

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TUĞLA DUVARLARIN TEKSTİL DONATILI HARÇ (TRM) İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pelin Elif MEZREA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TUĞLA DUVARLARIN TEKSTİL DONATILI HARÇ (TRM) İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Pelin Elif MEZREA
(501101084)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101084 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Pelin Elif MEZREA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TARİHİ TUĞLA DUVARLARIN TEKSTİL DONATILI HARÇ (TRM) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Yrd. Doç. Dr. Mecit ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2014**

Annem Şevval Serpil MEZREA'ya,

ÖNSÖZ

Deneysel çalışmamın her adımında bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Alper İlki'ye teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden bilgisini, sabrını ve ilgisini esirgemeyen sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Mecit Çelik'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mesleğe adım atmamda ve mesleğimi benimsememde büyük payı olan, eğitim hayatım boyunca beni destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Recep İyisan'a teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olan İrem Ayşe Yılmaz'a, Medine İspir'e, Ergün Binbir'e, Ahmet Şahin'e, Deniz Korhan Dalgıç'a, Ali Osman Ateş'e, Hakan Saruhan'a ve Cem Demir'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmayı destekleyen Fyfe Co. LLC ve İTÜ BAP birimine teşekkür ederim.

Gösterdiği fedakarlık ile bu günlere ulaşmamı sağlayan sevgili annem Şevval Serpil Mezrea'ya, neşesi ile hayatımı renklendiren biricik kardeşim Serkut Efe Menlikli'ye ve varlığı ile bana her daim güç veren Alperen Belgiç'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Aralık 2013

Pelin Elif Mezrea
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Literatür Araştırması	3
1.4 Çalışmanın Kapsamı.....	7
2. MALZEME BİLGİLERİ.....	9
2.1 Genel.....	9
2.2 Malzeme Özellikleri	9
2.2.1 Tuğla.....	9
2.2.2 Derz harcı.....	17
2.2.3 Sıva	21
2.2.4 Tekstil malzeme	23
3. NUMUNE TASARIMI VE ÜRETİMİ.....	25
3.1 Giriş	25
3.2 Numune Tasarımı	26
3.2.1 Genel özellikler	27
3.2.2 Numune üretimi.....	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMAYA HAZIRLIK	31
4.1 Güçlendirme İşlemi	31
4.1.1 Numune hazırlığı.....	31
4.1.2 Tekstil malzemenin uygulanması.....	32
4.1.3 Ankraj uygulaması.....	33
4.2 Deney Düzeneği	37
4.2.1 Yükleme düzeneği	37
4.2.2 Ölçüm düzeneği.....	40
4.2.2.1 Yerdeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi	40
4.2.2.2 Şekildeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi	41
5. DİYAGONAL BASINÇ DENEYLERİ	43
5.1 Giriş	43
5.2 Numunelerde Hasar Gelişimi ve Gözlemler	44
5.2.1 Grup-1'e ait deneyler.....	44
5.2.2 Grup-2'ye ait deneyler.....	46
5.2.3 Grup-3'e ait deneyler.....	49
5.2.4 Grup-4'e ait deneyler.....	52

5.2.5 Grup-5'e ait deneyler	56
5.2.6 Grup-6'ya ait deneyler.....	59
5.2.7 Grup-7'ye ait deneyler	63
5.3 Deney Sonuçları.....	65
5.3.1 Grup-1'e ait sonuçlar.....	67
5.3.2 Grup-2'ye ait sonuçlar.....	68
5.3.3 Grup-3'e ait sonuçlar.....	70
5.3.4 Grup-4'e ait sonuçlar.....	71
5.3.5 Grup-5'e ait sonuçlar.....	72
5.3.6 Grup-6'ya ait sonuçlar.....	74
5.3.7 Grup-7'ye ait sonuçlar.....	75
5.4 Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi	77
5.4.1 Giriş.....	77
5.4.2 Yük kapasitesi.....	77
5.4.3 Kayma dayanımı	80
5.4.4 Kayma şekildeğiştirmesi	82
5.4.5 Rijitlik.....	83
5.4.6 Tüketilen enerji	84
6. SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

FRP	: Lif takviyeli polimer
BFRP	: Bazalt lif takviyeli polimer
CFRP	: Karbon lif takviyeli polimer
TRM	: Tekstil donatılı harç
BTRM	: Bazalt lif donatılı harç
CTRM	: Karbon lif donatılı harç
LVDT	: Yerdeğiştirmeölçer
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tuğla numuneleri birim hacim ağırlıkları.	10
Çizelge 2.2 : Tuğla su emme deneyi verileri.	12
Çizelge 2.3 : Tuğla numuneleri basınç deneyi sonuçları.	14
Çizelge 2.4 : Tuğla numuneleri eğilme dayanımı değerleri.	17
Çizelge 2.5 : Derz harcı numune boyutları.	19
Çizelge 2.6 : Derz harcı eğilme dayanımı değerleri.	20
Çizelge 2.7 : Derz harcı numuneleri basınç dayanımı değerleri.	21
Çizelge 2.8 : Düşük dayanımlı sıva numuneleri eğilme ve basınç dayanımları.	22
Çizelge 2.9 : Orta dayanımlı sıva numuneleri eğilme ve basınç dayanımları.	23
Çizelge 2.10 : Lifli ızgara malzeme donatılı harcın mekanik özellikleri.	24
Çizelge 3.1 : Numune isimlendirme formülü.	27
Çizelge 3.2 : Numune isimlendirilmesinde kullanılan semboller.	27
Çizelge 3.3 : Duvar numunelerinin geometrik ve karakteristik özellikleri.	28
Çizelge 4.1 : Çelik yükleme başlığına ait özellikler.	38
Çizelge 5.1 : Deney grupları ve numune karakteristikleri.	43
Çizelge 5.2 : Numunelerin maksimum yük kapasitesi değerleri.	77
Çizelge 5.3 : Lifli malzeme mekanik özellikleri.	79
Çizelge 5.4 : Numunelerin kayma dayanımı.	80
Çizelge 5.5 : Numunelerin kayma şekil değiştirmesi değerleri.	83
Çizelge 5.6 : Numunelerin tüketilen enerji değerleri.	85
Çizelge 5.7 : Numunelerin ortalama tüketilen enerji değerleri.	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Leone ve diğ. deney numuneleri göçme biçimleri.....	7
Şekil 2.1 : Tarihi yapıdan alınan tuğla örnekleri.....	9
Şekil 2.2 : Tuğla birim hacim ağırlıkları ölçümü.....	10
Şekil 2.3 : Tuğla nominal boyutları ve sembolik gösterim.....	10
Şekil 2.4 : Tuğla su emme deneyi hazırlığı.....	11
Şekil 2.5 : Basınç deneyi uygulanacak tuğla numuneleri.....	12
Şekil 2.6 : Başlık uygulanmış tuğla numuneleri.....	13
Şekil 2.7 : Tuğla basınç deneyi düzeneği.....	13
Şekil 2.8 : Tuğla basınç deneyinde hasar gelişimi.....	14
Şekil 2.9 : Tuğla basınç deneyi grafikleri.....	15
Şekil 2.10 : Eğilme deneyi numuneleri ve deney düzeneği geometrisi.....	16
Şekil 2.11 : Tuğla eğilme deneyinde hasar gelişimi.....	16
Şekil 2.12 : Derz harcı karışımında kullanılan malzemeler.....	17
Şekil 2.13 : Derz harcı hazırlanması.....	18
Şekil 2.14 : Derz harcı numunelerinin alınması.....	18
Şekil 2.15 : Derz harcı numuneleri.....	18
Şekil 2.16 : Derz harcı eğilme deneyi.....	19
Şekil 2.17 : Derz harcı basınç deneyi düzeneği.....	20
Şekil 2.18 : Derz harcı basınç deneyi örnek numune.....	20
Şekil 2.19 : Sıva harç numuneleri ile eğilme ve basınç deneyleri.....	22
Şekil 2.20 : Orta dayanımlı sıva numuneleri ile eğilme ve basınç deneyleri.....	23
Şekil 2.21 : Tekstil lifli malzeme.....	24
Şekil 2.22 : Bazalt lifli ve karbon lifli malzeme.....	24
Şekil 3.1: Referans, sıvalı ve güçlendirilmiş duvar numuneleri.....	25
Şekil 3.2 : Duvar numunesi nominal boyutları.....	27
Şekil 3.3 : Çizelge 3.3’de gösterilen l, b ve h.....	28
Şekil 3.4 : Numune örme işlemine hazırlık.....	29
Şekil 3.5 : Duvar örme işlemi aşamaları.....	30
Şekil 4.1 : Numunelerde yüzey hazırlığı.....	31
Şekil 4.2 : Duvar numunelerine sıva uygulanması.....	32
Şekil 4.3 : Tekstil malzemenin uygulama aşamaları.....	33
Şekil 4.4 : Bazalt lifli ankrajlar.....	33
Şekil 4.5 : Duvar ön ve arka yüzünde çubuk idealleştirilmesi.....	34
Şekil 4.6 : Ankraj delikleri yerleşimi.....	34
Şekil 4.7 : Ankraj deliklerinin açılması.....	35
Şekil 4.8 : Ankraj uygulamasına hazırlık.....	36
Şekil 4.9 : Ankraj uygulaması detayları.....	36
Şekil 4.10 : Ankraj uygulaması.....	37
Şekil 4.11 : Diyagonal basınç deneyleri yükleme çerçevesi.....	37
Şekil 4.12 : Çelik yükleme başlığı.....	38
Şekil 4.13 : Referans numuneleri kaplama aşamaları.....	39

Şekil 4.14 : Diyagonal basınç deneyleri yükleme düzeneği.	39
Şekil 4.15 : Numune tam boy ölçüm sistemi.	40
Şekil 4.16 : Numune orta kısım ölçüm sistemi.	41
Şekil 4.17 : Numunelerde şekildeğiştirmeölçer yerleşimi.	42
Şekil 5.1 : D-0-0-0 (1) numunesi hasar gelişimi.	45
Şekil 5.2 : D-0-0-0 (2) numunesi hasar gelişimi.	46
Şekil 5.3 : D-0-L-0 (1) numunesinin hasar gelişimi.	47
Şekil 5.4 : D-0-L-0 (2) numunesinin hasar gelişimi.	48
Şekil 5.5 : D-B-L-0 (1) numunesi hasar gelişimi.	50
Şekil 5.6 : D-B-L-0 (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.	51
Şekil 5.7 : D-B-L-0 (2) numunesi hasar gelişimi.	52
Şekil 5.8 : D-B-L-A (1) numunesi hasar gelişimi.	53
Şekil 5.9 : D-B-L-A (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.	54
Şekil 5.10 : D-B-L-A (2) numunesi hasar gelişimi.	55
Şekil 5.11 : D-B-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi.	57
Şekil 5.12 : D-B-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.	57
Şekil 5.13 : D-B-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi.	58
Şekil 5.14 : D-B-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.	59
Şekil 5.15 : D-B-T-A (1) numunesi hasar gelişimi.	60
Şekil 5.16 : D-B-T-A (1) numunesi deney sonu görüntüsü.	61
Şekil 5.17 : D-B-T-A (2) numunesi hasar gelişimi.	62
Şekil 5.18 : D-B-T-A (2) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.	62
Şekil 5.19 : D-C-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi.	64
Şekil 5.20 : D-C-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi.	65
Şekil 5.21 : Yerdeğiştirme ölçüm sistemi.	66
Şekil 5.22 : Grup-1'e ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	67
Şekil 5.23 : Grup-1'e ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafiği.	68
Şekil 5.24 : Grup-2'ye ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	69
Şekil 5.25 : Grup-2'ye ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafiği.	69
Şekil 5.26 : Grup-3'e ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	70
Şekil 5.27 : Grup-3'e ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafiği.	70
Şekil 5.28 : Grup-4'e ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	71
Şekil 5.29 : Grup-4'e ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafiği.	72
Şekil 5.30 : Grup-5'e ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	73
Şekil 5.31 : Grup-5'e ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme.	73
Şekil 5.32 : Grup-6'ya ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	74
Şekil 5.33 : Grup-6'ya ait yatay yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	75
Şekil 5.34 : Grup-7'ye ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.	76
Şekil 5.35 : Grup-7'ye ait düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafiği.	76
Şekil 5.36 : Numunelerde ortalama yük kapasitesi artış oranı.	78
Şekil 5.37 : Numunelerde ortalama kayma dayanımı artış oranı.	81
Şekil 5.38 : Numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekildeğiştirmesi grafikleri.	84
Şekil 5.39 : Numunelerde ortalama tüketilen enerji artış oranı.	85

TARİHİ TUĞLA DUVARLARIN TEKSTİL DONATILI HARÇ (TRM) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, 1930’lu yıllarda inşa edilmiş tarihi fakat anıtsal olmayan bir binanın yıkımı sırasında toplanan hasarsız tuğlalar ile üretilmiş duvar numunelerinin güçlendirme öncesi ve sonrası kayma davranışı irdelenmiştir. Binanın taşıyıcı duvarlarının özgün mekanik özelliklerini temsil etmesine özen gösterilerek yeniden üretilmiş derz harcı ile toplam 14 adet duvar numunesi imal edilmiştir. Deney numuneleri yaklaşık boyutları 755x755x235 mm şeklindedir. İki adet numune referans davranışı incelemek için güçlendirme yapılmadan yalın halde, iki adet numune düşük dayanımlı harç ile sıvalı ve on adet numune farklı kombinasyonlar ile güçlendirilmiş şekilde diyagonal basınç yüklemesi altında denenmiştir. Tüm deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiş ve yükleme monotonik olarak yapılmıştır.

Deneysel çalışmada incelenen parametreler; sıva harcının mekanik özellikleri, donatı olarak kullanılan tekstil malzemenin cinsi ve ankraj uygulamasıdır. Sıva harcının kayma davranışındaki etkisini belirlemek amacıyla, düşük dayanımlı ve orta dayanımlı olmak üzere iki çeşit sıva uygulanmıştır. Karbon veya bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirilmiş numunelerin diyagonal basınç yükleri altında davranışı incelenerek lif cinsinin etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca dört adet numuneye süreksiz ankraj uygulaması yapılarak ankrajın kayma davranışındaki etkisi incelenmiştir.

Güçlendirme yapılan numunelerde tekstil malzemenin yüzeye yapıştırılmasında harç kullanılmıştır. Uygulamada alışılmış olan polimer malzeme yerine harcın kullanılmasının başlıca sebepleri; harcın yığma malzeme ile uyumlu çalışması, maliyetinin polimere kıyasla az olması ve yüzey ile etkin aderans sağlayacağı öngörüsüdür.

Tüm numunelerin hasar gelişimi gözlenmiş ve göçme modu belirlenmiştir. Diyagonal basınç yüklemesi altında denen numuneler; maksimum yük kapasitesi, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi, kayma modülü ve tüketilen enerji başlıkları altında kıyaslanmıştır.

Gerçekleşen deneyler sonucunda tüm numunelerin ortak göçme biçimini paylaştığı belirlenmiştir. Buna göre numuneler yatay derz düzlemi üzerinde kayarak göçmüştür. Herhangi bir güçlendirme ve sıva uygulanmayan referans numuneleri gevrek şekilde göçerken, yalnız sıvalı numunelerde referans numunelere göre daha sünek şekilde göçtüğü gözlenmiştir. Güçlendirme uygulanan numunelerin göçme modu ise hem referans hem de yalnız sıvalı numunelere kıyasla oldukça sünek biçimdedir.

Kayma dayanımı ve yük taşıma kapasitesi açısından numuneler karşılaştırıldığında; sıvaya ait mekanik özelliklerin dayanım artışında belirleyici olduğu, tekstil malzemenin de bu artışı desteklediği görülmüştür. Ankraj uygulaması, kayma dayanımı açısından dikkat çekici bir artışa neden olmazken numunelerin

deformasyon kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. Tekstil malzeme ile güçlendirme tüm numunelerde şekildeğiştirme yeteneğini belirgin biçimde iyileştirmiştir.

Numunelerin kayma modülü elastik bölgede tanımlandığından ve tekstil malzeme henüz maksimum yüke ulaşmadan önce etkisini göstermediğinden, tekstil malzeme ile güçlendirme rijitliğe etkisi belirgin değildir.

Tüm deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, tekstil donatılı harç ile güçlendirilen ve diyagonal basınç yükleme altında denenen numunelerin gerek kayma dayanımı gerekse deformasyon kapasitesi dikkat çekici biçimde artmış ve kayma davranışı oldukça iyileşmiştir.

RETROFITTING OF HISTORICAL BRICK MASONRY WALLS WITH TEXTILE REINFORCED MORTAR

SUMMARY

Masonry structures do not require qualified workmanship; encourage using local resources and enable significant durability. Because of many advantages, masonry structures have been universally preferred. In general, primary load-bearing element of masonry structures are brick masonry walls. Despite that, horizontal loads are often ignored in design step of these walls. Material deterioration over time and remarkable earthquakes lead structural system to deficiency in terms of strength and ductility.

Turkey has important cultural heritage since many empires like Roman, Byzantine and Ottoman remained thousands of monumental structures. Intervention procedures enable to protect this heritage, avoid possible loss and hand over the future.

The type and mechanical characteristic of material used in masonry buildings and quality of workmanship cause great variety in structural behavior. There are inadequate researches in comparison to numerous existing masonry structures in Turkey. One of targets of this experimental study is to provide reference for historical masonry data especially which were built in the 1900s.

Strengthening application aims to improve strength and deformability characteristics of several elements or the whole structural system. Traditional strengthening techniques such as jacketing with shotcrete and prestressing with steel ties have certain disadvantages. They are time-consuming and not economical, create additional weight and restrict application areas. Therefore, new intervention procedures would be necessary.

The usage of textiles as a strengthening material for concrete and masonry structures based on the studies in 1980s. Experimental outcomes indicate that masonry walls strengthened with fiber reinforced polymer results in significant enhancement in terms of shear strength and deformability. On the other hand, the organic binder forms undesired effects: not efficient at low temperatures and on wet surfaces, lack of vapour permeability, high cost and health problems. Application of inorganic binder instead of organic one enables to avoid aforementioned disadvantages.

Not only improvement of structural properties but also preservation of genuine architectural properties should be offered by an optimum strengthening technique. Rehabilitation with textile-reinforced mortar satisfies all these features. Besides, it is easy to apply and removable. This study primarily intends to research experimentally the efficiency of retrofitting historical brick walls with textile reinforced mortar and compare the shear behavior of walls before and after strengthening procedure.

In order to achieve this target, a total of fourteen wall specimens are constructed with solid clay bricks. Bricks were obtained from a historical, but not monumental building which is constructed 85 years ago. A reproduced mortar that represents

original mortar characteristics is used for joints. Test parameters are type of plaster, type of textile (basalt and carbon) and application of anchorage.

This study consists of four main parts. In the first part, mechanical and physical tests were carried out to identify material characterization. Flexural and compression tests were performed on undamaged bricks which were collected from the historical building and reproduced mortar. The average flexural strength of the solid bricks was 1.7 MPa and obtained by six bricks. Standard deviation and coefficient of variation was 0.7 MPa and 0.42 respectively. The average compressive strength of fourteen half bricks found 9.0 MPa. Standard deviation and coefficient of variation was 2.3 MPa and 0.26, respectively. Both mechanical and physical test results indicate that bricks has relatively great coefficient of variation since they were produced regardless of a certain standard. Mortar is compatible with masonry and provides efficient adherence. Moreover, it is economical and reversible. So, unlike the literature, mortar was preferred to use as bonding material instead of polymers. The local mortar used for joints was reproduced to represent existing mortar characteristics whose design mixture comprises cement, lime, sand and water. Two different mortar types were used for each specimen as adhesive to plaster and bond fiber grids on the surface: the local mortar with sub-standard characteristics and a mortar that has relatively better mechanical characteristics, Tyfo C-matrix Type F. The average flexural and compression strengths of local mortar used for joints 90 days are calculated as 0.56 and 1.56 MPa, respectively. Compression tests were carried out on half specimens which were collected from bending tests. Water ratio in plaster was increased to achieve enough workability for both plastering surface and bonding the fiber efficiently. The average flexural and compressive strengths at 90 days were 0.41 and 1.09 MPa, respectively for local mortar which was applied as plaster. The average flexural and compression strengths at 90 days were 4.77 and 10.37 MPa, respectively for Tyfo C-matrix Type F. This part also contains features of textile materials.

The second part explains the design criteria and steps for construction of wall specimens. All specimens were constructed on a wood palette which was smeared with grease oil. Each masonry wall was composed of eight brick rows bonded with seven bed mortar joints and several head mortar joints. Some of rows contain half bricks at two edges to provide checker brickwork. The nominal dimensions of each masonry wall were 755x755x 235 mm (length x height x thickness). The longest side of brick (235 mm) was positioned to compose thickness of wall for not to encounter out-of plane deformations and slenderness effect. The thicknesses of bed joints and head joints were 21 mm and 13 mm respectively.

The third part contains strengthening procedure and test setup. Ten of specimens were retrofitted by applying one layer of open-grid fiber alternatives on each side of walls. The local mortar and Tyfo C-Matrix Type F were used to plaster and bond fibers on the surface. Two of specimens were control specimens, so open grid material or plaster was not applied. The installation phases of retrofitting procedure followed regular steps. The surfaces of each specimen were cleaned from the remaining particles and soaked with water adequately. Bonding matrix (the local mortar or Tyfo C-Matrix Type F) was applied on the wall surface with help of a trowel. Open-grid fiber layer (basalt or carbon) was embedded in whole surface of wall by hand and covered with plaster again. Open-grid layers were applied on both surfaces of walls aiming to avoid out-of plane effects. The ultimate mortar thickness including fiber layer was in a range of 15-25 mm and trowel used again to attain a

smooth surface. Within an half hour the strengthening procedure was completed, the surfaces of each specimen were soaked with water to avoid cracks on mortar. The implementation of basalt anchors which were supplied by manufacturer began with marking point of anchor holes. Compression strut lied along a diagonal between two opposite corner of the specimen which were subjected to loading and tension strut was perpendicular to it. Tension strut was axis of symmetry for anchor holes. Anchor points were marked on wall surface in the way that the distance between two points which were on the same diagonal was 45-50 cm and equidistant from corners. The distance between two points which were different side of symmetric axis was 17.5-20 cm. Geometrical tolerances were used to position anchor points on bed joints. Then, 7.5 cm depth discontinuous anchor holes Ø18 mm were opened by a drill into both wall surfaces and cleaned with high air pressure. Following that, the surfaces were plastered with one of the bonding matrices and the holes were revealed. The next step was applying open-grid material on the wall surface. After the holes were soaked with mortar which had more plastic consistency than plaster, they were filled with plaster mortar. Basalt anchors were screwed with steel bar in the holes. All anchor holes were covered with 20 x 20 cm square fiber layer after basalt anchors were placed. The final step was plastering the surface with bonding matrix. Two opposite corners of each wall specimen were capped with rapid-hardening gypsum aiming uniform loading. The experimental program was carried out approximately five months after the implementation of basalt/carbon fiber reinforced mortar. Overall wall specimens were subjected in-plane diagonal compression loading. A hydraulic jack with the load capacity of 500 kN is used to apply load and a 1000 kN load cell is used to record the applied load. Two linear variable differential transducers (LVDTs), one of which is vertical and the other is horizontal, with 25 mm capacity is placed for each side aiming to record deformation. Additionally, four LVDTs with 1000 mm capacity are positioned at four corners of the specimen in order to measure vertical deformation taking place through the diagonal of the specimen.

Fourth part aims to explain failure mode and numerical assessment for diagonal compression tests. The obtained experimental outcomes are examined based on the shear stress – average shear strain graphs. The graphs are obtained by four LVDTs which were placed in the middle of wall surface. In brief, quantitative results in terms of unreinforced strength, reinforced strength, shear deformation, shear modulus and energy dissipation were calculated for all specimens. The failure begins with vertical cracks occurred on both surfaces of wall just before maximum load for all specimens. After that, the joint sliding failure forming through a horizontal plane is a common failure mode for both control and reinforced specimens. Control specimens failed in a brittle manner due to the vertical cracks occurring at both left and right corners of the wall surfaces and the specimen lost its load carrying capacity suddenly. The strengthened specimens failed in a ductile manner with respect to controlled specimens. It is considered that failure type of specimens does not allow fiber grids to be efficient due to the sub-standard characteristics of the local mortar, the joint sliding occurred before debonding force.

The results obtained by this experimental study show that strengthening of historical brick masonry walls with textile-reinforced mortar is an efficient application to improve earthquake performance of shear walls both in terms of strength and deformability.

1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

1.1 Giriş

Yığma yapılar; esas taşıyıcı elemanı doğal taş, kumtaşı, tuğla gibi süneklikleri az, gevrek malzeme ile inşa edilmiş duvarlar olan, yapımında işçiliğin önemli olduğu, düşey ve yatay deprem yüklerine dayanımda duvar geometrisinin ve kullanılan malzeme özelliklerinin belirgin payı olduğu yapılardır, [1]. Yangın ve don dayanımının yüksek olması, yerel imkanlardan faydalanmaya olanak vermesi, nitelikli işçiliğin şart olmaması ve dayanıklılığı sebebiyle yığma yapılar hem ülkemizde hem de global ölçekte sıkça tercih edilmiştir. DİE'nin 2000 yılında gerçekleştirdiği bina sayımına göre taşıyıcı sistemi yığma olan yapılar Türkiye'deki binaların %51'ini oluşturmaktadır, [2]. Olumlu özelliklerine rağmen yığma yapıların taşıyıcı elemanı olan duvarlar, deprem kuvvetleri nedeniyle oluşan çekme gerilmelerini karşılayacak deformasyon yeteneğinden yoksundur, [3]. Nadiren yaşanan kuvvetli deprem etkisinin yanı sıra zaman içindeki bozunmalar, yapının hizmet amacına aykırı kullanılması gibi sebepler nedeniyle duvarlar yatay yük taşıma kapasitesi ve süneklik özelliği bakımından genellikle yetersiz kalmaktadır.

Türkiye; Roma, Bizans ve Osmanlı devrinde inşa edilmiş pek çok anıtsal yapıya sahiptir. Güçlendirme teknikleri sayesinde mevcut yığma yapıların oluşturduğu kültürel mirasın devamlılığını sağlamak, gerçekleştirilecek maddi ve manevi kayıpları engellemek mümkün olabilmektedir.

Güçlendirme, hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da bazı elemanların dayanımı ve şekildeğiştirme özelliklerinin iyileştirilmesidir, [4]. Püskürtme beton, harç enjeksiyonu, çelik gergiler ile öngerilme uygulaması gibi klasik güçlendirme yöntemlerinin; yapıda ciddi kütle artışı yaratması, uygulama alanının kısıtlı olması, uygulamanın zaman alması ve ekonomik olmaması gibi dezavantajlara sahip olması yeni güçlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur, [5].

Tekstil malzemeler 1980’li yıllardan itibaren güçlendirme amaçlanarak betonarme veya yığma yapı elemanları üzerinde kullanılsa da özellikle son yıllarda uygulama sıklığı oldukça artış göstermiştir, [6]. Literatürde tekstil malzemenin yapı elemanları yüzeyine yapıştırılması için polimer malzeme kullanılmıştır. Lifli polimer uygulaması (FRP) olarak adlandırılan bu yöntem ile tekrarlı ve monotonik yükleme altında duvarların kayma davranışı ve şekildeğiştirme yeteneğinin iyileştiği görülmektedir. Buna rağmen FRP ile güçlendirme tekniği, nemli yüzeylerde ve düşük sıcaklıkta uygulama zorluğu, epoksinin yüksek maliyeti, buhar geçirgenliğinin olmaması gibi olumsuz özelliklere sahiptir, [7]. Bahsedilen eksiklikler tekstil malzeme yüzeye yapıştırılırken organik bağlayıcı yerine inorganik malzeme (harç) tercih edilmesi ile giderilebilmektedir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yığma yapıların kültürel mirasımızdaki payı, inşası sırasında kullanılan malzemelerin, bu malzemelerin dayanımlarının ve işçilik kalitesinin yapı davranışı bakımından sebep olduğu çeşitlilik ile mevcut yığma yapı miktarının fazlalığı göz önüne alındığında yapılan araştırma sayısı yetersiz kalmaktadır.

Kültürel mirasın devamlılığını sağlamak, olası maddi ve manevi kayıpları engellemek amacıyla güçlendirme uygulaması yapılırken yapısal özellikleri iyileştirmenin yanı sıra; yapının özgün tarihi dokusunun, mimari özelliklerinin korunması ve uygulama kolaylığı aranan özellikler olmalıdır. Tekstil donatılı harç ile güçlendirme (TRM) , aranan bu özellikleri sağlamasının yanında, geri döndürülebilir olması nedeniyle de klasik güçlendirme yöntemlerine alternatif sunmaktadır.

Tekstil malzemenin yüzeye yapıştırılmasında; yığma malzeme ile uyumlu çalıştığı, etkin aderans sağladığı, ekonomik olması ve gerektiğinde uygulamanın kaldırılmasını mümkün kıldığı için harç tercih edilmiştir. Harç-duvar ve harç-tekstil donatı arayüzlerinde mümkün olduğunca fazla aderans elde etmek için ızgara şeklinde lifli malzeme kullanılmıştır.

Tez çalışmasında amaçlanan, yığma duvar numunelerinin tekstil donatılı harç ile güçlendirme öncesi ve sonrasında kayma davranışını incelemektir. Ayrıca çalışmada deneysel olarak belirlenen malzeme özelliklerinin 1930’lu yıllarda inşa edilen tarihi yığma yapılar için referans olacağı düşünülmüştür.

1.3 Literatür Araştırması

Triantafillou [8], lifli polimer malzemelerle güçlendirilmiş yığma duvarları, düzlem dışı eğilme, düzlem içi eğilme ve düzlem içi kayma etkileri altında deneysel olarak incelemiş ve deneylerden elde edilen sonuçları, analitik bağıntılarla ifade etmiştir. Söz konusu etkiler altındaki yığma duvarların davranışına, lifli polimer malzemesinin olumlu etkisi, deneysel olarak gösterilmiştir. Güçlendirilmiş numunelerde, lifli polimerin numune yüzeyinden ayrılması sonucu göçmenin gerçekleştiği ve ankraj uygulamasının davranış üzerinde olumlu etki sağladığı belirtilmiştir.

Corradi ve diğ. [9], Umbria-Marche depreminde zarar gören yığma yapılardan elde edilen hasarlı veya hasarsız 15 duvar numunesi üzerinde yerinde ve laboratuvarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Klasik güçlendirme tekniği olan enjeksiyon ile lifli polimer malzemelerle (cam ve karbon) güçlendirme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Numune yüzlerine lifli polimerlerin yapıştırılmasında harç ve epoksi reçinesi kullanılmıştır. Basınç, diyagonal basınç ve kayma-basınç deneylerine tabi tutulan numunelerde Young modülü, kayma dayanımı ve kayma elastisite modülü araştırılmıştır. Yürütülen deneyler sonucunda, lifli polimer tekniği ile güçlendirilen numunelerde dayanım oldukça artış gösterirken, bu numunelerin göçme nedeninin lifli polimerin yüzeyden ayrılması olduğu belirtilmiştir. Epoksi reçinesinin yapıştırıcı olarak kullanıldığı numunelerde aderans, harç kullanılan numunelere göre daha fazla olduğundan, kayma dayanımı bu numunelerde daha fazla artış göstermiştir. Hidrolik harç enjeksiyonu hasarlı numunelerde dayanım ve rijitliği arttırırken hasarsız numunelerde aynı etkiyi göstermemiştir.

Lifli polimer uygulamasının yığma duvarların kayma davranışı üzerinde etkisini araştırmak amaçlı dokuzu güçlendirilmemiş toplam otuz üç numune üzerinde deney programı yürüten Valluzzi ve diğ. [10]; deney parametreleri olarak numunenin bir veya iki yüzüne uygulama, lifli polimer cinsi, lifli polimerin uygulama şekli ve katman sayısını seçmişlerdir. Deneyler sonucunda, tek yüzüne güçlendirme uygulanan numunelerde asimetrik güçlendirme nedeniyle oluşan rijitlik farkı sonucunda eğilme deformasyonu gözlenmiş ve hasarın büyük bölümü güçlendirilmemiş yüzde oluşmuştur.

Bu sonuca rağmen, ağ şeklindeki uygulama gevrek davranışı engellemede daha başarılı sonuç vermiştir. Güçlendirilmiş numunelerin göçme nedeni, lifli polimerin yüzeyden ayrılması olup rijitliği görece az olan lifli polimer cinsinin kayma dayanımı arttırmada daha etkili olduğu belirtilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar, kayma dayanımının tahmini için kullanılan analitik modeller ile karşılaştırılmıştır.

El-Dakhkhni ve diğ. [11], yapılarda rastlanan iç bölme yığma duvarların güçlendirilmesinin yapı davranışı üzerindeki etkisini iki aşamada araştırmışlardır. Güçlendirme tekniği olarak cam lifli polimer uygulaması tercih edilmiştir. İlk aşama, 24 numunenin yatay derzlere dik ve paralel olarak basınç etkisine tabi tutulması ve diyagonal çekme etkisi altında davranışın incelenmesinden oluşmuştur. İkinci aşamada ise güçlendirmenin yalın çelik çerçeveden oluşan zayıf çerçeve serileri ve dolgu ile birlikte güçlü çerçeve serileri üzerinde etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde vurgulanan sonuçlar, lifli polimer ile güçlendirme tekniğinin rijitlik ve dayanımı attırırken istenmeyen gevrek göçmeyi önleyerek dikkate değer hasar gördükten sonra bile duvar bütünlüğünün korunmasıdır.

Prota ve diğ. [12], Akdeniz ülkelerinde bulunan tarihi yapılarda, kullanımı yaygın olan sünger taşı ile örülen yığma duvarlar üzerinde deneysel çalışma yürütmüştür. 12 adet duvar numunesinin 4 adedi kontrol numunesi olarak tasarlanmıştır. Güçlendirme aşaması, yapıştırıcısı cam lifli veya çimento esaslı harç olan cam lifli polimerin numune yüzeyine ağ şeklinde uygulanmasını kapsamaktadır. Lifli polimer numunenin tek yüzüne veya her iki yüzüne ve bir kat veya iki kat uygulanarak farklı kombinezonlar oluşturulmuştur. Numunelerin düzlem içi deformasyonunu ve dayanımını belirlemek amacıyla numuneler diyagonal yüklemeye tabi tutulmuştur. Yürütülen deneyler sonucunda, özellikle her iki yüzüne ikişer kat cam lifli polimer uygulanan numunelerde, kayma dayanımı ve süneklik gibi mekanik özelliklerde önemli bir artış elde edilmiştir. Yalnızca bir tarafı güçlendirilen numunelerde oluşan düzlem dışı deformasyonlar nedeniyle gevrek göçme modu görülmüştür.

130 yaşındaki bir binanın restorasyon çalışması kapsamında elde edilen tuğlalar ile oluşturulan yığma duvarlar üzerinde lifli polimer güçlendirme tekniğinin etkileri İlki ve diğ. [13] tarafından diyagonal çekme deneyleri ile araştırılmıştır. Yapıdaki orijinal harcı temsil etmek amacıyla belirli oranlarda çimento, su, kum ve kireç karıştırılarak deneme karışımları yapılmış ve en uygun karışım oranı duvarların örülmesinde kullanılmıştır.

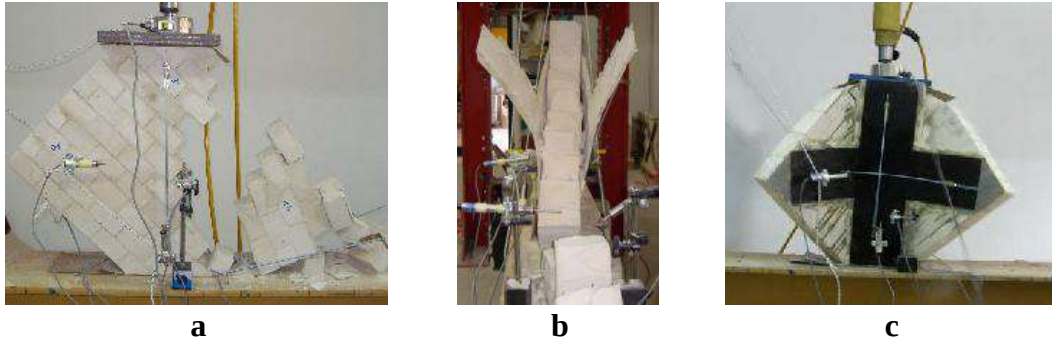
Kontrol numunesi hariç diğer numunelerde yüzeye sürülen harç üzerine cam lifli polimer uygulaması yapılmıştır. Lifli polimerin katman sayısı ve ankraj uygulamasının davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yürütülen deneyler sonucunda yüksek dayanımlı harcın ve lifli polimer uygulamasının dayanımı %157-234 oranında arttırdığı, deformasyon yeteneğini ise %263-388 oranında arttırdığı görülmüştür. Lifli polimerin numune yüzeyinden ayrılmasıyla gerçekleşen ani dayanım kaybı, numunelerin göçmesine neden olmuştur. Numunelerin kapasitesini belirleyen esas bileşenin; lifli polimer, astar veya yapıştırıcının değil tuğlanın çekme dayanımı olduğu vurgulanmıştır. Ankraj uygulaması ile ani dayanım kaybı engellenmiş ve numunelerin sünekliği artmıştır.

Alcaino ve diğ. [14], düzlem içi kayma etkisi yaratacak yüklemeler altında, 1/1 ölçekli yatay delikli tuğlalar ile örülmüş yığma duvarları, lifli polimer ile güçlendirme tekniğinin etkisini araştırmak için test etmişlerdir. Bu kapsamda üçü güçlendirilmemiş, on üçü karbon lifli polimer ile güçlendirilmiş toplam on altı numune, kayma göçmesi eğilme göçmesinden önce gerçekleşecek şekilde tasarlanmış, duvar sonlarına 25 mm çapında çelik donatılar yerleştirilerek test edilmiştir. Lifli polimer yatay bantlar veya yatay ile 45° lik açı yapan diyagonal bantlar şeklinde tekli veya üçlü olarak, zımparalanmış ve harç uygulanarak düzleştirilmiş numunelerin yüzleri üzerine uygulanmıştır. Düzenlenen deneylerde bir diğer parametre, numunelerde kayma etkisine çalışacak çelik donatının var olup olmamasıdır. Lifli polimer ile güçlendirilmiş tekniği çelik ile donatılandırılmış numunelerde daha efektif olup çelik ile donatılandırılmamış numunelere göre daha fazla dayanım artışı ve çatlak oluşturan yükün daha büyük değere ulaştığı görülmüştür. Numunelerin yatay rijitliği, enerji yutma kapasitesi ve eşdeğer sönüm oranı incelendiğinde lifli polimer uygulanmasının etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Yüzeyleri üzerinde, yatay veya diyagonal, yalnızca bir bant bulunan numunelerin; yüzeylerinde üçer bant bulunan numunelere göre daha gevrek göçme modu ile dayanımını yitirdiği ve deformasyon kapasitesinin daha az olduğu belirtilmiştir. Diyagonal bant uygulaması gerçekleştirilen numunelerde, yatay bantlara sahip numunelere göre 13-84% oranında daha fazla dayanım ve 51-146% oranında deformasyon kapasitesi artışı görülmüştür. Güçlendirilmiş duvarların maksimum dayanımını ve çatlağın oluştuğu dayanımı tahmin etmeye yönelik çalışmalar da yapılmıştır.

Leone ve diğ. [15], yığma duvarlarda bazalt lifli polimer ile güçlendirmenin etkinliğini değerlendirmek amacı ile kayma deneyleri gerçekleştirmiştir. Numunelerin yapı taşı İtalya yöresine özgü 10x5x10 cm boyutlarında, basınç ve eğilme dayanımı sırasıyla 19.47 MPa ve 4.31 MPa olan Lecce taşıdır. Numune üretiminde kullanılan harca ait basınç ve eğilme dayanımı sırasıyla 0.40 ve 0.26 MPa olup, 650x650x100 mm boyutlarında 10 adet duvar numunesi üretilmiştir. BFRP güçlendirmesi numunelerin bir kısmında, eksantrisitenin etkisini gözlemlemek amacıyla yalnız bir yüze uygulanırken diğer numunelerde her iki yüze uygulanmıştır. Deneylerde incelen bir başka değişken tekstil malzemenin yüzeye uygulama şeklidir geometrisidir. Bazalt lifli malzeme diyagonal bantlar ve yüzeye yayılı grid olmak üzere iki farklı geometride uygulanmıştır. Numunelerin düşey, yatay ve düzlem-dışı deformasyonlarını kaydetmek amacıyla, her iki yüze düşey, yatay ve düzlem dışı LVDT'ler yerleştirilmiştir. Deney gözlemleri ve verilerin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar:

- Referans numunelerin beklendiği gibi gevrek karakterde davranışla, taş ve tuğla arasındaki derz düzleminde kayma nedeniyle dayanımını yitirmiştir, Şekil 1.1(a).
- Her iki yüzü bazalt lifli ile güçlendirilen numuneler, lifli polimer tabakasının duvar yüzeyinden ayrılması sonucu dayanımını yitirmesi sonucu göçmüştür, Şekil 1.1(b).
- Yalnız bir yüzüne güçlendirme yapılan numunelerin düzlem-dışı deformasyonlar nedeniyle göçtüğü görülmüştür, Şekil 1.1(c). Numunelere yerleştirilen LVDT'ler yardımı ile toplanan veriler, asimetrik uygulamada numunenin bir yüzünde kısalma diğer yüzünde uzama meydana geldiğini göstermiştir. Asimetrik uygulama sonucu, numunedeki rijitlik farkı eğilme deformasyonuna sebep olmuştur.
- Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde; güçlendirilmiş numuneler, referans numunesinin nihai yük seviyesine dek benzer davranış göstermiştir. Bu durum güçlendirmenin sözü edilen seviyeye dek bir katkısının olmadığı beklentisini doğrulamıştır. Tek istisna düzlem-dışı deformasyon oluşan asimetrik uygulamalı numunelerdir.

- Her iki yüzünde de BLP ile güçlendirilmiş numunelerde, grid geometrisi kayma şekildeğiştirmesi açısından diyagonal uygulamadan daha etkili olmuştur.
- Diyagonal BLP geometrisi, kayma dayanımını hem simetrik (%82-120) hem de asimetrik uygulamada (%41-107) daha çok arttırmıştır.
- Grid BLP geometrisi uygulanan numunelerin, diyagonal BLP geometrisi uygulanan numunelere göre daha sünek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1.1 : Leone ve diğ. deney numuneleri göçme biçimleri.

1.4 Çalışmanın Kapsamı

Deneysel çalışma kapsamında, 1930’lu yıllarda inşa edilmiş tarihi ve anıtsal olmayan bir binanın yıkımı sırasında toplanan hasarsız tuğlalar ile toplam 14 adet duvar numunesi üretilmiştir. Duvarların üretiminde, binanın taşıyıcı duvarlarında bulunan harcın orijinal mekanik özelliklerini temsil etmesine dikkat edilerek yeniden üretilmiş derz harcı kullanılmıştır. Deney numuneleri nominal boyutları 755x755x235 mm şeklindedir.

Diyagonal basınç yüklemesi altında ve güçlendirme yapılmadan yalın halde denen en iki adet numune ile referans davranış belirlenmiştir. İki adet numune düşük dayanımlı harç ile sıvalı ve on adet numune farklı kombinasyonlar ile güçlendirilmiş şekilde denenmiştir. Tüm deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiş ve yükleme monotonik olarak yapılmıştır.

Sıva harcının mekanik özellikleri, donatı olarak kullanılan tekstil malzemenin cinsi ve ankraj uygulaması parametre olarak seçilmiştir. Numune yüzeylerine düşük dayanımlı ve orta dayanımlı olmak üzere iki çeşit sıva uygulanarak sıva harcının kayma davranışındaki etkisi incelenmiştir. Lif cinsinin etkisini değerlendirmek amacıyla numuneler karbon veya bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirilmiştir.

Ayrıca dört adet numuneye süreksiz ankraj uygulaması yapılarak ankrajın kayma davranışındaki etkisi incelenmiştir.

Tüm numunelerin hasar gelişimi gözlenmiş ve göçme modu belirlenmiştir. Diyagonal basınç yüklemesi altında denenen numuneler; maksimum yük kapasitesi, kayma dayanımı, kayma şekildeğiştirmesi, kayma modülü ve tüketilen enerji başlıkları altında kıyaslanmıştır.

2. MALZEME BİLGİLERİ

2.1 Genel

Malzemeye ait karakteristiklerin bilinmesi, yığma duvarların yük altında davranışının açıklanması ve sonuçların değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, numunelerin üretiminde kullanılan derz harcı, tuğla ve sıva harcında gerçekleştirilen malzeme deneyleri, sonuçları ve lifli malzemelerin üretici tarafından sağlanan mekanik özellikleri bu başlık altında sunulmuştur.

2.2 Malzeme Özellikleri

2.2.1 Tuğla

1930’lu yıllarda inşa edilmiş tarihi bir binanın yıkılması sırasında toplanan hasarsız tuğlalar ile binadaki orijinal taşıyıcı duvarları temsil edecek şekilde numune üretimi hedeflenmiştir. Tarihi yapıdan toplanan tuğlalardan örnekler Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 : Tarihi yapıdan alınan tuğla örnekleri.

Binanın yıkımı ile elde edilen tuğlalar harman tuğlası olup, üretiminde herhangi bir standart takip edilmemiştir. Bu nedenle, tuğlaların boyutları ve mekanik özellikleri değişim göstermektedir. Rastgele seçilen 15 adet tuğlanın birim hacim ağırlıkları ölçülmüştür, Şekil 2.2.

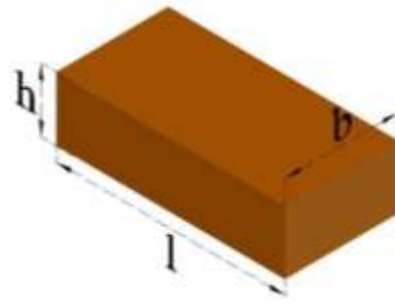


Şekil 2.2 : Tuğla birim hacim ağırlıkları ölçümü.

Tuğlalar ortalama 235x115x70 mm nominal boyutlara sahiptir, Şekil 2.3(a). Tuğlaların boyutları belirtilirken l, b ve h sırası ile uzunluk, genişlik ve yüksekliği ifade etmektedir, Şekil 2.3(b).



a



b

Şekil 2.3 : Tuğla nominal boyutları ve sembolik gösterim.

15 adet tuğla malzemesine ait geometrik boyutlar, hacimler ve ağırlıklar yardımı ile hesaplanan birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Tuğla numuneleri birim hacim ağırlıkları.

Numune İsmi	Boyutlar (cm)			Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Birim hacim ağırlık (g/cm ³)
	b _{ort}	l _{ort}	h _{ort}			
T1	11.00	23.75	7.50	1959.38	2845.20	1.45
T2	11.30	23.00	6.70	1741.33	2686.90	1.54
T3	10.90	22.35	6.25	1522.59	2609.70	1.71
T4	11.25	22.75	7.05	1804.36	2603.40	1.44
T5	11.35	23.50	7.00	1867.08	2956.80	1.58
T6	10.75	23.25	6.75	1687.08	2622.60	1.55
T7	11.15	23.50	6.70	1755.57	2766.30	1.58
T8	11.20	23.75	6.85	1822.10	2803.60	1.54
T9	11.15	23.35	6.45	1679.27	2607.40	1.55
T10	11.25	23.20	6.45	1683.45	2540.90	1.51
T11	11.00	23.00	6.50	1644.50	2637.20	1.60
T12	10.75	22.60	6.50	1579.18	2538.70	1.61
T13	11.40	22.85	7.00	1823.43	2764.70	1.52
T14	11.15	23.35	7.25	1887.56	2673.80	1.42
T15	10.80	22.80	6.60	1625.18	2535.90	1.56
Ortalama					2679.54	1.545
Standart sapma					123.98	0.074
Varyasyon katsayısı					0.046	0.048

Tuğla malzemenin su emme kapasitesi araştırılırken ASTM C67-11 standardının talimatları takip edilmiştir. Buna göre, en az 5 adet tuğla test edilmeli ve yarım tuğla olarak kesilmelidir. Bu çalışmada toplam 8 adet tam tuğladan 16 adet yarım tuğla elde edilmiştir, Şekil 2.4(a). Aynı tuğladan elde edilen yarım tuğla parçalarına ait boyutlar arasındaki farkın en fazla 2.54 cm olmasına dikkat edilmiştir. Yarım tuğlaların öncelikle 110-115 °C aralığında sıcaklığa sahip ortamda 24 saatten az olmamak üzere kurutulması gerektiğinden, kesilen tuğlalar 112 °C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat bekletilmiştir, Şekil 2.4(b).



a



b



c

Şekil 2.4 : Tuğla su emme deneyi hazırlığı.

Numunelerin ağırlık ölçümü 2 saat aralıklarla yapılmıştır. Ardışık iki ölçüm arasındaki fark % 0.2'yi geçmediği takdirde malzemenin kuruduğu varsayılmaktadır. Kurutma işlemini takiben soğutma işlemi uygulanmıştır. Malzemeler, %30-70 aralığında neme ve 12-32 °C aralığında sıcaklığa sahip bir ortamda birbirine değmeden en az 4 saat bekletilmesi gerektiğinden %55.6 nemli ve 22.2 °C sıcaklıktaki bir odada 24 saat soğumaya bırakılmıştır.

Bu işlemten sonra numuneler 15.5-30 °C aralığında sıcaklıkta temiz suda tamamen su içerisinde kalacak şekilde bekletilmelidir. Tuğlalar soğutma işleminin ardından

22.1 °C sıcaklığa sahip havuzda 24 saat bekletilmiştir, Şekil 2.4(c). Havuzdan çıkarılan numuneler 5 dakika bekletilmiş ve yüzeylerdeki su, temiz bez yardımı ile silinmiştir. Numune isimlendirilmesi n numune numarasını, Y yarım numunenin adını belirtecek şekilde n-Y olarak yapılmıştır. Numunelerin boyutları, ağırlıkları, ıslak ağırlıkları ve su emme yüzdeleri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 : Tuğla su emme deneyi verileri.

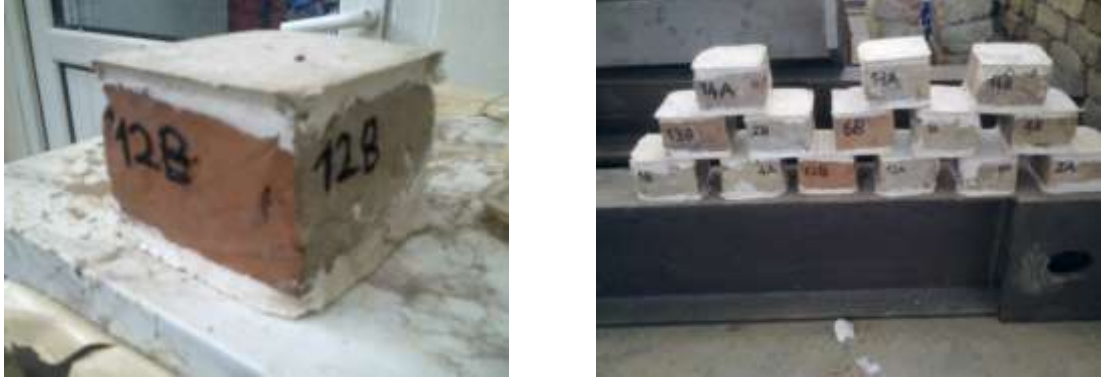
Numune İsmi	Boyutlar (cm)			Kurutma öncesi ağırlık (g)	Etüv 1.ölçüm W_d (g)	Etüv 2.ölçüm W_d (g)	Fark <%0,2	Islak ağırlık W_s (g)	Su emme (%)
	b_{ort}	l_{ort}	h_{ort}						
1-C	11.75	11.80	7.33	1581	1552	1552	-	1742	12.23
1-D	11.75	11.25	7.33	1470	1430	1430	0.014	1607	12.42
2-C	11.20	11.35	6.93	1305	1273	1273	-	1356	6.52
2-D	11.20	11.30	6.93	1339	1293	1293	-	1545	19.49
3-C	11.75	11.05	6.68	1432	1412	1412	0.014	1438	1.83
3-D	11.75	11.95	6.68	1502	1475	1475	-	1707	15.7
4-C	11.25	11.20	7.03	1455	1359	1359	-	1624	19.55
4-D	11.25	11.75	7.03	1529	1423	1423	-	1703	19.7
5-C	11.30	10.90	7.08	1324	1294	1294	-	1312	1.38
5-D	11.30	11.85	7.08	1498	1439	1439	-	1662	15.46
6-C	11.40	10.50	6.68	1245	1219	1219	-	1228	0.77
6-D	11.40	11.30	6.68	1350	1312	1312	0.008	1521	15.92
7-C	11.40	11.85	7.30	1511	1468	1468	-	1569	6.91
7-D	11.40	11.75	7.30	1505	1469	1469	-	1786	21.61
8-C	11.45	11.25	7.08	1357	1321	1321	0.008	1403	6.19
8-D	11.45	11.85	7.08	1448	1398	1398.5	-	1680	20.19
Ortalama (%)									12.24
Varyasyon katsayısı									0.598

Tuğlaların basınç dayanımını belirlemek üzere ASTM C67-11 standartında yer alan talimatlar takip edilmiştir. Toplam 7 adet tam tuğla, 14 adet yarım tuğla elde edilecek şekilde kesilerek boyutlarda gerekli kontroller yapılmıştır, Şekil 2.5. Yukarıda bahsedilen koşullarda kurutma ve soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.



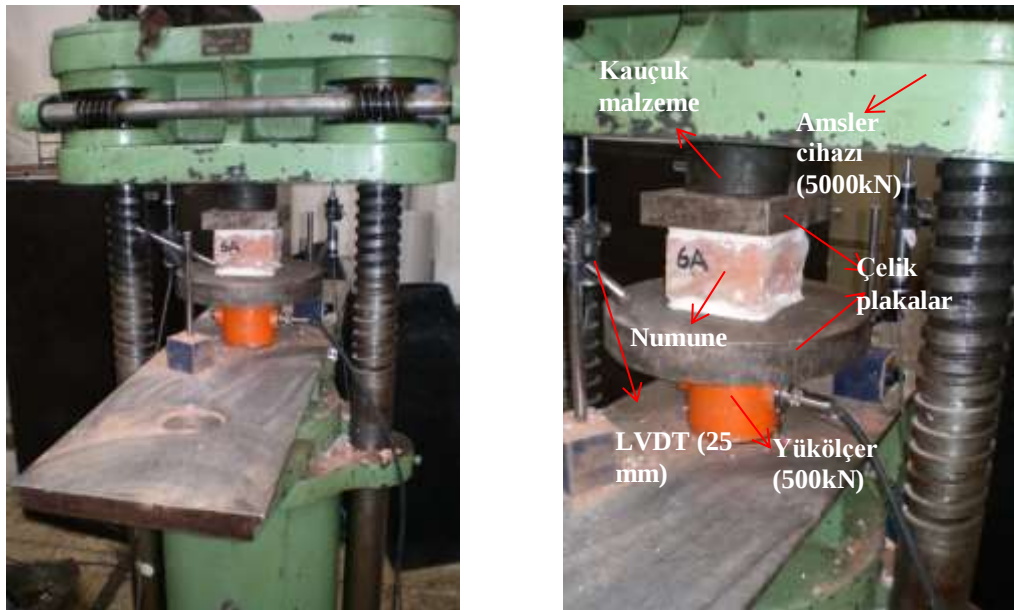
Şekil 2.5 : Basınç deneyi uygulanacak tuğla numuneleri.

Yarım tuğla numunelerine yüzeylerin düzgün olması ve uygulanacak yükün doğrusal dağılması amaçlanarak alçıdan başlık yapılmıştır, Şekil 2.6. Başlık malzemesi olarak alçının tercih edilmesinin sebebi, düşük dayanıma sahip olması nedeniyle deney sonuçlarını etkilemeyeceğinin öngörülmesidir.



Şekil 2.6 : Başlık uygulanmış tuğla numuneleri.

Standart basınç deneyi, kapasitesi 5000 kN Amsler preste gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında iki adet 25 mm kapasiteli LVDT ve 500 kN kapasiteli yükölçer kullanılmıştır. Yerdeğiştirmeölçerlerden kaydedilen değerler ile basınç gerilmesi-şekildeğiştirme grafikleri çizilmiştir. Veriler elektronik TML TDS-303 yardımı ile toplanıp GP-IB kablosu ile Visual Log.Ver 2.21.4 yüklü bilgisayara aktarılmıştır. Deney düzeneği Şekil 2.7’de görülmektedir. Tuğlalar üzerinde basınç yüklemesi ile oluşan hasar gelişimi bir örnek ile Şekil 2.8’den takip edilebilir.



Şekil 2.7 : Tuğla basınç deneyi düzeneği.



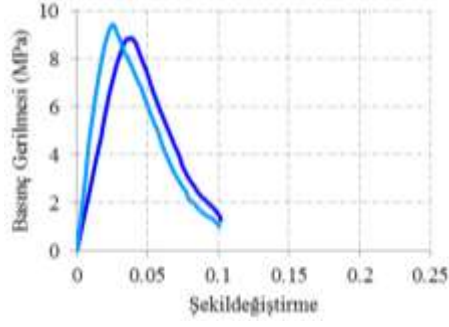
Şekil 2.8 : Tuğla basınç deneyinde hasar gelişimi.

Numunelerin isimlendirilmesi n numune numarasını, X yarım numunenin adını simgeleyecek şekilde n-X olarak yapılmıştır. Numunelerin standart basınç deneyi sonucunda elde edilen ortalama basınç dayanımları, elastisite modülleri ve ilk çatlağın oluştuğu yük seviyesi Çizelge 2.4’de özetlenmiştir.

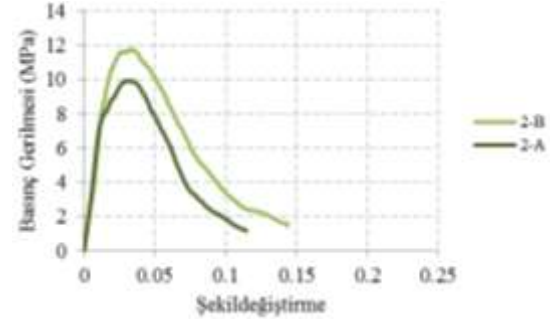
Çizelge 2.3 : Tuğla numuneleri basınç deneyi sonuçları.

Numune ismi	İlk çatlak oluşturan yük (t)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1-A	5.8	8.88	277
1-B	11.0	9.44	505
2-A	10.0	9.95	625
2-B	11.3	11.77	547
4-A	5.5	11.96	675
4-B	7.5	9.10	568
6-A	4.5	7.79	249
6-B	3.0	7.60	156
12-A	6.8	6.88	460
12-B	5.6	6.32	282
13-A	6.5	11.90	653
13-B	7.0	12.67	914
14-A	8.0	6.55	425
14-B	4.0	5.86	243
Ortalama		9.05	470
Standart sapma		2.33	213
Varyasyon katsayısı		0.26	0.45

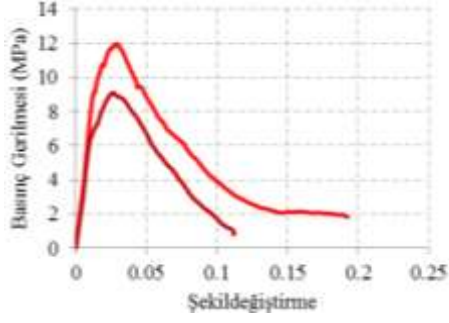
Gerilme-şekildeğiştirme grafiğinin yükselen kolunda, basınç dayanımının %30’u ile %60’ı arasındaki gerilmeler ve bu seviyelerde gerçekleşen şekildeğiştirme değerlerinin (x-y çiftleri) oluşturduğu lineer doğrunun eğimi elastisite modülü olarak tanımlanmıştır, [16]. Aynı tuğla bütününe ait yarım tuğlalarda basınç deneyi sonuçlarından elde edilen grafikler Şekil 2.9’da sunulmuştur. Bu grafikler, basınç deneyi düzeneğine yerleştirilen ve 25 mm kapasiteli iki adet LVDT yardımı ile çizilmiştir.



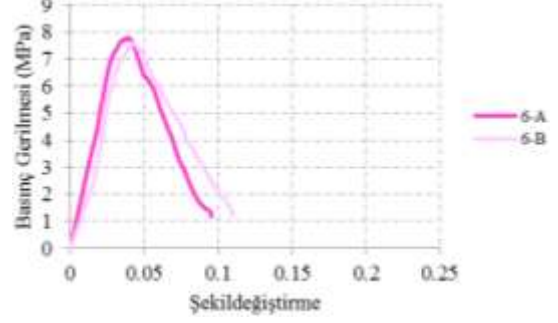
a



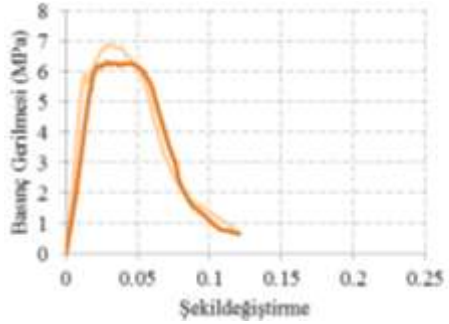
b



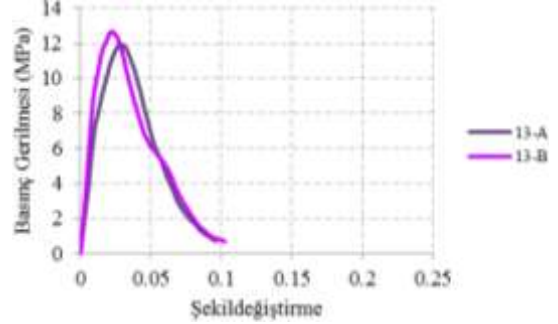
c



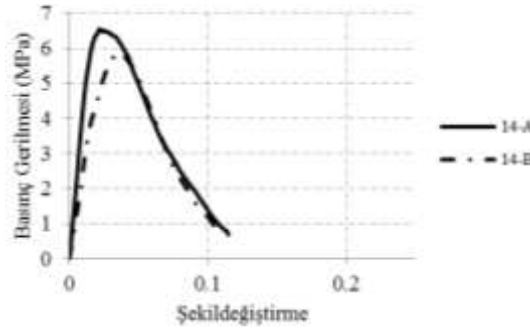
d



e



f



g

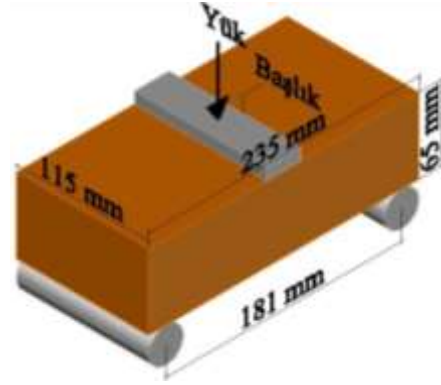
Şekil 2.9 : Tuğla basınç deneyi grafikleri.

Tuğla numunelerinin eğilme dayanımını belirlemek amacıyla üç noktalı eğilme deneyi düzenlenmiştir. Deney esnasında ASTM C67-11 standardında yer alan talimatlar uygulanmıştır. Buna göre, eğilme dayanımını belirlemek için en az 5 adet tam boy numune denenmelidir ve numuneler öncelikle kurutma işlemine tabi tutulmalıdır. Toplam 6 adet tam boy tuğla numunesi 112 °C sıcaklıktaki etüvde 24

saat bekletilmiştir, Şekil 2.10(a). Numune yüzeyindeki pürüzleri gidermek ve yükün düzgün dağılması için tamir harcından başlık yapılmıştır. Standart talimatlarında belirtilen geometrik kısıtlara uygun deney düzeneği ve boyutları Şekil 2.10(b)'de gösterilmiştir.



a



b

Şekil 2.10 : Eğilme deneyi numuneleri ve deney düzeneği geometrisi.

Yükün çizgisel dağılmasını sağlamak adına şerit şeklinde çelik çubuk kullanılmıştır. Eğilme deneyi 5000 kN kapasiteli Amsler marka preste gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında numunelerin hasar gelişimi Şekil 2.11'den takip edilebilir.



Şekil 2.11 : Tuğla eğilme deneyinde hasar gelişimi.

Yük değeri 7 kN kapasiteli ring yardımı ile belirlenmiştir. Göçmenin gerçekleştiği anda devir sayısı ringden okunmuş ve Denklem 2.1'de yerine koyularak yük değeri (N) elde edilmiştir. Eğilme dayanımı değeri ise Denklem 2.2'den yararlanılarak belirlenmiştir, [17]. Deney numuneleri nE şeklinde isimlendirilmiştir, n numune numarasını, E ise eğilme deneyini ifade etmektedir. 7 adet tuğla numunesine ait geometrik özellikler ve eğilme dayanımları Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

$$P = 2.303 \times \text{Devir} \quad (2.1)$$

$$P = \frac{1.5 \times P \times L}{b \times h^2} \quad (2.2)$$

Çizelge 2.4 : Tuğla numuneleri eğilme dayanımı değerleri.

Numune ismi	l_{ort} (cm)	h_{ort} (cm)	b_{ort} (cm)	Ring okuması (tur)	Yük (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1E	22.70	6.80	10.95	975	2245	1.2
2E	23.25	6.93	10.95	880	2027	1.05
3E	22.70	6.73	11.10	1892	4357	2.36
4E	23.65	7.08	10.95	1775	4088	2.02
5E	23.20	6.85	11.10	765	1762	0.92
6E	23.00	6.85	10.90	2073	4774	2.53
Ortalama						1.68
Standart sapma						0.71
Varyasyon katsayısı						0.42

2.2.2 Derz harcı

Duvar numunelerinin imalatında kullanılan tuğlaların toplandığı yaklaşık 85 yaşındaki tarihi binadan hasarsız harç örnekleri edinmek mümkün olmamıştır. Bu nedenle orijinal harcın mekanik özellikleri belirlenememiştir. Çalışmada duvar numunelerinin derzlerinde kullanmak üzere yeniden üretilen harcın tarihi yapının orijinal derz harcının mekanik özelliklerini yansıtmayı amaçlanmıştır. Seçilen harç karışımı çimento, kireç, su ve kum bileşenlerini içermektedir, ağırlıkça karışım oranları sırası ile 1:2:2.9:15 şeklindedir. İspir [18], farklı harç karışım oranlarını incelemiş ve bu oranın tarihi binalarda kullanılan derz harçlarının mekanik özelliklerini temsil ettiğini ifade etmiştir.

Derz harcının hazırlanmasında Akçansa tarafından üretilen PÇ 42.5 çimento, Paksan tarafından üretilen söndürülmüş toz kireç (CL 80 S), Nur Ticaret tarafından satışa sunulan dere kumu kullanılmıştır, Şekil 2.12. Harç hazırlama aşamaları Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Derz harcı karışımında kullanılan malzemeler.



Şekil 2.13 : Derz harcı hazırlanması.

Harç hazırlama işlemini takiben mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak harç numuneleri alınmıştır. Harç, önceden temizlenmiş ve yağlanmış kalıplara boşluk kalmamasına dikkat edilerek ve düzgün yüzey oluşturarak keski ile koyulmuştur, Şekil 2.14. Ardından kalıpların konduğu sarsma tablası çalıştırılmış ve harcın kalıba iyice yerleşmesi sağlanmıştır, Şekil 2.15(a).

Numuneler 7 gün sonra kalıplardan çıkartılmış toplam 18 adet harç numunesi elde edilmiştir, örnekler Şekil 2.15(b)'de görülmektedir.

Harç numunelerinin nominal boyutları 160x40x40 mm olup isimlendirme nE şeklinde yapılmıştır, n numune numarasını, E ise eğilme deneyini simgelemektedir.



Şekil 2.14 : Derz harcı numunelerinin alınması.



a

b

Şekil 2.15 : Derz harcı numuneleri.

Harç numuneleri 7, 14, 28, 90 ve 326 gün (yaklaşık olarak diyagonal basınç deneylerinin başladığı tarih) sonra eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. İlk olarak üç noktalı eğilme deneyi Amsler marka preste gerçekleştirilmiştir, deney düzeneği ve numune hasar durumu Şekil 2.16'dan takip edilebilir.



Şekil 2.16 : Derz harcı eğilme deneyi.

Göçme sırasında 7 kN kapasiteli ringden okunan devir sayısı denklem (2.3)'te yerine konarak bu seviyedeki yük (N) belirlenmiştir. Denklem (2.4) kullanılarak harç numunelerinin eğilme dayanımları belirlenmiştir. Numune boyutları Çizelge 2.5'te verilmiştir. Derz harcına ait 7, 14, 28, 90 ve 326.gün ortalama eğilme dayanımı değerleri ve istatistiksel bilgiler Çizelge 2.6'da özetlenmiştir.

$$P = 2.303 \times \text{Devir} \quad (2.3)$$

$$P = \frac{1.5 \times P \times L}{b \times h^2} \quad (2.4)$$

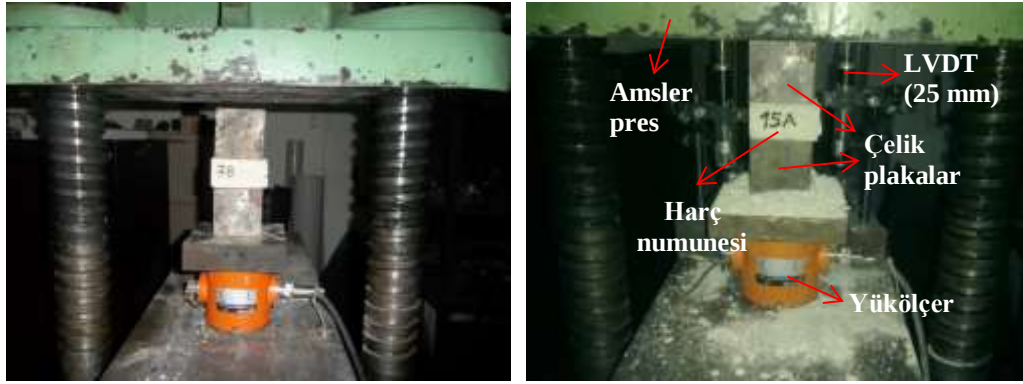
Çizelge 2.5 : Derz harcı numune boyutları.

Numune İsmi	Boyutlar (cm)		
	b _{ort}	l _{ort}	d _{ort}
7E	4.1	16.0	4.0
11E	4.1	16.0	4.0
8E	4.0	16.0	4.1
9E	4.0	16.0	3.9
12E	4.1	16.0	4.0
14E	4.0	16.0	4.1
15E	4.1	16.2	4.2
17E	4.0	16.1	4.2
18E	4.0	16.1	4.3
3E	4.1	16.0	4.0
4E	4.1	16.0	4.0

Çizelge 2.6 : Derz harcı eğilme dayanımı değerleri.

Deney günü	Ortalama eğilme dayanımı (MPa)	Standart sapma (MPa)	Varyasyon Katsayısı
7.gün	0.48	0.03	0.05
14.gün	0.52	0.03	0.06
28.gün	0.46	0.02	0.04
90.gün	0.56	0.03	0.06
326.gün	0.61	0.03	0.05

Derz harçlarının basınç dayanımlarını belirlemek için eğilme deneyinden elde edilen numune parçaları kullanılmıştır. 5000 kN kapasiteye sahip Amsler preste kurulan düzenek ile standart basınç deneyi yapılmıştır. 500 kN kapasiteli yükölçer ve yerdeğiştirmeleri kaydetmek için iki adet 25 mm kapasiteli LVDT kullanılmıştır. TML TDS-303 yardımı ile toplanan veriler GP-IB kablosu ile Visual Log.Ver 2.21.4 yüklü bilgisayara aktarılmıştır. Deney düzeneği Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Basınç deneyi sonunda tamamen ezilmeden önce örnek harç numunesinin bulunduğu durum Şekil 2.18’de görölmektedir.



Şekil 2.17 : Derz harcı basınç deneyi düzeneği.



Şekil 2.18 : Derz harcı basınç deneyi örnek numune.

Numunelerin isimlendirilmesi n numune numarasını, X yarım numunenin adını gösterecek şekilde nX simgesi ile yapılmıştır. Derz harcı numunelerinin standart basınç deneyi ile belirlenen ortalama basınç dayanımları 7, 14, 28, 90 ve 326.gün için istatistiksel veriler ile Çizelge 2.7’de sunulmuştur.

Çizelge 2.7 : Derz harcı numuneleri basınç dayanımı değerleri.

Deney günü	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Standart sapma (MPa)	Varyasyon katsayısı
7.gün	0.71	0.02	0.02
14.gün	1.09	0.18	0.17
28.gün	1.40	0.30	0.21
90.gün	1.56	0.19	0.12
326.gün	2.03	0.09	0.04

2.2.3 Sıva

Yığma duvar numunelerinin kayma davranışında sıva çeşidinin etkisini incelemek üzere tez kapsamında iki farklı sıva çeşidi kullanılmıştır.

Birinci sıva çeşidi, Bölüm 2.2.2’de ayrıntılı olarak anlatılan ve orijinal harç özelliklerini taşıdığı düşünülen derz harcında su bileşeni değiştirilerek elde edilmiştir. Çimento, kireç, su ve kum bileşenlerinden oluşan ve sırası ile ağırlıkça karışım oranı 1:2:2.9:15 olan derz harcı karışımı, duvar yüzeyine uygulandığında karışımın kuru kıvamı nedeniyle yapışmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, ilgili karışımdaki su miktarı aşama aşama ve mümkün olduğunca az arttırılarak duvar yüzeyine yapışması sağlanmıştır. Harcın mekanik özelliklerini iyileştirmemek ve orijinal harcın özelliklerini taşımaya devam etmesi amaçlanarak karışımdaki çimento oranı değiştirilmemiştir. Son durumda çimento, kireç, su ve kum bileşenlerinin ağırlıkça karışım oranı 1:2:3.72:15 şeklindedir. Bu sıva çeşidi deney matrisi Çizelge 3.2’de L (local mortar) sembolü ile gösterilecektir. Sıva harcının mekanik özelliklerini belirlemek için Bölüm 2.2.2’de açıklanan yöntem izlenerek 160x40x40 mm boyutlarında harç numuneleri alınmıştır. Bu numunelerin üretiminden 28 ve 90 gün sonra numuneler üzerinde sırası ile üç noktalı eğilme deneyi ve eğilme deneyinden elde edilen parçalar üzerinde standart basınç deneyi gerçekleştirilmiştir, Şekil 2.19. Numunelerin isimlendirilmesi eğilme deneyi için, L düşük dayanımlı sıva olduğunu, n ise numune numarasını göstermek üzere Ln şeklinde yapılmıştır.



a



b

Şekil 2.19 : Sıva harç numuneleri ile eğilme ve basınç deneyleri.

Standart basınç deneyi için numune isimlendirmesi Ln-N simgesi ile yapılmıştır. Burada L düşük dayanımlı sıvayı, n numune numarasını, N ise parça ismini göstermektedir. Numunelere ait ortalama 28.gün ve 90.gün eğilme ve basınç dayanımları ile istatistiksel bilgiler Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Düşük dayanımlı sıva numuneleri eğilme ve basınç dayanımları.

Veri bilgisi	Eğilme Dayanımı(MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
	28.gün	90.gün	28.gün	90.gün
Ortalama	0.34	0.41	0.87	1.09
Standart sapma	0.06	0.02	0.08	0.03
Varyasyon katsayısı	0.04	0.05	0.03	0.05

İkinci çeşit sıva ise üretici tarafından hazır toz bileşenin su ile karıştırılması ile hazırlanan orta dayanımlı sıvadır. Üretici firma tarafından toz karışım ve suyun ağırlıkça karışım oranı sırası ile 15:2.5 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu sıva çeşidi deney matrisi Çizelge 3.2’de T (Tyfo C-matrix Type F) sembolü ile gösterilecektir. Orta dayanımlı sıvadan 160x40x40 mm boyutlarında alınan harç numuneleri ile bu numunelerin üretiminden 28 ve 90 gün sonra sırası ile üç noktalı eğilme deneyi ve eğilme deneyinden elde edilen parçalar üzerinde standart basınç deneyi düzenlenmiştir, Şekil 2.20.



a



b

Şekil 2.20 : Orta dayanımlı sıva numuneleri ile eğilme ve basınç deneyleri.

Numunelerin isimlendirilmesi eğilme deneyi için, C (C-matrix) orta dayanımlı sıva olduğunu, n ise numune numarasını göstermek üzere Ln şeklinde yapılmıştır. Standart basınç deneyi için numune isimlendirmesi CnN simgesi ile yapılmıştır. Burada C (C-matrix) orta dayanımlı sıvayı, n numune numarasını, N ise parça ismini göstermektedir. Numunelere ait ortalama 28.gün ve 90.gün eğilme ve basınç dayanımları ile istatistiksel bilgiler Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9 : Orta dayanımlı sıva numuneleri eğilme ve basınç dayanımları.

Veri bilgisi	Eğilme Dayanımı(MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
	28.gün	90.gün	28.gün	90.gün
Ortalama	2.75	4.77	9.83	10.37
Standart sapma	0.02	0.05	0.03	0.04
Varyasyon katsayısı	0.06	0.08	0.05	0.06

2.2.4 Tekstil malzeme

Bu tez çalışmasında, güçlendirme işlemi için iki çeşit tekstil malzeme kullanılmıştır. Böylece tekstil malzeme cinsinin, güçlendirme ile duvar numunelerinin kayma davranışında göstereceği etkinlik araştırılmıştır. Fyfe Co. LLC. tarafından üretilmiş ve her iki yönde de (yatayda ve düşeyde) çalışan rulo şeklinde ızgara tekstil malzeme, numune yüzeyine uygun ölçülerde kesilerek kullanılmıştır. Izgara lifli malzemeler Şekil 2.21’de görülmektedir. Güçlendirilen numunelerde bazalt veya karbon lifli ızgara malzeme donatı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.21 : Tekstil lifli malzeme.

Bazalt lifli ızgara malzemenin 25x25 mm göz boyutlarına sahiptir, Şekil 2.22(a). Karbon lifli ızgara malzeme ise 30x30 mm gözlerden oluşmaktadır, Şekil 2.22(b).



a



b

Şekil 2.22 : Bazalt lifli ve karbon lifli malzeme.

Bazalt lifli ve karbon lifli ızgara malzeme Çizelge 3.2’de sırası ile B ve C harfleri ile belirtilecektir. Çizelge 3.2’de T harfi (Tyfo C-matrix) ile simgelenecek orta dayanımlı sıva ile bazalt veya karbon lifli ızgara malzemenin 5 mm kalınlıklı kompozit haline ait mekanik özellikler üretici tarafından sağlanmıştır, Çizelge 2.10.

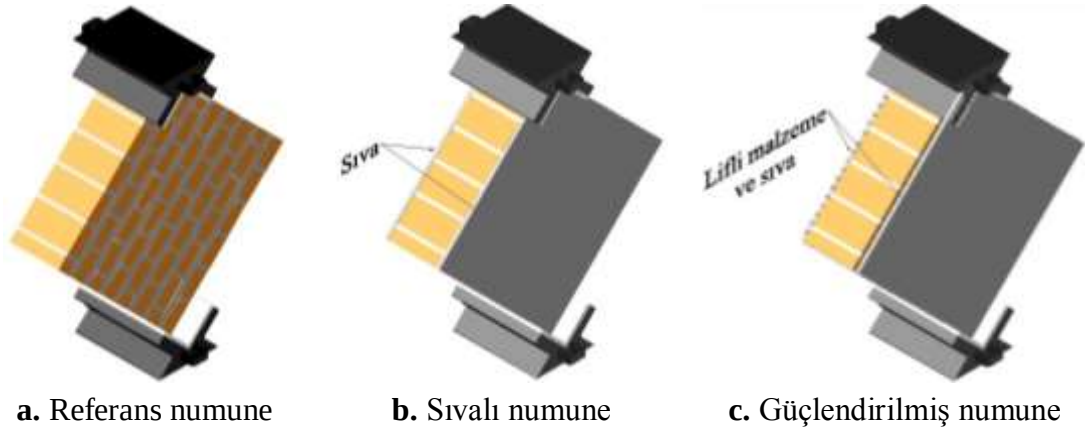
Çizelge 2.10 : Lifli ızgara malzeme donatılı harcın mekanik özellikleri.

Tekstil Malzeme	Çekme Dayanımı (f_f) (MPa)	Elastisite Modülü (E_f) (MPa)	Kopma Uzaması (ızgara) (ϵ_{fu}) (%)	Nominal Ağırlık (ızgara) (gr/m ²)	Kalınlık (t_f) (mm)
Bazalt	6.0	370	1.62	170	5
Karbon	8.4	500	1.68	220	5

3. NUMUNE TASARIMI VE ÜRETİMİ

3.1 Giriş

Bu yüksek lisans tezinde araştırma konusu olan numunelerin imalat, güçlendirme ve deneysel aşamaları İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Deprem Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 2 adet numune referans davranışı gözlemek amacı ile güçlendirilmeden, 2 adet numune tarihi binanın orijinal harcının mekanik özelliklerini temsil eden düşük dayanımlı harç karışımı ile sıvanarak ve 10 adet numune farklı güçlendirme kombinasyonları kullanılarak denenmiştir, Şekil 3.1. Numunelerin, diyagonal çekme oluşturan ve monoton artan yükler altında kayma davranışı tetkik edilmiştir.



Şekil 3.1: Referans, sıvalı ve güçlendirilmiş duvar numuneleri.

Duvar numunelerinin her iki yüzeyine iki farklı sıva uygulaması yapılmış, böylece sıva çeşidinin güçlendirmeye etkisini gözlemek amaçlanmıştır. Birinci sıva çeşidi tarihi binanın orijinal harcının mekanik özelliklerini yansıtan düşük dayanımlı harç ile hazırlanmıştır. Numunelerde derz harcı olarak kullanılan karışımın işlenebilirliği yeterli olmadığından, derz harcı karışım oranına ait su miktarı biraz arttırılmıştır. İkinci sıva çeşidi, üretici firma tarafından sağlanan hazır kuru karışıma su ilavesi ile elde edilen orta dayanıma sahip bir harçtan oluşmaktadır. Bu sıva çeşitlerine ait mekanik özellikler Bölüm 2.2.3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Lifli malzeme ile güçlendirme, eksantrik etkilerden kaçınmak ve planladığı gibi düzlem içi deformasyonların oluşmasını sağlamak amacıyla, numunelerin her iki yüzüne uygulanmıştır. Bazalt ve karbon malzemedan oluşmak üzere iki ayrı lifli malzeme kullanılmıştır. Lifli malzemelere ait mekanik ve geometrik özellikler Bölüm 2.2.4’de açıklanmıştır.

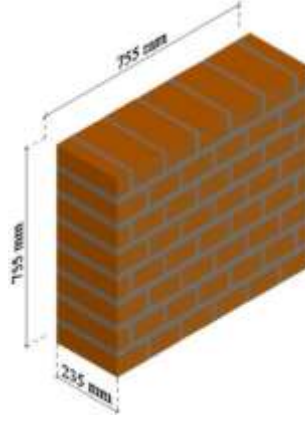
Lifli malzeme, bağlayıcı ile aderansının mümkün olduğunca fazla olması için ızgara şeklinde tercih edilmiştir ve numunenin tüm yüzeyine uygulanmıştır.

Güçlendirme aşamasında incelen bir diğer değişken duvar yüzeylerinde kullanılan ankraj uygulamasıdır. Ankraj uygulamasına ait detaylar Bölüm 4.1.3’de anlatılacaktır.

Farklı kombinasyonlardan oluşan güçlendirme uygulamaları ile amaçlanan taşıyıcı duvar elemanların kayma dayanımı ve ilgili şekildeğiştirme kapasitesinin arttırılmasıdır.

3.2 Numune Tasarımı

Bu çalışmada toplam 14 duvar numunesi; 1930’ lu yıllarda inşa edilmiş tarihi bir binanın yıkılması sırasında elde edilen ve ortalama basınç dayanımı 9.00 MPa olan hasarsız tuğlalar ve binanın orijinal harcının mekanik özelliklerini yansıtan 28 günlük ve 90 günlük ortalama basınç dayanımları sırası ile 1.40 MPa ve 1.53 MPa olan harç kullanılarak üretilmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen diyagonal basınç deneyleri ASTM E519/E519M-10 standardının talimatlarını esas almıştır. Söz konusu standartta numune boyutlarının minimum 1200x1200 mm olması gerektiği belirtilmektedir. Ancak deneysel çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı’nda gerçekleştirildiğinden, yükleme araçlarının kapasitesi ve fiziksel şartları numune tasarımı aşamasında göz önüne alınmıştır. Duvar numunelerinin nominal boyutları 755x755x235 mm olup, Şekil 3.2’ de görülmektedir. Narinlik etkisinden kaçınmak ve düzlem dışı deformasyon oluşumunu engellemek amacıyla tuğlaların uzun boyutları (235 mm) duvar kalınlığını oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2 : Duvar numunesi nominal boyutları.

3.2.1 Genel özellikler

Duvar numuneleri taşıdığı karakteristikleri yansıtacak şekilde isimlendirilmiştir. Numune isimleri sıva çeşidi, lifli malzeme çeşidi ve ankraj detayına göre değişmektedir. İsimlendirme D-X-Y-Z (n) formülüne göre yapılmıştır, Çizelge 3.1.

Çizelge 3.1 : Numune isimlendirme formülü.

D	X	Y	Z	(n)
Diyagonal basınç deneyi	Tekstil malzeme çeşidi hanesi	Sıva çeşidi hanesi	Ankraj uygulaması hanesi	Numune setindeki numara hanesi

Numunelerin tümü diyagonal basınç etkisi altında denendiğinden, isimlendirme **D** sembolü ile başlamaktadır, daha sonraki haneler ise sırası ile kullanılan lifli malzeme çeşidi, sıva çeşidi, ankraj uygulaması ve numune numarasını belirtmektedir. **0** sembolü, ilgili hanede uygulamanın olmadığını belirtir. Kullanılan sembollerin detaylı açıklamaları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

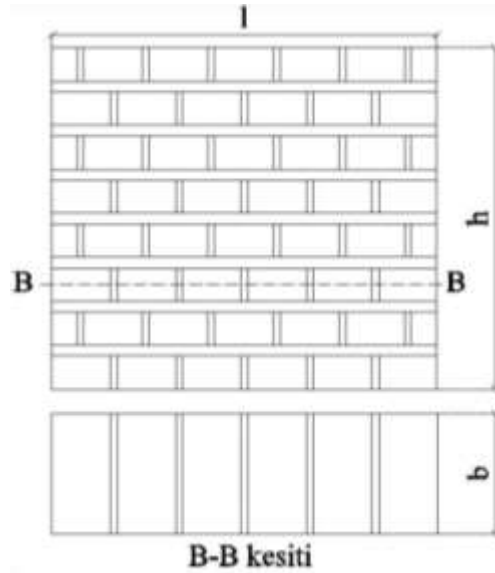
Çizelge 3.2 : Numune isimlendirilmesinde kullanılan semboller.

Semboller	Açıklamalar
D	Diyagonal basınç yüklemesi
0	İlgili hanede uygulama bulunmuyor
B	Bazalt lifli malzeme
C	Karbon lifli malzeme
T	Orta dayanımlı sıva
L	Düşük dayanımlı sıva
A	Ankraj uygulaması
(1)	İlgili numune setinde 1.numune
(2)	İlgili numune setinde 2.numune

14 adet duvar numunesine ait geometrik ve karakteristik özellikler ise Çizelge 3.3’de özetlenmiştir. Numunelerin Çizelge 3.3’de ifade edilen geometrik boyutları (l,b ve h) Şekil 3.3’de sembolik olarak numune üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Duvar numunelerinin geometrik ve karakteristik özellikleri.

Numune İsmi	Boyutlar (cm)			Sıva		Lifli Malzeme		Ankraj	
	l*	h*	b*	Düşük dayanımlı	Orta dayanımlı	Bazalt	Karbon	Var	Yok
D-0-0-0 (1)	75.5	74.9	26.3	-	-	-	-	-	X
D-0-0-0 (2)	72.8	73.2	24.7	-	-	-	-	-	X
D-0-L-0 (1)	76.3	76.8	24.6	X	-	-	-	-	X
D-0-L-0 (2)	77.5	75.2	24.9	X	-	-	-	-	X
D-B-L-0 (1)	74.1	73.2	25.5	X	-	X	-	-	X
D-B-L-0 (2)	73.8	72.6	25.5	X	-	X	-	-	X
D-B-L-A (1)	77.4	75.6	27.0	X	-	X	-	X	-
D-B-L-A (2)	78.4	76.0	26.3	X	-	X	-	X	-
D-B-T-0 (1)	77.3	75.6	25.5	-	X	X	-	-	X
D-B-T-0 (2)	76.7	78.2	27.5	-	X	X	-	X	-
D-B-T-A (1)	78.2	75.4	25.2	-	X	X	-	X	-
D-B-T-A (2)	76.3	78.2	26.3	-	X	X	-	X	-
D-C-T-0 (1)	78.2	75.4	24.7	-	X	-	X	-	X
D-C-T-0 (2)	75.8	76.4	26.1	-	X	-	X	-	X



Şekil 3.3 : Çizelge 3.3’de gösterilen l, b ve h.

3.2.2 Numune üretimi

Duvar numunelerinin imalatı, tarihi bir binadan toplanan hasarsız harman tuğlaları ve binadaki orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtmak üzere yeniden üretilmiş harç ile gerçekleştirilmiştir. Tuğla ve harca ait özellikler Bölüm 2’de ayrıntılı biçimde anlatılmıştır. Deney sistemine taşınma sırasında duvarların kolay hareket etmesini sağlamak adına numuneler, temizlenen yüzeyi makine yağı ile iyice yağlanmış ve yatayda ve düşeyde dengede olan tahta paletler üzerinde üretilmiştir, Şekil 3.4(a-b). Tuğlaların yüzeyleri temizlenmiş ve derz harcı karışımındaki suyu çekmemesi için su ile iyice ıslatılmıştır, Şekil 3.4(c).

Her numune 8 yatay sıra tuğla bulundurmaktadır. Tuğların yerleştirilmesi sırasında kullanılan ahşap çitaların bıraktığı boşlukların doldurulmasıyla yatay ve düşey derzler oluşturulmuştur.

Düşey derzler için genişliği 13 mm ve yatay derzler için genişliği 21 mm olan ahşap çitalar kullanılmıştır. Örme işleminde şaşırtma uygulanabilmesi için tuğlaların bir kısmı 50 mm genişlikte kesilmiştir. Kesilen tuğlalar yatay sıraların başında ve sonunda kullanılmıştır, Şekil 3.4(d). Kesilen tuğlaların birer yatay sıra atlanarak kullanılmasıyla düşey derzlerde şaşırtma oluşturulmuştur.



a



b



c



d

Şekil 3.4 : Numune örme işlemine hazırlık.

İlk yatay sıra 6 adet tuğla ve mala yardımı ile harçla doldurulan 13 mm genişliğinde 5 düşey derzden oluşmaktadır, Şekil 3.5(a). Yatay derz, bu sıranın üzerine koyulan 21 mm yüksekliğindeki ahşap çitaların oluşturduğu boşluğun harç ile doldurulmasıyla elde edilmiş ve yüzeyi mala ile düzeltilmiştir, Şekil 3.5(b). İkinci yatay sıra ise, 50 mm genişliği olan tuğla ile başlamış, toplam 6 düşey derz ve 5 tam boy tuğlanın (115 mm genişlikli) ardından yine 50 mm genişliği olan kesilmiş tuğla ile son bulmuştur Şekil 3.5(c-d). Örme işlemi esnasında her sırada yatay ve düşey denge su terazisi ile kontrol edilmiştir. Anlatılan işlemlerin tekrarlanması sonucu oluşan 8 yatay sıra ile numunelerin örülmesi tamamlanmıştır, Şekil 3.5(e-f).



a



b



c



d



e



f

Şekil 3.5 : Duvar örme işlemi aşamaları.

Sonuç olarak 755x755x235 mm boyutlarında toplam 14 adet duvar numunesi, 09.01.2012-13.01.2012 tarihleri arasında imal edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMAYA HAZIRLIK

4.1 Güçlendirme İşlemi

4.1.1 Numune hazırlığı

Duvar numuneleri üretildikten yaklaşık 6 ay sonra, tekstil malzeme ile güçlendirilecek 10 adet numune ve yüzeyleri yalnız düşük dayanımlı harç ile sıvanacak 2 adet numunenin yüzeyleri uygulamaya hazır hale getirmek için işlemlere başlanmıştır. Sıvanın rahat uygulanması ve etkin aderans amaçlanarak duvar yüzeyleri öncelikle taşlama makinesi ile düzleştirilmiştir, Şekil 4.1(a). Numune yüzeyleri her türlü yabancı madde ve tozdan fırça ve süpürge yardımı ile temizlenmiştir, Şekil 4.1(b), (c). Ardından tuğlaların sıva karışımında bulunan suyu emmemesi için tuğlalar iyice ıslatılmıştır, Şekil 4.1(d).



a



b



c



d

Şekil 4.1 : Numunelerde yüzey hazırlığı.

4.1.2 Tekstil malzemenin uygulanması

Duvar numunelerinin her türlü yabancı maddeden temizlenmiş ve ıslatılmış yüzeylerine mala ile sıva uygulanmıştır. Uygulanan sıva çeşitlerinden biri Bölüm 2.2.3’de özellikleri ayrıntılı biçimde anlatılan düşük dayanımlı sıvadır, Şekil 4.2(a). Bölüm 2.2.3’de değinildiği gibi, tarihi binadaki orijinal derz harcını temsil eden karışım oranı yüzeye uygulama esnasında dökülmüş ve yapışmamıştır. Bu nedenle karışımdaki yalnız su oranı kontrollü bir biçimde arttırılarak harcın işlenebilirliği duvar yüzeyine yapışması sağlanana dek arttırılmıştır. Diğer sıva çeşidi ise Bölüm 2.2.3’de bahsedilen, üretici tarafından hazır olarak temin edilen kuru karışıma su eklenmesi ile elde edilen orta dayanımlı sıvadır, Şekil 4.2(b).



Şekil 4.2 : Duvar numunelerine sıva uygulanması.

Karbon ve bazalt ızgara malzeme duvar yüzeyine uygun ölçülerde kesilerek hazırlanmıştır, Şekil 4.3(a). Sıva uygulamasını takiben kesilen tekstil malzeme numune yüzeyine el ile iyice bastırarak yerleştirilmiştir, Şekil 4.3(b). Numune yüzeyinde, ızgara lifli malzemenin sıvanın içine yerleşmesine ve gerekli yapışmanın sağlanmasına dikkat edilmiştir. Tekstil malzemenin tümüyle yerleşmesini takiben mala ile yüzey yeniden sıvanmıştır, Şekil 4.3(c). Numuneler sıvanırken yüzey kenarlarının sıvanmasına özellikle dikkat edilmiştir. Son sıva katmanının uygulanmasından yaklaşık yarım saat sonra yüzeyde çatlama oluşmaması için yüzeyler su ile ıslatılmıştır, Şekil 4.3(d). Daha sonra da yaklaşık iki saatte bir numune yüzeyleri su ile ıslatılmıştır. Bahsedilen tüm işlemler, düzlem dışı deformasyonlar nedeniyle göçmeyi engellemek ve eksantrik etki oluşturmamak amacıyla duvar numunelerinin her iki yüzüne de uygulanmıştır. Böylece amaçlanan simetrik güçlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



a



b



c



d

Şekil 4.3 : Tekstil malzemenin uygulama aşamaları.

4.1.3 Ankraj uygulaması

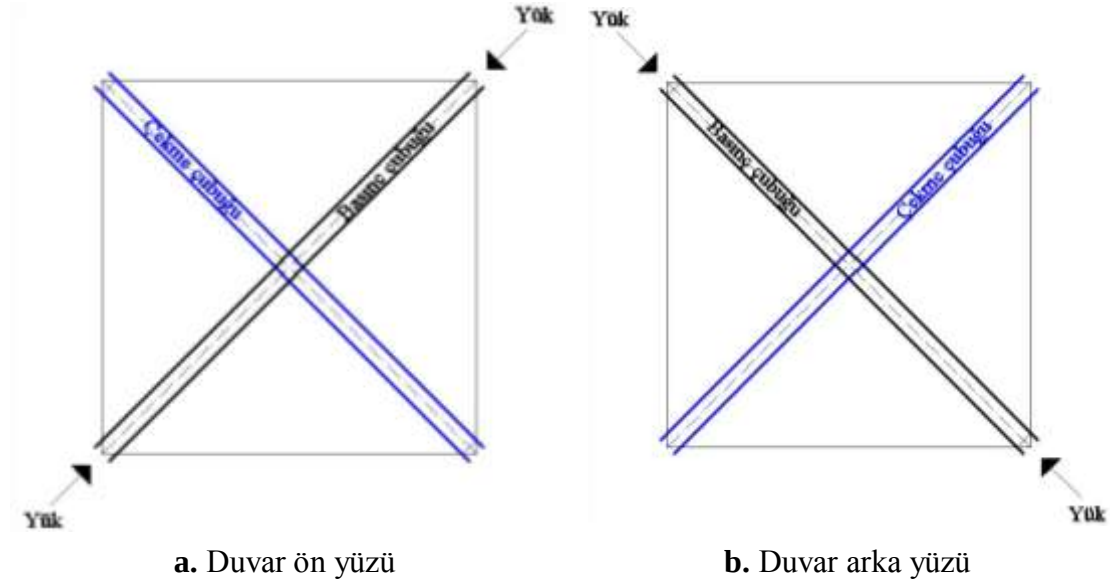
Güçlendirme işleminde kullanılacak bazalt lifli ankrajlar üretici tarafından hazır olarak temin edilmiştir. Şekil 4.4’de bazalt lifli ankrajlar görülmektedir.



Şekil 4.4 : Bazalt lifli ankrajlar.

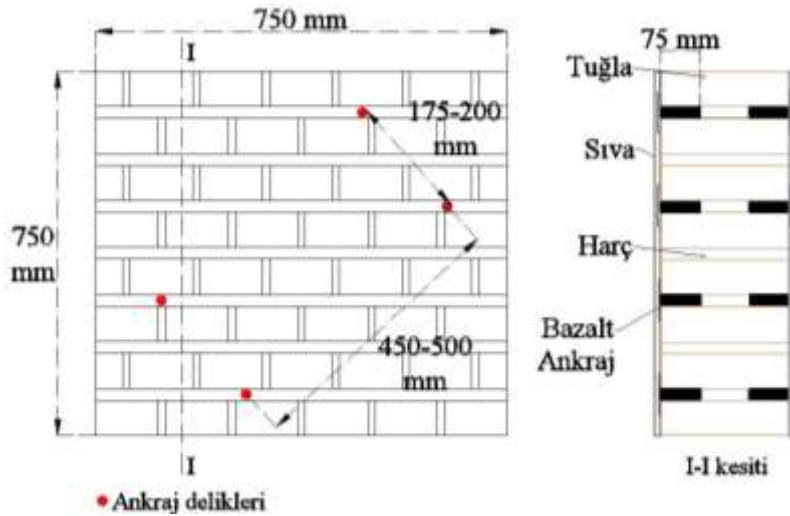
Toplam 4 adet numuneye süresiz ankraj uygulaması yapılmıştır. İlk olarak numune yüzeyleri düzgün yüzey amaçlanarak taşlama makinesi ile düzleştirilmiştir. Basınç yükünün uygulanacağı numune köşesinden geçen diyagonal bölge basınç çubuğu,

çekme çubuğu ise basınç çubuğuna dik olan bölge olarak idealize edilmiştir. Basınç çubuğu ve çekme çubuğu duvarın her iki yüzü için gösterilmiştir, Şekil 4.5(a), (b). Ankrajların çalışması için basınç çubuğuna dik olarak yerleştirilmesi, çekme çubuğu bölgesinde bulunması gerekir.



Şekil 4.5 : Duvar ön ve arka yüzünde çubuk idealleştirilmesi.

Numunede yükleme yapılmayacak köşeleri birleştiren diyagonal simetri eksenini kabul edilmiştir. Aynı diyagonal üzerinde bulunacak ankrajlar arası mesafe 450-500 mm, paralel diyagonaller üzerinde bulunan ankrajlar arası mesafe 175-200 mm olmuştur, Şekil 4.6. Geometrik toleranslar ankraj deliklerinin tuğla üzerine veya düşey derzlere denk gelmemesi için kullanılmıştır. Numunelerin her yüzeyinde toplam 4 adet delik işaretlenmiştir.



Şekil 4.6 : Ankraj delikleri yerleşimi.

Numune yüzeyinde belirlenen ankraj deliklerinin yerleri sprej boya ile işaretlenmiştir. Ardından işaretlenen yerlere matkap yardımı ile delik açılmıştır, Şekil 4.7(a). Delikler açılmasında matkap önce 10 mm çaplı uç kullanılmış, daha sonra 18 mm çaplı uç ile devam edilmiştir. Matkap düşük devirde çalıştırılarak numuneye zarar vermemesi amaçlanmıştır. Sprej boya ile matkap ucunda 75 mm işaretlenerek ankraj deliklerinin her birinin 75 mm derinliğe sahip olması sağlanmıştır.

Delikler açıldıktan sonra numune yüzeyi ve deliklerin içi kompresör ile tozdan ve yabancı maddelerden temizlenmiştir, Şekil 4.7(b).



Şekil 4.7 : Ankraj deliklerinin açılması.

Sıva işleminden önce numune yüzeyi su ile iyice ıslatılmıştır. Böylece, poroz bir malzeme olan tuğlanın, harç karışımı içinde bulunan suyu çekmesi engellenmiştir. Numunenin tüm yüzeyi mala kullanılarak düzgün bir biçimde sıvanmıştır.

Önceden numune yüzeyinde açılan ankraj delikleri bir çubuk yardımıyla sıva üzerinde açığa çıkarılmıştır, Şekil 4.8(a). Böylece ızgara tekstil malzeme sıva üzerine yerleştirilirken, ankraj deliklerinin ızgara malzemenin boşluk kısmı üzerine denk gelmesi sağlanmıştır. Tekstil malzemenin el ile sıva içine iyice yerleştirilmesini takiben numune yüzeyi yeniden harç ile (düşük dayanımlı veya orta dayanımlı) sıvanmış ve mala yardımı ile yeniden düzgün bir yüzey oluşturulmuştur, Şekil 4.8(b).

Bahsedilen işlemler duvar numunesinin her iki yüzünde de uygulanmıştır. Böylece düzlem dışı deformasyonların oluşması engellenmiş, simetrik güçlendirme uygulaması elde edilmiştir.



a



b

Şekil 4.8 : Ankraj uygulamasına hazırlık.

İkinci sıva katmanının üzerinde ankraj delikleri bir çubuk yardımı ile ortaya çıkarılmıştır, Şekil 4.9(a). Delikler enjektör yardımı ile temizlenmiştir, Şekil 4.9(b). Bazalt lifli ankrajlar deliklere yerleştirilmiş ve etrafı çelik çubuk ile harç doldurulmuştur, Şekil 4.9(c). Bazalt lifli ankrajın delikten dışarı çıkan serbest ucu serpilerek numune yüzeyine harç ile yapıştırılmıştır, Şekil 4.9(d).



a



b



c



d

Şekil 4.9 : Ankraj uygulaması detayları.

Bu işlemi takiben her ankrajın üzerine 20x20 mm boyutlarında ızgara tekstil yama harç ile yapıştırılmıştır, Şekil 4.10(a). Yamaların kullanılması ile amaçlanan gerilmelerin dağılmasını sağlamaktır. Son olarak numune yüzeyi mala ile düzeltilmiştir, Şekil 4.10 (b) Uygulamanın ardından yarım saat geçtikten sonra yüzeyde çatlakların oluşmaması için yüzeyler bir miktar ıslatılmıştır.



a



b

Şekil 4.10 : Ankraj uygulaması.

4.2 Deney Düzeneği

4.2.1 Yükleme düzeneği

Diyagonal basınç deneyleri için kullanılacak yükleme araçlarının (hidrolik kriko, yükölçer) kapasitesini ve deneylerin gerçekleştirileceği sistemi belirlemek amacıyla duvar numunelerinin yaklaşık yük taşıma kapasitesi literatürdeki çalışmalar incelenerek tahmin edilmiştir. Buna göre deneylerde 500 kN kapasiteli hidrolik kriko ve 1000 kN kapasiteye sahip yükölçer kullanılmıştır. Yüklemin gerçekleştirildiği çelik çerçevede Şekil 4.11’de görülmektedir.

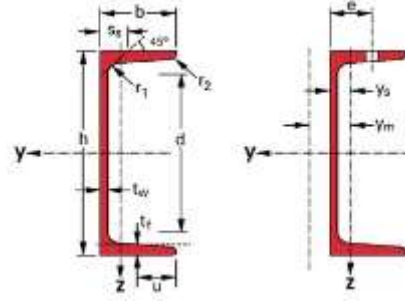


Şekil 4.11 : Diyagonal basınç deneyleri yükleme çerçevesi.

Deney esnasında numuneye yükü iletmesi için çelik başlıklar kullanılmıştır, numune geometrisi ile uyumlu çelik başlıklar ve kesit şekli Şekil 4.13'te görülmektedir. Seçilen UPN 350 kesit ile ilgili özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir, [19].



a



b

Şekil 4.12 : Çelik yükleme başlığı.

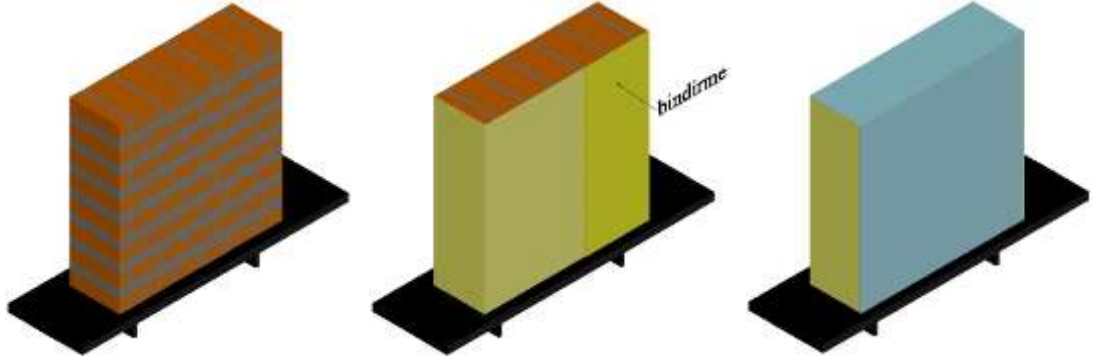
Çizelge 4.1 : Çelik yükleme başlığına ait özellikler.

Kolon A	Değer	Birim
G	60.6	kg/m
A (Kesit alanı)	77.3	cm ²
A _L (Yüzey alanı)	1.047	m ² /m
A _G (Yüzey alanı)	17.25	m ² /t
d	282	mm
Ø	M22	
e _{min}	56	mm
e _{max}	62	mm
h	350	mm
b	100	mm
t _w	14	mm
t _f	16	mm
r ₁	16	mm
r ₂	8	mm

Çelik başlığın kol uzunluklarına ise daha önce yığma ve beton duvarlar ile yürütülmüş başarı ile tamamlanmış deneysel çalışmalar ve değişik boylar için incelenmiş analitik sonlu eleman hesapları incelenerek karar verilmiştir, [20]. Bölüm 3.2.2'de değinildiği gibi önceden yağlanmış tahta paletler üzerinde üretilen numuneler kolaylıkla hareket ettirilerek kren yardımı ile dikkatlice çelik başlık üzerine yerleştirilmiştir. Numune dengesi hızlı donan alçı ile sağlanmıştır.

Referans numunelerin taşıma aşamasında zarar görmemesi amaçlanarak bu numuneler LifeTex malzeme ile sarılmıştır. LifeTex, cam elyaf esaslı özel donatılmış çift yönlü dokuma malzemesi ve yine özel olarak hazırlanmış yapıştırıcı malzeme ile birlikte kullanılarak oluşturulan ileri teknoloji bir esnek destekleme

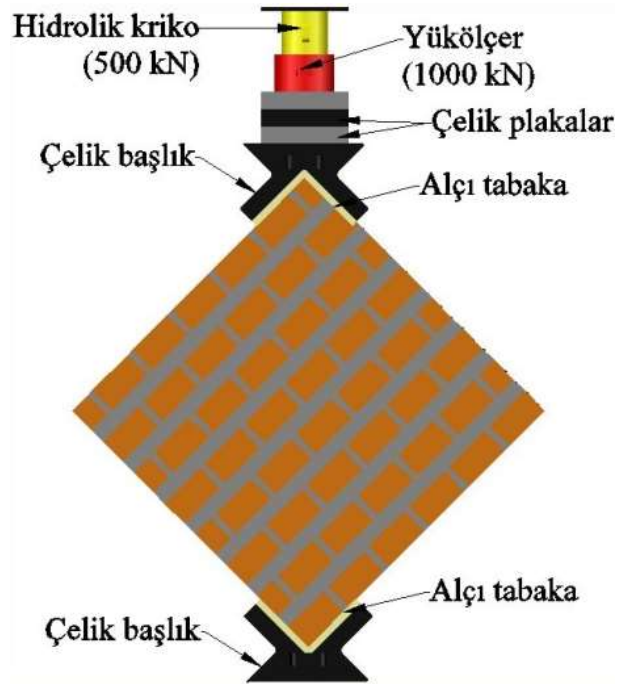
sistemidir, [21]. Numuneler ön yüzünden yatayda sarılmış, karşı yüzde 30 cm bindirme yapılmıştır. Daha sonra ise yüzey aşağıdan yukarıya sarılmıştır. LifeTex malzeme ile kaplama aşamaları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Referans numuneleri kaplama aşamaları.

Referans numuneleri çelik başlıkta dengeye getirilmesinin ardından kaplamalar sökülüş ve yüzeyler temizlenmiştir.

Deney sistemine yerleştirilmiş örnek numunenin yükleme düzeneği Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.14 : Diyagonal basınç deneyleri yükleme düzeneği.

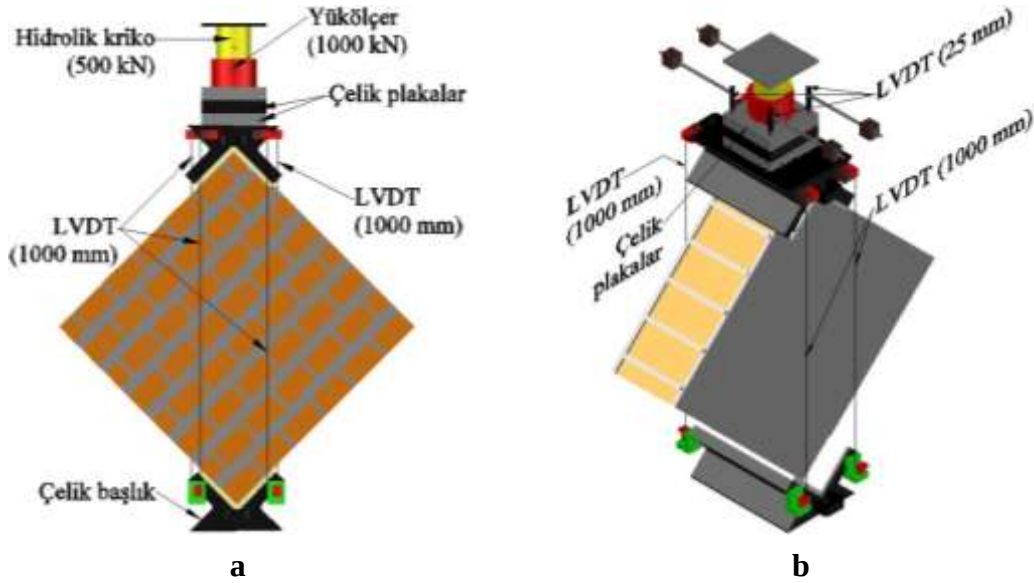
4.2.2 Ölçüm düzeneği

4.2.2.1 Yerdeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi

Diyagonal basınç deneyleri boyunca meydana gelen yerdeğiştirmeler LVDT (linear variation displacement transducer) tipi yerdeğiştirmeölçerlerden yararlanarak kaydedilmiştir.

Numunelerde tam boya ait düşey yerdeğiştirmeleri belirlemek için her yüzde iki adet olmak üzere toplam 4 adet 1000 mm kapasitesine sahip LVDT kullanılmıştır. Yerdeğiştirmeölçerler çelik başlığa mıknatıslı ayaklar yardımı ile sabitlenmiştir, Şekil 4.15(a). Çelik başlığın rijitliği numunelere kıyasla oldukça yüksek olduğundan başlığın şekildeğiştirmesi dikkate alınmamıştır.

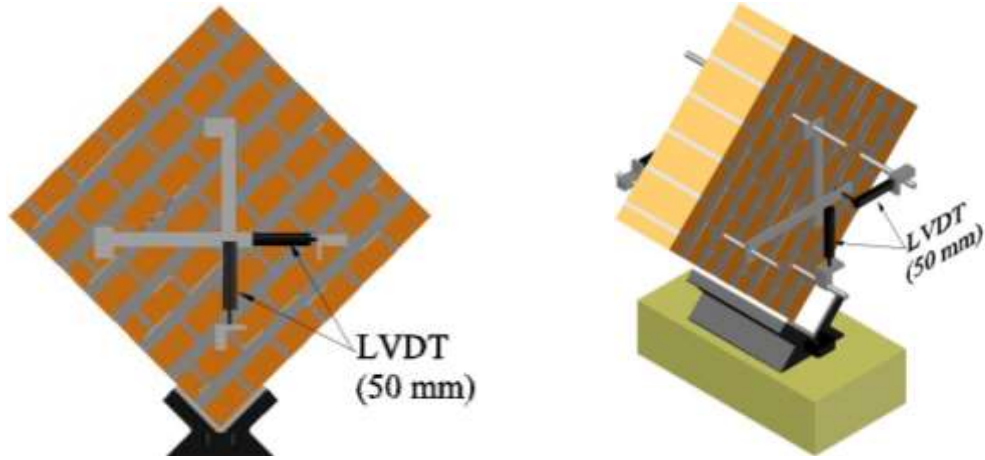
Ayrıca yükleme düzeneğindeki çelik plakaların köşeleri üzerine 4 adet 25 mm kapasitesinde yerdeğiştirmeölçer konumlandırılmış ve çelik çerçeveye mıknatıs ayaklar ile sabitlenmiştir, Şekil 4.15(b). Yükleme nedeniyle numune düşeyde kısılma göstereceğinden, bu yerdeğiştirmeölçerlerin ucu kapalı olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 4.15 : Numune tam boy ölçüm sistemi.

Duvar numunelerinin orta kısımlarında oluşan yerdeğiştirmeleri saptamak amacı ile her yüze bir adet yatay bir adet düşey olmak üzere toplam dört adet 50 mm kapasiteli yerdeğiştirmeölçer kullanılmıştır. Yerdeğiştirmeölçerler numune yüzeylerine ankre edilmiş 4 adet 10 mm çaplı galvaniz bulonlar ve plakalar yardımı ile sabitlemiştir, Şekil 4.16. Yükleme gereği numune yatayda uzama göstereceğinden, yatay

yerdeğiştirmeölçerlerin ucu kapalı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Tüm yerdeğiştirmeölçerler için ölçüm boyları not edilmiştir.

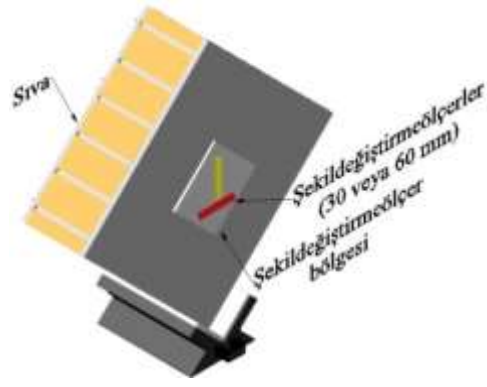


Şekil 4.16 : Numune orta kısım ölçüm sistemi.

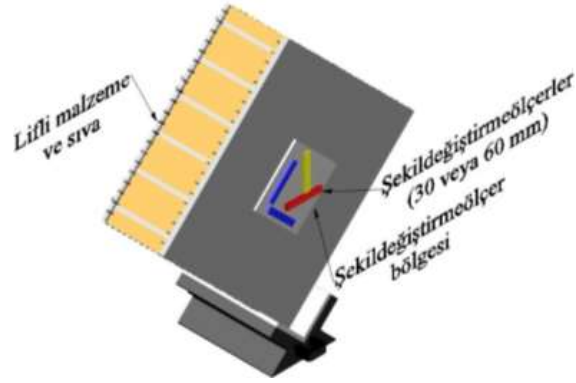
Yerdeğiştirmeölçerlerin kabloları TML TDS-303 veri toplayıcıya bağlanarak kayıtlar sağlanmış ve GP-IB kablosu ile veriler bilgisayara aktarılmıştır.

4.2.2.2 Şekildeğiştirmeölçerlerin yerleştirilmesi

Sıvalı ve güçlendirilmiş duvar numunelerinde diyagonal basınç yüklemesi altında orta kısımlarda oluşan şekildeğiştirmeleri takip etmek ve aynı bölgedeki yerdeğiştirmeölçerler ile kıyaslamak amacıyla her yüzde bir adet yatay bir adet düşey olmak üzere toplam dört adet şekildeğiştirmeölçer kullanılmıştır, Şekil 4.17(a). Şekildeğiştirmeölçerlerin etkin çalışması için düz bir yüzey üzerinde ölçüm alınması gerekmektedir. Numune yüzeylerinin tam orta bölgelerine epoksi esaslı çok amaçlı yapıştırıcı sürülerek düz yüzey elde edilmiştir. Yapıştırıcının kuruması için 2 gün beklenmiş ve ardından şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmıştır. Şekildeğiştirmeölçerler 30 veya 60 mm kapasiteye sahiptir. Güçlendirilmiş numunelerde her yüze ilave olarak iki adet daha şekildeğiştirmeölçerden yararlanılmıştır. Bu şekildeğiştirmeölçerler ızgara şeklindeki tekstil malzemenin liflerine paralel olarak yerleştirilmiştir, Şekil 4.17(b). Tüm şekildeğiştirmeölçerler TML TDS-303 veri toplayıcıya bağlanmış ve toplanan veriler GP-IB kablosu ile bilgisayara aktarılmıştır.



a. Sıvalı numuneler



b. Güçlendirilmiş numuneler

Şekil 4.17 : Numunelerde şekildeğiştirmeölçer yerleşimi.

5. DİYAGONAL BASINÇ DENEYLERİ

5.1 Giriş

Bu tez kapsamında, 755x755x235 mm nominal boyutlara sahip ve üretiminde İstanbul/Taksim ilçesinde anıtsal olmayan yaklaşık 85 yaşında tarihi bir binanın yıkımından elde edilen hasarsız tuğlalar ve yapıdaki orijinal derz harcının mekanik özelliklerini temsil edecek şekilde yeniden üretilen harç kullanılan, toplam 14 adet yığma duvar numunesi monoton artan diyagonal basınç yüklemesi etkisi altında denenmiştir.

Düzenlenen deneylerde numuneler; 2 adedi referans, 2 adedi yalnızca düşük dayanımlı harç ile sıvalı ve 10 adedi güçlendirilmiş şekilde incelenmiştir. Numuneler, her grup aynı özelliklere sahip iki numuneden oluşmak üzere, toplam 7 grup ile değerlendirilmiştir.

Gruplar, bu grupları oluşturan ilgili numuneler ve karakteristikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Deney grupları ve numune karakteristikleri.

Grup numarası	Grup numuneleri	Sıva		Lifli Malzeme		Ankraj	
		Düşük dayanımlı	Orta dayanımlı	Bazalt	Karbon	Var	Yok
Grup-1	D-0-0-0 (1)	-	-	-	-	-	X
	D-0-0-0 (2)	-	-	-	-	-	X
Grup-2	D-0-L-0 (1)	X	-	-	-	-	X
	D-0-L-0 (2)	X	-	-	-	-	X
Grup-3	D-B-L-0 (1)	X	-	X	-	-	X
	D-B-L-0 (2)	X	-	X	-	-	X
Grup-4	D-B-L-A (1)	X	-	X	-	X	-
	D-B-L-A (2)	X	-	X	-	X	-
Grup-5	D-B-T-0 (1)	-	X	X	-	-	X
	D-B-T-0 (2)	-	X	X	-	X	-
Grup-6	D-B-T-A (1)	-	X	X	-	X	-
	D-B-T-A (2)	-	X	X	-	X	-
Grup-7	D-C-T-0 (1)	-	X	-	X	-	X
	D-C-T-0 (2)	-	X	-	X	-	X

5.2 Numunelerde Hasar Gelişimi ve Gözlemler

Monoton artan diyagonal basınç yüklemesi uygulanan duvar numunelerinde gözlenen hasar gelişimi ve göçme biçimleri bu bölümde açıklanacaktır. Gerçekleştirilen deneyler ile tüm numunelerin ortak göçme biçimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler, yatay derz düzleminden ayrılarak dayanımını yitirmiştir. Yalnız sıvalı numuneler (Grup-2), referans numunelere (Grup-1) kıyasla daha sünek bir davranış göstermiştir. Referans ve yalnız sıvalı numuneler ile güçlendirilmiş numunelerin (Grup-3-4-5-6-7) yapısal davranışları karşılaştırıldığında, güçlendirilmiş numuneler oldukça fazla sünek davranış sergilemiştir.

5.2.1 Grup-1'e ait deneyler

Referans davranışı belirlemek amacıyla 2 adet numuneye güçlendirme ve sıva uygulaması yapılmamıştır. Grup-1'i oluşturan D-0-0-0 (1) ve D-0-0-0 (2) isimli numunelerin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır.

Şekil 5.1(a)'da deney gerçekleşmeden önce D-0-0-0 (1) numunesi görülmektedir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, düşey derzi takip edecek şekilde ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.1(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 53.94 kN ve bu yük seviyesinde 0.00263 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 56.55 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00301'dir. Dayanımda azalmanın başlaması ile gerilme-şekildeğiştirme grafiğinin düşen kolunda, 39 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 5.1(c). İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00617'dir.

Numune düşey yük 16 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.03545 seviyesinde tuğla-düşey derz ara yüzünden aniden ikiye parçalanmıştır, Şekil 5.1(d). Deneyin tamamlanmasının ardından numune incelendiğinde tuğlalarda herhangi bir hasar (ezilme veya çatlak) gözlemlenmemiştir.



a



b



c



d

Şekil 5.1 : D-0-0-0 (1) numunesi hasar gelişimi.

Şekil 5.2(a)'da deney gerçekleştirilmeden önce D-0-0-0 (2) numunesi görülmektedir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, düşey derzi takip edecek şekilde ve 0.4 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.2(b). İlk çatlakın oluştuğu düşey yük seviyesi 38.57 kN ve bu yük seviyesinde 0.00177 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 40.53 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00227'dir. Dayanımda azalmanın başlaması ile gerilme-şekildeğiştirme grafiğinin düşen kolunda, 24.2 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır, Şekil 5.2(c). İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.01033'tür. Numune düşey yük 2.94 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.03832 seviyesinde iken yatay derz düzlemi üzerinden aniden kaymış ve parçalanmıştır, Şekil 5.2(d). Deneyin tamamlanmasının ardından numune incelendiğinde tuğlalarda herhangi bir hasar (ezilme veya çatlak) gözlemlenmemiştir.



a



b



c



d

Şekil 5.2 : D-0-0-0 (2) numunesi hasar gelişimi.

5.2.2 Grup-2'ye ait deneyler

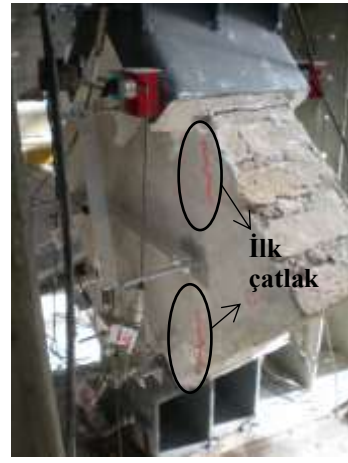
Sıva uygulamasının yapısal davranışa katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numuneye düşük dayanımlı harç kullanılarak sıva yapılmıştır. Tuğlaların elde edildiği tarihi binada bulunan orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan bu harç, numune isimlerinde **L** ile gösterilmiştir. Grup-2'yi oluşturan D-0-L-0 (1) ve D-0-L-0 (2) isimli numunelerin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır.

Şekil 5.3(a)'da deney gerçekleşmeden önce D-0-L-0 (1) numunesi görülmektedir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.2 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.3(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 85.32 kN ve bu yük seviyesinde 0.00173 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 89.24 kN ve bu yük seviyesinde oluşan

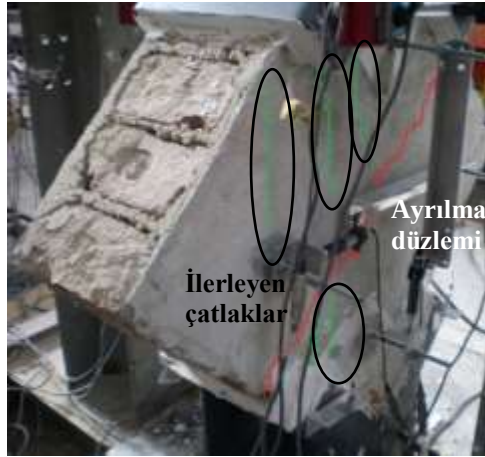
düşey şekildegıştirme değeri 0.00191'dir. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ve dayanımda azalmanın başlaması ile gerilme-şekildegıştirme grafiğinin düşen kolunda, 84.7 kN düşey yük değeriinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 5.3(c). İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildegıştirme değeri 0.00588'dir. Numune düşey yük 30 kN ve düşey şekildegıştirme 0.01322 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır. Numune yatay derz düzlemi üzerinden kaymış, parçalanmış ve sıva pek çok bölgede dökülmüştür, Şekil 5.3(d). Deneyin tamamlanmasının ardından numune incelendiğinde tuğlalarda herhangi bir hasar (ezilme veya çatlak) gözlemlenmemiştir.



a



b



c



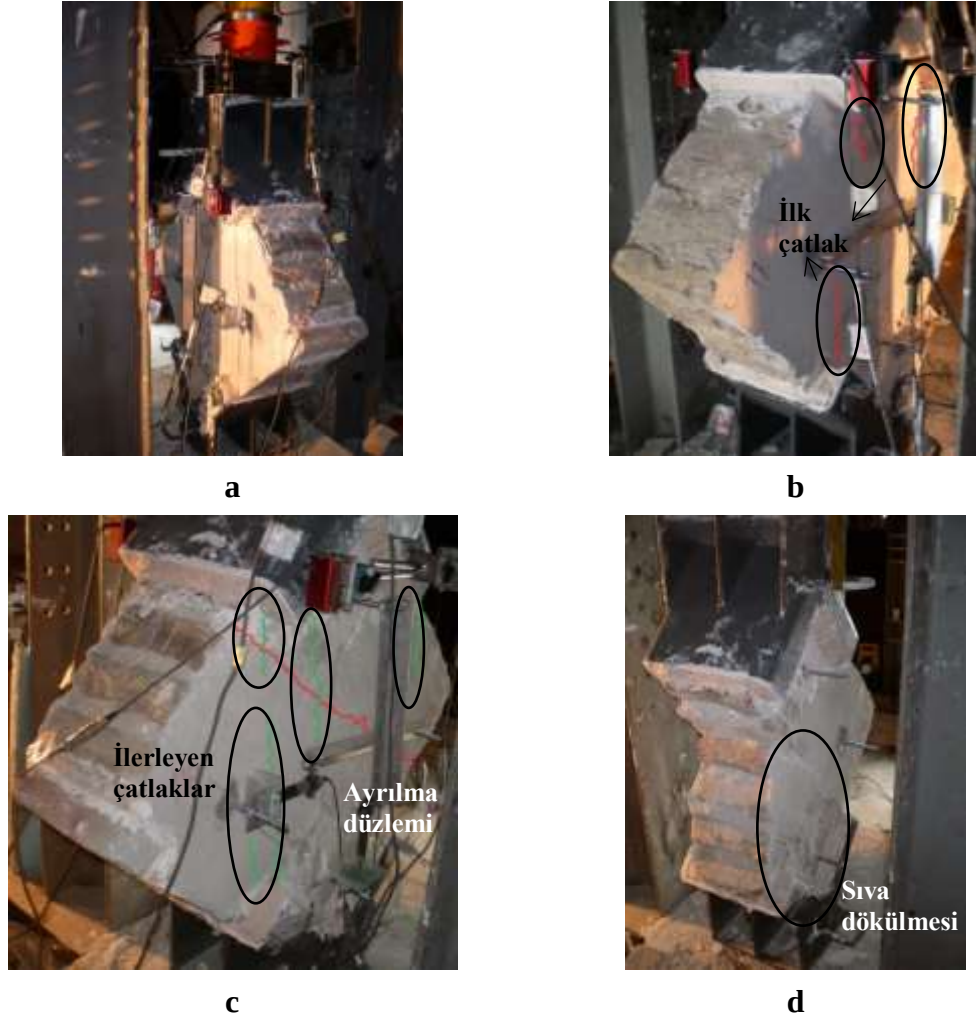
d

Şekil 5.3 : D-0-L-0 (1) numunesinin hasar gelişimi.

D-0-L-0 (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.4(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.4(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 60.15 kN ve bu

yük seviyesinde 0.00060 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 62.76 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00066'dır. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ve dayanımda azalmanın başlaması ile gerilme-şekildeğiştirme grafiğinin düşen kolunda, 57.9 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır, Şekil 5.4(c). İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00134'tür. Numune düşey yük 12.1 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.00541 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır.

Numune yatay derz düzlemi üzerinden kaymış, tuğla-düşey derz arayüzünden ikiye parçalanmış ve sıva pek çok bölgede dökülmüştür, Şekil 5.4(d). Deneyin tamamlanmasının ardından numune incelendiğinde tuğlalarda herhangi bir hasar (ezilme veya çatlak) gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.4 : D-0-L-0 (2) numunesinin hasar gelişimi.

5.2.3 Grup-3'e ait deneyler

Tekstil malzeme uygulamasının yapısal davranışa katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numune bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiştir. Bu numuneler, tuğlaların alındığı binanın orijinal mekanik özelliklerini temsil eden düşük dayanımlı harç ile sıvanmıştır.

Bazalt lifli malzeme ve tuğlaların elde edildiği tarihi binada bulunan orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan harç, numune isimlerinde sırası ile **B** ve **L** ile gösterilmiştir.

D-B-L-0 (1) ve D-B-L-0 (2) isimli numunelerden oluşan Grup-3 numunelerinin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır. D-B-L-0 (1) numunesi deney öncesi Şekil 5.5(a)'da gösterilmiştir.

Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.4 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.5(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 91.2 kN ve bu yük seviyesinde 0.01106 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

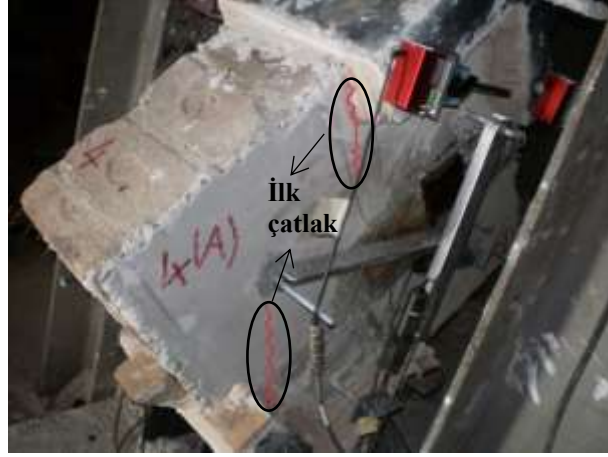
Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 106.57 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.03351'dir. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 104.6 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.098251'dir.

Numune yüzeyindeki sıva aniden dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzemenin oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.5(c). Tüm numune setleri arasında en çok Grup-3'te numune yüzeyindeki harcın döküldüğü gözlenmiştir.

Tekstil malzeme özellikle en çok zorlanan orta bölgede olmak üzere yer yer yırtılmıştır, Şekil 5.5(d).



a



b



c



d

Şekil 5.5 : D-B-L-0 (1) numunesi hasar gelişimi.

Düşey yük 99 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.06327 seviyesinde iken numune tuğla-harç düşey derz ara yüzünden ikiye parçalanmıştır, bunun üzerine deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.6(a).

Deneyin tamamlanması ile düşen parçanın altında kalan tuğlalar incelendiğinde herhangi bir hasar (ezilme veya çatlama) olmadığı görülmüştür, Şekil 5.6(b).

Ayrıca, başlık bölgesi civarında sıvada yaklaşık 8 cm sıyrılma ve aynı bölgedeki bazı tuğlalarda 0.8-1.1 mm genişliğinde çatlaklar gözlemlenmiştir, Şekil 5.6(c).



a



b



c

Şekil 5.6 : D-B-L-0 (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.

D-B-L-0 (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.7(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.7(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 102.3 kN ve bu yük seviyesinde 0.00148 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 108.53 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00196'dır. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 84 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00698'dir.

Numune yüzeyindeki sıva aniden dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzemenin oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.7(c). Tekstil malzeme özellikle orta bölgede olmak üzere yer yer yırtılmıştır, Şekil 5.7(d).



a



b



c



d

Şekil 5.7 : D-B-L-0 (2) numunesi hasar gelişimi.

Düşey yük 74.5 kN ve düşey şekildegıştırme 0.07641 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır. Sıvada sıyrılma ve tuğlalarda çatlak veya ezilme gözlemlenmemiştir.

5.2.4 Grup-4'e ait deneyler

Tekstil malzeme ile güçlendirmenin kayma davranışına katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numunede bazalt lifli malzeme donatı olarak kullanılmıştır. Bu numuneler düşük dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Bazalt lifli malzeme ve tuğlaların elde edildiği tarihi binada bulunan orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan harç, numune isimlerinde sırası ile **B** ve **L** ile gösterilmiştir. Ankraj uygulamasının yapısal davranışa etkisini değerlendirmek için Grup-4'e ait numuneler bazalt lifli ankraj ile güçlendirilmiştir. Numune isimlerinde ankraj uygulaması **A** ile sembolize edilmiştir. D-B-L-A (1) ve D-B-L-A (2) isimli numunelerden oluşan Grup-4 numunelerinin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda

anlatılmıştır. D-B-L-A (1) numunesi deney öncesi Şekil 5.8(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.8(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 118 kN ve bu yük seviyesinde 0.00099 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 120.62 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00116'dır. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 90.22 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.02997'dir. Numunenin yüzeylerindeki sıva 95.8 kN düşey yük ve 0.04887 düşey şekildeğiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva küçük bir bölgede dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.8(c). Düşük dayanımlı harç (L) ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme (B) ile güçlendirilmiş Grup-3 numuneleri ile kıyaslandığında, ankraj uygulanan bu numunede sıva dökülmesinin oldukça az olduğu görülmüştür. Sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.8(d).



a



b



c

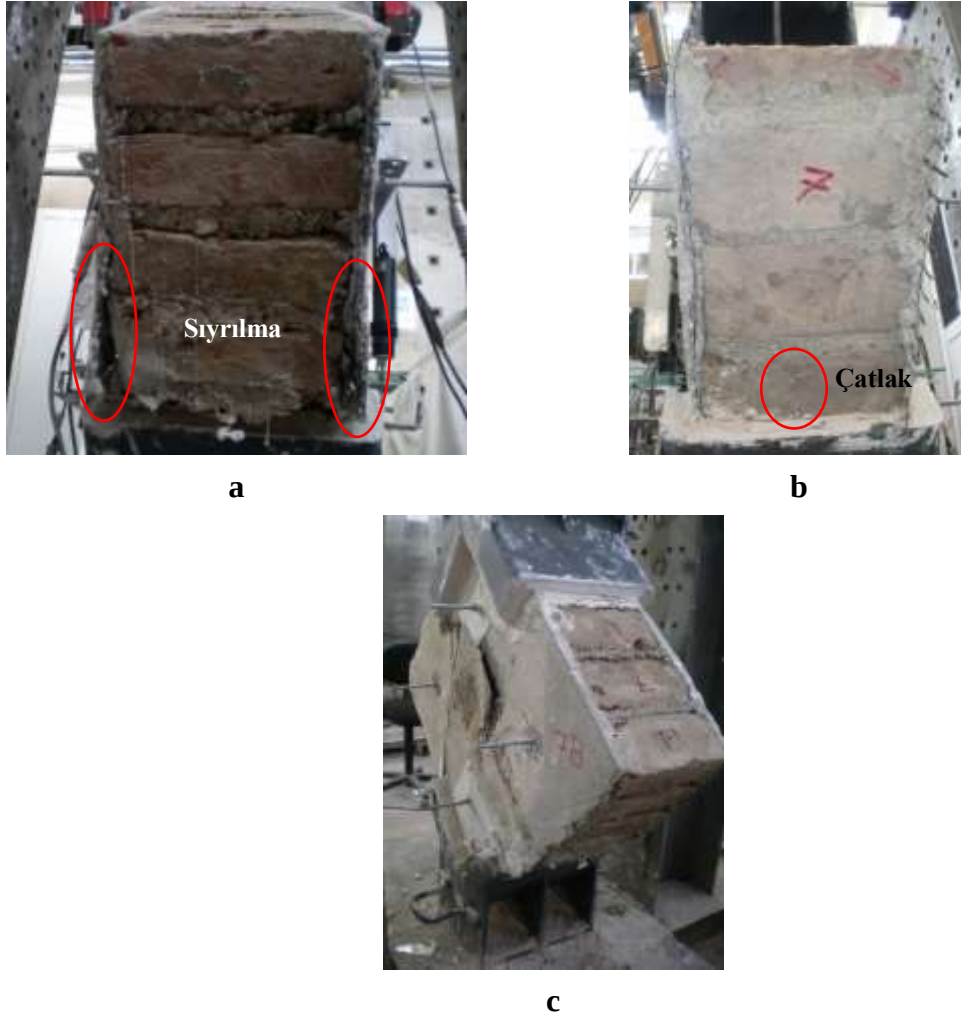


d

Şekil 5.8 : D-B-L-A (1) numunesi hasar gelişimi.

Alt başlık bölgesi civarında 93.5 kN düşey yük ve 0.04347 düşey şekil değiştirme seviyesinde sıvada başlayan sıyrılmanın deney sonunda yaklaşık 18 cm'e ulaştığı ve aynı bölgedeki bazı tuğlalarda 0.3 mm genişliğinde çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir, Şekil 5.9(a-b).

Düşey yük 98.39 kN ve düşey şekil değiştirme 0.07308 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.9(c).



Şekil 5.9 : D-B-L-A (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.

D-B-L-A (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.10(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.2 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.10(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 140.6 kN ve bu yük seviyesinde 0.00094 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 146.12 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekil değiştirme değeri 0.00120'dir. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 86 kN

düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekil değiştirme değeri 0.00392'dir. Numunenin yüzeylerindeki sıva 92.5 kN düşey yük ve 0.01243 düşey şekil değiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva küçük bir bölgede dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekil değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir.

Düşük dayanımlı harç (**L**) ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme (**B**) ile güçlendirilmiş Grup-3 numuneleri ile kıyaslandığında, ankraj uygulanan bu numunede sıva dökülmesinin oldukça az olduğu görülmüştür. Sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.10(c).

Düşey yük 87.28 kN ve düşey şekil değiştirme 0.03870 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.10(d). Deney sonrasında numune incelendiğinde sıvada sıyrılma ve tuğlalarda hasar gözlemlenmemiştir.



a



b



c



d

Şekil 5.10 : D-B-L-A (2) numunesi hasar gelişimi.

5.2.5 Grup-5'e ait deneyler

Tekstil malzeme ile güçlendirmenin kayma davranışına katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numunede bazalt lifli malzeme donatı olarak kullanılmıştır. Bu numuneler orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Bazalt lifli malzeme numune isimlerinde sırası ile **B** ile gösterilmiştir. Sıva olarak kullanılan harcın mekanik özelliklerinin diyagonal basınç yüklemesi altında numune davranışında etkisini değerlendirmek için Grup-5 numuneleri, üretici tarafından hazır olarak sağlanan kuru karışıma su eklenmesi ile hazırlanan ve özellikleri Bölüm 2.2.3'te detaylı olarak anlatılan orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Orta dayanımlı harç numune isimlerinde **T** ile sembolize edilmiştir.

D-B-T-0 (1) ve D-B-T-0 (2) isimli numunelerden oluşan Grup-5 numunelerinin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır. D-B-T-0 (1) numunesi deney öncesi Şekil 5.11(a)'da gösterilmiştir.

Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.2 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.11(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 223.27 kN ve bu yük seviyesinde 0.00076 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

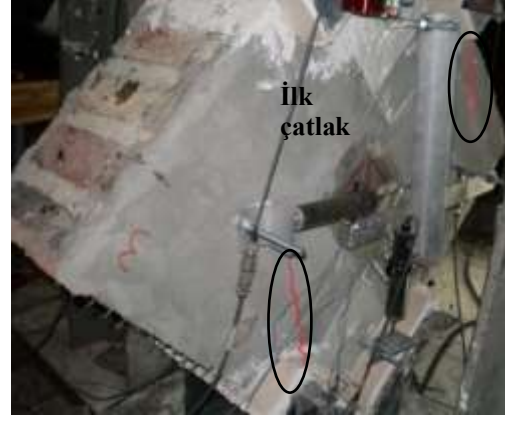
Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 228.50 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00080'dir. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 135.70 kN düşey yük değerinde, numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00402'dir.

Numunenin yüzeylerindeki sıva 126.83 kN düşey yük ve 0.00477 düşey şekildeğiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva ayrılma düzlemi boyunca dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.11(c).

Deneyin ilerleyen bölümlerinde sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.11(d).



a



b



c



d

Şekil 5.11 : D-B-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi.

Alt başlık bölgesi civarında 117.35 kN düşey yük ve 0.02940 düşey şekildeğiştirme seviyesinde sıvada başlayan sıyrılmanın deney sonunda yaklaşık 18 cm'e ulaştığı ve aynı bölgedeki bazı tuğlalarda 0.3 mm genişliğinde çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir, Şekil 5.12(a). Düşey yük 58.51 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.08430 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.12(b).



a



b

Şekil 5.12 : D-B-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.

D-B-T-0 (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.13(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.13(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 179.46 kN ve bu yük seviyesinde 0.00074 düşey şekildegıştırme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 186.33 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildegıştırme değeri 0.00111'dir. Numunenin yüzeylerindeki sıva 113.10 kN düşey yük ve 0.00535 düşey şekildegıştırme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva ayrılma düzlemi boyunca dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildegıştırme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.13(c). Deneyin ilerleyen bölümlerinde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.13(d).



a



b



c



d

Şekil 5.13 : D-B-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi.

Düşey yük 69.30 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.06056 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.14(a). Deney sonunda numune incelendiğinde alt başlık bölgesine yakın bir tuğlada 0.8 mm genişliğinde bir çatlak olduğu gözlemlenmiştir, Şekil 5.14(b).



Şekil 5.14 : D-B-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.

5.2.6 Grup-6'ya ait deneyler

Tekstil malzeme ile güçlendirmenin kayma davranışına katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numunede bazalt lifli malzeme donatı olarak kullanılmıştır. Bu numuneler orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Bazalt lifli malzeme numune isimlerinde **B** ile gösterilmiştir.

Sıva olarak kullanılan harcın mekanik özelliklerinin diyagonal basınç yüklemesi altında numune davranışında etkisini değerlendirmek için Grup-6 numuneleri, üretici tarafından hazır olarak sağlanan kuru karışıma su eklenmesi ile hazırlanan ve özellikleri Bölüm 2.2.3'te detaylı olarak anlatılan orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Orta dayanımlı harç numune isimlerinde **T** ile sembolize edilmiştir. Ankraj uygulamasının yapısal davranışa etkisini değerlendirmek için Grup-6'ya ait numuneler bazalt lifli ankraj ile güçlendirilmiştir. Numune isimlerinde ankraj uygulaması **A** ile sembolize edilmiştir.

D-B-T-A (1) ve D-B-T-A (2) isimli numunelerden oluşan Grup-6 numunelerinin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır.

D-B-T-A (1) numunesi deney öncesi Şekil 5.15(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.4 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.15(b). İlk çatlağın oluştuğu düşey yük seviyesi 265.11 kN ve bu yük seviyesinde 0.00121 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 269.03 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00124'tür. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 103.3 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminde ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00708'dir. Numunenin yüzeylerindeki sıva 98.1 kN düşey yük ve 0.00735 düşey şekildeğiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva dökülmüş ve bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.15(c). Deneyin ilerleyen bölümlerinde sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.15(d).



a



b



c



d

Şekil 5.15 : D-B-T-A (1) numunesi hasar gelişimi.

Düşey yük 43.48 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.05862 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.16. Deney sonunda tuğlalarda herhangi bir hasar veya sıvada sıyrılma gözlenmemiştir.



Şekil 5.16 : D-B-T-A (1) numunesi deney sonu görüntüsü.

D-B-T-A (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.17(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.2 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.17(b). İlk çatlakın oluştuğu düşey yük seviyesi 179.46 kN ve bu yük seviyesinde 0.00074 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 186.33 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00111'dir. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 119.64 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00372'dir.

Numunenin yüzeylerindeki sıva 113.10 kN düşey yük ve 0.00535 düşey şekildeğiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır.

Sıva ayrılma düzlemi boyunca dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.17(c). Deneyin ilerleyen bölümlerinde sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır, Şekil 5.17(d).



a



b



c



d

Şekil 5.17 : D-B-T-A (2) numunesi hasar gelişimi.

Düşey yük 69.30 kN ve düşey şekil değiştirme 0.06056 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.18(a). Deney sonunda numune incelendiğinde alt başlık bölgesine yakın bir tuğlada 0.8 mm genişliğinde bir çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir, Şekil 5.18(b).



a



b

Şekil 5.18 : D-B-T-A (2) numunesi hasar gelişimi ayrıntıları.

5.2.7 Grup-7'ye ait deneyler

Tekstil malzeme ile güçlendirmede lif hammaddesinin kayma davranışına katkısını belirlemek amacıyla 2 adet numunede karbon lifli malzeme donatı olarak kullanılmıştır. Bu numuneler orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Bazalt lifli malzeme numune isimlerinde C ile gösterilmiştir. Sıva olarak kullanılan harcın mekanik özelliklerinin diyagonal basınç yüklemesi altında numune davranışında etkisini değerlendirmek için Grup-7 numuneleri, üretici tarafından hazır olarak sağlanan kuru karışıma su eklenmesi ile hazırlanan ve özellikleri Bölüm 2.2.3'te detaylı olarak anlatılan orta dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Orta dayanımlı harç numune isimlerinde T ile sembolize edilmiştir. D-C-T-0 (1) ve D-C-T-0 (2) isimli numunelerden oluşan Grup-7 numunelerinin diyagonal basınç yüklemesi altında hasar gelişimi ve göçme şekli bu kısımda anlatılmıştır.

D-C-T-0 (1) numunesi deney öncesi Şekil 5.19(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.4 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.19(b). İlk çatlağın olduğu düşey yük seviyesi 221.63 kN ve bu yük seviyesinde 0.00096 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir.

Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 228.82 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekildeğiştirme değeri 0.00096'dır.

Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 165.41 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri 0.00335'tir.

Numunenin yüzeylerindeki sıva 155.93 kN düşey yük ve 0.00398 düşey şekildeğiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva ayrılma düzlemi boyunca dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekildeğiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.19(c).

Deneyin ilerleyen bölümlerinde sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır. Düşey yük 129.12 kN ve düşey şekildeğiştirme 0.03159 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.19(d).



a



b



c

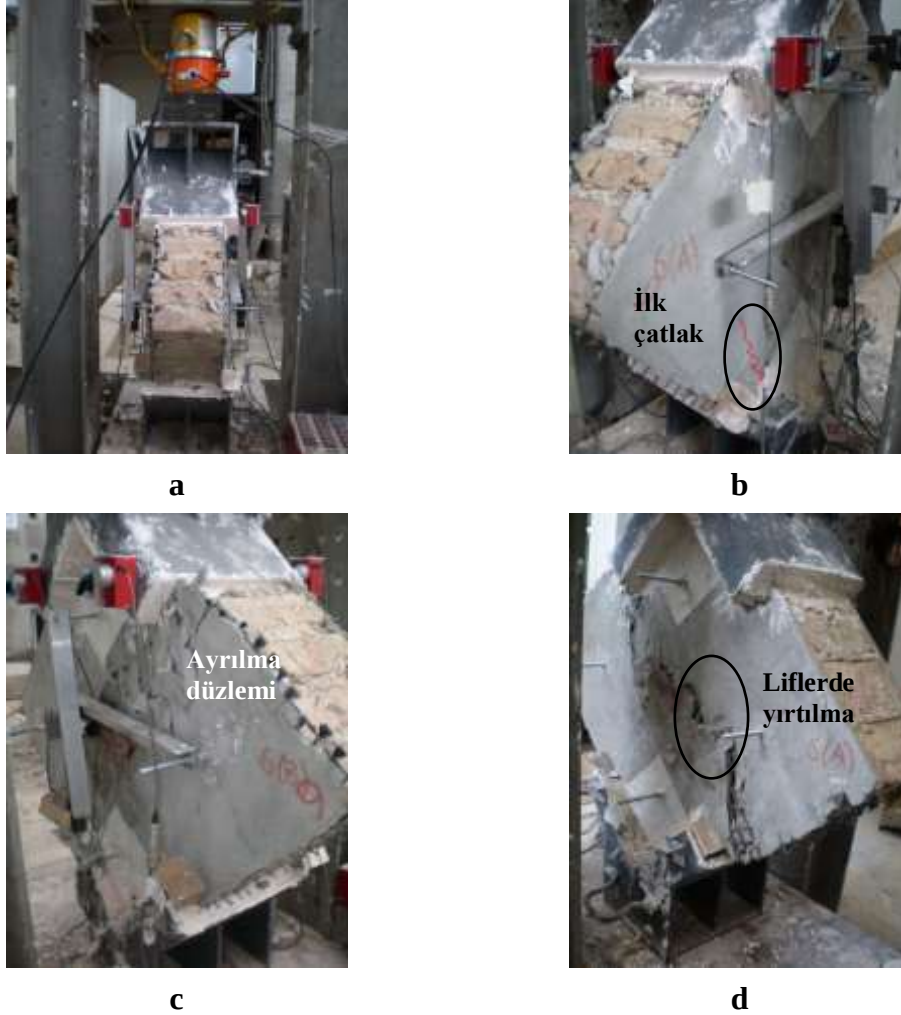


d

Şekil 5.19 : D-C-T-0 (1) numunesi hasar gelişimi.

D-C-T-0 (2) numunesi deney öncesi Şekil 5.20(a)'da gösterilmiştir. Numunede ilk çatlak; maksimum yük değeri kaydedilmeden önce, sıva üzerinde alt ve üst çelik başlıkların oturduğu bölgeye yakın ve düşey olarak ve 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur, Şekil 5.20(b). İlk çatlakın oluştuğu düşey yük seviyesi 175.21 kN ve bu yük seviyesinde 0.00171 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir. Deneyde ulaşılan maksimum yük değeri 180.77 kN ve bu yük seviyesinde oluşan düşey şekil değiştirme değeri 0.00203'tür. Sıva üzerinde çatlakların ilerlemesi ile 122.92 kN düşey yük değerinde numune yatay derz düzleminden ayrılmaya başlamıştır. İlgili yük seviyesine karşılık gelen düşey şekil değiştirme değeri 0.00471'dir. Numunenin yüzeylerindeki sıva 112.45 kN düşey yük ve 0.00632 düşey şekil değiştirme seviyesinde dökülmeye başlamıştır. Sıva ayrılma düzlemi boyunca dökülmüş ve ortaya çıkan bazalt lifli malzeme oldukça fazla şekil değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.20(c). Deneyin ilerleyen bölümlerinde sıvanın döküldüğü bölgelerde tekstil malzeme yırtılmıştır. Düşey yük 100.35 kN ve düşey

şekildeğiştirme 0.05796 seviyesinde iken deney sonlandırılmıştır, Şekil 5.20(d). Deney sonunda numune incelendiğinde tuğlalarda herhangi bir hasara rastlanmamıştır.

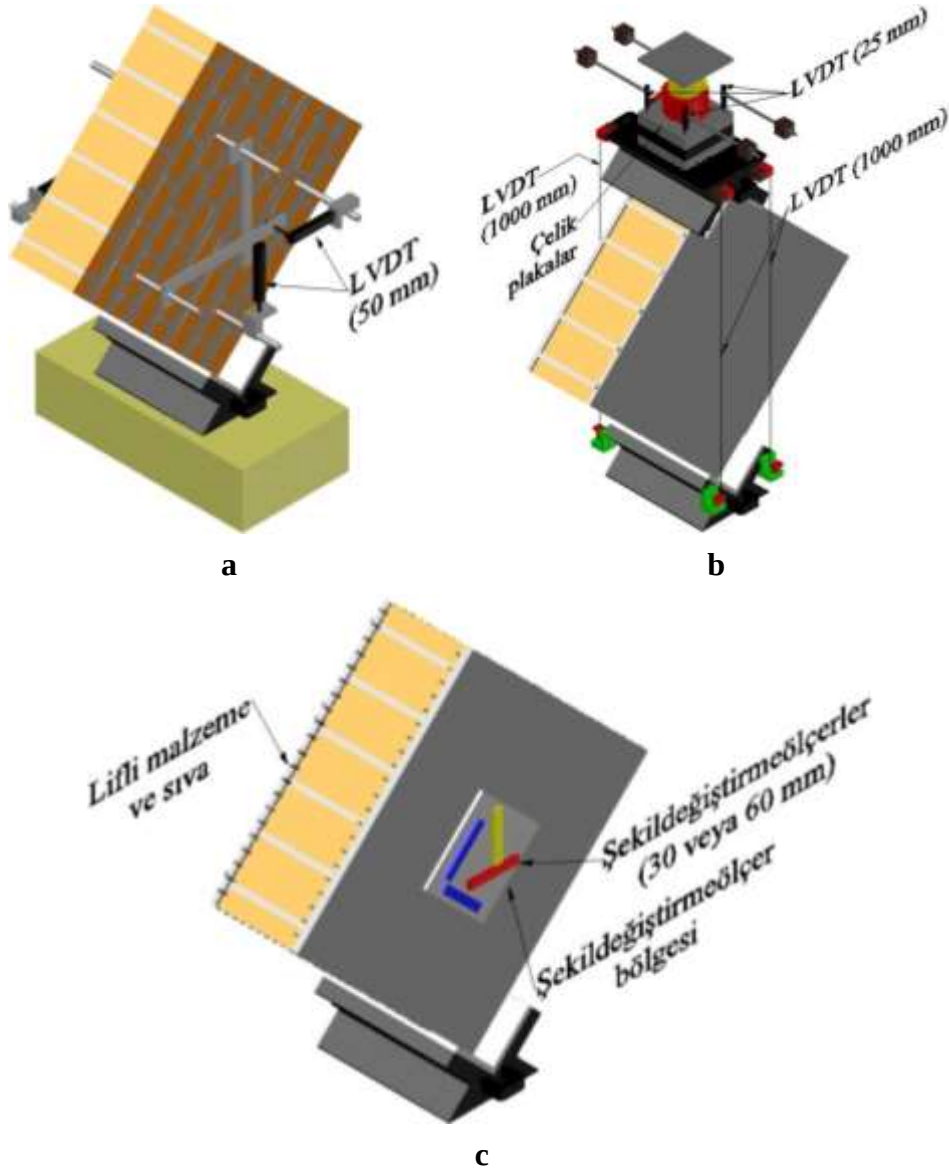


Şekil 5.20 : D-C-T-0 (2) numunesi hasar gelişimi.

5.3 Deney Sonuçları

Deneysel çalışma boyunca diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen numunelere ait düşey yerdeğiştirme değerleri Bölüm 4.2.2’de açıklanan ve numunelerin farklı kısımlarına yerleştirilen LVDT (linear variation displacement transducer) tipi yerdeğiştirmeölçerlerden kullanılarak kaydedilmiştir. Bu bölümde verilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafikleri, numunenin her yüzüne birer adet düşey olarak yerleştirilmiş 50 mm kapasiteli toplam iki adet yerdeğiştirmeölçerin verileri kullanılarak elde edilmiştir, Şekil 5.21(a). Yerdeğiştirmeölçerden kaydedilen değerler ilgili ölçüm boyuna bölünmüş ve şekildeğiştirme değerleri hesaplanarak

ortalama şekildeğiştirme değerleri belirlenmiştir. . Bu değerlere karşılık gelen düşey yük değerleri ile düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.21 : Yerdeğiştirme ölçüm sistemi.

Numunelerde tam boya ait düşey yerdeğiştirmeleri kaydetmek için çelik başlığa mıknatıslı ayaklar yardımı ile sabitlenen toplam dört adet 1000 mm kapasiteli LVDT kullanılmıştır, Şekil 5.21(b). Toplanan veriler, numunenin orta bölgelerinde kaydedilen değerlere yakın sonuçlar verdiğinden ayrı bir hesap yapılmamıştır.

Çelik plakaların köşeleri üzerine konumlandırılan ve çelik çerçeveye mıknatıs ayaklar ile sabitlenen dört adet 25 mm kapasitesinde yerdeğiştirmeölçerden elde edilen değerler anlamlı sonuçlar vermediğinden hesaplarda kullanılmamıştır, Şekil 5.21(b).

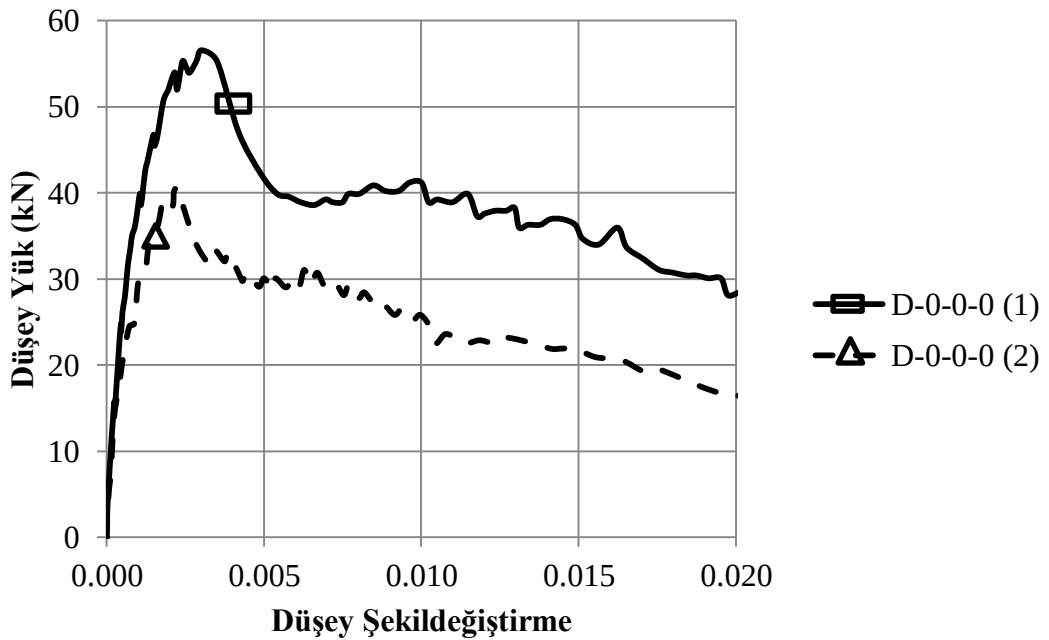
Bu bölümde sunulan düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri, numunenin her yüzüne birer adet yatay olarak yerleştirilmiş 50 mm kapasiteli toplam iki adet yer değiştirmeölçerin verileri kullanılarak elde edilmiştir, Şekil 5.21(a). Yer değiştirmeölçerden kaydedilen değerler ilgili ölçüm boyuna bölünmüş ve şekil değiştirme değerleri hesaplanarak ortalama şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Bu değerlere karşılık gelen düşey yük değerleri ile düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

Numunenin orta kısmına yatay, düşey, lif yönünde ve life dik olarak yapıştırılan şekil değiştirmeölçerler (strain gage) ilk hasarda yüzeyden ayrıldığından anlamlı sonuçlar elde edilememiştir, Şekil 5.21(c).

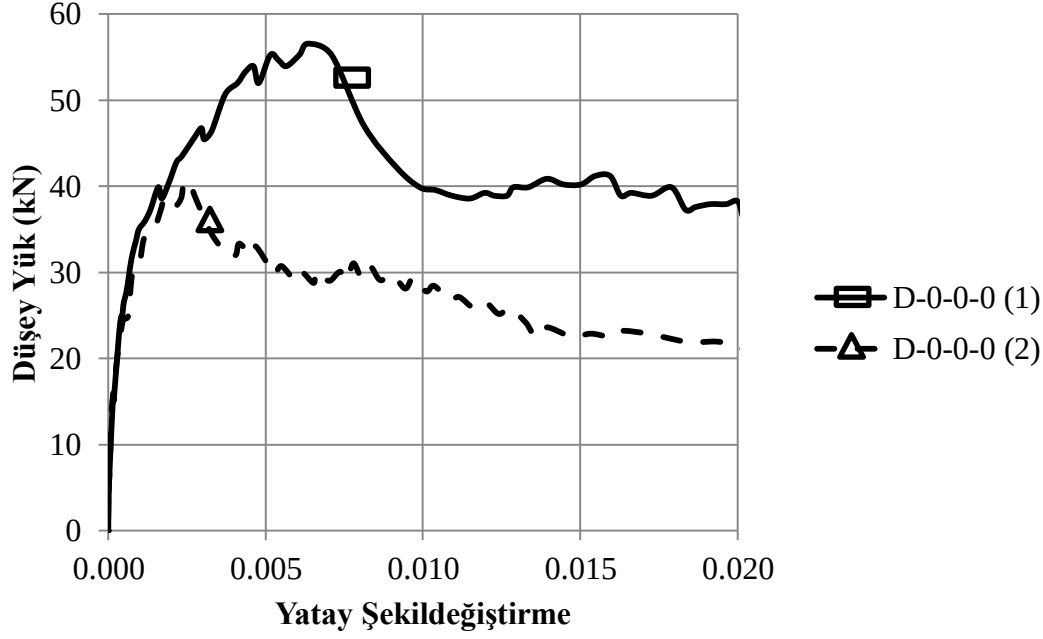
5.3.1 Grup-1'e ait sonuçlar

Referans davranışı belirlemek amacıyla herhangi bir güçlendirme işlemi ve sıva uygulanmadan iki adet numune denenmiştir.

Diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen D-0-0-0 (1) ve D-0-0-0 (2) isimli referans numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri sırası ile Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.22 : Grup-1'e ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



Şekil 5.23 : Grup-1'e ait düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiği.

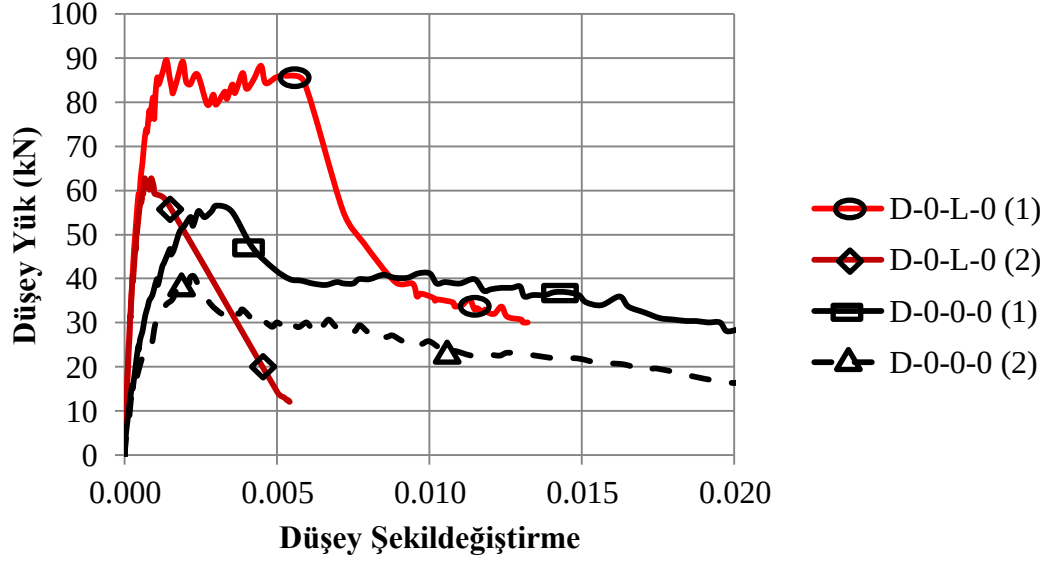
D-0-0-0 (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 53.94 kN seviyesinde ve 0.0026 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 56.55 kN, bu seviyede 0.0030 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

D-0-0-0 (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 38.57 kN seviyesinde ve 0.0021 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 40.53 kN, bu seviyede 0.0023 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

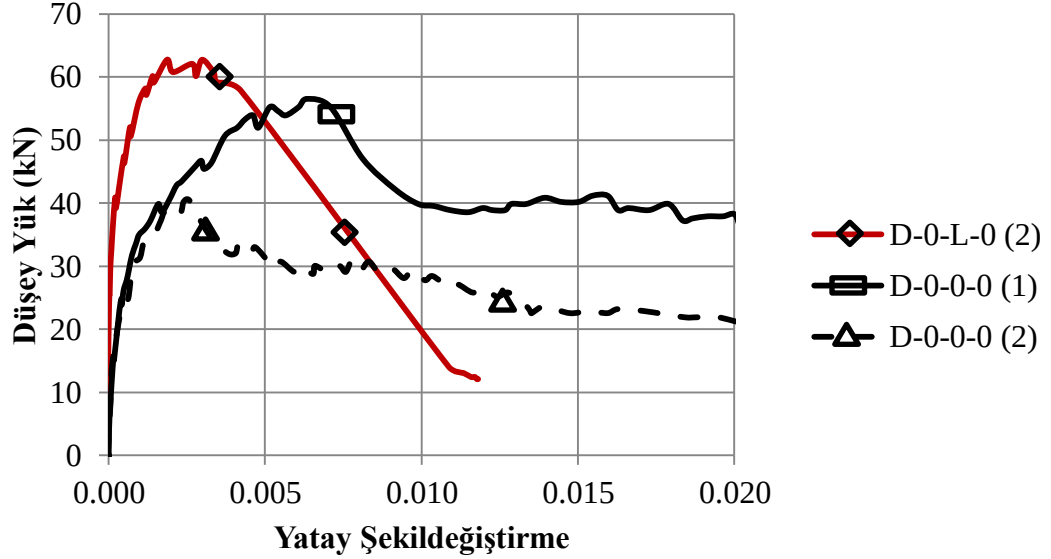
5.3.2 Grup-2'ye ait sonuçlar

Kayma davranışında sıvanın etkisini belirlemek amacıyla tuğlaları numune imalatında kullanılan tarihi binaya ait orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış iki adet numune denenmiştir. Diyagonal basınç yükleme gerçekleştirilen D-0-L-0 (1) ve D-0-L-0 (2) isimli sıvalı numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri referans numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te verilmiştir.

D-0-L-0 (1) isimli numunenin bir yüzünde deney sırasında oluşan problemler nedeniyle yatay yerdeğiştirmeölçerden okuma alınamamıştır.



Şekil 5.24 : Grup-2'ye ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



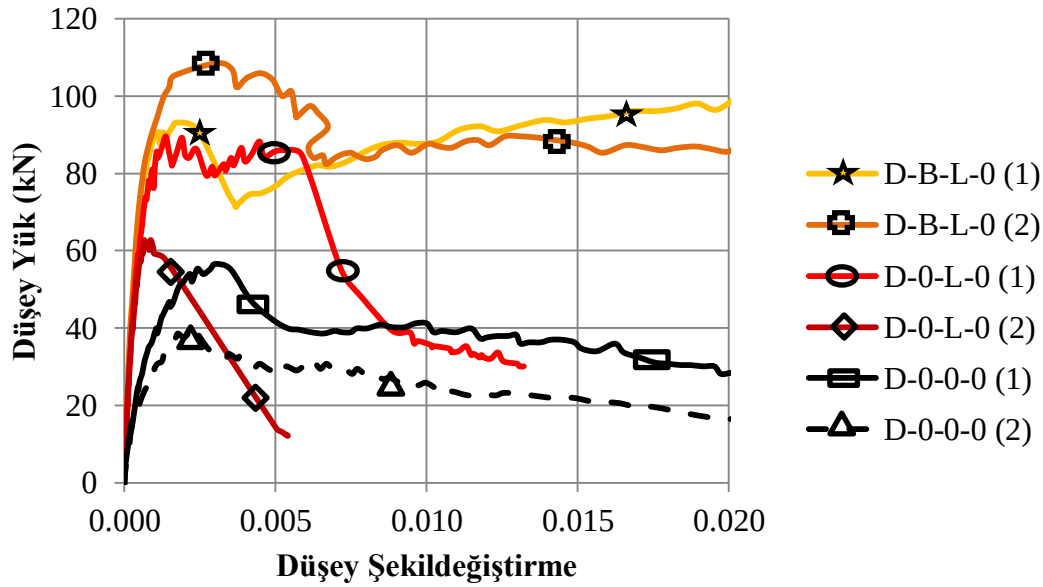
Şekil 5.25 : Grup-2'ye ait düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiği.

D-0-L-0 (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 85.32 kN seviyesinde ve 0.0017 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 89.24 kN, bu seviyede 0.0019 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

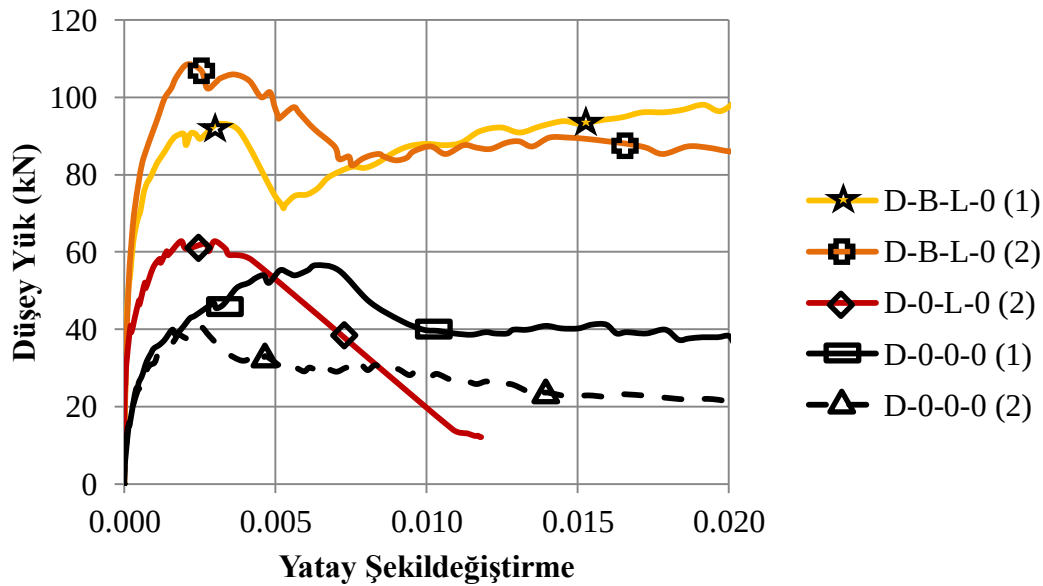
D-0-L-0 (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 60.15 kN seviyesinde ve 0.0006 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 62.76 kN, bu seviyede 0.0007 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

5.3.3 Grup-3'e ait sonuçlar

Kayma davranışında tekstil malzeme ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amaçlanarak tuğlaları numune imalatında kullanılan tarihi binaya ait orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiş iki adet numune denenmiştir. Diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen D-B-L-0 (1) ve D-B-L-0 (2) isimli numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri referans ve sıvalı numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.26 : Grup-3'e ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



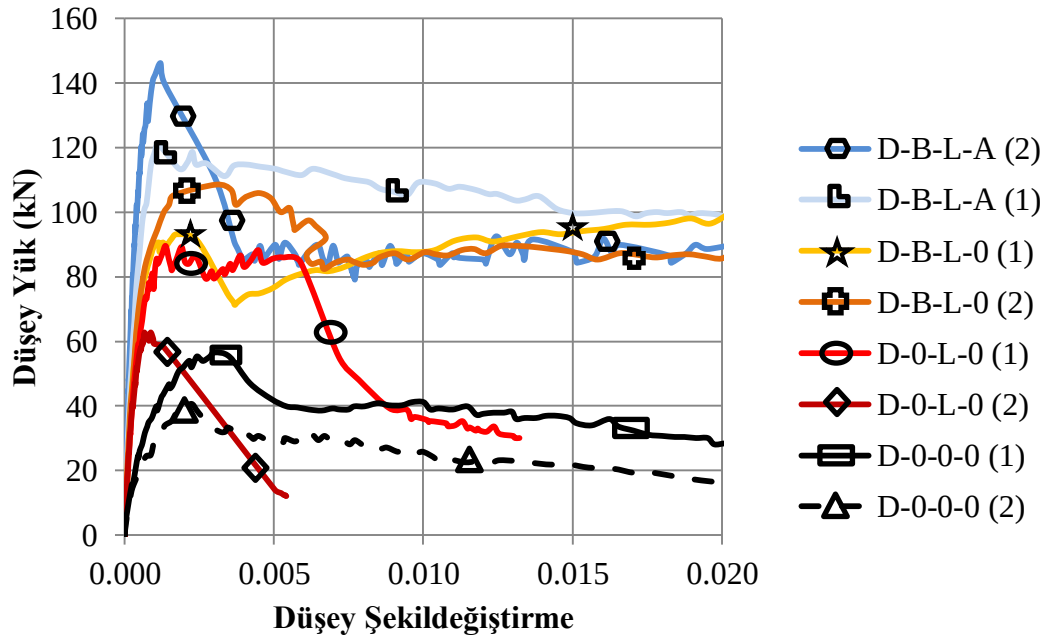
Şekil 5.27 : Grup-3'e ait düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiği.

D-B-L-0 (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 91.20 kN seviyesinde ve 0.0111 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 106.57 kN, bu seviyede 0.0335 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

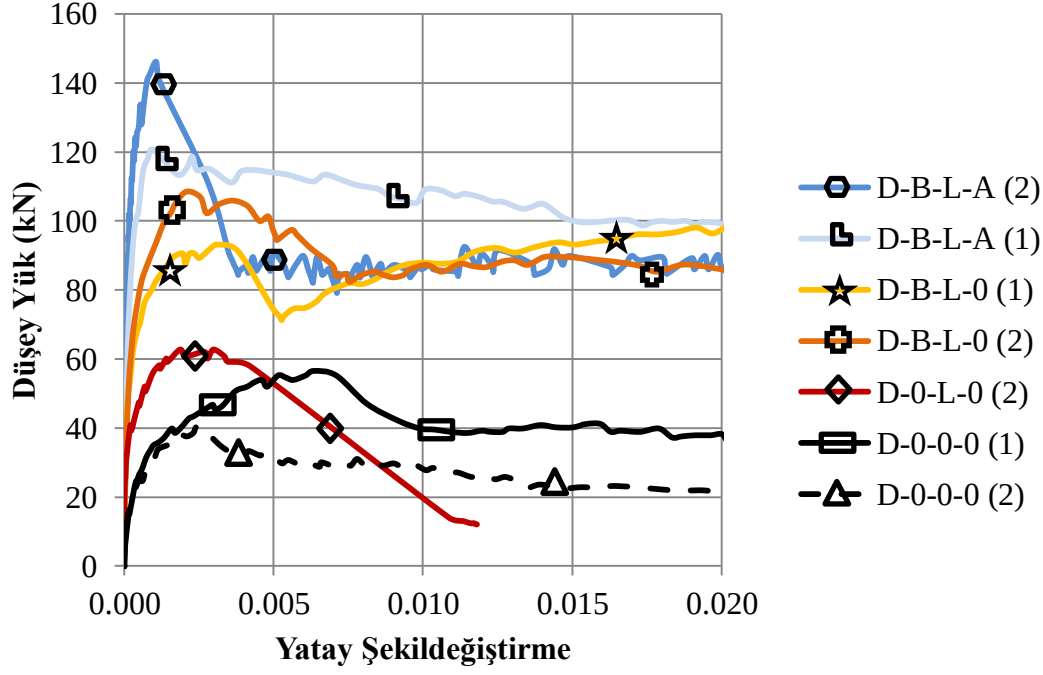
D-B-L-0 (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 102.30 kN seviyesinde ve 0.0015 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 108.53 kN, bu seviyede 0.0031 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

5.3.4 Grup-4'e ait sonuçlar

Kayma davranışında tekstil malzeme ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amaçlanarak tuğlaları numune imalatında kullanılan tarihi binaya ait orijinal harcın mekanik özelliklerini yansıtan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiş iki adet numune denenmiştir. Ankraj uygulamasının yapısal davranışa katkısını araştırmak amacı ile Grup-4'ü oluşturan numunelerde üretici tarafından hazır olarak temin edilen bazalt lifli süreksiz ankrajlar kullanılmıştır. Diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen D-B-L-A (1) ve D-B-L-A (2) isimli numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri referans, sıvalı ve bazalt lif ile güçlendirilmiş numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.28 : Grup-4'e ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



Şekil 5.29 : Grup-4'e ait düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiği.

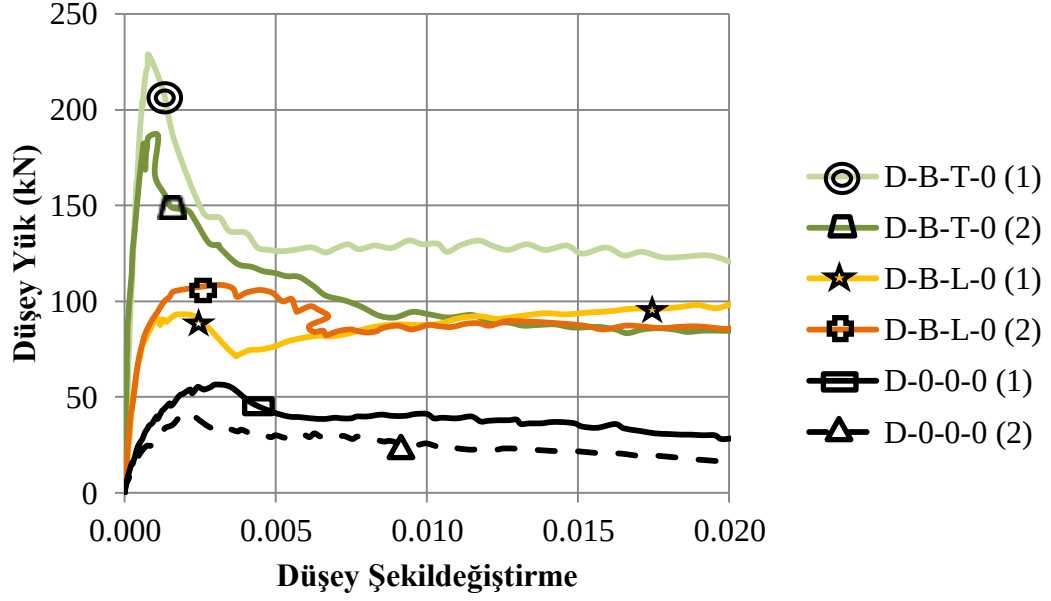
D-B-L-A (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 118.00 kN seviyesinde ve 0.0010 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 120.62 kN, bu seviyede 0.0012 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

D-B-L-A (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 140.60 kN seviyesinde ve 0.0009 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 146.12 kN, bu seviyede 0.0012 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

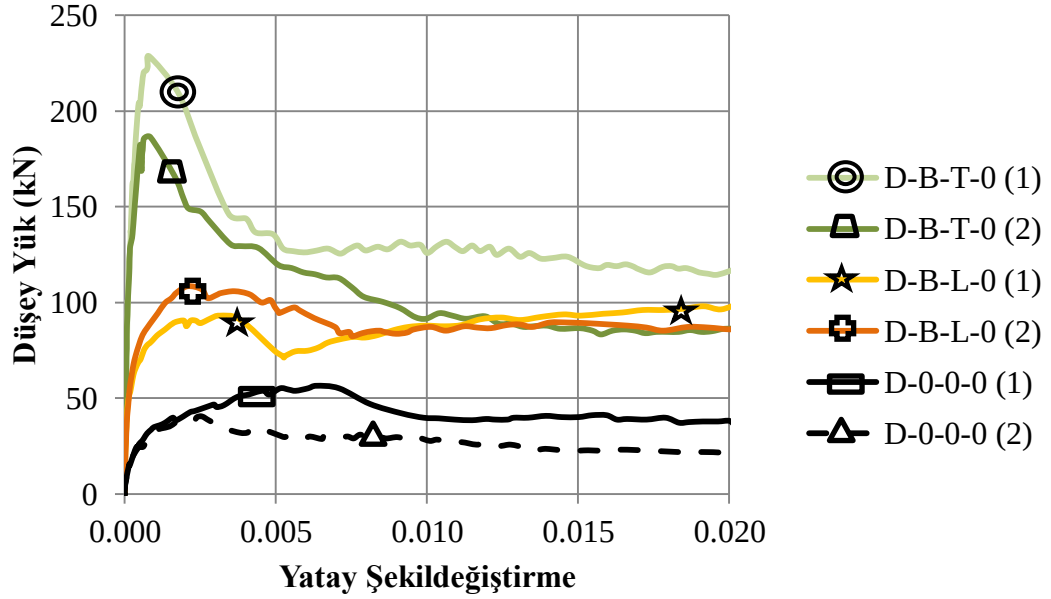
5.3.5 Grup-5'e ait sonuçlar

Kayma davranışında tekstil malzeme ile güçlendirmenin ve sıvanın mekanik özelliklerinin etkisini belirlemek amaçlanarak orta dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiş iki adet numune denenmiştir.

Diyagonal basınç yükleme gerçekleştirilen D-B-T-0 (1) ve D-B-T-0 (2) isimli numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri referans ve bazalt lif ile güçlendirilmiş düşük dayanımlı harç ile sıvanmış numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.30 : Grup-5'e ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



Şekil 5.31 : Grup-5'e ait düşey yük-yatay şekil değiştirme.

D-B-T-0 (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 223.27 kN seviyesinde ve 0.0008 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 228.50 kN, bu seviyede 0.0008 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

D-B-T-0 (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 179.46 kN seviyesinde ve 0.0007 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 186.33 kN, bu seviyede 0.0011 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

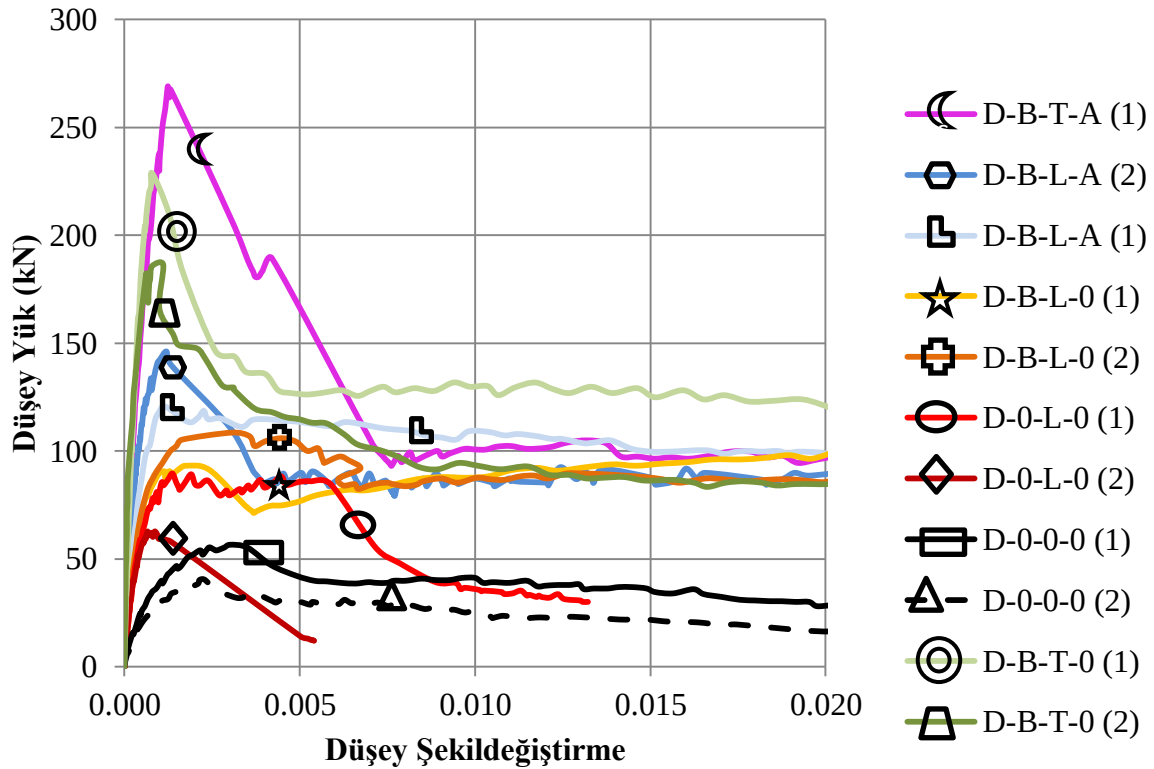
5.3.6 Grup-6'ya ait sonuçlar

Kayma davranışında tekstil malzeme ile güçlendirmenin ve sıvanın mekanik özelliklerinin etkisini belirlemek amaçlanarak orta dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiş iki adet numune denenmiştir.

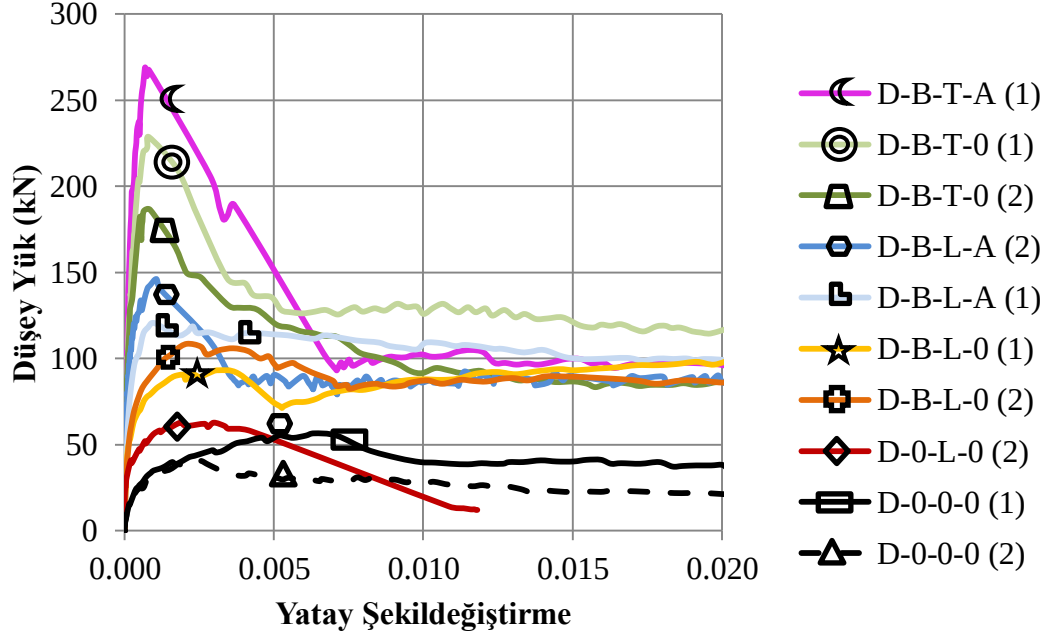
Ankraj uygulamasının yapısal davranışa katkısını araştırmak amacı ile Grup-6'yı oluşturan numunelerde üretici tarafından hazır olarak temin edilen bazalt lifli süreksiz ankrajlar kullanılmıştır.

Diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen D-B-T-A (1) isimli numuneye ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme grafikleri referans ve bazalt lif ile güçlendirilmiş numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.

Deney sırasında oluşan problemler nedeni ile D-B-T-A (2) isimli numune şekildeğiştirme açısından dikkate alınmamış, bu nedenle ilgili numune yalnız dayanım açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 5.32 : Grup-6'ya ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 5.33 : Grup-6'ya ait yatay yük-düşey şekil değiştirme grafiği.

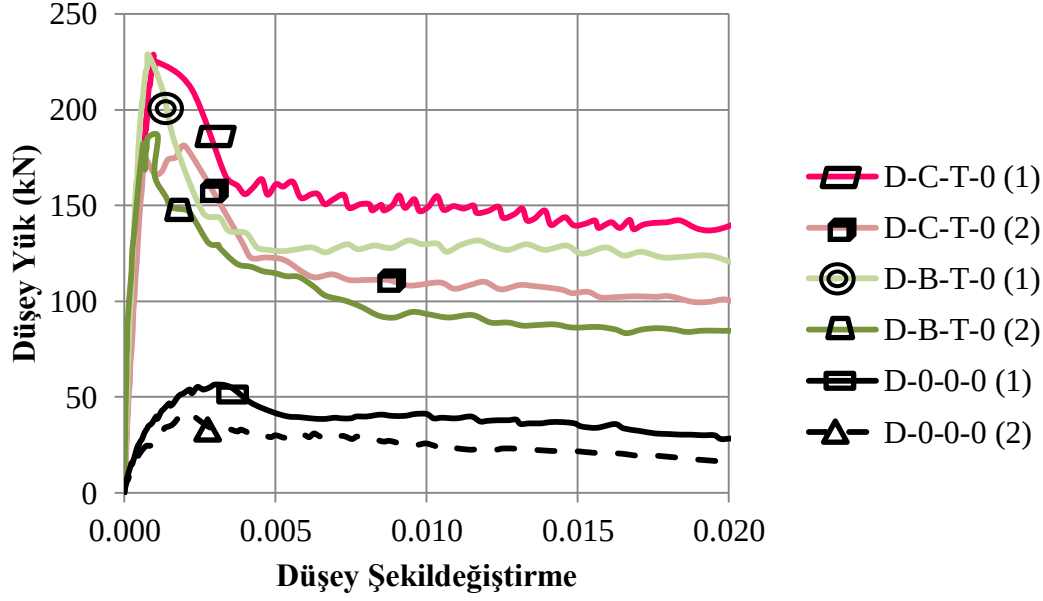
D-B-T-A (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 265.11 kN seviyesinde ve 0.0012 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir.

Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 269.03 kN, bu seviyede 0.0012 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

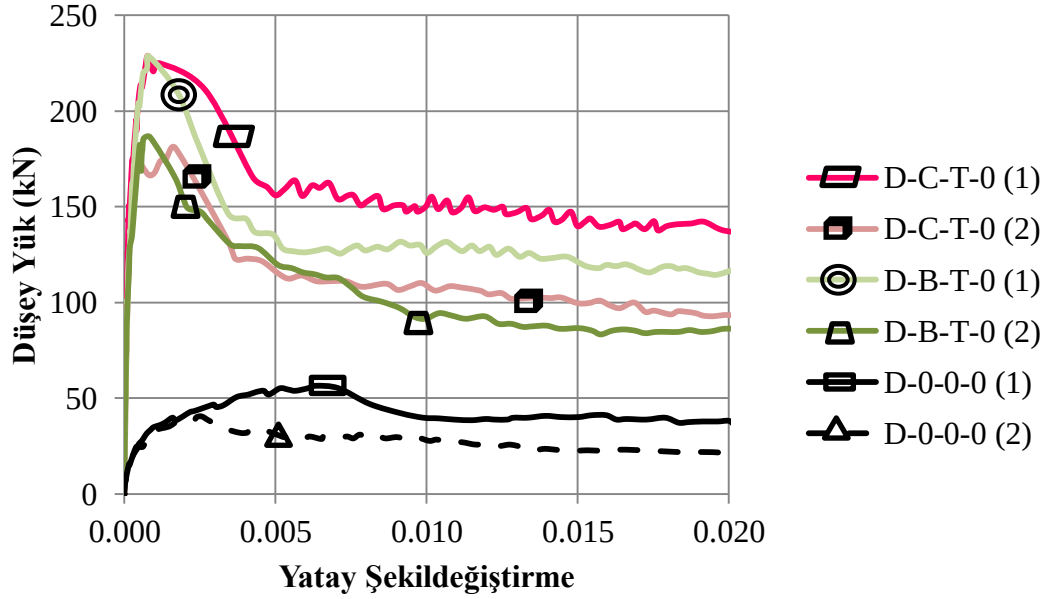
5.3.7 Grup-7'ye ait sonuçlar

Kayma davranışında tekstil malzeme ile güçlendirmede tekstil türünün ve sıvanın mekanik özelliklerinin etkisini belirlemek amaçlanarak orta dayanımlı harç ile sıvanmış ve karbon lifli malzeme ile güçlendirilmiş iki adet numune denenmiştir.

Diyagonal basınç yüklemesi gerçekleştirilen D-C-T-0 (1) ve D-C-T-0 (2) isimli numunelere ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme grafikleri referans ve bazalt lif ile güçlendirilip ve orta dayanımlı sıva kullanılmış numuneler ile karşılaştırılarak sırası ile Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te verilmiştir.



Şekil 5.34 : Grup-7'ye ait düşey yük-düşey şekil değiştirme grafiği.



Şekil 5.35 : Grup-7'ye ait düşey yük-yatay şekil değiştirme grafiği.

D-C-T-0 (1) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 221.63 kN seviyesinde ve 0.0009 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 228.82 kN, bu seviyede 0.0010 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

D-C-T-0 (2) numunesi ile gerçekleştirilen deneyde ilk çatlak 175.21 kN seviyesinde ve 0.0017 düşey şekil değiştirme oluşmuşken gözlemlenmiştir. Kaydedilen maksimum düşey yük değeri 180.77 kN, bu seviyede 0.0020 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir.

5.4 Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi

5.4.1 Giriş

İmalat aşamasında tarihi tuğlalar kullanılan toplam 14 adet duvar numunesinin diyagonal basınç deneylerinden elde edilen sayısal sonuçlar bu bölümde değerlendirilmiştir. Güçlendirilmiş numuneler, sıvalı ve referans numuneler ile yük kapasitesi, kayma dayanımı, kayma şekildeğiştirme kapasitesi, kayma modülü ve tüketilen enerji başlıkları altında karşılaştırılmıştır.

Deneylerden toplanan veriler değerlendirildiğinde, tekstil donatılı malzeme ile güçlendirme uygulamasının tarihi tuğla duvarların kayma davranışını oldukça iyileştirdiği belirlenmiştir.

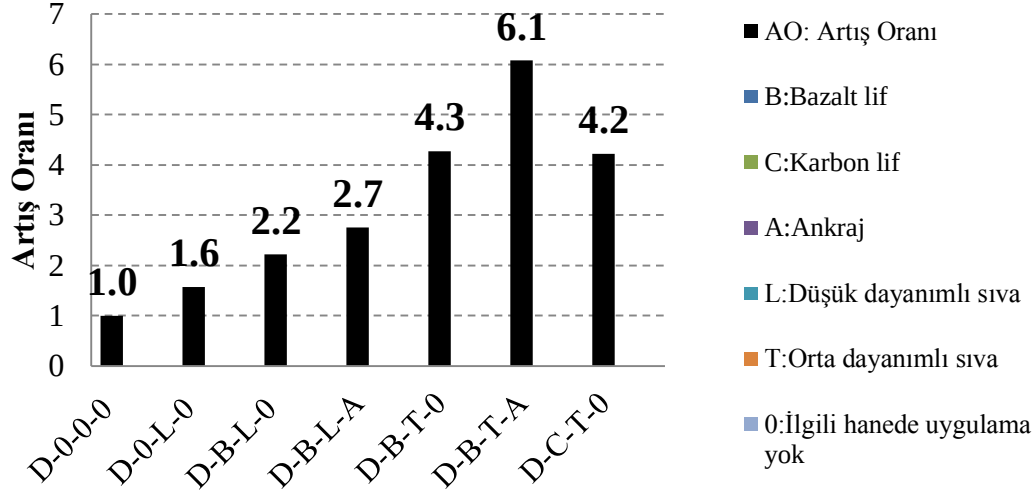
5.4.2 Yük kapasitesi

Numunelere ait yük taşıma kapasitesi, güçlendirme tekniğinin etkinliğinin belirlenmesinde dikkate alınan bir özelliktir. Bu nedenle, 14 duvar numunesinin oluşturduğu 7 gruba ait taşınan maksimum yük değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. İki adet numuneden oluşan her deney grubu için ilk çatlağın gözlemlendiği yük değerinin ve maksimum yük değerinin ortalaması hesaplanmıştır. Çizelgede, P_{cr} ilk çatlağın oluştuğu yük seviyesini, P_{max} taşınan maksimum yükü göstermektedir. $P_{cr(ort)}$ ve $P_{max(ort)}$ ise sırası ile, ilgili gruba ait ilk çatlağın oluştuğu yük seviyesinin ortalama değerini ilgili gruba ait maksimum yük değerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Çizelge 5.2 : Numunelerin maksimum yük kapasitesi değerleri.

Grup numarası	Grup numuneleri	P_{cr} (kN)	$P_{cr(ort)}$ (kN)	P_{max} (kN)	$P_{max(ort)}$ (kN)
Grup-1	D-0-0-0 (1)	53.9	46.3	56.55	48.5
	D-0-0-0 (2)	38.6		40.53	
Grup-2	D-0-L-0 (1)	85.3	72.7	89.24	76.0
	D-0-L-0 (2)	60.2		62.76	
Grup-3	D-B-L-0 (1)	91.2	96.8	106.57	107.6
	D-B-L-0 (2)	102.3		108.53	
Grup-4	D-B-L-A (1)	118.0	129.3	120.62	133.4
	D-B-L-A (2)	140.6		146.12	
Grup-5	D-B-T-0 (1)	223.3	201.4	228.50	207.4
	D-B-T-0 (2)	179.5		186.33	
Grup-6	D-B-T-A (1)	265.1	265.1	269.03	294.9
	D-B-T-A (2)	-		320.68	
Grup-7	D-C-T-0 (1)	221.6	198.4	228.82	204.8
	D-C-T-0 (2)	175.2		180.77	

İki adet numuneden oluşan her deney grubu için ortalama maksimum yük değeri hesaplanmıştır. Her gruptan elde edilen ortalama değer, referans numunelerden elde edilen ortalama değere bölünerek artış oranı belirlenmiştir. Artış oranları numune özellikleri ile açıklanarak Şekil 5.36’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.36 : Numunelerde ortalama yük kapasitesi artış oranı.

Numune isimlendirmesinde “L” ile gösterilen, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 0.87 ve 1.09 MPa olan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerin ortalama yük kapasitesinin referans numunelerin ortalama yük kapasitesinin 1.6 katı olduğu belirlenmiştir. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen ve düşük dayanımlı sıva kullanılan Grup-3 numunelerinin ortalama yük kapasitesinin referans numunelerin ortalama yük kapasitesinin 2.2 katı olduğu görülmüştür. Bazalt lifli malzeme ve ankraj uygulaması ile güçlendirilen, düşük dayanımlı harç ile sıvanmış Grup-4 numunelerinin ortalama yük kapasitesinin referans numunelerin ortalama yük kapasitesinin 2.7 katı olduğu görülmüştür. Numunelerin yük kapasitesi artış oranları incelendiğinde, mekanik özellikleri yetersiz sıva uygulaması bile artış sağlamıştır. Bazalt lif ile güçlendirme işlemi ise taşınan yük kapasitesini oldukça ciddi biçimde arttırmıştır. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen numunelere uygulanan 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 9.83 ve 10.37 MPa olan orta dayanımlı sıva (T) kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 4.3 katıdır. Bu değer düşük dayanımlı sıva kullanılan numuneler için 2.2 kat olması sıvaya ait mekanik özelliklerin yük kapasitesindeki artış için önemli bir özellik olduğunu göstermektedir.

Üretici tarafından hazır olarak temin edilen bazalt lifli ankajlar ile 4 adet numuneye süreksiz ankraj uygulaması yapılmıştır. Yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-3 ve Grup-4 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-3 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 2.2 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-4 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 2.7 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %23'lük yük kapasitesi artışı sağlamıştır. Orta dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerde yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-5 ve Grup-6 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-5 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 4.3 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-6 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 6.1 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %42'lik yük kapasitesi artışı sağlamıştır. Yük kapasitesi artış yüzdeleri incelendiğinde, ankraj uygulamasının orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde daha etkili olduğu görülmüştür.

Tekstil malzeme türünün numunenin yük taşıma kapasitesindeki etkisi orta dayanımlı sıva uygulanmış Grup-5 ve Grup-7 numuneleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi için bazalt lifli malzeme kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama yük kapasitesi değeri, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama yük kapasitesi değerinin 4.3 katıdır. Karbon lifli malzeme ile güçlendirilen Grup-7 numunelerinin ortalama yük kapasitesi değeri ise, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama yük kapasitesi değerinin 4.2 katıdır. Yük kapasitesi artış oranının neredeyse eşit olması, bazalt ve karbon lifli malzemenin mekanik özelliklerinin birbirine benzer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir, Çizelge 5.3.

Çizelge 5.3 : Lifli malzeme mekanik özellikleri.

Tekstil Malzeme	Çekme Dayanımı (f_f) (MPa)	Elastisite Modülü (E_f) (MPa)	Kopma Uzunluğu (ılgara) (ϵ_{fu}) (%)
Bazalt	6.0	370	1.62
Karbon	8.4	500	1.68

5.4.3 Kayma dayanımı

Diyagonal basınç deneylerinde ulaşılan en büyük yük değerleri ve numune boyutları denklem (5.1)'de yerine konularak numunelere ait kayma dayanımları elde edilmiştir.

$$\tau (MPa) = \frac{P(kN) \times \cos 45^\circ \times 1000}{h(mm) \times d(mm)} \quad (5.2)$$

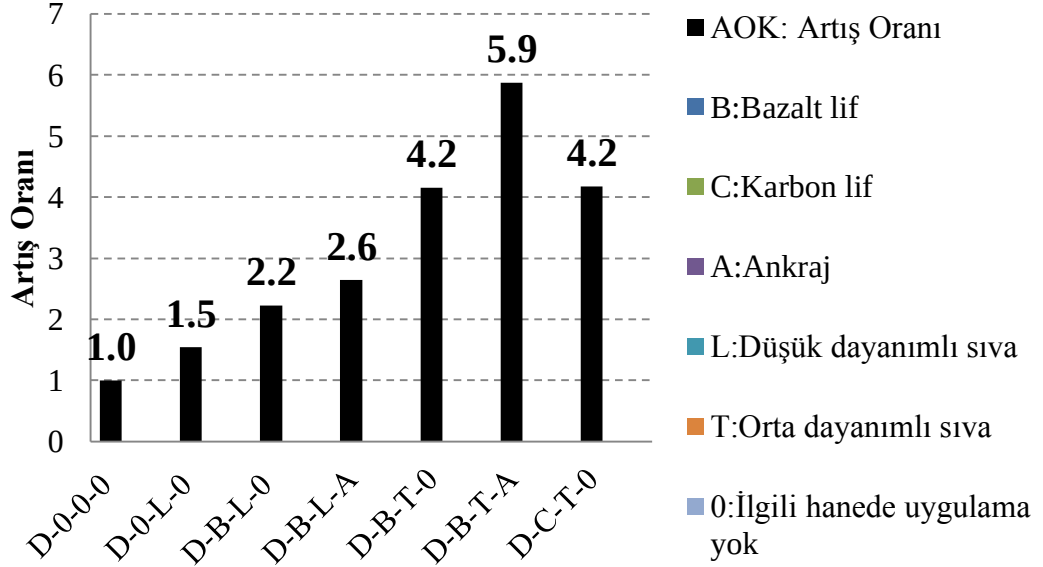
Çizelge 5.4'de her numune için ilk çatlağın gözlemlendiği seviyede hesaplanan kayma gerilmesi değeri ve ilgili grubun ortalama değeri sırası ile σ_τ ve $\sigma_{\tau(ort)}$ ile gösterilmiştir. Her numunenin kayma dayanımı ve ilgili grubun ortalama değeri sırası ile σ_{max} ve $\sigma_{max(ort)}$ değerleri hesaplanarak Çizelge 5.4'de sunulmuştur.

Ayrıca her gruptan elde edilen ortalama değer, referans numunelerden elde edilen ortalama değere bölünerek kayma dayanımı artış oranı belirlenmiş ve A.O_K ile gösterilerek Çizelge 5.4'e eklenmiştir.

Artış oranları numune özellikleri ile açıklanarak Şekil 5.37'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Numunelerin kayma dayanımı.

Grup numarası	Grup numuneleri	σ_τ (MPa)	$\sigma_{\tau(ort)}$ (MPa)	σ_{max} (MPa)	$\sigma_{max(ort)}$ (MPa)
Grup-1	D-0-0-0 (1)	0.21	0.19	0.23	0.20
	D-0-0-0 (2)	0.16		0.17	
Grup-2	D-0-L-0 (1)	0.34	0.29	0.35	0.30
	D-0-L-0 (2)	0.24		0.25	
Grup-3	D-B-L-0 (1)	0.37	0.39	0.43	0.44
	D-B-L-0 (2)	0.42		0.44	
Grup-4	D-B-L-A (1)	0.47	0.50	0.48	0.52
	D-B-L-A (2)	0.54		0.56	
Grup-5	D-B-T-0 (1)	0.87	0.79	0.90	0.81
	D-B-T-0 (2)	0.71		0.73	
Grup-6	D-B-T-A (1)	1.03	1.13	1.04	1.15
	D-B-T-A (2)	1.23		1.25	
Grup-7	D-C-T-0 (1)	0.88	0.79	0.91	0.82
	D-C-T-0 (2)	0.70		0.73	



Şekil 5.37 : Numunelerde ortalama kayma dayanımı artış oranı.

Numune isimlendirmesinde “L” ile gösterilen, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 0.87 ve 1.09 MPa olan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerin ortalama kayma dayanımının referans numunelerin ortalama kayma dayanımının 1.5 katı olduğu belirlenmiştir. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen ve düşük dayanımlı sıva kullanılan Grup-3 numunelerinin ortalama kayma dayanımının referans numunelerin ortalama kayma dayanımının 2.2 katı olduğu görülmüştür. Bazalt lifli malzeme ve ankraj uygulaması ile güçlendirilen, düşük dayanımlı harç ile sıvanmış Grup-4 numunelerinin ortalama kayma dayanımının referans numunelerin ortalama kayma dayanımının 2.6 katı olduğu görülmüştür. Numunelerin kayma dayanımının artış oranları incelendiğinde, mekanik özellikleri yetersiz sıva uygulaması bile artış sağlamıştır. Bazalt lif ile güçlendirme işlemi ise kayma dayanımını oldukça ciddi biçimde arttırmıştır. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen numunelere uygulanan 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 9.83 ve 10.37 MPa olan orta dayanımlı sıva (T) kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama kayma dayanımı, referans numunelerinin kayma dayanımı değerinin 4.2 katıdır. Bu değer düşük dayanımlı sıva kullanılan numuneler için 2.2 kat olması sıvaya ait mekanik özelliklerin kayma dayanımındaki artış için önemli bir özellik olduğunu göstermektedir.

Üretici tarafından hazır olarak temin edilen bazalt lifli ankajlar ile 4 adet numuneye süreksiz ankraj uygulaması yapılmıştır. Yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-3 ve Grup-4 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-3

numunelerinin ortalama kayma dayanımı, referans numunelerinin kayma dayanımı değerinin 2.2 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-4 numunelerinin ortalama kayma dayanımı, referans numunelerinin kayma dayanımı değerinin 2.6 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %18'lik kayma dayanımı artışı sağlamıştır. Orta dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerde yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-5 ve Grup-6 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-5 numunelerinin ortalama kayma dayanımı, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 4.2 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-6 numunelerinin ortalama yük kapasitesi, referans numunelerinin yük kapasitesi değerinin 5.9 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %41'lik yük kapasitesi artışı sağlamıştır. Yük kapasitesi artış yüzdeleri incelendiğinde, ankaj uygulamasının orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde daha etkili olduğu görülmüştür.

Tekstil malzeme türünün numunenin kayma dayanımı açısından etkisi orta dayanımlı sıva uygulanmış Grup-5 ve Grup-7 numuneleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi için bazalt lifli malzeme kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama kayma dayanımı değeri, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama kayma dayanımı değerinin 4.2 katıdır. Karbon lifli malzeme ile güçlendirilen Grup-7 numunelerinin ortalama kayma dayanımı değeri ise, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama kayma dayanımı değerinin 4.2 katıdır. Kayma dayanımı artış oranının eşit olması, bazalt ve karbon lifli malzemenin mekanik özelliklerinin birbirine benzer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.4.4 Kayma şekildeğiştirmesi

Kayma şekildeğiştirmesi değerleri ASTM E519 'da yer alan denklem (5.2)'ye göre hesaplanmıştır, [22]. Denklem 5.2'de düşey yerdeğiştirme ΔV , yatay yerdeğiştirme ΔH ve ölçüm boyu g ile ifade edilmiştir.

İlgili yerdeğiştirme değerleri, numunelerin her iki yüzünde orta bölgelerde konumlandırılmış, 50 mm kapasiteli toplam 4 adet LVDT'den elde edilmiştir. Düşey yerdeğiştirme ΔV , numunenin her iki yüzünde birer adet düşey olarak yerleştirilmiş toplam iki LVDT'nin ortalamasıdır. Yatay yerdeğiştirme ΔH ise, numunenin her iki yüzünde birer adet yatay olarak yerleştirilmiş toplam iki LVDT'nin ortalama değeridir.

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \quad (5.2)$$

Çizelge 5.5'te her numune için ilk çatlağın gözlemlendiği seviyede hesaplanan kayma şekildeğiştirmesi değeri ve ilgili grubun ortalama değeri sırası ile γ_{ϕ} ve $\gamma_{\phi(ort)}$ ile gösterilmiştir.

Her numunenin kayma şekildeğiştirmesi ve ilgili grubun ortalama değeri sırası ile γ_{max} ve $\gamma_{max(ort)}$ değerleri hesaplanarak Çizelge 5.5'de sunulmuştur.

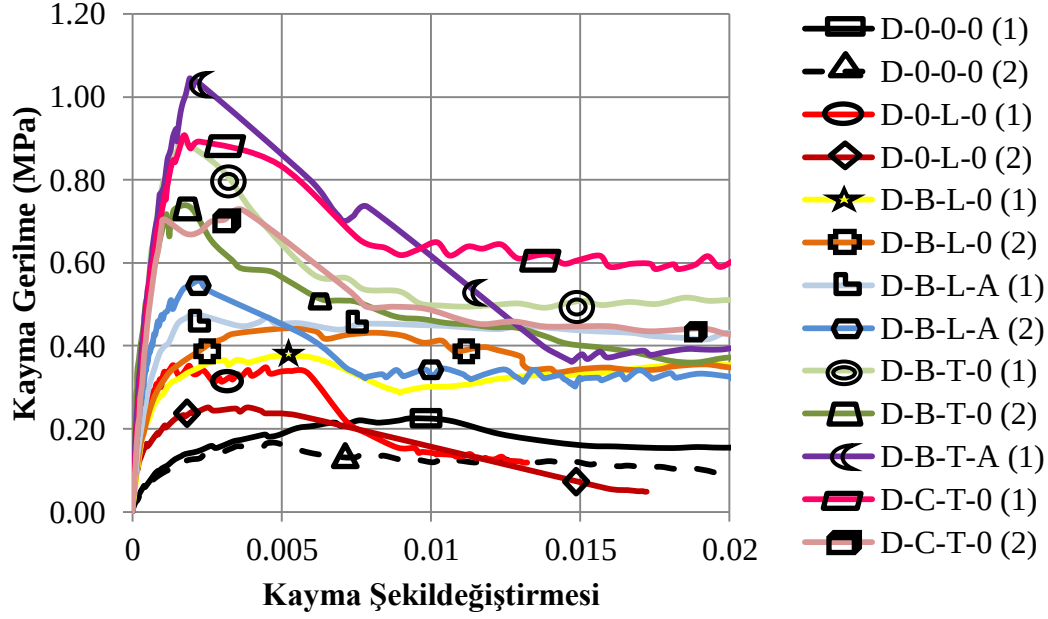
Çizelge 5.5 : Numunelerin kayma şekildeğiştirmesi değerleri.

Grup numarası	Grup numuneleri	γ_{ϕ}	$\gamma_{\phi(ort)}$	γ_{max}	$\gamma_{max(ort)}$
Grup-1	D-0-0-0 (1)	0.0083	0.0063	0.0094	0.0071
	D-0-0-0 (2)	0.0044		0.0048	
Grup-2	D-0-L-0 (1)	0.0017	0.0019	0.0019	0.0022
	D-0-L-0 (2)	0.0020		0.0025	
Grup-3	D-B-L-0 (1)	0.0228	0.0129	0.0658	0.0355
	D-B-L-0 (2)	0.0030		0.0052	
Grup-4	D-B-L-A (1)	0.0018	0.0017	0.0021	0.0022
	D-B-L-A (2)	0.0017		0.0023	
Grup-5	D-B-T-0 (1)	0.0015	0.0014	0.0016	0.0018
	D-B-T-0 (2)	0.0013		0.0020	
Grup-6	D-B-T-A (1)	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
	D-B-T-A (2)	-		-	
Grup-7	D-C-T-0 (1)	0.0016	0.0024	0.0017	0.0027
	D-C-T-0 (2)	0.0031		0.0037	

5.4.5 Rijitlik

Bölüm 5.4.3'te hesaplanan kayma gerilmeleri ve bölüm 5.4.4'te belirlenen kayma şekildeğiştirmeleri kullanılarak kayma gerilmesi-kayma şekildeğiştirmesi grafikleri elde edilmiştir, Şekil 5.38.

Kayma modülü elastik bölgede tanımlandığından ve tekstil malzeme henüz maksimum yüke ulaşmadan önce etkisini göstermediğinden, bu aşamada tekstil malzeme ile güçlendirmenin rijitliğe etkisi belirgin değildir.



Şekil 5.38 : Numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekildeğiştirmesi grafikleri.

5.4.6 Tüketilen enerji

Kayma gerilmesi-kayma şekildeğiştirmesi grafiğinin belirli şekildeğiştirme seviyelerine kadar olan kısımlarının altında kalan alan, tüketilen enerji olarak tanımlanmıştır.

Buna göre tüketilen enerji, %0.5 lik artışlar ile %2 şekildeğiştirme değeri kadar belirli şekildeğiştirme değeri için hesaplanmıştır. Çizelge 5.6’da her numune için %0.5’ten %2 şekildeğiştirme değeri kadar tüketilen enerji A ile gösterilmiştir. X ise ilgili numunede belirli seviye için hesaplama yapılamadığını belirtmektedir.

Her grubun %1.5 şekildeğiştirme seviyesi için ortalama değeri $A_{(ort)}$ ile gösterilmiş ve Çizelge 5.7’de özetlenmiştir.

Ayrıca her gruptan elde edilen ortalama değeri, referans numunelerden elde edilen ortalama değere bölünerek tüketilen enerji artış oranı belirlenmiş ve $A.O_E$ ile gösterilerek Çizelge 5.7’ye eklenmiştir.

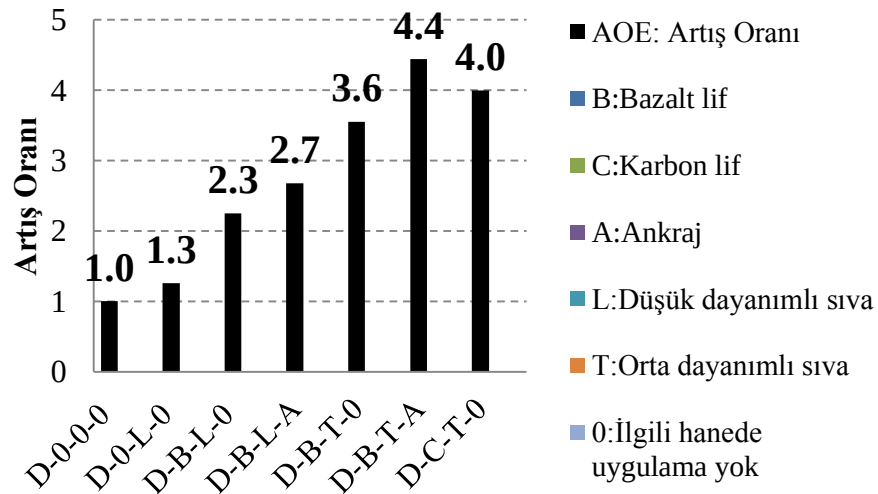
Artış oranları numune özellikleri ile açıklanarak Şekil 5.39’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Numunelerin tüketilen enerji değerleri.

Grup numarası	Grup numuneleri	A ($\times 10^{-2}$)			
		%0.5	%1	%1.5	%2
Grup-1	D-0-0-0 (1)	0.07	0.19	0.28	0.35
	D-0-0-0 (2)	0.06	0.13	0.19	0.25
Grup-2	D-0-L-0 (1)	0.15	0.27	0.31	X
	D-0-L-0 (2)	0.12	X	0.27	0.28
Grup-3	D-B-L-0 (1)	0.16	0.34	0.48	0.67
	D-B-L-0 (2)	0.19	0.41	0.57	0.75
Grup-4	D-B-L-A (1)	0.20	0.45	0.66	0.86
	D-B-L-A (2)	0.27	0.42	0.58	0.75
Grup-5	D-B-T-0 (1)	0.30	0.66	0.90	1.15
	D-B-T-0 (2)	0.34	0.57	0.75	0.96
Grup-6	D-B-T-A (1)	0.51	0.65	1.03	1.23
	D-B-T-A (2)	X	X	X	X
Grup-7	D-C-T-0 (1)	0.38	0.75	1.04	1.36
	D-C-T-0 (2)	0.45	0.58	0.81	1.08

Çizelge 5.7 : Numunelerin ortalama tüketilen enerji değerleri.

Grup numarası	Grup numuneleri	A _{ort} ($\times 10^{-2}$)	A.O _E
Grup-1	D-0-0-0 (1) D-0-0-0 (2)	0.23	1.0
Grup-2	D-0-L-0 (1) D-0-L-0 (2)	0.29	1.3
Grup-3	D-B-L-0 (1) D-B-L-0 (2)	0.52	2.3
Grup-4	D-B-L-A (1) D-B-L-A (2)	0.62	2.7
Grup-5	D-B-T-0 (1) D-B-T-0 (2)	0.82	3.6
Grup-6	D-B-T-A (1) D-B-T-A (2)	1.03	4.4
Grup-7	D-C-T-0 (1) D-C-T-0 (2)	0.93	4.0



Şekil 5.39 : Numunelerde ortalama tüketilen enerji artış oranı.

Numune isimlendirmesinde “L” ile gösterilen, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 0.87 ve 1.09 MPa olan düşük dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerin ortalama tüketilen enerji değerinin referans numunelerin ortalama tüketilen enerji değerinin 1.3 katı olduğu belirlenmiştir. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen ve düşük dayanımlı sıva kullanılan Grup-3 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değerinin referans numunelerin ortalama tüketilen enerji değerinin 2.3 katı olduğu görülmüştür. Bazalt lifli malzeme ve ankraj uygulaması ile güçlendirilen, düşük dayanımlı harç ile sıvanmış Grup-4 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değerinin referans numunelerin ortalama tüketilen enerji değerinin 2.7 katı olduğu görülmüştür. Numunelerin tüketilen enerji değerinin artış oranları incelendiğinde, mekanik özellikleri yetersiz sıva uygulaması bile artış sağlamıştır. Bazalt lif ile güçlendirme işlemi ise tüketilen enerji değerini oldukça ciddi biçimde arttırmıştır. Bazalt lifli malzeme ile güçlendirilen numunelere uygulanan 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırası ile 9.83 ve 10.37 MPa olan orta dayanımlı sıva (T) kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerinin tüketilen enerji değerinin 3.6 katıdır. Bu değer düşük dayanımlı sıva kullanılan numuneler için 1.3 kat olması sıvaya ait mekanik özelliklerin tüketilen enerji değerinin artışı için önemli bir özellik olduğunu göstermektedir.

Üretici tarafından hazır olarak temin edilen bazalt lifli ankajlar ile 4 adet numuneye süreksiz ankraj uygulaması yapılmıştır. Yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-3 ve Grup-4 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-3 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerinin tüketilen enerji değerinin 2.3 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-4 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerinin tüketilen enerji değerinin 2.7 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %17’lik tüketilen enerji artışı sağlamıştır. Orta dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerde yalnız ankraj ile güçlendirmenin etkisini belirlemek amacıyla her ikisi de ve bazalt lif ile güçlendirilmiş Grup-5 ve Grup-6 numuneleri karşılaştırılmıştır. Grup-5 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerinin tüketilen enerji değerinin 3.6 katıdır. Süreksiz ankraj uygulanmış Grup-6 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerinin tüketilen enerji değerinin 4.4 katıdır. Yalnız ankraj güçlendirmesi %22’lik tüketilen enerji artışı sağlamıştır.

Yük kapasitesi artış yüzdeleri incelendiğinde, ankraj uygulamasının orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde daha etkili olduğu görülmüştür.

Tekstil malzeme türünün numunenin tüketilen enerjideki etkisi orta dayanımlı sıva uygulanmış Grup-5 ve Grup-7 numuneleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi için bazalt lifli malzeme kullanılan Grup-5 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama tüketilen enerji değerinin 3.6 katıdır. Karbon lifli malzeme ile güçlendirilen Grup-7 numunelerinin ortalama tüketilen enerji değeri ise, referans numunelerden oluşan Grup-1'e ait ortalama tüketilen enerji değerinin 4.0 katıdır. Tüketilen enerji açısından karbon lifli malzemenin, bazalt lifli malzemedan daha etkili olduğu görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada ortalama basınç dayanımı 9.05 MPa harman tuğlası ve 28 günlük basınç dayanımı 1.40 MPa olan harç ile 14 adet duvar numunesi imal edilmiştir. Duvar numuneleri yaklaşık 755x755x235 mm boyutlara sahiptir. Tekstil donatılı harç ile güçlendirme öncesi ve sonrası kayma davranışını belirlemek amacıyla yığma duvar numunelerine diyagonal basınç yüklemesi yapılmıştır. Monotonik yükleme ile gerçekleştirilen deneylerde incelenen değişkenler; yüzeye uygulanan sıvanın mekanik özellikleri, donatı olarak kullanılan lifli malzemenin cinsi ve ankraj uygulamasıdır. İki adet numune referans davranışı belirlemek amacıyla herhangi bir güçlendirme uygulaması yapılmadan yalın olarak denenmiştir. İki adet numune yalnız düşük dayanımlı harç ile sıvalı, on adet numune ise farklı güçlendirme kombinasyonları uygulanarak denenmiştir. Düşük dayanımlı ve orta dayanımlı olmak üzere iki çeşit sıva numune yüzeylerine uygulanarak sıva harcının kayma davranışındaki etkisi incelenmiştir. Karbon veya bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirilme işlemi yapılarak lif cinsinin etkisini değerlendirilmiştir. Ayrıca dört adet numuneye uygulanan süreksiz ankraj uygulaması ile ankrajın kayma davranışındaki etkisi incelenmiştir. Hasar gelişimi gözlenen numunelerin göçme modu belirlenmiştir. Diyagonal basınç yüklemesi altında denenilen numuneler; maksimum yük kapasitesi, kayma dayanımı, kayma şekildeğiştirilmesi, kayma modülü ve tüketilen enerji açısından kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmadan toplanan veriler ve gözlemler değerlendirildiğinde elde edilen önemli sonuçlar şunlardır:

- Deney gruplarını oluşturan aynı özelliklere sahip iki adet numunenin kendi içlerinde farklı davranış (düşey yük taşıma kapasitesi, kayma dayanımı vb.) sergilemesinin sebepleri; numunelerin imalatında belirli bir standarda göre üretilmemiş harman tuğlalarının kullanımı, işçilik niteliğinde farklılığın mümkün olması ve sıva uygulanan numunelerde yüzeydeki sıva kalınlığı olarak özetlenebilir.

- Düzlem dışı deformasyonlar nedeniyle oluşabilecek göçme biçiminden kaçınmak amacıyla her iki yüzüne de tekstil donatılı güçlendirme yapılan numunelerde beklendiği gibi eksantrik etki engellenmiştir.
- Tüm numuneler tuğla-harç yatay derz düzlemi üzerinden kayarak göçmüştür.
- Herhangi bir güçlendirme uygulaması yapılmadan yalın olarak denenen referans numuneleri dayanımını aniden yitirerek gevrek biçimde göçmüştür.
- Sıvalı numuneler referans numunelere kıyasla daha sünek bir göçme modu izlemiştir. Tekstil donatılı harç ile güçlendirilmiş numuneler hem referans hem de sıvalı numunelere göre oldukça sünek şekilde göçmüştür.
- Sıvalı ve güçlendirilmiş numunelerde hasar gelişimi izlendiğinde, numunelerin büyük kısmında tekstil donatılı harç tabakasının numune yüzeyinden sıyrılmadığı, sıyrılan numunelerde ise oldukça küçük bir bölgede sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Literatürde lifli polimer ile güçlendirilen numunelerde gözlenen polimerin yüzeyden oldukça fazla sıyrılması ve hatta göçmenin bu şekilde gerçekleştiği göz önüne alınırsa, bu çalışmada bağlayıcı olarak tercih edilen harcın öngörülen etkin aderansı sağladığı belirlenmiştir.
- Sıvalı numuneler referans numuneler ile karşılaştırıldığında yük taşıma kapasitesi ortalama %57 ve kayma dayanımı %50 artmıştır.
- Bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %122 yük taşıma kapasitesi artışı ve %120 kayma dayanımı artışı sağlamıştır.
- Bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %327 yük taşıma kapasitesi artışı ve %305 kayma dayanımı artışı sağlamıştır.
- Düşey yük taşıma kapasitesi ve kayma dayanımının artışında belirleyici etmenin sıvanın mekanik özelliği olduğu, lif takviyesinin bu artışı desteklediği görülmüştür.
- Karbon lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %322 yük taşıma kapasitesi artışı ve %310 kayma dayanımı artışı sağlamıştır.

- Karbon veya bazalt lifli malzemeler ile güçlendirmenin düşey yük taşıma kapasitesi ve kayma dayanımında neredeyse eşit miktarda artışı sağlaması üzerine mekanik özellikleri yakın olan liflerin benzer kazanımı sağlayacağı görülmüştür.
- Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde, bazalt lifli ızgara malzeme ve süreksiz ankraj ile güçlendirilmiş numuneler, kontrol numunelerine kıyasla ortalama %175 yük taşıma kapasitesi artışı ve %160 kayma dayanımı artışı sağlamıştır.
- Orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde, bazalt lifli ızgara malzeme ve süreksiz ankraj ile güçlendirilmiş numuneler, kontrol numunelerine kıyasla ortalama %508 yük taşıma kapasitesi artışı ve %475 kayma dayanımı artışı sağlamıştır.
- Yalnız süreksiz ankraj uygulamasının payı dikkate alındığında, orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde yük kapasitesi ve kayma dayanımında sağladığı artış sırasıyla %42 ve %41 iken, düşük dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde yük kapasitesi ve kayma dayanımı artışı sırasıyla %23 ve %18'dir.
- Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde, süreksiz ankraj uygulamasının tek başına düşey yük kapasitesini ve kayma dayanımını arttırmada çok etkili olmadığı görülmüştür.
- Yük kapasitesi ve kayma dayanımı artışları değerlendirildiğinde, süreksiz ankraj uygulamasının orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde, düşük dayanımlı sıvalı numunelerden daha etkin çalıştığı görülmüştür.
- Sıvalı numuneler referans numuneler ile karşılaştırıldığında tüketilen enerji ortalama %26 artmıştır.
- Bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %126 tüketilen enerji artışı sağlamıştır.
- Bazalt lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %257 tüketilen enerji artışı sağlamıştır.

- Karbon lifli ızgara malzeme ile güçlendirme, orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde kontrol numunelerine kıyasla %304 tüketilen enerji artışı sağlamıştır.
- Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde, bazalt lifli ızgara malzeme ve süreksiz ankraj ile güçlendirilmiş numuneler, kontrol numunelerine kıyasla ortalama %170 tüketilen enerji artışı sağlamıştır.
- Orta dayanımlı harç ile sıvalı numunelerde, bazalt lifli ızgara malzeme ve süreksiz ankraj ile güçlendirilmiş numuneler, kontrol numunelerine kıyasla ortalama %348 tüketilen enerji artışı sağlamıştır.
- Tüketilen enerji artışları değerlendirildiğinde, süreksiz ankraj uygulamasının orta dayanımlı sıva uygulanmış numunelerde, düşük dayanımlı sıvalı numunelerden daha etkin çalıştığı görülmüştür.
- Kayma modülü elastik bölgede tanımlandığından ve tekstil malzeme henüz maksimum yüke ulaşmadan önce etkisini göstermediğinden, bu aşamada tekstil malzeme ile güçlendirmenin rijitliğe etkisi belirgin değildir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde tekstil donatılı malzeme ile güçlendirmenin yığma duvar numunelerinde hem kayma dayanımını hem de deformasyon kapasitesini oldukça ciddi biçimde arttırdığı ve kayma davranışını önemli derecede iyileştirdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Arun, G.** (2005). Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005.
- [2] **BİNA SAYIMI**, (2000). T.C Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Aköz, F.** (2005). Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005.
- [4] **Krevaikas, T.D. and Triantafillou, T.C.** (2005). Masonry Confinement with Fiber-Reinforced Polymers, *Journal of Composites for Construction*, Vol. **9**, no. 2, April, pp 128-135.
- [5] **Luccioni, B. and Rougier, V. C.** (2011). In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials, Construction and Building Materials **25**, pp 1725-1788.
- [6] **Papanicolaou, C. G. , Triantafillou T. C. , Karlos, K. and Papathanasiou, M.** (2007). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading, Materials and Structures, pp 1081-1097.
- [7] **Papanicolaou, C. G. , Triantafillou T. C. , Karlos, K. and Papathanasiou, M.** (2007). Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading, Materials and Structures, pp 1081-1097.
- [8] **Triantafillou, T. C.** (1998). Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates, *Journal of Composites for Construction*, May 1998.
- [9] **Corradi, M., Borri, A. and Vignoli, A.** (2002). Stenghtening Techniques Tested on Masonry Structures Struck by the Umbria-Marche Earthquake of 1997-1998, Construction and Building Materials **16**, pp 229-239.
- [10] **Valluzzi, M. R., Tinazzi, D. and Modena, C.** (2002). Shear Behaior of Masonry Panels Streghtened by FRP Laminates, Construction and Building Materials **16**, pp 409-416.
- [11] **El-Dakhkhni, Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., Elgaaly, M.** (2005). Hazard Migration and Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using Composites, Composite Structures **73**, pp 458-477.
- [12] **Prota, A., Marcari, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G. and Aldea, C.** (2006). Experimental In-Plane Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites, *Journal of Composites for Consturction*, May/June 2006, pp 223-233.
- [13] **Ilki, A., Ispir, M., As, F., Demir, C. and Kumbasar, N.** (2008). FRP Retrofit of Walls Constructed with Historical Bricks, Challenges for Civil Construction Torres Marques et al.(Eds), FEUP

- [14] **Alcaino, P., Santa-Maria, H. and ASCE, M.** (2008). Experimental Response of Externally Retrofitted Masonry Walls Subjected to Shear Loading, *Journal of Composites for Construction*, September/October, pp 489-498.
- [15] **Leone M. , Sciolti M. S. and Aiello M. A.** (2012). In-plane Shear Behaviour of BFRP reinforced masonry panels, CICE-2012.
- [16] **ASTM E 111-04.** (2004). Standard test method for Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus, *American Society for Testing Materials*, USA.
- [17] **ASTM C67-11,** (2011). Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, *American Society for Testing Materials*, USA.
- [18] **Ispir, M.** (2010). A Comprehensive Experimental Research on the Behavior of Historical Brick Masonry Walls of 19th Century Buildings. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University
- [19] **Teknik Bilgiler,** (2008). İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [20] **Bedirhanoglu, İ.** (2009). Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kolon ve Birleşimlerin Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi ve İyileştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [21] <<http://www.art Yol.com/lifetex.html>>, alındığı tarih: 13.04.2013.
- [22] **ASTM E519/E519M,** (2010). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, American Society for Testing Materials, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Pelin Elif MEZREA
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 12.05.1988
Adres: İstanbul
E-Posta: pelinelifmezrea@gmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Mezrea P.E., İ.A. Yılmaz, M. İspir, İ.E. Bal ve A. İlki, “Tarihi Tuğla Duvarların Tekstil Donatılı Harç (TRM) ile Güçlendirilmesi,” 4. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, İstanbul, 2013.
- Menlikli P.E., İ.A. Yılmaz, M. İspir, İ.E. Bal ve A. İlki, “Tarihi Tuğla Duvarların Güçlendirilmesine Yönelik Deneyler,” Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı, Trabzon, 2013.