

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

**YÖNETMELİKLERE UYGUN OLARAK ÜRETİLMİŞ
DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN FRM TÜRÜ
MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLEREK
YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Sinem Rahime BAYRAKTAR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2022
KAYSERİ**

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

**YÖNETMELİKLERE UYGUN OLARAK ÜRETİLMİŞ
DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN FRM TÜRÜ
MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLEREK
YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Sinem Rahime BAYRAKTAR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR**

**Ağustos 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Sinem Rahime BAYRAKTAR

İmza:

Yönetmeliklere Uygun Olarak Üretilmiş Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Frcm Türü Malzemelerle Güçlendirilerek Yatay Yük Taşıma Kapasitesinin Deneysel Olarak İncelenmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Sinem Rahime BAYRAKTAR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A. Alper ÖNER

TEŞEKKÜR

Bu proje sürecinde bilimsel bakış açısı sayesinde beni aydınlatan, ilgi, alaka ve yardımlarını esirgemeyen, deneysel çalışmayı nihayete erdirmeye önemli katkısından dolayı sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hidayet Özdemir, deneysel aşamada ve teorik aşamada yardımını esirgemeyen İnşaat Mühendisi Mehmet Enes Ünal, Emre Akduran, Şeyma Üner ve her aşamada yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Sinem Rahime BAYRAKTAR

Kayseri, Ağustos 2022

**YÖNETMELİKLERE UYGUN OLARAK ÜRETİLMİŞ DOLGU DUVARLI
ÇERÇEVELERİN FRCM TÜRÜ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLEREK
YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Sinem Rahime BAYRAKTAR

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2022
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR**

ÖZET

Türkiye, coğrafi olarak birçok fay hattı barındırdığı için büyük bir deprem bölgesidir. Geçmişte meydana gelen orta ve büyük ölçekli depremlerde can kayıpları yaşanmıştır. Bu yüzden mühendislik hizmetlerinin gerek projelendirme gerekse inşa edilme aşamasında, can kayıplarının azaltılması için yönetmeliklere göre hareket edilmesi gerekmektedir. Deprem yönetmeliğine uygun yapılsa bile, deprem esnasında dolgu duvarların patlamasından oluşan can kayıpları, depremde toplam ölen sayısına bakıldığında az gözükse de önemli bir orana sahiptir. Yatay yüklere maruz kalan betonarme elemanların güçlendirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi de kompozit bir malzeme olan FRCM ile güçlendirmedir. FRCM bazlı kompozit malzemelerle betonarme elemanların güçlendirilmesi üzerine yapılan deneysel çalışmalar bulunsa da karbon esaslı matrisli FRCM ile yapılan deneysel çalışmaların sayısı oldukça azdır. Literatürde yapılan çalışmalar deprem yönetmeliğine uygun olmayan betonarme elemanların güçlendirmesine yoğunlaşsa da bu çalışma kapsamında deprem yönetmeliğine uygun olarak üretilmiş çerçeve elemanlar, karbon esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş, yatay tersinir yükleme yapılarak, numunelerin yatay yük taşıma kapasitesi ölçülmüştür.

Yürütülen bu çalışmada dört adet tek katlı, tek açıklıklı, rijit temel üzerine inşa edilmiş ½ ölçekli betonarme çerçeveler üretilmiştir. Yapılan bu numuneler 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak yapılmış hali hazır yapılarda dolgu duvar güçlendirmesini temsil etmektedir. Numuneler sırasıyla, bir adet dolgu duvarsız referans numune, bir adet dolgu duvarlı referans numune, iki adet dolgu duvarı FRCM ile güçlendirilmiş numune olarak üretilmiştir. Üretimde karbon esaslı FRCM malzemesi kullanılarak numune

güçlendirmesi tek yüzeye tek katlı ve tek katlı ankrajlı olarak yapılmıştır. Oluşturulan bu numuneler yatay tersinir yükler altında davranışları incelenerek mukayese edilmiştir.

Ankastreliliği sağlaması için numuneler rijit temelli inşa edilmiştir. Bu çalışmada iki numunenin dolgu duvarı ve çerçeve sistemi FRCM uygulanarak güçlendirilerek betonarme dolgu duvar çerçevelerin davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde güçlendirilen numuneler rijitlik ve dayanım noktasında diğer numunelere göre önemli artış gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FRCM, dolgu duvar, güçlendirme, betonarme çerçeve



**EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONTRIBUTION OF THE FRCM
MATERIALS TO PERFORMANCE IN STRENGTHENING REINFORCED
CONCRETE FILLED WALL FRAMES**

Sinem Rahime BAYRAKTAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, June 2022

Supervisor: Asst. Prof. Hidayet ÖZDEMİR

ABSTRACT

Turkey is a major earthquake zone as it has many fault lines geographically. There have been casualties in medium and large-scale earthquakes in the past. Therefore, it is necessary to act in accordance with the regulations in order to reduce the loss of life in the design and construction stages of engineering services. Even if it is done in accordance with the earthquake regulations, the loss of life caused by the explosion of the infill walls during the earthquake, although it seems low when the total number of deaths in the earthquake is considered, has a significant rate. Many studies have been carried out on the reinforcement of reinforced concrete elements subjected to horizontal loads. One of these studies is reinforcement with FRCM, a composite material. Although there are experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete elements with FRCM-based composite materials, the number of experimental studies with carbon-based matrix FRCM is very few. Although the studies in the literature focus on the reinforcement of reinforced concrete elements that do not comply with the earthquake code, within the scope of this study, the lateral load carrying capacity of the samples was measured by applying horizontal reversible loading on the frame elements produced in accordance with the earthquake code, reinforced with carbon-based matrix FRCM.

In this study, four single-storey, single-span, $\frac{1}{2}$ scale reinforced concrete frames built on rigid foundations were produced. These samples represent infill wall reinforcement in ready-made structures built in accordance with the 2018 Earthquake Code. The samples were produced as a reference sample without an infill wall, a reference sample with an infill wall, and a sample reinforced with two infill walls with FRCM, respectively. By using carbon-based FRCM material in production, sample reinforcement was made on a

single surface with a single layer and single layer anchorage. These samples were compared by examining their behavior under horizontal reversible loads.

The samples were built with a rigid foundation to ensure built-in. In this study, the effects of the infill wall and frame system of two samples on the behavior of reinforced concrete infilled wall frames were investigated by applying FRCM. As a result of these studies, a significant increase was observed in the stiffness and strength of the reinforced samples compared to the other samples.

Keywords: FRCM, infill wall, strengthening, reinforced concrete frame



İÇİNDEKİLER

YÖNETMELİKLERE UYGUN OLARAK ÜRETİLMİŞ DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN FRCM TÜRÜ MALZEMELERLE GÜÇLENDİRİLEREK YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMA VE SİMGELER	xiii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	2
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	3
1.3. Literatür Araştırması.	4

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deney Numunelerinin Genel Özellikleri	12
2.2. Malzeme Özellikleri	13

2.2.1. Beton.....	13
2.2.2. Donatı.....	15
2.2.3. Tuğla.....	17
2.2.4 Karbon Elyaf Esaslı FRCM Ağı ve Çimento Esaslı Matris.....	17
2.3. Boyutlar ve Donatı Detayları	18
2.4. Numunelerin İmalatı.....	20
2.5. Çerçevelerin Güçlendirilmesi.....	28

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzenegi	33
3.1.1. Yükleme Prosedürü.....	34
3.2. Deney Süreci ve Gözlemlenen Emareler	35
3.2.1. Boşluklu Çerçeve.....	35
3.2.2. Dolgu Duvarlı Çerçeve	38
3.2.3. Karbon Esaslı Matrisli FRCM ile Güçlendirilmiş Tuğla Dolgulu Çerçeve.....	41
3.2.4. Karbon Elyaf Esaslı Matrisli FRCM ile Güçlendirilmiş Ve Ankrajlı Tuğla Dolgulu Çerçeve.....	46

4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Taşınan Maksimum Yatay Yük.....	50
4.2. Rijitlik Değişimi.....	53
4.3. Kalan Dayanım.....	57
4.4. Enerji Yutma.....	60
4.4. Sünklik.....	62

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç	64
5.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	66
EKLER.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	85



KISALTMA VE SİMGELER

BTRM	Bazalt Takviyeli Tekstil Harç
B 420 C	Akma Dayanımı En Az 420 MPa Olan Nervürlü Donatı Sınıfı
CFRC	Karbon Lifli Çimento Esaslı Kompozitler
CFRCM	Karbon Elyaf Esaslı Kumaş Takviyeli Çimentolu Matris
CFRP	Karbon Lif Takviyeli Polimer
C25/30	28 Günlük Silindir Basınç Dayanımı 25 MPa Olan Beton
ECC	Çimento Esaslı Kompozitler
FRCM	Kumaş Takviyeli Çimentolu Matris (Fabric Reinforced Cementitious Matrix)
FRP	Lif Takviyeli Polimer
GFRCM	Cam Elyaf Esaslı Kumaş Takviyeli Çimentolu Matris
GFRP	Cam Lif Takviyeli Polimer
GPa	Gigapaskal
kN	Kilonewton
kNm	Kilonewton Metre
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
lt	Litre
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Newton
PBO-FRCM	Poliparafenilen Benzo-Bisoksazol Esaslı Kumaş Takviyeli Çimentolu Matris
P _{max}	Maksimum Yük
R _i	Başlangıç Rijitliği
TBDY (2018)	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TRM	Tekstil Takviyeli Harç
UHTSS	Ultra Yüksek Çekme Dayanımlı Çelik
°C	Derece Santigrad
Ø	Donatı Çapı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Numunelerin Genel Özellikleri	13
Tablo 2.2. Beton karışım oranı	14
Tablo 2.3. Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımları.....	15
Tablo 2.4. Beton Numune Özellikleri	15
Tablo 2.5. Donatının Karakteristik Özellikleri.....	16
Tablo 2.6 Tuğlanın Özellikleri	17
Tablo 2.7 Cam Elyaf Esaslı FRCC Ağının Teknik Özellikleri	17
Tablo 2.8 Çimento esaslı elyaf lif takviyeli matrisin teknik özellikleri	18
Tablo 4.1. Numunelerin taşıdığı maksimum yatay yük	50
Tablo 4.2. Numunelerin başlangıç rijitlikleri	54
Tablo 4.3. Numunelerin 0,002 ve 0,01 ötelenme oranlarında korunan rijitlik yüzdeleri	54
Tablo 4.4. Numunelerin 0,0325'lik ötelenme oranındaki kalan dayanımları.....	57
Tablo 4.5. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin %80'e düştüğü ötelenme oranları ve enerji yutma kapasiteleri	61
Tablo 4.6. Tüm numuneler için süneklik değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Tablo A.1. Referans-1 numunesinin maksimum yük-yer değiştirme tablosu	68
Tablo A.2. Referans-2 numunesinin maksimum yük-yer değiştirme tablosu	69
Tablo A.3. CFRCC numunesinin maksimum yük-yer değiştirme tablosu.....	70
Tablo A.4. CFRCC-A numunesinin maksimum yük-yer değiştirme tablosu	71
Tablo A.5. Referans-1 numunesinin rijitlik değişimi tablosu	72
Tablo A.6. Referans-2 numunesinin rijitlik değişimi tablosu	73
Tablo A.7. CFRCC numunesinin rijitlik değişimi tablosu	74
Tablo A.8. CFRCC-A numunesinin rijitlik değişimi tablosu.....	75
Tablo A.9. Referans-1 numunesine ait kalan dayanım tablosu	76
Tablo A.10. Referans-2 numunesine ait kalan dayanım tablosu	77

Tablo A.11. CFRCM numunesine ait kalan dayanım tablosu.....	78
Tablo A.12. CFRCM-A numunesine ait kalan dayanım tablosu	79
Tablo A. 13. Referans-1 numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu.....	80
Tablo A. 14. Referans-2 numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu.....	82
Tablo A. 15. CFRCM numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu	83
Tablo A. 16. CFRCM-A numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu	84



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Silindir numunelerin yarmada çekme deneyi	14
Şekil 2.2. Numunelere kükürt başlık yapılması ve basınç dayanımı deneyi	14
Şekil 2.3. Donatı çekme deneyi	16
Şekil 2.4. Betonarme çerçevelerin boyutları.....	18
Şekil 2.5. Betonarme çerçevelerin boyutları.....	19
Şekil 2.6. Betonarme çerçevelerin donatı detayları	19
Şekil 2.7. Temel kalıplarının hazırlanması	21
Şekil 2.8. Temel donatılarının hazırlanması	22
Şekil 2.9. Bağlantı boşluklu temellerin beton dökümü.....	23
Şekil 2.10. Temellerin betonundan alınan numuneler	24
Şekil 2.11. Temellere kür işleminin uygulanması	25
Şekil 2.12. Betonarme çerçevelerin kalıplarının sökülüş hali	25
Şekil 2.13. Tuğla dolgu duvar uygulanmış numune.	26
Şekil 2.14. Betonarme yüzeylere astar uygulaması	27
Şekil 2.15. Sıva uygulaması bitmiş betonarme çerçeveler	27
Şekil 2.16. TEKNOREP 300 harcının ilk katının uygulanması	28
Şekil 2.17. FRCM güçlendirme malzemesinin uygulanması	29
Şekil 2.18. FRCM güçlendirme malzemesinin üzerine harç uygulanması.....	30
Şekil 2.19. Ankraj uygulanacak yerlerin işaretlenmesi	31
Şekil 2.20. Ankraj uygulanacak noktaların matkap ile delinmesi	31
Şekil 2.21. Ankraj uygulaması.....	32
Şekil 2.22. Ankraj uygulanmış numune.....	32
Şekil 3.1. Numunelerin sabitlendiği duvar ve zemin şeması.....	33
Şekil 3.2. Deney Düzeneği	34
Şekil 3.3. İlk yedi döngü sonunda oluşan çatlaklar	36
Şekil 3.4. Kolon kiriş birleşiminde oluşan diagonal çatlaklar.	36

Şekil 3.5. Kolon temel birleşiminde oluşan ayrılma.....	37
Şekil 3.6. Referans-1 numunesinin yatay yük- deplasman grafiği	38
Şekil 3.7. Altıncı döngü sonunda oluşan çatlaklar.....	38
Şekil 3.8. Sekizinci döngü sonunda oluşan çatlaklar.....	39
Şekil 3.9. Sıvada ve tuğlada gözlemlenen dökülmeler.	40
Şekil 3.10. On ikinci döngüde kesme çatlaklarının genişlemesi	40
Şekil 3.11. Referans-2 numunesinin yatay yük- deplasman grafiği	41
Şekil 3.12. Dokuzuncu döngü sonunda oluşan çatlaklar	42
Şekil 3.13. On birinci döngüde meydana gelen sıva dökülmesi.....	42
Şekil 3.14. On üçüncü döngü sonunda meydana deformasyonlar.....	43
Şekil 3.15. Güçlendirme malzemesinin yüzeyden ayrılması.....	44
Şekil 3.16. Yirmi birinci döngü sonrasında kesme çatlaklarının oluşumu	44
Şekil 3.17. Güçlendirme malzemesinin temel yüzeyinden ayrılması.....	45
Şekil 3.18. Kolon temel birleşiminde pas payının dökülmesi	45
Şekil 3.19. CFRCM numunesinin yatay yük- deplasman grafiği	46
Şekil 3.20. CFRCM-A numunesine yatay yük uygulanması.....	46
Şekil 3.21. CFRCM-A numunesine yatay yükleme sonucu oluşan çatlaklar.....	47
Şekil 3.22. CFRCM-A numunesine yatay yük sonucu dolgu duvardaki deformasyonlar.....	48
Şekil 3.23. CFRCM-A numunesine yatay yük-deplasman grafiği.....	49
Şekil 4.1. Referans-1 numunesine ait zarf eğrisi	51
Şekil 4.2. Referans-2 numunesine ait zarf eğrisi	51
Şekil 4.3. CFRCM numunesine ait zarf eğrisi	52
Şekil 4.4. CFRCM-A numunesine ait zarf eğrisi.....	52
Şekil 4.5. Tüm numunelere ait zarf eğrisi.....	53
Şekil 4.6. CFRCM ve CFRCM-A numunelerine ait zarf eğrisi.....	53
Şekil 4.7. Referans-1 numunesinin rijitlik değişim grafiği.....	55

Şekil 4.8. Referans-2 numunesinin rijitlik değişim grafiği.....	55
Şekil 4.9. CFRCM numunesinin rijitlik değişim grafiği	56
Şekil 4.10. CFRCM-A numunesinin rijitlik değişim grafiği	56
Şekil 4.11. Deney numunelerinin rijitlik değişim grafiği	57
Şekil 4.12. Referans-1 kalan dayanım-ötelenme oranı	58
Şekil 4.13. Referans-2 kalan dayanım-ötelenme oranı	58
Şekil 4.14. CFRCM kalan dayanım-ötelenme oranı.....	59
Şekil 4.15. CFRCM-A kalan dayanım-ötelenme oranı.....	59
Şekil 4.16. Deney numunelerinin kalan dayanım-ötelenme oranı grafikleri.....	60
Şekil 4.17. Yutulan enerji miktarının grafiksel ifadesi.....	60
Şekil 4.18. Referans-1, Referans-2, CFRCM, CFRCM-A numunelerinin enerji yutma kapasiteleri	62

GİRİŞ

Ülkemizde gerçekleşmiş büyük depremler sonucunda yapılarda hasarlar ve yıkılmalar meydana gelerek büyük oranda can kaybı meydana gelmiştir. Bunun sonucunda yapıların deprem esnasındaki davranışları incelenerek, mevcut yönetmelikler değiştirilerek depreme karşı dayanıklı yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Günümüzde, 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun şekilde betonarme yapıların inşası gerçekleşmektedir. Bu yönetmeliğe uygun inşa edilen yapılar ayakta kalsa da deprem esnasında oluşan hasarlardan can kaybı meydana gelmektedir. Deprem esnasında oluşan hasarlardan birisi dolgu duvarın patlamasıdır. Son zamanlarda yapılan çeşitli güçlendirme yöntemlerin dolgu duvara uygulanması sonucunda güçlendirilmiş dolgu duvarın taşıyıcı sisteme olumlu etkileri olduğu ortaya çıkmıştır ve dolgu duvarların patlamasını önlediği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak inşa edilmiş yapıları temsil edecek şekilde betonarme çerçeveler imal edilerek, bu çerçevelerin dolgu duvarlarına karbon esaslı FRCM güçlendirme malzemesi uygulanarak deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Aktif olarak devam eden yer kabuğu hareketleri sonucunda meydana gelen depremler yapılarda olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Mühendislik alanında yapılan deneysel ve teorik çalışmalar bu etkileri azaltmak için gerçekleştirilmektedir. Teknolojinin de gelişmesiyle birlikte bulunan yeni nesil yapı malzemeleri inşaat mühendisliği alanında meydana gelen gelişmeleri artırmıştır. Ülkemizde, yatay yer hareketlerinin yapılarda meydana getirdiği olumsuz etkileri azaltmak adına yapılan uygulama teknikleri, dünya standartlarına göre geride kalsa da günümüzde bu standartları yakalayabilmek için son zamanlarda hızlı bir gelişme yaşanmıştır.

Günümüzde yapılan binalara etkileyen, deprem hareketleri sonucunda betonarme yapı elemanları olumsuz etkilenebilmektedir. Betonarme yapılarda meydana gelen olumsuz etkiler hayati önem taşıdığı için olası depremlere karşı yeterli dayanım gösterebilen tasarımlar yapılırsa da dolgu duvarlarda meydana gelen dayanım kayıpları sonucunda insanlar zarar görmektedir.

Yaşadığımız coğrafyada yapılan inşaat mühendisliği çalışmaları, geçmişten günümüze bazı yönetmelikler ile sınırlandırılmıştır. Yapılması gereken hükümler yönetmeliklerce verilse de bazı eski yapıların, o dönemin yönetmelik şartlarına uymadığı hallerde yapı elemanlarında meydana gelen performans kayıpları güçlendirme malzemeleri ile giderilmeye çalışılmaktadır. Yönetmelik standartlarını karşılamayan yapı elemanlarının güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalar literatür kısmında bahsedilmiştir. Geçmişten günümüze yaşadığımız coğrafyada uygulanan bazı yönetmelikler Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1975), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında mevcut

yönetmelik şartlarını karşılamayan ve kusurlu olan elemanları güçlendirme üzerine yapılan deneysel çalışmalar yapılmış ve olumlu etkilerinin olduğu literatür kısmında verilmiştir. Mevcut yönetmeliklere uygun olmayan yapıların güçlendirilmesinin yanında mevcut yönetmeliğe uygun yapı ve yapı taşıyıcı elemanlarının güçlendirilmesi üzerine yapılan çalışma oldukça azdır. Bu yüzden deneysel çalışma kapsamında frcm esaslı matris güçlendirme malzemesinin, mevcut yönetmeliğe uygun yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Betonarme taşıyıcı elemanların performans kayıpları olmamasına rağmen, frcm esaslı malzemelerin bu elemanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Mühendislik alanındaki araştırmalar ve geliştirilen yeni yöntemler sayesinde bilgisayar ortamında, yapıların statik olarak projelendirilmesi kısa sürmekte, keşfedilen yeni yapı malzemeleri ile statik olarak projelendirilen yapıların yapım süreleri de kısalmıştır fakat malzeme alanında elde edilen bu yeni ürünlerin taşıyıcı yapı elemanları üzerindeki etkilerinin ne olacağı tam olarak öngörülememektedir.

Güçlendirme malzemelerinin keşfinden sonra FRCM esaslı malzemelerin yapı taşıyıcı elemanları üzerindeki etkilerini araştıran deneysel çalışmalar ile güçlendirme malzemelerinin yapılar üzerindeki olumlu etkilerinin olduğu gösterilse de uygulama açısından bu alanda yapılan çalışmaların yetersizdir.

Literatürde, yetersiz dayanıma sahip betonarme çerçevelerin, FRCM esaslı güçlendirme malzemeleri ile güçlendirilmesi sonucunda uygulama yapılan elemanın performansında artışlar olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında yapılan tez çalışması kapsamında mevcut yönetmelik şartlarına uyan, yeterli dayanıma sahip dolgu duvar çerçevelerin, yetersiz dayanıma sahip çerçevelerde kullanılan FRCM esaslı matris ile aynı şekilde güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme sonucunda, var olan dayanımın ne kadar artırılabilceği, yatay yüklere maruz kaldığındaki performansını, meydana gelen deformasyonların nasıl değiştireceği ve bunun sonunca meydana gelen yaralanmaları ya da can kayıplarının en aza indirebileceği üzerine deneysel araştırma yapılması amaçlanmıştır.

Yürütülen bu çalışmada dört adet tek katlı, tek açıklıklı, rijit temel üzerine inşa edilmiş ½ ölçekli betonarme çerçeveler üretilmiştir. Yapılan bu numuneler 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak yapılmış hali hazır yapılarda dolgu duvar güçlendirmesini

temsil etmektedir. Üretilen numuneler için aynı nitelikte beton, donatı, tuğla, sıva ve güçlendirme sıvası kullanılmıştır.

Çerçevelerden birincisi boş dolgu duvarsız referans numune, ikincisi dolgu duvarlı numune ve diğer ikisi ise karbon esaslı FRCM güçlendirme malzemesi ile güçlendirilerek ve oluşan deney sonuçları irdelenmiştir.

1.3. Literatür Araştırması

Luciano Ombres ve Salvatore Verre, (2014) tarafından yapılan çalışmada, Fiber Takviyeli Çimentolu Matris (FRCM) ile güçlendirilmiş beton kolonların eksantrik yükleme altında yapısal davranışı incelenmiştir. Çimento esaslı kompozit malzeme ile güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli eksantrik yüklü betonarme kolonların yapısal davranışı hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Çalışma betonarme kolonların mukavemetini artırmak için çimento esaslı kaplama sistemlerinin etkinliği, yük eksantrikliğinin ve donatı oranının sarıli kolonların yapısal tepkisi üzerindeki etkisi, sarıli sütunların yapısal davranışının analitik bir prosedürle tahmini üzerine yoğunlaşmıştır. Çimento bazlı bir matris (PBO-FRCM sistemi) içine gömülü PBO (Polipara-fenilen-benzo-bistiyazol) elyaflarının kumaş ağları ile sarılmış toplam 8 betonarme kolon, donatı oranları değiştirilerek test edilmiştir. Mekanik ve geometrik parametrelerin güçlendirilmiş kolonların yapısal tepkisi üzerindeki etkisi, göçme modları, mukavemet ve süneklik açısından analizleri yapılmıştır. Teorik sonuçlar, önerilen prosedürün etkinliğini doğrulamak için deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayalı olarak PBO-FRCM ile güçlendirme, eksantrik olarak yüklenmiş betonarme kolonların mukavemetini artırır; güçlendirilmemiş numuneye göre yük taşıma kapasitesindeki artış % 20 ile % 39 arasında değişmiştir. E / h oranının artırılması, her iki kolon serisi için de güç kazancında bir azalmaya sebep olmuştur. Test edilen numunelerin başarısızlık modları, hapsetme oranına bağlı olduğundan, eksantriklik değerleri etkili olmamıştır. Tek katman ile güçlendirilmiş numuneler için başarısızlık lif kopması, betonun patlaması ve sıkıştırılmış iç çelik çubukların bükülmesinden kaynaklanırken, çift katmanlı kolonlar, lifler kırılmadan betonun kırılmasıyla başarısız olmuştur. Gerinim verimlilik faktörü e_f / e_{fu} , PBO'nun ortalama e / h artışıyla azalmıştır. Sütunların yanal sapmasıyla ilişkili ikincil momentin katkısı, M ($M_I = P_e$, kolonun yanal yer değiştirmesidir), hapsetme oranı ile artırılırken, başlangıçtaki dışmerkezlikten daha az etkilenmiştir. $M_1 = P_{e0}$ birincil moment olan M / M_1 arasındaki oran, gerçekte, tek katmanlı numuneler için % 7,23 ile %

8,50 arasında ve çift katmanlı kolonlar için% 23,08 ile% 23,94 arasında değişmiştir. PBO-FRCM sınırlı betonarme kolonların yanal sapmasını analiz etmek için kullanılan doğrusal olmayan analizler, deneysel çalışmanın sonuçlarına çok yakın tahminler ortaya koymuştur. Talha Demirci (2019) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi frcm türü malzemelerin performansa katkısının deneysel araştırılması adlı çalışması kapsamında dolgu duvarlı çerçeve sistemi incelemiştir. Dört tane tek katlı ve tek açıklıklı 1/2 ölçekli betonarme çerçeve sistemi oluşturulmuştur. Numunelerden biri boş bırakılmış ve güçlendirme yapılan numuneler ile karşılaştırılmıştır. Çerçevelere yatay yük etkisi tersinir şekilde etkililmiş ve numunelerin dayanım, rijitlik değişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan numuneler düşük beton sınıfı ile üretilmiş, zayıf kolon güçlü kiriş tasarımı yapılmıştır. Betonarme çerçeve sistemi rijit temel üzerine konumlandırılmış ve yatay yüke maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda taşıma kapasitesi sırasıyla güçlendirme yapılmamış numune 35.9 kN, tuğla dolgu duvarlı çerçeve 89.09 kN, karbon esaslı FRCM ile güçlendirilen numunede 128,72 kN ve cam elyaf esaslı FRCM ise 147,74 kN olarak bulunmuştur. Güçlendirme yapılmış numunelerin güçlendirme yapılmadan boş bırakılan referans numuneye kıyasla daha duktıl davrandığı gözlemlenmiştir. İncelemeler sonucunda güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin daha çok rijitleştiği, dayanımlarının arttığı ve enerji yutma kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

Lampros N. Koutas¹, Zoi Tetta, Dionysios A. Bournas, ve Thanasis C. Triantafillou, P.E., M.ASCE⁴ (2019) tarafından yapılan çalışmada Tekstil Takviyeli Harçlarla Beton Yapıların Güçlendirilmesi: Son Teknoloji İncelemesi yapılmıştır. Bu makale, beton yapıların TRM ile güçlendirilmesine ilişkin son teknoloji ürünü bir gözden geçirmeyi sunmaktadır. İlk olarak, TRM'nin çekme ve bağlanma davranışı daha sonra, beton veya betonarme elemanların eğilme, kesme, hapsetme ve sismik güçlendirme için TRM'nin kullanımına ilişkin çalışmalara genel bir bakış ve temel parametreler incelenmiştir. FRP güçlendirme tekniğinin, esas olarak epoksi reçinelerin kullanımıyla ilişkili birkaç dezavantajı vardır - yüksek maliyet, yüksek sıcaklıklarda düşük performans, ıslak yüzeylere uygulanamama ve alt tabaka malzemeleriyle (beton veya malzeme) uyumsuzluk gibi dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak, bu makalede ele alınan tüm çalışmalar için, beton elemanların TRM ile mukavemetlendirilmesinin, tipik geometrilere sahip RC elemanlarının nihai eğilme veya kesme kapasitesini artırmak için etkili bir teknik olduğu sonucuna varılmıştır. TRM, rijitliklerini ve dolayısıyla servis edilebilirlik yükleri altında performanslarını arttırır. Ek olarak, çatlama daha iyi kontrol edilir.

Betonda esas olarak büyük eksenel deformasyon kapasitesine ve daha az bir dereceye kadar artırılmış basınç mukavemetine neden olur. Betonarme kolonların sismik olarak güçlendirilmesi, süneklik artışlarına ve enerji dağılımının iyileştirilmesine neden olur. Son olarak, duvar dolgulu RC çerçeveleri, düzlem yönlerinde iyileştirilmiş sismik performans ile TRM ile güçlendirildiğinde daha rijit ve daha güçlü olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada, beton yapıların tekstil bazlı kompozitlerle güçlendirilmesinin ve depreme karşı güçlendirilmesinin son derece umut verici bir teknik olduğuna ve uluslararası bilim camiasının artan ilgisini çeken bir teknik olduğundan bahsedilmiştir.

Bu çalışma kapsamında mevcut kusurlu yapıları temsilen on adet tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Bu numuneler tek açıklıklı tek katlı 1/2 ölçekle üretilmiş olup, dolgu duvar üzerine farklı şekillerde güçlendirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı güçlendirilmiş numunelerin rijitliği boş çerçevenin rijitliğine göre sırasıyla 34 ve 62 kat fazla olduğu gözlemlenmiştir. Güçlendirilen üç numunede ankraj aralıkları 30 cm, 45 cm ve 60 cm yapılarak aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Bu numunelerde taşınan maksimum yük sırasıyla 93, 90 ve 89 kN çıkmıştır. Rijitlik karşılaştırmasında ankraj aralığının rijitliğe fazla katkısı olmadığı görülmüştür.

Usama Ebead, (2017) Frcm Kullanılarak Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi Üzerine yaptığı çalışmada, fiberle güçlendirilmiş çimentolu matrisin (FRCM), hassas betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde deneysel incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada, 2500 mm uzunluğunda, 150 mm genişliğinde yedi (7) adet kayma açısından kritik RC kiriş ve 330 mm derinliğinde üç noktadan yükleme altında test edilmiştir. İki ana test değişken belirlenen çalışmada, güçlendirme malzemesi: karbon, poliparafenilen benzobizoksazol (PBO) veya cam FRCM ve güçlendirme uygulama modeli: tek bir tam uzunlukta FRCM plakası veya bir dizi aralıklı FRCM şeritleri kritik kesme bölgesi boyunca uygulanmıştır. Test sonuçları, yük kapasitesini iyileştirmede FRCM güçlendirmesinin etkinliğini doğrulamıştır. FRCM güçlendirmesi, yükteki artışlara katkıda bulunmuştur. Güçlendirilen elemanların kapasitesi referans numuneye göre % 31 ile % 100 arasında değişmiştir. Tam uzunlukta güçlendirilmiş numuneler genellikle daha iyi bir performans artışı göstermiştir. İkinci temada, konuyu araştırmak için yapılan deneysel çalışmanın sonuçları TRM'nin çekme özellikleri sunulmuştur. Bu çalışma için 410 mm'lik toplam 15 TRM kupon uzunluğunda, 50 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında tek eksenli çekme

yükü altında test edilmiştir. Üç farklı türde tekstil malzemesi düşünülmüştür: karbon, cam ve poliparafenilen benzobizoksazol (PBO). Çalışma sonuçları ise beton yüzeyin pürüzlü hale geldiğini ortaya koymuştur. Güçlendirildiğinde, beton alt tabakası ile TRM tabakası arasındaki bağ daha güçlü hale gelmiştir. Karbon muadili ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir çekme mukavemeti göstermiştir. Genel olarak orada beton alt tabakası her iki TRM sistemi için de çekme mukavemetinde önemli bir artış olduğu gözlenmiştir.

Ali Al-Almaliki, 2017 dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesinde, çerçeve ankraj çapının değişiminin bölme duvarlı çerçeve güçlendirilmesine etkisinin deneysel araştırılması adlı çalışmada, betonarme çerçeve elemanlara dolgu duvar eklenmesinin ve güçlendirilmesinin çerçeveye olan etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında hasır donatı ve sıva ile güçlendirilen dayanımı düşük çerçeve elemanlar kullanılmıştır. Tek açıklıklı 5 tane betonarme elemanın biri referans numune, biri dolgu duvarlı, diğer numunelerin ise dolgu duvarları güçlendirilmiştir. Sonuç olarak, 08 ankraj ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve numunesinin rijitliği en iyi performansı göstermiştir. Güçlendirme yapılan numunelerin dayanımlarının arttığı, uygulanan yatay yüklere karşı performansının iyileştiği görülmüştür.

A. Incerti, A.R. Tilocca & A. Bellini (2020) tarafından yapılan çalışmada FRCM ile güçlendirilmiş duvar panellerinin düzlem içi davranışı incelenmiştir. Geleneksel epoksi bazlı malzemelere (FRP'ler) kıyasla daha iyi uyumluluk gibi çeşitli avantajları sayesinde, kireç veya çimentolu harç (FRCM) ile bir fiber ızgara / tek yönlü levha uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada farklı tipteki FRCM sistemleriyle (yerleşim, matris, ızgara malzemeleri ve aralık bakımından farklılık gösteren) güçlendirilmiş paneller üzerinde gerçekleştirilen düzlem içi testlerin sonuçları, doğrudan FRCM malzemelerinin tam bir mekanik karakterizasyonundan sonra sunulmuştur. Çapraz sıkıştırma testlerinde (DCT), düzlem içi davranışlarının daha iyi anlaşılması için panellerin modları ve genel davranışı da Dijital Görüntü Korelasyonu (DIC) tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Deney faaliyetleri sırasında laboratuvarında standart kil tuğlalar ($12 \times 25 \times 5.5$ cm³) ve hidrolik kireç esaslı harç (10 mm kalınlığında) kullanılarak yedi adet çift yapraklı yığma panel ($129 \times 129 \times 25$ cm³) yapılmıştır. DCT'ler sırasında sağlanan tüm donatı türleri, donatısız duvarın çekme dayanımı ft ile karşılaştırıldığında %36 ile %155 arasında değişen performans artışları sağlamıştır. Daha ayrıntılı olarak, ince bir partikül boyutuna sahip kireç harcı bazlı NHL2 matrisi, takviyenin NHL1 matrisine kıyasla daha iyi

performanslar elde etmesini sağlamıştır ve tek türlü kesme testlerinde elde edilen sonuçları doğrulamıştır. Takviye içindeki matris ve elyaf arasındaki gelişmiş yapışma sayesinde, aslında, tekstil-matrisinde veya matris-substrat ara yüzünde erken açılma gözlemlenmemiştir. Cam elyaf ile kombinasyon halinde CEM1 çimentolu matris, maksimum kapasite açısından daha iyi performans elde ettiği ve daha verimli bir gerilim yeniden dağıtımı sayesinde maksimum yüke kadar başlangıç davranışını da iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Ran Fenga,b, Yanwen Lia Jİ-Hua Zhuc Feng Xingc (2020) tarafından yapılan çalışmada C-FRCM ile güçlendirilmiş, aşınmış dairesel RC kolonların döngüsel yükleme altında davranışı incelenmiştir. Bu çalışma, karbon-fiber takviyeli çimentolu matris (C-FRCM) ile güçlendirilmiş korozyona uğramış betonarme (RC) kolonların sismik davranışı üzerine deneysel bir araştırma sunmaktadır. Bu amaçla, altı tanesi 360 gün boyunca korozyona uğrayan yedi dairesel RC kolon üzerinde döngüsel yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Aşınmış numunelerin dördü daha sonra C-FRCM kompozitleri ile güçlendirilmiştir. Bunlar arasında, iki örnek iki C-FRCM katmanı ile dıştan, diğer iki örnek ise üç kat C-FRCM ile dıştan bağlanmıştır. Korozyon işleminden sonra numuneler üzerinde döngüsel yükleme testleri gerçekleştirilmiş ve çeşitli eksenel sıkıştırma (AC) oranları dikkate alınmıştır. Test sonuçları, aşınmış numunelerin sekant sertliği, mukavemeti, sünekliği ve enerji dağıtma kapasitesinin, aşınmamış muadillerinkine kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. C-FRCM, aşınmış RC kolonlarının sertliğini, mukavemetini, sünekliğini ve enerji dağıtma kapasitesini etkili bir şekilde artırmaktadır.

Josef Daniela, ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2020) W-B-C kaplamaların dinamik etkiler karşısındaki aşınmasını ve darbe direnci incelenmiştir. İnşaat sektöründe kullanılan kaplamalı bileşenler genellikle tekrarlayan dinamik darbe yüküne maruz kalırlar. Dinamik darbe testi, bu tür koşullar altında ince koruyucu kaplamaların incelenmesi için uygun bir yöntemdir. Yapılan çalışmanın amacı, dinamik darbe testi yöntemini ve darbe direnci ve darbe deformasyon hızı gibi darbe testi sonuçlarının değerlendirilmesine ilişkin yeni kavramları açıklamaktır. Sunulan sonuçların tümü, farklı C/W oranlarına sahip iki W-B-C kaplamanın test edilmesiyle elde edilmiştir. Kaplamaların mikro yapısı, kimyasal ve faz bileşimi ve mekanik özellikleri açısından farklı darbe testi sonuçları ile tartışılmaktadır. Kaplamanın HSS alt tabakasına

yapışmasının, kaplamaların darbe ömründe çok önemli bir rol oynadığı da çalışma içerisinde gösterilmiştir. Dinamik darbe testinin ilk sonuçlarından biri, bir yükleme eğrisidir - darbe krater hacminin toplam darbe sayısına bağlı olduğunu da göstermektedir. Test cihazından test edilen numuneye sağlanan enerji miktarı, artan darbe sayısı ile artmıştır. Bu enerji, numunenin deformasyonuna ve dolayısıyla darbe kraterinin oluşumuna neden olmuştur. Darbe sayısı daha da arttıkça, sağlanan enerji sürekli artan bir iç stres şeklinde dağılım göstermiştir. Numuneler kritik sayıda darbeye maruz kaldıktan sonra, test edilen kaplama/alt tabaka sistemi test cihazından daha fazla enerji alamamış ve kaplama başarısız olmuştur. Çarpma kraterinin derinliği ve yarıçapı ve dolayısıyla hacmi daha sonra hızla artmıştır. Alt tabaka/kaplama sisteminin bu farklı davranış modları, yükleme eğrisinde farklı eğimler olarak görülebilir ve bu nedenle dinamik darbe yükü altında nC 'yi ve dolayısıyla kaplamanın ömrünü belirlemek çoğu zaman mümkün olmaktadır. Numuneler dinamik darbe testi kullanılarak 200 N, 400 N ve 600 N darbe yükleri ile v analiz edilmiştir. Kaplamaların performansını belirleyen kritik darbe sayısı, yükleme eğrileri, optik incelemeler ve iki yeni parametre - darbe direnci ve deformasyon oranı kullanılarak tahmin edilmiştir. Kaplamanın HSS alt tabakasına daha iyi yapışması ve kaplamanın tekrarlanan darbe yükü altında daha uzun ömürlü olmasını sağlamıştır.

Liangaliang Wei ve arkadaşları çalışmalarında, anodik polarizasyona ve döngüsel yüklemeye maruz kalan FRCM kompozitlerinin ve FRCM ile güçlendirilmiş RC kirişlerin performansını incelemişlerdir. Kumaş takviyeli çimento esaslı matris (FRCM) sistemleri, yorulan betonarme (RC) yapıların yapısal güçlendirmesini (SS) sağlayabilmektedir. Ayrıca, etkilenmiş akım katodik koruma (ICCP), FRCM ile güçlendirilmiş RC yapılarının uzun vadeli performansını iyileştirmeye yardımcı olmak için ICCP-SS müdahale sistemleri geliştirmek için FRCM sistemleriyle entegre edilmektedir. Ancak, FRCM kompozitlerinin ve FRCM ile güçlendirilmiş RC elemanlarının yorulma performansı ile ilgili araştırma eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma, karbon-FRCM'deki kumaş katmanlarının, ICCP sürecindeki anodik polarizasyonun ve döngüsel yükleme koşullarının, FRCM kompozitlerinin gerilmedeki ve FRCM ile güçlendirilmiş RC kirişlerin eğilmedeki yorulma performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. FRCM numunelerine dönüsel çekme yükleme testleri ve kiriş numunelerinin çevrimsel dört nokta eğilme testleri yapılmıştır. Döngüsel çekme testi sonuçları, FRCM'nin yorulma performansının çelik inşaat demirinden üstün ve karbon

fiber takviyeli polimerden (genellikle bir epoksi reçine matrisine sahip bir kompozit olan CFRP) daha düşük olduğunu göstermiştir. ICCP'nin anodik polarizasyonu, iki milyon yükleme döngüsünden sonra belirli bir stres seviyesinde FRCM'nin yorulma ömrünü ve yorulma mukavemetini etkilemiştir. Döngüsel eğilme testi sonuçları, kırışların yorulma performansının büyük ölçüde FRCM'deki kumaş katmanlarının sayısına bağlı olduğunu ve ICCP-SS'deki anodik polarizasyondan hafifçe etkilendiğini göstermiştir. Bu çalışmada, FRCM ile güçlendirilmiş kırışlar için çevrim sayısına (S-N eğrisi) karşı çelik gerilme aralığının yeni bir eğrisi de elde edilmiş ve yorulma ömrü tahminlerinde tatmin edici sonuçlar sağlamıştır.

T.D'Antino, F.G. Carozzi, P. Colombi ve C. Poggi tarafından yapılan çalışmada FRCM kompozitleri ile güçlendirilmiş yığma duvarların düzlem dışı maksimum dirençli eğilme momenti araştırılmıştır. Fiber takviyeli kompozitler, mevcut yığma yapıların güçlendirilmesi için geleneksel tekniklere bir alternatif sunmaktadır. Farklı alt katmanlara uygulanan Fiber Takviyeli Çimentolu Matris (FRCM) kompozitlerinin mekanik ve bağ davranışını karakterize etmek ve FRCM kompozit katkısı malzemesinin etkileri hakkında çalışmalar yapılmıştır ancak FRCM ile güçlendirilmiş yapılar için güvenilir tasarım prosedürlerini adına yapılan çalışmalar oldukça az sayıdadır. Bu yazıda, FRCM ile güçlendirilmiş yığma duvarların düzlem dışı maksimum dirençli eğilme momentini tahmin etmek için yeni bir analitik prosedür sunulmaktadır. Önerilen prosedürün doğruluğu, literatürden toplanan 63 FRCM ile güçlendirilmiş duvardan oluşan bir veri tabanından ilgili deneysel sonuçlarla analitik hükümlerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ACI 549.4R-13 yaklaşımına göre hesaplananlarla ve Ascione ve diğerleri tarafından prosedüre dayalı bir yöntemle karşılaştırılmıştır. (2015). Önerilen yeni prosedür doğru sonuçlar sağlarken, ACI 549.4R-13 yaklaşımı ve Ascione ve arkadaşlarının prosedürüne dayanan yöntem (2015) genellikle, düşük bir doğruluk sağlayan deneysel maksimum dirençli eğilme momentini hafife alma eğilimindedir. Bu yazıda, FRCM kompozitleri ile güçlendirilmiş yığma duvarların düzlem dışı maksimum dirençli eğilme momentini hesaplamak için yeni bir analitik prosedür önerilmiştir. Prosedür basit denge koşullarına dayanır ve sırasıyla çekme ve bağ testleri yoluyla elde edilen kullanılan FRCM kompozitinin mekanik ve bağ özelliklerini dikkate almaktadır. Önerilen prosedürün doğruluğu, analitik hükümler ve ilgili deneysel hükümler arasında karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir.

Wei Fan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yanal düşük hızlı darbeden sonra eksenel yüklü dairesel RC kolonların kalan kapasitesini araştırmışlardır. Çarpışma yükü riski olan RC köprü kolonları, yanal darbe yükü için tasarlanmalıdır. Köprü kolonlarının eksenel yükleri de desteklemesi gerektiğinden, darbe hasarlı kolonların artık eksenel kapasitesini ve çökme riskini değerlendirmek önemlidir. Bu çalışma, on iki dairesel kolonun darbe sonrası sıkıştırma (CAI) testini kullanarak betonarme kolonların eksenel performans özelliklerini inceledi. Yanal darbe yüklemesinden kaynaklanan deformasyonlar arttıkça, eksenel dayanımların azaldığı görülmüştür. Ek olarak, darbe yüklemesinin neden olduğu hasar modlarının, eksenel kapasite üzerinde bariz bir etkisi olduğu bulunmuştur. Kayma darbe hasarının, eğilme hasara göre eksenel kapasitede daha fazla azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Bir çarpışma sırasında uygulanan maksimum yük genellikle bilinmediğinden, darbe sonrası duruma (deformasyon ve hasar modu) dayalı bir değerlendirme yöntemi önerilmiş ve darbe sonrası eksenel kapasiteyi tahmin edebildiği gösterilmiştir. Takviye oranı ve eksenel yük oranının darbe sonrası kapasite üzerindeki etkileri parametrik olarak araştırılmış ve artık dayanımları tahmin etmek için sonuçlardan elde edilen ampirik bir formül geliştirilmiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmada yatay tekrarlanır tersinir yük etkisi altındaki betonarme dolgu duvarlı çerçeveler ile ilgili deney düzeneği, taşıyıcı sistem boyutları ve elemanları, uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri ile ilgili bugüne kadar yapılmış olan çeşitli çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Deney Numunelerinin Genel Özellikleri

Yürütülen bu çalışmada dört adet tek katlı, tek açıklıklı, rijit temel üzerine inşa edilmiş ½ ölçekli betonarme çerçeveler üretilmiştir. Yapılan bu numuneler 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak yapılmış hali hazır yapılarda dolgu duvar güçlendirmesini temsil etmektedir. Numuneler sırasıyla, bir adet dolgu duvarsız referans numune, bir adet dolgu duvarlı referans numune, iki adet dolgu duvarı FRCM ile güçlendirilmiş numune olarak üretilmiştir.

Üretimde karbon esaslı FRCM malzemesi kullanılarak numune güçlendirmesi tek yüzeye tek katlı ve ankrajlı olarak yapılmıştır. Oluşturulan bu numuneler yatay tersinir yükler altında davranışları incelenerek mukayese edilmiştir.

Üretilen numuneler için aynı nitelikte beton, donatı, tuğla, sıva ve güçlendirme sıvası kullanılmıştır.

Üretilen bu dört adet numunenin plan ve kesitleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de sunulmuş ve genel özellikleri ise Tablo 2.1’de detaylı olarak verilmiştir. Betonarme çerçevelerde kullanılan beton karışım oranları Tablo 2.2’de verildiği gibi hazırlanan beton numunelerinin karakteristik özellikleri Tablo 2.3’de sunulduğu gibidir. Karakteristik parametreleri Tablo 2.4’te sunulan ve çerçevelerde kullanılan donatıların plan ve kesit detayı Şekil 2.2’de sunulmuştur.

Deneysel çalışma kapsamında güçlendirme malzemesinin dolgu duvarlı çerçeve eleman üzerindeki etkisini anlayabilmek yapabilmek adına 1 adet numune boş bırakılmış ve referans numune olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan numunelerde kullanılan tuğlanın genel özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Numunelerin Genel Özellikleri

No	Numune Adı	Numune Özellikleri	Çerçeve Boyutları (m x m)	Dolgu Duvar B. (m x m)
1	Referans-1	Boş Çerçeve	2.20 x 1.35	-
2	Referans-2	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva	2.20 x 1.35	1.70 x 1.20
3	CFRCM	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva + Tek Kat FRCM Karbon Esaslı Matris ve Sıvası	2.20 x 1.35	1.70 x 1.20
4	CFRCM-A	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva + Tek Kat FRCM Karbon Elyaf Esaslı Matris ve Sıvası + Ankraj	2.20 x 1.35	1.70 x 1.20

2.2. Malzeme Özellikleri

Bu deneysel çalışmada ½ ölçekli, rijit temel üstüne inşa edilmiş, dört adet betonarme çerçeve ve bunlardan üçünde bulunan tuğla yığma dolgu duvarlardaki beton, donatı ve tuğla malzemenin karışım oranları, kırılma yükü, numune basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri sunulmuştur.

2.2.1. Beton

Numunelerin üretimi için C25/30 sınıfı beton kullanılmıştır. Bu çalışmada üretilen betonarme çerçevelerdeki ağırlıkça çimento, kum, mıcır ve su oranları Tablo 2.2’de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Numunelere dökülen betondan silindir numuneler alınarak, bu numunelere yarmada çekme ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.



Şekil 2.1. Silindir numunelerin yarmada çekme deneyi



Şekil 2.2. Numunelere kükürt başlık yapılması ve basınç dayanımı deneyi

Tablo 2.2. Beton Karışım Oranı

	Çimento	0-7 Kum	0-6 Mıcır	6-16 Mıcır	Su	Katkı	Toplam
Ağırlıkça (kg/m ³)	325	610	200	1065	160	1,2	2361,2
%	13,75	25,83	8,46	45,14	6,77	0,051	100

Temel, kolon ve kiriş elemanlarında alınan 15 x 30 cm ebatlı silindir numunelerin 28 günlük kırılma yükü, basınç dayanımı ve elastisite modülü Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımları

	Basınç Kuvveti(N)	Numune çapı (mm)	Numune Uzunluğu (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)
Temel	210300	150	300	2,97
Çerçeve	197800	150	300	2,79

Tablo 2.4. Beton Numune Özellikleri

	Numune Şekli	Numune Boyutları (cm)	Kırılma Yüğü (kN)	Kırılma Yüğü (kN)	Numune Basınç Dayanımı (N/mm²)	Elastisite Modülü (N/mm²)
Temel	Silindir	15 x 30	479,5	452,3	27,2	30918
Çerçeve (28 günlük)	Silindir	15 x 30	450,1	228,1	25,41	30402

2.2.2. Donatı

Numunelerin üretiminde kullanılan B 420C sınıfı nervürlü donatıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için donatılar TS 708'e uygun olarak her numuneden üçer tane olacak şekilde çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Donatı çekme deneyi

Tablo 2.5. Donatının Karakteristik Özellikleri

	Çap	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme/Akma oranı	Deneysel/Karakteristik	Kopma Uzaması %
Kolon	14	428	532	1,25	1,02	20
	8	457	566	1,24	1,08	18
Kiriş	12	465	571	1,23	1,11	18
	8	457	566	1,24	1,08	18
Temel	16	430	562	1,31	1,03	22
	8	457	566	1,24	1,08	18

2.2.3. Tuğla

Deney numunelerindeki dolgu duvarlar için 19.5×19.5×8.5 cm ölçülerinde boşluklu tuğlanın kırılma yükü ve numune mukavemeti Tablo 2.5’te sunulmuştur.

Tablo 2.6. Tuğlanın Özellikleri

	Numune boyutları (cm)	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm²)	Elastisite modülü (N/mm²)
Yatay delikli tuğla	19.5×19.5×8.5	36	2.41	1000

2.2.4. Karbon Elyaf Esaslı FRCM Ağı ve Çimento Esaslı Matris

CFRCM ağının teknik özellikleri Tablo 2.6’de, çimento esaslı özel matrisinin teknik özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Cam Elyaf Esaslı FRCM Ağının Teknik Özellikleri

Genişliği	100 cm
Çekme Dayanımı	240 kN/m
Kaplamalı m² Ağırlık	300 gr
Mesh Aralığı (mm)	21x21
Yoğunluk	1,80 gr/cm ³
Karbon Fiber Elastisite Modülü	240 GPa
Karbon Fiber Kopmadaki Birim Boy Uzaması	%2,00

Tablo 2.8. Çimento esaslı elyaf lif takviyeli matrisin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	(-30)-(+400) °C
Karışım oranı	3,5-4,5 lt su / 25 kg toz
Eğilme mukavemeti	$\geq 7,0 \text{ N/mm}^2$
Basma mukavemeti	$\geq 60 \text{ N/mm}^2$
Elastisite modülü	$>20 \text{ GPa}$
Sınırlandırılmış büzülme	$\geq 2 \text{ N/mm}^2$
Kapiler su emme değeri	$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2\sqrt{h}$

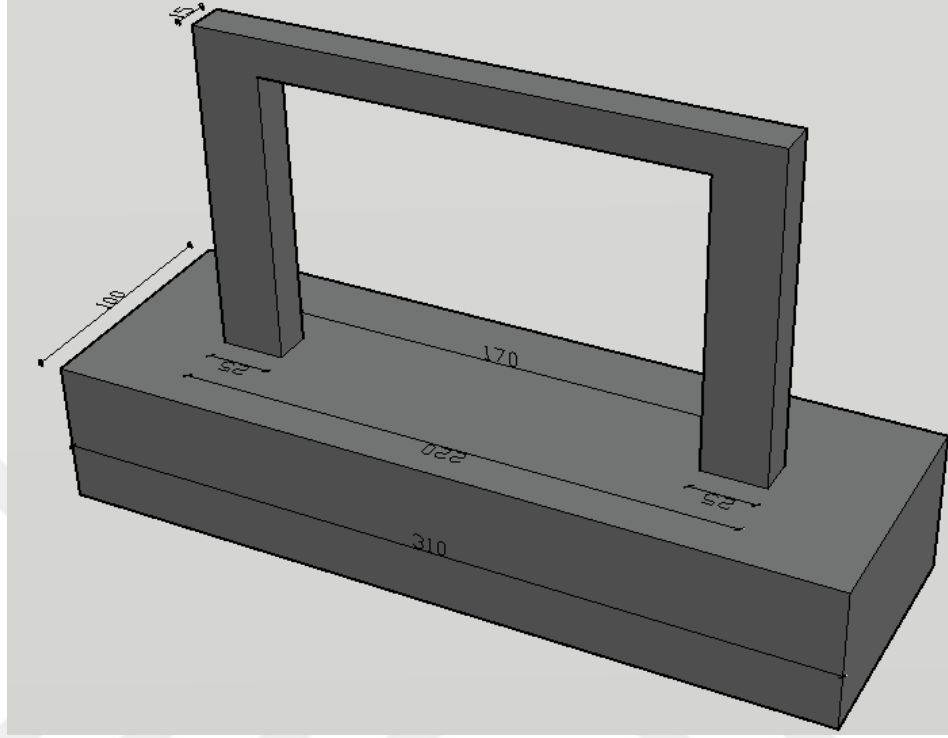


Şekil 2.4. Karbon elyaf esaslı FRCM ağının ve çimento esaslı özel matrisin görünümü

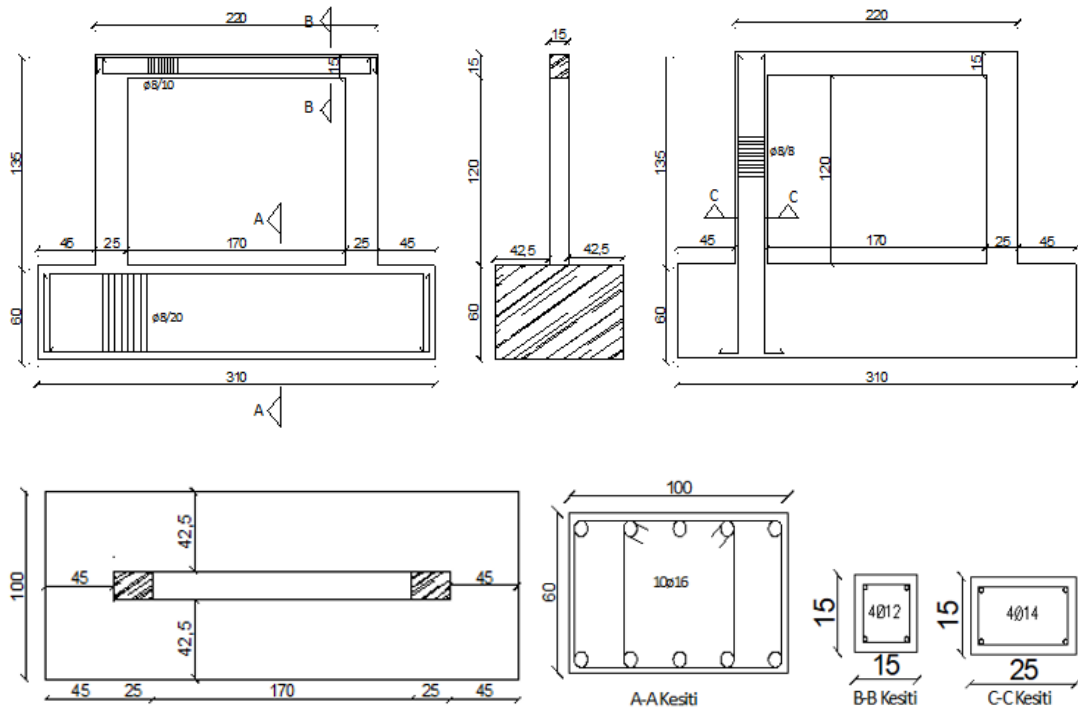
2.3. Boyutlar ve Donatı Detayları

Bu çalışmaya esas olan numuneleri tek katlı, tek açıklıklı ve $\frac{1}{2}$ ölçekli olarak imal edilmiştir, 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun, güçlü kolon zayıf kiriş koşulu sağlanmış, kolon ve kirişlerde etriye sıklaştırması yapılmıştır ve üretilen etriye kancası yönetmeliğe

uygun olacak şekilde üretilmiştir. Bütün çerçevelerin boyutları Şekil 2.1’de ve donatı detayları ise Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.5. Betonarme çerçevelerin boyutları



Şekil 2.6. Betonarme çerçevelerin donatı detayları

2.4. Numunelerin İmalatı

Bu deneyde numuneler $\frac{1}{2}$ ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Birinci numune boş çerçeve ve ikinci numune tuğla yığma dolgu duvarlı olarak üretilmiştir. Bu iki numune referans olarak kullanılmıştır. Diğer iki numune ise karbon esaslı FRCM malzemesi ile numunenin tek yüzüne tek kat uygulanarak güçlendirme yapılmıştır. Bu numunelerden birine beş farklı noktadan ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney sonuçlarında güçlendirme malzemesinin ürettiğimiz çerçeveye olan etkisini tartışabilmek için, üretim aşamasında bütün numunelerin donatı çapları, beton sınıfı, boyutları aynı üretilmiştir.

Numuneler 2018 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak etriyeler kancalı olarak üretilerek kolon ve kirişlerde etriye sıklaştırması yapılmıştır. Üretilen numuneler güçlü kolon zayıf kiriş kuralına uyulmuştur. Bu numuneler yönetmeliğe uygun mevcut binaların güçlendirilmesini temsil etmektedir.

1.00 m $\times$ 3.10 m planlı ve 0.60 m yüksekliğe sahip temellere aynı gün ve aynı mikserden dökülen C25/30 beton sınıfı kullanılmıştır. Çerçevelerin davranışlarının tam ankastre olabilmesi için rijit olarak üretilmiştir.

Numuneler üretilmeden önce numunelerin üretilecek yerin temizliği yapılarak pürüzsüz bir zemin oluşturulmuştur. Daha sonrasında temellerin kalıp yapımına başlanılmıştır. Kalıp malzemesi olarak plywood kullanılmıştır. Deney numunelerinin alt yüzeylerinin pürüzsüz olması için zemine plywood konulmuştur.

Kalıp yapım aşaması bittikten sonra donatı yerleşimine geçilmiştir. Bu aşamada paspayına ve etriyelerin bağlanmasına dikkat edilmiştir. Temellerde 5 cm, kolon ve kirişlerde ise 3 cm paspayı bırakılmıştır. Temel, kolon ve kirişlerde donatı çapları sırasıyla 16 mm, 14 mm ve 12 mm olarak seçilmiştir. Etriyelerin donatı çapı ise 8mm seçilmiştir.



Şekil 2.7. Temel kalıplarının hazırlanması

Kalıp yapım aşaması bittikten sonra donatı yerleşimine geçilmiştir. Bu aşamada paspayına ve etriyelerin bağlanmasına dikkat edilmiştir. Temellerde 5 cm, kolon ve kirişlerde ise 3 cm paspayı bırakılmıştır. Temel, kolon ve kirişlerde donatı çapları sırasıyla 16 mm, 14 mm ve 12 mm olarak seçilmiştir. Etriyelerin donatı çapı ise 8 mm seçilmiştir.



Şekil 2.8. Temel donatılarının hazırlanması

Temel donatıları yerleştirildikten sonra deney yapılacak yerdeki döşeme boşluklarına göre temele borular bağlanarak bağlantı boşlukları oluşturuldu. En son olarak kolon filizleri temele bağlanarak temellerin beton dökümü gerçekleştirildi. Havanın 5 derecenin altına düşeceği için beton içerisine antifriz katkı malzemesi katılmıştır.



Şekil 2.9. Bağlantı boşluklu temellerin beton dökümü

Temellere aynı mikserden C25/30 sınıfına sahip beton dökümü yapılmıştır. TS EN 12350-1'e uygun şekilde beton dökümü sırasında 8 adet silindirik numuneler alınmıştır. Bu numuneler alınırken üç kademedede beton oldurularak her kademe 25 defa şişlenmiştir. Silindirik numuneler beton ile doldurulduktan sonra betonun tam yerleşmesi için tokmaktama işlemi yapılmıştır. Bu numuneler 2 gün boyunca dışarıda bekletildikten sonra kür havuzuna konulmuştur.



Şekil 2.10. Temellerin betonundan alınan numuneler

Temellerin kür işlemi tamamlandıktan sonra kolon ve kirişlerin kalıpları hazırlanılmıştır. Sonrasında kolon ve kirişlere, temelerde kullanılan beton ile aynı özelliklere sahip beton dökülmüştür. Üç gün bekledikten sonra kalıplar sökülmüştür.



Şekil 2.11. Temellere kür işleminin uygulanması



Şekil 2.12. Betonarme çerçevelerin kalıplarının
sökülmüş hali

Betonarme çerçeve üretimi bittikten sonra dolgu duvar imalatı yapılmıştır. Üretilen çerçevelerden üçüne tuğlalar şaşırtmalı şekilde örülmüştür. Kolon ve kiriş yüzeylerinin sıvayı tutması için betonarme yüzeylere astar uygulaması yapılmıştır. Sıvaya hazır olan çerçevelerin iki yüzeyi 1 cm kalınlığında sıva uygulanmıştır.



Şekil 2.13. Tuğla dolgu duvar uygulanmış numune



Şekil 2.14. Betonarme yüzeylere astar uygulaması



Şekil 2.15. Sıva uygulaması bitmiş betonarme çerçeveler

2.5. Çerçevelerin güçlendirilmesi

Üretilen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerden iki adeti farklı şekilde karbon esaslı FRCM malzemesi ile güçlendirilmiştir.

İlk olarak yüzeye uygulanacak TEKNOREP 300 harcı karılmıştır ve numunenin güçlendirilecek yüzeyine 2 cm olacak şekilde sıvanmıştır. Harç üzerine uygun şekilde kesilen FRCM malzemesi yerleştirilerek üstüne ikinci kat sıvası uygulanmıştır.



Şekil 2.16. TEKNOREP 300 harcının ilk katının uygulanması



Şekil 2.17. FRCM güçlendirme malzemesinin uygulanması



Şekil 2.18. FRCM güçlendirme malzemesinin üzerine harç uygulanması

Betonarme çerçevelere tek kat FRCM güçlendirme malzemesi uygulandıktan sonra güçlendirilen bir numuneye ankraj uygulaması yapılmıştır. Beş farklı noktadan açılan deliklere ilk olarak epoksi malzemesi sıkılarak hazırlanan ankrajlar deliklere yerleştirilmiştir. Sonrasında ankrajları dairesel şekilde açarak FRCM malzemesinin üzerine epoksi ile yapıştırılmıştır. Bu işlemten sonra epoksinin dayanım alması için 24 saat beklendikten sonra ankrajların üstü TEKNOREP 300 harcı ile sıvanmıştır.



Şekil 2.19. Ankraj uygulanacak yerlerin
İşaretlenmesi



Şekil 2.20. Ankraj uygulanacak noktaların matkap
ile delinmesi



Şekil 2.21. Ankraj uygulaması



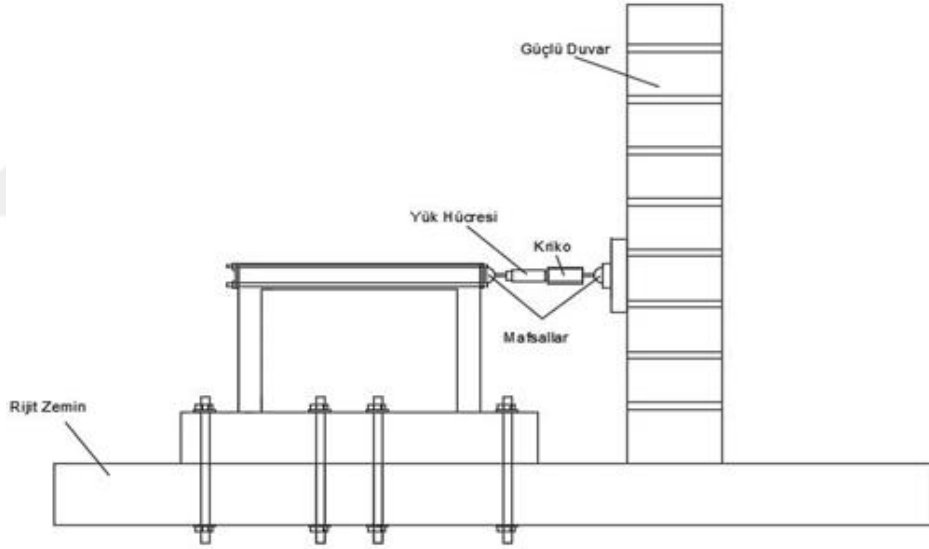
Şekil 2.22. Ankraj uygulanmış numune

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney düzeneği

Şekil 3.1’da sunulan sistem detayı Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan 50 cm kalınlığında güçlendirilmiş duvara ve 60 cm kalınlığında olan rijit döşemeye monte edilerek sabitlenmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerin sabitlendiği duvar ve zemin şeması

Yapılan bu çalışmada toplam 11 adet LVTD ve 1 adet Load Cell kullanılmıştır. Numunenin tepe noktasındaki yatay yer değiştirmeyi ölçebilmek için 1 adet LVTD kirişin merkezine denk gelecek şekilde yerleştirildi. Temelde oluşabilecek deplasmanları ölçebilmek için 1 adet LVTD temelin yan yüzeyine ve 2 adet LVTD temelin üst yüzeyine yerleştirildi. Kolonlardaki değişimi ölçebilmek için sağ kolonun A ve B yüzeylerine 2 adet LVTD yerleştirildi. 1 adet LVTD sağ kolonun D yüzeyinin h seviyesine yerleştirildi. Dolgu duvarlı numunelerde dolgu duvarın diyagonal değişimleri ölçebilmek için duvarın merkezine 2 adet LVTD yerleştirilmiştir.

Betonarme çerçeve numunelere uygulanan çift çevrimli (iki itme ve çekme) itme ve çekme hareketlerin okunması sonucunda deneysel veriler elde edilmiştir. Şekil 3.2.'de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.2. Deney Düzeneği

3.1.1. Yükleme Prosedürü

Deneysel çalışma kapsamında oluşturulan betonarme çerçeve sistemleri tekrarlı tersinir yatay yükleme yapılarak ötelenme oranına göre kontrolü yapılarak test edilmiştir. Hedef yer değiştirme miktarı seçilen ötelenme oranına göre hesaplanmıştır ve deney bu hesaplanan ötelenme oranına kadar devam ettirilmiştir. Hedef yer değiştirme miktarı, kirişin merkezine konumlandırılan LVTD'nin temele olan uzaklığı ile ötelenme oranının çarpılması sonucunda elde edilmiştir.

Betonarme numunelerin taşıdığı maksimum yatay taşıma yükünün %80'inin altına düşmesi ile numunelerin dayanabildiği deplasmana kadar deney devam ettirilmiştir.

Referans-1 numunesi 0.64 mm deplasman miktarı ile başlatılarak 73.6 mm deplasman miktarına gelindiğinde deney bitirilmiştir. Referans-2 numunesi 0.64 mm deplasman

miktarı ile başlatılarak 41.6 mm deplasman miktarına gelindiğinde deney bitirilmiştir. CFRCM numunesi 0.64 mm deplasman miktarı ile başlatılarak 73.6 mm deplasman miktarına gelindiğinde deney bitirilmiştir. CFRCM-A numunesi 0.64 mm deplasman miktarı ile başlatılarak 86.4 mm deplasman miktarına gelindiğinde deney bitirilmiştir.

3.2. Deney süreci ve gözlemlenen emareler

Bu deneyde numuneler $\frac{1}{2}$ ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Birinci numune boş çerçeve ve ikinci numune tuğla yığma dolgu duvarlı olarak üretilmiştir. Bu iki numune referans olarak kullanılmıştır. Diğer iki numune ise karbon esaslı FRCM malzemesi ile numunenin tek yüzüne tek kat uygulanarak güçlendirme yapılmıştır. Bu numunelerden birine beş farklı noktadan ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu dört numune tersinir yatay yüke maruz bırakılarak sistemde meydana gelen yer değiştirmeler değerlendirilmiştir.

3.2.1. Boşluklu Çerçeve

İlk 7 döngü sonrasında 7. döngünün 1. itmede sol kolon 4h seviyesinde C yüzünde ve 4h seviyesi ile kiriş arasında eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Yine aynı döngüde sağ kolon 4h seviyesi ile kiriş arası kılcal çatlaklar oluştu. Devam eden döngülerde kolon yüzlerinde eğilme çatlakları oluşmaya devam etmiş ve kılcal çatlaklar ilerlemiştir.



Şekil 3.3. İlk yedi döngü sonunda oluşan çatlaklar

Daha sonra 12. döngü 1. itmede sol kolonun A yüzünde sıva dökülmeleri meydana gelmiştir. 18. döngüde sağ kolon-kiriş düğüm noktasında, B yüzünde 45°'lik diagonal çatlak meydana gelmiştir.



Şekil 3.4. Kolon kiriş birleşiminde oluşan diagonal çatlaklar

27. döngü sonunda kirişin sol tarafında oluşan çatlaklar 5mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Sağ kolon A yüzeyinde, $h-h/2$ seviyesinde çatlak meydana gelmiştir.

33. döngü başlangıcında yükleme yapılırken 54 kN yükte sol kolon kiriş bağlantı yerinden beton parçalanarak donatıdan ayrılmıştır.

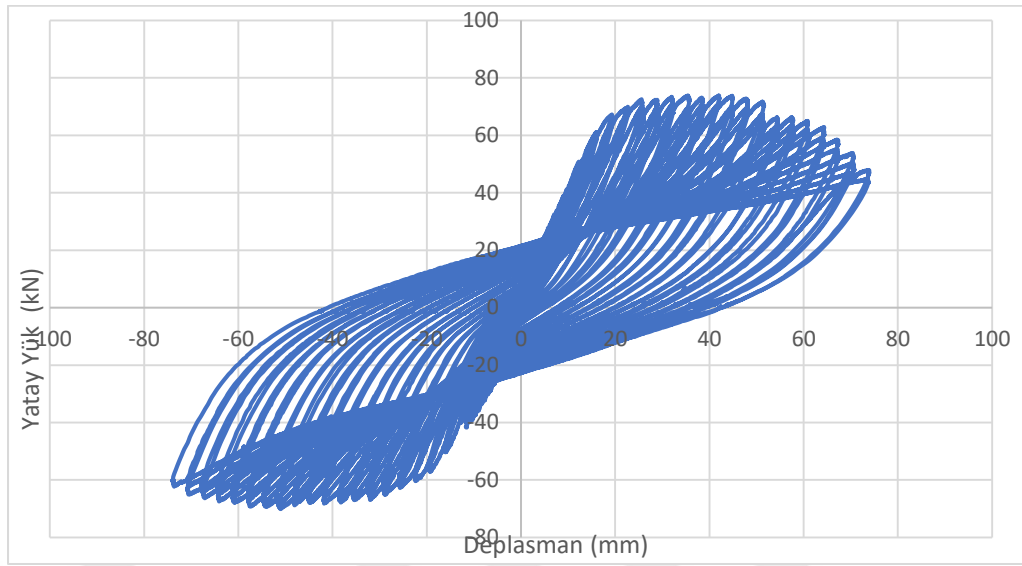
Daha sonra 34. döngünün sonunda sol kolonun D yüzeyinde, kolon-temel birleşim bölgesinde 5mm çatlak oluştu. Kirişin B yüzeyinde oluşan yatay çatlaklar ilerlemiştir ve genişlemiştir.

35. döngü 2. İtmede sol kolonun A yüzünde, kolon-temel birleşim yerinde betonun ezildiği gözlemlenmiştir. Daha sonra kolon-temel birleşimlerinde kolon yüzünde dökülmeler meydana gelmiştir.



Şekil 3.5. Kolon temel birleşiminde oluşan ayrılma

37. döngü sonunda sol kolonun C yüzünde temel kolon arasında kabarmalar başlamıştır. İtme sırasında temel kolon arasında dökülmeler devam etmiştir. Kirişin B yüzünde yatay çatlaklar uzamaya başlamıştır. Sol ve sağ kolon D yüzünde, temel-kolon birleşim bölgesinde beton dökülerek donatılar gözükmeye başlamıştır.



Şekil 3.6. Referans-1 numunesinin yatay yük-deplasman grafiği

3.2.2. Dolgu duvarlı çerçeve

Dolgu duvarlı çerçevede ilk çatlaklar 6. döngüde olduğu gözlemlenmiştir. Bu döngüde sağ ve sol kolon ile duvar birleşim kesişim bölgesinde A ve B yüzeyinde kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.



Şekil 3.7. Altıncı döngü sonunda oluşan çatlaklar

Sonrasında 8. döngü 1. İtmede A yüzeyinde dolgu duvar üzerinde 3-4 mm genişliğinde çatlak oluştu ve sıvada dökülmeleri meydana gelmiştir. Sol kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme çatlağı oluşmuştur. 8. döngü devamında sağ kolon-kiriş birleşiminde kesme çatlağı görülmüştür. Dolgu duvar yüzündeki çatlaklarda artma gözlemlenmiştir. Sol kolon-kiriş bölgesinde 4mm kesme çatlağı gözlemlenmiştir. B yüzeyinde dolgu duvar üzerinde 3-4mm çatlak oluşmuştur ve sıvada dökülmeler meydana gelmiştir. 8. döngü 2. çekmede A yüzeyinde çekme sırasında sıvalar dökülmeye başlamıştır. Çekme çatlakları genişledi ve kolon duvar arası çatlaklar 4mm'ye ulaşmıştır.



Şekil 3.8. Sekizinci döngü sonunda oluşan çatlaklar

11. döngünün sonunda A yüzeyindeki sıvada 7-8 cm kabarma meydana gelerek 12. döngü başında sıva dökülerek tuğlalarda kırılmalar meydana gelerek döküldüğü ve kesme çatlaklarında genişleme gözlemlenmiştir.

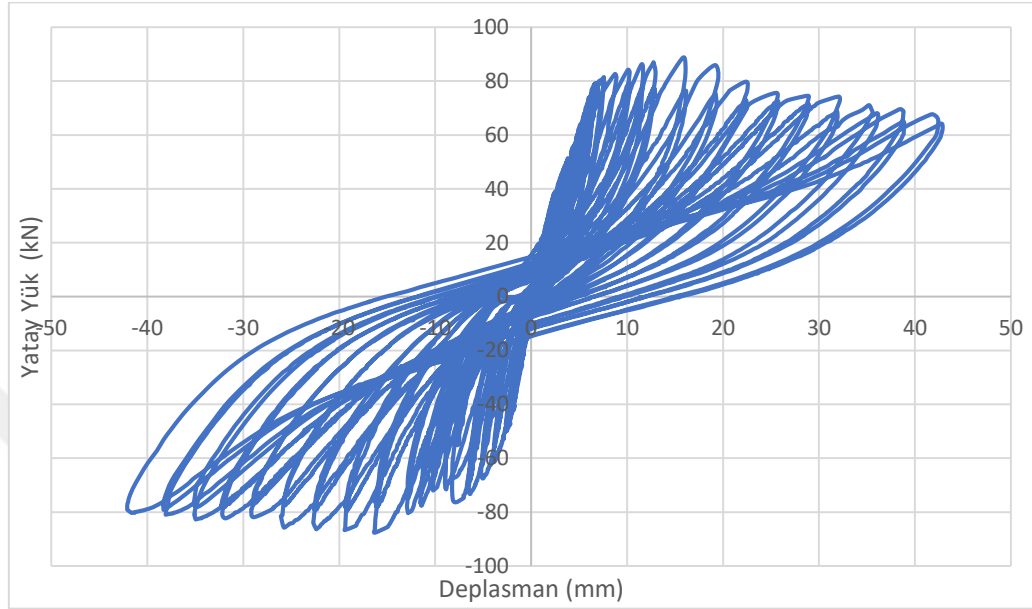


Şekil 3.9. Sıvada ve tuğlada gözlemlenen dökülmeler



Şekil 3.10. On ikinci döngüde kesme çatlaklarının genişlemesi.

12. döngünün sonunda kirişin A ve B yüzeyinde yatay çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar 16. döngüde 5 mm genişliğe ulaşmıştır.



Şekil 3.11. Referans-2 numunesinin yatay yük-deplasman grafiği

3.2.3. Karbon esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş tuğla dolgulu çerçeve

Altıncı döngüde dolgu duvarın A ve B yüzeyinde diyagonal çatlak, kiriş ile duvar arasında ayrılmalar, duvarın B yüzünde kirişten başlayıp kolona doğru çatlaklar gözlenmiştir. Sağ kolonda A yüzeyinde 3h seviyesinde eğilme çatlağı, sol kolon A yüzeyinde 2h seviyesinde eğilme çatlağı, sol kolon D yüzeyinde kolon boyunca sıva çatlağı meydana gelmiştir.

Sonrasında sekizinci döngüde sağ kolon ile dolgu duvar arasında ayrılma, dolgu duvarın B yüzeyinde sıvada kabarma, sol kolon C yüzeyinde h, 2h, 2.5h, 3.5h seviyesinde eğilme çatlakları, sağ kolon D yüzeyinde 2h ve 3h seviyesinde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Dolgu duvarın A ve B yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya devam etmiştir. Dolgu duvarın B yüzeyinde kirişten kolona doğru uzanan çatlak 5 mm'ye, aynı yüzeyde oluşan diyagonal çatlak 3mm'ye ulaşmıştır.

Dokuzuncu döngüde ise kirişin A yüzeyinde enine çatlak oluşmuştur. Sol kolonun B yüzeyinde sıva dökülmeye başlamıştır. Sol kolonun C yüzeyinde oluşan eğilme çatlağı B yüzeyinde de devam etmiştir. Sağ kolonun D yüzeyinde 2.5h, 3h, 4h seviyelerinde eğilme çatlakları meydana gelmiştir.



Şekil 3.12. Dokuzuncu döngü sonunda oluşan çatlaklar

On birinci döngüde dolgu duvarda oluşan diyagonal çatlak genişlemiştir. Sağ kolonun B yüzeyinde ve sağ kolonun A yüzeyinde sıvada kabarma ve dökülme meydana gelmiştir.



Şekil 3.13. On birinci döngüde meydana gelen sıva dökülmesi

Deneyin devamında on üçüncü döngüde sol kolon ile kiriş birleşiminde kesme çatlağı, sol kolonun A yüzeyinde h, 3h, 4h seviyelerinde eğilme çatlakları, sağ kolon ile duvar arasında ayrılma, dolgu duvarın B yüzeyinde tuğlalar kırılıp dökülme meydana gelmiştir.



Şekil 3.14. On üçüncü döngü sonunda meydana deformasyonlar

On sekizinci döngüde sol kolon ile kiriş birleşiminde meydana gelen kesme çatlağı 3-4 mm'ye ulaşmıştır. Yirminci döngünün sonlarında sağ kolonun B yüzeyinde kolon ile kiriş birleşiminde kesme çatlağı, kiriş ile dolgu duvar arasında A yüzeyinde karbon esaslı matrisli FRCM güçlendirme malzemesi yüzeyden ayrıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.15. Güçlendirme malzemesinin yüzeyden ayrılması

Sonrasında yirmi birinci döngüde sağ kolon ile kiriş birleşiminde oluşan kesme çatlağı 5 mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16. Yirmi birinci döngü sonrasında kesme çatlaklarının oluşumu

Yirmi dokuzuncu döngüye gelindiğinde ise, temele gelen güçlendirme malzemesi ayrıldığı, sağ kolonun B ve C yüzeyinde, temel ve h seviyesi arasında beton döküldüğü gözlemlenmiştir.

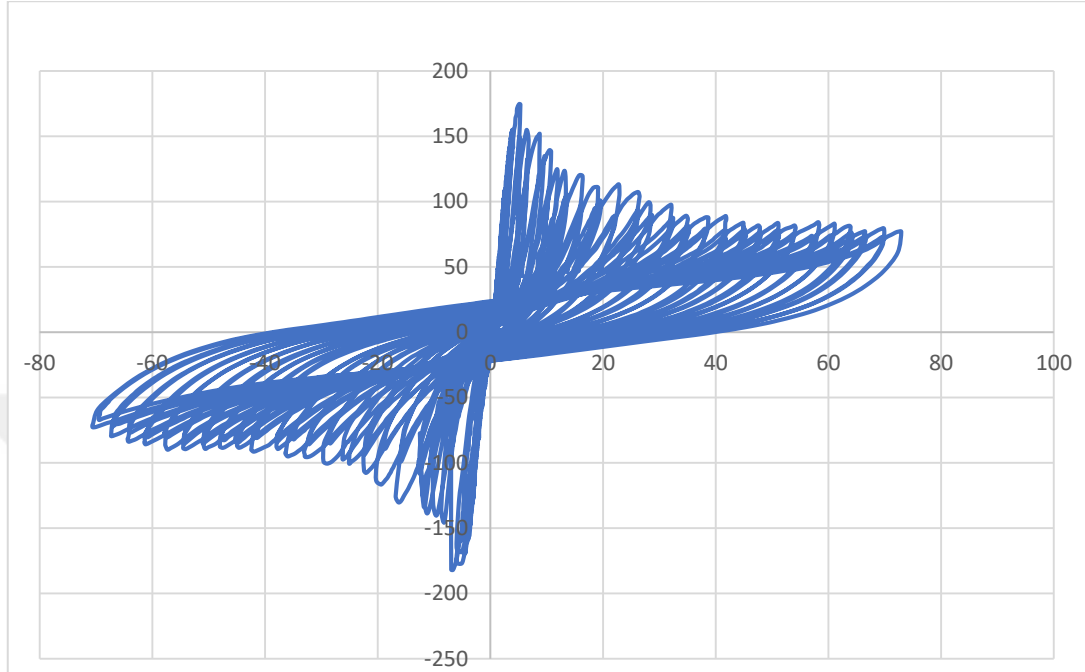


Şekil 3.17. Güçlendirme malzemesinin temel yüzeyinden ayrılması



Şekil 3.18. Kolon temel birleşiminde pas payının dökülmesi

Otuz birinci döngünün başında sol kolon ile kiriş birleşim bölgesindeki kesme çatlağı 1 cm'ye ulaşmıştır.



Şekil 3.19. CFRCM numunesinin yatay yük-deplasman grafiği

3.2.4. Karbon elyaf esashlı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş ve ankrajlı tuğla dolgulu çerçeve

Üçüncü döngü sonunda dolgu duvarın A ve B yüzeyine diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Beşinci döngüye gelindiğinde diyagonal çatlaklar ilerlemiştir ve B yüzeyinde oluşan diyagonal çatlak 4mm'ye ulaşmıştır.



Şekil 3.20. CFRCM-A numunesine yatay yük uygulanması.

Sol kolon ve kiriş birleşiminde A yüzeyinde kesme çatlağı, sağ kolonun A ve D yüzeyinde 2h, 3h, 4h, 5h seviyelerinde ve sol kolonun A, B ve C yüzeylerinde 2h, 3h, 4h eğilme çatlakları, B yüzeyinde kolon ile duvar arasında kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Kiriş ile duvar arasında ayrılma gözlemlenmiştir. Döngünün sonunda dolgu duvarın B yüzeyinde oluşan diyagonal çatlak 5 mm'ye ulaştı ve sıvada kabarmalar meydana gelmiştir.



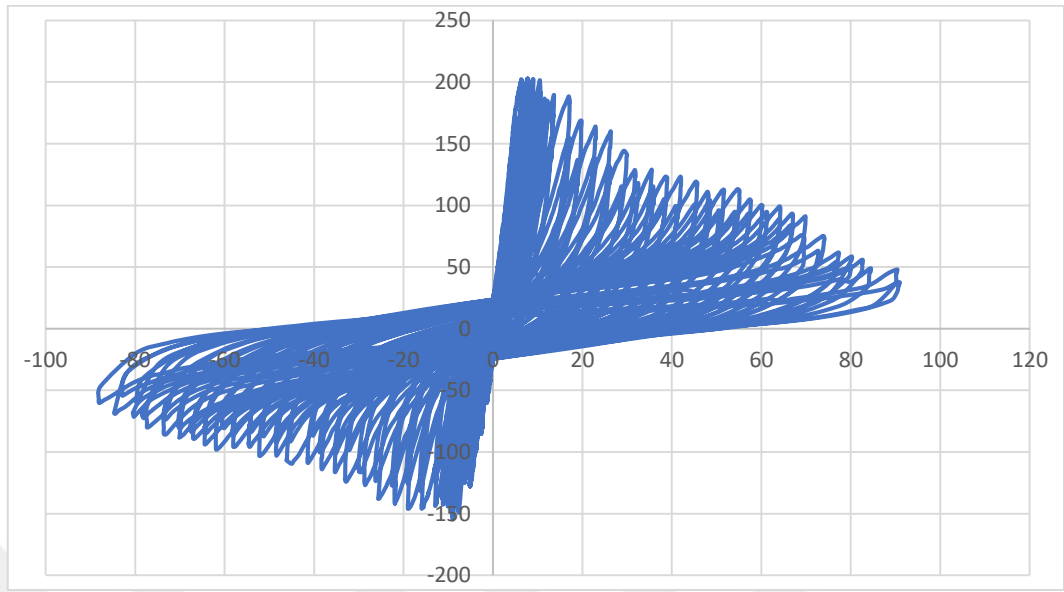
Şekil 3.21. CFRCM-A numunesine yatay yükleme sonucu oluşan çatlaklar.

Deneyin devamında sekizinci döngüde sol kolon ile duvar arasındaki ayrılma 4 mm'ye ulaşmıştır. Sağ kolonun B yüzeyindeki sıva 3 cm kabarmıştır. Onuncu döngünün sonunda sol kolon ve temel arasında, D yüzeyinde pas payı dökülerek donatı gözükmeye başlamıştır. Dolgu duvarın B yüzeyinde tuğlalar dökülmeye başlamıştır. Sol kolonun A yüzeyinde sıva kabarak dökülmeye başlamıştır. On ikinci döngüde sol kolonun D yüzeyinde kolon boyunca sıva çatlağı meydana gelmiştir. Dolgu duvarın A yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya devam etmiştir.



Şekil 3.22. CFRCM-A numunesine yatay yük sonucu dolgu duvardaki deformasyonlar.

Sonrasında on dördüncü döngüde sol kolon ile kiriş birleşiminde B yüzeyinde kesme çatlağı meydana gelmiştir. Sol kolonun B yüzeyinde sıva dökülmüştür. On beşinci döngü sonunda on dördüncü döngüde oluşan kesme çatlağı 5mm'ye ulaşmıştır. Yirminci döngüde sol kolon-kiriş birleşiminde A yüzeyinde kesme çatlağı genişlemiştir. Yirmi beşinci döngüde duvar ile kolon birleşim bölgesindeki FRCM malzemesi yatay yönde kopmuştur.



Şekil 3.23. CFRCM-A numunesinin yatay yük-deplasman grafiği

4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

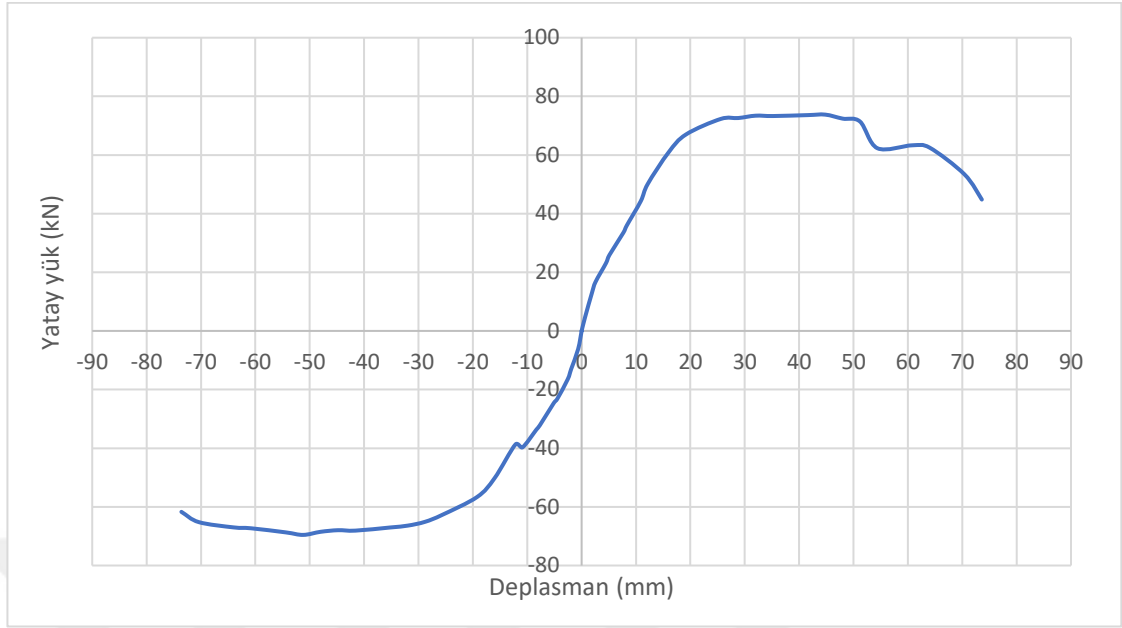
4.1. Taşınan Maksimum Yatay Yük

Numunelerin deney süresince taşıdıkları maksimum yatay yükler Tablo 4.1’de verilmiştir. Her bir hedef yer değiştirmede numuneye etki eden yük miktarları Ekler bölümünde Tablo A.1, Tablo A.2, Tablo A.3 ve Tablo A.4’te sunulmuştur.

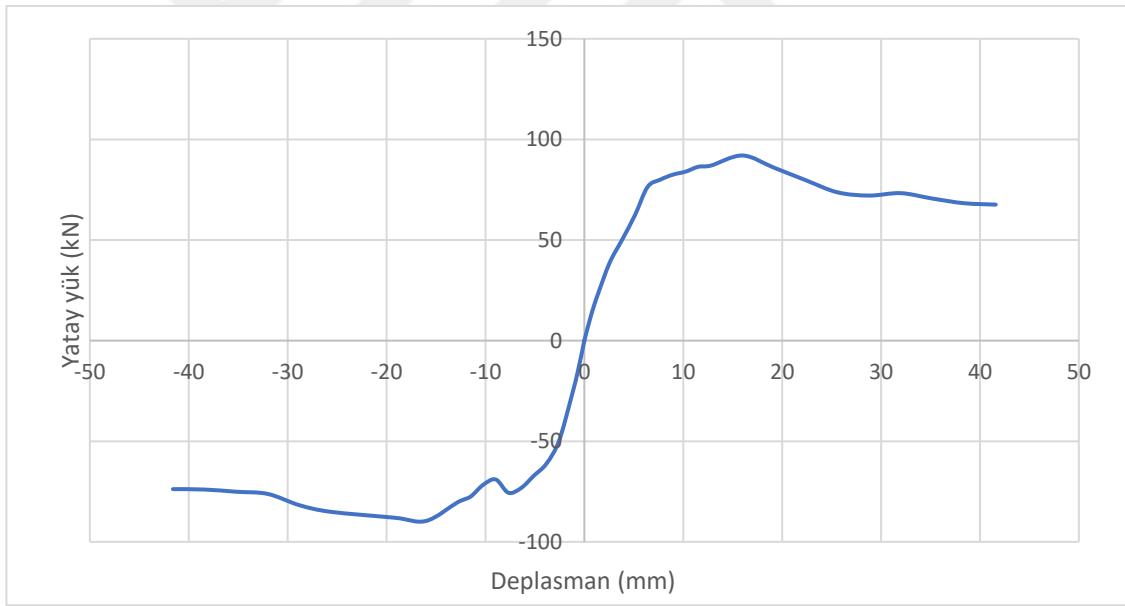
Tablo 4.1. Numunelerin taşıdığı maksimum yatay yük

Numune	Ötelenme Oranı	Maks. Yük P_{max} (kN)
Referans-1	0,035	70,86
Referans-2	0,0125	89,55
CFRCM	0,007	175,85
CFRCM-A	0,004	178,5

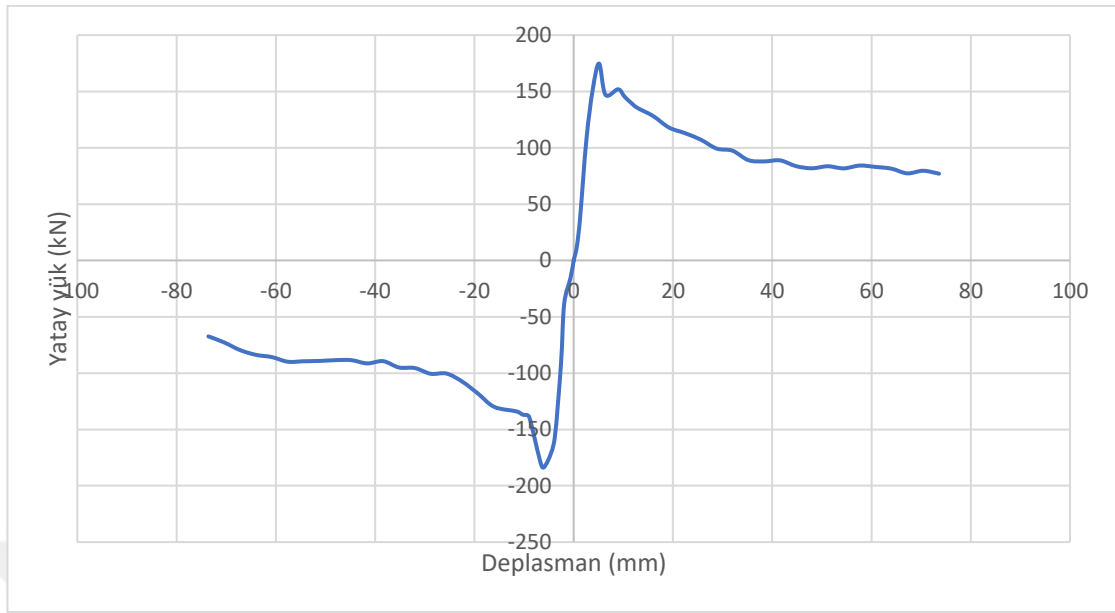
Deney numunelerine ait zarf eğrileri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4’te verilmiştir.



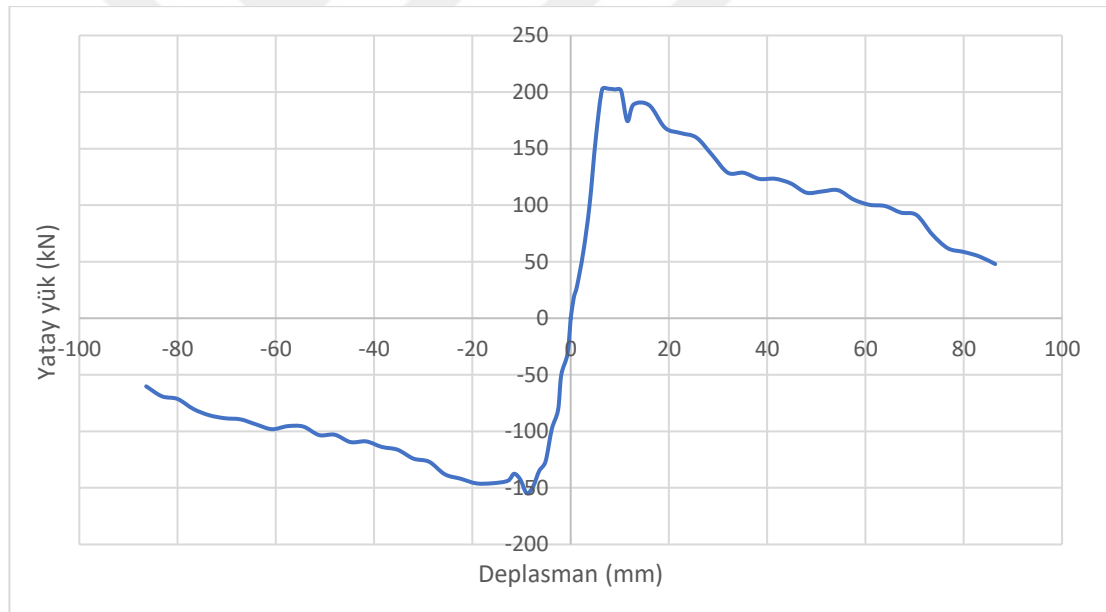
Şekil 4.1. Referans-1 numunesine ait zarf eğrisi



Şekil 4.2. Referans-2 numunesine ait zarf eğrisi



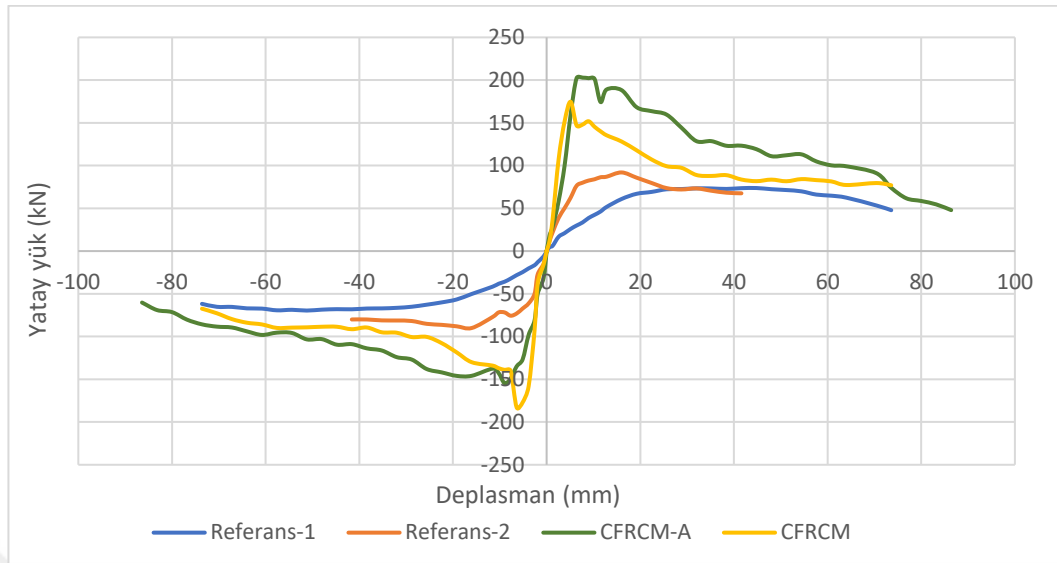
Şekil 4.3. CFRCM numunesine ait zarf eğrisi



Şekil 4.4. CFRCM-A numunesine ait zarf eğrisi

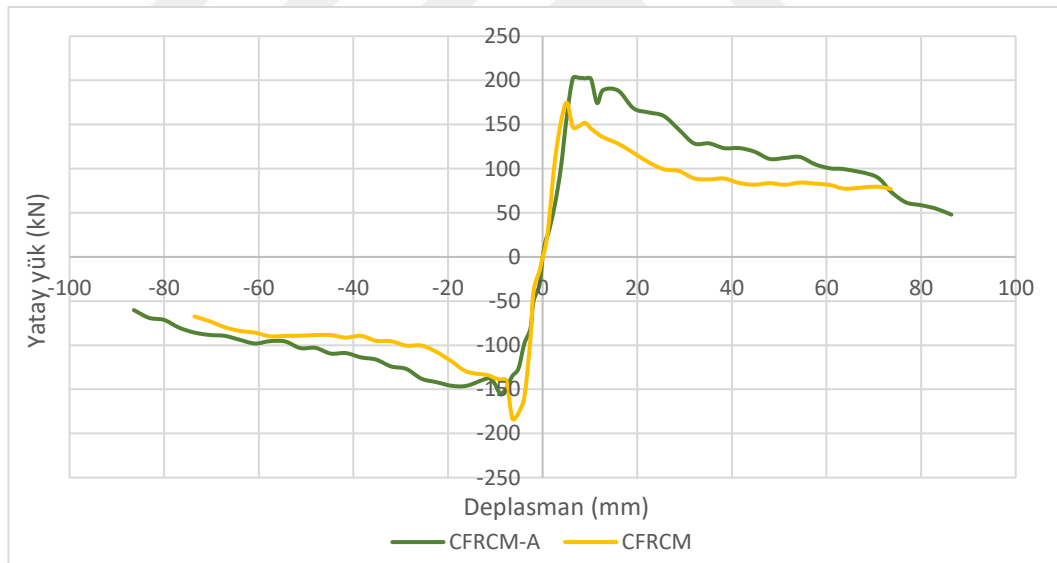
Betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi yatay yük taşıma kapasitesini %24 oranında artırmıştır. Dolgu duvarlı betonarme çerçeveye CFRCM türü kompozit uygulanması yatay yük taşıma kapasitesini %102 oranında artırmıştır. Dolgu duvarlı çerçeveye beş noktada ankrajlı şekilde CFRCM türü kompozit uygulanması yatay yük taşıma kapasitesinde %105 artırmıştır. Numuneye beş noktada tatbik edilen ankraj uygulamasının yatay yük taşıma kapasitesine önemli bir katkısı görülmemiştir.

Bütün numunelere ait zarf eğrileri grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Tüm numunelere ait zarf eğrisi

CFRCM ve CFRCM-A numunelerinin zarf eğrileri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. CFRCM ve CFRCM-A numunelerine ait zarf eğrisi

4.2. Rijitlik Değişimi

Numunelerin başlangıç rijitlikleri, yükleme prosedürü doğrultusunda başlangıçta belirlenen ötelenme oranına karşılık gelen yer değiştirme miktarları için numuneye uygulanan yatay yük taşıma değerlerinin ortalamasının, hedef yer değiştirme miktarına bölünmesi ile hesaplanır.

Numunelerde, her bir ötelenme oranında meydana gelen rijitlik değişimleri Ekler bölümünde Tablo A.5, Tablo A.6, Tablo A.7 ve Tablo A.8’de verilmiştir. Her bir numune için başlangıç rijitlikleri tablosu Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Numunelerin başlangıç rijitlikleri

Numune	Ötelenme oranı	Başlangıç rijitlik Ri (kN/mm)
Referans-1	0,0005	8,52
Referans-2	0,0005	20,94
CFRCM	0,0005	41,48
CFRCM-A	0,0005	42,42

Betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi işleminin numunenin başlangıç rijitliğini %146 oranında artırdığı görülmüştür.

Betonarme çerçeveye dolgu duvar ve CFRCM uygulanması işleminin başlangıç rijitliğini %387 oranında artırdığı görülmüştür.

Betonarme çerçeveye dolgu duvar örülmesi ve beş noktadan ankrajlı olarak CFRCM uygulanmasının başlangıç rijitliğini %398 oranında artırdığı görülmüştür.

Numunelerin 0,002 ve 0,01 ötelenme oranlarına karşılık gelen korunan rijitlik oranları Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Numunelerin 0,002 ve 0,01 ötelenme oranlarında korunan rijitlik yüzdeleri

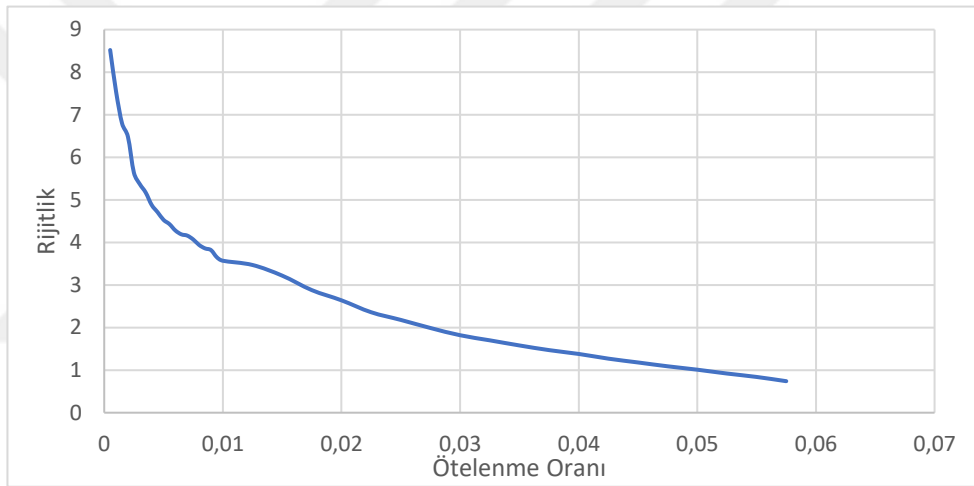
Numune	Ötelenme oranı	Korunan Rijitlik (%)	Ötelenme oranı	Korunan Rijitlik (%)
Referans-1	0,002	76	0,01	42
Referans-2	0,002	82,6	0,01	31,2
CFRCM	0,002	98,4	0,01	24,8
CFRCM-A	0,002	68,7	0,01	30,8

Referans-1 numunesi ötelenme oranı %0,2 iken başlangıç rijitliğinin %76'sını korumuş, ötelenme oranı %1 iken başlangıç rijitliğinin %42'sini korumuştur.

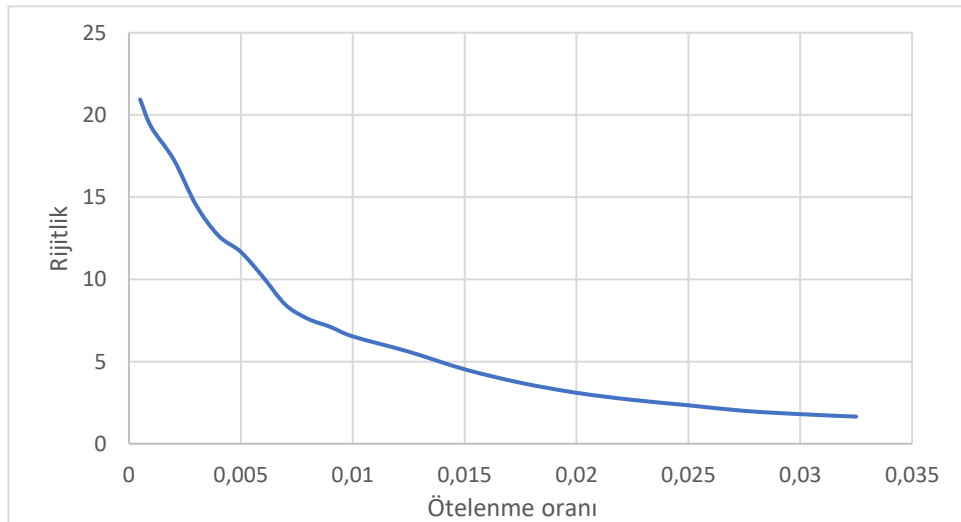
Referans-2 numunesi ötelenme oranı %0,2 iken başlangıç rijitliğinin %82,6'sını korumuş, ötelenme oranı %1 iken başlangıç rijitliğinin %31,2'sini korumuştur.

CFRCM numunesi ötelenme oranı %0,2 iken başlangıç rijitliğinin %98,4'ünü korumuş, ötelenme oranı %1 iken başlangıç rijitliğinin %24,8'ini korumuştur.

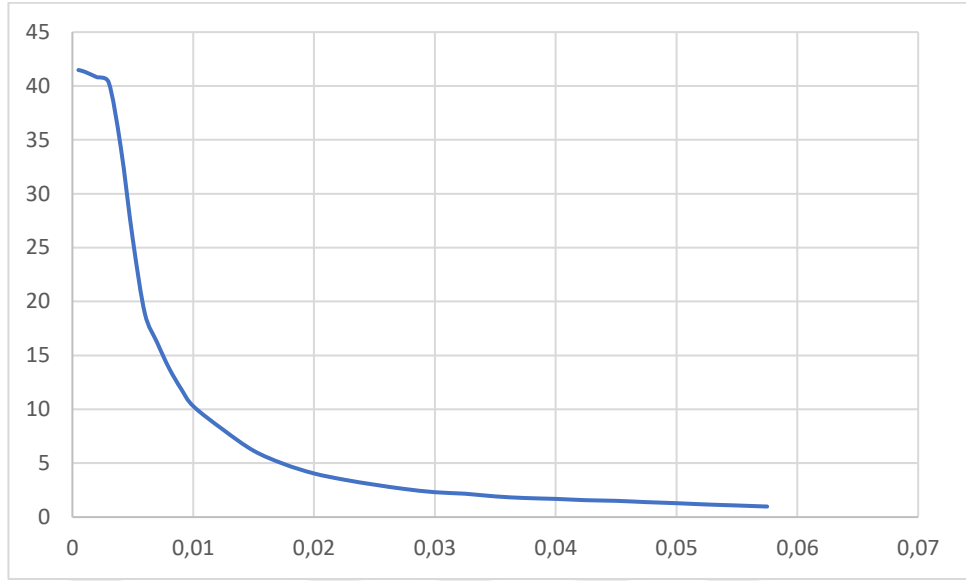
CFRCM-A numunesi ötelenme oranı %0,2 iken başlangıç rijitliğinin %68,7'sini korumuş, ötelenme oranı %1 iken başlangıç rijitliğinin %30,8'ini korumuştur.



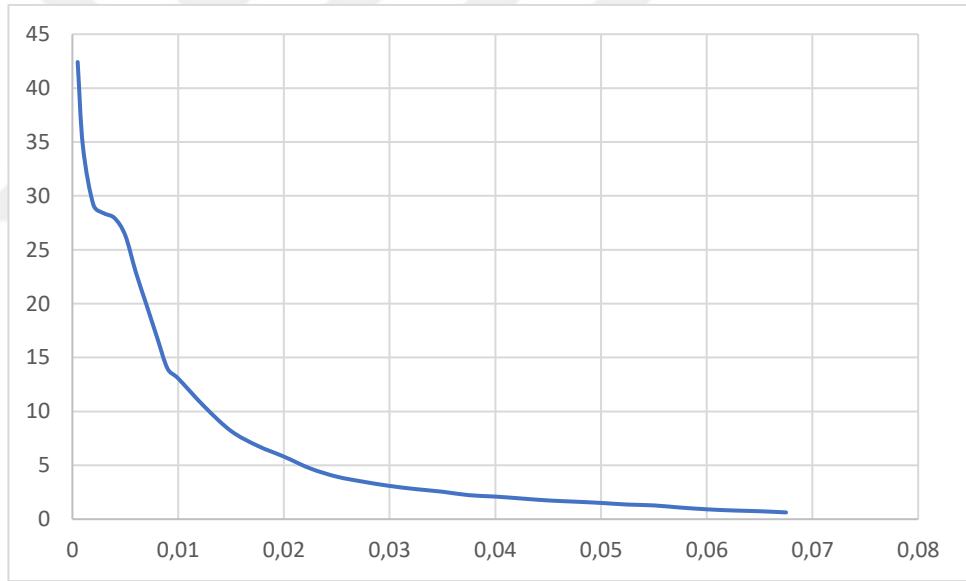
Şekil 4.7. Referans-1 numunesinin rijitlik değişim grafiği



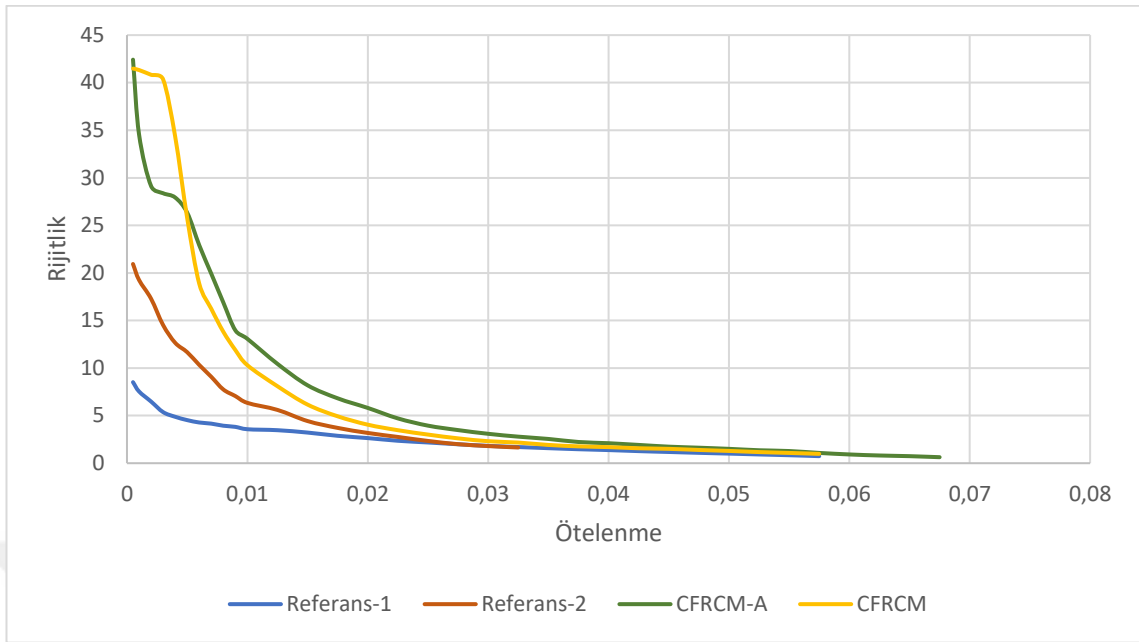
Şekil 4.8. Referans-2 numunesinin rijitlik değişim grafiği



Şekil 4.9. CFRCM numunesinin rijitlik değişim grafiği



Şekil 4.10. C-FRCM-A numunesinin rijitlik değişim grafiği



Şekil 4.11. Deney numunelerinin rijitlik değişim grafiği

4.3. Kalan Dayanım

Kalan dayanım yükleme prosedüründe belirlenen ötelenme oranları için hedeflenen her bir yer değiştirmede numuneye uygulanan itme ve çekme kuvvetinin ortalamasının, numunenin taşıdığı maksimum yatay yük değerine bölünmesiyle elde edilir.

Numunelere ait kalan dayanım tabloları Ekler bölümünde Tablo A.9, Tablo A.10, Tablo A.11. ve Tablo A.12’de sunulmuştur.

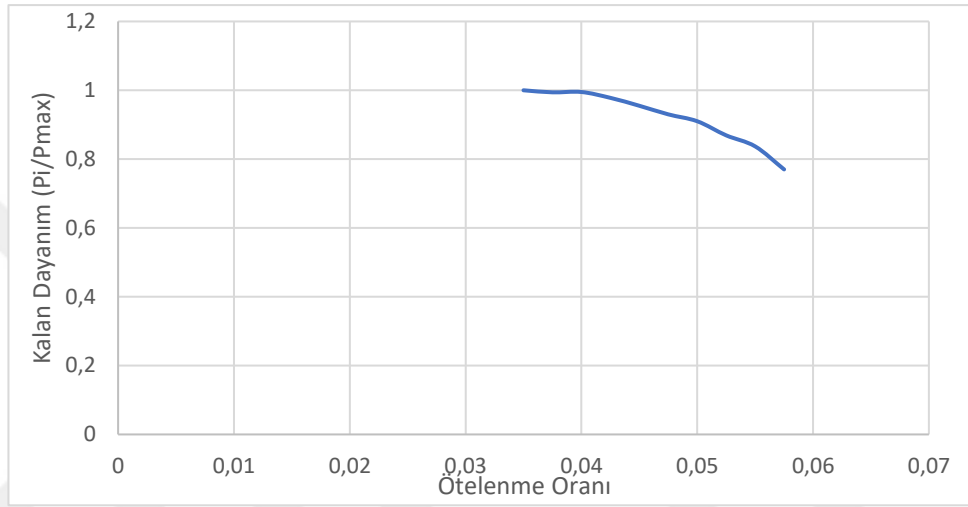
Numunelerin 0,0325’lik ötelenme oranı için kalan dayanımları Tablo 4.4.’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Numunelerin 0,0325’lik ötelenme oranındaki kalan dayanımları

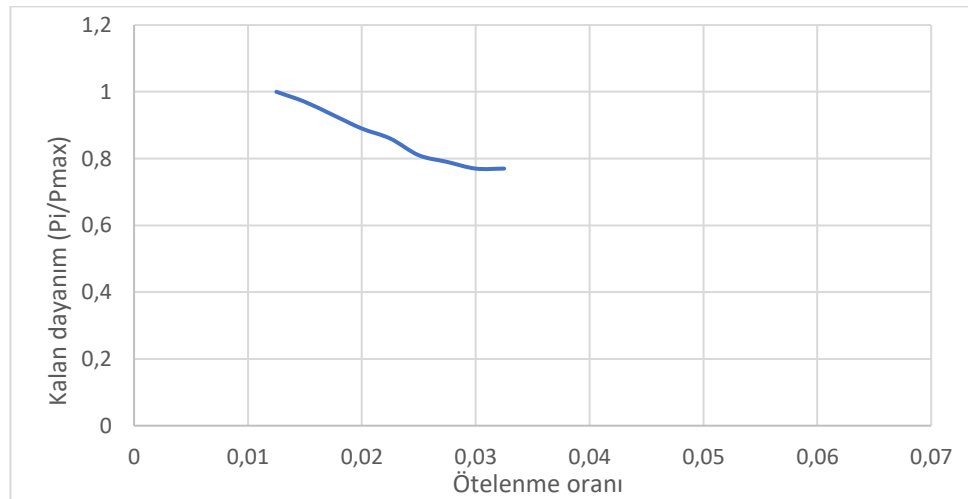
Numune	Ötelenme oranı	Kalan dayanım (%)
Referans 1	0,0325	100
Referans 2	0,0325	77
CFRCM	0,0325	51
CFRCM-A	0,0325	65

Referans-1 numunesi 0,325'lik ötelenme oranında dayanımının %100'ünü, Referans-2 numunesi dayanımının %77'sini, CFRCM numunesi dayanımının %51'ini, CFRCM-A numunesi dayanımının %65'ini korumuştur.

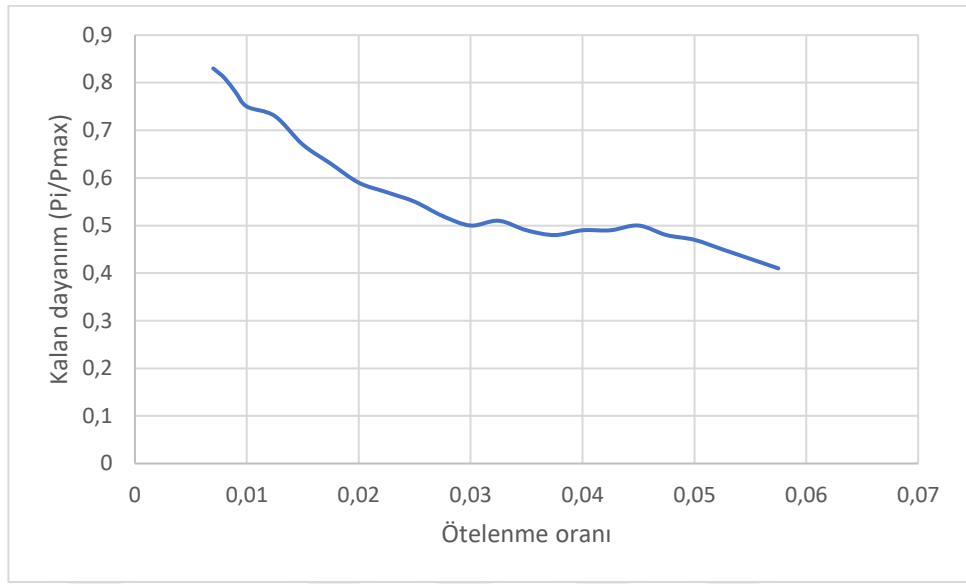
Numunelere ait kalan dayanım grafikleri Şekil 4.12, Şekil .13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir. Bütün deney numunelerine ait kalan dayanım grafiği ise Şekil 4.16.'da verilmiştir.



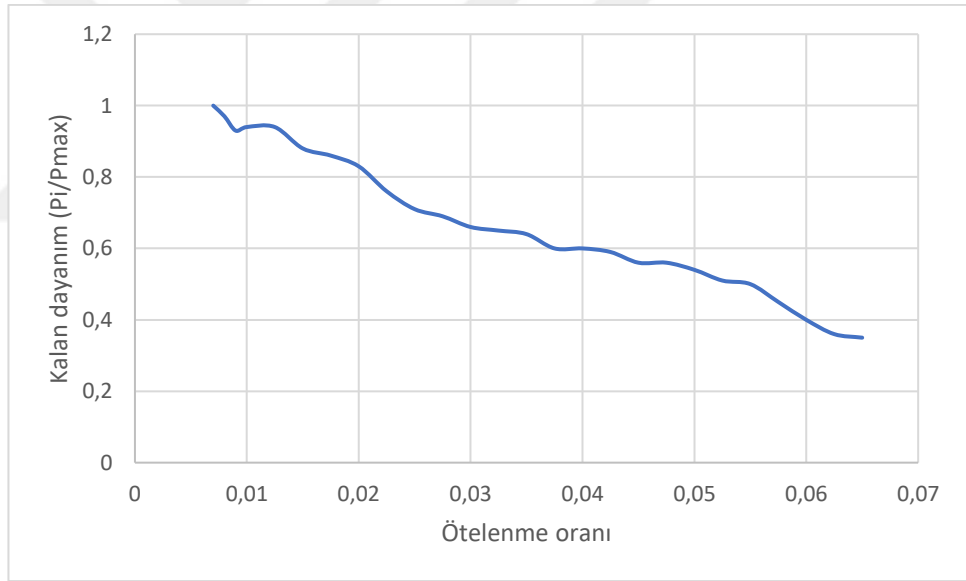
Şekil 4.12. Referans-1 kalan dayanım-ötelenme oranı grafiği



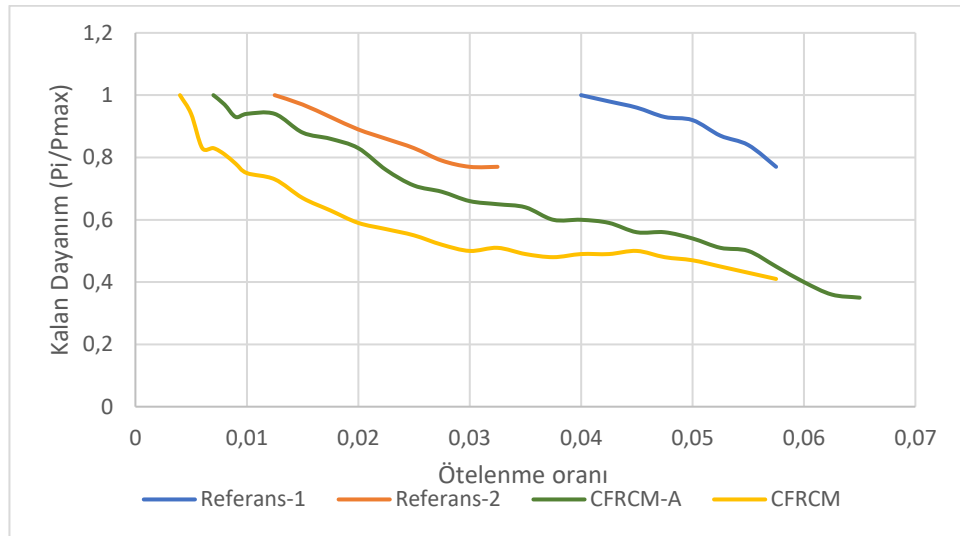
Şekil 4.13. Referans-2 kalan dayanım-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.14. C-FRCM kalan dayanım-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.15. C-FRCM-A kalan dayanım-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.16. Deney numunelerinin kalan dayanım-ötelenme oranı grafikleri

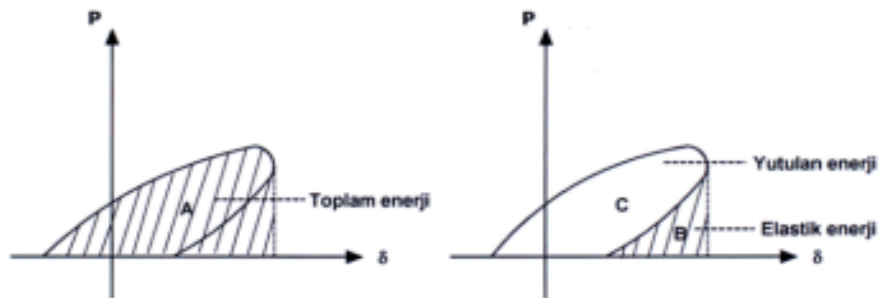
Kalan dayanım açısından güçlendirilen numuneler kıyaslandığında ankrajlı olarak üretilen CFRCM-A numunesi CFRCM numunesine göre daha iyi performans göstermiştir.

4.4. Enerji Yutma

Deney numunelerine, hedeflenen yer değiştirme miktarına ulaşıncaya kadar uygulanan yatay yük miktarının ölçülmesiyle elde edilen yatay yük yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan numuneye uygulanan toplam enerji miktarını verir. Uygulanan yükün boşaltılmasıyla elde edilen yatay yük yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan ise elastik enerji miktarıdır. Sönümlenen enerji miktarının hesabı için toplam enerjiden elastik enerji çıkarılır.

Sönümlenen enerji miktarı hesabında numunelerin taşıdığı maksimum yatay yük değerinin %80'e düştüğü ötelenme oranına kadar olan kısım dikkate alınmıştır.

Yutulan enerji miktarının grafiksel gösterimi Şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Yutulan enerji miktarının grafiksel ifadesi

Tablo 4.5. Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin %80'e düştüğü
ötelenme oranları ve enerji yutma kapasiteleri

Numune	Ötelenme Oranı	Yutulan Enerji (kNm)
Referans-1	0,055	20,11
Referans-2	0,025	3,86
CFRCM	0,01	4,33
CFRCM-A	0,0175	5,22

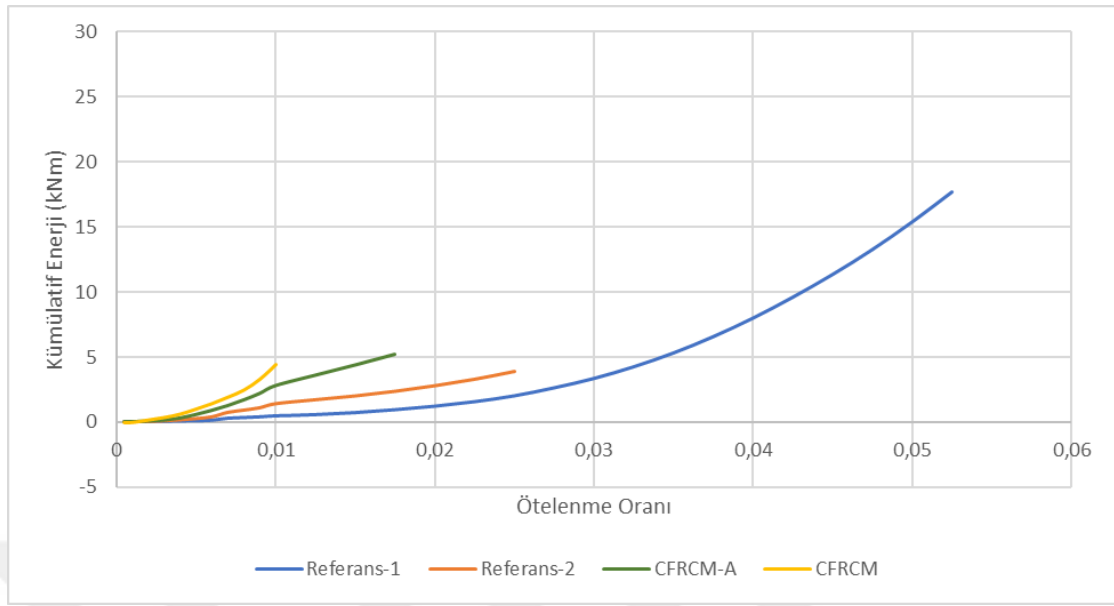
Referans-1 numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,055'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlediği enerji miktarı 20,11 kNm'dir.

Referans-2 numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,025'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlediği enerji miktarı 3,86 kNm'dir.

CFRCM numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,01'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlediği enerji miktarı 4,33 kNm'dir.

CFRCM-A numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,0175'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlediği enerji miktarı 5,22 kNm'dir.

Numunelerin enerji yutma kapasiteleri Şekil 4.18.'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Referans-1, Referans-2, CFRCM ve CFRCM-A numunelerinin enerji yutma kapasiteleri

4.5. Süneklik

Süneklik bir malzeme, bir kesit, bir eleman ya da bir yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme ve tekrarlı yükler etkisinde büyük şekil değiştirmelerle enerji yutabilme özelliğidir. Numunelere ait yük, deplasman ve süneklik değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Tüm numuneler için süneklik değerlerinin karşılaştırılması

Numune Adı	Akma Yüğü (kN)	Deplasman (mm)	Göçme Yüğü (kN)	Deplasman (mm)	Süneklik $\mu_\delta = \delta_u / \delta_y$
Referans-1	67	19,2	58,02	67,2	3,5
Referans-2	86,4	11,52	73,7	25,6	2,2
CFRCM	147	6,4	117,97	19,2	3
CFRCM-A	202,9	7,68	163,7	22,4	2,9

Yapılan çalışma kapsamında deney numunelerinin enerji tüketimi yönünden önemli bir faktör olan süneklik kavramının, varılan sonuçlar ile paralellik gösterdiği görülmüştür. Süneklik kavramı göçme yüküne denk gelen deplasmanın akma yüküne denk gelen deplasmana bölünmesi ile elde edilir. Betonarme çerçeve numunelerin maksimum yatay yük kapasitesinin %80’ine karşılık gelen yük göçme yükü olarak belirlenmiştir.

Betonarme çerçeve numunelerinin yatay yük artışının minimum olduğu noktaya karşılık gelen yük akma yükü olarak belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar karşılaştırıldığında, en yüksek sünekliğe sahip numune Referans-1 numunesidir. Dolgu duvarın örülmesi ile süneklikte düşüş meydana geldiği görülmüştür. Referans 2 numunesine göre CFRCM ve CFRCM-A numunesinin sünekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Uygulanan güçlendirme malzemesinin sünekliği artırdığı gözlemlenerek, yutulan enerji miktarları değişimleri ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.



5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Yapılan deneysel çalışmalarından elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bu bölümde verilmektedir.

Referans-1 numunesinin deney boyunca taşıdığı maksimum yatay yük 70,86 kN, Referans-2 numunesinin taşıdığı yatay yük ise 89,55 kN'dur. Betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi yatay yük taşıma kapasitesini %27 artırmıştır.

CFRCM numunesinin taşıdığı maksimum yatay yük 175,85 kN, CFRCM-A numunesinin taşıdığı maksimum yatay yük 178,5 kN'dur. Sonuçlar kıyaslandığında, dolgu duvarlı çerçeveye yapılan CFRCM uygulaması yatay yük taşıma kapasitesini %96 oranında artırdığı görülmüştür. Dolgu duvarlı çerçeveye beş noktadan ankrajla uygulanan CFRCM uygulaması yatay yük taşıma kapasitesini %99,3 oranında artırmıştır.

CFRCM ve CFRCM-A numuneleri karşılaştırıldığında, numuneye beş noktadan yapılan ankraj uygulamasının yatay yük taşıma kapasitesine önemli bir katkı sağlamadığı görülmüştür.

Numunelerin başlangıç rijitliklerine kıyaslandığında Referans-1 numunesinin başlangıç rijitlik değeri 8,52 kN/mm, Referans-2 numunesinin 20,94 kN/mm, CFRCM numunesinin başlangıç rijitliği 41,48 kN/mm, CFRCM-A numunesinin başlangıç rijitliği ise 42,42 kN/mm'dir. Başlangıç rijitlikleri karşılaştırıldığında betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi başlangıç rijitliğini %146 oranında artırmıştır. Betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi ve CFRCM takviyesi başlangıç rijitliğini %387 oranında artırmıştır. Betonarme çerçeveye tuğla dolgu duvar örülmesi ve beş noktadan ankraj yapılarak CFRCM uygulanması başlangıç rijitliğini %398 oranında artırmıştır.

Numunelerin sönümledikleri enerji miktarları kıyaslandığında, Referans-1 numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,0525'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlendiği enerji miktarı 20,11 kNm'dir.

Referans-2 numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,025'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlendiği enerji miktarı 3,86 kNm'dir.

CFRCM numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,01'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlendiği enerji miktarı 4,33 kNm'dir.

CFRCM-A numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %80'ine 0,0175'lik ötelenme oranında ulaşmıştır ve bu ötelenme oranına kadar sönümlendiği enerji miktarı 5,22 kNm'dir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma da karbon elyaf esaslı FRCM kompozit kullanılmıştır. Benzer deneyler daha kapsamlı bir çalışmada farklı türdeki FRCM malzemeleri için de yapılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanabilir.

Ankrajlı olarak yapılan uygulamada ankraj sayısı artırılarak, ankraj sayısının deneye etkisi araştırılabilir.

Deney düzeneğinde betonarme çerçevenin düzlem dışı hareketini önlemek amacıyla kullanılan kayıcı mafsal yerine, çerçeveye eksenel yük uygulanarak deney çalışma gerçekleştirilebilir.

Deney sırasında numuneye etkiyen itme ve çekme kuvvetleri tek yönden kurulan bir düzenele tek bir hidrolik krik o vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine her iki yönden hidrolik krik o bağlanarak tersinir tekrarlı yüklemenin iki yönden numuneye bağlanan krikolar vasıtasıyla sağlanması deney sağlığı açısından olumlu olabilir.

KAYNAKLAR

- Al-Maliki, A., 2017. Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Hasır Donatı İle Güçlendirilmesinde, Çerçeve Ankraj Çapının Değişiminin Bölme Duvarlı Çerçeve Güçlendirmesine Etkisinin Deneysel Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 125 s.
- Antino T.D., Carozzi F.G., Colombi P. And Poggi C., 2018. Out-of-plane maximum resisting bending moment of masonry walls strengthened with FRCM composites. Volume 202. 881-896.
- Daniela J., Grossman J. and others, 2020. Dynamic Impact Wear And Impact Resistance Of W-B-C Coatings. Volume 27.
- DBYYHY, (2018) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara
- Demirci, T., 2019. Dolgu Duvarlı BA Çerçevesinin Güçlendirilmesinde FRCM Türü Malzemelerin Performansa Katkısının Deneysel Araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 106 s.
- Ebead U., 2017. Frmc Shear Strengthening For Concrete Beams. **Proceedings of International Structural Engineering and Construction 4(1)**.
- Fan W. and Liu B., 2019. Residual Capacity of Axially Loaded Circular RC Columns after Lateral Low-Velocity Impact. **Journal of Structural Engineering 145(6)**.
- Feng R., Li Y., Zhu J.H., Xing F., 2021. Behavior of corroded circular RC columns strengthened by C-FRCM under cyclic loading. Volume 226.
- Incerti A., Tilocca A.R. and Bellini A., 2020. Influence of Matrix Properties on FRCM-CRM Strengthening Systems. **Key Engineering Materials 817:478-485**.
- Lampros N. Koutas¹; Zoi Tetta²; Dionysios A. Bournas³; and Thanasis C. Triantafillou, P.E., 2019. Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review. **Journal of Composites for Construction 23(1)**.
- Ombres L. and Verre S., 2014. Structural behaviour of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) strengthened concrete columns under eccentric loading. **Composites Part B Engineering 75**.
- Özdemir, H., 2008. Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Hasır Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 192 s.

Teknowrap Arglass M355 ve Teknorep 300. Tekno Yapı Kimyasalları Ürün Kataloğu.

https://www.teknoyapi.com.tr/Documents/tekno_urun_katalogu.pdf (Erişim tarihi: Aralık 2021).

Teknowrap Karbon M300 ve Teknorep 300. Tekno Yapı Kimyasalları Ürün Kataloğu.

https://www.teknoyapi.com.tr/Documents/tekno_urun_katalogu.pdf (Erişim tarihi: Aralık 2021)

TS 708, 2016. Çelik - Betonarme için - Donatı çeliği, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12350-1, 2019. Beton-Taze beton deneyleri. Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan aygıtlar, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12390-3, 2019. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri. Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12390-6, 2010. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri. Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü.

Wei L., and others, 2022. Performance of FRCM composites and FRCM-strengthened RC beams subjected to anodic polarization and cyclic loading.

EKLER

A: Betonarme çerçevelere dolgu duvar ilavesinin ve dolgu duvarlı numunelere FRCM ile yapılan güçlendirmenin çerçeve davranışına etkisi

Tablo A.1. Referans-1 numunesinin maksimum yük-yer değiştirme tablosu

REFERANS-1 NUMUNESİ DENEYİ MAKS. YÜK – YER DEĞİŞTİRME							
1. ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	İtme (kN)	Ortalama (kN)	Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Çekme (kN)	Ortalama (kN)
0,0005	0,64	4,7	5,45	-0,0005	-0,64	-6,2	-5,45
0,001	1,28	9,7	9,65	-0,001	-1,28	-9,6	-9,65
0,0015	1,92	13,1	13,05	-0,0015	-1,92	-13,01	-13,05
0,002	2,56	16,7	16,6	-0,002	-2,56	-16,5	-16,6
0,0025	3,2	18,5	18,05	-0,0025	-3,2	-17,6	-18,05
0,003	3,84	21,02	20,63	-0,003	-3,84	-20,23	-20,63
0,0035	4,48	23,1	23,15	-0,0035	-4,48	-23,2	-23,15
0,004	5,12	25,4	25	-0,004	-5,12	-24,6	-25
0,0045	5,76	27,7	27,15	-0,0045	-5,76	-26,6	-27,15
0,005	6,4	29,9	29,01	-0,005	-6,4	-28,13	-29,01
0,0055	7,04	32,3	31,18	-0,0055	-7,04	-30,05	-31,18
0,006	7,68	33,5	32,84	-0,006	-7,68	-32,18	-32,84
0,0065	8,32	36	34,83	-0,0065	-8,32	-33,65	-34,83
0,007	8,96	38,7	37,25	-0,007	-8,96	-35,8	-37,25
0,0075	9,6	40,9	39,1	-0,0075	-9,6	-37,3	-39,1
0,008	10,24	42,4	40,3	-0,008	-10,24	-38,2	-40,3
0,0085	10,88	44,27	41,99	-0,0085	-10,88	-39,72	-41,99
0,009	11,52	46,3	43,95	-0,009	-11,52	-41,6	-43,95
0,0095	12,16	50,1	44,4	-0,0095	-12,16	-38,7	-44,4
0,01	12,8	51,6	45,7	-0,01	-12,8	-39,8	-45,7
0,0125	16	60,9	55,55	-0,0125	-16	-50,2	-55,55
0,015	19,2	67	61,8	-0,015	-19,2	-56,6	-61,8
0,0175	22,4	69,2	64,605	-0,0175	-22,4	-60,01	-64,605
0,02	25,6	72,3	67,5	-0,02	-25,6	-62,7	-67,5
0,0225	28,8	70,6	67,85	-0,0225	-28,8	-65,1	-67,85
0,025	32	73,4	69,9	-0,025	-32	-66,4	-69,9
0,0275	35,2	73,28	70,155	-0,0275	-35,2	-67,03	-70,155
0,03	38,4	72,7	69,95	-0,03	-38,4	-67,2	-69,95
0,0325	41,6	73,6	70,85	-0,0325	-41,6	-68,1	-70,85
0,035	44,8	73,76	70,86	-0,035	-44,8	-67,96	-70,86
0,0375	48	72,4	70,45	-0,0375	-48	-68,5	-70,45
0,04	51,2	71,56	70,57	-0,04	-51,2	-69,58	-70,57
0,0425	54,4	69,9	69,3	-0,0425	-54,4	-68,7	-69,3
0,045	57,6	66,1	67,7	-0,045	-57,6	-69,3	-67,7
0,0475	60,8	64,8	66,05	-0,0475	-60,8	-67,3	-66,05
0,05	64	62,5	64,75	-0,05	-64	-67	-64,75
0,0525	67,2	58,02	61,66	-0,0525	-67,2	-65,3	-61,66
0,055	70,4	53,4	59,3	-0,055	-70,4	-65,2	-59,3
0,0575	73,6	47,8	54,75	-0,0575	-73,6	-61,7	-54,75

Tablo A.2. Referans-2 numunesinin maksimum yük-yer değıştirme tablosu

REFERANS-2 NUMUNESİ DENEYİ MAKS. YÜK – YER DEĞİŞTİRME							
1. ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	İtme (kN)	Ortalama (kN)	Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Çekme (kN)	Ortalama (kN)
0,0005	0,64	11,7	13,15	-0,0005	-0,64	-14,6	-13,15
0,001	1,28	21,8	24,65	-0,001	-1,28	-27,5	-24,65
0,002	2,56	38,7	44,25	-0,002	-2,56	-49,8	-44,25
0,003	3,84	50,3	55,75	-0,003	-3,84	-61,2	-55,75
0,004	5,12	62,4	64,8	-0,004	-5,12	-67,2	-64,8
0,005	6,4	76,4	74,7	-0,005	-6,4	-73	-74,7
0,006	7,68	80	77,8	-0,006	-7,68	-75,6	-77,8
0,007	8,96	82,5	75,75	-0,007	-8,96	-69	-75,75
0,008	10,24	84	77,85	-0,008	-10,24	-71,7	-77,85
0,009	11,52	86,4	81,95	-0,009	-11,52	-77,5	-81,95
0,01	12,8	87,01	83,65	-0,01	-12,8	-80,3	-83,65
0,0125	16	92	89,55	-0,0125	-16	-87,1	-89,55
0,015	19,2	85,9	86,95	-0,015	-19,2	-88	-86,95
0,0175	22,4	79,7	83	-0,0175	-22,4	-86,3	-83
0,02	25,6	73,7	79,4	-0,02	-25,6	-85,1	-79,4
0,0225	28,8	72,1	76,95	-0,0225	-28,8	-81,8	-76,95
0,025	32	72,3	72,75	-0,025	-32	-73,2	-72,75
0,0275	35,2	70,6	70,35	-0,0275	-35,2	-70,1	-70,35
0,03	38,4	68,3	69,15	-0,03	-38,4	-70	-69,15
0,0325	41,6	67,3	68,65	-0,0325	-41,6	-70	-68,65

Tablo A.3. CFRCM numunesinin maksimum yük-yer değıştirme tablosu

CFRCM NUMUNESİ MAKS. YÜK – YER DEĞİŞTİRME							
1. ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	İtme (kN)	Ortalama (kN)	Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Çekme (kN)	Ortalama (kN)
0,0005	0,64	26,4	26,55	-0,0005	-0,64	-26,7	-26,55
0,001	1,28	52,1	52,9	-0,001	-1,28	-53,7	-52,9
0,002	2,56	107,2	104,55	-0,002	-2,56	-101,9	-104,55
0,003	3,84	151,7	154,95	-0,003	-3,84	-158,2	-154,95
0,004	5,12	174,7	175,85	-0,004	-5,12	-177	-175,85
0,005	6,4	147	164,95	-0,005	-6,4	-182,9	-164,95
0,006	7,68	148	145	-0,006	-7,68	-142	-145
0,007	8,96	151,9	145,45	-0,007	-8,96	-139	-145,45
0,008	10,24	145,4	141,55	-0,008	-10,24	-137,7	-141,55
0,009	11,52	140,1	137,05	-0,009	-11,52	-134	-137,05
0,01	12,8	135,5	131,9	-0,01	-12,8	-128,3	-131,9
0,0125	16	128,8	129,45	-0,0125	-16	-130,1	-129,45
0,015	19,2	117,97	118,235	-0,015	-19,2	-118,5	-118,235
0,0175	22,4	113	110,35	-0,0175	-22,4	-107,7	-110,35
0,02	25,6	107,2	103,8	-0,02	-25,6	-100,4	-103,8
0,0225	28,8	99,3	99,95	-0,0225	-28,8	-100,6	-99,95
0,025	32	97,4	96,45	-0,025	-32	-95,5	-96,45
0,0275	35,2	89	92	-0,0275	-35,2	-95	-92
0,03	38,4	87,9	88,65	-0,03	-38,4	-89,4	-88,65
0,0325	41,6	88,8	90,1	-0,0325	-41,6	-91,4	-90,1
0,035	44,8	83,7	86,1	-0,035	-44,8	-88,5	-86,1
0,0375	48	81,8	85,15	-0,0375	-48	-88,5	-85,15
0,04	51,2	83,6	86,4	-0,04	-51,2	-89,2	-86,4
0,0425	54,4	81,7	85,6	-0,0425	-54,4	-89,5	-85,6
0,045	57,6	84,2	87,05	-0,045	-57,6	-89,9	-87,05
0,0475	60,8	83	84,4	-0,0475	-60,8	-85,8	-84,4
0,05	64	81,5	82,65	-0,05	-64	-83,8	-82,65
0,0525	67,2	77,3	78,45	-0,0525	-67,2	-79,6	-78,45
0,055	70,4	79,6	76,2	-0,055	-70,4	-72,8	-76,2
0,0575	73,6	77	72,2	-0,0575	-73,6	-67,4	-72,2

Tablo A.4. CFRCM-A numunesinin maksimum yük-yer değıştirme tablosu

CFRCM-A NUMUNESİ MAKS. YÜK – YER DEĞİŞTİRME							
1. ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	İtme (kN)	Ortalama (kN)	Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Çekme (kN)	Ortalama (kN)
0,0005	0,64	23,5	27,15	-0,0005	-0,64	-30,8	-27,15
0,001	1,28	38,2	44,25	-0,001	-1,28	-50,3	-44,25
0,002	2,56	68,3	74,6	-0,002	-2,56	-80,9	-74,6
0,003	3,84	120	109	-0,003	-3,84	-98	-109
0,004	5,12	159,3	143	-0,004	-5,12	-126,7	-143
0,005	6,4	202,3	168,6	-0,005	-6,4	-134,9	-168,6
0,006	7,68	202,9	176	-0,006	-7,68	-149,1	-176
0,007	8,96	202,3	178,5	-0,007	-8,96	-154,7	-178,5
0,008	10,24	201,4	173,05	-0,008	-10,24	-144,7	-173,05
0,009	11,52	174,4	165,95	-0,009	-11,52	-147,5	-165,95
0,01	12,8	189	167,35	-0,01	-12,8	-145,7	-167,35
0,0125	16	188,3	167,1	-0,0125	-16	-145,9	-167,1
0,015	19,2	168,4	157,2	-0,015	-19,2	-146	-157,2
0,0175	22,4	163,7	152,8	-0,0175	-22,4	-141,9	-152,8
0,02	25,6	159,7	148,85	-0,02	-25,6	-138	-148,85
0,0225	28,8	144,3	135,6	-0,0225	-28,8	-126,9	-135,6
0,025	32	128,6	126,35	-0,025	-32	-124,1	-126,35
0,0275	35,2	128,6	122,45	-0,0275	-35,2	-116,3	-122,45
0,03	38,4	123,2	118,5	-0,03	-38,4	-113,8	-118,5
0,0325	41,6	123,3	116,1	-0,0325	-41,6	-108,9	-116,1
0,035	44,8	119,2	114,35	-0,035	-44,8	-109,5	-114,35
0,0375	48	111	107	-0,0375	-48	-103	-107
0,04	51,2	112,1	107,7	-0,04	-51,2	-103,3	-107,7
0,0425	54,4	113,2	104,5	-0,0425	-54,4	-95,8	-104,5
0,045	57,6	104,9	100,15	-0,045	-57,6	-95,4	-100,15
0,0475	60,8	100,3	99,2	-0,0475	-60,8	-98,1	-99,2
0,05	64	99,2	96,55	-0,05	-64	-93,9	-96,55
0,0525	67,2	93,4	91,4	-0,0525	-67,2	-89,4	-91,4
0,055	70,4	91,2	89,8	-0,055	-70,4	-88,4	-89,8
0,0575	73,6	74	79,85	-0,0575	-73,6	-85,7	-79,85
0,06	76,8	61,8	71	-0,06	-76,8	-80,2	-71
0,0625	80	58,6	65	-0,0625	-80	-71,4	-65
0,065	83,2	54,6	61,8	-0,065	-83,2	-69	-61,8
0,0675	86,4	47,9	54,05	-0,0675	-86,4	-60,2	-54,05

Tablo A.5. Referans-1 numunesinin rijitlik değişimi tablosu

REFERANS-1 RİJİTLİK DEĞİŞİMİ TABLOSU					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	Toplam (kN)	Rijitlik (kN/mm)
0,64	0,0005	4,7	-6,2	10,9	8,52
1,28	0,001	9,7	-9,6	19,3	7,54
1,92	0,0015	13,1	-13,01	26,11	6,80
2,56	0,002	16,7	-16,5	33,2	6,48
3,2	0,0025	18,5	-17,6	36,1	5,64
3,84	0,003	21,02	-20,23	41,25	5,37
4,48	0,0035	23,1	-23,2	46,3	5,17
5,12	0,004	25,4	-24,6	50	4,88
5,76	0,0045	27,7	-26,6	54,3	4,71
6,4	0,005	29,9	-28,13	58,03	4,53
7,04	0,0055	32,3	-30,05	62,35	4,43
7,68	0,006	33,5	-32,18	65,68	4,28
8,32	0,0065	36	-33,65	69,65	4,19
8,96	0,007	38,7	-35,8	74,5	4,16
9,6	0,0075	40,9	-37,3	78,2	4,07
10,24	0,008	42,4	-38,2	80,6	3,94
10,88	0,0085	44,27	-39,72	83,99	3,86
11,52	0,009	46,3	-41,6	87,9	3,82
12,16	0,0095	50,1	-38,7	88,8	3,65
12,8	0,01	51,6	-39,8	91,4	3,57
16	0,0125	60,9	-50,2	111,1	3,47
19,2	0,015	67	-56,6	123,6	3,22
22,4	0,0175	69,2	-60,01	129,21	2,88
25,6	0,02	72,3	-62,7	135	2,64
28,8	0,0225	70,6	-65,1	135,7	2,36
32	0,025	73,4	-66,4	139,8	2,18
35,2	0,0275	73,28	-67,03	140,31	1,99
38,4	0,03	72,7	-67,2	139,9	1,82
41,6	0,0325	73,6	-68,1	141,7	1,70
44,8	0,035	73,76	-67,96	141,72	1,58
48	0,0375	72,4	-68,5	140,9	1,47
51,2	0,04	71,56	-69,58	141,14	1,38
54,4	0,0425	69,9	-68,7	138,6	1,27
57,6	0,045	66,1	-69,3	135,4	1,18
60,8	0,0475	64,8	-67,3	132,1	1,09
64	0,05	62,5	-67	129,5	1,01
67,2	0,0525	58,02	-65,3	123,32	0,92
70,4	0,055	53,4	-65,2	118,6	0,84
73,6	0,0575	47,8	-61,7	109,5	0,74

Tablo A.6. Referans-2 numunesinin rijitlik değişimi tablosu

REFERANS-2 RİJİTLİK DEĞİŞİMİ					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	Toplam (kN)	Rijitlik (kN/mm)
0,64	0,0005	11,9	-14,9	26,8	20,94
1,28	0,001	21,8	-27,5	49,3	19,26
2,56	0,002	38,7	-49,8	88,5	17,29
3,84	0,003	50,3	-61,2	111,5	14,52
5,12	0,004	62,4	-67,2	129,6	12,66
6,4	0,005	76,4	-73	149,4	11,67
7,68	0,006	80	-75,6	155,6	10,13
8,96	0,007	82,5	-69	151,5	8,45
10,24	0,008	84	-71,7	155,7	7,6
11,52	0,009	86,4	-77,5	163,9	7,11
12,8	0,01	87,01	-80,3	167,31	6,53
16	0,0125	92	-87,1	179,1	5,60
19,2	0,015	85,9	-88	173,9	4,53
22,4	0,0175	79,7	-86,3	166	3,71
25,6	0,02	73,7	-85,1	158,8	3,1
28,8	0,0225	72,1	-81,8	153,9	2,67
32	0,025	72,3	-73,2	145,5	2,27
35,2	0,0275	70,6	-70,1	140,7	2,00
38,4	0,03	68,3	-70	138,3	1,8
41,6	0,0325	67,3	-70	137,3	1,65

Tablo A.7. CFRCM numunesinin rijitlik değişimi tablosu

CFRCM RİJİTLİK DEĞİŞİMİ ÇİZELGESİ					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	Toplam (kN)	Rijitlik (kN/mm)
0,64	0,0005	26,4	-26,7	53,1	41,48
1,28	0,001	52,1	-53,7	105,8	41,33
2,56	0,002	107,2	-101,9	209,1	40,83
3,84	0,003	151,7	-158,2	309,9	40,35
5,12	0,004	174,7	-177	351,7	34,35
6,4	0,005	147	-182,9	329,9	25,77
7,68	0,006	148	-142	290	18,88
8,96	0,007	151,9	-139	290,9	16,23
10,24	0,008	145,4	-137,7	283,1	13,82
11,52	0,009	140,1	-134	274,1	11,90
12,8	0,01	135,5	-128,3	263,8	10,3
16	0,0125	128,8	-130,1	258,9	8,09
19,2	0,015	117,97	-118,5	236,47	6,16
22,4	0,0175	113	-107,7	220,7	4,93
25,6	0,02	107,2	-100,4	207,6	4,05
28,8	0,0225	99,3	-100,6	199,9	3,47
32	0,025	97,4	-95,5	192,9	3,01
35,2	0,0275	89	-95	184	2,61
38,4	0,03	87,9	-89,4	177,3	2,31
41,6	0,0325	88,8	-91,4	180,2	2,17
44,8	0,035	83,7	-88,5	172,2	1,92
48	0,0375	81,8	-88,5	170,3	1,77
51,2	0,04	83,6	-89,2	172,8	1,69
54,4	0,0425	81,7	-89,5	171,2	1,57
57,6	0,045	84,2	-89,9	174,1	1,51
60,8	0,0475	83	-85,8	168,8	1,39
64	0,05	81,5	-83,8	165,3	1,29
67,2	0,0525	77,3	-79,6	156,9	1,17
70,4	0,055	79,6	-72,8	152,4	1,08
73,6	0,0575	77	-67,4	144,4	0,98

Tablo A.8. CFRCM-A numunesinin rijitlik değişimi tablosu

CFRCM-A RİJİTLİK DEĞİŞİMİ ÇİZELGESİ					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	Toplam (kN)	Rijitlik (kN/mm)
0,64	0,0005	23,5	-30,8	54,3	42,42
1,28	0,001	38,2	-50,3	88,5	34,57
2,56	0,002	68,3	-80,9	149,2	29,14
3,84	0,003	120	-98	218	28,38
5,12	0,004	159,3	-126,7	286	27,93
6,4	0,005	202,3	-134,9	337,2	26,34
7,68	0,006	202,9	-149,1	352	22,92
8,96	0,007	202,3	-154,7	357	19,92
10,24	0,008	201,4	-144,7	346,1	16,90
11,52	0,009	174,4	-147,5	321,9	13,97
12,8	0,01	189	-145,7	334,7	13,07
16	0,0125	188,3	-145,9	334,2	10,44
19,2	0,015	168,4	-146	314,4	8,19
22,4	0,0175	163,7	-141,9	305,6	6,82
25,6	0,02	159,7	-138	297,7	5,81
28,8	0,0225	144,3	-126,9	271,2	4,71
32	0,025	128,6	-124,1	252,7	3,95
35,2	0,0275	128,6	-116,3	244,9	3,48
38,4	0,03	123,2	-113,8	237	3,09
41,6	0,0325	123,3	-108,9	232,2	2,79
44,8	0,035	119,2	-109,5	228,7	2,55
48	0,0375	111	-103	214	2,23
51,2	0,04	112,1	-103,3	215,4	2,10
54,4	0,0425	113,2	-95,8	209	1,92
57,6	0,045	104,9	-95,4	200,3	1,74
60,8	0,0475	100,3	-98,1	198,4	1,63
64	0,05	99,2	-93,9	193,1	1,51
67,2	0,0525	93,4	-89,4	182,8	1,36
70,4	0,055	91,2	-88,4	179,6	1,28
73,6	0,0575	74	-85,7	159,7	1,08
76,8	0,06	61,8	-80,2	142	0,92
80	0,0625	58,6	-71,4	130	0,81
83,2	0,065	54,6	-69	123,6	0,74
86,4	0,0675	47,9	-60,2	108,1	0,63

Tablo A.9. Referans-1 numunesine ait kalan dayanım tablosu

REFERANS-1 KALAN DAYANIM TABLOSU					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	P _i (ort) (kN)	P _i /P _{max}
0,64	0,0005	4,7	-6,2	5,45	0,08
1,28	0,001	9,7	-9,6	9,65	0,14
1,92	0,0015	13,1	-13,01	13,055	0,18
2,56	0,002	16,7	-16,5	16,6	0,23
3,2	0,0025	18,5	-17,6	18,05	0,25
3,84	0,003	21,02	-20,23	20,625	0,29
4,48	0,0035	23,1	-23,2	23,15	0,33
5,12	0,004	25,4	-24,6	25	0,35
5,76	0,0045	27,7	-26,6	27,15	0,38
6,4	0,005	29,9	-28,13	29,015	0,41
7,04	0,0055	32,3	-30,05	31,175	0,44
7,68	0,006	33,5	-32,18	32,84	0,46
8,32	0,0065	36	-33,65	34,825	0,49
8,96	0,007	38,7	-35,8	37,25	0,53
9,6	0,0075	40,9	-37,3	39,1	0,55
10,24	0,008	42,4	-38,2	40,3	0,57
10,88	0,0085	44,27	-39,72	41,995	0,59
11,52	0,009	46,3	-41,6	43,95	0,62
12,16	0,0095	50,1	-38,7	44,4	0,63
12,8	0,01	51,6	-39,8	45,7	0,64
16	0,0125	60,9	-50,2	55,55	0,78
19,2	0,015	67	-56,6	61,8	0,87
22,4	0,0175	69,2	-60,01	64,605	0,91
25,6	0,02	72,3	-62,7	67,5	0,95
28,8	0,0225	70,6	-65,1	67,85	0,96
32	0,025	73,4	-66,4	69,9	0,99
35,2	0,0275	73,28	-67,03	70,155	0,99
38,4	0,03	72,7	-67,2	69,95	0,99
41,6	0,0325	73,6	-68,1	70,85	1,00
44,8	0,035	73,76	-67,96	70,86	1,00
48	0,0375	72,4	-68,5	70,45	0,99
51,2	0,04	71,56	-69,58	70,57	1,00
54,4	0,0425	69,9	-68,7	69,3	0,98
57,6	0,045	66,1	-69,3	67,7	0,96
60,8	0,0475	64,8	-67,3	66,05	0,93
64	0,05	62,5	-67	64,75	0,91
67,2	0,0525	58,02	-65,3	61,66	0,87
70,4	0,055	53,4	-65,2	59,3	0,84
73,6	0,0575	47,8	-61,7	54,75	0,77

Tablo A.10. Referans-2 numunesine ait kalan dayanım tablosu

REFERANS-2 KALAN DAYANIM TABLOSU					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	P _i (ort) (kN)	P _i /P _{max}
0,64	0,0005	11,9	-14,9	13,4	0,15
1,28	0,001	21,8	-27,5	24,65	0,28
2,56	0,002	38,7	-49,8	44,25	0,49
384	0,003	50,3	-61,2	55,75	0,62
5,12	0,004	62,4	-67,2	64,8	0,72
6,4	0,005	76,4	-73	74,7	0,83
7,68	0,006	80	-75,6	77,8	0,87
8,96	0,007	82,5	-69	75,75	0,85
10,24	0,008	84	-71,7	77,85	0,87
11,52	0,009	86,4	-77,5	81,95	0,91
12,8	0,01	87,01	-80,3	83,65	0,93
16	0,0125	92	-87,1	89,55	1,00
19,2	0,015	85,9	-88	86,95	0,97
22,4	0,0175	79,7	-86,3	83	0,93
25,6	0,02	73,7	-85,1	79,4	0,89
28,8	0,0225	72,1	-81,8	76,95	0,86
32	0,025	72,3	-73,2	72,75	0,81
35,2	0,0275	70,6	-70,1	70,35	0,79
38,4	0,03	68,3	-70	69,15	0,77
41,6	0,0325	67,3	-70	68,65	0,77

Tablo A.11. CFRCM numunesine ait kalan dayanım tablosu

CFRCM KALAN DAYANIM TABLOSU					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (kN)	Çekme (kN)	P _i (ort) (kN)	P _i /P _{max}
0,64	0,0005	26,4	-26,7	26,55	0,15
1,28	0,001	52,1	-53,7	52,9	0,30
2,56	0,002	107,2	-101,9	104,55	0,59
384	0,003	151,7	-158,2	154,95	0,88
5,12	0,004	174,7	-177	175,85	1,00
6,4	0,005	147	-182,9	164,95	0,94
7,68	0,006	148	-142	145	0,83
8,96	0,007	151,9	-139	145,45	0,83
10,24	0,008	145,4	-137,7	141,55	0,81
11,52	0,009	140,1	-134	137,05	0,78
12,8	0,01	135,5	-128,3	131,9	0,75
16	0,0125	128,2	-130,1	129,15	0,73
19,2	0,015	117,97	-118,5	118,235	0,67
22,4	0,0175	113	-107,7	110,35	0,63
25,6	0,02	107,2	-100,4	103,8	0,59
28,8	0,0225	99,3	-100,6	99,95	0,57
32	0,025	97,4	-95,5	96,45	0,55
35,2	0,0275	89	-95	92	0,52
38,4	0,03	87,9	-89,4	88,65	0,50
41,6	0,0325	88,8	-91,4	90,1	0,51
44,8	0,035	83,7	-88,5	86,1	0,49
48	0,0375	81,8	-88,5	85,15	0,48
51,2	0,04	83,6	-89,2	86,4	0,49
54,4	0,0425	81,7	-89,5	85,6	0,49
57,6	0,045	84,2	-89,9	87,05	0,50
60,8	0,0475	83	-85,8	84,4	0,48
64	0,05	81,5	-83,8	82,65	0,47
67,2	0,0525	77,3	-79,6	78,45	0,45
70,4	0,055	79,6	-72,8	76,2	0,43
73,6	0,0575	77	-67,4	72,2	0,41

Tablo A.12. CFRCM-A numunesine ait kalan dayanım tablosu

CFRCM-A KALAN DAYANIM TABLOSU					
1. ÇEVİRİM					
Yer değ. (mm)	Ötelenme Oranı	İtme (Kn)	Çekme (kN)	P _i (ort) (kN)	P _i /P _{max}
0,64	0,0005	23,5	-30,8	27,15	0,15
1,28	0,001	38,2	-50,3	44,25	0,25
2,56	0,002	68,3	-80,9	74,6	0,42
384	0,003	120	-98	109	0,61
5,12	0,004	159,3	-126,7	143	0,80
6,4	0,005	202,3	-134,9	168,6	0,94
7,68	0,006	202,9	-149,1	176	0,99
8,96	0,007	202,3	-154,7	178,5	1,00
10,24	0,008	201,4	-144,7	173,05	0,97
11,52	0,009	184,4	-147,5	165,95	0,93
12,8	0,01	189	-145,7	167,35	0,94
16	0,0125	188,3	-145,9	167,1	0,94
19,2	0,015	168,4	-146	157,2	0,88
22,4	0,0175	163,7	-141,9	152,8	0,86
25,6	0,02	159,7	-138	148,85	0,83
28,8	0,0225	144,3	-126,9	135,6	0,76
32	0,025	128,6	-124,1	126,35	0,71
35,2	0,0275	128,6	-116,3	122,45	0,69
38,4	0,03	123,2	-113,8	118,5	0,66
41,6	0,0325	123,3	-108,9	116,1	0,65
44,8	0,035	119,2	-109,5	114,35	0,64
48	0,0375	111	-103	107	0,60
51,2	0,04	112,1	-103,3	107,7	0,60
54,4	0,0425	113,2	-95,8	104,5	0,59
57,6	0,045	104,9	-95,4	100,15	0,56
60,8	0,0475	100,3	-98,1	99,2	0,56
64	0,05	99,2	-93,9	96,55	0,54
67,2	0,0525	93,4	-89,4	91,4	0,51
70,4	0,055	91,2	-88,4	89,8	0,50
73,6	0,0575	74	-85,7	79,85	0,45
76,8	0,06	61,8	-80,2	71	0,40
80	0,0625	58,6	-71,4	65	0,36
83,2	0,065	54,6	-69	61,8	0,35
86,4	0,0675	47,9	-60,2	54,05	0,30

Tablo A. 13. Referans-1 numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu

1. ÇEVİRİM (İTME)					1. ÇEVİRİM (ÇEKME)					
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Ortalama kümülatif enerji (kNm)
0,0005	0,64	0,00803	-0,00179	0,00624	0,00624	0,00297	-0,00159	0,00138	0,00138	0,00381
0,001	1,28	0,00755	-0,00466	0,00913	0,00289	0,00761	-0,00551	0,00348	0,00210	0,00631
0,0015	1,92	0,0252	-0,0067	0,02763	0,01850	0,01569	-0,01069	0,00848	0,00500	0,01806
0,002	2,56	0,02245	-0,01806	0,03202	0,00439	0,02572	-0,01981	0,01439	0,00591	0,02321
0,0025	3,2	0,03239	-0,02461	0,03980	0,00778	0,02992	-0,0226	0,02171	0,00732	0,03076
0,003	3,84	0,03919	-0,03147	0,04752	0,00772	0,03808	-0,03121	0,02858	0,00687	0,03805
0,0035	4,48	0,05415	-0,04267	0,05900	0,01148	0,04782	-0,03901	0,03739	0,00881	0,04820
0,004	5,12	0,06371	-0,05235	0,07036	0,01136	0,05898	-0,04681	0,04956	0,01217	0,05996
0,0045	5,76	0,07713	-0,06255	0,08494	0,01458	0,06883	-0,05551	0,06288	0,01332	0,07391
0,005	6,4	0,08869	-0,07517	0,09846	0,01352	0,08196	-0,06902	0,07582	0,01294	0,08714
0,0055	7,04	0,10418	-0,08945	0,11319	0,01473	0,09107	-0,07639	0,09050	0,01468	0,10185
0,006	7,68	0,11753	-0,09669	0,13403	0,02084	0,1052	-0,08811	0,10759	0,01709	0,12081
0,0065	8,32	0,13672	-0,11059	0,16016	0,02613	0,11556	-0,097288	0,12586	0,01827	0,14301
0,007	8,96	0,162	-0,13549	0,18667	0,02651	0,13013	0,10853	0,36452	0,23866	0,27560
0,0075	9,6	0,18395	-0,15904	0,21158	0,02491	0,14722	-0,12659	0,38515	0,02063	0,29837
0,008	10,24	0,20243	-0,17854	0,23547	0,02389	0,16592	-0,14247	0,40860	0,02345	0,32204
0,0085	10,88	0,22353	-0,19211	0,26689	0,03142	0,17582	-0,15441	0,43001	0,02141	0,34845
0009	11,52	0,24737	-0,20957	0,30469	0,03780	0,19677	-0,16818	0,45860	0,02859	0,38165
0,0095	12,16	0,31261	-0,26339	0,35391	0,04922	0,17555	-0,15383	0,48032	0,02172	0,41712
0,01	12,8	0,31968	-0,26396	0,40963	0,05572	0,18581	-0,15917	0,50696	0,02664	0,45830
0,0125	16	0,47632	-0,37762	0,50833	0,09870	0,33148	-0,25336	0,58508	0,07812	0,54671
0,015	19,2	0,66848	-0,48719	0,68962	0,18129	0,47459	-0,34135	0,71832	0,13324	0,70397
0,0175	22,4	0,79965	-0,55848	0,93079	0,24117	0,60793	-0,4052	0,92105	0,20273	0,92592

0,02	25,6	0,91439	-0,61885	1,22633	0,29554	0,72881	-0,47674	1,17312	0,25207	1,19973
0,0225	28,8	0,98973	-0,66515	1,55091	0,32458	0,87141	-0,50452	1,54001	0,36689	1,54546
0,025	32	1,13759	-0,70032	1,98818	0,43727	1,00795	-0,55207	1,99589	0,45588	1,99204
0,0275	35,2	1,32901	-0,72595	2,59124	0,60306	1,20208	-0,57795	2,62002	0,62413	2,60563
0,03	38,4	1,43095	-0,72069	3,30150	0,71026	1,31306	-0,57937	3,35371	0,73369	3,32761
0,0325	41,6	1,63145	-0,76022	4,17273	0,87123	1,54163	-0,62078	4,27456	0,92085	4,22365
0,035	44,8	1,80812	-0,75155	5,22930	1,05657	1,70342	-0,63016	5,34782	1,07326	5,28856
0,0375	48	1,98524	-0,74641	6,46813	1,23883	1,90384	-0,64262	6,60904	1,26122	6,53859
0,04	51,2	2,15289	-0,7488	7,87222	1,40409	2,13545	-0,68487	8,05962	1,45058	7,96592
0,0425	54,4	2,26691	-0,69336	9,44577	1,57355	2,32506	-0,67824	9,70644	1,64682	9,57611
0,045	57,6	2,39344	-0,71561	11,12360	1,67783	2,47371	-0,66181	11,51834	1,81190	11,32097
0,0475	60,8	2,55329	-0,71661	12,96028	1,83668	2,69326	-0,69333	13,51827	1,99993	13,23928
0,05	64	2,76493	-0,67878	15,04643	2,08615	2,88755	-0,72232	15,68350	2,16523	15,36497
0,0525	67,2	2,8547	-0,64001	17,26112	2,21469	3,05264	-0,67519	18,06095	2,37745	17,66104
0,055	70,4	2,91575	-0,58493	19,59193	3,50068	3,24488	-0,6705	20,63533	2,57438	20,11363
TOPLAM		33,50133	-13,9094			32,36538	-11,73005			

Tablo A. 14. Referans-2 numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu

1. ÇEVİRİM (İTME)					1. ÇEVİRİM (ÇEKME)					
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Ortalama kümülatif enerji (kNm)
0,0005	0,64	0,00364	0,00238	0,00126	0,00126	0,00527	0,00394	0,00133	0,00133	0,00130
0,001	1,28	0,01452	0,01083	0,00495	0,00369	0,01666	0,01228	0,00571	0,00438	0,00533
0,002	2,56	0,06144	0,04876	0,01763	0,01268	0,07289	0,05309	0,02551	0,01980	0,02157
0,003	3,84	0,10242	0,06365	0,05640	0,03877	0,14859	0,07845	0,09565	0,07014	0,07603
0,004	5,12	0,15755	0,10252	0,11143	0,05503	0,18213	0,09573	0,18205	0,08640	0,14674
0,005	6,4	0,24151	0,14432	0,20862	0,09719	0,21754	0,11409	0,28550	0,10345	0,24706
0,006	7,68	0,29038	0,18894	0,31006	0,10144	0,27929	0,11852	0,44627	0,16077	0,37817
0,007	8,96	0,69034	0,23158	0,76882	0,45876	0,35709	0,12565	0,67771	0,23144	0,72327
0,008	10,24	0,49351	0,29549	0,96684	0,19802	0,30399	0,16707	0,81463	0,13692	0,89074
0,009	11,52	0,50629	0,32333	1,14980	0,18296	0,41871	0,24542	0,98792	0,17329	1,06886
0,01	12,8	0,49998	0,15639	1,49339	0,34359	0,41074	0,12014	1,27852	0,29060	1,38596
0,0125	16	0,71461	0,41535	1,79265	0,29926	0,64691	0,33987	1,58556	0,30704	1,68911
0,015	19,2	0,79383	0,50654	2,07994	0,28729	0,73548	0,43881	1,88223	0,29667	1,98109
0,0175	22,4	0,87216	0,5563	2,39580	0,31586	0,90492	0,51435	2,27280	0,39057	2,33430
0,02	25,6	0,9497	0,5776	2,76790	0,37210	1,03294	0,54804	2,75770	0,48490	2,76280
0,0225	28,8	1,08305	0,62425	3,22670	0,45880	1,12848	0,58589	3,30029	0,54259	3,26350
0,025	32	1,18218	0,63081	3,77807	0,55137	1,26573	0,63283	3,93319	0,63290	3,85563
	TOPLAM	8,65711	4,87904			8,12736	4,19417			

Tablo A. 15. CFRCM numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu

1. ÇEVİRİM (İTME)					1. ÇEVİRİM (ÇEKME)					
Ötelenme Oranı	Yer değ. (mm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Ortalama kümülatif enerji (kNm)
0,0005	0,64	0,00853	0,00415	0,00438	0,00438	0,00761	0,00399	0,00362	0,00362	0,00400
0,001	1,28	0,02648	0,01675	0,01411	0,00973	0,02572	0,01494	0,01440	0,01078	0,01426
0,002	2,56	0,27995	0,09236	0,20170	0,18759	0,26492	0,08476	0,19456	0,18016	0,19813
0,003	3,84	0,39833	0,20239	0,39764	0,19594	0,37983	0,18983	0,38456	0,19000	0,39110
0,004	5,12	0,52931	0,28791	0,63904	0,24140	0,49994	0,27241	0,61209	0,22753	0,62557
0,005	6,4	0,69849	0,32024	1,01729	0,37825	0,71319	0,34264	0,98264	0,37055	0,99997
0,006	7,68	0,81211	0,40211	1,42729	0,41000	0,80337	0,38918	1,39683	0,41419	1,41206
0,007	8,96	0,94475	0,44072	1,93132	0,50403	0,95186	0,46037	1,88832	0,49149	1,90982
0,008	10,24	1,05976	0,49592	2,49516	0,56384	1,06215	0,51199	2,43848	0,55016	2,46682
0,009	11,52	1,27503	0,549938	3,22025	0,72509	1,34013	0,56165	3,21696	0,77848	3,21861
0,01	12,8	1,79564	0,67202	4,34387	1,12362	1,826442	0,73603	4,30737	1,09041	4,32562
	TOPLAM	7,82838	3,484508			7,875162	3,56779			

Tablo A. 16. CFRCM-A numunesine ait enerji yutma kapasitesi tablosu

1. ÇEVİRİM (İTME)					1. ÇEVİRİM (ÇEKME)					
Ötelenme Oranı	Yer değ. mm	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Toplam enerji (kNm)	Elastik enerji (kNm)	Kümülatif enerji (kNm)	Yutulan enerji (kNm)	Ortalama kümülatif enerji (kNm)
0,0005	0,64	0,00985	0,00601	0,00384	0,00384	0,01604	0,01231	0,00373	0,00373	0,00379
0,001	1,28	0,01613	0,01387	0,00610	0,00226	0,0493	0,02782	0,02521	0,02148	0,01566
0,002	2,56	0,0589	0,0391	0,02590	0,01980	0,14783	0,08492	0,08812	0,06291	0,05701
0,003	3,84	0,16632	0,10996	0,08226	0,05636	0,21439	0,11738	0,18513	0,09701	0,13370
0,004	5,12	0,41241	0,28708	0,20759	0,12533	0,35442	0,165	0,37455	0,18942	0,29107
0,005	6,4	0,74478	0,45487	0,49750	0,28991	0,52806	0,27422	0,62839	0,25384	0,56295
0,006	7,68	0,81853	0,50763	0,80840	0,31090	0,73215	0,40219	0,95835	0,32996	0,88338
0,007	8,96	0,9255	0,56059	1,17331	0,36491	0,83762	0,47721	1,31876	0,36041	1,24604
0,008	10,24	1,03388	0,56738	1,63981	0,46650	0,92989	0,51869	1,72996	0,41120	1,68489
0,009	11,52	1,03344	0,54071	2,13254	0,49273	1,02575	0,52741	2,22830	0,49834	2,18042
0,01	12,8	1,21167	0,59039	2,75382	0,62128	1,16871	0,57461	2,82240	0,59410	2,78811
0,0125	16	1,52342	0,71549	3,56175	0,80793	1,397818	0,59285	3,62737	0,80497	3,59456
0,015	19,2	1,47804	0,71434	4,32545	0,76370	1,43336	0,62653	4,43420	0,80683	4,37982
0,0175	22,4	1,59296	0,75554	5,16287	0,83742	1,51585	0,67492	5,27513	0,84093	5,21900
	TOPLAM	11,02583	5,86296			10,35119	5,07606			

ÖZGEÇMİŞ**Adı ve Soyadı: Sinem Rahime BAYRAKTAR**

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2018
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2022
Doktora			
Doç. / Prof.			

Yüksek Lisans Tez Başlığı ve Tez Danışmanı: Yönetmeliklere uygun olarak üretilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin frim türü malzemelerle güçlendirilerek yatay yük taşıma kapasitesininin deneysel olarak incelenmesi. Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR