

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

**DOLGU DUVARLI BA ÇERÇEVELERİN  
GÜÇLENDİRİLMESİNDE FRM TÜRÜ  
MALZEMELERİN PERFORMANSA KATKISININ  
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan  
Taha DEMİRCİ**

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

**Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2019  
KAYSERİ**



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

**DOLGU DUVARLI BA ÇERÇEVELERİN  
GÜÇLENDİRİLMESİNDE FRCM TÜRÜ  
MALZEMELERİN PERFORMANSA KATKISININ  
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan  
Taha DEMİRCİ**

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

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Birimi tarafından FYL-2018-7759 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Eylül 2019  
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.

Taha DEMİRCİ

İmza:



**YÖNERGEYE UYGUNLUK**

**Dolgu Duvarlı BA Çerçevesinin Güçlendirilmesinde Frcm Türü Malzemelerin Performansa Katkısının Deneysel Araştırılması** adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Taha DEMİRÇİ



Danışman

Dr Öğr.Üyesi Hidayet ÖZDEMİR



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A.Alper ÖNER



## KABUL VE ONAY

Dr Öğr.Gör. Hidayet Özdemir danışmanlığında Taha Demirci tarafından hazırlanan “Dolgu Duvarlı BA Çerçevesinin Güçlendirilmesinde Frcm Türü Malzemelerin Performansa Katkısının Deneysel Araştırılması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

.....23.1.09.1...2019

### JÜRİ:

*Hidayet Özdemir*

Danışman : DR ÖĞR.ÜYESİ HİDAYET ÖZDEMİR

*Tamer Dirikgil*

Üye : DR ÖĞR.ÜYESİ TAMER DIRIKGİL

*Ali Bozer*

Üye : DR ÖĞR.ÜYESİ ALİ BOZER

### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 01/10/2019 tarih ve 2019/56-11 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

*Mehmet Akkurt*

01/10/2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Bu proje kapsamında yürütmüş olduğum çalışmalarımnda farklı bakış açıları ile bilimsel katkı noktasında beni aydınlatan, yakın ilgi, alaka ve yardımlarını esirgemeyen ve bu bu çalışmayı nihayete erdirme noktasında önemli katkı sahibi sayın hocam Dr. Öğr. Gör. Hidayet Özdemir, gerek deneysel gerekse teorik aşamalarda yardımını esirgemeyen İnşaat Yüksek Mühendisi Oğuzhan ATAŐ ve her zaman yanımda olup manevi desteğini esirgemeyen eşim, biricik kızım ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.

Taha DEMİRCİ

Kayseri, Eylül 2019

# **DOLGU DUVARLI BA ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE FRCM TÜRÜ MALZEMELERİN PERFORMANSA KATKISININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

**Taha DEMİRCİ**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2019  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hidayet ÖZDEMİR**

## **ÖZET**

Günümüz şartlarında hızlı bir şekilde ilerleme kaydeden teknoloji ve malzeme bilgisi göz önünde bulundurulduğunda inşaat mühendisliği kapsamında mevcut yapıların güçlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanma teknikleri ciddi bir şekilde on plana çıkmaya başlamıştır. Hemen hemen bütün taşıyıcı sistem elemanları için çeşitli güçlendirme yöntemleri bulunmakla birlikte bu yöntemlerin yapı performansına katkıları, ekonomik açıdan uygunlukları ve uygulama teknikleri, tatbik edilecekleri taşıyıcı sistem elemanları için karakteristik özelliklerini belirlemede önemli bir etkidir. Farklı güçlendirme yöntemlerinin etkinliği üzerine pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de deneysel ve analitik çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamdaki çalışmaların bir kısmını betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi konusu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada dört adet tek katlı ve tek açıklıklı olan ½ ölçekli betonarme dolgu duvarlı çerçeve sistemi üretilmiştir. Bu çerçevelerden biri, referans olmak üzere, herhangi bir güçlendirmeye tabi tutulmamış, diğer üçü ise farklı güçlendirme yöntemleri uygulanarak tersinir nitelikli yatay tekrarlanır yük etkisi altında laboratuvar ortamında deneysel olarak irdelenmiştir. Betonarme çerçevelerde düşük basınç dayanımlı beton kullanılmış ve kesit detayları güçlü kiriş, zayıf kolon olacak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte, ankastreliği sağlaması amacıyla, numuneler rijit bir temel üzerine inşa edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bir numunenin bölme duvarı ve çerçeve sistemi normal nitelikli sıva ile güçlendirilmiş, diğer numunenin ise bölme duvarı ve çerçeve sistemi ise FRCM (Fiber Reinforcement Cementitious Matrix) uygulanarak güçlendirilmiş ve bu yöntemlerin betonarme dolgu duvar çerçevelerin davranışına etkileri araştırılmıştır.

Buna göre yapılan deneysel çalışmalar sonucunda gerek rijitlik gerekse dayanım noktasında güçlendirme yapılan numunelerde önemli ölçüde artış meydana geldiği 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**

**Taha DEMİRCİ**

**Erciyes University, Institute of Science and Technology  
Master Thesis, September 2019  
Advisor: Dr. Hidayet ÖZDEMİR**

**ABSTRACT**

Considering the technology and material knowledge that are rapidly progressing in today's conditions, the methods to strengthen existing structures within the scope of civil engineering and the application techniques of these methods have begun to come to the fore. Along with the fact that there are various strengthening methods for almost all structural system elements; their contribution to the building performance, economic suitability and application techniques are important factors in determining the characteristics of the structural system elements to be applied. As in many countries, experimental and analytical studies are being carried out on the effectiveness of different strengthening methods in our country as well and some of them deal with strengthening of reinforced concrete frames.

In this study, four single-storey and single-span,  $\frac{1}{2}$ -scaled, reinforced concrete filled wall frame systems were produced. Whereas one of these frames was not subjected to any reinforcement to be taken as reference, the other three were experimentally examined in the laboratory under the effect of reversible lateral repetitive load by applying different reinforcement methods. Low strength concrete was used in the reinforced concrete frames and the section details were designed as strong beam and weak column. In addition, the systems were constructed on rigid foundations to provide fixed end conditions. In this experimental study, the partition wall and frame system of one sample were reinforced with ordinary plaster, whereas the other one's were reinforced with FRCM (Fiber Reinforcement Cementitious Matrix) and the effects of these methods on the behaviour of reinforced concrete infill walls were investigated.

As a result of these experimental studies, it has been observed that there is a significant increase in the stiffness and strength point of the strengthened samples.

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



## İÇİNDEKİLER

### DOLGU DUVARLI BA ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE FRM TÜRÜ MALZEMELERİN PERFORMANSA KATKISININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

	<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
KISALTMALAR .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xvi
GİRİŞ .....	1

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi .....	2
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	4

## 2. BÖLÜM

### GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Literatür Araştırması .....	6
----------------------------------	---

### 3. BÖLÜM

#### DENEYSEL ÇALIŞMA

<b>3.1. Deney Numunelerinin Genel Özellikleri .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. Malzeme Özellikleri .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.1. Beton.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2. Donatı .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1. Tuğla.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Boyutlar ve Donatı Detayları .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4. Numunelerin İmalatı.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Çerçevelerin Güçlendirilmesi.....</b>	<b>28</b>
<b>3.6. Deney Düzenegi .....</b>	<b>33</b>
<b>3.6.1. Yükleme Prosedürü .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7. Deney Süreci ve Gözlemlenen Emareler .....</b>	<b>37</b>
<b>3.7.1. Boşluklu Çerçeve.....</b>	<b>37</b>
<b>3.7.2. Dolgu Duvarlı Çerçeve.....</b>	<b>40</b>
<b>3.7.3. Karbon Esaslı Matrisli FRCM ile Güçlendirilmiş Tuğla Dolgulu Çerçeve... </b>	<b>46</b>
<b>3.7.4 Cam Elyaf Esaslı Matrisli FRCM ile Güçlendirilmiş Tuğla Dolgulu Çerçeve .....</b>	<b>51</b>

### 4. BÖLÜM

#### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

<b>4.1. Taşınan maksimum yük .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2. Rijitlik değişimi .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3. Kalan dayanım .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4. Enerji yutma .....</b>	<b>65</b>

## 5. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

<b>5.1. Sonuç .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2. Öneriler .....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>87</b>



**KISALTMALAR**

BA: Betonarme

FRCM : Fiber Reinforced Cementitious Matrix

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Polymer

ACI : American Concrete Institute

LP : Lifli polimer

Mpa : Megapascal

LVDT : Linear Variable Displacement Transducer

FRP : Fiber Reinforced Polymer

MR : Mağnetik Rezonans

EMPA : Uluslararası Malzeme Test ve Araştırma Merkezi

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3. 1: Deney numunelerinin fiziksel ve geometrik özellikleri.....	15
Çizelge 3. 2: Beton Karışım Oranları.....	16
Çizelge 3. 3: Beton Numune Özellikleri.....	17
Çizelge 3. 4: Donatı Özellikleri.....	17
Çizelge 3. 5: Tuğla Basınç Dayanımı.....	18
Çizelge 4.1: Deney Numunelerinin Taşıdığı Maksimum Yük.....	56
Çizelge 4.2: Deney Numunelerinin Başlangıç Rijitlik Değerleri.....	60
Çizelge 4.3: Deney Numunelerinin 0.002 ve 0.01 Ötelenme Oranlarındaki Rijitlik Değişimleri.....	61
Çizelge 4.4: Deney Numunelerinin 0.01 Ötelenme Oranlarındaki Kalan Dayanımları.....	64
Çizelge 4.5: Deney numunelerinin maksimum yatay yük kapasitelerinin % 80'ine tekabül eden ötelenme oranları ve enerji yutma kapasiteleri.....	66
Çizelge A.1: Boş Çerçevenin (B) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi.....	73
Çizelge A.2: Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi.....	74
Çizelge A.3: Karbon Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi.....	74
Çizelge A.4: Cam Elyaf Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi.....	75
Çizelge A.5: Boş Çerçevenin (B) Rijitlik Değişimi Çizelgesi.....	76
Çizelge A.6: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Rijitlik Değişimi Çizelgesi.....	77
Çizelge A.7: Karbon Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Rijitlik Değişimi Çizelgesi.....	77
Çizelge A.8: Cam Elyaf Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Rijitlik Değişimi Çizelgesi.....	78
Çizelge A.9: Boş Çerçevenin (B) Kalan Dayanım Çizelgesi.....	79
Çizelge A.10: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Kalan Dayanım Çizelgesi.....	80

Çizelge A.11:Karbon Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Kalan Dayanım Çizelgesi.....	81
Çizelge A.12:Cam Elyaf Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Kalan Dayanım Çizelgesi.....	82
Çizelge A.13: Boş Çerçevenin (B) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi.....	83
Çizelge A.14:Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi .....	84
Çizelge A.15:Karbon Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi .....	85
Çizelge A.16:Cam Elyaf Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi.....	86

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Betonarme çerçevelerin boyutları .....	19
Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin donatı detayları .....	19
Şekil 3.3. Temel kalıplarının hazırlanması .....	20
Şekil 3.4. Temel donatılarının hazırlanması .....	21
Şekil 3.5. Filiz ve bağlantı boşluklu küre bırakılmış temel numuneleri .....	22
Şekil 3.6. Kolon ve kiriş donatı ve kalıplarının hazırlanması .....	23
Şekil 3.7. Betonarme çerçevelerin kalıplarının sökülmüş hali.....	23
Şekil 3.8. Tuğla dolgu duvar uygulanmış numune .....	24
Şekil 3.9. Dolgu duvarın 1.5 cm boşluk bırakılmış dış yüzeyi .....	25
Şekil 3.10. Dolgu duvarın güçlendirme uygulaması yapılacak iç yüzeyi .....	26
Şekil 3.11. Sıva uygulanmış dış yüzey .....	27
Şekil 3.12. Sıva uygulanmış iç yüzey .....	27
Şekil 3.13. FRM uygulanan dolgu duvar ve betonarme çerçeve yüzeyi .....	28
Şekil 3.14. FRM uygulamasının temel ve yan yüzeylerden görünümü .....	29
Şekil 3.15. Temel ve FRM bağlantı detayı.....	29
Şekil 3.16. Karbon fiber matrisli FRM uygulanan numune .....	30
Şekil 3.17. Cam elyaf esaslı FRM uygulanan numune .....	31
Şekil 3.18. Karbon fiber matrisli FRM uygulanan numunenin nihai hali.....	32
Şekil 3.19. Cam Elyaf esaslı matrisli FRM uygulanan numunenin nihai hali .....	33
Şekil 3.20. Numunelerin sabitlendiği duvar ve zemin şeması .....	34
Şekil 3.21. Deney Düzenegi.....	35
Şekil 3.22. Boş çerçeve numunesi.....	36
Şekil 3.23. Dolgu duvarlı numune .....	37
Şekil 3.24. İlk dört döngü sonunda oluşan çatlaklar .....	38
Şekil 3.25. 7'nci döngü sonunda çatlak durumları.....	39
Şekil 3.26. Boş çerçeve yük-deplasman eğrileri .....	40
Şekil 3.27. Üçüncü ve dördüncü döngü sonunda oluşan çatlaklar.....	41
Şekil 3.28. Yedinci döngü sonu görülen çatlaklar .....	42

Şekil 3.29. On ikinci ve on üçüncü döngüde oluşan diagonal çatlaklar .....	42
Şekil 3.30. On yedinci döngü sonunda oluşan deformasyon .....	43
Şekil 3.31. Otuzuncu döngü sonu .....	44
Şekil 3.32. Tuğla dolgulu betonarme çerçeveye ait yük deplasman eğrileri .....	45
Şekil 3.33. Altıncı döngüye kadar meydana gelen çatlaklar .....	49
Şekil 3.34. 1 kolonunda 6 h seviyesinde meydana gelen çatlaklar .....	50
Şekil 3.35. Deney sonunda 1 ve 2 kolonunda düğüm noktasında meydana gelen hasar	50
Şekil 3.36. FRCM-K Yük deplasman eğrileri.....	51
Şekil 3.37. İkinci döngüde meydana gelen çatlaklar.....	53
Şekil 3.38. Temel bindirmelerinde meydana gelen ayrılma .....	54
Şekil 3.39. Dolgu duvarda meydana gelen diagonal çatlaklar .....	54
Şekil 3.40. FRCM-E Yük deplasman eğrileri .....	55
Şekil 4.1. B numunesinin zarf eğrisi .....	57
Şekil 4.2. D numunesinin zarf eğrisi.....	57
Şekil 4.3. FRCM-K numunesinin zarf eğrisi .....	58
Şekil 4.4. FRCM-E numunesinin zarf eğrisi.....	58
Şekil 4.5. B, D, FRCM-K, FRCM-E numunelerinin kıyaslamalı zarf eğrileri .....	59
Şekil 4.6. FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin zarf eğrileri .....	59
Şekil 4.7. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin rijitlik değişimi grafiği .....	62
Şekil 4.8. B numunesinin rijitlik değişimi grafiği.....	62
Şekil 4.9. D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin rijitlik değişimi grafiği.....	63
Şekil 4.10. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin kalan dayanım oranları.....	64
Şekil 4.11. D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin kalan dayanım oranları .....	65
Şekil 4.12. Yutulmuş enerji miktarının grafiksel gösterimi.....	65
Şekil 4.13. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin enerji yutma kapasiteleri .....	67

## GİRİŞ

Büyük bir bölümü Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkemizdeki yapılaşma hızlı bir şekilde gelişmekte ve bu gelişim parçası olan yapıların taşıyıcı sistemleri düşey, yatay ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu aşamada yetersiz nitelikli yapılarda hasar oluşmadan önce gerekli önlemlerin alınması ve taşıyıcı sistemin can ve mal kaybını engelleyecek şekilde kapasitesinin artırılması mühendislik alanında giderek önemini artırmaktadır. Yapıların taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi yetersiz nitelikli yapılar için öncelikli bir çözüm olmakla birlikte son zamanlarda yapılan çalışmalarda taşıyıcı niteliği olmayan dolgu duvar gibi elemanların da güçlendirilmeleri halinde yapıya ve taşıyıcı sistemine olumlu etkileri olduğuna dair bulgulara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada kusurlu yapıları taklit edecek şekilde tasarlanmış ve imal edilmiş betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarına tatbik edilmiş olan güçlendirme yöntemleri (FRCCM) ve bu güçlendirme yöntemlerinin sonuçları deneysel olarak incelenmiştir.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER

### 1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Mühendislik noktasında aktif olarak devam eden yer kabuğu hareketleri ve bunların sonucunda meydana gelen deprem gerçeği ile taşıyıcı sistemlerin maruz kaldığı olumsuz etkileri artırmakta, tasarım aşamasında etkili ve kalıcı çözümler üretmeyi zorunluluk haline getirmektedir. Ülkemizdeki uygulama tekniklerinin dünya standartlarını geç yakalamış olması ve ekonomik ve kültürel yapının hızlı bir şekilde değişim göstermesi sebebiyle bu tehdidin bertaraf edilmesi için gerek tasarımda gerekse uygulamada sağlanması gereken disiplin layıkıyla gerçekleştirilememektedir.

Son elli yıl içerisinde Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1975), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) ve son olarak ta Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) yürürlüğe girmiştir. Bu süreç tasarım ve üretim aşamasında ciddi bir şekilde olumlu etkiler meydana getirmiştir. Lakin otuz yaş ve üzeri yapıların büyük bir çoğunluğunun taşıyıcı sistemleri güncel olmayan yönetmelik ve şartnamelere göre tasarlanmıştır. Bu yapılarda uygulamada kullanılan beton ve donatı detayları genellikle tasarımda öngörülen standartlara ulaşmamaktadır. Bununla birlikte, projeyi yerinde gerçekleştiren işçilerin yasal bir sorumluluğu olmadığı gibi, asgari düzeyde beklenen niteliklere sahip olduğuna dair herhangi bir emare de bulunmamaktadır. Hatta yapıyı tasarım ve uygulama ekibinin, ruhsat ve proje üzerinde yasal sorumluluğu bulunan teknik elemanlar haricinde, kimlerden oluştuğuna dair her hangi bir kayıt bulunmaması sorumluluk noktasında suistimale sebebiyet vermiştir. Bu durum tasarımda öngörülen

deprem yüklerini dahi taşıyacak kapasitesi olmayan, hali hazırda kullanılan ve mülga olan yönetmelik ve şartnamelerin asgari standartlarını dahi sağlayamayan, can ve mal güvenliği noktasında yetersiz nitelikli yapıların inşa edilmiş olabilme olasılığını artırmaktadır.

Yukarıda değinilen hususlar göz önünde bulundurulduğunda, her ne kadar yeni yapılaşma ve kentsel dönüşüm çalışmaları talep edilen kaliteyi yakalasa da, gerek can gerekse mal güvenliği açısından daha önceden inşa edilen ve istenilen asgari nitelikleri taşımayan yapıların hasar görmeyenleri ve kabul edilebilir hasar durumunda olanlarını hızlı bir şekilde rehabilite ederek sosyal yaşam alanındaki bireylerin huzur ve güvenliği sağlama hususu yadrganamayacak bir gerçek haline gelmiştir. Bu amaçla zaman içerisinde çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir ve mevcut yapılaşma örneklerine tatbik edilmiştir. Bu yöntemlerin arasında betonarme taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi hususu yaygın olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar betonarme taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi etkin ve güvenilir bir yöntem olsa da gerek maliyetin bazı durumlarda çok yüksek olması gerekse uygulama aşamasında yapının boşaltılarak bir süre işlevsizleştirilmesi hususları bu yöntemlerin cazibesini azaltmaktadır.

Bir çok ülkede mevzuat gereği tasarımda yapılan hesaplamalarda dolgu duvarların etkisi de dikkate alınmaktadır. Gerek 2007 deprem yönetmeliğinde, gerekse 2018 deprem yönetmeliğinde dolgu duvarların etkisi taşıyıcı sistem hesaplamalarında ağırlıkları haricinde dikkate alınmamaktadır. Bununla birlikte hali hazırda kullanılan betonarme binaların büyük bir çoğunluğu eski deprem yönetmeliklerine göre oluşturulmuş, yadrganamayacak kadar önemli bir kısmı da kaçak olarak plan ve projesiz inşa edilmiştir. Hatta taşrada kolon ve kiriş kullanılmadan döşeme ve dolgu duvarlardan oluşan niteliksiz yapıların sayısı hafife alınmayacak kadar çoktur.

Bunlara ek olarak imara uygun yapılmayan kaçak yapılaşma, yönetmeliklerde belirtilen hususların ihmal edilmesi, imar affı gibi hususlar sonucunda ruhsatı ve tapusu olan ama statik performansı düşük yapıların sayısı gittikçe artmaktadır. Çevresel ve sismik etkiler neticesinde bu nitelikteki yapıların kabul edilebilir sınırlar içerisinde zarar görmeden güçlendirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Dolgu duvarların her ne kadar hesaplamalarda etkileri değerlendirilmese de gerçekte yapı performansına olumlu ve olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların güçlendirilmesinde hasır donatılı sıva, dolgu paneller, karbon fiber esaslı kompozit malzemeler, epoksi, elyaf malzemeler vb. yöntem ve malzemeler kullanılmaktadır. Bu yöntem ve malzemelerden bazıları ekonomik olarak bazıları ise iş gücü olarak ilave külfet oluşturmaktadır.

Son zamanlarda yeni bir yöntem olan FRCC (Fiber Reinforcement Cementitious Matrix) uygulamaları hem tatbik noktasında hem de işlevsellik olarak farklı bir bakış açısı oluşturmaktadır.

### **1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Tasarımdaki teknik ve yöntemlerin her geçen gün üstüne koyarak büyümesi, bilgisayar teknolojisi sayesinde çok büyük yapıların dahi kısa sürede sorunsuz olarak çözümlenmesi, malzeme ve teknolojinin nerede ise takip edilemeyecek kadar hızlı bir şekilde gelişmesi her ne kadar olumlu bir etken olsa da, uygulamada aynı nitelikleri yakalamak öngörüldüğü şekilde gerçekleşmemektedir.

Uygulamada iş gücünün yasal sorumluluğunun olmaması, kullanılan malzemelerin niteliklerinin göz ardı edilmesi, üreticinin teknik kökenli olmaması, denetleme mekanizmasının yetersiz kalması ve etik değerlerden ziyade kar odaklı bakış açısı suistimali artırmakta, kalitesi düşük yapılaşmaya zemin hazırlamaktadır.

Gelinen son noktada teknik elemanların sorumluluğu daha da artmakla birlikte kabul edilebilir, ekonomik ve uygulaması kolay güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi önemli bir unsur olmaya başlamıştır.

Bu çalışmada yapı elemanlarından olan dolgu duvarların güçlendirme yöntemleri arasında olan ve henüz yeni sayılan FRCC yönteminin diğer hasır donatılı sıva yöntemleri ile kıyaslanması yapılacak ve daha önceden aynı nitelikli numunelere yapılan bu çalışmadaki numunelere tatbik edilecek olan deneysel çalışmalar değerlendirilmiş ve mukayese edilmiştir.

Oluşturulan çerçeve sistemleri ½ ölçekli olup 4 adet numuneden meydana gelmektedir. Bu betonarme çerçeveler aynı ölçülerde tasarlanmış, kullanılan malzemeler ise her çerçeve için tatbik bölgelerinde aynı niteliktedir (dolgu tuğla duvar, beton, çelik, sıva).

Deney numuneleri uygulamada kusurlu olarak imal edildiği varsayılan kesit unsurları göz önünde bulundurularak tasarlanan, beton sınıfı düşük, zayıf kolon güçlü kiriş düzensizliğine haiz rijit olarak öngörülen betonarme temel üzerine teşkil edilmiş bir katlı ve bir açıklıklı sistemden oluşmaktadır.

Çerçevelerden birincisi boş dolgu duvarsız referans numune, ikincisi dolgu duvarlı numune ve diğer ikisi ise farklı FRCM yöntemleri ile güçlendirilecek ve oluşan deney sonuçları irdelenmiştir.

## 2. BÖLÜM

### GEREÇ VE YÖNTEM

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. Literatür Araştırması

Whitney, Anderson ve Cohen [1], Yapıların patlama yükleri altındaki dayanımların araştırıldığı ilk çalışmalardan olduğu bilinen, 1949 yılında ilk olarak Amerikan Ordusu için , dolgulu çerçeveler başlığı altında yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını 1955 yılındaki bir makale ile yayınlamak literatürdeki yerlerini almışlardır. Bu çalışma ile araştırmacılar dolgulu çerçevelerin, çerçevenin dayanımının ve rijitliğinin artırılmasında rol oynadığını kanıtlamışlardır. Aynı çalışma ile çerçevenin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi halinde dayanımının ve rijitliğin, çerçevesiz durumun karşısında 20 katına kadar çıkabileceğini ölçümlemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada tek katlı dolgulu çerçevelerin yataydaki yer değişimlerini ölçümlemek amacıyla kiriş teorisinden yola çıkarak ampirik bir formülasyondan yararlanıldığı belirtilmiştir. Eğilme etkilerinin yatay yük etkisindeki betonarme dolgulu çerçevede, çerçeve ve dolgu malzemeleri tarafından, kesme etkisinin ise sadece betonarme dolgu tarafından taşınacağı varsayılmıştır. [1]

Benjamin ve Williams [2], Boşluklu dolgulu çerçevelerin davranış ve deformasyon şekillerini incelemiş ve bu çerçevelerin hareketlerindeki farklılıkların tahmin edilebileceğini savunmuşlardır. Araştırmalarında, eğilme, eksenel deformasyon ve kayma etkilerinin böyle bir çalışmada dikkate alınmasının elastik bölgede uygulanacak mukavemet prensipleri ile tasarım adına yeterli derecedeki hassasiyette sonuçların elde

edilebileceğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, her parçanın ayrı ayrı perdeler şeklinde düşünülerek, toplam dayanımın dayanımların toplamına eşit olacağını belirtmişlerdir.

Smith [3], araştırmasında eksenel yük uygulanmış çelik çerçevenin yatay yük altındaki davranışları hakkında bilgi vermiştir. Çerçevenin eksenel yük dayanımının yarısı kadar olacak şekilde düşey yükün düzgün yayılı uygulanması sonucunda göçme şeklinin salt yatay yük uygulandığı durumdaki şekil ile benzerlik gösterdiği ve en önemlisi çerçeve dayanımının ve buna bağlı olarak rijitliğin arttığına tespiti de yapılmıştır. Aynı çalışmada eksenel yük kapasitesinin yarısını aştığında düşey yükün kapasitesi azalmış, yük kapasitesi kadar eksenel yük kullanıldığında ise sifıra düştüğünün tespitine yer verilmiştir.

Ersoy ile Uzsoy [4], tek açıklıklı 9 adet tek katlı betonarme dolgulu çerçeve üzerinde deneylerini gerçekleştiren araştırmacılar, iki katlı olarak inşa edilen çerçevelerin orta noktasından tekil yükleme şeklinde numunelere uyguladıkları deneyde monoton artan yatay yükleme yapılarak, tek katlı yapı davranışı elde etmişlerdir. Sonuç olarak dolgulu yatay yük kapasitesinin artarak 7 katına çıktığı ve yer değiştirme kapasitesinde de azalma gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmaya ayrıca, iki ucu mafsallı basınç çubuğuna ait geometrik özellikleri belirlemekle birlikte, bu basınç çubuğunu kullanılarak betonarme dolgunun modellenmesi ve analiz edilmesine dair birtakım öneriler sunmuşlardır.

Klingner ve Bertero [5], ilk olarak çıplak çerçeve deneyi ile sonrasında dolgu duvarlı deney uyguladıkları, kendileri tarafından yapılan 11 katlı bir yapının 3 katının 1/3 ölçekli modelleri üzerinde uygulamışlardır. Çıplak çerçeveye nazaran, dolgulu çerçevenin rijitliğinin 5 katı olduğu, yatay yük taşıma kapasitesinin de 6 katına çıktığı görülmüştür.

Liau [6], çelik çerçevelerde betonarme dolgu duvarların içinde yer alan boşluklar ve kesme bağlantılarının, dinamik yatay yükler altında, sistemin rijitliğine ve dayanımına etkisini incelemiştir. Kesme bağlantılarının dayanım ve rijitliği artırdığı lakin boşlukların sistemin dayanımını büyük oranda azalttığı bulgusuna ulaşmıştır. Dolguda kesme bağlantıları olmadığına diagonal basınç kırılmaları meydana gelmiştir. Boşluklu dolguda kesme bağlantıları bulunmadığında ise boşluğun üstündeki kirişte eğilmeden

kaynaklı hasarlar, sisteme kesme bağlantıları eklendiğinde ise boşluğun üstündeki kirişte kesmeden kaynaklı hasarlar meydana gelmiştir.

Yüzügüllü [7], tek katlı tek açıklıklı betonarme prefabrik panellerle güçlendirilmesi deneyinde, çerçeve kiriş seviyesinden itilmiştir. Yapının maruz kaldığı düş yük olmamış, deney hasarlı ve hasarsız çerçevelerde yapılmıştır. rijitliğin çıplak çerçeve rijitliğine oranla 1.3 ila 2.9 kat artış gösterdiği, 7 ila 9 kat kadar ise yatay yük dayanımının, çıplak çerçeve dayanımına ulaştığı belirtilmiştir. Panel sayısındaki artışla enerji miktarındaki artışa etkisi olduğu, panel-kolon bağlantısının olmasının göçme şeklini etkilemediği görülmüştür. İlgili deneyde rijitlik artışının hasarlı olup güçlendirilen çerçevelerde, hasarsızken güçlendirilenlere göre %60 kadar daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Higashi vd [8], 1979 ve 1981 yıllarında gerçekleştirdiği iki ayrı deney serisinin sonuçlarını 1982 de yayınlayan araştırmacı, 3 katlı betonarme çerçeveler üzerinde tek açıklıklı ve iki açıklıklı çerçevelerde bu deney serisini gerçekleştirmiştir. Tek açıklıklı, iki açıklıklı çerçevelerde gerçekleştirilen farklı zamanlardaki deneylerde bir numune çıplak çerçeve, bir numune sonradan ilave edilmiş betonarme dolgulu çerçeve, bir numune kolonlara bitişik kısmi perdeler ilave edilmiş çerçeve, son numune ise bir döküm betonarme perdeli sistem olarak tasarlanmıştır. İlgili deneylerin sonucu olarak çıplak çerçeve ile perde ilave edilerek güçlendirilmiş çerçeveler arasında bir açıklıklı numunelerde 66 kN, iki açıklıklı numunelerde 94 kN fark bulunmuştur. Deney kapsamında özetle, tek açıklıklı çerçevelerde bir dökümlü ve sonradan dökülen perde duvarların davranışlarının birbirine yakın olduğu, iki açıklıklılarda ise farklı davranışlar olduğu gözlemi belirtilmiştir.

Sugano [9], Japon araştırmacılara ait deneylerin sonuçlarını özetleyen raporunda, bağlantı detaylarının uygun olması şartı ile, betonarme dolgularla güçlendirilen çerçevelerin döküm perdeler gibi etkili oldukları çıkarımını yapmıştır. Aksine iyi süneklik gösteren prefabrik dolgu panellerinin ise düşük dayanıma sahip olduklarının çıkarımını yapmıştır. Dah sonradan yapılan kolonlara komşu kısmi perdelerin dökümlü olanlar iyi sonuçlar verdiğini bahsetmiştir. O tarihlerde sık rastlanmayan çelik (X, K ve  $\diamond$ ) çaprazlı çerçeve deneylerinden ise çelik çaprazla güçlendirme ile dayanımda ortalama olarak artış görüldüğünden de bahsetmiştir.

Govindand vd [10], dayanım, enerji tüketim kapasitesi ve süneklik bakımından dolgu duvarlı çerçeve davranışını tekrarlanan tersinir yükler konusunda yaptığı deneysel çalışmalar ile 7 katlı çerçeve yapıda incelemelerde bulunmuştur.

Altın [11], tek açıklıklı iki katlı 1/3 ölçeğinde dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir yatay yük etkisi altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Sistemde kullanılan betonarme dolgu duvar 1975 Deprem Yönetmeliğine göre teşkil edilmiş olup; betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı elemanlarının iyi teşkil edildiği düzeneklerde sistemin rijitliğinin arttığı, eksenel yük seviyesi ve kolonların dayanımında ki artışın sistemin davranışını olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Bush vd [12], çalışmasında zayıf kolon güçlü kiriş düzensizliğine sahip süneklik düzeyi düşük olan betonarme sistemlere iki güçlendirme yöntemi uygulamıştır. Birinci yöntemde sistem yüksekliğince kolonlara kısmi perdeler bağlanmış ve göçme modu kolon hasarından kiriş hasarına dönderilmiştir. Sistemin dayanım ve rijitliğinde artış meydana gelmiştir. İkinci yöntemde ise sistem dışarıdan eklenen X çaprazlar ile güçlendirilmiştir. Sistemin yatay yük taşıma kapasitesini çaprazların akma ve burulma kapasiteleri belirlemiştir. Bu güçlendirme yöntemi de dayanım ve rijitliği olumlu yönde etkilemiştir.

Mehrabi vd [13], çalışmada tek katlı tek açıklıklı ½ ölçekli betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisi araştırılmıştır. Rüzgar yüküne göre ve deprem yüküne göre tasarlanmış olan betonarme çerçevelere tuğla dolgulu ve boşluklu tuğla dolgulu duvarlar tatbik edilerek davranışları gözlemlenmiştir. Kuvvetli çerçeve kuvvetli dolgu kombinasyonunun, zayıf çerçeve zayıf dolgu kombinasyonuna göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Zayıf çerçeve kuvvetli dolgu, ayıf çerçeve zayıf dolgu kombinasyonundan daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak görelî ötelenme seviyesi % 1'e ulaştıktan sonra kolonlarda kesme hasarı meydana gelmiştir. En gevrek nitelikli olan numunelerde bile görelî ötelenme seviyesi % 2'lere ulaşmıştır.

Gilmore vd [14], çalışmasında süneklik seviyesi düşük dolgu duvarlı betonarme çerçevelere ard gerilmeli çelik çaprazlarla güçlendirme uygulamıştır. Sistemin rijitlik ve dayanımının arttığı ve plan ve düşeyde bulunan yetersizliklerin giderildiği görülmüştür. Kullanılan güçlendirme sisteminin az katlı ve orta katlı bodur binalarda daha uygun

olacağı belirtilmekle birlikte, uzun vadede sistemin performansı ve sıcaklık farkı ile çelik çaprazlardaki gerilme gevşeme ve beton ile dolguda meydana gelen sünme gibi etkilerin meydana getireceği öngerme kayıpları ile ilgili detaylı çalışmalara ihtiyaç olduğu hususlarına da değinilmiştir.

Humay ve Durrani [15], tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçevelerin pomza taşından hafif beton dolgulu paneller ile güçlendirilmesini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda sistem dayanımı ve rijitliğinde ciddi artışların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dikdörtgen delikli panellerin diğerlerine kıyasla daha iyi performans sergilediği ve boşluklar arasındaki diagonal donatıların akma dayanımını artırdığını ve betonun dağılmasını geciktirdiğini gözlemlemişlerdir.

Celep ve Gencoğlu [16], bölme duvarların betonarme çerçevelerde yatay yük taşıma kapasitesindeki etkilerini incelemişlerdir. Az katlı betonarme binaların bölme duvarlarının hasır çelik ve beton tabakalar eklenerek sünek duruma getirilebileceği, muhtemel oluşabilecek düzensizliklerin önlenmesi amacıyla bölme duvarların üst üste olması ve çerçeveyi doldurmasının daha uygun olacağı vurgusu yapılmıştır.

Canbay [17], 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerde betonarme perde dolgu duvarlar ile güçlendirme yapmış ve rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerinin ciddi bir şekilde arttığını gözlemlemiştir.

Kaltakçı ve Köken [18], çelik çerçeve sistemlerinin tuğla dolgu duvar, tuğla dolgu duvar ve sıva ve gaz beton dolgu duvar ile güçlendirilmeleri sonucunda yatay tersinir yük etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Dolgu duvarların göçme şekilleri, dayanım zarfları, rijitlik ötelenmeleri ve enerji yutma kapasitelerini değerlendirmişlerdir.

Özcebe vd [19], yapılan çalışmada 7 adet iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçeğinde numune üretmiştir. CFRP güçlendirmesi uygulayarak sistemin gelişimini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda CFRP'li dolgu duvar sistemlerinin dayanımında artış gözlemlenmiş lakin rijitlikte önemli kayda değer olumlu bir değişim gözlemlenmemiş, maksimum rijitlik artışının % 34 olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda CFRP elemanlarının sisteme iyi ankre edilmesi durumunda daha verimli sonuçlar alınabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Kenetlenmenin yetersiz olduğu

kısımlarda yapılan CFRP sargılarının sisteme olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda CFRP güçlendirmenin betonarme perde duvar kadar etkili olmadığı ve göçme aşamasında daha gevrek davrandığı sonucuna varmışlardır.

Türk vd [20], araştırmacılar tek açıklıklı, 1/3 ölçekli ve 2 katlı olarak ürettikleri numunelerde betonarme dolgu malzemelerinin sistemin davranışına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerini hasarsız sistemlerde yürüttükleri gibi, sistemdeki hasar düzeyinin müdahale sonrasında sisteme olan etkilerini araştırmışlardır. Hasarlı betonarme çerçevelere eklenen dolguların sisteme 9 ila 14 kat olumlu etkisinin olduğunu ve rijitlik artışının 13 ila 24 kat daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Çerçeve beton dayanımının sistemin dayanımına etkisinin olmadığı lakin ankraj davranışına olumlu yansıdığı ve kolonlardaki boyuna donatı miktarının da sistemin davranışına olumlu etkilerinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Ankraj amacıyla kullanılan malzemenin ve işçilik kalitesinin ankraj davranışına doğru orantılı olarak yansıdığı hususunu belirtmişlerdir.

Perera vd [21], araştırmacılar yığma dolgu duvarlı betonarme sistemlerde yığma duvar yerine K çelik çaprazlar tatbik ederek sistemin davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan güçlendirmede K çelik elemanlar kirişe kesme bağlantıları ile bağlanmış, kullanılan bağlantı malzemeleri sönüm kapasitesi yüksek olarak tasarlanmış ve sistemin sönüm oranını ciddi bir şekilde artırmıştır. Araştırmacılar yaptıkları analitik çalışmalarında sistem için yeni bir nümerik model oluşturmuş ve aldıkları sonuçların deneyler ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuvar vd [22], araştırmacılar orta hasarlı betonarme sistemlerde dolgu duvar etkilerini incelemişlerdir. Üretilen beş adet tek açıklıklı iki katlı ve 1/3 ölçekli numuneyi sistemde orta ölçekli hasar oluşana kadar tekrarlanır tersinir yük etkisi altına bırakmışlardır. Hasarlı numuneleri betonarme dolgu duvar ile güçlendirmiş ve yeniden tekrarlanır tersinir yük uygulamış, betonarme dolgunun sistemin dayanımını 10 ila 24 kat daha fazla artırdığını gözlemlemişlerdir. Çerçevadaki ankraj sayısının miktarının ve kenetleme boyu yetersizliğine karşı alınan önlemlerin sisteme olumlu yansıdığını gözlemlemişlerdir.

Baran [23], araştırmacı çalışmasında dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin prefabrik paneller ile güçlendirilmesini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Panelleri duvara

epoksi ile yapıştırılmış, çerçeveye epoksi ankraj kullanmış ve paneller arasını epoksi ile doldurarak farklı boyutlu güçlendirme sistemleri oluşturmuştur. Deneyler sonucunda numunelerin kapasitelerinin 2,5 kat arttığı ve rijitliğin ise 3 kat arttığı görülmüştür. Analitik çalışmada ise panel sistemi eşdeğer çapraz çubuk ve eşdeğer kolon olarak ayrı ayrı tanımlanmış ve eşdeğer çapraz çubuk modellemesinin daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ohmura vd [24] araştırmacılar tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveleri ötelenmesi engellenmiş çelik çapraz elemanlar ile güçlendirme sistemini betonarme çerçeveye ankre etmeden oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda olumlu verilere ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Kaltakçı ve Yavuz [25] araştırmacılar yetersiz doatı oranına sahip, tasarımda kusurlu, iki katlı iki açıklıklı ve 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerin orta kolonunun her iki tarafının kısmi betonarme çerçeveler ile güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda sistemin kapasitesinin % 300 oranında arttığı ve yer değiştirme oranının ise yarıya düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Albanesi vd [26], araştırmacılar tam ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçevelerin boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlar ile güçlendirilmesini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda 0,55 g ivme seviyelerine ulaşılmış ve boşluksuz dolgulu sistemlerin diğerlerine nazaran daha verimli davrandığını belirtmişlerdir.

Kara ve Altın [27], 3 açıklıklı ve 2 katlı betonarme çerçevelerin kısmi betonarme perdeler ile güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Dolgudaki boşluk miktarının dayanımla doğru orantılı olduğu, boşluksuz dolgu olan sistemlerde dayanımda yaklaşık 7 kat artış ve rijitliğin ise 30 kat arttığı gözlemlenmiştir.

Anıl ve Altın [28], tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçevelerin kısmi betonarme perdeler ile güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarda kısmi perdelerin sistemin rijitliğini yaklaşık % 300 oranında artırdığı, tam dolgulu çerçevelerin rijitliğinin ise kısmi perde dolgulu çerçevelere nazara yaklaşık 2,5 kat arttığı gözlemlenmiştir. Pencere boşluklu sistemlerde kısa kolon davranışı gözlemlenmekle birlikte, boşluksuz sistemlerin pencere boşluklu sistemlere göre dayanımının % 28 daha

fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kısmi perdeli sistemler genelde gevrek davranış sergilemiş, kısmi perdelerin kolon ve kirişe bağlandığı durumlarda ise rijitlik ve dayanımda olumlu davranışlar gözlemlenmiştir.

Marjani [29], tek açıklıklı ve iki katlı betonarme tuğla dolgulu sistemlerin deneysel olarak araştırmıştır. Tuğla dolgunun sistemin dayanımını yaklaşık % 200 artırdığı, duvar üstüne yapılan sıvanın dayanımı ilave % 60 artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıvanın dolgudaki çatlakları geciktirmesi sebebiyle süneklığe olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Güney ve Boduroğlu [30], yapılan analitik çalışmalarda yapının rijitliğinde dolgu duvarların davranışının dikkate alınmadığı ancak deprem etkisi altında yapının davranışına etkilerinin olduğu hususlarına değinmişlerdir. Dolgu duvarların etkilerini incelemek amacıyla seçilen farklı modellerdeki sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışlarını değerlendirmişlerdir. Yapılan analitik çalışmada yapı dinamik tepki parametrelerini karşılaştırarak duvarların taşıyıcı sistemdeki dinamik ötelenme ve burulma davranışlarına etkilerini değerlendirmişlerdir.

Özdemir [31] kusurlu yapıları temsilen rijit temel üzerine üretilen tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri tuğla dolgu duvar yüzeyine tatbik edilen hasır donatılı sıva ve normal sıva ile güçlendirilmiş ve sistemin davranışını deneysel olarak araştırmıştır. Ayrıca analitik olarak yapmış olduğu çalışmaların neticesinde elde ettiği veriler ile deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiği verileri değerlendirmiştir.

## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1. Deney Numunelerinin Genel Özellikleri

Yürütülen bu çalışmada dört adet tek katlı, tek açıklıklı, rijit temel üzerine inşa edilmiş ½ ölçekli betonarme çerçeveler üretilmiştir. Bu numuneler hali hazırda kullanılan üretim veya tasarım aşamasında kusurlu olarak oluşturulan betonarme yapıları temsilen oluşturulmuştur. Bazı numunelere uygulaması kolay, yaygın olmayan ve yeni bir güçlendirme yöntemi olan FRCM yöntemleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada betonarme çerçevelerdeki dolgu duvarlara karbon ve cam elyaf esaslı FRCM uygulanarak yatay tersinir yük etkisi altındaki davranışları mukayese edilmiştir.

Deneylede kullanılan dört adet numune için beton sınıfı, donatı özellikleri, tuğla dolgu duvar ve sıva özellikleri ile çerçeve boyutları aynı nitelikte tasarlanarak imalatlar gerçekleştirilmiştir.

Üretilen bu dört adet numunenin plan ve kesitleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de sunulmuş ve genel özellikleri ise Çizelge 3.1’de detaylı olarak verilmiştir. Betonarme çerçevelerde kullanılan beton karışım oranları Çizelge 3.2’de verildiği gibi hazırlanan beton numunelerinin karakteristik özellikleri Çizelge 3.3’de sunulduğu gibidir. Karakteristik parametreleri Çizelge 3.4’te sunulan ve çerçevelerde kullanılan donatıların plan ve kesit detayı Şekil 3.2’de sunulduğu gibidir.

Araştırmada kullanılmak üzere üretilen numunelerden biri boş betonarme çerçeveden oluşan referans numunesi olarak üretilmiş olup diğer numunelerde dolu duvar için

kullanılan tuğlanın özellikleri Çizelge 3.5’te, harcın özellikleri ise Çizelge 3.6’da sunulduğu gibidir. Dolgu duvar yüzeyine tatbik edilen sıvanın özellikleri ise Çizelge 3.7’de sunulmuştur. Üretilen ikinci numune referans numuneye ilaveten yukarıda nitelikleri verilen dolgu duvar ilave edilerek oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan üçüncü numune dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerine özellikleri Çizelge 3.8’de sunulan karbon esaslı FRCM matris ve sıvadan ve dördüncü numune ise yine dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerine özellikleri Çizelge 3.9’da sunulan cam elyaf esaslı FRCM matris ve sıvadan oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1: Numunelerin Genel Özellikleri

Numune No	Numune Adı	Numune Özellikleri	Çerçeve Boyutları m x m	Dolgu Duvar Boyutları m x m
1	B	Boş Çerçeve	2.10 x 1.45	1.70 x 1.20
2	D	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva	2.10 x 1.45	1.70 x 1.20
3	FRCM-K	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva + FRCM Karbon Esaslı Matris ve Sıvası	2.10 x 1.45	1.70 x 1.20
4	FRCM-E	Boş Çerçeve + Tuğla Dolgu Duvar + Sıva + FRCM Cam Elyaf Esaslı Matris ve Sıvası	2.10 x 1.45	1.70 x 1.20

### 3.2. Malzeme Özellikleri

Bu deneysel çalışmada  $\frac{1}{2}$  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.

#### 3.2.1. Beton

Bu çalışmada üretilen betonarme çerçevelerdeki ağırlıkça çimento, kum, mıcır ve su oranları [31], Çizelge 3.2’de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 3.2 : Beton Karışım Oranları

	Çimento	0-7 Kum	0-6 Mıcır	6-16 Mıcır	Su	Toplam
Ağırlıkça (kg/m <sup>3</sup> )	200	587	498	925	165	2375
%	8.42	24.71	20.97	38.95	6.95	100

Temel, kolon ve kiriş elemanlarında alınan 15 x30 ebatlı silindir numunelerin 28 günlük kırılma yükü, basınç dayanımı ve elastisite modülü Çizelge 3.3’te sunulmuştur.

Çizelge 3.3 : Beton Numune Özellikleri

	Numune Şekli	Numune Boyutları (cm)	Kırılma Yüğü (kgf)	Kırılma Yüğü (kN)	Numune Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Temel	Silindir	15 x 30	46119	452.3	26.2	-
Çerçeve (28 günlük)	Silindir	15 x 30	23261.3	228.1	13.3	12837

### 3.2.2. Donatı

Deney numunelerinde kullanılan ve Şekil 3.2’de detayları sunulan betonarme elemanların donatılarının özellikleri Çizelge 3.4’te sunulmuştur.

Çizelge 3.4 : Donatının Özellikleri

	Çap	Kütle (kg/m)	Boy (m)	Ağırlık (kg)	Akma (N)	Çekme (N)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzun. (%)
Kolon	10	0.3638	0.60	0.606	38144	47091	486	600	16
	8	0.2525	0.60	0.421	23338	29529	464	588	16
Kiriş	12	0.543	0.60	0.905	53183	68898	471	608	17
	8	0.2525	0.60	0.421	23338	29529	464	588	16
Temel	16	0.9589	0.60	1.598	92398	111793	460	556	17
	8	0.2525	0.60	0.421	23338	29529	464	588	16

### 3.2.3. Tuğla

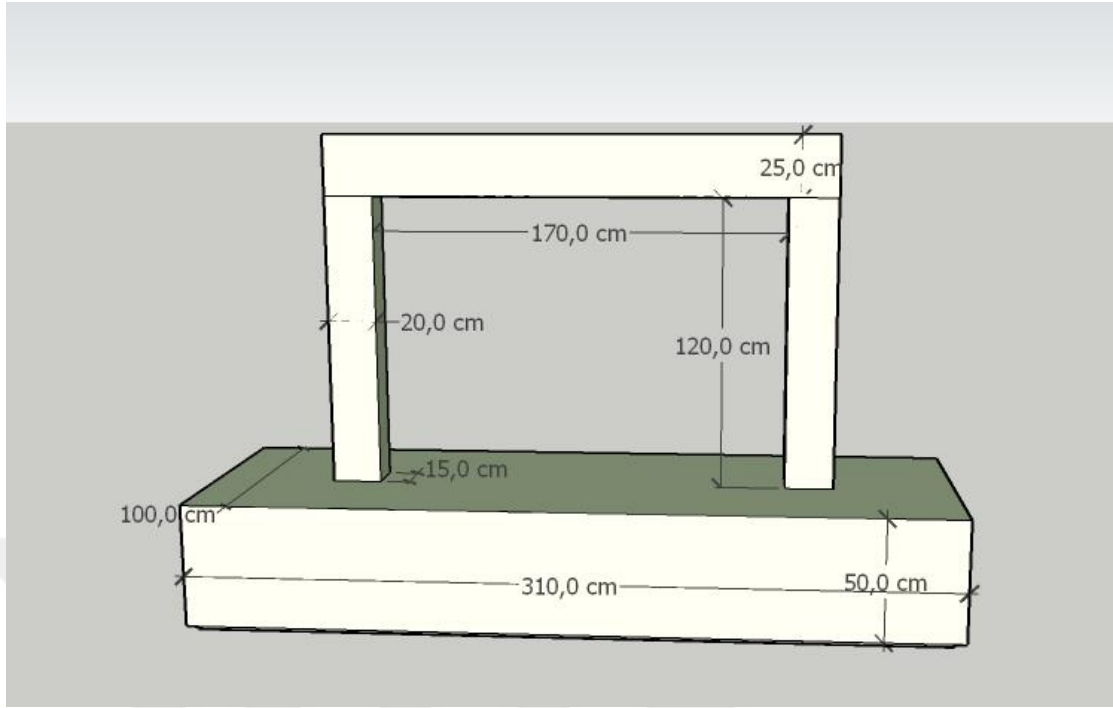
Deney numunelerindeki dolgu duvarlar için  $19.5 \times 19.5 \times 8.5$  ölçülerinde boşluklu tuğlanın kırılma yükü ve numune mukavemeti Çizelge 3.5’te sunulmuştur.

Çizelge 3.5 : Tuğlanın Özellikleri

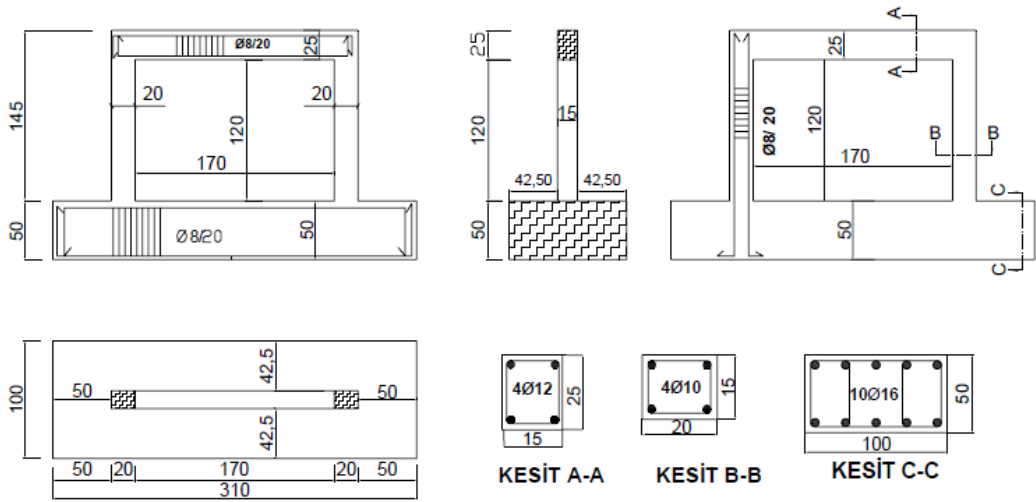
	Numune boyutları (cm)	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Yatay delikli tuğla	$19.5 \times 19.5 \times 8.5$	36	2.41	1000

### 3.3. Boyutlar ve Donatı Detayları

Bu çalışmaya esas olan numuneleri tek katlı, tek açıklıklı ve  $\frac{1}{2}$  ölçekli olarak imal edilmiş, zayıf kolon güçlü kiriş olacak şekilde, asgari donatı detaylarına sahip, kolon ve kirişlerde etriye sıklaştırması yapılmamış ve üretilen etriyeler kancasız olarak 90 derece açı ile bırakılmıştır. Bütün çerçevelerin boyutları Şekil 3.1’de ve donatı detayları ise Şekil 3.2’de sunulduğu gibidir.



Şekil 3.1. Betonarme çerçevelerin boyutları.



Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin donatı detayları

### 3.4. Numunelerin İmalatı

Bu çalışmada dört adet  $\frac{1}{2}$  ölçekli tek açıklıklı ve tek katlı betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerden birincisi boş çerçeve olarak, ikincisi tuğla yığma dolgu duvarlı, üçüncüsü tuğla yığma dolgu duvar ve karbon esaslı FRCM güçlendirmeli ve dördüncüsü de cam elyaf esaslı FRCM güçlendirmeli olarak üretilmiştir. Bütün numuneler aynı parametreler doğrultusunda üretilmiş, aynı donatı, kesit ve plan detaylarına sahip olacak şekilde üretilmişlerdi.

Deney numunelerinde kullanılan etriyeler kancasız ve 90 derece olacak şekilde üretilmişlerdir. Ayrıca donatı sıklaştırılması yapılmadığı gibi çerçevelerin kusurlu olması için zayıf kolon güçlü kiriş düzensizliği dikkate alınmış ve kesitlerde asgari donatı oranları kullanılmıştır. Bu uygulamalarda amaç güçlendirmeye tabi tutulacak olan kusurlu ve zayıf nitelikli yapıyı taklit edebilmektir.

Bütün numuneler 1.00 m  $\times$  3.00 m planlı ve 0.50 m yüksekliğe sahip aynı gün ve aynı mikserden dökülen C25 beton sınıfında ve rijit olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Bu uygulamada amaç çerçevelerin davranışında tam ankastreliği sağlayabilmektir.



Şekil 3.3. Temel kalıplarının hazırlanması.



*Şekil 3.4.* Temel donatılarının hazırlanması.



Şekil 3.5. Filiz ve bağlantı boşluklu küre bırakılmış temel numuneleri

Temellerin tamamı C25 beton sınıfında olacak şekilde üretilmiştir. Kolon filizleri yerinde üretilerek deney düzeneğinde temel bağlantılarının oluşturulması için temel boşlukları oluşturulmuştur. Temel betonunun kürünü tamamlamasının kolon kiriş kalıp ve donatı detayları oluşturularak aynı mikserden beton döküm işlemleri tamamlanmıştır.



Şekil 3.6. Kolon ve kiriş donatı ve kalıplarının hazırlanması.

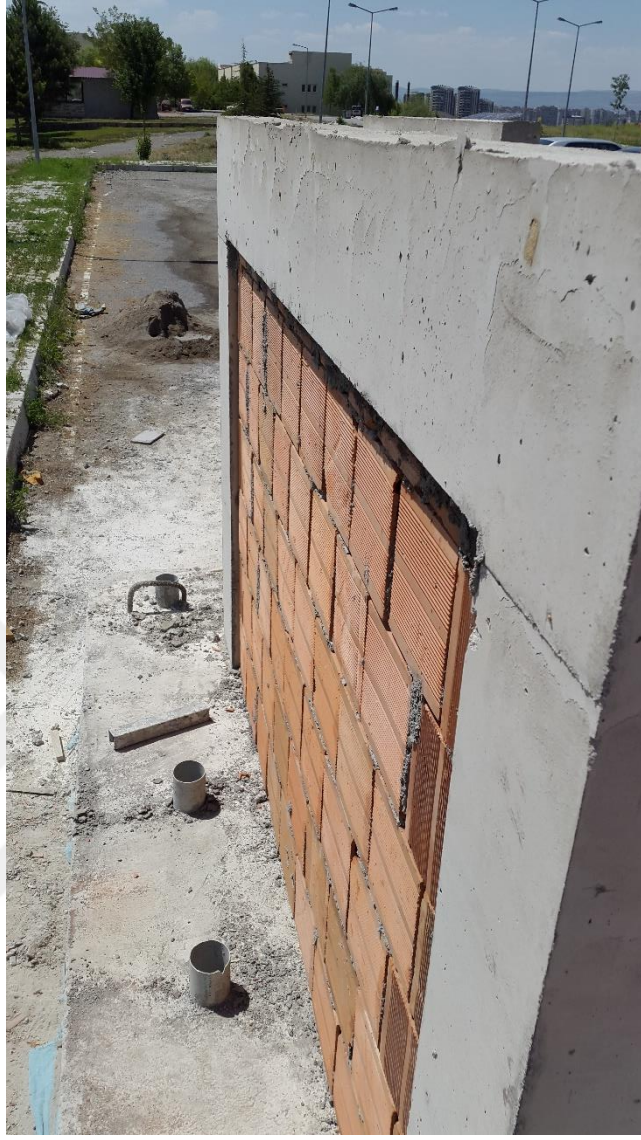


Şekil 3.7. Betonarme çerçevelerin kalıplarının sökülmüş hali.

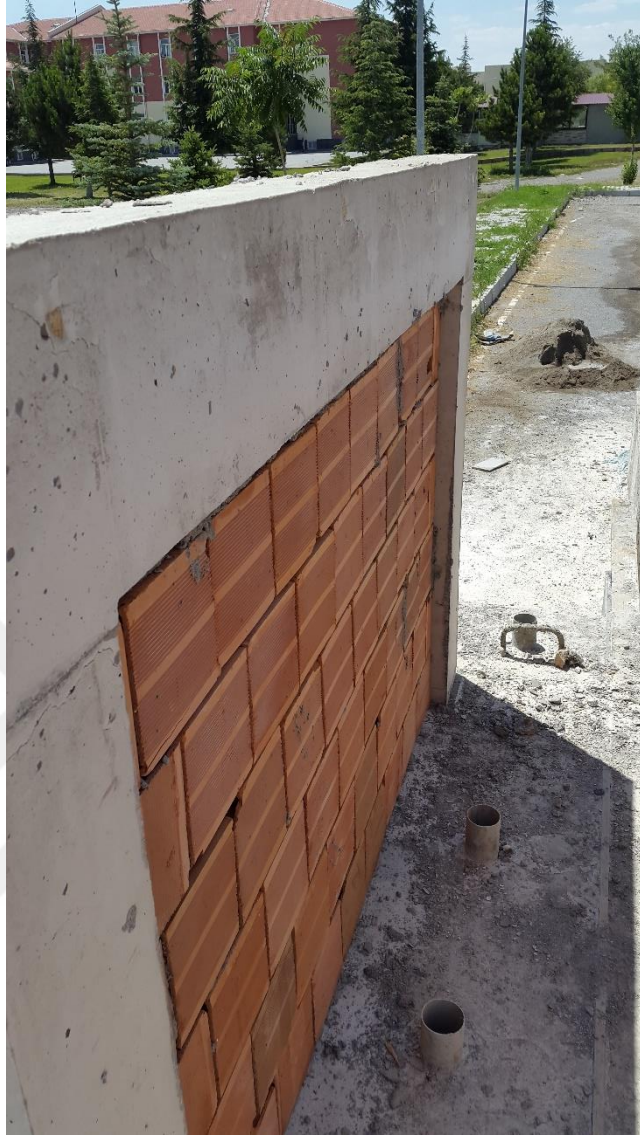
Dolgu duvar imalatına hazır hale getirilen betonarme çerçevelerin boşluklarına 19.5×19.5×8.5 boyutlarında tuğlalardan oluşan dolgu duvar yapılmıştır. Dolgu duvarlar çerçevelerin dış yüzeylerinde 1.5 cm içerden olacak şekilde üretilerek bu kesitte sıvaya hazır hale getirilmiştir. Son olarak dolgu duvarlar iki yüzeyinden de sıvanarak deney numuneleri güçlendirmeye hazır olacak şekilde üretilmiştir.



*Şekil 3.8.* Tuğla dolgu duvar uygulanmış numune.



Şekil 3.9. Dolgu duvarın 1.5 cm boşluk bırakılmış dış yüzeyi



Şekil 3.10. Dolgu duvarın güçlendirme uygulaması yapılacak iç yüzeyi.



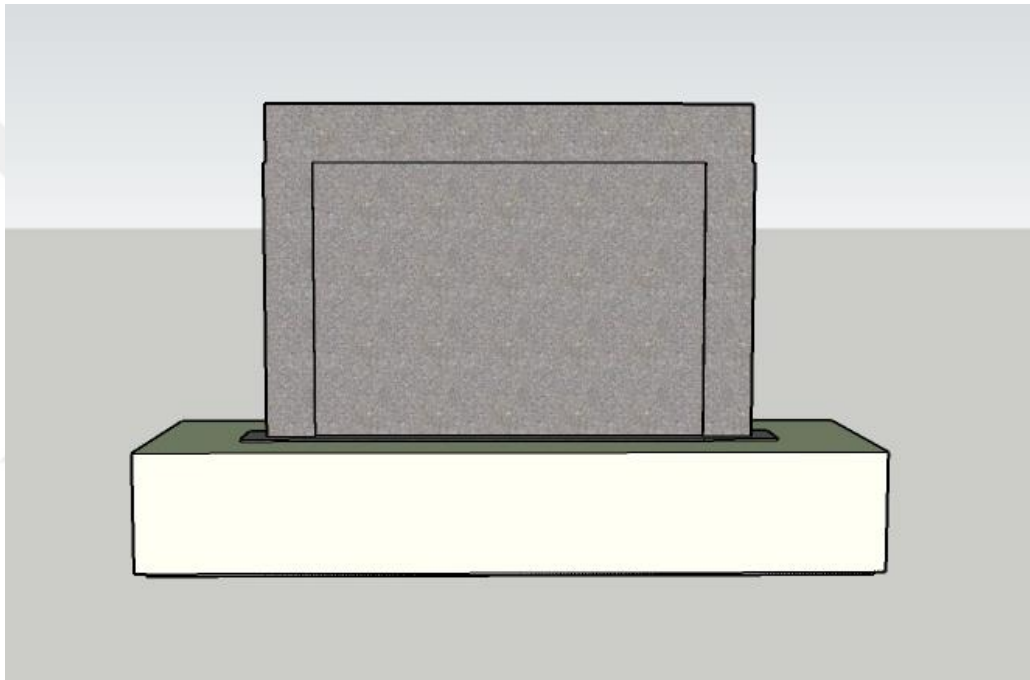
*Şekil 3.11. Sıva uygulanmış dış yüzey*



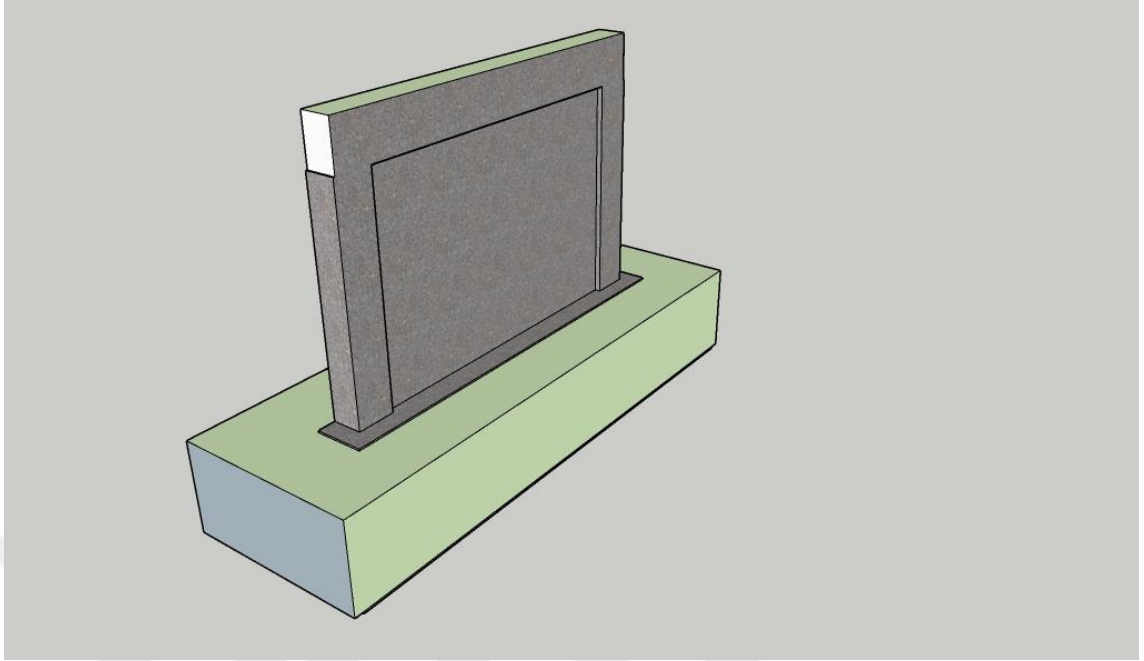
*Şekil 3.12. Sıva uygulanmış iç yüzey.*

### 3.5. Çerçevelerin güçlendirilmesi

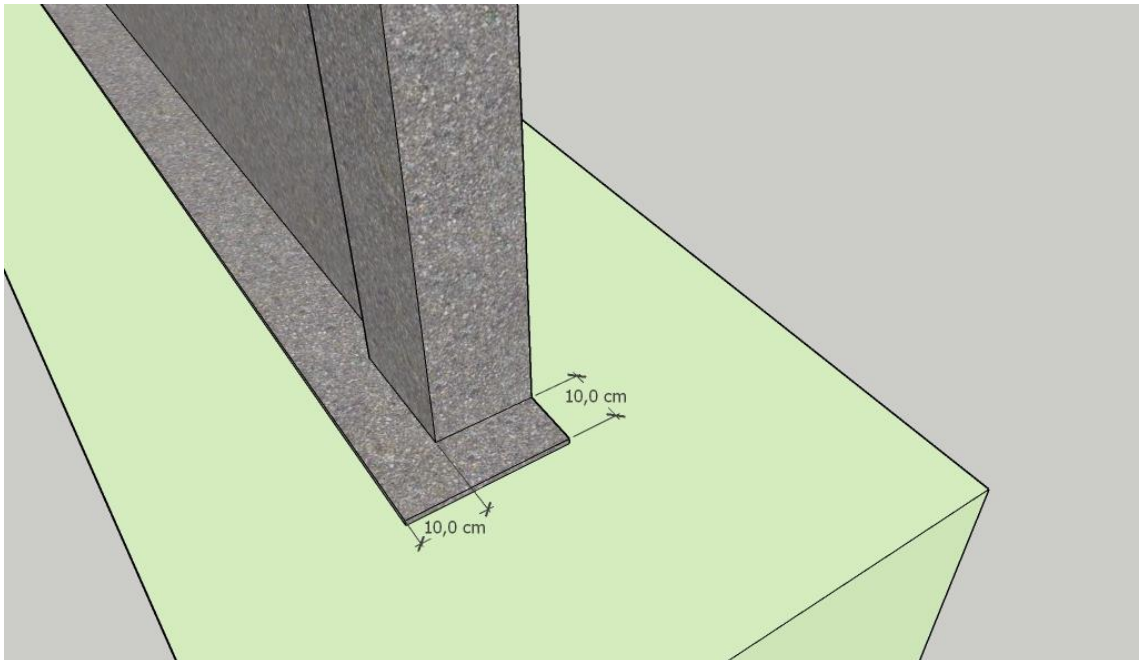
Bu çalışmada üretilen numunelerden iki adet dolgu duvarlı betonarme çerçevesine FRCM uygulaması yapılmış olup bu uygulamanın tasarımda öngörülen detayları Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te sunulmuştur.



Şekil 3.13. FRCM uygulanan dolgu duvar ve betonarme çerçeve yüzeyi



Şekil 3.14. FRCM uygulamasının temel ve yan yüzeylerden görünümü



Şekil 3.15. Temel ve FRCM bağlantı detayı

Daha önceden hazırlanan numunelerde hasır donatı ile güçlendirilmiş dolgu duvarın bulunduğu yüzey FRCM ile kaplanarak bu yüzeydeki betonarme elemanlarında kolonların yan yüzlerinde de aynı uygulama devam ettirilmiştir.



Şekil 3.16. Karbon fiber matrisli FRCM uygulanan numune.



Şekil 3.17. Cam elyaf esaslı FRCM uygulanan numune.

Bu çalışmada kullanılan dört adet numuneden bir numaralı olanı boş betonarme çerçeve olarak üretilmiş, iki numaralı olanı dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak üretilmiş, üç ve dört numaralı çerçevelerde ise karbon ve cam elyaf esaslı FRCM uygulamaları yapılmıştır.

FRCM uygulaması bu çalışmada mukayese edilecek olan diğer çalışmalardaki numunelerin güçlendirme yapılan yüzeyine tatbik edilmiştir. Tasarımda ilgili yüzeye 5 mm matris için üretilen özel harçtan tatbik edilmesi, daha sonra bu harcın üzerine uyumlu olan matrisin yerleştirilmesi ve son olarak matrisin üzerine aynı harçtan tekrar tatbik edilerek üretimin yapılması öngörülmüştür.



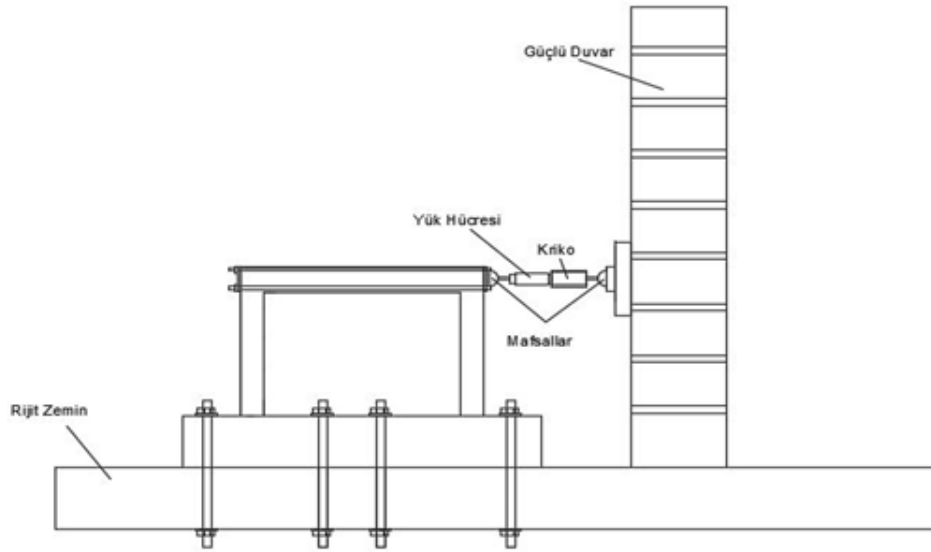
Şekil 3.18. Karbon fiber matrisli FRCM uygulanan numunenin nihai hali.



*Şekil 3.19. Cam Elyaf esaslı matrisli FRCM uygulanan numunenin nihai hali*

### **3.6. Deney düzeneği**

Deneyisel çalışmalar için kullanılan numuneler Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarının içinde bulunan 50 cm kalınlığında güçlendirilmiş duvara ve 60 cm kalınlığında rijit zemine sabitlenmiştir. Bu sistem detayı şekil 3.18 de sunulmuştur.



Şekil 3.20. Numunelerin sabitlendiği duvar ve zemin şeması

Uygulanan deneysel çalışmalarda 1 adet Load Cell ve 11 adet LVDT kullanılmıştır. Load Cell'in bağlandığı kiriş yüzeyinin simetrik düzlemine tepe noktasındaki yatay yer değiştirmelerin ölçülmesi amacıyla iki adet LVDT yerleştirilmiştir. Temelde meydana gelebilecek hareketleri kontrol etmek amacıyla iki adet düşey ve bir adet yatay olmak üzere toplam üç adet LVDT yerleştirilmiştir. Dolgu duvarda meydana gelebilecek olan diagonal hareketlerin ölçülmesi amacıyla duvar köşegenleri doğrultusunda iki adet LVDT yerleştirilmiştir. Son olarak ise Load Cell'in bulunduğu kolonun simetriğindeki kolona dört adet LVDT bağlanarak Toplamda 11 adet olan LVDT ve 1 adet Load Cell'den alınan veriler eş zamanlı olarak okunarak işlenmiştir.

Deney düzeneğinde aksenal yük kullanılmaması, dolgu duvarın çerçeve planına asimetrik olarak yerleştirilmesi sebepleri göz önünde bulundurularak düzlem dışı hareketin önlenmesi amacıyla numunelere çelik, kayıcı mesnetli, rijit döşemeye sabitlenebilen çerçeve sistemleri bağlanmıştır.



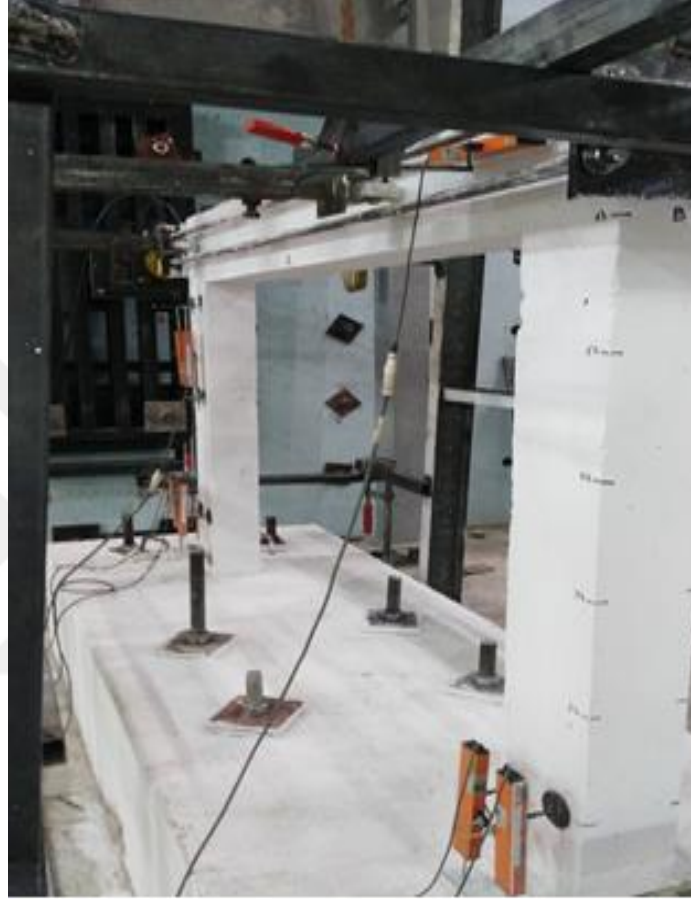
*Şekil 3.21. Deney Düzeneği*

Deneysel veriler numunelere uygulanan çift çevrimli itme ve çekme hareketlerinin okunması sonucunda elde edilmiştir. Numunenin incelenme ve fotoğraflanma işlemleri ikinci döngüdeki çekme ve itme işlemlerinin akabinde gerçekleşmiştir.

### **3.6.1. Yükleme Prosedürü**

Şartnamelerde çeşitli yükleme prosedürleri bulunmakla birlikte bu çalışmada; kiriş aks noktasının temele olan uzaklığının on binde beşinden başlatılarak (0.665 mm) her çevrim için bir önceki mesafenin on binde beş fazlası olacak şekilde yükleme prosedürü oluşturulmuştur. Yükleme prosedürü boş çerçeve için 93.1 mm'ye kadar, tuğla dolgu duvarlı çerçeve ve FRCM uygulanan numuneler için ise 19,95 mm'ye kadar devam ettirilmiştir [31].

Boş çerçeve (B) numunesinde uygulanan yükleme prosedürünün akabinde nihai yer değiştirme kiriş merkez aks ile temel arasındaki mesafenin % 7'si olan 93.1 mm ulaşmıştır.



*Şekil 3.22.* Boş çerçeve numunesi

Dolgu duvarlı çerçevede (D) deney yükleme prosedürü doğrultusunda başlangıç yer değiştirme oranı olan 0.665 mm den başlatılmış ve 19,95 mm de sonlanmıştır.



Şekil 3.23. Dolgu duvarlı numune

Karbon esaslı FRCM uygulamalı (FRCM-K) numunede ve Cam elyaf esaslı FRCM uygulamalı (FRCM-E) numunede mevcut yükleme prosedürü uygulanmış deney 19,95 mm yer değiştirmesinde sonlandırılmıştır.

### 3.7. Deney süreci ve gözlemlenen emareler

Bu çalışmada dört adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerden birincisi dolgu duvar olmadan çıplak çerçeve olarak imal edilmiş, ikincisi dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak imal edilmiş, üçüncüsü karbon esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak imal edilmiş ve sonuncusu ise cam elyaf esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak imal edilmiştir. Bu dört numune tersinir yatay yüke maruz bırakılarak sistemde meydana gelen yer değiştirmeler değerlendirilmiştir.

#### 3.7.1.Boşluklu çerçeve

Deneye tabi tutulan boş çerçevedeki (B) yükleme prosedürü kiriş aks ile temel arasındaki mesafenin (1330 mm) on binde beşinden (0.665 mm) her döngüde bu oran bir önceki orana temel ve aks arasındaki mesafenin on binde beş fazlası olacak şekilde

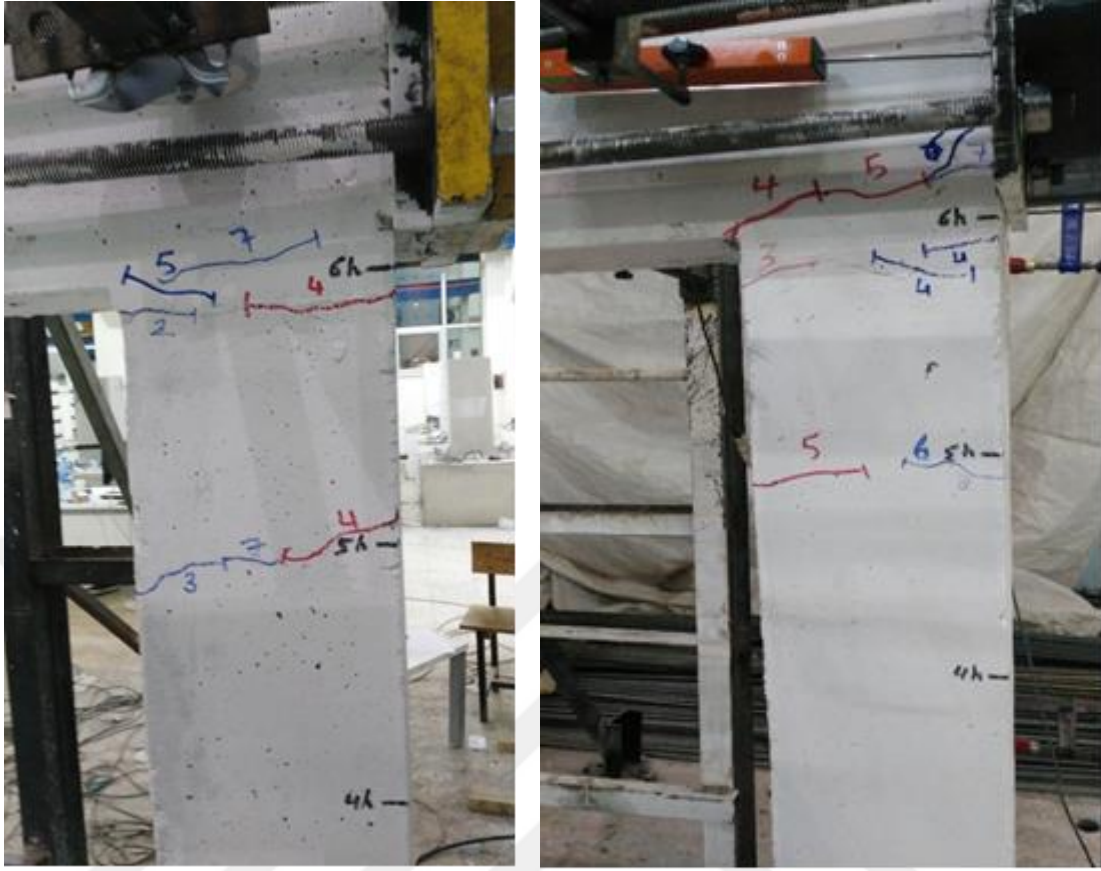
oluşturulmuştur. Deney sonunda kiriş aksı ile temel arasındaki mesafenin yüzde yedisine ulaşılmış nihai yer 93.1 mm de sonlandırılmıştır [31].

İlk dört döngü sonrası 1 ve 2 kolonlarının kolon kiriş düğüm noktalarında 6h seviyesinde ve B yüzeylerinde eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.24. ilk dört döngü sonunda oluşan çatlaklar.

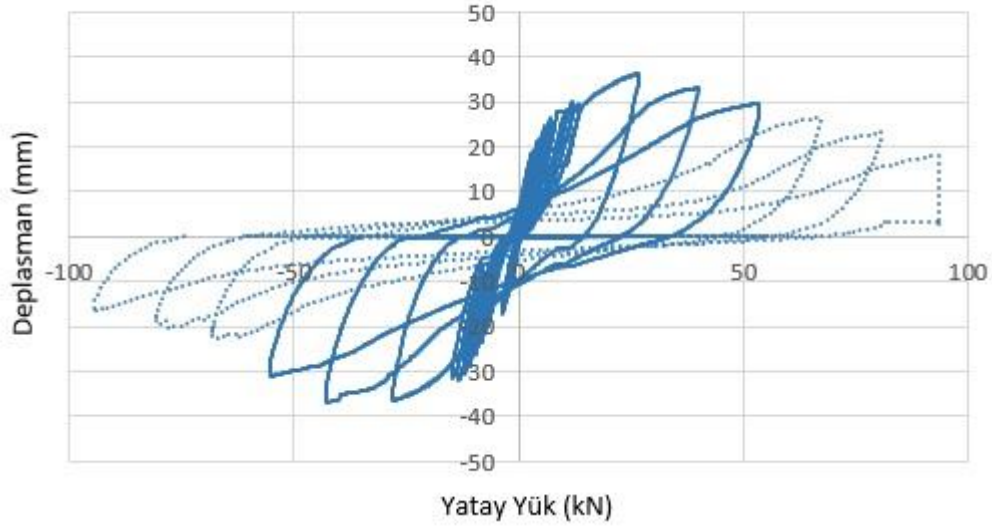
Daha sonraki döngülerde yakın çevrimlerde 2 kolonunun B yüzünde 5 h seviyesinde ve 1 kolonunun D yüzünde 5h seviyesinde çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. 6. döngü sonunda çatlakların genişliklerinin 1 mm'ye ulaştığı, 1 kolonun C yüzünde kolon kiriş düğüm noktasında 45°'lik diagonal çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.



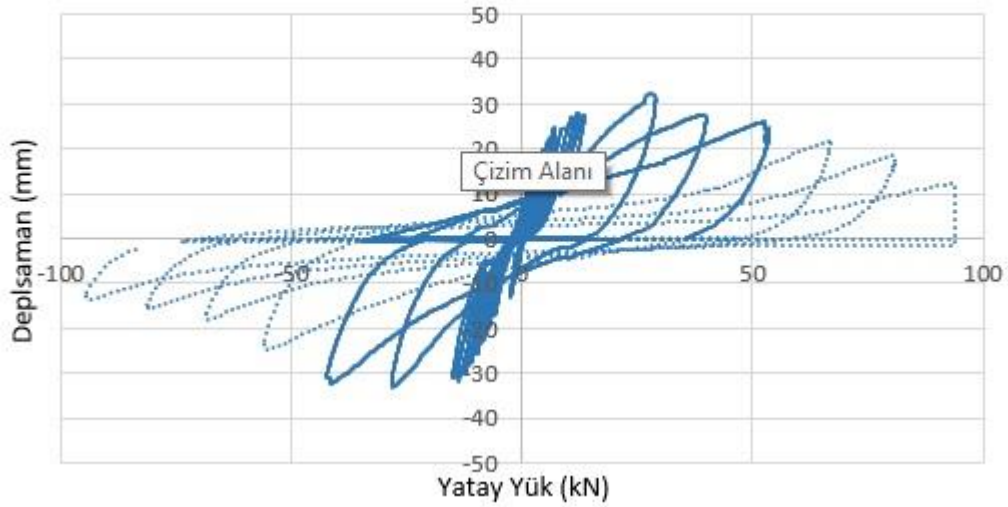
Şekil 3.25. 7'nci döngü sonunda çatlak durumları.

13. döngüden sonra 2 kolonu kolon-kiriş düğüm noktasında D yüzündeki mevcut çatlakların genişliğinin 6-7 mm mertebesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Deney sonuna doğru sistemdeki deformasyonlar giderek artmış ve nihayetinde temel kolon birleşim bölgesinde plastik mafsallık meydana gelmiştir. Boşluklu çerçeveye ait yük deplasman eğrisi şekil 4.3'te sunulmuştur.

### 1. Çevrim



### 2. Çevrim



Şekil 3.26. Boş çerçeve yük-deplasman eğrileri

#### 3.7.2. Dolgu duvarlı çerçeve

Dolgu duvarlı çerçevede (D) yükleme prosedürüne göre başlangıç hedef yer değiştirme olan 0.665 mm den başlatılmış ve yer değiştirme oranı kiriş ile temel arasındaki mesafenin yüzde birine tekabül eden 13.3 mm de sonlandırılmıştır.

Çerçevedeki ilk çatlakların 2. döngüden sonra oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çatlakların 2 kolonunun B yüzünde 1 h, 2 h, 3 h, 4 h ve 5 h seviyelerinde kesit boyunca enine oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.27. Üçüncü ve dördüncü döngü sonunda oluşan çatlaklar.

Beşinci döngü itmede 1 kolonunda çekmede ise 2 kolonunda kolon kiriş düğüm noktasında  $45^\circ$  diagonal çatlak gözlenmiş, 2. Kolonu temel ve duvar birleşim bölgesindeki ayrılmanın 1 mm mertebesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Sekizinci döngüde çerçevede dökülmelerin meydana geldiği ve kesme çatlaklarının 1 mm seviyesine ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.28. Yedinci döngü sonu görülen çatlaklar

On ikinci döngü sonunda dolgu duvar merkezinde diyagonal çatlaklar oluştuğu, on üçüncü döngüde ise 1. kolonunda, kiriş ve dolgu duvar arasında ayrılmanın 10 mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.29. On ikinci ve on üçüncü döngüde oluşan diagonal çatlaklar

On yedinci döngü itmede 1. kolonu ile kiriş düğüm noktasındaki kesme çatlaklarının 4 mm genişliğine ulaştığı, bu bölgedeki tuğla duvarın kırılarak dökülmeye başladığı gözlemlenmiştir.



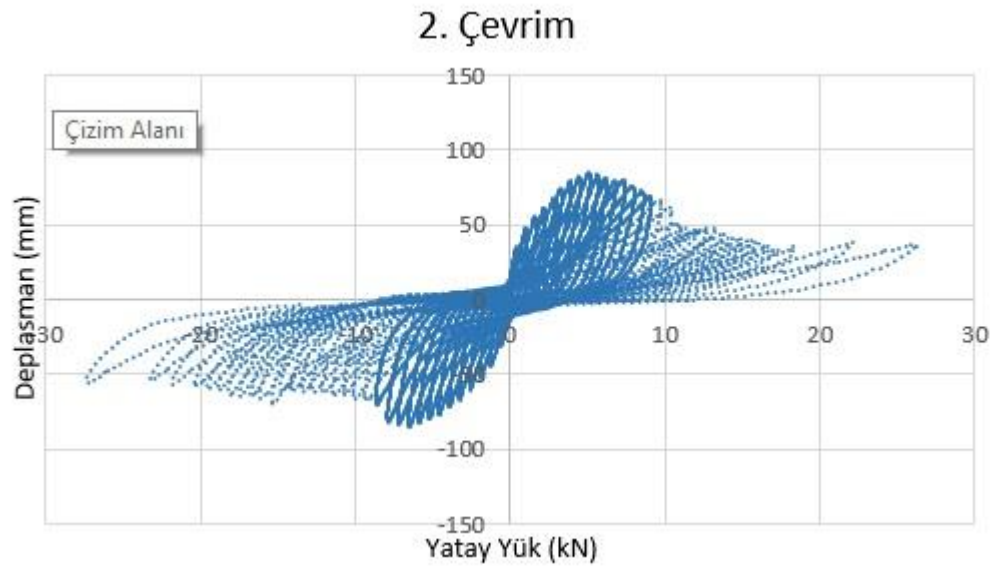
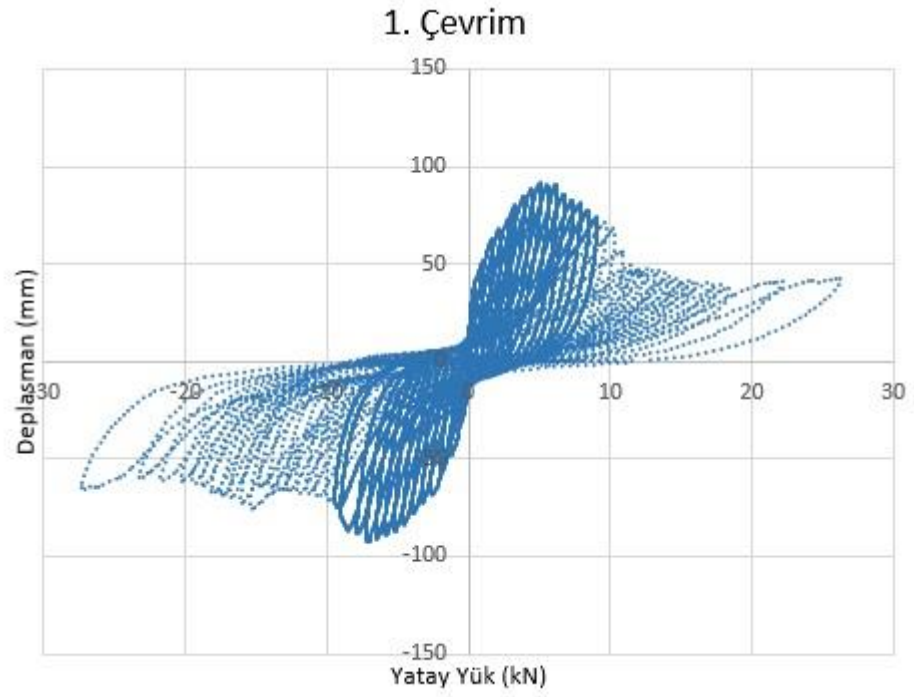
Şekil 3.30. On yedinci döngü sonunda oluşan deformasyon

Otuzuncu döngü sonunda dolgu duvarlarda basınç çubuğu bölgelerinde dökülmeler artış göstermiş sistem nihai kapasitesini yitirmiştir.



Şekil 3.31. Otuzuncu döngü sonu.

Tuğla dolgulu betonarme çerçeveye ait yük deplasman eğrileri Şekil 3.30'da sunulmuştur.



Şekil 3.32. Tuğla dolgulu betonarme çerçeveye ait yük deplasman eğrileri.

### 3.7.3. Karbon esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş tuğla dolgu çerçeve

Karbon esaslı FRCM güçlendirmesi uygulanan betonarme çerçevede yükleme prosedürü önceki numunelerde olduğu gibi gerçekleştirilmiş döngü sayıları eşit olması amacıyla 30 döngüye kadar yükleme yapılmış ve sistem otuzuncu döngüdeki hedef yer değiştirme olan 19.95 mm seviyesine kadar yüke maruz bırakılmıştır.

Deney esnasında üçüncü döngüde itmede 1.kolonu ile duvar birleşimi bölgesinde 4h seviyesine kadar birleşim çizgisinde ayrılma meydana geldiği, kolon yüzündeki çatlakların B ve D yüzlerinde 6h seviyesine kadar ulaştığı, aynı döngünün çekmesinde ise kolon duvar birleşim çizgisinde B ve D yüzlerinde 4h seviyesine kadar ayrılma çatlaklarının meydana geldiği ve D yüzündeki enine çatlakların 5h seviyesine kadar ulaştığı gözlemlenmiştir.

Beşinci döngü itmede 2 kolonunda B ve D yüzlerinde kolon, kiriş ve dolgu duvar birleşim çizgilerinde ayrılmaların meydana geldiği, çekmede ise 1. kolon bölgesinde kolon, kiriş ve dolgu duvar birleşim bölgesinde hat boyunca çatlak gelişiminin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Altıncı döngü itmede 2 kolonunda duvar birleşim çatlaklarının genişliği 1mm mertebesine, çekmede ise 1 kolonu hizası duvar kolon birleşim çatlak genişliğinin 1mm mertebesine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Dokuzuncu döngünün itmesinde 1 kolonunun A yüzünde 6h seviyesindeki kabuk dökülmelerde artış, çatlaklarda genişlemenin meydana geldiği, çekmede ise 2 kolonunun D yüzeyinde kesme çatlaklarının oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir.

Onuncu döngünün itmesinde 2 kolonu ile dolgu duvar arasındaki açıklığın 2mm düzeyine ulaştığı, B yüzeyinde dolgu duvar ile kiriş arasındaki açıklığın artış gösterdiği, çekmede 2 kolonun B yüzeyinde 6h seviyesindeki çatlakların 1mm seviyesine ulaştığı ve D yüzeyinde ise 5,5 h seviyesinde kabuk dökülmelerin oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir.

On birinci döngünün itmesinde 2 kolonunun B yüzeyinde kolon ile duvar arasındaki ayrışmaların arttığı, D yüzeyindeki kolon ile duvar arasındaki ayrışmanın 3 mm

seviyesine ulaştığı ve 1 kolonunun B yzeyinde kesme çatlağının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

On nc döngünün itmesinde A yzeyinde 3,5 h ve 4 h seviyelerinde eğilme çatlaklarını oluşmaya başladığı, 1 kolonunu D yzeyinde kolon kiriş düğüm noktasında diagonal çatlak oluşmaya başladığı ve çekmesinde ise C yzeyinde 3h seviyesinde eğilme çatlağının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

On dördüncü döngünün itmesinde 1 kolonunun D yzeyinde 5,5 h seviyesinde kabuk dökülmelerinin meydana geldiği görüldü, 2 kolonu ile duvar arasındaki ayırışmanın 5 mm seviyesine ulaştığı gözlemlenmiştir.

On beşinci döngünün itmesinde 1 kolonunun B yzeyinde 6 h seviyesindeki çatlağın 2 mm düzeyine ulaştığı, D yzeyinde 5 h seviyesinde eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.

On yedinci döngünün itmesinde 1 kolonunun D yznde 5h-6h arasındaki çatlaklarda artış meydana geldiği, 2 kolonu ile duvar arasındaki açıklığın 7mm düzeyine ulaştığı, döngünün çekmesinde ise 2 kolonunun D yzeyinde 6h seviyesinde ve B yzeyinde kesme çatlağının oluştu, C yzeyinde ise eğilme çatlağının oluştuğu gözlemlenmiştir.

On sekizinci döngünün itmesinde 1 kolonunun B ve D yzeylerinde kesme çatlaklarının oluştuğu, D yzeyinde bulunan 5-6 h seviyesindeki kesme çatlaklarının 1 mm ye ulaştığı, 2 kolonunun D yzeyinde 6 h seviyesinde kesme çatlağının oluştuğu ve C yzeyinde ise devam eden eğilme çatlağının oluştu, kolonl ile duvar arasındaki boşluğun 10mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.

On dokuzuncu döngünün itmesinde 2 kolonunda 5-6 h arası duvar kolon birleşim hattındaki ayrılmanın 10 mm mertebesine ulaştığı, çekmede ise 2 kolonunda D yznde 5-6 h seviyelerinde eğilme çatlaklarının oluştuğu, B yznde 5- 6 h arasında matristeki ayrılmaların arttığı ve dikine çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Yirminci döngünün itmesinde 1 kolonunun D yznde 5-4 h arasında kesme çatlağının oluştuğu, 2 kolonunun D yzeyinde ise 6 h seviyesinde kesme çatlağının oluştu, çekmede

1 kolonunun D yüzeyinde 6-4h arasındaki kesme çatlaklarında dökülmelerin olduğu ve 2 kolonunun D yüzeyinde 6 h bölgesindeki kesme çatlağında dökülmeler meydana geldiği gözlemlenmiştir.

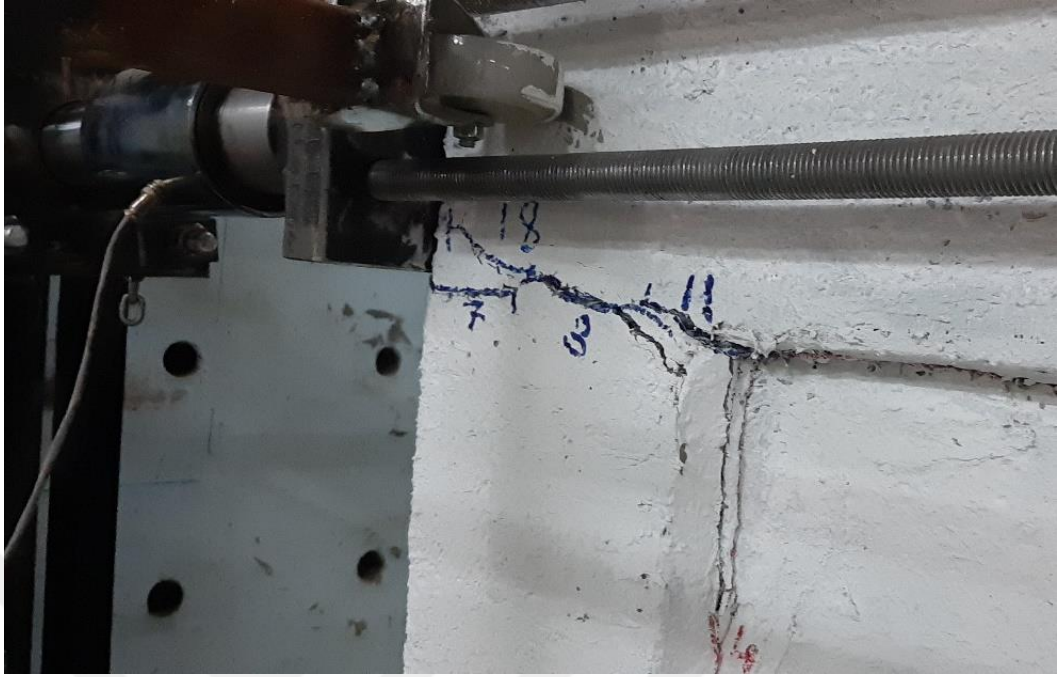
Yirmi ikinci döngünün itmesinde kolon ile duvar arasındaki açıklık 15 mm ye ulaştığı, 1 kolonunun D yüzeyinde 5-6 h arasındaki kesme çatlaklarında dökülmelerde artış meydana geldiği, çekmede ise 1 kolonunun D yüzeyinde dökülmelerin arttığı, C yüzeyinde kolon kiriş düğüm noktasında matris ile çerçeve arasında ayrılmanın başladığı gözlemlenmiştir.

Yirmi dördüncü döngünün itmesinde 1 ve 2 numaralı kolonların C yüzlerinde matris kolon kiriş bağlantı yerleri yüzeyden ayrıldı, duvar ile kolon arasındaki açıklık 20 mm ye ulaştı.

Yirmi altıncü döngünün itmesinde 1. kolonun D yüzeyinde kesme çatlağının meydana geldiği, 1. kolonu ile ve duvar arasındaki tuğlanın kırıldığı, 2. kolun ile duvar arasındaki ayrılmanın 28 mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.



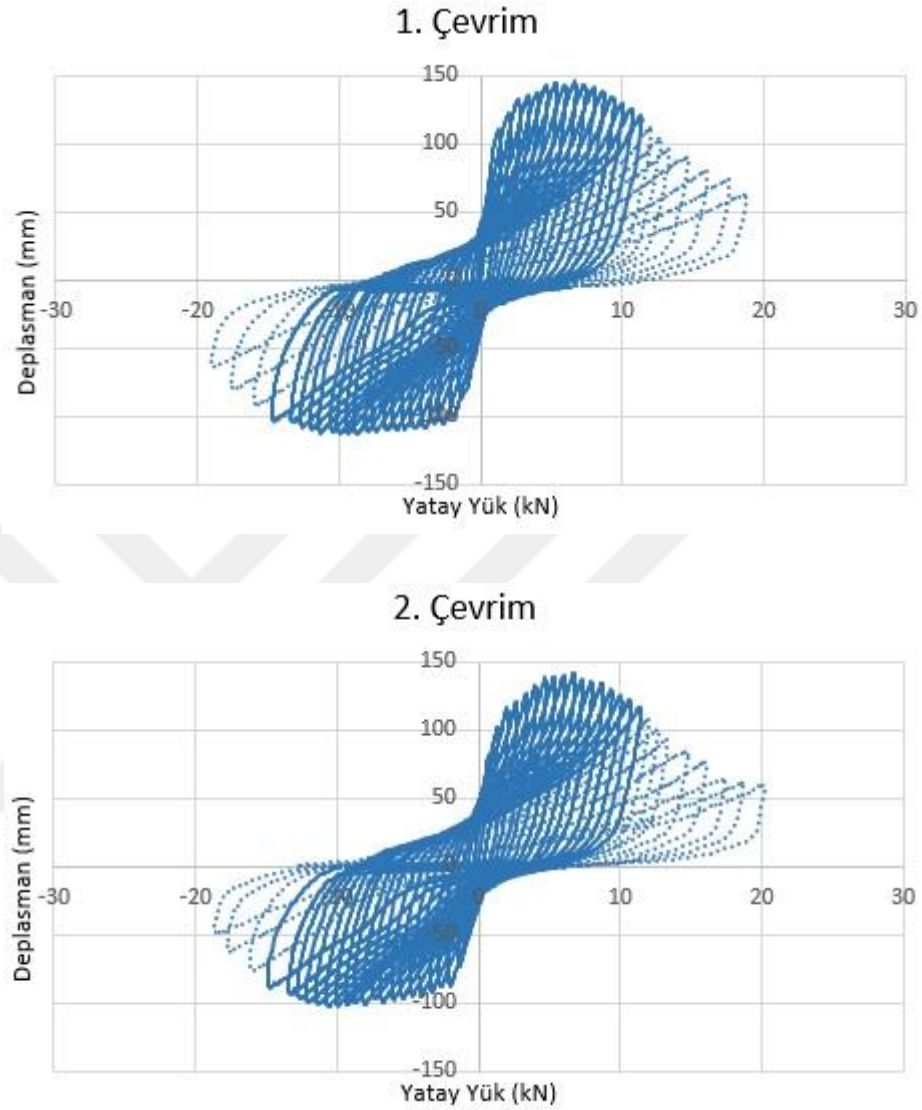
Şekil 3.33. Altıncı döngüye kadar meydana gelen çatlaklar.



Şekil 3.34. 1 kolonunda 6 h seviyesinde meydana gelen çatlaklar.



Şekil 3.35. Deney sonunda 1 ve 2 kolonunda düğüm noktasında meydana gelen hasar



Şekil 3.36. FRCM-K Yük deplasman eğrileri.

#### 3.7.4. Cam elyaf esaslı matrisli FRCM ile güçlendirilmiş tuğla dolgulu çerçeve

Cam elyaf FRCM güçlendirmesi yapılan dolgu duvarlı betonarme çerçevede yükleme prosedürü 30. döngüye kadar yürütülmüş ve 19.95 mm hedef yer değiştirmesine ulaşılmıştır.

İkinci döngünün itmesinde 1 kolonunun A yüzünde eğilmeden kaynaklanan eğilme çatlakların kesitin 2 h, 3 h, 4 h ve 5 h seviyelerinde kesit boyunca enine olarak gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca bu çatlakların B yüzünde 2 h, 3 h ve 4 h seviyelerinde enine olarak devam edip kesitin ortasında sonlandığı gözlemlenmiştir. B yüzünde 5 h da devam eden çatlak kolon kesitini eğik formda tamamlamıştır. D yüzünde ise aynı çatlakların 1 h, 2 h, 3 h, 4 h ve 5 h seviyelerinde kesit boyunca enine olarak devam ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca 1 kolonunun BC köşesinde temel seviyesinde başlayıp 5 h'a gelen eğik çatlakla birleşen boyuna bir çatlağın oluştuğu görülmüştür. Bu çatlağın kumaşın gerilme yığılmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Ayrıca D yüzü duvar kolon temel birleşimin de duvardan ayrılma meydana gelmiştir. Çekmede 2 kolonunun AB köşesinde temelden 6 h seviyesine kadar gerilme yığılmasından dolayı boyuna çatlak gelişiminin meydana geldiği, ayrıca C yüzünde 2 h ve 3 h seviyelerinde kesitin boyunca enine çatlak oluştuğu, bu çatlakların B yüzünde ve D yüzünde enine olarak devam ettiği görülmüştür. D yüzünde 4 h ve 5 h'da kesit boyunca enine çatlakların meydana geldiği ve 2 kolonunda temel duvar kolon bölge sinde ayrılmaların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Dördüncü döngü itmede 1 nolu kolonun D yüzündeki temel kolon duvar birleşim ayrılmasının genişliğinin 1 mm mertebesine ulaştığı, ayrıca duvar boyunca temel bindirmesindeki harçta deplasmana bağlı sürtünme çatlağının oluştuğu gözlemlenmiştir. Çekmede benzer şekilde duvar temel kolon ayrılmasının 1 mm seviyesine ulaştığı ve 1 nolu kolon giriş duvar birleşiminde ayrılma çatlağının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Dokuzuncu döngüde itmede D yüzü duvar ortasında yaklaşık 100 cm uzunluğunda diagonal çatlak gelişiminin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Onuncu döngüde mevcut diyagonal çatlakta uzamanın meydana geldiği ve 2 kolonunda giriş duvar ayrılmasının oluştuğu gözlemlenmiştir. Çekmede D yüzü 2 kolonu tarafında duvarda eğik çatlak başlangıcının oluştuğu gözlemlenmiştir.

On birinci döngüde itmede 1 nolu kolonunun duvardan ayrılmasının 2 mm seviyesine ulaştığı ve duvarın B yüzünde kesit ortasında yaklaşık 20 cm diyagonal çatlak oluştuğu, çekmede ise duvarın D yüzünde diyagonal çatlakların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

On beşinci döngüde kiriş duvar arasındaki kumaş bağlantılarının sıvadan ayrıldığı gözlemlenmiştir.

On üçüncü döngüde itmede duvarın B yüzündeki 11. döngüde oluşan diagonal çatlakın iki yönde de uzadığı gözlemlenmiştir.

On altıncı döngüde itmede 1 nolu kolonun düğüm noktasında duvara temas eden yerde duvarda basınç ezilmelerinin başlangıcı, çekmede ise 2 kolonunun düğüm noktasında B ve D yüzlerinde diagonal çatlakların luştığı gözlemlenmiştir.

On yedinci döngüde itmede D yüzü mevcut diagonal çatlak genişliğinin 1.5 mm'yi bulduğu, çekmede ise 2 kolonunun duvara değdiği bölgede basınçtan dolayı dökülmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

On sekizinci döngü itmede D yüzeyinde 2 kolonu ve duvar arasındaki ayrışmanın 2 mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.

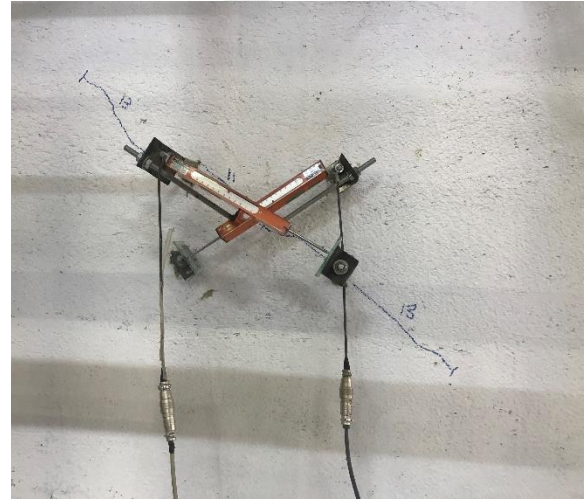
Yirmi ikinci döngünün çekmesinde ise 2 kolonunun d yüzeyinde kolon kiriş düğüm noktasında 6h seviyesinde diagonal çatlakın oluştuğu gözlemlenmiştir.



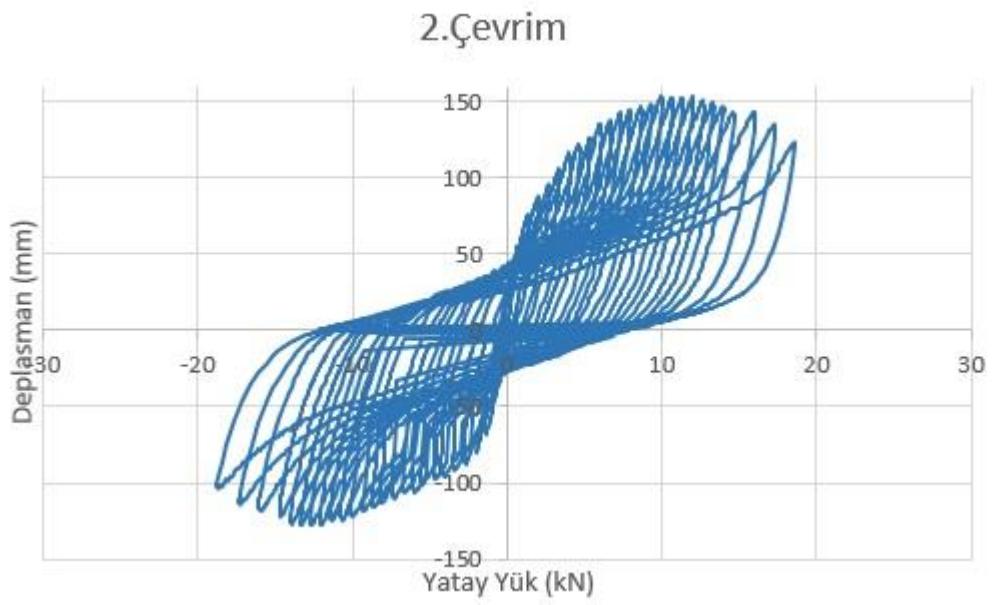
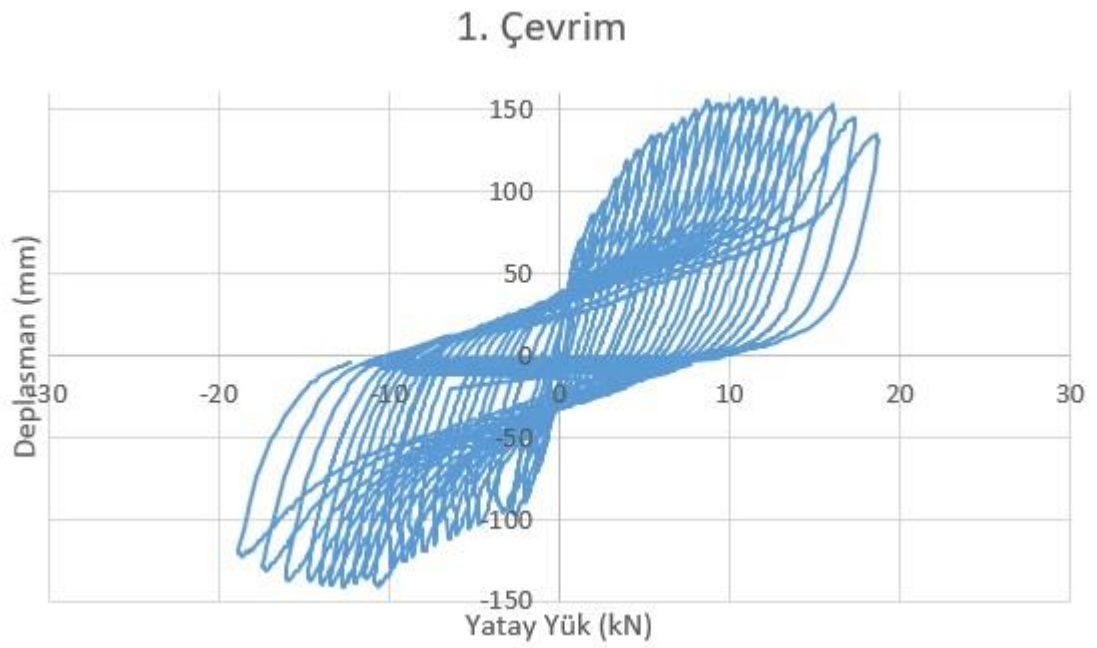
Şekil 3.37. İkinci döngüde meydana gelen çatlaklar.



Şekil 3.38. Temel bindirmelerinde meydana gelen ayrılma.



Şekil 3.39. Dolgu duvarda meydana gelen diagonal çatlaklar.



Şekil 3.40. FRCM-E Yük deplasman eğrileri

## 4. BÖLÜM

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada dört adet deney numunesi üretilmiş olup bunlardan biri boş betonarme çerçevedir. Bundan sonraki ifadelerde ve kıyaslamalarda bu numune için **B** kısaltması, dolgu duvar örülerek güçlendirilen numune için **D** kısaltması, FRCM yöntemi ile güçlendirilen dolgu duvarlı iki adet numuneden karbon esaslı matris içeren numune için **FRCM-K** kısaltması ve cam elyaf esaslı matris içeren numune için **FRCM-E** kısaltması kullanılacaktır.

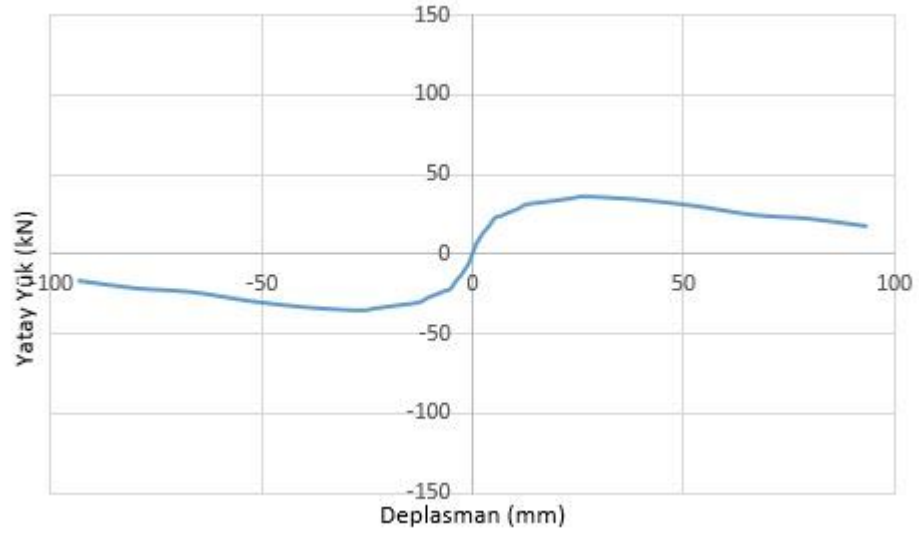
#### 4.1. Taşınan Maksimum Yük

Bu çalışma kapsamında üretilen numunelerin maruz kaldıkları yükleme prosedürü doğrultusunda taşıdıkları maksimum yükler Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Hesaplamalarda birinci çevrimlerdeki itme ve çekme değerleri esas alınmıştır

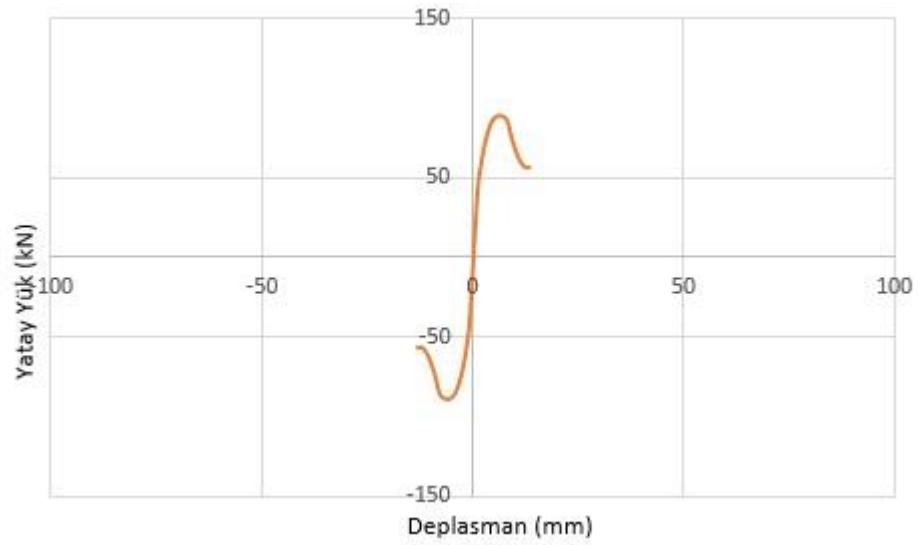
Çizelge 4.1: Deney numunelerinin taşıdığı maksimum yük

Numune	Ötelenme Oranı	Maksimum Yük $P_{max}$ (kN)
B	0.02	35.90
D	0.005	89.09
FRCM-K	0.005	128.72
FRCM-E	0.009	147.74

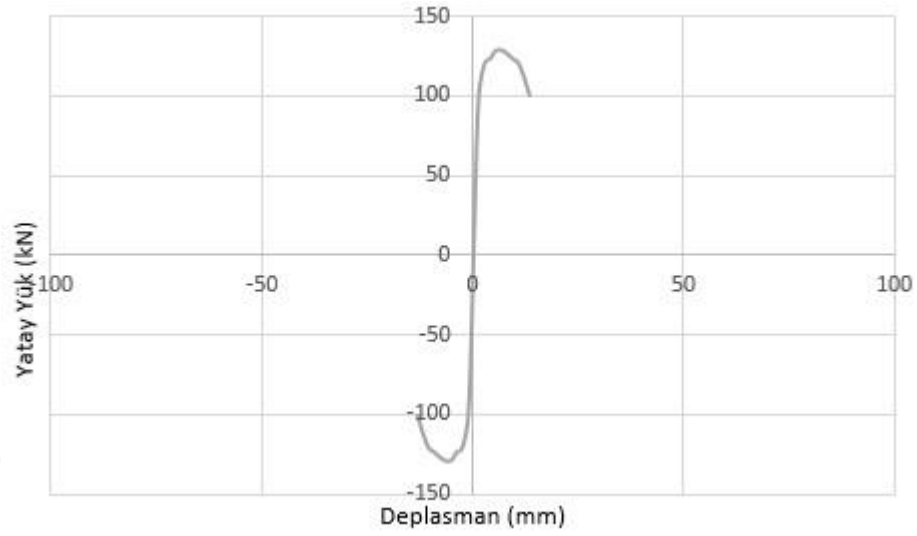
Yükleme prosedürü doğrultusunda taşınan yatay yük değerleri her bir numune için detaylı bir şekilde Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3 ve Çizelge A.4'te verilmiştir.



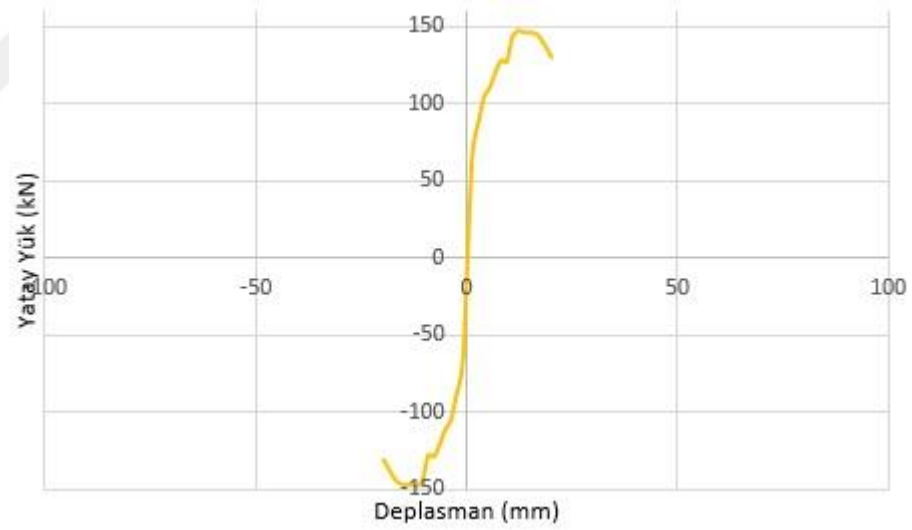
Şekil 4.1. B numunesinin zarf eğrisi



Şekil 4.2. D numunesinin zarf eğrisi



Şekil 4.3. FRCM-K numunesinin zarf eğrisi



Şekil 4.4. FRCM-E numunesinin zarf eğrisi

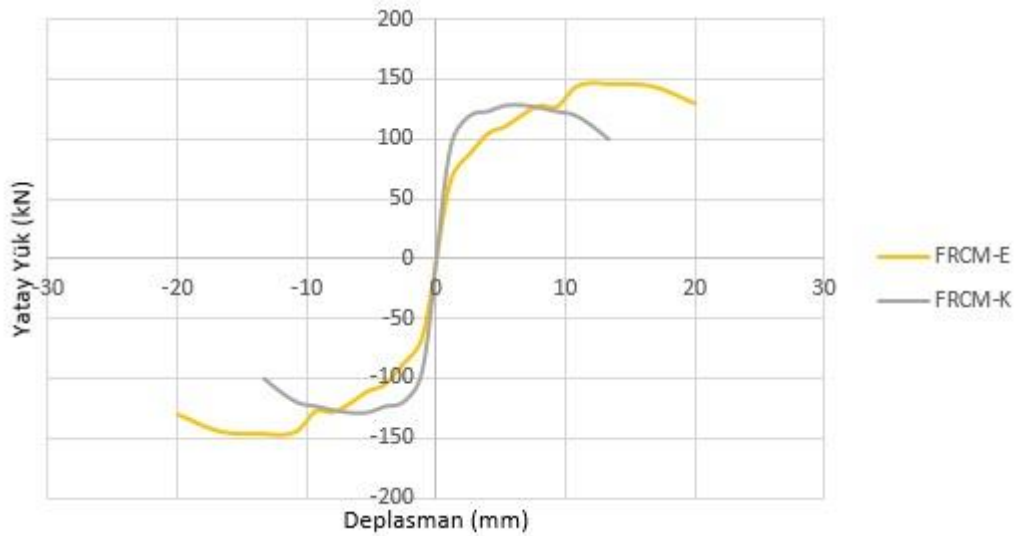
Boş çerçeveye tuğla dolgu duvar eklenmesi ile yatay yük taşıma kapasitesi % 148'lik bir artış göstermiştir. Dolgu duvarlı çerçeveye karbon esaslı FRCM güçlendirmesi uygulanınca yatay yük taşıma kapasitesi % 44'lük, cam elyaf esaslı FRCM güçlendirmesi

uygulanınca ise yatay % 66'lık bir artış sergilemiştir. Bu dört adet numunenin kıyaslamalı zarf eğrileri Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5. B, D, FRCM-K, FRCM-E numunelerinin kıyaslamalı zarf eğrileri

FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin kıyaslamalı zarf eğrileri Şekil 4.6'da sunulduğu gibidir.



Şekil 4.6. FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin zarf eğrileri

#### 4.2. Rijitlik değişimi

Deney numunelerinin rijitlik değişimi yükleme prosedürü doğrultusundaki ötelenme oranına tekabül eden itme ve çekmedeki mutlak yatay yük taşıma değerlerinin aritmetik ortalamasının o noktadaki ötelenmesine tekabül eden yer değiştirmesine oranı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda birinci çevrimlerdeki itme ve çekme değerleri esas alınmıştır [31].

$R_i$  :  $i$  ötelenme oranındaki rijitlik değeri

$P_i$  :  $i$  ötelenme oranındaki itmede yatay yük değerinin mutlak değeri (kN)

$P_$  :  $i$  ötelenme oranındaki çekme yatay yük değerinin mutlak değeri (kN)

$\Delta_i$  :  $i$  ötelenme oranındaki yerdeğiştirme (mm)

$R_i$  :  $(P_i + P_) \times \Delta_i / 2$

Deney numunelerinin başlangıç rijitliği değerleri izelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2: Deney numunelerinin başlangıç rijitlik değerleri

Numune	telenme Oranı	Rijitlik $R_i$ (kN/mm)
B	0.02	7.26
D	0.005	45.65
FRCM-K	0.005	97.32
FRCM-E	0.009	67.32

Başlangıç rijitliği noktasında B numunesinin 7,26 kN/mm, D numunesinin 45,65 kN/mm, FRCM-K numunesinin 97,32 kN/mm ve FRCM-E numunesinin 67,32 kN/mm

değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin rijirlik değişim değerleri detaylı bir şekilde Çizelge.5, Çizelge.6, Çizelge.7 ve Çizelge.8’de sunulmuştur.

Boş çerçeveye dolgu eklenmesi ile sistemdeki rijitlik oranı % 629, dolgu duvar ve Karbon esaslı FRCM eklenmesi ile % 1.343 kat ve dolgu duvar ve Cam Elyaf esaslı FRCM eklenmesi ile % 927 kat artış göstermiştir.

Numunelerin 0,002 ve 0,01 ötelenme oranlarına tekabül eden rijitlik değişimleri Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

Çizelge 4.3: Deney numunelerinin 0.002 ve 0.01 ötelenme oranlarındaki rijitlik değişimleri

Numune	Ötelenme Oranı	Rijitlik Değişimi (%)	Ötelenme Oranı	Rijitlik Değişimi (%)
B	0.002	70	0.01	46
D	0.002	59	0.01	16
FRCM-K	0.002	46	0.01	8
FRCM-E	0.002	50	0.01	16

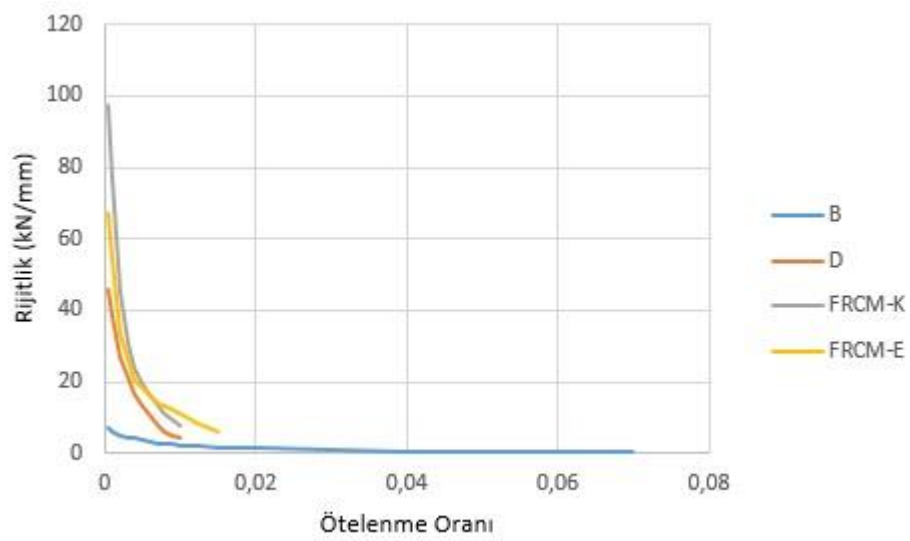
B numunesi ötelenme oranı % 0,2 iken başlangıç rijitliğinin % 70’ini korumuş, ötelenme oranı % 1 iken başlangıç rijitliğinin % 46’sını korumuş ve ötelenme oranı % 2 iken başlangıç rijitliğinin % 7’sini koruyabilmiştir.

D numunesi ötelenme oranı % 0,2 iken başlangıç rijitliğinin % 59’unu, ötelenme rijitliği % 1 iken başlangıç rijitliğinin % 16’sını koruyabilmiştir.

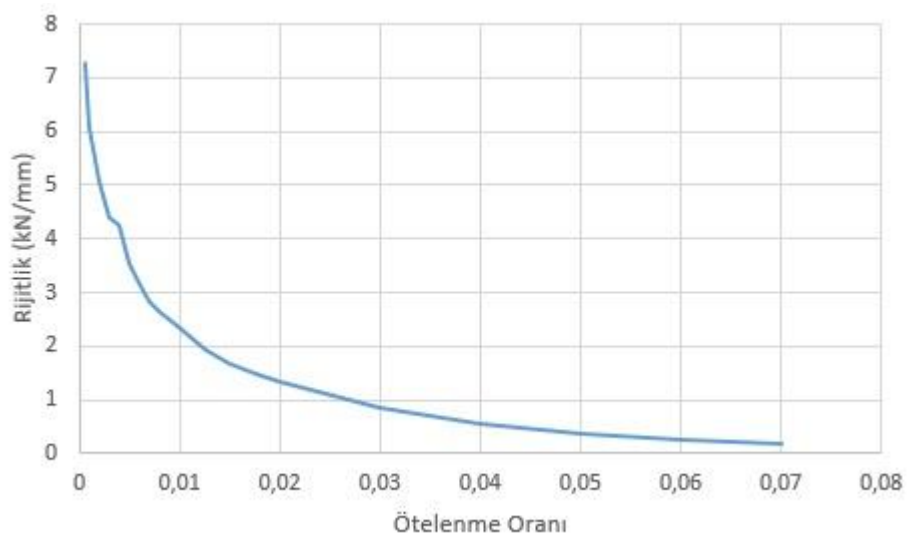
FRCM-K numunesi ötelenme oranı % 0,2 iken başlangıç rijitliğinin % 46'sını, ötelenme rijitliği % 1 iken başlangıç rijitliğinin % 8'ini koruyabilmiştir.

FRCM-E numunesi ötelenme oranı % 0,2 iken başlangıç rijitliğinin % 50'sini, ötelenme rijitliği % 1 iken başlangıç rijitliğinin % 16'sını koruyabilmiştir.

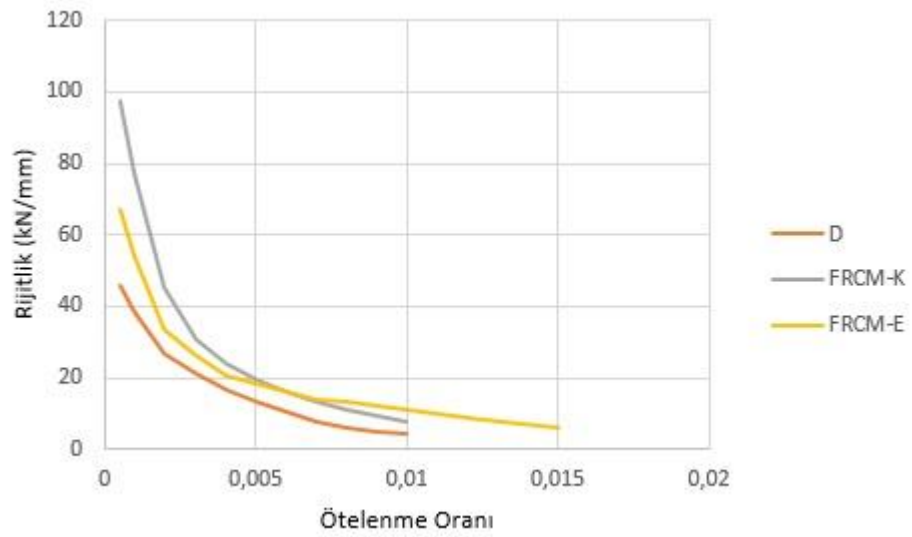
Deney numunelerinin rijitlik değişimleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.7. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin rijitlik değişimi grafiği



Şekil 4.8. B numunesinin rijitlik değişimi grafiği



Şekil 4.9. D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin rijitlik değişimi grafiği

### 4.3. Kalan dayanım

Yükleme prosedürü doğrultusunda elde edilen yatay yük değerlerinin maksimum yatay yük değerine oranı doğrultusunda kalan dayanım yükleri elde edilmektedir. Başka bir ifade ile ilgili ötelenme oranındaki sistemin maksimum yüküne göre taşınılabilen yük değeri sistemin o andaki kalan dayanımını ifade etmektedir [31].

$$\text{Kalan dayanım} = P_i / P_{\max}$$

$P_i$  =  $i$ 'inci yerdeğiştirme oranındaki yük

$P_{\max}$  = maksimum taşınan yük

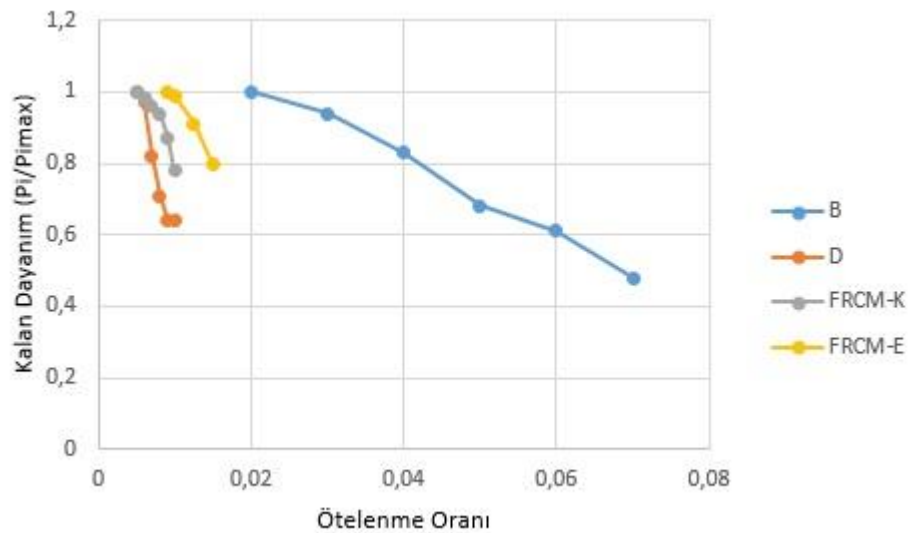
Deney numunelerinin 0,01 ötelenme oranındaki kalan dayanımları Çizelge 4.4.'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4: Deney numunelerinin 0.01 ötelenme oranlarındaki kalan dayanımları

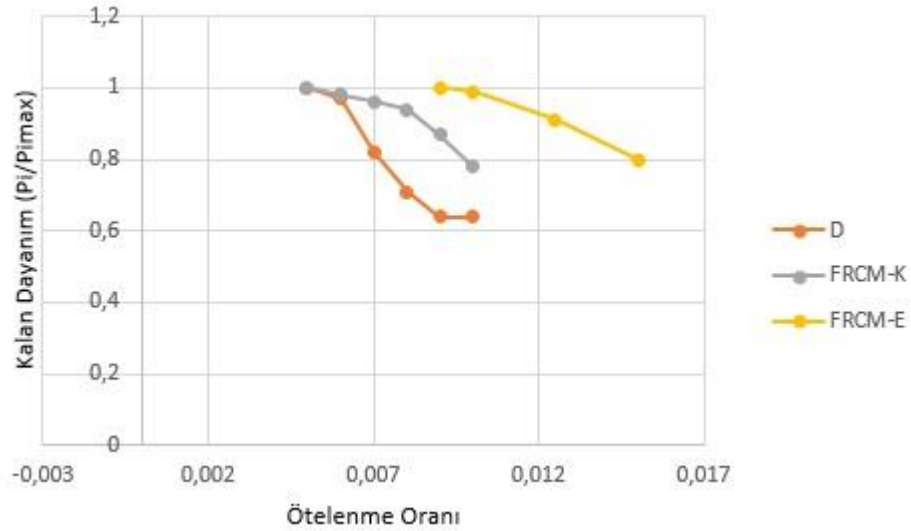
Numune	Ötelenme Oranı	Kalan Dayanım (%)
B	0.01	87
D	0.01	64
FRCM-K	0.01	78
FRCM-E	0.01	99

0,01 ötelenme oranında B numunesi kalan dayanımının % 87'sini, D numunesi kalan dayanımının % 64'ünü, FRCM-K numunesi kalan dayanımının % 78'ini ve FRCM-E numunesi ise kalan dayanımının % 99'unu korumuştur.

Deney numunelerinin kalan dayanım grafikleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4.10. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin kalan dayanım oranları

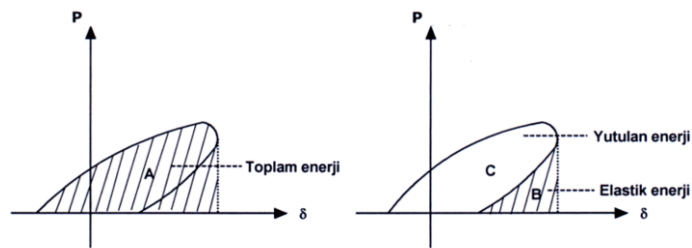


Şekil 4.11. D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin kalan dayanım oranları

#### 4.4. Enerji yutma

Deney numunelerini hedeflenen ötelenme oranlarına ulaştıklarında elde edilen yatay yük boşaltılarak her bir ötelenme miktarı için yükleme ve yer değiştirme eğrisi elde edilmiş, bu adım aynı ötelenme oranı için hem itme hem de çekmede uygulanmıştır.

Yük yer değiştirme eğrisinin altındaki alan toplam enerjiyi, yükün boşaltılmasının akabinde geri dönüş eğrisinin altında oluşan alan elastik enerjiyi vermektedir. Toplam enerjiden elastik enerjinin çıkartılması ile yutulan enerji elde edilmektedir [31]. Bu durum Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Yutulan enerji miktarının grafiksel gösterimi

Enerji yutma kapasitesinin tespiti için yapılan hesaplamalarda numunelerin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerinin % 80'ine kadar olan çevrimleri dikkate alınmıştır. Numunelerin enerji yutma kapasiteleri ve ötelenme oranları Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5: Deney numunelerinin maksimum yatay yük kapasitelerinin % 80'ine tekabül eden ötelenme oranları ve enerji yutma kapasiteleri

Numune	Ötelenme Oranı	Enerji Yutma Kapasitesi (kNm)
B	0.04	3.33
D	0.007	0.97
FRCM-K	0.009	3.54
FRCM-E	0.015	6.12

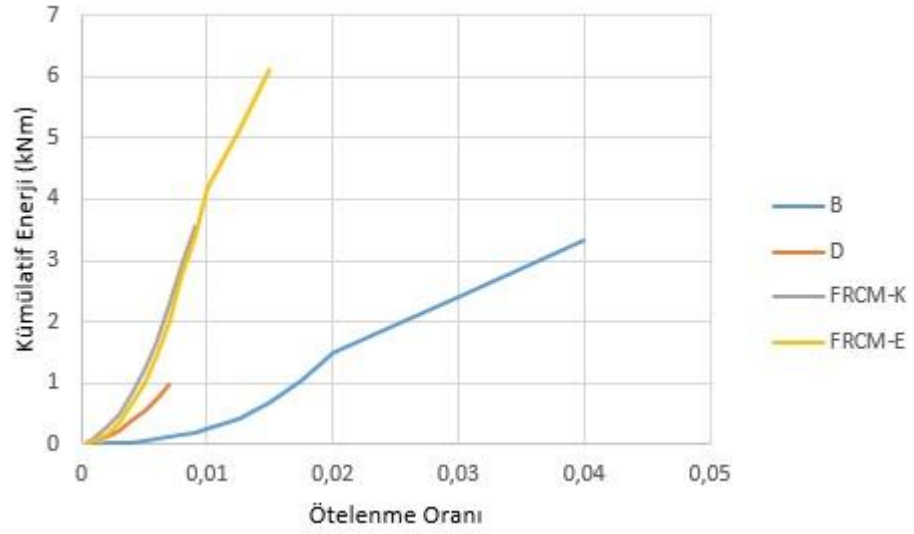
Boş çerçeve de azami yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,04 ötelenme oranında ulaşılmış olup enerji yutma kapasitesi 3,33 kNm'dir.

Dolgu duvarlı çerçeve de azami yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,007 ötelenme oranında ulaşılmış olup enerji yutma kapasitesi 0,97 kNm'dir.

Karbon esaslı FRCM malzeme ile güçlendirilen çerçeve de azami yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,009 ötelenme oranında ulaşılmış olup enerji yutma kapasitesi 3,54 kNm'dir.

Cam elyaf esaslı FRCM malzeme ile güçlendirilen çerçeve de azami yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,015 ötelenme oranında ulaşılmış olup enerji yutma kapasitesi 6,12 kNm'dir.

B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin enerji yutma kapasiteleri Şekil 4.13'te sunulmuştur.



Şekil 4.13. B, D, FRCM-K ve FRCM-E numunelerinin enerji yutma kapasiteleri

## 5. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 5.1. Sonuç

Bu bölümde deney sürecinde tespit edilen hususlar doğrultusunda, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve bundan sonraki yapılacak çalışmalarda tasarım ve uygulamada öngörülebilecek hususlara değinilmiştir.

Yapılan çalışmada tek katlı, tek açıklıklı, dolgu duvarlı, ½ ölçeğinde, rijit temele oturtulmuş, aksenal yük uygulanmadan düzlem dışı hareketi engellenmiş olan dört adet betonarme numune deneysel olarak incelenmiştir. Yatay yük taşıma kapasitesi olarak boş çerçevede 35.9 kN, tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve de 89.09 kN, karbon esaslı FRCM matrisli çerçevede 128,72 kN ve cam elyaf esaslı FRCM matrisli çerçevede ise 147,74 kN değerlerine ulaştığı görülmüştür.

Dolgu duvar boş çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık % 150 artırmıştır. FRCM malzemeleri ise boş çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini % 260 – % 310 artırmıştır. Cam elyaf esaslı FRCM matrisli betonarme çerçeve en yüksek yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.

Başlangıç rijitliği noktasında boş çerçevenin 7,26 kN/mm, tuğla dolgu duvarlı çerçevenin 45,65 kN/mm, karbon esaslı FRCM matrisli çerçevenin 97,32 kN/mm ve cam elyaf esaslı FRCM matrisli çerçevenin ise 67,32 kN/mm değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Boş çerçeveye dolgu eklenmesi ile sistemdeki rijitlik oranı % 629 artış göstermiş, dolgu duvar ve Karbon esaslı FRCM eklenmesi ile % 1.343 artış göstermiş ve dolgu duvar ve Cam Elyaf esaslı FRCM eklenmesi ile % 927 artış göstermiştir.

Kalan dayanım noktasında boş çerçevenin 0,04 ötelenme oranında dayanımının % 83'ünü koruduğu, tuğla dolgulu çerçevenin 0,007 ötelenme oranında dayanımının % 82'sini koruduğu, karbon esaslı FRCM matrisli çerçevenin 0,01 ötelenme oranında dayanımının % 78'ini koruduğu ve cam elyaf esaslı FRCM matrisli çerçevenin ise 0,015 ötelenme oranında kalan dayanımının % 80'ini koruduğu gözlemlenmiştir.

0,01 ötelenme oranında boş çerçeve kalan dayanımının % 87'sini, tuğla dolgulu çerçeve kalan dayanımının % 64'ünü, karbon esaslı FRCM matrisli çerçeve kalan dayanımının % 78'ini ve cam elyaf esaslı FRCM matrisli çerçeve ise kalan dayanımının % 99'unu korumuştur.

Enerji yutma noktasında; B numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,04 ötelenme oranında 3,33 kNm enerji yutma kapasitesi ile ulaşmıştır. D numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,007 ötelenme oranında 0,97 kNm enerji yutma kapasitesi ile ulaşmıştır. FRCM-K numunesi maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,009 ötelenme oranında 3,54 kNm enerji yutma kapasitesi ile ulaşmıştır. FRCM-E numunesi ise maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 80'ine 0,015 ötelenme oranında 6,12 kNm enerji yutma kapasitesi ile ulaşmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulgular boş çerçevenin, FRCM uygulanan numunelere nazaran daha düktil davrandığını göstermektedir. FRCM uygulanan numuneler, enerji yutma kapasitesi, rijitlik değişimi, kalan dayanım ve maksimum yük taşıma noktasında daha kararlı davranmıştır. Bu noktada FRCM uygulamaları yığma yapıların restorasyonu gibi çalışmalarda ve R katsayısı düşük olan, sünek davranmayan yapılarda kullanılabilir.

## 5.2. Öneriler

Cam elyaf esaslı FRCM matrisli çerçevenin karbon esaslı FRCM matrisli çerçeveye göre yatay yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olması, başlangıç rijitliğinin daha düşük olması, kalan dayanım noktasında % 1 ötelenme oranındaki dayanımının %99'unu korumuş olması, enerji yutma noktasında % 173 daha fazla performansı yaklaşık % 150 daha fazla ötelenme oranı ile sağlaması hususları değerlendirildiğinde daha kararlı bir davranış sergilediği kanaatine varılabilir.

FRCM malzemelerin uygulamada kolaylık sağlaması avantaj olmakla birlikte maliyet olarak fazla olması cazibeyi düşürmektedir. Bununla birlikte maliyetin önemsenmediği restorasyon gibi çalışmalarda ayrıcalıklı bir malzeme niteliği taşımaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarda ankraj uygulamaları, numunenin bütün olarak sarılması, basınç çubuğu oluşan bölgelerde çapraz FRCM kuşaklar kullanılması, eksenel yük kullanılarak yapının deneye tabi tutulması, çok açıklıklı çerçevelerde değerlendirilmesi ve benzer nitelikli malzemeler ile kıyaslanması durumunda daha verimli sonuçlara ulaşılabilir.

Ayrıca deney sisteminde tek taraflı yüklemeler uygulandığı için itme ve çekme çevrimlerde farklılıklar gözlemlendiği, bu sebeple deneysel çalışmalarda sisteme her iki doğrultuda da yatay itme uygulanabileceği,

Yükleme prosedürüne göre çevrimlerin, kolon yüksekliğinin binde 5'i adımlarla artırılarak yapılması sonucunda malzeme lineer bölgede gereğinden fazla itme çekme yüklerine maruz kaldığı bu sebeple malzemenin yorulmasından dolayı daha sağlıklı sonuçlar alınması amacıyla daha farklı yükleme prosedürlerinden yararlanılabileceği,

Her ne kadar kayıcı mafsallar düzlem dışı hareketi engellese de gözlem, inceleme ve kurulum aşamasında çeşitli sorunlara sebebiyet verdiği için, bu sorunlarla tekrar karşılaşmamak için eksenel yük kullanılarak yapılacak deneylerin düzlem dışı hareketi engellemek için alternatif bir çözüm olabileceği kanaatlerine varılmıştır.

## KAYNAKLAR:

1. Whitney, C.S., Anderson, B.G. ve Cohen, E. 1955. Design of Blast Resistant Construction for Atomic Explosions, **ACI Structural Journal**, **26** (7): 589-683.
2. Benjamin, J. R. and Williams, H. A. 1958 Blast and Earthquake Resistant Design Data: Behavior of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls Containing Openings. **ACI Structural Journal**, **30**(5):605-618.
3. Smith, B. S. (1968) Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Frames, **ACI Journal**. **65**:618-625
4. Ersoy, U. ve Uzsoy, Ş. 1971 The Behavior and Strength of Infilled Frames. TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu. Proje No: MAG-205. Ankara, Türkiye. 95 s.
5. Klingner, R. E. and Bertero, V. V. 1978 Earthquake Resistance of Infilled Frames. **ASCE Journal of Structural Engineering**. **104**:973-989.
6. Liauw, T. C. 1979 Tests on multistory infilled frames subject to dynamic lateral loading. *ACI Journal*, 76(4):551-563.
7. Yüzügüllü, Ö. (1979) Strengthening of Reinforced Concrete Frames Damaged by Earthquake Using Precast Panel Elements, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-494
8. Higashi, Y., Endo, T., and Shimizu, Y. (1982), Effects on Behaviors of Reinforced Concrete Frames by Adding Shear Walls, Proceedings of the Third Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor Michigan, USA, s. 265-290.
9. Sugano, S. (1982), An Overview of the State-of-the Art in Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan, Proceedings of the third seminar on repair and retrofit of structures, Ann Arbor Michigan, USA, 265-290
10. Govindan, P., Lakshmi pathy M., and Santhakumar A. R. 1986 Ductility of Infilled Frames, **ACI Structural Journal**, **83**(4): 567-576.
11. Altın, S. 1990 Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
12. Bush, T. D., Wyllie, L. A. And Jirsa, J. O. 199) Observations on two seismic strengthening schemes for concrete frames. **Earthquake Spectra**. **7**(4):511-527
13. Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P. and Noland, J. L. 1996 Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, **ASCE Journal of Structural Engineering**, **122**(3): 228-237.
14. Gilmore, A. T., Bertero, V. V. and Youssef, N. F. G. 1996 Seismic Rehabilitation of Infilled Non-Ductile Frame Buildings Using Post-Tensioned Steel Braces, **Earthquake Spectra**. **12**(4):863-882.
15. Humay F. K. and Durrani, A. J. 2001 Experimental Study of Perforated Infill Panels for Retrofitting Flat Plates. **ACI Structural Journal**, **98**(5):727-734.
16. Celep, Z. Gencoğlu, M. 2003 Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bildiri No: AT-121

17. Canbay, E., Ersoy, U. and Ozcebe, G. 200) Contribution of Reinforced Concrete Infills to Seismic Behavior of Structural Systems, **ACI Structural Journal**, **100**(5): 637-643
18. Kaltakçı, M. Y. Köken, A. 2003 Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul Bildiri No: AT-026
19. Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R. S. O. ve Mertol, C. 2003 Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP. Teknik Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara. 69 s
20. Türk, M., Ersoy, U., Özcebe, G. (2003) Betonarme Çerçeveselerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Depreme Karşı Onarımı ve Güçlendirilmesi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Bildiri No: AT-045
21. Perera, R., Gómez, S. and Alarcón, E. (2004) Experimental and Analytical Study of Masonry Infill Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Steel Braces, **ASCE Journal of Structural Engineering**, **130**(12): 2032-2039.
22. Sonuvar, M. O., Ozcebe, G. and Ersoy, U. 2004 Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills, **ACI Structural Journal**, **101**(4): 494-500.
23. Baran, M. 2005 Precast Concrete Panel Infill Walls for Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Framed Structures, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 265 s.
24. Ohmura, T., Hayashi, S., Kanata, K. and Fujimura, T., 2006 Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Frames by Steel Braces Using No Anchors. 8th National Conference on Earthquake Engineering. California, USA.
25. Kaltakçı, M. Y. ve Yavuz, G. 2006 Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeveselerin Depremi Benzeştiren Yatay Yük Etkisindeki Davranışı, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, İstanbul, Bildiri No: 169.
26. Albanesi, T., Biondi, S., Candigliota, E., and Nuti, C. 2006 Experimental Analysis on a Regular Full Scale Infilled Frame, First European Conference on Earthquake Engineering and Sismology, Geneva, Switzerland, Paper No: 1608
27. Kara, M. E. and Altın, S. 2006 Behavior of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Partial Infills, **ACI Structural Journal**, **103**(5):701-709.
28. Anil, Ö. and Altın, S. 2007 An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames, **Engineering Structures**, **29**(3): 449-460.
29. Marjani, F., "Behavior of Brick-Infilled Reinforced Concrete Frames under Reversed Cyclic Loading", Ph.D Thesis in Civil Engineering, METU, December 1997
30. Güney, D. ve Boduroğlu M. H. 2006 Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetric yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı, İTÜ dergisi/dmühendislik Cilt:5, Sayı:3, Kısım:2, 165-174 Haziran 2006
31. Özdemir, H., 2008, "Dolgu Duvarlı Çerçeveselerin Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## EKLER

### Ek A : Tuğla dolgu duvarının ve FRCM güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi

Çizelge A.1 : Boş Çerçevenin (B) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi

<b>B NUMUNESİ DENEYİ MAKSİMUM YÜK YERDEĞİŞTİRME</b>							
<b>1.ÇEVİRİM</b>							
Ötelenme Oranı	Yerd. mm	İtme kN	Ort. kN	Ötelenme Oranı	Yerd. mm	Çekme kN	Ort. kN
0.0005	0.665	4.46	4.83	-0.0005	-0.665	-5.19	-4.83
0.001	1.33	7.27	8.07	-0.001	-1.33	-8.87	-8.07
0.002	2.66	12.63	13.5	-0.002	-2.66	-14.36	-13.5
0.003	3.99	16.35	17.54	-0.003	-3.99	-18.72	-17.54
0.004	5.32	26.51	22.57	-0.004	-5.32	-18.63	-22.57
0.005	6.65	27.91	23.57	-0.005	-6.65	-19.22	-23.57
0.006	7.98	28.07	25.22	-0.006	-7.98	-22.36	-25.22
0.007	9.31	28.22	26.58	-0.007	-9.31	-24.93	-26.58
0.008	10.64	28.38	27.96	-0.008	-10.64	-27.53	-27.96
0.009	11.97	30.17	30.04	-0.009	-11.97	-29.9	-30.04
0.01	13.3	30.76	31.2	-0.01	-13.3	-31.64	-31.2
0.0125	16.625	32.24	32.33	-0.0125	-16.625	-32.42	-32.33
0.015	19.95	33.72	33.51	-0.015	-19.95	-33.29	-33.51
0.0175	23.275	35.19	34.69	-0.0175	-23.275	-34.19	-34.69
0.02	26.6	36.67	35.9	-0.02	-26.6	-35.12	-35.9
0.03	39.9	33.38	33.8	-0.03	-39.9	-34.22	-33.8
0.04	53.2	29.56	29.81	-0.04	-53.2	-30.05	-29.81
0.05	66.5	26.49	24.29	-0.05	-66.5	-22.08	-24.29
0.06	79.8	22.98	21.89	-0.06	-79.8	-20.79	-21.89
0.07	93.1	17.95	17.23	-0.07	-93.1	-16.5	-17.23

Kullanılan grafikler 1. çevrimlerdeki itme ve çekmedeki mutlak değerlerinin aritmetik ortalamalarına değerlerine göre oluşturulmuştur. 0.0005 ötelenme oranındaki mutlak itme değeri 4.46 kN, mutlak çekme değeri 5.19 kN ve bu değerlerin aritmetik ortalaması 4.83 kN olarak hesaplanmıştır.

Çizelge A.2 : Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi

<b>D NUMUNESİ DENEYİ MAKSİMUM YÜK YERDEĞİŞTİRME</b>							
1.ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yerd. mm	İtme kN	Ort. kN	Ötelenme Oranı	Yerd. mm	Çekme kN	Ort. kN
0.0005	0.665	25.75	30.36	-0.0005	-0.665	-34.96	-30.36
0.001	1.33	51.51	51.02	-0.001	-1.33	-50.53	-51.02
0.002	2.66	70.39	71.21	-0.002	-2.66	-72.02	-71.21
0.003	3.99	87.16	83.49	-0.003	-3.99	-79.81	-83.49
0.004	5.32	87.78	88.64	-0.004	-5.32	-89.5	-88.64
0.005	6.65	84.4	89.09	-0.005	-6.65	-93.77	-89.09
0.006	7.98	82.28	86.16	-0.006	-7.98	-90.04	-86.16
0.007	9.31	69.69	72.84	-0.007	-9.31	-75.98	-72.84
0.008	10.64	56.21	62.86	-0.008	-10.64	-69.51	-62.86
0.009	11.97	47.1	57.2	-0.009	-11.97	-67.3	-57.2
0.01	13.3	47.36	56.77	-0.01	-13.3	-66.17	-56.77

Çizelge 3 : Karbon Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük Değerleri Çizelgesi

<b>FRCM-K NUMUNESİ DENEYİ MAKSİMUM YÜK YERDEĞİŞTİRME</b>							
1.ÇEVİRİM							
Ötelenme Oranı	Yerd. mm	İtme kN	Ort. kN	Ötelenme Oranı	Yerd. mm	Çekme kN	Ort. kN
0.0005	0.665	79.14	64.86	-0.0005	-0.665	-50.57	-64.86
0.001	1.33	121.91	102.63	-0.001	-1.33	-83.34	-102.63
0.002	2.66	138.26	120.52	-0.002	-2.66	-102.78	-120.52
0.003	3.99	141.72	123.57	-0.003	-3.99	-105.42	-123.57
0.004	5.32	151.23	128.58	-0.004	-5.32	-105.93	-128.58
0.005	6.65	150.8	128.72	-0.005	-6.65	-106.64	-128.72
0.006	7.98	146.14	126.59	-0.006	-7.98	-107.04	-126.59
0.007	9.31	139.16	123.39	-0.007	-9.31	-107.61	-123.39
0.008	10.64	132.15	120.65	-0.008	-10.64	-109.14	-120.65
0.009	11.97	117.76	111.9	-0.009	-11.97	-106.03	-111.9
0.01	13.3	100.95	100.32	-0.01	-13.3	-99.69	-100.32

Çizelge A.4 : Cam Elyaf Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E)  
Yükleme Prosedürü Ötelenme Oranlarına Tekabül Eden Maksimum Yük  
Değerleri Çizelgesi

<b>FRCM-E NUMUNESİ DENEYİ MAKSİMUM YÜK YERDEĞİŞTİRME</b>							
<b>1.ÇEVİRİM</b>							
Ötelenme Oranı	Yerd. mm	İtme kN	Ort. kN	Ötelenme Oranı	Yerd. mm	Çekme kN	Ort. kN
0.0005	0.665	49.5	44.77	-0.0005	-0.665	-40.03	-44.77
0.001	1.33	78.32	72.29	-0.001	-1.33	-66.25	-72.29
0.002	2.66	100.94	89.2	-0.002	-2.66	-77.45	-89.2
0.003	3.99	124.12	105.31	-0.003	-3.99	-86.49	-105.31
0.004	5.32	136.02	111.15	-0.004	-5.32	-86.28	-111.15
0.005	6.65	145.17	121.04	-0.005	-6.65	-96.91	-121.04
0.006	7.98	154.34	128.63	-0.006	-7.98	-102.91	-128.63
0.007	9.31	149.49	127.58	-0.007	-9.31	-105.66	-127.58
0.008	10.64	162.34	143.41	-0.008	-10.64	-124.47	-143.41
0.009	11.97	161.02	147.74	-0.009	-11.97	-134.45	-147.74
0.01	13.3	157.82	146.74	-0.01	-13.3	-135.65	-146.74
0.0125	16.625	145.06	133.87	-0.0125	-16.625	-122.68	-133.87
0.015	19.95	130.55	117.59	-0.015	-19.95	-104.63	-117.59

Çizelge A.5 : Boş Çerçevenin (B) Rijitlik Değişimi Çizelgesi

<b>B NUMUNESİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ</b>					
		1.ÇEVİRİM			
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	Toplam kN	Rijitlik kN / mm
0.665	0.0005	4.46	-5.19	9.65	7.26
1.33	0.001	7.27	-8.87	16.14	6.07
2.66	0.002	12.63	-14.36	26.99	5.07
3.99	0.003	16.35	-18.72	35.07	4.39
5.32	0.004	26.51	-18.63	45.14	4.24
6.65	0.005	27.91	-19.22	47.13	3.54
7.98	0.006	28.07	-22.36	50.43	3.16
9.31	0.007	28.22	-24.93	53.15	2.85
10.64	0.008	28.38	-27.53	55.91	2.63
11.97	0.009	30.17	-29.9	60.07	2.51
13.3	0.01	30.76	-31.64	62.4	2.35
16.625	0.0125	32.24	-32.42	64.66	1.94
19.95	0.015	33.72	-33.29	67.01	1.68
23.275	0.0175	35.19	-34.19	69.38	1.49
26.6	0.02	36.67	-35.12	71.79	1.35
39.9	0.03	33.38	-34.22	67.6	0.85
53.2	0.04	29.56	-30.05	59.61	0.56
66.5	0.05	26.49	-22.08	48.57	0.37
79.8	0.06	22.98	-20.79	43.77	0.27
93.1	0.07	17.95	-16.5	34.45	0.19

Çizelge A.6 : Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Rijitlik Değişimi Çizelgesi

<b>D NUMUNESİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ</b>					
1.ÇEVİRİM					
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	Toplam kN	Rijitlik kN / mm
0.665	0.0005	25.75	-34.96	60.71	45.65
1.33	0.001	51.51	-50.53	102.04	38.36
2.66	0.002	70.39	-72.02	142.41	26.77
3.99	0.003	87.16	-79.81	166.97	20.92
5.32	0.004	87.78	-89.5	177.28	16.66
6.65	0.005	84.4	-93.77	178.17	13.4
7.98	0.006	82.28	-90.04	172.32	10.8
9.31	0.007	69.69	-75.98	145.67	7.82
10.64	0.008	56.21	-69.51	125.72	5.91
11.97	0.009	47.1	-67.3	114.4	4.78
13.3	0.01	47.36	-66.17	113.53	4.27

Çizelge A.7 : Karbon Matrisli FRM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRM-K) Rijitlik Değişimi Çizelgesi

<b>FRM-K NUMUNESİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ</b>					
1.ÇEVİRİM					
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	Toplam kN	Rijitlik kN / mm
0.665	0.0005	79.14	-50.57	129.71	97.53
1.33	0.001	121.91	-83.34	205.25	77.16
2.66	0.002	138.26	-102.78	241.04	45.31
3.99	0.003	141.72	-105.42	247.14	30.97
5.32	0.004	151.23	-105.93	257.16	24.17
6.65	0.005	150.8	-106.64	257.44	19.36
7.98	0.006	146.14	-107.04	253.18	15.86
9.31	0.007	139.16	-107.61	246.77	13.25
10.64	0.008	132.15	-109.14	241.29	11.34
11.97	0.009	117.76	-106.03	223.79	9.35
13.3	0.01	100.95	-99.69	200.64	7.54

Çizelge A.8 : Cam Elyaf Matrisli FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Rijitlik Değişimi Çizelgesi

<b>FRCM-E NUMUNESİ RİJİTLİK DEĞİŞİMİ</b>					
1.ÇEVİRİM					
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	Toplam kN	Rijitlik kN / mm
0.665	0.0005	49.5	-40.03	89.53	67.32
1.33	0.001	78.32	-66.25	144.57	54.35
2.66	0.002	100.94	-77.45	178.39	33.53
3.99	0.003	124.12	-86.49	210.61	26.39
5.32	0.004	136.02	-86.28	222.3	20.89
6.65	0.005	145.17	-96.91	242.08	18.2
7.98	0.006	154.34	-102.91	257.25	16.12
9.31	0.007	149.49	-105.66	255.15	13.7
10.64	0.008	162.34	-124.47	286.81	13.48
11.97	0.009	161.02	-134.45	295.47	12.34
13.3	0.01	157.82	-135.65	293.47	11.03
16.625	0.0125	145.06	-122.68	267.74	8.05
19.95	0.015	130.55	-104.63	235.18	5.89

Çizelge A.9 : Boş Çerçevenin (B) Kalan Dayanım Çizelgesi

<b>B NUMUNESİ KALAN DAYANIMI</b>					
1.ÇEVİRİM					
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	P <sub>i</sub> (ort) kN	P <sub>i</sub> / P <sub>max</sub>
0.665	0.0005	4.46	-5.19	4.83	0.13
1.33	0.001	7.27	-8.87	8.07	0.22
2.66	0.002	12.63	-14.36	13.5	0.38
3.99	0.003	16.35	-18.72	17.54	0.49
5.32	0.004	26.51	-18.63	22.57	0.63
6.65	0.005	27.91	-19.22	23.57	0.66
7.98	0.006	28.07	-22.36	25.22	0.7
9.31	0.007	28.22	-24.93	26.58	0.74
10.64	0.008	28.38	-27.53	27.96	0.78
11.97	0.009	30.17	-29.9	30.04	0.84
13.3	0.01	30.76	-31.64	31.2	0.87
16.625	0.0125	32.24	-32.42	32.33	0.9
19.95	0.015	33.72	-33.29	33.51	0.93
23.275	0.0175	35.19	-34.19	34.69	0.97
<b>26.6</b>	<b>0.02</b>	<b>36.67</b>	<b>-35.12</b>	<b>35.9</b>	<b>1</b>
<b>39.9</b>	<b>0.03</b>	<b>33.38</b>	<b>-34.22</b>	<b>33.8</b>	<b>0.94</b>
<b>53.2</b>	<b>0.04</b>	<b>29.56</b>	<b>-30.05</b>	<b>29.81</b>	<b>0.83</b>
<b>66.5</b>	<b>0.05</b>	<b>26.49</b>	<b>-22.08</b>	<b>24.29</b>	<b>0.68</b>
<b>79.8</b>	<b>0.06</b>	<b>22.98</b>	<b>-20.79</b>	<b>21.89</b>	<b>0.61</b>
<b>93.1</b>	<b>0.07</b>	<b>17.95</b>	<b>-16.5</b>	<b>17.23</b>	<b>0.48</b>

Çizelge A.10 : Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Kalan Dayanım Çizelgesi

<b>B NUMUNESİ KALAN DAYANIMI</b>					
		1.ÇEVİRİM			
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	P <sub>i</sub> (ort) kN	P <sub>i</sub> / P <sub>max</sub>
0.665	0.0005	25.75	-34.96	30.36	0.34
1.33	0.001	51.51	-50.53	51.02	0.57
2.66	0.002	70.39	-72.02	71.21	0.8
3.99	0.003	87.16	-79.81	83.49	0.94
5.32	0.004	87.78	-89.5	88.64	0.99
<b>6.65</b>	<b>0.005</b>	<b>84.4</b>	<b>-93.77</b>	<b>89.09</b>	<b>1</b>
<b>7.98</b>	<b>0.006</b>	<b>82.28</b>	<b>-90.04</b>	<b>86.16</b>	<b>0.97</b>
<b>9.31</b>	<b>0.007</b>	<b>69.69</b>	<b>-75.98</b>	<b>72.84</b>	<b>0.82</b>
<b>10.64</b>	<b>0.008</b>	<b>56.21</b>	<b>-69.51</b>	<b>62.86</b>	<b>0.71</b>
<b>11.97</b>	<b>0.009</b>	<b>47.1</b>	<b>-67.3</b>	<b>57.2</b>	<b>0.64</b>
<b>13.3</b>	<b>0.01</b>	<b>47.36</b>	<b>-66.17</b>	<b>56.77</b>	<b>0.64</b>

Çizelge A.11 : Karbon Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-K) Kalan Dayanım Çizelgesi

<b>FRCM-K NUMUNESİ KALAN DAYANIMI</b>					
			1.ÇEVİRİM		
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	P <sub>i</sub> (ort) kN	P <sub>i</sub> / P <sub>max</sub>
0.665	0.0005	79.14	-50.57	64.86	0.5
1.33	0.001	121.91	-83.34	102.63	0.8
2.66	0.002	138.26	-102.78	120.52	0.94
3.99	0.003	141.72	-105.42	123.57	0.96
5.32	0.004	151.23	-105.93	128.58	1
<b>6.65</b>	<b>0.005</b>	<b>150.8</b>	<b>-106.64</b>	<b>128.72</b>	<b>1</b>
<b>7.98</b>	<b>0.006</b>	<b>146.14</b>	<b>-107.04</b>	<b>126.59</b>	<b>0.98</b>
<b>9.31</b>	<b>0.007</b>	<b>139.16</b>	<b>-107.61</b>	<b>123.39</b>	<b>0.96</b>
<b>10.64</b>	<b>0.008</b>	<b>132.15</b>	<b>-109.14</b>	<b>120.65</b>	<b>0.94</b>
<b>11.97</b>	<b>0.009</b>	<b>117.76</b>	<b>-106.03</b>	<b>111.9</b>	<b>0.87</b>
<b>13.3</b>	<b>0.01</b>	<b>47.36</b>	<b>-66.17</b>	<b>56.77</b>	<b>0.64</b>

Çizelge A.12 : Cam Elyaf Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Kalan Dayanım Çizelgesi

<b>FRCM-K NUMUNESİ KALAN DAYANIMI</b>					
1.ÇEVİRİM					
Yerdeğiştirme mm	Ötelenme Oranı	İtme kN	Çekme kN	P <sub>i</sub> (ort) kN	P <sub>i</sub> / P <sub>max</sub>
0.665	0.0005	49.5	-40.03	44.77	0.3
1.33	0.001	78.32	-66.25	72.29	0.49
2.66	0.002	100.94	-77.45	89.2	0.6
3.99	0.003	124.12	-86.49	105.31	0.71
5.32	0.004	136.02	-86.28	111.15	0.75
6.65	0.005	145.17	-96.91	121.04	0.82
7.98	0.006	154.34	-102.91	128.63	0.87
9.31	0.007	149.49	-105.66	127.58	0.86
10.64	0.008	162.34	-124.47	143.41	0.97
<b>11.97</b>	<b>0.009</b>	<b>161.02</b>	<b>-134.45</b>	<b>147.74</b>	<b>1</b>
<b>13.3</b>	<b>0.01</b>	<b>157.82</b>	<b>-135.65</b>	<b>146.74</b>	<b>0.99</b>
<b>16.625</b>	<b>0.0125</b>	<b>145.06</b>	<b>-122.68</b>	<b>133.87</b>	<b>0.91</b>
<b>19.95</b>	<b>0.015</b>	<b>130.55</b>	<b>-104.63</b>	<b>117.59</b>	<b>0.8</b>

Çizelge A.13: Boş Çerçevenin (B) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi

ötelenme oranı	yerdeğiştirme mm	1.Çevrim (İtme)				1.Çevrim (Çekme)				ortalama kümülatif enerji kNm
		toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	
0.0005	0.665	0.00157	-0.00072	0.00085	0.00085	0.0022	-0.00114	0.00106	0.00106	0,000955
0.001	1.33	0.00517	-0.00313	0.00289	0.00204	0.00606	-0.00363	0.00349	0.00243	0,00319
0.002	2.66	0.01641	-0.00997	0.00933	0.00644	0.0192	-0.01139	0.0113	0.00781	0,010315
0.003	3.99	0.0317	-0.01967	0.02136	0.01203	0.03457	-0.02239	0.02348	0.01218	0,02242
0.004	5.32	0.05484	-0.03729	0.03891	0.01755	0.04097	-0.02677	0.03768	0.01420	0,038295
0.005	6.65	0.07798	-0.0549	0.06199	0.02308	0.04736	-0.03114	0.0539	0.01622	0,057945
0.006	7.98	0.10112	-0.07252	0.09059	0.0286	0.05376	-0.03552	0.07214	0.01824	0,081365
0.007	9.31	0.11413	-0.07867	0.12605	0.03546	0.08567	-0.05783	0.09998	0.02784	0,113015
0.008	10.64	0.12713	-0.08481	0.16837	0.04232	0.09963	-0.06972	0.12989	0.02991	0,14913
0.009	11.97	0.14674	-0.09391	0.2212	0.05283	0.11359	-0.0816	0.16188	0.03199	0,19154
0.01	13.3	0.16634	-0.10301	0.28453	0.06333	0.1587	-0.11651	0.20407	0.04219	0,2443
0.0125	16.625	0.26994	-0.11975	0.43472	0.15019	0.29593	-0.12931	0.37069	0.16662	0,402705
0.015	19.95	0.37354	-0.1365	0.67176	0.23704	0.43316	-0.14211	0.66174	0.29105	0,66675
0.0175	23.275	0.47714	-0.15324	0.99566	0.32390	0.57038	-0.15491	1.07721	0.41547	1,036435
0.02	26.6	0.58074	-0.16998	1.40642	0.41076	0.70761	-0.16771	1.61711	0.5399	1,511765
0.03	39.9	0.82488	-0.1796	2.0517	0.64528	1.16369	-0.03902	2.74178	1.12467	2,39674
0.04	53.2	1.07208	-0.17962	2.94416	0.89246	1.15077	-0.17136	3.72119	0.97941	3,332675
toplam		4.44145	-1.49729		2.94416	4.98325	-1.26206		3.72119	

Çizelge A.14: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (D) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi

ötelenme oranı	yerdeğiştirme mm	1.Çevrim (İtme)				1.Çevrim (Çekme)				ortalama kümülatif enerji kNm
		toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	
0.0005	0.665	0.01018	-0.00283	0.00735	0.00735	0.01447	-0.00165	0.01282	0.01282	0.01009
0.001	1.33	0.04036	-0.00992	0.03779	0.03044	0.04358	-0.00647	0.04993	0.03711	0.04386
0.002	2.66	0.09189	-0.02415	0.10553	0.06774	0.10769	-0.0202	0.13742	0.08749	0.12148
0.003	3.99	0.15428	-0.04541	0.2144	0.10887	0.14472	-0.03064	0.2515	0.11408	0.23295
0.004	5.32	0.21191	-0.07831	0.348	0.1336	0.19996	-0.04474	0.40672	0.15522	0.37736
0.005	6.65	0.23826	-0.07219	0.5140	0.16607	0.23473	-0.06493	0.57652	0.1698	0.5453
0.006	7.98	0.28613	-0.07766	0.72254	0.20847	0.26988	-0.07185	0.77455	0.19803	0.74855
0.007	9.31	0.31856	-0.08314	0.95796	0.23542	0.27824	-0.07918	0.97361	0.19906	0.96579
	toplam	1,35157	-0.39361		0.95796	1.29327	-0.31966		0.97361	

Çizelge A.15: Karbon Esaslı FRM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRM-K) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi

ötelenme oranı	yerdeğiştirme mm	1.Çevrim (İtme)				1.Çevrim (Çekme)				ortalama kümülatif enerji kNm
		toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	
0,0005	0,665	0,03016	-0,01565	0,01451	0,01451	0,02158	-0,00879	0,01279	0,01279	0,01365
0,001	1,33	0,11368	-0,02537	0,10282	0,08831	0,09438	-0,02671	0,08046	0,06767	0,09164
0,002	2,66	0,24073	-0,03982	0,30373	0,20091	0,21935	-0,0573	0,24251	0,16205	0,27312
0,003	3,99	0,32947	-0,05232	0,58088	0,27715	0,24286	-0,07589	0,40948	0,16697	0,49518
0,004	5,32	0,42958	-0,11189	0,89857	0,31769	0,37196	-0,0676	0,71384	0,30436	0,80621
0,005	6,65	0,59144	-0,11989	1,37012	0,47155	0,45647	-0,07378	1,09653	0,38269	1,23333
0,006	7,98	0,68777	-0,12104	1,93685	0,56673	0,50417	-0,14701	1,45369	0,35716	1,69527
0,007	9,31	0,74561	-0,11457	2,56789	0,63104	0,67805	-0,15239	1,97935	0,52566	2,27362
0,008	10,64	0,79166	-0,09343	3,26612	0,69823	0,74026	-0,20489	2,51472	0,53537	2,89042
0,009	11,97	0,80205	-0,08154	3,98663	0,72051	0,78816	-0,19964	3,10324	0,58852	3,54494
	toplam				3,98663				3,10324	

Çizelge 16: Cam Elyaf Esaslı FRCM Güçlendirmeli Çerçevenin (FRCM-E) Enerji Yutma Kapasitesi Çizelgesi

ötelenme oranı	yerdeğiştirme mm	1.Çevrim (İtme)				1.Çevrim (Çekme)				ortalama kümülatif enerji kNm
		toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	toplam enerji kNm	elastik enerji kNm	kümülatif enerji kNm	yutulan enerji kNm	
0,0005	0,665	0,02093	-0,00745	0,01348	0,01348	0,02315	-0,01176	0,01139	0,01139	0,01244
0,001	1,33	0,06765	-0,02812	0,05301	0,03953	0,06924	-0,03689	0,04374	0,03235	0,04838
0,002	2,66	0,15432	-0,05802	0,14931	0,0963	0,18408	-0,08112	0,1467	0,10296	0,14801
0,003	3,99	0,30696	-0,08483	0,37144	0,22213	0,27574	-0,09273	0,32971	0,18301	0,35058
0,004	5,32	0,46052	-0,10924	0,72272	0,35128	0,36781	-0,12386	0,57366	0,24395	0,64819
0,005	6,65	0,5551	-0,13728	1,14054	0,41782	0,46732	-0,14886	0,89212	0,31846	1,01633
0,006	7,98	0,68254	-0,1505	1,67258	0,53204	0,56719	-0,23149	1,22782	0,3357	1,4502
0,007	9,31	0,8343	-0,17601	2,33087	0,65829	0,67068	-0,23406	1,66444	0,43662	1,99766
0,008	10,64	0,9561	-0,17201	3,11496	0,78409	0,93554	-0,26457	2,33541	0,67097	2,72519
0,009	11,97	1,01077	-0,20653	3,9192	0,80424	0,89207	-0,34747	2,88001	0,5446	3,39961
0,01	13,3	1,08739	-0,20539	4,8012	0,882	0,98628	-0,32933	3,53696	0,65695	4,16908
0,0125	16,625	1,27839	-0,1998	5,87979	1,07859	1,16551	-0,35252	4,34995	0,81299	5,11487
0,015	19,95	1,28438	-0,2525	6,91167	1,03188	1,23299	-0,25453	5,32841	0,97846	6,12004
toplam					6,91167				5,32841	

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Taha DEMİRCİ

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 04 Nisan 1982. Sivas

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 506 645 79 71

email: tndemirci@hotmail.com

Yazışma Adresi: Erciyesevler Mh. Fundalık Sk. Vakıf Konutu No:13/14  
Kocasinan/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi	2006
Lise	Kongre Lisesi	2000

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2007- 2010	Karayolları Genel Müdürlüğü	Mühendis
2010-2017	Vakıflar Genel Müdürlüğü	Mühendis
2017-halen	Vakıflar Genel Müdürlüğü	Şube Müdürü

### YABANCI DİL

İngilizce