T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA DUVARLARIN DIŞTAN GÜÇLENDİRİLMESİ AMACIYLA KULLANILAN PREKAST PANEL VE ANKRAJLARIN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ORHAN GAZİ ODACIOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Orhan DOĞAN

KIRIKKALE- 2023

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA DUVARLARIN DIŞTAN GÜÇLENDİRİLMESİ AMACIYLA KULLANILAN PREKAST PANEL VE ANKRAJLARIN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ORHAN GAZİ ODACIOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Orhan DOĞAN

KIRIKKALE- 2023

KABUL-ONAY

Orhan Gazi ODACIOĞLU tarafından hazırlanan **"YIĞMA DUVARLARIN DIŞTAN GÜÇLENDİRİLMESİ AMACIYLA KULLANILAN PREKAST PANEL VE ANKRAJLARIN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA"** adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Prof. Dr. Orhan DOĞAN
İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. İlhami DEMİR
Makina Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Osman BİCAN
İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK
İnşaat Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 03/03/2023

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

……

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BİLDİRİMİ

Kırıkkale 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.

Orhan Gazi ODACIOĞLU

03/03/2023

ÖZET

YIĞMA DUVARLARIN DIŞTAN GÜÇLENDİRİLMESİ AMACIYLA KULLANILAN PREKAST PANEL VE ANKRAJLARIN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ODACIOĞLU, Orhan Gazi
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi
Danışman: Prof. Dr. Orhan DOĞAN
Mart 2023, 151 Sayfa

Yığma yapılar taş, tuğla, kerpiç, briket, ahşap gibi yapı malzemelerinin üst üste yerleştirilip bazılarında örgü harcı kullanılarak duvar, kemer, kubbe, tonoz, sütun gibi taşıyıcı elemanlar oluşturması şeklindeki yapılardan oluşmaktadır. Günümüzde Türkiye'de şehir merkezlerinde imarlaşmanın dört katın üzerinde olması nedeniyle yığma yapılar her ne kadar az tercih edilir olsa da kırsal kesimlerde hâlâ tercih edilmektedir. Ülkemizin aktif fay hatları üzerinde bulunması nedeniyle çoğunluğu geçmiş yıllarda mühendislik hizmeti almadan yapılan bu binalar depremlerde büyük oranda yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Deprem anında yaşanabilecek can ve mal kaybını en az indirmek için 2012 yılından bugüne ülkemizde kentsel dönüşüm politikası uygulanmaktadır. Ancak mevcut binaların yıkılarak yeniden yapılması hem yüksek maliyetli olması hem de süreç olarak vatandaşlar tarafından tercih edilmemesi nedeniyle bunun yerine hem daha ekonomik hem de insanları az rahatsız edici ve hızlı olması bakımından dışarıdan güçlendirme yöntemi tercih edilir olacaktır. Ancak mevcut güçlendirme yöntemleriyle bina sakinlerinin hanelerini boşaltması gerektiğinden ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı bina sakinleri güçlendirme yapmayı tercih etmemektedir. Bu nedenle, binaların daha hızlı, az rahatsız edici ve daha ekonomik bir şekilde dıştan güçlendirilmesi tercih edilir bir yöntem olacaktır.

Bu çalışmada, betonarme hatıl ve döşemeye sahip donatısız yığma bina duvarlarının dışarıdan ön üretimli panellerle yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesi konusunda bir alternatif yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Önüretimli panellerle hatıldan hatıla tutturularak duvara rijitlik ve süneklik kazandırması hedeflenen bu yöntemde panel, duvara ve hatıla sadece mekanik dübellerle tutturularak duvarın yatay kuvvetlere karşı yük aktarımının sağlanması hedeflenmektedir. Bu binaların beton kalitesi düşük olduğundan ve mekanik dübellerin düşük dayanımlı betonlarda nasıl bir performans gösterdiği tam olarak bilinmemektedir. Bu yüzden düşük ve normal dayanımlı betonlarda tercih edilen borulu cıvatalı çelik dübellerin farklı gömme derinlikleri için, kesme davranışı incelenmiştir. Daha sonra dübel sayısı ve panel kalınlığı değişken tutularak yığma duvar güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda dübellerin düşük dayanımlı betonlarda enerji tüketme kapasitesinin

arttığı, harç dayanımına sahip betonlarda (5 MPa ve altı) dübel kullanımının uygun olmadığı, maksimum efektif gömme derinliğinin 205 mm olduğu tespit edilmiştir. Güçlendirmesi yapılan 20'lik duvarlarda, duvar dayanımının ve enerji tüketme kapasitesinin arttığı, optimum dübel sayısının her bir metre duvar uzunluğu için 10 adet, optimum panel kalınlığınınsa 60 mm olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donatısız Yığma Duvar, Borulu Cıvatalı Çelik Dübel, Kesme Performansı, Önüretimli Panel, Güçlendirme, Panel Kalınlığı, Efektif Gömme Derinliği, Düşük Dayanımlı Beton, Yığma Duvar Güçlendirme

ABSTRACT

AN INVESTIGATION ON THE PERFORMANCE OF PRECAST PANELS AND ANCHORAGES USED FOR EXTERNAL STRENGTHENING OF MASONRY WALLS

ODACIOĞLU, Orhan Gazi

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Orhan DOĞAN

March 2023, 151 pages

Masonry structures consist of structures in which building materials such as stone, brick, adobe, briquette, wood are placed on top of each other and some of them are used to form carrier elements such as walls, arches, domes, vaults and columns. Although masonry buildings are less preferred, they are still preferred in rural areas due to the fact that the zoning in city centers in Turkey is over four story today. Due to the fact that our country is located on active fault lines, these buildings, most of which were built without engineering service in the past years, are in great danger of collapse in earthquakes. In order to minimize the loss of life and property during an earthquake, an urban transformation policy has been implemented in our country since 2012. However, demolishing and reconstructing existing buildings would be preferable, as it is both more costly and not preferred by the citizens as a process, instead, the method of strengthening from the outside will be preferred, as it is both more economical and less inconvenient and fast. However, the residents do not prefer to strengthening because of the high cost and the need for the residents to evacuate their houses with the existing strengthening methods. Therefore, external strengthening of buildings which is a faster, less inconvenient and more economical way would be a preferred method.

In this study, it is aimed to develop an alternative method for strengthening un-reinforced masonry building walls with reinforced concrete beams and floors against horizontal forces with external precast panels. In this method, which is aimed to provide rigidity and ductility to the wall by attaching it from the beam to the beam with precast panels, it is aimed to ensure the load transfer of the wall against the horizontal forces by attaching the panel to the wall and the beam only with mechanical anchors. Since the concrete quality of a building is low, it is not known exactly how mechanical anchors perform in low strength concrete. Therefore, the shear behavior of sleeve anchors which are preferred in low and normal strength concretes, for different embedment depths has been investigated. Then, the masonry wall reinforcement work was carried out by keeping the number of anchors and the panel thickness variable. As a result of these studies, it was determined that the

energy absorption capacity of the anchors increased in low strength concrete, the use of anchors in concretes with mortar strength (5 MPa and below) was not appropriate, and the maximum effective embedment depth was 205 mm. It has been determined that the wall strength and energy absorption capacity increase in the reinforced 20 cm walls, the optimum number of anchors is 10 for each meter of wall length, and the optimum panel thickness is 60 mm.

Keyword: Shear Performance of anchors, Precast Panel, Strengthening against earthquake, Panel Thickness, Effective Embedment Depth, Low Strength Concrete, External Strengthening of Masonry

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı meydana getirirken bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırıp sabır ve ilgiyle her anda yanımda olan, kendime her zaman örnek aldığım değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Orhan DOĞAN'a üniversite ve akademik hayatımı şekillendirirken yaptığı tüm katkıları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin başlangıcından itibaren, tüm deneylerimde yanımda olan, değerli fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR'e, Sayın Prof. Dr. Osman BİCAN'a teşekkür ederim. Doktora tez jürime katılarak değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ'e ve Sayın Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK'e teşekkür ederim

Doktoranın her aşamasında bana desteklerini sunan ve yalnız bırakmayan Sayın Öğr. Gör. Melek AKGÜL'e, Sayın Yunus GENÇ'e, Sayın Mehmet Ali KALAYLI'ya ve Sayın Fulya KALE'ye çok teşekkür ederim. Bu çalışmada deney numunelerinin oluşturulması, deneylerin yapılması sürecinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Nassirou BANDE'ye, Proje dersi öğrencilerimize ve nice ismini sayamayacağım Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Lisans öğrencilerine çok teşekkür ederim. Ayrıca her konuda yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Özer SEVİM'e, çalışma arkadaşlarıma ve Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında çelik dübel ihtiyacını karşılayan MAY DÜBEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak uzun doktora çalışmalarım sırasında beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim annem Handan ODACIOĞLU'ya, babam Tuncay ODACIOĞLU'ya ve tezde emeği bulunan kardeşim İhsaniye ODACIOĞLU'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **vi**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER DİZİNİ ..... **ix**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xii**
SİMGELER DİZİNİ ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Amaç ve Kapsam 3
1.2. Literatür Değerlemesi 6
2. YIĞMA BİNA VE GÜÇLENDİRME ELEMANLARI **20**
2.1. Yapı Malzemeleri 20
2.1.1. Tuğla 20
2.1.2. Örgü Harcı 22
2.1.3. Beton 23
2.1.4. Donatı 24
2.2. Ankraj Kesme Performansı 25
2.3. Duvar ve Güçlendirme 28
3. ANKRAJ KESME PERFORMANSININ İNCELENMESİ **35**
3.1. Deney Malzemeleri ve Karakteristik Özellikleri 36
3.1.1. Beton 36
3.1.2. Borulu Cıvatalı Çelik Dübel 38
3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması 39
3.3. Deney Yöntemi 41
3.4. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi 42
3.4.1. Göçme Türü ve Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme İlişkisi 42
3.4.2. Beton Dayanımının Kesme Dayanımına Etkisi 48
3.4.3. Gömme Derinliğinin Kesme Dayanıma Etkisi 50
4. ÖNÜRETİMLİ PANELLE GÜÇLENDİRME **53**
4.1. Deney Malzeme ve Elemanlarının Karakteristik Özellikleri 54

4.1.1. Harman Tuğlası ... 55
4.1.2. Örgü Harcı ... 62
4.1.3. Beton ... 63
4.1.4. Borulu Cıvatalı Çelik Dübel ... 64
4.1.5. Donatı ... 65
4.2. Duvarın Karakteristik Özellikleri ... 65
4.2.1. Basınç Dayanımı ... 65
4.2.2. Kesme Dayanımı ... 69
4.3. Duvar Güçlendirme Deney Numunelerinin Hazırlanması ... 72
4.3.1. Hatıl ... 72
4.3.2. Önüretimli Panel ... 73
4.3.3. Duvar ... 75
4.3.4. Deney Numunesi ... 76
4.4. Deney Düzeneği ... 80
4.5. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi ... 82
4.5.1. Yalın Duvar Numunesi ... 83
4.5.2. 50mm4A Numunesi ... 85
4.5.3. 50mm8A Numunesi ... 87
4.5.4. 50mm10A Numunesi ... 91
4.5.5. 50mm12A Numunesi ... 94
4.5.6. 35mm10A Numunesi ... 97
4.5.7. 70mm10A Numunesi ... 100
4.6. Deney Verilerinin İdealizasyonu ... 103
4.7. Maliyet Analizi ... 110
4.8. Bulgular ... 112
4.8.1. Dübel Sayısı ... 114
4.8.2. Panel Kalınlığı ... 120
4.8.3. Deformasyon ... 127
4.8.4. Deney Sonuçlarının Literatür Çalışmalarıyla Karşılaştırılması ... 129
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ... 132
5.1. Sonuçlar ... 132
5.2. Öneriler ... 136
KAYNAKLAR ... 138
ÖZGEÇMİŞ ... 150

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE Sayfa

3.1. Beton karışımı için agregaların özellikleri 36
3.2. Elek analizi sonuçları..... 37
3.3. Beton karışım oranları ve ortalama silindir basınç dayanımları..... 38
3.4. Kayma gerilmesinin maksimum olduğu noktadaki kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri..... 46
3.5. Ankrajda kesme göçmesi gözlenen numunelerin enerji tüketme kapasiteleri (Nmm)..... 47
4.1. Güçlendirilen numunelerin isimlendirmesi ve değişkenleri..... 54
4.2. Harman tuğlası numune özellikleri..... 57
4.3. Harman tuğlası basınç deneyi verileri 59
4.4. Tuğla şekil faktörüne göre standartlaştırma katsayısı 60
4.5. Eğilme deneyi tuğla boyutları ve deney sonuçları..... 61
4.6. Örgü harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları..... 63
4.7. Beton ağırlıkça karışım oranları ve basınç dayanımları 64
4.8 Duvar basınç deneyi kuvvet, yerdeğiştirme, dayanım ve elastisite modülü verileri 68
4.9. Diyagonal kesme deneyi sonuçları..... 71
4.10. Numune ebatları 76
4.11. İki doğrusal çizgi idealizasyonu sınır limitleri 106
4.12. Üç doğrusal çizgi idealizasyonu sınır limitleri..... 106
4.13. Önüretimli panel üretim ve işçilik maliyeti..... 111
4.14. Yalın duvar ve dübel sayısı değişken numunelerin enerji tüketme kapasite, rijitlik, ilk çatlama indirgeme katsayısı, maksimum dayanım, süneklik verileri..... 117
4.15. Yalın duvar ve panel kalınlığı değişken numunelerin enerji tüketme kapasite, rijitlik, ilk çatlama indirgeme katsayısı, maksimum dayanım, süneklik verileri..... 123
4.16. Yığma duvarların beton/betonarme panellerle yapılan güçlendirmeler sonucunda rijitlik, maksimum taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik değerleri..... 131

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL Sayfa

1.1. Yığma bina dışarıdan güçlendirme modeli 3

2.1. a) Ankraj kesme göçmesi, b) betonda konik göçme c) betonda köşe kopma göçmesi 26

2.2. Düzlem içi sismik yüke maruz kalan bir yığma duvarların göçme türleri: (a) kayma hasarı, (b) diyagonal kesme hasarı, (c) devrilme ve (d) tabanda ezilme 29

2.3. Yığma duvarların elastik sapmaları 31

2.4. İdealleştime eğrisi 32

2.5. Sayısal çözümleme deprem performansı hasar durumları 32

2.6. Duvar kuvvet hesap varsayımı 33

3.1. İnce ve iri agrega 36

3.2. Beton agrega granülometrisi 37

3.3. Farklı gömlek boylarında hazırlanmış borulu cıvatalı çelik M10 ankraj dübelleri 39

3.4. Borulu cıvatalı çelik dübel çekme testi 39

3.5. Ankraj kesme numunesinin imalatında; üçgen prizmatik sargı donatısı ve kalıba yerleştirilmesi 40

3.6. Dübellerin betonarme numunelere ankrajlanması ve numune kürü 40

3.7. a) 10 mm kalınlığındaki yükseltme levhası, b) 20 mm kalınlığındaki kare kesitli demir profil, c) deney düzeneği, d) deney modeli 41

3.8. Betonda ve ankrajda göçme türü 42

3.9. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 50 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği 44

3.10. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 70 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği 44

3.11. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 90 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği 45

3.12. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 110 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği 45

3.13. Ankrajda farklı gömme derinliği ve beton dayanımı için kesmede enerji tüketme kapasiteleri 47
3.14. Beton dayanımı ve ankraj gömme derinliklerine bağlı ankraj kesme kuvvetleri 48
3.15. Beton basınç dayanımı ile kesme kuvvetinin gömme derinliğine oranı arasındaki ilişki 49
3.16. Farklı gömme derinlikleri için beton dayanımına bağlı ankraj kesme kuvvetleri 50
3.17. Gömme derinliğine göre gruplandırılmış kuvvet-beton dayanımı grafiği 51
4.1. Deney numunesi modeli yapı malzemeleri ve yapı elemanları 53
4.2. Malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney ekipmanları a) çimento basınç/eğilme presi, b) beton basınç presi, c) donatı çekme aleti 55
4.3. Harman Tuğlası 55
4.4. Tuğla basınç deneyinde a) numunelerin rijit plaka üzerinde başlıklanması b) başlık görünümü, c) iki yüzeyi başlıklanmış ve teste hazır deney numuneleri, d) tuğla basınç deneyi 58
4.5. Tuğla üç nokta eğilme deneyi a) deney numuneleri b) deney düzeneği c) tuğlada eğilme göçmesi 60
4.6. a) Üçerli prizmatik kalıpla numune alımı b) harç eğilme deneyi. c) harç basınç deneyi 62
4.7. Dübel cıvata çekme deneyi sonrası oluşan deformasyon 64
4.8. Duvar basınç numuneleri 65
4.9. Duvar basınç deneyi deney düzeneği 66
4.10. Duvar basınç dayanımı deneyi kuvvet yerdeğiştirme grafiği 67
4.11. Deney sonrası göçme 67
4.12. Deney numunesini taşınması 69
4.13. Duvar diyagonal kesme düzeneği a) genel görünüm b) yükleme doğrultusuna dik LVDT c) yükleme doğrultusundaki LVDT 70
4.14. Diyagonal kesme deneyi göçme şekli 72
4.15. Hatıl donatı detayı 73
4.16. Parti 1 panel üretimi 74
4.17. Parti 2 panel üretimi 75

4.18. Duvar numuneleri 76
4.19. 70 mm panellere dübellerin yuvalarına takılması 77
4.20. Panel dübel takma modeli 78
4.21. Panellere dübellerin takılmış halleri 78
4.22. Numune taşıma düzeneği 79
4.23. Duvar güçlendirme numunesi deney düzeneği modeli 80
4.24. Dübellerin somunlarının kesilmesi ve panelin duvardan ayrılması 82
4.25. Yalın duvar numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 84
4.26. Yalın duvar numunesinin hasar gelişimi 84
4.27. 50mm4A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 85
4.28. 50mm4A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 86
4.29. 50mm4A dübel deformasyonu 87
4.30. 50mm8A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 88
4.31. 50mm8A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 89
4.32. 50mm8A dübel deformasyonu 90
4.33. 50mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 91
4.34. 50mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 92
4.35. 50mm10A dübel deformasyonu 93
4.36. 50mm12A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 94
4.37. 50mm12A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 95
4.38. 50mm12A dübel deformasyonu 96
4.39. 35mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 97
4.40. 35mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 98
4.41. 35mm10A dübel deformasyonu 99
4.42. 70mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 100
4.43. 70mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi 101
4.44. 70mm10A dübel deformasyonu 102
4.45. İdealizasyon eğrisinin sınır durum gösterimi a) iki doğrusal b) üç doğrusal 103
4.46. Yalın duvar numunesi idealizasyonu 107
4.47. 50mm4A numunesi idealizasyonu 107
4.48. 50mm8A numunesi idealizasyonu 108
4.49. 50mm10A numunesi idealizasyonu 108
4.50. 50mm12A numunesi idealizasyonu 109

4.51. 35mm10A numunesi idealizasyonu 109
4.52. 70mm10A numunesi idealizasyonu 110
4.53. Taşıyıcı duvarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları kuralları 111
4.54. 50 mm kalınlığındaki panellerin dübel sayısı değişkenine göre kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği 114
4.55. 50 mm kalınlığındaki panellerin dübel sayısı değişkenine göre idealize edilmiş kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği 115
4.56. 50mm kalınlığındaki panellerin maksimum kesme dayanımındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 116
4.57. 50mm kalınlığındaki paneller için kuvvet-dübel sayısı grafiği 118
4.58. 50mm kalınlığındaki paneller için yerdeğiştirme-dübel sayısı grafiği 119
4.59. Hatıldaki dübel sayısına göre enerji tüketme kapasitesi 120
4.60. Dübel sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olan kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği 121
4.61. Dübel sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olan idealize edilmiş kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği 122
4.62. Panel kalınlığına göre maksimum kesme dayanımındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği 123
4.63. Panel kalınlığı ve kesme kuvveti ilişkisi 125
4.64. Panel kalınlığı ve yerdeğiştirme ilişkisi 126
4.65. Panel kalınlığı değişimine göre enerji tüketme kapasitesi 127
4.66. Dübel deformasyon tipleri 128

SİMGELER DİZİNİ

A	Kesit alanı
A_{env}	Enerji tüketme kapasitesi / Eğrinin altında kalan alan
A_n	Net kesme alanı
A_w	Duvar alanı
b	Genişlik
b_{ort}	Ortalama genişlik
C_{cr}	İlk çatlama dayanımı indirgeme katsayısı
C_{sd}	Maksimum dayanım indirgeme katsayısı
E	Elastisite modülü
f_b	Tuğla standartlaştırılmış basınç dayanımı
f_{bft}	Tuğla eğilme dayanımı
f_{ck}	Karakteristik beton dayanımı
f_k	Duvarın karakteristik basınç dayanımı
f_m	Örgü harcı basınç dayanımı
G	Kayma modülü
g	Kesme deneyi LVDT boy uzunluğu
H	Yatay kuvvet
h	Yükseklik
H_{cr}	Duvar ilk çatlama kuvveti
h_{ef}	Efektif gömme derinliği
H_{maks}	Maksimum yatay kuvvet
h_{ort}	Ortalama yükseklik
H_u	Nihai kuvvet
$H_{\delta maks}$	Maksimum yerdeğiştirme kuvveti
I_w	Duvar atalet momenti
κ	Kesme katsayısı
K_e	Duvarın etkin rijitliği
l	Uzunluk
l_{ort}	Ortalama uzunluk
l_x	Yatay eksende uzaklık
l_y	Düşey eksende uzaklık

m	Eğim
Ø	Demir donatı çapı
P	Kuvvet
P_{maks}	Maksimum kuvvet
P_{ort}	Ortalama kuvvet
t	Kalınlık
W_d	Tuğla kuru ağırlığı
W_s	Tuğla suya doygun ağırlığı
γ	Kesme birim şekil değiştirmesi
δ	Yerdeğiştirme
δ_1	LVDT1 yerdeğiştirme mesafesi
δ_2	LVDT2 yerdeğiştirme mesafesi
δ_3	LVDT3 yerdeğiştirme mesafesi
δ_{cr}	Duvar ilk çatlama yerdeğiştirmesi
δ_e	Elastik limit yerdeğiştirme
δ_{Hmaks}	Maksimum kuvvete karşılık gelen yerdeğiştirme
δ_{mask}	Maksimum yerdeğiştirme
δ_T	Toplam yerdeğiştirme
δ_u	Nihai yerdeğiştirme
δ_x	Yatay doğrultuda yerdeğiştirme
δ_y	Düşey doğrultuda yerdeğiştirme
ε	Birim şekil değiştirme
μ_u	Süneklik
τ	Kesme gerilmesi

1. GİRİŞ

Yığma binalar, insanların barınma ihtiyacını gidermek üzere inşa edilen ve tarihi çok eskilere dayanan bir yapı türüdür. Yapımında kullanıldıkları malzemelerin basınç dayanımlarından faydalanılan bu binalar, çelik endüstrisinin gelişmesi yani çekme dayanımının donatıyla karşılanmasıyla birlikte yerini betonarme binalara bırakmaktadır. Ancak yığma binalar günümüzde her ne kadar yerini betonarmeye bıraksa dahi, mevcut yapı stoğunda büyük bir paya sahiptir. Matthys ve Noland (1989) yaptıkları bir araştırmada yığma binaların dünya üzerinde %70 oranında olduğunu belirtmektedir (Matthys ve Noland, 1989). Kırsal bölgelerde deprem sonrası hasar tespiti incelemesinde bulunulan binaların %80'den fazlasının yığma bina olduğu tespit edilmiş olup bu yapıların çoğunluğunun yaşanılmaz seviyede olduğu belirtilmiştir (Oyguc ve Oyguc, 2017). Ülkemizin özellikle kırsal kesimlerinde, bölgesel ve sosyoekonomik sebeplerden dolayı yığma inşa tekniğini daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Gülkan ve Sucuoğlu, 1989). Bu durum, yapı stoğunda önemli bir yere sahip olan ve kırsal kesimlerde yaygın olarak kullanılan yığma binaların deprem sonrası incelemelerde en fazla hasar gören yapı türü olduğunu göstermektedir.

Yığma binalar önceleri taş ve tuğla gibi blok malzemenin örgü harcıyla birbirine bağlanarak duvarların yapılması ve ahşap malzeme ile de çatının ve/veya döşemenin yapılmasıyla oluşmaktadır. Yığma binalarda çimento üretiminin artması ve işçilik tekniklerinin gelişmesiyle betonarme karkas bina kullanımı yaygınlaşmış, böylelikle betonarme, duvarlarda hatıl ve döşemede rijit diyafram olarak tasarlanarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak teknik yönden gelişen bu yapıların enerji tüketme kapasiteleri ve dayanımları artırılsa dahi, geçmiş depremlerde performanslarının iyi olmadığı ve can kayıplarına sebep oldukları görülmektedir (C. Wang, Sarhosis ve Nikitas, 2018).

Binanın taşıyıcı elemanını oluşturan yığma duvarlar çekme gerilmelerine karşı dayanıksız olduklarından rijit bir yapıdadır ve çok sınırlı yerdeğiştirmeye sahiptir. Taşıyıcı duvarlar, depremde üzerine aldığı yükü kesme mukavemetiyle

karşılamaktadır. Kesme mukavemetini ise; blok malzemeler, basınç dayanımıyla direnim gösterdiğinden ve kesme çatlakları genellikle yatay ve düşey derzleri takip ettiğinden, örgü harcının tuğlayla yaptığı aderansı yani örgü harcı çekme dayanımını ön plana çıkarmaktadır.

Çok sayıda yığma bina, yapım dönemlerinde gerekli standart ve/veya yönetmelikler bulunmadığından dolayı ampirik kurallara dayalı olarak inşa edilmiştir. Hatta bu yığma binalar mühendislik hizmeti almadan, usta tecrübesi ve marifetiyle, deprem kuvvetinin etkileri dikkate alınmaksızın sadece düşey yüke bağlı olarak inşa edilmiştir. Mevcut yapı stoğunda bulunan ve genellikle mühendislik hizmeti alamayan bu yığma binalar sismik sarsıntıların oluşturduğu yanal yükü sönümleyememekte (Ehsari, Saadatmanesh ve Velazquez-Dimas, 1999), orta şiddetli depremlerde, orta ya da ağır hasarlar almakta ve can kaybına sebep olmaktadır (Güler, 2021). Türkiye, sismik hareketliliği olan bir ülke konumunda olduğu ve nüfusunun yarısından fazlası fay hatlarına yakın çevrede ikamet ettiği (Özmen, 2012), hatta deprem sırasında yığma binaların diğer inşa teknikleriyle yapılmış olan binalara oranla daha fazla hasar gördüğü (Oyguc ve Oyguc, 2017) düşünüldüğünde, yığma binalar bakımından büyük bir felaketle karşı karşıya olduğumuz görülmektedir. Bu yığma binaların deprem anında sebep olduğu can ve mal kaybını azaltmak için binaların deprem performansı araştırılmalı, gerekiyorsa onarılmalı ve/veya güçlendirilmelidir. Ancak günümüzde uygulanan çoğu onarım ve güçlendirme işleminin en büyük olumsuz yanı, hane halkının işlem süresince binayı boşaltarak kullanamamasıdır (Aksoylu ve Kara, 2020). Bina sakinlerinin geçici bir süreyle ikametlerini başka bir yere taşınması, ülke nüfusunun sosyoekonomik durumları göz önüne alındığında zorlayıcı olduğundan, binaların güçlendirilmesi geri planda kalmaktadır. Uygulanma yöntemi olarak ucuz, üretilmesi kolay, pratikte uygulanabilir güçlendirme yöntemleri geliştirme ihtiyacı doğmaktadır (Buyukkaragoz ve Kopraman, 2020).

Büyük bir deprem afeti yaşanmadan önce, can ve mal kayıplarını en aza indirmek için yığma binaların yanal yüklere karşı direnim göstererek sönümleyebilmesi gerekmekte, bunun içinde deprem performansı düşük yığma binaların yapı elemanlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Araştırmacılar, yığma binaların ve yığma bina yapı elemanlarının mekanik performansını artırmak adına birçok güçlendirme yöntemi ve tekniği geliştirmişleridir (Bhattacharya, Nayak ve Dutta,

2014) (C. Wang ve diğerleri, 2018)(Elgawady, Lestuzzi ve Badoux, 2004). Ancak bu geliştirilen yöntem ve tekniklerin her biri kendi içerisinde özel olup, yapı malzemelerinin ve taşıyıcı sisteminin farklı olması durumlarına bağlı olarak tüm bu güçlendirme türleri bütün binalarda uygun şekilde kullanılamamaktadır (C. Wang ve diğerleri, 2018).

Yığma duvarların güçlendirilmesi için seçilen yöntem, öncelikle yığma binaların dayanımını artırmalı, aynı zamanda uygun maliyetli olmalıdır (C. Wang ve diğerleri, 2018).Tek taraflı olarak yapılan güçlendirme işlemi binaların iç mekan kullanımını engellemeden, dış cephelerinden yapılması suretiyle güçlendirilmesi, ekonomik, uygulanabilir ve bina sakinlerince tercih edilir bir yöntem olarak dikkat çekmektedir (Shabdin, Zargaran ve Attari, 2018). Yığma yapılarda, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi yapının dıştan güçlendirilmesi, yaşayanları günlük yaşamlarında rahatsız etmeyeceği ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Dogan, Celik, Odacioglu ve Sevim, 2021)

Şekil 1.1. Yığma bina dışarıdan güçlendirme modeli (Dogan ve diğerleri, 2021)

1.1. Amaç ve Kapsam

Ülkemizde, hazır beton üretimi yaygınlaşmadan önce yapım maliyeti düşük ve şantiye işçiliği kolay olan yığma binalar genellikle tercih edilmiştir. Yığma binalar içerisinde harman tuğla ile inşa edilmiş, rijit döşemeli, düşey hatılları bulunmayan binaların sayısı bugünde göz ardı edilmeyecek kadar fazladır. Ülkemiz deprem kuşağında bulunduğundan, basınç dayanımları düşük, yanal ötelenmesi sınırlı ve

ağırlıkça büyük olan bu tip binalar, yanal kuvvet etkisi altında kesme gerilmesiyle gevrek göçmeye maruz kalmaktadır. Böylelikle deprem kuvveti altında hasar gören binalar, ülkemizde maddi ve manevi olarak büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bu tip binaların sayısının fazlalığından, binaların hepsini kentsel dönüşüme almak maddi-manevi külfetler getirmektedir. Hatta bazı yığma binaların tarihi önemlerinden dolayı kentsel dönüşüme girmesi uygun bulunmamaktadır. Projesi düzgün, malzemesi kaliteli ve yanal yük etkisi altında döşemesi rijit diyafram şeklinde çalışan yığma binaları kentsel dönüşüme almak yerine güçlendirmek daha ekonomik ve etkili bir çözümdür.

Bu çalışma; ülkenin sosyoekonomik koşulları düşünülerek, harman tuğlalı, betonarme döşeme ve yatay hatıllı donatısız yığma binaların duvarlarının önüretimli panellerle güçlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu geliştirilen güçlendirmede kuvvet aktarımını dübel bağlantı elemanları ile sağlamak hedeflemiştir. Ancak mekanik dübellerin dayanımca düşük betonlarda kullanılmasının uygunluğuna yönelik bir çalışma bulunamamıştır. Bu yüzden ilk adımda mekanik dübel önüretimli panelle güçlendirmede düzlem içi gelen kuvvetlere karşı kesme gerilmelerine maruz kalacağından, düşük dayanımlı betonlarda mekanik dübellerin kesme performansı incelenmiştir. İkinci adımdaysa mevcut yapı stoğumuzu temsil eden duvarların düzlem içi yanal kuvvetlere karşı önüretimli panelle güçlendirilmesi yapılmıştır. Önüretimli panelle hatıl/duvar arasındaki ankraj sayısı değişiminin ve panel kalınlığının güçlendirmeye olan katkılısı incelenmiştir.

Çalışmanın ilk adımı olan, düşük dayanımlı betonlarda farklı gömme derinliklerine sahip mekanik dübellerin kesme performansının bulunmasının başlıca hedefleri;

- Uygulanan kesme kuvveti sonucu göçme şeklinin belirlenmesi,
- Dübel gömme derinliğinin sığlığının ve beton dayanımının göçme şekil üzerine etkisinin araştırılması,
- Beton sınıfının kesme performansına etkisinin araştırılması,
- Dübel gömme derinliğinin kesme performansına etkisinin araştırılması,
- Dübel gömme derinliği ve beton dayanımının enerji tüketme kapasitesine olan etkisinin araştırılması,
- Dübel efektif gömme derinliğinin bulunması şeklinde sıralanabilir.

Çalışmanın ikinci adımı olan, mevcut yapı stoğumuzu temsil eden yatay hatıllı donatısız yığma bina duvarın düzlem içi yanal kuvvetleri karşılamak için önüretimli panelle güçlendirilmesinin hedefleri;

- Rijit diyafram olarak çalışan döşemenin bağlandığı yatay hatılın yani önüretimli panelin kenarlarına takılan dübellerin güçlendirmeye olan katkısının araştırılması,
- Duvarın üzerine takılan dübellerin güçlendirmeye olan katkısının araştırılması,
- Panel kalınlığının güçlendirmeye olan katkısının araştırılması,
- Dübel sayısının ve panel kalınlığının enerji tüketme kapasitesine olan etkisinin araştırılması,
- Önüretimi panellerle daha hızlı ve daha pratik bir şekilde bina taşıyıcı duvarın dış yüzeyden güçlendirilerek yenilikçi bir yöntem geliştirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Yığma binaların yapı elemanlarının güçlendirilmesi üzerine literatürdeki çalışmalar çoğunluğu duvar malzeme türü ve kalitesi, uygulama şekli, güçlendirme malzemesi ve güçlendirme bağlantı elemanları gibi kendi içerisinde özgün çalışmalardır. Ancak geleneksel güçlendirme yöntemleri uygulanabilirlik açısında uzun bir süre gerektirirken, FRP ve geotekstil gibi yenilikçi güçlendirme yöntemleri nitelikli iş gücü gerektirmektedir. Bu çalışmayı, ülkemiz yapı stoğunu temsil eden yatay hatıllı donatısız yığma binaların pratik bir şekilde önüretimli panellerle, sadece dübel bağlantı elemanı kullanılarak, işçilik ve ekonomik açıdan büyük kolaylık sağlayacak güçlendirme yönteminin geliştirilmesi özgün kılmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında bilimsel, uygulama ve ekonomik olarak aşağıdakiler gibi katkı vermesi beklenmektedir.

Bilimsel: Binalarda güçlendirme işlemi sırasında binaların boşaltılması gerekmektedir. Bu sebeple bina sakinleri binalarını güçlendirmeyi tercih etmemektedir. Bu çalışmayla, bina sakinlerini rahatsız etmeden binanın dış yüzeyden tek taraflı yapılacak olan güçlendirme yönteminin yanı sıra düşük dayanımlı betonlarda dübel kesme davranışı literatüre kazandırılmaktadır.

Uygulama: Binanın sakinleri tarafından boşaltılmasına gerek duyulmadan, fabrikada hazırlanan güçlendirme elemanlarının binaya monte edilmesiyle pratik ve uygulanabilir bir yöntem geliştirilmektedir.

Ekonomi: Kentsel dönüşüm projeleriyle deprem performansı düşük olan binaların yerine yeni binalar yapılmaktadır. Deprem performansı düşük olan bütün binaların

yenilenmesi ülke ekonomisine ağır külfetler getirmektedir. Bunun yerine yığma yapı stoğunda yer alan, yatay hatılı bulunan binaların güçlendirilerek deprem performansının artırılması devlet ekonomisine katkı sağlamaktadır. Ayrıca bina sakinlerinin binayı boşaltmayarak taşınma ve kira giderleri gibi masraflardan kurtulmasıyla hane ekonomisine katkı sağlamaktadır.

1.2. Literatür Değerlemesi

Yüzügüllü (1979), tek açıklıklı, tek katlı, hasarlı ve hasarsız betonarme çerçevenin önüretimli panellerle güçlendirilmesini araştırmıştır. Betonarme çerçevenin içerisine 3 cm kalınlığındaki önüretimli panel/paneller monte edilerek tersinir tekrarlı yükler etkisi altında 10 numune üzerinde deney yapılmıştır. Ebatları değişken tutulan panellerin birbirine ve çerçeveye olan bağlantı şeklinin yük taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda;

- boş çerçeveye oranla güçlendirilmiş numunelerin rijitliği 1,3–2,9 kat, yük taşıma kapasitesi 7-9 kat, enerji tüketme kapasitesi 1,3–4,9 kat artmış,
- panel parça sayısının artırılması göçme modunu değiştirmemiş, çerçevenin rijitliklerinin az bir oranla düşürerek enerji tüketme kapasitesini arttırmıştır (Yüzügüllü, 1979).

Higashi vd. (1980), 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçevelerden güçlendirme çalışması yapmıştır. Temel kalınlıkları değişken olan 2 boş çerçeve numunesi, çerçeveyle eş zamanlı ve daha sonra betonarme olarak üretilen 2 dolgu duvar numunesi, duvar boşlukları düşünülerek, iki, üç ve dört parçalı olacak şekilde, panellerin birbiriyle ve çerçeveyle bağlantıları değişken olan 6 önüretimli panelle güçlendirilmiş numune ve 3 adet çelik çaprazlarla olmak üzere toplamda on üç adet deney yapılmıştır. Deneyler sonucunda;

- Eş zamanlı imal edilen dolgu duvar deney elemanı en yüksek dayanımı gösterirken, boş çerçeveler en düşük dayanımı gösterdiği,
- Eş zamanlı imal edilen dolgu duvar deney elemanıyla, yerinde dökme dolgu duvarlı deney elemanı birbirlerine benzer davranışlar gösterdiği,
- Önüretimli panelle ve çelik çaprazlarla betorarme çerçevenin güçlendirilmesinin oldukça kolay olduğu,

- Önüretimli panellerin çerçeve içerisinde çubuk elemanlar olarak modellemesi yapılarak, diyagonal olarak modellenen basınç çubukların geometrisinin birçok değişkene bağlı olduğunu belirtilmiştir (Higashi, Ohkubo ve Shimizu, 1980).

Broken ve Bertero (1981), betonarme çerçeve ve dolgu sistemlerin tersinir tekrarlı yatay yükler altındaki dinamik davranışın etkilerini incelemek amacıyla 1/3 ölçekli 18 adet deney elemanını teste tabi tutmuştur. Çalışmada dolgu malzemesi türleri; kil tuğlalar, beton tuğlalar, dış yüzeyinden donatıyla desteklenmiş tuğlalar ve hafif beton paneller olarak değişkenlik göstermektedir. Çalışma sonucunda;

- Dolgu duvarlar, boş çerçeve sistemlerine oranla yanal rijitlik ve dayanımını önemli ölçüde artırmakta,
- Monotonik (tekdüze) yüklemelerde panel donatısının yerleşim düzeni panel çerçeve bağlantısının davranışını etkilemezken, tersinir tekrarlanır yüklemelerde panel donatısının yerleşim düzeni panel çerçeve bağlantısı davranışını etkilemekte,
- Paneller, çerçevenin sınırı yanal deplasman yapmasına katkı sağlamakta,
- Deney elemanlarının tamamında hasar zemin katta oluşmakta,
- Perde duvar yanal rijitliğini boş çerçeveye oranla 5 kata kadar artırmaktadır (Broken ve Bertero, 1981).

Süsoy (2004), boşluklu tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin yüksek dayanımlı önüretimli panellerle güçlendirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. 1/3 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı çerçeve elemanlarına sabit düşey yük altında tersinir tekrarlı yatay yüke maruz bırakılarak test edilmiştir. Ülkemizde oldukça sık rastlanan düşük dayanımlı beton, nervürsüz donatı, yetersiz bindirme boyu, zayıf kolon-güçlü kiriş gibi yapım ve proje hataları deney elemanlarına yansıtılmıştır. Deney elemanları farklı şekillerde tasarlanan kamalı ve kaynak bağlantılı tasarlanan önüretimli betonarme panellerle duvara epoksi harcıyla yapıştırılarak güçlendirilirmiştir. Bu çalışma sonucunda;

- Önüretimli beton panellerle yapılan güçlendirmenin, çok etkili ve uygun bir yöntem olduğu görülmüş olup, güçlendirilmiş deney elemanlarının referans numunelerine oranla dayanımında yaklaşık 2,5 kat artış, başlangıç rijitliğinde 3,3 kat artış olduğu gözlemlenmekte,
- Kaynaklı bağlantıların ve kesme kamalarının gereksiz olduğu, tüm panel bağlantıları için sadece epoksinin yeterli olduğu belirtilmekte,

- Eksenel yükün değişkenliği, kolonların eğilme kapasitesini etkilemekte,
- Yerinde dökme perdeyle güçlendirmeye göre daha hızlı, kolay, ekonomik ve etkili bir güçlendirme yöntemi olabileceği belirtilmektedir (Süsoy, 2004).

ElGawady vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, 1/2 ölçekli boşluklu tuğlalı donatısız yığma duvarların püskürtme beton kullanılarak güçlendirilen numunelerin statik döngüsel yükler altında düzlem içi davranışı incelenmiştir. Toplamda 3 adet numune kullanılan bu çalışmada bir adet referans numunesi, bir adet tek taraflı 40 mm kalınlığındaki püskürtme beton tabakasıyla güçlendirilmiş numune ve bir adet çift taraflı 20 mm kalınlığında püskürtme beton tabakalarıyla güçlendirilmiş numune test edilmiştir. Güçlendirilen her iki numune, toplamda aynı kalınlığa ve donatı oranına sahiptir. Yapılan deneyler sonucunda;

- Numuneler, yatay yük dayanımını referans numuneye oranla yaklaşık 3,6 kat artırmakta,
- Çift taraflı yapılan güçlendirme, tek taraflı yapılan güçlendirmeden daha sünek bir davranış sergilediği ve daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu belirtilmektedir (Elgawady, Lestuzzi ve Badoux, 2006).

Can (2009) tarafından yapılan çalışmada yığma binaların rijit diyaframına kamalı önüretimli perde duvarlar binanın dışından bulonlarla tutturularak, binanın deprem anında göçmesini önleyecek yöntem geliştirmek amaçlanmıştır. Bu yöntemde binaya gelen deprem kuvvetini rijit diyaframın bir parçası olan hatıllardan bulonlar vasıtasıyla önüretimli güçlendirme perdesine, güçlendirme perdesinden ise temeldeki sömele aktarmak hedeflenmiştir. Buna doğrultuda perde-döşeme birleşimi perde-perde birleşimi incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda;

- perde-döşeme birleşimi 297 kN
- perde-perde birleşim 255 kN

yük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Çalışmanın devamındaysa bir yığma bina projesi üzerinde deprem hesabı yapılarak, çalışılan güçlendirme örneğinin uygulanabilirliği incelenmiştir (Can, 2009).

Özdöner (2011) çalışmasında, mevcut güçlendirme yöntemlerine oranla daha pratik, ekonomi ve bina sakinlerini rahatsız etmeyecek bir yöntem geliştirmek amacıyla, bina dışına uygulanacak farklı tipte önüretimli panellerle betonarme binalarda güçlendirme yapmıştır. 1/3 ölçekli, 2 katlı ve 2 açıklıklı ülkemiz yapı kusurlarına

dikkat edilerek tasarlanan betonarme çerçevelerden, bir adet referans ve 2 adet pencere açıklıklarını dikkate alarak, yüzey alanı ve şekli farklı tutulan önüretimli panellerle dışarıdan güçlendirilerek sismik teste tabi tutulmuştur. Ayrıca bilgisayar destekli olarak yapı analizleri yapılmış ve deneylerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda;

- Önüretimli panellerde, kiriş bağlantı noktalarında kılcal çatlaklar dışında önemli bir hasar görülmemiş,
- Güçlendirmenin rijitlik, enerji tüketme kapasitesi ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüş,
- Panel tipi değişkenliği deney sonuçlarını etkilememiş,
- Push-over analiziyle deneyler yakınlık göstermiştir (Özdöner, 2011).

Akın (2011) çalışmasında, bina sakinlerinin taşınmaya ihtiyaç duymayacakları bir güçlendirme yöntemi geliştirmek amacıyla, mevcut yapı stokundaki betonarme binalarda sıklıkla görülen yapısal hatalara dikkat ederek, 1/2 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı dolgu duvarlı önüretimli panellerle güçlendirmektedir. Güçlendirilen numunelerden biri referans olmak üzere, önüretimli panel tasarımları farklı tutulan 6 adet deney numunesi tekrarlı tersinir yatay yükleme yapılarak test edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışma neticesinde;

- Güçlendirmelerin yatay yük kapasitesine, başlangıç rijitliğine, enerji tüketme kapasitesine katkı sağladığı görülmekte,
- Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizden bulunan yatay yük kapasiteleriyle deney sonuçları arasında yakınlık görülürken, deplasman değerlerinde bir miktar sapma görülmektedir (Akın, 2011).

Tokgöz ve Can (2011) çalışmalarında, binayı dışarıdan perde duvar ile güçlendirilmesinde, perde ile hatıl arasına bağlantı elemanı olarak kullanılan bulon sayısının dayanıma katkısını araştırmışlardır. Φ18'lik 4, 5 ve 6 adet bulon, perde ve hatıl bağlantısı olarak kullanılarak dinamik yük altında 3 numune üzerinde deney yapılmıştır. Deney sonucunda;

- Tüm deneylerde bulonlar akmaya başlamadan önce hatıl betonunda ezilmeler ve çatlaklar gözlemlenmiş,
- Bulon sayısındaki artış, yük taşıma kapasitesini artırmış,

- Bulon sayısının artması yatay ötelenmeyi etkilememiştir (Tokgöz ve Can, 2011)

Baran ve Tankut (2011) çalışmalarında yüksek dayanımlı önüretimli panelleri ince bir epoksi harcı tabakasıyla yapıştırarak mevcut içi boş tuğla dolguları güçlü ve rijit dolgulara dönüştürmek amacıyla, güçlendirilmiş betonarme çerçeveler tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada bir tanesi referans olmak üzere toplam 11 adet 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı yetersiz betonarme çerçeve ters çevrimli yanal yükler altında test edilmiştir. Güçlendirmede iki temel şekle (şerit veya dikdörtgen), iki farklı tipe (iç ve dış; çerçevenin içi ve çerçevenin tüm yüzeyinin kaplayan) sahip kesme kaması olan veya olmayan altı farklı panel tipi kullanılmıştır. Ayrıca, panellerin çerçeveye birinci katta bağlandığı kenar sayısı değişken olarak tutulmuştur. Yapılan çalışmada aşağıda verilen sonuçlara varılmıştır:

- Önerilen sismik güçlendirme tekniği, yanal yük kapasitesini ve rijitliği önemli ölçüde artırmış ve test numunelerinin sismik davranışını iyileştirmiştir. Bu teknik, binanın boşaltılmasını gerektirmediği ve bina sakinlerine çok fazla rahatsızlık vermediği için çok uygun maliyetlidir.
- Sadece epoksi harç kullanılarak birleştirilen panellerle güçlendirilmiş çerçeveler o kadar başarılı oldu ki, hem kesme kamaları hem de kaynaklı bağlantılar ortadan kalktı. Böylece yöntemin uygulanması çok daha basit ve ekonomik hale gelmiştir.
- Ankraj demirlerinin kullanıldığı kenar sayısı azaltıldığında yanal yük kapasitesinde önemli bir değişiklik olmamasına rağmen, dört kenar boyunca ankraj çubukları kullanıldığında davranışlarında önemli bir iyileşme olmuştur. Yöntemin başarısı esas olarak panellerin yapıştırılmasına ve en alt katlarda dört kenar boyunca ankrajların (panellerin dış tip olması durumunda cıvatalar) kullanılmasına bağlıdır.
- İç tip panellerle güçlendirilmiş numunelerin yanal dayanımları referans numuneye göre 2,42 ve 2,77 kat artmıştır. Aynı numuneler için yanal rijitliğindeki artışlar 2,52 ve 2,88 kat olmuştur. Dış tip panellerle güçlendirilmiş numunelerde mukavemet artışları 2,30 ile 2,69 kat, rijitlik artışları ise 2,59 ile 3,07 kat arasında değişmiştir. Her iki tip önüretimli panel ile güçlendirilmiş numunelerin mukavemet ve rijitliklerindeki artış yaklaşık olarak aynıydı.
- Önüretimli panellerinin kullanımı, referans numuneye kıyasla dolgulardaki kesme deformasyonlarını azaltmıştır; bununla birlikte, iç tip panellerde kesme deformasyonları neredeyse elastik aralıkta kalırken, dış tip paneller

kullanıldığında her iki dolgu duvarda daha fazla kesme deformasyonları meydana gelmiştir (Baran ve Tankut, 2011).

Ghiassi vd (2012) çalışmalarında, İran'da donatısız yığma yapıların güçlendirilmesi için geleneksel bir yöntem olan duvarların betonarme tabakalarla güçlendirilmesin tasarım ve sismik değerlendirmesi için rasyonel bir yöntem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen yöntemde, bu duvarlar için dört göçme modu ele alınmış ve her biri için dayanım ilişkileri ve kabul kriterleri, betonarme ve yığma duvarlar için FEMA 356 ve ASCE 41 ilişkilerine göre verilmiştir. Önerilen yöntemin, güçlendirilmiş duvarların doğrusal olmayan davranışını tahmin etme ve göçme modlarını yönetmedeki doğruluğu, sonuçları mevcut deneysel ve gerçekleştirilmiş sayısal sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda;

- Önerilen ilişkilerin ve çift doğrusal eğrilerin doğruluğu, sonuçları mevcut deneysel ve gerçekleştirilmiş analitik sonuçlarla karşılaştırarak doğrulanmış,
- Önerilen yöntemin güçlendirilmiş duvarların göçme modunu ve kapasitesini doğru bir şekilde tahmin edebildiği belirlenmiş,
- Betonarme tabaka ile güçlendirilmiş yığma duvarların doğrusal olmayan davranışını daha iyi anlamak, önerilerin kalibrasyonu ve doğrusal olmayan deformasyon kapasitelerinin kesinliğini artırmak için daha kapsamlı deneysel araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır (Ghiassi, Soltani ve Tasnimi, 2012).

Churilov ve Dumova-Jovanoska (2013) tarafından yapılan çalışmada, duvarın kesme dayanımını, davranış biçimini, rijitliğini ve enerji dağılımını incelemek adına düzlem içi yük gelecek şekilde tersinir tekrarlı yükler altında itme çekme testi uygulanmıştır. Laboratuvar koşullarında 2 seri şeklinde toplam 8 duvar kullanılmıştır. İlk seride harman tuğlasından ve kireç harcından oluşan duvarlar kullanılırken, ikinci seride bu duvarların her iki yüzü de betonarme örtü ile güçlendirilmiştir. Seri içerisindeki değişkenler 0,72 ve 1,25 en boy oranı ve 0,5 ve 1,0 MPa yatay gerilme kuvveti olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Çalışmada kullanılan harman tuğlası geniş basınç dayanımı skalasına sahiptir.
- Güçlendirme yapılan duvarlarda, bükülme ve ayrılma gibi karma göçme modu gözlemlenmiştir.
- Düşey gerilmelerin artması, kesme kapasitesini artırmaktadır.

- Güçlendirme, kesme kapasitesini 2-3 kat artırmaktadır.
- En boy oranının azalması, yanal yük kapasitesini arıtmaktadır.
- Analitik modellerle duvarın kesme kapasitesi başarılı bir şekilde tahmin edilebilmektedir (Churilov ve Dumova-Jovanoska, 2013).

Tekeli vd (2014) çalışmalarında, dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel bir sıva ile güçlendirilmesi yöntemini araştırmışlardır. Bu çalışmada, yapısal özellikleri aynı 1 tane boş çerçeve, 1 tane dolgu duvarlı çerçeve ve 2 tane duvarın tek yüzünde hasır donatılı sıva ile güçlendirilmiş çerçeve olmak üzere toplamda 4 adet çerçeve numune hazırlanmıştır. Güçlendirilmiş numunelerde ankraj aralığı ve işçilik kalitesi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, güçlendirme;

- Yanal yük taşıma kapasitesi de artış (Boş çerçeveye oranla dolgu duvarlı numunede %120, seyrek ankraj ile güçlendirmede %160, sık ankraj ile güçlendirmede %180),
- Enerji tüketme kapasitesinde artış (Boş çerçeveye oranla dolgu duvarlı numunede %30, seyrek ankraj ile yapılan güçlendirmede %100 ve sık ankraj ile güçlendirmede %110),
- Seyrek ankrajlı güçlendirmede yeterli ankrajın bulunmamasından dolayı çerçeve ve güçlendirme arasında tam bir aderans sağlanamama,
- İleri hasar düzeyinde ankrajlarda sıyrılma gözlemlenmiştir (Tekeli vd., 2015).

Baran vd. (2014), çalışmalarında güçlendirme maliyetini düşürmek ve yatay yük taşıma kapasitesini artırmak amacıyla dolgu duvarlarının önüretimli beton/betonarme paneller güçlendirilerek alternatif bir güçlendirme yöntemini geliştirmeye çalışmışlardır 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı mafsallı birleşimlerden yapılmış deney düzeneğiyle 1 adet referans ve 6 adet beton/betonarme panellerle güçlendirme yapılan numuneler tersinir tekrarlanır yatay yüke tabii tutulmuştur. Panellerin duvara tutturulmasında kalekim yapıştırıcı ve Φ6'lık bulonlar kullanılmıştır. Panel kalınlığı, bulon sayısı, bulonun takıldığı yerler ve hasır donatıyla betonarme panellerin kullanılması deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda;

- Güçlendirmeler yatay yük taşıma kapasitesi 1,69 ile 2,49 kat arasında artırmıştır.
- Panel kalınlığının ve beton dayanımın artması yük taşıma kapasitesini de artırmaktadır,

- Parçalı olarak kullanılan panellerin bir alt ve bir üst ucuna takılarak sabitlenen bulonların optimum olduğu, bulon sayısındaki artışın, davranışı daha fazla geliştirmediği kanısına varılmıştır.
- Betonarme panellerin beton panellere oranla güçlendirmede davranışı olarak daha iyi olduğu gözlemlenmektedir (Baran, Aktas ve Aykac, 2014).

Wang vd (2014) önüretimli betonarme elemanlarda kullanılan montaj teknolojisiyle mevcut yığma binaların sismik performansını etkili bir şekilde artırabileceğini düşünerek, duvarın iki yüzüne yapıştırılan iki adet önüretimli betonarme panelle yığma duvarın güçlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Önüretimli betonarme paneller ile duvar arasında tam etkileşimi sağlamak için, panellerin duvara dübellenmesi, panel ile duvar arası enjeksiyonu ve sonradan dökülen beton bandın ankrajlanması şeklinde üç bağlantı tekniği kullanılmıştır. Betonarme paneller ile yığma duvar arasındaki etkileşimi ve kuvvet aktarım mekanizmasını araştırmak için, yarı statik döngüsel testleri simüle etmek için sonlu elemanlar analitik modeli geliştirilerek doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda;

- Önüretimli betonarme panellerin mevcut yığma duvarların sismik performansını etkili bir şekilde iyileştirebileceği,
- Duvarlar önüretimli betonarme paneller kullanılarak güçlendirildiğinde, mevcut bir duvarın mukavemetini 3-4 kat ve rijitliği 2-3 kat artırılabileceği,
- Üç bağlantı yöntemi arasında, sonradan dökülen beton bandın ankrajlanması tekniğinde, elastik fazda duvardan gelen yükün %70'ini ve doğrusal olmayan fazda yükün %80'ine kadarını betonarme panellere aktarabildiği elde edilmiştir (Wang, Zhang, Chen ve Li, 2014).

Wenfeng vd (2017) eski yığma binaların sismik performansını iyileştirmek için önüretimli çelik beton kompozit (PSRC) paneller kullanan bir güçlendirme teknolojisi geliştirilmeyi amaçlamıştır. Güçlendirme sisteminin fizibilitesini ve mekanik etkinliğini göstermek için, tam ölçekli beş katlı bir numune inşa edilmiştir. PSRC panelleri, mevcut yığma binayı çevreleyen harici bir PSRC duvar sistemi olarak inşa edilmiştir. PSRC duvarları, eski yığma yapıların sünekliğini, mukavemetini ve rijitliğini etkili bir şekilde iyileştirmek için, yeterli sınırlama sağlayan mevcut yığma binaya iyi bir şekilde bağlanmıştır. Güçlendirme süreci, çok sınırlı iç mekan çalışmasıyla beş hafta içinde tamamlanmıştır. Numune daha sonra, büyük bir depremi simüle eden yanal yönde ötelenerek test edilmiştir. Yapılan

dinamik testlerde, oldukça mekanik farklılıklara sahip yapı-güçlendirme elemanları ve önüretimli panellerin kendi arasındaki iş birliği incelenmiştir. Eski yığma binanın göçme modunu doğrudan kesme kırılmasından daha sünek kesme-eğilme karma göçmesine değiştirmiştir. Genel sismik performans önemli ölçüde iyileştirilse de, bölgesel dayanım kayıplarını önlemek için geleneksel güçlendirme tekniklerinin kullanılmasına da ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Wenfeng, Tao, Xi, Xiang ve Peng, 2017).

Aksoylu ve Sezer (2018) tarafından yapılan çalışmada, mevcut bina üzerinde yapılan güçlendirme işlemlerinin bina sakinlerini rahatsız etmesi ve uzun zaman almasından dolayı, boşluklu tuğla ile yapılmış karkas binaların sıvalı duvarlarının yüksek mukavemetli önüretimli çapraz beton panellerle güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yanal kuvvete karşı, özellikle ülkemiz beton yapılarında sık karşılaşılan hatalar baz alınarak 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı numuneler üretilmiştir. Bir adet referans numunesinin yanı sıra referans numunesiyle aynı özellikleri taşıyan üç adet betonarme dolgulu karkas duvar üzerinde faklı dizaynlarda yüksek dayanımlı prekast beton paneller literatüre kazandırılarak, diyagonal güçlendirmiş ve deprem etkilerine benzer şekilde yanal kuvvetle itme çekme deneyine tabi tutulmuştur. Yüksek mukavemetli önüretimli çapraz beton paneller duvara tutturulurken epoksi esaslı yapıştırıcılar ve Φ8 donatılar kullanılmıştır. Deney sonucunda, önüretimli çapraz beton panellerin;

- duvar yatay taşıma kapasitesini artırdığı,
- duvarın enerji tüketme kapasitesini artırdığı,
- duvar yanal rijitliğinin artırdığı,
- göreli kat ötelenmesinin çökme sınırları içinde etkililiğini koruduğu,

sonuçlarına varılarak, çalışmada piyasada yaygın olarak bulunan malzemeler kullanılarak binaların tahliyesini gerektirmeyen, pratik ve uygun maliyetli bir yöntem geliştirilmiştir (Aksoylu ve Sezer, 2018).

Aksoylu ve Kara (2019) tarafından yapılan çalışmada ülkemizin mevcut betonarme yapı stoğunda sıklıkla karşılaşılan hatalara sahip çerçeve sisteminin, deprem performansı düşük, 1/3 ölçeğinde iki katlı ve tek açıklıklı donatısız tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üretilerek, tersinir tekrarlı yükler altında önüretimli diyagonal paneller ile güçlendirilmesi yönteminin sonrası deprem performansı

ölçülen deneysel çalışmanın, SAP2000 v17.3 programıyla analitik karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonucuna;

- Güçlendirilmiş numunelerin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi bakımından daha iyi sonuçlar verdikleri,
- Referans numunedeki tuğla dolgu duvarlarında hasarlar düşük yük seviyesinde oluşmuşken, güçlendirilmiş numunenin duvarlarında, kolonlarda ve kirişlerde ileri yük çevrimlerinde daha fazla hasar aldığı
- Önüretimli yüksek dayanımlı yeni nesil panelle güçlendirme yönteminin, uygulama kolaylığı, binanın boşaltılmasını gerektirmemesi ve yatay yüklere karşı yapının dayanımını yeterli düzeyde artırması göz önüne alındığında diğer güçlendirme yöntemlerine göre tercih edilebilir bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir (Aksoylu ve Kara, 2019).

Büyükkaragöz (2020) çalışmasında yeterli yatay rijitlik ve kesme dayanımına sahip olmayan düşey delikli tuğla ve gazbetonla yapılan duvarları çelik lif takviyeli beton panellerle güçlendirerek kolay uygulanabilir, ucuz ve etkili bir güçlendirme tekniği geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda güçlendirmenin yapılmadığı referans numuneleri ve çelik lif takviyesiz beton panel, hacimce %1 ve %2 oranında çelik lif takviyeli beton paneller güçlendirmede kullanılmıştır. Güçlendirme duvara çift taraflı olarak uygulanmış olup, paneller duvar yüzeyine epoksi yapıştırıcıyla tutturulmuştur. Her bir değişkenden üçer adet olacak şekilde üretilen deney elemanlarından toplamda 24 adet numune üretilmiş olup, her biri diyagonal kesme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda;

- Beton panelle yapılan güçlendirme yük taşıma kapasitesini, yerdeğiştirme kapasitesini ve duvarların enerji tüketim kapasitesini arttırdığı,
- Düşey delikli tuğlanın enerji tüketme kapasitesini gaz betona oranla daha fazla artırdığı,
- Numunelerde kullanılan çelik lif oranları taşıma kapasitesinde belirgin bir artış sağlamazken, çatlak genişliklerini sınırladığından enerji tüketim kapasitesini arttırdığı ve duvar bütünlüğünü koruduğu,
- Mekanik ankrajın özellikle yükün uygulandığı bölgede beton panel ve duvar yüzeyinde bölgesel ayrışmaların önlenmesine ve taşıma kapasitesinin artışına katkı sağlayabileceği,

- Uygulanan yöntemin ucuz, üretilmesi kolay ve pratikte uygulanabilir olması, kullanılan yöntemin maliyet/fayda oranı açısından oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir (Buyukkaragoz, 2020).

Aksoylu ve Kara (2020) çalışmasında, dolgu tuğlalı duvarların yüksek mukavemetli önüretimli beton panellerle güçlendirilmesini araştırmaktadır. 1/3 ölçekli dolgu duvarlı betonarme çerçeveler, çeşitli geometrik şekillere sahip 4 alternatif yüksek mukavemetli önüretimli panel, sıvalı dolgu tuğlalarının yüzeyine epoksiyle tutturularak güçlendirilmiştir. Önüretimli paneller, duvar yüzeyinin tamamını kaplamak yerine tuğla dolgulu duvarlarda diyagonal basınç bloğu bant genişliğince boyutlandırılmaktadır. Bu çalışma, bir binanın sakinlerini rahatsız etmeden, betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesi için pratik, kolay, uygulanabilir ve ekonomik bir yaklaşım önermektedir. Çeşitli panel konfigürasyonları ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeveler (1/3 ölçekli) üzerinde laboratuvar testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre;

- Önüretimli diyagonal beton paneller sıvalı tuğla dolgulu duvarlara epoksi esaslı yapıştırıcı ile bağlama ve ϕ 8 mm çelik donatı ile ankrajlama sonucunda çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi ve duvar rijitliği arttığı,
- en iyi performans gösteren güçlendirilmiş numuneler için yanal yük taşıma kapasitesinin 3,74 kat, rijitliğin 12,34 kat ve enerji tüketme kapasitesi 4,29 kat arttığı gözlemlenmiştir (Aksoylu ve Kara, 2020).

Büyükkaragöz ve Kopraman (2020) çalışmalarında düşey delikli tuğla duvarların çelik lifli harçla mantolamasının deneylerini ve analizlerini yapılmıştır. Deney değişkenleri olarak, hacimsel olarak %0, %1 ve %2 çelik lif takviye oranı, 1 cm ve 2,5 cm manto kalınlığı seçilmiştir. Her bir değişken için üç numune üretilmiş ve diyagonal kesme testleri yapılmıştır.. Deneysel sonuçlar ayrıca sonlu eleman modelleme sonuçları ve RILEM TC76 ve Eurocode 6'da verilen kesme mukavemeti formülleri ile karşılaştırılmıştır. Bu güçlendirme sonucunca;

- Duvarların kesme dayanımını, yerdeğiştirme kapasitelerini ve enerji tüketim değerlerinin arttığı,
- Duvarlarda kullanılan harcın kalınlığı arttıkça kesme değerlerinde %600'e kadar arttığı,

- Süneklik artışı tüm numunelerde yetersiz olmasına rağmen, güçlendirilmiş numunelerin üçünde %10-54 aralığında artışlar elde edildiği,
- Tamir harcı, duvarların enerji tüketim kapasitesini 5-16 kat aralığında artırdığı,
- FEM sonuçları, deneysel sonuçların büyük çoğunluğu ile oldukça uyumlu olduğu,
- Bu güçlendirme tekniği uygulaması kolay olduğu için vasıflı işçilik gerektirmez ve uygulama hızlı bir şekilde binada yaşayan kişilerin uygulama sırasında yaşam koşullarında kapsamlı kısıtlamalar getirmeden yapılabileceği gözlemlenmiştir.

Zhang vd (2021) tarafından yapılan çalışmada, tüketilen kaynaklardan ve inşaat süresinden tasarruf sağlayabilmek için, eski yığma yapıların önüretimli betonarme panellerle güçlendirilmesini araştırılmıştır. Önüretimli betonarme panellerin ve mevcut yığma duvarın birlikte çalışmasını sağlamak için panelleri birbirine betonarme tijlerle, duvarla panel arasına enjeksiyon betonuyla ve sonradan dökülen beton bandın ankrajlamayla olmak üzere üç bağlantı tekniği kullanılmıştır. Güçlendirilmiş yapının sismik davranışını araştırmak için, dört referans duvar ve dört güçlendirilmiş duvar olmak üzere sekiz yığma duvar, yarı statik döngüsel yükleme altında test edilmiştir. Duvardaki açıklıklar ve betonarme kolon değişken olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Önüretimli betonarme paneller güçlendirme, mevcut yığma duvarların kesme kapasitesini, deformasyonunu ve enerji dağıtma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirebildiği için etkili bir güçlendirme tekniğidir. Önüretimli betonarme paneller, duvar yapısının bütünlüğünü etkili bir şekilde artırabilmekte ve döngüsel yükleme altında rijitlik bozulmasını azaltabilmektedir.
- Her numunede yığma duvar ve önüretimli betonarme paneller aralarında iş birliği içerisinde çalıştığından kayma deformasyonu oluşmamaktadır. Üç bağlantı yöntemi de uygun şekilde çalışmaktadır.
- Güçlendirilmiş açıklıksız duvarda göçme, duvar ve taban kirişi birleşim noktasında meydana gelmiştir. Bu nedenle, güçlendirilmiş duvar ile zemin arasındaki bağlantının sağlanması da önemlidir.
- Güçlendirilmiş yığma duvarların kesme kapasitesini bulan hesap yöntemi, açıklıkları olan yığma duvarın kesme kapasitesi için makul tahminler sağlarken, açıklığı bulunmayan yığma duvarın kesme kapasitesini fazla tahmin etmektedir.
- Yanal yerdeğiştirmenin artması ve doğrusal olmayan bir davranış sergilemesinden dolayı, üç bağlantı yönteminin transfer yükü oranı da değişmektedir. Sonradan

dökülen beton bandın, yükün yaklaşık %70'ini elastik aşamada ve yaklaşık %60'ını doğrusal olmayan aşamasında karşıladığından en etkili yöntem gibi görünmektedir. Beton enjeksiyon tekniği, yükün elastik aşamada %20-%30'unu ve doğrusal olmayan aşamada %5-10'unu aktarabilmektedir. Panellerin birbirine betonarme tijlerle bağlanması, elastik aşamada küçük bir rol oynar, kuvvetin yaklaşık %5'ini ve doğrusal olmayan aşamada kuvvetin yaklaşık %20'sini aktarmaktadır (Zhang, Lin, Wang ve Skalomenos, 2021).

Xu vd. (2022), mevcut eski yığma yapıları tek taraflı olarak önüretimli betonarme paneller kullanılarak güçlendirilmesi hedeflemiştir. Bu bağlamda yığma duvarların önüretimli panellerle güçlendirilerek sismik performansı incelenmiştir. Uygulanan bağlantı biçimlerinin etkinliğini araştırmak için çeşitli bağlantı biçimlerine sahip bir donatısız yığma duvar ve üç güçlendirilmiş duvar numunesi üzerinde yarı statik testler yapmışlardır. Bağlantı biçimleri; sadece beton enjeksiyonu, sadece panelin kesme pimi bağlantısıyla tutturulması ve her iki bağlantı türünün karma olarak kullanılması şeklindedir. Yapılan deneysel çalışmayla aşağıda verilen sonuçlar ortaya konulmuştur:

- Döngüsel yükleme testlerine dayanarak, yığma duvarların sismik performansını iyileştirmede önüretimli paneller kullanılarak yapılan güçlendirme yönteminin etkili olduğu belirtilmiştir.
- Karma bağlantı sisteminin, duvarın deformasyon kapasitesinde en etkilisi olduğu, panelin ve duvarın en az hasara uğradığı yöntem olduğu belirtilmiştir.
- Her bir güçlendirme numunesinin maksimum taşıma kuvveti, yığma duvarınkinden beş kat daha fazladır. Beton enjeksiyonun yapıldığı güçlendirmelerin, sadece kesme pimi bağlantısına oranla rijitliği daha fazladır. Sadece kesme pimi bağlantısının en yüksek sünekliğe sahip deney elemanı olduğu belirtilmiştir (Xu vd, 2022).

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde mevcut bir binanın güçlendirilmesine yönelik hızlılık ve pratiklik kazanmak adına önüretimli paneller kullanılan ve araştırılan bir yöntemdir. Önüretimli panelle yapılan güçlendirmeler binanın çerçevesinin/duvarlarının yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, enerji tüketme kapasitesini artırdığı literatürde yer alan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Literatürde, betonarme çerçevenin önüretimli panellerle güçlendirilmesi konusunda oldukça çalışma bulunurken, donatısız yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesi

konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Önüretimli panellerle yapılan güçlendirmelerde, panelle yapı elemanı arasında bağlantı epoksi harçlarıyla ve/veya konnektörlerle yapılmaktadır. Bağlantı elemanı olarak epoksi harçları kullanılan güçlendirmeler rijitlik ve yanal yük taşıma kapasitesi bakımından daha verimliyken, konnektörlerle yapılan güçlendirmelerde duvar daha sünek davranmaktadır. Epoksi harcı, konnektöre oranla ekstra bir işçilik gerektirdiğinden, kurulum yönünden kolay ve pratik olan mekanik ankrajların kullanılmasının güçlendirme işlemi sırasında işçiliği azaltacağı ve zaman tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir. Hatılla güçlendirme yapı elemanı arasında sadece konnektör kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda konnektör sayısının artırılmasının yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı ve göçmenin hatılda olduğu, ayrıca seçilen bulonun kalın olduğu belirtilmektedir. Gelen yükü az sayıda kalın ve rijit konnektörle karşılamak yerine daha çok sayıda ince ve sünek konnektörle karşılamanın daha uygun olacağına karar verilmiştir. Bu çalışma için, düşük dayanımlı betonlarda kullanımı diğer bağlantı elemanlarına göre daha uygun olan, piyasa koşullarına göre minimum donatı çapına ve etkin gömme derinliğine sahip borulu cıvatalı çelik dübeller seçilmiştir. İlk başta bu mekanik ankrajın düşük dayanımlı betonlarda kesme gerilmelerine karşı nasıl bir davranış sergileyeceği bilinmediğinden, borulu cıvatalı çelik dübellin düşük dayanımlı betondaki kesme davranışı araştırılmıştır.

Literatürde, beton/betonarme paneller veya kaplamalarla yapılan güçlendirmelerde, güçlendirme yapı elemanının tasarımına göre panel kalınlığı 3 cm'den kesme perdesi kalınlığı olan 20 cm'ye kadar geniş bir skalada araştırılmıştır. Ayrıca literatürde önüretimli panel ile güçlendirme yapı elemanı arasındaki bağlantı elemanı değişken tutularak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın ikinci aşamasında, önüretimli panelle duvar ve hatılın, kullanım bakımından pratik olan borulu cıvatalı dübelin sayısının ve önüretimli panelin kalınlığının etkisinin araştırılması yapılmıştır.

2. YIĞMA BİNA ve GÜÇLENDİRME ELEMANLARI

Duvarları, blok malzeme ve derzlerdeki örgü harcıyla tutturulan binalar ‘yığma bina’ olarak isimlendirilmektedir. Yığma binalar; donatısız, kuşatılmış ve donatılı olmak üzere üç tür olarak sınıflandırılmaktadır. Sadece blok malzeme ve örgü harcının kullanıldığı donatısız yığma bina türü ülkemizde yaygın bulunmaktadır (Güler, 2021). Bu yığma binalarda duvar bütünlüğünün sağlanması ve döşemelerin mesnetlendirilmesi için yatay hatıl bulunması gerekmektedir.

TBDY 2018 yönetmeliğine göre yeni inşa edilecek yığma binaların hatıları "Donatısız yığma binalar, donatılı yığma binalar ve kuşatılmış yığma binalarda rijit diyafram etkisini sağlamak üzere, en az 100 mm kalınlığında betonarme döşeme yapılacaktır. Bu döşeme en az 300 mm kesit yükseklikli ve 6Φ12 boyuna, Φ8/150 mm enine donatılı yatay hatıllara mesnetlenecektir. Yatay hatılların genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olacaktır. Yatay hatılların düşeyde aralığı 4 metreyi aşmayacaktır.” şekilde tasarlanması gerekmektedir (TBDY, 2018).

Bu bölüm genelinde ülkemiz yapı stoğunda geniş bir yer kaplayan yığma binaların yapı elemanları ve güçlendirmede kullanılan malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Yığma binanın duvarlarını oluşturan harman tuğlası ve örgü harcının; hatıl, döşeme ve önüretimli betonarme güçlendirme elemanlarını oluşturan beton ve donatının; güçlendirme bağlantı elemanı olarak kullanılan mekanik dübelin literatürde yer alan mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri sunulmuştur. Daha sonrasında yığma duvarın davranış özelliklerine yer verilmiştir.

2.1. Yapı Malzemeleri

2.1.1. Tuğla

TS EN 771-1’de tuğla; “Kil veya diğer killi topraktan, kum veya diğer toz katkı maddesi ilâve edilerek veya edilmeden seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek

sıcaklıkta pişirilmek suretiyle elde edilen kâgir birim" olarak tanımlanmaktadır (TS EN 771-1, 2015).

İnsanların barınma ihtiyaçlarını gidermek için yapılan ve tarihsel gelişimi çok eskilere dayanan yığma yapılarda harman tuğlası yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca deprem bölgesinde yer alan ülkemizin yapı stoğuna kayıtlı yığma binaların genelinde dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Özellikle betonarmenin yaygınlaşmadığı, hazır beton öncesi zamanlarda inşa edilen binalarda yığma yapım tekniğinin oldukça yaygın kullanıldığı, ayrıca fabrikasyon tuğla üretiminin gelişimine kadar dolu harman tuğlasının kullanıldığı görülmektedir. Dolu harman tuğlasının kullanıldığı tarihi yapılarda harman tuğlasının ebatları değişkenlik gösterirken (Bayülke, 2013) daha sonra 190x90x50 mm boyutlarında standartlaşarak günümüze kadar gelmiştir.

Harman tuğlası killi toprağın suyla harmanlanarak çamur malzemesinin hazırlanması, bu çamur malzemenin kalıplara dökülerek şekil verilmesi, daha sonra kurutulması ve sahra fırınlarında pişirilmesi olmak üzere 4 aşamada üretilmektedir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017)(ER, 2013). Sahra fırınına yerleştirilen tuğla, yaklaşık 850-950°C pişirilerek rijitlik ve dayanım kazanmaktadır (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). Tuğlanın porozitesini, basınç dayanımını, eğilme dayanımını ve donma çözülme dayanıklılığını tuğla malzemesinin karışım oranı ve malzeme mineralojik özelliklerinin yanı sıra, pişirme sıcaklığı ve pişirme süresi önemli ölçüde değiştirmektedir (Cultrone vd, 2004)(Dondi, Marsigli ve Venturi, 1999)(Johari, Said, Hisham, Bakar ve Ahmad, 2010)(García Ten, Orts, Saburit ve Silva, 2010). Aynı harmanda aynı zamanda üretilen tuğlalarda, el yordamı ve işçi yeteneğiyle hazırlanan karışımın homojen olmaması ve eşit sıcaklıkta pişirilememesinden tuğlanın basınç ve çekme dayanımında büyük farklar olabilmektedir (Bayülke, 2013)(Çağlar, Çağlar, Korkmaz, Demirel ve Yavuz, 2018).

Harman tuğlasının mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen çok fazla değişken olduğundan, tarihi tuğlalar özellik bakımından çok geniş bir spektruma sahip olup, porozite %15-40, su emme %10-20, birim hacim yoğunluğu 1,5-1,8 g/.cm^3 ve basınç dayanımı 1,5-30 MPa değerleri arasında değişkenlik göstermektedir (Fernandes, Lourenço ve Castro, 2010).

Harman tuğlası, günümüz standartlarında presle üretilen fabrika tuğlalısıyla karşılaştırıldığında, harman tuğlasının daha düşük birim hacim ağırlığına, daha yüksek poroziteye, daha yüksek su emme kapasitesine, daha fazla aşınma miktarına ve daha düşük basınç/çekme dayanıma sahip olduğu görülmektedir (Çağlar vd., 2018) (Atikoğlu ve Tavukçuoğlu, 2018).

2.1.2. Örgü Harcı

Duvarların yapımında kullanılan doğal ve yapay taşları bir arada tutarak bağlayan, kum, kireç, çimento ve su karışıma örgü harcı denilmektedir. Tuğlalar arasında yatay ve düşey derzler oluşturarak duvarın sünekliğini sağlamaktadır.

Örgü harcı üretiminde kireç, çimentonun icadına kadar olan süreçte hidrolik bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Çimento icadından sonra, çimento takviyeli örgü harçları, çimentonun üretiminin yaygınlaşmasıyla da örgü harcında sadece çimento bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ülkemizdeyse 1990'lı yıllara kadar kireç yaygın bir şekilde harçlarda bağlayıcı olarak kullanılmış olup (Aruntaş, Şahinöz ve Dayı, 2021), yığma binaların duvarları genellikle çimento takviyeli örgü harçlarıyla inşa edilmiştir (Bayülke, 2011). Ülke yapı stoğundaki yığma yapıların örgü harçları yaklaşık olarak 3 MPa basınç dayanımına sahiptir(Bayülke, 2011). Mevcut bir bina üzerinde yapılan çalışmada örgü harcının basınç dayanımının 5 MPa civarında olduğu tespit edilmiştir (Doğan ve Odacıoğlu, 2019). Geneli itibariyle bakıldığında ülkemiz yapı stoğundaki yığma binaların örgü harçlarının kalitesinin düşük olduğu görülmektedir (Korkmaz, Korkmaz ve Donduren, 2010).

Kireç, harcın su kaybetmesini yavaşlatarak işlenebilirliğini artırırken; çimento, harcın dayanım ve dayanıklılık kazanması sağlamaktadır. Örgü harcı karışımındaki kireç oranının artması, harcın birim hacim ağırlığında, basınç dayanımında ve eğilme dayanımımda azalmaya sebep olmaktadır (Aruntaş vd., 2021). Çimento-kireç harçları ile yapılan harçlar, düşük seviyede hava sürüklenmesi ile mükemmel işlenebilirliğe sahiptir (Tate, 2005). Çimento takviyeli harçlardaki kireç miktarındaki artış, priz sonu süresini arttığı gözlemlenmiştir (Aruntaş vd., 2021).

Kireç yoğunluk bakımından çimentoyla karşılaştırıldığında, kirecin yoğunluğu daha düşüktür. Bu da kirecin özgül yüzey alanının, çimento özgül yüzey alanından fazla olmasına sebep olmaktadır. Ağırlıkça hazırlanan karışımlarda, karışıma hacimce daha fazla kireç katıldığı görülmektedir. Kireç tanelerinin ve özgül yüzey alanının

fazlalığından dolayı tüm taneleri ıslatmak için çimento takviyeli örgü harcı karışımlarında kıvam sağlanılması için daha fazla suya ihtiyaç duyulmaktadır (Aruntaş vd., 2021).

Kirecin su tutma özelliği çimento hidrasyonunu optimize etmekte olup, yüksek oranda su emici duvar birimlerinde kirecin kullanımının faydalı olduğu görülmüştür (Tate, 2005). Düşük oranda kireç ilavesi harcın basınç ve eğilme mukavemetini, sertliğini, su tutma ve bağ mukavemetini arttırır, aynı anda hava içeriğini düşürür ve esnekliği arttırmaktadır. Düşük kireç ilavesiyle tetiklenen mukavemet ve sertlikteki artış, çimentonun hidrasyonunu arttıran kirecin yüksek su tutmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. (Pavia ve Brennan, 2019). Düşük kireç içerikli harçların basınç ve eğilme dayanımları ve elastik modülleri sadece kireçle bağlanan harçlarının ulaştığı değerlerden üstün olduğu, ayrıca kayma dayanımlarının benzerlik gösterdiği görülmüştür (Pavia ve Brennan, 2019).

2.1.3. Beton

Çimento, agrega, su ve bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ürüne beton denilmektedir. Beton, yapısı itibariyle başlangıçta plastik kıvamda olduğundan istenilen forma getirilebilecek haldeyken, çimentonun hidratasyonu ile priz alarak katılaşıp sertleşme özelliği sergilemektedir.

Beton, sahip olduğu birçok avantaja bağlı olarak dünyada inşaat sektöründe en yaygın kullanılan kompozit özellikteki yapı malzemesidir (Şimşek, 2020). Beton genel olarak, birim ağırlığına göre hafif, normal ve ağır; basınç dayanımına göre düşük dayanımlı, normal dayanımlı, yüksek dayanımlı; üretildikleri yere göre şantiye ve santral betonu şeklinde sınıflandırılmaktadır (Ünal ve Yurtçu, 2007)(Karakule, Akakın ve Uçar, 2004).

Ülkemizde beton tasarım dayanımı ABYYHY-1998 yönetmeliğine kadar C14 olarak belirlenmişken, bu yönetmelikle minimum beton sınıfının C18 olması gerektiği yasalaşmıştır. Ancak yığma binaların hatıllarının beton sınıfı en az C16 seviyesinde olması gerektiği belirtilmiştir(Budak, Uysal ve Aydın, 2004)(ABYYHY, 1998). DBYBHY-2007 deprem yönetmeliğiyle birlikte minimum beton sınıfı C20 olarak belirlenmiştir (DBYBHY, 2007). TBDY-2018 yönetmeliğine göre ise minimum beton sınıfı C25'e çıkartılmıştır (TBDY, 2018).

Ülkemiz depremselliği yüksek bir coğrafi konumda yer almakta olup, topraklarımızın %96'sı deprem riski altındadır (Taş, 2003). Yapı stoğuna kayıtlı mevcut binalarımız birçok depreme maruz kalarak hasar görmüşlerdir. 2003 Bingöl depreminde zarar gören binalar incelendiğinde, beton basınç dayanımlarının 10 MPa'dan daha az olduğu tespit edilmiştir (Kaplan, Yilmaz, Binici, Yazar ve Çetinkaya, 2004). 2020 Elazığ depreminde zarar gören binaların 6-12 MPa arasında beton basınç dayanımına sahip oldukları belirtilmektedir (Yurdakul, Duran, Tunaboyu ve Avşar, 2021). Yapılan bu çalışmalar, deprem performansı düşük olan binaların beton basınç dayanımlarının düşük olduğunu göstermektedir.

Depremde yıkılan binalarda uygun agrega gradülünasyonunun yapılmaması, maksimum tane boyutunun aşılması, temiz agrega kullanılmaması, beton üretiminin el yordamıyla hazırlanması, yüksek su/çimento oranı, yetersiz kürleme gibi sebeplerden beton dayanımlarının düşük olduğu vurgulanmıştır (Kaplan vd., 2004)(Yurdakul vd., 2021).

2.1.4. Donatı

Beton, çekme dayanımı karşılamada yetersiz kaldığından, yapıya gelen çekme gerilmelerini karşılamakta ve çatlak oluşumunu önlemekte donatı kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan donatılar en küçük akma sınırı gerilmelerine göre 220 MPa, 420 MPa ve 500 MPa olarak üç gruba ayrılmaktadır. TS 708'e göre 220 MPa akma sınır gerilmesindeki donatılar düz çubuk şeklindeyken, diğer akma sınır gerilmesine sahip donatılar nervürlü üretilmektedir. Hasır donatı üretiminde 500 MPa akma sınır gerilmesine sahip donatı çubukları kullanılmaktadır.

1999 depremi sonrası yıkılan binalardan alınan donatıların %10'unun nervürlü olduğu belirtilmektedir. Bu da binaların yapıldığı tarihlerde nervürlü çeliğin binalarda yeni kullanılmaya başlanmış olduğunu ya da kullanımının yaygın olmadığını göstermektedir (Özgan ve Kap, 2005). Ayrıca 2000 yılında donatıların akma ve çekme dayanımları ölçülmüş olup, Afet Yönetmeliğine tam bir uygunluk sağlanılmadığı gözlenmiştir (Özkul, 2003).

Nervürsüz donatı çubukları, betonla yeterli aderansı sağlayamadığından, betonarme deprem performansını olumsuz yönde etkilenmekte ve geniş çatlaklar oluşturmaktadır (Yurdakul vd., 2021).

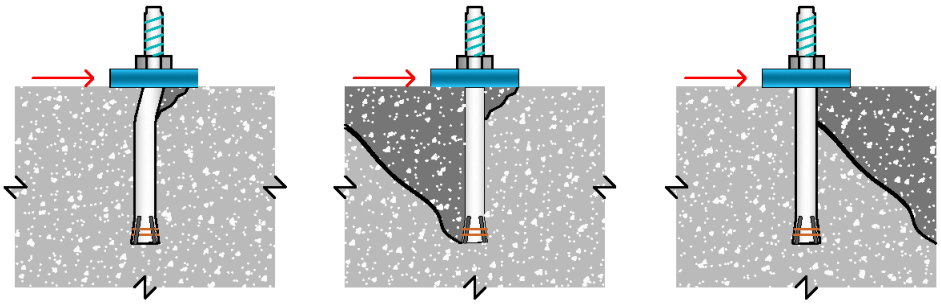
Hasır donatı, soğuk işlem görmüş olan çeliğin nervürlendirilmesi ve çubuklarının birbirlerine elektrik nokta kaynağı ile birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. S500b çelik sınıfına göre üretilen hasır donatının minimum karakteristik akma dayanımı 500MPa, minimum kopma dayanımı 550 MPa ve minimum kopma uzama oranı %5–8 aralığında olmaktadır. S500b çelik çubukları minimum 4 mm çapında olup çap genişliğinde olup, 5 mm aralıklarda çap genişliği artmakta ve 12 mm'ye kadar genişlemektedir. Hasır donatı TS 4559 standardına göre, 15 adet boy, 20 adet en çubuklu olacak şekilde R tiplerinde ve 15 adet boy, 33 adet en çubuklu olacak şekilde Q tiplerinde üretim bulunmaktadır. Donatı yerleşimine göre R tipinde çubuklar boyda 250 mm ende 150 mm aralıklarla yerleştirilmiş olup, Q tipindeyse boyda ve ende 150 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu standart tiplere göre donatı çapı 4-7.5 cm aralığında değişkenlik göstermektedir (TS 4559, 2010).

2.2. Ankraj Kesme Performansı

Çelik dübeller, uygulanan tork kuvvetiyle birlikte betonda gömülü olan uçta bulunan sıkıştırma konisi, gömlek malzemesini genleştirerek gömlek ve beton arayüzeyinde sürtünme kuvveti vasıtasıyla tutunan yapı malzemesidir. Çelik dübeller, yapı üzerine sonradan dahil edilecek yapısal olan veya olmayan elemanın montaj işlemi sırasında kolay ve hızlı kurulum sağlamasının yanı sıra, kurulumdan sonra çekme ve kesme dayanımı bakımından tam kapasitede çalıştığından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da kullanım kolaylığı ve tam kapasite hizmet vermesinden dolayı çelik dübeller kullanılmıştır.

Dübeller, sadece çekme gerilmesine, sadece kesme gerilmesine veya her iki gerilmenin kombinasyonuna tabi olurken, kesme yükünün dübelle eksantriklik oluşturacak şekilde uygulanması durumunda moment kuvveti etkisine de maruz kalmaktadır (Chen, 2021)(Lotze, Klingner ve Graves, 2001). Dübelin gömme derinliğine ve beton basınç dayanımına bağlı olarak kesme kuvvetlerine maruz kalan ankrajların göçme tipleri Şekil 2.1'de gösterildiği gibi;

- elastik ve lineer olmayan ankrajında kesme göçmesi,
- kırılgan ve beklenmedik olan betonun konik göçmesi
- ankraj şekilde gösterilen eleman kenarına yakın yerleştirildiğinde, yine kırılgan ve beklenmedik olan betonda kopma göçmesi şeklindedir.



Şekil 2.1. a) Ankraj kesme göçmesi, b) betonda konik göçme c) betonda köşe kopma göçmesi (Odacioglu, Dogan ve Kale, 2022)

Dübelin kesme performansını etkilemekte; ankraj ve gömlek tipi, betonun çatlaklı veya çatlaksız bölgesi, beton bloğun kenarına bağlı olarak ankrajın yeri, çelik levhada açılan delik genişliği, ankraj çapı, beton basınç dayanımı, beton donatısı, gömme derinliği gibi çeşitli etkenlere göre performans değişikliği ön plana çıkmaktadır. Bir ankrajın genleşme başlığının uzunluğu, ankrajın kayma mukavemeti ve yerdeğiştirmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Hur, Chae, An ve Park, 2021).

Ankraj Bölgesi, betona gömülen ankrajların kayma performansı üzerine yapılan çalışmalarda betonun çekme dayanımı düşük olduğundan, kenar gölgelere yapılan akrajlamalarda, ankrajdan ziyade betonda göçme olması dikkat edilmesi gereken hususlardan birisidir (Vintzēleou ve Tassios, 1986)(Takase, Wada, Ikeda ve Shinohara, 2012). Kenarlardan uzakta bulunan ankrajlar üzerinde gerçekleştirilen tüm kesme testlerinde göçme ankrajda gerçekleşmektedir (Mahrenholtz ve Eligehausen, 2015). Dübelin beton kenar bölgesine kurulumu ACI-318, ACI-355 standartlarında yer almaktadır (ACI 318-14, 2014)(ACI 355.2-07, 2007).

Ankrajın çapının artırılması, kesme taşıma kapasitesini artırırken enerji tüketme kapasitesini azaltmaktadır (Çalişkan, Yilmaz, Kaplan ve Kiraç, 2013). Ayrıca daha ince olan ankraj cıvataları, kalın ve rijit bağlantı elemanlarına göre daha sünek ve doğrusal olmayan davranış göstermektedir (Dogan vd., 2021). Bu nedenle, hem ankraj donatı çubukları hem de ankraj cıvataları için yeterli ankraj alanı varsa, daha az sayıda büyük çaplı ankraj yerine çok sayıda küçük çaplı ankraj kullanılması tercih

edilmelidir (Çalişkan vd., 2013)(Valikhani, Jahromi, Mantawy ve Azizinamini, 2021).

Beton dayanım sınıfı normal ve yüksek olanlar için ankrajın kesme kapasitesi gereklilikleri ACI-355 standardında yer almaktadır (ACI 355.2-07, 2007). Beton dayanımındaki değişimler ankrajların yerdeğiştirme ve taşıma kapasitesi üzerinde etkilidir (Sørensen, Hoang, Olesen ve Fischer, 2017). Beton kalitesinin düşük olduğu yerlerde borulu cıvatalı çelik dübel kullanılması gerekmektedir ("Civatalı Borulu Dübel | May Dübel Bağlantı Elemanları").

Betondaki çatlaklar ve çatlak genişliğinin kesme dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur, ancak ankrajın yerdeğiştirmesinin artırmasında rol oynamaktadır (Mahadik, Sharma ve Hofmann, 2016)(Shuvalov, Gorbunov ve Kovalev, 2021). Göçmenin betonda olması durumunda çatlaklar ankrajın taşıma gücünü önemli ölçüde azaltmaktadır (Kabantsev ve Kovalev, 2022).

Etrafı donatı ile çevrili betonarme içerisine gömülen ankrajlar sünek davranır ve betonda gevrek kırılma yerine ankrajda sünek kırılma meydana gelir (Zoubek, Fischinger ve Isakovic, 2015). Hatta donatı ağının yoğun olduğu bölgelerde donatı betona daha fazla mesnet sağladığı için ankraj kesme ve yerdeğiştirme açısından daha yüksek performans sağlamaktadır (Del Rey Castillo ve Ingham, 2020).

Binaların kolon-kiriş birleşim yerleri, deprem etkisi altında yüksek moment ve kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Böylece betonun çatlak hasarları kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelir. Bu nedenle, güçlendirme işleminde, deprem nedeniyle betonun çatlaması beklenen ve ankrajın kesme kuvvetine maruz kalacağı yerlerde, borulu cıvatalı çelik dübellerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Balbuena, Gramaxo ve Kunz, 2011). Genleşme ankrajları, dinamik deprem etkileri nedeniyle oluşan çatlaklardan sonra kayma dayanımlarını korudukları tespit edilmiş olup, dinamik yük altındaki bağlantılarda doğrusal olmayan davranış göstererek ankraj taşıma kapasitesini arttırdıkları için güvenilir kabul edilmektedir (Ghobarah ve Aziz, 2004)(S. Y. Kim, Yu ve Yoon, 2004)(Mahrenholtz, Eligehausen, Hutchinson ve Hoehler, 2016)

Ankraj delik çapı, beton ile levha arasında bağlantı kurulurken, levhanın ankraja kıyasla daha geniş delinmesi ve ankrajın yuvaya tam olarak oturmaması durumun da,

ankraj eğilmeye çalışmakta ve kesme dayanımı performansında önemli ölçüde azalmaya sebep olmaktadır (Balbuena vd., 2011).

Gömlek tipi ve beton basınç dayanımı, ankrajının kesme performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Düşük dayanımlı betonda, tersinir tekrarlı yükler altında dübelin genleşerek tutunmasını sağlayan gömlek/boru kesme kapasitesini olumsuz etkilemektedir (Guillet, 2011).

Ankrajı sıkılamak için uygulanan tork gücünün, yapılan kesme testleri sonucunda yük taşıma kapasitesini etkilemediği belirlenmiştir (J. S. Kim, Jung, Kwon ve Ju, 2013).

Kenar kırılmasını önlemek için yeterince geniş kenar aralığına sahip ankrajlarda, beton dayanımı, ankraj aralıkları ve çatlak genişliği gibi önemli parametreler kesme yüklemesinin taşıma kapasitesini, çekme yüklemesinden çok daha küçüktür (Eligehausen, 1987).

Çekme gerilmesi altındaki ankrajların gömme derinliği, ACI 318'e göre teorik olarak ankraj çapının 4 ila 20 katı arasında önerilmektedir. Kesme gerilmesi için, ASTM E488'de ankraj çapının 6 ila 8 katı arasında gömme derinliği önerilmektedir (ACI 318-14, 2014)(ASTM E488 / E488M, 2018). Literatürde, Türkiye'de genel olarak düşük dayanımlı betonlara (30 MPa'dan az) mekanik ankrajların kayma performansının belirlenmesine yönelik yapılmış yeterli çalışma bulunmamaktadır.

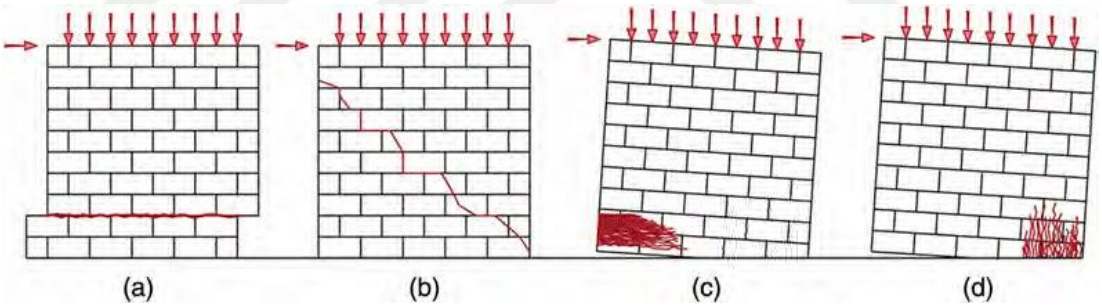
Yığma binaların dolu tuğlalı duvarlarına ankraj edilen Φ10 ankraj donatıları kesme performansının belirlenmesine yönelik yapmış oldukları deneysel çalışmada, ankrajın maksimum efektif gömme derinliğinin 210 mm olduğu bulunmuştur (Dogan vd., 2021).

2.3. Duvar ve Güçlendirme

Yığma duvar tuğla ve örgü harcının birleşimiyle oluşan yığma yapının taşıyıcı elemanıdır. Tuğla ile örgü harcıyla yapılmış duvarın mekanik özellikleri yapının düşeyde ve yatayda taşıma kapasitesini belirlemektedir. Deprem performansı bakımından yüksek dayanıma sahip kaliteli malzeme kullanımı önem arz etmektedir (Çitiloğlu ve Erberik, 2017).

Eğer bölgede sismik aktiviteler yoksa, yığma yapıların dengesi sadece yerçekimi yüklerine karşı dizayn edilmektedir. Depremlerin olması durumunda yapıya yatay yükler etkimesinden dolayı, duvar malzemelerinin davranış açısından elastik sınırı aşması durumunda eğilme ve kesme gerilmeleri oluşmaktadır. Yapıda deprem yüklerine karşı koyacak tek eleman olan duvarlar eğer elastik deformasyona dayanacak ve enerjiyi dağıtarak sönümleyecek şekilde tasarlanıp detaylandırılmamışsa, eylemsizlik momenti karşısında hasar görecektir.

Deneysel verilere ve yapılan hasar analizi sonuçlarına göre duvara düzlem içi olarak gelen deprem kuvvetinin kayma, kesme ve eğilme gibi üç tip davranış mekanizması oluştururken eğilmede devrilme ve tabanda ezilme olacak şekilde iki tip göçme oluşmaktadır(Tomazevic, 1999)(Oyguc ve Oyguc, 2017). Duvarın davranış mekanizmasına bağlı olarak oluşan göçme türleri Şekil 2.2'de gösterilmektir. Bu davranış şekillerini duvarın geometrisine (yükseklik/genişlik oranı), malzeme kalitesine ve yükleme şekli gibi durumlar etkilemektedir (Tomazevic, 1999)(Churilov ve Dumova-Jovanoska, 2013).



Şekil 2.2. Düzlem içi sismik yüke maruz kalan bir yığma duvarların göçme türleri: (a) kayma hasarı, (b) diyagonal kesme hasarı, (c) devrilme ve (d) tabanda ezilme.(Oyguç, 2017)

Duvar zayıf harç kalitesinde üretilmiş ve oldukça düşük düşey yük etkisi altındayken, deprem kuvveti etkisiyle duvar bir yatay derz boyunca çatlayarak iki parçaya ayrılır. Bu davranış kayma göçmesi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.2 a).

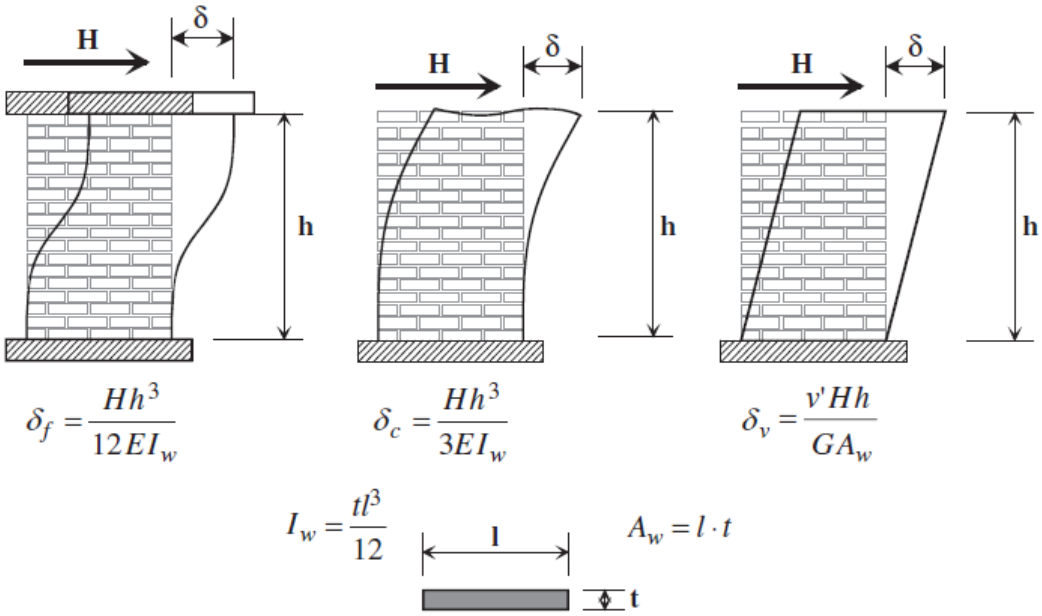
Eğer düşey yük altındaki eksenel basınç gerilmeleri olağan seviyelerdeyse, kesme veya eğilme davranışı gösterecektir. Deprem kuvveti etkileri altında duvar malzemelerinin akma dayanımını aşması, düşey ve yatay yüklerin kombinasyonunda

duvarda çekme kuvvetleri oluşması sonucunda kesme davranışı meydana gelmektedir. Yanal direnç aşıldıktan sonra duvarda karakteristik diyagonal çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.2 b). Bu çatlaklar hem harcın kalitesine göre derzleri takip etmekte ayrıca da tuğla malzemesi üzerinde oluşabilmektedir.

Duvar üst düzey kesme direncine ve yüksek moment/kesme oranına sahip olduğunda eğilme davranışı göstermektedir. Duvar üzerinde oluşan düşey gerilmeleri az olduğunda duvar devrilme hareketi gösterirken (Şekil 2.2.c), yeteri kadar düşey gerilme olması durumunda taban bölgesinde ezilme oluşarak (Şekil 2.2.d) göçmektedir.

Yanal yüklere karşı duvarın mukavemeti asıl parametre olmasına rağmen, yapının sismik direncinin değerlendirilmesi için deforme olabilirlik, süneklik ve enerji dağıtma kapasitesi ve rijitlik bozulması gibi diğer parametreler de önem taşımaktadır. Bu yüzden, yığma duvarların sismik direncinin değerlendirilmesine yönelik deneysel testler, yanal yüklemenin döngüsel karakterini ve gerçek sınır kısıtlamalarını simüle etmek için tasarlanmıştır (Tomaževič, 2009).

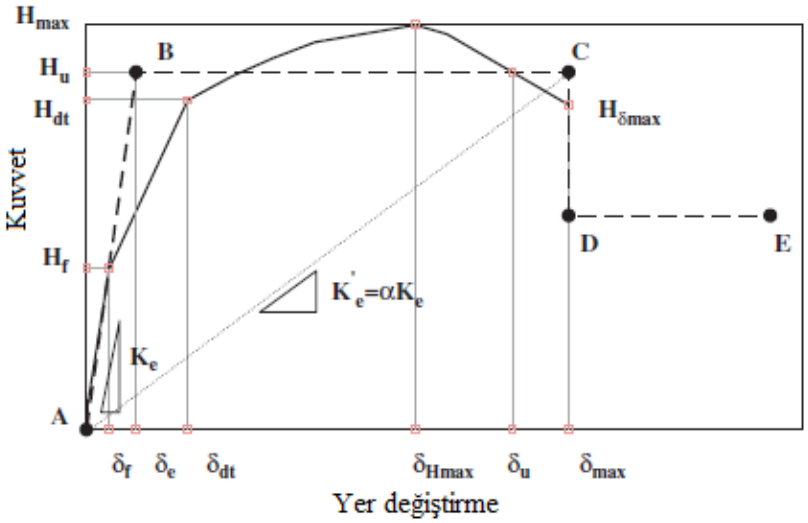
Yığma yapıların performans düzeylerinin değerlendirilebilmesi için elemanların rijitliklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapısal elemanların rijitliği, yapının genel dinamik davranışını ve sismik kuvvetlerin dağılımını belirler. Elastisite teorisine göre rijitlik mekanik özelliklere, elemanın geometrisine ve sınır koşullarına bağlıdır ve birim yerdeğiştirmeye neden olan hareketle tanımlanır. Düzlem içi yanal yüklü duvar elemanları için birim yerdeğiştirmeler/sehimler Şekil 2.3'de sunulmuştur(Bosiljkov, V., Page, Bokan-Bosiljkov ve Zarnic., 2008).



Şekil 2.3. Yığma duvarların elastik sapmaları (Bosiljkov vd., 2008)

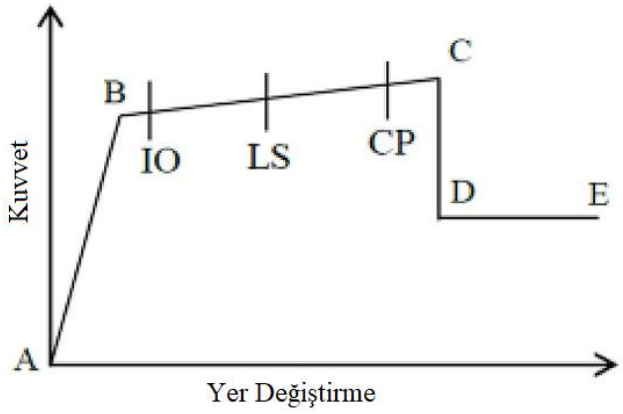
Yığma duvarları oluşturan malzemelerin dayanımları geniş bir skalaya sahip olduğundan dolayı, yığma duvarlar elastik ve homojen olmayan anizotropik bir karaktere sahiptir. Bu da duvarların davranışını daha karmaşık hale getirdiğinden dolayı yığma yapıların modellenmesini zorlaştırmaktadır. Yığma duvarları elastik ve doğrusal olmayan bir davranış gösterdiğinden dolayı, duvar davranışının idealleştirilmesi gerekmektedir (Çırak, 2011).

Çift eksenli yüklü duvarın genel sismik performansını ölçmek için ilk adım, duvar elemanlarının deneysel eğrileri elde etmektir. Genellikle idealleştirme, iki doğrusal veya üç doğrusal eğriler aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Deneysel eğrilerin çift doğrusal idealleştirilmesi genellikle gerçek ve idealleştirilmiş panellerin eşit enerji dağıtma kapasitesi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu, gerçek ve çift doğrusal idealleştirilmiş eğrilerin altındaki alanların eşit olması sağlanarak Şekil 2.4'deki gibi yapılmaktadır. Test edilen panellerin gözlenen davranışındaki sınır durumları performansa dayalı terimlerle deneysel zarfı idealleştirmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. İdealleştime eğrisi (Bosiljkov vd., 2008)

FEMA 356 yönetmeliğinde depreme maruz kalan yapılarda oluşacak hasar durumları Şekil 2.5'de gösterildiği gibidir (FEMA 356, 2000). Burada performans seviyeleri aşağıda erilmektedir.



Şekil 2.5. Sayısal çözümleme deprem performansı hasar durumları

B (Basic Safety) Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi: Bina kısa sürece onarılabilecek seviyede ya da hiç hasar almadığını belirtir. Herhangi bir can güvenliği tehlikesi yoktur. Deprem sonrası yapı kullanılabilir

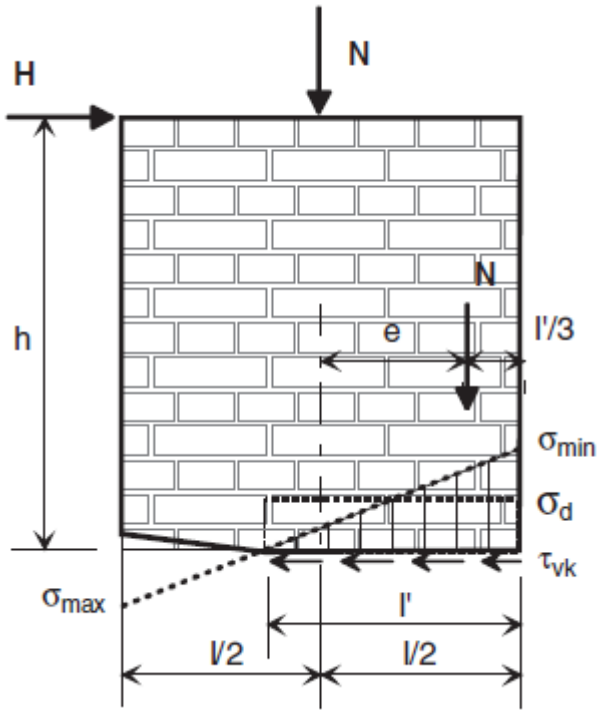
IO (Immediate Occupancy) Hemen Kullanım Performans Seviyesi: Bina deprem sonrasında önceki rijitliğine ve dayanımına sahip olduğundan, önemli yapılar için

seçilen bir performans seviyesidir. Binada oluşan hasarlar yok denile bilecek kadar az seviyededir.

LS (Life Safety) Can Güvenliği Performans Seviyesi: Bina deprem sonrasında önceki rijitliğini ve dayanımını kaybettiğinden dolayı yapı elemanlarında belirli seviyelerde hasar oluşması beklenmektedir. Bina onarılarak kullanılabilecek seviyededir.

CP (Collapse Prevention) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi: Deprem sonrası yapı elemanlarında ciddi hasarlar meydana gelir, kalıcı deformasyonlar oluşur, binada ağır hasar oluştuğunun kullanılacak seviyede değildir.

Yığma duvarın düşey ve yatay yüklere karşı hesap varsayım yöntemi Şekil 2.6'da verilmektedir. Düşey kuvvet, duvarda düzgün yaylı yük halinde basınç gerilmesi oluşturmaktadır. Yatay yük, duvarda moment oluşmasına sebep olduğunda üçgen yaylı yük olarak tesir etmektedir. Yatay ve düşey yükün kombinasyonun alındığında duvarın bir ucunda maksimum basınç gerilmesi oluşurken, yatay kuvvetin uygulandığı diğer uçta çekme gerilmesi oluşmaktadır. Duvar basınç gerilmesinin oluştuğu yüzey boyunca kesme kuvvetine direnmektedir.



Şekil 2.6. Duvar kuvvet hesap varsayımı (Bosiljkov vd., 2008)

Betonarme güçlendirme elemanıyla yığma duvar arasında kuvvetli bir bağ oluşturulduğunda güçlendirilmiş duvar kompozit malzeme olarak davranmaktadır. Donatısız yığma duvarlara yapılan güçlendirme, yalnızca duvar üzerine takılan dayanımı yüksek malzemelerle fayda sağlamanın yanı sıra duvarın davranışını ve çatlak dağılımı da değiştirerek, duvarın dayanımına, sünekliğine katkı sağlamaktadır.

Depremler sırasında artan kesme kuvvetleri duvarlarda ve birleşim yerlerinde hasarlara neden olmuştur. Yığma duvarda bu tür hasarı yayan mevcut yapılar için önerilen prosedür, çelik ağ ile kaplamak ve çivilerle ankraj yapmak ve ardından püskürtme beton ile püskürtmektir(Yön, Onat, Emin Öncü ve Karaşin, 2020). Duvar üzerine yapılan güçlendirme, duvarın daha sünek davranış göstermesine katkı sağlamaktadır (Shermi ve Dubey, 2018). Hasır donatı ve çimento harcıyla güçlendirilen duvarlar, yalın duvara kıyasla kesme dayanımında ve süneklikte önemli artış göstermiştir (Shermi ve Dubey, 2018). İnce betonarme mantolamayla yapılan çalışmalarda mantonun duvardan ayrılması ve bükülmesi gibi göçme davranışı göstermektedir (Churilov ve Dumova-Jovanoska, 2013). Güçlendirilmiş duvarın taşıma kapasitesi sadece duvara kıyasla daha yüksek çıkmaktadır. Duvar yüzeyinin pürüzlülüğü güçlendirme mantosunun etkinliğini artırmada önemli rol oynamaktadır (Augenti, Nanni ve Parisi, 2013). Duvar örüm şekli, kalınlığı ve malzeme kalitesi güçlendirmenin performansını da etkilemektedir(Del Zoppo, Di Ludovico ve Prota, 2019).

Tek taraflı olarak yapılan güçlendirme binaların iç mekan kullanımını engellemeden, binanın dış cephelerinden yapılarak güçlendirilmesi ekonomik, uygulanabilir ve tercih edilebilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak düzlem içi yükler etkisi altında elastisitesi yüksek bir beton manto ile elastisitesi düşük güçlendirilmiş duvarın ağırlık merkezi, tam eksende olmayacağından dolayı, duvar düzlem dışı hareket etmeye çalışacaktır (Shabdin vd., 2018). Ayrıca, güçlendirme sonrası binaya eklenen güçlendirme elemanlarının bina deprem performansının olumlu yönde etki etmesine karşın, mevcut yığma binanın ağırlığını artırdığından dolayı, binanın deprem salınım periyodunu etkilemesi dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. ANKRAJ KESME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Güçlendirme, deprem performansı bakımından yeterli kapasitede olmayan binalarda yapılmaktadır. Bu binalar incelendiğinde her ne kadar o dönemki yönetmeliklere dayanarak yapılmış olsa bile, beton basınç dayanımlarının deprem performansı bakımında yetersiz olduğu görülmektedir. Güçlendirme yapılırken, güçlendirme elemanları düşük dayanımlı betona sahip yapı elemanlarına konnektörlerle bağlanmaktadır. Hızlı ve pratik kurulum özelliğine sahip olan mekanik ankrajlar güçlendirmede bağlantı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak mekanik ankrajların düşük dayanımlı betonlarda kullanılmasının uygunluğuna yönelik çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden, çalışmada düşük dayanımlı betonda ankrajın kesme performansı incelenmiştir. Düşük dayanımlı betonlar, elastisitesi düşük, porozitesi yüksek olduğundan dolayı, beton yüzeyiyle gerek genleşmeyle oluşan sıkışmayla gerekse sürtünme dayanımıyla bir fiil bağlantı kurabilecek borulu cıvatalı çelik dübellerin kullanılması tercih edilmiştir.

Bu deneysel çalışmada, Türkiye'de mevcut betonarme yapı stokları düşünülerek 1998'e kadar C14, 2007'ye kadar C18-20 , 2018'e kadar C20 ve 2018'den sonra C25 beton dayanımı (ABYYHY, 1998)(DBYBHY, 2007)(TBDY, 2018) ile tasarlanmış ve üretilmiş normal ve düşük dayanımlara sahip betonlarda borulu cıvatalı çelik dübellerin kesme performansının belirlenmesi hedeflemiştir. Mevcut betonarme yapıya sonradan dahil edilecek elemanları bağlamaya yarayan mekanik konektörlerin farklı gömme derinliklerindeki (50 mm, 70 mm, 90 mm, 110 mm) performansını incelemek için 6 farklı dayanımda 72 adet 15 cm'lik betonarme küp numune hazırlanmıştır.

3.1. Deney Malzemeleri ve Karakteristik Özellikleri

3.1.1. Beton

Bu çalışma kapsamında günümüz yönetmeliklerine uygun basınç dayanımına sahip olmayan 4 beton sınıfı, uygun basınç dayanımına sahip olan 2 beton sınıfı seçilmiştir. Beton karışımlarında Şekil 3.1'de görüldüğü gibi Kırıkkale Yahşihan ilçesindeki kırma taş ocağından alınmış tane boyutu 0,00-4,00 mm olan ince agrega ve tane boyutu 4,00-11,20 mm olan iri agrega kullanılmıştır.

Şekil 3.1. İnce ve iri agrega

Beton karışımında kullanılan agregalar üzerinde tane büyüklüğü dağılımı, gevşek-sıkışık birim ağırlık tayini, organik madde oranı tayini, özgül ağırlık ve su emme oranı deneyleri yapılarak, agregaların uygunluğu test edilmiştir (TS EN 933-1, 2012)(TS EN 1097-3, 1999)(TS EN 1744-1+A1, 2013)(TS EN 1097-6, 2022). Beton karışımda kullanılan ince ve iri agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de, elek analizi sonrası elekten geçen malzemelerin yığışımlı olarak yüzdesi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

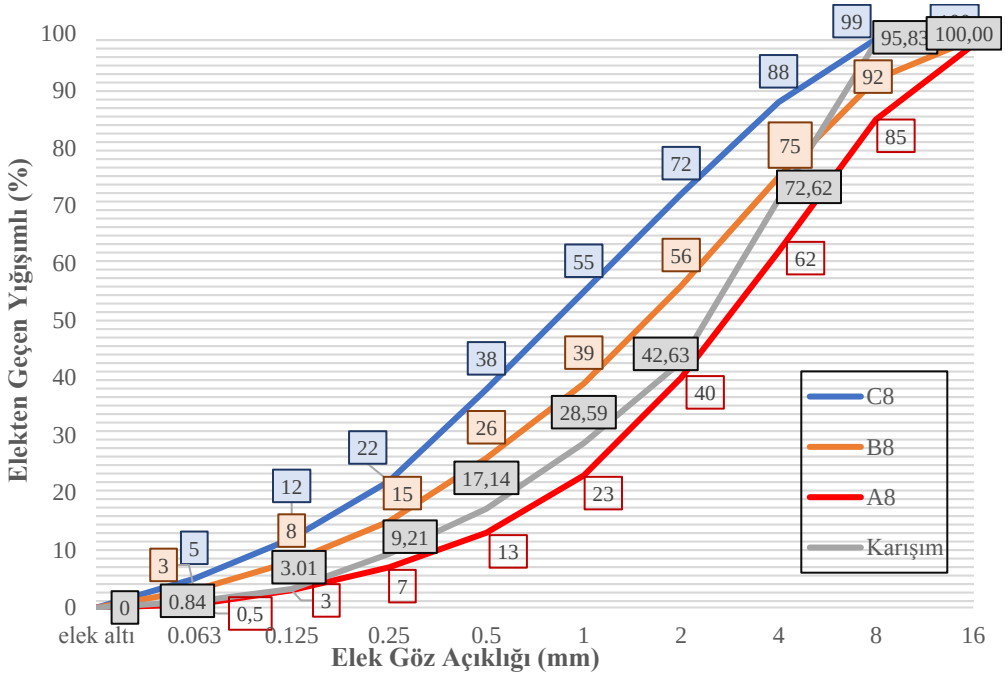
Çizelge 3.1. Beton karışımı için agregaların özellikleri

		İnce Agrega (0-4 mm)	**İri Agrega (4-11,2 mm)**
Birim Ağırlık (g/cm^3)	**Gevşek**	1,58	1,42
	Sıkışık	1,77	1,56
Özgül Ağırlık (g/cm^3)		2,50	2,61
Su Emme Oranı (%)		4,4	0,9
Organik Madde Oranı		Yok	Yok

Çizelge 3.2. Elek analizi sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen % (Yığışımlı)	
	İnce Agrega (0-4 mm)	İri Agrega (4-11,2 mm)
16,000	100,00	100,00
8,000	100,00	86,13
4,000	99,39	10,18
2,000	60,47	1,03
1,000	40,42	0,98
0,500	24,09	0,95
0,250	12,76	0,93
0,125	4,09	0,78
0,063	1,12	0,19
Toplama Kabı	0,00	0,00

Beton karışımda, ince agrega %70 oranında, iri agrega %30 oranında kullanılmış olup, karışım agrega yığışımlı elek analiz sonuçları TS 802 standardında belirtilen agrega granülometri eğrisine göre Şekil 3.2'de gösterildiği gibidir (TS 802, 2016).



Şekil 3.2. Beton agrega granülometrisi

Beton karışımları hazırlanırken karışımlarda Baştaş marka CEM IV/B (P) 32,5 N-SR çimento kullanılmıştır. Beton karışımı içerisinde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Beton karışımında 6 farklı beton dayanımı elde edilmiş olup, beton dayanımlarının değişkenliği su/ çimento oranı değiştirilerek sağlanmıştır. A1'den başlayarak A6'ya kadar dayanım artacak şekilde isimlendirilmiş olan numunelerin karışım oranları ve beton silindir dayanımları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Beton karışım oranları ve ortalama silindir basınç dayanımları

		Beton Grupları					
		A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**
Kum (0,00- 4,00 mm)- Kg		1123,12	1095,50	1062,37	1039,18	996,00	943,00
Çakıl (4,00-11,20 mm)-Kg		561,56	547,75	531,19	519,59	498,00	472,00
Çimento (CEM 32,5)-Kg		190,00	240,00	300,00	342,00	410,00	500,00
Su-Kg		275,74	274,86	273,80	273,06	275,00	275,00
Küp Dayanımlar (MPa)ı	**No 1**	5,16	7,72	10,75	18,99	32,69	41,02
	No 2	5,09	7,16	11,21	17,36	32,11	37,93
	No 3	5,15	7,48	11,27	18,31	31,59	40,53
Silindir dayanım f_{ck} (MPa)		4,36	6,34	9,42	15,49	27,31	33,85

3.1.2. Borulu Cıvatalı Çelik Dübel

Ülkemiz piyasa koşullarına göre daha sünek davranış göstermesi için önüretimli panellerle güçlendirmeye uygun gömme derinliğini karşılayacak boy aralığında ve minimum çapta M10 borulu cıvatalı çelik dübeller kullanılmıştır. Bu dübellerin efektif gömme derinliğini oluşturan gömlekler 50, 70, 90 ve 110 mm uzunluklarındadır. Açılan deliklere piyasada kullanımı yaygın olan M10 borulu çelik dübeller kullanılmıştır. Efektif gömme derinliğine sahip değişken gömme boylarındaki M10 borulu cıvatalı çelik dübeller Şekil 3.3'de verilmiştir.

Şekil 3.3. Farklı gömlek boylarında hazırlanmış borulu cıvatalı çelik M10 ankraj dübelleri

Borulu cıvatalı çelik dübellerin cıvata kısmı Şekil 3.4'de gösterildiği gibi çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi yapılan 3 adet 10 mm kalınlığındaki cıvatanın ortalama çekme dayanımı 27,92 kN olarak bulunmuştur.

Şekil 3.4. Borulu cıvatalı çelik dübel çekme testi

3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Betonun çekme dayanımı düşük olduğundan, ankraja uygulanan kesme gerilmeleri altında, betonda ankraj düzlemi boyunca çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Betonda oluşan çekme gerilmelerini karşılamak ve daha küçük boyutlarda numune üretimi yapabilmek için Φ4'lük çelik donatı çubukları kullanılmıştır. Bu donatı çubukları 13x13 cm ebatlarında kare etriye haline getirilerek, üç etriye Şekil 3.5'deki gibi prizmatik bir şekilde birbirlerine tutturulmuştur ve 15x15x15 cm boyutlarındaki küp kalıp içerisine yerleştirilmiştir.

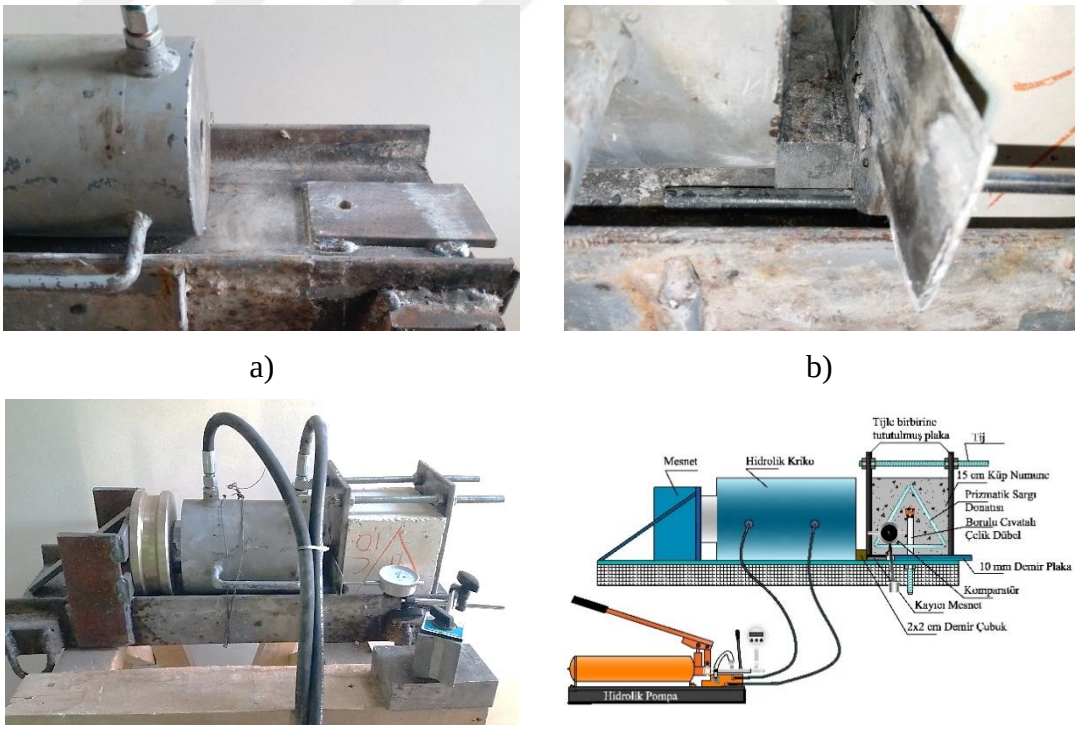
Şekil 3.5. Ankraj kesme numunesinin imalatında; üçgen prizmatik sargı donatısı ve kalıba yerleştirilmesi

Donatısı kalıplara yerleştirilen numunelerde, bir beton dayanımı için 4 farklı ankraj gömme derinliğinde ve her ankraj gömme derinliğinden 3 adet olacak şekilde 12 adet numune hazırlanmıştır. 6 farklı beton dayanımı için her birinden 12 adet olmak üzere toplamda 72 adet betonarme numune hazırlanmıştır. Deney numunelerinde oluşabilecek çatlamaları ve numune kaybını en aza indirmek için, beton kalıp içindeyken ve taze haldeyken 13 mm çapındaki matkapla delik açılarak dübellerin kurulumu yapılmıştır. Kalıptan çıkartılan numunelere 28 gün boyunca hava kürü uygulanmıştır. Kurulumu yapılan beton numuneleri ve numunelerin kürü Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Şekil 3.6. Dübellerin betonarme numunelere ankrajlanması ve numune kürü

3.3. Deney Yöntemi

Farklı basınç dayanımlarındaki küp betonarme numunelerine farklı gömme derinliklerde takılan borulu cıvatalı çelik dübel numunelerin deney düzeneği, kullanılan ekipmanlar ve deney modeli Şekil 3.7'de verilmiştir. Deney ekipmanı olarak; elektronik basınç ölçerli 30 ton kapasiteli hidrolik pompa ve kriko, yatay deplasman ölçümünde kullanılmak üzere komparatör kullanılmıştır. Ankraj dübelinde sadece kesme oluşması, çekme gerilmesi ve eksantriklik oluşmaması için numunenin yerleştirildiği kısım 10 mm kalınlığındaki bir levha ile Şekil 3.7 a'da görüldüğü gibi yükseltilmiştir. Kriko-numune arasına Şekil 3.7 b'de gösterildiği gibi yerleştirilen 20 mm kare kesitli bir demir profil aracılığıyla numuneye kesme kuvveti uygulanmıştır. Profilin betonu ezerek numunenin altına girmemesi ve betonda oluşan ezilmeler sonucunda plakada dönme olmaması için betona basınç uygulamayacak şekilde numunenin ön ve arka yüzüne yerleştirilen iki plaka üst kısımlarından iki adet tijle Şekil 3.7 c-d'de gösterilen deneysel düzenek ve modeldeki gibi tutturulmuştur.



Şekil 3.7. a) 10 mm kalınlığındaki yükseltme levhası, b) 20 mm kalınlığındaki kare kesitli demir profil, c) deney düzeneği, d) deney modeli

3.4. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Beton dayanımı ve gömme derinliği değişken alınarak yapılan bu deneysel çalışmayla numunelerdeki göçme tipi, kuvvet-deplasman ilişkisi, beton dayanımı ve ankraj gömme derinliğinin kesme dayanımına etkileri araştırılmıştır.

3.4.1. Göçme Türü ve Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme İlişkisi

Yapılan deneyler neticesinde Şekil 3.8'da görüldüğü gibi betonda ve ankrajda olmak üzere iki tür göçme şekli gözlenmiştir. Betonda göçme, hareket doğrultusunda betonda ezilmeler şeklinde olurken, hareket doğrultusunun tersine ankraj ucunun dönmesi nedeniyle betonda çekme çatlakları ardından da ankrajda sıyrılmalar şeklinde görülmektedir. Ankrajda göçme ise hareket doğrultusunda betonda ezilmeler ve ardından ankrajda kopma şeklinde gerçekleşmiştir.

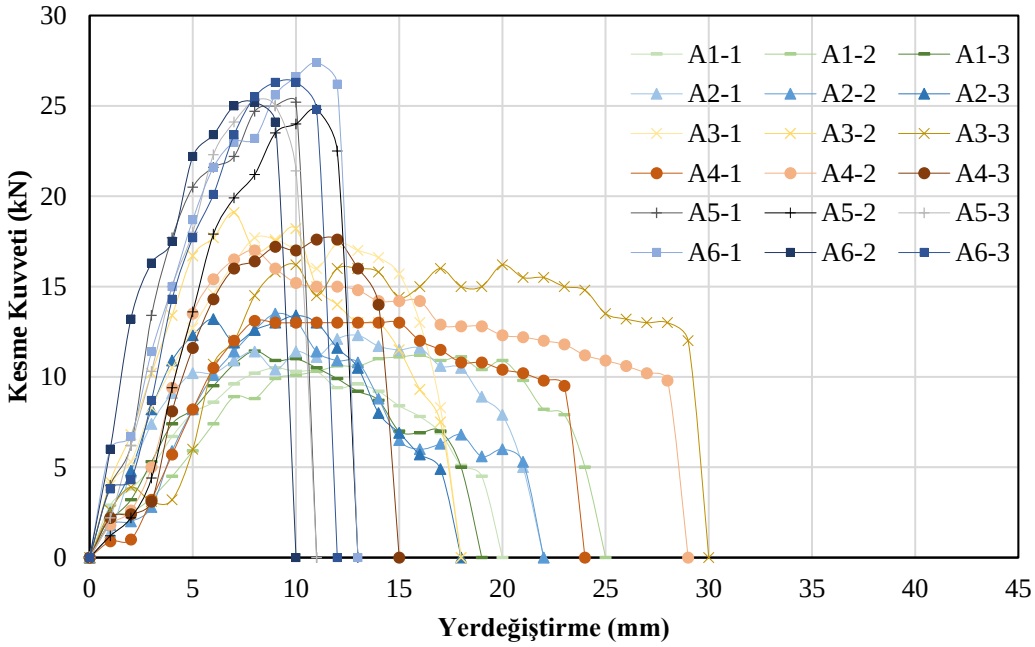
a) Betonda Göçme

b) Ankrajda Göçme

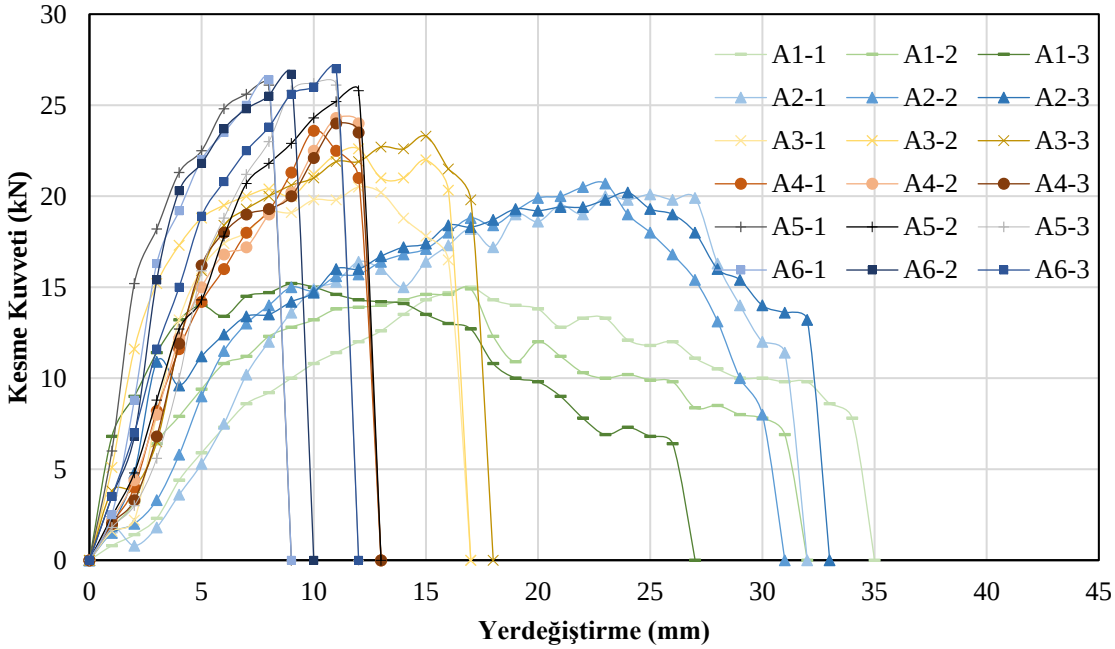
Şekil 3.8. Betonda ve ankrajda göçme türü

Gömme derinliği 50, 70, 90 ve 110 mm olan dübellerin kuvvet ve yerdeğiştirme grafikleri Şekil 3.9-Şekil 3.12'de görülmektedir. Yapılan deneylerin grafikleri aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir:

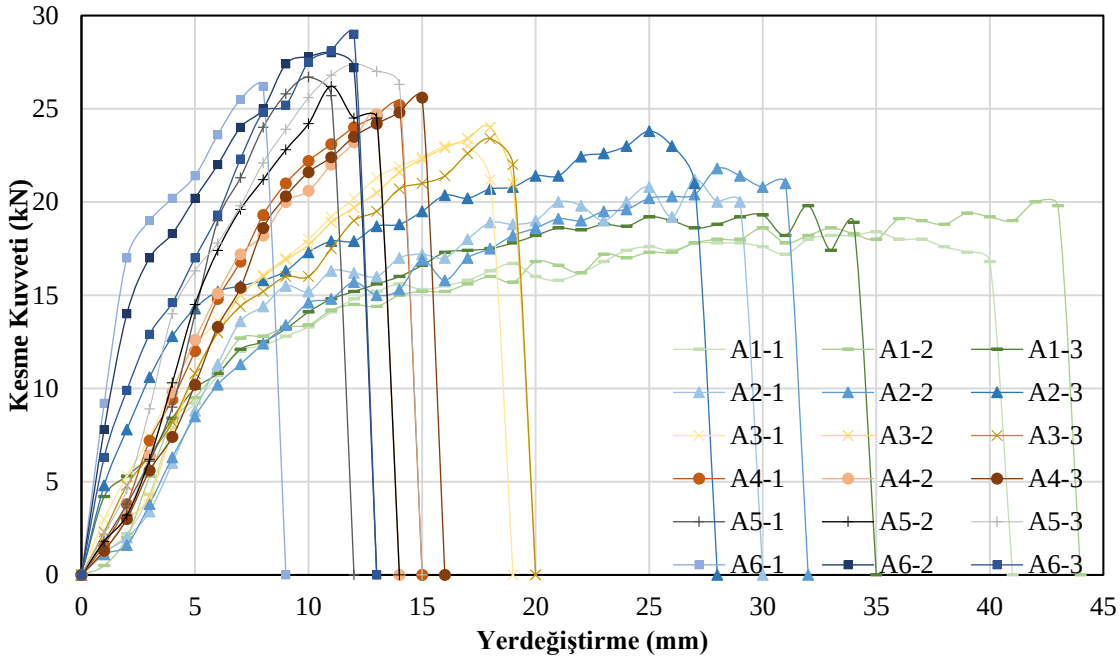
- TBDY 2018 yönetmeliğine göre C25 beton sınıfının düşük dayanımlı beton kabul edildiği A1-A4 numunelerinde, gömme derinliği 50 mm olan numunelerin neredeyse tamamında göçme, betonda çatlama ve ardından ankrajın betondan sıyrılması şeklinde gerçekleşmiştir. Nispeten beton dayanımı yüksek ve gömme derinliği 50 mm olan A5 ve A6 numunelerde ise göçme ankrajlarda kesilme şeklinde gerçekleşmiştir. Beton dayanımı C25 ve üzeri olan numunelerde betonarmeler de ankrajda kesme göçmesi için gömme derinliğinin 50 mm olması yeterli bulunmuştur.
- 4,36 MPa dayanımlı A1 numunelerinin neredeyse tamamında göçme betonda gerçekleştiğinden, bu tür betonlarda ankraj kullanılmasının sakıncalı olduğu kanaatine varılmıştır.
- 6,34-15,49 MPa dayanımlı A2, A3 ve A4 numunelerde 70 mm ve üzeri gömme derinlikli dübellerde göçme ankrajlarda kesilme şeklinde gerçekleştiğinden, 70 mm gömme derinliğinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır.
- Kesme göçmesi gözlenen numunelerde beton dayanımının artması ile ankraj kesme kuvvetinin de arttığı, ancak maksimum deplasmanların belirgin bir şekilde azaldığı görülmüştür.
- Çelik dübelin ortalama 27,90 kN çekme yükü altında koptuğu göz önüne alındığında, normal dayanımlı betonlarda dübelin elastik davranması nedeniyle çekme yüküne eşdeğer yükler altında göçtüğü, düşük dayanımlı betonlarda ise kesme kapasitesinin 20 kN'lara kadar düştüğü görünmüştür.



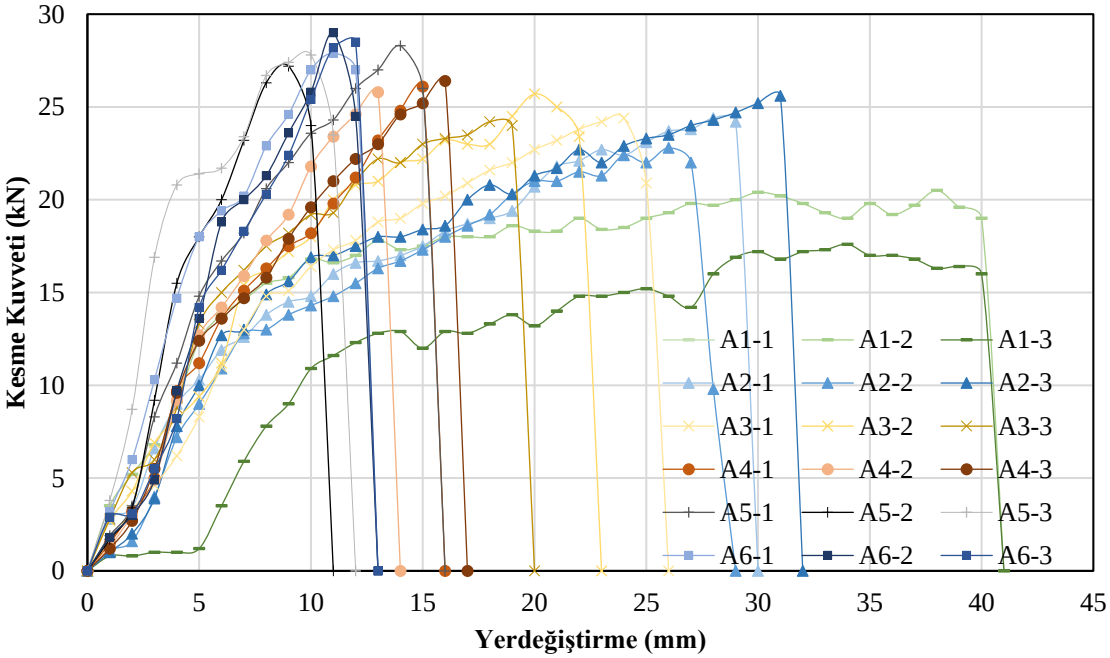
Şekil 3.9. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 50 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği



Şekil 3.10. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 70 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği



Şekil 3.11. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 90 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği



Şekil 3.12. Farklı beton dayanımları için gömme derinliği 110 mm olan deneylerin yük-deplasman grafiği

Yapılan itme-kesme deneylerin neticesinde maksimum kesme yükleri ve bu yüklerdeki deplasman değerleri Çizelge 3.4'te verilmektedir. Göçmenin betonda olduğu deney numuneleri "*" işaretiyle belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Kayma gerilmesinin maksimum olduğu noktadaki kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri

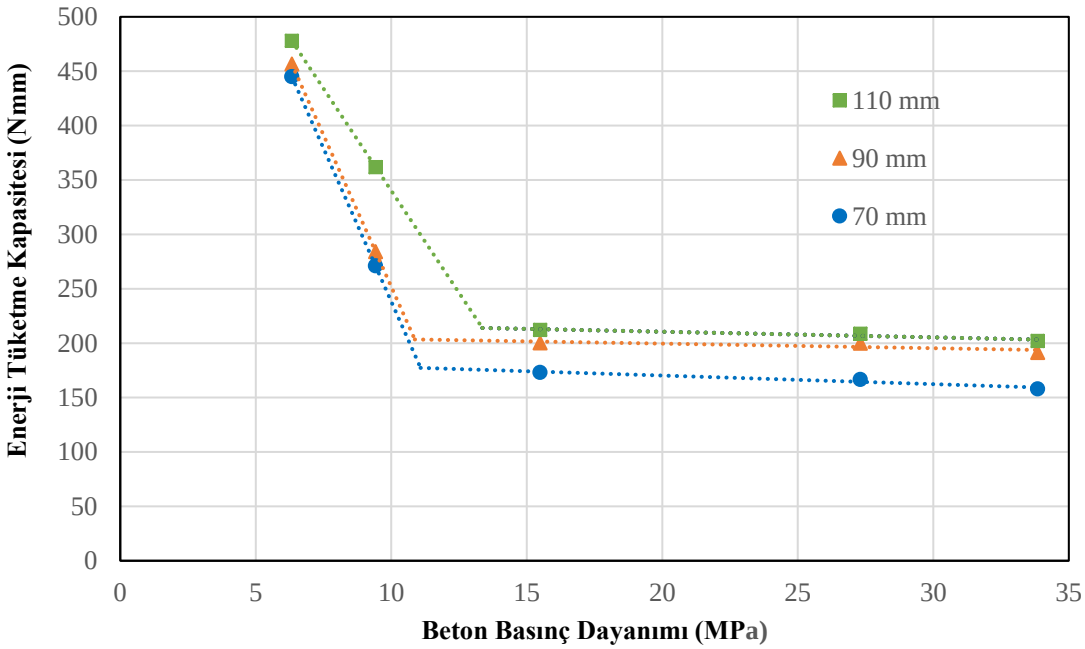
Beton Grubu	Ankraj Gömme Derinliği											
	50 mm			70 mm			90 mm			110 mm		
	P (kN)	P_{ort} (kN)	δ (mm)	P (kN)	P_{ort} (kN)	δ (mm)	P (kN)	P_{ort} (kN)	δ (mm)	P (kN)	P_{ort} (kN)	δ (mm)
A1 (4,36 MPa)	10,5	11,03	9,00	15,0	15,03	17,00	18,4	19,40	35,00	20,4	20,10	38,00
	11,2	*	16,00	14,9	*	17,00	20,0	*	42,00	19,8	*	34,00
	11,4		8,00	15,2		9,00	19,8		32,00			
A2 (6,34 MPa)	13,3	13,40	13,00	20,0	20,30	23,00	21,2	22,27	27,00	24,4	24,27	28,00
	13,5	*	9,00	20,7		23,00	21,8		28,00	22,8		26,00
	13,4		10,00	20,2		27,00	23,8		25,00	25,6		31,00
A3 (9,42 MPa)	17,7	17,67	8,00	20,5	22,13	12,00	23,0	23,47	17,00	24,4	24,77	24,00
	19,1	*	7,00	22,6		12,00	24,0		18,00	25,7		20,00
	16,2		10,00	23,3		15,00	23,4		18,00	24,2		18,00
A4 (15,49 MPa)	20,7	20,73	8,00	23,6	23,97	10,00	25,2	25,17	14,00	26,1	26,10	15,00
	20,4	*	8,00	24,3		11,00	24,7		13,00	25,8		13,00
	21,1		11,00	24,0		11,00	25,6		15,00	26,4		16,00
A5 (27,31 MPa)	25,2	25,10	10,00	26,1	26,03	8,00	26,7	26,77	10,00	28,3	27,77	14,00
	24,8		11,00	25,8		12,00	26,2		11,00	27,2		9,00
	25,3		8,00	26,2		10,00	27,4		12,00	27,8		10,00
A6 (33,85 MPa)	27,4	26,30	11,00	26,4	26,70	8,00	26,2	27,73	8,00	27,9	28,47	11,00
	25,2		8,00	26,7		9,00	28,0		11,00	29,0		11,00
	26,3		9,00	27,0		11,00	29,0		12,00	28,5		12,00

Ankrajda kesme göçmesi gözlemlenen borulu cıvatalı çelik dübellerin enerji tüketme kapasiteleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Kesme göçmesi gözlenen 70 mm, 90 mm ve 110 mm gömme derinliğinde ankrajlı numunelerin farklı beton dayanımları için enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.13'de verilmiştir. Basınç dayanımı 10 MPa'ın altında betonlarda basınç dayanımının azalması ile kesmede ankrajın enerji tüketme kapasitesinin çok hızlı arttığı, ancak C25 ve üzeri olan normal dayanımlı betonlarda

kapasitenin çok azaldığı, hatta 15 MPa üzeri betonlarda beton dayanımındaki artışın enerji tüketme kapasitesine katkısının ihmal edilecek düzeyde azaldığı görülmüştür.

Çizelge 3.5. Ankrajda kesme göçmesi gözlenen numunelerin enerji tüketme kapasiteleri (Nmm)

Ankraj Gömme Derinliği	Beton Grubu				
	A2 (6,34 MPa)	A3 (9,42 MPa)	A4 (15,49 MPa)	A5 (27,31 MPa)	A6 (33,85 MPa)
50 mm				167,9	218,3
				173,4	160,9
				159,1	182,8
70 mm	427,0	239,8	171,1	146,7	130,5
	423,3	288,2	173,8	188,6	155,2
	484,5	285,3	174,3	164,4	188,2
90 mm	435,8	279,3	205,4	165,4	159,4
	460,6	290,1	182,0	201,2	215,6
	473,4	283,2	213,4	233,6	199,4
110 mm	475,7	400,4	213,4	259,4	212,7
	423,3	372,6	180,9	156,5	198,8
	534,8	312,8	242,2	210,4	194,6

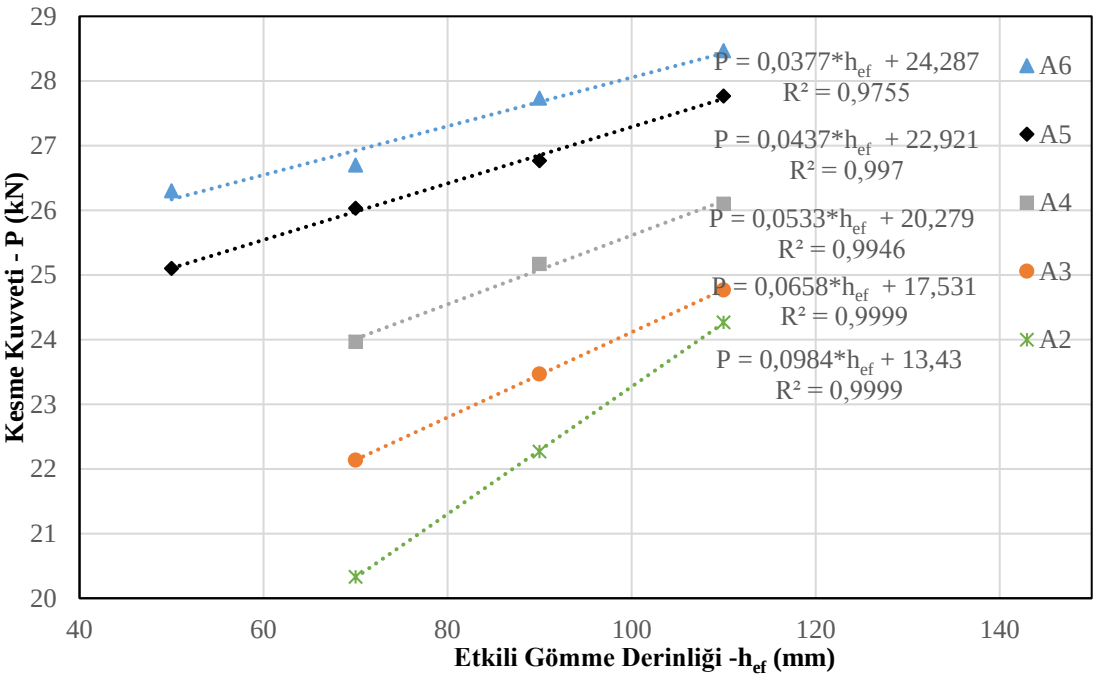


Şekil 3.13. Ankrajda farklı gömme derinliği ve beton dayanımı için kesmede enerji tüketme kapasiteleri

3.4.2. Beton Dayanımının Kesme Dayanımına Etkisi

Ankrajda kesme göçmesi gözlenen numunelerin beton dayanımlarına göre gömme derinliği ve kesme kuvveti arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu Şekil 3.14'de görülmektedir. Beton dayanımının kesme dayanımına olan etkisi en düşük beton basınç dayanımında en yüksek beton basınç dayanıma doğru beton gruplarına göre Denklem 2.1'den -Denklem 2.5'e kadar verilmektedir. Beton dayanımı artarken doğruların eğiminin 0,9917'den 0,3767'ye düşerek azaldığı bu eğimin sıfır olması durumunda ankraj derinliğinin etkisini kaybedeceği anlaşılmaktadır.

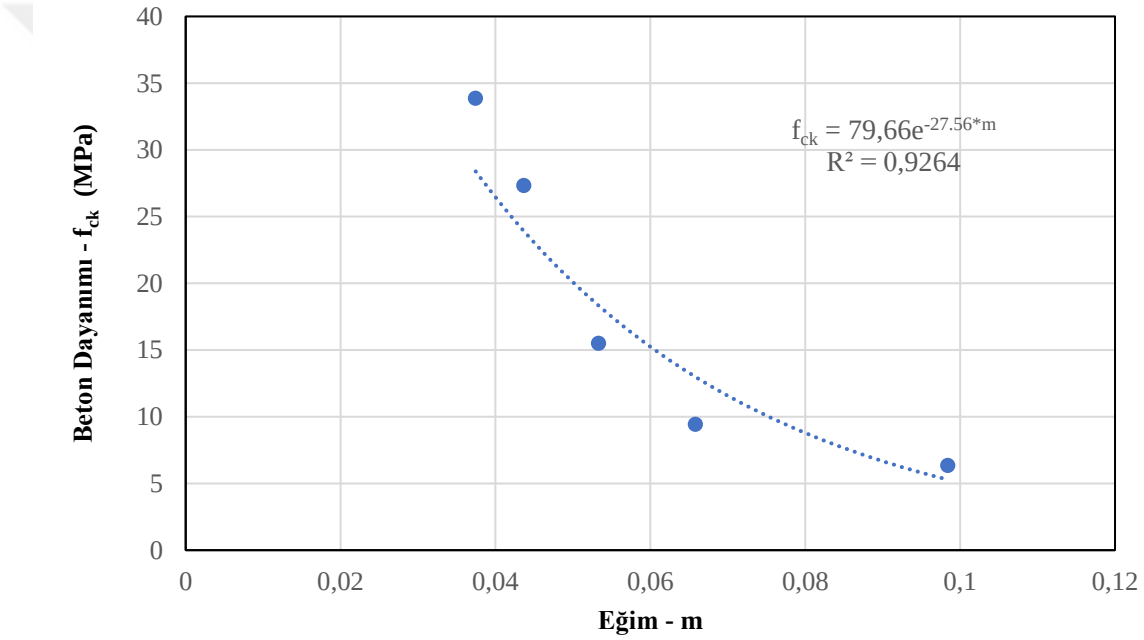
A2 (6,34 MPa) için	$P = 0{,}0984h_{ef} + 13{,}43$	R^2=0,9999	2.1
A3 (9,42 MPa) için	$P = 0{,}0658h_{ef} + 17{,}531$	R^2=0,9999	2.2
A4 (15,49 MPa) için	$P = 0{,}0533h_{ef} + 20{,}279$	R^2=0,9946	2.3
A5 (27,31 MPa) için	$P = 0{,}0437h_{ef} + 22{,}921$	R^2=0,997	2.4
A6 (33,85 MPa) için	$P = 0{,}0377h_{ef} + 24{,}287$	R^2=0,9755	2.5



Şekil 3.14. Beton dayanımı ve ankraj gömme derinliklerine bağlı ankraj kesme kuvvetleri

Beton dayanımına göre düşükten yükseğe göre gruplandırılmış numunelerin A2'den A6'ya doğru kesme kuvveti ve gömme derinliği ilişkisi sonucunda oluşan doğruların eğimleri sırasıyla 0,0984, 0,0658, 0,0533, 0,0437 ve 0,0377 olarak bulunmuştur. Beton dayanımı ve kesme kuvveti gömme derinliği ilişkisi sonucunda oluşan doğrusal eğimlerin arasındaki ilişki Denklem 2,6'da verilmiştir. Eğimin sıfırlanması ile elde edilecek ankrajda eğilme olmadan doğrudan kesme göçmesine neden olacak beton basınç dayanımının 80 MPa olacağı ve kesme kapasitesinin gömme derinliğinden etkilenmeyeceği Şekil 3.15'te ortaya konmuştur.

$$f_{ck} = 79{,}66e^{-27{,}56m} \quad \text{R2=0,9264} \qquad 2.6$$



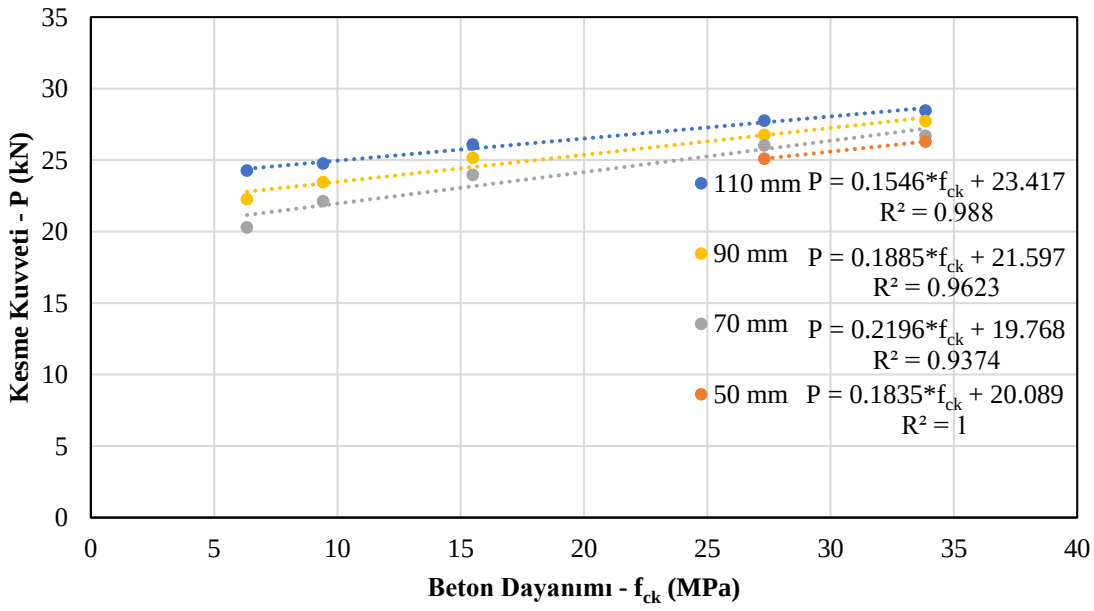
Şekil 3.15. Beton basınç dayanımı ile kesme kuvvetinin gömme derinliğine oranı arasındaki ilişki

Donatısız betonda, beton dayanımı arttıkça ankraj kesme kapasitesinin arttığı, betonarmede donatı oranının artmasıyla beton dayanımının etkisinin azaldığı, beton dayanımının 80 MPa gibi yüksek bir basınç dayanımına ulaşması durumunda, donatı miktarının kesme dayanımına etkisinin minimuma indiği görülmüştür.

3.4.3. Gömme Derinliğinin Kesme Dayanıma Etkisi

Ankrajda kesme göçmesi gözlenen numunelerde, gömme derinliğine göre gruplandırılmış kesme kuvveti ve beton dayanım ilişkisinin doğrusal olduğu Şekil 3.16'da görülmektedir. Gömme derinliğinin kesme dayanımına olan etkisi en sığ gömme derinliğinden en derinine göre Denklem 2.7'den -Denklem 2.10'a kadar verilmektedir. Gömme derinliği artarken doğrunun eğim açısının azaldığı, böylelikle gömme derinliği arttıkça beton dayanımının etkisinin azaldığı görülmüştür.

h_{ef}=50 mm için	$P = 0{,}1833 f_{ck} + 20{,}089$	R^2=1,0000	2.7
h_{ef}=70 mm için	$P = 0{,}2196 f_{ck} + 19{,}768$	R^2=0,9374	2.8
h_{ef}=90 mm için	$P = 0{,}1885 f_{ck} + 21{,}597$	R^2=0,9623	2.9
h_{ef}=110 mm için	$P = 0{,}1546 f_{ck} + 23{,}417$	R^2=0,988	2.10

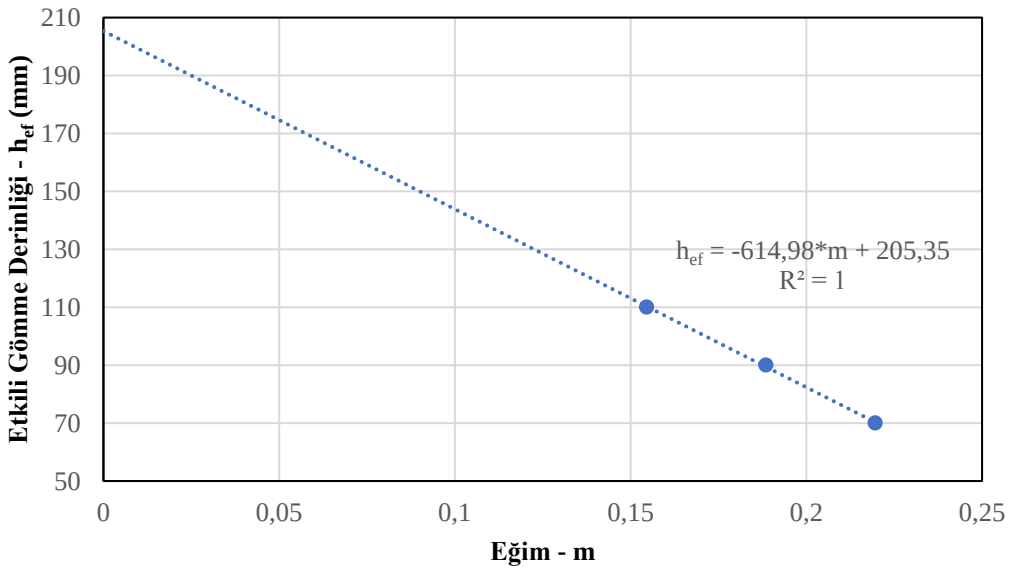


Şekil 3.16. Farklı gömme derinlikleri için beton dayanımına bağlı ankraj kesme kuvvetleri

Sadece ankrajda göçme ile sonuçlanan deney sonuçları dikkate alınarak hazırlanan beton basınç dayanımına bağlı ankraj kesme kapasitesi grafiğinde beton dayanımı ile orantılı olarak kesme kapasitelerinin de arttığı görülmüştür. Elde edilen doğruların eğimleri gömme derinliğine göre 70 mm'den 110 mm'ye sırasıyla 0,2196, 0,1885 ve 0,1546 olarak bulunmuştur. Gömme derinliği ve kesme kuvveti beton dayanımı ilişkisi sonucunda oluşan doğrusal eğimlerin arasındaki ilişki Denklem 2,11'de verilmiştir.

$$h_{ef} = -614{,}98\text{m} + 205{,}35 \qquad R^2=1{,}0000 \qquad 2.11$$

Eğimin sıfırlandığı optimum gömme derinliği regresyon katsayısı $R^2=1$ olarak, yaklaşık 205 mm bulunmuştur (Şekil 3.17). Başka bir benzer çalışmada, çelik ankrajların etkili gömme derinliği, daha önce Doğan vd. (2021) kil tuğla duvarlara ankrajlı Φ10 ankraj donatısının kesme performansı üzerine mevcut bir bina üzerinde yaptığı deneysel çalışmada belirtildiği gibi yaklaşık 205 mm olarak bulunmuştur (Dogan vd., 2021). Benzer şekilde, Eligehausen vd (2006), etkili gömme uzunluğuna bağlı olarak kimyasal ankrajların çekme kapasitesi üzerine yaptıkları çalışmada, etkili gömme derinliğini $4d < h_{ef} < 20d$ olarak bulmuşlardır ve bu gömme derinlikleri ACI-318'de de tavsiye edilmektedir (Eligehausen, Cook ve Appl, 2006)(ACI 318-14, 2014).



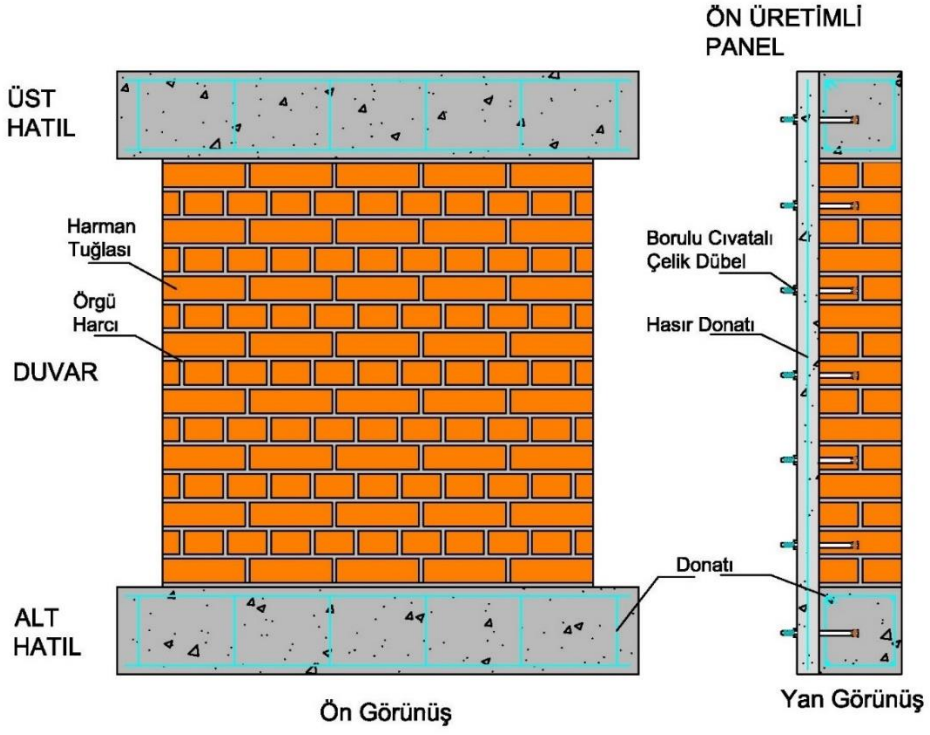
Şekil 3.17. Gömme derinliğine göre gruplandırılmış kuvvet-beton dayanımı grafiği

Ankrajda göçme gerçekleşen deney numunelerinin kesme kuvvetlerinin bulunması için gömme derinliği ve beton sınıfına bağlı olarak regresyon analizi yapılmıştır. 70 mm - 110 mm aralığında gömme derinliğine ve 6,34 MPa -33,85 MPa aralığında beton basınç dayanımına sahip betonda kullanılan borulu cıvatalı çelik dübellerin kesme dayanımları R^2= 0,86, bağımsız değişkeni p=0,000<0,05 olan modelin ve katsayıların anlamlı olduğu ve Denklem 2.12'de verildiği gibi hesaplanabileceği görülmektedir..

$$P = 16{,}736 + 0{,}053h_{ef} + 0{,}193f_{ck} \quad R^2=0{,}86 \qquad 2.12$$

4. ÖNÜRETİMLİ PANELLE GÜÇLENDİRME

Bu tez çalışmasında betonarme hatıl ve döşemesi bulunan dolu harman tuğlalı yığma binaların, uygulamada vakit kazandırma ve ekonomiklik açısından kolaylık sağlamak amacıyla, önüretimli panellerle tek taraflı olarak güçlendirilmesi incelenmektedir. Yapı stoğunu temsil eden numuneler üretilmiş olup, panel kalınlığı ve panelle duvar-hatıl arasındaki bağlantı elemanı olarak kullanılan dübel sayısı değişken tutulmuştur. Numuneleri genel olarak, hatıl ve duvar yapı elemanlarıyla önüretimli panel güçlendirme elemanı oluşturmaktadır. Numunelerin oluşmasında harman tuğlası, örgü harcı, beton, donatı, dübel yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Numuneye ait modelde yapı ve güçlendirme elemanlarıyla birlikte numunenin yapımında kullanılan malzemeler Şekil 4.1'de verilmektedir. Bu çalışmada öncelikli olarak malzemelerin ve duvarın karakteristik özellikleri belirlenmektedir. Daha sonrada yalın duvarın yanı sıra 6 adet önüretimli panelle güçlendirilmiş numunenin deneyleri ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Deney numunesi modeli yapı malzemeleri ve yapı elemanları

Tek taraflı olarak önüretimli panelle yapılan çalışmada değişken olarak seçilen hatıla takılan dübel sayısı ve panel kalınlıklarına ilişkin numunelerin isimlendirmeleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Numune isimlendirmesinde ilk olarak mm birimi şeklinde panel kalınlığı verilerken, A gösterimiyle hatıla uygulanan dübel sayısı verilmektedir.

Çizelge 4.1. Güçlendirilen numunelerin isimlendirmesi ve değişkenleri

Numune ismi	Panel Kalınlığı (mm)	Dübel Sayısı
50mm4A	50	4
50mm8A	50	8
50mm10A	50	10
50mm12A	50	12
35mm10A	35	10
70mm10A	70	10

4.1. Deney Malzeme ve Elemanlarının Karakteristik Özellikleri

Deney numune üretiminde kullanılan harman tuğlası, örgü harcı, beton, donatı ve dübelin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için bir dizi fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Mekanik deneylerde otomatik çimento basınç/eğilme presi, otomatik beton basınç presi, hidrolik donatı çekme aletleri kullanılmış olup, Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

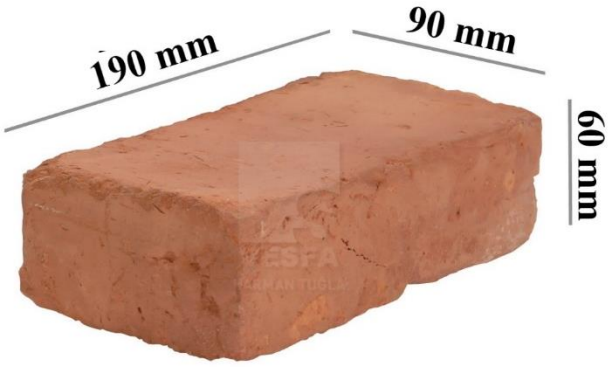
a) b) c)

Şekil 4.2. Malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney ekipmanları a) çimento basınç/eğilme presi, b) beton basınç presi, c) donatı çekme aleti

4.1.1. Harman Tuğlası

4.1.1.1. Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada, yığma bina yapı stoğunda önemli bir paya sahip olan dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Fabrika verilerine göre kullanılan tuğla 190x90x60 mm ebatlarında ve 1,750 kg ağırlığında olup, Şekil 4.3'de verilmektedir ("Vesfa Harman Tuğla | El Yapımı %100 Doğal Tuğla", y.y.).



Şekil 4.3. Harman Tuğlası (Vesfa Harman Tuğla | El Yapımı %100 Doğal Tuğla)

Harman tuğlasının fiziksel özelliklerini belirlemek için deneysel çalışmanın yapılmış olduğu paletlerden rastgele 16 adet tuğla seçilmiştir. Seçilen bu numunelerin imalat işlemi esnasında, kâgir birimin yüzeylerine yapışmış halde kalan artık malzemeler temizlenmiştir. Temizleme işlemi tamamlanan bu numunelerin uzunluk (l), genişlik (b) ve yüksekliği (h) Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Tuğlaların su emme kapasiteleri ASTM C67/05 standardından yararlanılarak belirlenmiştir (ASTM C67-05, 2005). Tuğlanın birim hacim ağırlığının bulunması için tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. Tuğlalar kuru ağırlıklarının (W_d) bulunması için 110 ˚C'de 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvde bekleyen numunelerin 2 saat aralıklı tartım sonrası ağırlıkça %0,2'den daha büyük değişiklik olmadığı tespit edildiğinde numuneler oda sıcaklığında 4 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işlemi tamamlanan tuğlaların tartım işlemleri yapılarak kuru ağırlıkları (W_d) belirlenmiştir.

Daha sonra tuğla numunelerinin su emme kapasitesinin belirlenmesi için 24 saat kadar temiz bir bu içerisinde bekletilerek suya doygun hale getirilmiştir. Tuğla yüzeyindeki su uzaklaştırılarak, tartılmış ve suya doygun ağırlığı (W_s) belirlenmiştir.

Su emme yüzesini Denklem 4.1'de belirtildiği gibi tuğlanın suya doygun ağırlığıyla (W_s) kuru ağırlığı (W_d) arasındaki fark, tuğlanın kuru ağırlığıyla yüzdece oranlanarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Su Emme } \% = 100(W_s - W_d)/W_d \qquad 4.1$$

Tuğlaların ölçüm ve hesaplamalarına ait veriler Çizelge 4.2'de verilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan tuğlanın 1,684 gr/cm^3 birim hacim ağırlığına sahip olduğu ve %17,96 oranında su emdiği bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Harman tuğlası numune özellikleri

No	l (cm)	b (cm)	h (cm)	Hacim (cm^3)	Ağırlık (gr)	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	W_d (gr)	W_s (gr)	Su Emme %
1	19,5	9,1	5,7	1011,47	1622	1,604	1906	1618	17,80
2	19,2	9,0	5,6	967,68	1620	1,674	1900	1614	17,72
3	19,5	9,1	5,3	940,49	1538	1,635	1812	1532	18,28
4	19,5	8,9	5,2	902,46	1578	1,749	1850	1576	17,39
5	19,2	8,9	5,8	991,10	1666	1,681	1956	1660	17,83
6	19,1	9,1	5,7	990,72	1730	1,746	2032	1726	17,73
7	19,3	9,1	5,7	1001,09	1672	1,670	1978	1666	18,73
8	19,7	9,0	5,7	1010,61	1682	1,664	1980	1676	18,14
9	19,3	8,9	5,6	961,91	1646	1,711	1934	1642	17,78
10	19,5	8,9	5,0	867,75	1590	1,832	1878	1586	18,41
11	19,7	9,0	5,6	992,88	1660	1,672	1950	1654	17,90
12	19,8	8,9	5,7	1004,45	1670	1,663	1958	1666	17,53
13	19,3	9,0	5,7	990,09	1768	1,786	2084	1764	18,14
14	19,3	9,0	5,7	990,09	1598	1,614	1876	1592	17,84
15	19,1	8,9	5,7	968,94	1510	1,558	1772	1504	17,82
16	19,1	9,1	5,6	973,34	1638	1,683	1930	1632	18,26
Ortalama					**1636,75**	**1,684**			**17,96**
Standart Sapma					**63,86**	**0,067**			**0,334**
Varyasyon Katsayısı					**3,90**	**3,981**			**1,861**

4.1.1.2. Mekanik Özellikleri

Tuğlanın basınç dayanımının bulunması için seçilmiş olan 8 adet tuğlada TS EN 772 standardına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Tuğla yüzeyi atık malzemelerden arındırılmasına rağmen yüzeyinde eğrilikler ve pürüzler bulunmasından dolayı başlıklandırma yapılmıştır.

Başlıklama işleminde çimento ve kum karışımından oluşan bir harç kullanılmıştır. Bu harcın en az tuğlanın beklenen basınç dayanımında olması istenmektedir. Yüksek su emme karakteristiğine sahip olan tuğlalar, başlıklama işleminden önce başlıklama yüzeyi suya doygun hale getirilmiştir. Düzgün rijit bir plaka seçilerek, kullanılacak harcın plaka yüzeyine yapışmaması için ince yağ tabakasıyla kaplanmıştır. Harç plaka üzerine yayılmış ve tuğla harç tabakasının üzerine sıkıca bastırılarak yerleştirilmiştir. Yerleştirme sonrası tuğlanın gönyesi kontrol edilmiştir. Numune ve harç tabakası nemli telis beziyle kapatılmıştır. Başlıklama harcı dayanım kazandıktan sonra, tuğlanın diğer yüzeyi de aynı şekilde başlıklanmıştır. Başlık harcı, tuğlanın tahmin edilen basınç dayanımına ulaşıncaya kadar kür edilmiştir. Başlıklanan numuneler aşamalarına göre Şekil 4.4 a-c'de gösterilmektedir. Başlıklamada harcın tuğlaya yapışmayan bölgesinin olmamasına ve harçta çatlak bulunmamasına dikkat edilmiştir.

Basınç deneyi yapmaya hazır olan başlıklı tuğlalar, Şekil 4.4.d'de gösterildiği gibi beton presine yerleştirilmiştir. TS EN 772-1+A1'de bulunan 8.2 Yükleme başlığına göre tuğlanın tahmin edilen basınç dayanımına (11-20 N/mm^2) göre 0,15 (N/mm^2)/s yükleme hızıyla test edilmiştir (TS EN 772-1, 2015).

a) b) c) d)

Şekil 4.4. Tuğla basınç deneyinde a) numunelerin rijit plaka üzerinde başlıklanması b) başlık görünümü, c) iki yüzeyi başlıklanmış ve teste hazır deney numuneleri, d) tuğla basınç deneyi

Tuğla basıncı deneyinde kullanılmış olan tuğlaların fiziksel özellikleri ve deney sonrası tuğlanın taşıyabildiği yük Çizelge 4.3'te verilmektedir. Tuğla yükleme alanına göre tuğlanın basınç dayanımı bulunmuştur. Tuğlanın şekil faktörü göz önüne alınarak, TS EN 772-1+A1'de bulunan ve Çizelge 4.4'de verilen numunenin

yükseklik ve genişliğiyle orantılı olarak bulunan katsayısıyla mevcut tuğla basınç dayanımının çarpılması sonucunda normalize edilmiş tuğla basınç dayanımları elde edilmektedir (TS EN 772-1, 2015). Basınç deneyi sonrası bulunan en yüksek (4 Nolu Deney) ve en düşük (8 Nolu Deney) deney sonucu verileri değerlendirmeye katılmadan ortalama basınç dayanımı ve standart sapma hesaplanmıştır. Tuğla basınç dayanımı hesaplanırken, Tuğlaların standartlaştırılmış basınç dayanımı (f_b) 9,46 MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Harman tuğlası basınç deneyi verileri

No	**Boy**	**En**	**Yükseklik**	**Kuvvet (kN)**	**Basınç Dayanımı (MPa)**	f_b **(MPa)**
1	19,5	9,1	5,7	222,4	12,53	10,21
2	19,2	9,0	5,6	225,9	13,07	10,59
3	19,5	9,1	5,3	149,6	8,43	6,64
4	19,5	8,9	5,2	322,0	18,55	14,56
5	19,2	8,9	5,8	279,5	16,36	13,49
6	19,1	9,1	5,7	168,8	9,71	7,92
7	19,3	9,1	5,7	170,0	9,68	7,89
8	19,7	9,0	5,7	129,0	7,28	5,89
Ortalama					11,63	9,46
Standart Sapma					2,68	2,27
Varyasyon Katsayısı					23,01	24,00

Çizelge 4.4. Tuğla şekil faktörüne göre standartlaştırma katsayısı

Yükseklik	**Minimum Genişlik (mm)**				
(mm)	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**
40	0,80	0,70			
50	0,85	0,75	0,70		
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

ASTM C 67/05 standartlarına göre hazırlanmış olan 8 adet deney numunesi çimento basınç/eğilme presinde üç nokta eğilme deneyi yapılmıştır. Noktasal yükün, tuğla yüzeyine homojen olarak aktarılması için, tuğlanın mesnetlere denk gelecek olan yüzeyleri çimento harcıyla kaplanarak, girinti ve çıkıntıları olmayan pürüzsüz bir yüzey haline Şekil 4.5 a'da gösterildiği gibi getirilmiştir. Şekil 4.5 b'de gösterildiği üzere yapılan üç nokta eğilme deneyi, deney yükleme hızı 0,15 (N/mm^2)/s olacak şekilde test edilmiştir (ASTM C67-05, 2005). Deney sonrası tuğlada oluşan eğilme göçmesi Şekil 4.5.c 'de gösterildiği gibidir.

a) b) c)

Şekil 4.5. Tuğla üç nokta eğilme deneyi a) deney numuneleri b) deney düzeneği c) tuğlada eğilme göçmesi

Deneyde kullanılan tuğlaların boyutları ve eğilme deney sonucunda oluşan eğilme kuvveti Çizelge 4.5'de verilmiştir. Denklem 4.2'ye göre tuğla ortalama boyutlarına (l_{ort}, b_{ort}, h_{ort}) ve eğilme kuvvetine (P) göre tuğla eğilme dayanımları (f_{bft}) hesaplanmış ve Çizelge 4.5'de verilmiştir. Tuğla eğilme deneyi sonucunda tuğlalar ortalama 0,57 MPa eğilme dayanımına sahiptir.

$$f_{bft} = 3\mathrm{P}(\frac{l_{ort}}{2})/b_{ort}h_{ort}^{2} \qquad 4.2$$

Çizelge 4.5. Eğilme deneyi tuğla boyutları ve deney sonuçları

No	l (cm)	l_{ort} (cm)	b (cm)	b_{ort} (cm)	h (cm)	h_{ort} (cm)	P (kN)	f_{bft} (MPa)
1	19,3 19,1	19,20	8,9 9,0	8,95	5,6 5,7	5,65	6,14	0,62
2	19,5 19,3	19,40	8,9 9,0	8,95	5,0 5,1	5,05	4,75	0,61
3	19,7 19,5	19,60	9,0 8,9	8,95	5,6 5,7	5,65	5,61	0,58
4	19,7 19,6	19,65	8,9 9,0	8,95	5,7 5,6	5,65	5,99	0,62
5	19,3 19,2	19,25	9,0 8,9	8,95	5,7 5,6	5,65	5,55	0,56
6	19,3 19,0	19,15	9,0 8,9	8,95	5,7 5,8	5,75	6,27	0,61
7	19,1 18,9	19,00	8,9 9,0	8,95	5,7 5,7	5,70	5,04	0,49
8	19,1 18,9	19,00	9,1 9,0	9,05	5,6 5,5	5,55	4,75	0,49
					Ortalama			**0,57**
					Standart Sapma			**0,05**
					Varyasyon Katsayısı			**8,86**

4.1.2. Örgü Harcı

Geçmiş yıllarda çimento üretiminin kısıtlı ve maliyetli olmasından dolayı örgü haçlarında kireç kullanılmaktaydı. Bu yüzden, çalışmaya yönelik mevcut yapıları temsil etmek adına ağırlıkça 1:1:6 karışım oranıyla örgü harçları hazırlanmıştır. Baştaş Başkent Çimento Sanayi tarafından üretilen ve TS EN 197-1'e uygun CEM IV/B (P) 32,5 N-SR tipi çimento kullanılmıştır.

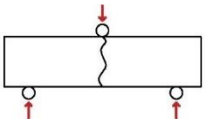
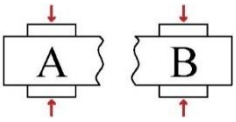
Hazırlanan harç, 40x40x160 mm boyutundaki döküm malzemeden üretilmiş üçerli prizmatik kalıba Şekil 4.6 a'da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. 24 saatlik süre boyunca prizini alması için bırakılan harç numuneleri kalıptan çıkarılmış ve duvarlarla aynı biçimde kür edilmiştir. Bu prizmatik numunelerin her biri Şekil 4.6 b'de gösterildiği üzere eğilme dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyi sonrası ikiye ayrılan prizmatik numunenin parçalarıysa Şekil 4.6 c'de gösterildiği üzere basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Deney çimento eğilme/basınç presinde yapılmıştır. Yükleme hızı TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme deneyinde 50±10 N/s, basınç deneyinde 2400±200 N/s olarak ayarlanmıştır (TS EN 196-1, 2016).

a) b) c)

Şekil 4.6. a) Üçerli prizmatik kalıpla numune alımı b) harç eğilme deneyi. c) harç basınç deneyi

Duvar deneylerinin yapıldığı 342 inci günde örgü harcının basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.6'da verilen deney sonuçlarına göre, duvarlarda kullanılan örgü harcı ortalama 1,06 MPa eğilme dayanımına ve ortalama 3,22 MPa basınç dayanımına sahiptir.

Çizelge 4.6. Örgü harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları

No	Eğilme	Basınç	
			
1	1,187	3,097	3,321
2	1,082	3,246	3,358
3	0,914	3,097	3,172
Ortalama	**1,06**	**3,22**	

4.1.3. Beton

Kat geçişlerini yapılırken duvarların üzerine genellikle 40 cm kalınlığında hatıllar ve bu hatılları birbirine bağlayan genellikle 12 cm yüksekliğinde olan döşemeler yapılmaktaydı. Bu betonarme elemanın beton dayanımı o günkü şartlara göre işçi marifetiyle şantiye şartlarında dökülen betonlar olduğundan yüksek basınç mukavemetine ulaşamamaktadır. Bu yüzden hatılların üretiminde beton düşük dayanımlı ve katkısız olarak tasarlanmıştır.

Beton karışımlarının hazırlanması ve üretiminde kullanılan agreganın özellikleri ankraj kesme performansının incelendiğini Bölüm 3.1.1'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Önüretimli betonarme paneller için yüksek basınç dayanımına sahip betonlar üretilmiştir. Laboratuvar koşullarında üretilen panellerin betonu katkısız olarak tasarlanmıştır Hatıl ve panel betonlarının karışım oranları ve basınç dayanımları Çizelge 4.7'de verilmektedir. Hatıl için hazırlanan beton 9,36 MPa silindir basınç dayanımına sahipken, panel için hazırlanan betonlar; parti 1 için 35, 81 MPa, parti 2 için 27.74 MPa silindir basınç dayanımına sahiptir.

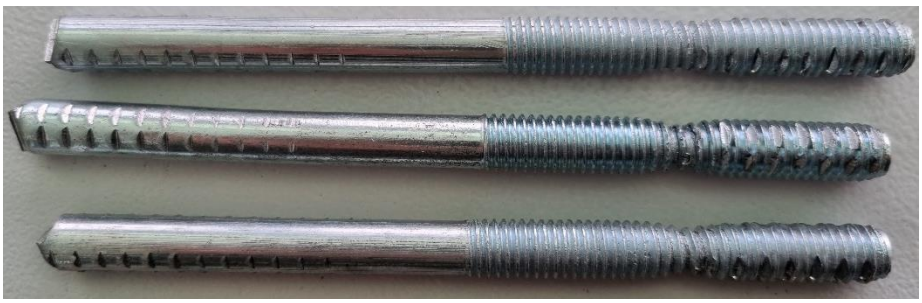
Çizelge 4.7. Beton ağırlıkça karışım oranları ve basınç dayanımları

Beton	**Hatıl**	**Panel Parti 1**	**Panel Parti 2**
Kum (0,00-4,00 mm)	1062,37	943,00	943,00
Çakıl (4,00-11,20 mm)	531,19	472,00	472,00
Su	300,00	500,00	500,00
Çimento	273,80	275,00	275,00
No1	11,7	42,26	44,56
No2	12,0	42,97	45,03
No 3	11,4	40,83	44,16
Ortalama (MPa)	11,7/9,36	35,72	37,90

4.1.4. Borulu Cıvatalı Çelik Dübel

Ülkemiz piyasa koşullarına göre daha sünek davranış göstermesi için efektif gömme derinliğini sağlayacak uygun boy aralığında ve minimum çapta olan M10/150 borulu cıvatalı çelik dübeller kullanılmıştır. MayDübel marka bu dübellerin 10 mm cıvata kalınlığı, 150 mm cıvata boyu, 112 mm gömlek/boru boyu ve 1 mm boru çeperi bulunmaktadır. Dübelin monte edilebilmesi için 15 mm çapında delik açılması gerekmektedir.

Dübelin cıvatası üzerinde çekme deneyi yapılmış olup, cıvatanın deformasyonu Şekil 4.7'de gösterildiği gibidir. Çekme testi yapılan 3 adet M10 borulu cıvatalı çelik dübelinin ortalama akma dayanımı 19,34 kN olarak, ortalama çekme dayanımı 21,61 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. Dübel cıvata çekme deneyi sonrası oluşan deformasyon

4.1.5. Donatı

Hatıllarda boyuna donatı olarak Φ12'lik, enine donatı olarak Φ8'lik karakteristik akma dayanımları 420 MPa olan düşük karbonlu inşaat demiri kullanılmıştır. Deneyde hatıl donatısı olarak kullanılan malzemeler üzerinde çekme deneyi yapılmıştır. 3 adet Φ12'lik donatının ortalama akma dayanımı 480,12 N/mm^2 olarak ortalama çekme dayanımı 558,46 N/mm^2 olarak bulunmuştur. 3 adet Φ8'lik donatının ortalama akma dayanımı 541,30 N/mm^2 olarak, ortalama çekme dayanımı 656,25 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

Panellerde, tek sıra şeklinde Φ5'lik 15x15 cm aralıklı gözlere sahip hasır donatı kullanılmıştır. Önüretimli panellerde kullanılan hasır donatısı çekme deneyine tabi tutulmuştur. 3 adet Φ5'lik donatının ortalama akma dayanımı 516,67 N/mm^2 olarak, ortalama çekme dayanımı 633,67 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

4.2. Duvarın Karakteristik Özellikleri

4.2.1. Basınç Dayanımı

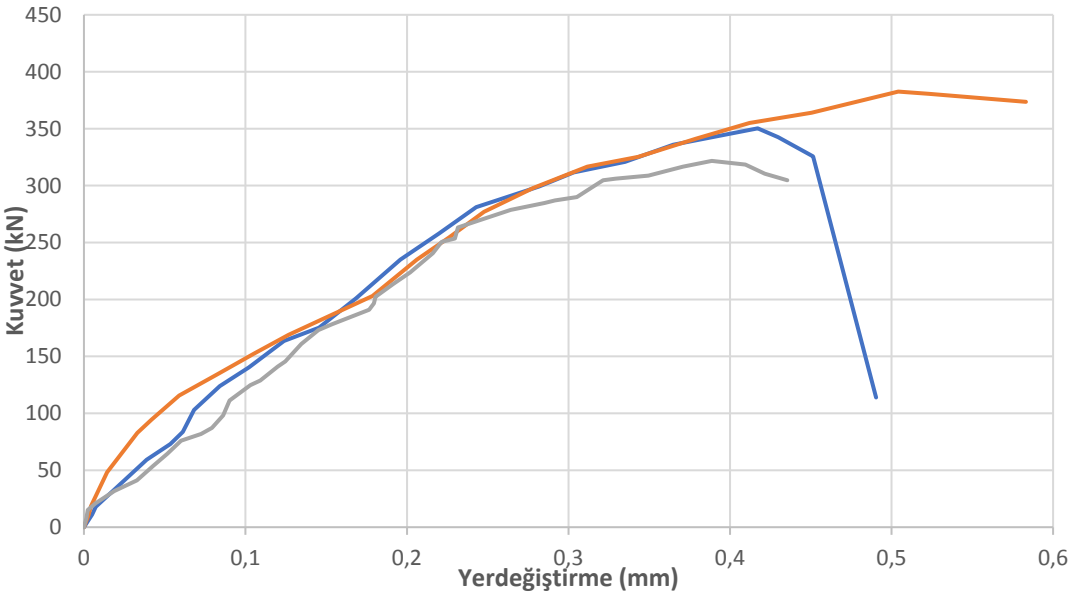
Yığma duvarın basınç dayanımının tayin edilmesi adına TS EN 1052 standardına göre 3 adet duvar üretilmiştir (TS EN 1052-1, 2000). Bu standarda göre, kullanılan tuğlalar 30 cm uzunluğundan ve 15 cm yüksekliğinden daha kısa olduğundan, duvarın 2 tuğla boyundan daha uzun, 5 tuğla boyundan daha yüksek ve en az 1 tuğla boyu genişliğinde olması gerekmektedir. Bu şartlara uygun olarak 2 tuğla uzunluğunda, 6 tuğla yüksekliğinde ve 1 tuğla genişliğinde duvar basınç numuneleri üretilmiş olup, bu numuneler 40 cm uzunluğunda, 39 cm yüksekliğinde ve 19 cm genişliğindendir. Hazırlanan deney numuneleri Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.8. Duvar basınç numuneleri

TS EN 1052-1 standardına benzer bir şekilde numunenin tek yüzeyine 2 LVDT arası 1 tuğla boyu olacak şekilde ve LVDT ölçüm mesafesi deney numunesinin yüksekliğinin 1/3'ü olacak şekilde koşullandırılmıştır. Numunenin üzeri çimento harcı ile başlıklanmış ayrıca elastomer ile uygulanan basınç kuvvetinin eşit dağılması sağlanmıştır. Kiriş eğilme deney düzeneğinde yapılan duvar basınç testinde kuvvet hidrolik pompayla manuel olarak kontrollü bir şekilde uygulanmıştır. Uygulanan kuvvet, hidrolik krikonun başlığına takılan yük hücresiyle ölçümü sağlanmıştır. Deney numunesine ait deney düzeneği Şekil 4.9'de gösterilmektedir.

Şekil 4.9. Duvar basınç deneyi deney düzeneği

Deney sonucunda elde edilen kuvvet yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Deney sonucunda maksimum kesme kuvveti ve maksimum kesme kuvvetinde yapılan yerdeğiştirme verileri alınmıştır. Deney sonrası numunelerde oluşan göçme Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Duvar basınç dayanımı deneyi kuvvet yerdeğiştirme grafiği

Şekil 4.11. Deney sonrası göçme

Basınç dayanımını bulmak için hazırlanmış olan deney numunelerinin basınç dayanımları (f_i), numune üzerine etki eden maksimum kuvvetin $(P_{i,\text{maks}})$ yüke maruz kalan kesit alanına (A_i) Denklem 4.3'deki gibi bölünmesiyle bulunmaktadır.

$$f_i = \left(\frac{P_{i,maks}}{A_i}\right) \quad 4.3$$

Deney numunelerinin elastisite modülü (E_i), maksimum taşıma kuvvetlerinin, numunelerin birim şekil değiştirmeleri (ε_i) ve yüke maruz kalan kesit alanlarına (A_i) bölünmesiyle Denklem 4.4 deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E_i = \left(\frac{P_{i,maks}}{3\varepsilon_i A_i}\right) t \quad 4.4$$

Basınç deneyleri sonucunda numunelerin maksimum taşıdığı kuvvet, maksimum kuvvette yaptığı yerdeğiştirme ve bu verilerle hesaplanan basınç dayanımı ile elastisite modülü değerleri Çizelge 4.8'de verilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda duvarın karakteristik basınç dayanımı 3,8 MPa olarak bulunurken, elastisite modülünün 1384 MPa olduğu belirlenmiştir. TBDY 2018 yönetmeliğine göre duvarların elastisite modülü TS EN 1052-1'e göre yapılacak deneylerle belirlenmelidir. Deney yapılmadığı durumda, yapısal çözümleme için elastisite modülü E/f=750 oranına eşit bir şekilde alınmalıdır. Duvar basınç deneyleri sonucunda, duvarın elastisite modülünün basınç dayanımına oranının 258-335 değer aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Duvar basınç deneyi kuvvet, yerdeğiştirme, dayanım ve elastisite modülü verileri

Deney	$\boldsymbol{P_{max}}$ (kN)	$\boldsymbol{\delta_{P_{max}}}$ $(\boldsymbol{mm})$	$\boldsymbol{f_i}$ **(N/mm²)**	**E (N/mm²)**	$\boldsymbol{E/f}$
1	350,6	0,417	4,41	1437	325
2	382,6	0,504	5,03	1298	258
3	321,7	0,388	4,23	1418	335
		Ortalama	4,56	1384	
		$\boldsymbol{f_k = f/1,2}$	3,8		

4.2.2. Kesme Dayanımı

Duvarın kesme dayanımının belirlenmesi için ASTM E 519 standardı dikkate alınarak diyagonal duvar kesme deneyi yapılmıştır (ASTM E 519-15, 2015). Standartta belirtilen şartlara göre bir adet 120x120 cm boyutlarında ve 19 cm kalınlığında duvar numunesi üretilmiştir.

Numunenin taşınması portal vinç ile sağlanmıştır. Numunenin kaldırılabilmesi ve deney aletine yerleştirilebilmesi için numune biri büyük diğeri küçük parça halindeki tahta sehpa üzerine yapılmıştır. Daha sonra yan yüzeyine eklenilen tahta parçasıyla altta bulunan büyük parça sabitlenmiştir. Yan ve alttaki büyük parçanın içinden geçirilen tijler ve bu tijlere dişi ayboltlar takılmıştır. Yan ve alt yüzeydeki alyboltlardan geçirilen zincirler, diyagonal doğrultuda ağırlık merkezini bozmayacak şekilde vince bağlanmıştır. Numune, vinçle kaldırılmasıyla duvar kendi ekseni etrafında dönerek diyagonal yükleme doğrultusuna gelmiştir. Alttaki küçük parçanın çıkartılmasıyla yükleme ayağının yerleştirileceği bölge açılmıştır. Yükleme ayağı olarak 15x15 cm uzunluğunda ve dik açılı iğde ağacından üretilmiş malzeme kullanılmıştır. Numunesin taşınması Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

Şekil 4.12. Deney numunesini taşınması

Deneyin yapılmasında kolon basınç test düzeneğinden faydalanılmıştır. Hidrolik krikonun üzerine konulan yük hücresiyle hidrolik krikodan manuel olarak etki ettirilen kuvvet ölçülmüştür. Standartta belirtildiği gibi yükleme doğrultusunda ve yükleme doğrultusuna dik olacak şekilde 2 adet LVDT kullanılmıştır. LVDT ölçüm mesafesi 1 metre olarak ayarlanmıştır. Duvar diyagonal kesme deney düzeneği ve LVDT yerleşimleri Şekil 4.13'de gösterilmektedir.

Şekil 4.13. Duvar diyagonal kesme düzeneği a) genel görünüm b) yükleme doğrultusuna dik LVDT c) yükleme doğrultusundaki LVDT

Numunenin Denklem 4.5'deki gibi uzunluk (l) ve yüksekliğinin (h) ortalaması alınarak ve duvar kalınlığıyla (t) çarpılarak net kesme alanı (A_n) hesaplanmıştır.

$$A_n = \left(\frac{l+h}{2}\right)t \qquad 4.5$$

Uygulanan maksimum kuvvetin (P), net kesit alanına Denklem 4.6'da belirtildiği gibi bölünmesiyle kesme gerilmesi (τ) hesaplanmıştır.

$$\tau = 0{,}707\mathrm{P}/A_n \qquad 4.6$$

Uygulanan maksimum kuvvette iki doğrultuda yerleştirilmiş olan LVDT den okunan değerlerinin (δ_x, δ_y) toplamının, yüklemeye doğrultusundaki LVDT nin boy uzunluğuna (g) Denklem 4.7'deki gibi bölünmesiyle kesme birim şekil değiştirmesi (γ) hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{\delta_x + \delta_y}{g} \qquad 4.7$$

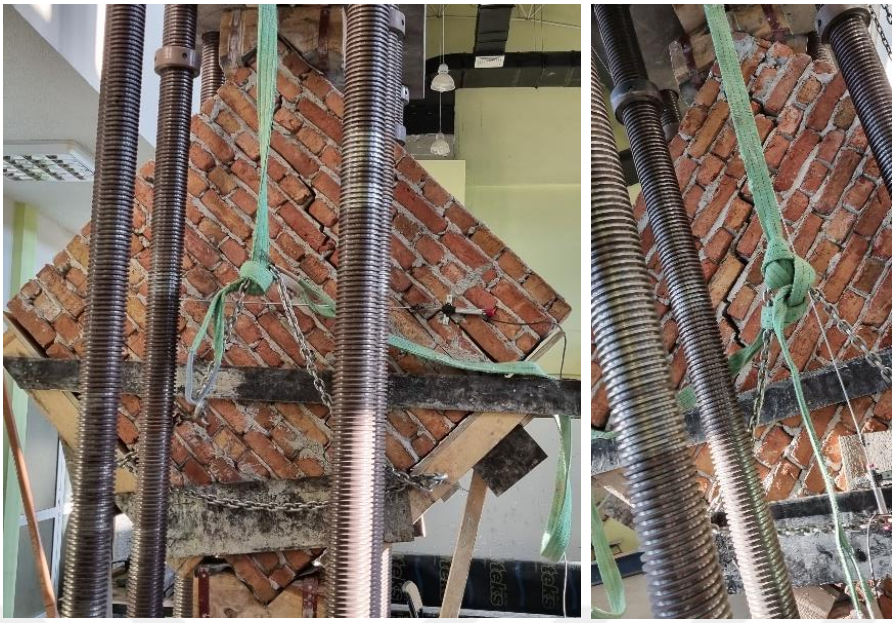
Denklem 4.8'de verildiği gibi kesme gerilmesinin (τ) kesme birim şekil değiştirmesine (γ) bölünmesiyle kayma modülü (G) hesaplanmaktadır.

$$\mathrm{G} = \frac{\tau}{\gamma} \qquad 4.8$$

Duvar diyagonal kesme deneyi sonucunda Denklem 4.5 – Denklem 4.8'ten hesaplanan duvar özellikleri Çizelge 4.9'de verilmiştir. Duvar 0,105 MPa kesme gerilmesi altıda göçerken, kayma modülü 322 MPa olarak hesaplanmıştır. Kesme deneyi sonrası duvarda oluşan kesme göçmesi Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Diyagonal kesme deneyi sonuçları

Alan (mm^2)	A_n	228000
Kesme Gerilmesi (MPa)	τ	0,105
Birim şekil değiştirme	γ	0,000325
Kayma Modülü (MPa)	G	322



Şekil 4.14. Diyagonal kesme deneyi göçme şekli

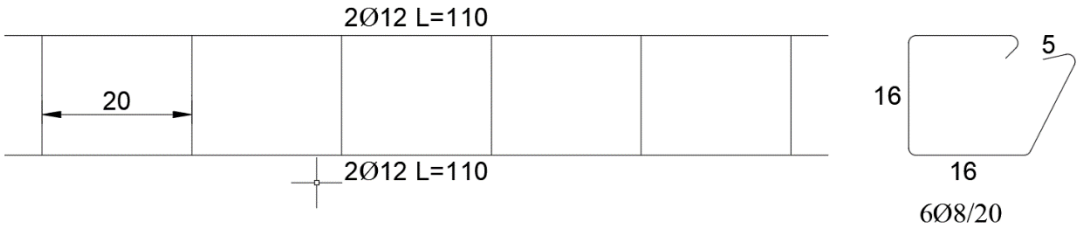
4.3. Duvar Güçlendirme Deney Numunelerinin Hazırlanması

Tez çalışmasında, ülkemizde inşa edilmiş, mevcut yapı stoğundaki betonarme rijit diyaframlı donatısız yığma binaları temsilen 7 adet hatıllı duvar numunesi üretilmiştir. Deney numunelerinde ülkemiz mevcut yapı stoğuna göre düşük beton basınç dayanımına sahip hatıl; ağırlıkça 1:1:6 oranında kireç, çimento ve kum karışımı çimento katkılı örgü harcı; el hapımı harman tuğlaları kullanılmıştır.

4.3.1. Hatıl

Ülkemiz yapı stoğunu temsil eden yığma binaların betonarme hatıl ve döşemeleri, dönemin şartlarına göre mühendislik hizmeti almadan usta becerisine dayalı olarak yapılmıştır. Bu dönemde betonarme yapı elemanlarında S220 donatı çubuklarıyla yerinde dökme beton yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton kalitesi hazır beton öncesine dayandığı ve şartnamelerin gerekliliklerine göre üretilmediğinden mevcut yığma binalarımızın betonarme yapı elemanları C20 beton sınıfında daha aşağıda bulunmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, hatılların üretiminde laboratuvar koşullarında beton katkı malzemesi kullanılmadan düşük dayanımlı beton kullanılmıştır. Hatılda 8 mm çapında donatıyla etriye sargısı yapılmış olup, 20 cm aralıklarla konumlandırılmıştır. Hatıl donatı detayı Şekil 4.15'de gösterilmektedir.

Her bir duvar için alt ve üst hatıl olmak üzere 2 hatıl yani toplamda 14 adet hatıl üretilmiştir. Hatıllar bir tuğla boyu olan 19 cm genişliğinde, 20 cm yüksekliğinde ve 120 cm uzunluğundadır.



Şekil 4.15. Hatıl donatı detayı

4.3.2. Önüretimli Panel

Yığma duvarların güçlendirilmesi amacıyla önüretimli paneller üretilmiştir. Tek yüze yapılacak olan güçlendirmede her bir numune için 1 adet panel üretilmiştir. Bu paneller 1 tanesi 70 mm, 4 tanesi 50 mm ve 1 tanesi 35 mm kalınlığındadır. Bu paneller iki parti şeklinde üretilmiştir. Üretilen partilerin birinde panellerin hepsi 50 mm kalınlığında olup, ankraj deliklerinin yerleri, dübel kalınlığındaki 14 mm çapında plastik boruların kalıba tutturulmasıyla beton döküm öncesinde Şekil 4.16'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Diğer partideyse 35, 50 ve 70 mm kalınlığında beton dökülerek Şekil 4.17'de gösterildiği gibi üretilmiştir. Ankraj delikleri beton dayanım kazandıktan sonra matkapla delinerek açılmıştır. Üretilen tüm numunelerde 15x15 cm göz aralığına ve 5 mm donatı çapına sahip tek sıra hasır donatı kullanılmıştır. Önüretimli panelin içine yatayda 10 adet, düşeyde 7 adet donatı çubuğu yerleştirilmiştir.

Şekil 4.16. Parti 1 panel üretimi

Şekil 4.17. Parti 2 panel üretimi

4.3.3. Duvar

Deney numunelerini oluşturacak duvarlar, alt ve üst bölgelerinde hatıl olacak şekilde imal edilmiştir. Hatıl betonunun yeterli mukavemet kazanmasıyla, alt hatılları oluşturacak betonarme kirişlerin altına taşımayı kolaylaştırmak için 2 adet 5*10 kalas yerleştirilmiştir. Alt hatıllar duvar örüm işlemi sırasında çalışma mesafesini engellemeyecek şekilde belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Daha sonra bu hatılların üzerine dolu harman tuğlasıyla bir tuğla kalınlığında şaşırtma örgü tekniğiyle kare geometrik şekilli duvar imal edilmiştir. Yatay ve düşey derzler yaklaşık olarak 1 cm kalınlığındadır. Duvar örüm sırasında örgü harcı içerisindeki suyun emilmemesi için hatıl ve tuğlalar ıslatılmıştır. Duvarda panelin yerleştirileceği yüzeyin terazide olmasına dikkat edilmiştir. Duvarın yapımından 3 gün sonra örgü harcının dayanım kazanmasıyla birlikte duvar üzerine üst hatıl yerleştirilmiştir. Deney numunelerine 28 gün boyunca hava kürü uygulanmıştır. Kullanılan tuğlaların düzgün şekilli olmaması numune ebatlarında farklılıklar olmasına sebep olmaktadır. İnşa edilen duvar deney numuneleri Şekil 4.18'de gösterildiği gibidir.

Şekil 4.18. Duvar numuneleri

Deneyde kullanılacak olan duvar numuneleri 19 cm kalınlığında olup, her numunenin uzunluğu (l) ve yüksekliği (h) Çizelge 4.10'da verilmiştir. Numune isimlendirmesinde ilk olarak mm birimi şeklinde panel kalınlığı verilerken, A gösterimiyle hatıla uygulanan dübel sayısı verilmektedir.

Çizelge 4.10. Numune ebatları

Numune İsmi	l (cm)	h (cm)
Yalın Duvar	102	142
50mm4A	102	143
50mm8A	101	142
50mm10A	105	144
50mm12A	104	143
35mm10A	103	142
70mm10A	102	143

4.3.4. Deney Numunesi

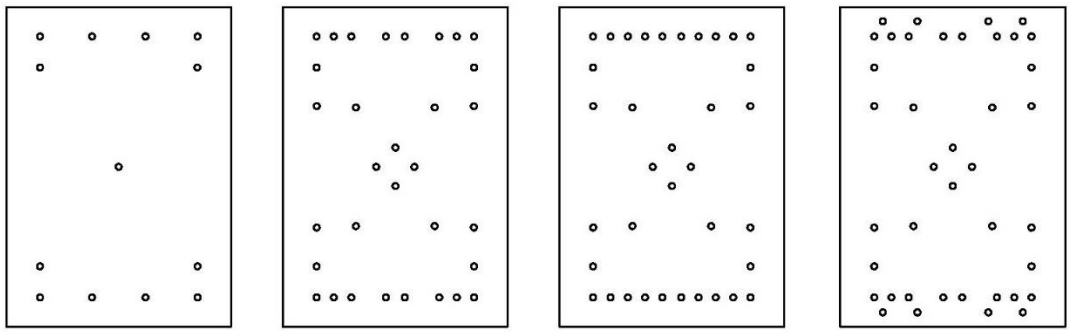
Yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesinin incelendiği bu çalışmada, yalın duvarın yanı sıra panelle numune arasındaki ankraj sayısı ve panel kalınlıklarının değişken tutulduğu 6 adet numune güçlendirmede kullanılmıştır. Bu

numuneler panel kalınlıklarına (35mm, 50mm, 70mm) ve hatıla gömülen dübel sayılarına (4A, 8A, 10A, 12A) göre isimlendirilmiştir.

Güçlendirmede numunelerinde önüretimli panelin bağlantısı M10/150 borulu cıvatalı çelik dübellerle sağlanmıştır. M10 borulu cıvatalı dübel için 15 mm çapında delikler açılmıştır. Dübel gömlek boyu yaklaşık 11 cm olduğundan, 50 mm ve 70 mm kalınlığındaki panellerde dübelin efektif gömme derinliği duvar ve hatıl için 5-6 cm ebat aralığında, 35 mm kalınlığındaki panelde efektif gömme derinliği 6-7 cm ebat aralığındadır. 70 mm kalınlığındaki panelli numunede standart gömme derinliğinin oluşması için panel, dübelin somununun sığabileceği bir çapta (22 mm) ve 2 cm derinliğinde yuva açılmıştır. 70 mm panellerin dübel yuvalarına takılması Şekil 4.19'de gösterilmiştir.

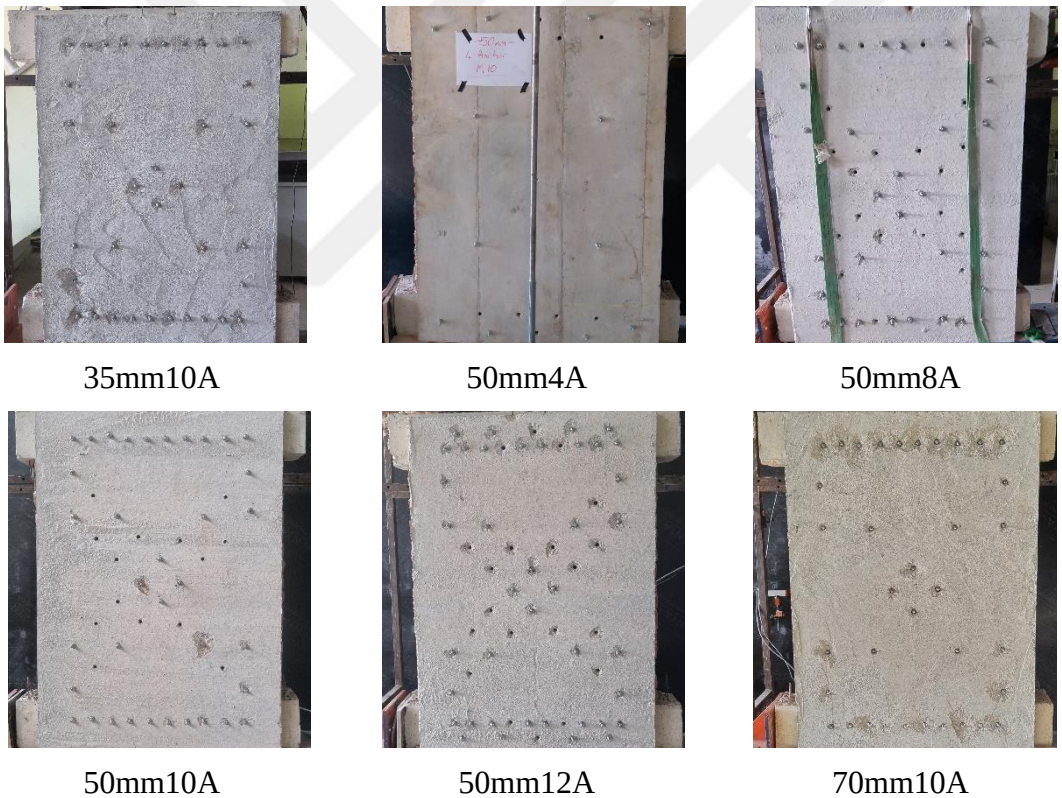
Şekil 4.19. 70 mm panellere dübellerin yuvalarına takılması

Duvarla panel arasında bağlantıyı oluşturan dübel sayısı 50mm4A için 5 adet iken diğer panellerde 16 adet kullanılmıştır. Paneller güçlendirilen numunelerin bağlantı eleman noktaları Şekil 4.20 'de model olarak ve Şekil 4.21'de deney numunesi olarak verilmektedir.



		35mm10A	
50mm4A	50mm8A	50mm10A	50mm12A
		70mm10A	

Şekil 4.20. Panel dübel takma modeli



35mm10A | 50mm4A | 50mm8A

50mm10A | 50mm12A | 70mm10A

Şekil 4.21. Panellere dübellerin takılmış halleri

Numuneler deney düzeneğine taşınırken, halat ve çelik profilden faydalanılmıştır. I şekilli çelik profilin 4 ucuna kancalar kaynatılmış ve orta noktasına aybolt yerleştirilmiştir. Halat, kalas vasıtasıyla numunenin altında oluşturulan boşluktan

geçirilerek, halat ucuna takılan mapa ve/veya karabina yardımıyla I şekilli çelik profilin kancalarına tutturulmuştur. I şekilli çelik profilin ortasına takılan aybolta geçirilen zincirle seyyar vinç arasında bağlantı kurulmuştur. Taşıma işlemi seyyar vinçle gerçekleşmiştir. Sadece düşeyde tutulu olan numune el yordamıyla dengede tutularak deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Taşımada kullanılan halatların aynı uzunlukta olması ve numuneyi iki taraftan eşit uzaklıkta kavraması numunenin dengeli bir şekilde taşınması için önem arz etmektedir. Numune taşıma düzeneği Şekil 4.22'de gösterildiği gibidir.

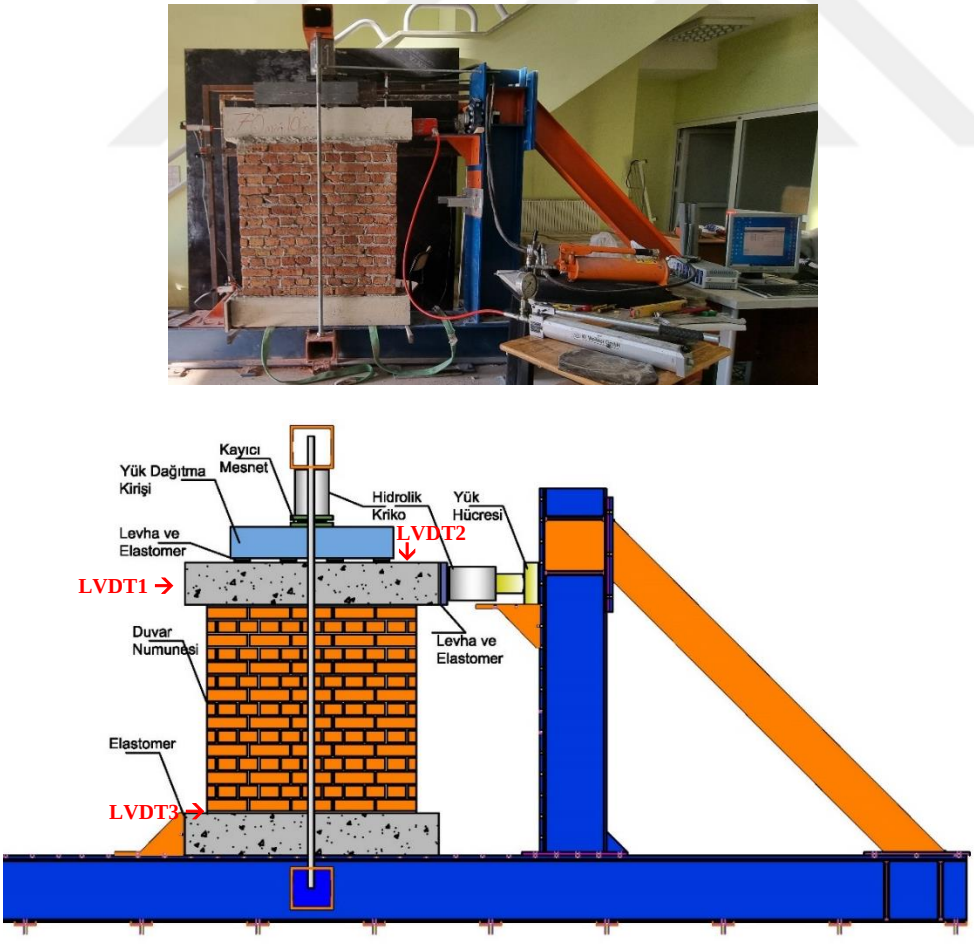
Şekil 4.22. Numune taşıma düzeneği

Deney düzeneği üzerine yerleştirilen duvar numunesinin yüzeyini eşit olarak kaplayacak şekilde panel yerleştirilmiştir. Panelle numune arasında bağlantı elemanı olarak kullanılan borulu cıvatalı çelik dübellerin deliklerinin açılması esnasında örgü harcı ve tuğla arasında aderans kayıplarının yaşanmaması ve numuneye zarar gelmemesi için panelin numuneye takılması süresince eksenel düşey yük

uygulanmaktadır. Deney sırasında numunede oluşacak hasarların gözlemlenebilmesi için numunenin duvar yüzeyi görülecek şekilde deney düzeneğine tekrardan yerleştirilmektedir.

4.4. Deney Düzeneği

Düşey ve yatay yönde olmak üzere iki doğrultuda statik kuvvet uygulayan bir deney düzeneğiyle deneyler yapılmıştır. Bina yükünü temsilen düşey doğrultuda 30 ton kapasiteli hidrolik kriko ile yük uygulanmaktadır. Düşey yük düzeneği aşağıdan yukarıya doğru; elastomer kauçuk, 1 cm kalınlığında noktasal yük levhası, rijit yük dağıtma kirişi, 2 cm kalınlığında demir levha, hareketli mesnet oluşturulması için 14mm kalınlığındaki silindir çubuklar, 2 cm kalınlığında demir levha ve hidrolik kriko şeklinde sıralanabilir. Deney düzeneğinin test düzeneği ve modeli Şekil 4.23'de verilmektedir.



Şekil 4.23. Duvar güçlendirme numunesi deney düzeneği modeli

Elastomer kauçuk hatıl üzerindeki pürüzler düşünülerek ve numuneye gelen yükün düzgün bir şeklide uygulanması için numune ile noktasal yük levhası arasına konulmuştur. Krikodan numuneye aktarılan yükün 4 noktadan eşit biçimde dağıtılması için rijit kiriş ile yük aktarılmaktadır. Hidrolik krikonun dönme yapmadan düşey yük uygulaması için kiriş ile kriko arasına hareketli mesnet yerleştirilmiştir. Hareketli mesnet 2 kalın levha arasına konulan silindir çubuklarla sağlanmıştır. Hareketli mesnetin düzgün çalışması için her deney öncesinde levha ve çubuklar önce temizlenmiş sonrada yağlanmıştır.

Yığma binalarda yatay yükün kattan kata ve duvarlara aktarılmasında rijit diyafram şeklinde çalışan betonarme döşemeler ve döşemelerin bağlı olduğu hatıllar etkin bir şekilde rol almaktadır. Yatay yükün üst hatıldan alt hatıla doğru duvar vasıtasıyla yük aktarımını modellemek amacıyla alt hatıl itme doğrultusunda sabit mesnetle tutulmuş olup, üst hatıla yatay yönde statik kuvvet uygulanmıştır. Yatay doğrultuda uygulanan yük hidrolik kriko arkasına yerleştirilen yük hücresiyle ölçülmüştür. Ayrıca uygulanan yükün numuneye düzgün olarak dağılımını sağlamak için, alt hatılda mesnetle hatıl arasına, üst hatıldaysa krikodan yük aktarımını sağlayan levhayla hatıl arasına elastomer kauçuk yerleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada numune üzerindeki 3 noktadan LVDT ile yerdeğiştirme verileri alınmıştır. Bu okumalar yatay deplasmanın gerçekleştiği üst hatıla LVDT1, numunede oluşacak dönmenin okunabilmesi için üst hatılın yatay yük uygulanan tarafındaki duvar üst hatıl birleşim eksenine LVDT2, yatay yönde ötelenmelerin okunması için duvar ile alt hatıl bölgesinin birleşim noktasına LVDT3 yerleştirilerek, yerdeğiştirme verileri elde edilmiştir. Numunenin yapmış olduğu toplam yerdeğiştirme, numunede oluşan dönmenin yerdeğiştirmeye olan etkisinin ve yatay yönde oluşan ötelenmenin çıkartılmasıyla Denklem 4.10'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\delta_T = \delta_1 - \delta_2 \left(\frac{l_y}{l_x + \delta_1} \right) - \delta_3 \qquad 4.10$$

Yapılan deneyler sonrası dübellerde oluşan deformasyonların görsel olarak incelenmesi için, dübeller Şekil 4.24'de gösterildiği gibi sıkışan somunlar kesilerek çıkartılmıştır. Daha sonra panel ve duvar numunesi birbirinden manivela yardımıyla

ayrılmıştır. Dübellere ve panele zarar vermeden sökümünü yapılmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 4.24. Dübellerin somunlarının kesilmesi ve panelin duvardan ayrılması

4.5. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesi incelenmektedir. Dolu harman tuğlalı üretilmiş 7 eş duvar numunesinin 1 tanesi yalın duvar olarak test edilmiş olup, panel-numune arasındaki bağlantıyı sağlayan dübel sayısı ve panel kalınlığı değişken tutulmuştur.

Numuneye 0,45 MPa sabit düşey gerilme verilecek şekilde düşey yük uygulanmış ve yanal itme kuvveti etki ettirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda numuneye uygulanan kuvvet ve yerdeğiştirme verileri elde edilmiştir.

Düzlem içi yatay kuvvet etkisi altında donatısız yığma duvar numunelerin davranışları, numunenin dayanım kaybı yaşadığı ve numunede belirli hasarlar oluştuğu, hasarları karakterize eden üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Hasarları karakterizeden sınır durumları:

- Çatlak limiti, duvarlarda ilk çatlakların oluşumuyla belirlenmekte olup, bu çatlaklar tuğlalardan veya yatay derzlerinden ilerlemektedir. (H_{cr}, δ_{cr});
- Maksimum direnç, elde edilen maksimum yatay kuvvet ve maksimum kuvvete karşılık gelen yerdeğiştirmedir. (H_{maks}, δ_{Hmaks})
- Nihai sınır, duvarın ulaşabileceği maksimum yerdeğiştirmesi ve maksimum yerdeğiştirmeye karşılık gelen yatay kuvvettir. (H_{dmaks}, δ_{maks})

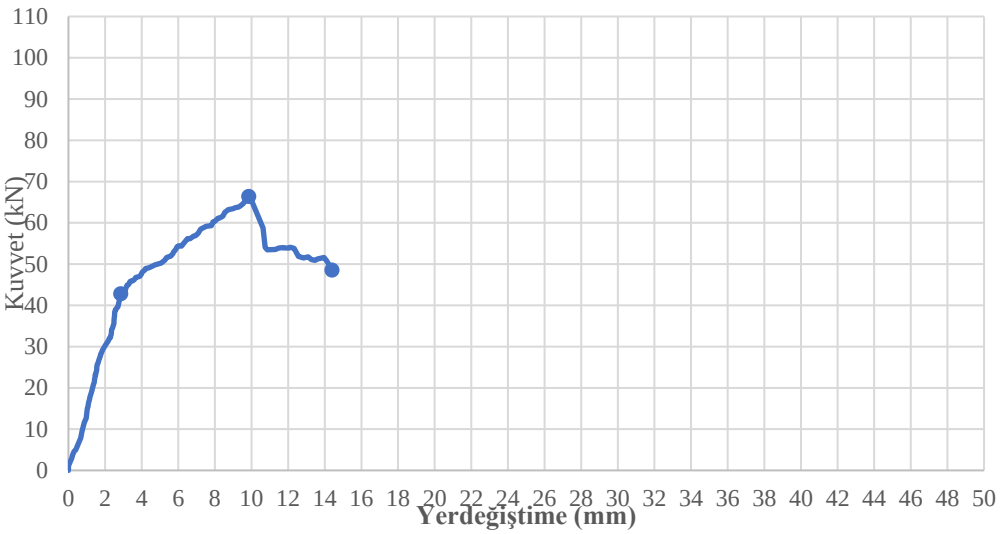
Kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan enerji tüketme kapasitesini (A_{env}) vermektedir. Enerji tüketme kapasitesini grafikten iki yerdeğiştirme arasındaki fark alınarak ve bu yerdeğiştirmelerdeki kuvvetlerin ortalamasıyla çarpılması suretiyle yamuğun alan hesabına göre hesaplanmaktadır.

4.5.1. Yalın Duvar Numunesi

Bu çalışmada güçlendirmenin etkisinin tespiti için bir adet yalın duvar numunesi test edilmiştir. Yalın duvar numunesinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.25'de gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 42,07 kN olarak, yerdeğiştirme 2,98 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 66,36 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 9,85 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 48,53 kN ve yerdeğiştirme 14,40 mm olarak bulunmuştur.

Yalın duvar numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani yalın duvar numunesinin enerji tüketme kapasitesi 691,52 $kNmm^2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.25. Yalın duvar numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

Yalın duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle Şekil 4.26'da gösterildiği gibi diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur.

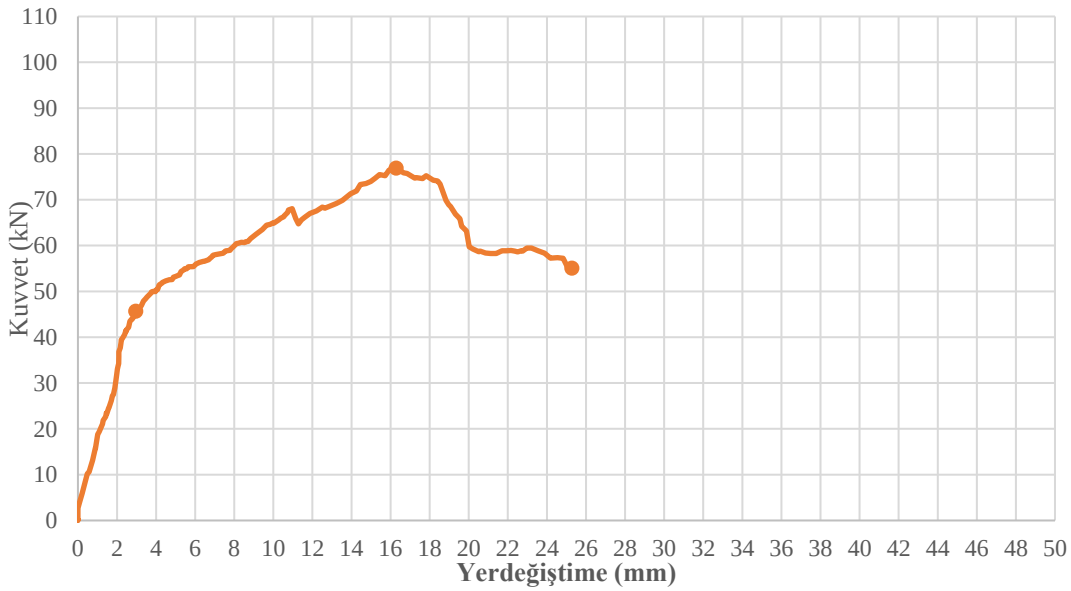
Şekil 4.26. Yalın duvar numunesinin hasar gelişimi

4.5.2. 50mm4A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 50 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 4'er adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 5 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 50mm4A şeklinde isimlendirilmiştir Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 50mm4A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.27'de gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 45,62 kN olarak, yerdeğiştirme 2,94 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 76,86 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 16,30 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 56,53 kN ve yerdeğiştirme 25,51 mm olarak bulunmuştur.

50mm4A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 50mm4A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 1496,17 $kNmm^2$ olarak bulunmuştur.



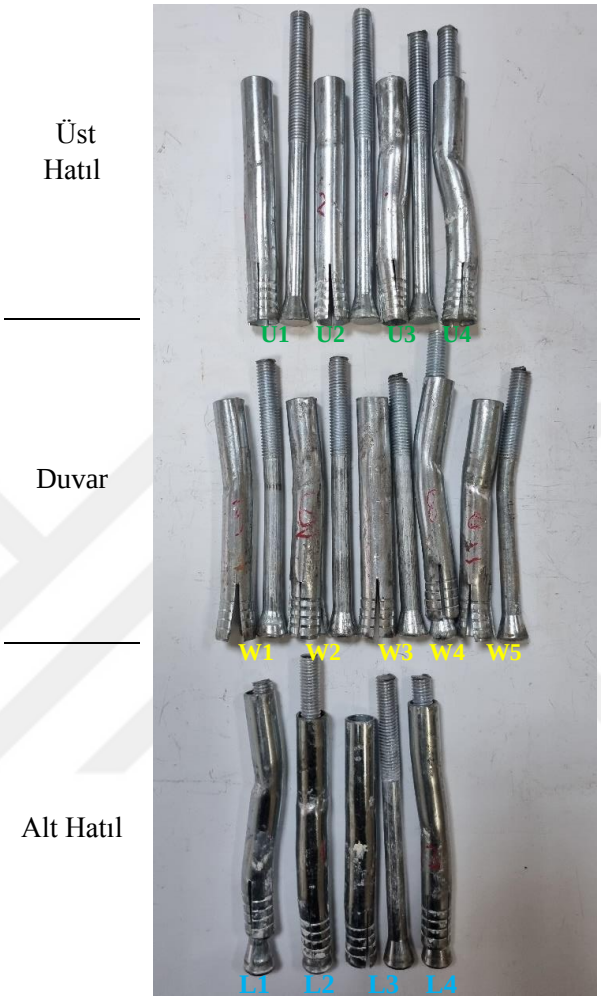
Şekil 4.27. 50mm4A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

50mm4A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.28'de verilmektedir. 50mm4A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde yük aktarımını sağlayacak olan dübel sayısının az olması sebebiyle, dübellere daha fazla kuvvet gelmiş olup, betonarme panelin çekme dayanımın düşük olmasından dolayı ve çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı üst hatılda U1 ve U2 dübellerinin ve alt hatılda L3 ve L4 dübellerinin bulunduğu deliklerden F1 numaralı çatlaklar gelişmiştir. Böylelikle panel çekme gerilmeleri etkisi altında göçmüştür.

Şekil 4.28. 50mm4A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

50mm4A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.29'da gösterilmektedir. Diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuda üst hatıla U4, alt hatılda L1 ve L2, duvarda W4 dübellerinin plastik deformasyona uğradıkları görülmektedir. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölge olan alt hatıl serbest uçtaki L4 ve duvarda W5 dübellerinin plastik deformasyona uğradığı görülmektedir. Ayrıca

dübel sayısına bağlı olarak dübellerin üzerine oldukça fazla yük çekmesinden dolayı, tüm dübellerin kılıflarında plastik deformasyonlar görülmektedir.



Şekil 4.29. 50mm4A dübel deformasyonu

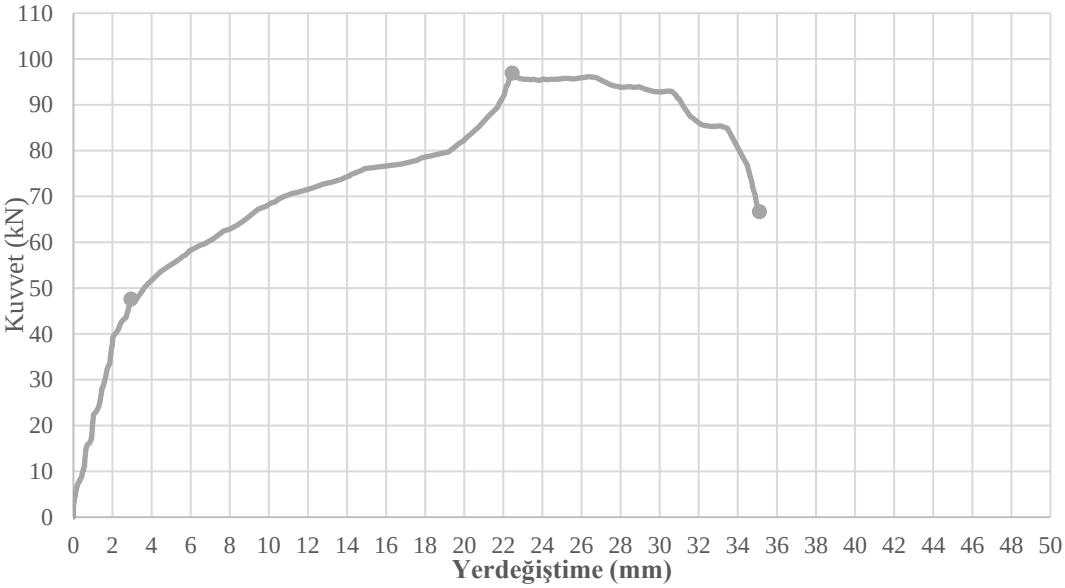
4.5.3. 50mm8A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 50 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 8'er adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 16 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 50mm8A şeklinde isimlendirilmiştir. Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 50mm8A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme

grafiği Şekil 4.30'da gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 47,96 kN olarak, yerdeğiştirme 2,95 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 96,89 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 22,46 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 66,63 kN ve yerdeğiştirme 35,11 mm olarak bulunmuştur.

50mm8A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 50mm8A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 2606,32 $kNmm^2$ olarak bulunmuştur.



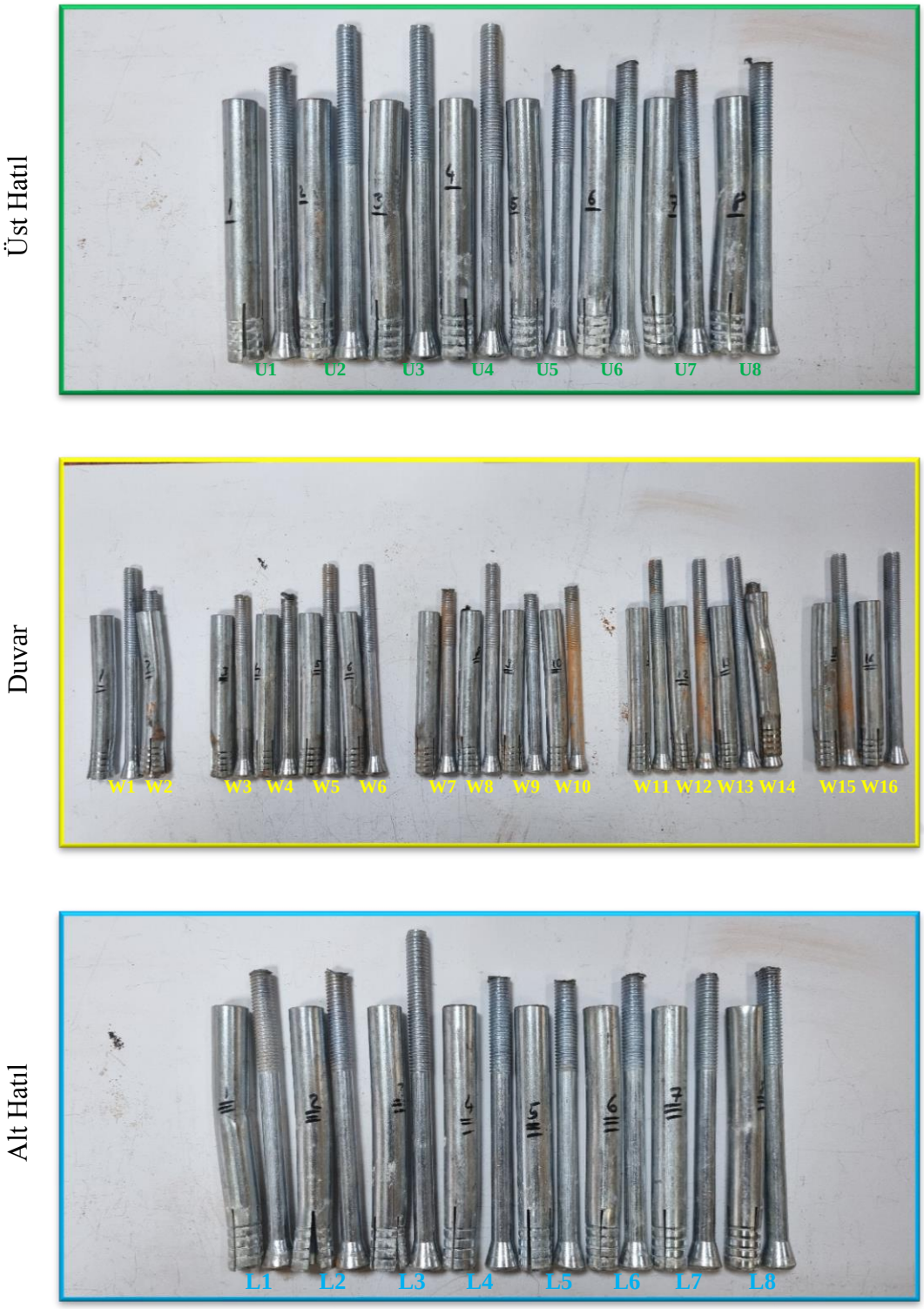
Şekil 4.30. 50mm8A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

50mm8A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.31'de verilmektedir. 50mm8A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden F1 ve F2 kılcal kesme çatlakları oluşmuştur. Çekme gerilmelerinin daha fazla

olduğu alt hatıla denk gelen panellerin dübel deliklerinin bulunduğu doğrultuda F3 çekme çatlakları oluşmuştur.

Şekil 4.31. 50mm8A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

50mm8A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.32'de gösterilmektedir. Borulu cıvatalı çelik dübellerin tamamında kılıflar plastik deformasyona uğramıştır. Kesme çatlağı yönünde yerleştirilmiş olan dübellerin sadece 1 tanesi (W2) plastik deformasyona uğramıştır. Diyagonal kesme çatlağı doğrultusundaki dübellerin kılıflarının daha fazla deformasyona uğradıkları görülmektedir. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgede W14 dübelinin plastik deformasyona uğradığı görülmektedir.



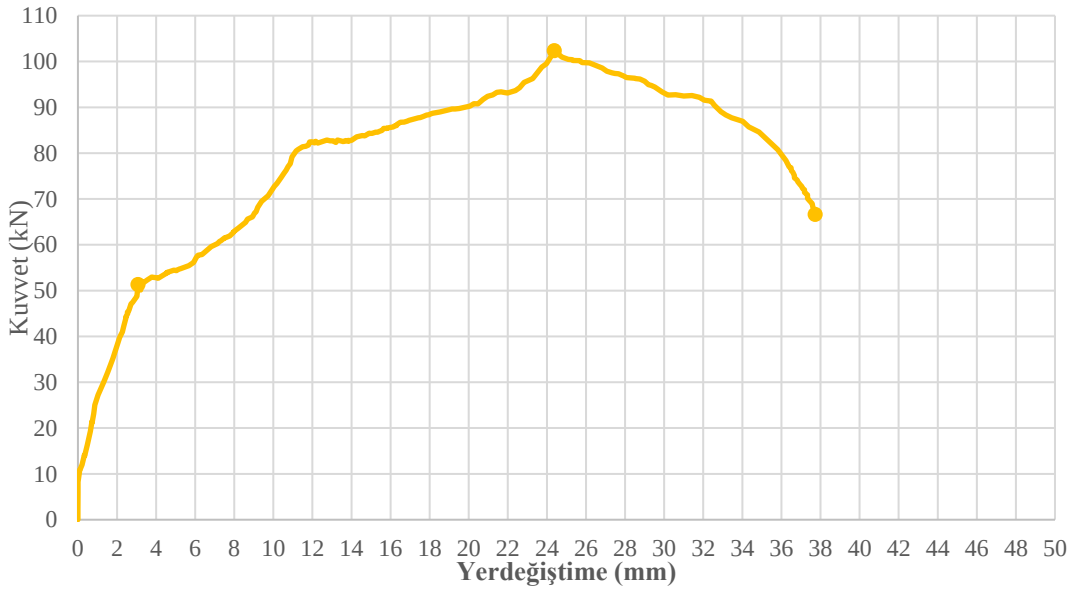
Şekil 4.32. 50mm8A dübel deformasyonu

4.5.4. 50mm10A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 50 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 10'er adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 16 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 50mm10A şeklinde isimlendirilmiştir Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 50mm10A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.33'de gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 51,29 kN olarak, yerdeğiştirme 3,08 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 102,32 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 24,39 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 66,59 kN ve yerdeğiştirme 37,73 mm olarak bulunmuştur.

50mm10A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 50mm10A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 2987,82 kNmm^2 olarak bulunmuştur.

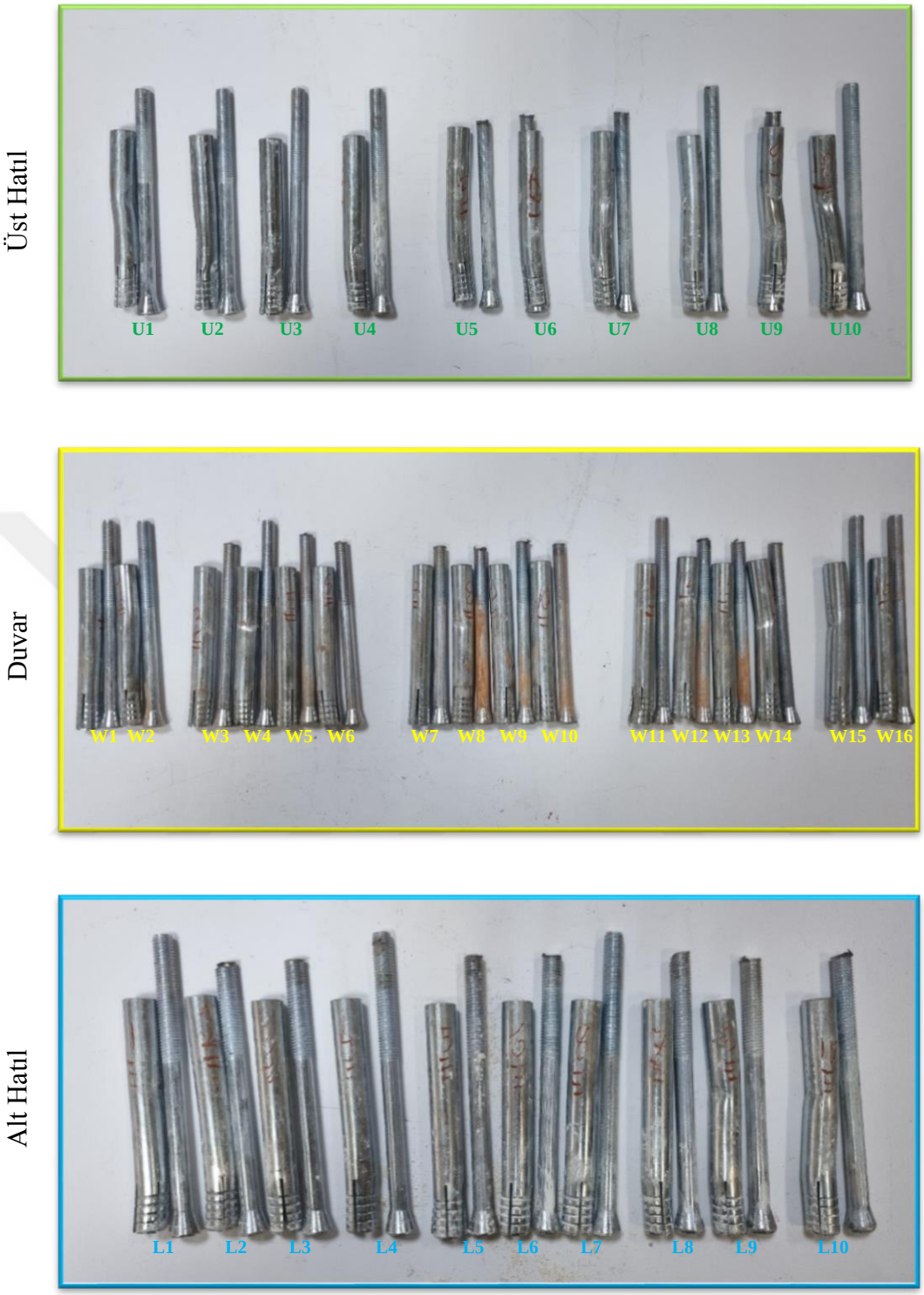


Şekil 4.33. 50mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

50mm10A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.34'de verilmektedir. 50mm10A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden F1, F2, F3, F4 ve F5 kılcal kesme çatlakları oluşmuştur. Çekme gerilmelerinin daha fazla olduğu alt hatıla denk gelen panellerin dübel deliklerinin bulunduğu doğrultuda F6 çekme çatlakları oluşmuştur.

Şekil 4.34. 50mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

50mm10A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.35'de gösterilmektedir. Borulu cıvatalı çelik dübellerin tamamında kılıflar plastik deformasyona uğramıştır. Kesme çatlağı yönünde yerleştirilmiş olan dübellerden üst hatılda sadece 1 tanesi (U9) plastik deformasyona uğramıştır. Diyagonal kesme çatlağı doğrultusundaki dübellerin kılıflarının daha fazla deformasyona uğradıkları görülmektedir. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgedeki U1, W14, L9 ve L10 dübelinin kılıflarının belirgin bir şekilde plastik deformasyona uğradığı görülmektedir.



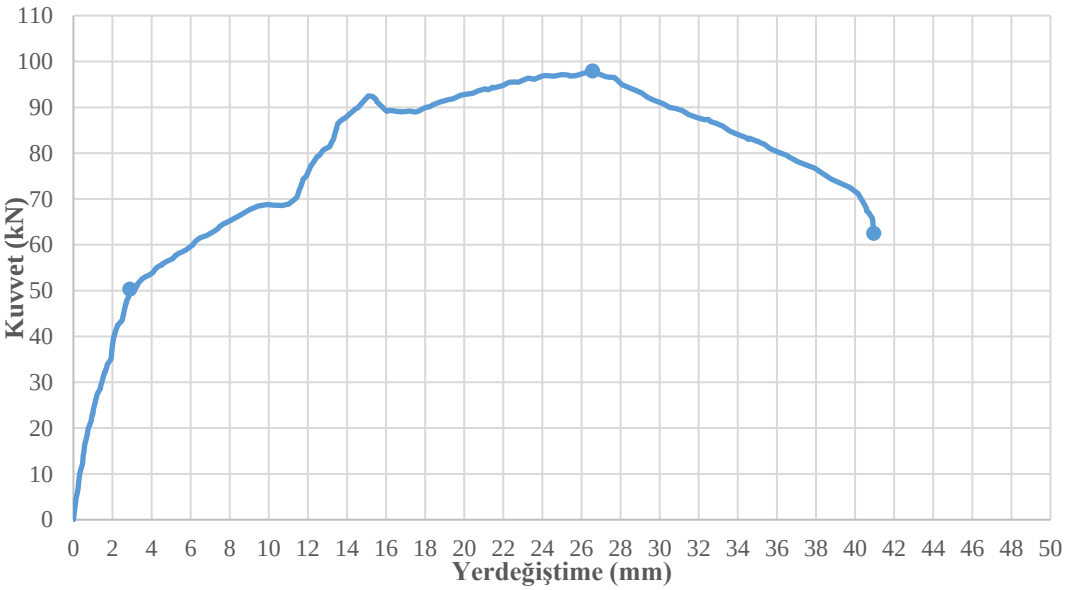
Şekil 4.35. 50mm10A dübel deformasyonu

4.5.5. 50mm12A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 50 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 12 adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 16 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 50mm12A şeklinde isimlendirilmiştir Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 50mm12A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.36'da gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 50,27 kN olarak, yerdeğiştirme 2,89 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 97,89 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 26,57 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 65,86kN ve yerdeğiştirme 40,88 mm olarak bulunmuştur.

50mm12A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 50mm12A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 3204,53 $kNmm^2$ olarak bulunmuştur.

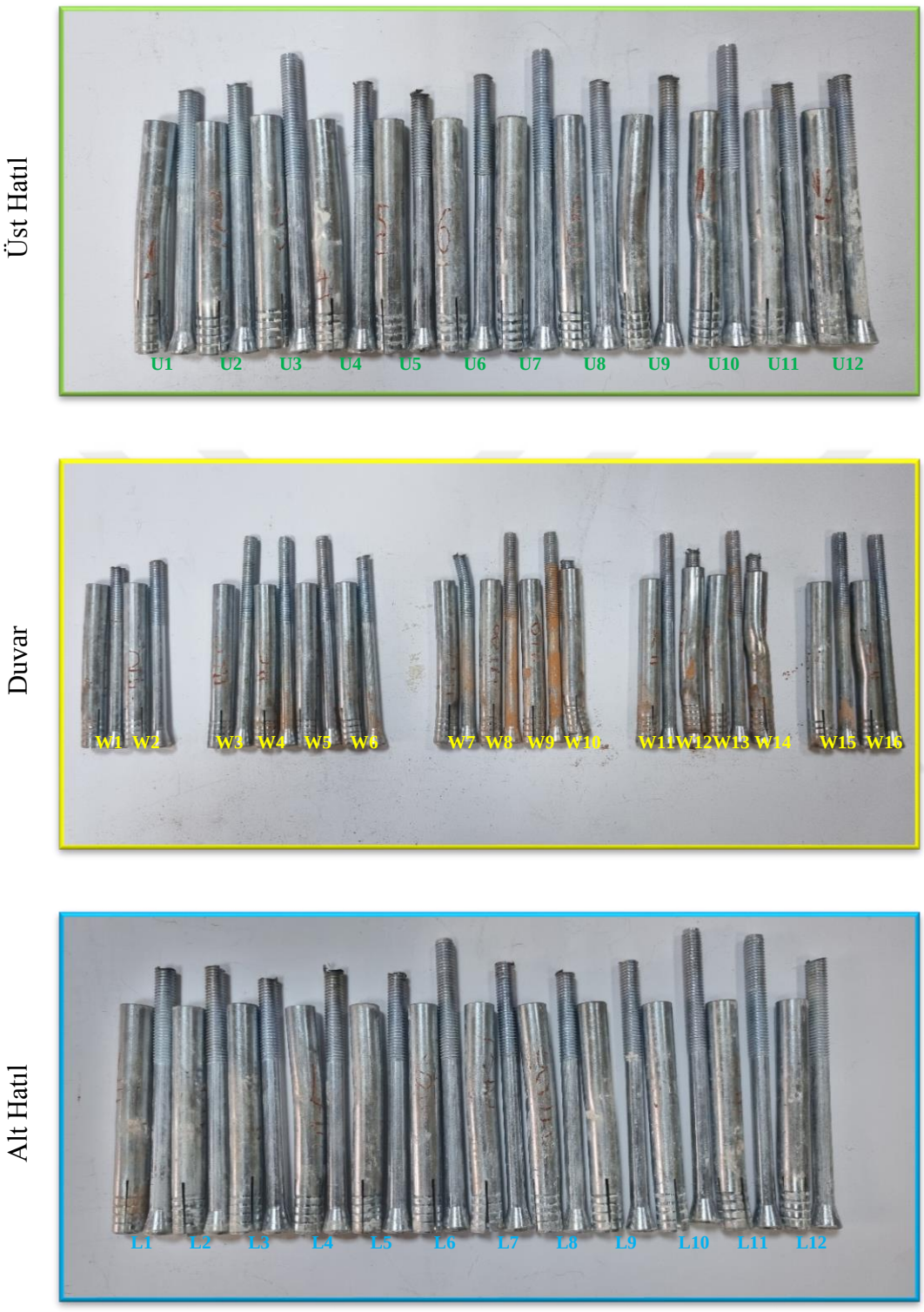


Şekil 4.36. 50mm12A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

50mm12A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.37'de verilmektedir. 50mm12A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden F1, F2, F3, F4, F5, F6 ve F7 kılcal kesme çatlakları oluşmuştur. Çekme gerilmelerinin daha fazla olduğu alt hatıla denk gelen panellerin dübel deliklerinin bulunduğu doğrultuda F8 ve F9 çekme çatlakları oluşmuştur.

Şekil 4.37. 50mm12A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

50mm12A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.38'de gösterilmektedir. Borulu cıvatalı çelik dübellerin tamamında kılıflar plastik deformasyona uğramıştır. Kesme çatlağı yönünde yerleştirilmiş olan dübellerden duvarda sadece 1 tanesi (W12) plastik deformasyona uğramıştır. Diyagonal kesme çatlağı doğrultusundaki dübellerin kılıflarının deformasyona uğradıkları görülmektedir. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgede W14 dübelinin ve U1 ve W16 dübel kılıflarının belirgin bir şekilde plastik deformasyona uğradığı görülmektedir.



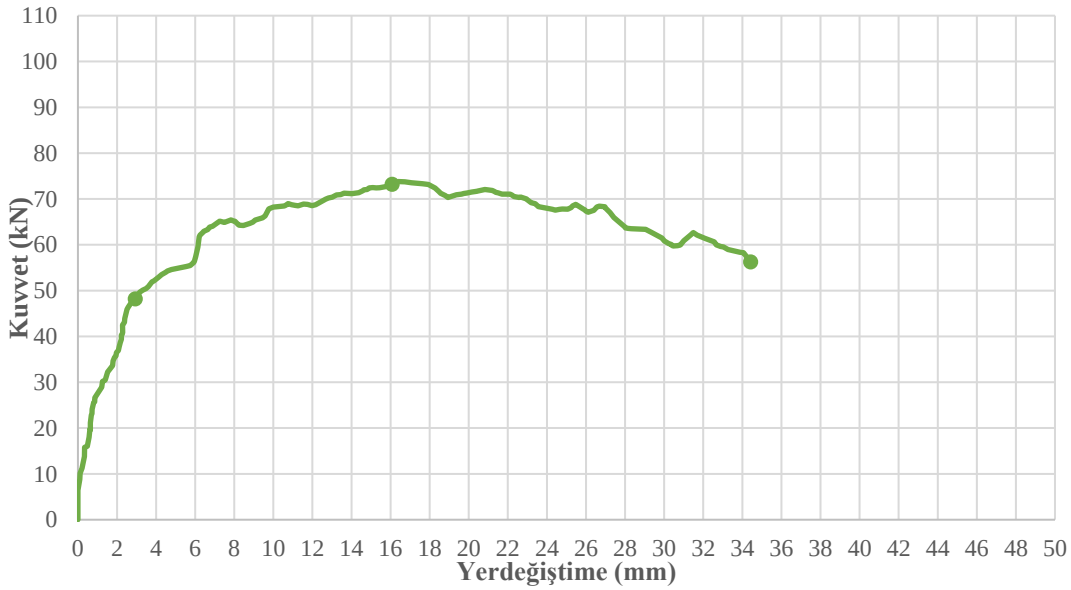
Şekil 4.38. 50mm12A dübel deformasyonu

4.5.6. 35mm10A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 35 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 10 adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 16 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 35mm10A şeklinde isimlendirilmiştir Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 35mm10A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.39'da gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

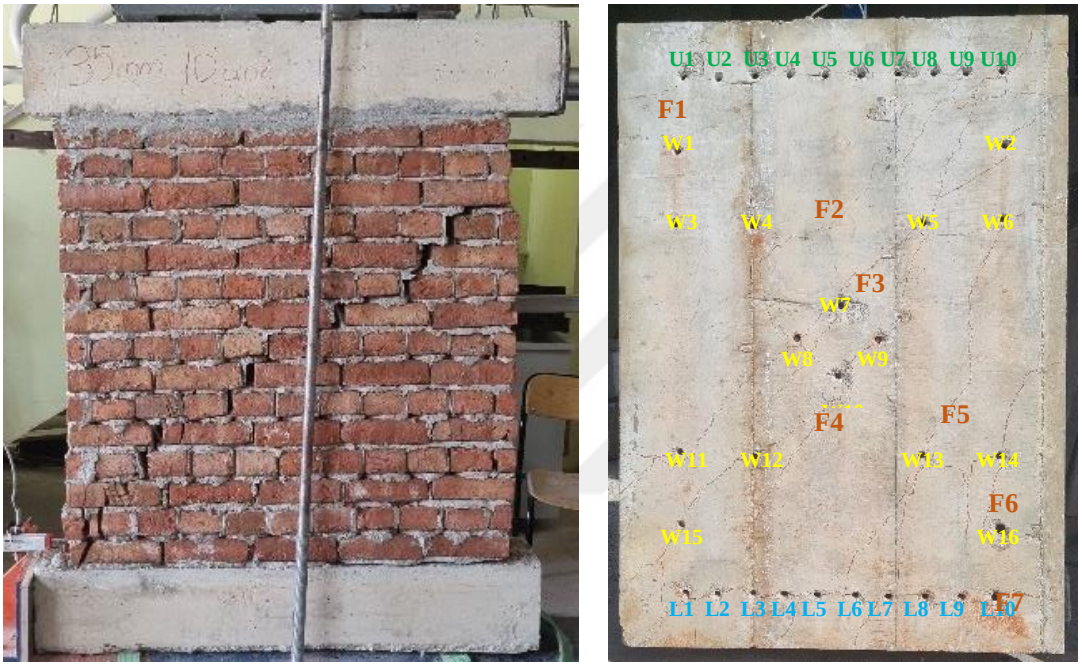
- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 48,15 kN olarak, yerdeğiştirme 2,94 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 73,80 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 16,39 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 64,78 kN ve yerdeğiştirme 34,42 mm olarak bulunmuştur.

35mm10A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 35mm10A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 2200,31 kNmm^2 olarak bulunmuştur.



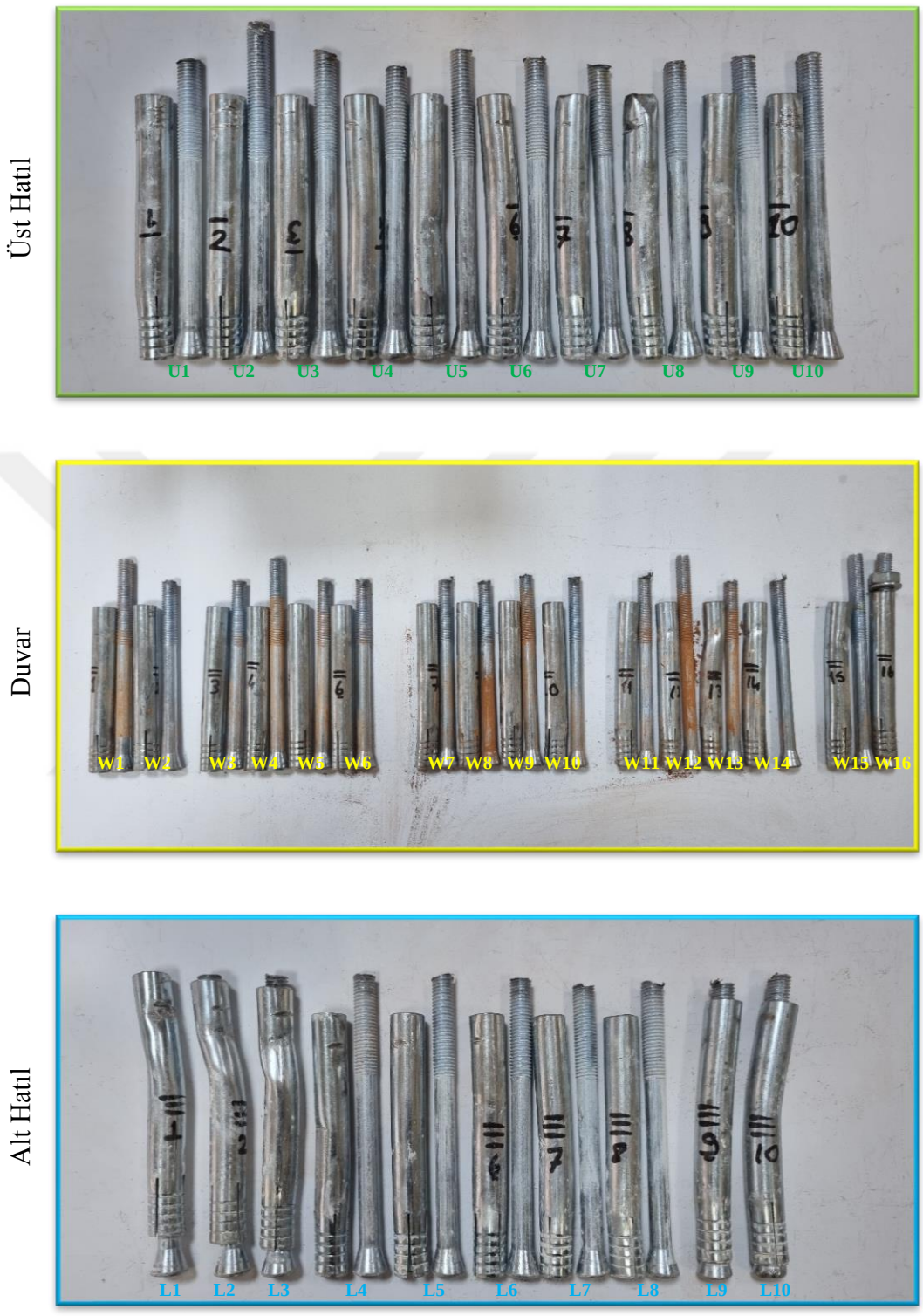
Şekil 4.39. 35mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

35mm10A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.40'da verilmektedir. 35mm10A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden F2, F3, F4, F5 ve F6 kılcal kesme çatlakları oluşmuştur. Çekme gerilmelerinin daha fazla olduğu alt hatıla denk gelen panellerin dübel deliklerinin bulunduğu doğrultuda F1 ve F7 çekme çatlakları oluşmuştur.



Şekil 4.40. 35mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

35mm10A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.41'de gösterilmektedir. Borulu cıvatalı çelik dübellerin neredeyse tamamında kılıflar plastik deformasyona uğramıştır. Kesme çatlağı yönünde yerleştirilmiş olan dübellerden alt hatılda L1, L2 ve L3 plastik deformasyona uğramıştır. Diyagonal kesme çatlağı doğrultusundaki dübellerin kılıflarının deformasyona uğradıkları görülmektedir. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgede L9 ve L10 dübelinin şekilde plastik deformasyona uğradığı, W16 dübelinde panel kalınlığına bağlı olarak betonda göçme olduğu görülmektedir. W16 dübelinde herhangi bir deformasyon saptanamamıştır.



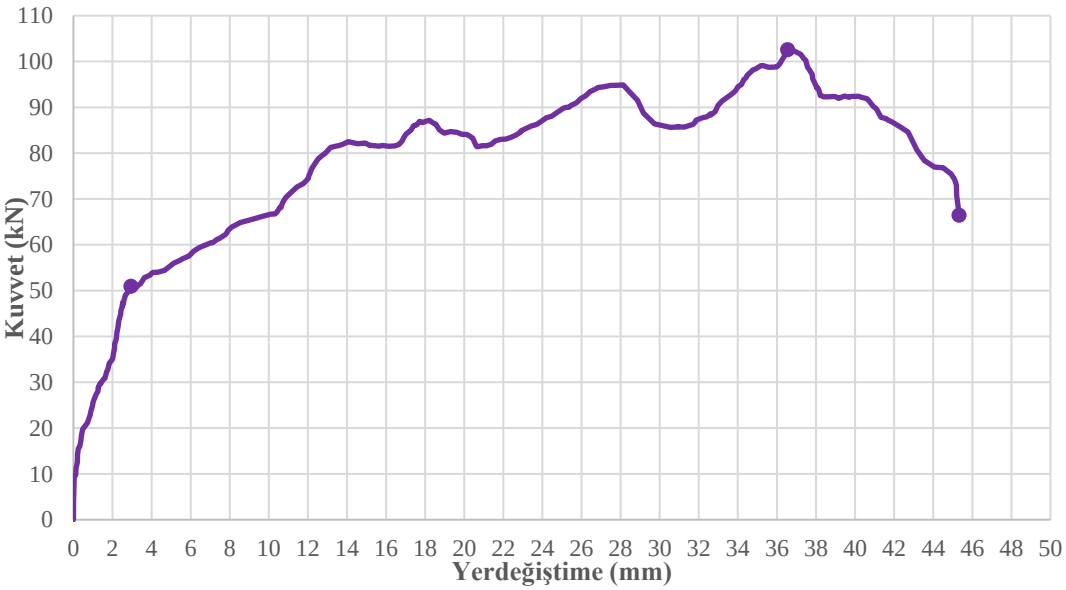
Şekil 4.41. 35mm10A dübel deformasyonu

4.5.7. 70mm10A Numunesi

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme çalışmasında 70 mm kalınlığındaki önüretimli panellin üst ve alt hatıl bölgesine 10 adet borulu cıvatalı çelik dübellerin montajı yapılarak tutturulmuştur. Duvar bölgesinde 16 adet borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak montajı yapılmıştır. Deney numunesi panel kalınlığına ve üst-alt hatılda kullanılan ankraj sayısına göre 70mm10A şeklinde isimlendirilmiştir Yanal yükleme sonrasında güçlendirilmiş 70mm10A numunesinin kuvvet ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.42'de gösterildiği gibidir. Deney numunesi üç sınır durumu aşağıdaki gibidir:

- Çatlama limit durumunda, ilk çatlakların oluştuğu yatay kuvvet 50,98 kN olarak, yerdeğiştirme 3,00 mm olarak tespit edilmiştir.
- Maksimum direnç durumunda, maksimum yatay kuvvet 102,56 kN ve maksimum kuvvet anındaki yerdeğiştirme 36,54 mm olarak bulunmuştur.
- Çatlakların oldukça genişlediği ve duvarın dayanımını oldukça kaybettiği nihai sınır durumunda yatay kuvvet 67,80kN ve yerdeğiştirme 45,29 mm olarak bulunmuştur.

70mm10A numunesinin kuvvet yerdeğiştirme grafiği altında kalan alan, yani 70mm10A numunesinin enerji tüketme kapasitesi 3567,01 $kNmm^2$ olarak bulunmuştur.

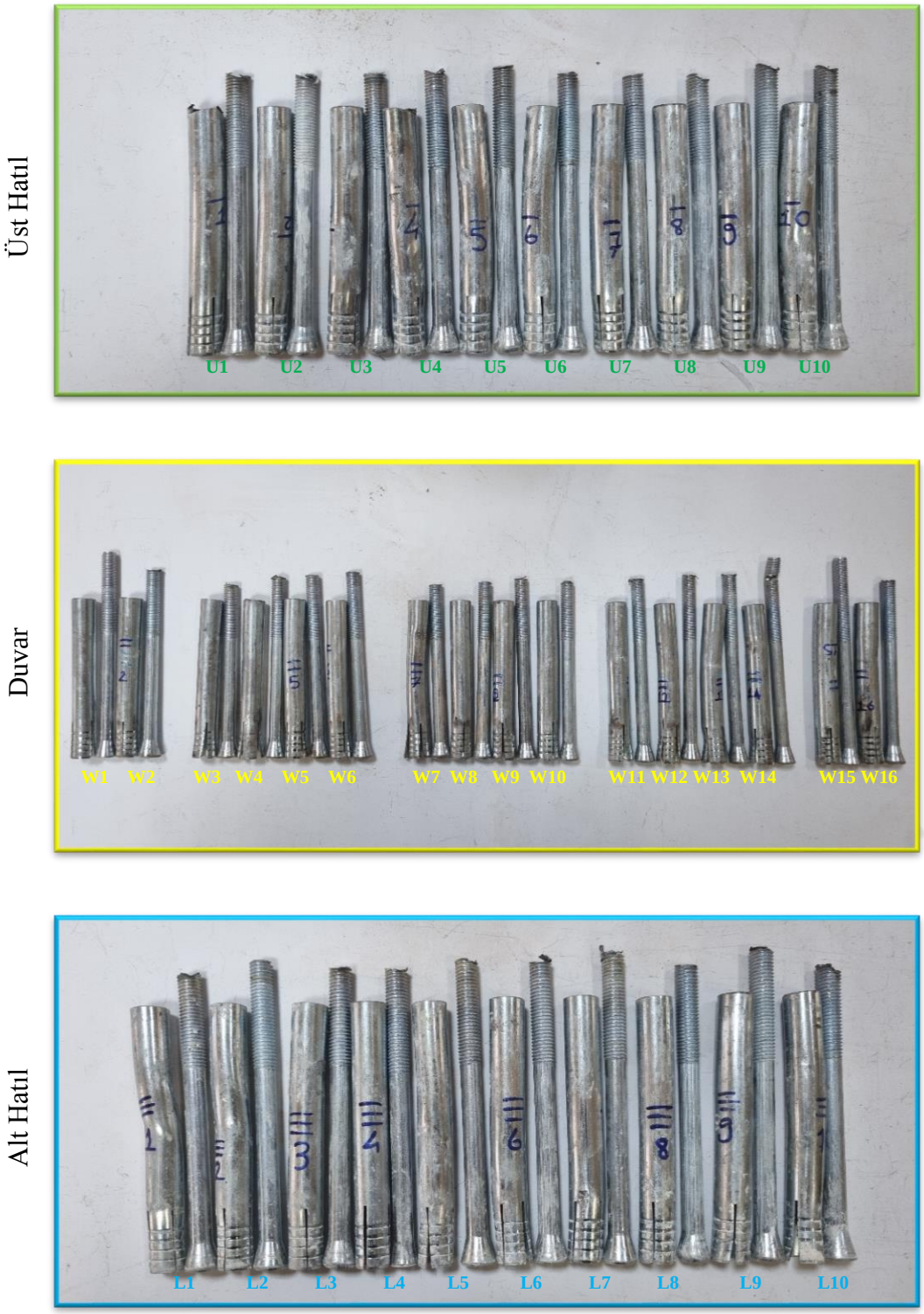


Şekil 4.42. 70mm10A numunesi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

70mm10A numunesine ait duvar ve panelde oluşan hasarlar Şekil 4.43'de verilmektedir. 70mm10A güçlendirilmiş duvar numunesine etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin etkisiyle diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirmede kullanılan panelde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden F3 kılcal kesme çatlağı oluşmuştur. Çekme gerilmelerinin daha fazla olduğu alt hatıla denk gelen panellerin dübel deliklerinin bulunduğu doğrultuda F1, F4 ve F5 çekme çatlakları oluşmuştur. Panelin orta kısmında yatay doğrultuya yakınlaşan F2 çatlağı, panelin duvardan sökülmesi işleminde oluşmuştur.

Şekil 4.43. 70mm10A numunesi duvar ve panel hasar gelişimi

70mm10A numunesinin üst hatıl, duvar ve alt hatıl bölgesinde takılı olan dübellerin deney sonrası deformasyonlarının tespiti için çıkartılmış olup, Şekil 4.44'de gösterilmektedir. Borulu cıvatalı çelik dübellerin tamamında kılıflar plastik deformasyona uğramıştır.

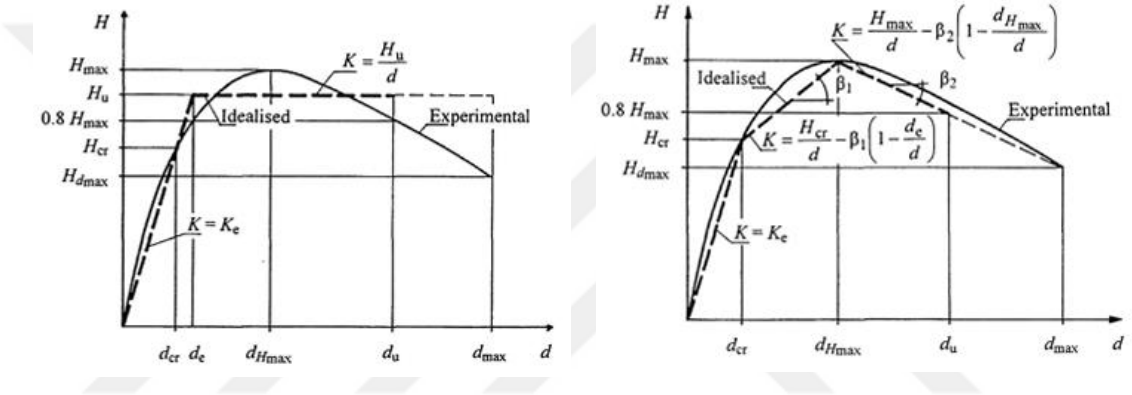


Şekil 4.44. 70mm10A dübel deformasyonu

4.6. Deney Verilerinin İdealizasyonu

Duvarların davranışlarını sayısal basit hesaplamalara dökebilmek için yığma duvarın histerik davranışı yani yatay ve düşey yüklemelerin gösterimi idealleştirilerek iki veya üç doğrusal çizgi haline Şekil 4.45'deki gibi dönüştürülmektedir. Deneysel çizimlerinin idealleştirilmesinde, test edilen duvarın gözlemlenen davranışında, deney verilerinin değerlendirilmesi kısmında yer alan üç sınır durumu kullanılmaktadır.

a) b)



Şekil 4.45. İdealizasyon eğrisinin sınır durum gösterimi a) iki doğrusal b) üç doğrusal (Tomazevic, 1999)

İdealize edilmiş eğrinin başlangıç eğimi, çatlakların oluşumundaki sekant sertliğini en iyi şekilde tanımlayan duvarın etkin rijitliği (K_e) olarak adlandırmaktadır. Çatlak sınırında duvarın dayanımı ve yerdeğiştirmesi (δ_{cr}) arasındaki orana göre Denklem 4.11'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_e = \frac{H_{cr}}{\delta_{cr}} \qquad 4.11$$

Dayanım eğrisi çift doğrusal bir ilişki ile idealleştirilirse, idealleştirilmiş eğrinin nihai dayanımı (H_u), gerçek ve idealleştirilmiş bir duvarın eşit enerji tüketme kapasitesi dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Yani deneysel ve idealleştirilmiş eğrilerin

altındaki alanlar (A_{env}) eşit olmalıdır. Deneysel eğriyi idealleştirirken ve ilk rijitlik (K_e) bilirken, nihai dayanım (H_u), Denklem 4.12'den hesaplanmaktadır.

$$H_u = K_e \left(\delta_{maks} - \sqrt{\delta_{maks}^2 - \frac{2A_{env}}{K_e}} \right) \quad 4.12$$

Duvar test sonuçlarının değerlendirilmesiyle H_u/ H_{maks} oranının ortalama değerinin çift doğrusal idealizasyonu durumu için 0,9 olduğu belirtilmekte ve bulunan maksimum dayanım değerinin Denklem 4.13'deki gibi 0,9 katına eşit olduğu belirtilmektedir.

$$H_u = 0{,}9H_{maks} \quad 4.13$$

İdealize edilmiş nihai yerdeğiştirme (δ_u), idealize edilmiş nihai dayanımla deneysel eğrinin maksimum dayanımdan sonra kesiştiği değer olarak tanımlamaktadır. Elastik limit yerdeğiştirme, rijitlik (K_e) ve nihai dayanımın (H_u) kesiştiği nokta olup, Denklem 4.14'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d_e = \frac{H_u}{K_e} \quad 4.14$$

Nihai yerdeğiştirmeyle, elastik limit yerdeğiştirmenin d_e orantılanmasıyla Denklem 4.15'deki gibi süneklik μ_u tespit edilir. Donatısız yığma duvarlarda süneklik değeri deneysel olarak yüksek çıksa da tasarımda 2,0-3,0 arasında alınması önerilmektedir.

$$\mu_u = \frac{d_u}{d_e} \quad 4.15$$

İdealizasyon üç doğrusal çizgiden oluştuğu durumlarda, idealize edilmiş eğrinin ilk eğimi, iki doğrusal çizgiyle idealize edildiği durumunda olduğu gibi aynı etkin rijitlik değeri ile tanımlanmaktadır. Üç doğrusal idealleştirme durumunda, bununla birlikte, hesaplanan maksimum dayanım değeri herhangi bir azalma olmaksızın kullanılmaktadır. Elastik limit dayanımının teorik değeri ile ilgili olarak, değer ya yeterli matematiksel modeller kullanılarak hesaplanır ya da maksimum dayanım, deneysel olarak elde edilen ilk çatlama dayanımı indirgeme değeri (C_{cr}) dikkate

alınarak azaltılır. Bu faktör maksimum dayanım ve çatlama limit dayanımı arasındaki oran Denklem 4.16'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$H_{cr} = C_{cr} H_{maks} \quad 4.16$$

Deneysel verilerin ışığında H_{cr} / H_{maks} oranının 0,6-0,8 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, herhangi bir yapı sisteminde inşa edilen duvarın çatlak oluşumundaki direncinin, maksimum dayanım değeri H_{maks} ile 0,7 olarak seçilen maksimum dayanım indirgeme değeriyle çarpılarak hesaplanması tavsiye edilmektedir.

Maksimum yerdeğiştirmedeki kuvvetin H_{dmaks} belirlenmesinde duvarın mukavemet kaybını değerlendirmek için mevcut basit bir matematiksel model yoktur. Bu nedenle, deneysel olarak bulunan maksimum dayanım indirgeme değeri C_{sd}, maksimum dayanım Denklem 4.17'deki gibi çarpılarak maksimum yerdeğiştirmedeki kuvvet bulunmaktadır.

$$H_{dmax} = C_{sd} H_{max} \quad 4.17$$

Deneysel verilerden elde edilerek bulunan duvarların çökmeden önce doğrusal olmayan davranış aralığındaki mukavemet sonrası dayanım düşmeleri 0,4-0,8 arasında göstermektedir., Bununla birlikte, göçmeden önce duvarın ciddi şekilde bozulması nedeniyle, pratik hesaplamalarda% 20'den fazla mukavemet bozulmasının (C_{sc} = 0,8) tolere edilmemesi önerilir.

Deney numunelerine iki doğrusal çizgi idealizasyonu için sınır limit durumlarının belirlendiği kuvvet ve yerdeğiştirme verileri Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. İki doğrusal çizgi idealizasyonu sınır limitleri

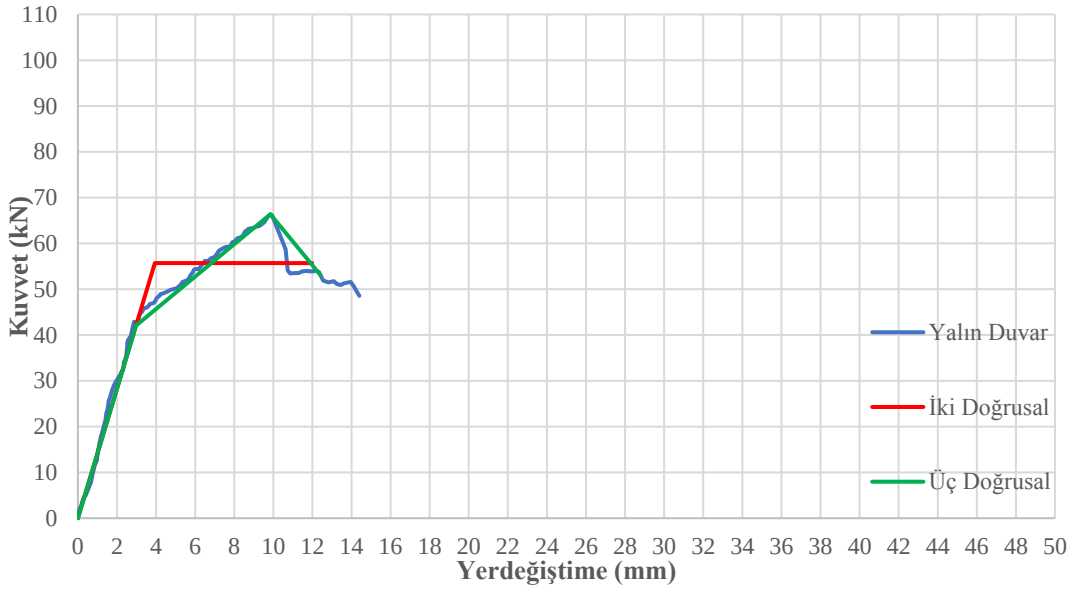
Numune	H_{cr}	δ_{cr}	K_e	δ_e	H_u	δ_u
YalınDuvar	42,07	2,98	14,12	3,94	55,70	11,98
50mm4A	45,62	2,97	15,36	4,16	63,98	19,88
50mm8A	47,96	2,95	16,26	4,91	80,01	34,03
50mm10A	51,29	3,08	16,65	5,10	84,54	35,37
50mm12A	50,27	2,89	17,39	4,69	81,45	35,40
35mm10A	48,15	2,94	16,38	4,08	66,91	30,96
70mm10A	50,98	3,00	16,99	4,89	83,28	43,05

Deney numunelerine üç doğrusal çizgi idealizasyonu için sınır limit durumlarının belirlendiği kuvvet ve yerdeğiştirme verileri Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

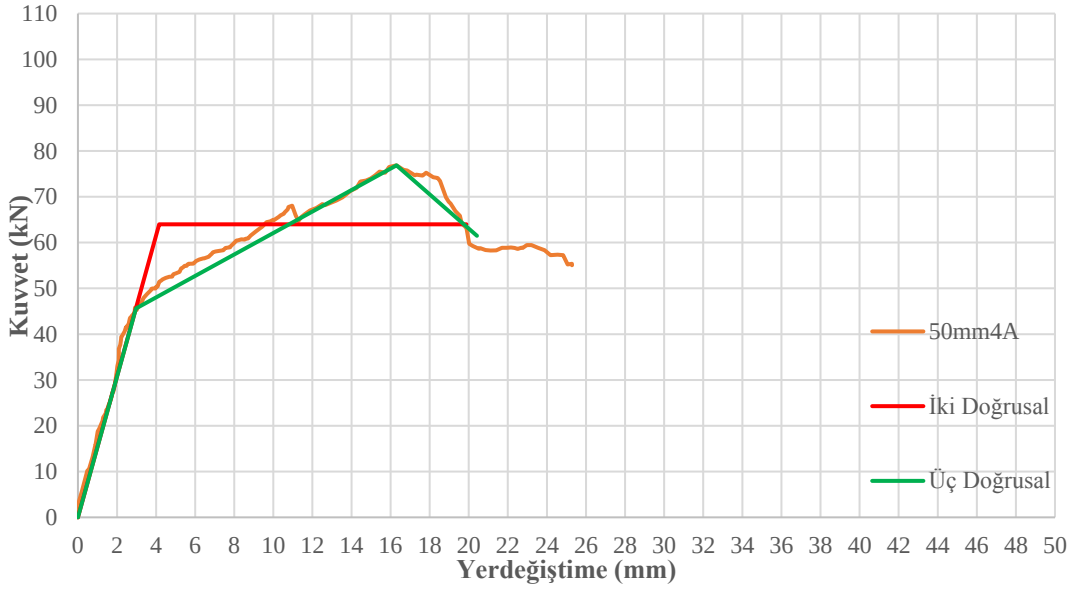
Çizelge 4.12. Üç doğrusal çizgi idealizasyonu sınır limitleri

Numune	H_{cr}	δ_{cr}	H_{maks}	δ_{Hmaks}	$H_{\delta maks}$	δ_{maks}	H_u	δ_u
Yalın Duvar	42,07	2,98	66,36	9,85	48,53	14,40	53,09	12,41
50mm4A	45,62	2,97	76,86	16,30	66,63	35,11	61,49	20,42
50mm8A	47,96	2,95	96,89	22,46	66,59	37,73	77,51	34,43
50mm10A	51,29	3,08	102,32	24,39	65,86	40,88	81,86	35,67
50mm12A	50,27	2,89	97,89	26,57	64,78	34,42	78,31	36,74
35mm10A	48,15	2,94	73,80	16,39	56,53	25,51	59,04	32,96
70mm10A	50,98	3,00	102,56	36,54	67,80	45,29	82,05	43,07

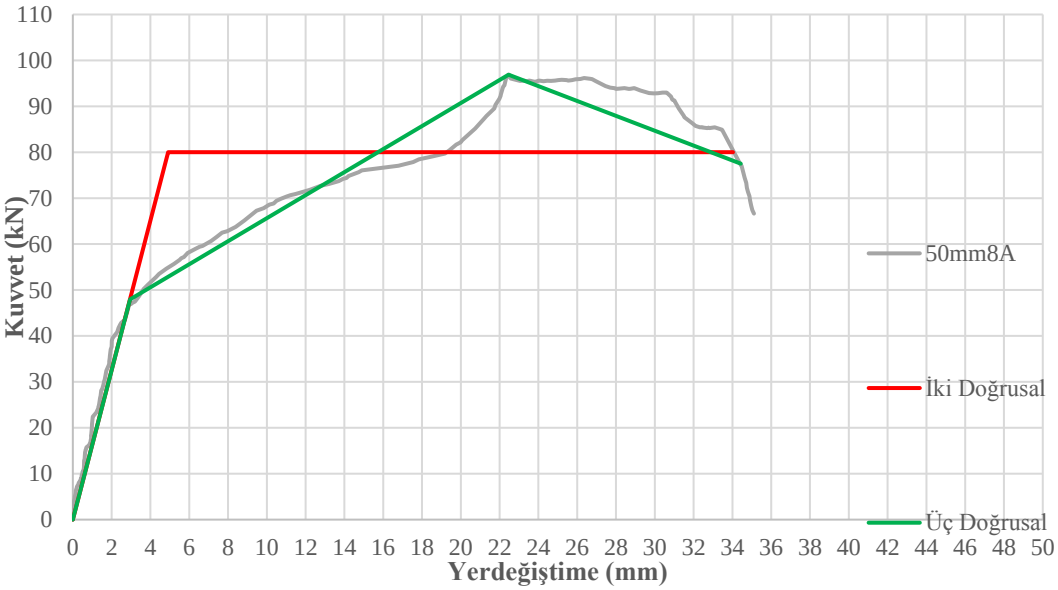
Yalın duvar numunesi ve güçlendirilmiş duvar numunelerinin grafikleri üzerinde Tomazevic (1999) idealize etme yönteminden faydalanarak Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'deki sınır limit değerleri kullanılarak iki ve üç doğrusal çizgiden oluşan idealizasyonlar yapılmıştır (Tomazevic, 1999). Tüm deney numuneleri için yapılan idealizasyonlar Şekil 4.46-Şekil 4.52'de sunulmaktadır.



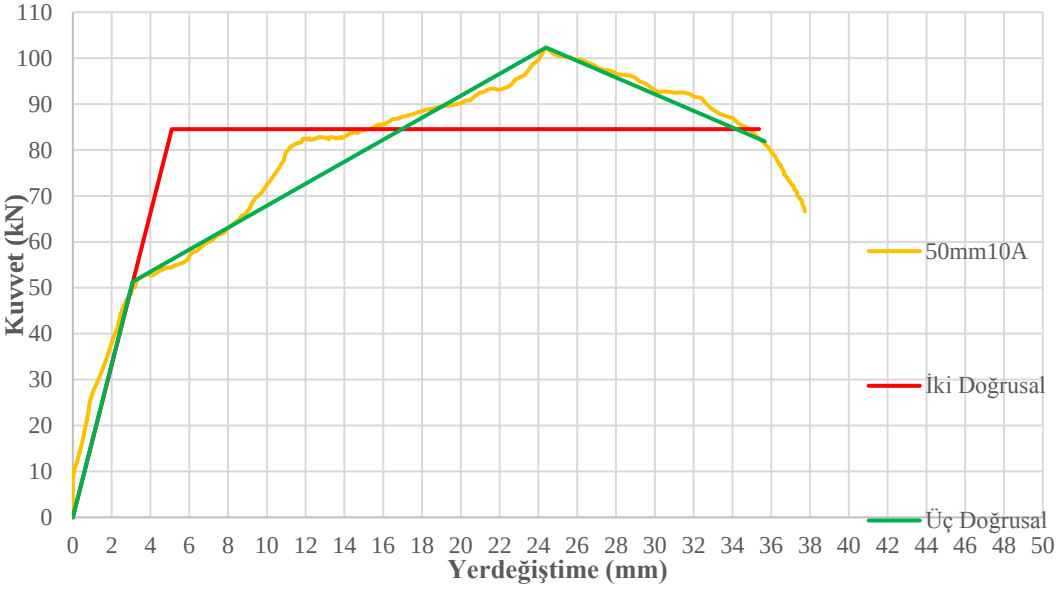
Şekil 4.46. Yalın duvar numunesi idealizasyonu



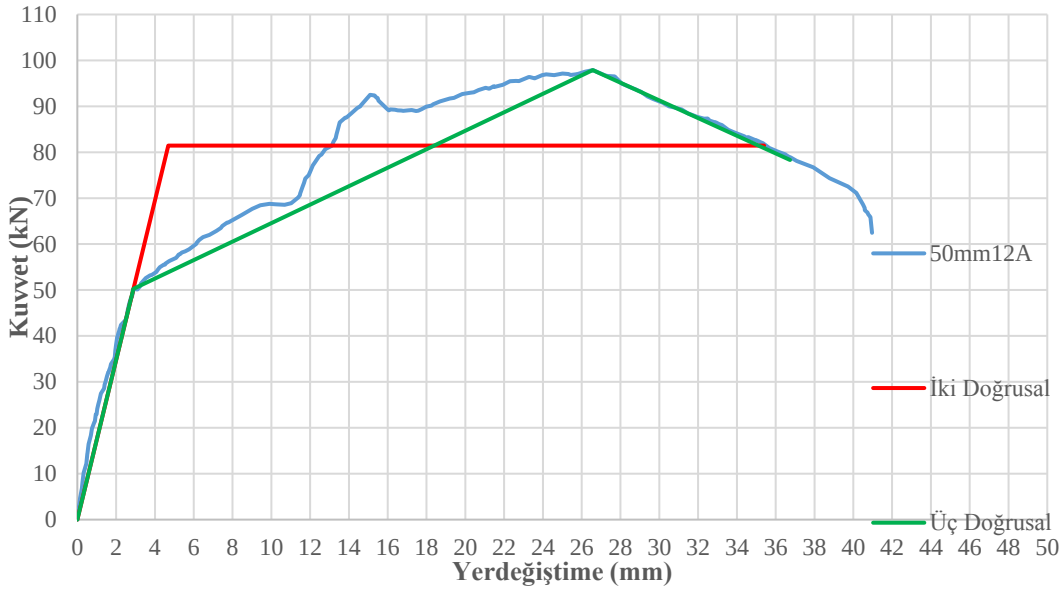
Şekil 4.47. 50mm4A numunesi idealizasyonu



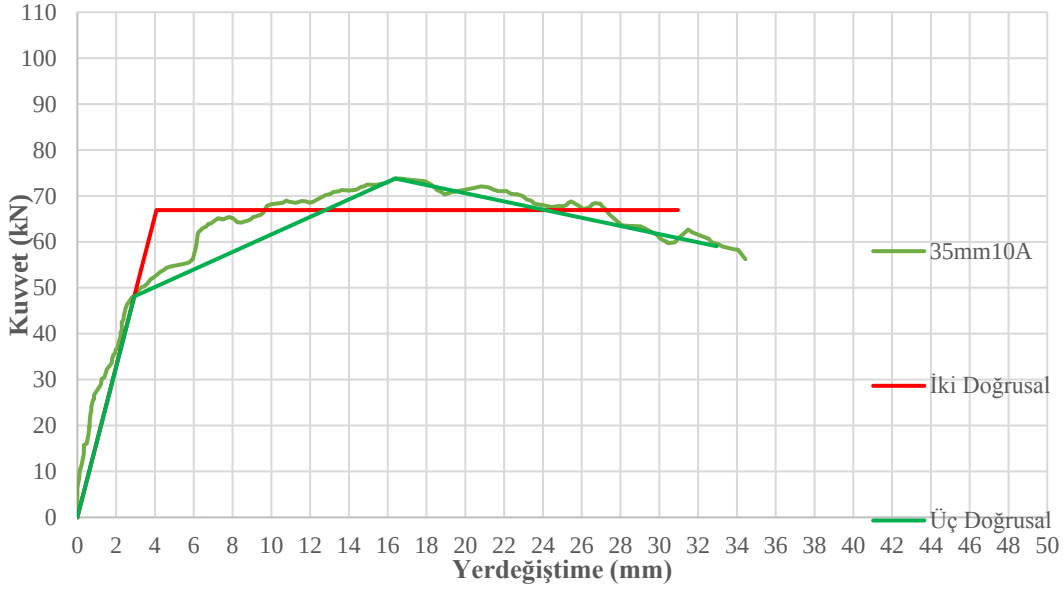
Şekil 4.48. 50mm8A numunesi idealizasyonu



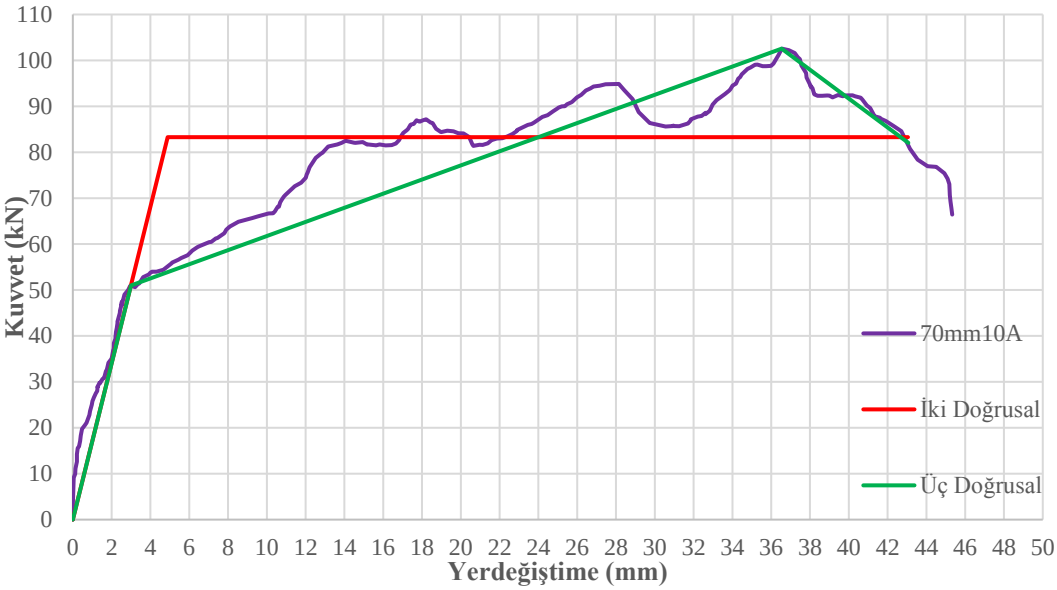
Şekil 4.49. 50mm10A numunesi idealizasyonu



Şekil 4.50. 50mm12A numunesi idealizasyonu



Şekil 4.51. 35mm10A numunesi idealizasyonu



Şekil 4.52. 70mm10A numunesi idealizasyonu

4.7. Maliyet Analizi

Yığma binaların dışarıdan önüretimli panellerle güçlendirilmesini yönteminin geliştirildiği bu çalışmada güçlendirmenin yaklaşık maliyeti ve yapı maliyetine oranı hesaplanmıştır. Önüretimli panellin üretim ve işçiliği Şubat 2023 verilerine göre hesaplanırken, bina yaklaşık maliyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının güncel yaklaşık maliyet hesabına göre bulunmuştur.

1 katta 2 daire olacak şekilde 15x15 m taban ebatlarına sahip bir yığma bina için güçlendirme yapım maliyeti hesabı yapılmıştır. Resmi gazetede 11/02/2023 tarihli 32101 sayılı Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğine göre III sınıf B grubu yapılardan, yapı yüksekliği 21,5 metreden az konutlar için yaklaşık yapım maliyeti 1 m^2 için 6350 TL olarak belirtilmiştir(“Resmi gazete 11/02/2023 tarih 32101 sayı”, y.y.). 15x15 m ebatlarındaki bir yığma bina 225 m^2 taban alanına sahip olup, bu binanın 1 katının yapım maliyeti 1.428.750 TL (arsa payı, ruhsat harçları ve KDV hariç) bulunmaktadır.

Kat yüksekliği yaklaşık olarak 3 olan yığma binalar için panel kalınlığının narinliğini koruması adına panel kalınlığı ve donatı oranı 2 katına çıkartılmaktadır. 1 katta

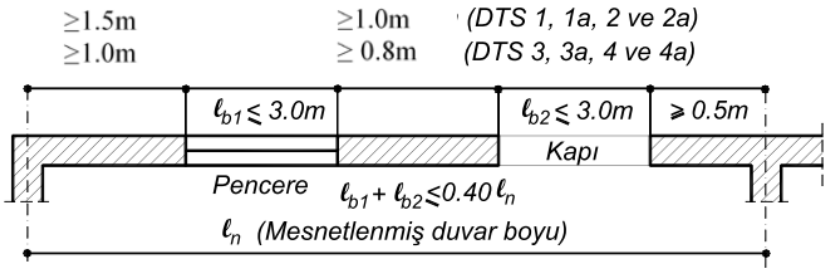
kullanılacak 1 m panel genişliği için kullanılacak malzeme ve işçiliğe göre yaklaşık maliyet 2023 yılı şubat ayı fiyat tariflerine göre Çizelge 4.13'de verilmektedir.

Çizelge 4.13. Önüretimli panel üretim ve işçilik maliyeti

Malzeme	**Miktar**	**Birim**	**Birim Fiyat**	**Toplam Fiyat**
Dübel	52	Adet	25 TL	1300 TL
Beton	0,36	m^3	1850 TL	666 TL
Donatı	36	kg	16,5 TL	594 TL
			Malzeme Toplam Fiyat	2560 TL
			İşçilik ve Nakliyat	2560 TL
			1 Katta 1 metre için Toplam Maliyet	**5120 TL**
			m^2 maliyeti	**1707 TL**

* Malzeme toplam maliyeti kadar işçilik ve nakliyat bedeli kabul edilmiştir.

TBDY 2018 yönetmeliğine göre taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları için Şekil 4.53'de görüldüğü gibi deprem bölgesine ve taşıyıcı duvarın konumuna göre olması gereken minimum taşıyıcı duvar ebatları verilmiştir.



Şekil 4.53. Taşıyıcı duvarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları kuralları (TBDY, 2018)

Bir cephesinin uzunluğu 15 m olan bir yığma binanın pencere ve kapı boşlukları çıkartıldığında tek cephesinin 1/3 oranında önüretimli panel ile kaplanabileceği varsayımına bağlı olarak 5 m uzunluğunca güçlendirme yapılabilmekte, tüm binada

toplam 20 m uzunluğunda önüretimli panel ile kaplaması yapılabilmektedir. Önüretimli panellerle güçlendirmenin 1 kat için yapım maliyeti 102.400 TL olarak bulunmaktadır. 1 katın yaklaşık birim maliyetine göre orantılandığında güçlendirme yaklaşık maliyetin %7 'si olduğu bulunmaktadır.

4.8. Bulgular

Bu çalışmada duvara etkiyen düzlem içi yanal kuvvetleri karşılamak için önüretimli panelle güçlendirilme yapılmıştır. Panelle hatıl/duvar arasındaki ankraj sayısı değişiminin ve panel kalınlığının güçlendirilen duvara olan katkıları incelenmiştir. Ayrıca duvarın ve deney numunelerinde kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için bir dizi deneyler yapılmıştır.

Harman tuğlarının basınç dayanımını bulmak için yapılan testler sonucuna, tuğlaların standartlaştırılmış basınç dayanımı (f_b) 9,46 MPa olarak bulunmuştur. Tuğlaların basınç dayanımları arasındaki uyumluluğun gözetilmesi adına varyasyon katsayısı çıkartılmış olup, bu varyasyon katsayısı 30,52 olarak bulunmuştur. Oldukça yüksek olan varyasyon katsayısı aynı parti içerisinde bulunan tuğlaların basınç dayanımı bakımından oldukça geniş bir skalaya sahip olduğunu göstermektedir.

Ağırlıkça 1:1:6 oranında çimento, kireç ve kum karışımıyla elde edilmiş örgü harcının ortalama eğilme dayanımı 1,06 MPa, ortalama basınç dayanımı 3,22 MPa olarak bulunmuştur. Örgü harcı basınç dayanımı bakımından M2,5-M9 sınıfına girmektedir.

Yığma duvarın karakteristik basınç dayanımı, tuğlanın ortalama basınç dayanımına ve örgü harcının ortalama basınç dayanımına bağlı olarak Eurocode 6 (2005)'da verilmiş olan Denklem 17'e göre hesaplanabilmektedir.

$$f_k = K f_b^{\alpha} f_m^{\beta} \qquad 4.17$$

Yığma duvarınüretiminde kil tuğla ve özel geleneksel örgü harcı kullanılmışsa "K" katsayısı "0,55" değerini almalıdır. Yoğunluk ve kalınlık bakımından farklı özelliklere sahip olmayan örgü harcı kullanılmışsa α ve β katsayıları sırasıyla "0,7" ve "0,3" değerlerini almalıdır. Standartlaştırılmış ortalama tuğla basınç dayanımı 9,46 MPa ve örgü harç ortalama basınç dayanımı 3,22 MPa olarak bulunan sayısal

verileri Denklem 17'de yerine konulduğunda yığma duvarın karakteristik basınç dayanımı 3,76 MPa olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadaysa duvarın karakteristik basınç dayanımı 3,80 MPa olarak bulunmuş olup, sayısal hesaplamanın ve deneysel çalışmanın birbirine oldukça yakın sonuç verdikleri dikkat çekmektedir.

Yığma duvarın ortalama karakteristik basınç dayanımı 3,8 MPa olarak, ortalama elastisite modülü 1384 MPa olarak bulunmuştur. Yığma duvarın kesme dayanımı 0,104 MPa olarak, kayma modülü 322 MPa olarak bulunmuştur. Deneysel olarak elastisite modülünün tespit edilmemesi durumunda yapısal çözümleme için elastisite modülünün, duvar basınç dayanımına oranı 750 ($E=750f_k$) olarak alınması istenilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada bu oran neredeyse 2 kat daha az çıkmaktadır. Kayma modülünün elastisite modülüne oranı 0,4 MPa ($G=0,4E$) olarak kabul görmektedir. Yapılan bu çalışmada kayma modülü ve elastisite modülü arasındaki oran 0,23 olarak bulunmuştur. Tomazeviç (2009) kesme modülünün, yönetmelikler tarafından önerilen değerlerin yüksek olduğunu belirtmektedir (Tomaževič, 2009). Kayma modülünün elastisite modülüne oranının %6 ile 25 arasında olabileceği belirtilmektedir (Bosiljkov, V. ve diğerleri, 2008).

Duvarda oluşan ilk çatlamaya kadar olan direnim bize rijitliği vermektedir. Duvar elemanın rijitliği, söz konusu elemanın birim yerdeğiştirmesine veya dönmesine neden olan, kesme ve/veya eğilme momenti olarak tanımlanmaktadır Duvarın rijitliği, malzemelerin mekanik özelliklerine, duvar geometriye ve sınır kısıtlamalarına bağlıdır. Yanal yüke H maruz kalan duvar, kısmen bükülmeye ve kısmen de kaymaya bağlı yanal deformasyonla (d) kuvvetin orantılanmasıyla rijitlik elde edilmektedir. Rijitliğin hesabı Denklem 18'de verilmektedir.

$$K_e = \left(\frac{h^3}{3\,E\,I_w} + \frac{\kappa\, h}{G\,A_W} \right)^{-1} \qquad 4.18$$

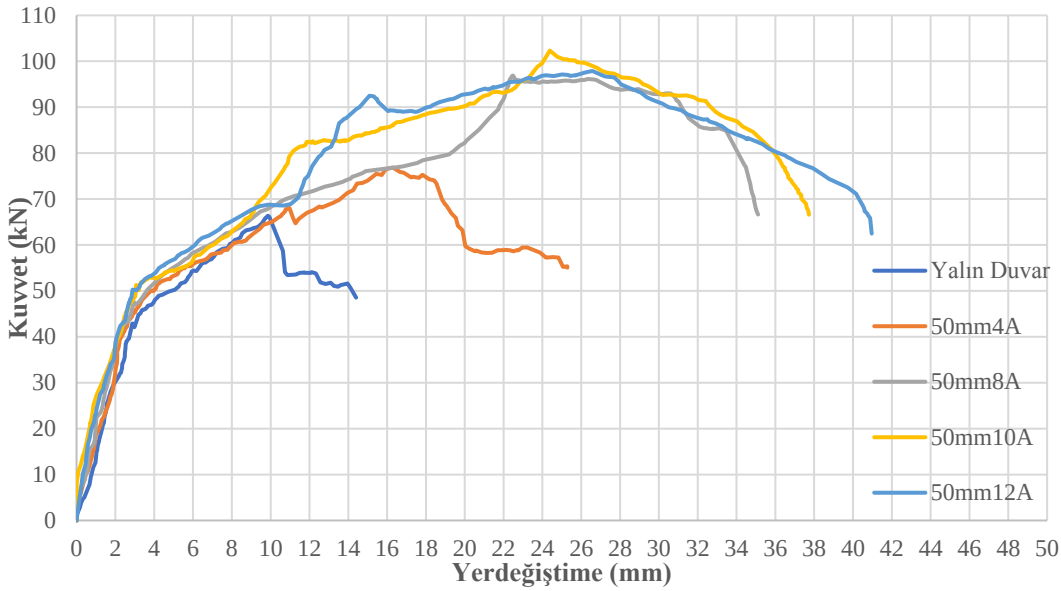
Denklemde, duvar yüksekliği h, duvar düzlem içi eylemsizlik momenti (I_w) duvar alanı (A_w) elastisite modülü (E), kayma modülü (G) ve dikdörtgen kesit için kesme katsayısı ($\kappa=1,2$) olarak gösterilmektedir. Sayısal çözümlemeyle yapılan hesap sonucunda duvarın rijitliği 15,73 olarak bulunurken yalın duvarın rijitliği 14,12 olarak bulunmaktadır. Deneysel olarak bulunan rijitliğin sayısal çözümlemeyle

yapılan rijitlikten düşük olmasının sebebi duvar işçiliğinin kötü olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Önüretimli panellerle yapılacak güçlendirme bina yapım yaklaşık maliyetini %10'unun altında kalarak hem ekonomik hem de bina sakinlerinin taşınmasını gerektirmediğinden uygulanabilir bir yöntem olarak dikkat çekmektedir.

4.8.1. Dübel Sayısı

Yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesi sırasında kullanılacak olan dübel sayısının güçlendirmeye olan katkısını incelemek adına dübel sayısı değişken tutulmuştur. Yapılan çalışmada tek bir hatıla 4, 8, 10 ve 12 adet dübeller gömülerek deney yapılmıştır. Duvara gömülü olan dübel 50mm4A isimli numunede 5 adetken, diğer numunelerde 16 adettir. Panel kalınlığının sabit, dübel sayısının değişken olduğu yanal kuvvet ve yerdeğiştirme grafikleri Şekil 4.54'de gösterilmiştir.



Şekil 4.54. 50 mm kalınlığındaki panellerin dübel sayısı değişkenine göre kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği

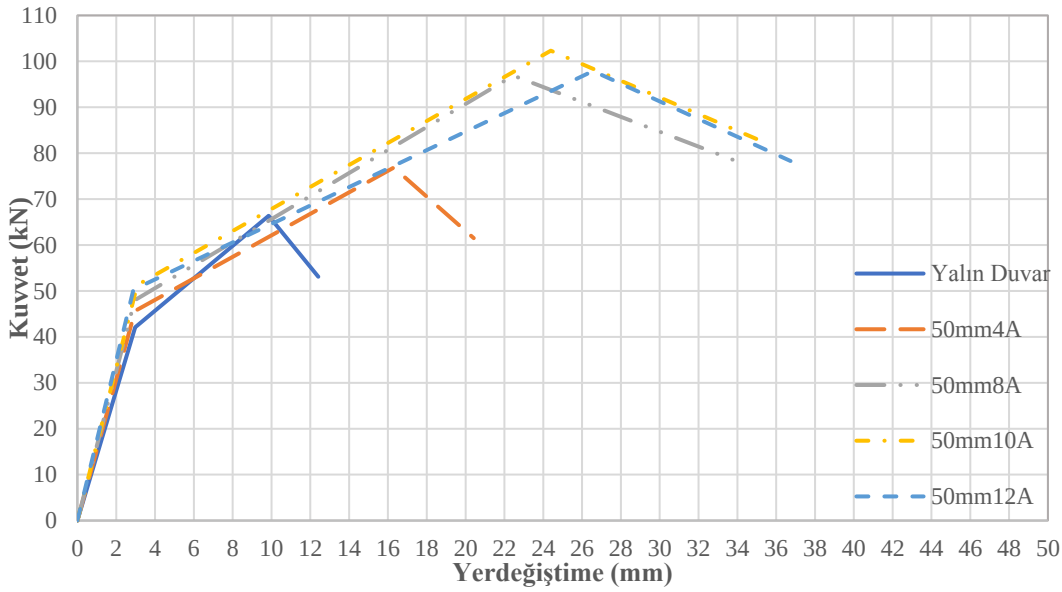
Güçlendirme yapılan 50mm4A numunesinin Şekil 4.54'de görüldüğü gibi kesme kuvvetine karşı rijitlik göstererek çatlama dayanımına, daha sonra maksimum kesme dayanımına ulaşmaktadır. Maksimum kesme dayanımı sonrası hızlı bir dayanım kaybı yaşayarak, yalın duvar numunesine en çok benzeyen davranışı gösteren

güçlendirme numunesidir. Yalın duvar numunesine benzer davranış göstermesinin sebebi gerek hatıllarda gerekse duvardaki dübel sayısının az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Güçlendirme yapılan 50mm8A, 50mm10A ve 50mm 12A numuneleri kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.54'de gösterilmektedir. Bu numuneler yalın duvar ve 50mm4A numunelerinde olduğu gibi kesme kuvvetine karşı rijitlik göstererek çatlama dayanımına, daha sonra kesme dayanımına ulaşmaktadır. Ancak kesme dayanımı sonrası hızlı bir şekilde dayanım kaybetmemişlerdir. Burada duvara takılan dübellerin etkili olduğu görülmektedir.

Önüretimli panelle güçlendirme yapılan deney elemanlarının borulu cıvatalı çelik dübelle duvara bağlantısının sağlanması işlemi sırasında dübelin açılan deliğe küçük gelmesiyle arada boşluk oluşması ve panel ile duvar numunesi arasında değişken mesafelerde boşlukların bulunmasından dolayı Şekil 4.54'de gösterilen grafikteki dalgalanmaların oluştuğu düşünülmektedir.

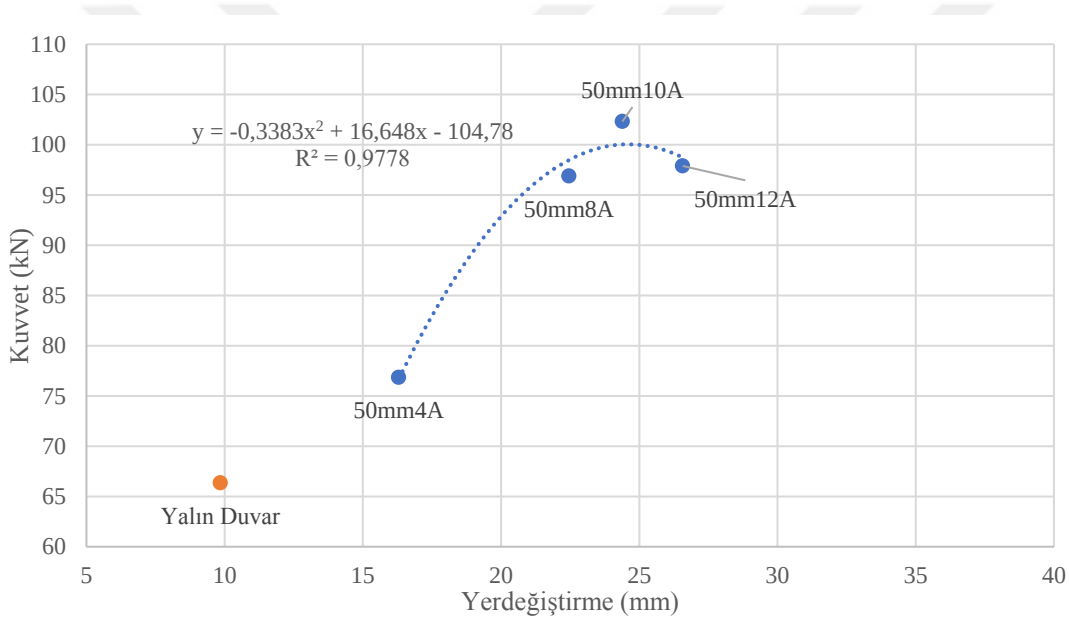
Panel kalınlığının sabit, dübel sayısının değişken olduğu numunelerin sınır limit değerlerine göre trilinear idealizasyonun daha verimli olduğu görülmekte, ankraj sayısının değişmesine göre idealize edilmiş grafikler Şekil 4.55'de verilmektedir.



Şekil 4.55. 50 mm kalınlığındaki panellerin dübel sayısı değişkenine göre idealize edilmiş kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği

50 mm kalınlığındaki panelle güçlendirilmiş olan numunelerin hatılda kullanılan dübel sayısına göre maksimum kesme dayanımındaki kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerini grafiği Şekil 4.56'de görülmektedir. Bu grafiğe göre;

- En yüksek kesme dayanımı 50mm10A numunesinde görülmüştür. Dübel sayısının artırılması kesme dayanımını artırırken 12 adet dübel kullanımında kesme dayanımında düşme olduğu görülmüştür.
- Dübel sayısının artması, maksimum kesme kuvvetin oluştuğu yerdeğiştirmeyi artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.56. 50mm kalınlığındaki panellerin maksimum kesme dayanımındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

Yalın duvar numunesinin ve dübel sayısı değişken olan güçlendirme numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri, rijitlikleri, maksimum dayanım kuvvetleri, süneklikleri ve bunların yalın duvara oranları, ilk çatlama maksimum dayanım indirgeme katsayıları Çizelge 4.14'de verilmiştir. Bu verilerin hesaplanmasında sınır limit durumlarının verildiği Çizelge 4.12'den faydalanılmıştır.

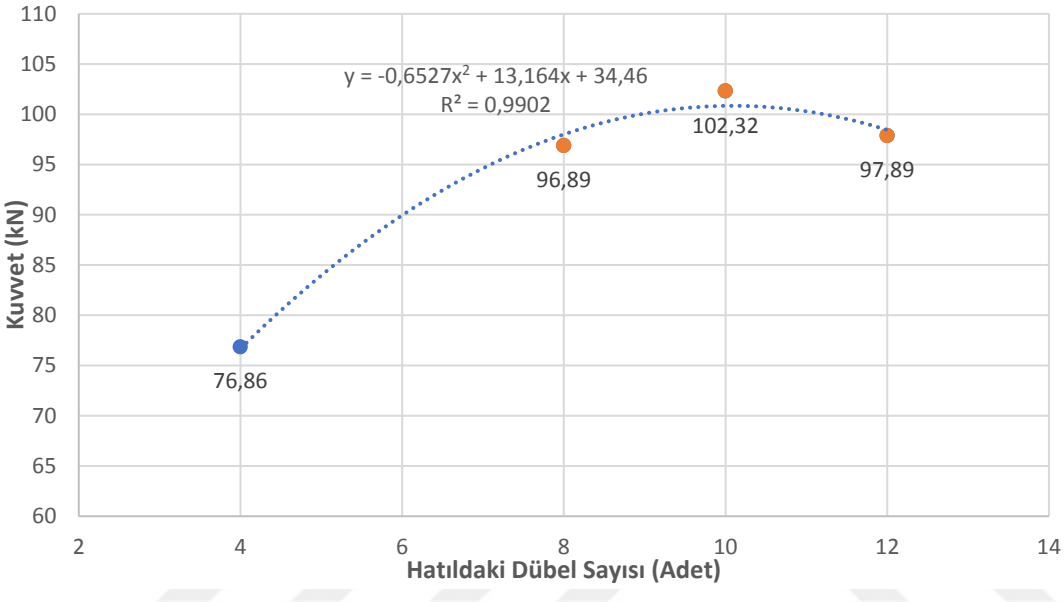
Çizelge 4.14. Yalın duvar ve dübel sayısı değişken numunelerin enerji tüketme kapasite, rijitlik, ilk çatlama indirgeme katsayısı, maksimum dayanım, süneklik verileri

Numune	K_e	$\frac{K_{e,i}}{K_{e,ref}}$	C_{cr}	H_{maks}	$\frac{H_{maks,i}}{H_{maks,ref}}$	μ_u	$\frac{\mu_{u,i}}{\mu_{u,ref}}$	A_{env}	$\frac{A_{env,i}}{A_{env,ref}}$
Yalın Duvar	14,12	1,00	0,63	66,36	1,00	4,13	1,00	691,52	1,00
50mm4A	15,36	1,09	0,59	76,86	1,16	6,74	1,63	1496,00	2,16
50mm8A	16,26	1,15	0,49	96,89	1,46	11,65	2,82	2606,70	3,77
50mm10A	16,65	1,18	0,50	102,32	1,54	11,63	2,82	2987,13	4,32
50mm12A	17,39	1,23	0,51	97,89	1,48	12,76	3,09	3204,48	4,63

Yapılan güçlendirmenin rijitlik üzerine Çizelge 4.14'de verilen rijitlik değerlerine göre etkisinin olduğu görülmektedir. Takılan dübel sayısındaki artışla, güçlendirme numunelerinin rijitliğinde 1,09-1,23 arasında bir artış sağlamıştır. İlk çatlama maksimum dayanım indirgeme katsayılarına bakıldığında, yalın duvara oranla güçlendirme numunelerinin maksimum dayanımıyla ilk çatlama dayanımı arasındaki oranın azaldığı görülmektedir. Dübel sayısındaki artış her ne kadar rijitliği artırsa da tam olarak rijitliği sayısal çözümlemelerde kullanılan rijitlik oranına ulaştıramamaktadır.

Yapılan güçlendirmenin maksimum taşıma kapasitesini Çizelge 4.14'de verilen taşıma kapasitesi değerlerine göre artırdığı görülmektedir. Güçlendirme yalın duvara oranla 1,16-1,54 kat arasında bir artış göstermektedir. Duvara takılı dübel sayısının 5 olduğu 50mm4A numunesiyle, duvara takılı dübel sayısı 16 ve hatıldaki dübel sayısı en az olan 50mm8A numunesinin, maksimum taşıma kapasitesini yalın duvarın maksimum taşıma kapasitelerine orantılarının arasındaki fark 0,30 kadardır. Duvardaki dübel sayısının sabit olduğu numunelerin maksimum taşıma kapasitesinin yalın duvarın taşıma kapasitesine orantıları arasındaki fark maksimum 0,12'dir. Bu orantılar arasındaki farkın birbirinden uzak olması duvara takılan dübel sayısındaki değişimin maksimum dayanım üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Hatıla takılan dübel sayısın maksimum dayanım üzerinde etkilidir. Hatıla takılan 10 adet dübel en yüksek taşıma kapasitesini vermiştir. Şekil 4.57'de gösterilen kesme kuvveti ve dübel sayısı arasındaki polinom bağıntıya göre, 100x140 cm

boyutlarındaki bir panel için optimum dübelin 10 adet olduğunu görülmektedir. Dübel sayısının artması optimum dübel sayısına kadar maksimum kesme dayanımını artırırken, daha fazla dübel takılması maksimum kesme dayanımında etkili olmadığı, hatta panelde beton etki alanı azaldığından dolayı olumsuz katkı vereceği düşünülmektedir.

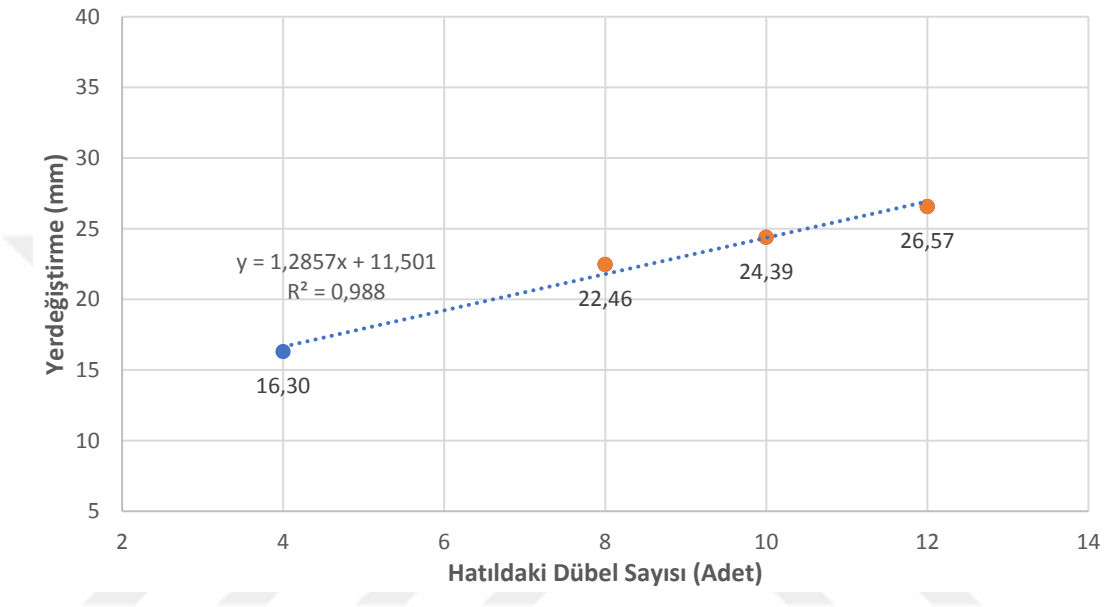


Şekil 4.57. 50mm kalınlığındaki paneller için kuvvet-dübel sayısı grafiği

Hatıldaki dübel sayısı yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 4.58'de verilmiştir. 50mm4A numunesi 16,30 mm ötelendikten sonra maksimum kesme kuvvetine ulaşmaktadır. Ancak 50mm4A numunesine oranla 50mm8A numunesi %37,8, 50mm10A numunesi %49,6 ve 50mm12A numunesi %63,0 daha fazla yerdeğiştirmektedir. Dübel sayısı ve yerdeğiştirme arasında lineer bir ilişki olup dübel satısındaki artış, yerdeğiştirmenin artmasına yani numunelerin daha sünek davranmasına katkı sağlamaktadır. Duvara takılan dübel sayısının değişmesi maksimum kesme dayanımındaki yerdeğiştirmede etkili olduğu görülmüştür. Eğer 50mm4A numunesindeki duvara takılan dübel sayısı diğer numunelerle aynı olması durumunda %12,3 daha fazla yerdeğiştirme yapabilmektedir.

İlk çatlama dayanımıyla idealleştirmede bulunan nihai dayanımlar arasındaki yerdeğiştirme sünekliği vermektedir. 50 mm panel kalınlığındaki dübel sayısı değişken olan güçlendirme numunelerinin süneklik değerleri Çizelge 4.14'de

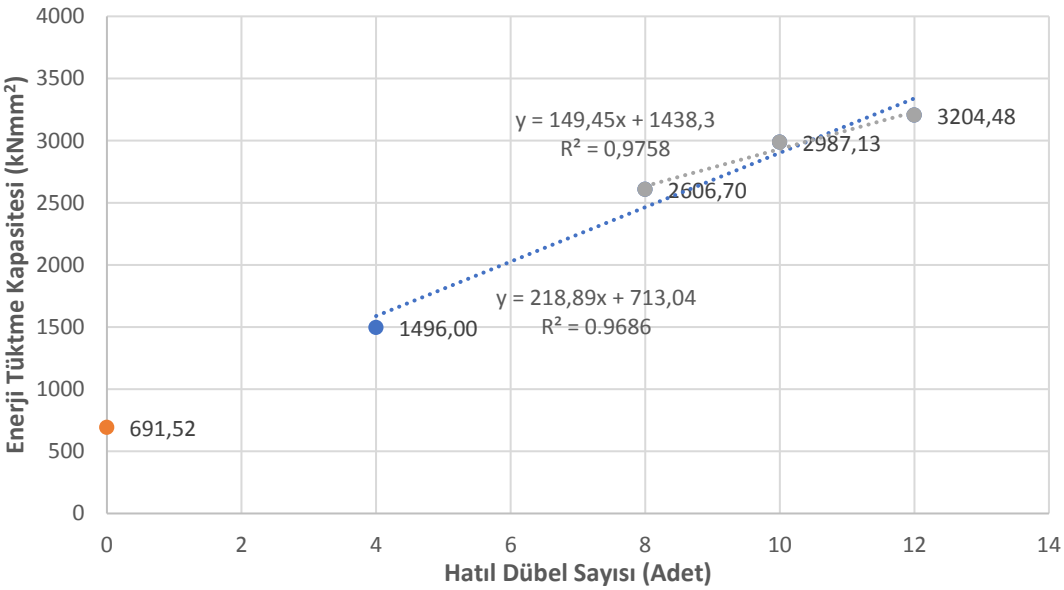
verilmektedir. Yalın duvar numunesinin sünekliği 4,13 olarak bulunmuştur. Hatıla takılan dübel sayısındaki artış sünekliğin artmasını sağlamaktadır. Duvara takılan dübel sayısındaki artış sünekliğin artmasına belirgin bir şekilde katkı sağlamaktadır. Dübel sayısı değişken tutularak yapılan güçlendirmenin sünekliğe 1,36-3,09 kat oranında katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.58. 50mm kalınlığındaki paneller için yerdeğiştirme-dübel sayısı grafiği

Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 4.14'de verildiği üzere güçlendirilen numuneler yalın duvara oranla 2 katından daha fazla enerji tüketme kapasitesine ulaşmıştır. Hatıla takılan dübel sayısının maksimum olduğu 50mm12A numunesinin, enerji tüketme kapasitesini yalın duvara oranla 4,36 kat yukarıya taşıdığı görülmektedir. Şekil 4.58'de görüldüğü üzere duvara takılan ankrajların değişken olmadığı varsayılarak yapılan değerlendirmede, enerji tüketme kapasitesinin artışı doğrusal seyretmekte olup, hiç dübelin takılı olmadığı yani güçlendirmenin bulunmadığı boş duvarın enerji tüketme kapasitesi 713,04 kNmm^2 olarak yalın duvar numunesine oldukça yakın bir değer bulunmuştur. Sadece hatıldaki dübel sayısı değişken tutulduğu ve duvardaki dübel sayısının eşit olduğu numuneler üzerinde yapılan değerlendirmede, hiç dübelin takılı olmadığı yani güçlendirmenin bulunmadığı boş duvarın enerji tüketme kapasitesi 1438,30 kNmm^2 olarak yalın duvar numunesinin 2 katından daha fazla bir değerde olduğu görülmektedir. Duvara takılan dübellerin

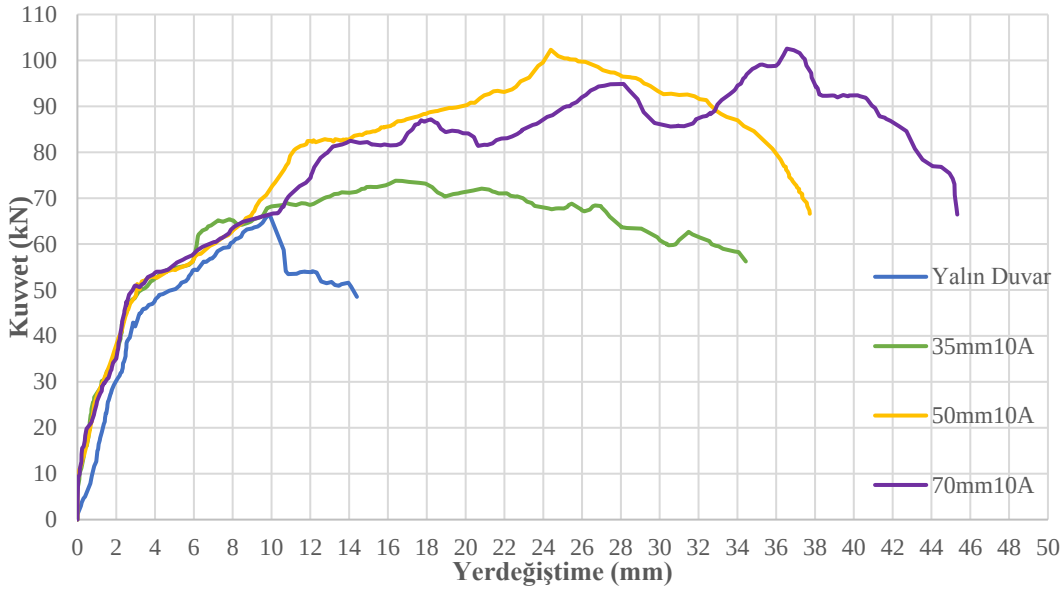
enerji tüketme kapasitesi üzerinde etkili olduğu, Şekil 4.59'da gösterilen doğrunun eğimlerinde, hatıla takılan dübel sayısının artmasının enerji tüketme kapasitesini artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.59. Hatıldaki dübel sayısına göre enerji tüketme kapasitesi

4.8.2. Panel Kalınlığı

Yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesi sırasında kullanılacak olan panelin kalınlığının güçlendirmeye olan katkısını incelemek adına 3 farklı panel kalınlığı kullanılmıştır. Bu çalışmada 35 mm, 50 mm ve 70 mm kalınlığındaki paneller tek bir hatıla 10 adet dübel, duvara ise 16 adet dübel monte edilerek deneye tabi tutulmuştur. Hatıl ve duvardaki dübel sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olduğu numunelerin yanal kuvvet ve yerdeğiştirme eğrileri Şekil 4.60'da gösterilmiştir.

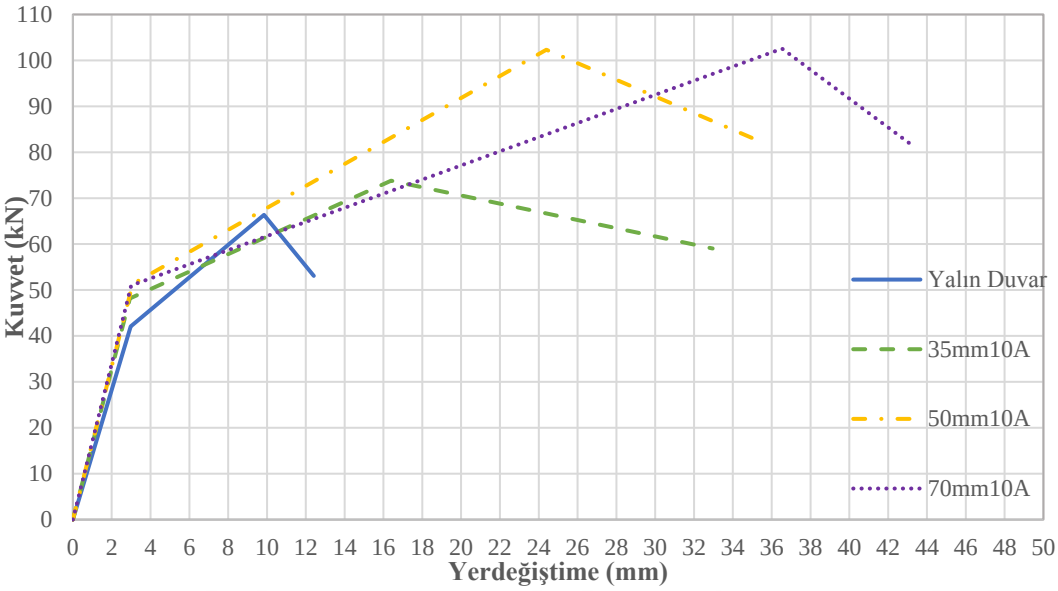


Şekil 4.60. Dübel sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olan kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği

Panel kalınlığı değişken tutulan güçlendirme numuneleri Şekil 4.60'da görüldüğü gibi kesme kuvvetine karşı rijitlik göstererek çatlama dayanımına, sonra maksimum kesme dayanımına ulaşmaktadır. Maksimum kesme dayanımına ulaşan güçlendirilmiş numuneler doğrusal olmayan davranış göstererek dayanım kaybetmektedir. 35 mm ve 70 mm panel kalınlığındaki güçlendirme numunelerinin duvardaki dübel sayısı 50 mm kalınlığındaki panelle eşit olduğundan dolayı benzer bir davranış sergilemişlerdir.

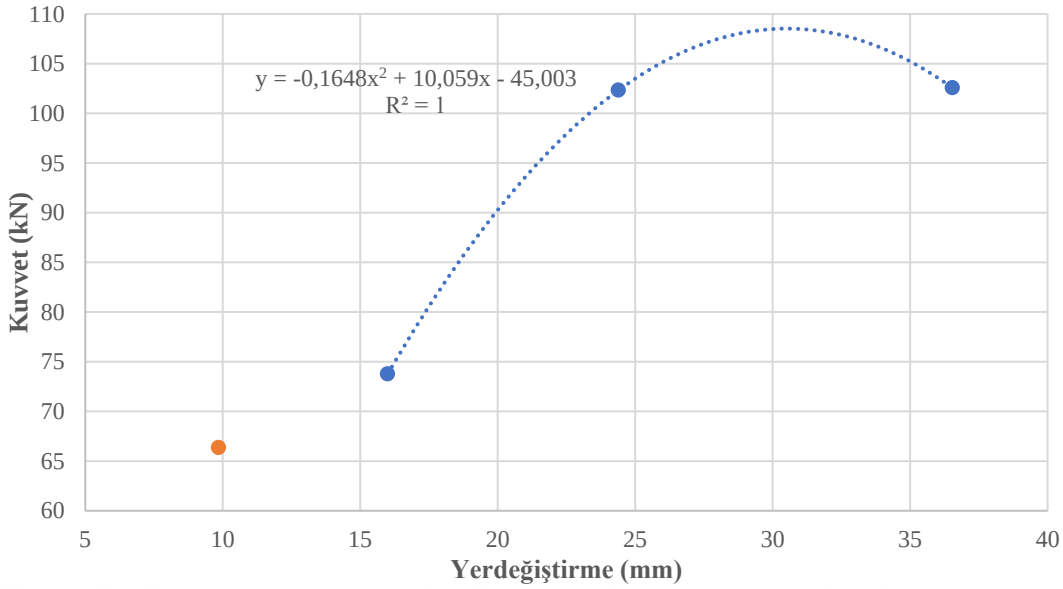
Önüretimli panelle güçlendirme yapılan deney elemanlarının borulu cıvatalı çelik dübelle duvara bağlantısının sağlanması işlemi sırasında dübelin açılan deliğe küçük gelmesiyle arada boşluk oluşması ve panel ile duvar numunesi arasında değişken mesafelerde boşlukların bulunmasından dolayı Şekil 4.60'de gösterilen grafikteki dalgalanmaların oluştuğu düşünülmektedir.

Dübel sayısının sabit, panel kalınlığının değişken olduğu numunelerin sınır limit değerlerine göre üç doğrusal çizgi idealizasyonunun daha verimli çalıştığı görülmüş olup, panel kalınlığının değişmesine göre idealize edilmiş grafikler Şekil 4.61'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.61. Dübel sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olan idealize edilmiş kesme kuvveti ve yerdeğiştirme grafiği

Dübel sayısının sabit tutulup panel kalınlığının değiştirilmesi maksimum kesme kuvveti üzerinde 35 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %11,2 oranında, 50 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %54,2 ve 70 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %54,5 oranında artış olduğu görülmektedir. Maksimum kesme kuvvetinde olan yerdeğiştirme incelendiğinde 35 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %191,2 oranında, 50 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %147,6 oranında ve 70 mm kalınlığında panelle yapılan güçlendirmede %271,0 oranında artış sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.62. Panel kalınlığına göre maksimum kesme dayanımındaki kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

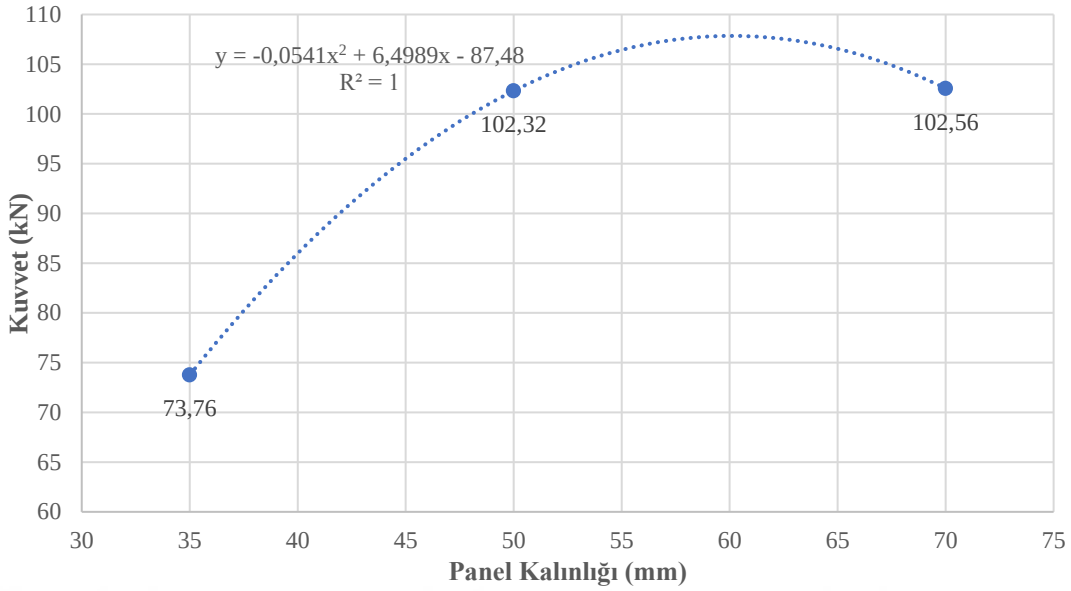
Yalı duvar ve panel kalınlığı değişken olan güçlendirme numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri, rijitlikleri, maksimum dayanım kuvvetleri, süneklikleri ve bunların yalın duvar numunelerine oranları, ilk çatlama maksimum dayanım indirgeme katsayıları Çizelge 4.15'de verilmiştir. Bu verilerin hesaplanmasında sınır limit durumlarının verildiği Çizelge 4.12'den faydalanılmıştır.

Çizelge 4.15. Yalın duvar ve panel kalınlığı değişken numunelerin enerji tüketme kapasite, rijitlik, ilk çatlama indirgeme katsayısı, maksimum dayanım, süneklik verileri

Numune	K_e	$\frac{K_{e,i}}{K_{e,ref}}$	C_{cr}	H_{maks}	$\frac{H_{maks,i}}{H_{maks,ref}}$	μ_u	$\frac{\mu_{u,i}}{\mu_{u,ref}}$	A_{env}	$\frac{A_{env,i}}{A_{env,ref}}$
Yalın Duvar	14,12	1,00	0,63	66,36	1,00	4,13	1,00	691,52	1,00
35mm10A	16,38	1,16	0,65	73,80	1,11	7,46	1,81	2162,94	3,13
50mm10A	16,65	1,18	0,50	102,32	1,54	11,63	2,82	2987,82	4,32
70mm10A	16,99	1,20	0,50	102,56	1,55	14,38	3,48	3567,01	5,16

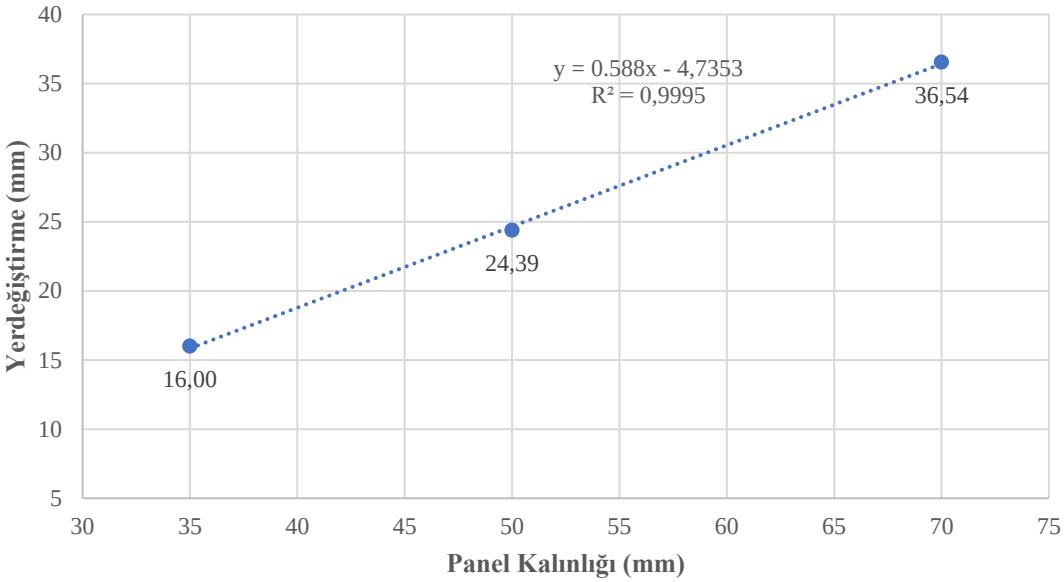
Çizelge 4.15'de verilen rijitlik değerlerine göre yapılan güçlendirmenin rijitlik üzerinde etkisini olduğu görülmektedir. Panel kalınlığının değişmesiyle güçlendirme yapılmış numunelerin rijitliğinde 1,16-1,20 arasında bir artış yakalanmıştır. Panel kalınlığının değişken olan güçlendirme numunelerinin duvar rijitliklerin bakıldığında orantısal olarak birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. İlk çatlama maksimum dayanım indirgeme katsayılarına bakıldığında, yalın duvar numunesine oranla güçlendirme numunesinin maksimum dayanımıyla ilk çatlama dayanımı arasındaki oranın azaldığı görülmektedir. Dübel sayısındaki artış her ne kadar rijitliği artırsa da tam olarak rijitliği sayısal çözümlemelerde kullanılan rijitlik oranına ulaştıramamaktadır.

Çizelge 4.15'de verilen maksimum kesme dayanımı değerlerine göre yapılan güçlendirmenin maksimum taşıma kapasitesini artırdığı görülmektedir. Güçlendirme Yalın duvar numunesine oranla 1,11-1,55 kat arasında bir artış göstermektedir. Panel kalınlığı-kuvvet ilişkisi Şekil 4.63'de verilmiştir. 35mm10A numunesi 73,76 kN maksimum kesme dayanımına sahiptir. 35mm10A numunesinin oranla 50mm10A numunesi %38,7 ve 70mm10A numunesi %39,1 daha fazla kuvvet taşımaktadır. Panel kalınlığının artırılmasının kesme dayanımında etkili olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti ve dübel sayısı arasındaki polinom bağıntı 100x140 cm boyutlarındaki bir panel için optimum panel kalınlığının 60 mm olduğunu vermektedir. Panel kalınlığının artması optimum kalınlığa kadar maksimum kesme dayanımını artırırken, daha kalın panel kullanımı kesme dayanımında etkili değildir.



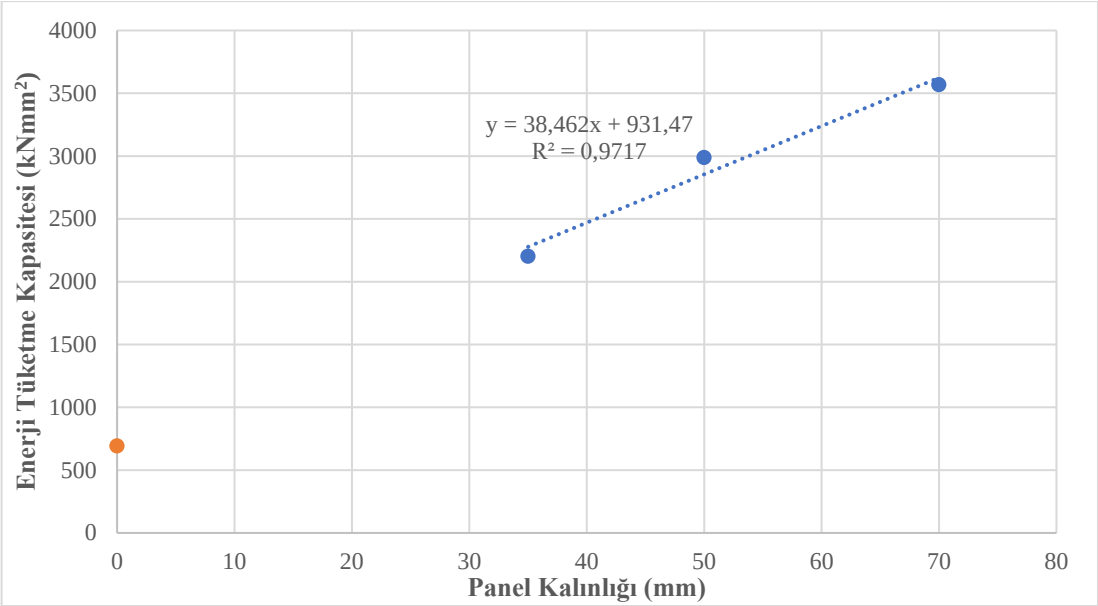
Şekil 4.63. Panel kalınlığı ve kesme kuvveti ilişkisi

Panel kalınlığı yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 4.64'de verilmiştir. 35mm10A numunesi 16,30 mm ötelendikten sonra maksimum kesme kuvvetine ulaşmaktadır Ancak 35mm10A numunesine oranla 50mm10A numunesi %52,4 ve 70mm10A numunesi %128,4 daha fazla yerdeğiştirmektedir. Panel kalınlığı ve yerdeğiştirme arasında lineer bir ilişki olup panel kalınlığındaki artma, yerdeğiştirmenin artmasına yani numunelerin daha sünek davranmasına katkı sağlamaktadır. İlk çatlama dayanımıyla idealleştirmede bulunan nihai dayanımlar arasındaki yerdeğiştirme sünekliği vermektedir. Yalın duvar numunesinin sünekliği 4,13 olarak bulunmuştur.. Panel kalınlığındaki artış sünekliğine artmasına belirgin bir şekilde katkı sağlamaktadır. Panel kalınlığı değişken tutularak yapılan güçlendirme numunelerinin sünekliğinin 1,81-3,48 kat oranında arttığı görülmektedir.



Şekil 4.64. Panel kalınlığı ve yerdeğiştirme ilişkisi

Çizelge 4.15'de verilen enerji tüketme kapasitesi değerlerine göre yapılan güçlendirme sonucunda enerji tüketme kapasitesinde yalın duvara oranla 3,13'den 5,16 kata kadar enerji tüketme kapasitesini artırmaktadır. Takılan dübel sayısının sabit olup panel kalınlığının değişken tutulduğunda panel kalınlığının artması enerji tüketme kapasitesini artırmaktadır. Panel kalınlığının değişken olmasıyla enerji tüketme kapasiteleri arasında doğrusal bir ilişki olup, Şekil 4.65'de görülmektedir.



Şekil 4.65. Panel kalınlığı değişimine göre enerji tüketme kapasitesi

4.8.3. Deformasyon

Panel kalınlığının sabit, dübel sayısının değişken olduğu tüm güçlendirme numunelerinde yalın duvar numunesine benzer şekilde diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Panelde oluşan çatlaklarda, duvar ve hatıla takılan dübel sayısındaki artışın etkili olduğu görülmüştür. Duvar ve hatıldaki dübel sayısı en az olan 50mm4A numunesinde panelin çekme bölgesinde çatlakların olduğu görülmüştür. 50mm8A, 50mm10A ve 50mm12A numunelerinde dübel sayısındaki artış duvar diyagonal kesme çatlağı doğrultusundaki çatlak sayısını artırmaktadır. Ayrıca tüm numunelerin çekme gerilmesinin en yüksek olduğu alt hatıl bölgesinde dübel deliklerini takip eden çekme çatlakları oluşmuştur. Tüm çatlaklar duvar numunesi ve panel arasındaki yüzeyde kesme gerilmeleri yoğunlaştığından dolayı panel yüzeyindeki çatlaklar arayüzeyde başlamakta olup, panel iç yüzeyinde daha belirgin görülmektedir.

Ankraj sayısı sabit, panel kalınlığı değişken olan güçlendirme numunelerinde yalın duvar numunesine benzer şekilde diyagonal kesme çatlağı oluşmuştur. Panellerde diyagonal kesme çatlağının oluştuğu doğrultuyu ve dübel deliklerini takip eden kılcal kesme çatlakları oluşmuştur. 35 mm kalınlığındaki panelde dübel bağlantı noktalarında panel kalınlığının ince geldiği ve betonda kopmalar olduğu görülmüştür.

Deneylerin tamamlanması sonrasında dübellerde oluşan deformasyonları incelemek için hatıl ve duvar bölgesindeki dübellerin sökümleri gerçekleşmiştir. Yapılan görsel incelemeler sonucunda dübellerin;

- Güçlendirme deney numunelerinde kullanılan dübeller ankrajda göçme olmamıştır. Bunun yerine dübellerin gömleklerine ve/veya cıvatalarında deformasyon görülmüştür (Şekil 4.66 a-b). Tüm dübellerin gömleklerinde plastik deformasyonlar görülmüştür. Cıvatada oluşan plastik deformasyonlar, diyagonal basınç bloğu doğrultusunda yoğunlaşmaktadır.
- 35 mm kalınlığındaki panelde sadece 1 dübel (duvar yüzeyine takılı 15 numaralı dübel) üzerinde betonda göçme görülmüştür (Şekil 4.66 c).
- Dübel sayısının artmasıyla (Özellikle duvar bölgesindeki) cıvatada oluşan deformasyon, yük dağılımı arttığından dolayı daha az olmaktadır. Dübel sayısının artmasıyla, yük dağılımı arasında bir ilişki olduğundan ve dübellerin genelinde gömleklerde plastik deformasyon oluşup, cıvatada elastik deformasyonlar oluştuğundan dolayı, dübel sayısının artırılmasıyla bir dübele gelen kuvvet düştüğünden dolayı, dübel kalınlığı düşürülebilir. 10 mm kalınlığındaki M10 borulu cıvatalı çelik dübellerin, cıvatalarında çok fazla plastik deformasyon olmadığından dolayı kalın geldiği görülmüştür.
- Duvara veya hatıla gömülü olan borulu cıvatalı çelik dübellerden herhangi birinde sıyrılma gözlemlenmemiştir. Ayrıca duvar numunesi ve önüretimli panel arasındaki açıklıkta artış gözlemlenmemiştir.

Şekil 4.66. Dübel deformasyon tipleri

4.8.4. Deney Sonuçlarının Literatür Çalışmalarıyla Karşılaştırılması

Yığma duvarların beton/betonarme panellerle yapılan güçlendirmeler sonucunda rijitlik, maksimum taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik değerleri deneysel değişkenleriyle birlikte Çizelge 16'da verilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda panelin duvara bağlantısı genel olarak arayüzeye beton enjeksiyonuyla veya epoksi harcı ile sağlanmaktadır. Duvar ile panel arasında arayüzeyde oluşacak kesme gerilmelerini karşılamak üzere konnektörün etkisi çok fazla göz önüne alınmamaktadır. Sadece borulu cıvatalı çelik dübel kullanılarak yapılan bu çalışma literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırılmıştır:

- Bu çalışmada rijitliğin yalın duvara oranla 1,09-1,23 değerleri arasında arttığı tespit edilmiştir. Çizelge 16'da verilen çalışmalarda rijitliğin referans numunesine oranla 3,55'e kadar arttığı görülmektedir. Sıvalı yatay delikli tuğla ile yapılan çalışmada rijitlik değerlerinin benzer olduğu görülmüş olup bu çalışmada bulon sayısı olarak şerit panelin uç noktalarına takılan bir adet bulonun optimum olduğu belirtilmiştir. Rijitliğin artmasında panel ile duvar arayüzeyindeki epoksi harcı veya beton enjeksiyonuyla sağlanacak aderansın önemli olduğu görülmektedir.
- Bu çalışmada maksimum kesme kuvvetinin yalın duvara oranla 1,11-1,55 değerleri arasında arttığı tespit edilmiştir. Çizelge 16'da verilen çalışmalarda maksimum kesme kuvvetinin referans numunesine oranla 5,68'e kadar arttığı görülmektedir. Sadece epoksi harcı ile yapılan güçlendirmelerde duvar maksimum kesme dayanımı yaklaşık 3 kat kadar artmaktadır. Rijitlik artışında olduğu gibi maksimum kesme dayanımının artışında da panel ile duvar arayüzeyindeki epoksi harcı veya beton enjeksiyonuyla sağlanacak aderansın önemli olduğu görülmektedir.
- Bu çalışmada enerji tüketme kapasitesi yalın duvara oranla 2,16-5,16 değerleri arasında artış olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 16'da verilen harman tuğlası ile yapılan çalışmalarda enerji tüketme kapasitesini 4,14'e kadar arttığı görülmektedir. İncelenen çalışmalarda panelle duvarın bağlantısı genel itibariyle aderansın sağlanması şeklindeyken, bu çalışmada panelle duvar arasındaki bağlantı sadece dübeller vasıtasıyla yani aderansız bir şekilde enerji tüketme kapasitesini literatürde yer alan çalışmalara oranla daha fazla artırma olasılığına (yeterli dübel sayısıyla) sahip olduğu görülmektedir.

- Bu çalışmada sünekliğin yalın duvara oranla 1,63-3,48 değerleri arasında arttığı tespit edilmiştir. Çizelge 16'da verilen çalışmalarda 1,42 kata kadar artış olduğu görülmektedir. Sadece dübel kullanılarak yapılan bu çalışma konnektörlerin sünekliğin artmasında önemli ölçüde katkı sağladığı görülmüştür.

Duvar yüzeyindeki sıva kaldırıldıktan sonra duvar yüzeyinin tamir harcıyla düzgün hale getirildikten sonra epoksi harcı yardımıyla duvara paneller tutturulup ankraj uygulamasının yapılması güçlendirmenin monolitik çalışması bakımından en uygun uygulama olacağı düşünülmektedir.

Önüretimli elemanlarla yapılan güçlendirmelerde mekanik özellikleri farklı olan duvarla betonarme paneller arasındaki etkileşim sonrası yapının göçme modu kesmeden, kesmeli eğilmeye dönerek, eski yığma yapıların sünekliğini, dayanımını ve rijitliğini etkili bir şekilde iyileştirerek yapının yanal yükler karşısında ötelenmesini sınırlayarak sağlamaktadır(Wenfeng ve diğerleri, 2017). Yapının dışarıdan güçlendirilmesinden benzer biçimde düşük beton dayanımına sahip hatılların önüretimli perdeye tutturarak yapının yanal ötelenmesini sınırlayarak bina deprem performansının iyileştirilmesi üzerine bulon bağlantıları incelenmiştir. Önüretimli perde ile düşük dayanımlı hatıl arasındaki bağlantıda bulonlar akmaya başlamadan önce hatıl betonunda ezilmeler ve çatlaklar gözlemlediği ve bulon sayısının artmasının yük taşıma kapasiteni artırdığı belirtilmiştir (Tokgöz ve Can, 2011). Ancak duvarın kesme dayanımı hesaba dahil edilmemiş olup, düşük beton dayanımına sahip hatılla, hatıldan daha yüksek beton dayanımına sahip önüretimli betonarme perde arasındaki duvarda oluşacak göçme sonrası durum incelenmiştir. Hatıla bağlı dübel sayısının 4 gibi bir değerde tutulduğunda göçme duvarda gerçekleşmiş olup, dübeller plastik deformasyonlara uğramıştır. Hatıla uygulanan dübel sayısının değişken tutulduğu bu çalışmada, 100 cm genişliğe sahip önüretimli panel ile dübel sayısının optimum 10 adet olduğu sonucu çıkartılmış. Diğer çalışmalara benzer bir şekilde dübelde deformasyonun sınırlı sayıda olmasından dolayı dübel 10 mm kalınlığının düşürülebileceği kanaatine varılmıştır.

Çizelge 4.16. Yığma duvarların beton/betonarme panellerle yapılan güçlendirmeler sonucunda rijitlik, maksimum taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik değerleri

Yazar	Güçlendirme Elemanı	Bağlantı Şekli	Malzeme	Değişkenler	K_e	H_{maks}	A_{env}	μ_u
(Baran ve diğerleri, 2014)	Beton/ Betonarme Panel	Epoksi Harcı Bulon	Yatay delikli tuğla (sıvalı)	• Panel cinsi • Panel Kalınlığı • Bulon sayısı	1,09-1,73	1,34-2,49	1,69-3,82	1,16-1,42
(T. Wang ve diğerleri, 2014)	Önüretimli Betonarme Panel Sonradan dökme bant beton	Betonarme Tij Beton enjeksiyonu Bant beton ankraj	Harman tuğlası	• Duvar boşluğu • Düşey/yatay Hatıl	3,55*	4,22*	4,14*	-
(Buyukkaragoz ve Kopraman, 2020)	Beton Panel	Epoksi Harcı	Düşey Delikli Tuğla	• Panel çelik lif oranı • Tuğla Cinsi	-	2,56-3,15	25	-
			Harman Tuğlası		-	2,75-3,10	3,9	-
(Zhang ve diğerleri, 2021)	Önüretimli Betonarme Panel Sonradan dökme bant beton	Betonarme Tij Beton enjeksiyonu Bant beton ankraj	Harman tuğlası	• Duvar boşluğu • Düşey/yatay Hatıl	2,12*	4,12*	3,7*	-
(Xu ve diğerleri, 2022)	Önüretimli Beton panel	Beton enjeksiyonu Kesme pimi		• Beton enjeksiyonu	2,90	5,68	-	1,27
				• Kesme Pimi	1,80	5,52	-	1,08
				• Her ikisi	1,85	4,95	-	1,39
Bu çalışma	Önüretimli betonarme panel	Borulu cıvatalı çelik dübel	Harman Tuğlası	• Dübel sayısı • Panel kalınlığı	1,09-1,23	1,11-1,55	2,16-5,16	1,63-3,48
*Çalışmada sadece boşluksuz ve yatay hatıllı numuneler değerlendirmeye katılmıştır.								

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı, deprem performansı bakımından süneklik düzeyi düşük betonarme hatıllı ve döşemeli yığma binaların duvarlarının, mevcut güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak binaları dışarıdan güçlendirilmesidir. Bu yöntem; bina sakinleri hanelerini boşaltmadan, daha düşük maliyetlerle, daha hızlı ve az rahatsız edici bir şekilde binanın dışından önüretimli panellerle güçlendirme yöntemidir. Bu çalışmayla yığma duvarların yatayda deprem performansını artırmak için, gerek önüretimli güçlendirme panellerinin gerekse hatılların ve duvarların yatay yüklerini panellere aktaran borulu cıvatalı çelik bağlantı dübellerinin optimum tasarımı araştırılmıştır.

Ülkemizde 2000 öncesi ağırlıklı yığma olan yapılaşmaları beton dayanımının ortalama olarak C10 olduğu düşünüldüğünde, güçlendirmede hedef alınan bu yapılara yönelik dışarıdan güçlendirmesinde kullanılacak olan borulu cıvatalı çelik bağlantı dübellerinin düşük basınç dayanımına sahip betonlarda kesme performansına yönelik bir çalışma bulunamamıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde; M10 borulu cıvatalı çelik dübelin 5-35 MPa basınç dayanım aralığındaki 6 beton sınıfında, 50, 70, 90 ve 110 mm ankraj gömme derinliğinde toplamda 72 numunede ankraj kesme testi yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneyleri sonucunda:

- Biri ankrajda diğeri betonda olmak üzere iki tip göçme şekli belirlenmiştir. M10 ankrajın normal dayanımlı betonlardaki elastik davranışından dolayı, ankrajdaki göçme betondakine oranla daha yüksek performans göstermiştir. Beton basınç dayanımı 5 MPa'dan düşük numunelerin hepsinde göçme betonda gerçekleşmiş olup, 5 MPa beton basınç dayanımı altında borulu cıvatalı çelik dübelin kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmıştır. Ankraj gömme derinliği 70 mm'nin altında düşük dayanımlı betonlarda göçme betonda gerçekleşmiş olup, ACI da

belirtildiği gibi 6d gömme derinliğinden daha sığ ankraj tutturulmasının uygun olmadığı anlaşılmıştır.

- Beton dayanımının 15 MPa'dan yüksek olması durumunda beton dayanımının ankrajların enerji tüketme kapasitesine katkısının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Beton dayanımının artmasıyla ankraj kesme yükü kapasitesi ile gömme derinlikleri arasındaki eğimin azaldığı görülmüştür. Eğim sıfır olduğunda beton basınç dayanımının yaklaşık 80 MPa olduğu, yani kesme kapasitesinin sabit hale geldiği ve gömme derinliğinden etkilenmediği görülmüştür.
- Gömme derinliklerinin artmasıyla ankraj kesme yükü kapasitesi ile beton dayanımları arasındaki eğimin azaldığı görülmüştür. Eğimin sıfır olduğu noktada maksimum etkili ankraj gömme derinliği, R^2=1 regresyonu ile yaklaşık 205 mm olarak bulunmuştur.
- Maksimum etkili ankraj gömme derinliğinde, ankraj gömme derinliğinin artmasından ve beton dayanımındaki değişimden etkilenmeden maksimum ankraj kesme kapasitesine ulaşmaktadır. Dolayısıyla, beton dayanımının ihmal edilebileceği ankraj derinliğinin 205 mm'den fazla olmasının ankraj kesme kapasitesini artırmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümde; düşük dayanımlı betonlarda mekanik dübelin güçlendirmede maruz kalacağı kesme kuvveti altındaki davranışını incelemek adına 6 farklı beton basınç dayanımında, 4 farklı ankraj gömme derinliği incelenmiştir. İkinci bölümde duvara etkiyen düzlem içi yanal kuvvetleri karşılamak için önüretimli panelle güçlendirilme yapılmıştır. Panelle hatıl/duvar arasındaki ankraj sayısı değişiminin ve panel kalınlığının güçlendirilen duvara olan katkıları incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan harman tuğlalarının elde edilen basınç ve çekme dayanımına göre mekanik özellikleri incelendiğinde, önceki birçok çalışmada gösterildiği gibi harman tuğlalarının dayanımları oldukça farklı sonuç dağılımı göstermiştir.

Bu çalışmada yığma binaların önüretimli panellerle güçlendirilmesi üzerine dolu harman tuğlalı benzer şekilde üretilmiş 7 hatıllı duvar numunesi test edilmiş olup, 6 adeti farklı kalınlıklarda panel ve farklı sayıda dübellerle güçlendirilmiş, panel-hatıllı duvar arasındaki bağlantıyı sağlayan dübel sayısı ve panel kalınlığına ilişkin optimum tasarım belirlenmiştir.

Dübel Sayısı;

- Numunenin panellerle güçlendirilmesi işleminde, panel ile numune arasındaki bağlantıyı sağlayan dübel sayısının artmasının duvar numunenin yatay kesme dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Yapılan güçlendirme, güçlendirme yapılmayan yalın duvara oranla maksimum kesme dayanımı bağlamında %54'e varan katkı sağlamıştır.
- Dübel sayısındaki artış, duvarın ilk çatlama dayanımını ve rijitliğini artmasına katkı sağlamıştır. Ancak dübel sayısındaki artışın ilk çatlama dayanımı olan H_{cr} değerine yeterince katkısı olmamıştır. Sayısal çözümlemelerde kullanılan ilk çatlama dayanımı olan H_{cr} nin H_{maks}'a oranı olan C_{cr} katsayısına da beklenen düzeyde 0,6-0,8 aralığına yükseltmemiştir.
- Dübel sayısı ve yerdeğiştirme arasında lineer bir ilişki olup, hatıllara uygulanan dübel sayısındaki artış, yerdeğiştirmenin artmasına yani numunelerin daha sünek davranmasına sebep olmuştur. Dübel sayısının artışıyla orantılı olarak plastik deformasyonun elastik deformasyona oranı olan sünekliğini 3 katına kadar artırdığı görülmüştür.
- Ayrıca hatıla uygulanan dübel sayısındaki artışın, enerji tüketme kapasitesini de güçlendirme yapılmayan yalın duvara oranla 4 katına kadar artırdığı görülmüştür
- Duvara uygulanan dübel sayısındaki artışın, panellerdeki burkulma riskini azalttığı, enerji tüketme kapasitesini artırdığı ve H_{maks}'a ulaşıldığında ani düşüşleri engellediği görülmüştür.
- Bir metre uzunluğundaki duvar için dübel adeti 10'u geçtiğinde kesme dayanımında düşme görülmüştür. Kesme kuvveti ve dübel sayısı arasındaki 2 inci dereceden polinom bağıntı 0,98 regresyonla bu boyutlardaki duvar ve panel için optimum dübelin sayısının 10 olduğunu göstermiştir.

Panel Kalınlığı;

- Numunenin panellerle güçlendirilmesi işleminde, dübel sayısının sabit tutularak panel kalınlığının 35 mm, 50 mm ve 70 mm olarak artırılması ile numunelerin maksimum kesme dayanımını %55 artırdığı görülmüştür.
- Bir metre uzunluğundaki duvar için panel kalınlığı 50 mm'ye kadar kesme dayanımında bir artışın fakat 70 mm'de belirgin bir artış olmadığı görülmüştür. Kesme kuvveti ve dübel sayısı arasındaki 2 inci dereceden polinom bağıntı 1,00 regresyonla bu boyutlardaki duvar ve dübelin sayısı için optimum panel kalınlığının 60 mm olduğunu göstermiştir. Panel kalınlığının artması optimum kalınlığa kadar maksimum kesme dayanımını artırırken, daha kalın panel kullanımı kesme dayanımında etkili olmadığı görülmüştür.
- Aynı dübel sayısına ve tasarımına sahip güçlendirmelerde 35 mm kalınlığındaki panellin güçlendirme yapılmayan yalın duvara oranla rijitliği %16 artırırken, 70 mm kalınlığındaki panellin %20 oranında artırdığı görülmüştür. Güçlendirme panelinin kalınlığındaki 2 katı artışın numunelerin rijitliğindeki artışa etkisinin oldukça düşük %4 olduğu görülmüştür.
- Panel kalınlığının artmasıyla numunenin daha fazla deformasyon yapabildiği, ikisi arasında lineer bir ilişkinin olduğu, aynı dübel sayısına ve tasarımına sahip güçlendirmelerde 35 mm kalınlığındaki panellin güçlendirme yapılmayan yalın duvara oranla sünekliği %80 artırırken, 70 mm kalınlığındaki panellin %248 oranında artırdığı görülmüştür. Güçlendirme panelinin kalınlığındaki 2 katı artışın numunelerin sünekliğindeki artışa etkisinin oldukça yüksek %92 olduğu görülmüştür.
- Ayrıca panel kalınlığındaki artışa bağlı olarak enerji tüketme kapasitesinin de arttığı, enerji tüketme kapasitesini de güçlendirme yapılmayan yalın duvara oranla 5 katına kadar artırdığı görülmüştür

Duvar yüzeyindeki sıva kaldırıldıktan sonra duvar yüzeyinin tamir harcıyla düzgün hale getirildikten sonra epoksi harcı yardımıyla duvara paneller tutturulup ankraj uygulamasının yapılması güçlendirmenin monolitik çalışması bakımından en uygun uygulama olacağı düşünülmektedir.

Mevcut binaların yıkılarak yeniden yapılması hem yüksek maliyetli olması hem de süreç olarak vatandaşlar tarafından tercih edilmemesi nedeniyle bina yapım yaklaşık maliyetinin %10'unan daha az bir maliyete yapına bu dışarıdan güçlendirme yöntemi hem daha ekonomik hem de insanları az rahatsız edici ve hızlı olması bakımından tercih edilebilir niteliktedir.

5.2. Öneriler

Temin edilmesi ve daha ucuz olması bakımında Φ10'luk donatı ile yapılacak kimyasal ankrajların ankraj kesme performansı ile borulu cıvatalı çelik dübelle arasındaki farklılıkların tespit edilebilmesi amacıyla, borulu cıvatalı çelik dübelle yapılmış olan bu çalışmada ki ankraj kesme test düzeneği kullanılarak değişken beton dayanımlarında bir dizi itme-kesme testi yapılabilir.

Düzlem içi gelen yatay kuvvetlerin etkisi altında kesme gerilmeleri zemin katta maksimum olmaktadır. Bu çalışmayla kat hatılları arasında önüretimli panellerle güçlendirme yapılabileceği gösterilmiş olup, zemin katındaki panellerin temel ampatmanına ankraj edilmesi doğrultusunda temelli önüretimli panel imalatı yapılarak, ampatmana uygulanacak ankraj sayısı ve panelin temel ve panel birleşimine göre optimum panel kalınlığı belirlenebilir.

Tek panelle ve tek tip panelle yapılan bu çalışmaya ilave olarak betonarme paneller arasında kuvvet aktarımının oluşacağı şekilde panellerin birbiri içerisine geçeceği kilitli kamaların tasarım yapılarak paneller arası etkileşim ve güçlendirmeye olan katkısı incelenebilir.

Önüretimli panellerle güçlendirilen yığma duvarlara düzlem dışı gelen deprem kuvveti sonrasında panel ve ankrajların nasıl bir davranış göstereceği tam anlamıyla bilinmemektedir. Bu yüzden dolayı düzlem dışı deprem etkisine karşı önüretimli panellerle yığma duvarların güçlendirilmesi konusunun incelenesinde fayda vardır.

Binanın dış yüzeyinden tek taraflı olarak, kendiliğinden yerleşen beton kullanılarak yapılan güçlendirme elemanıyla, hatıl ve duvar arasında bağlantı elemanlarının kesme dayanımına olan katkısı incelenebilir.

Önüretimli panelle yapılan güçlendirme sonrasında güçlendirilmiş duvarın rijitliğinin yeterli düzeyde artmadığı görülmüş olup, rijitliğin artırılması için önüretimli panel ve duvar arasına epoksi enjeksiyonu yapılarak düzlem içi kuvvetlere karşı epoksi

enjeksiyonunun duvarın rijitliğini, maksimum kesme dayanımını, enerji tüketme kapasitesini ne düzeyde etkilediği incelenebilir.

KAYNAKLAR

ABYYHY. (1998). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*. Ankara, Türkiye: T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

ACI 318-14. (2014). Building code requirements for structural concrete. Farmington Hills: American Concrete Institute.

ACI 355.2-07. (2007). *Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary*. Farmington Hills: American Concrete Institute.

Akın, A. (2011). *Ön üretimli beton panellerle güçlendirilmiş dolgulu betonarme çerçevelerin deprem davranışının deneysel ve analitik olarak incelenmesi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Aksoylu, C. ve Kara, N. (2019). Güçlendirme tekniği olarak yeni nesil ön üretimli beton panel uygulamasının araştırılması. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, *7*(2), 346–361. doi:10.15317/SCITECH.2019.204

Aksoylu, C. ve Kara, N. (2020). Strengthening of RC frames by using high strength diagonal precast panels. *Journal of Building Engineering*, *31*, 101338. doi:10.1016/j.jobe.2020.101338

Aksoylu, C. ve Sezer, R. (2018). Investigation of precast new diagonal concrete panels in strengthened the infilled reinforced concrete frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *22*(1), 236–246. doi:10.1007/s12205-017-1290-6

Aruntaş, H. Y., Şahinöz, M. ve Dayı, M. (2021). Çimento hamur ve harçlarında kireç kullanımının incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, *24*(3), 1045–1054.

ASTM C67-05. (2005). Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. *ASTM International*. West Conshohocken, US.

ASTM E 519-15. (2015). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in

Masonry Assemblages. *American Society for Testing Materials*. West Conshohocken, US.

ASTM E488 / E488M. (2018). Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements. West Conshohocken, US: ASTM International.

Atikoğlu, C. ve Tavukçuoğlu, A. (2018). Nitelikli tarihi tuğlalar ile ilişkili olarak günümüz harman tuğlalarının performans özelliklerinin incelenmesi. *4 Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Yapı Sektöründe Yenilikçi Yaklaşımlar* içinde . Antalya, 6-8 Aralık.

Augenti, N., Nanni, A. ve Parisi, F. (2013). Construction failures and innovative retrofitting. *Buildings*, *3*(1), 100–121. doi:10.3390/buildings3010100

Balbuena, G., Gramaxo, J. ve Kunz, J. (2011). Design of post-installed anchors for seismic actions. *9. Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society* içinde . Auckland, New Zealand, 14-16 Nisan.

Baran, M., Aktas, M. ve Aykac, S. (2014). Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *29*(1), 23–33. doi:10.17341/GUMMFD.43725

Baran, M. ve Tankut, T. (2011). Experimental study on seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels. *ACI Structural Journal*, *108*(2), 227–237. doi:10.1680/macr.10.00030

Bayülke, N. (2011). Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* içinde (ss. 1–14). Ankara, 11-14 Ekim: ODTÜ.

Bayülke, N. (2013). *Yığma yapılar (taş ve tuğla)*. Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.

Bhattacharya, S., Nayak, S. ve Dutta, S. C. (2014). A critical review of retrofitting methods for unreinforced masonry structures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *7*, 51–67. doi:10.1016/J.IJDRR.2013.12.004

Bosiljkov, V.A., Page, W., Bokan-Bosiljkov, V. ve Zarnic., R. (2008). Integral resonant control scheme for cancelling human-induced vibrations in light-weight pedestrian structures. *Structural Control and Health Monitoring*, *17*, 100–118. doi:10.1002/stc

Broken, S.T. ve Bertero, V.V. (1981). *Studies on effects of infills in seismic resistant reinforced concrete construction*. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-81/12, University of California, Berkeley.

Budak, A., Uysal, H. ve Aydın, A. (2004). Kırsal yapıların deprem karşısındaki davranışı. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg*, *35*(3–4), 209–2019.

Buyukkaragoz, A. (2020). Shear behavior of aerated concrete and hollow brick walls strengthened with steel fiber-reinforced concrete panels. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, *27*(17), 1531–1539. doi:10.1080/15376494.2018.1519617

Buyukkaragoz, A. ve Kopraman, Y. (2020). Strengthening of Masonry Walls Produced from Two Different Materials with Steel Fiber-Reinforced Concrete Panels. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, *61*(3), 463–470. doi:10.1134/S0021894420030189

Çağlar, H., Çağlar, A., Korkmaz, S. Z., Demirel, B. ve Yavuz, B. U. (2018). Geleneksel kastamonu evlerinin inşasında kullanılan el ile üretilmiş harman tuğla ile fabrikasyon olarak üretilen tuğlanın fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon özelliklerinin karşılaştırması. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 30(2)*, *30*(2), 39–48.

Çalişkan, Ö., Yilmaz, S., Kaplan, H. ve Kiraç, N. (2013). Shear strength of epoxy anchors embedded into low strength concrete. *Construction and Building Materials*, *38*, 723–730. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.09.020

Can, Ö. (2009). *Yığma yapıların dıştan perde duvar ile güçlendirilmesinde perdenin birleşim yerleri performansının deneysel araştırılması*. Gazi Üniversites Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chen, Z. (2021). A review of current research progress on tensile behavior of expansion anchors in concrete. *Structures*, *34*, 2276–2287. doi:10.1016/J.ISTRUC.2021.08.128

Churilov, S. ve Dumova-Jovanoska, E. (2013). In-plane shear behaviour of unreinforced and jacketed brick masonry walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *50*, 85–105. doi:10.1016/J.SOILDYN.2013.03.006

Çitiloğlu, C. ve Erberik, M. A. (2017). Donatısız ve kuşatılmış yığma yapıların

deprem performanslarının karşılaştırılması. *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* içinde . Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim.

Civatalı Borulu Dübel | May Dübel Bağlantı Elemanları. 14 Ocak 2023 tarihinde https://maydubel.com.tr/category/urunler/civatali-borulu-dubel/ adresinden erişildi.

Çırak, İ.F. (2011). Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler. *International Technologic Science*, *3*(2), 55–60.

Cultrone, G., Sebastián, E., Elert, K., de la Torre, M. J., Cazalla, O. ve Rodriguez-Navarro, C. (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, *24*(3), 547–564. doi:10.1016/S0955-2219(03)00249-8

Dalkılıç, N. ve Nabikoğlu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, *6*(3), 346–359. doi:10.1016/J.FOAR.2017.06.003

DBYBHY. (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. *T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü*. Ankara, Türkiye.

Del Rey Castillo, E. ve Ingham, J. (2020). Monotonic behaviour of post-installed mechanical anchors installed in prestressed concrete hollow-core floor units. *Structures*, *27*, 1801–1808. doi:10.1016/J.ISTRUC.2020.07.051

Del Zoppo, M., Di Ludovico, M. ve Prota, A. (2019). Analysis of FRCM and CRM parameters for the in-plane shear strengthening of different URM types. *Composites Part B: Engineering*, *171*(February), 20–33. doi:10.1016/j.compositesb.2019.04.020

Dogan, O., Celik, F., Odacioglu, O. G. ve Sevim, O. (2021). In situ determination of the mechanical performance of the steel rods anchored on an existing masonry building wall. *Sādhanā 2021 46:4*, *46*(4), 1–13. doi:10.1007/S12046-021-01697-Y

Doğan, O. ve Odacıoğlu, O. G. (2019). An experimental study to determine sliding shear strength and internal friction coefficient of clay brick wall in a masonry building. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 670–676.

doi:10.29137/umagd.545396

Dondi, M., Marsigli, M. ve Venturi, I. (1999). Microstructure and mechanical properties of clay bricks: comparison between fast firing and traditional firing. *British Ceramic Transactions*, *98*(1), 12–18. doi:10.1179/BCT.1999.98.1.12

Ehsari, M. R., Saadatmanesh, H. ve Velazquez-Dimas, J. I. (1999). Behavior of Retrofitted URM Walls under Simulated Earthquake Loading. *Journal of Composites for Construction*, *3*(3), 134–142.

Elgawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M. (2004). A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM. *13th International Brick and Block Masonry Conference* içinde (ss. 1–10). Amsterdam, 4-7 Temmuz.

Elgawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M. (2006). Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete. *NZSEE Conference* içinde (s. Paper 45).

Eligehausen, R. (1987). *Anchorage to concrete by metallic expansion anchors*.

Eligehausen, R., Cook, R. A. ve Appl, J. (2006). Behavior and design of adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal*, *103*(6), 822–831.

Er, A.C. (2013). Geleneksel harman tuğlası ve üretimi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, *2*(2), 61–70.

FEMA 356. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Virginia, USA: Federal Emergency Management Agency and the American Society of Civil Engineers.

Fernandes, F. M., Lourenço, P. B. ve Castro, F. (2010). Ancient clay bricks: manufacture and properties. *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, 29–48. doi:10.1007/978-90-481-2684-2_3

García Ten, J., Orts, M. J., Saburit, A. ve Silva, G. (2010). Thermal conductivity of traditional ceramics. Part I: Influence of bulk density and firing temperature. *Ceramics International*, *36*(6), 1951–1959. doi:10.1016/J.CERAMINT.2010.05.012

Ghiassi, B., Soltani, M. ve Tasnimi, A. A. (2012). Seismic evaluation of masonry structures strengthened with reinforced concrete layers. *Journal of Structural Engineering*, *138*(6), 729–743. doi:10.1061/(asce)st.1943-541x.0000513

Ghobarah, A. ve Aziz, T. S. (2004). Seismic qualification of expansion anchors to Canadian nuclear standards. *Nuclear Engineering and Design* içinde (C. 228, ss. 377–392). doi:10.1016/j.nucengdes.2003.06.020

Guillet, T. (2011). Behavior of metal anchors under combined tension and shear cycling loads. *ACI Structural Journal*, *108*, 315–323.

Güler, K. (2021). Yığma Binaların deprem güvenliği ve performansı. *İTÜ Vakıf Dergisi*, *86*, 6–10.

Gülkan, P. ve Sucuoğlu, H. (1989). *Kırsal yapılarda deprem hasarlarının tayini*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Earthquake Engineering Research Center.

Higashi, T. Y., Ohkubo, M. ve Shimizu, Y. (1980). Experimental study on strengthening reinforced concrete structure by adding shear wall. *Proceeding of the 7th WCEE* içinde (ss. 173–180). Istanbul, Turkiye.

Hur, M.-W., Chae, K.-H., An, Y.-S. ve Park, T.-W. (2021). Performance evaluation of post-installed anchor according to sleeve length and header length. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, *25*(2), 8–15. doi:10.11112/jksmi.2021.25.2.8

Johari, I., Said, S., Hisham, B., Bakar, A. ve Ahmad, Z. A. (2010). Effect of the change of firing temperature on microstructure and physical properties of clay bricks from Beruas (Malaysia). *Science of Sintering*, *42*, 245–254. doi:10.2298/SOS1002245J

Kabantsev, O. ve Kovalev, M. (2022). Failure mechanisms and parameters of elastoplastic deformations of anchorage in a damaged concrete base under seismic loading. *Buildings*, *12*(1), 78. doi:10.3390/BUILDINGS12010078

Kaplan, H., Yilmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N. (2004). May 1, 2003 Turkey - Bingöl earthquake: Damage in reinforced concrete structures. *Engineering Failure Analysis*, *11*(3), 279–291. doi:10.1016/j.engfailanal.2003.08.005

Karakule, F., Akakın, T. ve Uçar, S. (2004). Türkiye'de ve Dünyada hazır beton sektörü. 16 Ocak 2023 tarihinde http://atilimlab.com.tr/makaleler/Turkiyede-ve-dunyada-hazir-beton-sektoru.pdf adresinden erişildi.

Kim, J. S., Jung, W. Y., Kwon, M. H. ve Ju, B. S. (2013). Performance evaluation of

the post-installed anchor for sign structure in South Korea. *Construction and Building Materials*, *44*, 496–506. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.03.015

Kim, S. Y., Yu, C. S. ve Yoon, Y. S. (2004). Sleeve-type expansion anchor behavior in cracked and uncracked concrete. *Nuclear Engineering and Design* içinde (C. 228, ss. 273–281). doi:10.1016/j.nucengdes.2003.06.018

Korkmaz, H. H., Korkmaz, S. Z. ve Donduren, M. S. (2010). Earthquake hazard and damage on traditional rural structures in Turkey. *Hazards Earth Syst. Sci*, *10*, 605–622. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/605/2010/ adresinden erişildi.

Lotze, D., Klingner, R. E. ve Graves, H. L. (2001). Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading. *Structural Journal*, *98*(4), 525–536. doi:10.14359/10295

Mahadik, V., Sharma, A. ve Hofmann, J. (2016). Inelastic seismic behavior of post-installed anchors for nuclear safety related structures: Generation of experimental database. *Nuclear Engineering and Design*, *297*, 231–250. doi:10.1016/J.NUCENGDES.2015.11.022

Mahrenholtz, P. ve Eligehausen, R. (2015). Post-installed concrete anchors in nuclear power plants: Performance and qualification. *Nuclear Engineering and Design*, *287*, 48–56. doi:10.1016/j.nucengdes.2015.03.004

Mahrenholtz, P., Eligehausen, R., Hutchinson, T. C. ve Hoehler, M. S. (2016). Behavior of post-installed anchors tested by stepwise increasing cyclic load protocols. *ACI Structural Journal*, *113*(5), 997–1008. doi:10.14359/51689023

Matthys, H. ve Noland, L. (1989). Strengthening and retrofitting masonry buildings. *In Proceedings of the An International Seminar on Evaluation, Strengthening and Retrofitting Masonry Buildings* içinde (ss. 11–18). CO, USA.

Odacioglu, O. G., Dogan, O. ve Kale, F. (2022). An experimental study to determine the optimum depth of steel anchors in RC subjected to shear force. *Structures*, *44*, 1321–1327. doi:10.1016/J.ISTRUC.2022.08.043

Oyguç, R. A. (2017). 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, *19*(2), 296–315. doi:10.25092/baunfbed.348482

Oyguc, R. A. ve Oyguc, E. (2017). 2011 Van earthquakes: lessons from damaged

masonry structures. *Journal of Performance of Constructed Facilitie*, *31*(5), 04017062. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001057

Özdöner, N. (2011). *Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin, Bina Dışından Uygulanan Betonarme Prefabrik Paneller İle Arttırılması*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Özgan, E. ve Kap, T. (2005). Düzce ilinde 1999 yılı depremlerinde yıkılan betonarme binalarda kullanılan çelik çubukların çok yönlü analizi. *Deprem Sempozyumu* içinde (ss. 827–837). Kocaeli, 23-25 Mart.

Özkul, M. H. (2003). Çelik donatıların deprem yönetmeliği açısından incelenmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (426), 52–55.

Özmen, B. (2012). Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *55*(1), 43–55.

Pavia, S. ve Brennan, O. (2019). Portland cement-lime mortars for conservation. *Historic Mortars: Advances in Research and Practical Conservation*, 129–142. doi:10.1007/978-3-319-91606-4_10

Resmi gazete 11/02/2023 tarih 32101 sayı. (y.y.).

Shabdin, M., Zargaran, M. ve Attari, N. K. A. (2018). Experimental diagonal tension (shear) test of Un-Reinforced Masonry (URM) walls strengthened with textile reinforced mortar (TRM). *Construction and Building Materials*, *164*, 704–715. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.12.234

Shermi, C. ve Dubey, R. N. (2018). In-plane behaviour of unreinforced masonry panel strengthened with welded wire mesh and mortar. *Construction and Building Materials*, *178*, 195–203. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.081

Shuvalov, A., Gorbunov, I. ve Kovalev, M. (2021). Anchorage strength and ductility in shear tests. *E3S Web of Conferences* içinde (s. 263 02016). doi:10.1051/e3sconf/202126302016

Şimşek, O. (2020). *Beton ve beton teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık.

Sørensen, J. H., Hoang, L. C., Olesen, J. F. ve Fischer, G. (2017). Testing and modeling dowel and catenary action in rebars crossing shear joints in RC.

Engineering Structures, *145*, 234–245. doi:10.1016/j.engstruct.2017.05.020

Süsoy, M. (2004). *Seismic strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames with precast concrete panels*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Takase, Y., Wada, T., Ikeda, T. ve Shinohara, Y. (2012). Mechanical model of adhesive post-installed anchor subjected to cyclic shear force. *Journal of Structural and Construction Engineering*, *77*(682), 1915–1924. doi:10.3130/aijs.77.1915

Taş, N. (2003). Yerleşim alanlarında olası deprem zararlarının azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *8*(1), 225–231.

Tate, M. (2005). The most important property of cement-lime mortar in masonry construction is. *International building lime Symposium* içinde . Orlando, Florida, 9-11 Mart.

TBDY. (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği. *Çevre Şehircilik Bakanlığı*. Ankara, Türkiye.

Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U. ve Kaya, F. (2015). Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *3*(2), 179–191. doi:10.17798/BEUFEN.25105

Tokgöz, H. ve Can, Ö. (2011). Dıştan perde duvarla güçlendirmede perde-hatıl birleşim yerlerinde kullanılan bulon sayısının araştırılması. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt*, *26*(3), 649–656.

Tomazevic, M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry buildings*.

Tomaževič, M. (2009). Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: Shear versus tensile strength of masonry. *Materials and Structures*, *42*(7), 889–907. doi:10.1617/S11527-008-9430-6/TABLES/13

TS 4559. (2010). Beton çelik hasırları. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS 802. (2016). BETON KARIŞIM TASARIMI HESAP ESASLARI. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 1052-1. (2000). Kâgir - Deney metotları -Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 1097-3. (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 1097-6. (2022). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 1744-1+A1. (2013). Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 196-1. (2016). ÇİMENTO DENEY METOTLARI- BÖLÜM 1: DAYANIM. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 771-1. (2015). Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler Specification. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 772-1. (2015). Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

TS EN 933-1. (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini. Ankara, Türkiye: Türk Standatları Enstitüsü.

Ünal, O. ve Yurtçu, Ş. (2007). Betonarme yapılarda hazır beton kullanımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1), 51–64.

Valikhani, A., Jahromi, A. J., Mantawy, I. M. ve Azizinamini, A. (2021). Effect of mechanical connectors on interface shear strength between concrete substrates and UHPC: Experimental and numerical studies and proposed design equation. *Construction and Building Materials*, *267*, 120587. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120587

Vesfa Harman Tuğla | El Yapımı %100 Doğal Tuğla. 4 Ocak 2023 tarihinde https://www.vesfaharmantugla.com/kategori/harman-tugla-grubu/69 adresinden erişildi.

Vintzēleou, E. N. ve Tassios, T. P. (1986). Mathematical models for dowel action under monotonic and cyclic conditions. *Magazine of Concrete Research*, *38*(134), 13–22. doi:10.1680/macr.1986.38.134.13

Wang, C., Sarhosis, V. ve Nikitas, N. (2018). Strengthening/Retrofitting Techniques on Unreinforced Masonry Structure/Element Subjected to Seismic Loads: A Literature Review. *The Open Construction and Building Technology Journal*, *12*, 251–268. doi:10.2174/1874836801812010251

Wang, T., Zhang, Y. Q., Chen, X. ve Li, W. F. (2014). Mechanical behavior of masonry walls retrofitted with prefabricated reinforced concrete panels. *Gongcheng Lixue/Engineering Mechanics*, *31*(8), 144–153. doi:10.6052/j.issn.1000-4750.2013.03.0171

Wenfeng, L., Tao, W., Xi, C., Xiang, Z. ve Peng, P. (2017). Pseudo-dynamic tests on masonry residential buildings seismically retrofi tted by precast steel reinforced concrete walls. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, *16*(3), 587–597. doi:10.1007/s11803-017-0397-6

Xu, W., Zhang, T., Chen, X., Miao, Q., Wang, S. ve Du, D. (2022). Experimental and numerical investigation on the seismic performance of masonry walls reinforced by PC panels. *Journal of Building Engineering*, *58*, 105049. doi:10.1016/J.JOBE.2022.105049

Yön, B., Onat, O., Emin Öncü, M. ve Karaşin, A. (2020). Failures of masonry dwelling triggered by East Anatolian Fault earthquakes in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *133*, 106126. doi:10.1016/J.SOILDYN.2020.106126

Yurdakul, Ö., Duran, B., Tunaboyu, O. ve Avşar, Ö. (2021). Field reconnaissance on seismic performance of RC buildings after the January 24, 2020 Elazığ-Sivrice earthquake. *Natural Hazards*, *105*(1), 859–887. doi:10.1007/s11069-020-04340-x

Yüzügüllü, Ö. (1979). *Depremden hasar görmüş betonarme çerçevelerin prefabrik parçalı perde elemanlarıyla takviyesi*. TUBİTAK MAG - 494, Turkiye.

Zhang, Y., Lin, X., Wang, T. ve Skalomenos, K. (2021). Seismic behavior of masonry walls strengthened by precast reinforced concrete panels with different connection details. *Engineering Structures*, *242*, 112597. doi:10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112597

Zoubek, B., Fischinger, M. ve Isakovic, T. (2015). Estimation of the cyclic capacity

of beam-to-column dowel connections in precast industrial buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *13*(7), 2145–2168. doi:10.1007/s10518-014-9711-0

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Orhan Gazi ODACIOĞLU

Doğum Tarihi

Yabancı Dil

Eğitim Durumu :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Yayınları (SCI) :

Odacioglu, O. G., Dogan, O., & Kale, F. (2022, October). An experimental study to determine the optimum depth of steel anchors in RC subjected to shear force. In Structures (Vol. 44, pp. 1321-1327).

Dogan, O., Celik, F., Odacioglu, O. G., & Sevim, O. (2021). In situ determination of the mechanical performance of the steel rods anchored on an existing masonry building wall. Sādhanā, 46(4), 1-13. https://doi.org/10.1007/s12046-021-01697-y

Yayınları (Diğer) :

Doğan, O., Genç, Y., & Odacıoğlu, O. G. (2022). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Depreme Dayanıklı Tasarımında Uyumlu Perde-Çerçeve Davranışı İçin Minimum Perde Oranının Belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 25(4), 1367-1376

Doğan, O., & Odacıoğlu, O.G. (2019). An Experimental Study to Determine Sliding Shear Strength and Internal Friction Coefficient of Clay Brick Wall in a Masonry Building. International Journal of Engineering Research and Development, 11(2), 670-676.

Akgül M, Doğan O, Odacıoğlu O.G, (2022). A Review on Adherence in Reinforced Concrete. Civil Engineering Beyond Limits 4(1765) 1-7.

Yayınları (Diğer) :

Doğan O, Odacıoğlu O.G, Akgül M, Doğan H.N. "Mevcut Yığma Bir Binanın Kombine Yükler Altında Duvar Kesme Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi" 2. International Congress on Construction Materials Engineering And Architecture 24 May 2021. Ankara/Turkey.

Projeler:

Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP)- "Önüretimli panelle güçlendirilen yığma binalardaki kesme performansının araştırılması", Yürütücü: Prof. Dr. Orhan DOĞAN, Yardımcı Araştırmacı, 2021, Kırıkkale.