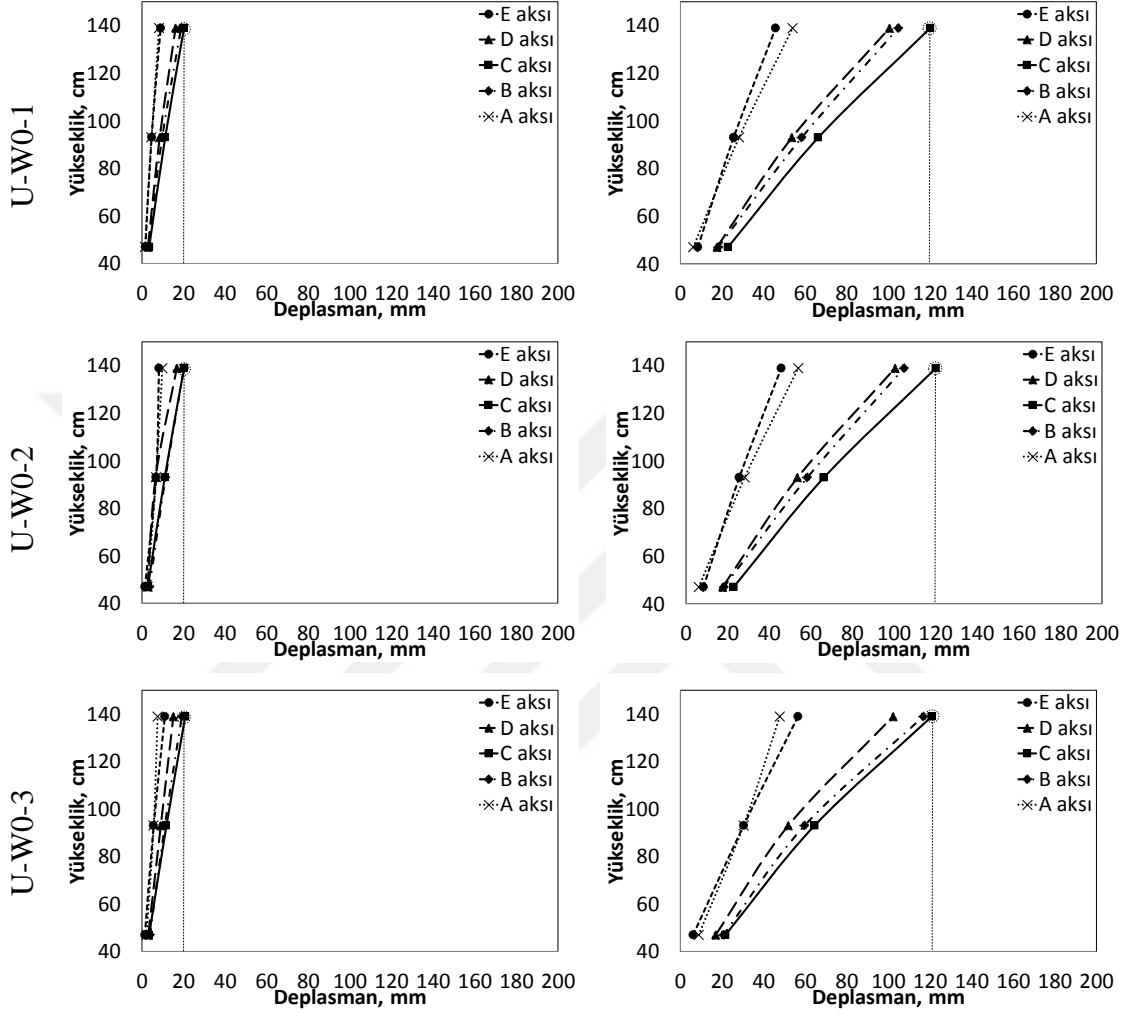
Şekil 4.12. U-W0 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.



Şekil 4.13. U-W0 duvar yapılarının itme grafikleri.

Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ile değişimi duvarın 5 aks noktası için ayrı ayrı Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekillerden görüleceği gibi duvar orta noktasını temsil eden C aksında düzlem dışı deplasmanlar, deneyin ilk zamanlarında ve son zamanlarına doğru, diğer akslardaki düzlem dışı deplasmanlardan büyüktür. Fakat B ve D akslarındaki deplasmanların da C aksı deplasmanlarına yakın olduğu belirlenmiştir. Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ile lineer değişmediği, dış bükey bir

karakter sergilediği fakat dış bükeyliğin deplasman artışı ile belirginleştiği görülebilir (Şekil 4.14).

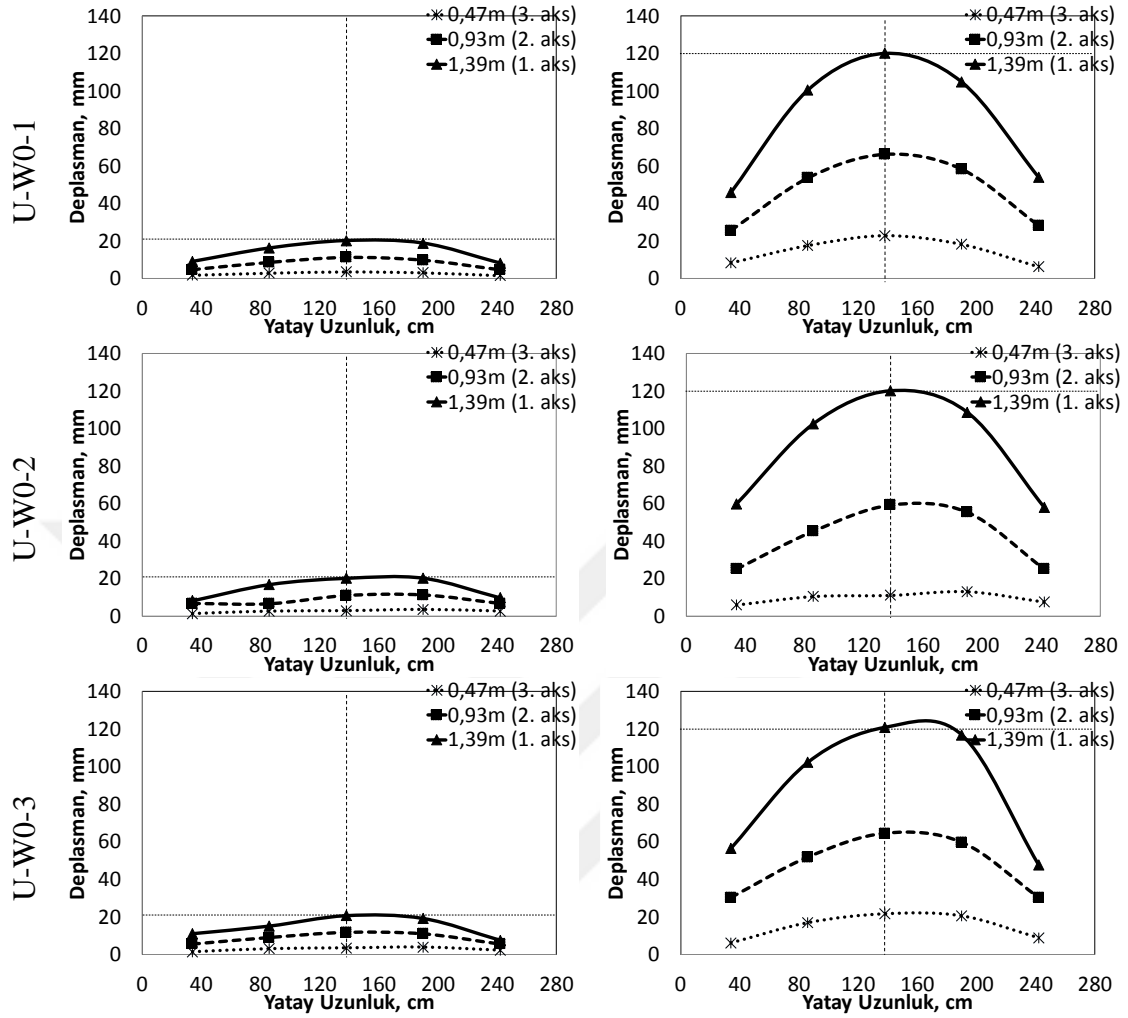


a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.14. U-W0 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.

Düzlem dışı deplasmanların duvar uzunluğu ile değişimi ise Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekillerden duvarın üç farklı yüksekliğinde de kemerlenme olduğu açıkça görülebilir. U-W0-1 ve U-W0-2 duvarlarında büyük deplasmanlarda simetriğe yakın bir davranış sergilenmiştir. Burada önemli olan husus yan duvar rijitliğinin düzlem dışı deplasmanlara olan etkisidir. Grafiklerden görüleceği üzere her ne kadar pencere boşluğu yan duvar rijitliğini azaltsa da bu etki sadece U-W0-3 duvarında gözlenmiştir. Diğer iki duvarda pencere boşluğunun etkisi açıkça görülemez.



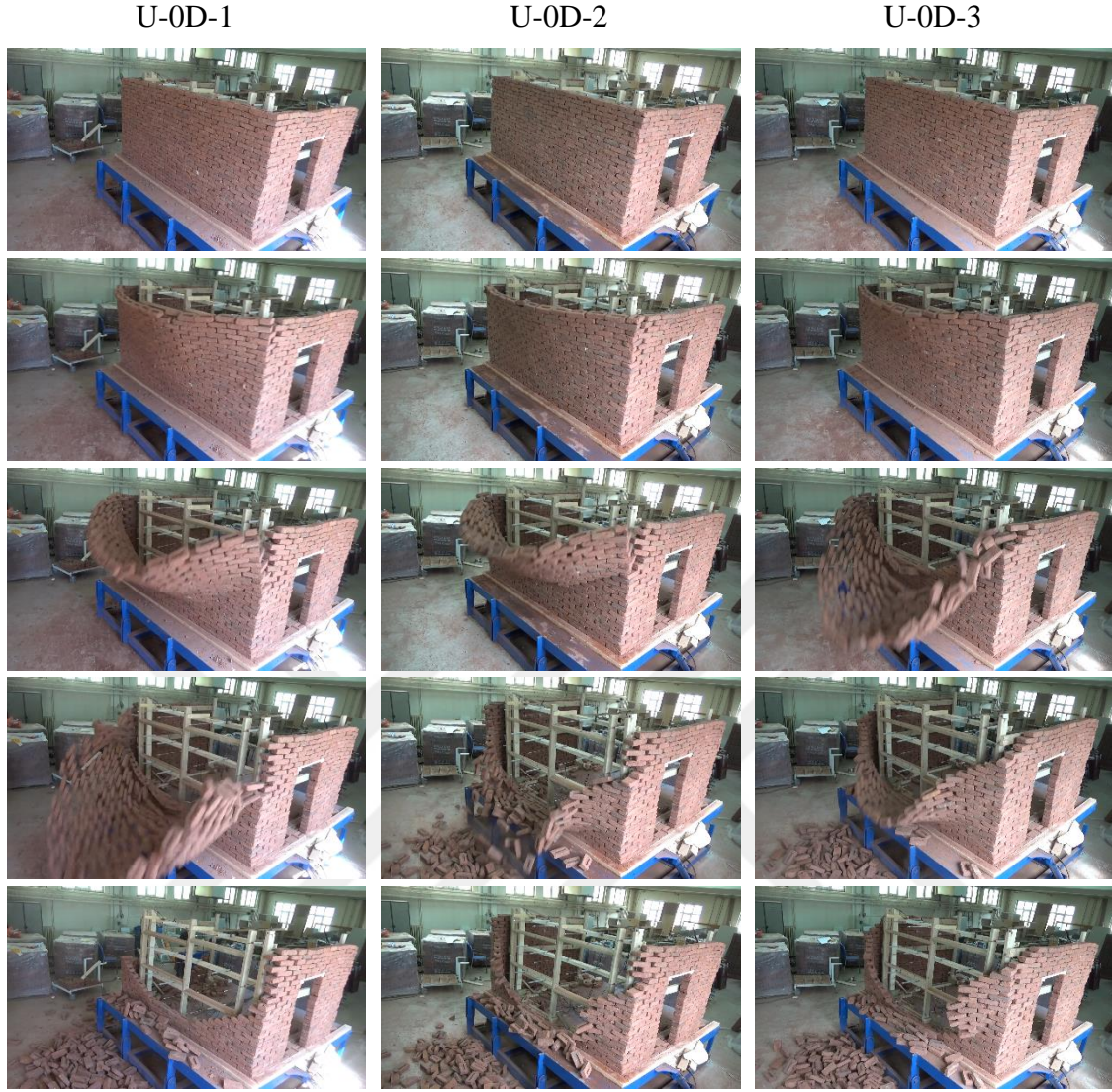


a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.15. U-W0 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.

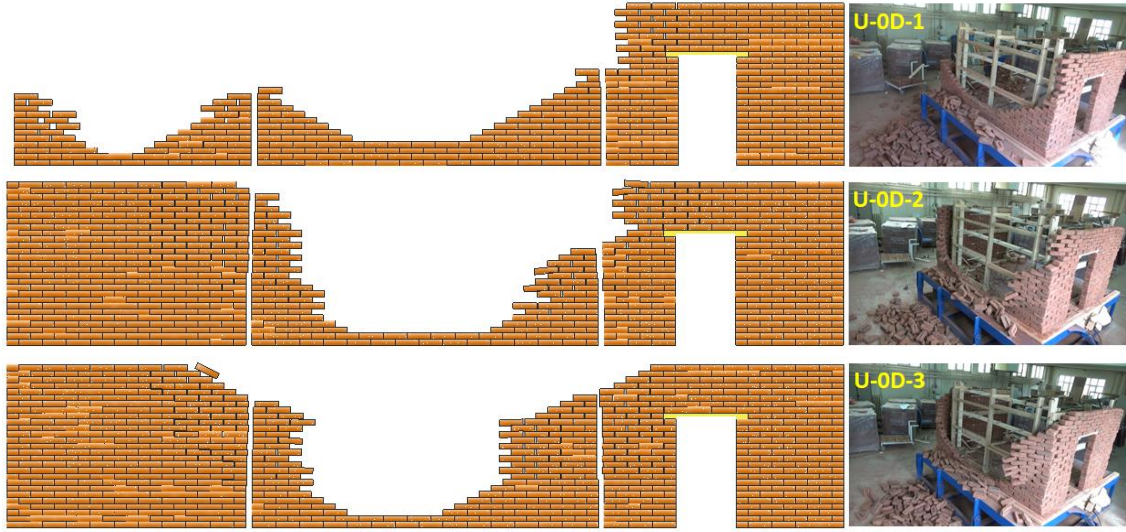
### 4.3. U-0D Test Duvar Yapısı

U-0D duvarı bir yan duvarında kapı boşluğu bulunan U geometrisine sahip duvarı temsil etmektedir. Şekil 4.16'da deney öncesi, sırası ve sonrasına ait fotoğraflar verilmektedir. Fotoğraflardan görüleceği üzere, üç deneyde de ön duvarın desteklenmemiş üst kenarının orta bölgesi büyük düzlem dışı deplasmanlar yapmış, bu deplasmanlar desteklenmiş yan duvarlar ve temel seviyesine doğru azalma eğilimi göstermiştir. U-0D-1 deneyinde boşluksuz yan duvar düzlem dışı göçmüştür. Diğer duvarlarda ise kapı boşluğunun bulunduğu yan duvar ile ön duvarın birleştiği kenarda büyük kayma deformasyonları gözlenmiştir.



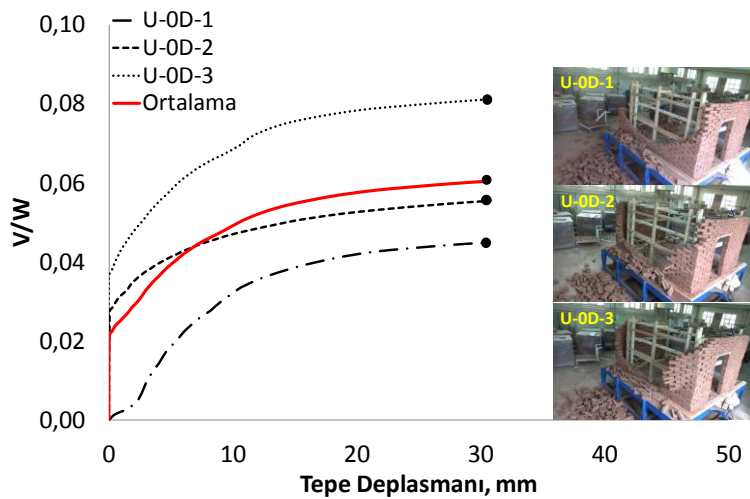
Şekil 4.16. U-0D duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

U-0D duvarlarının göçme sonrası şekilleri Şekil 4.17’de gösterilmiştir. U-0D-1 deneyinde boşluksuz yan duvar büyük oranda göçmüş, diğer duvarlarda ise bu duvarın sadece üst köşelerinde hasar oluşmuştur. Kapı boşluğunun bulunduğu yan duvarların üst köşelerine doğru tuğla birimlerin kayma deformasyonu sergilediği ve ön duvar ile bağlantıların duvar üst köşesine doğru koptuğu görülebilir. Göçme sonrası durum incelendiğinde yine temel seviyesinden belirli bir yükseklikte (U-0D-1’de 20, U-0D-2’de 10 cm ve U-0D-3’te ise 10 cm) temele paralel ilerleyen plastik mafsallar yan duvarlara 100-120 cm mesafede 25-30° açı yaparak yan duvarlara ulaşmıştır.



Şekil 4.17. U-0D duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.

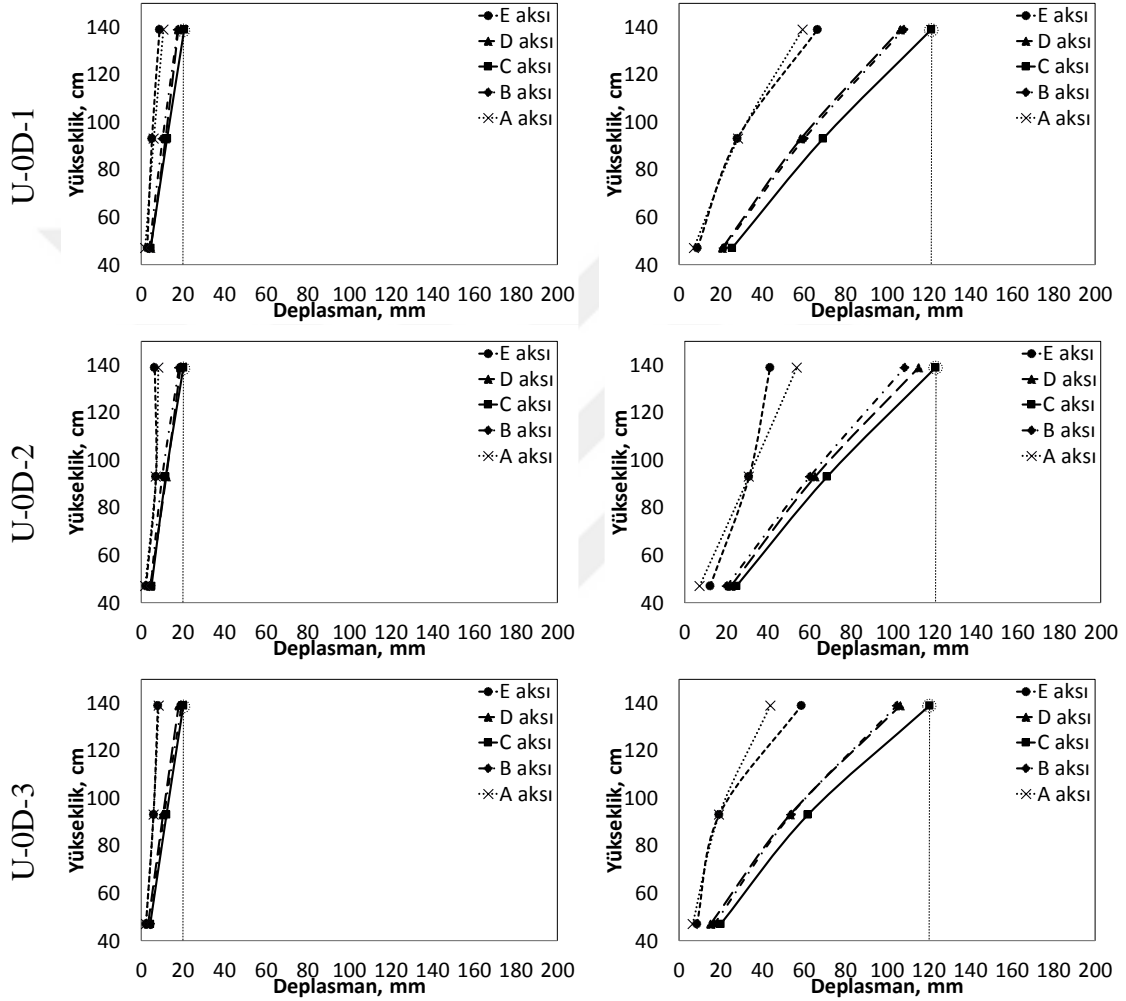
Şekil 4.18’de üç duvar yapısının itme grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. U-WD duvarlarında olduğu gibi bu duvarlarda da benzer kapasiteler elde edilememiştir. U-0D-1 duvarında yatay yük oranı %4.5 olarak hesaplanmışken, U-0D-2 duvarında bu oran %5.6, U-0D-3 duvarında ise %8.1 bulunmuştur. Üç duvarın da farklı rijitliklere sahip olduğu grafiklerin eğimi incelendiğinde görülebilir. Dolayısıyla davranışın üç deneyde de çok farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İtme grafiklerinin ortalaması alındığında ise yatay yük oranının %6.1 olduğu ve U-0D-2’ye yakın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.18. U-0D duvar yapılarının itme grafikleri.



Düşey deplasman profillerinin verildiği Şekil 4.19'dan görüleceği üzere düşük deplasman durumunda, deplasmanlar iki grupta toplanmıştır: ilk grup yan duvarlara yakın kenar akslardan (A ve E aksları), diğer grup ise orta akslardan (B, C ve D) oluşmuştur. Deplasmanlar düşük seviyede iken yükseklik ile lineer değişmiş, büyük seviyelerde dış bükey bir durum sergilemiştir (Şekil 4.19).

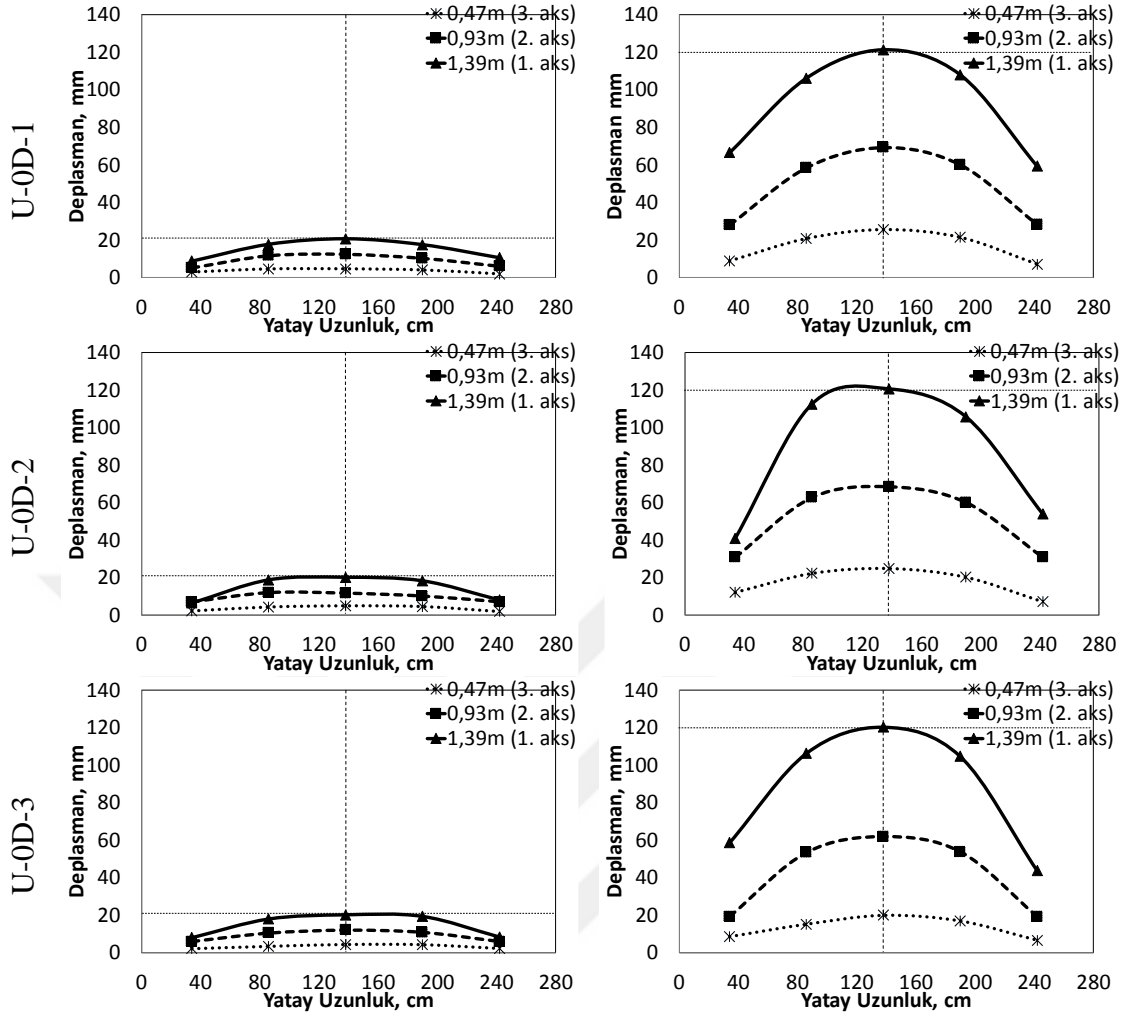


a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.19. U-0D duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.

Yatay deplasman profilleri ise Şekil 4.20'de verilmiştir. Deplasman profillerinin yaklaşık simetrik olduğu, kapı boşluğunun çok az etkili olduğu (U-0D-2'de simetriklik bozulmuştur) görülebilir. Sonuç olarak bir yan duvarında kapı boşluğu bulunan duvarların bu boşluktan çok az etkilendiği söylenebilir.





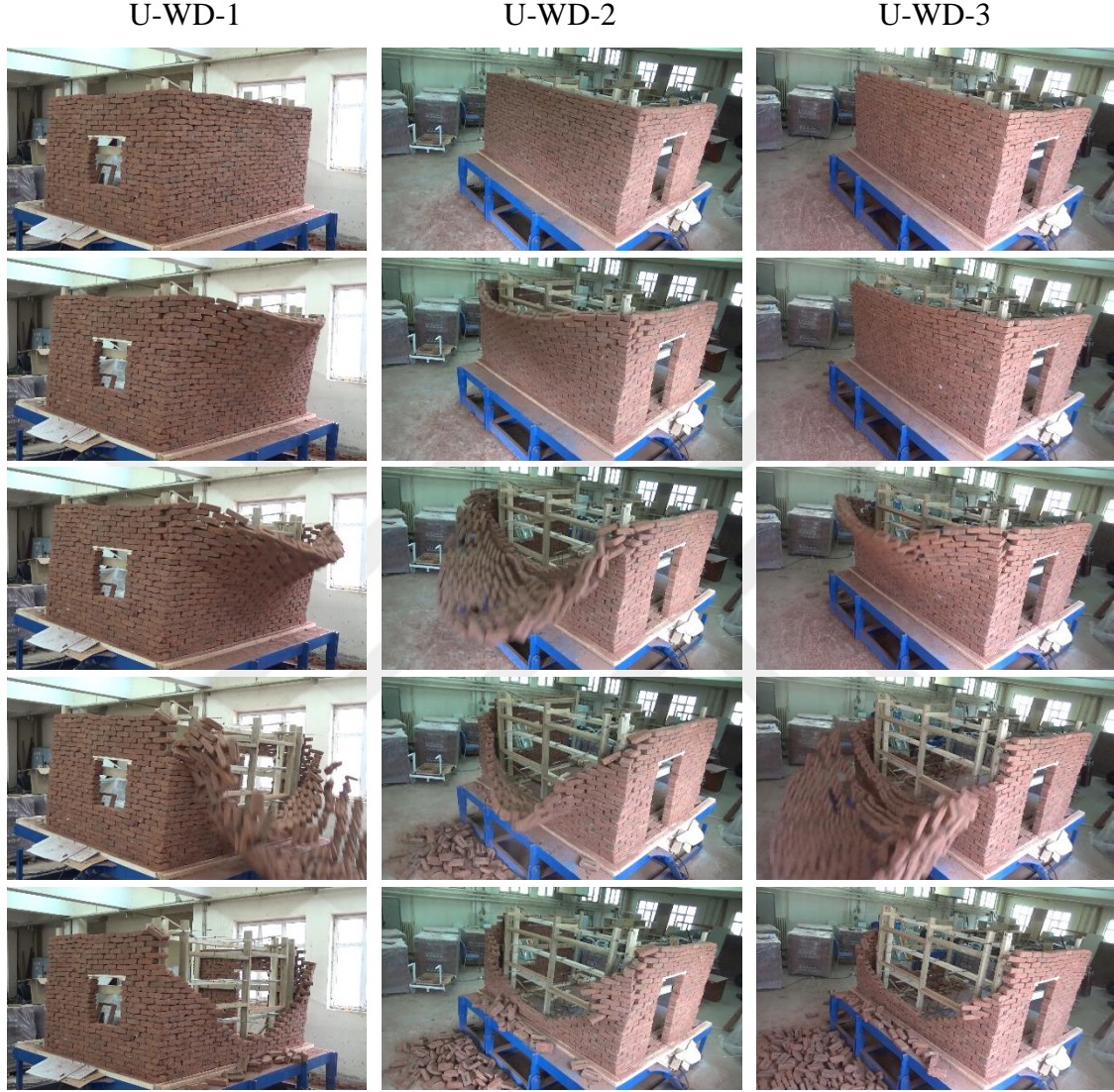
a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.20. U-OD duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.

#### 4.4. U-WD Test Duvar Yapısı

İki yan duvara sahip U şeklinde inşa edilen U-WD duvarında, yan duvarlardan birinde pencere boşluğu, diğerinde ise kapı boşluğu bulunmaktadır. Şekil 4.21 bu duvarlara ait deney fotoğraflarını göstermektedir. Bütün deneylerde ön duvarın sol üst ve sağ üst köşelerinde yan duvarlar ile bağlantının kopması neticesinde göçmeler olduğu görülebilir. Boşluk kenarları ile ön duvar kenarlarında kalan duvar parçalarında yine tuğla birimlerde kaymalar gözlenmiştir. Şekil 4.22’de verilen göçme sonrası hasar resimlerinden de görüldüğü üzere ön duvarın orta bölgesinde temele paralel (U-WD-1 deneyinde temelden 20 cm, U-WD-2 deneyinde 15 cm ve U-WD-3 deneyinde de 20-25

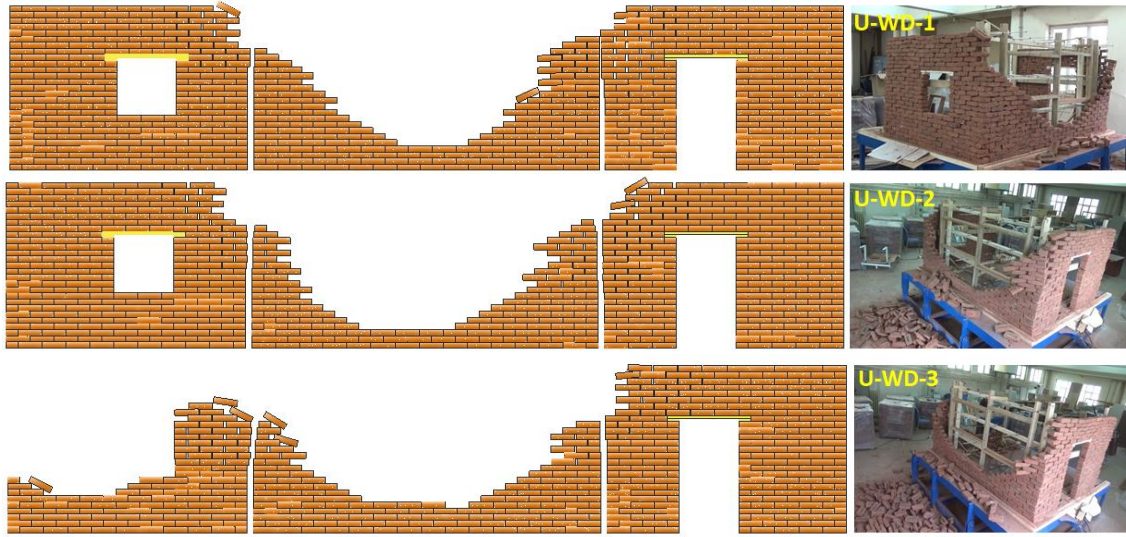
cm yukarıda) ilerleyen hasarlar kenara yaklaşık 100-120 cm mesafede diyagonal olarak 25-30° açı ile uzanarak yan duvarlara doğru ilerlemiştir.



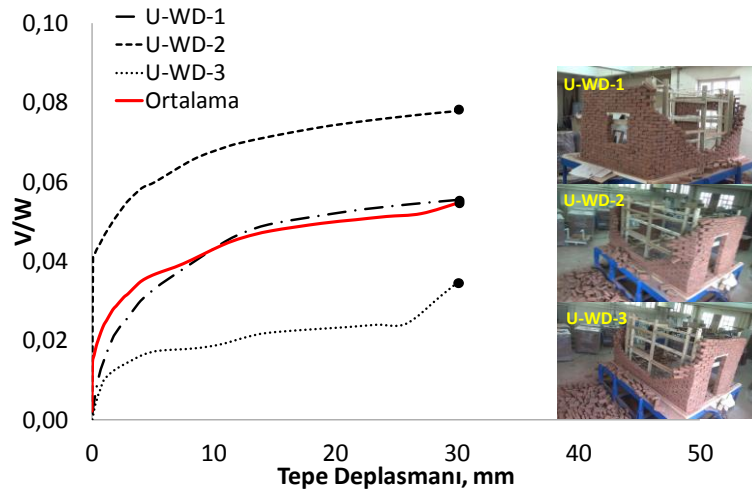
Şekil 4.21. U-WD duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

U-WD-3 deneyinde pencere boşluğunun bulunduğu yan duvar düzlem dışı göçmüştür. Diğer deneylerde ise yan duvarın ön duvar ile birleştiği kenarın üst köşelerinde hasarlar gözlenmiş, yan duvar boşluğunun hasara olumsuz bir katkısı açıkça görülmemiştir. Sadece kapı boşluğunun olduğu yan duvarda tuğla birimler arasındaki kayma hasarının diğer yan duvara nazaran daha fazla olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.23'te test edilen duvarların itme grafikleri verilmektedir. U-WD-1 duvarında yatay yük kapasitesi %5.6'ya ulaşabilmişken, U-WD-2 duvarında bu değer %7.8'e çıkmıştır. U-WD-

3 duvarında deney sırasında düzlem dışı duvarın (ön duvar) göçmesinden önce pencere boşluklu duvar göçmüş ve masa üzerine ani bir ağırlık yaparak deney sırasında masanın yavaşlamasına ve hızının bozulmasına neden olmuştur. Bu yüzden grafikten görüleceği üzere ön duvarın dayanımı sabit ancak deplasmanı artış göstermiştir. Daha sonra hızının tekrar sabitlenmesiyle dayanım artışı belirlenmiş ve deney sonlandırılmıştır. Grafikten görüleceği üzere bu duvar deneyinde %3.5 yatay yük oranına sahip olmuştur. Nihai dayanım bu tipteki diğer duvarlardan daha düşük oluşmuştur. Üç deneyin ortalama itme grafiğinden U-WD duvarlarının yaklaşık %5.8 yatay yük kapasitesine sahip olduğu fakat standart sapmanın diğer duvarlara kıyasla çok büyük olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4.22. U-WD duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.

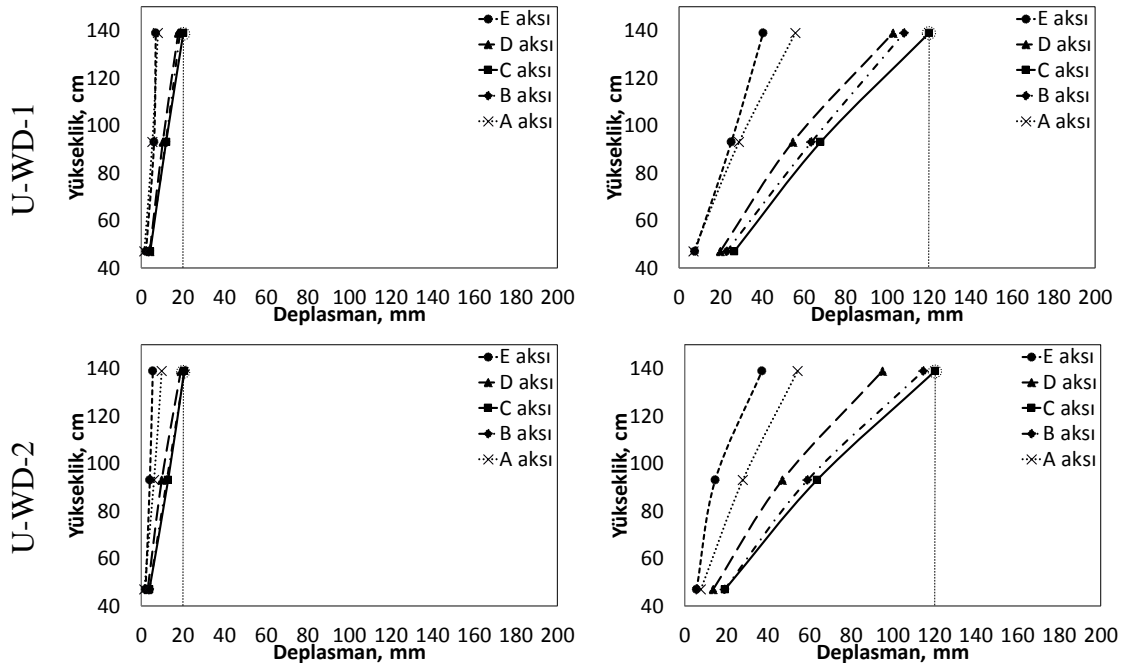


Şekil 4.23. U-WD duvar yapılarının itme grafikleri.



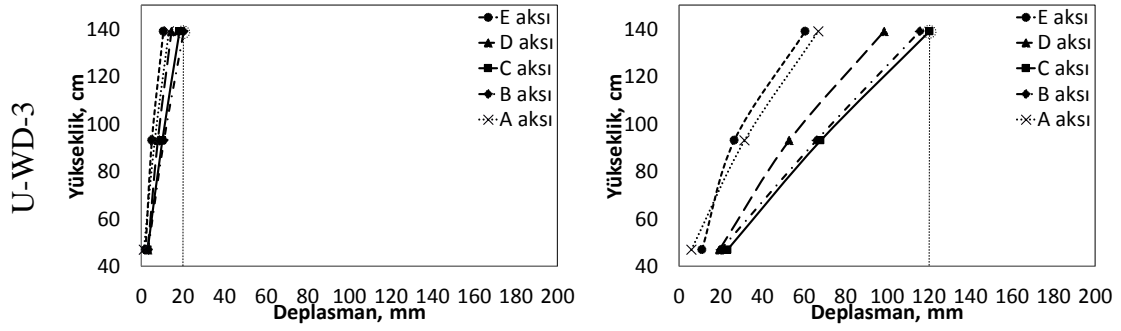
Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ile değişiminin verildiği Şekil 4.24'ten görüleceği üzere üç deneyde de kapı boşluğunun bulunduğu yan duvara yakın olan A aksı ile B aksının pencere boşluğunun bulunduğu yan duvara yakın olan E aksı ile D aksından daha fazla deplasman yaptığı belirlenmiştir. Düşük deplasmanlarda düzlem dışı deplasmanların yükseklik ile yaklaşık lineer değiştiği, büyük deplasmanlarda ise dış bükey bir deplasman profilinin ortaya çıktığı görülebilir (Şekil 4.24).

Düzlem dışı deplasmanların duvar uzunluğu boyunca değişiminin gösterildiği Şekil 4.25, incelendiğinde simetrik bir deplasman profilinin elde edilemediği, deplasmanların duvarın sağ tarafına doğru daha fazla arttığı, bu tarafın kapı boşluğu içeren yan duvara daha yakın olduğu gözlenmiştir. Bu grafiklerden, nispeten daha büyük boşluk içeren yan duvarın düzlem içi rijitliğinin daha düşük olması sebebi ile ön duvarın düzlem dışı deplasmanlarını önlemede diğer yan duvara nazaran daha az etkili olduğu sonucu çıkarılabilir. Bir başka deyişle kapı boşluğunun yan duvarda sürtünme sürekliliğini büyük oranda azaltması sebebi ile bu duvarda düzlem içi rijitliklerde düşüşler görülmüş ve ön duvar ile birleştiği kenarda oluşan mesnet katkısı azalmıştır (Şekil 4.25).



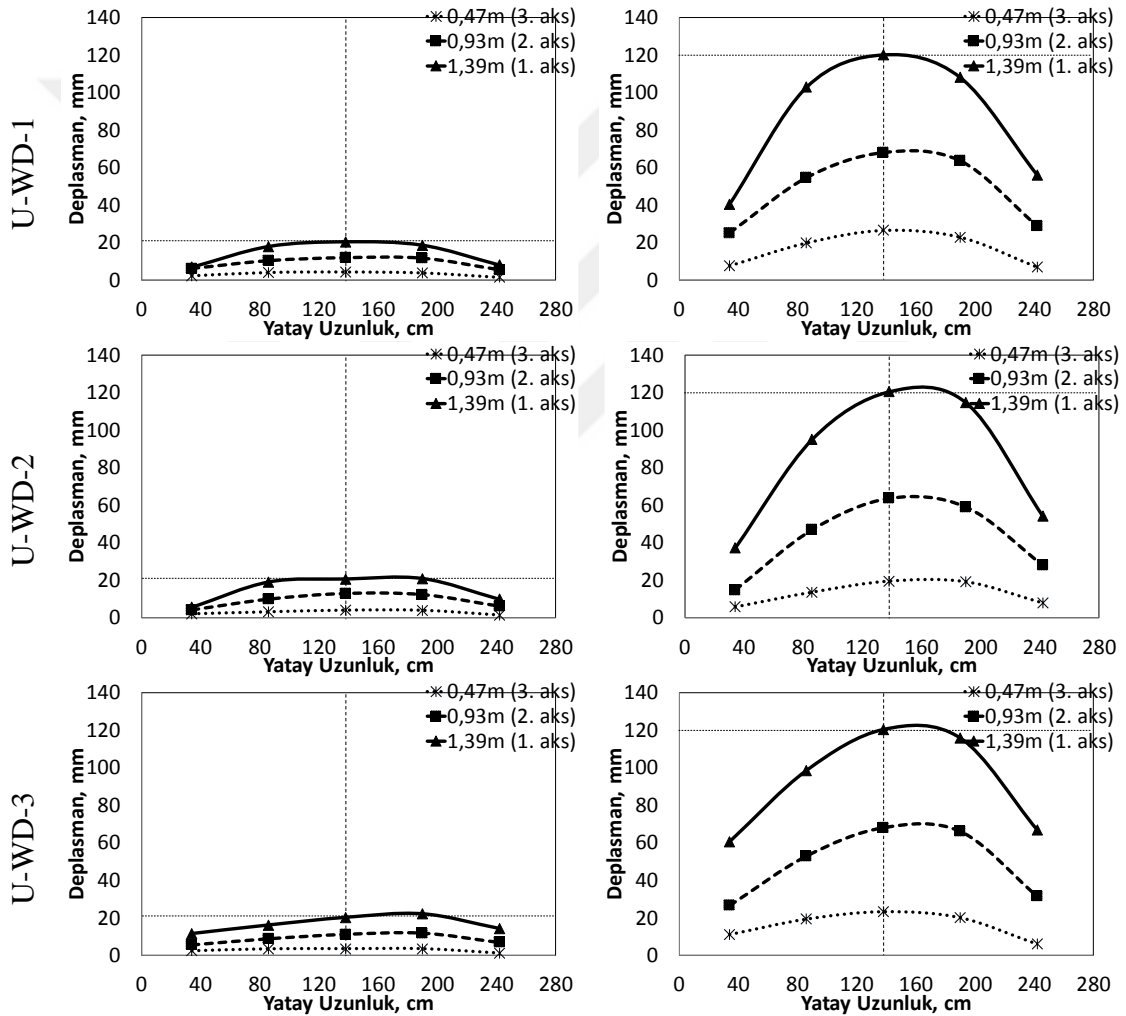
a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.24. U-WD duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.



a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.24. (devam ediyor).

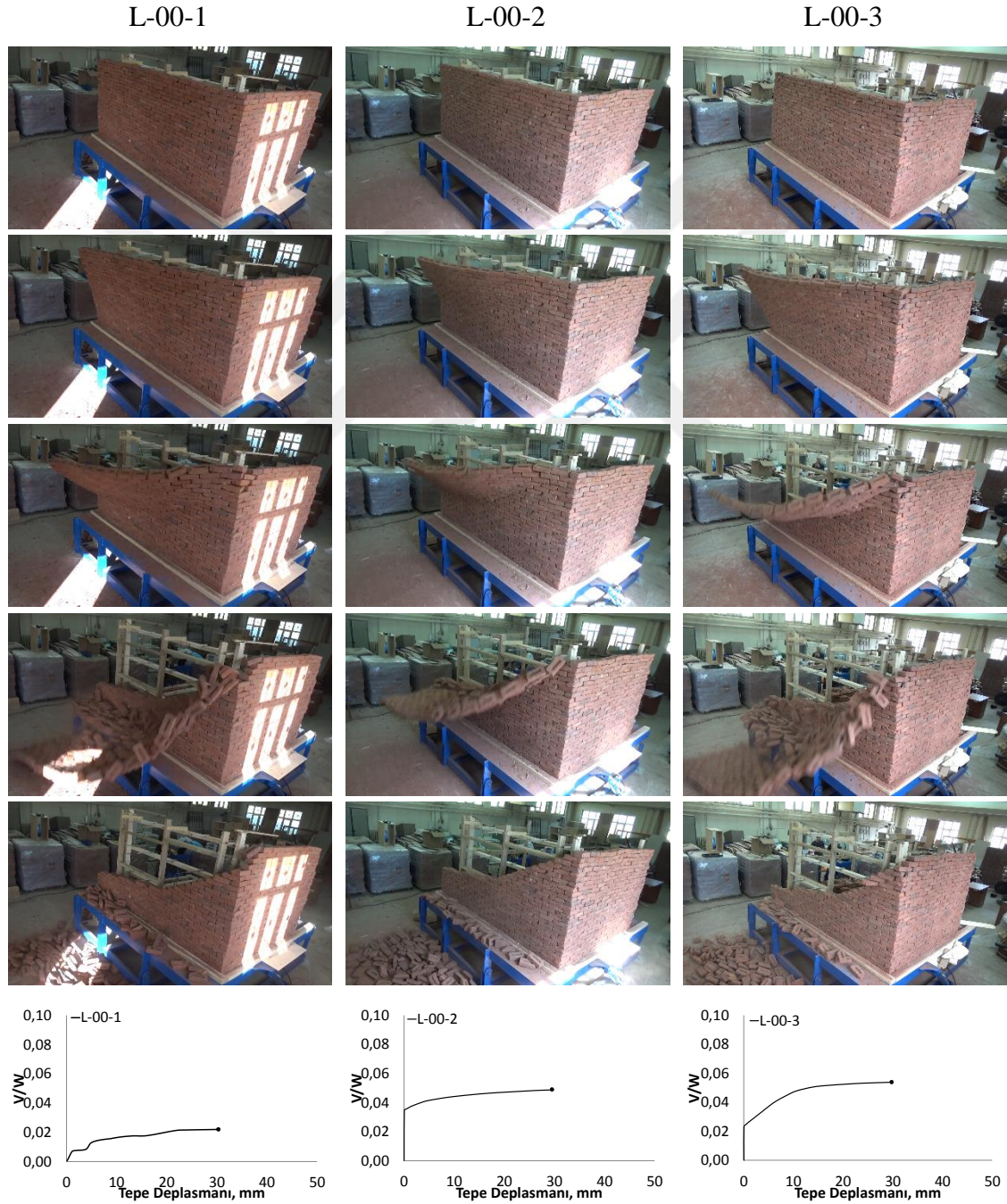


a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.25. U-WD duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.

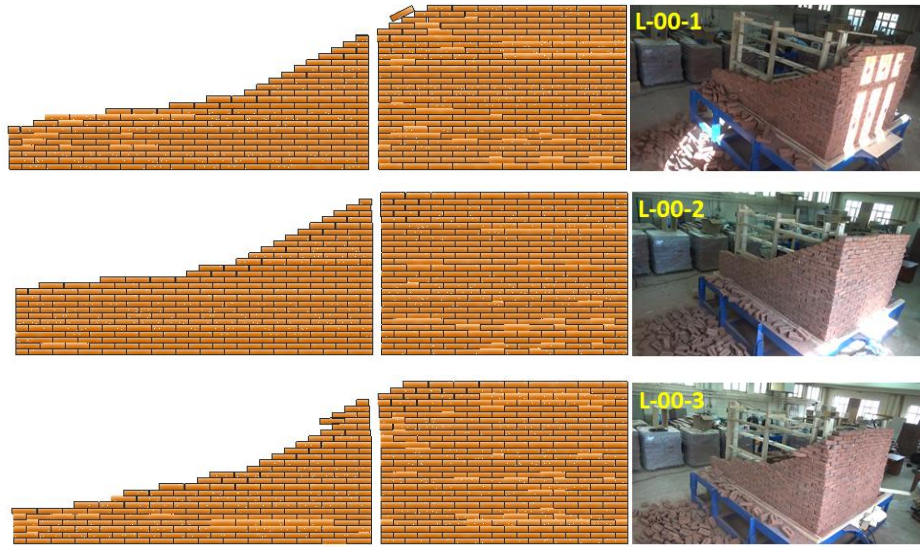
#### 4.5. L-00 Test Duvar Yapısı

L-00 tek yan duvara sahip L şeklinde tasarlanmış bir duvardır ve yan duvarında herhangi bir boşluk bulunmamaktadır. Olası lokal zayıflıkların etkisini azaltabilmek amacı ile L-00 tipte üç adet deney yapılmıştır (L-00-1, L-00-2 ve L-00-3). Şekil 4.26'da deney fotoğraflarını gösterilmektedir.



Şekil 4.26. L-00 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

Fotoğraflardan görüleceği üzere üç deneyde de ön duvarın desteklenmemiş sol kenarı büyük düzlem dışı deplasmanlara maruz kalarak göçmüştür. Göçme sonrası fotoğraflar incelendiğinde ise ön duvarın sol kenarında temelin belirli bir yüksekliğinden başlayarak ön duvarın sağ üst ucuna doğru ilerleyen yay şeklinde uzanan bir plastik mafsal görülebilir. Deneylerdeki ana farklılık plastik mafsal başlangıç noktasının temele olan uzaklığı olarak belirlenmiştir. L-00-1 duvarının nispeten düşük kapasiteye sahip olması yapılan işçilik hatası ile lokal problemler, duvar yapısının daha küçük bir değerde göçmesine sebep olmuştur. Göçme sonrası L-00 duvarlarında meydana gelen hasarlar Şekil 4.27’de detaylı olarak verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere plastik mafsal başlangıç noktası L-00-1 deneyinde temelden 35 cm, L-00-2’de 55 cm ve L-00-3’te ise 30 cm yukarıda oluşmuştur. L-00-2 deneyinde ön duvarın yan duvarla birleştiği sağ üst köşe hasar almazken diğer iki deneyde hasar düşük seviyelerde kalmıştır.

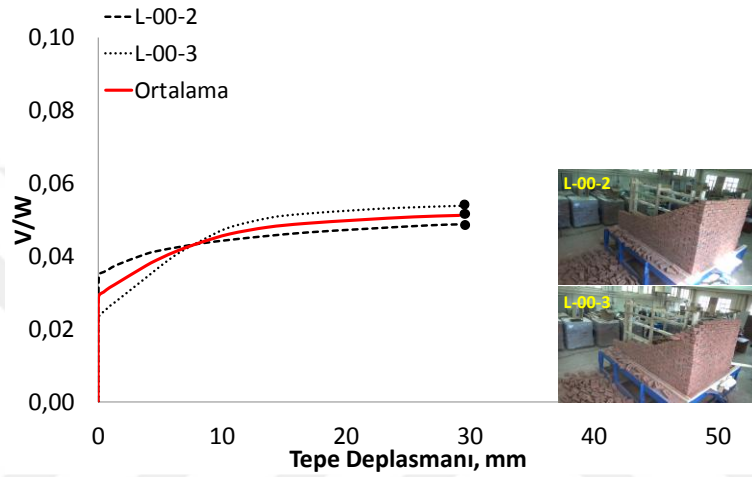


Şekil 4.27. L-00 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.

Duvarların itme grafiklerinin verildiği Şekil 4.28’den görüleceği üzere L-00-1 duvar deneyi sırasında mekanik bir aksalıktan dolayı masanın birim zamandaki hızında değişiklikler yaşanmıştır. Bu yüzden itme grafiklerinde ortalama yatay yük kapasitesi hesabında bu duvar dikkate alınmamıştır. L-00-1 duvarı en kötü performansı sergileyerek %2.2 yatay yük oranına sahip olmuştur. Fakat diğer iki duvar bu duvarın kapasitesinin iki katını aşmıştır (L-00-2 %4.9, L-00-3 %5.4). Lokal zayıflıkların kapasiteye olan olumsuz



etkilerini dikkate almamak maksadı ile bütün duvarların itme grafiklerinin ortalaması alınmış ve Şekil 4.28’de diğer grafiklerle birlikte çizilmiştir. Buradan, L-00 duvarlarının ortalama %5.2 yatay yük oranına sahip olduğu söylenebilir. İtme grafiklerinden ön duvarın belirli bir yük seviyesinden sonra deplasmanları hissettiği ayrıca görülebilir. L-00-2 ve L-00-3 duvarları yaklaşık %3 yatay yük seviyesinden sonra düzlem dışı deplasmanlar yapmaya başlamıştır.

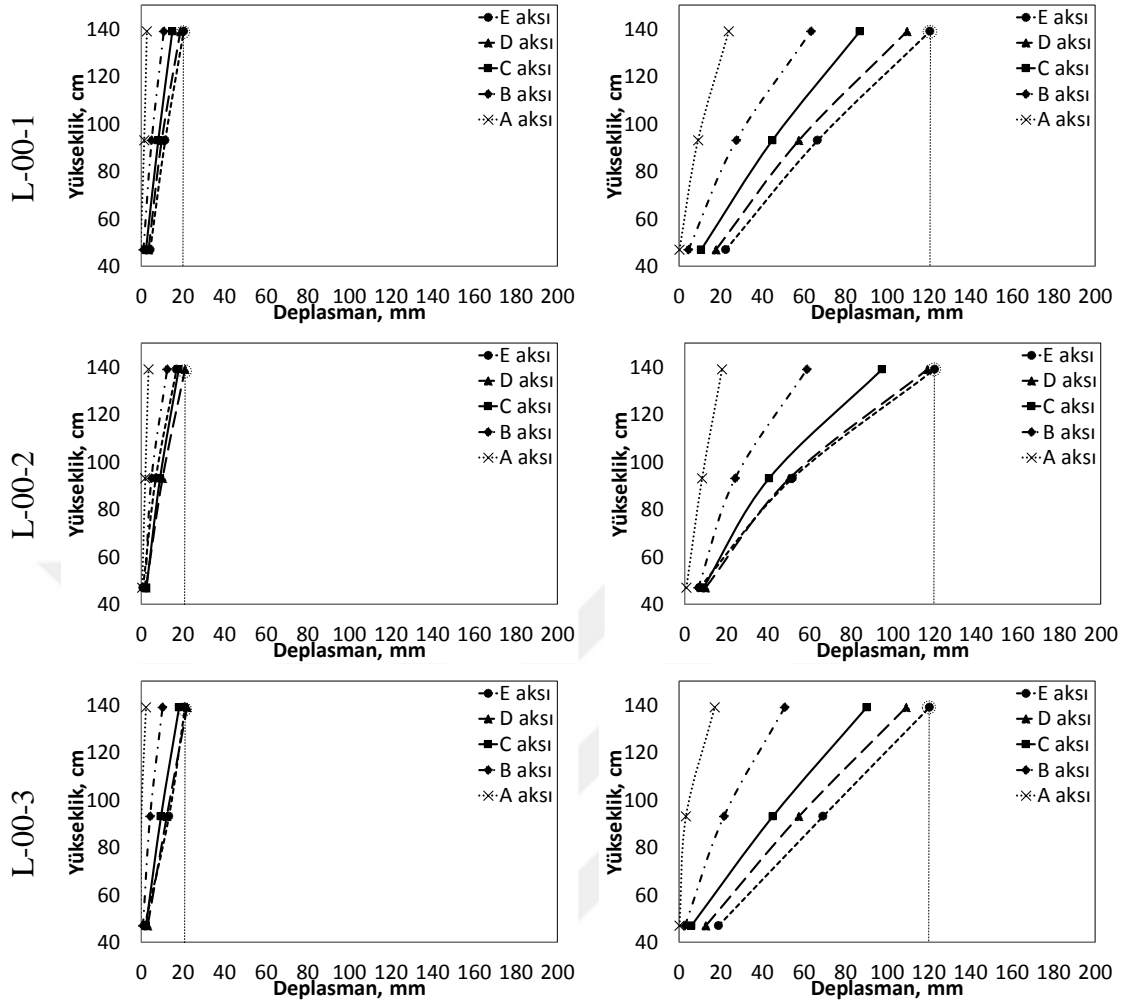


Şekil 4.28. L-00 duvar yapılarının itme grafikleri.

Düşey deplasman profillerinin verildiği Şekil 6.29, incelendiğinde deplasmanların düşük ve büyük deplasman değerlerinde dış bükey bir karakter sergilediği görülebilir.

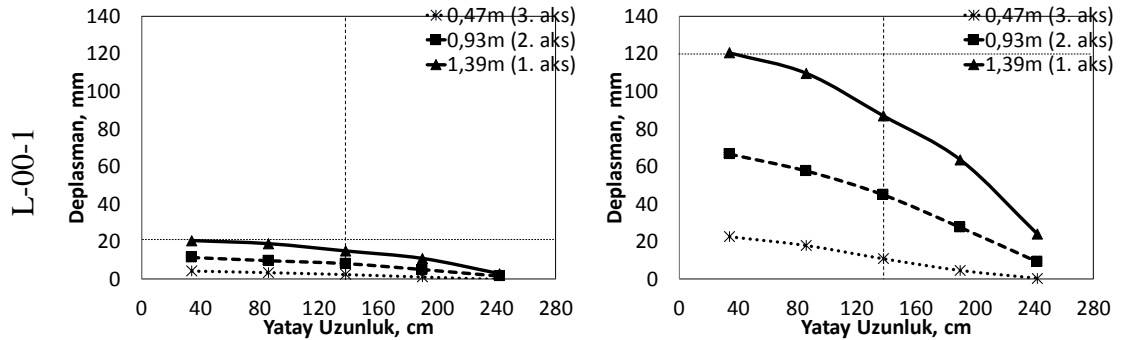
L-00-2 duvarında dış bükeylik belirgin iken, L-00-3 duvarında hiç belirgin değildir. Dış bükey deplasman profili, deplasmanın yükseklik ile lineer değişmediği, aksine yükseklik arttıkça deplasmanların büyük oranlarda arttığı anlamına gelmektedir. Yatay deplasman profilinden ön duvarın sol kenarının diğerlerine nazaran büyük deplasmanlar yaptığı açıkça görülebilir. Deplasmanlar duvar uzunluğu boyunca lineer değişmemektedir. Ön duvarın desteklenmemiş sol kenarına yakın akslarda nispeten yakın deplasmanlar kaydedilmesine rağmen, desteklenmiş sağ kenara doğru gidildikçe deplasmanlar hızlı bir şekilde azalmaktadır (Şekil 4.30).





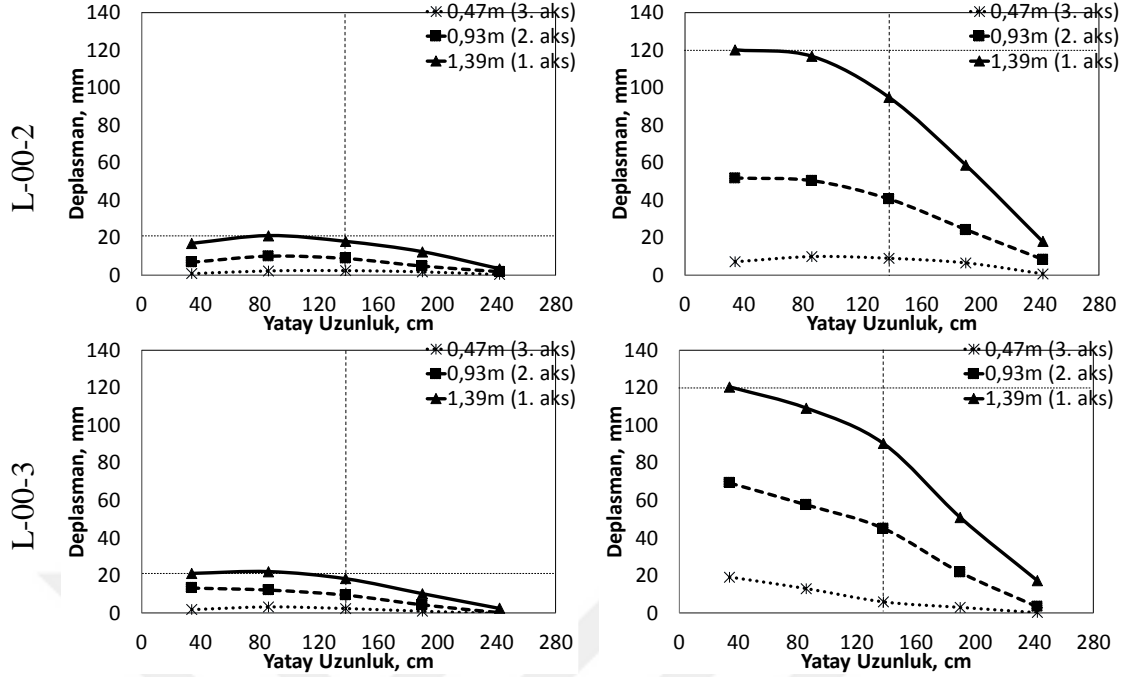
a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm      b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.29. L-00 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.



a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm      b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.30. L-00 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.



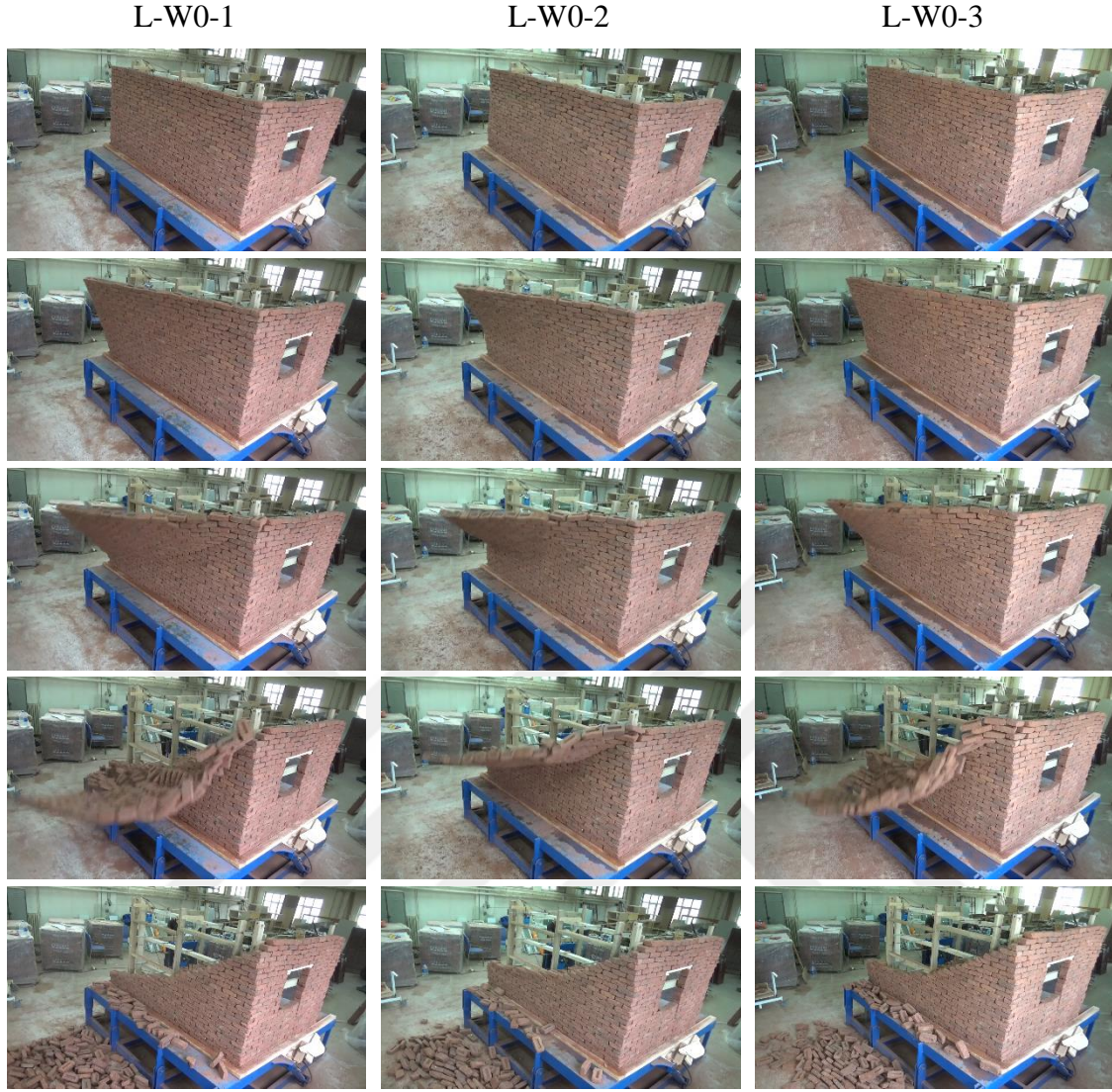
a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.30. (devam ediyor).

#### 4.6. L-W0 Test Duvar Yapısı

L-W0 duvarı yan duvarında pencere boşluğu olan duvarı temsil etmektedir. Yan duvarda pencere boşluğunun düzlem dışı göçen duvara etkisinin incelendiği bu deneylerde test edilen duvarların görüntüleri Şekil 4.31’de verilmektedir. Üç deneyde de göçmenin, ön duvarın serbest kenarında büyük düzlem dışı deplasmanlar izlenmesi ile gerçekleştiği görülebilir. L-00 duvarlarında olduğu gibi burada da sol kenarda temelden belirli bir yükseklikten başlayarak sağ üst köşeye uzanan bir yay etrafında plastik mafsallı oluşturulmuş gözlenmiştir. Fakat bu deneylerde sol kenardaki plastik mafsallı başlangıç noktasının temele olan uzaklığının yaklaşık aynı olduğu söylenebilir.

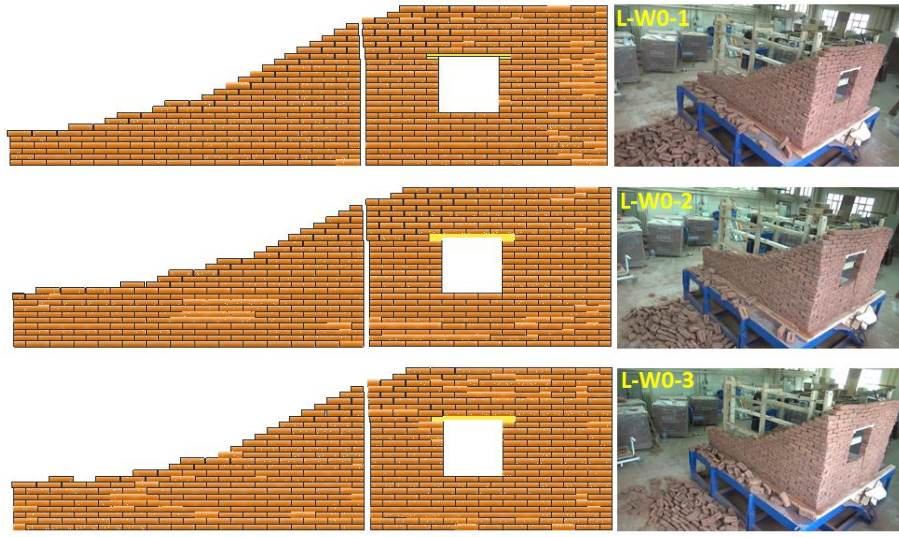
L-00 duvar deneyinden farklı olarak boşluk bırakılmasının yan duvarı oluşturan birimler arasında sürtünme direncini düşürmüş ve tuğla birimlerinin birbirleri üzerinden daha düşük gerilmelerde kaymasına olanak vermiştir. 3 deneyde de yan duvar üst köşesinde tuğlaların yıkılması düşük olsa da hasar duvar içerisinde yayılmıştır.



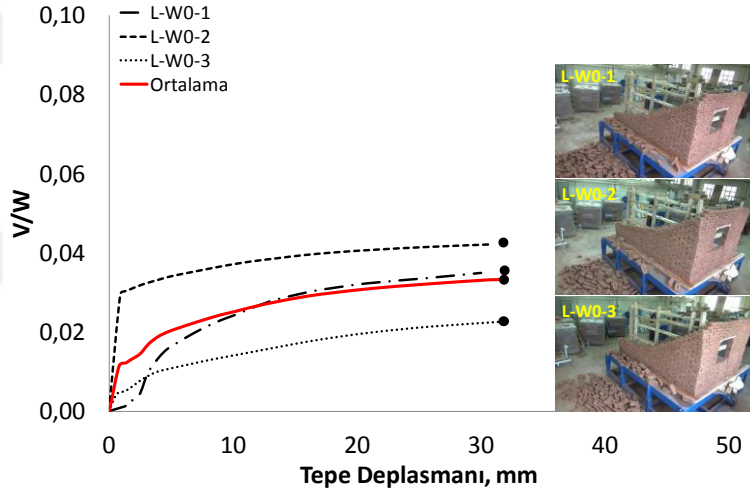
Şekil 4.31. L-W0 duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

Düzlem dışı deplasman yapan ön duvarların sol kenarlarındaki plastik mafsall başlangıç noktalarının temel seviyesinden L-W0-1 duvarında 30 cm, L-W0-2’de 50 cm ve L-W0-3 duvarında 40 cm yukarıda olduğu görülebilir. Pencere boşluğun ile duvar kenarı arasındaki duvar parçasında kısmi kayma deformasyonları gözlenmiş fakat yan duvarlarda önemli bir hasar kaydedilmemiştir (Şekil 4.32).

İtme grafiklerinin verildiği Şekil 4.33’ten görüleceği üzere L-W0-3 duvarı %2.2 ile en düşük yatay yük oranına sahiptir. L-W0-1’de bu oran %3.5’e, L-W0-2’de ise %4.2’ye ulaşmaktadır. Üç grafiğin ortalaması alındığında L-W0-1’e yakın bir grafik elde edilmekte, ortalama yatay yük oranı %3.3 olarak hesaplanmaktadır.



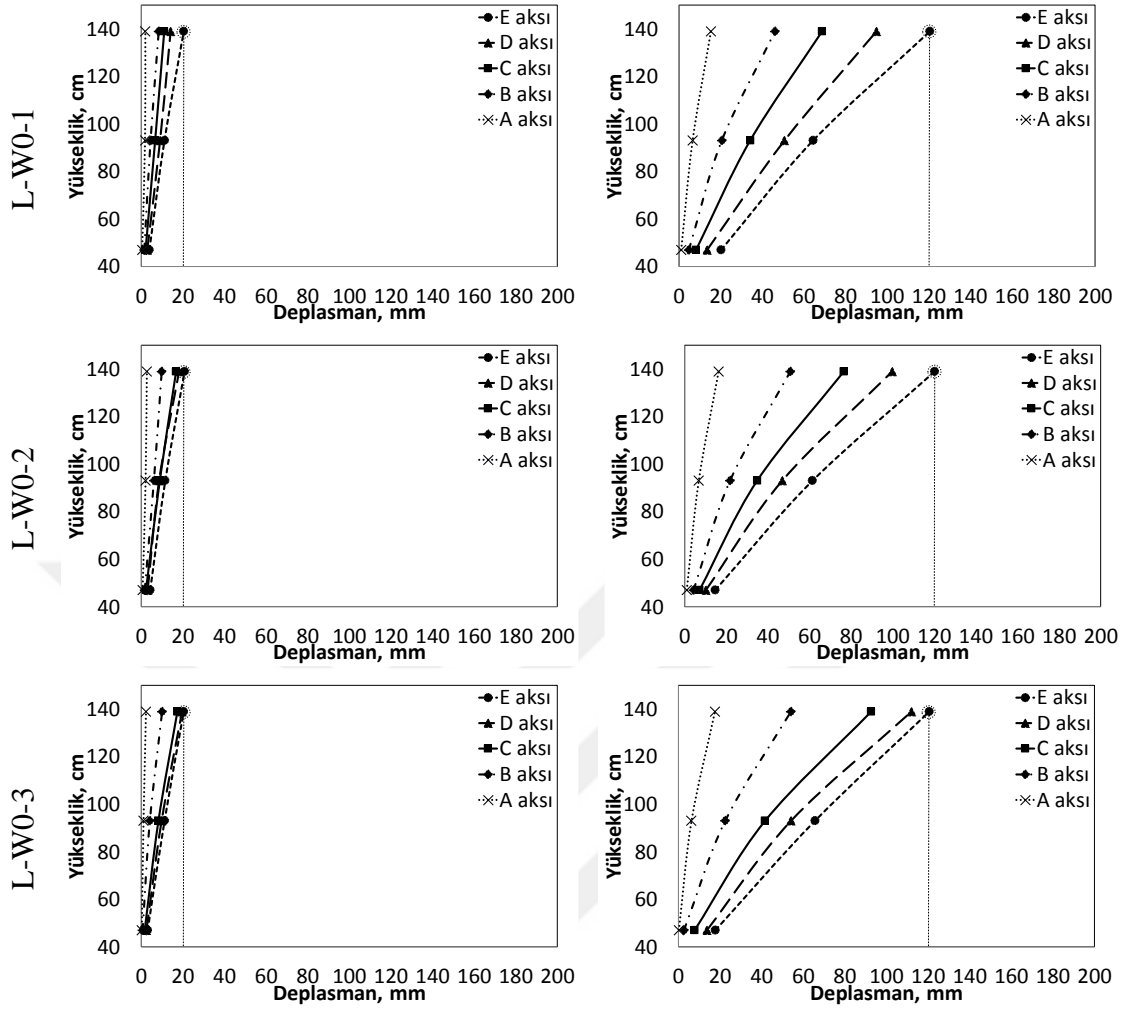
Şekil 4.32. L-W0 duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.



Şekil 4.33. L-W0 duvar yapılarının itme grafikleri.

Test duvarlarının düşey deplasman şekilleri incelendiğinde beklendiği gibi serbest uç yani E aksında ilk hareket gözlemlendiği ve yan duvara gidildikçe deplasmanların düştüğü ve A aksının en az deplasmana maruz kaldığı görülebilir. Üç duvarın da yükseklik ile birlikte benzer deplasman profillerine sahip olduğu, deplasmanların kademeli olarak yükseklik ve uzunluk ile değiştiği söylenebilir. Test duvarlarında E aksı 120 mm de iken o 20 mm de kalmıştır. Bu da yan duvar destekli düzlem dışı duvarın daha az hasar gördüğünü göstermektedir. Pencere boşluğundan kaynaklı bu teste A aksı 120 mm'lik maksimum deplasman grafiğinde 20 mm de kalırken L-00 kontrol test duvarlarında A aksının aldığı maksimum değer 15-20 mm arasında kalmıştır (Şekil 4.34).

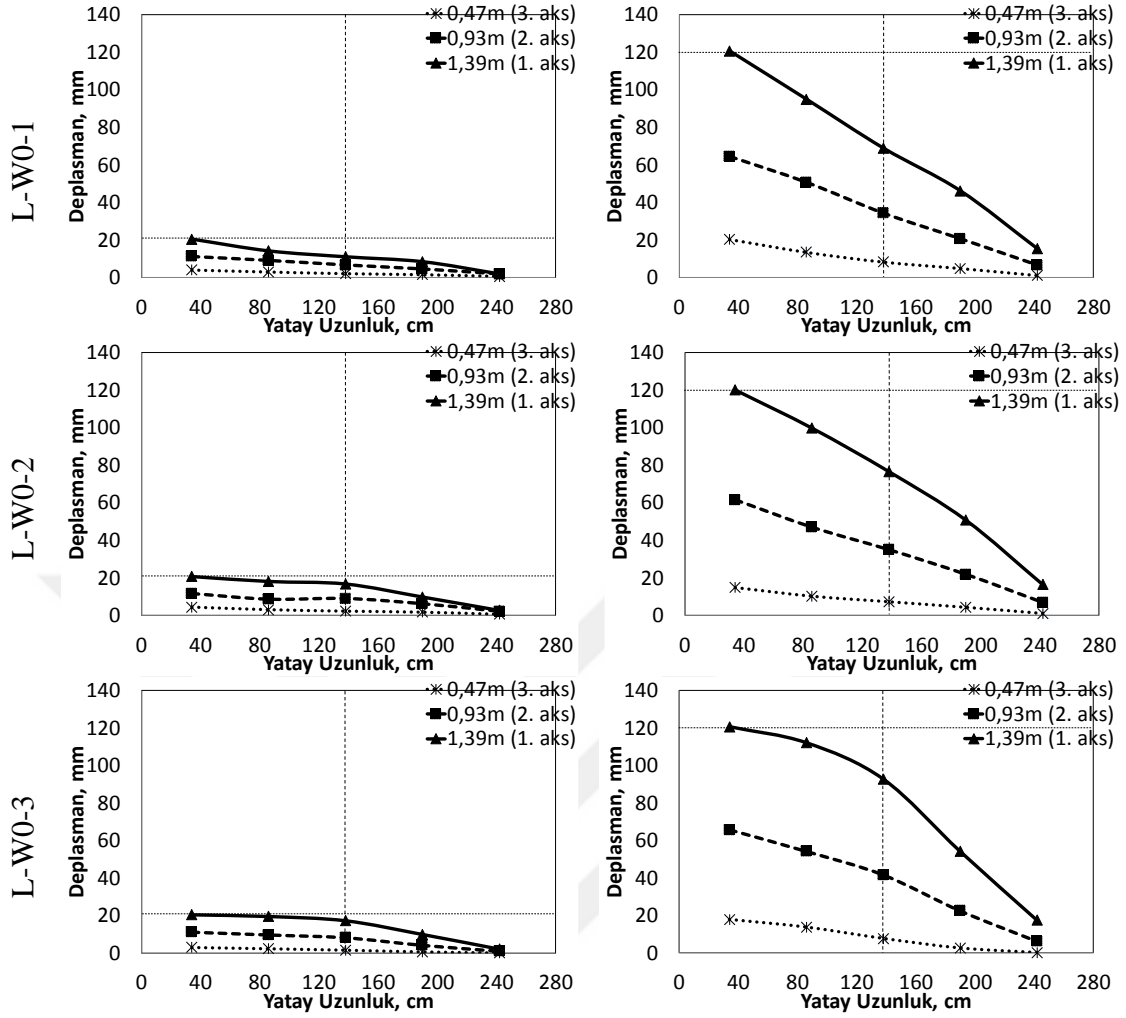




a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.34. L-W0 duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.

Yatay deplasman profillerinde L-W0-1 ve L-W0-2 deneyinde duvarın yaklaşık lineer bir seyir izlediği görülürken, L-W0-3 duvarında doğrusal olmayan bir deplasman profili gözlenmiştir. Pencere boşluğu içeren yan duvarların rijitliklerinin azalmasının lineer deplasman profilinde etkili olmuş olabileceği düşünülmektedir. Çünkü L-00 duvarında deplasmanların yan duvarlara gidildikçe hızlı azalmaktadır. Bu durum yan duvar rijitliğinin önemini bir kez daha göstermektedir (Şekil 4.35).

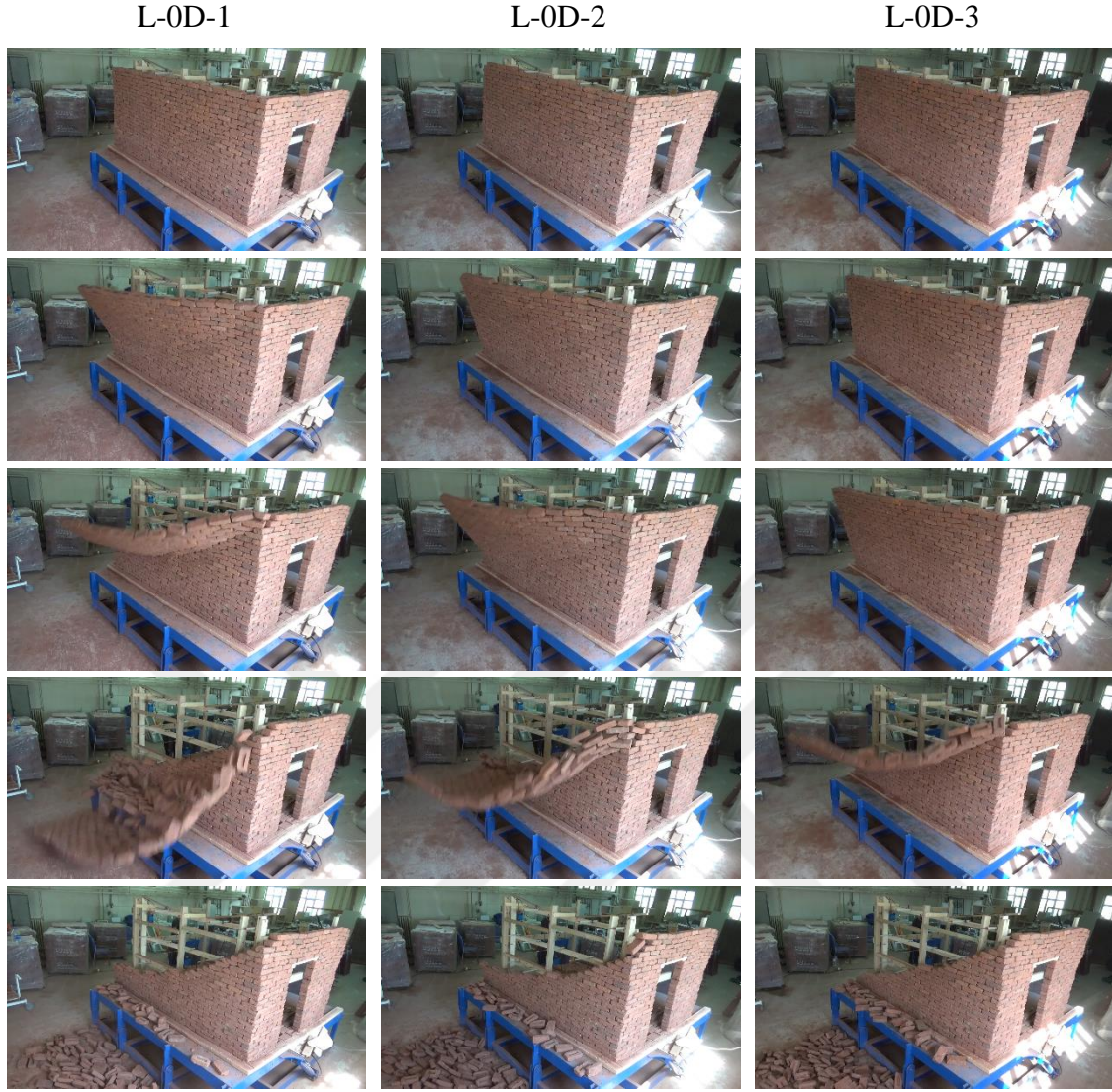


a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.35. L-W0 duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.

#### 4.7. L-0D Test Duvar Yapısı

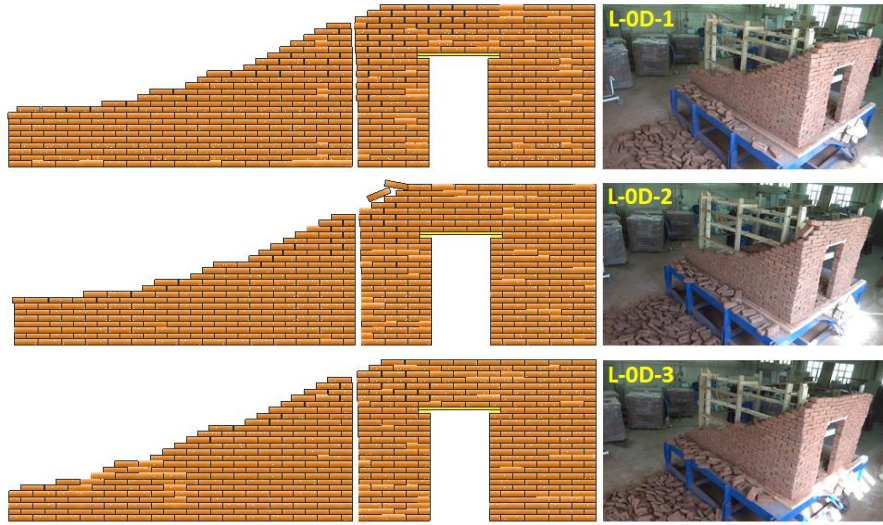
L-0D duvarında L-W0 duvarından farklı olarak yan duvarda kapı boşluğu bulunmakta ve kapı boşluğunun düzlem dışı deplasmanlara ve kapasitelere hangi oranda etki ettiği araştırılmaya çalışılmıştır. Bu deney duvar yapısında da 3 adet deney yapılarak olası lokal zayıflıklar bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.36'da deney fotoğrafları verilen duvarların yine sol kenarın büyük düzlem dışı deplasmanlar yaparak göçtüğü sonucuna varılabilir. Deneylerin hiçbirinde büyük yan duvar hasarı gözlenmemiştir.



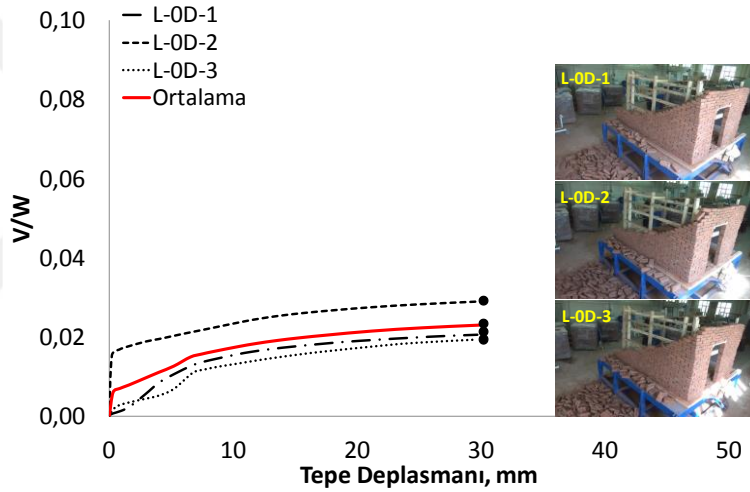
Şekil 4.36. L-0D duvar yapılarının göçme öncesi, sırası ve sonrası durumları.

Göçme sonrası hasar durumlarının tespit edildiği Şekil 4.37’de sol kenardaki plastik mafsal noktasının temele olan uzaklığının diğer duvarlar ile benzer olduğu, L-0D-3 hariç ön duvarlarda bir yay şeklinde gelişen plastik mafsal etrafında duvarın göçtüğü görülebilir. L-0D-3 duvarında yaklaşık lineer bir göçme profili elde edilmiştir.

İtme grafiklerinin verildiği Şekil 4.38’den görüleceği üzere üç duvarın yaklaşık aynı davranışlar sergilediği söylenebilir. Yatay yük oranı, L-0D-1 duvarında %2.1, L-0D-2 duvarında %3 ve L-0D-3’te %2.0 olarak kaydedilmiştir. Grafiklerin ortalaması alındığında ise L-0D duvarlarının ortalama %2.4 yatay yük oranına sahip olduğu söylenebilir.



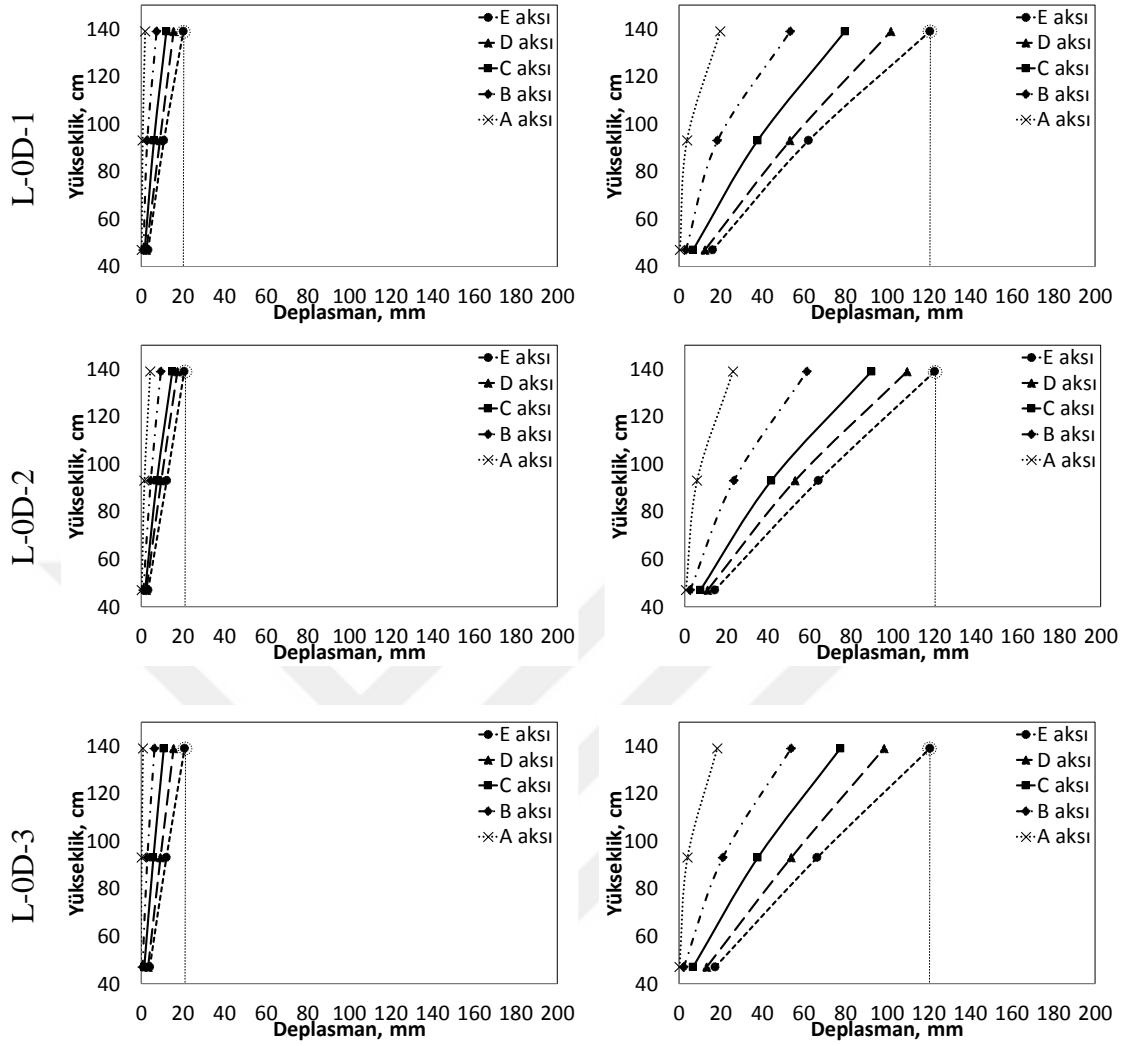
Şekil 4.37. L-0D duvar yapılarının göçme sonrası oluşan şekilleri.



Şekil 4.38. L-0D duvar yapılarının itme grafikleri.

Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ile değişiminin verildiği Şekil 4.39, incelendiğinde diğer L geometrili duvar yapılarına bezer davranışlar sergilendiği görülebilir. Bir başka deyişle, bu duvar tür duvar yapılarında yükseklik arttıkça deplasmanların doğrusal olmayan bir şekilde arttığı, duvarın serbest kenarından yan duvarın birleştiği kenara doğru gidildikçe kademeli olarak deplasmanların azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.39).

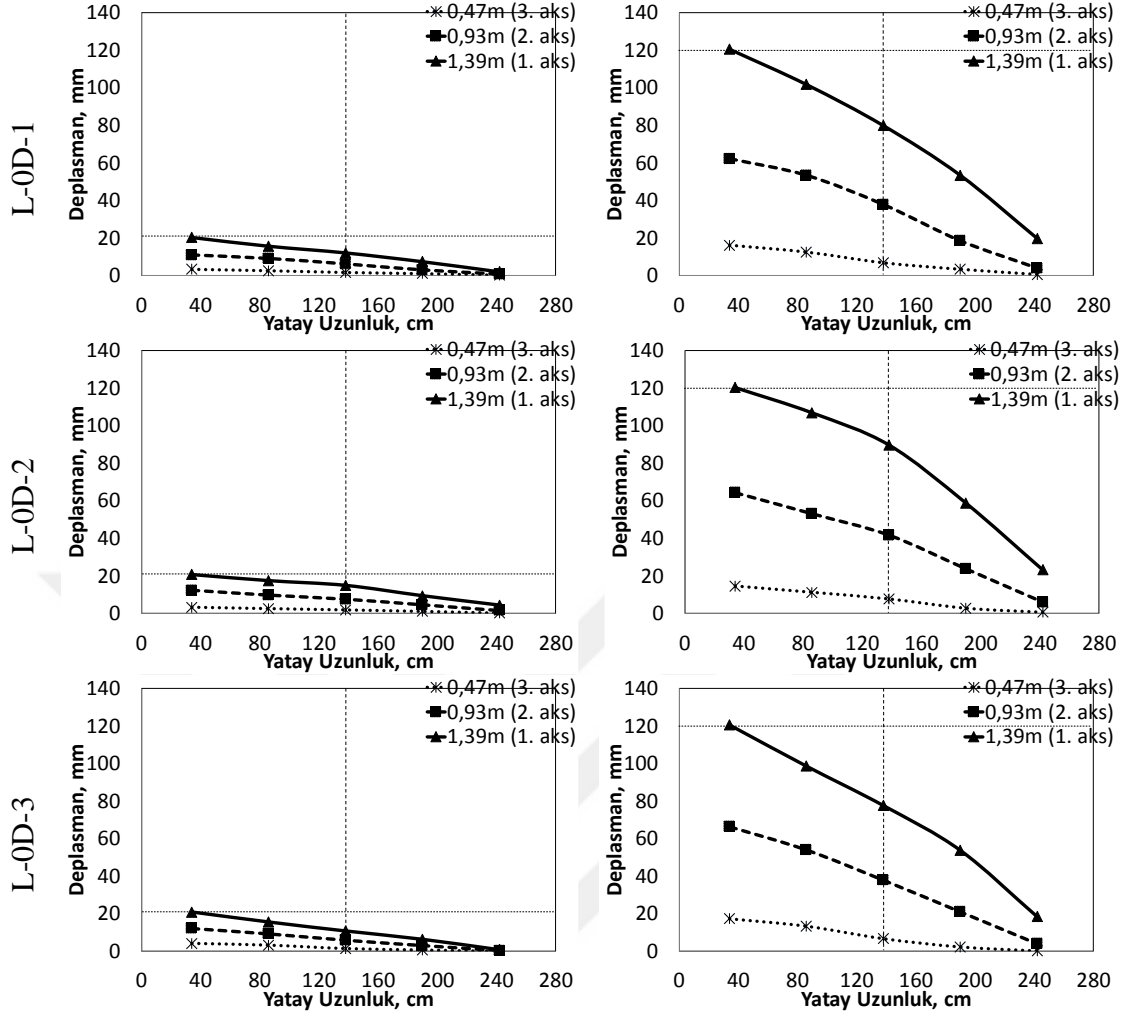




a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

Şekil 4.39. L-OD duvar yapılarının A, B, C, D, E aksı boyunca düzlem dışı deplasmanları.

Yatay deplasman profillerinin verildiği Şekil 4.40, incelendiğinde ise L-WO duvarlarında olduğu gibi lineere yakın bir deplasman profilinin oluştuğu görülebilir. Bu durum sebebi olarak yine kapı boşluğu neticesinde yan duvarın rijitliğinde meydana gelen azalma ve yan duvarın düzlem dışı dönmeleri engelleme yeteneğinin azalması gösterilebilir.



a) Tepe deplasmanı maksimum 20 mm    b) Tepe deplasmanı maksimum 120 mm

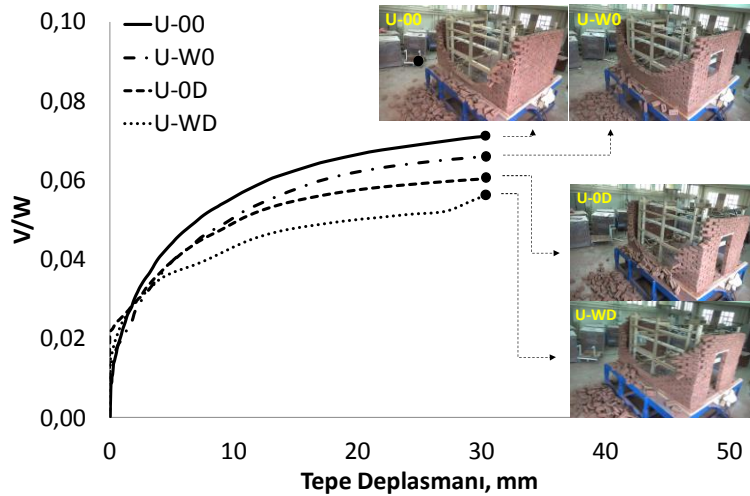
Şekil 4.40. L-OD duvar yapılarının 1., 2. ve 3. aks boyunca düzlem dışı deplasmanları.

## 5. TARTIŞMA

Yapılan test çalışmalarında toplamda temel olarak 7 farklı duvar (her bir duvar tipinden üçer tane olmak üzere toplamda 21 adet duvar) eğilme masası yardımı ile düzlem dışı deplasmanlara maruz bırakılmıştır. Duvar tiplerinin dördü U geometrisinde, geriye kalan üçü ise L geometrisine sahiptir. Deneylerin ana amacı yan duvar boşluğunun düzlem dışı yatay yük kapasitelerine ve düzlem dışı deplasmanlara olan etkisini belirlemektir. Deney sonuçları, itme grafikleri, düzlem dışı deplasman profilleri ve göçme zamanı bazında aşağıdaki bölümlerde karşılaştırılmıştır.

### 5.1. İtme Grafiklerinin Karşılaştırması

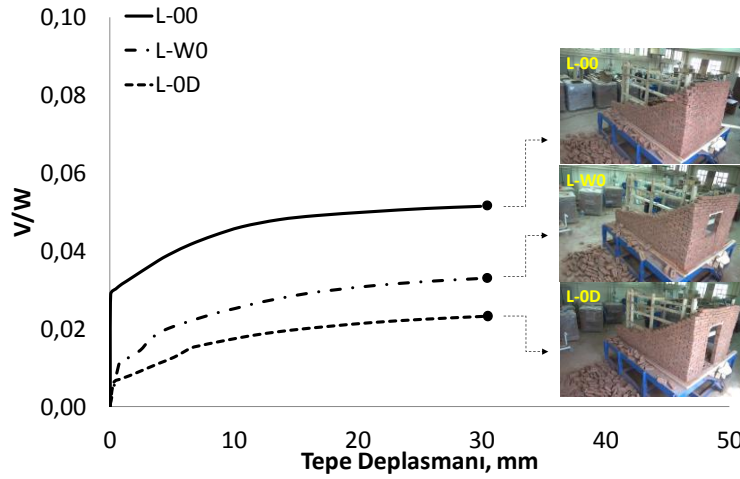
Yapılan deneylerde, eğilme masasının eğilmesi ile yığma yapının bütün kütlelerinin eğilme yönünde hareket etmesi sağlanmış ve düzlem dışı davranışı test edilen ön duvarın göçme yükü ve deplasmanları kaydedilmiştir. Tüm deneylerde duvarların uzunlukları sabit tutulmuş olup düzlem dışı göçen duvarın uzunluğu 2.80 m yan duvarın uzunluğu 2.00 m ve yükseklikleri de temel üstünden (eğilme masasına cıvatalar ile sabitlenmiş 50\*100 mm'lik tahtanın üst noktası) duvarın en üst noktasına kadar 1.40 m alınmıştır. Deneylerde değişken olarak 2 çeşit yapı geometrisi kullanılırken yan duvarlarda bırakılan boşluklar da tüm duvar yapıları için aynı boyutlarda kalmıştır.



Şekil 5.1. U geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.

Şekil 5.1, U geometrisine sahip duvarların itme grafiklerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. U-00 deney duvar yapılarının ilk testinde (U-00-1) lokal zayıflıklardan ve tuğla birimleri arasında aşırı pürüz ve eğrilik olduğu gerekçesi ile aşağıdaki karşılaştırmalarda bu yapının sonuçları, ortalama değerlendirmeye alınmamıştır. U geometrinde inşa edilen deney duvar yapılarından elde edilen sonuçlara göre;

- İtme grafiklerinde akmanın başlayıp deplasmanların nispeten sabit yük altında hızlı arttığı 30 mm değeri için ortalama yatay yük oranı U-00'da %7.3, U-W0'da %6.6, U-0D'de %6.1 ve U-WD'de ise %5.8 olarak bulunmuştur. En düşük kapasite iki yan duvarda da boşluk bulunan U-WD'de elde edilmiştir. Bunu takiben U-0D gelmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Fakat yatay yük oranları arasındaki en büyük fark %9 olarak bulunduğundan bu oranın önemli düzeyde bir farklılığa yol açmadığı düşünülmektedir. Unutulmamalıdır ki bu deneylerde yan duvarlardaki boşluklar ön duvara yaklaşık 60 cm uzakta konumlandırılmıştır. Boşlukların ön duvara olan mesafesi azaldıkça boşluk etkisinin daha fazla olacağı düşünülmektedir. Bu durumu test edebilmek amacı ile farklı deneyler yapılmalıdır.
- İki yan duvarı boşluksuz U-00 yapısının U-W0 yapısından %10, U-W0 yapısının U-0D yapısından %8.1 ve U-0D yapısının U-WD yapısından %5.1 daha fazla dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan 4 deney duvar yapısında yığma birimlerin ayrılması 25-30°'lik bir açı ile gerçekleşmiştir. Deney yapılarının göçme sonrası çizilen tuğla hasar şekillerinden yan duvarında sadece pencere boşluğu bulunan duvarın (U-W0) U-00'a oranla, yan duvarında sadece kapı boşluğu bulunan U-0D'nin sadece pencere boşluğu bulunan U-W0'a oranla, bir yan duvarında pencere diğer yan duvarında kapı boşluğu bulunan U-WD' in sadece kapı boşluğu bulunan U-0D'a oranla daha çok hasar aldığı görülmüştür.
- Şekilden duvar rijitliklerinin de nispeten benzer olduğu görülebilir. 4 duvar yapısında %2 yatay yük oranına kadar herhangi bir hasar görülmemiştir. Duvarlar yaklaşık %3.8 yatay yük oranına kadar aynı rijitlik ile hareket etmiştir. Bu noktadan sonra U-WD duvarı ayrılmış fakat diğer duvarlar yaklaşık %5'e kadar yine beraber hareket etmişlerdir. Bu seviye U-00, U-W0 ve U-0D duvarlarının davranış farkının gözlemlendiği nokta olarak kaydedilmiştir.

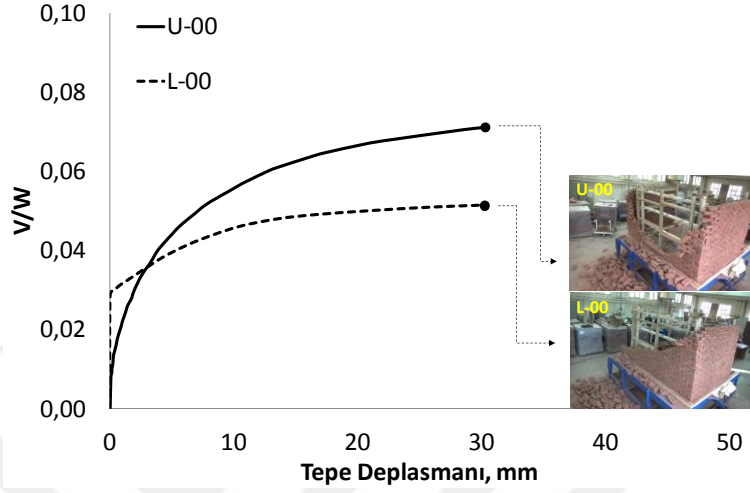


Şekil 5.2. L geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.

L geometrisinde inşa edilmiş 3 deney yapısının Şekil 5.2’de verilen itme grafiğine göre;

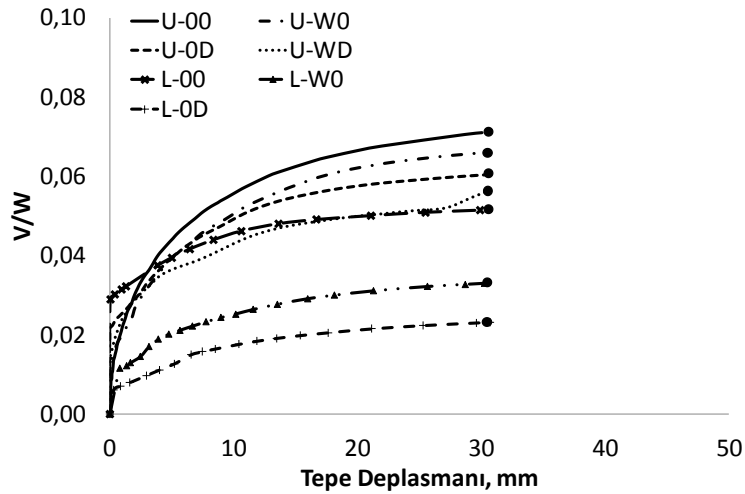
- L geometrisinde inşa edilen yan duvarı tümüyle dolu olan L-00 deneyinin göçmesine sebep olan taban kesme kuvvetinin kütleyle oranı %5.2 kadar iken yan duvarda bir pencere boşluğu bulunan L-W0 deney yapısının V/W oranı %3.3 ve yan duvarında bir kapı boşluğu bulunan L-0D deney yapısının V/W oranı %2.4 olarak ölçülmüştür. Grafikten yola çıkılarak elde edilen bilgilerle yan duvarda kapı veya pencere gibi boşlukların bırakılması durumunda yan duvarlarda davranışta dayanım ve rijitlik kaybı yaşanmıştır. Bu kayıp düzlem dışı hareket eden duvar davranışına da yansıyor ve onda da rijitlik kaybına sebep olmuştur.
- Yan duvarı boşluksuz L-00 duvarının L-W0 duvarından %58, L-0D duvarından ise %116 daha fazla dayanıma sahip olduğu bulunmuştur. Pencere boşluğu içeren L-W0 duvarının ise kapı boşluğu içeren L-0D duvarından %37 daha fazla dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan bütün deneylerde göçme anında duvarın sol kenarında temelden belirli bir yükseklikten başlayarak sağ üst köşeye (bir başka deyişle yan duvara birleşen kenarın üst köşesi) kadar bir yay çizerek uzanan bir plastik mafsallık etrafında duvarın düzlem dışı deplasmanlar yaptığı gözlemlenmiştir.
  - L-00 referans deneyinde deneye başladıktan sonra V/W %3 oranına kadar herhangi bir düzlem dışı deplasman gözlemlenmez iken yan duvarı boşluklu yapıların V/W %1 oranından sonra düzlem dışı deplasmanlara maruz kaldığı görülmüştür. L-

00-1 duvarı deney sırasında mekanik bir aksaklıktan dolayı masanın hızında değişiklikler yaşandığı için bu duvar deneyi ortalama yatay yük kapasitesi hesabında dikkate alınmamıştır.



Şekil 5.3. U-00 ve L-00 duvar yapılarının ortalama itme grafiği.

U ve L geometrisine sahip referans deney duvar yapıları olarak kabul edilen iki grafik karşılaştırıldığında yan duvarın eksikliği ile belirli düzeyde dayanım kaybı yaşandığı Şekil 5.3'teki grafikten görülmektedir. U-00 deneyinin sahip olduğu V/W değeri grafik eğiminin düzleştiği noktada %7.3 iken bu değer L-00 için %5.2 bulunmuştur. Buradan yan duvarın yapılması ile yaklaşık %40 dayanım artışı olduğu çıkarılmaktadır.



Şekil 5.4. U ve L geometrisine sahip duvar yapılarının ortalama itme grafikleri.

Tüm deney duvar yapılarından elde edilen itme grafikleri karşılaştırıldığında yan duvarın eksikliği ve yan duvarlarda bırakılan boşlukların belirli düzeyde dayanım kaybı yaşattığı Şekil 5.4'teki grafikten görülmektedir.

## 5.2. Düzlem Dışı Deplasman Profillerinin Karşılaştırması

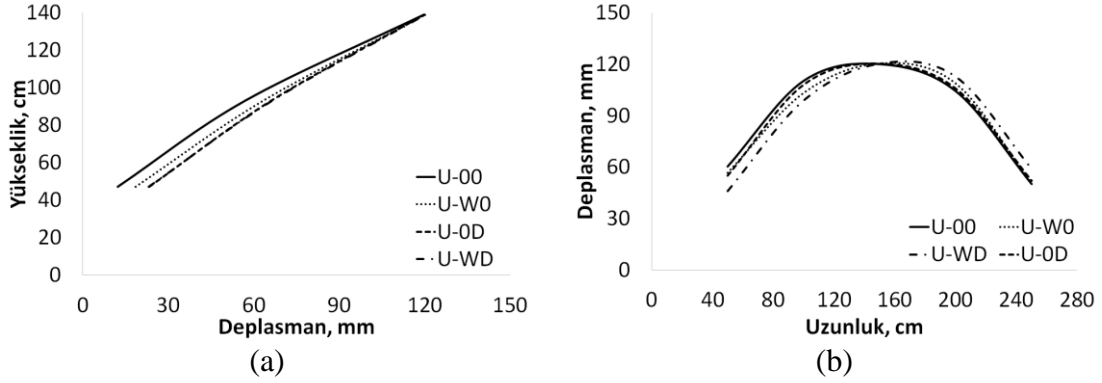
Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ve uzunluğu ile değişimi test edilen U geometrisine sahip duvarlar için Şekil 5.5'te ve L geometrisine sahip duvarlar için ise Şekil 5.5'te verilmiştir. Grafikler maksimum tepe deplasmanın 120 mm olduğu durum için ve sadece maksimum deplasmanın gerçekleştiği aks dikkate alınarak çizilmiştir.

Düzlem dışı deplasmanların duvar yüksekliği ile değişiminin verildiği Şekil 5.5.a incelendiğinde, bütün duvarların temelden belirli bir yükseklikte oluşan plastik mafsallarda döndüğü, bu dönme açısının yan duvarlardaki boşluk miktarının ve boyutunun artması ile azaldığı, dönme açısının azalmasının düzlem dışı deplasmanları azaltmadığı, aksine duvarın temele yakın noktalardaki deplasmanlarının artması sebebi ile bu açının azaldığı belirlenmiştir. Bir başka deyişle yan duvarlardaki boşluk miktarının ve boyutunun artması ile düzlem dışı deplasmanlar duvarın yüksekliği boyunca artma eğilimi göstermiştir. Bunun sebebi olarak yan duvardaki boşlukların sürtünme sürekliliğini azaltarak bu duvarlarda düzlem içi rijitlik kaybına yol açması ve sonuç olarak deformasyona gösterilen direncin duvar yüksekliği boyunca azalması gösterilebilir.

Şekil 5.5.b düzlem dışı deplasmanların duvar uzunluğu ile değişimini göstermektedir. Grafiklerden görüleceği üzere dört duvar da yan duvarın mesnet etkisi sebebi ile kemer şeklini almıştır. Fakat oluşan kemer şeklinin bütün duvar tiplerinde duvar orta aksına göre simetrik olmadığı görülebilir. Yan duvar boşluklarının kemerin maksimum noktasını boşluk bulunan tarafa doğru çektiği, bir başka deyişle düzlem dışı deplasmanların boşluk bulunan yan duvara doğru gidildikçe arttığı belirlenmiştir. İki yan duvarında da boşluk bulunan U-WD duvarında simetri ekseninin kapı boşluğu bulunan tarafına çok fazla kaydığı, bunu sadece kapı boşluğu içeren U-0D duvarının izlediği görülebilir.

Dolayısıyla yan duvar boşluklarının, yan duvar rijitliğini azaltarak düzlem dışı deplasmanların artmasına sebep olduğu, simetrik yerleştirilmeyen boşluklar sebebi ile

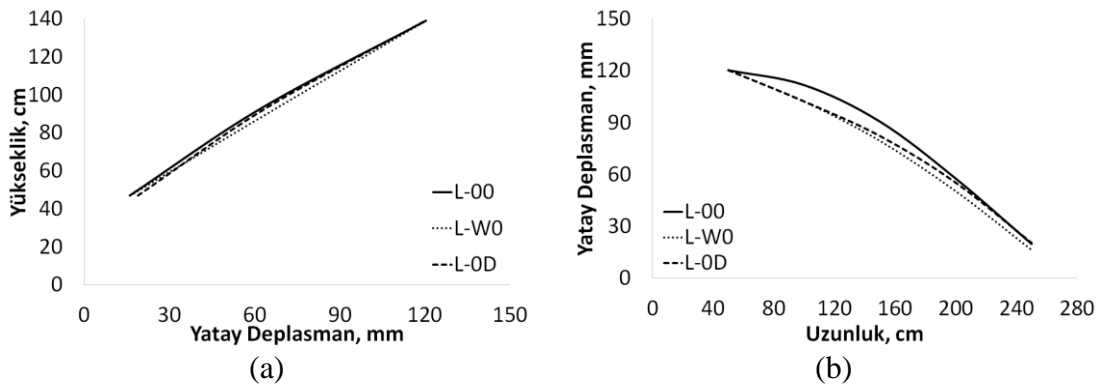
düzlem dışı deplasmanların nispeten düşük rijitliğe sahip yan duvara doğru kayarak bu bölgenin daha fazla düzlem dışı deplasmanlar yapmasına yol açtığı söylenebilir.



Şekil 5.5. U geometrisine sahip duvar yapılarında düzlem dışı deplasmanların. a) yükseklik ve b) uzunluk ile değişimi.

L geometrisine sahip duvarların düzlem dışı deplasmanlarının duvar yüksekliğine bağlı değişiminin verildiği Şekil 5.6.a'dan görüleceği üzere bütün duvarların yaklaşık aynı davranışı sergilediği gözlenmiştir. Duvarlar arasında çok düşük farklar mevcuttur fakat bu farklar ihmal edilebilecek düzeydedir. Yan duvar boşluklarının duvarın göçme durumunda maruz kaldığı dönme açılarını değiştirmedeği söylenebilir.

Düzlem dışı deplasmanların duvar uzunluğu ile değişiminin verildiği Şekil 5.6.b'den yan duvar boşluğunun duvar uzunluğu boyunca nispeten lineer bir deplasman profiline yol açtığı belirlenmiştir. L-00 duvarında görülen yan duvar etkinliği ile düzlem dışı deplasmanlar yan duvara doğru hızlı bir şekilde azalma eğilimi göstermiştir.



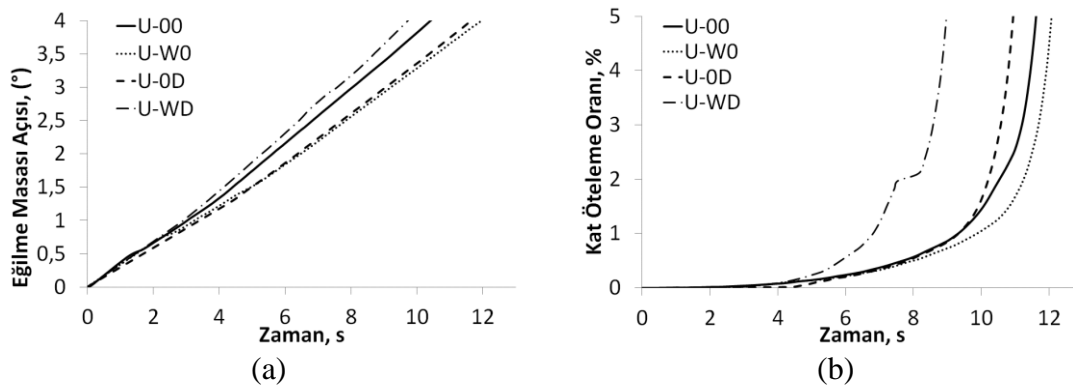
Şekil 5.6. L geometrisine sahip duvar yapılarında düzlem dışı deplasmanların. a) yükseklik ve b) uzunluk ile değişimi.



### 5.3. Göçme Zamanlarının Karşılaştırması

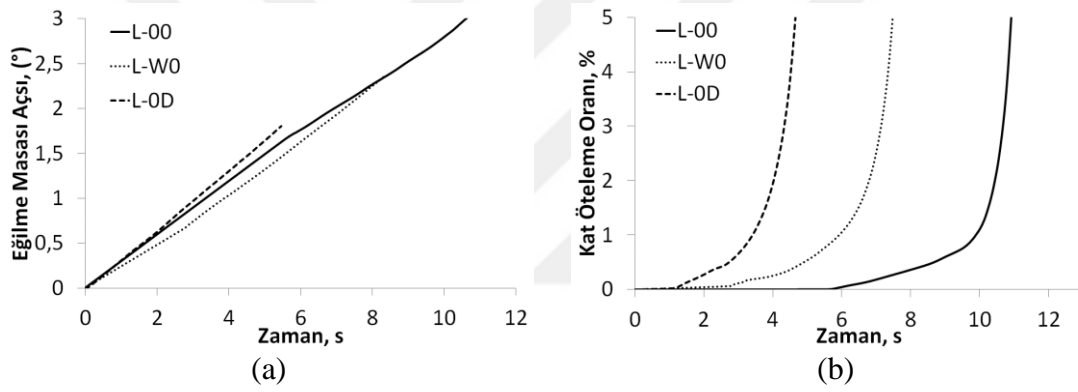
Düzlem dışı deplasman deneylerinde kullanılan eğilme masasının hızı önem arz ettiğinden Şekil 5.7.a'da U geometrisine sahip yığma duvarlarda eğilme masasının düşeyde zamanla yaptığı açı verilmiştir. Şekilden eğilme masasının yükselme hızının tüm deneylerde yaklaşık lineer olduğu ve 0.25°/s ile 0.40°/s arasında değiştiği görülmektedir. Deney hızları arasında az miktarda fark olsa da ihmal edilecek düzeyde olduğu yapılan üzer tekrarlı deneylerde ortaya çıkmıştır.

Şekil 5.7.b U geometrisine sahip yığma duvarların kat öteleme oranının zamanla değişimini göstermektedir. Tüm deneylerde 4. saniyeye kadar duvarların rijit davrandığı, herhangi bir kat ötelenmesinin olmadığı görülürken 4. saniyeden sonra düzlem dışı deplasmanların artmaya başladığı ve U-WD deneyde 8. saniyede, diğer deneylerde ise 10-12.saniyede deney duvarının göçme durumuna geçtiği ve hızla göçtüğü belirlenmiştir. U-WD deneyinde 7.saniyede bir bozulma olmasının nedeni deney sırasında düzlem dışı duvardan önce yan duvarın göçmesinden kaynaklanmaktadır. Yan duvarın deney sırasında beklenmeksizin göçmesi tuğla birimleri arasında herhangi bir bağlayıcı malzeme kullanılmamasına bu yüzden duvar dayanımının oldukça düşük olmasına dayandırılmaktadır. Deney elemanlarında zamanla meydana gelen kat ötelemelerinden yan duvarı boşluklu yapıdaki duvarların dolu duvarlara oranla daha hızlı bir deformasyona uğradığı söylenebilir. Yan duvarlarda bırakılan kapı ve pencere boşluklarının dik olarak birleştiği duvarlarda düzlem dışı deplasmanları büyüttüğü ve erken göçmesine neden olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.7. U geometrisine sahip duvar yapılarında. a) eğilme masasının açısı. b) öteleme oranının zamanla değişimi.

L geometrisine sahip yığma tuğla yapıların düzlem dışı deneylerinin eğilme masası birim zamanda yaptığı yükselme Şekil 5.8.a'da verildiği üzere 3 deney duvar yapısında da sabit tutulmuştur. Bu deney başlangıcından deney sonuna kadar tüm deneylerde hızın değişmediğini göstermektedir. 3 deney duvarında da hız olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmıştır. Yan duvarda bırakılan boşluklar eğilme masası üzerindeki yükü hafiflettiği için masa hızında küçük düzeyde değişiklikler yaratmıştır. L duvar yapılarının zamanla yaptığı kat ötelenmeleri Şekil 5.8.b'de gösterildiği gibi oluşmuştur. L-00 deney duvar yapısının gösterdiği kat ötelenmesi 11.saniyede %2'e ulaşırken L-W0 deney duvar yapısı 7.saniyede %2'e ulaştığı ve L-0D deney duvar yapısı da 4.saniyede %2'e ulaştığı söylenebilir. Ortaya çıkan veriler yan duvarda bırakılan boşluk miktarı eğer artar ise düzlem dışı duvarın o kadar erken göçeceğini göstermektedir.



Şekil 5.8. L geometrisine sahip duvar yapılarında. a) eğilme masasının açısı. b) öteleme oranının zamanla değişimi.

## 6. SONUÇ

Yığma yapılarda yan duvarın bulunması ve yan duvarda bırakılan boşluğun düzlem dışı hareket eden duvara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma yığma duvar yapılarının eğilme masası üzerinde inşa edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında düzlem dışı hareket eden yığma duvar üzerinden 15 LVDT ile saniyede 8 veri okunarak deplasman verileri kaydedilmiştir. Eğilme masasının hızı 0.25°/s ile 0.40°/s arasında sabitlenmiştir. 4'ü U geometrisinde 3'ü L geometrisinde toplam 7 tip yığma duvar yapısı yan duvarlarında pencere ve kapı boşlukları bırakılarak kategorize edilmiş ve deneyleri yapılmıştır. Her duvar tipi için üçer deney yapılarak olası lokal hatalar en aza indirilmiştir. Yan duvarda bulunan boşlukların, diğer duvarla birleştiği köşeye olan mesafesi ( $\frac{1}{2}$  ölçek) 60 cm'dir.

U geometrisindeki yığma duvar yapılarında düzlem dışı test edilen duvarın boşluktan oldukça etkilendiği görülmüş ve hasarın boşluk bulunan yan duvarda geniş bir alana yayıldığı belirlenmiştir. Düzlem dışı hareket eden duvarın ilk hareketinde doğrusal bir deplasman profili oluşturduğu görülürken artan deplasman ile dış bükey bir deformasyon yaptığı görülmüştür. İki yan duvarı boşluksuz inşa edilen U-00 yapısının U-W0 yapısından %10, U-W0 yapısının U-0D yapısından %8.1 ve U-0D yapısının U-WD yapısından %5.1 daha fazla dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Buradan yan duvarda bırakılan boşlukların düzlem dışı davranışa olumsuz etkidiği, dayanım ve rijitliği düşürdüğü sonucu çıkarılmaktadır.

L geometrisinde yapılan bütün deneylerde göçme anında duvarın sol kenarında temelden belirli bir yükseklikten başlayarak sağ üst köşeye (yan duvarla birleşen kenarın üst köşesi) kadar bir yay çizerek uzanan bir plastik mafsallık etrafında duvarın düzlem dışı deplasmanlar yaptığı gözlemlenmiştir. Deplasman profillerinden L duvar deneylerinin düzgün bir formda göçtüğü görülmektedir. Yan duvarı boşluksuz L-00 yapısının L-W0 yapısından %58, L-0D yapısından ise %116 daha fazla dayanıma sahip olduğu bulunmuştur. Pencere boşluğu içeren L-W0 duvarının ise kapı boşluğu içeren L-0D yapısından %37 daha fazla dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışma ile elde edilen düzlem dışı deplasman profilleri ileride yapılacak olan hasar limitlerinin belirlenmesine imkân sağlayacak ve bu limitlerin hangi

faktörlerden nasıl etkilendiği anlaşılacaktır. Ortaya çıkan veriler ile yan duvarda bırakılan boşluk miktarı artması durumunda veya yan duvar sayısı azalması durumunda düzlem dışı duvarın o kadar erken ve hızlı bir şekilde göçeceğini göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- Akansel, V., Ameri, G., Askan, A., Caner, A., Erdil, B., Kale, Ö., Okuyucu, D. 2014. The 23 October 2011  $M_w$ 7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post-Earthquake Conditions of Nearby Structures. *Earthquake Spectra*: **30**(2): 657-682.
- Bakır, S., Canbay, E., Erberik, A., Gülerce, Z., Aldemir, A., Demirel, O., 2010. **8 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elâzığ) Depremi Ön İnceleme Raporu**. EERC Earthquake Engineering Research Center, Middle East Technical University, Ankara.
- Bayülke, N., 2011. Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği. **1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, ODTÜ, Ankara.
- Budak, A., Uysal, H., Aydın, A. C., 2004. Kırsal yapıların deprem karşısındaki davranışı. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, **35**(3-4): 209-219.
- Casapulla, C., Argiento, L. U., 2016. The comparative role of friction in local out-of-plane mechanisms of masonry buildings. Pushover analysis and experimental investigation. *Engineering Structures*, Naples, Italy, **126**: 158-173.
- Charng, J., J., Huang, C-C., 2008. Seismic stability of reinforced slopes: effects of reinforcement properties and facing rigidity. *Geosynthetics International*, Tainan, Tayvan, **15**: 107-118.
- Cornelissen, H. A. W., Hordijk, D. A., Reinhardt, H. W., 1986. *Experimental Determination of Crack Softening Characteristics of Normalweight and Lightweight Concrete*. Heron, 31.
- Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A. 2003. Experimental study on the determination of strength of masonry walls. *Construction and Building Materials* **17**: 325–337.
- Değirmenci, Ç., Ekin, Ö., 2014. Deprem davranışları incelenecek olan yığma yapıların durumları hakkında ilk izlenimler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Bilecik, **1**(2): 1-8.
- Çöğürçü, M., T., 2007. *Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi*. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dazio, A., 2008. The effect of the boundary conditions on the out-of-plane behaviour of unreinforced masonry walls. *In 14th World Conference on Earthquake Engineering*, **8**: 12-17.
- DBYBHY, 2007. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- de Felice, G., 2011. Out of plane seismic capacity of masonry depending on wall section morphology. *International Journal of Architectural Heritage*, **5**(4-5): 466-482.
- Demir, H., 1992. *Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Döndüren, M. S., 2008. *Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Erdik, M., Demircioğlu, M., Beyen, K., Şeşetyan, K., Aydınoglu, N., Gul, M., Siyahi, B., Önem, G., Tüzün, C., Salkın, A., Kaya, Y., 2003. May 01 2003 bingöl (Turkey)

- earthquake. *İstanbul, Department of Earthquake Engineering, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute*, Bogazici University, İstanbul.
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington DC.
- Francesco, G., Tomassetti, U., Penna, A., Magenes, G., 2016. Out-of-plane shaking table tests on urm single leaf and cavity walls. *Engineering Structures*, **125**: 455-470.
- Gençer, F., Hamamcıoğlu Turan, M., Vardaroğlu, M., Aktaş E., 2017. Karya, alında ve latmos'daki iki helenistik kulenin yapısal dayanımının değerlendirilmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye.
- Giuffrè, A., 1996. A mechanical model for statics and dynamics of historical masonry buildings. *In Protection of the Architectural Heritage Against Earthquakes, CISM Courses and Lectures*, **359**: 71-152.
- Gülkan, P., Sucuoğlu, H., 1988. Kırsal yapılarda deprem hasarlarının tayini. *Deprem Araştırma Bülteni*, **62**: Ankara.
- Huang, C-C., Horng, J-C., Charng, J., J., 2008. Seismic stability of reinforced slopes: failure mechanisms and displacements. *Geosynthetics International*, Tainan, Tayvan, **15**: 333-349.
- Karaşın, A., Karaesmen, E. 2005. Bingöl depreminde meydana gelen yapısal hasarların irdelenmesi. *Deprem Sempozyumu*. Kocaeli, 386:396.
- Korkmaz, S. Z., 2007. *Kırsal Konutların Deprem Güvenliğinin Arttırılması* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Lourenço, P. B., Rots, J. G., 1997. Multisurface interface model for analysis of masonry structures. *J. Struct. Eng., ASCE*. **123(7)**: 660-668.
- Magenes, G., Penna, A., Senaldi, I. E., Rota, M., Galasco, A., 2013. Shaking table test of a strengthened full-scale stone masonry building with flexible diaphragms. *International Journal of Architectural Heritage*, **8(3)**: 349-375.
- Mendes, N., Lourenço, P. B., Campos-Costa, A., 2013. Shaking table testing of an existing masonry building: assessment and improvement of the seismic performance. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **10**: 23-42.
- Öztürk, Ş. 2013. Van gölü havzası'nda bat ve kerpiçin mimaride kullanımı/the usage of adobe and bat in van lake basin architecture. *Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi Atatürk Üniversitesi*, **30**: 103-122.
- Özyurt, U., 2008. *Manisa Yöresindeki Kırsal Yapıların Yapısal Özelliklerinin Ve Deprem Davranışlarının Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ege üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- Restrepo-Velez, L. F., Guido, M., Michael C. G., 2014. Dry stone masonry walls in bending part 1: static tests. *International Journal of Architectural Heritage*, **8(1)**:1-28.
- Restrepo-Velez, L. F., Magenes, G., C. Griffith, M., 2012. Dry stone masonry walls in bending part 1: static tests. *International Journal of Architectural Heritage*, **8(1)**: 1-28.
- Shawa, O. A., de Felice, G., Mauro, A., Sorrentino, L., 2012. Out of plane seismic behaviour of rocking masonry walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **41(5)**: 949-968.
- Shi, Y., D'Ayala D., Jain, P., 2008. Analysis of out of plane damage behaviour of unreinforced masonry walls. *14th International Brick & Block Masonry Conference*, Bath, England.

- Simsir, C. C., Aschheim, M. A., Abrams, D. P., 2004. Out of plane dynamic response of unreinforced masonry bearing walls attached to flexible diaphragms. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada.
- Tafarel, P., Dubois, F., Pagano, S., 2013. Evaluation of numerical uncertainties on the modeling of dry masonry structures submitted to out of plane loading, using the nscd method in comparison with experimental test. *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012)*, Vienna, Austria.
- TBDY, 2019 **Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği**, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- TS 2510, 1977. **Kâgir Duvarlar- Hesap ve Yapım Kuralları**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699/T1, 2016. **Doğal yapı taşları -İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri**. TK10: Yapı Malzemeleri Teknik Komitesi, Ankara.
- TS EN 771-1:2011+A1, 2015. **Kâgir Birimler Özellikleri- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1:2011+A1, 2015. **Kâgir Birimler- Deney Metotları**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1052-1, 2000. **Kâgir Deney metotları Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1015-11, 2000. **Kâgir harcı deney metotları Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turer, A., Golalmis, M., Korkmaz, H. H., Korkmaz, S. Z., 2013. Tilting table tests on strengthened masonry houses. *Proceedings of the 2013 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13)*, Jeju, Korea, 4084-4099.
- Turer, A., Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., 2007. Performance improvement studies of masonry houses using elastic post-tensioning straps. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **36**: 683-705.
- Üstündağ, C., 2000. *Bir-iki Katlı Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı Ve Kesme Güvenliğinin Sağlanması* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- Yanan, S., D' Ayala, D., Prateek, J., 2008. Analysis of out of plane damage behaviour of unreinforced masonry walls. *In 14th International Brick and Block Masonry Conference*. 02-17.
- Zamankhani, J. S., Arun, G., 2011. 2006 iran silakhor depreminde kerpiç yığma duvarların sismik davranışı. *Sigma*, **3**: 290-299.





## ÖZGEÇMİŞ

Fırat KIPÇAK, 1996 yılında Van/Edremit'te doğdu. İlköğretimini Emin Paşa İlköğretim Okulunda, Lise eğitimini ise Van Kâzım Karabekir Anadolu Lisesi'nde bitirdi. 2012 yılında yerleştiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2016 yılında bitirdi. Ardından Eylül 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.





T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 28/12/2018

Tez Başlığı / Konusu: **Harman Tuğlası ile İnşa Edilmiş Yan Duvarı Boşluklu Yığma Yapıların Düzlem Dışı Davranışlarının Eğilme Masası Yardımı ile Belirlenmesi**

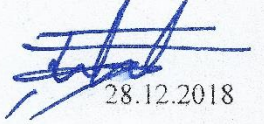
Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 86 sayfalık kısmına ilişkin, 28/12/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **%0 (yüzde sıfır)** 'dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayımlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

  
28.12.2018

Adı Soyadı: Fırat KIPÇAK

Öğrenci No: 169101027

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: İnşaat Mühendisliği

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

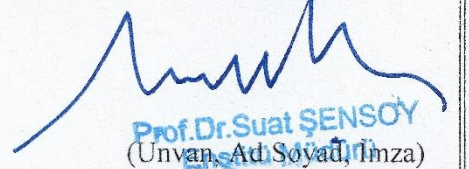
**DANIŞMAN ONAYI**  
UYGUNDUR

Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL



(Unvan, Ad Soyad, İmza)

**ENSTİTÜ ONAYI**  
UYGUNDUR

  
Prof. Dr. Suat ŞENSOY  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)