

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YATAY DERZ DONATISIYLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
HARMAN TUĞLASI ELEMANLARININ
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan BOZKURT

OCAK - 2021

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YATAY DERZ DONATISIYLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
HARMAN TUĞLASI ELEMANLARININ
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan BOZKURT

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kadir KILINÇ

OCAK - 2021

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Sinan BOZKURT
...../...../.....

ÖZET

YATAY DERZ DONATISIYLA GÜÇLENDİRİLMİŞ HARMAN TUĞLASI ELEMENLARININ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Sinan BOZKURT

Yüksek Lisans

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir KILINÇ

Ocak 2021, 73 sayfa

Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisi piramidinin ikinci basamağı olan güvenlik gereksinimi, insanlığı varoluşundan günümüze, daha korunaklı, daha güvenli, daha sağlam konutları tercih etmeye yöneltmiştir. Topraklarının büyük bir bölümü 3. jeolojik (Tersiyer) dönemde oluşmuş olan Türkiye, bunun bir sonucu olarak çok çeşitli aktif deprem fay hatlarını barındırmaktadır. Depreme dayanıklı konutlara olan talep gittikçe artmaktadır. Duvarlar, depremlerde hasar alan yapı elemanlarından. Literatür incelendiğinde, duvarların yapısal olarak yapının performansına önemli bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır. Ancak son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, duvarların da yapı performansına olumlu etkileri olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada, yatay derz donatısı kullanılarak duvarların basınç ve eğilme etkisine karşı direnci artırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada, duvar elemanı olarak dolu harman tuğlası seçilmiştir. Dolu harman tuğlası seçilmesinin temel sebebi tarihi yığma yapılarda sıkça kullanılmış olmasıdır. Çalışmada 3 farklı seri laboratuvar ortamında üretilmiştir. 1. seride; herhangi bir güçlendirme gerçekleştirilmemiş şahit numuneler, 2. seride; CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numuneler, 3. seride ise yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numuneler yer almaktadır. Numunelere basınç deneyi ve 3-noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, yatay derz donatısının basınç dayanımına etkisi fazla olmamışsa da eğilme dayanımında önemli bir artış sağlamıştır. Yatay derz donatısının harç içinde kalarak görsel estetiği bozmaması tarihi yığma yapılarda restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada, CFRP kumaş kullanımının ise hem basınç hem de eğilme dayanımlarında önemli bir artış sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yatay derz donatısı, CFRP, Harman tuğla, Güçlendirme, Restorasyon

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF THE BRICK ELEMENTS REINFORCED WITH HORIZONTAL JOINT REINFORCEMENT

Sinan BOZKURT

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Kadir KILINÇ

January 2021, 73 pages

The need for security, which is the second step of Maslow's hierarchy of needs pyramid, has led humanity to prefer more sheltered, more safer and more durable residences since its existence. A large part of the territory of Turkey, which occurred in the 3th geological period, (Tertiary) as a result of it accommodates a wide variety of active earthquake fault lines. The demand for earthquake-resistant housing is increasing. Walls are among the structural elements damaged in earthquakes. When the literature is examined, it has been emphasized that the walls do not have a significant effect on the performance of the building. However, studies conducted in recent years indicate that walls also have positive effects on building performance. In this study, it has been tried to increase the resistance of the walls against pressure and bending effects by using horizontal joint reinforcement. In the study, standard solid brick was chosen as a wall element. The main reason for choosing standard solid brick is that it has been used frequently in historical masonry buildings. In the study, 3 different series were produced in the laboratory environment. In the 1st series; reference samples with no reinforcement, in the 2nd series; samples reinforced with CFRP fabric, in the 3rd series; samples reinforced with horizontal joint reinforcement. Pressure test and 3-point bending test were applied to the samples. When the results are examined, although the effect of horizontal joint reinforcement on pressure strength was not much, it provided a significant increase in bending strength. The fact that the horizontal joint reinforcement remains in the mortar and does not spoil the visual aesthetics shows that it can be used in restoration and strengthening works in historical masonry structures. In the study, it was observed that the use of CFRP fabric provides a significant increase in both pressure and bending strength.

Anahtar Kelimeler: Horizontal joint reinforcement, CFRP, Standard solid brick, Strengthening, Restoration

TEŞEKKÜR

Çalıőmama bilgi ve tecrübesiyle değerli katkılarını sunan danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Kadir KILINÇ'a,

Eğitim hayatımın her anında bana rehberlik eden ve destekleyen, elinden gelen her türlü fedakarlığı sunmuş olan, emeğinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim annem Sariye BOZKURT ve babam Ali Rıza BOZKURT'a,

Beni birçok açıdan olumlu bir şekilde etkilemiş ve hayatıma yön vermiş olan ağabeylerim Kurtuluş ve M. Mustafa BOZKURT'a, her zaman gülen gözleriyle hatırlayacağım Selin'ime,

Her aşamada beni yüreklendiren, sevgisinden güç aldığım eşim Ayőegül'e, kızım Selin Ece'ye,

Laboratuvar çalışmalarımın her anında yanımda bulunarak teknik destek sağlayan arkadaşım Murat MUMCUOğLU'na,

Eğitim hayatım boyunca bana emek vermiş her bir eğitimciye,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	Vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	İX
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	X
RESİMLERİN LİSTESİ	Xİ
SİMGELER VE KISALTMALAR	Xİii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYALLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP).....	5
2.2. Yatay Derz Donatısı	8
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
3.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	15
3.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin İncelenmesi	15
3.2.1. Dolu harman tuğlası.....	15
3.2.2. Harç karışımı.....	17
3.2.3. CFRP kumaş	18
3.2.4. Yatay derz donatısı	19
3.3. Numunelerin Hazırlanması.....	20
3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	24
3.4.1. Harç numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi.....	24
3.4.2. Harç numunelerde basınç deneyi	26
3.4.3. Şahit numunelerde basınç deneyi	28
3.4.4. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi	29
3.4.5. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi	30
3.4.6. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi	31
3.4.7. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi.....	33
3.4.8. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi ...	34

4. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI.....	37
4.1. Basınç Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	37
4.1.1. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi	38
4.1.2. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi.....	41
4.1.3. Basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	44
4.2. 3-Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
4.2.1. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi	46
4.2.2. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi.....	48
4.2.3. Eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. FRP kompozitlerin mekanik özellikleri	5
Çizelge 2.2. FRP malzemesiyle ilgili literatür taraması	7
Çizelge 2.3. Yatay derz donatısıyla ilgili yapılmış bazı araştırmalar	13
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılacak numune gruplarına ait bilgiler.....	20
Çizelge 3.2. Serilere ait numune kodları	24
Çizelge 3.3. Harç numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları.....	26
Çizelge 3.4. Harç numunelerde basınç deneyi sonuçları.....	28
Çizelge 3.5. Şahit numunelerde basınç deneyi sonuçları	29
Çizelge 3.6. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları	30
Çizelge 3.7. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları	31
Çizelge 3.8. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi sonuçları	32
Çizelge 3.9. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları	34
Çizelge 3.10. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi sonuçları.....	35
Çizelge 4.1. Numunelerin basınç dayanım değerleri.....	37
Çizelge 4.2. Eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. TBDY 2018’de belirtilen LP (Lifli Polimer) uygulama detayı.....	8
Şekil 2.2. Yük etkisi altında malzeme davranışı	9
Şekil 2.3. Donatılı yığma binalarda donatı yerleşimi şeması (TBDY, 2018).....	9
Şekil 2.4. Merdiven tip yatay derz donatısı (NCMA TEK 12-2B, 2005).....	10
Şekil 2.5. Makas tip yatay derz donatısı (NCMA TEK 12-2B, 2005)	10
Şekil 2.6. Izgara tip yatay derz donatısı	11
Şekil 2.7. Şerit tip yatay derz donatısı	11
Şekil 2.8. Bindirme boyu detayı	12
Şekil 3.1. TS EN 12390-5 standardına göre 3-noktalı eğilme deneyi	25
Şekil 4.1. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	38
Şekil 4.2. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	38
Şekil 4.3. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	41
Şekil 4.4. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	42
Şekil 4.5. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	44
Şekil 4.6. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	44
Şekil 4.7. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	46
Şekil 4.8. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	46
Şekil 4.9. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	48
Şekil 4.10. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	49
Şekil 4.11. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	50
Şekil 4.12. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 2.1. Tek yönlü FRP	6
Resim 2.2. Çift yönlü FRP	6
Resim 3.1. Dolu harman tuğlası (TS EN 771-1)	15
Resim 3.2. Harman tuğla sınıfları (TS EN 771-1).....	16
Resim 3.3. Harman tuğlasının boyutları (TS EN 771-1).....	16
Resim 3.4. TS EN 771-1 standartlarına uymayan bir harman tuğlası.	17
Resim 3.5. Harcın hazırlanması.....	17
Resim 3.6. Harç malzemesinin 40x40x160 mm kalıba dökülmesi	18
Resim 3.7. Kür havuzunda bekletilen harç numuneleri	18
Resim 3.8. Tek yönlü CFRP kumaşın örgü detayı	19
Resim 3.9. Yatay derz donatısının boyutları ve geometrisi (URL-2).....	19
Resim 3.10. Yatay derz donatısının teknik özellikleri (URL-2).....	20
Resim 3.11. 1. ve 2. seri numunelerin yandan görünüşü.....	21
Resim 3.12. 2. seri numunelerin iki yan yüzeyine CFRP kumaşların farklı yönde uygulanması.....	21
Resim 3.13. Epoksi esaslı reçinenin karışım kabına tartılarak doldurulması	22
Resim 3.14. Epoksi sertleştirici kimyasalın karışım kabına tartılarak doldurulması	22
Resim 3.15. CFRP kumaşın yan yüzeylere epoksi reçineyle yapıştırılması	23
Resim 3.16. Yatay derz donatısının yerleştirilmesi	23
Resim 3.17. Numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi.....	26
Resim 3.18. Numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi.....	27
Resim 3.19. Şahit numunelerin basınç deneyi platformuna yerleştirilmesi	28
Resim 3.20. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi	29
Resim 3.21. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi.....	31
Resim 3.22. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi.....	32
Resim 3.23. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi	33
Resim 3.24. Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi.....	35
Resim 4.1. CFRPB01 numunesinin test sonrası durumu	39

Resim 4.2. CFRPB02 numunesinin test sonrası durumu	39
Resim 4.3. CFRPB03 numunesinin test sonrası durumu	40
Resim 4.4. CFRPB04 numunesinin test sonrası durumu	40
Resim 4.5. Yatay hareketleri kısıtlanmış küp numunenin basınç etkisi altındaki davranışı	41
Resim 4.6. Yatay derz donatısının tuğla yüzeyine yerleştirilmesi	42
Resim 4.7. Basınç deneyi sonucunda yatay derz donatısı boyunca çizgisel bir şekilde devam eden çatlak görünümü	43
Resim 4.8. Basınç deneyi sonrası Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunede oluşan çatlak görünümü	43
Resim 4.9. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, kuvvet yönüne dik yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu.....	47
Resim 4.10. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, kuvvet yönüne paralel yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu	47
Resim 4.11. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, farklı doğrultuda yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu.....	48
Resim 4.12. Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunenin 3-noktalı eğilme deneyi sonrası fiziki durumu	49
Resim 4.13. Yatay derz donatısının 3-noktalı eğilme deneyi sonrası fiziki durumu.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
f_{ct}	Eğilme Dayanımı, MPa (N/mm ²)
F	En büyük yük, N
L	Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm
d_1, d_2	Numunenin en kesit boyutları, mm
R_c	Basınç dayanım değeri, (MPa)
F_c	Kırılma anında uygulanan maksimum yük, (N)
1600	Yükleme plakalarının alanı (40 mm x 40 mm), (mm ²)

Kısaltmalar	Açıklamalar
AFRP	Aramid Lif Takviyeli Polimer
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ABD)
CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
FRP	Lif Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Polymer)
GFRP	Cam Lif Takviyeli Polimer
NCMA	Ulusal Beton Duvarcılık Derneği (ABD)
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS EN	Avrupa Birliği standartlarıyla uyumlu Türk Standartları

1. GİRİŞ

Her yıl yerkürede ortalama 500 bin deprem meydana gelmektedir. Gerçekleşen bu depremlerin büyük çoğunluğu yapısal hasarlara neden olamayacak derecede küçük sarsıntılar şeklinde gerçekleşmektedir. İnşaat mühendisliği bilimi, tasarım yaparken yapısal hasara neden olabilecek büyük sarsıntıları baz almaktadır. 19. yüzyıla kadar en çok kullanılan yapı sınıfı yığma yapılar olmuştur (Bayraktar, 2006). Buna bağlı olarak 19. yy'dan itibaren betonarme sistemlerin ve çelik yapı sistemlerinin geliştirilmesiyle yapıların depreme dayanıklılığı artmıştır. Yığma yapılar tercihen ikinci planda kalmışlarsa da günümüzde ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun %51'i yığma yapılardan oluşmaktadır (TC. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 2001).

Yığma yapıların herbir duvar elemanının taşıyıcı olması nedeniyle herhangi bir duvar elemanında oluşacak hasar tüm yapı dayanımını etkileyecektir. Yığma yapıların duvar elemanları özellikle oturmalarla karşı çok hassastır. Yapı temelinde oluşacak en küçük oturma duvarlardan gözlemlenebilir. Yığma yapılarda, duvar elemanlarını oluşturan malzemelerin çatlamadan dayanabileceği elastik gerilim değerlerinin çok düşük olması bu oturmalarla en büyük etkendir (Batur, 2006). Ahunbay (1996), yığma yapılarda oluşan hasarların sebeplerini dört ana başlık altında toplamıştır. Bunlar; fizyolojik sebepler, biyolojik ve kimyasal sebepler, doğal afetlerin sebep olduğu hasarlar ve insanların sebep olduğu hasarlardır.

Fizyolojik sebeplerin başında, yapıyı tehlikeli derecede etkileyen zeminin niteliği gelmektedir. Yapı tasarlanırken zemin analizinin teknik imkansızlıklardan dolayı yapılamaması, zeminin jeolojik değişimler geçirmesiyle dayanımın azalması yapıya ağır hasar verebilecek en büyük etkenlerdir (Karakuş, 2012). Yapıların zemine, eğik bir hat üzerine oturması, iklimsel şartlar, donma-çözünme ve yüksek ısı farklılıkları sonucu oluşan mekanik deformasyonlar da diğer fizyolojik sebeplerdir. (Karakuş, 2012, Ahunbay, 1996, Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Biyolojik ve kimyasal sebepler bağlamında başlıca biyolojik hasar sebebinin bitkiler olduğu belirtilebilir. Başlıca biyolojik hasar sebebi bitkilerdir. Rüzgarla ya da hayvanlarca taşınan tohumların yapı duvarları üzerinde filizlenmesi ve filizlenen bitki

köklerinin duvar içinde gelişmesi sonucu yığma yapılar zarar görmektedir. Bitkilerin dışında kuş ve böceklerin duvarlara yuva yapması sonucu malzeme kaybına gidebilecek kadar hasar oluşabilmektedir. Nemli ortamlarda oluşan küf, mantar gibi mikroorganizmalar müdahale edilmediğinde yapıya ciddi hasarlar verebilmektedir. Kimyasal hasarlar özellikle sanayi bölgesine yakın yapılarda gözlenmektedir. Sanayi bölgesinden havaya karışan kimyasallar yağmur suyuyla taşınarak yapı yüzeyinde aşınmalara sebebiyet vermektedir. (Zakar ve Eyüpgiller, 2015, Ahunbay, 1996, Kuban, 2000, Orbaşlı, 2008).

Doğal afetlerin sebep olduğu hasarlar ele alındığında; deprem, çığ, volkanik patlama, tsunami, toprak kayması, yangın, sel gibi ani yıkıcı etkiye sahip olan doğa olaylarıdır. (Zakar ve Eyüpgiller, 2015, Ahunbay, 1996, Orbaşlı, 2008).

İnsanların sebep olduğu hasarlar göz önüne alındığında bu tip hasarlarda birincil nedeninin, yapının tasarlanması ve tatbik edilmesi sırasında yapılan hatalar olduğu vurgulanabilir. Tasarım yapılırken koşullara uygun malzeme seçilmemesi, yapım sırasında işçiliğin iyi olmaması yapının kullanım ömrüne etkileyen hatalardır (Ahunbay, 1996, Zakar ve Eyüpgiller, 2015, Mahrabel, 2006). Tasarım yükünün üstünde yük bindirilmesi, mahallerin tasarlanan işlevlerinin dışında kullanılması, yapı karakterine uygun olmayan tadilatlar da insanların sebep olduğu hasarlardır (Boussalh vd., 2005, Ahunbay, 1996, Zakar ve Eyüpgiller, 2015 Madran, 1996).

Yığma yapılardan sonra Türkiye’de en çok tercih edilen yapı betonarme çerçeve sistemler olmuştur. Betonarme çerçeve sistemlerde çeşitli malzemelerden müteşekkil dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Dolgu duvarlar, genellikle mimari alanlar oluşturmak amacıyla kullanılmakta ve taşıyıcı sistem elemanı olarak kabul edilmemektedir (Altın vd., 1992). Ancak yapılan çalışmalarda, dolgu duvarların, betonarme çerçeve sistemin yük taşıma kapasitesi, süneklik ve rijitlik gibi özelliklerine olumlu ya da olumsuz etki ettikleri tespit edilmiştir (Bayülke, 2011). Dolgu duvarlarda oluşan hasarlar, dört başlık altında toplanabilir. Bu hasar tipleri yatay derz kayması, çapraz çatlama, köşe kırılması, düzlem dışı kırılma olarak belirtilmektedir (Kanit, 2007).

Yatay derz kayması, dolgu duvar bloklarının örülmesinde kullanılan harcın, dolgu duvar elmanlarından zayıf olması durumunda meydana gelir. İlerleyen aşamalarda kolon ve kirişlerde kesme ve eğilme momentleri artar (Toker, 2007).

Çapraz çatlama hasar durumunda, çerçeve sistemde meydana gelen birim değiştirme miktarı dolgu duvarda meydana gelen birim yer değiştirme miktarından fazla olduğunda çapraz çatlamlar oluşur. Bu çatlaklar dolgu duvarın merkezinden başlarayarak yük arttıkça köşegenlere doğru uzanır.

Köşe kırılması hasar durumunda ise çerçeve sistemde oluşan gerilmelerin dolgu duvar köşelerinin birinde daha yüksek değere çıkması sonucu oluşurlar. Gerilmenin şiddeti arttıkça çatlamanın başladığı köşeden merkeze doğru ilerlerler.

Düzlem dışı kırılma söz konusu olduğunda, dolgu duvar düzlemine etki eden dik kuvvetlerin kesme ve moment oluşturması sonucu dolgu duvar düzlem dışına sehim yapmaya zorlanır. Bu zorlanma duvar dayanımının üstüne çıktığında düzlem dışı kırılmalar oluşur. Bu hasar tipinde çatlaklar düşey ve diyagonal olmaktadır.

Bu çalışmayla, yapılarda sıkça kullanılan dolu harman tuğlasının mekanik özellikleri çeşitli malzemelerle iyileştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre; yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş dolu harman tuğlası numunelerinin ve sismik tekstil malzemesi (CFRP) uygulanmış olan dolu harman tuğlası numunelerinin düşey yükleme altındaki eğilme ve basınç gerilmelerine karşı, dayanımlarındaki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Standart harçla oluşturulmuş ve herhangi bir güçlendirmeye tabi tutulmamış numuneler şahit numuneleri olarak değerlendirilmiştir. Numuneler oluşturulurken iki dolu harman tuğlası arasına harç malzemesi 12 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Deney sonucu elde edilen eğilme ve basınç dayanımlarındaki değişimlerle ilgili veriler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



2. MATERYALLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çalışmaya konu olan malzemeler ve bu malzemeler kullanılarak daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalar incelenecektir.

2.1. Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP)

Lifli polimer kompozitler (FRP), ilk olarak savunma sanayisinde ve uçak mühendisliği alanında kullanılmıştır. Daha sonra inşaat sektöründe, bakım-onarım, güçlendirme alanında kullanılmaya başlanmıştır (FIB BULLETIN, 2001; ACI-440, 2008; ACI-549, 2013). FRP, ana bileşeni polimer olan, reçine ile desteklenen liflerden oluşmaktadır. Reçine olarak epoksi, polyester ve vinylester kullanılmaktadır. Genellikle karbon, cam ve aramid lifler kullanılmaktadır. FRP ana bileşeninde kullanılan malzemeye göre; karbon lif takviyeli polimer (CFRP), cam lif takviyeli polimer (GFRP) ve aramid lif takviyeli polimer (AFRP) olarak çeşitlendirilmiştir. FRP kompozitlerin mekanik özellikleri Çizelge 2.1.'de sunulmuştur (Turgay, 2007).

Çizelge 2.1. FRP kompozitlerin mekanik özellikleri

Malzeme	Lif İçeriği	Yoğunluk	Boyuna çekme modülü	Çekme dayanımı
	(% ağırlık oranına göre)	(kN/m ³)	(GPa)	(MPa)
CFRP	65-75	16-19	120-250	1200-2250
GFRP	50-80	16-20	20-55	400-1800
AFRP	60-70	10,50-12,50	40-125	1000-1800

FRP malzemeler genel olarak plaka ve dokuma şeklinde üretilmektedir. Plakalar çeşitli ebatlarda üretilebilmektedir. Dokuma FRP çeşitleri liflerin tek yönlü (Bkz: Resim 2.1.) ya da çift yönlü (Bkz: Resim 2.2.) dokunması şeklinde imal edilir. Dokumaların ince ve elastik oluşu kolay taşınabilmelerine olanak sağlar (Çetinkaya vd., 2004).



Resim 2.1. Tek yönlü FRP



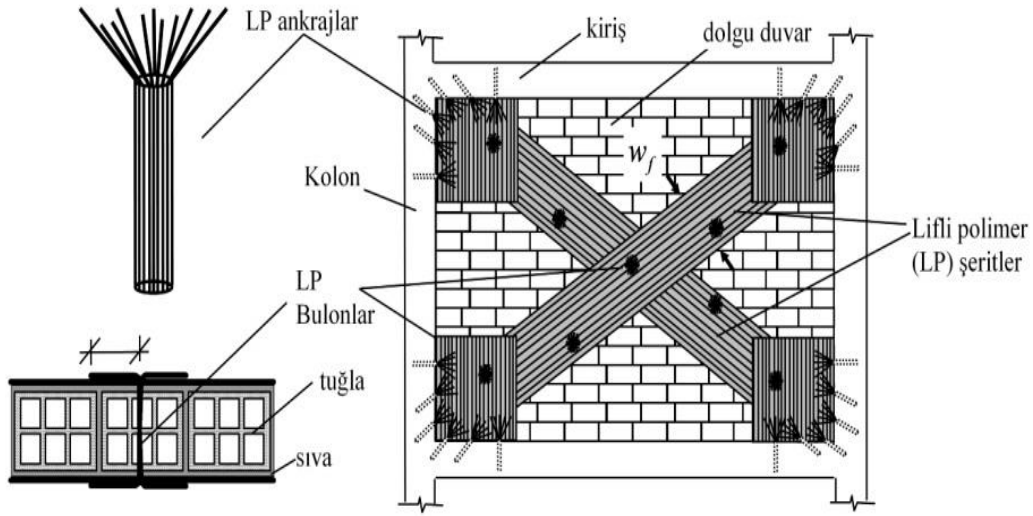
Resim 2.2. Çift yönlü FRP

Günümüzde FRP kompozit malzemeler, yapı güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri; her ebat ve şekilde kesilerek kullanılabilmesi, yapının dayanım değerlerini olumsuz yönde etkilememeleri, hafif olması sebebiyle yapıya fazladan yük oluşturmamaları, çevresel faktörlere karşı dayanıklı olup yapıyı da çevresel faktörlere karşı koruması, çekme dayanımının yüksek olması, uygulanabilirliğinin kolay olmasıdır (Peker, 2005; Fukuyama vd., 2000). FRP dokuma malzemeler genellikle epoksi esaslı reçine tipi yapıştırıcılar kullanılarak istenilen bölgeye uygulanmaktadır. Uygulanan yüzeyde etkisini en üst düzeyde gösterebilmesi için en az 7 gün mekanik dayanımını kazanması beklenmektedir. 7 günlük süreçte mekanik bir zorlanmaya maruz bırakılmamalıdır (Çöğürçü, 2007). Çizelge 2.2.'de FRP malzemesiyle ilgili yapılmış bazı araştırmalara ve bulgularına değinilmiştir.

Çizelge 2.2. FRP malzemesiyle ilgili literatür taraması

Yazar	Yılı	Çalışma	Bulgular
Li, A., Assih, J.	2001	Shear Strengthening of Rc Beams with Externally Bonded CFRP Sheets. Journal of Structural Engineering	Kesme ve moment gerilme dayanımlarının artması için tüm kiriş yüzeyinin CFRP ile güçlendirilmesine gerek olmadığı anlaşılmıştır.
Arya, C., Clarke, J.L., Kay, E.A., O'Regan, P.D.	2002	TR 55: Design Guidance for Stengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials: A Review. Engineering Structures	Betonarme çerçeve sistem elemanları güçlendirme teknikleri hakkında rehber oluşturulmuş örnek olarak FRP kullanılarak bir kirişin eğilme dayanımı arttırılmıştır.
Haroun, M.A., Mosallam, A.S., Feng, M.Q., Elsanadedy H.M.	2003	Experimental Investigation of Seismic Repair and Retrofit of Bridge Columns by Composite Jackets. Journal of Reinforced Plastics and Composites.	CFRP kullanılan kısa kolonlardaki kesme göçme dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.
Çetinkaya, N., Kaplan, H., Şenel, Ş.M.	2004	Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Melzemeler Kullanarak Onarım ve Güçlendirmesi.	FRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitelerinde büyük artış olduğu gözlenmiştir.
Tommaso, A.D., Focacci, F., Mantegazza, G.	2007	FRCM versus FRP Composites to Strengthen Rc Beams: A Comparative Analysis. in Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures.	Betonarme kirişler FRCM (Fabric-Reinforced Cementitious Matrix) ve FRP ile güçlendirilmiştir. FRCM uygulanarak güçlendirilmiş kirişler FRP ile güçlendirilenlere kıyasla daha sünek davranmıştır.
Ibrahim, A., Mahmood, M.	2009	Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates, European Journal of Scientific Research	CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş kirişler incelenmiş, CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin kesme dayanımının daha fazla arttığı tespit edilmiştir.
Ökten, M.S.	2013	Lifli Çimento Esaslı Kompozitlerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Deneysel İncelenmesi	CFRP ile güçlendirilen bölme duvarların belli bir yük kademesine kadar çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini ve rijitliklerini arttırdığı görülmüştür.

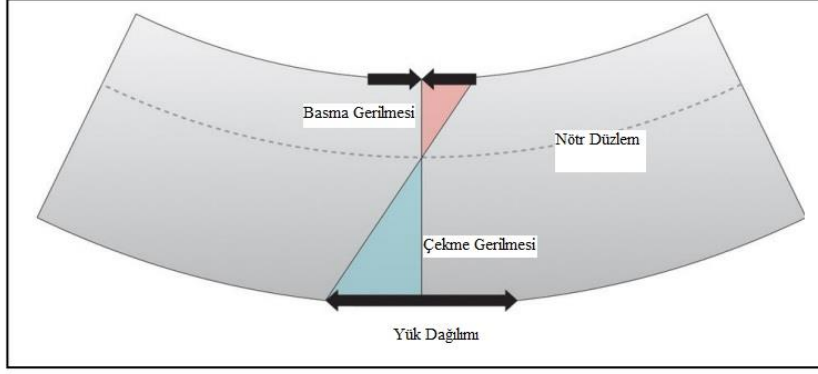
Dolgu duvarların FRP elemanlarla nasıl güçlendirilmesi gerektiği, 2018 yılında onaylanan 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)'de "15C.3 Dolgu Duvarların Lifli Polimerler İle Güçlendirilmesi" başlığı altında belirtilmiştir. Buna göre; uzunluğunun yüksekliğine oranı 0,5 ile 2 arasında olan dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan lifli polimerler (LP) ile arttırılabilecektir (TBDY, 2018:335). Ayrıca aynı yönetmelikte duvar elemanlarına LP (Lifli Polimer) uygulama detayı da yer almıştır (Bkz: Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. TBDY 2018'de belirtilen LP (Lifli Polimer) uygulama detayı

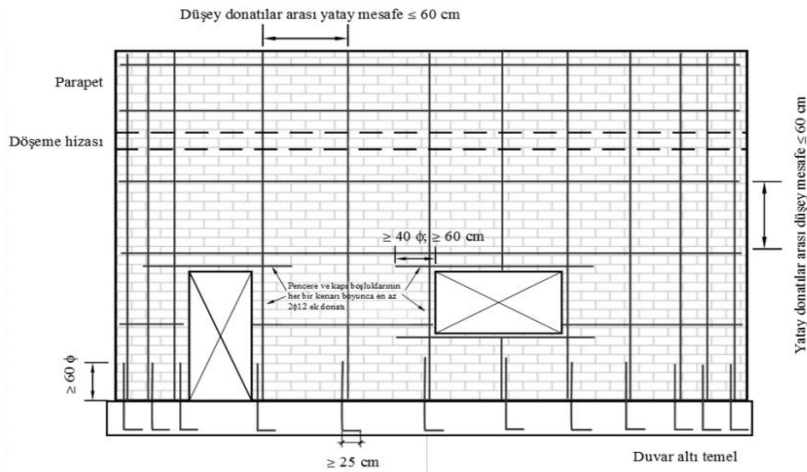
2.2. Yatay Derz Donatısı

Duvarların kesme kuvvetlerine karşı dayanımı, ilk kez 1873'te, Johann Bauschinger tarafından test edilmiştir. Bauschinger bu testleri takviyesiz duvarlar üzerinde gerçekleştirmiştir. Takviyeli duvarların dayanım değerlerinin ilk kez test edilme çalışmaları 1940'ların sonunda gerçekleşmiştir (Dialer, 1991). Duvar elemanlarını oluşturan tuğla, harç, taş vb. malzemelerin, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Bunun sonucu olarak deprem, zemin oturması gibi sebeplerden meydana gelen çekme gerilmelerini karşılayamazlar (Batur, 2006). Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere yük etkisi altında malzemenin bazı yerlerinde çekme bazı yerlerinde basınç gerilmesi oluşmaktadır.



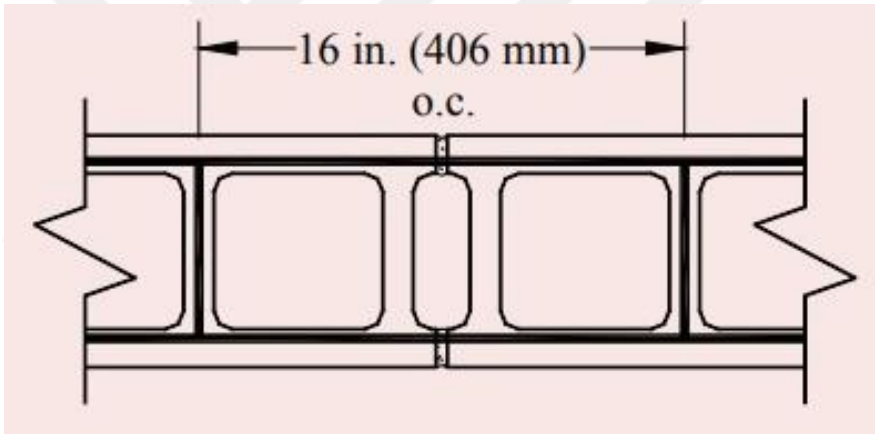
Şekil 2.2. Yük etkisi altında malzeme davranışı

Yatay derz donatısı kullanımının amacı, kesme ve çekme gerilmelerine maruz kaldığında duvarın daha iyi bir performans sergilemesini sağlamaktır (Rezende vd., 2014). Yatay derz donatısı, yapısal performansı iyileştirmek için kolay bir çözüm olarak belirtilebilir. Yatay derz donatısı çeşitli kalınlıktaki harç katmanlarına kolaylıkla uygulanabilmektedir (Penna vd., 2007). Ülkemizde yatay derz donatılarıyla ilgili herhangi bir standart ya da kabul edilmiş bir dış yönetmelik bulunmamaktadır. Konuya sadece TBDY’de “Deprem Etkisi Altında Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar” başlığında değinilmiştir. İlgili başlıkta: “Donatılı yığma binalarda yatay donatılar yatay derzlerin içerisine veya uygun çentiklere yerleştirilecektir. Bu donatıların düşey aralıkları 600 mm’yi geçmeyecektir. Duvardaki yatay donatı oranı duvar brüt kesit alanı üzerinden %0,05’ten daha az olmayacaktır” talimatı yer almaktadır (Bkz: Şekil 2.3.).

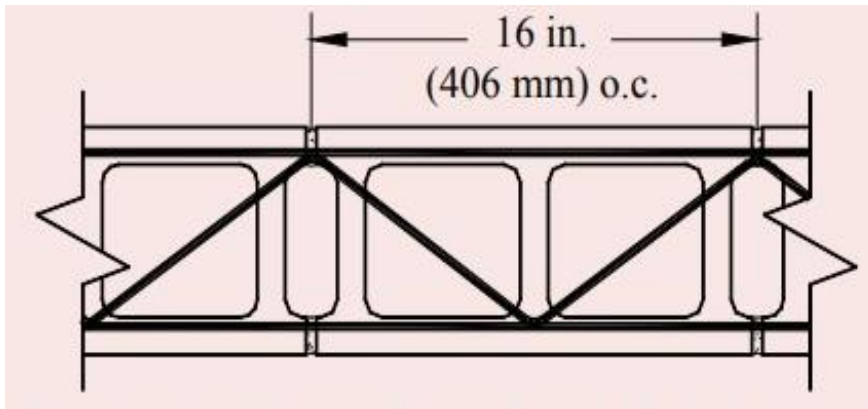


Şekil 2.3. Donatılı yığma binalarda donatı yerleşimi şeması (TBDY, 2018)

ASTM (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)'ye bağlı NCMA (Ulusal Beton Duvarcılık Derneği) çeşitli yıllarda yatay derz donatılarıyla ilgili standartlar yayınlamıştır. NCMA TEK 12-2B yönergesinde yatay derz donatıları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. TEK 12-2B'ye göre; yatay derz donatıları, merdiven tip ve makas tip olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Merdiven tip, 2 veya daha fazla birbirine paralel telin, aynı nitelikteki tellerle belli aralıklarla paralel tellere dik olacak şekilde kaynatılmasıyla oluşturulmaktadır (Bkz: Şekil 2.4.). Düşey donatı kullanılan taşıyıcı duvarlarda yatay takviye yerine kullanılır. Makas tipi yatay derz donatıları, birbirine paralel tellerin arasına, zik-zak olacak şekilde tel kaynak yapılarak oluşturulmaktadır (Bkz: Şekil 2.5.). Merdiven tipe göre daha rijittir. Düşey donatı kullanılmayan duvarlarda kullanılmaktadır. Yatay derz donatıları galvaniz, epoksi gibi malzemelerle kaplanarak korozyona karşı dayanım artırılmış olur. Yatay donatı alanı, duvarın brüt düşey kesit alanının 0.00028 katı olacaktır. (NCMA TEK 12-2B, 2005).



Şekil 2.4. Merdiven tip yatay derz donatısı (NCMA TEK 12-2B, 2005)



Şekil 2.5. Makas tip yatay derz donatısı (NCMA TEK 12-2B, 2005)

Merdiven ve makas tip yatay derz donatılarından başka tipte de üretimler söz konusudur (Bkz: Şekil 2.6., Şekil 2.7.). Bu tip takviyeler daha çok düşey donatının kullanılmadığı duvarlarda tercih edilmektedir.

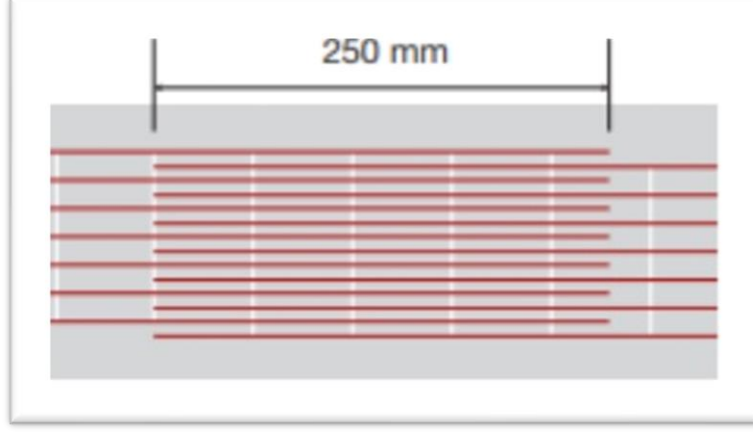


Şekil 2.6. Izgara tip yatay derz donatısı



Şekil 2.7. Şerit tip yatay derz donatısı

Yatay derz donatıları, rulo şeklinde çeşitli uzunluklarda, yekpare bir şekilde üretilmektedir. İki parçanın bindirme boyu 250 mm olmalıdır (URL-1). (Bkz: Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Bindirme boyu detayı

Murfor® ürün kataloğuna göre yatay derz donatıları (URL-1); zeminde oluşan oturma farklılıklarının, duvar üzerinde yarattığı gerilmeleri sönmeler, kapı ve pencere boşluklarında oluşan çekme ve eğilme gerilmelerini sönmeler, duvarda rötre ve genişmeye bağlı oluşabilecek gerilmeleri sönmeler, lento yerine kullanılabilir, rüzgâr yükünden kaynaklanan gerilmelere dayanım sağlar, kalkan duvarlarda oluşabilecek çatlakları engeller, döşeme veya kirişlerin üzerine oturan bölme duvarlarda, yük altında eğilmeden doğan çatlakların oluşumunu engeller, bina yüksekliğinde değişim olduğunda, düşey basınçlardaki farklılıktan kaynaklanan gerilmeleri sönmeler, noktasal yükler altında oluşan gerilmeleri sönmeler.

Çizelge 2.3.'te yatay derz donatısıyla ilgili yapılmış bazı araştırmaların bulgularına değinilmiştir.

Çizelge 2.3. Yatay derz donatısıyla ilgili yapılmış bazı araştırmalar

Yazar	Yıl	Çalışma	Bulgular
Drobiec Łukasz	2020	Study of impact of bed joint reinforcement on load-carrying capacity and crack resistance of masonry walls made of calcium silicate units	Ateş tuğlasından müteşekkil duvarlarda yatay derz donatısı kullanılmış lento altlarında çatlak gerilme dayanımı %19 artmıştır.
Radosław Jasiński	2019a	Research on the Influence of Bed Joint Reinforcement on Strength and Deformability of Masonry Shear Walls	Yatay derz donatısı kullanılan duvar blokları standart donatısız duvar bloklarına göre daha yüksek kesme gerilme dayanımı göstermiştir.
Radosław Jasiński	2019b	Research of Behaviour of Bed Joints Reinforced Masonry Walls with Openings Made of Autoclaved Aerated Concrete under Horizontal Shearing	Yatay derz donatısı kullanılan pencere ve kapı boşluklu duvarların köşelerinde daha az çatlak oluştuğu tespit edilmiştir.
Fabiana Rezende vd.	2014	Experimental Analysis of Mechanical Behavior of Lintels with Murfor® Reinforcement in Structural Masonry	Pencere boşluklarında lento yerine yatay derz donatısı kullanılmış betonarme lentolardan daha iyi dayanım değerleri tespit edilmiştir.
Penna, A.	2007	Design of Masonry Structures With Bed Joint Reinforcement	Yatay derz donatılı dolgu duvarların mukavemetinde belirgin bir artış olmuştur. Sünekliği iyileştirmiş, çerçeve sistemin dayanımına katkı sağlamış ve aldığı hasarı da azaltmıştır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

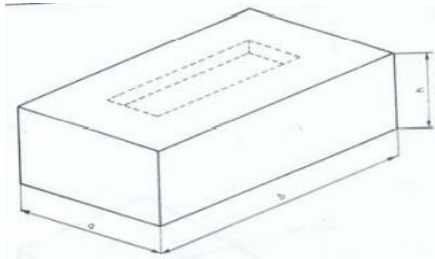
Bu çalışmada, 3 farklı tasarıma sahip 24 harman tuğla numunesi, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Bu çalışmayla; yatay derz donatısı kullanılarak, duvar elemanlarının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, deprem, zemin oturması etkisi gibi farklı gerilmeler karşısında yapının ekonomik ömrünün arttırılması hedeflenmiştir. Duvar elemanlarının güçlendirilmesinde, CFRP kumaşa alternatif olarak yatay derz donatısının performansı irdelenmiştir. Çalışmada, harman tuğlası, hazır tuğla harcı, CFRP kumaş ve yatay derz donatısı kullanılmıştır. Şahit numunesi olarak iki harman tuğlası, arasına 12 mm hazır harç doldurularak hazırlanmış dörder numuneden oluşan 2 farklı seri olarak hazırlanmıştır.

3.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin İncelenmesi

Bu bölümde çalışmada kullanılacak numuneleri oluşturan malzemelerin teknik ve geometrik özelliklerine değinilmiştir.

3.2.1. Dolu harman tuğlası

TS EN 771-1'de tuğla; “Kil veya diğer killi topraktan, kum veya diğer toz katkı maddesi ilâve edilerek veya edilmeden seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek sıcaklıkta pişirilmek suretiyle elde edilen kâgir birim” olarak tanımlanmıştır. Yapılan araştırmalara göre tuğlanın geçmişi M.Ö. 8000 yıllarına kadar uzanmaktadır (İspir, 2010). Delikli harman tuğlası ve dolu harman tuğlası olmak üzere 2 tip harman tuğlası bulunmaktadır. Dolu harman tuğlası, ortasında harç cebi olacak şekilde üretilmektedir (Bkz: Resim 3.1.).



Resim 3.1. Dolu harman tuğlası (TS EN 771-1)

Harç cebi 10 mm'den derin, kenarlara uzaklığı 20 mm'den fazla olamaz. Bu 2 tip harman tuğlası da kendi içlerinde az dayanımlı ve orta dayanımlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Bkz: Resim 3.2.) (TS EN 771-1, 2005).

Sınıflar		Ortalama hacim kütlesi (en fazla) kg/dm ³	Ortalama basınç dayanımı (en az) N/mm ² (kgf/cm ²)	Basınç dayanımı (en az) N/mm ² (kgf/cm ²)
Dolu harman tuğlası	Orta dayanımlı		5,0 (50)	4,0 (40)
	Az dayanımlı		3,0 (30)	2,5 (25)
Delikli harman tuğlası	Orta dayanımlı	1,40	5,0 (50)	4,0 (40)
	Az dayanımlı	1,40	3,0 (30)	2,5 (25)

Resim 3.2. Harman tuğla sınıfları (TS EN 771-1)

Çalışmada kullanılacak dolu harman tuğlası elemanlarından 3 tanesi basınç dayanımı değerlerinin ölçülmesi için rastgele seçilmiş ve basınç deneyi cihazında teste tabi tutulmuştur. 3 adet dolu harman tuğlasının ortalama basınç dayanım değerinin 3,24 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Resim 3.2.'den anlaşılacağı üzere çalışmada kullanılan elemanlar az dayanımlı dolu harman tuğlası sınıfına girmektedir. Resim 3.3.'te görüldüğü üzere TS EN 771-1'de harman tuğlasının boyutlarındaki toleranslar sunulmuştur.

Boyutlar		Toleranslar
Uzunluk (b)	190	+ 6
		- 13
Genişlik (a)	90	+ 4
		- 5
Yükseklik (h)	50	+ 3
		- 2

Resim 3.3. Harman tuğlasının boyutları (TS EN 771-1)

Bu çalışmada kullanılan 48 adet harman tuğlasının boyutlarının ortalaması a= 86 mm, b= 183 mm, h= 51 mm'dir. Hesaplamalar bu ortalama değerler üzerinden yürütülmüştür. Resim 3.4.'te görüldüğü üzere TS EN 771-1 standartlarına uymayan numuneler kullanılmamıştır.



Resim 3.4. TS EN 771-1 standartlarına uymayan bir harman tuğlası.

3.2.2. Harç karışımı

Çalışmada, TS EN 998-2 standardına uygun olarak üretilmiş, çimento esaslı, toz polimer katkılı hazır harç kullanılmıştır. 25 kilogramlık paketlerde satılan ürün, üzerinde belirtildiği gibi 6 litre suyla topraklanma olmayacak şekilde karıştırılarak harç hazırlanmıştır (Bkz: Resim 3.5.).



Resim 3.5. Harcın hazırlanması

Hazırlanan harç, 40x40x160 mm boyutundaki döküm malzemedan üretilmiş kalıplara yerleştirilmiştir (Bkz: Resim 3.6.). 24 saat boyunca prizini alan harç numuneleri kalıptan çıkarılmıştır ve kür havuzuna yerleştirilmiştir (Bkz: Resim 3.7.).



Resim 3.6. Harç malzemesinin 40x40x160 mm kalıba dökülmesi



Resim 3.7. Kür havuzunda bekletilen harç numuneleri

3.2.3. CFRP kumaş

Çalışmada, katalog değerleri; 300 gr/m², nominal kalınlığı 0,17 mm, çekme dayanımı 4.900 MPa, elastisite modülü 230.000 MPa, uzama %2,1 olan tek yönlü CFRP kumaş kullanılmıştır. Tek yönlü CFRP kumaşlar, tek yönde rijitlik ve mukavemetin gerektiği uygulamalarda tercih edilmektedir (Bkz: Resim 3.8.).



Resim 3.8. Tek yönlü CFRP kumaşın örgü detayı

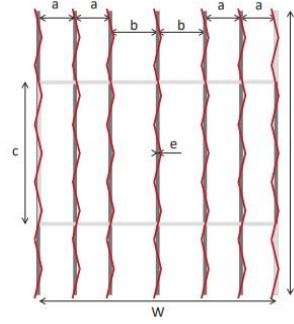
3.2.4. Yatay derz donatısı

Çalışmada kullanılan yatay derz donatısı, 7 çelik kord telleri ve iç içe geçmiş fibreglas cam fitillerin örülmesinden oluşmaktadır. Resim 3.9.'da kullanılan malzemenin boyutları ve geometrisi, Resim 3.10.'da ise teknik özellikleri gösterilmiştir (URL-2).

Boyutlar

Genişlik	mm	w	50
Aralık _{kısa yönde}	mm	a	7.5
Aralık _{uzun yönde}	mm	b	10
Basamak	mm	c	33
Kalınlık	mm	e	1.75
Uzunluk	m	L	30
Ağırlık	kg/rulo		1.40

Geometri



Resim 3.9. Yatay derz donatısının boyutları ve geometrisi (URL-2)

Çelik kesiti		
Boylamasına kord	mm ²	0.69
Toplam	mm ²	4.83
Karakteristik		
Akma dayanımı	Mpa	1770
Young modülü	Gpa	180
Gerilme-Agt	%	2.2
Kaplama referansı		R 20
EN843-3		

Resim 3.10. Yatay derz donatısının teknik özellikleri (URL-2)

Ürün kataloğunda, malzemenin 3 mm - 12 mm arası kalınlıktaki tüm harçlı derzlerde kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir (URL-2).

3.3 Numunelerin Hazırlanması

8'er adet olmak üzere 3 farklı tipte 24 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin 12'si basınç deneyinde, kalan 12'si ise 3-noktalı eğilme deneyinde kullanılmıştır (Bkz: Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılacak numune gruplarına ait bilgiler

Numuneler	Basınç Deneyi	3-Noktalı Eğilme Deneyi
Şahit	4 ad.	4 ad.
CFRP kumaş İle Güçlendirilmiş	4 ad.	4 ad.
Murfor® ile güçlendirilmiş	4 ad.	4 ad.
TOPLAM	12 ad.	12 ad.

1. ve 2. seri tüm numuneler Resim 3.11.'de gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Tüm numunelerde 12 mm harç kullanılmıştır. Çalışmada 1. seri numuneler, güçlendirmenin etkisinin ölçülebilmesi için şahit numuneleri olmuştur.



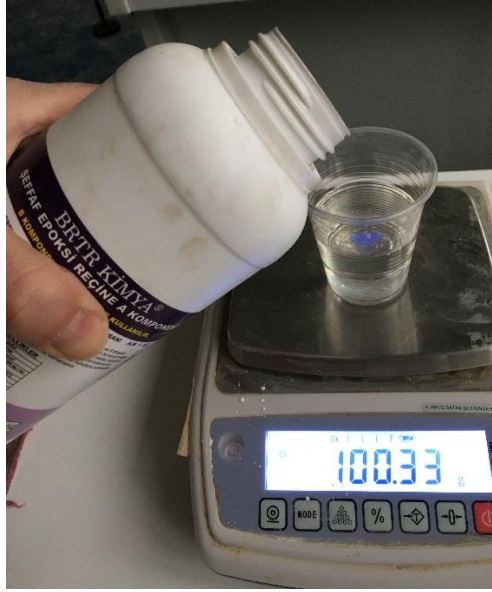
Resim 3.11. 1. ve 2. seri numunelerin yandan görünüşü

2. seri numuneler 21 gün bekletildikten sonra her iki tarafı da tek yönlü CFRP kumaş ile kaplanmıştır. CFRP kumaşlar bir yüzde X yönünde diğer tarafta Y yönünde (Bkz: Resim 3.12.) çalışacak şekilde yapıştırılarak farklı yöndeki gerilmelere karşı maksimum dayanım sağlanması hedeflenmiştir.

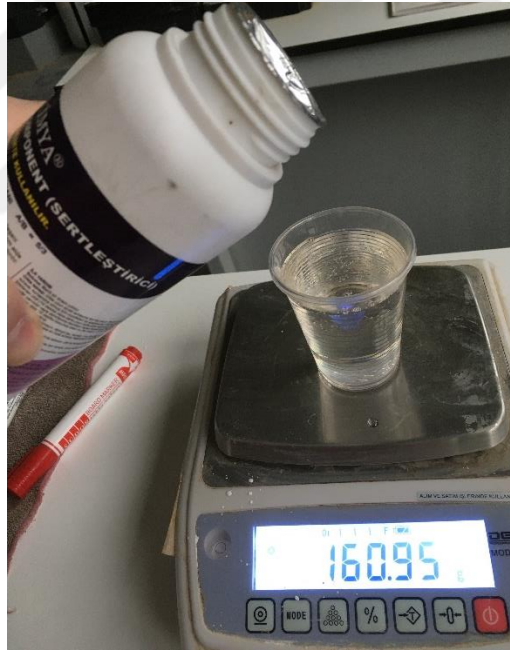


Resim 3.12. 2. seri numunelerin iki yan yüzeyine CFRP kumaşların farklı yönde uygulanması

21. günde CFRP kumaşlar yapıştırılırken epoksi esaslı reçine ve sertleştiricisi karıştırılarak kullanılmıştır. Bu karışım, ürünün talimatnamesinde belirtildiği gibi 5:3 oranında hassas terazide ölçülerek hazırlanmıştır (Bkz: Resim 3.3., Resim 3.14.).



Resim 3.13. Epoksi esaslı reçinenin karışım kabına tartılarak doldurulması



Resim 3.14. Epoksi sertleştirici kimyasalın karışım kabına tartılarak doldurulması

2. seri numunelerin CFRP kumaş yapıştırılacak yan yüzeyleri kir, toz ve harç kalıntılarından temizlenmiş, hazırlanan epoksi reçine yan yüzeylere fırça yardımıyla sürülmüştür. Daha sonra numune yan yüzeyleri ebatında kesilmiş olan CFRP kumaşlar her iki tarafta farklı yönlere bakacak şekilde yerlerine yerleştirilmiş, yerleştirilen CFRP kumaşın üzerine tekrar epoksi reçine sürülerek numuneye iyice yapışması sağlanmıştır

(Bkz: Resim 3.15.). Epoksi reçinenin maksimum mekanik dayanımına ulaşması için 7 gün kuruması beklenmiştir.



Resim 3.15. CFRP kumaşın yan yüzeylere epoksi reçineyle yapıştırılması

Yatay derz donatısı kullanılmış olan 3. seri numuneler, ürün kataloğunda belirtildiği şekilde; 2 harman tuğlası arasına ortalanarak yerleştirilip üzerine 12 mm kalınlığında harç malzemesi, en üste de 2. harman tuğlası yerleştirilerek oluşturulmuştur (Bkz: Resim 3.16.).



Resim 3.16. Yatay derz donatısının yerleştirilmesi

Çizelge 3.2.'de serilere ait numune kodları sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Serilere ait numune kodları

Numune Grupları	Şahit	CFRP	Murfor®	Harç
Basınç Deneyi Numuneleri	ŞAHB01	CFRPB01	MURB01	HB01
	ŞAHB02	CFRPB02	MURB02	HB02
	ŞAHB03	CFRPB03	MURB03	HB03
	ŞAHB04	CFRPB04	MURB04	HB04
3-Noktalı Eğilme Deneyi Numuneleri	ŞAH301	CFRP301	MUR301	H301
	ŞAH302	CFRP302	MUR302	H302
	ŞAH303	CFRP303	MUR303	H303
	ŞAH304	CFRP304	MUR304	H304

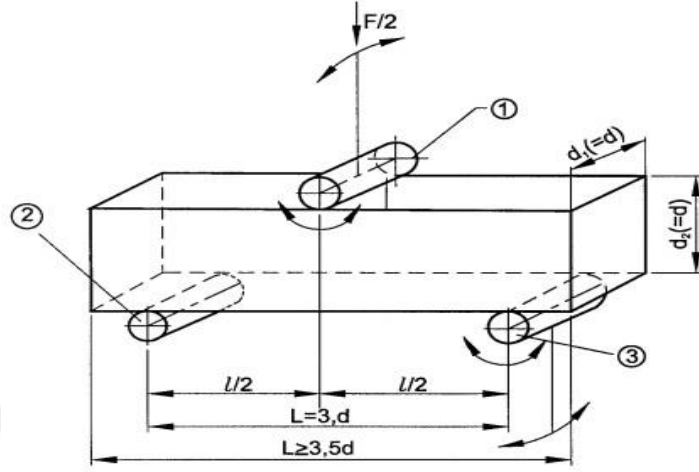
3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Bu bölümde yapım hazırlıkları tamamlanmış olan numuneler basınç deneyi ve 3-noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

3.4.1. Harç numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi

24 saat süresince prizini alması beklenen 40x40x160 ebatındaki HB01, HB02, HB03, HB04 numuneleri, 28 gün boyunca kür havuzunda tam dayanım kazanması için bekletilmiştir. Su içerisinde bekletilen numuneler, deney için sudan çıkartıldıktan sonra, yüzeylerindeki fazla su, deney makinasına yerleştirilmeden önce, silinerek temizlenmiştir. Deney cihazının tüm yükleme yüzeyleri silinerek temizlenmiştir. Deney numunesinin, silindirlerin temas edeceği yüzeylerindeki herhangi gevşek tane veya diğer fazlalık malzeme alınmıştır. Deney numunesi, cihaza tam merkezlenerek ve numune boyuna ekseni, üst ve alt yükleme silindirleri boyuna eksenine dik açı teşkil eder şekilde yerleştirilmiştir. Referans yükleme doğrultusunun, numunenin beton yerleştirme doğrultusuna dik olması sağlanmıştır. Numuneler TS EN 12390-5 standartlarında belirtildiği gibi deneye tabi tutulmuştur (Bkz: Şekil 3.1.). Deney sonunda kırılmış olan numuneler, basınç deneyinde kullanılmak üzere muhafaza edilmiştir. TS EN 12390-5

standardında yer alan formül 3.1.'e göre deney sonuçlarının sağlanması gerçekleştirilmiştir. Yapılan sağlamada, kırılma yükü ve eğilme dayanımı değerleri uyumlu çıkmış, herhangi bir numunede uyumsuzluğa rastlanmamıştır.



Şekil 3.1. TS EN 12390-5 standardına göre 3-noktalı eğilme deneyi

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}$$

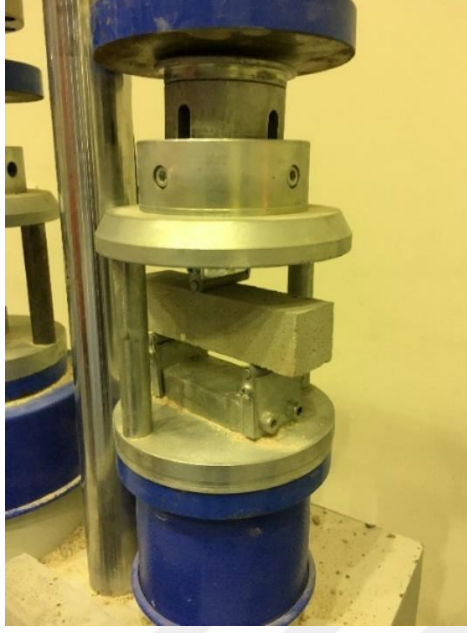
f_{cf} : Eğilme Dayanımı, MPa (N/mm²) (3.1)

F: En büyük yük, N,

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

d₁, d₂: Numunenin en kesit boyutları, mm

Resim 3.17.'de görüldüğü gibi cihaza yerleştirilen tüm numuneler teste tabi tutulmuştur. Her numunede, cihazın bağlı olduğu bilgisayardan, kırılma yükü ve eğilme dayanımı değerleri okunmuş ve not edilmiştir. Tüm numunelerin teste tabi tutulmasıyla, Çizelge 3.3.'teki sonuçlar ortaya çıkmıştır.



Resim 3.17. Numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi

Çizelge 3.3. Harç numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları

Numune	Kırılma Yüğü, F (kN)	Eğilme Dayanımı, f_{cf} (MPa)
H301	1,33	3,74
H302	1,22	3,42
H303	1,46	4,12
H304	1,45	4,07
Ortalama	1,36	3,84

3.4.2. Harç numunelerde basınç deneyi

HB01, HB02, HB03, HB04 numunelerinde TS EN 772-1+A1(2015) standartlarına göre basınç testleri gerçekleştirilmiştir (Bkz: Resim 3.18.). Deneyde kullanılan cihazın, 40x40 mm ebatlarındaki numune yerleştirilecek platformu ve basma ağızı, her deney öncesi, artık numune parçalarından, kirden, tozdan arındırılmıştır. Numuneler platforma tam merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, yükleme doğrultusunun numune yüzeyine dik olması sağlanmıştır.



Resim 3.18. Numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi

Çizelge 3.4'te basınç dayanımı testine tabi tutulan tüm harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları sunulmuştur. Test sonucu okunan kırılma yükü ve basınç dayanımı değerleri, formül 3.2. uygulanarak yeniden hesaplanmış bu şekilde sağlama yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kırılma yükü ve basınç dayanım değerleri arasında herhangi bir hataya rastlanmamıştır.

$$R_c = F_c \div 1600 \quad (3.2)$$

R_c : Basınç dayanım değeri, (MPa)

F_c : Kırılma anında uygulanan maksimum yük, (N)

1600: Yükleme plakalarının alanı (40 mm x 40 mm), (mm²)

Çizelge 3.4. Harç numunelerde basınç deneyi sonuçları

Numune	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
HB01	29,64	18,53
HB02	29,33	18,33
HB03	33,95	21,22
HB04	31,35	19,59
Ortalama	31,06	19,42

3.4.3. Şahit numunelerde basınç deneyi

Arasına 12 mm harç doldurularak birleştirilen 2 adet dolu harman tuğlasından oluşan şahit numuneleri; ŞAHB01, ŞAHB02, ŞAHB03, ŞAHB04 28 gün boyunca mekanik dayanımını kazanması için bekletilmiştir. Dayanımını kazanmış olan numunelerin her biri basınç deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, cihaz platformu numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler platforma merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusunun dik bir şekilde numunelere teması sağlanmıştır (Bkz: Resim 3.19.).



Resim 3.19. Şahit numunelerin basınç deneyi platformuna yerleştirilmesi

Basınç deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm şahit numunelerinin basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Şahit numunelerde basınç deneyi sonuçları

Numune	Basınç Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
ŞAHB01	7,56	118,98
ŞAHB02	8,18	128,74
ŞAHB03	7,35	115,67
ŞAHB04	7,96	125,27

3.4.4. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi

Arasına 12 mm harç doldurularak birleştirilen 2 adet dolu harman tuğlasından oluşan şahit numuneleri; ŞAH301, ŞAH302, ŞAH303, ŞAH304, 28 gün boyunca mekanik dayanımını kazanması için bekletilmiştir. Dayanımını kazanmış olan numunelerin her biri 3-noktalı eğilme deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, cihaz silindirleri, numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler silindirlere merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusuna dik gelecek şekilde konumlandırılmıştır (Bkz: Resim 3.20.).



Resim 3.20. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi

3-noktalı eğilme deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183 mm), mesnet genişliği (160 mm) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş, ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm şahit numunelerinin eğilme dayanımı değerleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

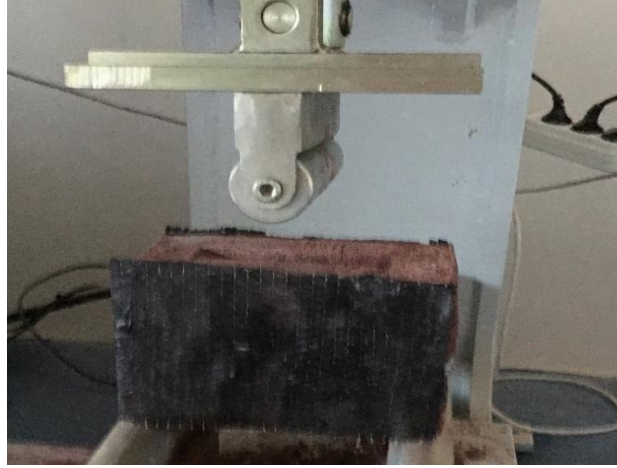
Çizelge 3.6. Şahit numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları

Numune	Eğilme Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
ŞAH301	3,58	16,67
ŞAH302	2,74	12,76
ŞAH303	3,77	17,56
ŞAH304	3,49	16,25

Deney sonucu okunan değerlerin, formül 3.1.'deki denklemlerle yapılan hesaplamalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

3.4.5. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi

Arasına 12 mm harç doldurularak birleştirilen 2 adet dolu harman tuğlasından oluşan numuneler; CFRP301, CFRP302, CFRP303, CFRP304 21 gün boyunca bekletilmiş, 21. gün CFRP kumaşla iki yan yüzey farklı doğrultuda çalışacak şekilde güçlendirilmiştir. CFRP kumaşın yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinenin mekanik dayanımını kazanması için 7 gün bekletilmiştir. Numuneler 28. günde 3-noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin her biri 3-noktalı eğilme deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, basınç silindirleri, numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler, platforma merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusunun dik bir şekilde numunelere teması sağlanmıştır (Bkz: Resim 3.21.). 3-noktalı eğilme deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183 mm), mesnet genişliği (160 mm) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerinin dayanım değerleri Çizelge 3.7.'de verilmiştir.



Resim 3.21. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi

Çizelge 3.7. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları

Numune	Eğilme Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
CFRP301	5,24	24,40
CFRP302	6,31	29,38
CFRP303	5,90	27,47
CFRP304	5,60	26,08

Deney sonucu okunan değerlerin, formül 3.1.'deki denklemlerle yapılan hesaplamalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

3.4.6. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi

Arasına 12 mm harç doldurularak birleştirilen 2 adet dolu harman tuğlasından oluşan numuneler; CFRPB01, CFRPB02, CFRPB03, CFRPB04 21 gün boyunca bekletilmiş, 21. gün CFRP kumaşla iki yan yüzey farklı doğrultuda çalışacak şekilde güçlendirilmiştir. CFRP kumaşın yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinenin mekanik dayanımını kazanması için 7 gün bekletilmiştir. Numuneler 28. günde basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin her biri basınç deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, cihaz

platformu numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler, platforma merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusunun dik bir şekilde numunelere teması sağlanmıştır (Bkz: Resim 3.22.).



Resim 3.22. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi

Basınç deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183 mm) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanım değerleri Çizelge 3.8.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi sonuçları

Numune	Basınç Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
CFRPB01	11,41	179,57
CFRPB02	6,79	106,86
CFRPB03	9,40	147,94
CFRPB04	9,63	151,56

3.4.7. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi

2 adet dolu harman tuğlasının arasına Murfor® yatay donatı derzi yerleştirilip 12 mm harç doldurulmasıyla oluşturulan numuneler; MUR301, MUR302, MUR303, MUR304 yatay derz donatısının harca aderansını sağlaması için ve mekanik dayanımını kazanması için 28 gün boyunca bekletilmiştir. Numuneler 28. günde 3-noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin her biri 3-noktalı eğilme deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, basınç silindirleri, numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler, platforma merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusunun dik bir şekilde numunelere teması sağlanmıştır (Bkz: Resim 3.23.).



Resim 3.23. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyinin gerçekleştirilmesi

3-noktalı eğilme deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183 mm), mesnet genişliği (160 mm) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerinin eğilme dayanım değerleri Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde 3-noktalı eğilme deneyi sonuçları

Numune	Eğilme Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
MURP301	5,34	24,87
MURP302	4,95	23,05
MURP303	4,56	21,23
MURP304	5,16	24,03

Deney sonucu okunan değerlerin, formül 3.1.'deki denklemlerle yapılan hesaplamalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

3.4.8. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi

2 adet dolu harman tuğlasının arasına Murfor® yatay donatı derzi yerleştirilip 12 mm harç doldurulmasıyla oluşturulan numuneler; MURB01, MURB02, MURB03, MURB04 yatay derz donatısının aderansını sağlaması için ve mekanik dayanımını kazanması için 28 gün boyunca bekletilmiştir. Numuneler 28. günde basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin her biri basınç deneyi cihazına yerleştirilmeden önce, cihaz platformu numune parçaları, kir ve tozdan arındırılmıştır. Numuneler, platforma merkezlenecek şekilde yerleştirilmiş, basınç yükleme doğrultusunun dik bir şekilde numunelere teması sağlanmıştır (Bkz: Resim 3.24.).



Resim 3.24. Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyinin gerçekleştirilmesi

Basınç deneyi cihazının bağlı olduğu ve komutların yürütüldüğü bilgisayara, numunelerin boyutu (86x114x183 mm) ve numune yaşı (28 gün) bilgileri girilmiş ardından deneyler başlatılmıştır. Tüm Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyi sonuçları

Numune	Basınç Dayanım (MPa)	Kırılma Yüğü (kN)
MURB01	7,97	125,43
MURB02	7,80	122,76
MURB03	8,43	132,67
MURB04	8,25	129,84



4. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

4.1. Basınç Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

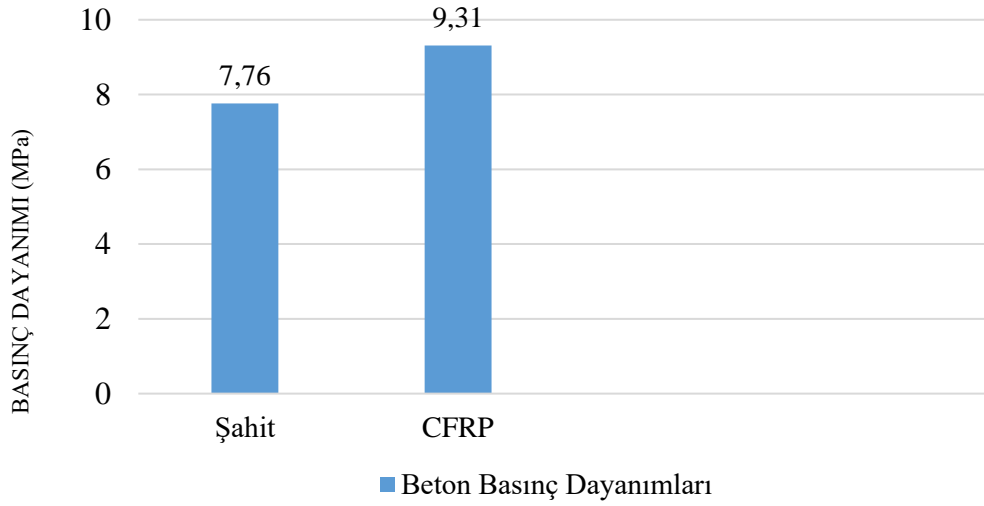
Basınç deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanım değerleri ve ortalama basınç dayanım sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Basınç dayanım sonuçları irdelenecek olursa en yüksek ortalama basınç dayanımı CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde gözlenmiştir. Hem CFRP kumaş ile güçlendirilmiş hem de Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama basınç dayanımı şahit numunelerin ortalama basınç değerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.1. Numunelerin basınç dayanım değerleri

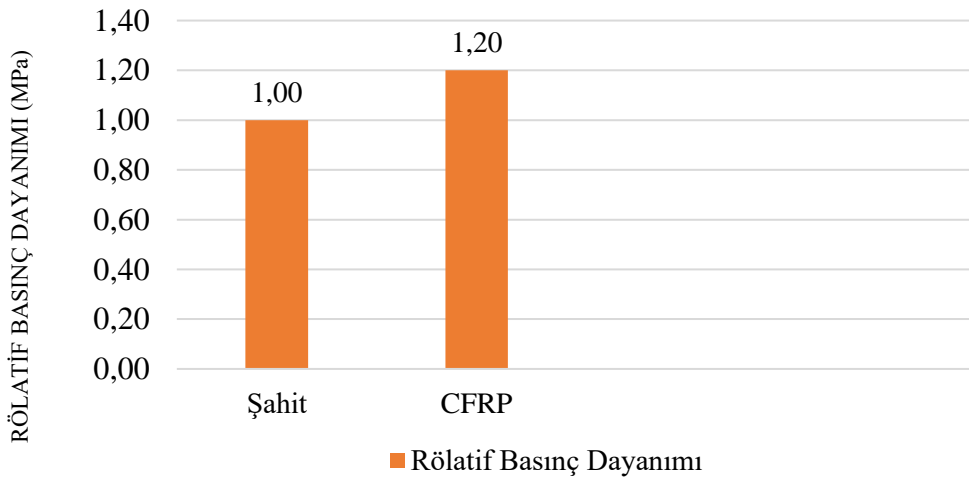
Numune	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
ŞAHB01	7,56	7,76
ŞAHB02	8,18	
ŞAHB03	7,35	
ŞAHB04	7,96	
CFRPB01	11,41	9,31
CFRPB02	6,79	
CFRPB03	9,40	
CFRPB04	9,63	
MURB01	7,97	8,11
MURB02	7,80	
MURB03	8,43	
MURB04	8,25	

4.1.1. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 özetlenecek olursa; CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama basınç dayanımı şahit numunelerdeki ortalama basınç dayanımına göre %20 artış sağlamıştır.



Şekil 4.1. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.2. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

Tek yönlü çalışan CFRP kumaşların, numunelerin iki yan yüzeyinde farklı doğrultularda yapıştırılmaları sonucunda, tüm numunelerde kırılmalar, kuvvet yönüne paralel yönde

yapıştırılmış CFRP kumaşın olduğu yan yüzeyde çizgisel bir hat doğrultusunda meydana gelmiştir(Bkz: Resim 4.1., Resim 4.2., Resim 4.3., Resim 4.4.). Bunun nedeni; yatay hareketleri kısıtlanmış malzemenin üzerine uygulanan basınç kuvveti sonucu, yan yüzeylerde dışa doğru oluşan gerilmelerdir (Bkz: Resim 4.5.). Kuvvet yönüne dik yerleştirilmiş numunelerin bulunduğu yan yüzeylerde genel olarak herhangi bir çatlak, kırık tespit edilmemiştir.



Resim 4.1. CFRPB01 numunesinin test sonrası durumu



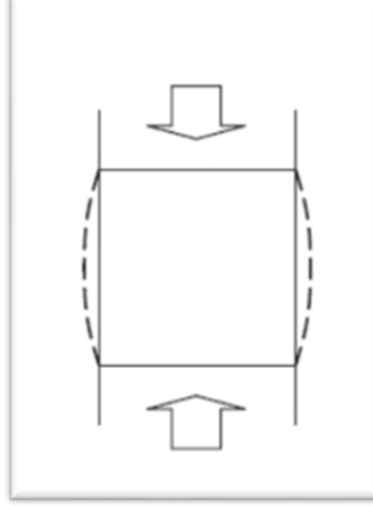
Resim 4.2. CFRPB02 numunesinin test sonrası durumu



Resim 4.3. CFRPB03 numunesinin test sonrası durumu



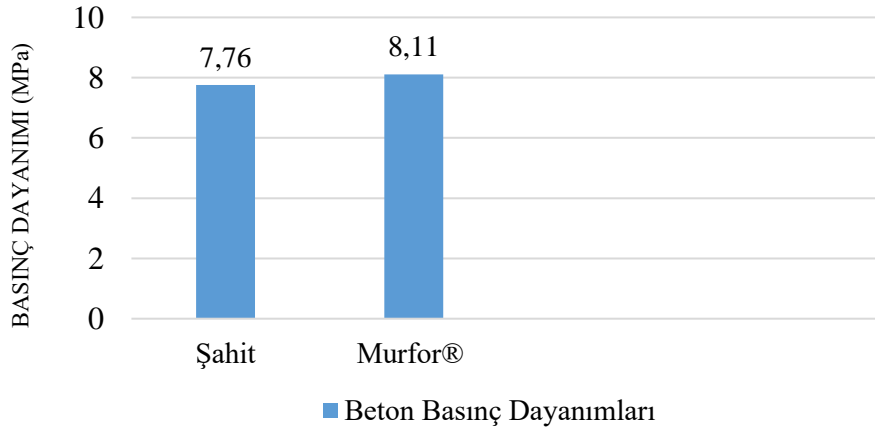
Resim 4.4. CFRPB04 numunesinin test sonrası durumu



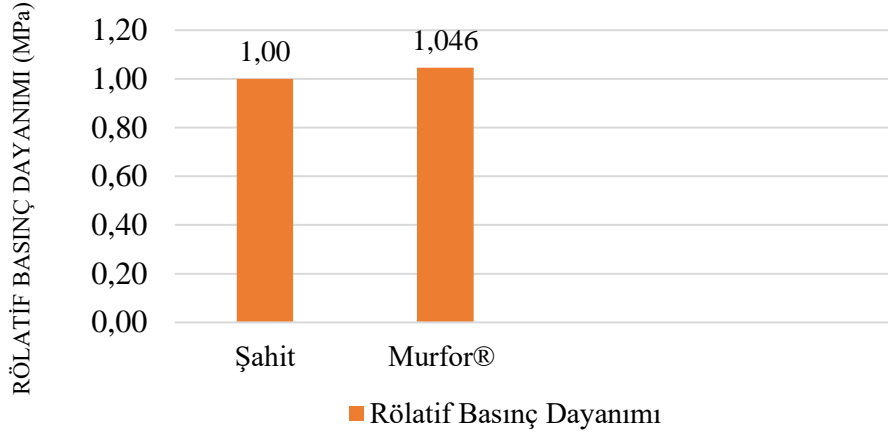
Resim 4.5. Yatay hareketleri kısıtlanmış küp numunenin basınç etkisi altındaki davranışı

4.1.2. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'e göre Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama basınç dayanımı, şahit numunelerdeki ortalama basınç dayanımına göre %4,6 daha yüksek olmuştur. Ancak bu artış yüzdesi CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerdeki artış yüzdesine göre düşük kalmıştır.

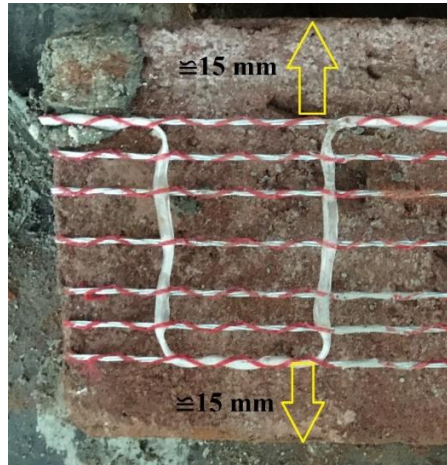


Şekil 4.3. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.4. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerde çizgisel kırıklar olduğu gözlenmiştir. Numunelerin eninin 80 mm, yatay derz donatısı malzemesinin eninin ise 50 mm olması sebebiyle, yatay derz donatısı malzemesi, numune uzun kenarlarından 15'er mm içte kalacak şekilde yerleştirilmiştir (Bkz: Resim 4.6.). Oluşan kırıklar, malzemenin izdüşümsel olarak sınırı sayılabilecek, uzun kenara paralel bir doğrultuda meydana gelmiştir (Bkz: Resim 4.7., Resim 4.8.). Kırık tipleri incelendiğinde, yatay derz donatısının sadece %4,6'lık bir fark meydana getirmesinin nedeni; numune merkezinde sağlanmış olan güçlendirmenin, yatay derz donatısının izdüşümsel olarak dışında kalan bölgelerde sağlanamamış olmasıdır.



Resim 4.6. Yatay derz donatısının tuğla yüzeyine yerleştirilmesi



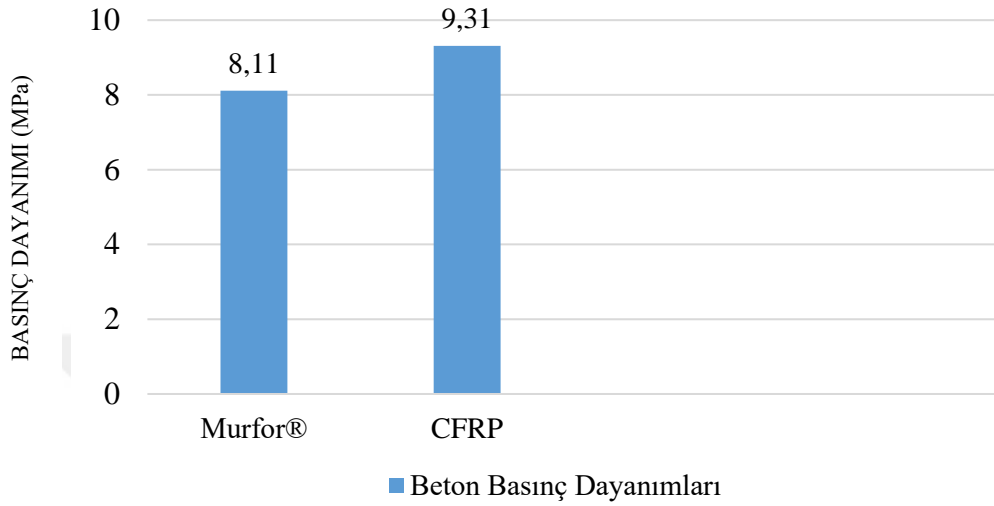
Resim 4.7. Basınç deneyi sonucunda yatay derz donatısı boyunca çizgisel bir şekilde devam eden çatlak görünümü



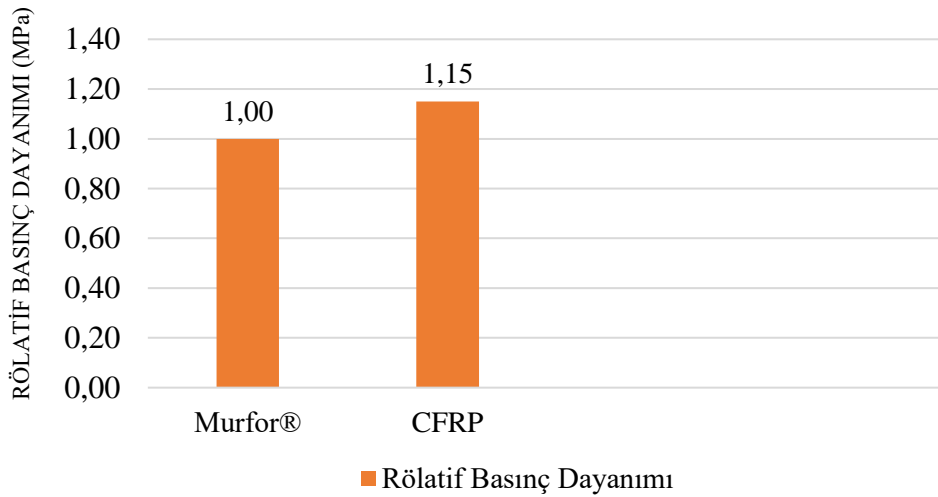
Resim 4.8. Basınç deneyi sonrası Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunede oluşan çatlak görünümü

4.1.3. Basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da yer alan grafikler incelendiğinde; CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerin ortalama basınç dayanımından %15 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.5. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.6. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

4.2. 3-Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

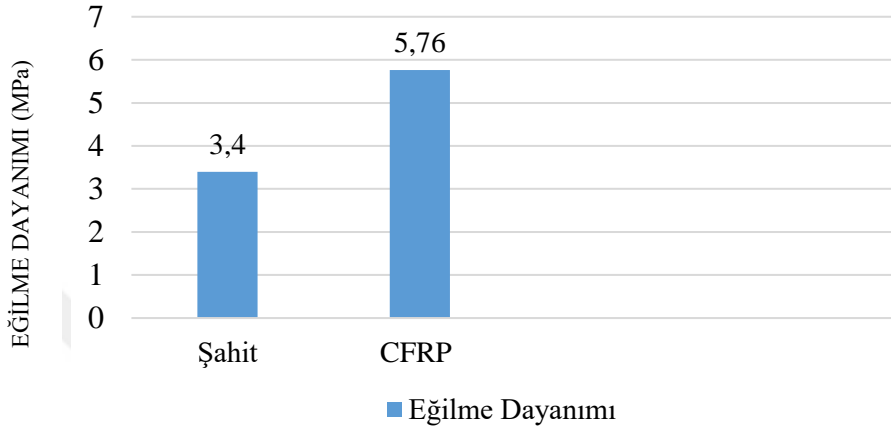
3-noktalı eğilme deneyine tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı değerleri ve ortalama eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Sonuç olarak; hem CFRP kumaş ile güçlendirilmiş hem de Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama eğilme dayanımının şahit numunelerdeki ortalama eğilme dayanımına göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama eğilme dayanımı ile Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama eğilme dayanımı birbirine yakın çıkmıştır.

Çizelge 4.2. Eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

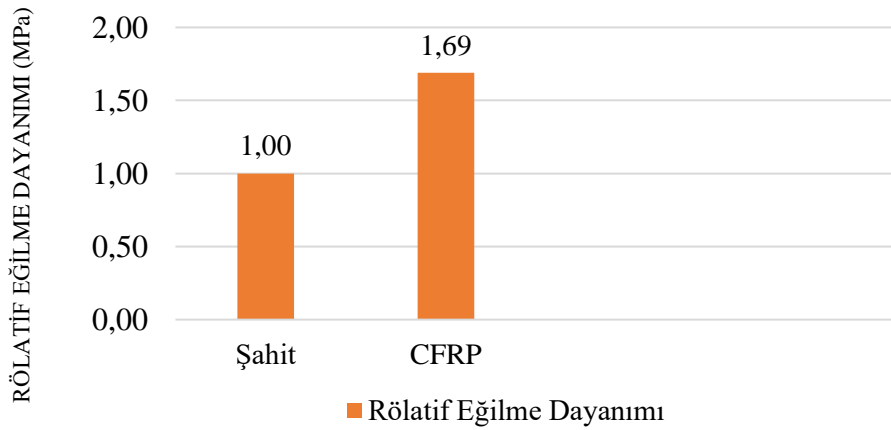
Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama
ŞAH301	3,58	3,40
ŞAH302	2,74	
ŞAH303	3,77	
ŞAH304	3,49	
CFRP301	5,24	5,76
CFRP302	6,31	
CFRP303	5,90	
CFRP304	5,60	
MUR301	5,34	5,00
MUR302	4,95	
MUR303	4,56	
MUR304	5,16	

4.2.1. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 ele alındığında CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ortalama eğilme dayanımı şahit numunelerdeki ortalama eğilme dayanımına göre %69 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.7. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.8. Şahit numunelerde ve CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerin 3-noktalı eğilme deneyinde, basınç deneyine benzer bir sonuç ortaya çıkmıştır; iki yan yüzeye farklı doğrultularda yapıştırılmış olan CFRP kumaşlardan, kuvvet yönüne paralel olarak yağıştırılmış olan yüzeylerde kırıklar oluşmuştur. Kuvvet yönüne dik olan yüzeylerde hasar ya olmamış ya

da çok az olmuştur(Bkz: Resim 4.9., Resim 4.10., Resim 4.11.). Kırıklar, momentin maksimum olduğu, yükleme silindirin numuneye temas ettiği orta noktada oluşmuştur. Sonuç olarak; CFRP kumaş kullanımının eğilme dayanımına önemli ölçüde katkı sağladığı belirtilebilir.



Resim 4.9. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, kuvvet yönüne dik yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu



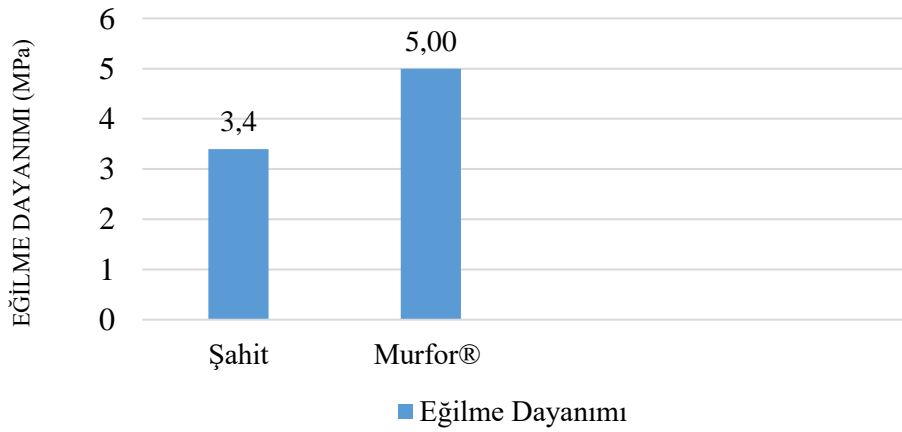
Resim 4.10. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, kuvvet yönüne paralel yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu



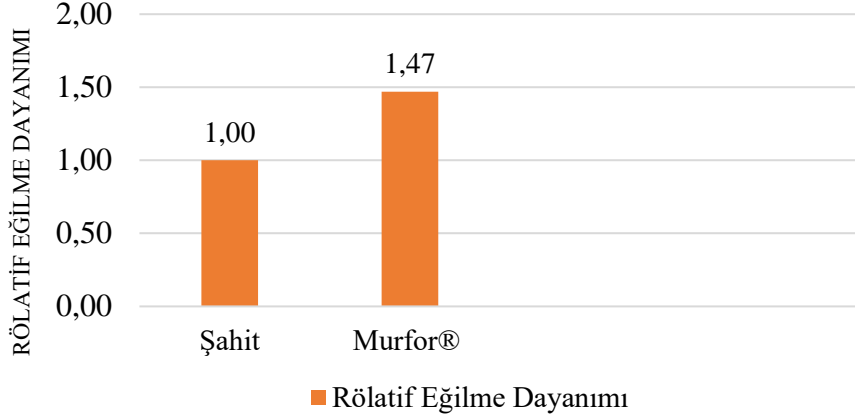
Resim 4.11. 3-noktalı eğilme deneyi sonrası, farklı doğrultuda yapıştırılmış olan CFRP kumaşın fiziki durumu

4.2.2. Murfor® yatay derz donatısı ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 özetlenecek olursa Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerde ortalama eğilme dayanımı şahit numunelerdeki ortalama eğilme dayanımına oranla %47 daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.9. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

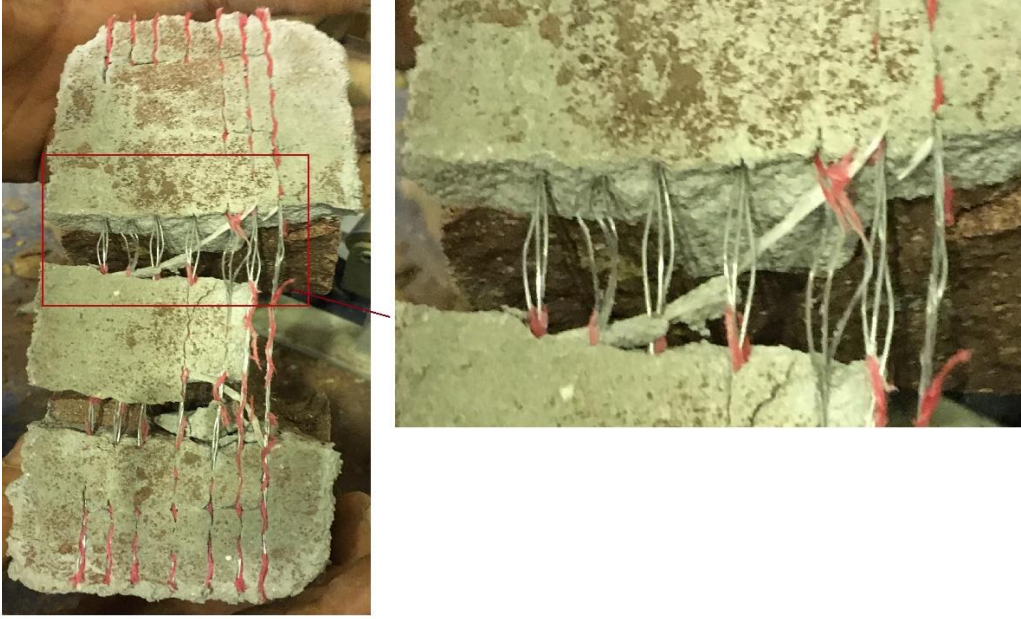


Şekil 4.10. Şahit numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelere uygulanan 3-noktalı eğilme deneyi sonucunda; numuneler, kuvvet uygulayan silindirin temas ettiği momentin maksimum olduğu noktadan kırılmıştır. Ancak yatay derz donatısının yüksek dayanımlı çelikten oluşması ve aderans artırıcı fiberglas cam fitiller sebebiyle, kırılan parçalar birbirinden ayrılmamış, numuneyi oluşturan dolu harman tuğlası ve harç malzemesini kıran yük yatay derz donatısında sadece uzamaya sebebiyet vermiş, herhangi bir kopma yaşanmamıştır (Bkz: Resim 4.12., Resim 4.13.).



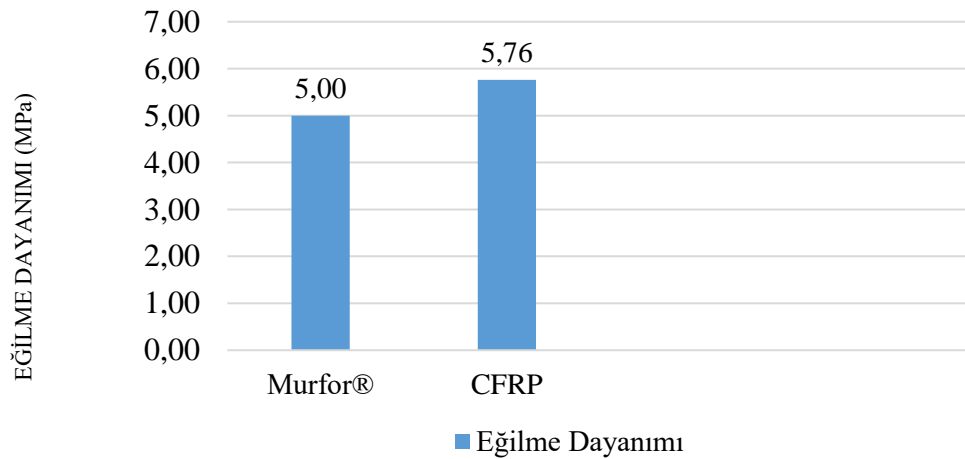
Resim 4.12. Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunenin 3-noktalı eğilme deneyi sonrası fiziki durumu



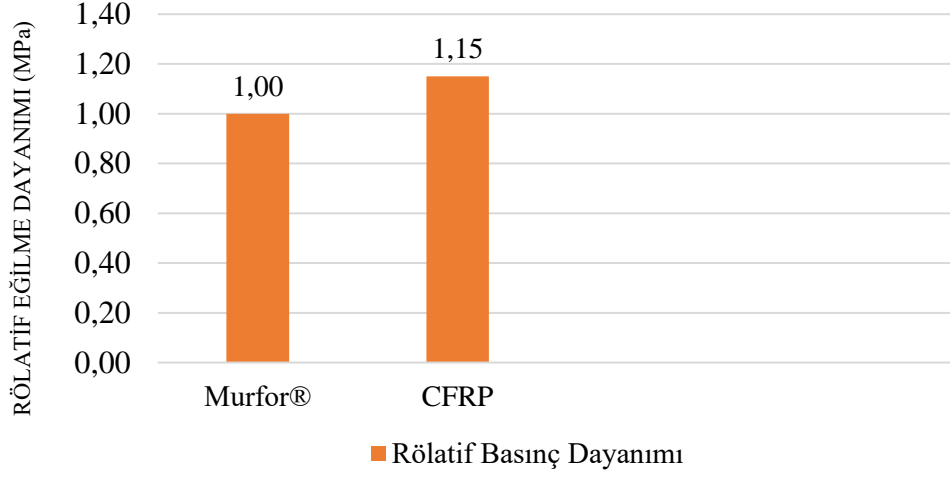
Resim 4.13. Yatay derz donatısının 3-noktalı eğilme deneyi sonrası fiziki durumu

4.2.3. Eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'ye göre CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerin ortalama eğilme dayanımı Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerin ortalama eğilme dayanımından %15 daha yüksek çıkmıştır. Eğilme dayanımı açısından CFRP kumaş, Murfor® yatay derz donatısına göre daha yüksek bir performans göstermiştir.



Şekil 4.11. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.12. CFRP kumaş ile güçlendirilmiş numunelerde ve Murfor® ile güçlendirilmiş numunelerde rölatif eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında toplam 24 adet numune üretilmiş, üretilen numunelerin 12'si basınç deneyi, 12'si 3-noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgular ışığında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tek yönlü çalışan CFRP kumaşla güçlendirilmiş dolu harman tuğlası numunelerinin, hem basınç hem de eğilme dayanımlarında ciddi bir artış gerçekleşmiştir.
- Tek yönlü çalışan CFRP kumaş, numunelerin iki yan yüzeyine farklı doğrultuda çalışacak şekilde yapıştırılmış, hem basınç deneyinde hem de 3-noktalı eğilme deneyinde kuvvet yönüne paralel doğrultudaki yüzeyde deformasyonlar oluşmuştur. Kuvvet yönüne dik olarak yerleştirilmiş yüzeylerde ise CFRP kumaşta hasar oluşmamıştır. CFRP kumaşla güçlendirilmek istenen yapı elemanlarının kuvvet yönüne dik olarak yerleştirilmesinin son derece önemli olduğu anlaşılmıştır.
- Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımında ciddi bir artış olmamıştır.
- Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerin, basınç deneyindeki kırılma tiplerinin çok benzer olması değerlendirildiğinde, dolu harman tuğlası eniyle yatay derz donatısı eninin eşit olması durumunda dayanımın artıp artmayacağı araştırılmalıdır.
- Murfor® yatay derz donatısıyla güçlendirilmiş numunelerin eğilme dayanımında ciddi bir artış gerçekleşmiştir.
- Yapımında dolu harman tuğlası numuneleri kullanılmış olan tarihi eserlerin restorasyon ve güçlendirmelerinde harç içinde kalarak görsel estetiği bozmaması nedeniyle Murfor® yatay derz donatısı kullanılabilirliği önerilebilir.
- Murfor® yatay derz donatısının güçlendirmedeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için gerçek boyutlarda duvar elemanlarıyla daha spesifik test cihazlarıyla çalışılması gerekmektedir.

- Murfor® yatay derz donatısının, konutlarda sıklıkla kullanılan delikli tuğla, gaz beton gibi duvar elemanlarıyla da test edilmesi önerilmektedir.
- Murfor® yatay derz donatısının lento ve hatıl yerine kullanılabilmesi hakkında çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.
- Farklı tipteki yatay derz donatılarının etkinliğinin ölçülebilmesi için çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.
- Yığma yapılarda en sık görülen hasar tipi olan oturma çatlakları için yatay derz donatısı kullanımı önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- ACI-440** (2008). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute.
- ACI-549** (2013). Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric Reinforced Cementitious Matrix Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures. American Concrete Institute.
- Ahunbay, Z.** (1996). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, İstanbul: Yem Yayın, 38-58.
- Altin, S., Ersoy, U., & Tamkut, T.** (1992). Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering*, 118(8), 2133- 2150.
- Arya, C., Clarke, J. L., Kay, E. A., & O'Regan, P. D.** (2002). TR 55: Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: a review. *Engineering Structures*, 24(7), 889–900.
- Batur, N.** (2006) *Yığma Yapı Tasarımı ve Analizi* (Bitirme Tezi). İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 7-8.
- Bayraktar, A.** (2006). *Tarihi Yapıların Analitik İncelemesi ve Sismik Güçlendirme Teknikleri*, İstanbul: Beta Basım Yayım.
- Bayülke, N.** (2011). *Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14.
- Boussalh M., Mustapha J., Hubert G. ve Sébastien M.** (2005). Conservation Manual For Earth Architecture Heritage in the pre-Saharan valleys of Morocco, CERKAS and CRATerre-EAG, with the financial help of UNESCO World Heritage Centre, Fransa.
- Çetinkaya, N., Kaplan, H. ve Şenel, M.Ş.** (2004). Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (Frp) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 291-298.
- Çöğürücü, M. T.** (2007). *Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Dialer, C.H.** (1991). Some Remarks on the Strength and Deformation Behavior of Shear Stressed Masonry Panels under Static Monotonic Loading; *Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference*; Berlin, Germany. 276–282.)
- FIB Bulletin 14.** (2001). Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures. Switzerland.
- Fukuyama, K., Higashibata, Y., Miyauchi, Y.** (2000). Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns. *Cement and Concrete Composites*. 22(1), 81-88.
- Haroun, M. A., Mosallam, A. S., Feng, M. Q., & Elsanadedy, H. M.** (2003). Experimental Investigation of Seismic Repair and Retrofit of Bridge Columns by Composite Jackets. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22(14), 1243–1268.
- Ibrahim, A.M. ve Mahmood, M.,S.** (2009). Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates, *European Journal of Scientific Research*, 30(4), 526-541.
- İspir, M.** (2010), *A Comprehensive Experimental Research On The Behavior Of Historical Brick Masonry Walls Of 19th Century Buildings* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 47-48.
- Jasinski, R.** (2019a). Research on the Influence of Bed Joint Reinforcement on Strength and Deformability of Masonry Shear Walls, *Materials* ,12, 2543, 1-28.
- Jasinski, R.** (2019b). Research of Behaviour of Bed Joints Reinforced Masonry Walls with Openings Made of Autoclaved Aerated Concrete under Horizontal Shearing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603, 022102.
- Kanit, R.** (2007). Düzlem Dışı Yüklere Maruz Yığma Duvarların Deprem Davranışlarının Analitik ve Deneysel Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 441-449.
- Karakuş, F.** (2012). *Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Sorunlar ve Çözüm Yolları* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kuban, D.** (2000). *Tarihi Çevre Korumanın Mimarlık Boyutu*. İstanbul: Yem Yayınları.
- Li, A., Assih, J., & Delmas, Y.** (2001). Shear Strengthening of RC Beams with Externally Bonded CFRP Sheets. *Journal of Structural Engineering*, 127(4), 374–380.
- Lukasz, D.** (2020). Study of impact of bed joint reinforcement on load-carrying capacity and crack resistance of masonry walls made of calcium silicate units. *Journal of Building Engineering*, 101841.

- Madran, E.** (1996). Cumhuriyet Öncesi Koruma Etkinliklerine Genel Bir Bakış, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (1-2): 59-97.
- Mahrabel, H. A.** (2006). *Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- NCMA TEK** (2005). National Concrete Masonry Association, An Information Series From The National Authority On Concrete Masonry Technology, TEK 12-2B, Virginia, ABD.
- Orbaşlı, A.** (2008). *Architectural Conservation: Principle and Practise*. Oxford: Blackwell Publishing Company.
- Ökten, M.,S.** (2013). *Liqli Çimento Esaslı Kompozitlerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Deneysel İncelenmesi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Peker, Ö.** (2005). *Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Penna A., Calvi G.M., Bolognini D.** (2007). Design of masonry structures with bed joint reinforcement, Intl. Seminar "*Paredes de Alvenaria. Inovação e possibilidades actuais*" 15 novembre 2007, LNEC Lisbona.
- Rezende, F., Mohamad, G., Rizzatti, E., Kirchhof, L.D. & Bavastri, E.,Y.,N.** (2014). Experimental Analysis of Mechanical Behavior of Lintels with Murfor® Reinforcement in Structural Masonry, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(5), 573-580.
- TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 335-336.
- TC. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü** (2001), Bina Sayımı 2000, Ankara, 236-238.
- Toker, A.** (2007). *Betonarme Bir Yapıda Dolgu Duvar Etkisinin Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemiyle İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Tommaso, A.D., Focacci, F., Mantegazza, G.** (2007). FRCM versus FRP Composites to Strengthen Rc Beams: A Comparative Analysis. in *Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures*. Patras, Greece.
- TS EN 12390-5** (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini.
- TS EN 771-1** (2005). Kâgir Birimler - Özellikler -Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar).

TS EN 772-1+AI (2015) Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini.

Turgay, T. (2007). *FRP Uygulanmış Eksenel Yüklü Betonarme Kolonların Davranışı* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zakar, L., Eyüpgiller, K., K. (2015). *Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri*. İstanbul: Yem Yayınları.

URL-1 <<https://docplayer.biz.tr/10325979-Murfor-yapisal-bir-dusunce.html> >, alındığı tarih: 10.12.2020.

URL-2<<https://www.bekaert.com/en/product-catalog/content/dop/murfor-compact-technical-documents> > alındığı tarih: 10.12.2020.

