
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

# SIVASIZ TUĞLA DOLGU DUVARLAR İÇİN EŞDEĞER DİYAGONAL ÇUBUK GENİŞLİĞİNİN BELİRLENMESİ

**Alaz USLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2020**

Alaz USLU tarafından hazırlanan "SIVASIZ TUĞLA DOLGU DUVARLAR İÇİN EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUK GENİŞLİĞİNİN BELİRLENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

**Başkan:** Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Tez Savunma Tarihi: 23.01.2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

……..

Alaz USLU

23/01/2020

# SIVASIZ TUĞLA DOLGU DUVARLAR İÇİN EŞDEĞER DİYAGONAL ÇUBUK GENİŞLİĞİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Alaz USLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

## ÖZET

Betonarme çerçeveli yapılarda bölme duvar şeklinde uygulanan tuğla dolguların yapısal analizleri aşamasında taşıyıcı eleman şeklinde ele alınmamaktadır. Yapılan deneysel çalışmaların ve geçirdiğimiz depremlerin sonuçları yorumlandığında, tuğla dolguların bulundukları yapılara, başta dayanım ve rijitlik olmak üzere birçok yönden desteğinin olduğu görülmüştür. Yatay yük tesirindeki dolgu duvarların adeta bir basınç çubuğu şeklinde davranıp, üzerine etki eden yükleri diyagonal (köşegen) doğrultuda aktarması; dolgu duvarların analizlerde diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi ile anlamlı hale gelmiştir. Diyagonal basınç çubuğu genişliğinin belirlenmesine yönelik birçok kuramsal çalışma bulunmaktadır. Fakat yapılmış çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların yük aktarımına nasıl bir katkı koyduğu yönünde kapsamlı ve etkili bir deneysel çalışmaların olmadığı fark edilmiştir. Deneysel kısımdaki bu eksikliğe katkı koymak amacıyla tam ve farklı bant genişliklerine sahip diyagonal tuğla duvarlar oluşturulup; diyagonal tuğla duvarların deney sonucunda elde edilen dayanımları, tam duvarların deneyleri sonucunda elde edilen dayanımlar ile kıyaslanmıştır. Deneyler; ½ ölçekli olacak şekilde, sekiz farklı tipte ve üçer tekrarlar ile tasarlanmış toplam yirmi dört tuğla dolgu duvarın; dört köşesinden mafsallanmış, rijit çelik bir çerçeve içerisine yerleştirilmesi kaydıyla, tek düze yatay yükler etkisi altında yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde, diyagonal basınç çubuğu genişliğinin duvar köşegen uzunluğunun 1/3'üne yaklaşma eğiliminde olduğu görülmüştür.

| | | |
|---|---|---|
| Bilim Kodu | : | 91130 |
| Anahtar Kelimeler | : | Tuğla duvar, Eşdeğer çubuk genişliği, Makro-modelleme |
| Sayfa Adedi | : | 205 |
| Danışman | : | Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ |

# DETERMINATION OF EQUIVALENT DIAGONAL STRUT WIDTH FOR NON-PLASTERED BRICK INFILL WALLS

(M. Sc. Thesis)

Alaz USLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

## ABSTRACT

In reinforced concrete buildings, brick walls applied in the form of separated walls are considered as carrier elements in structural analyses. When previous studies and the effects of the earthquakes are examined, it is seen that the brick filled walls provide many benefits such as strength and rigidity to the structures where they are present. The fact that filled walls behave like a diagonal compression strut and transmit the force applied on them in diagonal axes when put under horizontal force lead the modelling of filled wall as diagonal compression struts in the analyses. Although there have been many theoretical studies aiming at determining the width of diagonal compression struts, no comprehensive experimental study has ever been conducted to discover how they contribute to force transmission. In order to partly fill this knowledge gap, whole brick walls and diagonal brick walls with different band width were built and observed strengths of the diagonal walls were compared to those of the whole walls. The experiments were conducted at 1/2 scale by using a total of 24 brick walls of 8 different types each having 3 replicates which were hinged in four corners and exposed to uniform horizontal forces. The results of the experiments indicate that diagonal compression strut width tends to approximate 1/3 of the diagonal length of the walls.

| | | |
|---|---|---|
| Science Code | : | 91130 |
| Key Words | : | Brick wall, Equivalent strut width, Macro-modelling |
| Page Number | : | 205 |
| Supervisor | : | Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ |

# TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımda, kıymetli yardımları için değerli tez danışmanım, Sayın Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a, teşekkür ederim.

Çalışmalarımda fikir ve görüşlerini benimle paylaşan, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans süreci boyunca, yardımları, fikirleri ile her zaman yanımda olan ve yönlendirmelerde bulunan Arş. Gör. Meryem BÖCEK'e teşekkür ederim.

Deney sürecimde laboratuvarda zaman kazandıran çözümleri ve yöntemleri ile hızlıca bu süreci atlatmamı sağlayan yardımları için Uzm. Faruk OGÜN'e teşekkür ederim.

Deneylerim esnasında yardımları ve destekleri için Hüseyin KALKAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans deneylerimde ihtiyacım olan malzemelerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen, birlikte çalışma imkanı bulduğum çok değerli müdürlerim, BASF Ankara Bölge Müdürü Türker SİNİCİ'ye ve Aykimtaş Anadolu Yapı Kimyasalları Satış Müdürü Mümtaz YÜCEYURT'a teşekkür ederim.

Deney elemanlarımın oluşturulma sürecinde, deneylerimin yapılma sürecinde ve sonrasında her zaman yanımda olan, kendisinin yüksek lisans çalışmasıymış gibi yardım eden değerli ev arkadaşım, meslektaşım Hüseyin Volkan KALAY'a teşekkür ederim.

Tez yazma sürecinde, tezime koyduğu katkılardan dolayı can dostum Arş. Gör. İbrahim Kaan ÖZGENCİL'e ve sevgili Fikriye ÖZGENCİL'e teşekkür ederim.

Tez yazma sürecinde, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Ece Işıl EREN'e teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

ÖZET ..... iv

ABSTRACT ..... v

TEŞEKKÜR ..... vi

İÇİNDEKİLER ..... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ..... x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... xi

RESİMLERİN LİSTESİ ..... xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... xix

1. GİRİŞ ..... 1

2. DENEYSEL ÇALIŞMA ..... 13

2.1. Deney Metodolojisi ..... 13

2.1.1. Deney elemanlarının isimlendirilme yöntemleri ..... 14

2.2. Deney Elemanlarını Oluşturan Malzemelerin Özellik ve Dayanımları ..... 17

2.2.1. Tuğla ..... 18

2.2.2. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı ..... 24

2.2.3. Çimento ve kum harcı ..... 27

2.3. Deney Elemanlarının Oluşturulması ..... 30

2.4. Deney Düzeneği ..... 37

2.4.1. Deney çerçevesi ..... 37

2.4.2. Yükleme düzeni ..... 38

2.4.3. Ölçüm düzeni ..... 38

2.5. Deney Elemanları ..... 42

**Sayfa**

2.5.1. FB tasarımı ..... 43
2.5.2. NPW tasarımı ..... 44
2.5.3. NPWb400 tasarımı ..... 46
2.5.4. NPWb500 tasarımı ..... 47
2.5.5. NPWb600 tasarımı ..... 49
2.5.6. NPWb700 tasarımı ..... 50
2.5.7. NPWb800 tasarımı ..... 52
2.5.8. NPW+ tasarımı ..... 53
3. DENEYLER ..... 57
3.1. FB1 Deney Elemanı ..... 57
3.2. FB2 Deney Elemanı ..... 62
3.3. FB3 Deney Elemanı ..... 67
3.4. NPW1 Deney Elemanı ..... 72
3.5. NPW2 Deney Elemanı ..... 77
3.6. NPW3 Deney Elemanı ..... 82
3.7. NPWb400-1 Deney Elemanı ..... 87
3.8. NPWb400-2 Deney Elemanı ..... 91
3.9. NPWb400-3 Deney Elemanı ..... 95
3.10. NPWb500-1 Deney Elemanı ..... 99
3.11. NPWb500-2 Deney Elemanı ..... 103
3.12. NPWb500-3 Deney Elemanı ..... 107
3.13. NPWb600-1 Deney Elemanı ..... 111
3.14. NPWb600-2 Deney Elemanı ..... 115

**Sayfa**

3.15. NPWb600-3 Deney Elemanı ..... 119

3.16. NPWb700-1 Deney Elemanı ..... 123

3.17. NPWb700-2 Deney Elemanı ..... 127

3.18. NPWb700-3 Deney Elemanı ..... 131

3.19. NPWb800-1 Deney Elemanı ..... 135

3.20. NPWb800-2 Deney Elemanı ..... 139

3.21. NPWb800-3 Deney Elemanı ..... 145

3.22. NPW4+ Deney Elemanı ..... 149

3.23. NPW5+ Deney Elemanı ..... 153

3.24. NPW6+ Deney Elemanı ..... 157

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 161

5. ANALİTİK YÖNTEM ..... 179

5.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli (Makro- Model) ..... 179

5.2. Eşdeğer Basınç Çubuğuna Karar Verme ..... 181

5.3. NPW ve NPW+ Deney Elemanı Tasarımlarında Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğu Genişliğinin Hesaplanması ..... 185

5.4. NPW ve NPW+ Tasarımlarının Dayanım Hesabı ..... 190

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 197

KAYNAKLAR ..... 199

ÖZGEÇMİŞ ..... 205

# ÇİZELGELERİN LİSTESİ

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 1.1. Analitik eşdeğer- çubuk deneyimleri konulu makaleler ..... 4

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özelliklerine göre sıralanması ..... 14

Çizelge 2.2. Delikli dikdörtgen yüzeye (1) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları ..... 21

Çizelge 2.3. Düz dikdörtgen yüzeye (2) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları.. 22

Çizelge 2.4. Düz kare yüzeye (3) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları ..... 23

Çizelge 2.5. Yüksek dayanımlı tamir harcının ürün bilgi föyündeki teknik özellikleri ..... 24

Çizelge 2.6. Yüksek dayanımlı tamir harcının ürün bilgi föyündeki karışım oranları ..... 25

Çizelge 2.7. Yüksek dayanımlı tamir harcından alınan numunelerin basınç dayanımları .. 25

Çizelge 2.8. 300 kg çimento dozlu harç yapılması 10.005 pozu analiz açılımı ..... 27

Çizelge 2.9. Kum- çimento harcının karışım oranları ..... 27

Çizelge 2.10. Kum- çimento harcından alınan numunelerin basınç dayanımları ..... 28

Çizelge 2.11. Ölçüm düzeninde yer alan deplasman ölçerlerin özellikleri ..... 41

Çizelge 4.1. Deney sonuçlarının karşılaştırma tablosu..... 161

Çizelge 4.2. Yük tablosu..... 162

Çizelge 4.3. Duvarların örülme ve deneylerin yapılma tarihleri ..... 162

Çizelge 5.1. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun genişliğini hesaplamak için geliştirilmiş farklı denklemler ..... 183

Çizelge 5.2. NPW ve NPW+ tasarımları için farklı yaklaşımlarla hesaplanan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişlikleri..... 187

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 2.1. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların ölçüleri……. 18

Şekil 2.2. Basınç testlerinde tuğlalara tatbik ettirilen yükler…….. 20

Şekil 2.3. Deney çerçevesi, yükleme düzeni ve detayları ..... 37

Şekil 2.4. FB deney elemanı tasarımında deplasman ölçerlerin konumları ..... 39

Şekil 2.5. NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ deney elemanları tasarımlarındaki deplasman ölçerlerin konumları ..... 41

Şekil 2.6. FB tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 44

Şekil 2.7. NPW tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 45

Şekil 2.8. NPWb400 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 46

Şekil 2.9. NPWb500 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 48

Şekil 2.10. NPWb600 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 49

Şekil 2.11. NPWb700 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 51

Şekil 2.12. NPWb800 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 52

Şekil 2.13. NPW+ tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli ..... 55

Şekil 3.1. FB1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 61

Şekil 3.2. FB2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 66

Şekil 3.3. FB3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 71

Şekil 3.4. NPW1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 76

Şekil 3.5. NPW2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 81

Şekil 3.6. NPW3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 86

Şekil 3.7. NPWb400-1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 90

Şekil 3.8. NPWb400-2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 94

Şekil 3.9. NPWb400-3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi ..... 98

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 3.10. NPWb500-1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 102

Şekil 3.11. NPWb500-2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 106

Şekil 3.12. NPWb500-3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 110

Şekil 3.13. NPWb600-1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 114

Şekil 3.14. NPWb600-2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 118

Şekil 3.15. NPWb600-3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 122

Şekil 3.16. NPWb700-1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 126

Şekil 3.17. NPWb700-2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 130

Şekil 3.18. NPWb700-3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 134

Şekil 3.19. NPWb800-1 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 138

Şekil 3.20. NPWb800-2 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 144

Şekil 3.21. NPWb800-3 deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 148

Şekil 3.22. NPW4+ deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 152

Şekil 3.23. NPW5+ deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 156

Şekil 3.24. NPW6+ deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi..... 160

Şekil 4.1. NPW1 deney elemanında ölçülen diyagonal bant genişliği ..... 164

Şekil 4.2. NPW3 deney elemanında ölçülen diyagonal bant genişliği ..... 165

Şekil 4.3. Deney elemanlarının göçme yüküne göre dizilmesi..... 169

Şekil 4.4. FB tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri..... 170

Şekil 4.5. NPW tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri..... 171

Şekil 4.6. NPWb400 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri ..... 172

Şekil 4.7. NPWb500 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri ..... 173

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 4.8. NPWb600 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük-yer değiştirme eğrileri ..... 174

Şekil 4.9. NPWb700 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük-yer değiştirme eğrileri ..... 175

Şekil 4.10. NPWb800 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük-yer değiştirme eğrileri ..... 176

Şekil 4.11. NPW+ tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük-yer değiştirme eğrileri..... 177

Şekil 5.1. Geliştirilmiş üç farklı diyagonal basınç çubuğu modeli ..... 179

Şekil 5.2. Dolgu duvarlarda 3- diyagonal basınç çubuğu modelinin detayları ..... 181

Şekil 5.3. Yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi ve dolgu duvarları temsil eden eşdeğer sanal çapraz çubuk..... 184

Şekil 5.4. Etkili diyagonal basınç çubuğu genişliği “w”, idealize edilmiş gerilme genişliği “W”..... 184

Şekil 5.5. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun hesaplanması için gerekli parametrelerin deney çerçevesi içerisindeki deney elemanı üzerinde gösterimi..... 186

Şekil 5.6. Farklı araştırmacıların çalışmaları sonucu ortaya çıkan formüller kullanılarak hesaplanan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin, deneyler esnasında oluşan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliklerinden elde edilen değer ile karşılaştırılması ..... 189

Şekil 5.7. Tuğla modülü..... 192

Şekil 5.8. Deney çerçevesinin ve dolgu duvarın SAP2000 modeli ..... 195

# RESİMLERİN LİSTESİ

**Resim** **Sayfa**

Resim 2.1. Başlık oluşturulan tuğlalardan bazıları……. 19

Resim 2.2. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcına ait küp numunelerin kür havuzunda bekletilmesi…… 26

Resim 2.3. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcına ait küp numunelerin kırılarak basınç dayanımlarının belirlenmesi……. 26

Resim 2.4. Kum- çimento harcından alınan küp numunelerinin kür havuzunda bekletilmesi…….. 29

Resim 2.5. Kum- çimento harcına ait küp numunelerin kırılarak basınç dayanımının belirlenmesi…….. 29

Resim 2.6. Hazırlanmış ahşap kalıp örneği…… 32

Resim 2.7. Ahşap kalıpların arkasının naylon kaplanmış OSB ile kapatılması……. 33

Resim 2.8. Tuğlaların makine kullanılarak kesilmesi……..... 33

Resim 2.9. Duvarların harç kullanılarak örülmesi…….. 33

Resim 2.10. Deneye hazır hale gelen farklı bant genişliklerindeki dizilmiş duvarlar… 34

Resim 2.11. Deneye hazır hale gelen tam duvarlar……. 34

Resim 2.12. Duvarların vinç yardımıyla deney platformuna taşınması…….. 35

Resim 2.13. Deney çerçevesine yerleştirilmiş deney elemanı…… 36

Resim 2.14. Deney çerçevesi ile deney elemanı arasında kalan boşlukların hızlı donabilen alçı ile doldurulması……. 36

Resim 2.15. Deney çerçevesi ve deney platformu……. 38

Resim 2.16. Kullanılan deplasman ölçerler…… 42

Resim 2.17. FB tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü…… 43

Resim 2.18. NPW tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü… 45

**Resim** **Sayfa**

Resim 2.19. NPWb400 tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü…… 47

Resim 2.20. NPWb500 tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü…… 48

Resim 2.21. NPWb600 tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü…… 50

Resim 2.22. NPWb700 tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü…… 51

Resim 2.23. NPWb800 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü…… 53

Resim 2.24. NPW+ tasarımından deney elemanının deney çerçevesindeki görünümü.. 55

Resim 3.1. FB1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali……. 58

Resim 3.2. FB1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali……. 60

Resim 3.3. FB2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali…… 62

Resim 3.4. FB2 Deney elemanının deney devam ederken hali…….. 65

Resim 3.5. FB2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali…… 65

Resim 3.6. FB3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali…… 67

Resim 3.7. FB3 Deney elemanında deney esnasında diyagonal basınç bölgesi dışında kalan bölgede kırılıp, etkisizleşen tuğla……. 69

Resim 3.8. FB3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali……. 70

Resim 3.9. NPW1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali……. 72

Resim 3.10. Deney sırasında NPW1 deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen çatlakların mesafesinin ölçülmesi …… 74

Resim 3.11. NPW1 deney elemanının deney sırasında aldığı hasarlar ve tuğlalarda oluşan delikler…… 74

Resim 3.12. NPW1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali…….. 75

Resim 3.13. NPW2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 77

**Resim** **Sayfa**

Resim 3.14. NPW2 deney elemanında normalin dışında yük korunmasına sebep olan, deney çerçevesi ile yük hücresinin sabitlenmesinde görev alan plakanın alt yüzeyinin deney çerçevesine üstten eğik bir şekilde dayanması ..... 79

Resim 3.15. NPW2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali ..... 80

Resim 3.16. NPW3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 82

Resim 3.17. Deney sırasında NPW3 deney elemanında diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan çalışmayan bölgenin ölçülmesi..... 84

Resim 3.18. NPW3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali ..... 85

Resim 3.19. NPWb400-1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 87

Resim 3.20. NPWb400-1 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 89

Resim 3.21. NPWb400-1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 89

Resim 3.22. NPWb400-2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 91

Resim 3.23. NPWb400-2 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 93

Resim 3.24. NPWb400-2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 93

Resim 3.25. NPWb400-3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 95

Resim 3.26. NPWb400-3 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 97

Resim 3.27. NPWb400-3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 97

Resim 3.28. NPWb500-1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 99

Resim 3.29. NPWb500-1 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 101

Resim 3.30. NPWb500-1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 101

Resim 3.31. NPWb500-2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 103

Resim 3.32. NPWb500-2 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu ..... 105

Resim 3.33. NPWb500-2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 105

Resim 3.34. NPWb500-3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 107

Resim 3.35. NPWb500-3 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 109

Resim 3.36. NPWb500-3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 109

**Resim** **Sayfa**

Resim 3.37. NPWb600-1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 111

Resim 3.38. NPWb600-1 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 113

Resim 3.39. NPWb600-1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 113

Resim 3.40. NPWb600-2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 115

Resim 3.41. NPWb600-2 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 117

Resim 3.42. NPWb600-2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 117

Resim 3.43. NPWb600-3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 119

Resim 3.44. NPWb600-3 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 121

Resim 3.45. NPWb600-3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 121

Resim 3.46. NPWb700-1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 123

Resim 3.47. NPWb700-1 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 125

Resim 3.48. NPWb700-1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 125

Resim 3.49. NPWb700-2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 127

Resim 3.50. NPWb700-2 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 129

Resim 3.51. NPWb700-2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali ..... 129

Resim 3.52. NPWb700-3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 131

Resim 3.53. NPWb700-3 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 133

Resim 3.54. NPWb700-3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 133

Resim 3.55. NPWb800-1 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 135

Resim 3.56. NPWb800-1 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 137

Resim 3.57. NPWb800-1 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 137

Resim 3.58. NPWb800-2 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 139

Resim 3.59. NPWb800-2 deney elemanını oluşturan içten yanmış tuğlalar..... 141

Resim 3.60. NPWb800-2 deney elemanını oluşturan yanmış tuğlaların parçaları ..... 141

**Resim** **Sayfa**

Resim 3.61. NPWb800-2 deney elemanını oluşturan yanmış tuğlaların parçaları ..... 142

Resim 3.62. NPWb800-2 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 142

Resim 3.63. NPWb800-2 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 143

Resim 3.64. NPWb800-3 deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 145

Resim 3.65. NPWb800-3 deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu..... 147

Resim 3.66. NPWb800-3 deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 147

Resim 3.67. NPW4+ deney elemanının deney başlamadan önceki hali ..... 149

Resim 3.68. Deney sırasında deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen çatlakların mesafesinin ölçülmesi..... 151

Resim 3.69. NPW4+ deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 151

Resim 3.70. NPW5+ deney elemanının deney başlamadan önceki hali..... 153

Resim 3.71. NPW5+ deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu ..... 155

Resim 3.72. NPW5+ deney elemanının deney sonrası durumu..... 155

Resim 3.73. NPW6+ deney elemanının deney başlamadan önceki hali..... 157

Resim 3.74. NPW6+ deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu ve meydana gelen önemsiz derz kaymaları ..... 159

Resim 3.75. NPW6+ deney elemanının deney bittikten sonraki hali..... 159

# SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| $\mathbf{A}$ | Kesit alanı |
| $\boldsymbol{\sigma_{b(ort)}}$ | Tuğla ortalama basınç dayanımı |
| $\boldsymbol{\sigma_{b(s.sapma)}}$ | Tuğla basınç gerilmesi standart sapması |
| $\boldsymbol{V_{b(k)}}$ | Tuğla basınç gerilmesi varyasyon katkısı |
| $\boldsymbol{f_{g(küp100)}}$ | Harca ait 100 mm'lik küp numunesi basınç |
| $\boldsymbol{\sigma_{g(ort)}}$ | Harç ortalama basınç dayanımı |
| $\boldsymbol{\sigma_{g(s.sapma)}}$ | Harç basınç gerilmesi standart sapması |
| $\boldsymbol{V_{g(k)}}$ | Harç basınç gerilmesi varyasyon katsayısı |
| $\boldsymbol{\alpha_h}$ | Kolon temas uzunluğu |
| $\boldsymbol{\alpha_L}$ | Kiriş temas uzunluğu |
| $\boldsymbol{\lambda_h}$ | Kolonun dolgu elemanı ile arasındaki göreceli rijitliğini ifade eden parametre |
| $\boldsymbol{\lambda_L}$ | Kirişin dolgu elemanı ile arasındaki göreceli rijitliğini ifade eden parametre |
| $\boldsymbol{h_{col}}$ | Kirişlerin merkez aksları arasında kalan kolon yüksekliği |
| $\boldsymbol{h_{inf}}$ | Dolgu duvar yüksekliği |
| $\boldsymbol{E_{fe}}$ | Çerçevenin elastisite modülü |
| $\boldsymbol{E_{me}}$ | Dolgu duvarın elastisite modülü |
| $\boldsymbol{I_{col}}$ | Kolonun atalet momenti |
| $\boldsymbol{L_{inf}}$ | Dolgu duvarın uzunluğu |
| $\boldsymbol{r_{inf}}$ | Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu |

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| $t_{inf}$, $t_{duvar}$ | Dolgu duvarın ve diyagonal çubuğun kalınlığı |
| $\theta$ | Dolgu duvar diyagonaliniin yatayla yaptığı açı (radyan) |
| $w$, $a$, $a_{duvar}$ | Etkili diyagonal basınç çubuğu genişliği |
| $V_{duvar}$ | Dolgu duvar yatay yük kapasitesi |
| $f_k$ | Tuğla dayanımı |
| $f_{y\,duvar}$ | Dolgu duvarın yatay doğrultudaki dayanımı |
| $\eta_{ci}$ | i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı |
| $\Sigma A_e$ | Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı [$m^2$] |
| $\Sigma A_w$ | Herhangi bir katta, kolon en kesiti etkin gövde alanlarının toplamı [$m^2$] |
| $\Sigma A_g$ | Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamı [$m^2$] |
| $\Sigma A_k$ | Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı |
| $\lambda$ | Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayısı |
| $\delta_i^{(X)}$ | (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon ve perdeler için etkin göreli kat ötelenmesi [m] |
| $\delta_{i,max}^{(X)}$ | (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon ve perdeler için etkin göreli kat ötelenmelerinin kat içindeki en büyük değeri [m] |
| $h_i$ | i'inci katın yüksekliği [m] |

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **κ** | İzin verilen göreli kat ötelenmelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı |
| $V_e$ | Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **FB** | Free Bricks (Serbest Tuğla Duvarlar) |
| **FEMA** | Federal Acil Durum Yönetim Kurumu |
| **LVDT** | Elektronik Deplasman Ölçer |
| **NPW** | Non- Plastered Wall (Sıvasız tuğla duvarlar) |
| **NPWb400** | Non- Plastered Wall bandwith 400 mm |
| **NPWb500** | Non- Plastered Wall bandwith 500 mm |
| **NPWb600** | Non- Plastered Wall bandwith 600 mm |
| **NPWb700** | Non- Plastered Wall bandwith 700 mm |
| **NPWb800** | Non- Plastered Wall bandwith 800 mm |
| **PW** | Plastered Walls (Alçı Sıvalı Tuğla Duvarlar) |
| **TBDY** | Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği |

# 1. GİRİŞ

Günümüz Türkiye'sinde en yaygın şekilde inşa edilen betonarme yapılardır. Hem beton sanayisinde hem de beton teknolojisindeki gelişme, betonarmenin tasarlanan yapılar için taşıyıcı sistem olarak yer bulmaya devam edeceğine yönelik bakış açıları sunmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistem tercihi, bu alanda bilimin ve teknolojinin ışığında yapılan her çalışma, bu alanda da yenilikler getirecektir. Yapı sektöründe mutlaka olması gereken bu yenilikler betonarmeyi daha anlaşılır kılıp çok daha güvenli, sürdürülebilir çözümler üretecektir.

Deprem ülkesinde yaşamakta olduğumuz için depremi ve etkilerini çok iyi tanımamız gerektiğinin önemini, geçmiş depremlerde ülke çapında yaşadığımız can ve mal kayıplarıyla algılamaktayız. Geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerde, mevcut yapılarda birçok hasar oluştu ve oluşan her hasarda deprem karşısında betonarmenin ve taşıyıcı sistem davranışı ile ilgili hayat kurtaracak acı tecrübeler ve bilgiler kazanmaktayız. Depremle ilgili geliştirilen çalışmalarda her bir yapı elemanına ve taşıyıcı sisteme ait dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi kapasiteleri araştırılmıştır.

Betonarme yapılarda, farklı ihtiyaçlara yönelik oluşturulan hacimlerin bölmelendirilmelerinde, koruma, ayırma, mahremiyet oluşturma amacıyla ses, ısı gibi konfor bozucu etkileri bertaraf etmek amacıyla tuğla, bims, gazbeton benzeri yapı malzemeleri sıklıkla tercih edilmektedir. Betonarme taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişlerin çerçeve görevini üstlenip, çerçevelerin içlerinin duvar malzemesi ile örülmesi şeklinde gerçek hayatta yer bulur. Yapıların statik hesaplama süreçlerinde, duvarlar taşıyıcı olarak kabul edilmemektedir. Statik hesaplamalarda duvarlar, üstünde yer aldıkları taşıyıcı eleman üzerine ağırlıklarının yayılı yük olarak tanımlanan kütleler olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda statik hesaplarda duvar modellenmesi ya da boyutlandırılması değil, duvarların ağırlıklarına maruz kalan taşıyıcı sistem elemanları modellenip boyutlandırılmaktadır. Oysa, deprem etkisi gibi, yatay yüklerin etkisinde olan betonarme çerçeveler içerisinde yer alan dolgu duvarlar, içerisinde duvar olmayan boş çerçeveler ile kıyaslandığında, rijitlik ve dayanım değerlerinin içerinde duvar bulunan çerçevelerde daha yüksek olduğu bilinmektedir [1]. Bundandır ki dolgu duvarlara yalnızca mimari görevler yüklemek haksızlık olacaktır. Çerçevelerin değişen rijitlik ve dayanım değerlerine bağlı olarak, yapıya

ait periyot ve deplasman değerlerinin de değişmesi doğaldır [2]. Dolgu duvarlar binanın yatay rijitliğini yükselterek, yapının doğal periyodunun düşmesine, böylece yapının deprem talebinin artmasına neden olabilir [3]. Yapılan çalışmalar ile bu durumların şartnamelerde yer bulması gerekliliği ortaya konmaktadır. Betonarme çerçevelerin içerisindeki dolgu duvarların, deprem etkisindeki davranışlarına yönelik, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) yapısal düzensizlikler olarak yer alan bölümler bulunmaktadır [4]. Binaların deprem esnasında nasıl davranacağı hakkında düzensizliklerin payı büyüktür. Bunun içindir ki TBDY'de düzenli ve simetrik planların tasarlanması vurgulanmaktadır. Fakat mimari kaygılardan duvar iptalleri, şantiye ortamında yapılan hatalar, hacim büyütmek için duvarların sonradan kırılması veya binalarda sonradan yapılan herhangi bir çalışmada dolgu duvarların hesaplara dahil edilmemesi; binalarda burulma, dış merkezlilik, zayıf kat, yumuşak kat, kısa kolon gibi düzensizlikleri kaçınılmaz kılmaktadır.

Dolgu duvarlar hakkında her geçen gün artmakta ve öğrenilmekte olan bilgi artık bilgisayar destekli tasarım ve analiz yazılımlarında dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu şeklinde modellenmesi ile yapılan çalışmalar ile karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmanın amacı ve kapsamı

Dolgu duvarların mevcut ya da yeni yapılacak binalarda sıvasız olarak bırakılması kabul edilebilir bir durum değildir, fakat bu çalışma başka çalışmaların ön çalışması olduğu için deney elemanlarında sıva uygulaması bulunmaksızın yalnızca tuğlaların derz aralarında harç uygulanarak örülmesiyle oluşturulup, ham şekilde deney elemanları oluşturulmuş ve test edilmiştir. Diğer çalışmalarda aynı boyutta oluşturulan deney elemanlarında alçı sıva uygulaması bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar yaparak, yatay yük tesirindeki sıvasız tuğla dolgu duvarlara yönelik eşdeğer diyagonal bant genişliğinin hesaplanması konusunda, deneysel yaklaşımlar ile eşdeğer bir genişlik tayin etmek amaçlanmıştır. Tayin edilen eşdeğer diyagonal bant genişliği ile bilgisayar destekli modelleme ve yazılım programlarında (SAP2000 gibi) dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modelleyebilmek için yöntem ve veri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu veriler doğrultusunda dolgu duvarların yer aldıkları yapılarda taşıyıcı sisteme olumlu yönde katkıları belirlenip, bu olumlu katkılar sayesinde taşıyıcı sistemin kesit zorlarındaki azalmaya bağlı olarak taşıyıcı elemanların daha narin kesitte olmaları amaçlanmaktadır. Bu amaçla, farklı

özelliklere sahip 8 farklı tasarım planlanmıştır. Her bir tasarım grubunda 3 adet özdeş deney elemanı oluşturulmuştur. Bu sayede, 8 farklı tasarımda, 3 özdeş deney elemanından toplam 24 deney elemanı test edilmiştir.

Mevcut deneysel çalışma kapsamında:

a) Sıvasız tuğla dolgu duvar olarak tasarlanan tam ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarının tekdüze yanal yük etkisinde taşıma kapasitesinin incelenmesi
b) Sıvasız tuğla dolgu duvar olarak tasarlanan tam ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarının tekdüze yanal yük etkisinde yanal deformasyon kabiliyetlerinin incelenmesi
c) Sıvasız tuğla dolgu duvar olarak tasarlanan tam ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarının tekdüze yanal yük etkisinde taşıma kapasitesine ulaştıklarında göçme modellerinin incelenmesi
d) Sıvasız tuğla dolgu duvar olarak tasarlanan tam ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarının tekdüze yanal yük etkisinde taşıma kapasitelerindeki maksimum yükler karşılaştırılarak deneysel yöntemlerle eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin incelenmesi
e) Sıvasız tuğla dolgu duvar olarak tasarlanan tam ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarının tekdüze yanal yük etkisinde deneysel yöntemlerle elde edilen veriler ile geçmişte yapılan kuramsal çalışmalar ile analitik yöntemlerle eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Geçmiş çalışmalar

Çerçeve içerisinde yer alan dolgu duvarlar ve bu duvarların davranışları 1950'li yıllardan bu yana ilgi odağı olmuştur. Günümüzde yapılan çalışmalarda bile çok eski çalışmaların incelenmiş olması bu çalışmaların önemini vurgulamak için yeterlidir. Yapılan bu çalışmalar ile ilgili Amerikan Ordusu Mühendislik Birimi (US Army Corps of Engineers) mühendislerinden Ghassan Al- Chaar, analitik eşdeğer- çubuk deneyimleri şeklinde bu konu ilgisi olan makalelerden bir liste yapmıştır [5].

Çizelge 1.1. Analitik eşdeğer- çubuk deneyimleri konulu makaleler [5]

| Yıl | Yazar(lar) | Konu | Notlar |
|---|---|---|---|
| 1956 | Polyakov | Yığma dolgu duvarlar arasındaki etkileşim | Eşdeğer çubuk tanımından ilk kez bahsedilmiştir. |
| 1958 | Benjamin, Williams | Tek katlı tuğla duvarların kesme davranışı | Test parametreleri üzerinde çalışılmıştır ve kesme kirişi metodu kullanılmıştır. |
| 1960 | Holmes | Tuğla işi ve beton kullanılarak doldurulan çelik çerçeveler | Eşdeğer-çubuk metodu kullanılarak rijitlik ve dayanım çalışılmıştır. |
| 1962 | Holmes | Dolgu çerçeveler üzerinde birleştirilmiş yükleme | Düşey yükler tesirinde iki katlı düzenekte eşdeğer- çubuk çalışılmıştır. |
| 1962 | Smith | Dolgu çerçevelerin yanal rijitliği | Sadece eşdeğer-çubuk kullanılarak rijitlik çalışılmıştır. SS1 analitik metodu geliştirilmiştir. |
| 1966 | Smith | Kare dolgu çerçevelerin davranışı | Dolgu çerçevelerin rijitlik oranı ve eşdeğer-çubuk tanıtılmıştır. |
| 1968 | Fedorkiw, Sozen | Yapıların cevabını simule etmek için toplu-parametre modeli | Kesme kirişi olarak çok katlı betonarme çerçeveler test edilmiştir. |
| 1968 | Fiorato, Sozen, Gamble | Beş katlı betonarme çerçevelerin davranışı | Beş katlı betonarme çerçeveler ve betonarme etkisi çalışılmıştır. |
| 1968 | Yorulmaz, Sozen | Dolgu duvarlı, tek katlı betonarme çerçevelerin davranışı | Dolgular betonarme ile birlikte test edilmiştir. |
| 1969 | Smith, Carter | Dolgu çerçeveler için analiz metodu | Eşdeğer- çubuk ve en-boy oranının etkisi üzerine çalışılmıştır. SS2 analitik metodu geliştirilmiştir. |
| 1970 | Fiorato, Sozen, Gamble | Betonarme çerçevelerin, dolgu paneller ile etkileşiminin araştırılması | Açıklıklar, betonarme çerçeveler ve düşey yüklerin etkileri test edilmiştir. |
| 1971 | Mainstone | Dolgu çerçevelerin rijitliği ve dayanımı üzerine | Eşdeğer- çubuk kullanılarak dayanım ve rijitlik deneysel olarak çalışılmıştır. |
| 1971 | Mallick, Garg | Dolgu çerçevelerde açıklıkların yanal rijitliğe etkileri | Açıklıkların ve saplamaların etkileri sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak çalışılmıştır. |
| 1972 | Yettram, Hirst | Beton dolgu panellerin göçme yükü | Beton dolgu paneller üzerinde testler yapılmıştır. |
| 1973 | Leuchars, Scrivener | Yüzeyde döngüsel yükler etkisinde yığma dolgu paneller | Betonarme yığma dolgu duvarlar test edilmiştir ve eşdeğer- çubuk idealleştirilmesi yapılmıştır. |
| 1973 | Smolira | Kesme dolgu duvarların analizi | Yük-yerdeğiştirme matrisi kullanılmıştır ve çift kemerleşme kavramaları tanıtılmıştır. |

Çizelge 1.1. (devam) Analitik eşdeğer- çubuk deneyimleri konulu makaleler [5]

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1973 | Smolira | Kesme dolgu duvarların analizi | Yük-yerdeğiştirme matrisi kullanılmıştır ve çift kemerleşme kavramaları tanıtılmıştır. |
| 1975 | Lefter, Colville | Deprem yüklerine karşı dayanım sağlanması amacıyla mevcut binaların güçlendirilmesi | Kesme kirişi metodu, tasarım gereklilikleri |
| 1976 | Klingner, Bertero | Depremde dayanıklı yapı olarak dolgu çerçeveler | Yarı statik testler kullanılarak, çok açıklıklı ve çok katlı yapılarda sismik dayanıklı tasarım çalışmaları yapılmıştır. |
| 1977 | Barua, Mallick | Yatay yükler tesirinde harç dolgulu çelik çerçevelerin davranışı | Elastik izotropik dolgu göz önünde bulundurularak, çelik çerçeve ile dolgu arasındaki kayma çalışılmıştır. |
| 1978 | Klingner, Bertero | Dolgu çerçevelerin deprem dayanımı | Zamana bağlı uzun süren sismik yanıtlar çalışılmıştır. |
| 1985 | Dawe | Sistemin kesme dayanımının deneysel tahkikleri | Mafsal güçlendirilmeleri, panel bağları ve bağ kirişleri çalışılmıştır. Ölçüm metotları önerilmiştir. |
| 1985 | Dawe, Yong | Yığma dolgulu betonarme çerçevelerin davranışını etkileyen faktörlerin araştırılması | Açıklıkların ve boşlukların etkileri test edilmiştir. Deneysel veriler, sonlu elemanlar analizi ile kıyaslanmıştır. |
| 1988 | Dawe, Schriver ve Sofocl | Dinamik yüklere dayandırılan yığma dolgulu çelik çerçeveler | Dinamik çalışılmıştır. |
| 1989 | Thomas, Klingner | Dolgu çerçevelerin davranışı | Dolgu çerçeve analiz metotları gözden geçirilmiştir. |
| 1989 | Dawe, Seah | Yığma dolgulu çelik çerçevelerin davranışı | Arayüz koşulları, açıklıklar, çerçeve rijitliği ve bağ kirişleri çalışılmıştır. |
| 1989 | Dawe, Seah | Yığma dolgulu çelik çerçevelerin davranışı | Arayüz koşulları, açıklıklar, çerçeve rijitliği ve bağ kirişleri çalışılmıştır. |
| 1994 | Abrams, edt. | Sismik yanıtlar üzerine yapılan NCEER çalıştayı toplantı tutanakları | Durrani ve Lou'ya ait çeşitli makaleleri içermektedir. |
| 1994 | Angel | Yığma dolgulu betonarme çerçevelerin davranışı | Düzlemsel etkilerin, düzlem dışı yanıtları test edilmiştir. |
| 1994 | Durrani ve Lou | Yığma dolgulu düz plaka yapıların sismik güçlendirilmeleri | Mainstone'un eşdeğer- çubuk metodu kullanılmıştır ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak açıklıkların etkisi çalışılmıştır. |
| 1995 | Saneinjad, Hobbs | Dolgu çerçevelerin esnek olmayan tasarımı | Rijitlik, dayanım ve uygunsuzluk çalışılmıştır. Eşdeğer- çubuk idealleştirilmesi kullanılmıştır. |

Çizelge 1.1. (devam) Analitik eşdeğer- çubuk deneyimleri konulu makaleler [5]

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1995 | Shing, Mehrabi | Yığma dolgulu çerçevelerin yanal dayanımına yığma dolgunun etkisi | Push-Over testi yapılıp, göçme modları çalışılmıştır. |
| 1996 | FEMA, NHERP | Sismik iyileştirmenin kılavuzu üzerine yorumlar | Mainstone'un metodu benimsenmiştir ve dayanım ve rijitlik için kabul edilebilir kriter olarak sunulmuştur. |
| 1996 | ECOEST/PREC8 | Yapıların sismik davranışları üzerine deneysel nümerik tahkikler | Analitik metotlar kıyaslanmıştır ve makro-modellemenin önemi vurgulanmıştır. |
| 1996 | Mehrabi, et al., | Yığma dolgulu betonarme çerçevelerin deneysel ölçümleri | Dolgulu çerçeveler test edilmiştir. |
| 1996 | Al-Chaar, Sweeney, Brady | URM dolguların Push-Over laboratuvar testleri | Analiz metotları gözden geçirilmiştir. |
| 1997 | Mosalam, et al., | Dolgulu çerçevelerin yarı döngüsel yükler altında statik yanıtı | 1 ve 2 duvar bölmesi yarı statik testler ile test edilmiştir. Açıklıkların etkisi üzerine çalışılmıştır. |
| 1997 | Mehrabi, et al., | Yüzey içi yüklemeler altında yığma dolgulu betonarme çerçevelerin performansı | Sonlu elemanlar analizi ve analitik çalışmalar kullanılarak yarı ölçekte testler yapılmıştır. Göçme mekanizmaları sunulmuştur. |

Polyakov, 1956 yılında üç katlı ve üç açıklıklı çelik çerçeve içerisinde dolgu duvardan oluşan deney sitemine yaptığı düzlem içi yükleme testi çalışması ile ilk kez eşdeğer diyagonal basınç çubuğu tanımını getirmiştir [6]. Çatlama düzeni üzerine yapmış olduğu gözlemler sonucunda, sistemin daha çok, basınç çubukları ile diyagonal bir şekilde desteklenen çerçeve gibi davrandığını fark etmiştir. Çerçeveden dolguya aktarılan gerilmelerin yalnızca basınç bölgesinden aktarıldığı bu çalışma ile raporlanmıştır. Aynı zamanda deformasyonların basınç diyagonallerinin bitiş noktalarında yoğunlaştığı ve bu deformasyonların çekme diyagonallerine doğru azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada duvarda deformasyonların meydana geldiği noktalara bakıldığında homojen kesme duvarı şeklinde davranmak yerine, paralel diyagonal doğrultuda desteklenmiş bir sistem gözlemlenmiştir.

Polyakov her bir panelin, yatay yük dayanımına katkısını tahmin etmek için bazı eşitlikler geliştirmiştir. Bu eşitliklerin test edilen dokuz açıklıklı sitemler üzerinde yalnızca en üst katın dolgu panellerinde iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmüştür.

Benjamin ve Williams, 1958 yılında yüzey içinde yatay yüklerin etkisi altındaki üç tipte tek katlı ve tek açıklıklı ve duvar davranışını tahmin etmek için aralarında birtakım yaklaşık ilişkiler üretilen numuneleri test etmiştir [7]. Numune tipleri çerçeve tarafından çevrelenmeyen yığma tuğla duvar, betonarme çerçeve içerisindeki yığma tuğla duvar ve çelik çerçeveler içerisindeki yığma tuğla duvardır. Deneydeki numunelerin, ölçekleri 0,34 ile 1 arasında değişmekte olup, duvarlara ait uzunluk/yükseklik oranları 0,9 ile 3 arasında değişmekteydi. Bu çalışmada davranış ile ilgili tahmin önerileri yapılırken, Benjamin ve Williams çalışmalarını çok spesifik koşullarda geçerli olacak şekilde sınırlandırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarına dayanan davranışla ilgili tahminleri sadece yaklaşık olarak kabul edilmeli, nihai yük ve rijitlikteki %50'ye ulaşan hatalar kabul edilmelidir. Nihai dayanım ve rijitlik üzerindeki en önemli etkinin en-boy oranı olduğu bu çalışma ile raporlanmıştır. Daha büyük en-boy oranı; daha yüksek dayanıma işaret etmektedir. Düz tuğla yığma duvar paneller çerçeve tarafından kuşatıldıklarında önemli dayanım artışlarına ulaşmaktadır. Tuğla ebatları test edilecek kadar önemli değildir ve çerçeve dolgu duvarda göçme oluşturacak kadar dayanıma sahip olduğu sürece çok büyük bir öneme sahip değildir. Aynı zamanda kolondaki beton ve donatı alanlarındaki değişimlerin çok küçük etkiler gösterdiği sonucuna yapılan deneylerle varılmıştır. Ölçekleme ile ilgili olarak ise, kullanılan tuğlaların, davranışı açık bir şekilde yanlış yönlendirecek kadar ölçeğin küçültülmemiş olanlarının kullanılabilir olduğu raporlanmıştır. Fakat, ölçek faktörleri büyüdükçe meydana gelecek hatalarında büyüklüğünün artacağı net bir şekilde belirtilmiştir.

Holmes, 1961 yılında tek açıklıklı dolgu numunesine yüzey içinden dolgu numunesinde basınç etkisi gösterecek yük uygulayarak çalışma yapmıştır [8]. Çerçevedeki dolgudaki kuvvetleri ayrı ayrı göz önüne alarak, göçmeye sebep olan yatay kuvvete ve eşdeğer-çubuk boyunu azaltarak, eşdeğer-çubuk genişliğinin, diyagonal uzunluğunun üçte birine denk geldiğine karar vermiştir. 1963 yılında, Holmes betonarme çerçevelerin içindeki yığma dolgu duvarları test etmiştir ve nihai yükleri tahmin etmek için yarı deneysel eşitlikler geliştirmiştir [9].

Smith, 1962 yılında yalnızca harç kullanılarak oluşturulan dolgu panellerin laboratuvar testlerini yürütmüştür. Bütün testlerin ölçekleri 1:20 civarında küçük ölçeklerdir [10]. Tüm çerçeveler ölçüleri belirsiz, dikdörtgen kesitte, çelikten oluşturulmuştur. Smith, dolgu duvarı çevreleyen çerçeve ile bağlantısı olmayan dolgu panellerin yanal rijitliklerini

değerlendirmiştir. Yükleme, panelin bir köşesinden uygulanan yatay kuvvetin simülasyonu olarak gerçekleştirilmiştir. Çerçeve ile kontak halinde olan panelin köşeleri çerçeveyi yatayda rijitleştirmiş panelin içerisinde basınç bölgesinin şeklini almış gibi görünür. Smith'in bu gözlemi eşdeğer-çubuk metodunun temelini oluşturmuştur. Smith, basınç çubuğu olarak tasarlanan yığma dolgu panellerinin yatay rijitliği olarak kabul edip, içinde dolgu olan çerçevenin yanal rijitliğini teori ve deney yoluyla tahmin etmeye yönelik araştırmalar yapmıştır. Çerçeve ile kuşatılmış dolgularda, daha rijit çerçevelerde dolgu panel ile çerçeve arasında daha uzun temas yüzeyi olduğu ve daha uzun temas yüzeyi ise daha geniş eşdeğer diyagonal çubuğun efektif genişliğinin daha geniş olduğu görülmüştür. Smith'in gelecekteki tahkikleri değişik en-boy oranlarındaki harç panelleri üzerinde olmuştur. Panellerdeki gerilmeler, sonlu farklar yaklaşımındaki Airy'nin gerilme fonksiyonu ile elastisite teorisi metodu kullanılarak analiz edilmiştir [11]. Smith'in metodu dolgulu çerçevelerde yüzey içindeki rijitliğin değerlendirilmesi girişimidir. Panelin rijitliği, efektif genişliği panelin en-boy oranına bağlı olan eşdeğer-çubuk olarak tasarlanmıştır.

1966 yılında, Smith, ilk araştırmalarının üstüne çıkmıştır [12]. Kuşatan çerçeve ile dolgunun arasındaki temas yüzeyinin uzunluğu daha fazla çalışılmıştır ve temas yüzeyine karar vermede kullanılmak üzere λ parametresi geliştirilmiştir. λ parametresi eşdeğer-çubuk genişliğinin ve çerçeve ile dolgu arasındaki rijitliğin belirlenmesinde kullanılmıştır. Teori, küçük ölçekli numunelerin test edilmesi ile geliştirilmiştir. Bunlar, bir ve iki katlı çelik çerçeveler içerisinde mikro-beton dolgulu numunelerdir. Çerçeveler ile dolgu arasındaki temas yüzeyi ayrıldığında, örneklerin davranışlarda benzerlik tespit edilmiştir. Rijitlikler, özellikle ilk kattaki çerçeveler gibi, daha rijit çerçeveler için uygun olarak daha rijit olduğu tahmin edilmiştir. İkinci kattaki rijitlikler daha iyi tahmin edilmiştir. Bu basit metotta yeni bir kat seviyesi ekleme girişiminin, olumsuz sonuçlanacağı belirtilmiştir. Göçme, diyagonal çatlak ve ezilme olmak üzere iki farklı mod ile raporlanmıştır. Diyagonal çatlaklar tipik olarak meydana ilk gelip, dolgu ezilmeye başlayana kadarki yük artışı ile devam eder. Dolguda ezilme ya da basınç göçmesi, tipik olarak sistemde oluşan göçme ve sistemin en yüksek yük taşıma kapasitesi olarak tanımlanır. Dolguların rijitlik parametresi ile diyagonal çatlama yükü ve ezilme yükü arasında ilişki kurmak için teorik bağlantılar oluşturulmuştur. Rijit çerçeveler için, ilk olarak diyagonal çatlaklar oluşur ve peşinden ezilme meydana gelir. Esnek çerçevelerde, ezilme diyagonal çatlama olmadan önce gerçekleşir. Ezilme göçmesi

aniden gerçekleşmez, sehimlerin hızlı artışı ile gelişir, açıkça doğrusal olmayan davranış gösterir.

Fedorkiw ve Sozen, 1968 yılında, dolgu çerçeveler için bir analitik model geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır [13]. Modellerinin bağımsız nitelikleri yerine birleştirilmiş davranışlarını açıklama girişiminde bulundular. Soyut fiziksel model, yığma dolgulu betonarme çerçevelerin analizi için geliştirilmiştir. Tüm analitik prosedür en yüksek yük değerine kadar verdiği yük- eğilme cevabı ve çatlama şekline göre programlandı.

Fiorato, Sozen ve Gamble, 1968'li yılların sonlarında, çok katlı betonarme çerçeveler içerisinde dolgu duvarların direnme mekanizmalarını araştırmışlardır [14]. 1:8 ölçeğinde beş numune oluşturulmuştur. Her bir numunenin toplam yüksekliği 90 inç olarak belirlenmiştir. Numunelerden dördü, yığma dolgu duvar şeklinde oluşturulmuştur ve sadece bir tanesi beton çerçeve olan numune ile kıyaslanmışlardır.

Yorulmaz ve Sozen, 1968 yılında çeşitli miktarlarda çelik ve tuğla dolgu duvarların tek katlı betonarme çerçeveler içerisinde davranışını çalışmışlardır [15]. Yazarlar, içinde dolgu duvar olmayan çerçevelerin basit dört-mafsal mekanizması geliştirerek eğilme göçmesine uğradığını raporlamıştır. Oysaki, dolgu duvarlı çerçevelerde ilk olarak duvarda çatlakların görüldüğü belirtilmiştir. Duvar çatladıktan sonra, yük çerçeveye aktarılıp, çerçevenin dayanımına bağlı çeşitli göçmelerin meydana geldiği görülmüştür.

Smith ve Carter, 1969 yılında eşdeğer-çubuk konseptine dayalı dolgulu çerçevelerin analizine yönelik metot geliştirmişlerdir [16]. Dolgular ve çerçeveler bir bütün olarak oluşturulmadığı varsayımı yapılmıştır. Birbirleriyle bağlantı halinde olmadıkları varsayılmıştır. Dolgulu çerçevelerin yanal rijitliği, gerilme analizinde ortaya çıkan eşdeğer-çubuğun efektif genişliğine göre hesaplanmıştır. Dolgulu çerçevelerin yanal dayanımı, çerçeve ve dolgunun çeşitli göçme modlarından en zayıfına bağlıdır.

Fiorato, Sozen ve Gamble, 1970 yılında betonarme çerçeveler ile yığma dolgu duvarlar arasındaki etkileşim üzerine çalışmışlardır [17]. Statik yatay yüklere bağlı olarak yığma dolgulu betonarme çerçevelerin cevabını araştırmışlardır. 27 testin tamamı 1:8 ölçeğinde

betonarme çerçeve modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Sekiz tane tek katlı ve tek açıklıklı dolgulu çerçeve, on iki tane beş katlı ve tek açıklıklı dolgulu çerçeve ve altı tane iki katlı ve üç açıklıklı dolgulu çerçeve test edilmiştir. Bir tane beş katlı ve tek açıklıklı çerçeve içinde dolgu olmadan test edilmiştir. Yüksekliğe (kat sayısı) ve genişliğe (açıklık sayısı) bağlı olarak, çerçevenin güçlendirilmesinin miktarı, kalitesi ve düzenlenmesi, kolonlardaki düşey yükler ve duvar açıklıkları kontrol edilmiştir. Yatay yük etkisindeki dolgu duvarlı betonarme çerçeveler, diğer yükleme düzenindeki çerçeveler gibi davranmamıştır.

Mainstone, 1971 yılında yaptığı çalışma ile Holmes ve Smith'in geliştirmiş olduğu eşdeğer-çubuk metoduna düzenlemeler getirmiştir [18]. Mainstone ile Smith'in ayrıldığı nokta, uzun çerçevelerin içerisindeki münferit panellerin gösterdiği davranışlardır. Bununla birlikte, çerçevelerin en-boy oranı, Smith ve Carter'in analizlerinde olduğu gibi Mainstone'un formülündeki doğrudan alınmamıştır. Deneysel veya ampirik yaklaşıma karşılık titiz analitik yaklaşım vurgulanmıştır.

Kaltakçı ve Aslan, 2005 yılında dolgu duvarları çapraz çubuk eleman kullanarak modellemişlerdir. Betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan çözümlemeleri yapılarak, mafsallaşma mekanizması ve zarf eğrileri elde edilmiştir. Dolgu duvarların, yapı davranış katsayısı ve sistem sünekliği üzerindeki etkisi ortaya konmuştur [19].

Güney ve Boduroğlu, 2006 yılında geliştirdikleri programda "Durum Uzayı" yöntemiyle sayısal integrasyon yapılarak, yapı dinamik tepki karakteristikleri bulmuşlar, bulunan verileri karşılaştırarak duvarların, yapıların dinamik ötelenme ve burulma tepkisine yaptığı katkıları açıklamışlardır [20].

Dolsek ve Fajfar, 2008 yılında dört katlı dolgu duvarlı betonarme bir çerçevenin deprem davranışını inceledikleri çalışmalarında modelleri dolgu duvarsız, boşluksuz dolgu duvarlı ve boşluklu dolgu duvarlı şeklinde oluşturmuşlardır. Doğrusal olmayan yöntem kullanarak uyguladıkları çözümlerin sonuçlarını kıyasladıklarında dolgu duvarların binada oluşan hasar dağılımını değiştirdiğini bulmuşlardır [21].

Sevil vd., 2010 yılında tek açıklıklı iki katlı betonarme çerçeveler oluşturarak düşey ve yatay yükler etkisinde sıvasız ve sıvalı tuğla dolgu duvarları olan betonarme çerçeve deneyleri yapmışlardır [1].

Yakut vd., 2013 yılında dolgu duvarların bina deprem davranışına katkısını incelemişlerdir. Türkiye'de farklı bölgelerde bulunan yaklaşık 28 betonarme yapının modellenmesi SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. İtme analizi sonuçlarına göre binaların kapasite eğrileri çıkartılmıştır. Analizlerde dolgu duvarlı ve duvarsız modeller yer almıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal çubuk elemanları olarak literatüre uygun olarak modellenmiştir [22].

Meral ve İnel, 2016 yılında çeşitli beton dayanımı, donatı sınıfı ve yönetmelik parametrelerinin farklı yükseklikteki binaların yer değiştirme talepleri, periyodu v.b. yapısal etkenler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ek olarak dolgu duvar katkısı, yumuşak kat gibi yapısal düzensizlikleri de araştırmışlardır [23].

Furtado vd., 2017 yılında deprem bölgelerinde inşa edilen betonarme binalardaki hasarların çoğunlukla dolgu duvarlardan kaynaklı, dolgu duvarların yapının deprem davranışını ciddi oranda etkilediği ve yapıda farklı göçme mekanizmalarının meydana gelmesinde etkili olduğunu vurgulamaktadırlar [24].

Morfidis ve Kostinakis, 2017 dolgu duvarların üç boyutlu betonarme yapıların deprem davranışı ve hasar deseni üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Değişik yükseklikte, farklı yapısal sistemde ve farklı dolgu duvar yerleşiminde 54 tane yapısal model çalışılmıştır. Sonuçlar, dolgu duvarlı yapılardaki depremden kaynaklı hasarın boş çerçeveye göre daha az olduğunu açıklamıştır [25].

Cavaleri vd., 2017 yılında taşıyıcı sistemi betonarme olan okul binasının dolgu duvarlarını, eşdeğer basınç çubuğu modelini kullanarak modellemişlerdir [26].

Kaymak ve Tuna, 2011 yılında yatay yük etkisindeki içerisinde dolgu duvarların olduğu çelik çerçeveleri araştırmışlardır. İki katlı iki açıklıklı çerçeveler, dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereli olarak analiz edilmiştir [27].

Karasu vd., 2011 yılında yumuşak kat düzensizliğinin bina performansını nasıl etkilediğini incelemişlerdir [28].

Akyürek vd., 2015 yılında plandaki dolgu duvar yerlerinin simetrik olması veya olmaması durumunda, dolgu duvar miktarının yapı davranışına ve deprem performansına nasıl etki koyduğunu incelemişlerdir [29].

Aksoy ve Avşar, 2015 yılında dolgu duvarların betonarme çerçevelerdeki etkisini bir katsayı ile beraber düşünülmesi için bir metot önermiş ve bu metodun uygulama kriterlerini sorgulamışlardır [30].

# 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

## 2.1. Deney Metodolojisi

Çalışma kapsamında üçer tekrarlardan meydana gelen ve her birini birbirinden farklı kılan özellikleri bulunan sekiz farklı tasarımda deney elemanları oluşturulmuştur. Toplamda yirmi dört deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanları birbirlerinden; örülme esnasında tuğla derzlerinde harç bulunup bulunmadığına göre, harç bulunuyorsa harcın türüne göre, duvar elemanlarının tam duvar şeklinde mi yoksa artan bant genişliklerine sahip diyagonal duvar elemanları şeklinde mi olduğuna göre ayrılmaktadır. Bunlarla beraber deney elemanları için ortak olan özellikler ise; ½ ölçekte oluşturulmaları, yüksekliklerinin 1175 mm olması, genişliklerinin 1475 mm olması ve aynı şekilde oluşturulan ahşap çerçevelerin içerisinde örülüp, deneye tabii tutulmaları için 1185 mm yüksekliğinde ve 1500 mm genişliğinde aynı çelik çerçeve içerisinde, tek düze yük uygulanarak deneye tabii tutulmalarıdır.

Farklı özelliklerle tasarlanan deney elemanları, deney çerçevesinin içerisinde derz aralarında herhangi bir sıva uygulaması bulunmaksızın tuğlaların bağımsız olarak üst üste koyularak sıkıştırılması ile elde edilen FB deney elemanı tasarımından, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak tuğlaların tam duvar oluşturacak şekilde örülmesi ile elde edilen NPW deney elemanı tasarımından, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak tuğlaların sırası ile 400 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm, 800 mm bant genişliklerine sahip olacak şekilde örülmesi ile elde edilen NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 deney elemanı tasarımlarından ve yüksek lisans tez çalışmasına sonradan eklenmesi uygun bulunan tuğla derzlerinde kum- çimento harcı kullanılarak tuğlaların tam duvar oluşturacak şekilde örülmesi ile elde edilen NPW+ deney elemanı tasarımından oluşmaktadır.

Deney elemanlarının özelliklerine göre sıralanmaları Çizelge 2.1.'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özelliklerine göre sıralanması

| Deney Elemanı Tasarımları | Diyagonal Bant Genişliği (mm) | Tuğla Derzlerinde Harç Türü | Deney Elemanı Sayısı | Deney Elemanları Adları |
|---|---|---|---|---|
| FB | Tam Duvar | - | 3 | FB1<br>FB2<br>FB3 |
| NPW | Tam Duvar | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPW1<br>NPW2<br>NPW3 |
| NPWb400 | 400 | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPWb400-1<br>NPWb400-2<br>NPWb400-3 |
| NPWb500 | 500 | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPWb500-1<br>NPWb500-2<br>NPWb500-3 |
| NPWb600 | 600 | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPWb600-1<br>NPWb600-2<br>NPWb600-3 |
| NPWb700 | 700 | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPWb700-1<br>NPWb700-2<br>NPWb700-3 |
| NPWb800 | 800 | Yüksek Dayanımlı Harç | 3 | NPWb800-1<br>NPWb800-2<br>NPWb800-3 |
| NPW+ | Tam Duvar | Kum-Çimento Harcı | 3 | NPW4+<br>NPW5+<br>NPW6+ |

### 2.1.1. Deney elemanlarının isimlendirilme yöntemleri

Deney elemanlarının isimlendirilmeleri harfler ve rakamlar meydana gelmektedir. Bu harflerin ve rakamların her birinin bir açıklaması bulunmaktadır. Bu açıklamalara aşağıdaki gibi yapılarak, deney elemanlarının isimlerinin ilk görüşte dahi anlaşılması sağlanmıştır.

FB Deney elemanı tasarımı

FB deney elemanı tasarımı, ismini bağımsız tuğlaların İngilizcesi olan “Free Bricks” kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile FB ismi oluşturulmuştur. FB deney elemanı tasarımında FB1, FB2 ve FB3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer

almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. FB deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlaların derzlerinde harç uygulanmadan, tuğlaların deney çerçevesi içerisinde üst üste konulup sıkıştırılması ile elde edilmiştir.

NPW Deney elemanı tasarımı

NPW deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan "Non- Plastered Wall" kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile NPW ismi oluşturulmuştur. NPW deney elemanı tasarımında NPW1, NPW2 ve NPW3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPW deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, tam duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir. Deneyler sonlandığında alınan bir karar ile tuğla derzlerinde kum-çimento harcı kullanılarak oluşturulan NPW4+, NPW5+ ve NPW6+ isimli deney elemanları ilave deney olarak eklenmiştir. Eklenen deney elemanlarının isimlerinin sonunda bulunan + işareti, bu deney elemanlarının sonradan eklenen deney elemanları olduğunu göstermektedir. Bu deney elemanlarında, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç yerine kum-çimento harcı kullanılmıştır. Diğer tüm nitelikleri NPW1, NPW2 ve NPW3 deney elemanları ile aynıdır.

NPWb400 Deney elemanı tasarımı

NPWb400 deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan "Non- Plastered Wall" kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile bant kelimesinin İngilizcesi olan "band" kelimesinin baş harfinin küçük olarak eklenip hemen ardından da 400 mm olan bant genişliğinin sayısal değerinin eklenmesi ile NPWb400 ismi oluşturulmuştur. NPWb400 deney elemanı tasarımında NPWb400-1, NPWb400-2 ve NPWb400-3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPWb400 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, 400 mm bant genişliğine sahip duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir.

NPWb500 Deney elemanı tasarımı

NPWb500 deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan “Non- Plastered Wall” kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile bant kelimesinin İngilizcesi olan “band” kelimesinin baş harfinin küçük olarak eklenip hemen ardından da 500 mm olan bant genişliğinin sayısal değerinin eklenmesi ile NPWb500 ismi oluşturulmuştur. NPWb500 deney elemanı tasarımında NPWb500-1, NPWb500-2 ve NPWb500-3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPWb500 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, 500 mm bant genişliğine sahip duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir.

NPWb600 Deney elemanı tasarımı

NPWb600 deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan “Non- Plastered Wall” kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile bant kelimesinin İngilizcesi olan “band” kelimesinin baş harfinin küçük olarak eklenip hemen ardından da 600 mm olan bant genişliğinin sayısal değerinin eklenmesi ile NPWb600 ismi oluşturulmuştur. NPWb600 deney elemanı tasarımında NPWb600-1, NPWb600-2 ve NPWb600-3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPWb600 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, 600 mm bant genişliğine sahip duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir.

NPWb700 Deney elemanı tasarımı

NPWb700 deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan “Non- Plastered Wall” kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile bant kelimesinin İngilizcesi olan “band” kelimesinin baş harfinin küçük olarak eklenip hemen ardından da 700 mm olan bant genişliğinin sayısal değerinin eklenmesi ile NPWb700 ismi oluşturulmuştur. NPWb700 deney elemanı tasarımında NPWb700-1, NPWb700-2 ve NPWb700-3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının

isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPWb700 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, 700 mm bant genişliğine sahip duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir.

NPWb800 Deney elemanı tasarımı

NPWb800 deney elemanı tasarımı, ismini sıvasız duvarın İngilizcesi olan "Non- Plastered Wall" kelimelerinin baş harflerinin büyük olarak yan yana getirilmesi ile bant kelimesinin İngilizcesi olan "band" kelimesinin baş harfinin küçük olarak eklenip hemen ardından da 800 mm olan bant genişliğinin sayısal değerinin eklenmesi ile NPWb800 ismi oluşturulmuştur. NPWb800 deney elemanı tasarımında NPWb800-1, NPWb800-2 ve NPWb800-3 isimlerinde üç tane deney elemanı yer almaktadır. Deney elemanlarının isimlerinde yer alan 1,2 ve 3 rakamları aynı tasarım içerisinde bulunan ve özdeş deney elemanlarının sıra numaralarıdır. NPWb800 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarını oluşturan tuğlalar derzlerinde yüksek dayanımlı harç uygulanarak, 800 mm bant genişliğine sahip duvar şeklinde örülerek elde edilmiştir.

## 2.2. Deney Elemanlarını Oluşturan Malzemelerin Özellik ve Dayanımları

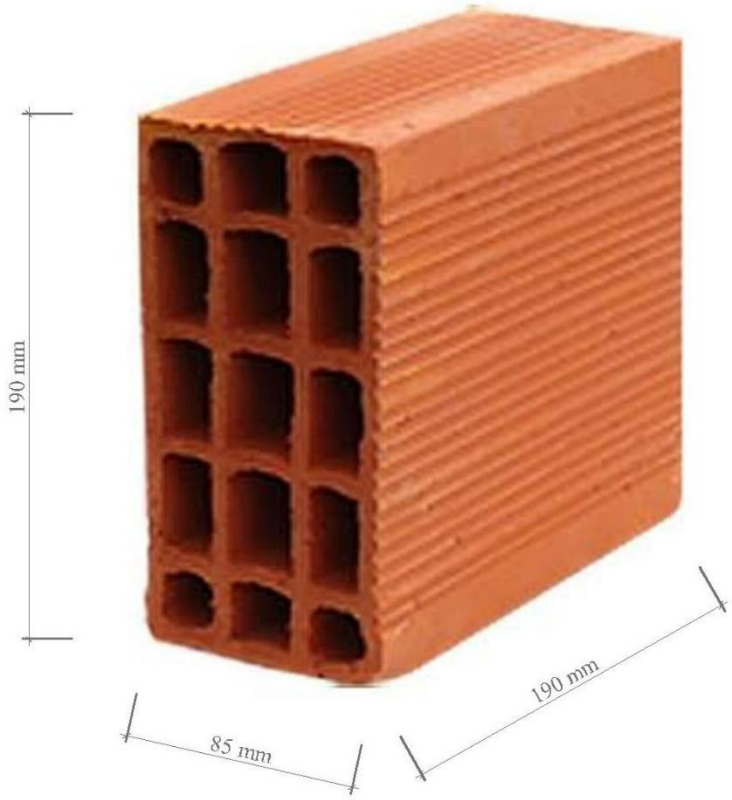
Deney elemanlarını oluşturan her bir malzemenin, deney elemanlarından deneyler neticesinde elde edilen dayanım, deplasman gibi değerler üzerinde etkisi olacaktır. Hem farklı deney elemanı tasarımları arasında hem de aynı tasarım içinde yer alan özdeş deney elemanlarının arasında kıyaslama yapabilmek için deney sonuçlarının tutarlı ve belirli olması beklenmektedir.

Deney elemanlarını oluşturan malzemelerin deney sonuçlarını olumsuz yönde etkilememesi için deney elemanlarında kusurlu olanlar ayıklanmıştır ve çalışma kapsamına alınmamaya çalışılmıştır. Deney elemanlarını oluşturan tüm malzemeler için birbirlerine benzer ve yakın nitelikte olanlar seçilmeye çalışılmıştır. Deney elemanının oluşturulması ile eş zamanlı üretilen harç gibi malzemelerde insan eli faktörü önem arz edeceği için aynı ekip ile aynı üretim aletleri ve aynı karışım oranları kullanımına özen gösterilmiştir. İmal edilmiş halde temin edilen tuğla gibi fabrikasyon ürünler için, hepsinin deney elemanının oluşturulacağı

ana kadar maruz kalacakları çevresel koşulların aynı olmasına ve o anki çevresel şartlar altındaki dayanım değerlerinin belirlenmesine dikkat edilmiştir.

### 2.2.1. Tuğla

Deney elemanlarının oluşturulmasında en fazla yer alan malzeme olan tuğlalar, piyasada 8,5'luk tuğla olarak anılan ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının İnşaat Genel Fiyat Analizi kitabında [31] 04.018/B poz numarası ile yer alan, 85 mm X 190 mm X 190 mm ölçülerinde olan tuğla kullanılmıştır. Tuğlaların tamamı aynı firmadan alınıp, tek seferde nakledilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan tuğlaların ebatları Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.




Şekil 2.1. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların ölçüleri

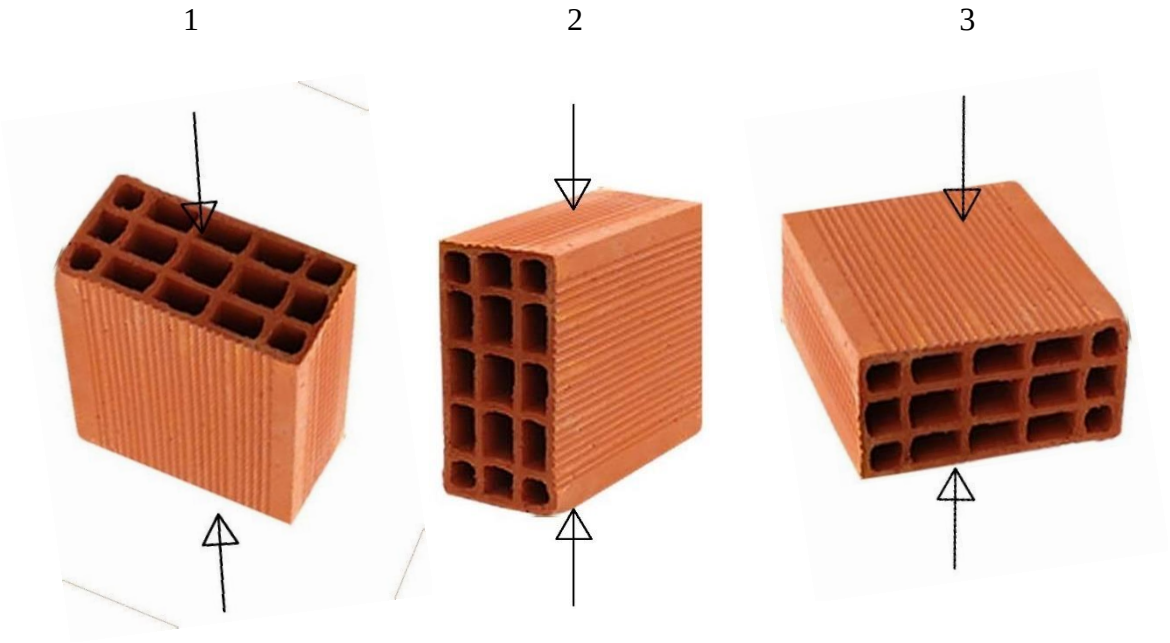
Deney elemanlarını meydana getiren tuğlalardan elde edilecek dayanımları belirlemek için, deneylerden önce, her doğrultuda 20 tane tuğla numunesi ile üç ekseninde de ayrı ayrı olmak üzere, toplamda 60 tane tuğla ile basınç dayanım testleri yapılmıştır. Teste tabi tutulacak tuğlaların yükün tatbik ettirileceği yüzeylerine üniform bir şekilde yükün yayılmasını sağlamak amacıyla çimento ve kum harcı kullanılarak başlıklar oluşturulmuştur. Kum-çimento harcı hazırlanıp, yağlanmış metal levhalar üzerine yaklaşık 2 cm kalınlığında olacak şekilde yayılmıştır. Bu harcın üzerine yan yana tuğlalar yerleştirip, birbirlerinden kolay ayrılmaları için araları harç henüz sertleşmemişken kesilmiştir. 1 gün harcın donması beklenip, başlıklı tuğlalar elde edilmiştir. Başlık oluşturulan tuğlalar Resim 2.1. de gösterilmiştir.



Resim 2.1. Başlık oluşturulan tuğlalardan bazıları

Başlıklı tuğlalar kür havuzuna koyulup deney tarihine kadar bekletilmiştir. Deney gününden iki gün önce kür havuzundan çıkartılıp kurumaları sağlanmıştır. Daha sonra ise basınç deneyleri yapılarak basınç dayanımları elde edilmiştir. Basınç testlerinde yük uygulama doğrultuları Şekil 2.2.'de, deney sonucunda bulunan basınç dayanımlarının ortalaması Çizelge 2.5.'de sunulmuştur. Basınç deneyleri tuğlaların sırayla bütün yüzeylerine yük etkiyecek şekilde yapılmıştır. 1 doğrultusu; tuğlaların delikli dikdörtgen yüzeylerine, 2

doğrultusu; tuğlaların deliksiz dikdörtgen yüzeylerine, 3 doğrultusu; tuğlaların deliksiz kare yüzeylerine başlıklar yapılarak deneyde yükün tatbik ettirildiği alanlarıdır.




Şekil 2.2. Basınç testlerinde tuğlalara tatbik ettirilen yükler

Çizelge 2.2. Delikli dikdörtgen yüzeye (1) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları

| Numune Numarası | Yükün Etkidiği Alan | Yüklenen Yüzey Alanı ($mm^2$) | Maksimum Yük (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 104,2 | 6,6 |
| 2 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 99,4 | 6,3 |
| 3 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 25,4 | 1,6 |
| 4 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 52,1 | 3,3 |
| 5 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 78,7 | 5 |
| 6 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 176,1 | 11,1 |
| 7 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 124,3 | 7,9 |
| 8 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 90,9 | 5,7 |
| 9 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 90,9 | 5,7 |
| 10 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 64,6 | 4,1 |
| 11 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 75,8 | 4,6 |
| 12 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 64,6 | 4,1 |
| 13 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 69,3 | 4,4 |
| 14 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 59,8 | 3,8 |
| 15 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 70,1 | 4,4 |
| 16 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 89,3 | 5,6 |
| 17 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 49,1 | 3,1 |
| 18 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 51,7 | 3,2 |
| 19 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 68 | 4,3 |
| 20 | Delikli Dikdörtgen | 16150 | 75 | 4,7 |
| $\sigma_{b(ort)}$ (MPa) | | | | 4,975 |
| $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa) | | | | 2,013343645 |
| $Vb(k) = \frac{\sigma b(s.sapma)}{\sigma b(ort)} . 100$ | | | | 40% |

Çizelge 2.3. Düz dikdörtgen yüzeye (2) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları

| Numune Numarası | Yükün Etkidiği Alan | Yüklenen Yüzey Alanı (mm²) | Maksimum Yük (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 17,2 | 1,06 |
| 2 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 59,8 | 3,70 |
| 3 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 31,5 | 1,95 |
| 4 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 19,7 | 1,22 |
| 5 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 13,2 | 0,81 |
| 6 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 60,2 | 3,72 |
| 7 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 49,8 | 3,08 |
| 8 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 41,7 | 1,06 |
| 9 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 35,2 | 2,18 |
| 10 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 55,2 | 3,42 |
| 11 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 77,2 | 4,77 |
| 12 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 50,8 | 3,14 |
| 13 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 42,7 | 2,64 |
| 14 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 69,3 | 4,29 |
| 15 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 40,3 | 1,02 |
| 16 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 55,8 | 3,45 |
| 17 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 14,2 | 0,88 |
| 18 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 18,6 | 1,15 |
| 19 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 43,2 | 2,67 |
| 20 | Düz Dikdörtgen | 16150 | 39,5 | 2,44 |
| $\sigma_{b(ort)}$ (MPa) | | | | 2,4325 |
| $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa) | | | | 1,244465114 |
| $Vb(k)=\frac{\sigma b(s.sapma)}{\sigma b(ort)}.100$ | | | | 51% |

Çizelge 2.4. Düz kare yüzeye (3) yüklemeden elde edilen tuğla basınç dayanımları

| Numune Numarası | Yükün Etkidiği Alan | Yüklenen Yüzey Alanı ($mm^2$) | Maksimum Yük (kN) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Düz Kare | 36100 | 194,2 | 5,6 |
| 2 | Düz Kare | 36100 | 185,9 | 5,4 |
| 3 | Düz Kare | 36100 | 195,9 | 5,7 |
| 4 | Düz Kare | 36100 | 116,8 | 3,4 |
| 5 | Düz Kare | 36100 | 137,6 | 4 |
| 6 | Düz Kare | 36100 | 93 | 2,7 |
| 7 | Düz Kare | 36100 | 126,1 | 3,6 |
| 8 | Düz Kare | 36100 | 60 | 1,7 |
| 9 | Düz Kare | 36100 | 131,7 | 3,8 |
| 10 | Düz Kare | 36100 | 170,6 | 4,9 |
| 11 | Düz Kare | 36100 | 68,3 | 1,9 |
| 12 | Düz Kare | 36100 | 196,6 | 5,7 |
| 13 | Düz Kare | 36100 | 16,1 | 0,4 |
| 14 | Düz Kare | 36100 | 136,2 | 3,7 |
| 15 | Düz Kare | 36100 | 67,2 | 1,8 |
| 16 | Düz Kare | 36100 | 89 | 2,3 |
| 17 | Düz Kare | 36100 | 160,4 | 4,8 |
| 18 | Düz Kare | 36100 | 85,1 | 2,1 |
| 19 | Düz Kare | 36100 | 197,3 | 5,8 |
| 20 | Düz Kare | 36100 | 195,2 | 5,75 |
| $\sigma_{b(ort)}$ (MPa) | | | | 3,7525 |
| $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa) | | | | 1,672806891 |
| $Vb(k)=\frac{\sigma b(s.sapma)}{\sigma b(ort)}.100$ | | | | 44% |

Yazılan alt indis “b” harfi İngilizcede tuğlanın İngilizcesi “brick” kelimesinin baş harfidir.

### 2.2.2. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı

Bir önceki çalışmada tuğla derzlerinde kum-çimento harcı kullanıldığında yaşanan derz kaymasının engellenmesi amaçlanarak, yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı kullanımına karar verilmiştir. Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı kullanımı ile eşdeğer diyagonal çubuk genişliği araştırılırken, deney elemanlarının göçme modelinin derz kayması olmayıp, tuğlada ezilme şeklinde olduğu tecrübelenmiştir [20]. Bu sebeple, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 tasarımları ile oluşturulan deney elemanlarının tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı kullanılmıştır. Kullanılan yüksek dayanımlı yapısal tamir harcının ürün bilgi föyünde yer alan teknik özellikleri aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 2.5. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcının ürün bilgi föyündeki teknik özellikleri

| | | |
|---|---|---|
| Malzemenin Yapısı | Mineral doldular, elyaf ve polimer takviyeli özel çimento İçerir | |
| Renk | Gri | |
| Basınç Dayanımı | | |
| | 1 Gün | >25 N/mm² |
| | 7 Gün | >50 N/mm² |
| | 28 Gün | >70 N/mm² |
| Eğilme Dayanımı | 28 Gün | >8 N/mm² |
| Yapışma (Çekme) Dayanımı | 28 Gün | >2 N/mm² |
| Elastisite Modülü | 28 Gün | >20,000 N/mm² |

25 kilogramlık kraft torbaların içerisinde su ile karıştırılmaya hazır toz şeklinde bulunan yüksek dayanımlı yapısal tamir harcının ürün bilgi föyünde yer alan su ile karışım oranı Çizelge 2.6.'da sunulmuştur. Bu orana uyularak su ile karıştırılıp, karıştırma talimatlarına uygun karıştırıcı uç kullanılarak sadık kalınmıştır. NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 deney elemanı tasarımlarına ait deney elemanları örülürken, bir yandan da hazırlanan yüksek dayanımlı harçtan numuneler alınmıştır. Her deney elemanı tasarımına ait iki deney elemanından numune almaya çalışılmıştır, yalnızca NPWb800 deney elemanı tasarımına ait tek bir deney elemanından numune alınmıştır. Hazırlanan harç karışımından on bir tane 100 mm'lik küp numune alınmıştır. Numuneler, harcın hazırlanması ile yağlanmış kalıplara koyulmak suretiyle alınmıştır. Bir gün sonra kalıplarından çıkartılıp kür havuzuna koyulup, deney elemanının deneyinden birkaç gün önce kür havuzundan çıkartılıp kurutulup, deney elemanının deney tarihi ile aynı gün

kırılarak basınç dayanımları kaydedilmiştir. Elde edilen basınç dayanım değerleri Çizelge 2.7. ‘de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcının ürün bilgi föyündeki karışım oranları

| Yüksek Dayanımlı Yapısal Tamir Harcı | 1 kg Toz İçin | 25 kg Torba İçin |
|---|---|---|
| Karışım Suyu Miktarı | < 0,16 litre | < 4,00 litre |
| Karışım Yoğunluğu | ~2,25 kg/ litre | |

Çizelge 2.7. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcından alınan numunelerin basınç dayanımları

| Deney Elemanının Adı | Dayanım (MPa) |
|---|---|
| NPW-2 | 51,3 |
| NPW-3 | 45,4 |
| NPWb400-2 | 52,4 |
| NPWb400-3 | 46,7 |
| NPWb500-2 | 63,2 |
| NPWb500-3 | 43,9 |
| NPWb600-2 | 50,3 |
| NPWb600-3 | 46,7 |
| NPWb700-2 | 49,4 |
| NPWb700-3 | 48,3 |
| NPWb800-3 | 56,4 |
| $\sigma_{g(ort)}$ (MPa) | 50,36 |
| $\sigma_{g(\text{s.sapma})}$ (MPa) | 5,38 |
| $V_{g(k)} = \frac{\sigma_{g(\text{s. sapma})}}{\sigma_{g(\text{ort})}} .100$ | 10,68 |



Resim 2.2. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcına ait küp numunelerin kür havuzunda bekletilmesi



Resim 2.3. Yüksek dayanımlı yapısal tamir harcına ait küp numunelerin kırılarak basınç dayanımlarının belirlenmesi

### 2.2.3. Çimento ve kum harcı

Tuğla derzlerinde harç uygulaması bulunan NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700 ve NPWb800 tasarımları ile oluşturulan deney elemanlarında deney sırasında derz kesilmesinin engellenmesi için yüksek dayanımlı harç kullanılması, NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarındaki dayanımı diğer deney elemanları ile kıyaslanabilmesine ve deney sonuçlarının tutarlı bir şekilde yorumlanabilmesine engel olacak derecede arttırdığı için tuğla derzlerinde kum- çimento harcı kullanılarak tam tuğla duvar olarak NPW+ tasarımına ait yeni referans deney elemanları deneye eklenmiştir. Bir önceki çalışmada [32] kullanılan kum-çimento harcı ile aynı özellikte kum-çimento harcı oluşturulmasına özen gösterilmiştir. Bunun için 300 kg çimento dozlu harç hazırlanmıştır. Bu harç hazırlanırken ise T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınladığı inşaat genel fiyat analizi kitabında [31] 18.071/1 numaralı, ‘’yatay delikli 19x19x8,5 cm fabrika tuğlası ile yarım tuğla duvar yapılması’’ pozundan faydalanılmıştır. 10.005 pozu malzeme analizi Çizelge 2.8. ’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. 300 kg çimento dozlu harç yapılması 10.005 pozu analiz açılımı

| Rayiç Numarası | Tanımı | Birimi | Miktarı |
|---|---|---|---|
| 04.001/022 | Kum (tuvenan agregadan elenmiş ve yıkanmış) | $m^3$ | 1 |
| 04.008/2A | Portland çimentosu | Ton | 0,3 |
| 04.031 | Su | $m^3$ | 0,23 |

Harç hazırlanırken, piyasadaki 0-3 kum olarak anılan, 0 mm ile 3 mm arasında değişiklik gösteren dane dağılımına sahip kum seçilmiştir. Harç içerisinde kullanılan kumun yoğunluğu 1,4gr/$cm^3$ olarak belirlenmiştir. [32] Harçta kullanılan malzemelerin ağırlık bakımından oranları Çizelge 2.9.’da verilmiştir.

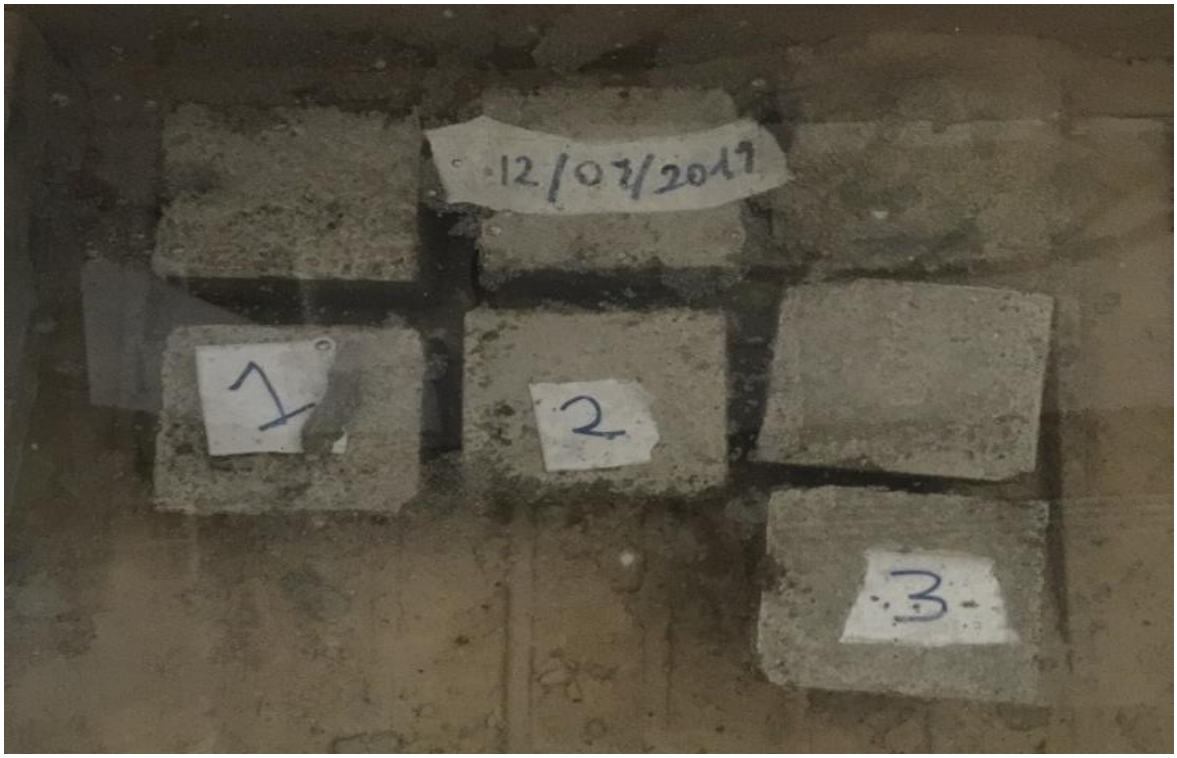
Çizelge 2.9. Kum- çimento harcının karışım oranları

| Malzeme | Kum | Çimento | Su |
|---|---|---|---|
| Ağırlık (kg) | 1400 | 300 | 230 |

Harç hazırlanırken kireç kullanılmamıştır. Deney sonuçlarının doğruluğu için, bütün harç üretimlerinde kum, çimento ve su oranlarının aynı olmasına dikkat edilmiştir. Tüm harç karışımları homojenlik sağlanması amaçlanarak mikser kullanılarak hazırlanmıştır. Harcın basınç dayanımlarını tespit etmek için NPW4+, NPW5+ ve NPW6+ deney elemanları örülürken hazırlanan harcından iki adet 100 mm'lik küp numuneler alınmıştır. Bu numuneler bir gün kalıpta bekletilip, ertesi gün kalıptan çıkartılıp kür havuzunda bekletilmiş, deneyden birkaç gün önce kür havuzundan çıkarılmış ve deney elemanlarının testinin yapıldığı gün kuru halde kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir. Çizelge 2.10.'da çalışmaya sonradan eklenen duvar elemanlarının tuğla derzlerinde tuğlaları birbirine bağlamak için kullanılan kum- çimento harcına ait ortalama basınç dayanımları belirtilmiştir.

Çizelge 2.10. Çimento-kum harcından alınan numunelerin basınç dayanımları

| Deney Elemanı Adı | Küp Numune Basınç Dayanımı (MPa) |
|---|---|
| NPW4+ | 5 |
| NPW4+ | 7,3 |
| NPW4+ | 7,8 |
| NPW4+ | 5,5 |
| NPW5+ | 7,1 |
| NPW5+ | 7,8 |
| NPW5+ | 7,6 |
| NPW5+ | 7,9 |
| NPW6+ | 7,3 |
| NPW6+ | 7 |
| NPW6+ | 7,3 |
| NPW6+ | 8,6 |
| $\sigma_{g(ort)}$ (MPa) | 7,18 |
| $\sigma_{g(\text{s.sapma})}$ (MPa) | 0,96 |
| $V_{g(k)} = \frac{\sigma g(\text{s. sapma})}{\sigma g(\text{ort})} .100$ | 13,41 |




Resim 2.4. Kum- çimento harcından alınan küp numunelerinin kür havuzunda bekletilmesi




Resim 2.5. Kum- çimento harcına ait küp numunelerin kırılarak basınç dayanımının belirlenmesi

## 2.3. Deney Elemanlarının Oluşturulması

Deney elemanlarının oluşturulması için gerekli olan ahşap kalıpların oluşturulması ile deney elemanlarının oluşturulmasına başlanmıştır. Ahşap kalıpların oluşturulabilmesi için 5 cm x 10 cm kesitinde olan inşaat keresteleri kullanılmıştır. Bu kerestelerden kalıplar oluşturulurken, her bir kerestenin düzgün, burkulmamış ve terazisinde olanların kullanılmasına özen gösterilmiştir. Vida kullanılarak oluşturulan kalıbın yüksekliği 1175 mm, genişliği 1475 mm olacak şekilde keresteler birbirlerine tespit edilmişlerdir. Bu şekilde kalıp kullanılarak örülecek deney elemanı sayısı olan 21 tane kalıp oluşturulmuştur. Oluşturulan kalıplar yere yatırılıp, üst üste istiflenerek birbirlerinin ağırlıklarından dolayı daha stabil bir şekilde kalarak, çevresel etkilere karşı koruma sağlanmıştır. Oluşturulan ahşap kalıp örneği Resim 2.5. ‘de gösterilmiştir. Oluşturulan ahşap kalıpların arka taraflarına, kalıbın içine tam oturacak şekilde ayarlanan OSB paneller hazırlanmıştır. OSB panellerin, kalıpların içine gelen yüzüne zımbalamak kaydıyla naylon kaplanmıştır. Bu naylon örülecek tuğla ebatları ve bu tuğlaların aralarında kalacak derz boşlukları çizilerek kılavuz olarak işaretlenmiştir. Özellikle bant genişliği şeklinde tasarlanan deney elemanlarında bant sınırlarının görülmesi açısından önemlidir. Ahşap kalıpların 4 kenarına vidalanarak sabitlenen OSB paneller ile kalıplar içerisine deney elemanının örülmesine hazır hale getirilmiştir. Deney elemanının örülmesine hazır hale gelen ahşap kalıp Resim 2.6. ‘da gösterilmiştir. Naylon sayesinde tuğla derzlerinde kullanılacak harcın OSB panellere yapışması önlenmiştir.

Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın deliklere dik kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın delikler yatay olacak şekilde yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla delikleri yatay olacak şekilde konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla delikleri yatay gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Deney elemanını oluşturan tuğlaların istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. Tuğlaların kesilmesi Resim 2.7. ‘de gösterilmiştir. Tüm tuğlalar delikleri yatay olacak şekilde dizilmişlerdir.

Ahşap kalıplar, Resim 2.8. ‘de gösterildiği üzere içlerine deney elemanının en doğru şekilde örülmesi için dike yakın bir açı ile birbirlerine üst kenarlarına paralel kalaslar vidalanarak sabitlenmişlerdir. Bu halde duvar kalıpların içerisine tuğla ve harç kullanılarak deney elemanları oluşturulmuştur. Örülen deney elemanları bir gün o halde bekletilerek harcın dayanım kazanması beklenmiştir. Ertesi gün kalıbın arkasındaki naylon kaplı OSB plaklar sökülüp sıradaki ahşap kalıplara vidalanıp sıradaki duvarların örülme işlemi için hazır hale getirilmişlerdir. Bazı günler bir, bazı günler iki, bazı günler üç duvar örülmüştür. Kalıpları sökülen deney elemanları en az 21 gün bekleyip dayanım kazanması için korunaklı bir şekilde üst üste dayanarak beklemeye alınmıştır. Hazır hale gelen deney elemanları Resim 2.9. ‘da ve Resim 2.10. ‘de görüldüğü üzere sıra sıra dizilmiştir.

Yeterli dayanım kazanıp deneye hazır hale gelen deney elemanları bu sefer Resim 2.11.’de görüldüğü üzere vinç kullanılarak ilk örülen deney elemanından başlayarak sırasıyla, deney çerçevesinin olduğu platforma çıkartılmıştır. Platforma çıkarılan deney elemanı yine vinç kullanılarak deney çerçevesinin içine Resim 2.12.’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Bu işlem esnasında deney elemanının hasar almaması için çok titiz çalışılmıştır. Yerleştirilen deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan boşluklar hızlı donma özelliğine sahip kartonpiyer alçısı ile Resim 2.13.’de gösterildiği gibi doldurulmuştur. Alçının donması ile deney çerçevesinde ileri geri hareket edebilir haldeki deney elemanı hareketsiz hale getirilmiştir.



Resim 2.6. Hazırlanmış ahşap kalıp örneği



Resim 2.7. Ahşap kalıpların arkasının naylon kaplanmış OSB ile kapatılması



Resim 2.8. Tuğlaların makine kullanılarak kesilmesi



Resim 2.9. Duvarların harç kullanılarak örülmesi



Resim 2.10. Deneye hazır hale gelen farklı bant genişliklerindeki dizilmiş duvarlar



Resim 2.11. Deneye hazır hale gelen tam duvarlar



Resim 2.12. Duvarların vinç yardımıyla deney platformuna taşınması



Resim 2.13. Deney çerçevesine yerleştirilmiş deney elemanı

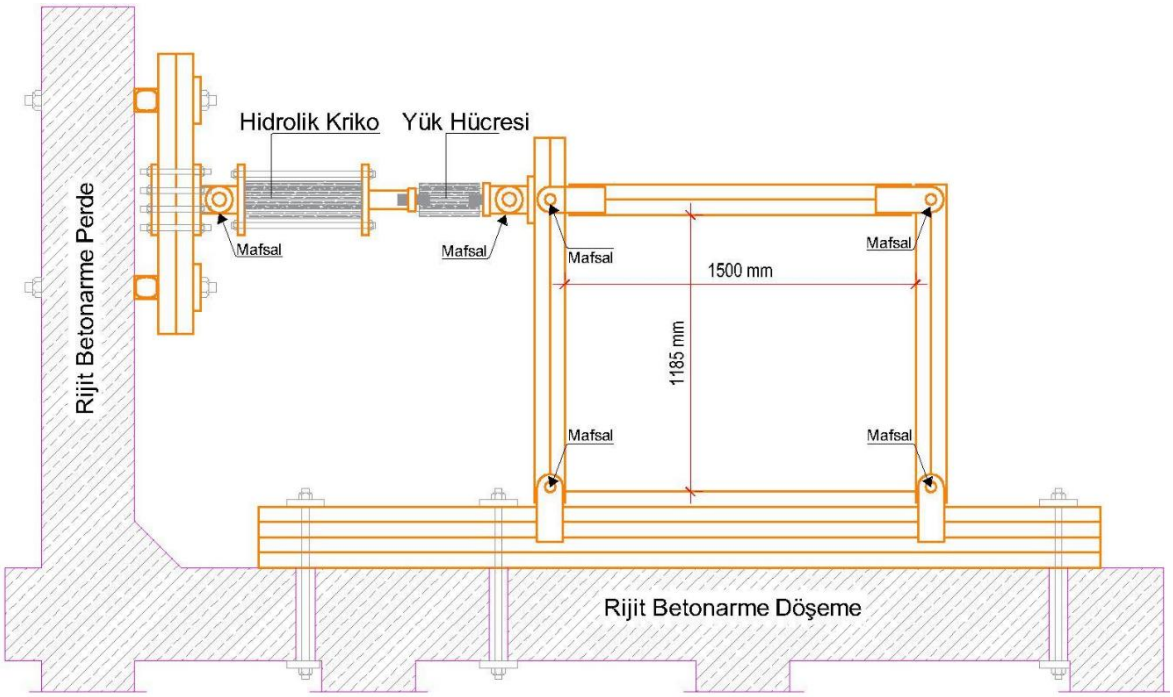


Resim 2.14. Deney çerçevesi ile deney elemanı arasında kalan boşlukların hızlı donabilen alçı ile doldurulması

## 2.4. Deney Düzeneği

### 2.4.1. Deney çerçevesi

Deney elemanlarının deneyleri Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yer alan deney platformu üzerinde konumlanmış deney çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Deney çerçevesi, dört köşesi mafsallı yüksekliği 160 mm olan (UPE160) çelik profillerden meydana gelmektedir. Bu çerçeve ise üstüne bulunduğu 80 cm aralıklarla delikleri olan güçlü betonarme döşemeye art germe gijonları ile sabitlenmiştir. Deney çerçevesi Şekil 2.3.'te görüldüğü üzere 1500 mm iç genişliğe ve 1185 mm iç yüksekliğe sahiptir. Bu deney çerçevesinin amacı, betonarme yapı elemanları tarafından çevrelenmiş dolgu duvarlara etki eden yükleri gerçeğe yakın bir şekilde yansıtmaktadır.




Şekil 2.3. Deney çerçevesi, yükleme düzeni ve detayları [32]




Resim 2.15. Deney çerçevesi ve deney platformu

### 2.4.2. Yükleme düzeni

Rijit ve güçlü bir perdeye sabitlenmiş hidrolik kriko ve ona bağlı yük hücresi ile aktarılan tek düze yüklerin deney çerçevesinin sol üst köşesine yatay doğrultuda aktarılıp, mafsallı yapıdaki deney çerçevesi sayesinde doğrudan deney elemanına tatbik ettirilmesi şeklindedir.

### 2.4.3. Ölçüm düzeni

Ölçüm düzeninin ana karakterleri olan deplasman ölçerler ve pozisyonları bu tez çalışmasında iki farklı başlıkta ele alınacaktır. Önceki bir yüksek lisans tez çalışması [32] ile bu tez çalışmasının ortak deneyleri olan FB tasarımının ölçüm düzeni ile bu tez çalışmasındaki diğer tüm deney elemanlarının tasarımlarının ölçüm düzeninde kullanılan deplasman ölçerlerin sayısı dört tane olup, aynıdır. Fakat kullanılan deplasman ölçerlerin isimlendirmeleri farklıdır. Bu yüzden iki farklı başlıkta açıklanmıştır.

FB Tasarımında ölçüm düzeni

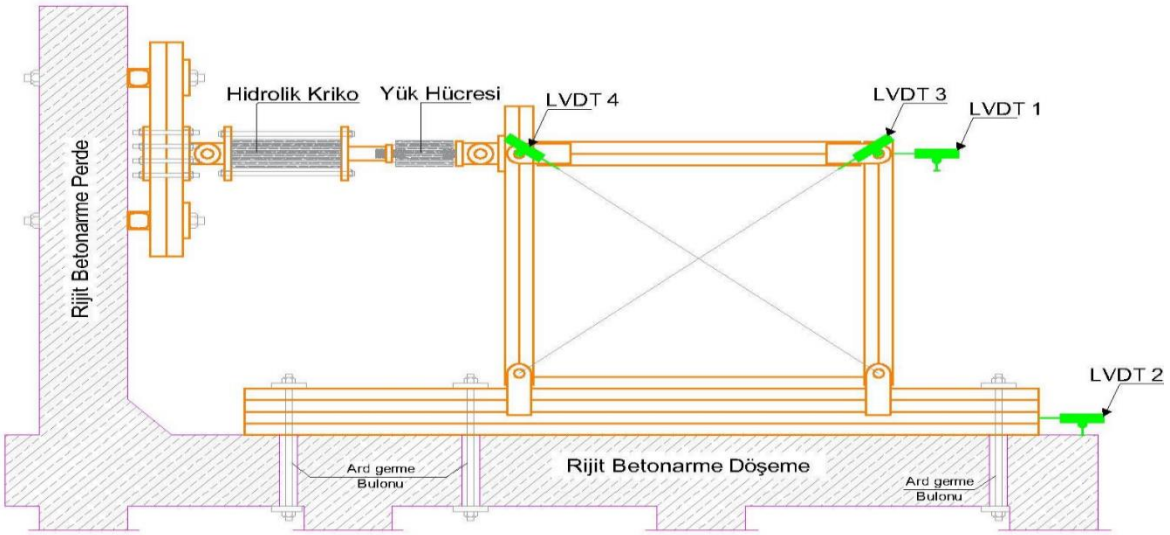
Hidrolik kriko ile çerçeveye verilen yükü ölçmek için hidrolik krikodan sonra bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Çerçeveye uygulanan yükün etkisinden çerçevede meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi amaçlanarak, dört noktaya, 0,01 mm hassasiyet ile ölçüm yapabilen deplasman ölçerler (LVDT: Linear variable differential transformer) yerleştirilmiştir. Bütün deplasman ölçerlerin her deneyden önce mutlaka somunları sıkılmıştır, kontrolleri yapılmıştır. Her deney öncesi teker teker kalibrasyonları yapılmıştır. Her deney sonrası deney çerçevesi temizlenirken korumaya alınmıştır. Yerleştirilen her deplasman ölçer, 'LVDT' harfleri peşine numara verilerek isimlendirilmiştir. LVDT1 en önemli deney verisini oluşturan çerçeve üst kirişinin yatay ötelenme miktarını ölçmüştür. Deneyler ile alakalı yük- yer değiştirme grafiklerinde, LVDT1'den alınan veriler kullanılmıştır ve deneylerde oluşan olaylarda yük- deplasman belirtilerek anlatılmış, deplasmanlar ifade edilirken LVDT1'ten elde edilen değerler kullanılmıştır. LVDT2 deney çerçevesinin, betonarme deney platformu üzerindeki hareketini ölçmüştür. Şekil 2.4. 'te deplasman ölçerler yeşil renkte gösterilip, deplasman ölçerlerin yerleri belirtilmiştir. Yapılan deneylerde deplasman ölçerler aşağıdaki verileri sağlamıştır.

LVDT1: Çerçeve üst kirişinin yaptığı yatay ötelenmeyi

LVDT2: Deney çerçevesinin rijit ötelenmesini

LVDT3: Deney çerçevesinin sağ üst kösesi ile sol alt kösesi arasında oluşan ötelenmeyi

LVDT4: Deney çerçevesinin sol üst köşesi ile sağ alt köşesi arasında oluşan ötelenmeyi




Şekil 2.4. FB Deney elemanı tasarımında deplasman ölçerlerin konumları [32]

NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ Tasarımlarında ölçüm düzeni

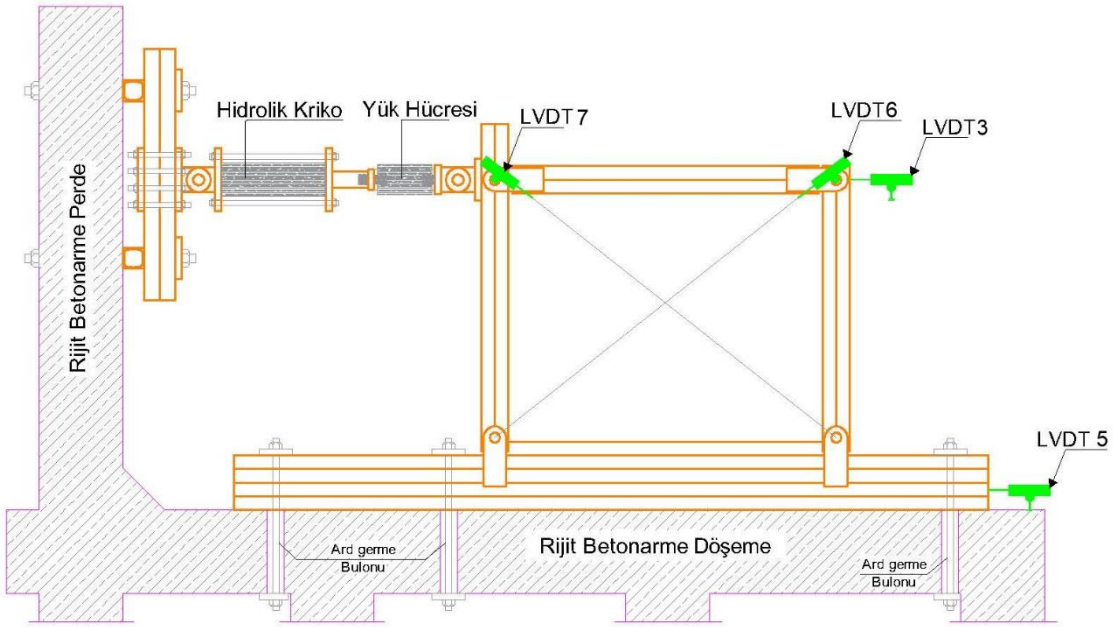
Hidrolik kriko ile çerçeveye verilen yükü ölçmek için hidrolik krikodan sonra bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Çerçeveye uygulanan yükün etkisinden çerçevede meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi amaçlanarak, dört noktaya, 0,01 mm hassasiyet ile ölçüm yapabilen deplasman ölçerler (LVDT: Linear variable differential transformer) yerleştirilmiştir. Bütün deplasman ölçerlerin her deneyden önce mutlaka somunları sıkılmıştır, kontrolleri yapılmıştır. Her deney öncesi teker teker kalibrasyonları yapılmıştır. Her deney sonrası deney çerçevesi temizlenirken korumaya alınmıştır. Yerleştirilen her deplasman ölçer, 'LVDT' harfleri peşine numara verilerek isimlendirilmiştir. LVDT3 en önemli deney verisini oluşturan çerçeve üst kirişinin yatay ötelenme miktarını ölçmüştür. Deneyler ile alakalı yük- yer değiştirme grafiklerinde, LVDT3'ten alınan veriler kullanılmıştır ve deneylerde oluşan olaylarda yük- deplasman belirtilerek anlatılmış, deplasmanlar ifade edilirken LVDT3'ten elde edilen değerler kullanılmıştır. LVDT5 deney çerçevesinin, betonarme deney platformu üzerindeki hareketini ölçmüştür. Şekil 2.5. 'te deplasman ölçerler yeşil renkte gösterilip, deplasman ölçerlerin yerleri belirtilmiştir. Yapılan deneylerde deplasman ölçerler aşağıdaki verileri sağlamıştır.

LVDT3: Çerçeve üst kirişinin yaptığı yatay ötelenmeyi

LVDT5: Deney çerçevesinin rijit ötelenmesini

LVDT6: Deney çerçevesinin sağ üst kösesi ile sol alt kösesi arasında oluşan ötelenmeyi

LVDT7: Deney çerçevesinin sol üst köşesi ile sağ alt köşesi arasında oluşan ötelenmeyi




Şekil 2.5. NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ Deney elemanları tasarımlarındaki deplasman ölçerlerin konumları

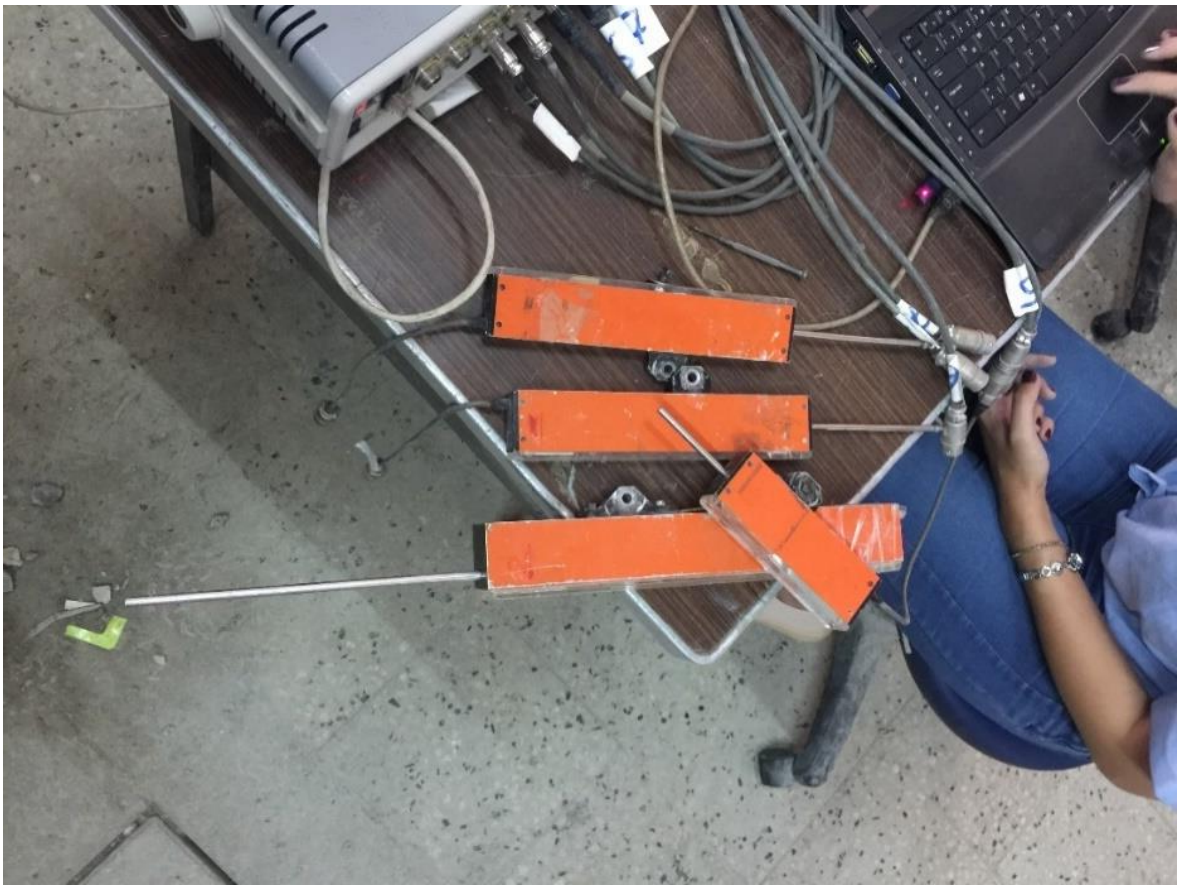
Ölçüm düzeninde yer alan deplasman ölçerlerin özellikleri Çizelge 2.12. ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11.Ölçüm düzeninde yer alan deplasman ölçerlerin özellikleri

| Deplasman Ölçerin Adı | Deplasman Ölçerin Ölçtüğü Deplasman | Deplasman Ölçerin Bulunduğu Deney Elemanı Tasarımı | Deplasman Ölçerin Genlik Kapasitesi (mm) |
|---|---|---|---|
| LVDT1 | Çerçeve üst kirişinin yaptığı yatay ötelenmeyi | FB | 200 |
| LVDT2 | Deney çerçevesinin rijit ötelenmesini | FB | 50 |
| LVDT3 | Deney çerçevesinin sağ üst kösesi ile sol alt kösesi arasında oluşan ötelenmeyi | FB | 100 |
| LVDT4 | Deney çerçevesinin sol üst köşesi ile sağ alt köşesi arasında oluşan ötelenmeyi | FB | 100 |
| LVDT3 | Çerçeve üst kirişinin yaptığı yatay ötelenmeyi | NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800, NPW+ | 200 |
| LVDT5 | Deney çerçevesinin rijit ötelenmesini | NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800, NPW+ | 50 |

Çizelge 2.11. (devam) Ölçüm düzeninde yer alan deplasman ölçerlerin özellikleri

| | | | |
|---|---|---|---|
| LVDT6 | Deney çerçevesinin sağ üst kösesi ile sol alt kösesi arasında oluşan ötelenmeyi | NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800, NPW+ | 100 |
| LVDT7 | Deney çerçevesinin sol üst köşesi ile sağ alt köşesi arasında oluşan ötelenmeyi | NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800, NPW+ | 100 |



Resim 2.16. Kullanılan deplasman ölçerler

## 2.5. Deney elemanları

Bu tez çalışmasında amaçlanan sıvasız tuğla dolgu duvarlarda eşdeğer diyagonal basınç çubuğu belirlenebilmesi için sekiz farklı tasarımdan üçer tane deney elemanının deneyleri yapılmıştır. Yükleme düzenine uygun olarak tek düze yatay yükler altında deneyler yapılmıştır. Bu deneyler yapılırken, düzenli olarak deplasman değeri ile o deplasman değerindeyken deney elemanının üzerindeki yük değeri kN biriminde not edilmiştir.

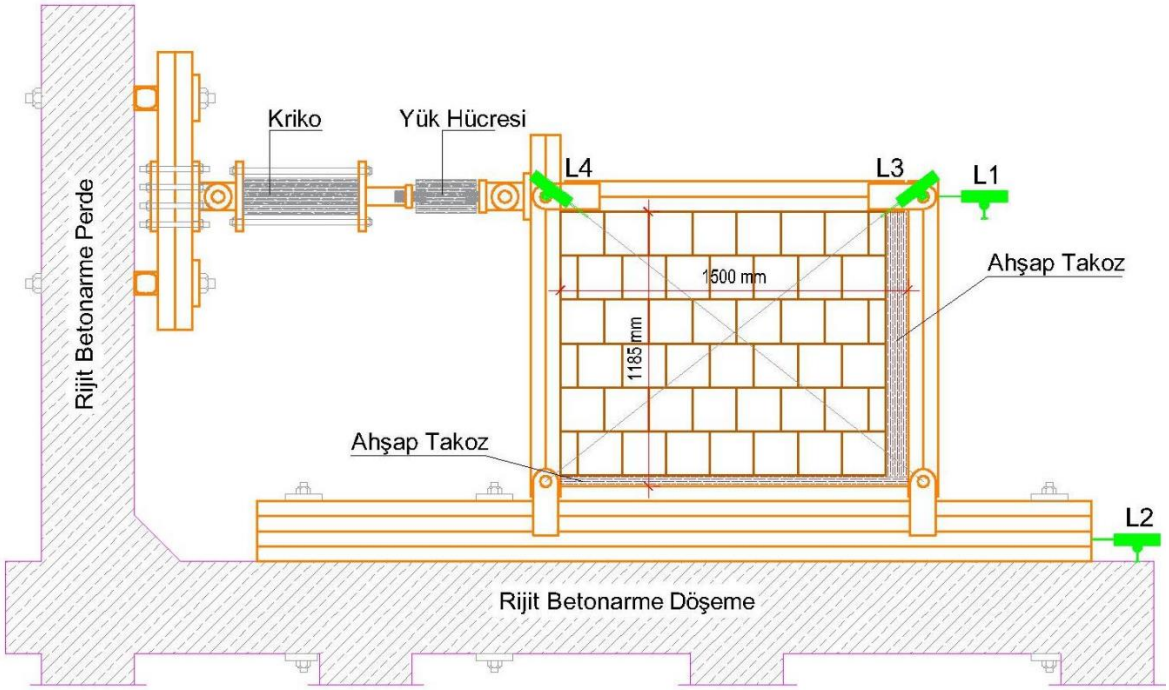
Deneyler esnasında deney elemanlarının taşıdığı maksimumum yük değerleri ayrıca kaydedilmiştir. Tüm bu yük ve deplasman değerleri kullanılarak her bir deney elemanı için yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Deney esnasında deney elemanının yük etkisi altında davranışına yönelik önemli hadiseler not edilmiş, fotoğraflanmıştır.

### 2.5.1. FB tasarımı

Deney çerçevesinin içerisine tuğlaların herhangi bir harç uygulaması bulunmadan, üst üste yerleştirilip, sıkıştırılması ile oluşturulan FB1, FB2 ve FB3 deney elemanlarından ibarettir. Tuğlalar deney çerçevesi içerisine belirli bir düzende yerleştirilmiştir ve bu düzen, sağ alt köşede ve sol üst köşede tam tuğla olacak şekildedir. Tuğlaların üst üste dizilmesi ile oluşan deney elemanı boyut olarak deney çerçevesinden daha küçük kaldığı için, çerçeve ile deney elemanı arasındaki boşluklara ahşap kalaslar ile besleme yapılmıştır.



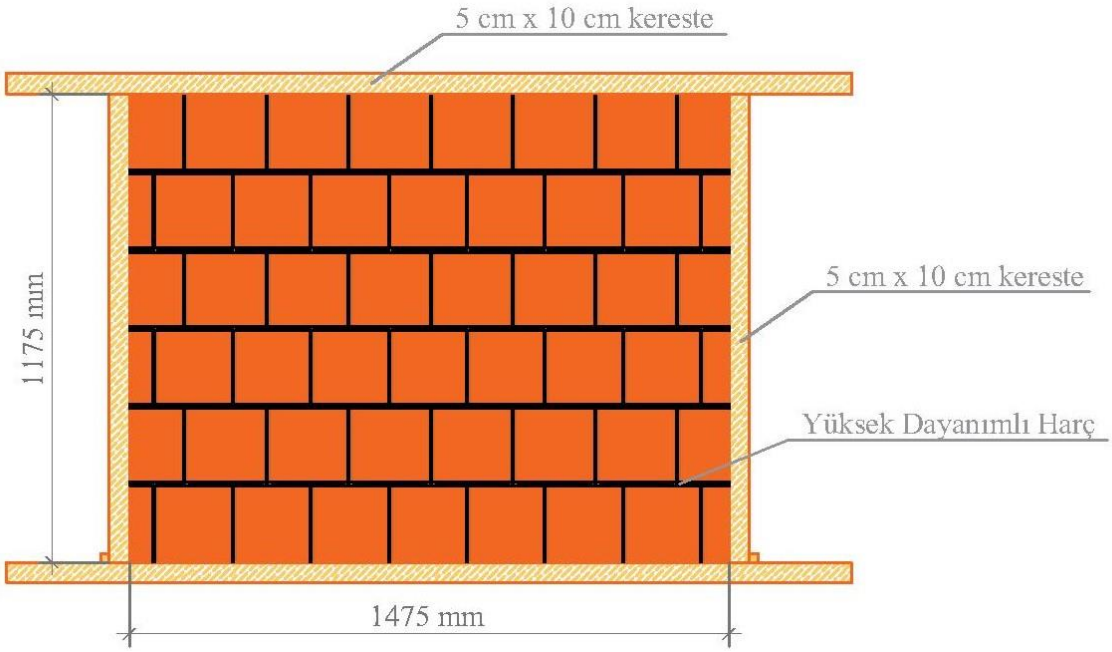

Resim 2.17. FB tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü




Şekil 2.6. FB tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli [32]

### 2.5.2. NPW tasarımı

NPW tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak tam duvar şeklinde örülen referans deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Deney elemanını oluşturan tuğlaların istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW tasarımında NPW1, NPW2 ve NPW3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.



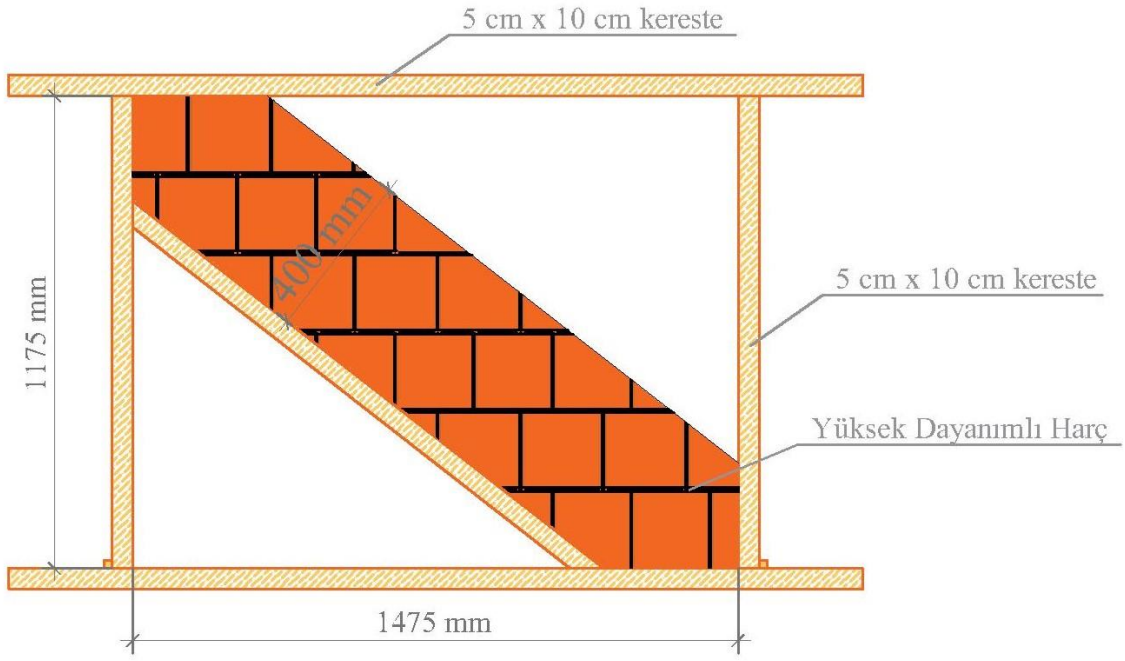

Şekil 2.7. NPW tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli




Resim 2.18. NPW tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

### 2.5.3. NPWb400 tasarımı

NPWb400 tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak 400 mm bant genişliğinde diyagonal şeklinde örülen deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Diyagonal şekilde belirli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarında istenilen bent genişliğinde tuğlalar çizilir ve bant genişliğinin dışında kalan tuğlalar sonradan kullanılmak üzere ayrılır, tam sınırda kalanlar ise işaretlendikleri çizgilerden istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW tasarımında NPWb400-1, NPWb400-2 ve NPWb400-3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.




Şekil 2.8. NPWb400 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli

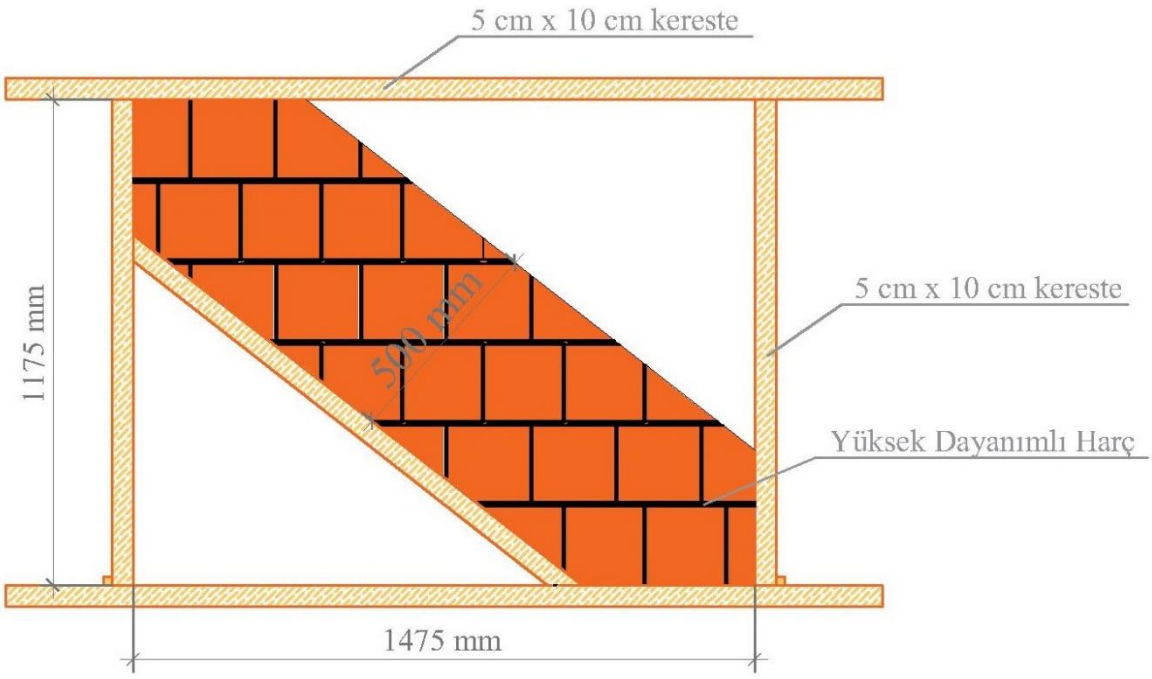



Resim 2.19. NPWb400 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

### 2.5.4. NPWb500 tasarımı

NPWb500 tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak 500 mm bant genişliğinde diyagonal şeklinde örülen deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Diyagonal şekilde belirli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarında istenilen bent genişliğinde tuğlalar çizilir ve bant genişliğinin dışında kalan tuğlalar sonradan kullanılmak üzere ayrılır, tam sınırda kalanlar ise işaretlendikleri çizgilerden istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW

tasarımında NPWb500-1, NPWb500-2 ve NPWb500-3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.



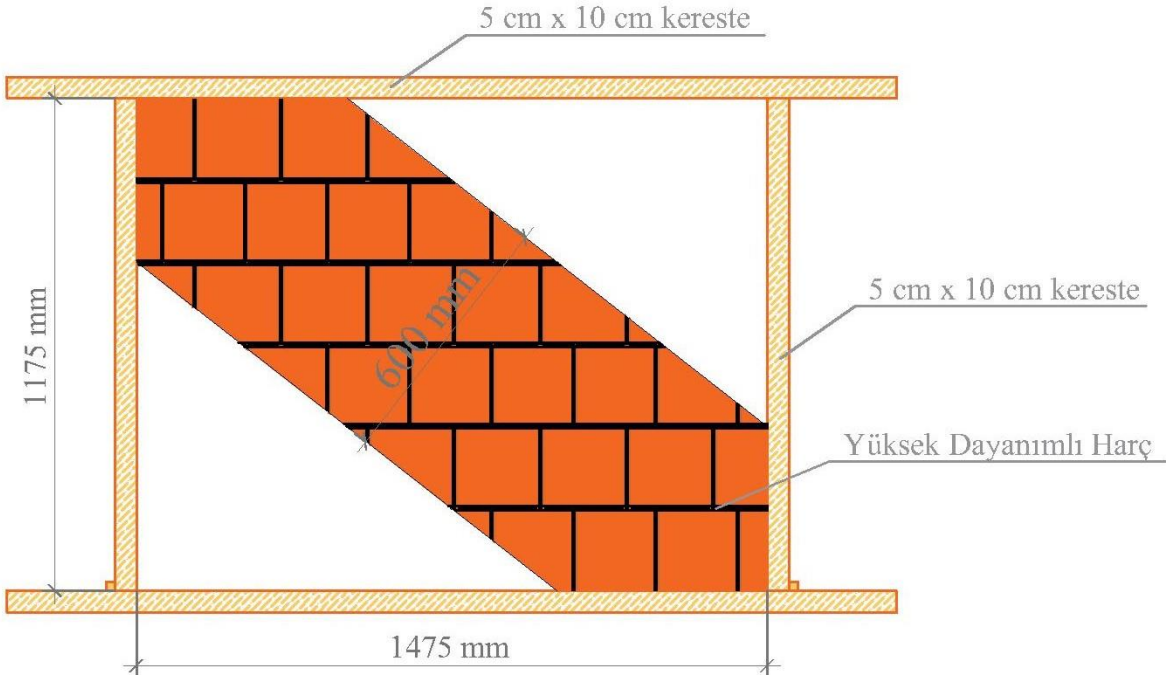

Şekil 2.9. NPWb500 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli




Resim 2.20. NPWb500 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

### 2.5.5. NPWb600 tasarımı

NPWb600 tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak 600 mm bant genişliğinde diyagonal şeklinde örülen deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Diyagonal şekilde belirli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarında istenilen bent genişliğinde tuğlalar çizilir ve bant genişliğinin dışında kalan tuğlalar sonradan kullanılmak üzere ayrılır, tam sınırda kalanlar ise işaretlendikleri çizgilerden istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW tasarımında NPWb600-1, NPWb600-2 ve NPWb600-3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.




Şekil 2.10. NPWb600 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli

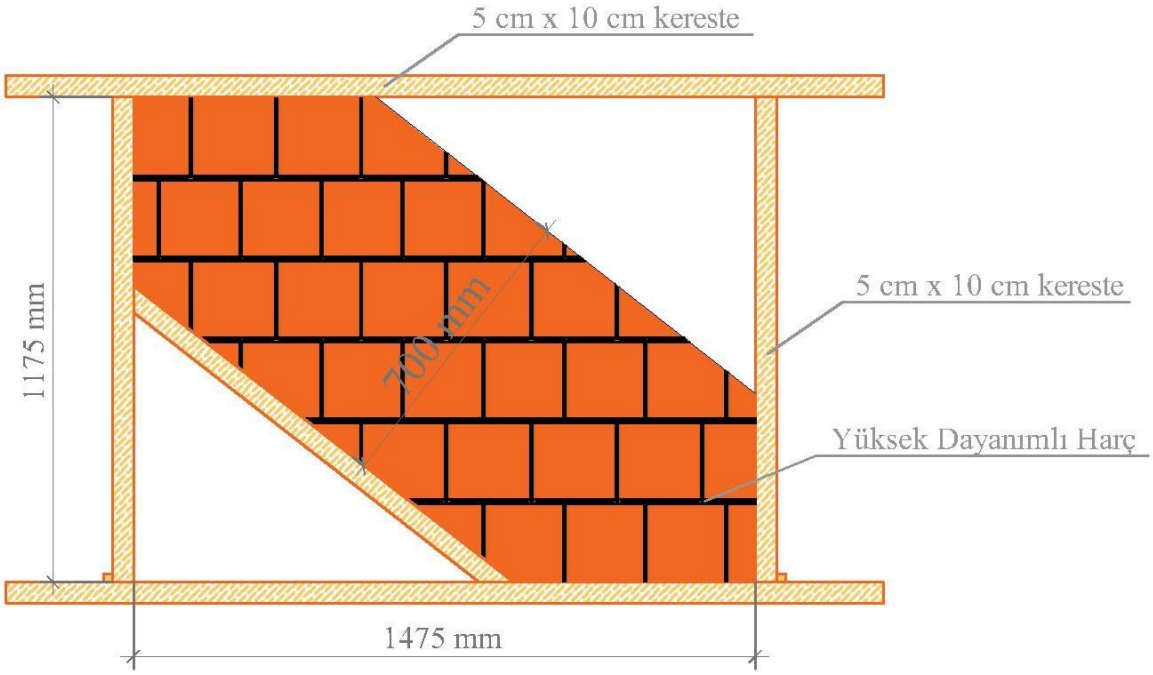



Resim 2.21. NPWb600 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

### 2.5.6. NPWb700 tasarımı

NPWb700 tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak 700 mm bant genişliğinde diyagonal şeklinde örülen deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Diyagonal şekilde belirli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarında istenilen bent genişliğinde tuğlalar çizilir ve bant genişliğinin dışında kalan tuğlalar sonradan kullanılmak üzere ayrılır, tam sınırda kalanlar ise işaretlendikleri çizgilerden istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW

tasarımında NPWb700-1, NPWb700-2 ve NPWb700-3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.



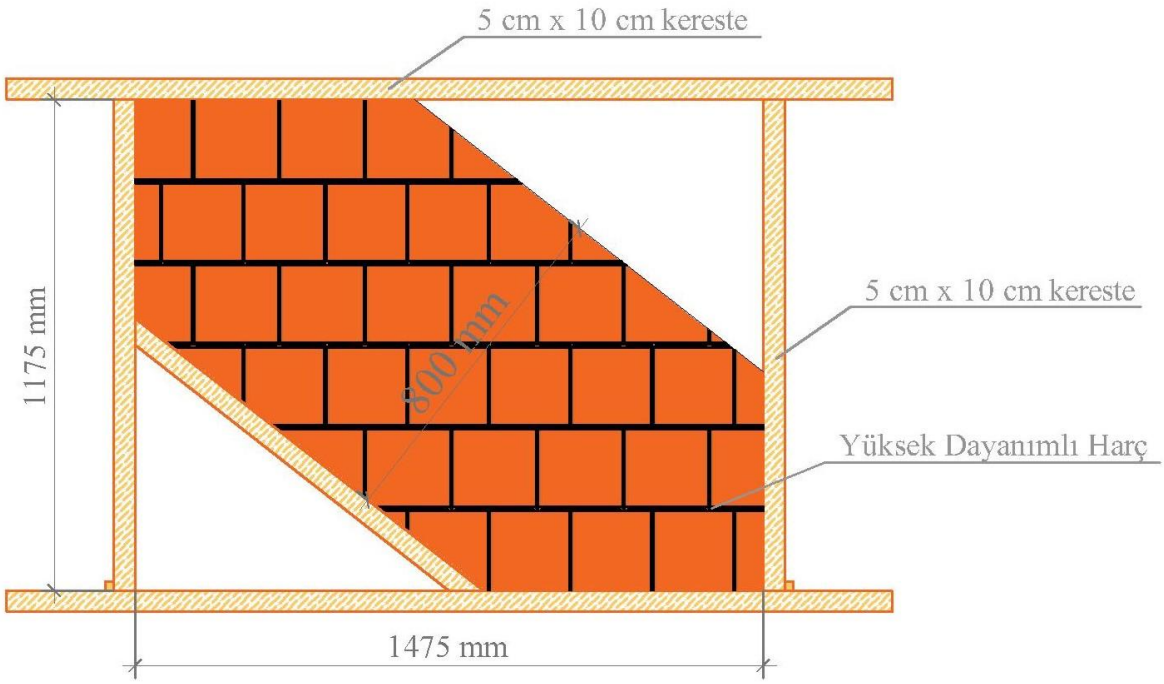

Şekil 2.11. NPWb700 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli




Resim 2.22. NPWb700 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

### 2.5.7. NPWb800 tasarımı

NPWb800 tasarımı, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak 800 mm bant genişliğinde diyagonal şeklinde örülen deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Diyagonal şekilde belirli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanlarında istenilen bent genişliğinde tuğlalar çizilir ve bant genişliğinin dışında kalan tuğlalar sonradan kullanılmak üzere ayrılır, tam sınırda kalanlar ise işaretlendikleri çizgilerden istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW tasarımında NPWb800-1, NPWb800-2 ve NPWb800-3 olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.




Şekil 2.12. NPWb800 tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli




Resim 2.23. NPWb800 tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

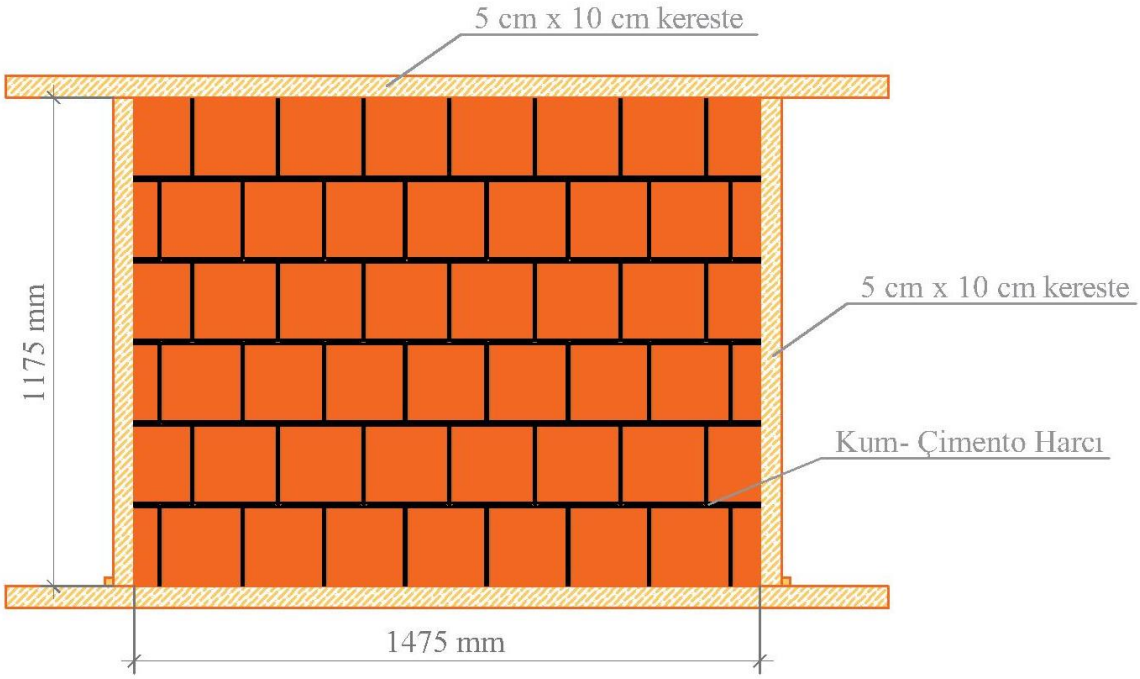
### 2.5.8. NPW+ tasarımı

Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak, tam duvar şeklinde oluşturulan NPW tasarımı ile oluşturulan deney elemanları, deney çerçevesinin içine yerleştirildiklerinde deney çerçevesinin sağına ve soluna dayandıkları için yatayda birbirine paralel olan yüksek dayanımlı harçtan oluşan uzun derzlerin doğrudan yük aktardığı görülmüştür. Tam duvar şeklinde oluşturulmalarından dolayı bu derzler yatayda ve düşeyde tuğlaların arasında sıkışık oldukları için burkulma, kırılma gibi durumlar söz konusu olmamıştır. Bu durumun yatayda dayanımı arttırdığı fark edilmiştir.

Tam duvar şeklinde oluşturulan referans deney elemanları haricinde, çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanlarının deney sonuçlarının beklenen sınırlar içinde oluşu ve kendi aralarında yakın oluşu kıyaslanabilirlik açısından olumlu bulunmuştur. Fakat tam duvar şeklinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak oluşturulan NPW1, NPW2 ve NPW3 referans deney elemanlarının, izah edilen sebeplere bağlı, artan yük taşıma kapasitesi

bu deney elemanlarını diğer deney elemanları ile kıyaslanabilecek seviyeden çıkartmıştır, tutarlı ve gerçekçi yorumların yapılabilmesine engel olmaktadır. Önceki yüksek lisans tez çalışmasında kum- çimento harcı kullanılarak, tam duvar şeklinde oluşturulduktan sonra bir de duvar yüzeyinde alçı sıva uygulaması bulunan PW tasarımına dahil referans deney elemanlarının dayanımları 6 ton ile 7 ton arasında çıkmıştır [32]. Bu çalışmadaki duvar yüzeyinde herhangi bir sıva uygulaması bulunmayan NPW tasarımına dahil referans deney elemanlarının daha düşük olması beklenen ortalama dayanımı ise 7,5 tonun üzerinde çıkmıştır. Bu sebeple deney sonuçlarının kıyaslabilirliği sağlanıp, çalışmanın tutarlılığı amaçlanarak, tam duvar şeklinde, kum- çimento harcı kullanılarak oluşturulan NPW+ tasarımı ile NPW4+, NPW5+ ve NPW6+ referans deney elemanları deney kapsamına alınmıştır.

NPW+ tasarımı, tuğla derzlerinde kum-çimento harcı kullanılarak tam duvar şeklinde örülen referans deney elemanlarını içerir. Deney elemanlarını oluşturan tuğlaların dizilimi tüm deney elemanlarında aynıdır ve belli bir düzene sahiptir. Bu düzen, deney elemanının sol en alt köşesine tam bir tuğlanın düşeyde kesilerek oluşturulmasıyla elde edilen çeyrek tuğlanın yerleştirilmesi ile başlar ve derz aralarına yüksek dayanımlı harç koyarak sağında 7 tane tam tuğla konumlanıp, deney elemanının en sağ alt köşesinde tekrar çeyrek tuğla gelecek şekilde yapılır. Bir üst satırda bu sefer kesilen tuğlanın kullanılmayan 2 çeyrek parçası sola yerleştirilir ve peşine 6 tam tuğla gelecek şekilde devam edip en sağda tekrar 2 çeyrek tuğla ile sonlanır. Satırlar 1 çeyrek, 2 çeyrek şeklinde şaşırtmalı olarak devam eder ve 6 satır ile kalıp içerisine deney elemanı örülmüş olur. Deney elemanını oluşturan tuğlaların istenilen ölçü ve şekillerde kesilmesi hassas bir şekilde uygun makine kullanılarak yapılmıştır. NPW+ tasarımında NPW4+, NPW5+ ve NPW6+ olmak üzere üç adet deney elemanı oluşturulup deneye tabii tutulmuştur.




Şekil 2.13. NPW+ tasarımı için deney çerçevesinde tuğla dizilim şekli




Resim 2.24. NPW+ tasarımından deney elamanının deney çerçevesindeki görünümü

# 3. DENEYLER

Deneyler kısmında, tez çalışması ile ilgili olarak, önceki kısımlarda detaylı bir şekilde nasıl üretildiği aktarılan deney elamanlarının deneyleri esnasında meydana gelen hadiseler ele alınmıştır. Deneyler, Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında tek düze yükler etkisi altında yapılmıştır. Deneyler esnasında gerçekleşen önemli durumlar gerçekleştikleri yük ve deplasman değerleri referans alınarak not edilmiştir. Deney elemanlarının taşıma kapasitesine ulaştıkları maksimum yük değerleri kN birimi ile kayıt altına alınmıştır ve taşıma kapasitesine ulaştıkları yatay deplasman değeri FB tasarımına dahil olan deney elemanlarında LVDT1'den ve diğer tasarımlardan oluşan deney elemanlarında LVDT3'ten okunmuştur. Deneylerde yaşanan tüm olaylar şeffaf bir şekilde çarptırılmadan aktarılmaya özen gösterilmiştir.

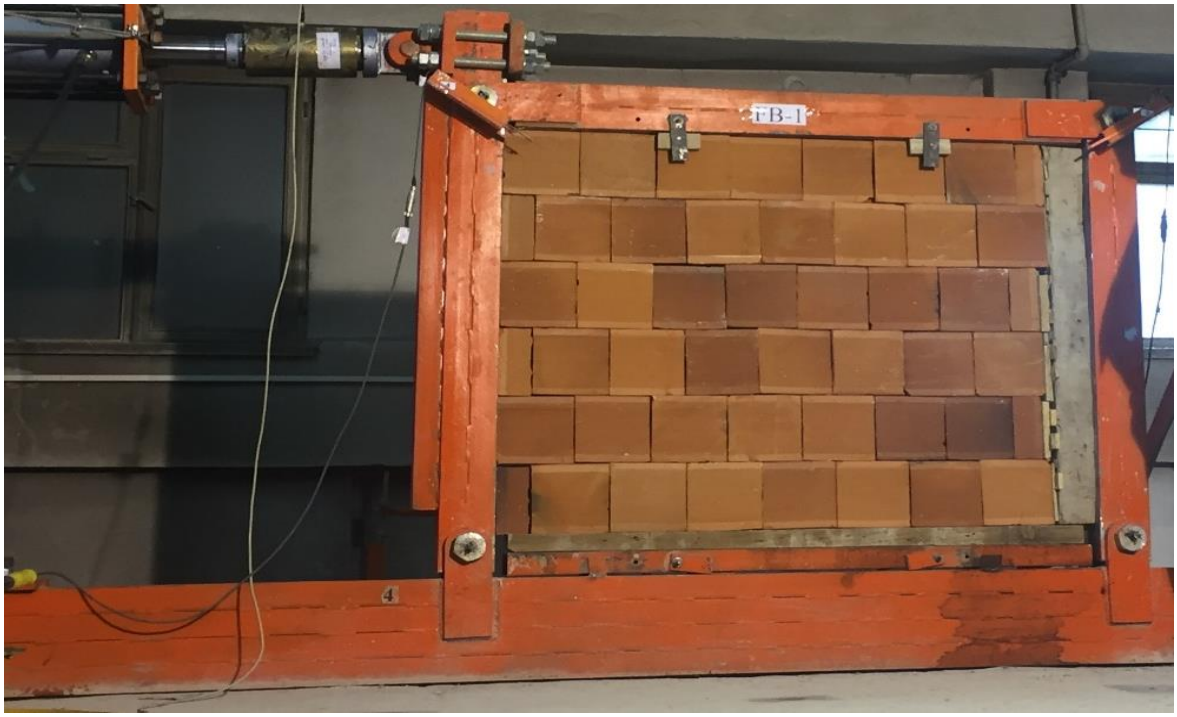
Bu kısımda deneyler esnasında meydana gelen tüm olaylar yük ve deplasman referansları ile aktarılmaya çalışılırken, tüm deney elemanlarının deneyden önceki hali, deney esnasındaki hali ve deneyden sonraki hali durumun aktarılması için deney sırasında çekilen fotoğraflarla da desteklenmiştir. Ayrıca LVDT1'den ve LVDT3'ten elde edilen yatay deplasman değerleri ile deney elemanına etki eden yük değerlerinden elde edilen yüksek çözünürlükteki yük- deplasman grafikleri de bu kısımda yer almıştır.

## 3.1. FB1 Deney Elemanı

Deney çerçevesinin içerisine, bağlayıcı görevinde bir harç uygulaması yapılmadan bağımsız olarak tuğlaların üst üste dizilip sıkıştırılması ile elde edilen tam duvar tipindeki FB1 deney elemanına ait deneyde amaçlanan, dolgu duvarlarda yük aktarım mekanizmasının, tuğlaların yük aktarmayı bırakıp, etkisizleşmeleri ile anlaşılmaya çalışılmasıdır. Tuğla derzlerinde harç uygulaması yapılmamıştır. Tuğla dizilimleri, FB deney elemanı tasarımına dahil olan diğer deney elemanlarındaki dizilim ile aynıdır. Bu dizilim sağ alt köşede ve sol üst köşede tam tuğla olacak şekilde kararlaştırılmıştır.

FB1 deney elemanında deney çerçevesinin içerisine bağımsız olarak harç kullanılmadan birbirlerine tam dayandırılarak yan yana ve üst üste yerleştirilen tuğlalardan oluşan deney elemanı, deney çerçevesinden daha küçük kalmıştır. Bunun için deney elemanı ile deney

çerçevesi arasındaki boşluklar Resim 3.1.'de görüldüğü üzere ahşap parçaları ile doldurulmuştur.




Resim 3.1. FB1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

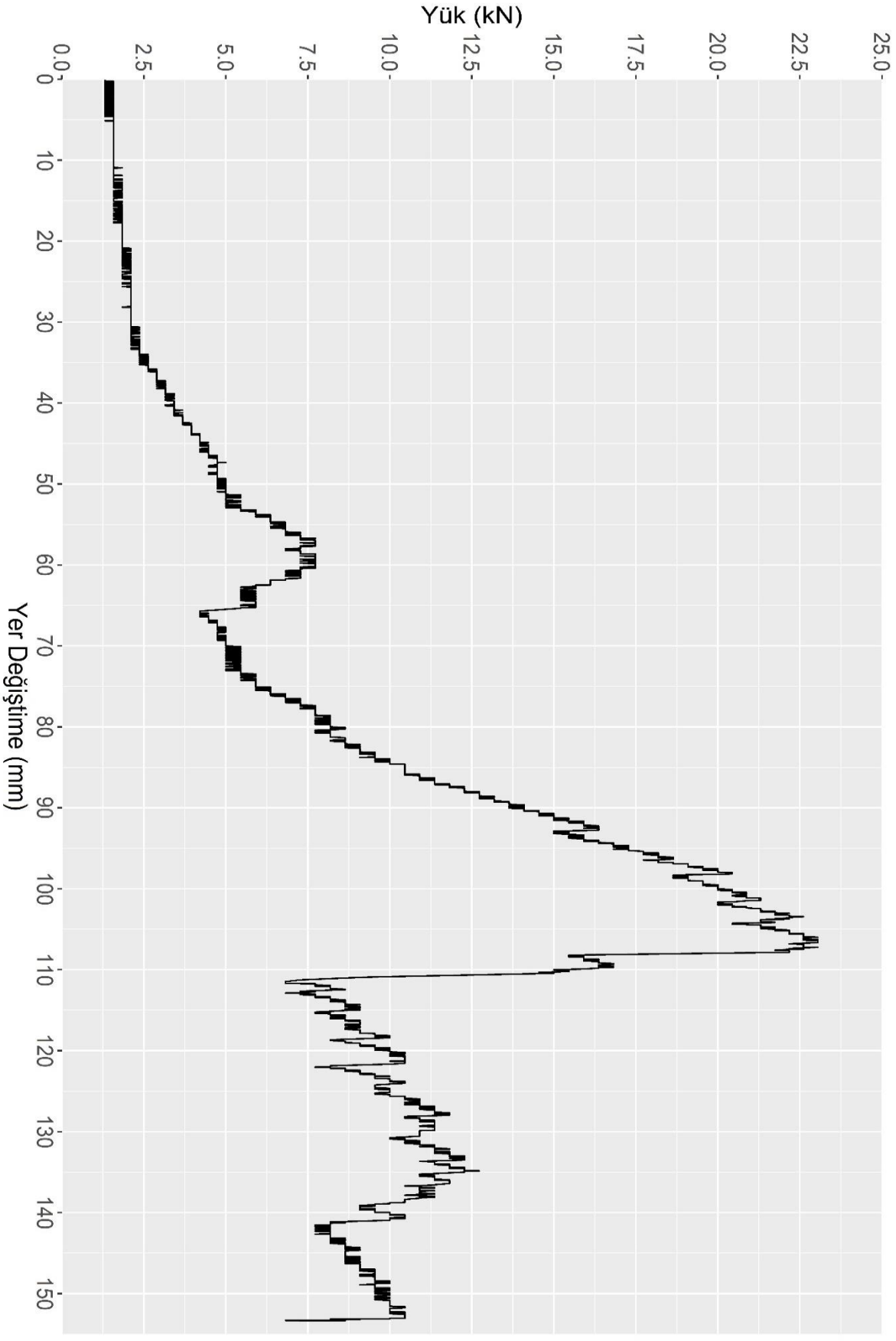
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT1'de deplasman değeri 7 mm iken, deney elemanının hala yük almadığı, tuğlaların sıkışarak aradaki boşlukları kapatma seyrinde olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 15 mm iken, deney elemanının yük alma evresine geçtiği ve tuğlaların sıkışarak aradaki boşlukları kapatma seyrinde olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 20 mm iken, deney elemanına 2 kN yük tesir ettiği ve bu yükün artışa geçtiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 25 mm iken, deney elemanına 2,1 kN yük tesir ettiği ve bu yükün artış göstermeye devam ettiği görülmüştür.

- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 40 mm iken, deney elemanına 3 kN yük tesir ettiği ve tuğlalardan çatlak oluşumuna bağlı seslerin gelmeye başladığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 60 mm iken, deney elemanına 8 kN yük tesir ettiği ve tuğlalarda ezilmeler başladığı görülmüştür. Tuğlarda meydana gelen ezilmeler deney elemanının taşıdığı yükte düşmeye sebep olmuştur. Ezilmeler ile daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen tuğlaların oluşabileceği düşünülerek tuğlalar kontrol edildiğinde tuğlalar arasında bu aşamada daha fazla yük aktarmayıp, etkisizleşen olmadığı tespit edilmiştir.
- Tuğlaların ezilen kısımlarının devam eden yük etkisi ile oluşan aralıkları şıkışıp kapanıp, çerçevenin yeni şeklini almaya çalışırken, tuğlalar deney çerçevesine ve birbirlerine sımsıkı dayanarak, deney elemanının yeni şekli ile yük alma evresine tekrar girdiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 85 mm iken, deney elemanına 10 kN yük tesir ettiği ve bu yükün artış göstermeye devam ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 99 mm iken, deney elemanına 20 kN yük tesir ettiği ve bu yükün artış göstermeye devam ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 107 mm iken, deney elemanı göçme yükü olan 23 kN yüke ulaştığında, deney elemanının sol üst köşesinde yer alan tuğlanın parçalanarak döküldüğü görülmüştür. Sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru olan yük aktarım yönündeki tuğlaların yük tesirine bağlı olarak ezilmekte olduğu görülmüştür. Tuğlar kontrol edildiğinde ise daha fazla yük aktarmayıp, etkisizleşen olmadığı görülmüştür.
- Göçme yüküne ulaşılmasıyla ezilen tuğlaların artık yük taşıyamamasına bağlı olarak deney elemanında yük düşmesi meydana gelmiştir. Bununla birlikte bu aşamada deney elemanının sol alt köşesindeki tuğlaların daha fazla yük aktarmadığı ve etkisizleştiği görülmüştür.
- Deney elemanının en üst sırasında yer alan tuğlalar ile diyagonal basınç çubuğu yönünde yer alan tuğlaların deney sonlandırılana kadar yük taşımakta oldukları görülmüştür.
- Daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen ve yük taşımakta olan tuğlaların incelenmesiyle, oluşması beklenen diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan tuğlaların da yük aktarmakta olduğu, böylece daha fazla yük aktarmayıp, etkisizleşmesi beklenen tuğlaların aksine yük taşımakta olduğu görülmüştür.

- Deneyde, LVDT1'den gelen yatay deplasman değerlerinin doğruluğu sorgulanınca, yapılan kontroller neticesinde herhangi bir hata olmadığı görülmüştür.




Resim 3.2. FB1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.1. FB1 Deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi

### 3.2. FB2 Deney Elemanı

Deney çerçevesinin içerisine, bağlayıcı görevinde bir harç uygulaması yapılmadan bağımsız olarak tuğlaların üst üste dizilip sıkıştırılması ile elde edilen tam duvar tipindeki FB2 deney elemanına ait deneyde amaçlanan, dolgu duvarlarda yük aktarım mekanizmasının, tuğlaların yük aktarmayı bırakıp, etkisizleşmeleri ile anlaşılmaya çalışılmasıdır. Tuğla derzlerinde harç uygulaması yapılmamıştır. Tuğla dizilimleri, FB tasarımına dahil olan diğer deney elemanlarındaki dizilim ile aynıdır. Bu dizilim sağ alt köşede ve sol üst köşede tam tuğla olacak şekilde kararlaştırılmıştır.

FB2 deney elemanında deney çerçevesinin içerisine bağımsız olarak harç kullanılmadan birbirlerine tam dayandırılarak yan yana ve üst üste yerleştirilen tuğlalardan oluşan deney elemanı, deney çerçevesinden daha küçük kalmıştır. Bunun için deney elemanı ile deney çerçevesi arasındaki boşluklar Resim 3.3.'de görüldüğü üzere ahşap parçaları ile doldurulmuştur.




Resim 3.3. FB2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT1'de deplasman değeri 25 mm iken, deney elemanına 2,6 kN yük tesir ettiği, diyagonal basınç çubuğu yönündeki tuğlaların bir tanesinde hasar tespit edilmiştir.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 35 mm iken, deney elemanına 4,5 kN yük tesir ettiği ve deney elemanının en alt sırasındaki tuğlaların bir tanesinde hasar tespit edilmiştir.
- Yaygın olmayan hasarların, yer yer iç deliğe ulaşmakta olduğu farkedilmiştir.
- Artan hasarların bir süre sonra tuğlaların yük aktarma kapasitelerinde meydana getirdiği azalma yüzünden, deney elemanının taşımakta olduğu yükü 2,3 kN'a kadar düşürmüştür.
- Tuğlaların ezilen kısımlarının devam eden yük etkisi ile oluşan aralıkları şıkışıp kapanıp, çerçevenin yeni şeklini almaya çalışırken, tuğlalar deney çerçevesine ve birbirlerine sımsıkı dayanarak, deney elemanının yeni şekli ile yük alma evresine tekrar girdiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 47 mm iken, deney elemanına 3,4 kN yük tesir ettiği, alttan üçüncü sırada ve en sağdaki iki tuğlanın daha fazla yük taşımayıp, etkisizleştiği görülmüştür. Bu tuğlalar Resim 3.4.'te görülüğü üzere çerçeve dışına alınmıştır.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 69 mm iken, deney elemanına 12 kN yük tesir ettiği ve tuğlaların hasar alma seyrinde devam ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 75 mm iken, deney elemanına 16 kN yük tesir ettiği, hasarların diyagonal basınç çubuğu yönünde, tuğlalarda yük taşımaz hale geldiği görülmüştür.
- Hasar gören tuğlalara bakarak eşdeğer diyagonal bant genişliği 60 cm ile 70 cm arasında ölçülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 82 mm iken, deney elemanının göçme yükü olan 20 kN'a ulaştığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 95 mm iken, ezilmiş tuğlaların artık tük taşıyamamasına bağlı olarak deney elemanının taşıdığı yükün 10 kN'a düştüğü görülmüştür. Tuğlalar kontrol edildiğinde ise daha fazla yük aktarmayıp, etkisizleşen olmadığı görülmüştür.

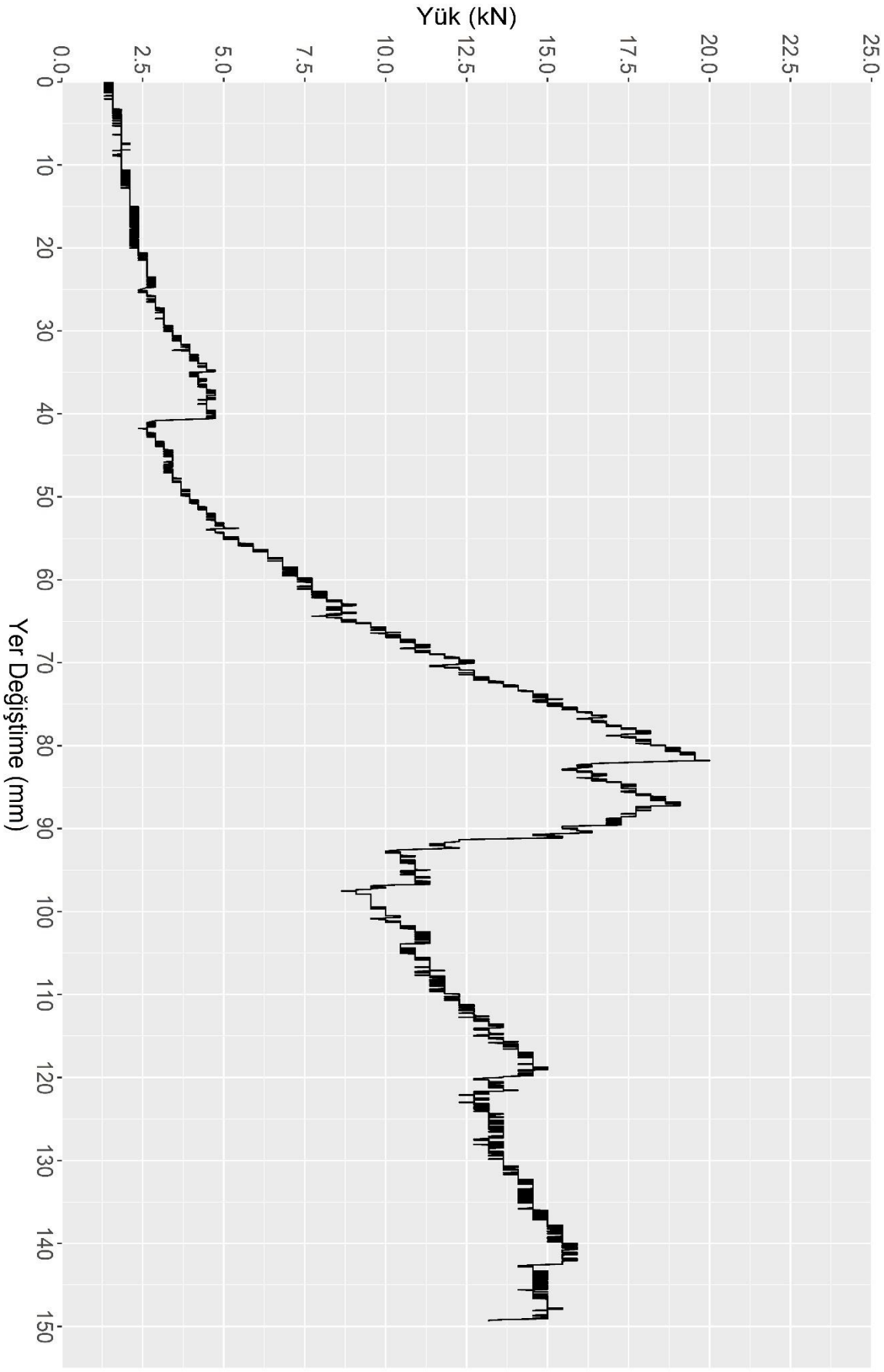
- Daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen ve yük taşımakta olan tuğlaların incelenmesiyle, oluşması beklenen diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan tuğlaların da yük aktarmakta olduğu, böylece daha fazla yük aktarmayıp etkisizleşmesi beklenen tuğlaların aksine yük taşımakta olduğu görülmüştür.
- Deney elemanında en yukarıdaki sırada bulunan tuğlaların üst kısımlarında meydana gelen hasarlar Resim 3.4.'te görülmektedir.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 125 mm iken, deney elemanına 13 kN yük tesir ettiği ve sol üst köşede bulunan hasarlı tuğlaların deney çerçevesine dokunma yüzeyleri metre ile ölçülüp, sol sütunun yukarısının deney çerçevesine dokunma yüzeyinin 40 cm, üst satırın sol tarafında temas yüzeyinin 40 cm olduğu görülmüştür. Diyagonal basınç çubuğu yönünde hasarlı tuğlalar üzerinde yapılan ölçümler neticesinde etkili bant genişliğinin yaklaşık 55 cm ile 60 cm arasında hesaplanmıştır.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 133 mm iken, deney elemanına 14,5 kN yük tesir ettiği ve alt sıranın dördüncü sütununda deney çerçevesinin sağ kolonuna dokunan kesik tuğla ve onun solundaki tuğlanın daha fazla yük aktarmadığı ve etkisizleştiği görülmüştür ve bunlar çerçeve dışına atılmıştır.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 140 mm iken, deney elemanına 16 kN yük tesir ettiği ve alt sıranın üstündeki ilk sırada ortadaki üç tuğlanın daha fazla yük aktarmadığı ve etkisizleştiği görülmüştür ve bunlar çerçeve dışına atılmıştır.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 156 mm iken, deney elemanına 14 kN yük tesir ettiği ve diyagonal basınç çubuğu yönünde duvarın orta kısmına denk gelen iki tane tuğlanın, yük altında kırılıp, daha fazla yük aktarmadığı ve etkisizleştiği görülmüştür.
- Daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen ve yük taşımakta olan tuğlaların incelenmesiyle, oluşması beklenen diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan tuğlaların da yük aktarmakta olduğu, böylece daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşmesi beklenen tuğlaların aksine yük taşımakta olduğu Resim 3.5.'te görülmektedir.




Resim 3.4. FB2 Deney elemanının deney devam ederken hali




Resim 3.5. FB2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.2. FB2 Deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi

### 3.3. FB3 Deney Elemanı

Deney çerçevesinin içerisine, bağlayıcı görevinde bir harç uygulaması yapılmadan bağımsız olarak tuğlaların üst üste dizilip sıkıştırılması ile elde edilen tam duvar tipindeki FB3 deney elemanına ait deneyde amaçlanan, dolgu duvarlarda yük aktarım mekanizmasının, tuğlaların yük aktarmayı bırakıp, etkisizleşmeleri ile anlaşılmaya çalışılmasıdır. Tuğla derzlerinde harç uygulaması yapılmamıştır. Tuğla dizilimleri, FB tasarımına dahil olan diğer deney elemanlarındaki dizilim ile aynıdır. Bu dizilim sağ alt köşede ve sol üst köşede tam tuğla olacak şekilde kararlaştırılmıştır.

FB3 deney elemanında deney çerçevesinin içerisine bağımsız olarak harç kullanılmadan birbirlerine tam dayandırılarak yan yana ve üst üste yerleştirilen tuğlalardan oluşan deney elemanı, deney çerçevesinden daha küçük kalmıştır. Bunun için deney elemanı ile deney çerçevesi arasındaki boşluklar Resim 3.6.'da görüldüğü gibi ahşap parçalar ile doldurulmuştur.




Resim 3.6. FB3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT1'de deplasman değeri 35 mm iken, deney elemanına 2,3 kN yük tesir ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 47 mm iken, deney elemanına 4 kN yük tesir ettiği ve tuğlalardan çok küçük parçacıkların fırladığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 60 mm iken, deney elemanına 11 kN yük tesir ettiği ve tuğlalarda devam eden hasarların bir süre sonra tuğlaların yük aktarma kapasitelerinde meydana getirdiği azalma yüzünden, deney elemanının taşımakta olduğu yükü 8,5 kN'a kadar düşürmüştür. 11 kN yük değeri deney elemanının göçme yüküdür.
- Tuğlaların ezilen kısımlarının devam eden yük etkisi ile oluşan aralıkları şıkışıp kapanıp, çerçevenin yeni şeklini almaya çalışırken, tuğlalar deney çerçevesine ve birbirlerine sımsıkı dayanarak, deney elemanının yeni şekli ile yük alma evresine tekrar girdiği görülmüştür. Yükün 8,5 kN'dan 10 kN'a çıktığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 63 mm iken, deney elemanına 10 kN yük tesir ettiği, diyagonal basınç çubuğu yönünde, tuğlalarda ciddi hasarlar meydana gelmiş olup, yük değeri 2,3 kN değerine düşmüştür. Diğer deney elemanları ile benzer olarak bu deney elemanında da daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen ve yük taşımakta olan tuğlaların incelenmesiyle, oluşması beklenen diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan tuğlaların da yük aktarmakta olduğu, böylece daha fazla yük aktarmayıp etkisizleşmesi beklenen tuğlaların aksine yük taşımakta olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 73 mm iken, deney elemanına 5 kN yük tesir ettiği ve deney elemanının sağ üst tarafında, diyagonal basınç çubuğunun dışında kalan bir tane tuğlanın kırılıp, etkisizleşmesi Resim 3.7.'de görülmektedir.

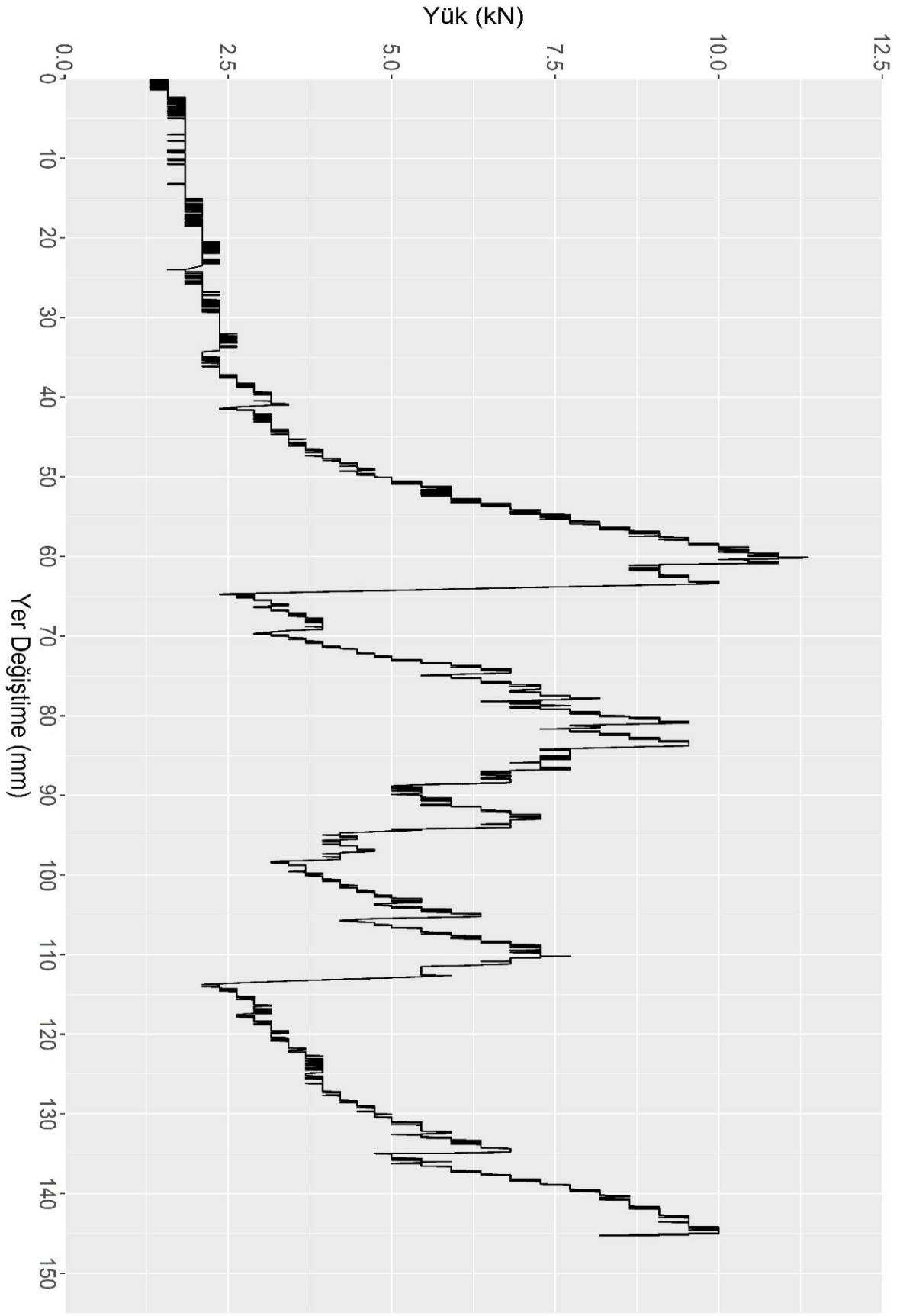



Resim 3.7. FB3 Deney elemanında deney esnasında diyagonal basınç bölgesi dışında kalan bölgede kırılıp, etkisizleşen tuğla

- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 80 mm iken, deney elemanına 9 kN yük tesir ettiği ve deney elemanının sağ alt kısmında, iki tane tuğlanın daha fazla yük aktarmadığı ve etkisizleştiği görülmüştür.
- Deney devam ederken, deney elemanının sol alt kısmında, diyagonal basınç çubuğu dışında kalan bir tuğlanın kırılıp, etkisizleştiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT1'de deplasman değeri 144 mm iken, tuğlaların hiçbirinin daha fazla yük aktarmamasına ve hepsinin etkisizleşmesine rağmen, deney elemanının Resim 3.8.'de görülen hali ile tekrar yük alma seyrine girip, yük değerini tekrar, neredeyse göçme yükü olan 11 kN değeri kadar, 10 kN yük aktardığı görülmüştür. Göçme yükü değerine diyagonal basınç çubuğu yönünde tuğla olmadan dahi nerdeyse ulaşmış olması diyagonal basınç çubuğu yönünün dışında yük aktarımının ne kadar ciddi boyutta olabileceğini göstermiştir.




Resim 3.8. FB3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.3. FB3 Deney elemanı için yük- yer değiştirme eğrisi

### 3.4. NPW1 Deney Elemanı

NPW1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW tasarımı ile oluşturulan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla Resim 3.9.'da görüldüğü üzere hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile doldurulmuştur. NPW deney elemanı tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.9. NPW1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 9 mm iken, deney elemanının 35 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 13 mm iken, deney elemanının 38 kN yük altında olduğu ve deney elemanı ile deney çerçevesi arasına doldurulan hızlı donabilen kartonpiyer alçısının köşe bölgelerdeki kısımlarında çok hafif dökülmelerin meydana geldiği görülmektedir.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 21 mm iken, deney elemanının 48 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulanması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 28 mm iken, deney elemanının 55 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulanması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 29 mm iken, deney elemanının 60 kN yük altında olduğu, deney elemanı ile deney çerçevesi arasına doldurulan hızlı donabilen kartonpiyer alçısının tamamen ezildiği ve en az bir tuğlada çatlakların olduğu görülmüştür.
- Yük uygulanması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 30 mm iken, deney elemanının 65 kN yük altında olduğu ve üstten üçüncü sıranın soldan ikinci tuğlasında çatlamaların belirginleştiği görülmüştür.
- Meydana gelen bu çatlakların diyagonal basınç çubuğu boyunca tuğlalarda paralel gerçekleştiği ve istenildiği gibi tuğla derzlerinde ayrılmanın meydana gelmediği görülmüştür.
- Diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen paralel çatlaklardan hemen sonra ise çatlayan tuğlaların kabuk şeklinde dökülmeye başladığı ve bu seviyede de derzlerde ayrılma olmadığı görülmüştür.
- Birbirine en uzak durumdaki diyagonal basınç çubuğu doğrultusundaki çatlakların birbirine olan mesafesi Resim 3.10. 'da görüldüğü gibi yaklaşık olarak 65 cm- 70 cm ölçülmüştür.
- Yük uygulanması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 59 mm iken, deney elemanının 35 kN yük altında olduğu, tuğlaların dış kabuğunun düşmesinden sonra orta

kabuğunun da düştüğü ve tuğlalarda deliklerin oluştuğu görülmüştür. Bu durum Resim 3.11. ‘da görülmektedir.

- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 74 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.



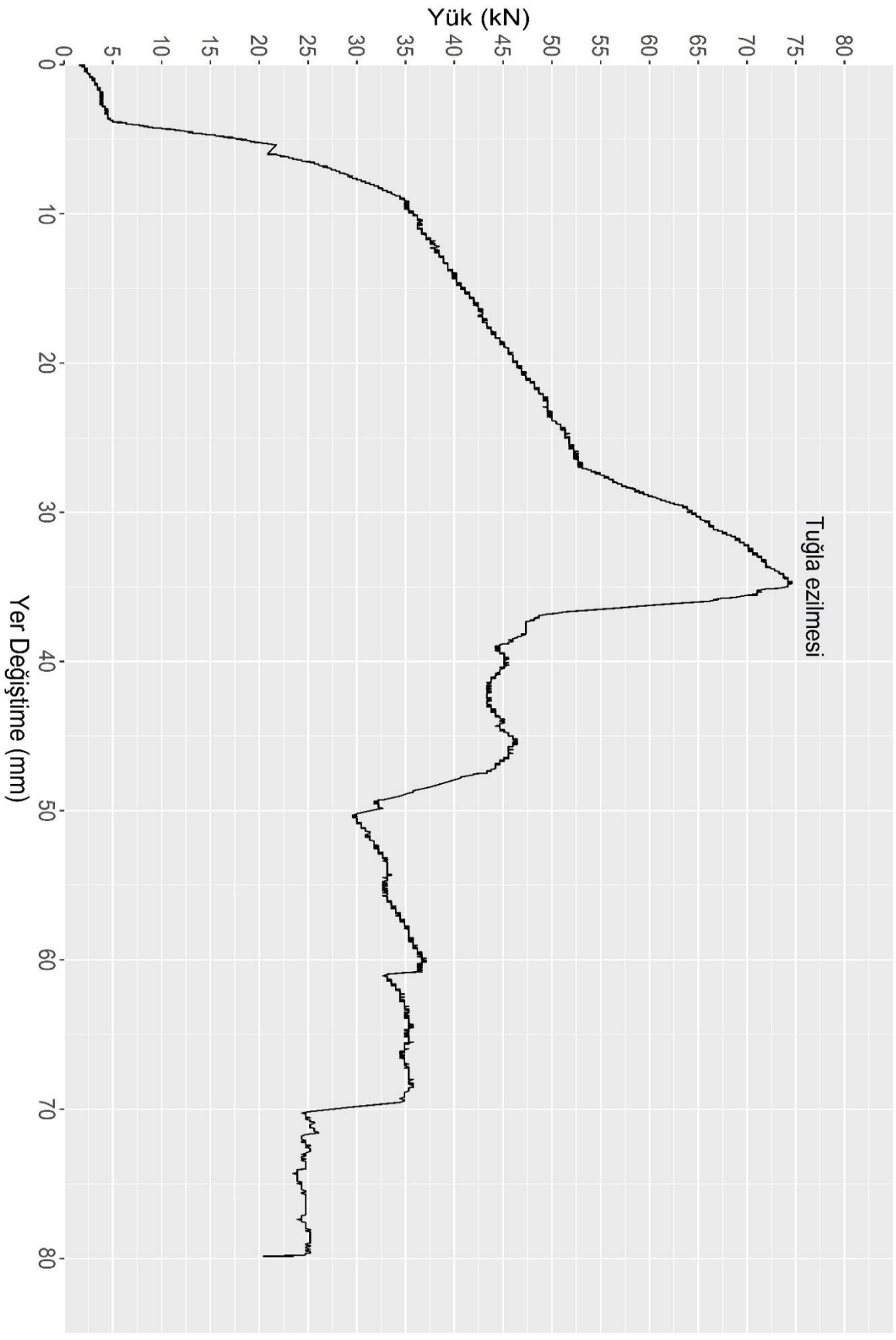

Resim 3.10. Deney sırasında NPW1 deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen çatlakların mesafesinin ölçülmesi




Resim 3.11. NPW1 Deney elemanının deney sırasında aldığı hasarlar ve tuğlalarda oluşan delikler




Resim 3.12. NPW1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.4. NPW1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.5. NPW2 Deney Elemanı

NPW2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW tasarımına dahil olan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.13'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPW tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.13. NPW2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 10 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 14 mm iken, deney elemanının 30 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada çok küçük bölgesel kırığın oluştuğu ve deney elamanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 28 mm iken, deney elemanının 40 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada çok küçük bölgesel kırığa ilave ikinci bir kırığın oluştuğu görülmüştür. Bu kırıkların hala bölgesel olduğu ve köşeye biraz daha fazla yük tesir etmesinden dolayı oluştuğu görülmüştür. Deney elamanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 36 mm iken, deney elemanının 50 kN yük altında olduğu ve sol üst köşedeki tuğlaların altındaki tuğlalarda ezilme ile beraber sağ alt köşedeki tuğlalarda da ezilme olduğu görülmüştür. Deney elemanına etki eden yük artmaya devam ettiği için ezilmelerin sınırlı düzeyde olduğu varsayımı yapılmıştır.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 54 mm iken, deney elemanının 75 kN yük altında olduğu ve deney elemanında yük artışının devam ettiği görülmüştür.
- Deney elemanının yük artışı, bir önceki NPW1 referans deney elemanının, karşılaştığı en yüksek yük olan 74 kN değerine ulaşıp, bu değeri geçmeye başladığı görüldüğünde deney çerçevesi ile yük hücresinin birbirine sabitlendiği sol üst köşede deney çerçevesinin dışında kalan plakanın deney çerçevesine üstten dayandığı görülmüştür. Bu durum Resim 3.14. 'te görülmektedir.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deney elemanının 78 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yük alması durup, kısa bir süre boşluk kapatmanın devam ettiği görülmüştür.

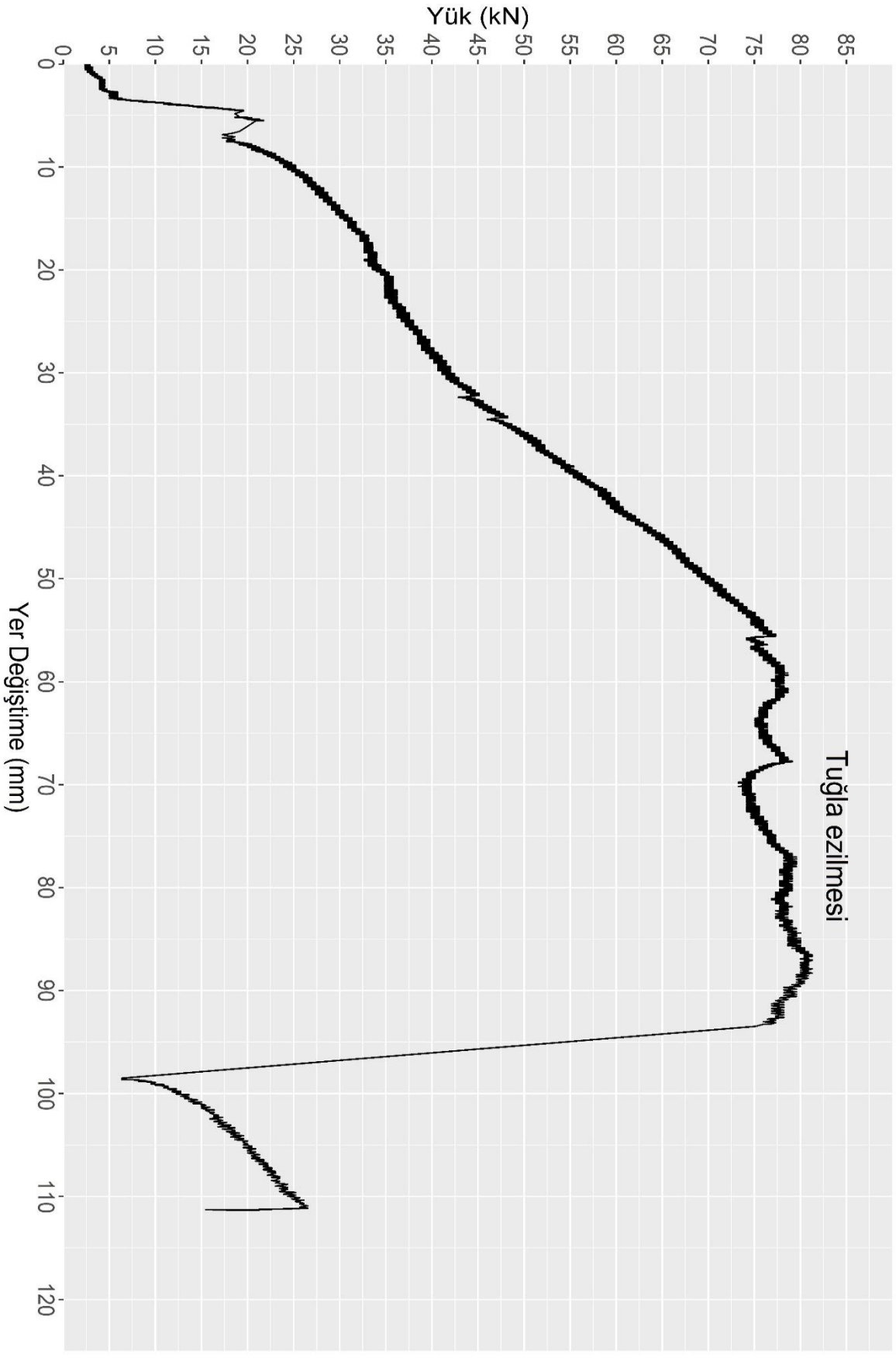
- Boşluk kapatmanın sonunda deney elemanında çatlamaların başlamasıyla yükün 73 kN mertebelerine düştüğü görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deney elemanının yükünün tekrar artmaya başladığı görülmüştür ve deney elemanına etki eden en yüksek yük değerinin, göçme yükünün 81 kN olduğu görülmüştür.
- Deney durdurulmayıp deneye devam edilmiştir ve dayanımın bu kadar korunmuş olmasının normalin dışında olduğu görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.



Resim 3.14. NPW2 deney elemanında normalin dışında yük korunmasına sebep olan, deney çerçevesi ile yük hücresinin sabitlenmesinde görev alan plakanın alt yüzeyinin deney çerçevesine üstten eğik bir şekilde dayanması




Resim 3.15. NPW2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.5. NPW2 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.6. NPW3 Deney Elemanı

NPW3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW tasarımına dahil olan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.13.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPW tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.16. NPW3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gelişen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 14 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 20 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 27 mm iken, deney elemanının 48 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 36 mm iken, deney elemanının 50 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlanın ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 42 mm iken, deney elemanının 50 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlanın da ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 48 mm iken, deney elemanının 56 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlanın sağındaki tuğlanın da ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 63 mm iken, deney elemanının 50 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlanın sağındaki ve altındaki tuğlaların da ezildiği görülmüştür. Deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlanın da ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 70 mm iken, deney elemanının 60 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yükünün artmakta olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 97 mm iken, deney elemanının 70 kN yük altında olduğu ve deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda çatlakların meydana geldiği görülmüştür.
- Birbirine en uzak durumdaki diyagonal basınç çubuğu doğrultusundaki çatlakların birbirine olan mesafesi hedeflendiği gibi yaklaşık olarak 70 cm- 75 cm hesaplanmıştır. Deney elemanında oluşan diyagonal basınç çubuğu doğrultusundaki çatlaklara

bakılarak, diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan çalışmayan bölge Resim 3.17. ‘de görüldüğü üzere 55 cm olarak ölçülmüştür.

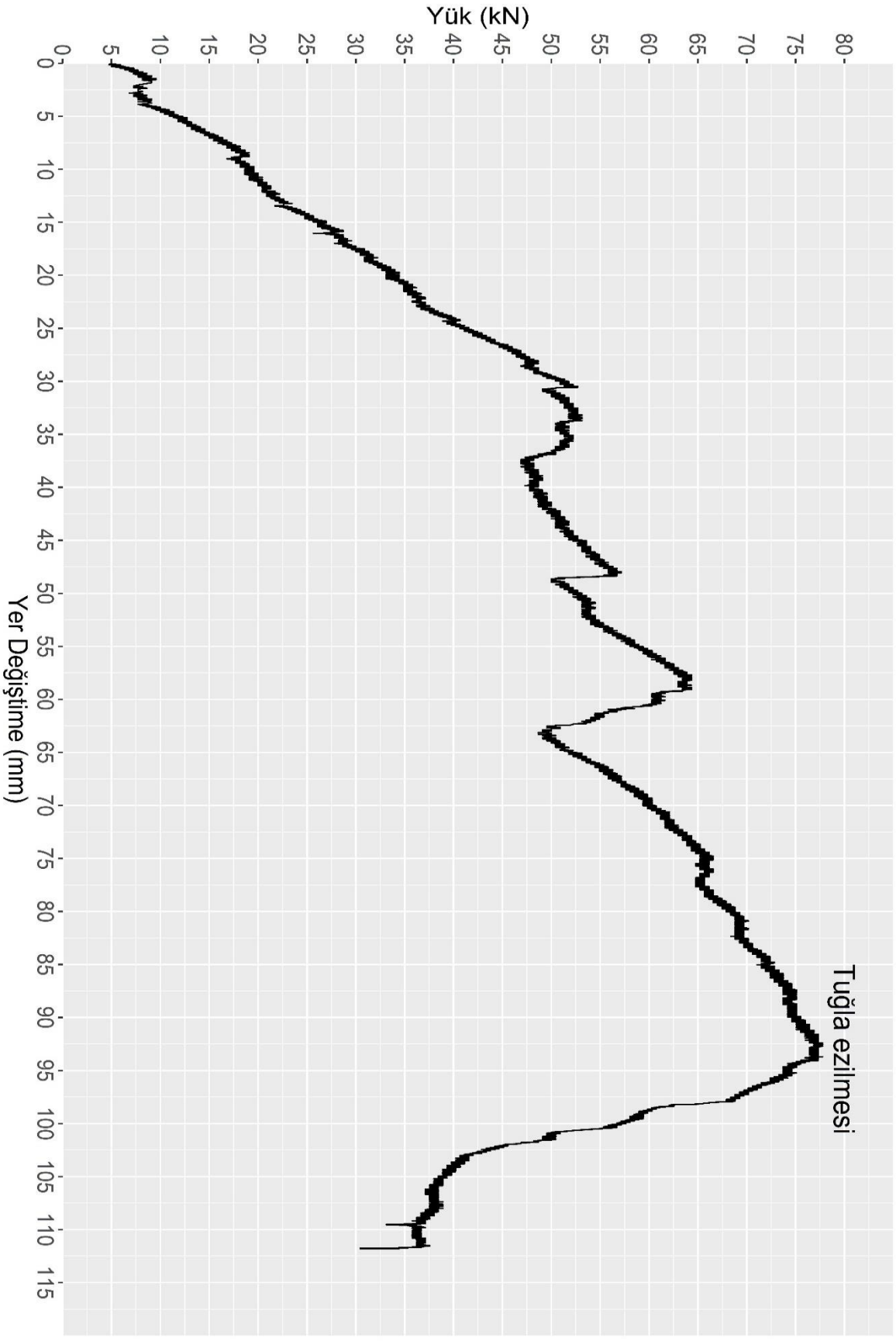
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3’te deplasman değeri 110 mm iken, deney elemanının 36 kN yük altında olduğu ve deney elemanında yükün azalmakta olduğu görülmektedir.
- NPW2 deney elemanına ait deneyde meydana gelen dayanma sorununa bağlı NPW2 deney elemanında dayanım artışı ya da dayanım korunması gerçekleştiği için NPW3 deney elemanının sonucu daha çok önem kazanmıştır.
- NPW3 deney elemanının deney sonucunda taşıdığı en yüksek yükün, göçme yükünün 77 kN değerinde olduğu görülmüştür. Bu değer NPW1 deney elemanından elde edilen en yüksek yük değeri olan 74 kN ile kıyaslanabilir seviyede olduğunu göstermiştir.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.



Resim 3.17. Deney sırasında NPW3 deney elemanında diyagonal basınç çubuğu genişliği dışında kalan çalışmayan bölgenin ölçülmesi




Resim 3.18. NPW3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.6. NPW3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.7. NPWb400-1 Deney Elemanı

NPWb400-1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 400 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.19.'da görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb400 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb400 tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.19. NPWb400-1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

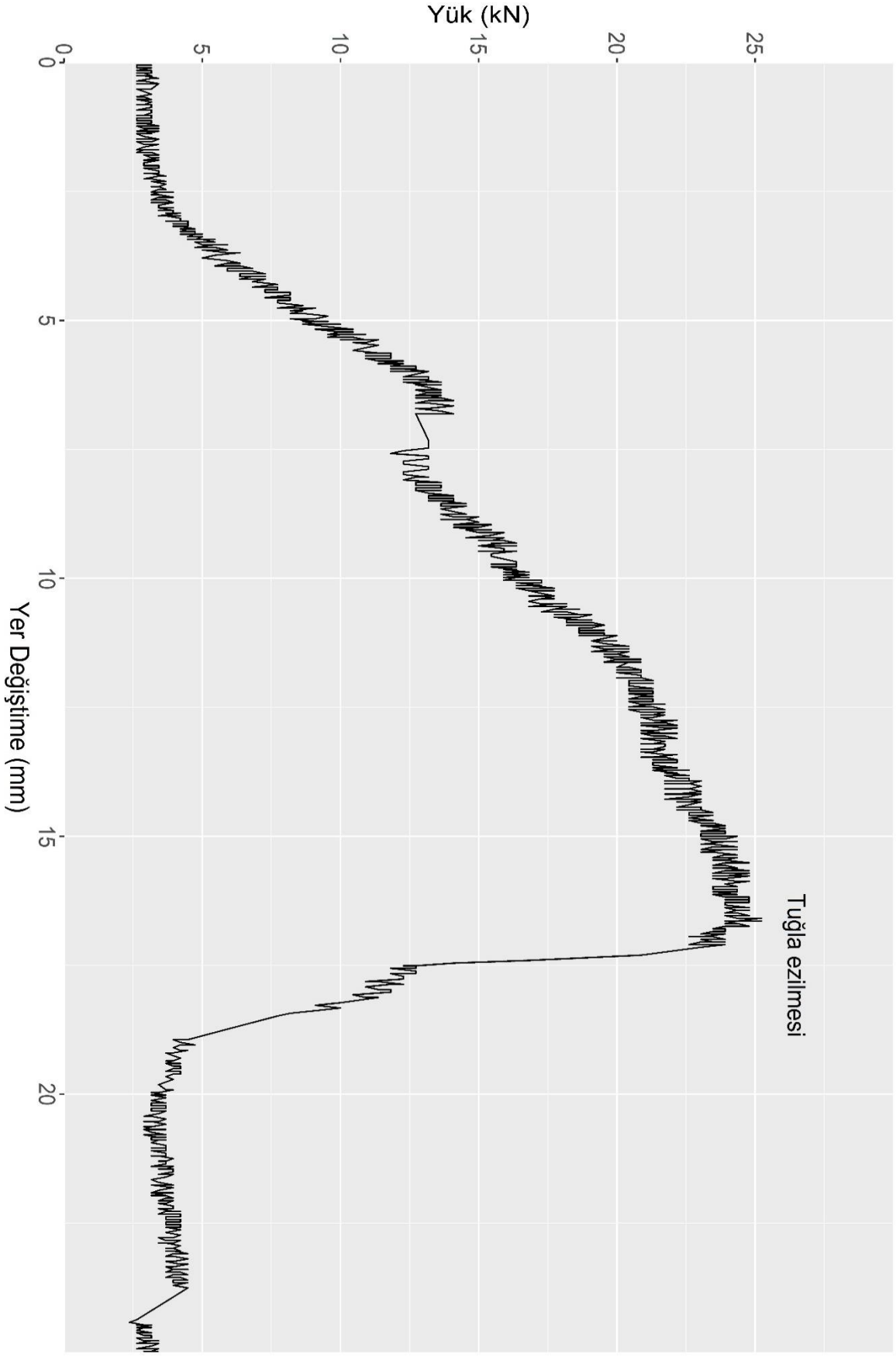
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 10 mm iken, deney elemanının 17 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 14 mm iken, deney elemanının 22 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlanın üstündeki tuğlada hafif çatlaklar görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 18 mm iken, deney elemanının 32 kN yük altında olduğu ve deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda parçalanma görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 23 kN yük altında olduğu ve deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda parçalanma görülmüştür.
- Diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen parçalanmadan sonra deney elemanının yükünde düşme meydana geldiği görülmektedir.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 25 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.20. NPWb400-1 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.21. NPWb400-1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.7. NPWb400-1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.8. NPWb400-2 Deney Elemanı

NPWb400-2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 400 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.22.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb400 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb400 deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.22. NPWb400-2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

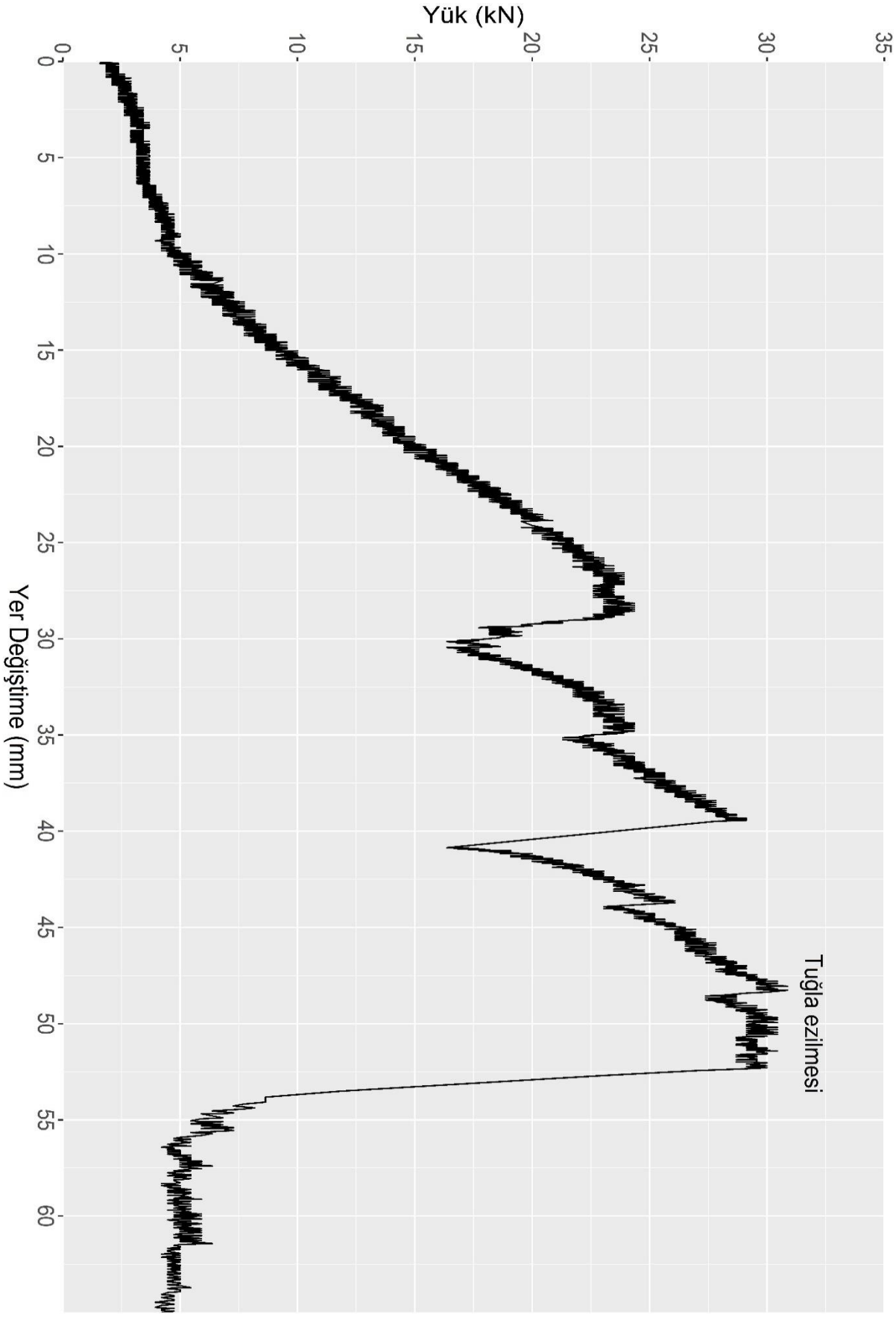
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 12 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 24 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 33 mm iken, deney elemanının 24 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlalarda ezilmelerin başladığı ve yükte düşmenin meydana geldiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 39 mm iken, deney elemanının 29 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal çubuk doğrultusunda kırılma olduğu görülmüştür.
- Şimdiye kadar sol üst köşedeki tuğlalar ezilmişken, deplasman değeri 50 mm ölçüldüğü amda, deney elemanının sağ alt köşesinde bulunan tuğlalarda da ezilmelerin olduğu görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 30 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.23. NPWb400-2 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.24. NPWb400-2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.8. NPWb400-2 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.9. NPWb400-3 Deney Elemanı

NPWb400-3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 400 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.25.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb400 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb400 tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.25. NPWb400-3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

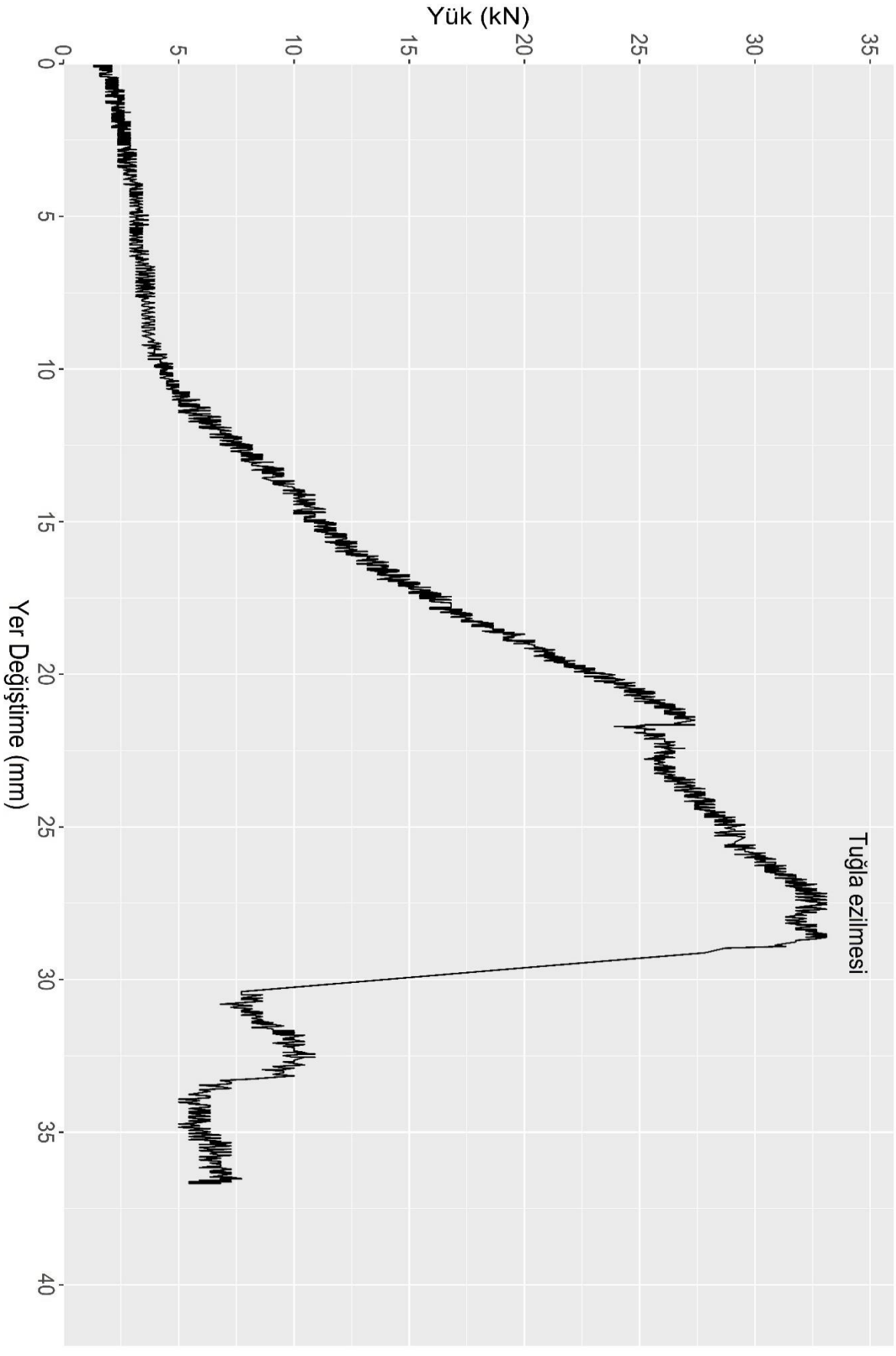
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 15 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 19 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 21 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanında sol üst köşedeki tuğlada ezilme olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 26 mm iken, deney elemanının 30 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yük artışının devam ettiği görülmektedir.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 28 mm iken, deney elemanının 32 kN yük altında olduğu ve deney elemanında sol üst taraftaki tuğlaların ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanında yük düşüşünün hızlanarak devam ettiği görülmektedir.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 33 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.26. NPWb400-3 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.27. NPWb400-3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.9. NPWb400-3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.10. NPWb500-1 Deney Elemanı

NPWb500-1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 500 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.28.'de görüldüğü gibi doldurulmuştur. NPWb500 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb500 tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.28. NPWb500-1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

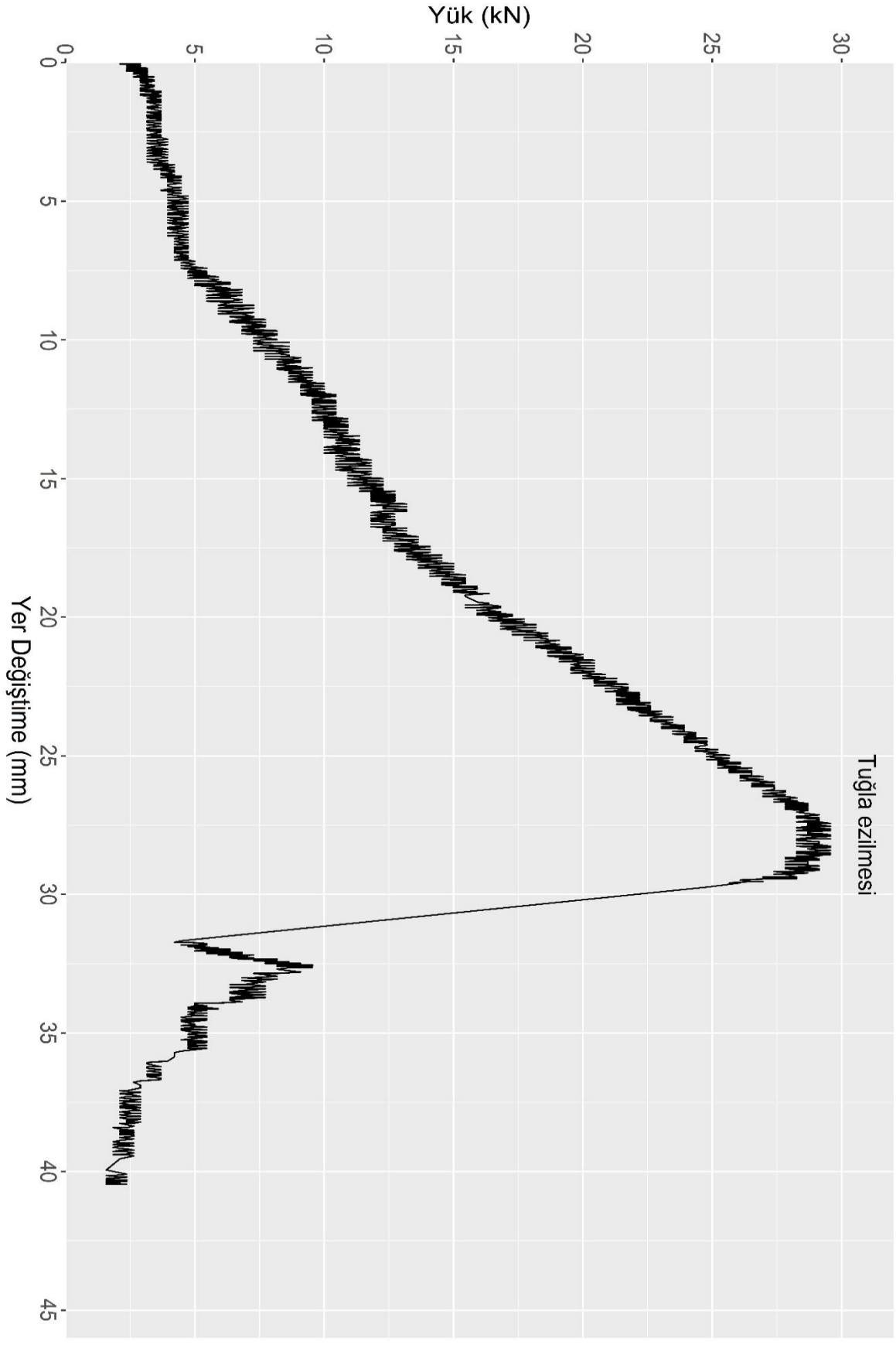
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 16 mm iken, deney elemanının 12 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 25 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 29 mm iken, deney elemanının 27 kN yük altında olduğu ve deney elemanında orta bölgede bulunan bazı tuğlalarda çatlakların meydana geldiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 29 mm iken, deney elemanının 29 kN yük altında olduğu ve deney elemanında yere paralel iki derz arasındaki tuğlalarda kesme ezilmesi şeklinde ezilme görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanında yük düşüşünün hızlanarak devam ettiği görülmektedir.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 29 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.29. NPWb500-1 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.30. NPWb500-1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.10. NPWb500-1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.11. NPWb500-2 Deney Elemanı

NPWb500-2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 500 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.31.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb500 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb500 tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.31. NPWb500-2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney sırasında meydana gelen önemli olaylar:

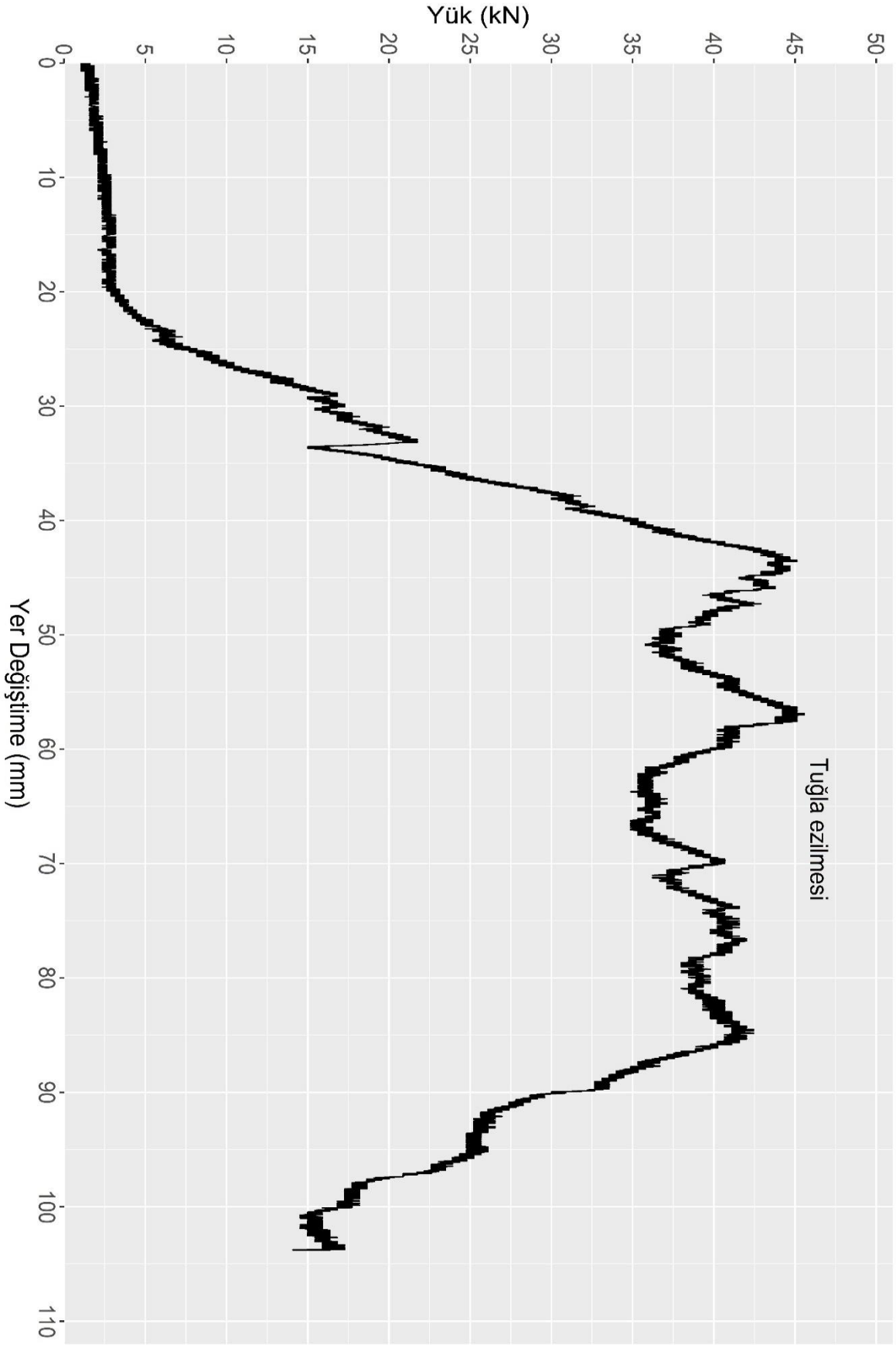
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman 20 mm olana kadar deney elemanın yük almadığı, boşluk kapattığı görülmüştür.
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 16 mm iken, deney elemanının 12 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 34 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlanın üst kısmında ezilmenin olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 56 mm iken, deney elemanının 45 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesinde ezilme olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanında yük düşüşünün hızlanarak devam ettiği görülmektedir.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 45 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.32. NPWb500-2 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.33. NPWb500-2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.11. NPWb500-2 Deney elemanının yük – yer değiştirme grafiği

### 3.12. NPWb500-3 Deney Elemanı

NPWb500-3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 500 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.34.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb500 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb500 tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.34. NPWb500-3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

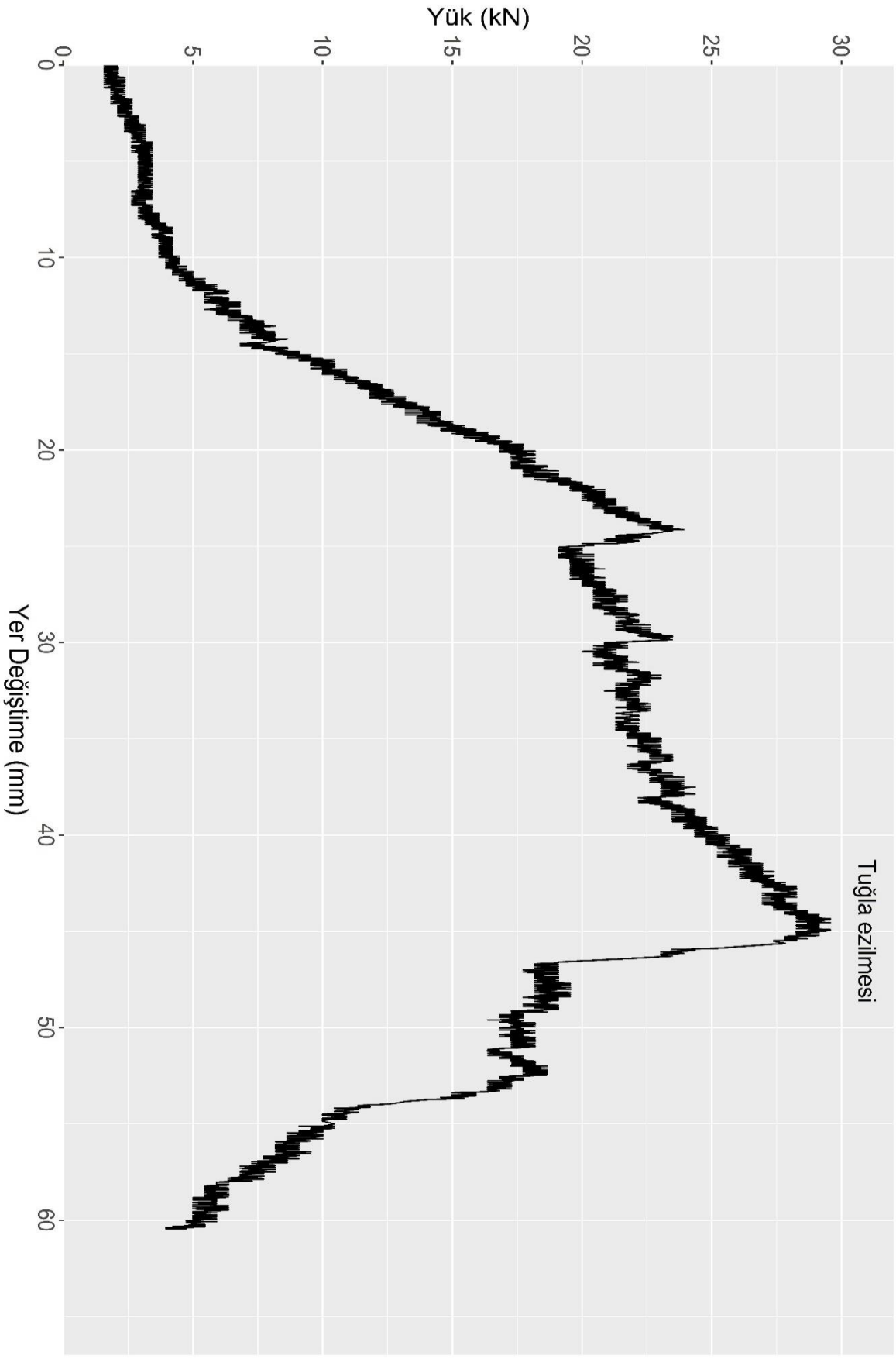
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman 12 mm olana kadar deney elemanın yük almadığı, boşluk kapattığı görülmüştür.
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 12 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 22 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 24 mm iken, deney elemanının 23 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlada çok önemli boyutta olmayan ezilmenin gerçekleştiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 45 mm iken, deney elemanının 29 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlalarda ezilmenin devam edip, sağ alt köşenin ezilmesine ulaştığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanında yük düşüşünün hızlanarak devam ettiği görülmektedir.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 29 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.35. NPWb500-3 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.36. NPWb500-3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.12. NPWb500-3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.13. NPWb600-1 Deney Elemanı

NPWb600-1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 600 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.37.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb600 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb600 tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.37. NPWb600-1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

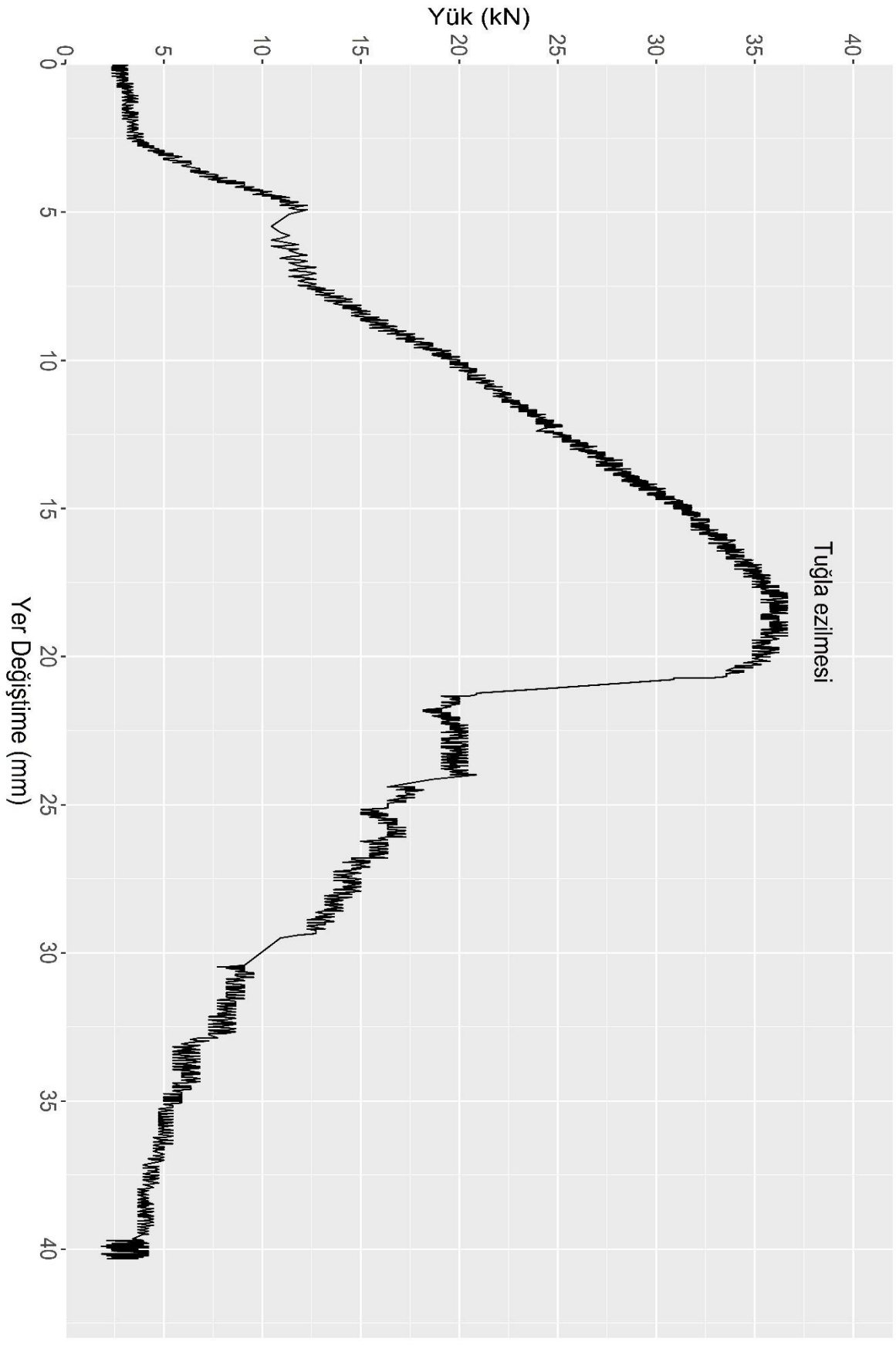
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 13 mm iken, deney elemanının 26 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 14 mm iken, deney elemanının 30 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 19 mm iken, deney elemanının 36 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlalarda ilk ezilmelerin başladığı ve yaygınlaştığı, eş zamanlı olarak deney elamanının tam orta bölgesindeki tuğlaların kabuk şekilde dökülmeye başladığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 36 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.38. NPWb600-1 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.39. NPWb600-1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.13. NPWb600-1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.14. NPWb600-2 Deney Elemanı

NPWb600-2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 600 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.40.'da görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb600 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb600 tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.40. NPWb600-2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

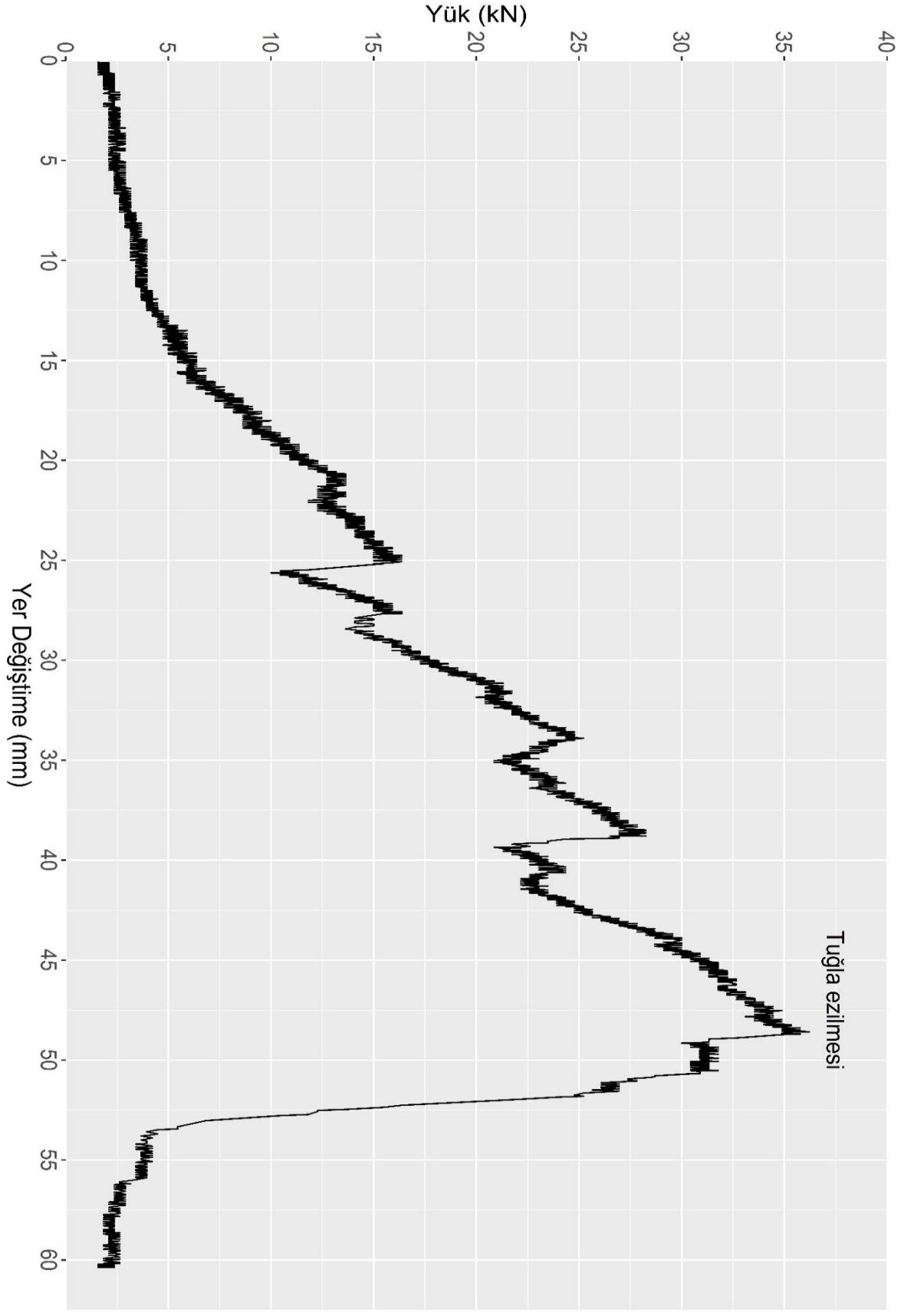
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 8 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 20 mm iken, deney elemanının 13 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 25 mm iken, deney elemanının 16 kN yük altında olduğu ve deney elemanının alt sınırının sol köşesindeki tuğlada deney elemanının yük almasına engel olmayacak seviyede bir ezilme olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 38 mm iken, deney elemanının 28 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada ezilme olduğu ve buna bağlı olarak yük değerinde düşüş görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 48 mm iken, deney elemanının 36 kN yük altında olduğu ve deney elemanının köşelerinde ve orta bölgelerindeki tuğlalarda ezilmelerin yaygınlaştığı, eş zamanlı olarak deney elamanının tam orta bölgesindeki tuğlaların kabuk şekilde dökülmeye başladığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 36 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.41. NPWb600-2 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.42. NPWb600-2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.14. NPWb600-2 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.15. NPWb600-3 Deney Elemanı

NPWb600-3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 600 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb700, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.43.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb600 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb600 tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.43. NPWb600-3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

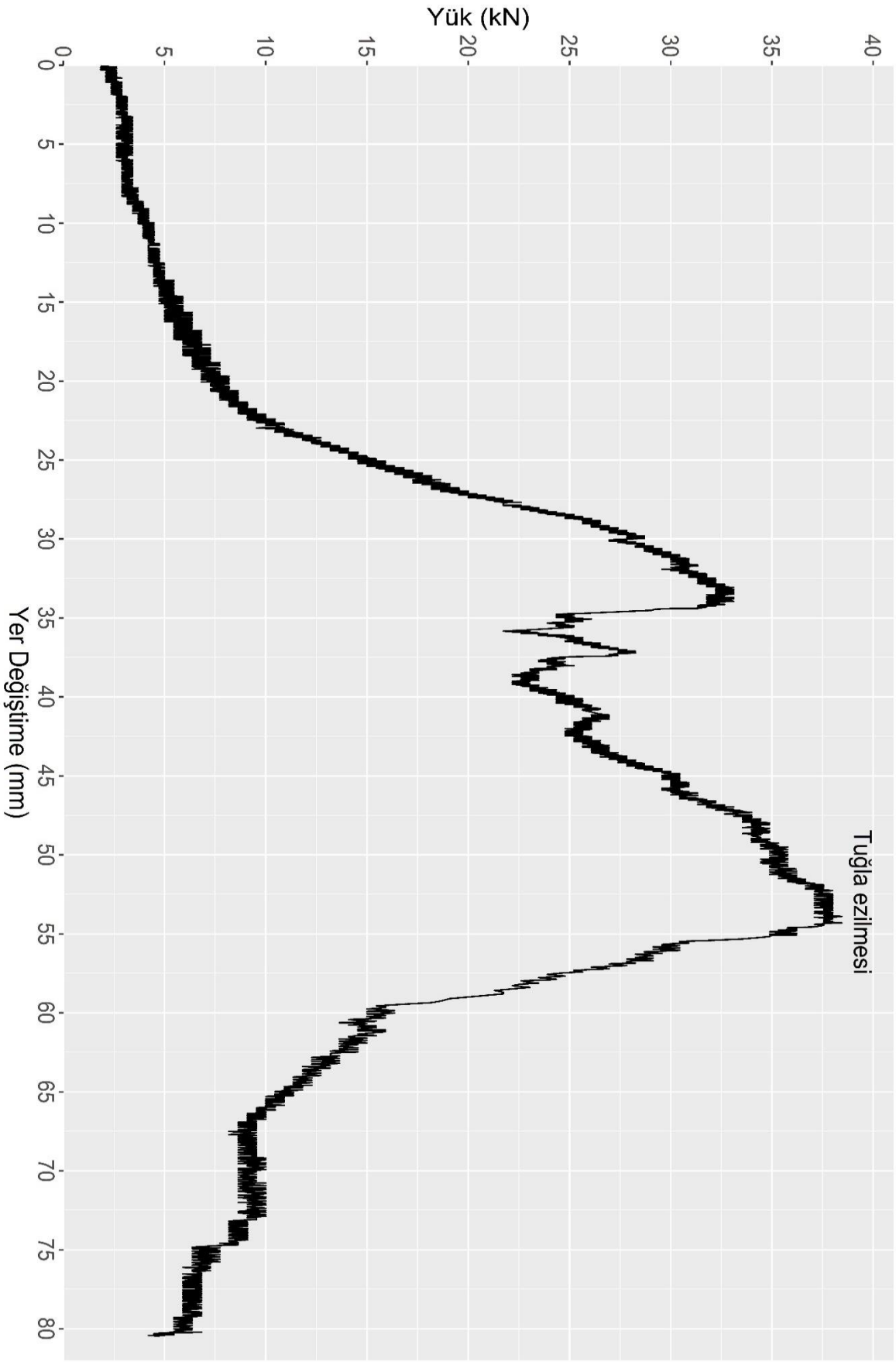
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 27 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 30 mm iken, deney elemanının 28 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 33 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada ezilme olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 33 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada ezilme olduğu ve buna bağlı olarak yük değerinde düşüş görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının tekrar yük artışına geçtiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 54 mm iken, deney elemanının 38 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlalarda ve sağ alt köşesindeki tuğlalarda ezilmenin olduğu, özellikle sağ alt köşedeki tuğlaların ezilmesinden sonra düşeyde derzleri takip eden, hedef doğrultusunda, basamaklı bir kırılma olduğu görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 38 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.44. NPWb600-3 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.45. NPWb600-3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.15. NPWb600-3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.16. NPWb700-1 Deney Elemanı

NPWb700-1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 700 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.46.'da görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb700 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb700 tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.46. NPWb700-1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

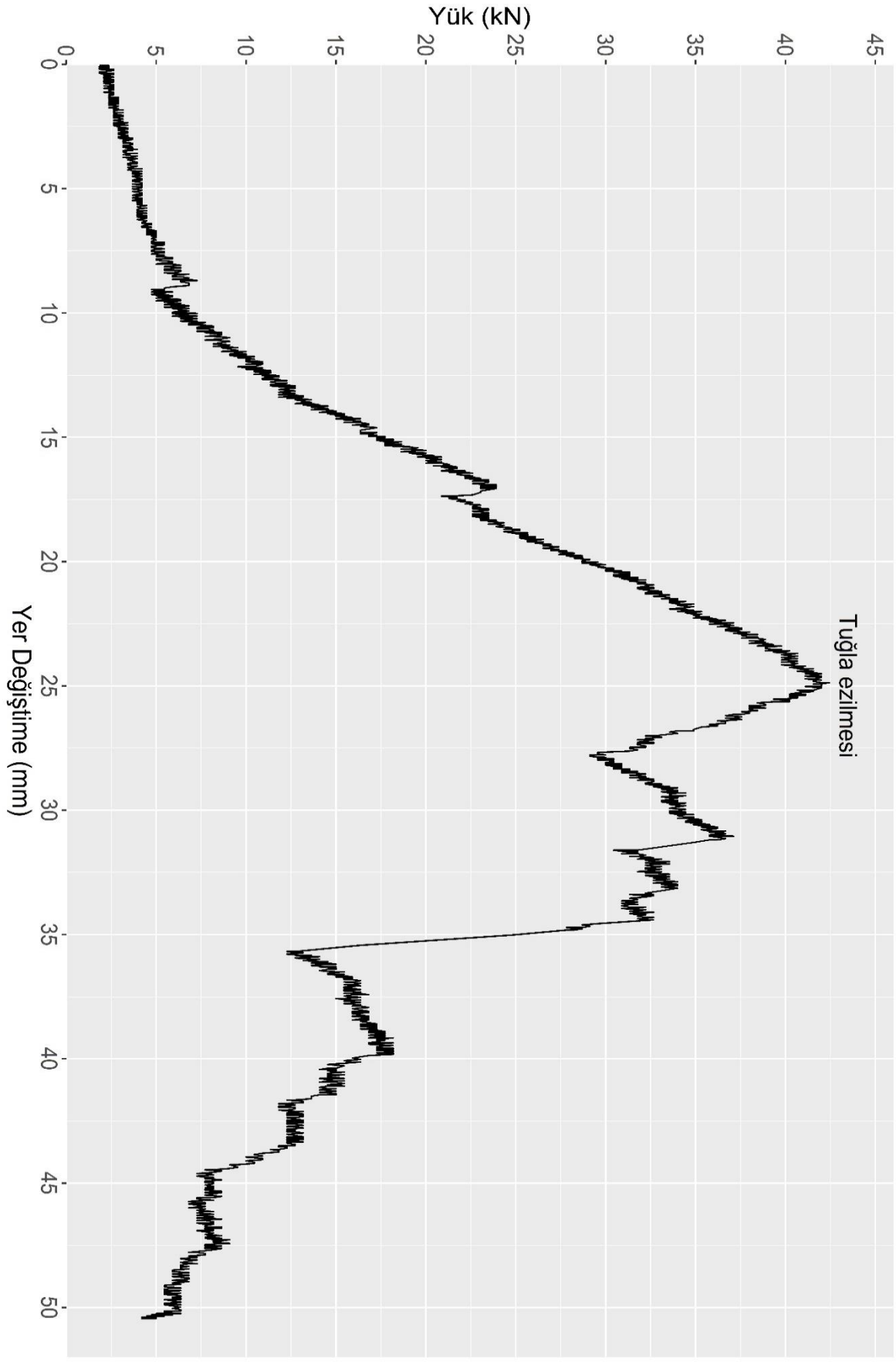
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 14 mm iken, deney elemanının 15 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 22 mm iken, deney elemanının 35 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 25 mm iken, deney elemanının 42 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal kapasitesine ulaştığı görülmüştür.
- Bu aşamadaki kırılmanın sağ alt ve sol üst köşelerdeki tuğla ezilmelerini takiben düşey derzleri basamaklı olarak takip ettiği görülmüştür.
- Düşey derzlerin yatay derzlere göre göreceli olarak daha zayıf olduğu görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 42 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.47. NPWb700-1 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.48. NPWb700-1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.16. NPW700-1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğirisi

### 3.17. NPWb700-2 Deney Elemanı

NPWb700-2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 700 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.49.'da görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb700 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb700 tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.49. NPWb700-2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

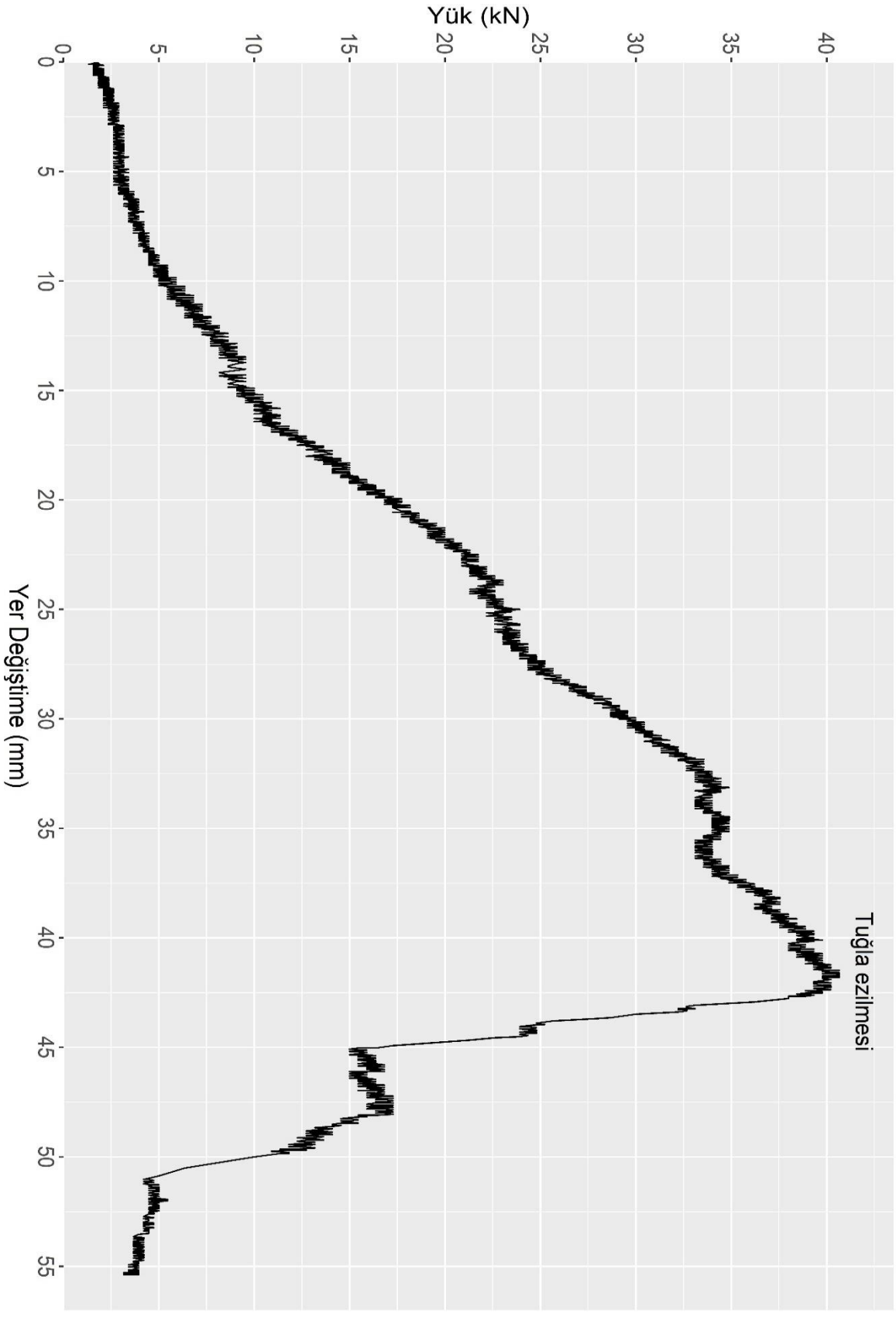
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 21 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 24 mm iken, deney elemanının 23 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesindeki tuğlada deney elemanının yük almasına engel olmayacak bir ezilme olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının yük almaya devam ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 42 mm iken, deney elemanının 40 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal kapasitesine tuğlaların ezilmesi ile ulaştığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 40 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.50. NPWb700-2 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.51. NPWb700-2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.17. NPW700-2 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.18. NPWb700-3 Deney Elemanı

NPWb700-3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 700 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb800 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.52.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb700 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb700 tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.52. NPWb700-3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

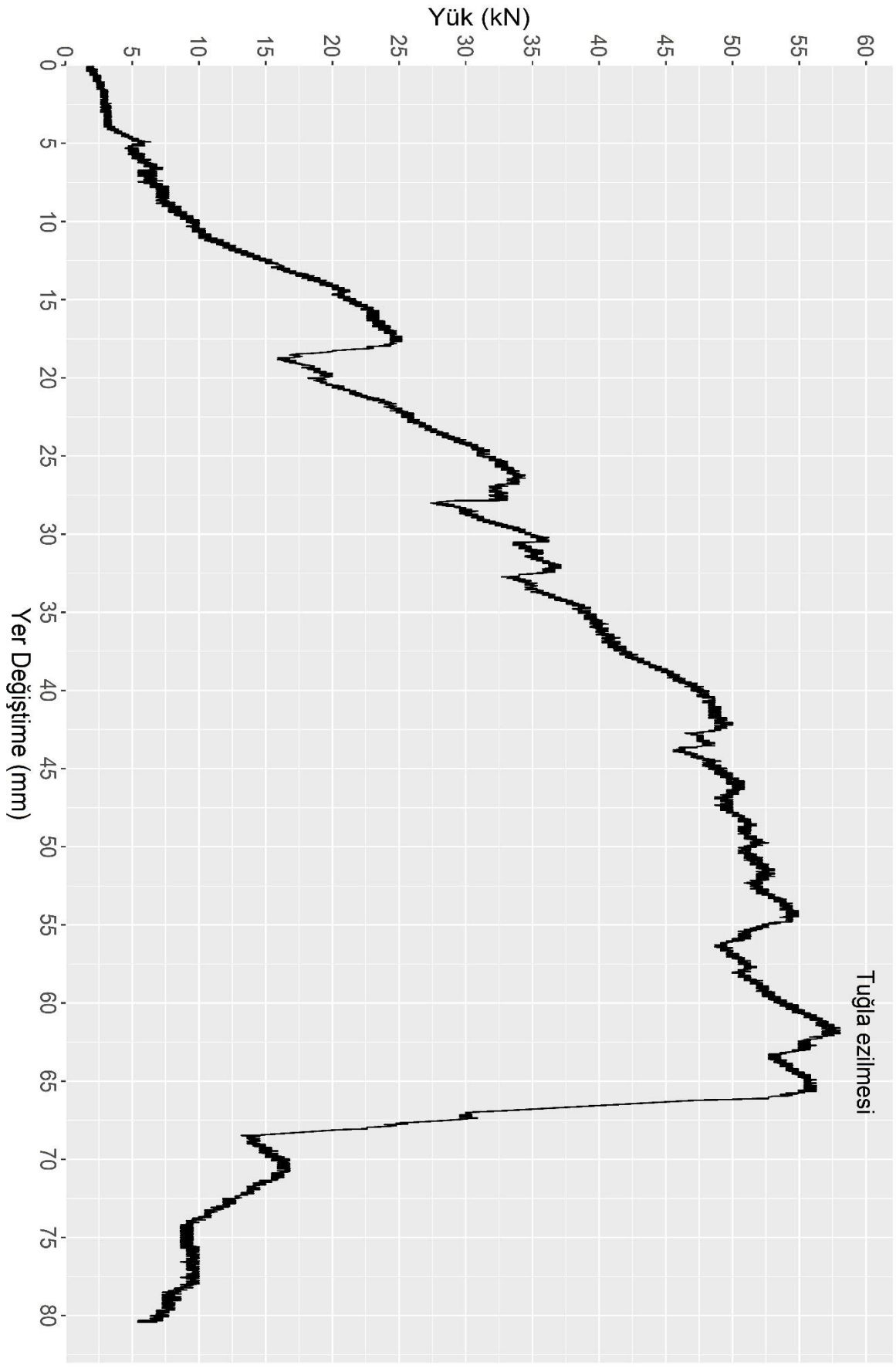
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 15 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yük almasına engel olmayacak boyutta ezilmelerin olduğu ve bu ezilmelere bağlı olarak yük değerinde düşme görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 17 mm iken, deney elemanının 25 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yük almasına engel olmayacak boyutta ezilmelerin olduğu ve bu ezilmelere bağlı olarak yük değerinde düşme görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının yük değerinin tekrar artmaya başladığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 26 mm iken, deney elemanının 34 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sol üst köşesinde ve sağ alt köşesinde bulunan tuğlalarda küçük boyutta ezilmelerin olduğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 61 mm iken, deney elemanının 58 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal kapasitesine tuğlaların ezilmesi ile ulaştığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 58 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.53. NPWb700-3 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.54. NPWb700-3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.18. NPW700-3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.19. NPWb800-1 Deney Elemanı

NPWb800-1 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 800 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.55.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb800 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb800 tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.55. NPWb800-1 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

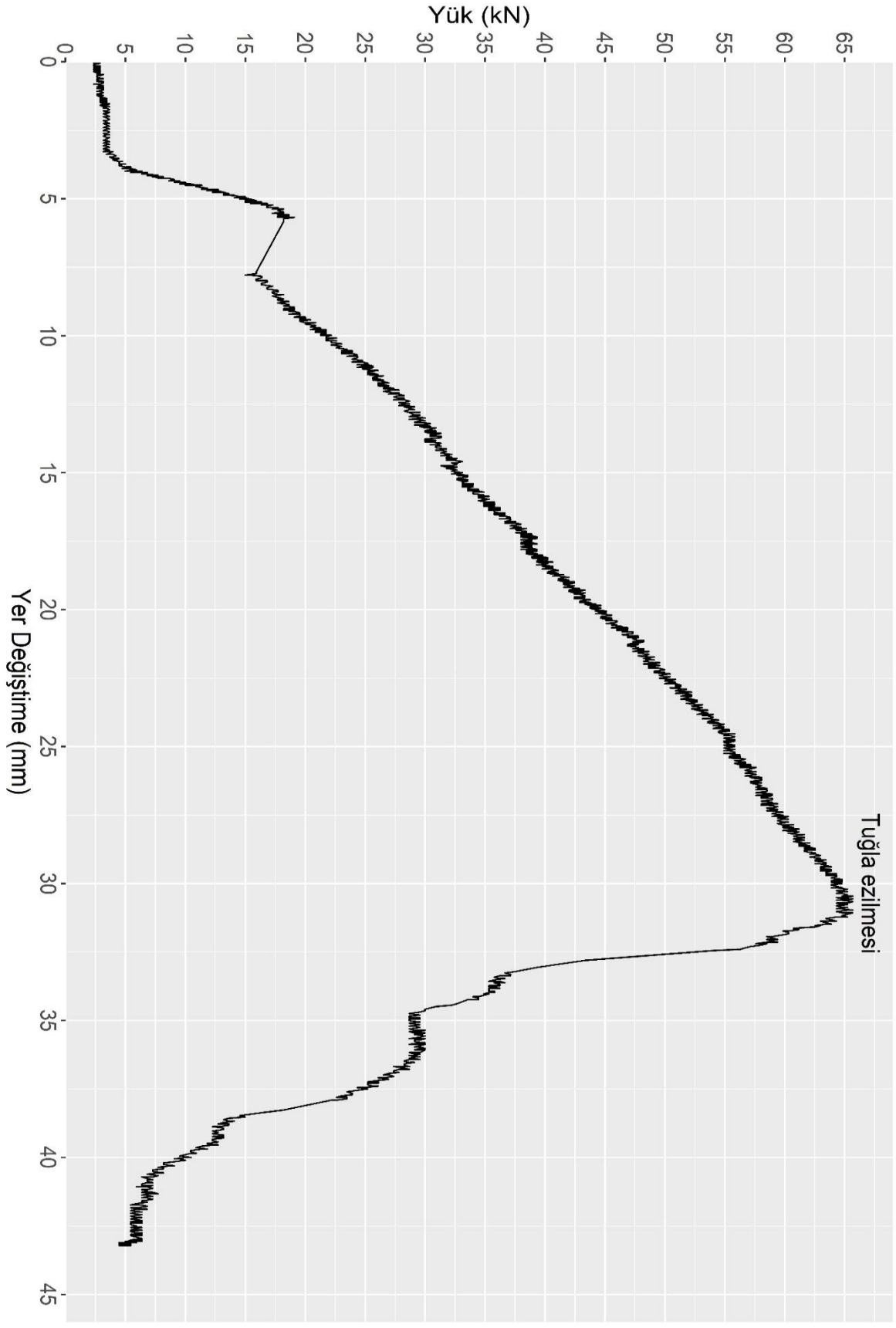
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 15 mm iken, deney elemanının 34 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 18 mm iken, deney elemanının 40 kN yük altında olduğu ve deney elemanının yük almasına engel olmayacak boyutta ezilmelerin olduğu ve bu ezilmelere bağlı olarak yük değerinde düşme görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının yük değerinin tekrar artmaya başladığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 22 mm iken, deney elemanının 49 kN yük altında olduğu ve deney elamanının orta bölgesinde bazı tuğlalarda çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 31 mm iken, deney elemanının 65 kN yük altında olduğu ve deney elamanının diyagonal kapasitesine tuğlaların ezilmesi ile ulaştığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 65 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.56. NPWb800-1 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.57. NPWb800-1 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.19. NPW800-1 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.20. NPWb800-2 Deney Elemanı

NPWb800-2 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 800 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.58.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb800 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb800 tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.58. NPWb800-2 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 22 mm iken, deney elemanının 28 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 26 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanının boydan boya çatlayarak diyagonal kapasitesine ulaştığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 33 kN olarak görülmüştür.
- NPWb800-1 deneye elemanının 65 kN yük değerinde diyagonal kapasitesine ulaşmış olması ile arasındaki farkın sebebi incelendiğinde deney elemanını oluşturan tuğlaların imalatı sırasında içten yanmış oldukları fark edilmiştir. Resim 3.57. 'de yanmış tuğlalar görülmektedir.
- Deney elemanında kırılmanın, içten yanmış olan bu tuğlalardan başlayıp ilerlediği görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.



Resim 3.59. NPWb800-2 Deney elemanını oluşturan içten yanmış tuğlalar



Resim 3.60. NPWb800-2 Deney elemanını oluşturan yanmış tuğlaların parçaları



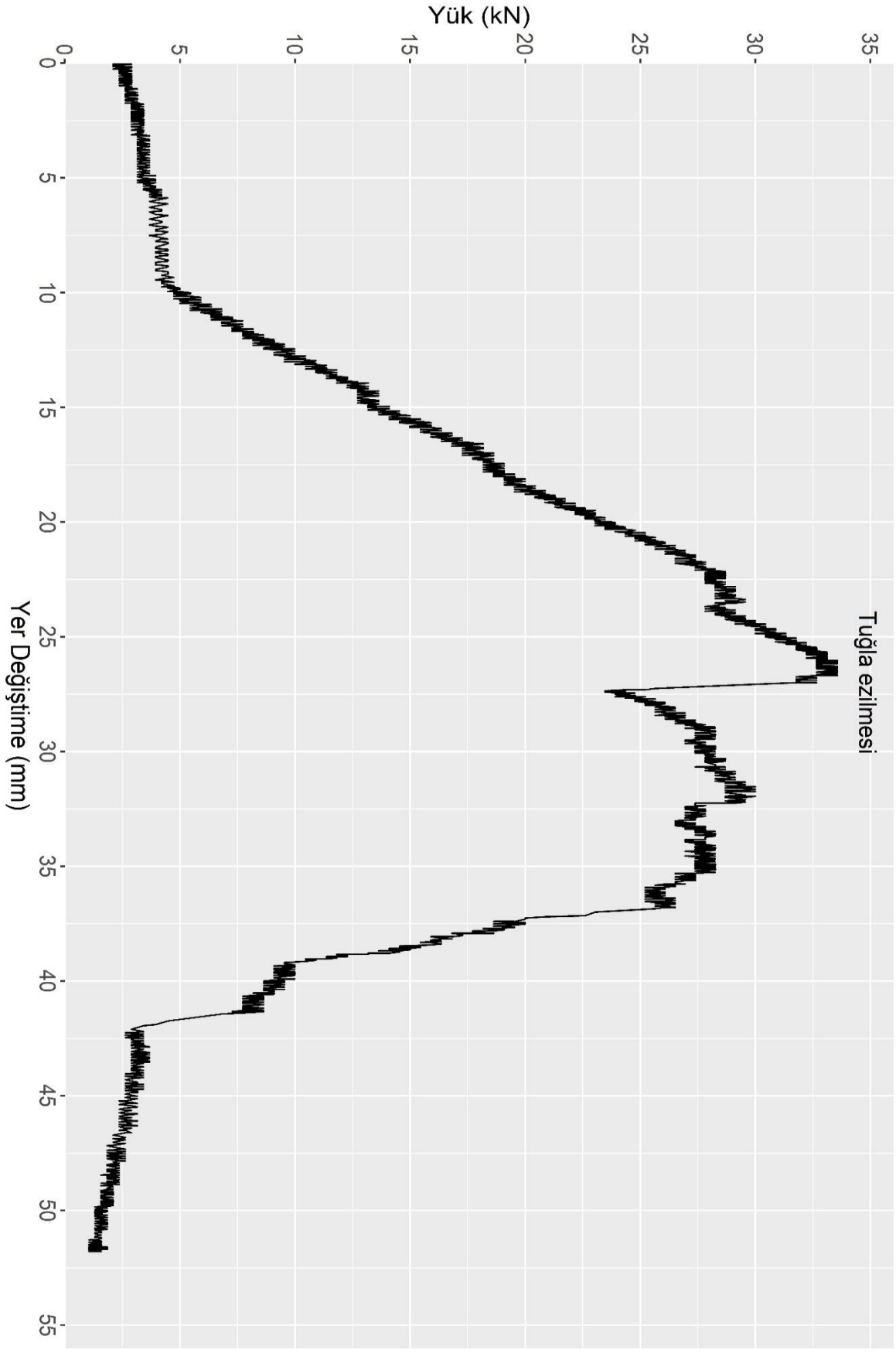
Resim 3.61. NPWb800-2 Deney elemanını oluşturan yanmış tuğlaların parçaları




Resim 3.62. NPWb800-2 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.63. NPWb800-2 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.20. NPW800-2 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.21. NPWb800-3 Deney Elemanı

NPWb800-3 deney elemanı, tuğlaların birbirine yüksek dayanımlı harç ile bağlanması ile oluşturulan 800 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPW, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700 ve NPW+ tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.64.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPWb800 tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPWb800 tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.64. NPWb800-3 Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

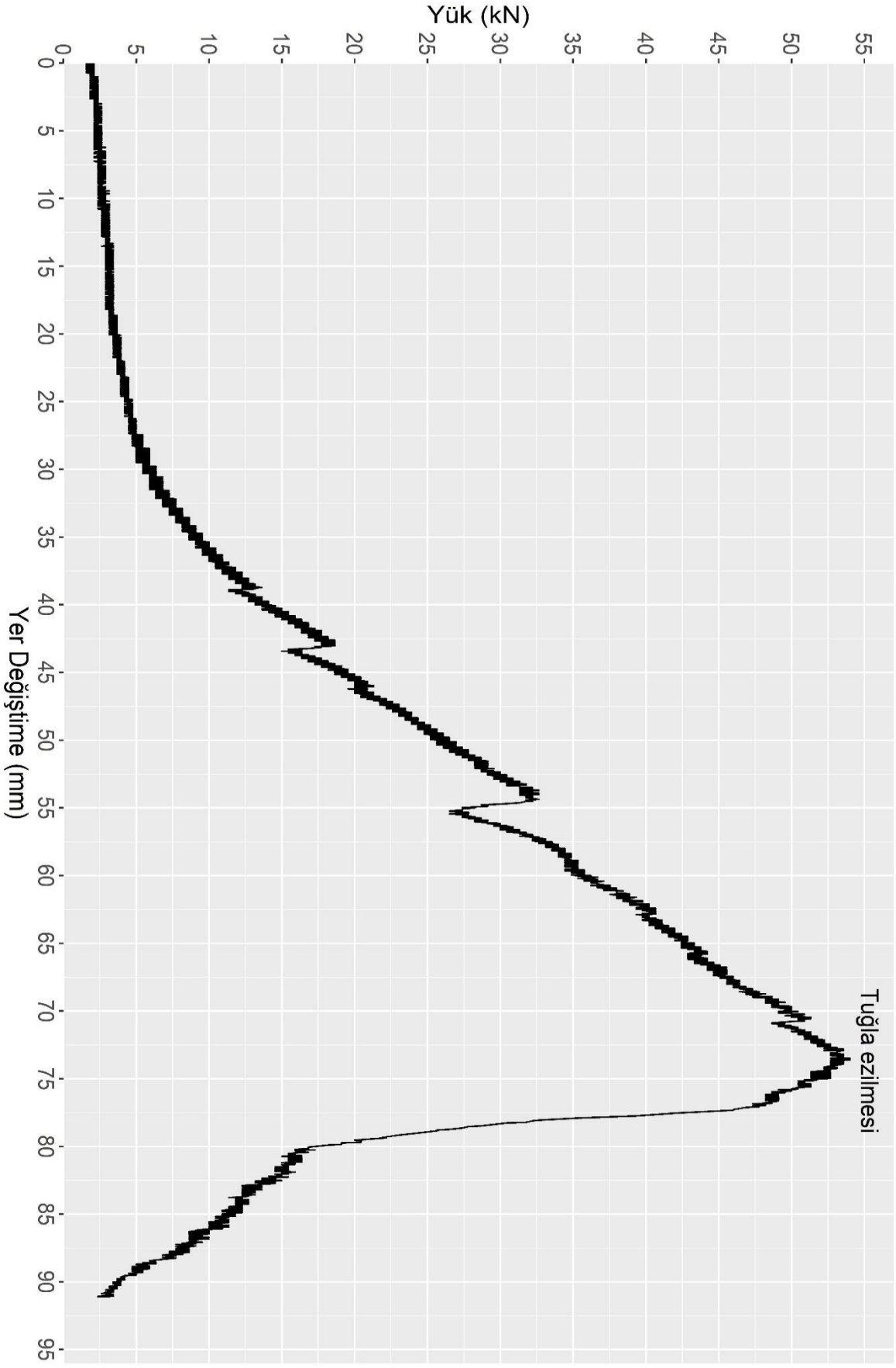
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 45 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 53 mm iken, deney elemanının 32 kN yük altında olduğu ve deney elemanının sağ alt köşesindeki tuğlanın ve özellikle onun solundaki tuğlanın deney elemanının arka tarafında kırıldığı ve sol üst köşedeki tuğlanın ezildiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının yük değerinin artmaya devam ettiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 73 mm iken, deney elemanının 54 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal kapasitesine tuğlaların ezilmesi ile ulaştığı görülmüştür.
- Deney elemanının deney boyunca aldığı en büyük yük değeri, göçme yükü 54 kN olarak görülmüştür.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.
- Deney elemanının tam istenilen şekilde sadece köşelerde olmayan, orta bölgelere doğru da yaygınlaşan bir ezilme modeli ile göçtüğü görülmüştür.




Resim 3.65. NPWb800-3 Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.66. NPWb800-3 Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.21. NPW800-3 Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.22. NPW4+ Deney Elemanı

NPW4+ deney elemanı, tuğlaların birbirine kum- çimento harcı ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan yeni referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.67.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPW+ tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW+ tasarımındaki deney elemanlarının birincisidir.




Resim 3.67. NPW4+ Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

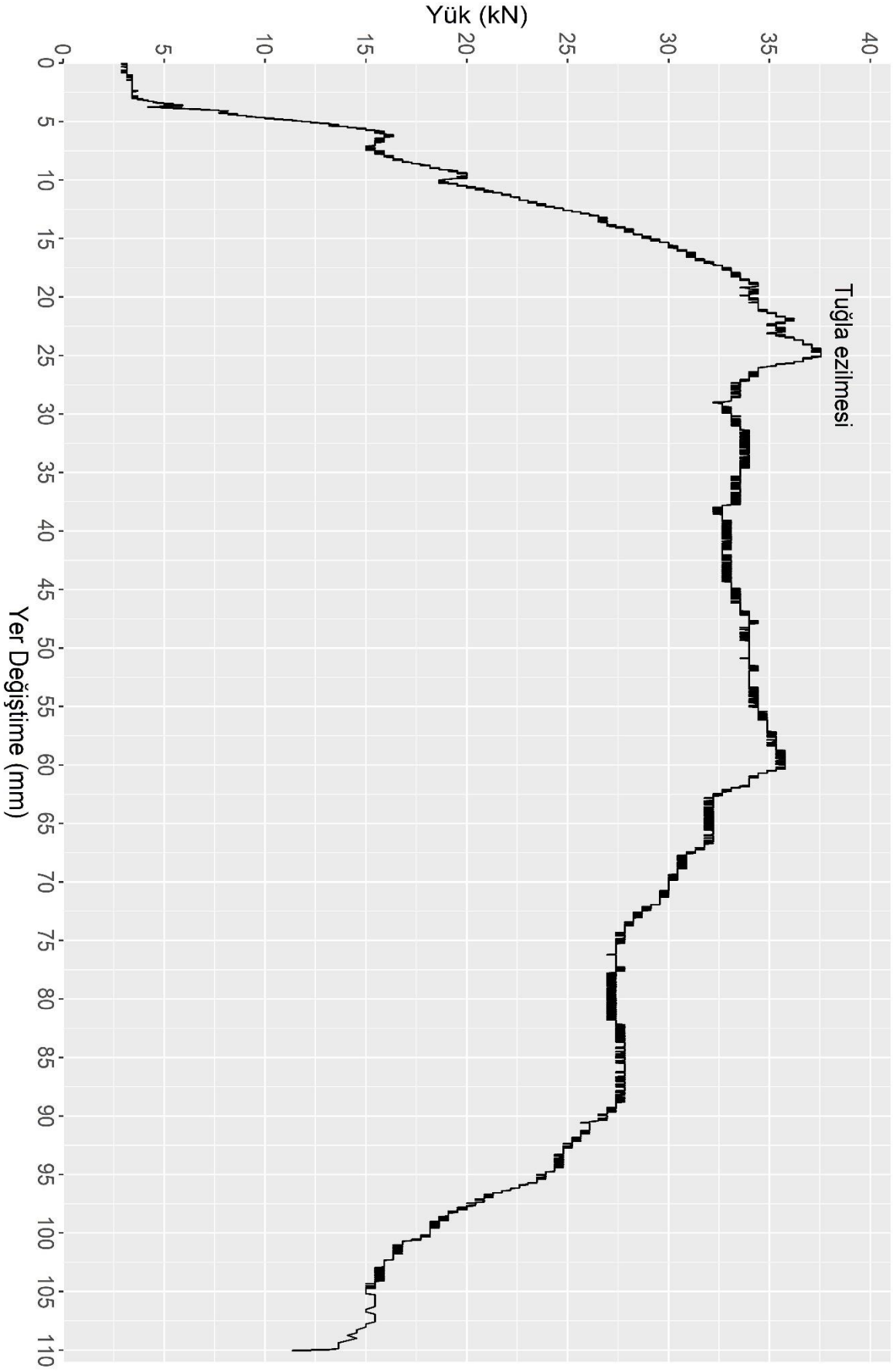
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 9 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 15 mm iken, deney elemanının 30 kN yük altında olduğu ve deney elemanının üstten ikinci kirişte soldan ikinci tuğlada çatlak oluştuğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanının yük değerinin artmaya devam ettiği ve 35 kN 'da diyagonal basınç çubuğunun oluşmaya başladığı sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru tuğlalarda çatlakların oluşmaya başladığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 24 mm iken, deney elemanının 37 kN yük altında olduğu ve deney elemanının diyagonal kapasitesine tuğlaların ezilmesi ile ulaştığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, deney elemanında yükün azalmakta olduğu, azalan yükün tekrar artışa geçtiği görülmüştür.
- Birbirine en uzak durumdaki diyagonal basınç çubuğu doğrultusundaki çatlakların birbirine olan mesafesi ölçüldüğünde diyagonal basınç çubuğu genişliğinin hedeflendiği gibi 60 cm- 75 cm arasında yaklaşık 60 cm olduğu hesaplanmıştır.
- NPW4+ deney elemanının deney boyunca taşıdığı en yüksek yükün 37 kN değerinde olduğu görülmüştür. Bu değer NPW deney elemanlarından elde edilen ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları ile kıyaslanamayacak kadar yüksek olan yük değerlerini kıyaslanabilir bir düzeye düşürülebildiğini göstermiştir.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.68. Deney sırasında deney elemanında diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda meydana gelen çatlakların mesafesinin ölçülmesi




Resim 3.69. NPW4+ Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.22. NPW4+ Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.23. NPW5+ Deney Elemanı

NPW5+ deney elemanı, tuğlaların birbirine kum- çimento harcı ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan yeni referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.7.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPW+ deney elemanı tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW+ deney elemanı tasarımındaki deney elemanlarının ikincisidir.




Resim 3.70. NPW5+ Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

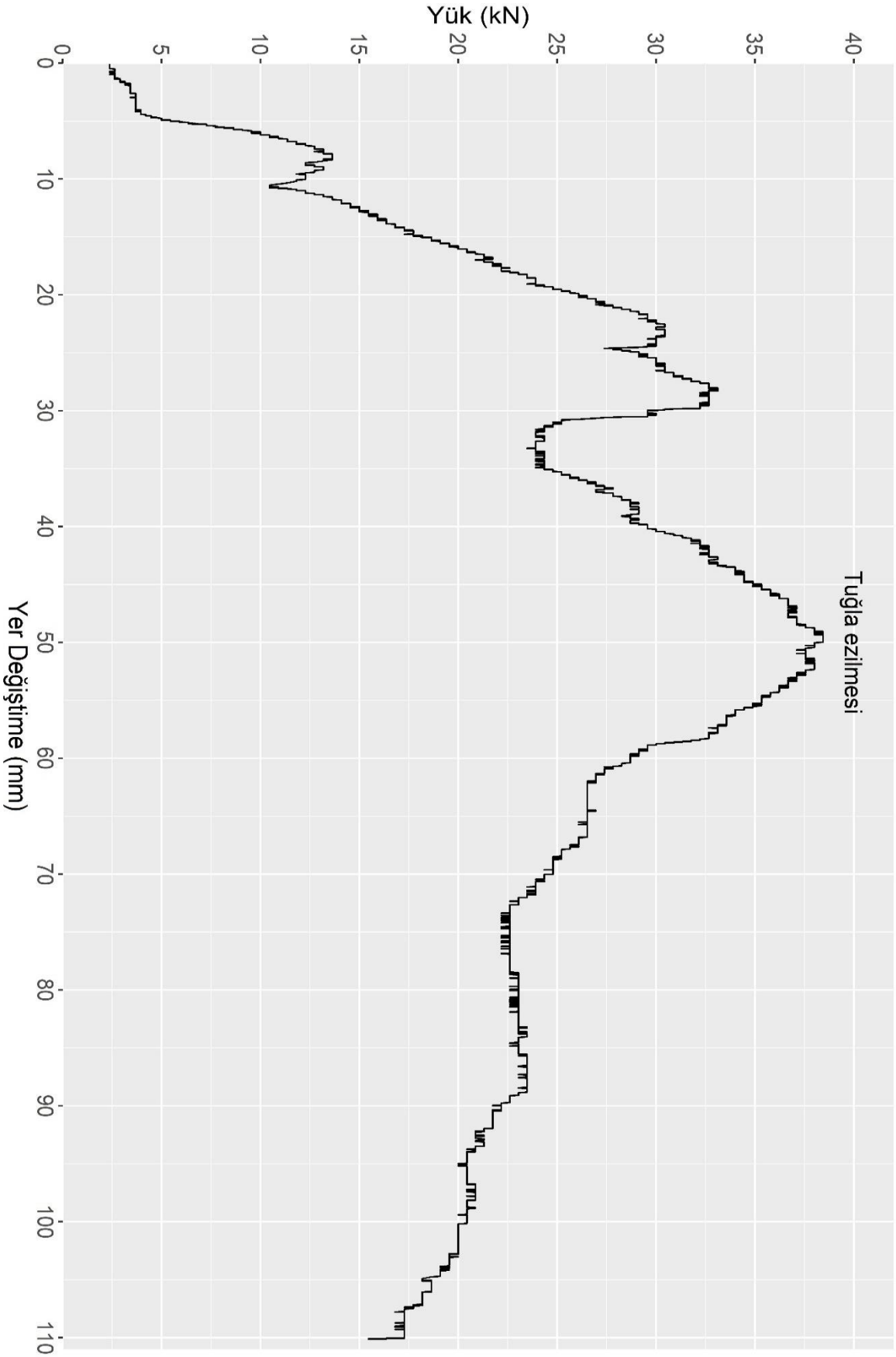
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 15 mm iken, deney elemanının 20 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 22 mm iken, deney elemanının 30 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 43 mm iken, deney elemanının 33 kN yük altında olduğu ve deney elemanında sol üst köşedeki iki tuğlada ve sağ alt köşede kabuk atma şeklinde kırılma meydana geldiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 50 mm iken, deney elemanının yük değerinin 38 kN 'da diyagonal basınç çubuğunun oluşmaya başladığı sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru tuğlalarda çatlakların oluşmaya başladığı ve bu çatlakların boylu boyunca devam ettiği görülmüştür.
- Bu deney esnasında diyagonal basınç çubuğunun belirgin bir şekilde oluşmadığı, sağ alt köşe ve sol üst köşede tuğlalarda ezilme çok açık bir şekilde görülmüştür.
- NPW5+ deney elemanının deney boyunca taşıdığı en yüksek yükün 38 kN değerinde olduğu görülmüştür. Bu değer NPW deney elemanlarından elde edilen ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları ile kıyaslanamayacak kadar yüksek olan yük değerlerini kıyaslanabilir bir düzeye düşürülebildiğini göstermiştir.
- Deney elemanının göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda derz kayması yaşanmadığı görülmüştür.




Resim 3.71. NPW5+ Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu




Resim 3.72. NPW5+ Deney elemanının deney sonrası durumu




Şekil 3.23. NPW5+ Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

### 3.24. NPW6+ Deney Elemanı

NPW6+ deney elemanı, tuğlaların birbirine kum- çimento harcı ile bağlanması ile oluşturulan tam duvar tipindeki deney elemanıdır. Tuğlalar, NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700, NPWb800 ve NPW tasarımlarına dahil olan diğer deney elemanlarındaki tuğla dizilim düzeni ile aynı düzene sahiptir. NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları, diğer deney elemanları ile sonuçları kıyaslanan yeni referans deney elemanlarıdır. Çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları, NPW+ tasarımına dahil olan deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanı ile deney çerçevesi arasında kalan kenar boşlukları deney elemanının çerçevenin içinde ileri geri hareketini önlemek amacıyla hızlı donabilme özelliğindeki kartonpiyer alçısı ile Resim 3.73.'de görüldüğü üzere doldurulmuştur. NPW+ tasarımında üç tekrar yapılmıştır. Bu deney elemanı NPW+ tasarımındaki deney elemanlarının üçüncüsüdür.




Resim 3.73. NPW6+ Deney elemanının deney başlamadan önceki hali

Deney esnasında gerçekleşen önemli olaylar:

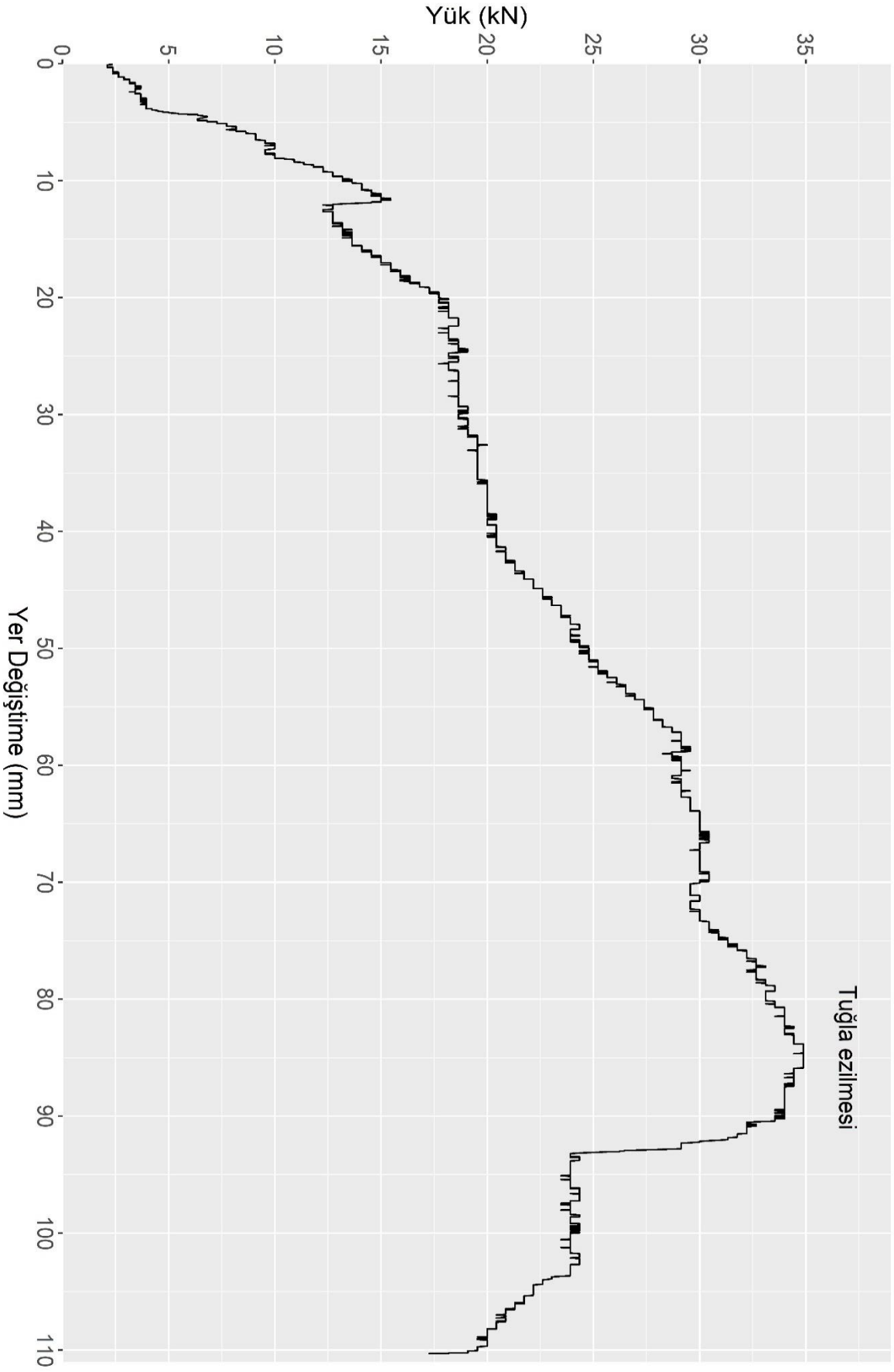
- Yük uygulanmaya başladıktan sonra, LVDT3'te deplasman değeri 11 mm iken, deney elemanının 15 kN yük altında olduğu ve deney elemanında herhangi bir çatlak olmadığı görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 20 mm iken, deney elemanının 18 kN yük altında olduğu ve deney elemanının orta bölgesinde bir tuğlada şüpheli çatlak oluştuğu görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 28 mm iken, deney elemanının 18 kN yük altında olduğu ve deney elemanında sağ alt köşedeki bazı tuğlalarda ezilme gerçekleştiği görülmüştür.
- Yük uygulaması devam ederken, LVDT3'te deplasman değeri 60 mm iken, deney elemanının yük değerinin 30 kN 'da olduğu anda deney elemanının sağ üst köşesine ve sol alt köşesine yakın bölgelerde derz kaymalarının başladığı görülmüştür.
- Bu deney esnasında diyagonal basınç çubuğunun belirgin bir şekilde oluşmadığı, sağ alt köşe ve sol üst köşede tuğlalarda ezilme çok açık bir şekilde görülmüştür.
- NPW6+ deney elemanının deney boyunca taşıdığı en yüksek yükün 34 kN değerinde olduğu görülmüştür. Bu değer NPW deney elemanlarından elde edilen ve çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan diğer deney elemanları ile kıyaslanamayacak kadar yüksek olan yük değerlerini kıyaslanabilir bir düzeye düşürülebildiğini göstermiştir.
- Deney elemanında meydana gelen derz kaymalarının deney elemanda yük aktarımının gerçekleştiği diyagonal basınç bölgesinin dışında kalan sağ üst ve sol alt köşelere yakın yerlerde gerçekleştiği, deney elemanının yük aktaran orta bölgelerinde gerçekleşmediği görülmüştür. Bu durumda derz ayrılmalarının istenilen göçme modeline aksi bir durum oluşturacak etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Göçme modelinde tuğla ezilmelerinin daha hakim olduğu görülmüştür ve göçme modelinin istenildiği üzere tuğla ezilmesi şeklinde olduğu, tuğlalarda meydana gelen derz kaymalarının etkili olmadığı görülmüştür.




Resim 3.74. NPW6+ Deney elemanının tuğla ezilmesi anındaki durumu ve meydana gelen önemsiz derz kaymaları




Resim 3.75. NPW6+ Deney elemanının deney bittikten sonraki hali




Şekil 3.24. NPW6+ Deney elemanı için yük – yer değiştirme eğrisi

# 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde tez çalışması dahilinde yapılan deneylerin sonuçları birbiri ile göçme yükü, göçme modeli, göçme yükünde deplasman karşılaştırılmaları yapılmış ve yorumlanmıştır. Deney sonuçlarının özetleri aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney sonuçlarının karşılaştırma tablosu

| Deney Elemanı Adı | Bant Genişliği (mm) | Harç Türü | Göçme Modeli | Göçme Yükü (kN) | Göçme Yükünde Yatay Deplasman (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| FB1 | Tam Duvar | Yok | Tuğlalarda Ezilme | 23 | 107 |
| FB2 | Tam Duvar | Yok | Tuğlalarda Ezilme | 20 | 82 |
| FB3 | Tam Duvar | Yok | Tuğlalarda Ezilme | 11 | 60 |
| NPW1 | Tam Duvar | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 74 | 34 |
| NPW2 | Tam Duvar | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 81 | 86 |
| NPW3 | Tam duvar | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 77 | 92 |
| NPWb400-1 | 400 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 25 | 16 |
| NPWb400-2 | 400 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 30 | 48 |
| NPWb400-3 | 400 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 33 | 27 |
| NPWb500-1 | 500 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 29 | 27 |
| NPWb500-2 | 500 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 45 | 56 |
| NPWb500-3 | 500 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 29 | 44 |
| NPWb600-1 | 600 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 36 | 18 |
| NPWb600-2 | 600 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 36 | 48 |
| NPWb600-3 | 600 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 38 | 53 |
| NPWb700-1 | 700 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 42 | 24 |
| NPWb700-2 | 700 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 40 | 41 |
| NPWb700-3 | 700 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 58 | 61 |
| NPWb800-1 | 800 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 65 | 30 |
| NPWb800-2 | 800 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 33 | 26 |
| NPWb800-3 | 800 | Yüksek Dayanım | Tuğlalarda Ezilme | 54 | 73 |
| NPW4+ | Tam Duvar | Kum-Çimento | Tuğlalarda Ezilme | 37 | 25 |
| NPW5+ | Tam Duvar | Kum-Çimento | Tuğlalarda Ezilme | 38 | 50 |
| NPW6+ | Tam Duvar | Kum-Çimento | Tuğlalarda Ezilme | 34 | 90 |

Çizelge 4.2. Yük tablosu

| Tasarım Grubu | Ort. Yük (kN) | Göçme Yükü Standart Sapma (kN) | Varyasyon Katsayısı | Ort. Deplasman (mm) |
|---|---|---|---|---|
| FB | 18 | 6,24 | %35 | 83 |
| NPW | 77 | 3,51 | %4 | 71 |
| NPWb400 | 29 | 4,04 | %13 | 30 |
| NPWb500 | 34 | 9,23 | %27 | 42 |
| NPWb600 | 37 | 1,15 | %3 | 40 |
| NPWb700 | 47 | 9,86 | %20 | 42 |
| NPWb800 | 51 | 16,25 | %31 | 43 |
| NPW+ | 36 | 1,69 | %4 | 55 |

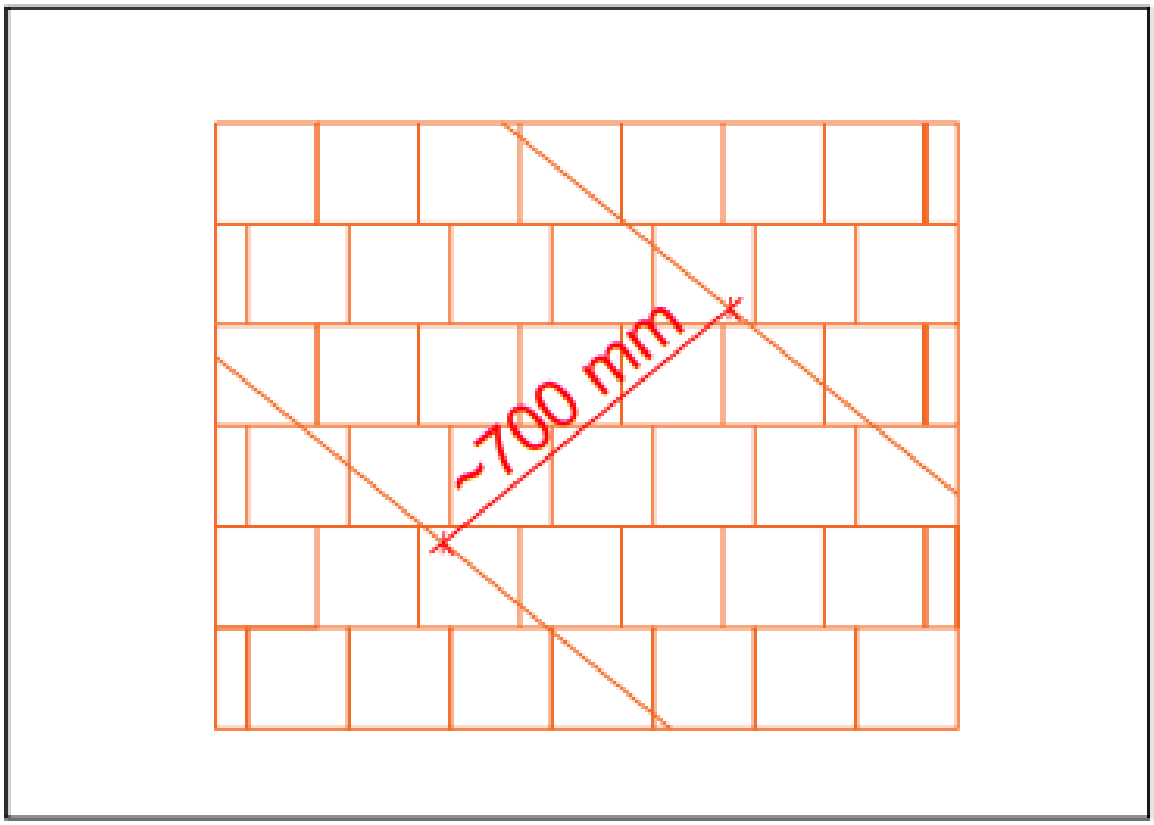
Çizelge 4.3. Duvarların örülme ve deneylerin yapılma tarihleri

| Deney Eleman Adı | Duvarın Örüldüğü Tarihi | Duvarın Deneyinin Yapıldığı Tarihi | Dayanım Kazanma Süresi (gün) |
|---|---|---|---|
| FB1 | 11.04.18 | 11.04.18 | 0 |
| FB2 | 11.04.18 | 11.04.18 | 0 |
| FB3 | 12.04.18 | 12.04.18 | 0 |
| NPW1 | 09.05.19 | 06.09.19 | 120 |
| NPW2 | 09.05.19 | 06.09.19 | 120 |
| NPW3 | 16.05.19 | 06.09.19 | 113 |
| NPWb400-1 | 16.05.19 | 09.09.19 | 116 |
| NPWb400-2 | 23.05.19 | 09.09.19 | 109 |
| NPWb400-3 | 23.05.19 | 09.09.19 | 109 |
| NPWb500-1 | 30.05.19 | 09.09.19 | 102 |
| NPWb500-2 | 30.05.19 | 09.09.19 | 102 |
| NPWb500-3 | 13.06.19 | 09.09.19 | 88 |
| NPWb600-1 | 13.06.19 | 10.09.19 | 89 |
| NPWb600-2 | 13.06.19 | 10.09.19 | 89 |
| NPWb600-3 | 20.06.19 | 10.09.19 | 83 |
| NPWb700-1 | 20.06.19 | 10.09.19 | 83 |
| NPWb700-2 | 20.06.19 | 10.09.19 | 83 |
| NPWb700-3 | 26.07.19 | 10.09.19 | 76 |
| NPWb800-1 | 26.07.19 | 11.09.19 | 77 |
| NPWb800-2 | 27.07.19 | 11.09.19 | 76 |
| NPWb800-3 | 27.07.19 | 11.09.19 | 76 |
| NPW4+ | 12.09.19 | 07.11.19 | 56 |
| NPW5+ | 12.09.19 | 07.11.19 | 56 |
| NPW6+ | 13.09.19 | 08.11.19 | 56 |

FB tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının deneylerinden elde edilen ortalama göçme yükünün 18 kN olduğu ve tasarım olarak en yakını olan NPW+ tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının deneylerinden elde edilen ortalama göçme yükü değerinin 36 kN olduğu Çizelge 4.2.'de görülmektedir. Bu durum iki tasarım arasındaki farka odaklanmamızı sağladığında tuğla derzlerinde harç bulunması olarak karşımıza çıkmaktadır. Tuğla derzlerinde kum- çimento harcı olması, NPW+ tasarımında göçme yükünü, Tuğla derzlerinde harç olmadan bağımsız halde çerçeve içerisinde oluşturulan FB tasarımını 2 katına çıkarmıştır. Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harcın varlığı ise NPW tasarımında deney elemanlarının dayanımını o kadar arttırmıştır ki, mukayese yapmayı olanaksız kılmıştır. Bununla birlikte tuğla derzlerinde harç uygulaması bulunmayan FB tasarımında, bağımsız olarak sıkıştırılarak sabitlenen tuğlalar, uygulanan yük tesirinde sağa doğru yatıklaşan çerçevenin şeklini almaya çalıştıkları için umulanın aksine bariz bir diyagonal basınç çubuğu oluşumu görülememiştir. Bilakis eşdeğer diyagonal basınç çubuğu dışında kalan tuğlalar yük aktarmayı kesmeyip, etkisizleşmemiş, yüke maruz kalıp hasar almıştır.

NPW1 deney elemanı deney esnasında diyagonal taşıma kapasitesine ulaştığı zaman sağ alt köşeden sol üst köşeye doğru oluşan diyagonal bant genişliği metre yardımıyla ölçüldüğünde diyagonal bant genişliğinin 650 mm ile 700 mm arasında bir değerde olduğu görülmüştür. Bu da diyagonal bant genişliğinin 700 mm mertebelerinde olabileceği konusunda çok önemli sinyaller vermektedir.

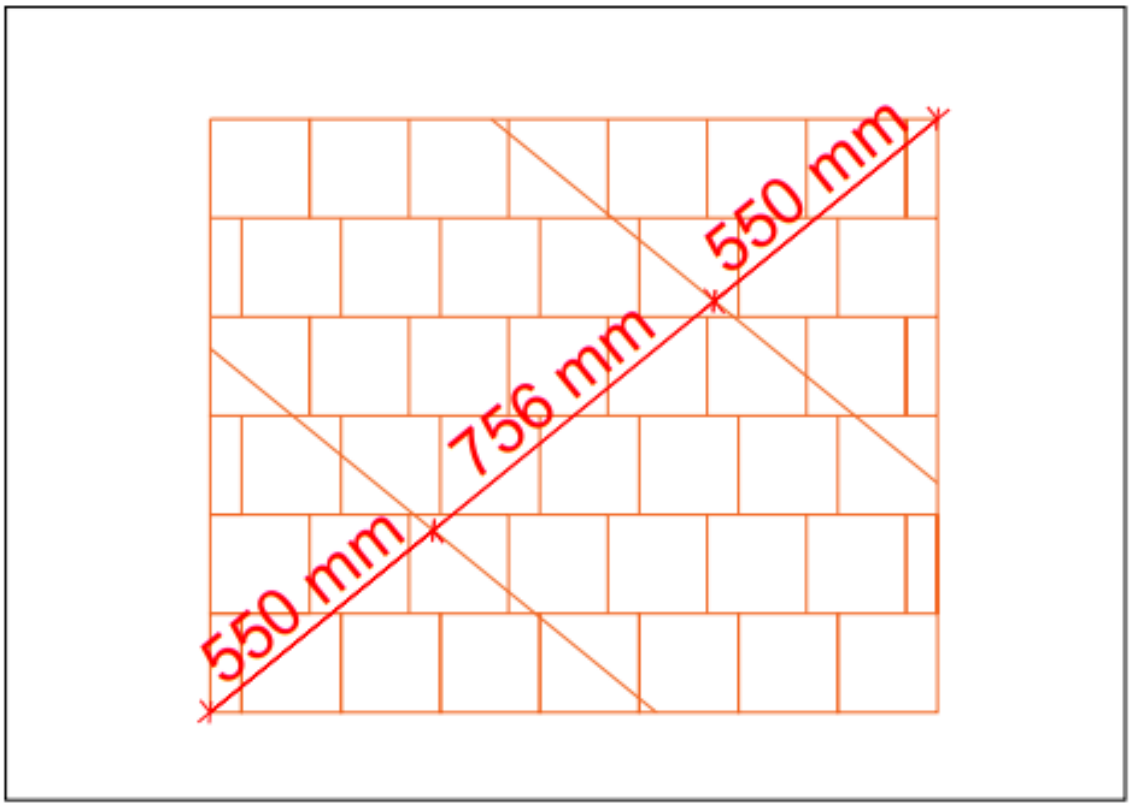
NPW1 deney elemanı ile ilgili fark edilen önemli başka bir husus da göçme mekanizması istenilen şekilde tuğla ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. İstenilmeyen derz ayrılması şeklinde göçme mekanizması görülmemiştir.




Şekil 4.1. NPW1 Deney elemanında yükleme esnasında ölçülen diyagonal bant genişliği

NPW2 deney elemanında NPW1 deney elemanı ile kıyaslandığında alakasız bir yük artışı oluştuğu görülmüştür. Bu yük artışının deney çerçevesi ile yük hücresinin birbirine sabitlendiği sol üst köşede deney çerçevesinin dışında kalan plakanın deney çerçevesine üstten dayanmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple bu deneyin sonucuna temkinli yaklaşılmaktadır. Bu deneyin sonucundan tam bir yönlendirme kabul edilmese de önemli bir konu olarak göçme türü tuğla ezilmesi şeklindedir. Yine istenildiği üzere derz kayması yaşanmamıştır ve oluşan diyagonal basınç çubuğunun NPW1 deney elemanı ile yaklaşık olarak aynı konumda oluştuğu görülmektedir.

NPW3 deney elemanının deneyine, NPW2 deney elemanının deneyinde karşılaşılan levha dayanması sorunu çözülüp, levha dayanamayacak kadar kesilerek küçültülüp deneye başlanmıştır. NPW3 deney elemanı diyagonal taşıma kapasitesine ulaştığı zaman sağ alt köşeden sol üst köşeye doğru oluşan diyagonal bant görülmektedir. Bu diyagonal bant genişliği dışında kalan, daha fazla yük taşımayıp, etkisizleşen kısım, köşelerden ölçüldüğünde 55 cm değeri elde edilmiştir. Diyagonal bant genişliğinin altında ve üstünde oluşan 55 cm değerler toplanıp deney elemanının köşegen uzunluğu olan 185,6 değerinden çıkarıldığında geriye 75,6 cm diyagonal bant genişliği kalmaktadır. Bu genişlik NPW1 deney elemanında görülen 700 mm mertebelerindeki diyagonal bant genişliği ile ilişkilendirilebilir.




Şekil 4.2. NPW3 Deney elemanında yükleme esnasında ölçülen diyagonal bant genişliği

NPW1 deney elemanının taşıdığı maksimum yük 74 kN, NPW2 deney elemanının taşıdığı maksimum yük 81 kN, NPW3 deney elamanının taşıdığı maksimum yük 77 kN'dur. Elde edilen bu değerlerin referans deney elemanları için çok yüksek olduğu farkedildiği için tez çalışmasına tuğla derzlerinde kum çimento harcı kullanılarak, tam duvar şeklinde oluşturulan NPW4+, NPW5+ ve NPW6+ deney elemanlarının eklenmesi uygun görülmüştür.

400 mm bant genişliğinde üretilen NPWb400 deney elemanından üç tekrar yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde istenilen tuğla ezilmesi ile göçme modeline ulaşılmıştır. Deney elemanlarının hiçbirinde derz kayması problemi yaşanmamıştır. NPWb400-3 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 33 kN maksimum yük taşıyarak, 400 mm bant genişliğine sahip deney elemanlarının içerisinde en yüksek dayanım değerini veren deney elemanı olarak kayıtlara geçmiştir. NPWb400-1 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 25 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb400-2 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 30 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır.

500 mm bant genişliğinde üretilen NPWb500 deney elemanından üç tekrar yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde istenilen tuğla ezilmesi ile göçme modeline ulaşılmıştır. Deney elemanlarının hiçbirinde derz kayması problemi yaşanmamıştır. NPWb500-2 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 45 kN maksimum yük taşıyarak, 500 mm bant genişliğine sahip deney elemanlarının içerisinde en yüksek dayanım değerini veren deney elemanı olarak kayıtlara geçmiştir. NPWb500-1 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 29 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb500-3 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 29 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb400 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması ile NPWb500 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması karşılaştırıldığında; NPWb500 deney elemanlarının 5 kN daha fazla maksimum ortalama yük değerine sahip olduğu görülmektedir.

600 mm bant genişliğinde üretilen NPWb600 deney elemanından üç tekrar yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde istenilen tuğla ezilmesi ile göçme modeline ulaşılmıştır. Deney elemanlarının hiçbirinde derz kayması problemi yaşanmamıştır. NPWb500-3 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 38 kN maksimum yük taşıyarak, 600 mm bant genişliğine sahip deney elemanlarının içerisinde en yüksek dayanım değerini veren deney elemanı olarak kayıtlara geçmiştir. NPWb600-1 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 36 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb600-2 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 36 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb600 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması ile NPWb500 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması karşılaştırıldığında; NPWb600 deney elemanlarının 3 kN daha fazla maksimum ortalama yük değerine sahip olduğu görülmektedir.

700 mm bant genişliğinde üretilen NPWb700 deney elemanından üç tekrar yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde istenilen tuğla ezilmesi ile göçme modeline ulaşılmıştır. Deney elemanlarının hiçbirinde derz kayması problemi yaşanmamıştır. NPWb700-3 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 58 kN maksimum yük taşıyarak, 700 mm bant genişliğine sahip deney elemanlarının içerisinde en yüksek dayanım değerini veren deney elemanı olarak kayıtlara geçmiştir. NPWb700-1 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 42 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb700-2 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 40 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb600 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması ile NPWb700 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması karşılaştırıldığında; NPWb700 deney elemanlarının 10 kN daha fazla maksimum ortalama yük değerine sahip olduğu görülmektedir.

800 mm bant genişliğinde üretilen NPWb800 deney elemanından üç tekrar yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde istenilen tuğla ezilmesi ile göçme modeline ulaşılmıştır. Deney elemanlarının hiçbirinde derz kayması problemi yaşanmamıştır. NPWb800-1 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 65 kN maksimum yük taşıyarak, 800 mm bant genişliğine sahip deney elemanlarının içerisinde en yüksek dayanım değerini veren deney elemanı olarak kayıtlara geçmiştir. NPWb800-2 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 33 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb800-3 deney elemanı, tuğla ezilmesi göçme durumu ile 54 kN maksimum yük değerine ulaşmıştır. NPWb700 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması ile NPWb800 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması karşılaştırıldığında; NPWb800 deney elemanlarının 4 kN daha fazla maksimum ortalama yük değerine sahip olduğu görülmektedir. NPWb800-2 deney elemanını oluşturan tuğlaların imalatı sırasında içten yanmış oldukları fark edilmiştir. NPWb800 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalamasının düşük çıkması ve NPWb700 deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalaması ile arasındaki farkın bu kadar az olmasının sebebi olarak bu gösterilebilir. Eğer böyle bir sorun yaşanmamış olsaydı, bu farkın daha fazla olacağı açıktır.

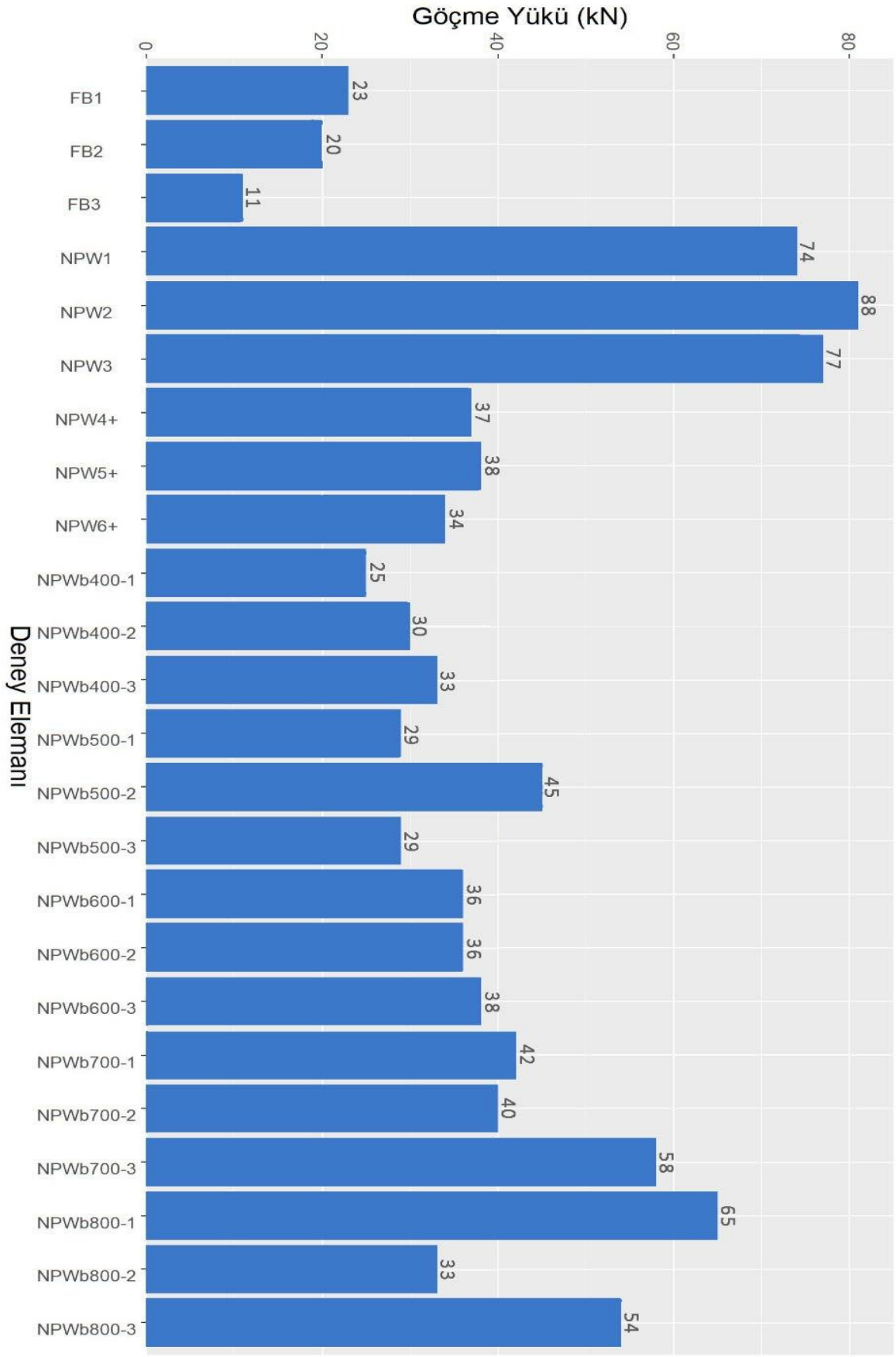
Çizelge 4.2. incelendiğinde, artan diyagonal bant genişliklerindeki deney elemanlarında deney elemanlarının taşıdığı maksimum yüklerin ortalamasının artmakta olduğu görülmektedir. Fakat, tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak, tam duvar şeklinde oluşturulan NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanları, deney

çerçevesinin içine yerleştirildiklerinde çerçevenin sağında ve soluna dayandıkları için yatayda birbirine paralel olan yüksek dayanımlı harçtan oluşan uzun derzlerin doğrudan yük aktardığı görülmüştür. Tam duvar şeklinde oluşturulmalarından dolayı bu derzler yatayda ve düşeyde tuğlaların arasında sıkışık oldukları için burkulma, kırılma gibi durumlar söz konusu olmamıştır. Bu durumun yatayda dayanımı arttırdığı fark edilmiştir. Bariz bir şekilde yüksek çıkan bu dayanımlar NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanları ile diğer deney elemanlarının kıyaslanıp, yorumlanabilmesinde tutarsızlık oluşturmuştur. Bu sebeple kum- çimento harcı kullanılarak tam duvar şeklinde oluşturulan NPW+ tasarımı ile yeni referans deney elemanları tez çalışmasına eklenmiştir.

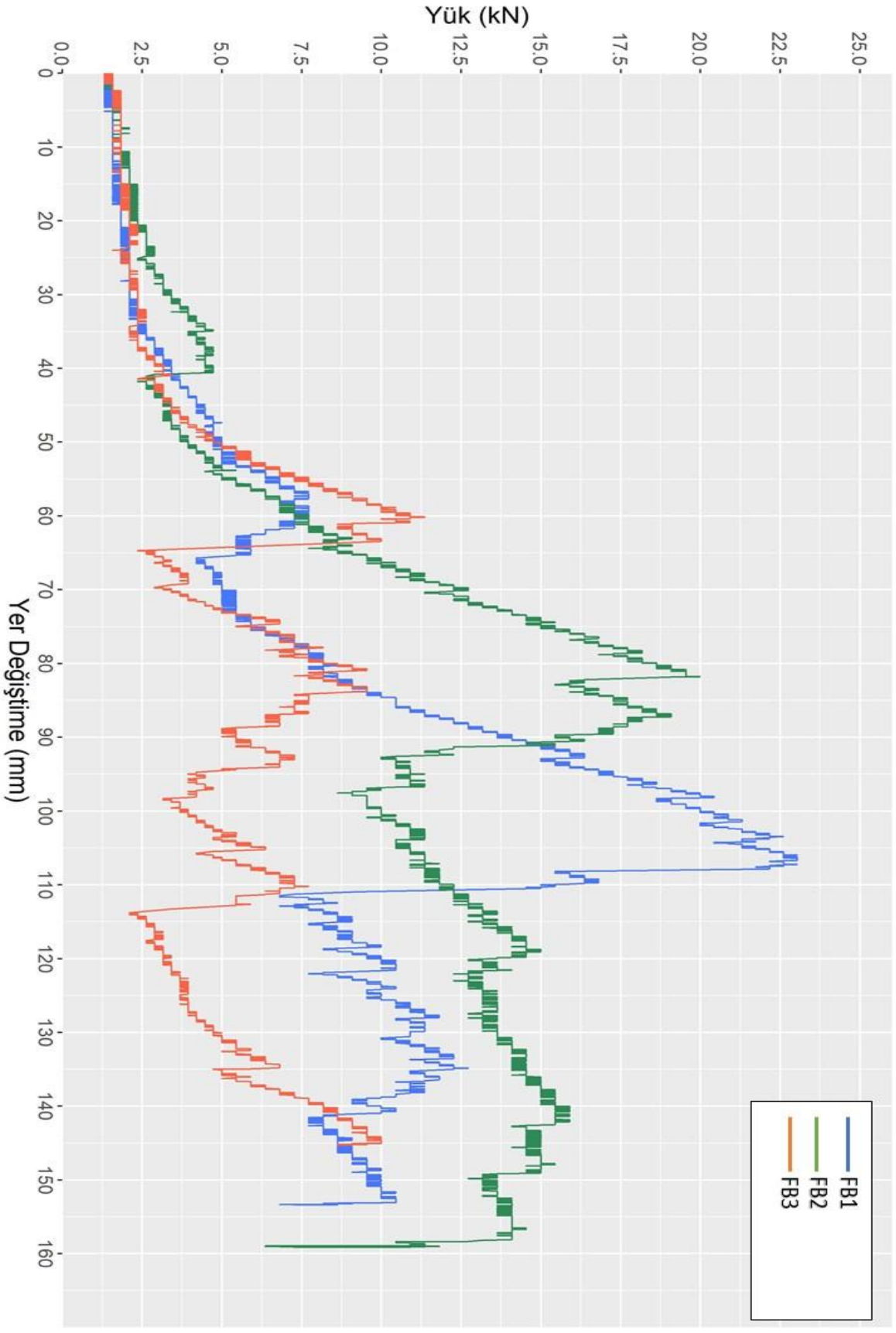
Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ve yüksek lisans tez çalışmasında belirtilen tespitler sonucunda, eşdeğer diyagonal bant genişliğinin 650 mm ile 750 mm arasında; 700 mm civarında olduğu tespit edilmiştir.

4.3.'te tüm deney elemanlarının göçme yüklerine göre sıralanmasına ait çubuk grafik verilmiştir.

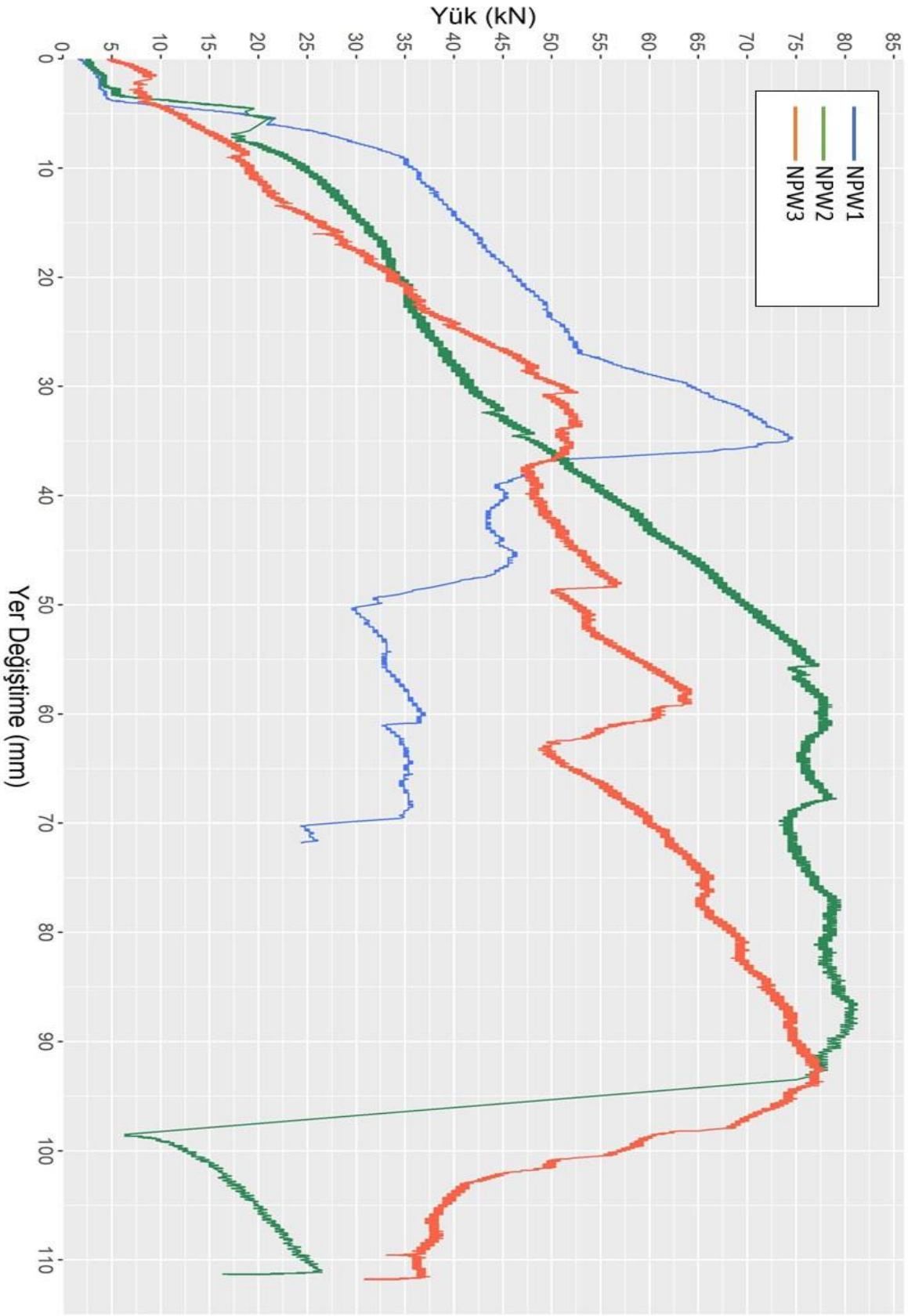
Şekil 4.4. ile Şekil 4.11. arasındaki grafiklerde ise, aynı bant genişliğindeki veya aynı tip deney elemanlarına ait, yük- yer değiştirme eğrileri çakıştırılmış halde gösterilmiştir. Çakıştırılmış eğrilere bakıldığı zaman, aynı tasarım içinde bile bazı duvarların özdeşlerinden daha kısa sürede, daha az deformasyona uğradığını; bazılarının ise daha uzun sürede, daha fazla deformasyona uğrayarak göçme yüküne ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda yük-yer değiştirme eğrilerinin daha geniş genliğe sahip olan deney elemanlarının kabaca daha sünek ve daha dar genliğe sahip olan deney elemanlarının daha rijit olduğu kanısına varılmıştır.



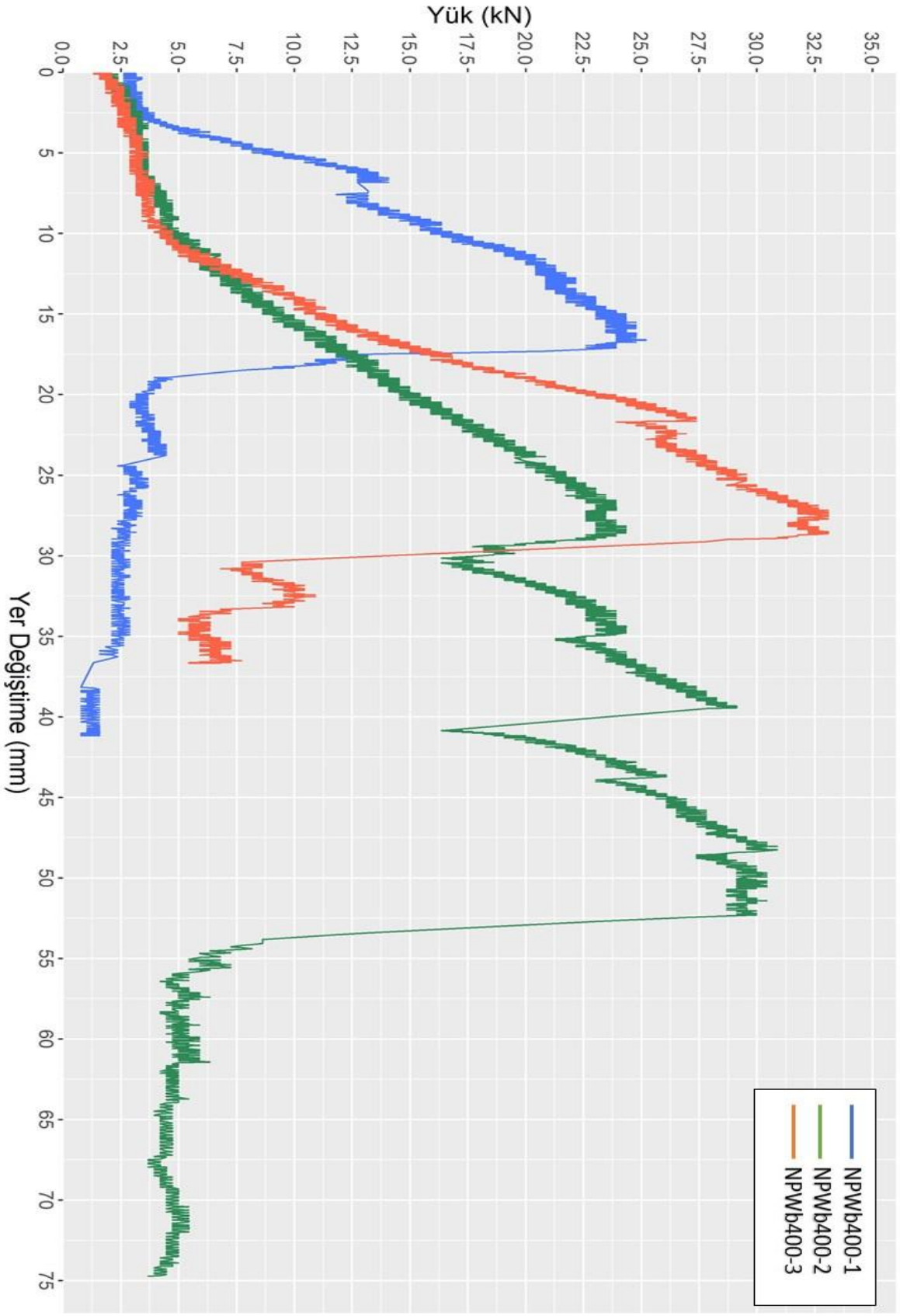

Şekil 4.3. Deney elemanlarının göçme yüküne göre dizilmesi



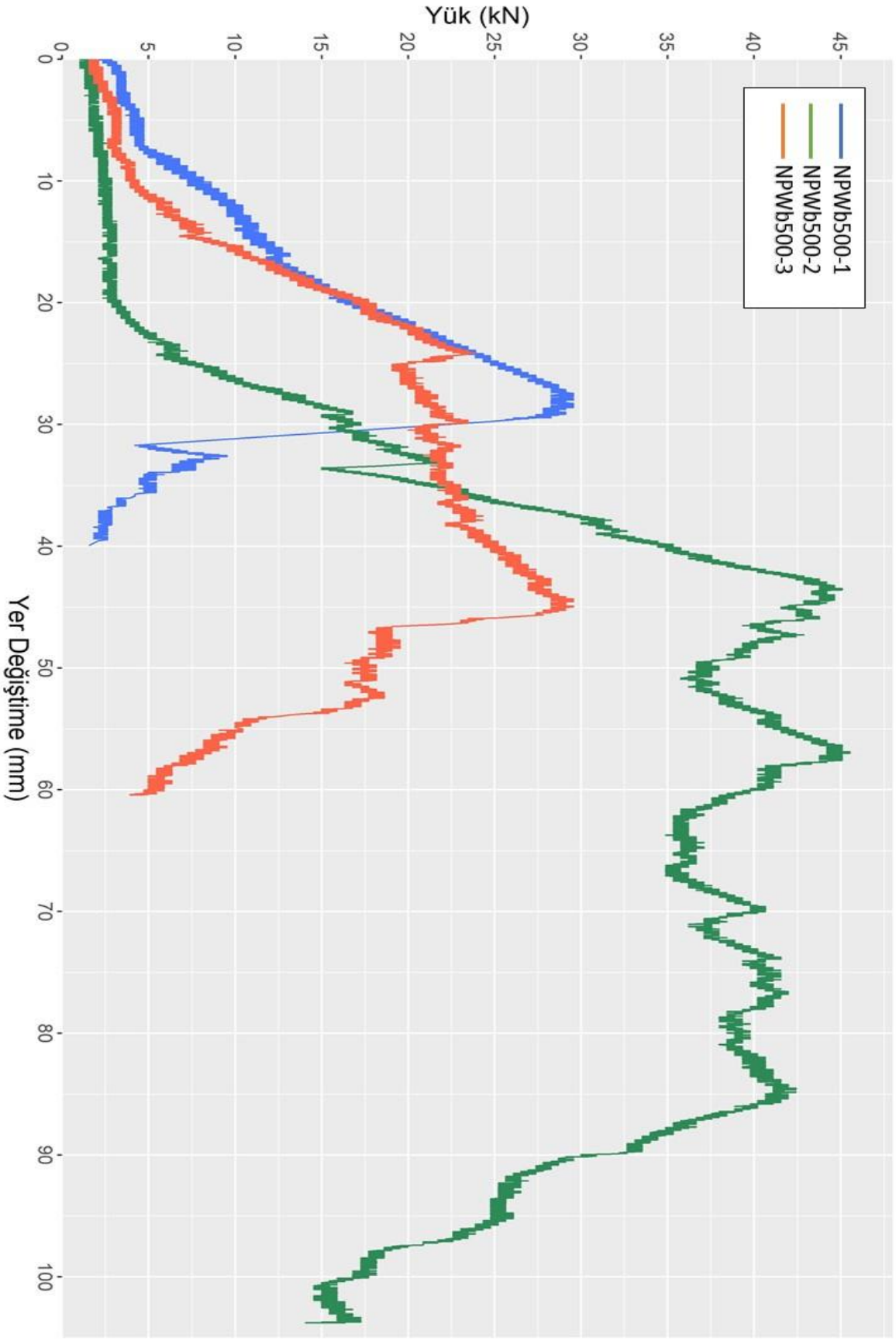

Şekil 4.4. FB tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri



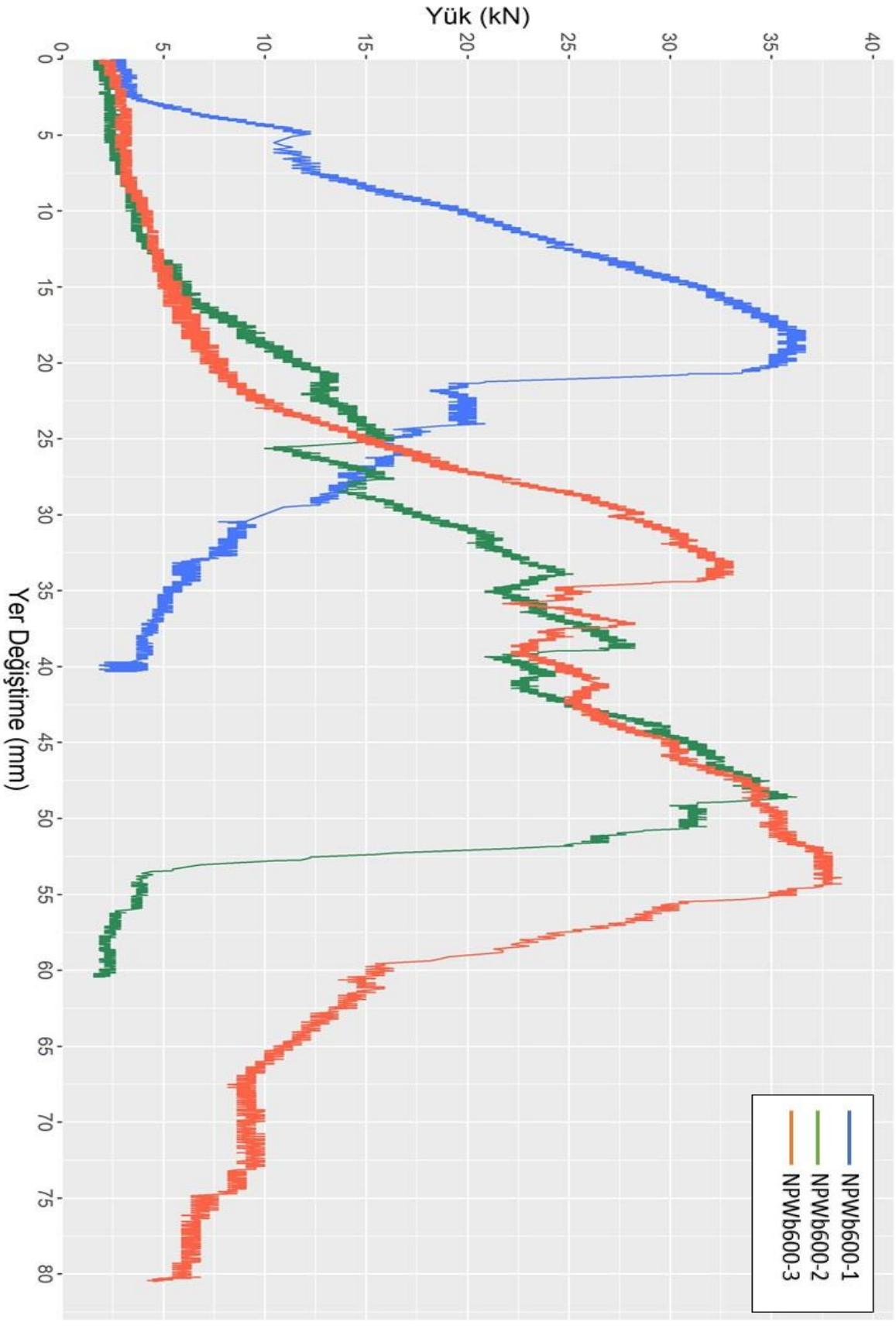

Şekil 4.5. NPW tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri



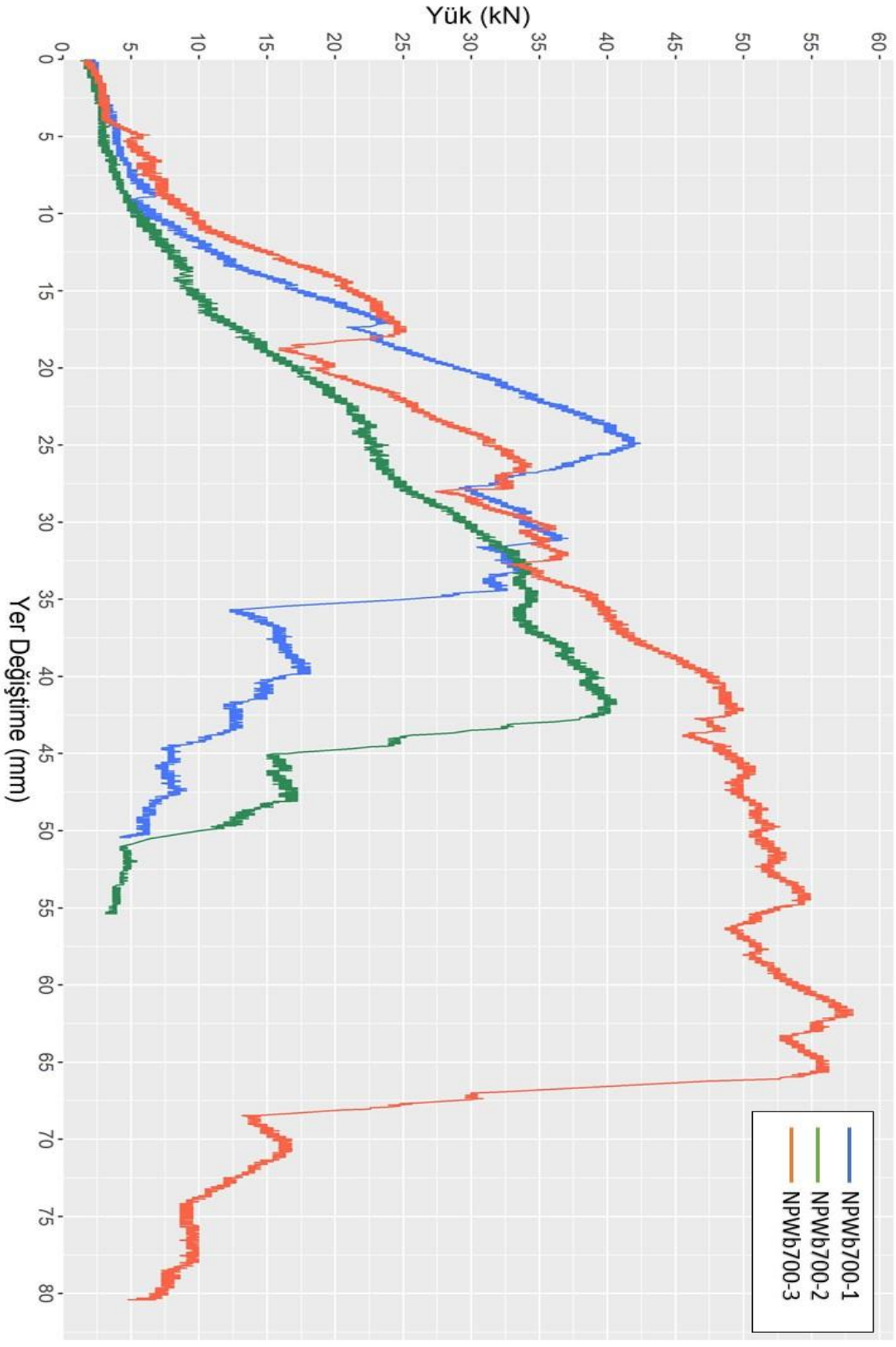

Şekil 4.6. NPWb400 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri



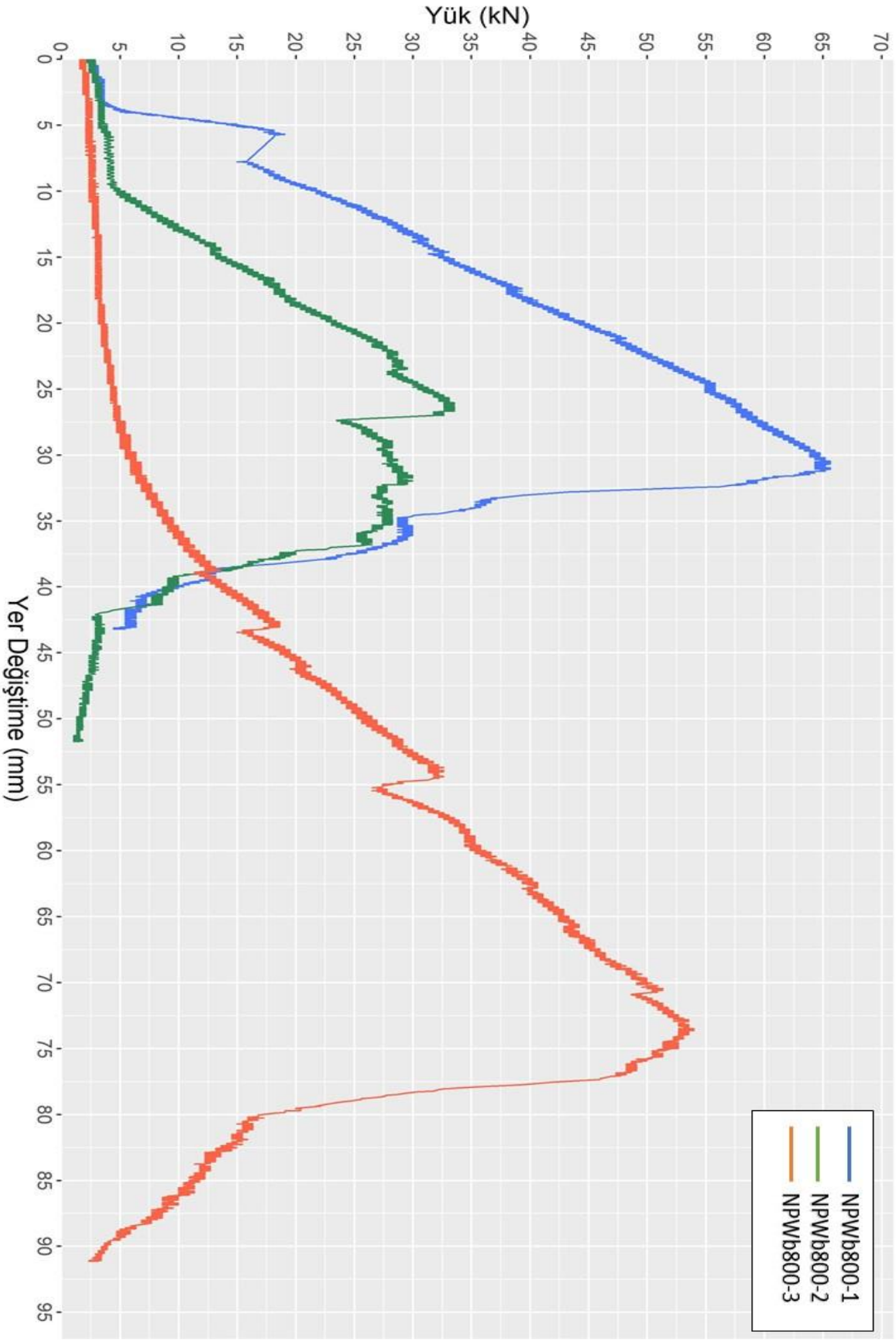

Şekil 4.7. NPWb500 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri



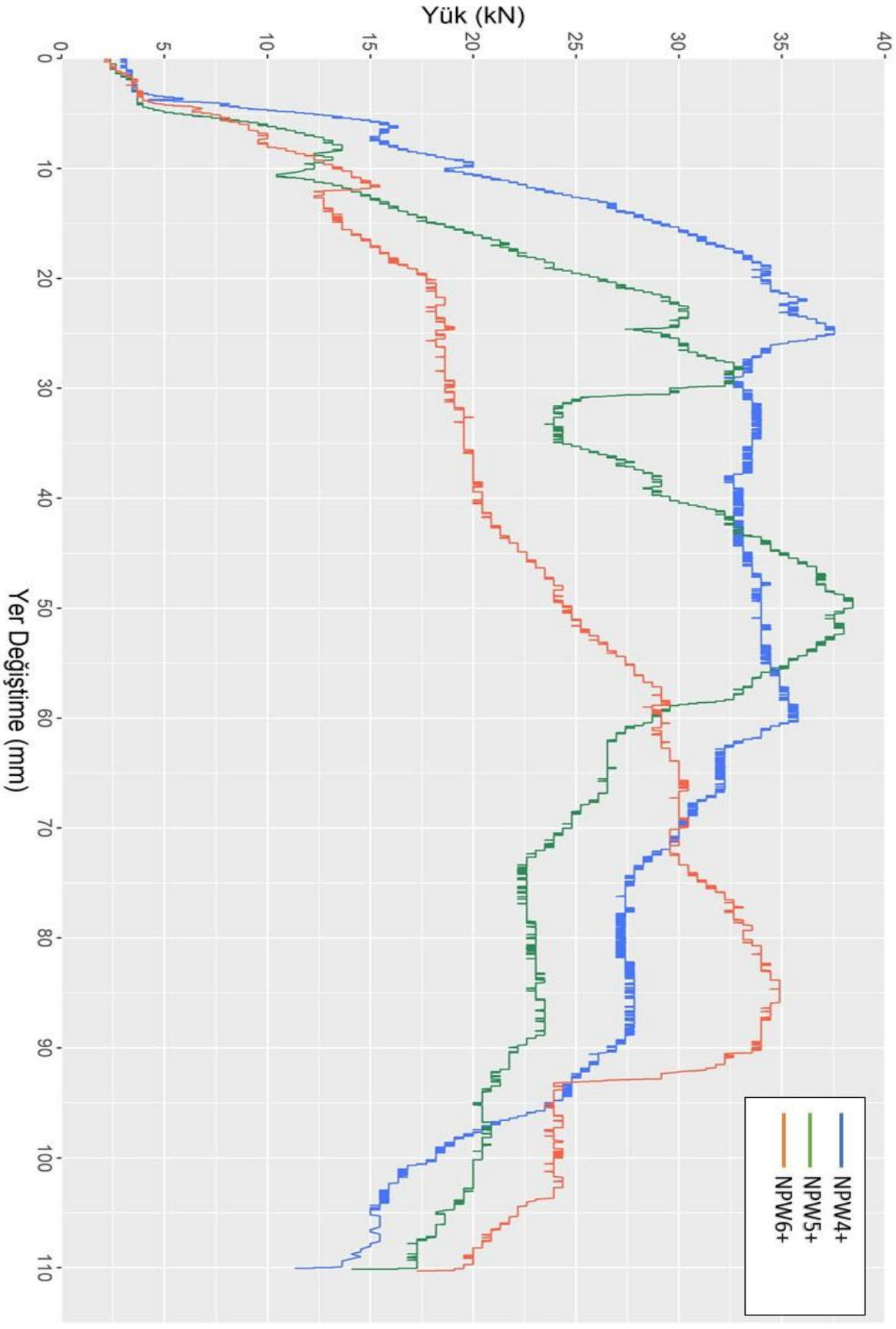

Şekil 4.8. NPWb600 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri




Şekil 4.9. NPWb700 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri




Şekil 4.10. NPWb800 tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğrileri

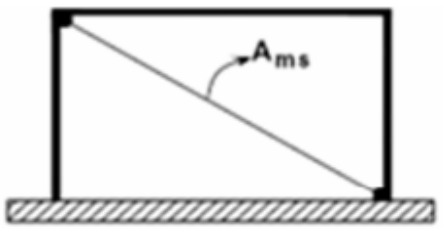



Şekil 4.11. NPW+ tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarının çakıştırılmış yük- yer değiştirme eğriler

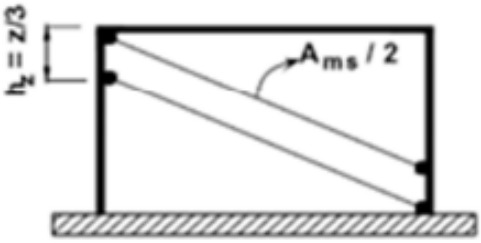
# 5. ANALİTİK YÖNTEM

## 5.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli (Makro-Model)

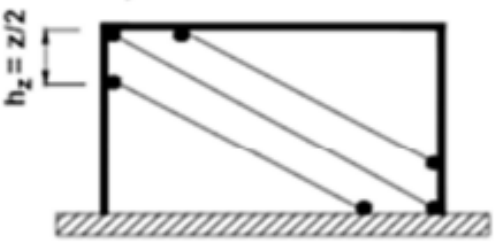
Dolgu duvarların, eşdeğer basınç çubuğu modeli oluşturmak için modellenmesinde 1-diyagonal basınç çubuğu, 2- diyagonal basınç çubuğu, 3- diyagonal basınç çubuğu ya da benzer şekilde daha fazla sayıda diyagonal basınç çubuğu kullanılabilir [33]. Literatürde dolgu duvarlar ile ilgili birçok analitik model olmasına rağmen, nümerik bir modelin karar verilmesine yönelik ilkeler bulunmamaktadır [34]. Geçmişte bazı araştırmacılar 1-diyagonal basınç çubuğu modelini dolgu duvarların modellenmesinde benimsemiştir [35, 36, 37, 38]. Bununla birlikte, dolgu duvarın onu çevreleyen çerçeveye olan temas yüzeyinde oluşan yersel etkiler 1- diyagonal basınç çubuğu modelini benimseyen çalışmalarda tam olarak yer edinememiştir [33]. Bu yüzden çeşitli araştırmacılar tarafından 2- diyagonal basınç çubuğu ve 3- diyagonal basınç çubuğu ya da daha fazla sayıda diyagonal basınç çubuğu modellerini kapsayan makro-modeller araştırılmış ve sunulmuştur [34, 35, 36]. Çalışmaların daha da karışık bir hal almasına rağmen, makro-modeller, yersel etkileri belirtebilme kabiliyetleri ve çerçeve davranışının daha kapsamlı açıklayabilmeleri sebebiyle önemlidir [37, 38].




1-Diyagonal Basınç Çubuğu Modeli




2-Diyagonal Basınç Çubuğu Modeli




3-Diyagonal Basınç Çubuğu Modeli

Şekil 5.1. Geliştirilmiş üç farklı diyagonal basınç çubuğu modeli [39]

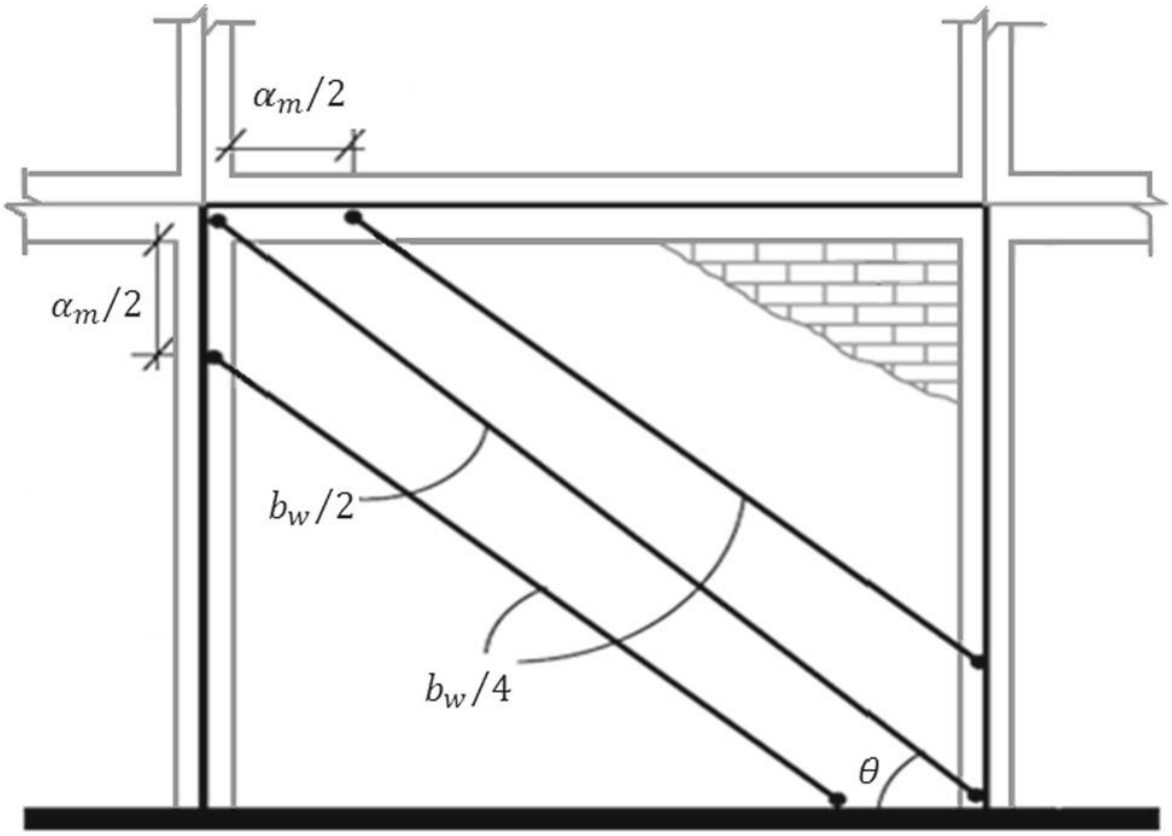
Eşdeğer basınç çubuğu modelinde, kapsamlı bir şekilde açıklanabilen çerçeve davranışına bağlı olarak artan yük seviyelerinde çerçevenin şeklinde meydana gelen deformasyonlardan dolayı dolgu duvar ile onu çevreleyen çerçeve arasında oluşan etkileşim arada çekme direnci olmadığı için yok olmaya başlar. [22] Bu durumda kuvvet aktarımları yalnızca temas yüzeyleri boyunca aktarılıp, gerilmeler yine bu yüzeylerde fazlalaşır. Şekil 5.2. ve Şekil 5.3. ‘de bu durumlar aktarılmıştır.

Yatay yük arttıkça çerçeve ve dolgu panel arasındaki temas basmaya çalışan köşelerle sınırlı kalır ve bu bölge eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenir [40]. Çubuk modelinde yatay olarak yüklenen köşe ile karşı çapraz köşeyi birleştiren bir çubuk elemanı çerçeve sistemine eklenerek dolgu duvar tarafından oluşturulan basma çubuğunun direnci idealize edilir [22].

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, dolgu duvarlar için analitik modeller geliştirmek için önerilen makro-modeller içinden 1- ve 3- diyagonal basınç çubuğu modelinden yararlanılmıştır. Dolgu duvarların modellenmesindeki en önemli parametrelerden birincisi basınç çubuğu genişliğidir. 3- diyagonal basınç çubuğu modelindeki çalışmalarda, merkezi diyagonal basınç çubuğunun genişliği, toplam basınç çubuğu genişliğinin yarısı olarak belirtilmektedir. Dış basınç çubuklarının genişliği ise, toplam basınç çubuğu genişliğinin çeyreği olarak düşünülmektedir. Şekil 5.2.’de bu durum aktarılmıştır. Bunlara ek olarak 3-diyagonal basınç çubuğu modelinde, eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun yeri de ikinci anahtar parametre olmaktadır [33]. Dolgu duvar ile kolon arasındaki düşey temas uzunluğu Şekil 5.2.’de gösteriliği gibi $\alpha_m$ olarak anılır. $\alpha_m$’ye karar vermek için geliştirilen formül aşağıda sunulmuştur [41, 42].

$$\alpha_m = \frac{\pi}{2}\sqrt[4]{\frac{4E_c I_c H_w}{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}} \tag{5.1}$$

Burada $E_c$ ve $I_c$ sırasıyla, Young Modülü ve kolonun atalet momentidir. $E_w$, $t_w$ *ve* $H_w$ ise sırasıyla Young modülü, dolgu duvarın kalınlığı ve yüksekliğidir. $\theta$ ise eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan eğimidir. Dolgu duvar ile kirişin temas halinde olduğu yatay uzunluk ve dolgu duvar ile kolonun temas halinde olduğu düşey uzunluk aynı olarak düşünülmüştür [42].




Şekil 5.2. Dolgu duvarlarda 3- diyagonal basınç çubuğu modelinin detayları [41]

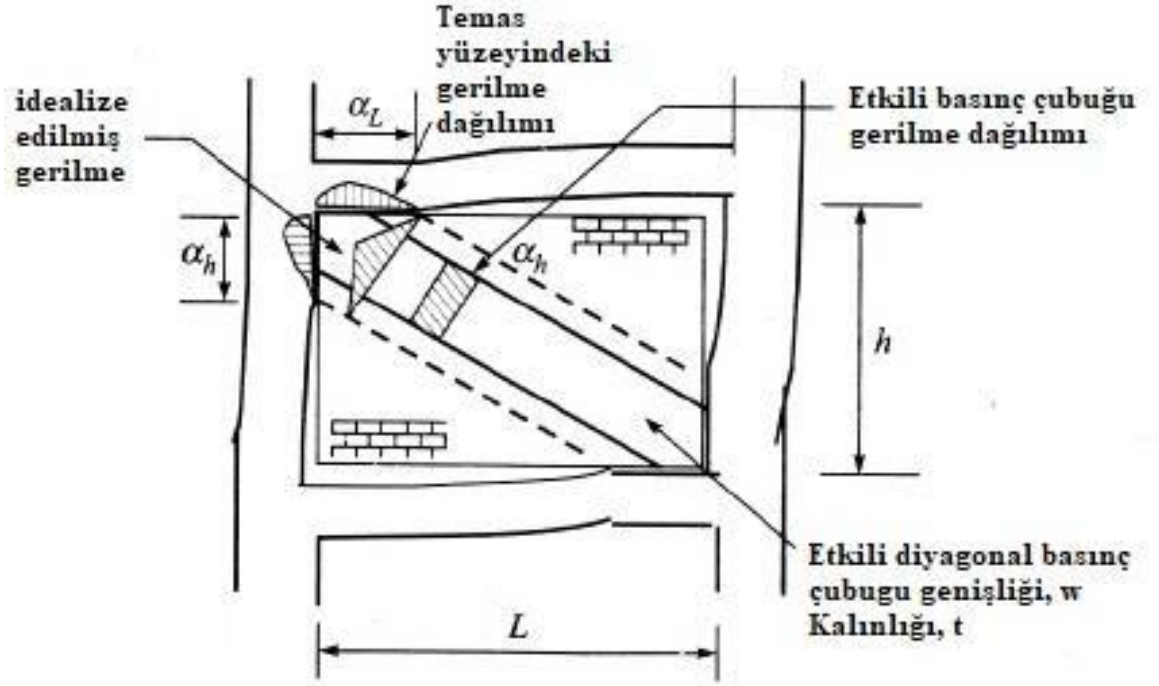
## 5.2. Eşdeğer Basınç Çubuğuna Karar Verme

Makro-modelde, bir veya birkaç diyagonal basınç çubuğu elemanı her dolgu duvar için uygulanır. Mallick ve Severn'in [43] çalışmasında, 1958 yılında Polyakov'un [44] ilk defa bu konu üzerine düşündüğü ve yatay yük altındaki içerisinde dolgu duvar bulunan çerçeveler yerine eşdeğer diyagonal basınç çubuğu önerisinde bulunduğu bulunmaktadır. Daha sonra Holmes, [9] dolgu duvarların, sonlarında mafsal bağlantısı bulunan ve aynı malzeme özelliklerine sahip olan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile değiştirmeyi önermiştir. Böylelikle diyagonal elemanların genişliği üçüncü önemli parametre olarak tanımlanmıştır. Daha sonra Smith ve Carter, [16] dolgu çerçevesinin rijitlik parametresi $\lambda$ ile diyagonal basınç çubuğunun genişliği arasında teorik bir bağıntı olduğunu önermiştir. Bu durum belirli dolgu duvarlarda basınç çubuğu genişliğinin efektif genişliğinin sürekli değerde olmadığını ve efektif genişliğin yük artışı ile azaldığını açığa çıkarmıştır. Duvarlarda eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin gelişme sürecinde alternatif çalışmalardan, Mainstone ve Weeks, [45] ve Mainstone [46] çerçeve esnekliği ile dolgu duvarı ilişkilendirmiştir. Analitik ve

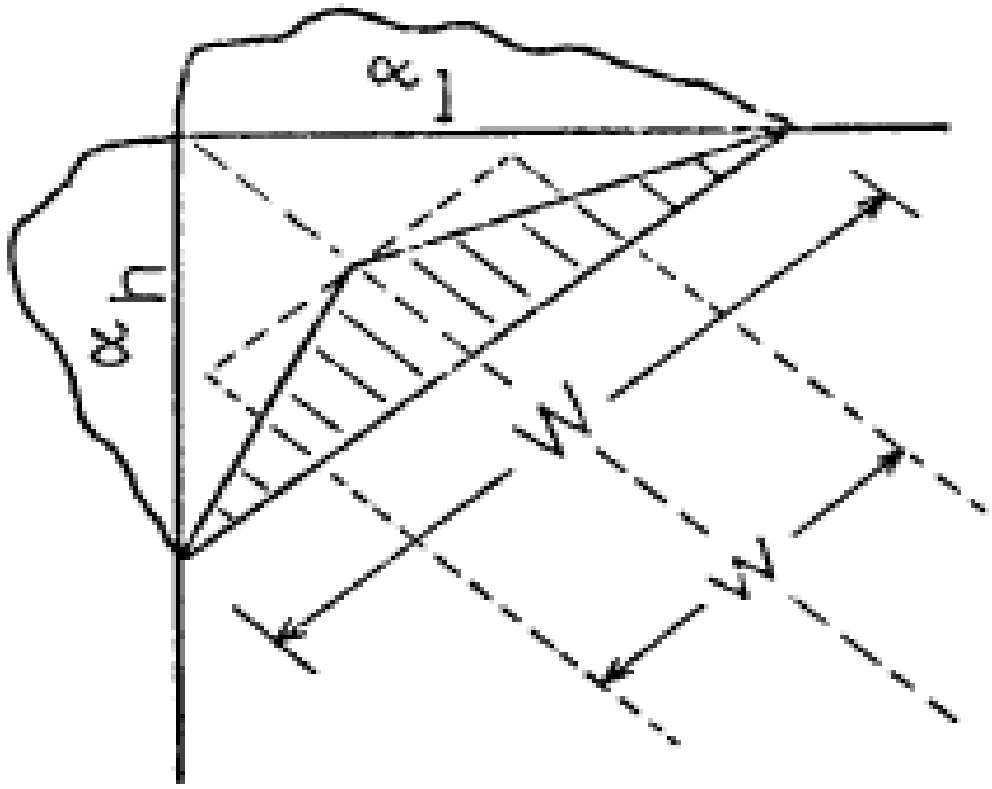
deneysel verilere dayanarak, eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesaplanmasına yönelik bir ilişki önermişlerdir. Abdul- Kadir'in [47] çalışmasına göre, basınç çubuğu genişliği aslında sadece komşu kolonların etkisi altında olmayıp, üst kirişten de etkilenmektedir. $\lambda$ parametresinin iki farklı faktör olan $\lambda_T$ ve $\lambda_P$ 'ye bölünmesi ile, komşu kolon ile üst kirişi alakalandırılır ve eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin $b_w$ 'nin iki farklı faktör olan $\lambda_T$ ve $\lambda_P$ 'ye bağlı olan bir fonksiyon hazırlanmıştır. Bir diğer numerik model, Klinger ve Bertero [48] tarafından sunulan, yapılan laboratuvar testlerine göre, eşdeğer basınç çubuğunun genişliği $b_w$ için, rijitlik parametresinin $\lambda_H$ bir fonkisyonu şeklinde ifade etmiştir. Paulay ve Priestley, [42] makul bir şekilde ölçülü bir $b_w$ değeri için diyagonal uzunluğunun dörtte biri olacak şekilde dolgulu çerçevenin elastik periyoduna karar vermedeki makul olunmasına katkı sağlar. Daha sonra Duranni ve Luo, [49] kapsamlı bir nümerik sonlu elemanlar analizi yöneterek, m katsayısını dahil ederek çerçeve geometrisinin etkilerine yönelik yeni bir formül sunmuştur. Papia ve arkadaşları, [50] basınç çubuğunun boyunun yalnızca içinde yer aldığı çerçevenin yanal rijitliğine bağlı olmadığını, betonarme elemanların eksenel rijitliklerine de bağlı olduğunu öne sürmüştür. Eşdeğer çubuk genişliği, duvarın elastisite modülü, diyagonalin eğim açısı ve Poisson oranı düşünülerek formüle edilmiştir. Tüm bu araştırmacıların dışında, FEMA 306, [51] eşdeğer basınç çubuğu genişliği $b_w$ için, diyagonal uzunluğu ve çerçeve içindeki dolgu duvarın kalınlığı ile sunulan bir denklem geliştirmiştir. Sonuç olarak eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği Çizelge 5.1.'de gösterildiği üzere çeşitli formüller ile elde edilebilmektedir.

Çizelge 5.1. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun genişliğini hesaplamak için geliştirilmiş farklı denklemler [33]

| Araştırmacı | Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğunun Hesaplanmasında Kullanılan Formül |
|---|---|
| Holmes [9] | $b_w = \frac{1}{3}d$ |
| Smith ve Carter [16] | $b_w = 0.58\left(\frac{1}{H_w}\right)^{-0.445}(\lambda_h H)^{0.335d\left(\frac{1}{H_w}\right)^{0.064}}$<br>$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_c H_w}}$ |
| Mainstone ve Weeks [45]<br>Mainstone [46] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H)^{-0.4}$ |
| Abdul-Kadir [47] | $b_w = \frac{\pi}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_T}\right)^2 + \left(\frac{1}{2\lambda_p}\right)^2}$<br>$\lambda_p = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_p H_w}}$<br>$\lambda_T = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_T H_w}}$ |
| Klingner ve Bertero [48] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H_w)^{-0.4}$ |
| Paulay ve Priestley [42] | $b_w = 0.25d$ |
| Duranni ve Luo [49] | $b_w = \gamma\sqrt{L^2 + H^2}\sin(2\theta)$<br>$\gamma = 0.32\sqrt{\sin(2\theta)}\left(\frac{E_w t_w H^4}{m I_c E_c H_w}\right)^{-0.1}$<br>$m = 6\left(1 + \frac{6E_c I_b H}{\pi E_c I_c L}\right)$ |
| Papia ve arkadaşları [50] | $b_w = d\frac{c}{z}\frac{1}{(\lambda^*)^\beta}$<br>$c = 0.249 - 0.0116\nu + 0.567\nu^2$<br>$\beta = 0.146 + 0.0073\nu + 0.126\nu^2$<br>$\lambda^* = \frac{E_w}{E_p}\frac{tH}{A_C}\left(\frac{H^2}{L^2} + 0.25\frac{A_c}{A_b}\frac{L}{H}\right)$<br>$1 \le z \le 1.125$ |
| FEMA 306 [51] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H)^{-0.4}$ |




Şekil 5.3. Yatay yük etkisi altında dolgu duvarda oluşan basınç bölgesi ve dolgu duvarları temsil eden eşdeğer sanal çapraz çubuk [47]




Şekil 5.4. Etkili diyagonal basınç çubuğu genişliği “w”, idealize edilmiş gerilme genişliği “W” [47]

Şekil 5.3.'e göre; $w = \frac{1}{2} W$ (5.2.)

Etkili genişlik $w = \frac{1}{2}\sqrt{(\alpha_L^2 + \alpha_h^2)}$ (5.3.)

Kolon temas uzunluğu $\alpha_h = \frac{\pi}{2\lambda_h}$ (5.4.)

Kiriş temas uzunluğu $\alpha_L = \frac{\pi}{\lambda_L}$ (5.5.)

Kolonun dolgu elemanı ile arasındaki göreceli rijitliğini ifade eden parametre

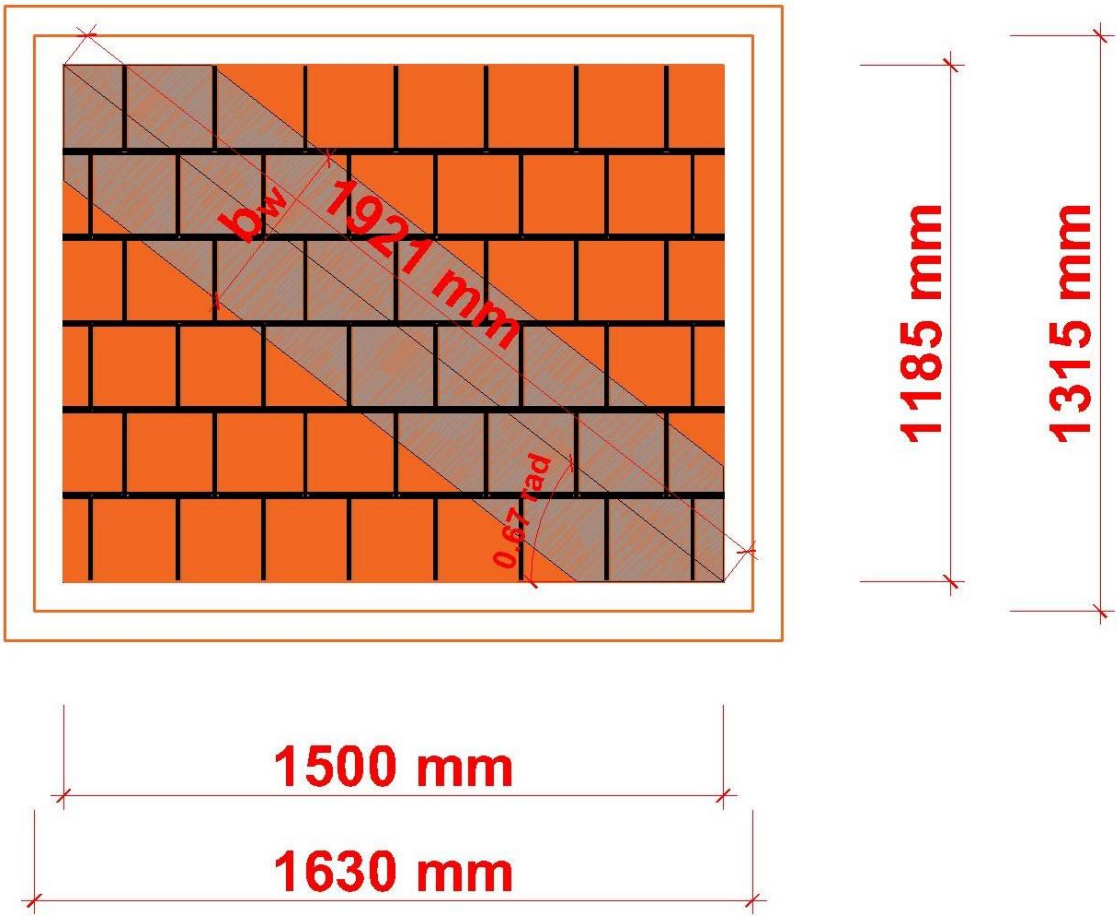
$$\lambda_h = \left[\frac{E_m\, t\, sin2\theta}{4\, E_c\, I_c\, h}\right]^{1/4} \quad (5.6.)$$

Kirişin dolgu elemanı ile arasındaki göreceli rijitliğini ifade eden parametre

$$\lambda_L = \left[\frac{E_m\, t\, sin2\theta}{4\, E_L\, I_L\, h}\right]^{1/4} \quad (5.7.)$$

## 5.3. NPW ve NPW+ Deney Elemanı Tasarımlarında Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğu Genişliğinin Hesaplanması

Aralarındaki tek farkın tuğla derzlerinde kullanılan harcın türü olan NPW ve NPW+ tasarımlarına ait duvar parametreleri aşağıda belirtilmiştir. NPW tasarımında yüksek dayanımlı harç, NPW+ tasarımında ise kum- çimento harcı kullanılmıştır. Formüllerde kullanılacak olan aşağıdaki parametreler, boyutsal parametreler olup, kullanılan tuğla dolgu malzemesinin ve çelik çerçevenin özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla tuğla derzlerinde farklı harç kullanılmış olması bu formüllerin kapsamında eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğini etkilememektedir.




Şekil 5.5. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun hesaplanması için gerekli parametrelerin deney çerçevesi içerisindeki deney elemanı üzerinde gösterimi

Şekil 5.5.'ten alınan değerler doğrultusunda;

a) Kirişlerin eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği
$h_{col}$ = 1315 mm

b) Dolgu duvarın yüksekliği
$h_{inf}$ = 1185 mm

c) Deney Çerçevesinin beklenen elastisite modülü
Deney çerçevesini meydana getiren çelik profillerin elastisite modülü seçilmiştir.

$E_{fe}$ = 210 000 MPa

d) Dolgu duvarın beklenen elastisite modülü
Dolgu duvarı meydana getiren tuğlaların elastisite modülü TBDY'de [4] "Boşluklu Fabrika Tuğlası" şekline yer alan elasitisite modülü seçilmiştir.

$E_{me}$ = 2000 MPa

a) Kolonun atalet momenti

Kolonlar 2 tane UPE160 çelik profilden meydana gelmektedir. Çelik profil abakları kullanılarak UPE160 için $I_y$ = 911,1 $cm^4$ olarak belirtilmiştir.

$I_{col}$ = 18 222 000 $mm^4$

b) Kirişin atelet momenti

Kirişler 2 tane UPE160 çelik profilden meydana gelmektedir. Çelik profil abakları kullanılarak UPE160 için $I_y$ = 911,1 $cm^4$ olarak belirtilmiştir.

$I_{beam}$ = 18 222 000 $mm^4$

c) Dolgu duvarın genişliği

$L_{inf}$ = 1500 mm

d) Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu

$r_{inf}$ = 1921 mm

e) Dolgu duvarın ve eşdeğer diyagonalin kalınlığı

$t_{inf}$ = 85 mm

f) Dolgu duvarın diyagonalinin yatay ile yaptığı açı

$\theta$ = 0,67 (radyan)

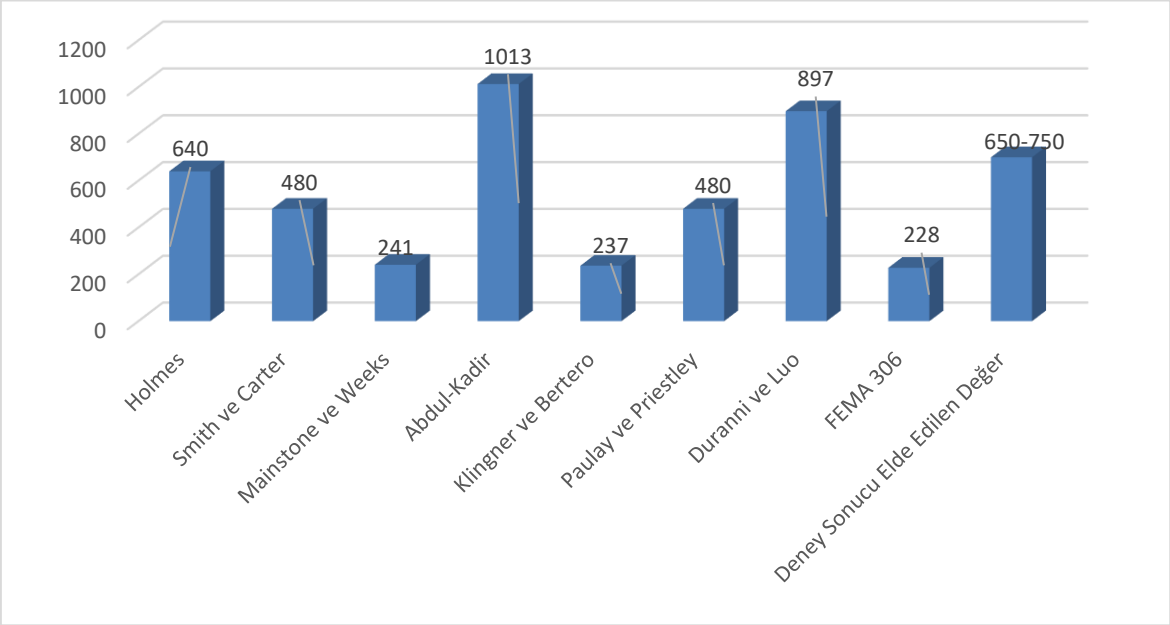
Çizelge 5.1.'de sırası ile araştırmacıların ortaya çıkarmış oldukları formüller ile eşdeğer diyagonal basınç çubuğuna ait değerler Çizelge 5.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. NPW ve NPW+ tasarımları için farklı yaklaşımlarla hesaplanan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişlikleri

| Araştırmacı | Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğunun Hesaplanmasında Kullanılan Formül | Hesaplanan Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğu Genişlikleri (mm) |
|---|---|---|
| Holmes [9] | $b_w = \frac{1}{3}d$ | $b_w$ = 1921/3 = 640 mm |
| Smith ve Carter [16] | $b_w = 0.58\left(\frac{1}{H_w}\right)^{-0.445}(\lambda_h H)^{0.335d\left(\frac{1}{H_w}\right)^{0.064}}$<br>$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_c H_w}}$<br>$b_w/d$ oranının 0,10 ile 0,25 arasında olduğu yaklaşımı | 0,10*1921=192 mm<br>0,25*1921=480 mm<br>$b_w$ = 192 mm - 480 mm |

Çizelge 5.2. (devam) NPW ve NPW+ tasarımları için farklı yaklaşımlarla hesaplanan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişlikleri

| | | |
|---|---|---|
| Mainstone ve Weeks [45] Mainstone [46] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H)^{-0.4}$ | $b_w$ = 241 mm |
| Abdul-Kadir [47] | $b_w = \frac{\pi}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_T}\right)^2 + \left(\frac{1}{2\lambda_p}\right)^2}$<br>$\lambda_p = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_p H_w}}$<br>$\lambda_T = \sqrt[4]{\frac{E_w \cdot t_w \sin(2\theta)}{4E_c I_T H_w}}$ | $b_w$ = 1013 mm |
| Klingner ve Bertero [48] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H_w)^{-0.4}$ | $b_w$ = 237 mm |
| Paulay ve Priestley [42] | $b_w = 0.25d$ | $b_w$=0,25*1921=480 mm |
| Duranni ve Luo [49] | $b_w = \gamma\sqrt{L^2 + H^2}\sin(2\theta)$<br>$\gamma = 0.32\sqrt{\sin(2\theta)}\left(\frac{E_w t_w H^4}{m I_c E_c H_w}\right)^{-0.1}$<br>$m = 6\left(1 + \frac{6E_c I_b H}{\pi E_c I_c L}\right)$ | $b_w$ = 897 mm |
| Papia ve arkadaşları [50] | $b_w = d\frac{c}{z}\frac{1}{(\lambda^*)^\beta}$<br>$c = 0.249 - 0.0116\nu + 0.567\nu^2$<br>$\beta = 0.146 + 0.0073\nu + 0.126\nu^2$<br>$\lambda^* = \frac{E_w}{E_p}\frac{tH}{A_C}\left(\frac{H^2}{L^2} + 0.25\frac{A_c}{A_b}\frac{L}{H}\right)$<br>$1 \le z \le 1.125$ | -- |
| FEMA 306 [51] | $b_w = 0.175d\,(\lambda_h H)^{-0.4}$ | $b_w$ = 228 mm |




Şekil 5.6. Farklı araştırmacıların çalışmaları sonucu ortaya çıkan formüller kullanılarak hesaplanan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin (bw), deneyler esnasında oluşan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliklerinden elde edilen değer ile karşılaştırılması

Yapılan deneyler, diyagonal basınç çubuğunun 650 mm ile 750 mm arasında 700 mm civarında olacağına işaret etmiştir. Şekil 5.6.'da yer alan farklı çalışmalar kıyaslandığında Holmes, savunduğu "eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği, diyagonal uzunluğunun 1/3'ü olarak kabul edilebilir" yaklaşımı ile deney sonuçlarına 640 mm ile en fazla yaklaşan olmuştur. Diğerleri ile karşılaştırıldığında formülün çözümü daha kolaydır. Bu sebeple tavsiye edilebilir olarak düşünülmüştür.

Bu bölümde dokuz farklı araştırmacının sonuçlarına yer verilmiştir fakat, Papia ve arkadaşlarının [50] çalışmaları sonucu elde ettikleri formüldeki parametrelerin belirlenmesi, bu yüksek lisans çalışması kapsamının dışında kaldığı için herhangi bir eşdeğer diyagonal basınç çubuğu o çalışmadan tespit edilememiştir. Bu durumda sekiz farklı araştırmacının yaklaşımı ile deney sonucunda elde edilen eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişlikleri aynı şekilde yer alabilmiş ve kıyaslanabilmiştir.

Dolgu duvarlar yapısal elemanların dışında kategorize edildikleri için gerekli önemi görememektedirler. Önemli görülmeyen dolgu duvarların sahada imalat usullerine yönelik bir metot ve denetim yapılmak yerine, ustanın tecrübesine güvenilmektedir. Ucu açık bırakılmış, şansa dayalı bu durum, kullanılacak tuğlanın durumu, tuğla derzlerinde kullanılacak harcın çeşidi gibi bu yüksek lisans tez çalışmasında karşılaşılıp, önemsenip, üzerinde durulan ve raporlanan durumlarla göz önüne serilmiştir. Seçilen tuğlaların ne kadar önemli olduğunu deney sonucunda göçme yükünün aynı kategorideki bir önceki diğer deney elemanı ile kıyaslandığında ortaya çıkan fark ile ortaya koyulan NPWb800-2 deney elemanında, kullanılan tuğlalardan bazılarının deney esnasında kırılmaları sonucu içten yanmış oldukları görülmüştür. Tuğla derzlerinde kullanılacak harcın çeşidinin önemi ise bu çalışmadan daha önce yapılan yüksek lisans tez çalışmasında [32] tuğla derzlerinde kum-çimento harcı kullanılmasına bağlı olarak deney elemanlarının göçme modelinin derz kayması şeklinde olup yük kaybı yaşanması ile ortaya koyulmuştur. Bu durumun önüne geçip istenilen göçme modeli olan tuğla ezilmesine bu çalışmada tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak başarılı bir şekilde geçilmiştir, hiçbir deney elemanında derz kayması problemi yaşanmamıştır. Ayrıca tuğla derz aralarında yüksek dayanımlı harç kullanımının NPW tasarımı ile oluşturulan deney elemanlarında dayanımı kıyaslanabilecek seviyenin dışında kalacak şekilde arttırmıştır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğini yukarıdaki formülleri kullanarak hesaplarken, dolgu duvarın yalnızca tuğladan meydana geldiği varsayımı yapılarak, tuğlanın elastisite modülü değeri için, TBDY'deki [4] boşluklu fabrika tuğlası olarak belirtilen $E_{me}$ = 2000 MPa değeri kabul edilmiştir. Oysa bu tez çalışmasındaki dolgu duvarlar tuğla ve derz aralarında harç bulunan kompozit yapıdadır. Meydana geldiği tuğlanın halihazırda karmaşık yapıda olduğu bir sistemin davranışının tuğladan daha da karmaşık olduğu açıktır ve bu durum modelleme ve analitik yaklaşımlarda gerçeği yansıtmanın sınırlı kalmasına neden olmaktadır.

### 5.4. NPW ve NPW+ Tasarımlarının Dayanım Hesabı

Dolgu duvarların dayanım kapasitelerini anlamak karmaşıktır. Bunun için duvarlarda meydana gelen potansiyel çatlama ve hasar alma düzenini analiz ederek, duvarların göçme modelleri hakkında yorum yapabilmek gerekir [51].

FEMA 306'da [51] dolgu duvarlar için dört farklı göçme modeline yer verilmiştir.

Kayma Kesmesi Göçme Modeli

Mohr-Coulomb göçme kriteri, duvarın ilk kayma kesmesi kapasitesini incelemek için kullanılır.

Ezilme Göçmesi

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun ezilme göçmesi için Stafford-Smith ve Carter'in [16] önerdiği metodun geliştirilmiş bir versiyonu kullanılabilir. Kesme kuvveti, (diyagonal basınç çubuğunun kapasitesinin yatay öğesi) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$V_{duvar} = a_{duvar}\ t_{duvar}\ f_{y\ duvar} \cos\theta \qquad (5.8.)$$

Bu formülde, $a_{duvar}$,; eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği, $t_{duvar}$; dolgu kalınlığı, $f_{y\ duvar}$; dolgunun yatay doğrultudaki beklenen dayanımı olup, beklenen yığma dayanımının %50'si olarak alınabilir.

Diyagonal Gerilme Göçmesi

Saneinejad ve Hobbs'un [52] geliştirdiği dolgunun kırılma kesmesi kullanılmaktadır.

Genel Kesme Göçmesi

FEMA 273'de [53] yer alan önerilere dayandığı gibi, Paulay ve Priestley'in [42] bahsettiği dolgu tarafından taşınan kesmenin ilk ve son dağılımları hesaplanmaktadır.

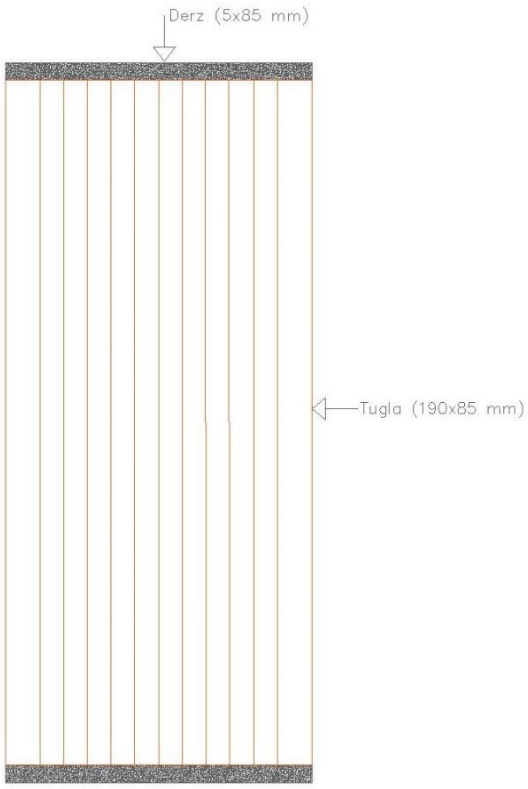
Dolgu Duvarın Güçlendirme Etkisi

Dolgular, tuğla veya beton farketmez ikisi de, güçlendirilirse, panelin kesme dayanımı yükselmelidir. Güçlendirmenin kesme talebi ile ilgili hükümler, ACI 318-95'de [54] yer almaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda tüm deney elemanlarının göçme modeli "tuğla ezilmesi" şeklinde gerçekleştiğinden dolayı dayanım hesaplamasında Ezilme Göçmesi şartında yer alan $V_{duvar} = a_{duvar}\ t_{duvar} f_{y\ duvar} \cos\theta$ formülü kullanılmıştır.

Yapılan tuğla basınç testlerinden 2 doğrultusundan elde edilen dayanım değeri olan 2,43 MPa değerleri kullanılacaktır. Deney çerçevesi içinde deney elemanlarının şekline bakıldığında, kesilerek ya da tam bir şekilde fark etmeden tuğlaların tümünün delikli yüzünün yatay konumlandığı fark edilmektedir. Bu durumda tuğlaların hiçbirine tuğla basınç testlerindeki 1 ve 3 doğrultularında bir yük tesiri bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasındaki duvarların tuğla derzlerinde harç kullanılmıştır. Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı ve kum-çimento harcı kullanılmıştır. Bu sebeple, $f_{y\ duvar}$ değeri hesaplanırken tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı tamir harcı kullanılan deney elemanları ile kum-çimento harcı kullanılan deney elemanları için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır.

Tuğla dayanımlarından, deliklere dik uzun doğrultudaki 2,43 MPa, $f_k$ değeri kullanılmıştır. Tuğla modülü tuğla ve derzlerinde kullanılan harçtan ibarettir. $f_{y\ duvar}$ değeri hesaplanırken daha önce yapılmış çalışmadaki [55] yöntem kullanılmıştır.




Şekil 5.7. Tuğla Modülü

Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı yapısal tamir harcı kullanılarak oluşturulan deney elemanları için bir tuğla modülünün taşıyabileceği yük, tuğlanın taşıdığı yük (tuğla alanı x 2,43 MPa) ile çevresindeki derzin taşıyabileceği yükün (derz alanı x 50,36 MPa) toplamına eşit, yani 82,04 kN olarak hesaplanmıştır. Bu yük değerinin, tuğla modülü toplam alanına bölünmesiyle $f_{\text{y duvar}}$ değeri için kullanılabilecek eş değer dayanım değeri olan 4,82 MPa hesaplanmıştır.

Tuğla derzlerinde kum-çimento harcı kullanılarak oluşturulan deney elemanları için bir tuğla modülünün taşıyabileceği yük, tuğlanın taşıdığı yük (tuğla alanı x 2,43 MPa) ile çevresindeki derzin taşıyabileceği yükün (derz alanı x 7,18 MPa) toplamına eşit, yani 6,10 kN olarak hesaplanmıştır. Bu yük değerinin, tuğla modülü toplam alanına bölünmesiyle $f_{\text{y duvar}}$ değeri için kullanılabilecek eş değer dayanım değeri olan 2,67 MPa hesaplanmıştır.

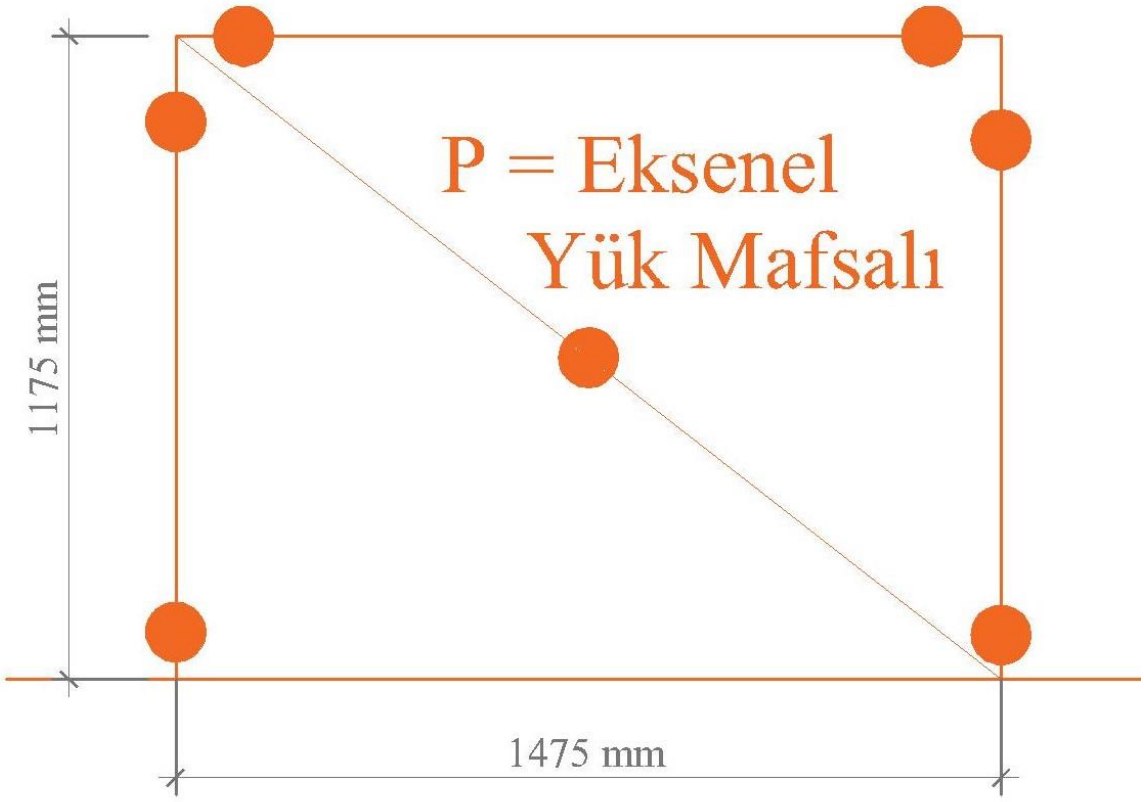
Dolgu duvar dayanımı Ezilme Göçmesi kısmında verilen formül ile bulunacaktır. NPW deney elemanları için geçerli olan parametreler $a_{duvar}$ = 228 mm, $tduvar$ = 85 mm, $fyduvar$ = 4,82 MPa, $\theta$ = 0,67 radyan yerlerine koyulduğunda, duvarın dayanım kuvvetinin 62,58 kN olduğu bulunmaktadır.

NPW+ deney elemanları için geçerli olan parametreler $a_{duvar}$ = 228 mm, $tduvar$ = 85 mm, $fy\ duvar$ = 2,67 MPa, $\theta$ = 0,67 radyan yerlerine koyulduğunda, duvarın dayanım kuvvetinin 34,66 kN olduğu bulunmaktadır.

Çizelge 4.2. incelendiğinde NPW1 deney elemanın 74 kN, NPW2 deney elemanının 81 kN, NPW3 deney elemanının 77 kN' değerlerinde göçmeye uğradığı ve ortalama göçme yükü değerinin 77 kN olduğu görülmektedir. NPW4+ deney elemanının 37 kN, NPW5+ deney elemanının 38 kN ve NPW6+ deney elemanının 34 kN değerinde göçmeye uğradığı ve ortalama göçme yükü değerinin 36 kN olduğu görülmektedir. Tuğla derz aralarında yüksek dayanımlı harç kullanılarak oluşturulan NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının ortalama göçme yükü değeri 77 kN ile 62,58 kN olarak hesaplanan duvarın taşıdığı yatay kuvvet kıyaslandığında aradaki farkın, yüksek dayanımlı harç kullanımına bağlı yük artışının yarattığı tutarsızlığı ortaya koyduğu görülmektedir. Daha tutarlı bir sonuç

elde edebilmek için tez çalışmasına sonradan dahil edilen tuğla derzlerinde kum- çimento harcı kullanılarak oluşturulan NPW+ tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının ortalama göçme yükü olan 36 kN ile 34,66 kN olarak hesaplanan duvarın taşıdığı yatay kuvvet kıyaslandığında ise bu iki değerin arasındaki farkın makul karşılanabilecek seviyede olduğu görülmektedir. Tuğla derzlerinde yüksek dayanımlı harç yerine kum- çimento harcının tercih edilerek sonradan eklenen NPW+ tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanları deney sonuçlarının tutarlı olmasını sağladığı görülmüştür. Tuğla derzlerinde kullanılan yüksek dayanımlı harcın varlığı ile NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının deney çerçevesinin içine yerleştirildiklerinde çerçevenin sağında ve soluna dayandıkları için yatayda birbirine paralel olan yüksek dayanımlı harçtan oluşan uzun derzlerin doğrudan yük aktardığı görülmüştür. Tam duvar şeklinde oluşturulmalarından dolayı bu derzler yatayda ve düşeyde tuğlaların arasında sıkışık oldukları için burkulma, kırılma gibi durumlar söz konusu olmamıştır. Bu durumun yatayda dayanımı arttırdığı fark edilmiştir. Dolayısıyla deney sonucunda elde edilen yük değeri ile hesaplanan yük değeri arasında bu kadar büyük farkın çıkması normaldir. Fakat tam duvar şeklinde yüksek dayanımlı harç kullanılarak oluşturulan NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının, izah edilen sebeplere bağlı, artan yük taşıma kapasitesi bu deney elemanlarını diğer deney elemanları ile kıyaslanabilecek seviyeden çıkartmıştır, tutarlı ve gerçekçi yorumların yapılabilmesine engel olmaktadır. Bir önceki deney çalışmasında kum- çimento harcı kullanılarak, tam duvar şeklinde oluşturulduktan sonra bir de duvar yüzeyinde alçı sıva uygulaması bulunan PW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının dayanımları 6 ton ile 7 ton arasında çıkmıştır [32]. Bu çalışmadaki duvar yüzeyinde herhangi bir sıva uygulaması bulunmayan NPW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanlarının daha düşük olması beklenen ortalama dayanımı ise 7,5 tonun üzerinde çıkmıştır. Bu sebeple deney sonuçlarının kıyaslabilirliği sağlanıp, çalışmanın tutarlılığı amaçlanarak, tam duvar şeklinde, kum- çimento harcı kullanılarak oluşturulan NPW+ tasarımı deney kapsamına alınmıştır. NPW+ tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanları ile PW tasarımı ile oluşturulan referans deney elemanları kıyaslandığında ise sonucun beklenen şekilde daha düşük çıkmış olması ise duvar yüzeyinde alçı sıva uygulamasının dayanıma olan etkisini ortaya koymuştur. Deney elemanlarının sıvasız olarak oluşturulması, gerçekteki uygulamalarda sıvasız duvar kabul edilmeyeceği için yalnızca deneysel çalışma kapsamında laboratuvar şartlarında kabul edilmiştir ve araştırma konusu kapsamında ele alınmıştır.

Yapılan çalışmada deney numuneleri sıvasız dolgu duvarlardan oluşmakta olduğu için mafsal modelinin tanımlanmasında sıvasız dolgu duvar özellikleri üzerinden işlem yapılmalıdır. Bu değerler ile SAP2000 gibi bilgisayar destekli modelleme ve analiz programlarında dolgu duvarların, basınç çubuğu olarak atanıp, modellemesi yapılabilmektedir.




Şekil 5.8. Deney çerçevesinin ve dolgu duvarın SAP2000 modeli [56]

# 6. SONUÇ

Bu çalışmada yapılan deneyler ile eşdeğer diyagonal çubuk genişliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tuğla dolgu duvar olarak 8 farklı grup ve ½ ölçeğe sahip, her grupta 3 özdeş deney elemanı bulunan bu çalışmada 24 deney elemanının tek düze yatay yük tesirinde deneyleri yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tuğlada homojenlik ve izotropi yakalamanın aynı parti ve imalattaki tuğlalarda dahi mümkün olmadığı basınç deneyi sonuçlarından hesaplanan %45 varyasyon katsayısı ile açıklanmıştır. Bu nedenle aynı gruptaki duvar deneylerinde de dayanım ve davranış özdeş olmamıştır.
- Tuğlaların deney çerçevesine serbest olarak yerleştirilmesiyle oluşturulan deney elemanlarının yük aktarım mekanizması incelendiğinde, eşdeğer diyagonal bant oluşumu görülmemiş, boşa çıkması beklenen tuğlaların yük aktarımına katkıda bulunduğu gözlenmiştir.
- NPWb400 grubu ile NPWb500 grubunun bant genişlikleri arasında %25'lik artış, dayanım değerinde %17'lik artışa sebep olduğu gözlenmiştir. NPWb500 grubu ile NPWb600 grubunun bant genişlikleri arasında %20'lik artış, dayanım değerinde %8'lik artışa sebep olduğu gözlenmiştir. NPWb600 grubu ile NPWb700 grubunun bant genişlikleri arasında %16'lık artış, dayanım değerinde %27'lik artışa sebep olduğu gözlenmiştir. NPWb700 grubu ile NPWb800 grubunun bant genişlikleri arasında %14'lük artış, dayanım değerinde %8'lik artışa sebep olduğu gözlenmiştir.
- NPW grubundan elde edilen dayanım değerlerinin ortalamasının, NPW+ grubundan elde edilen dayanım değerlerinin ortalamasının 2,1 katı daha yüksek olmasının nedeni tuğla derzlerinde kullanılan harcın NPW grubunda yüksek dayanımlı harç, NPW+ grubunda kum- çimento harcı olmasıdır. Yüksek dayanımlı harca ve kum- çimento harcına ait küp numunelerinden elde edilen basınç dayanım değerleri arasında 7 kat fark gözlenmiştir.
- NPW+ grubundan elde edilen ortalama dayanım değeri ile, çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan gruplar kıyaslandığında, 400 mm bant genişliğinde olanlar ile 1,2 kat, 500 mm bant genişliğinde olanlar ile 1,05 kat, 600 mm bant genişliğinde olanlar ile 0,97 kat,

700 mm bant genişliğinde olanlar ile 0,76 kat, 800 mm bant genişliğinde olanlar ile 0,70 kat farklar görülmüştür. Bu durum tam duvar şeklinde oluşturulan NPW+ grubundaki referans deney elemanlarında eşdeğer diyagonal çubuk genişliği yaklaşık 600 mm olarak yorumlanmıştır.

- Geleneksel harç ve çimento ile hazırlanan referans deney elemanlarının deney sonucunda dayanım değerlerinin ortalama 36 kN olduğu görülmüştür. Bu değerlerin çeşitli bant genişliklerinde oluşturulan deney elemanları ile kıyaslandığında 600 mm bant genişliğine sahip diyagonal duvar elemanlarından elde edilen dayanım değerleri ile yakınlaştığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak NPW+ grubundaki deney elemanlarında eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği 600 mm olarak yorumlanmıştır.
- NPW ve NPW+ gruplarında ölçülen eşdeğer diyagonal bant genişlikleri ve dayanım değerlerinin NPWb400, NPWb500, NPWb600, NPWb700 ve NPWb800 gruplarındaki dayanım değerlerinin kıyaslanması sonucunda bu ölçekte oluşturulan tuğla dolgu duvar elemanlarında tek düze yatay yük tesirinde oluşacak eşdeğer diyagonal bant genişliğinin 600 mm ila 750 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. Deneysel metotlarla bulunan bu eşdeğer diyagonal bant genişliğinin yanında, analitik metotlarla farklı araştırmacıların çalışmaları baz alınarak hesaplanan eşdeğer diyagonal bant genişliklerine yer verilmiştir. Deneysel metotlarla tespit edilen 600 mm ila 750 mm arasındaki değere, diğer tüm formüllerden hem çok daha basit bir şekilde hesaplanıp, hem de en yakın değer olan 640 mm değerini veren Holmes'in geliştirdiği, "eşdeğer diyagonal bant genişliği, duvar diyagonal uzunluğunun 1/3'üne yaklaşık eşittir yaklaşımı" en kullanışlı olarak kabul edilmiştir.

# KAYNAKLAR


1. Sevil, T., Baran, M., Canbay, E. (Haziran, 2010). Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçeveli Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar. *International Journal of Engineering Research and Development,* 2(2), 35-42.

2. Bayülke, N. (2003). Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 85-98.

3. El-Dakhakhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., and Elgaaly, M. (2006). Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites. *Composite Structures*, *73*(4), 458-477.

4. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. 18 Mart 2018 tarih, 30364 Sayılı Resmi Gazete.

5. Ghassan Al-Chaar, (1998). Non-Ductile Behavior of Reinforced Concrete Frames With Masonry Infill Panels Subjected to In-Plane Loading. *USACERL Technical Manuscript 99/18.*

6. Polyakov, S. V. (1960). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. *Translations in Earthquake Engineering, 2*(3), 36-42.

7. Benjamin, J. R., and Williams, H. A. (1958). The behavior of one-story brick shear walls. *Journal of The Structural Division*, *84*(4), 1-30.

8. Holmes, M. (1961). *Steel frames with brickwork and concrete infilling*. Proceedings of the Institution of civil Engineers, 19(4), 473-478.

9. Holmes, M. (1963). Combined loading on infilled frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 25(1), 31-38.*

10. Smith, B. S. (1962). *Lateral stiffness of infilled frames*. Journal of the Structural Division, 88(6), 183-226.

11. Allen, D. N. D. G. (1954). *Relaxation methods in engineering and science*. New York: McGraw-Hill, 105-111.

12. Smith, B. S. (1966). *Behavior of square infilled frames*. Journal of the Structural Division, 92(1), 381-404.

13. Issa, M. A. (1998). *Structural Evaluation Procedures for Heavy Wood Truss Structures* Construction Engineering Research Lab Technical Report, 98/89.

*14.* Sweeney S., Al-Chaar G. (1995). *Strength of Concrete Frames with Masonry Infill.* Corps of Engineers Structural Conference.

15. Yorulmaz, M., and Sozen, M. A. (1968). *Behavior of Single-story Reinforced Roncrete Frames with Filler Walls*. University of Illinois Engineering Experiment Station. College of Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.

16. Stafford Smith, B., and Carter, C. (1969). *A method of analysis for infilled frames*. Proceedings of the institution of civil engineers, 44(1), 31-48.

17. Sweeney S., Al-Chaar G. (1995, May) *Strength of Concrete Frames with Masonry Infill*. UJNR27th Joint Meeting.

18. RJ, M. (1971). *On the stiffness and strengths of infilled frame.* Proceedings Institution of Civil Engineers, Supplement IV, 57-90.

*19.* Kaltakçı, M. Y., ve Arslan, M. H. (2005, 23-25 Mart). *Taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapı davranış katsayısına olan etkisinin incelenmesi.* Deprem Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli.

*20.* Güney, D., ve Boduroğlu, M. H. (2011). Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetrik yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı. *İTÜDERGİSİ/d*, *5*(3), *165-174.*

*21.* Dolšek, M., and Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame a probabilistic assessment. *Engineering Structures*, *30*(11), 3186-3192.

*22.* Yakut, A., Binici, B., Demirel, O.İ., Özcebe, G., (2013, 25-27 Eylül). *Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi*. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansında sunuldu, Hatay.

*23.* Meral, E., ve İnel, M. (2016). Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 468-477.

*24.* Varum, H., Furtado, A., Rodrigues, H., Dias-Oliveira, J., Vila-Pouca, N., and Arêde, A. (2017). Seismic performance of the infill masonry walls and ambient vibration tests after the Ghorka 2015, Nepal earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *15*(3), 1185-1212.

*25.* Morfidis, K., and Kostinakis, K. (2017). The role of masonry infills on the damage response of R/C buildings subjected to seismic sequences. *Engineering Structures*, *131*, 459-476.

*26.* Cavaleri, L., Di Trapani, F., Asteris, P. G. and Sarhosis, V. (2017). Influence of column shear failure on pushover based assessment of masonry infilled reinforced concrete framed structures: A case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *100*, 98-112.

*27.* Kaymak, F., ve Tuna, M. E. (2011). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 435-445.

*28.* Karasu, T. O., Erdem, R. T., Demir, A., ve Bağcı, M. (2011). Yumuşak Kat Düzensizliği Buşunan Betonarme Bir Binanın Performansının İncelenmesi- Performance Evaluation of a Reinforced Concrete Building Icluding Soft Story Irregularity. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 61-69.

*29.* Akyürek, O. (2014). *Betonarme Bina Performansına Dolgu Duvarların Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 86.

*30.* Aksoy, H. B. ve Avşar, Ö. (2015). Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisinin Basitleştirilmiş Bir Yöntemle Dikkate Alınması. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(3), *115-122.*

31. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012). *İnşaat Genel Fiyat Analizleri Kitabı.* Ankara.

*32.* Özçelik H. (2019). *Tuğla Dolgu Duvarlar İçin Eşdeğer Diyagonal Çubuk Genişliğinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

*33.* Kareem, K. M., and Güneyisi, E. M. (2019). Effect of masonry infill wall configuration and modelling approach on the behaviour of RC frame structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *44*(5), 4309-4324.

34. Crisafulli, F. J., and Carr, A. J. (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, *40*(2), 69-77.

35. Andreaus, U., Cerone, M., D'Asdia, P., Iannozzi, F. (1985*). A finite element model for the analysis of masonry structures under cyclic actions*. Proceeding of the Seventh International Brick and Masonry Conference, 1, 479–488.

36. Chrysostomou, C.Z., Gergely, P., Abel, J.F. (1992). *Nonlinear seismic response of infilled steel frames.* Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain.

*37.* Samoilă, D. M. (2012). Analytical modelling of masonry infills. *Moment*, *1000*(2), *1–10.*

38. G Asteris, P., P Giannopoulos, I., and Z Chrysostomou, C. (2012). Modeling of infilled frames with openings. *The Open Construction and Building Technology Journal*, *6*(1), *197–224.*

*39.* Crisafulli, F. J., Carr, A. J., and Park, R. (2000). Analytical modelling of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, *33*(1), 30-47.

40. Calvi, G. M., Bolognini, D., and Penna, A. (2004). *Seismic performance of masonry-infilled RC frames: benefits of slight reinforcements*. Invited lecture to "Sísmica, 6, 14-16.

41. Kaushik, H. B., Rai, D. C., and Jain, S. K. (2008, October). *A rational approach to analytical modeling of masonry infills in reinforced concrete frame buildings*. In The 14th World Conference on Earthquake Engineering.

42. Paulay, T., Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Wiley.

43. Mallick, D. V., and Severn, R. T. (1967). *The behaviour of infilled frames under static loading.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 38(4), 639-656.

44. Polyakov, S. V. (1956). *Masonry in framed buildings.* Godsudarstvenoe Isdatel stvo Literatury Po Stroidal stvui Architecture. Moscow. Translated by G. L. Cairns in 1963, 20-80.

45. Mainstone, R. J., and Weeks, G. A. (1970). *The influence of bounding frame on the racking stiffness and strength of brick walls*. Second International Brick Masonry Conference. Stoke-on-Trent, England, 165–171.

46. Mainstone, R. J. (1974). *Supplementary note on the stiffnesses and strengths of infilled frames*. Building Research Establishment, Building Research Station, UK, 13-74.

47. Abdul-Kadir, M.R. (1974). *The structural behaviour of masonry infill panels in framed structures*. (Doctoral dissertation, University of Edinburgh).

48. Klingner, R. E., and Bertero, V. (1977). *Infilled frames in earthquake-resistant construction* (Doctoral dissertation, University of California, Berkeley).

49. Durrani, A. J., and Luo, Y. H. (1994). Seismic retrofit of flat-slab buildings with masonry infills. *Technical Report*, National Center for Earthquake Engineering Research, 1-8.

50. Papia, M., Cavaleri, L., and Fossetti, M. (2003). Infilled frames: developments in the evaluation of the stiffening effect of infills. *Structural engineering and mechanics*, *16*(6), 675-693.

51. FEMA 306. (1998). *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*. Basic Procedures Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

52. Saneinejad, A., and Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. *Journal of Structural Engineering*, 121(4), 634-650.

53. FEMA 273. (1997). *Nehrp Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

54. ACI Committee 318. (1995). *Building code requirements for structural concrete. (ACI 318-95); and commentary (ACI 318R-95).* Farmington Hills, MI :American Concrete Institute.

55. Özbek, E., Aykaç, B., Can, H., Kalkan, İ., Aykaç, S. (2019). Delikli Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Hesabı İçin Öneriler. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Araştırma Makalesi,* 15(1), 2019, Ankara.

56. Akyürek, O., Tekeli, H., Demir, F. (2018). Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerine Etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Araştırma Makalesi,* 10(1), Ocak 2018 Kırıkkale.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler


Soyadı, adı : USLU, Alaz

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 13.09.1989, Zonguldak

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (507) 744 7289

e-mail : alazuslu@gmail.com




## Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet Tarihi |
|---|---|---|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | Devam Ediyor |
| Lisans | Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | 2012 |
| Lise | TED Zonguldak Koleji Vakfı Özel Lisesi | 2006 |

## İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|---|---|---|
| 2019-Halen | Simurg Kuş Yuvası Derneği | Yönetim Kurulu Başkanı |
| 2016-Halen | Alaz Uslu Mühendislik Proje İnşaat Bürosu | Ofis Yetkilisi |
| 2014- 2016 | 3 Renk Mimarlık Mühendislik Ltd. Şti. | Statiker İnşaat Mühendisi |
| 2013- 2014 | Aykimtaş Anadolu Yap. Kim. Ltd. Şti. | Pazarlama Mühendisi |

## Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

## Yayınlar

1. Özbek, E., Özçelik, M. H., Uslu, A. ve Aykaç, S. (2019, 4-5 Ekim). *Tuğla Dolgu Duvarlar İçin Eşdeğer Diyagonal Çubuk Genişliğinin Belirlenmesi.* 7. Yapı Mekaniği Çalıştayı, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

## Hobiler

Kuş, kelebek, doğa gözlemciliği ve fotoğrafçılığı, tiyatro, konser, kayak yapmak



*GAZİ GELECEKTİR..*