

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

**DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN HASIR DONATI İLE
GÜÇLENDİRİLMESİNDE, DUVAR DÜZLEMİNE DİK
ANKRAJ ÇAPI DEĞİŞİMİNİN BÖLME DUVARLI
ÇERÇEVE GÜÇLENDİRMESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Basheer ABED**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hidayet ÖZDEMİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2017
KAYSERİ**

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

**DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN HASIR DONATI İLE
GÜÇLENDİRİLMESİNDE, DUVAR DÜZLEMİNE DİK
ANKRAJ ÇAPI DEĞİŞİMİNİN BÖLME DUVARLI
ÇERÇEVE GÜÇLENDİRMESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Basheer ABED**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hidayet ÖZDEMİR**

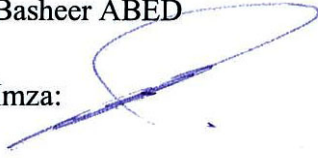
**Kasım 2017
KAYSERİ**

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.

Basheer ABED

İmza:



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı İle Güçlendirilmesinde, Duvar Düzlemine Dik Ankraj Çapı Değişiminin Bölme Duvarlı Çerçeve Güçlendirmesine Etkisinin Deneysel Araştırılması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

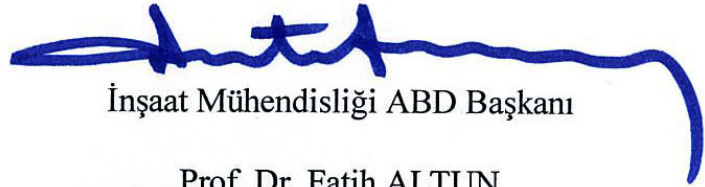


Tezi Hazırlayan

Basheer ABED

Danışman

Yrd.Doç.Dr. Hidayet ÖZDEMİR



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Fatih ALTUN

KABUL VE ONAY

Yrd. Doç. Dr. Hidayet ÖZDEMİR danışmanlığında **Basheer ABED** tarafından hazırlanan “**Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı İle Güçlendirilmesinde, Duvar Düzlemine Dik Ankraj Çapı Değişiminin Bölme Duvarlı Çerçeve Güçlendirmesine Etkisinin Deneysel Araştırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

..... / / 2017

JÜRİ:

Danışman : YRD. DOÇ. DR. Hidayet ÖZDEMİR

Üye : PROF. DR. Fatih ALTUN

Üye : YRD. DOÇ. DR. Ali BOZER

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **14/11/2017** tarih ve **2017/4** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

14 / 11 / 2017
Prof. Dr. Mehmet AKKURT
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hidayet ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Basheer ABED

Kasım 2017, Kayseri



**DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN HASIR DONATI İLE
GÜÇLENDİRİLMESİNDE, DUVAR DÜZLEMİNE DİK ANKRAJ ÇAPI
DEĞİŞİMİNİN BÖLME DUVARLI ÇERÇEVE GÜÇLENDİRMESİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Basheer ABED

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2017
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hidayet ÖZDEMİR**

ÖZET

Türkiye’de bulunan mevcut yapılarının çok büyük bir bölümünün orta şiddetteki depremlere dahi dayanamayacak düzeyde olduğu bilinmektedir. Bu yapıların tamamen yıkılıp yerlerine yeniden dayanıklı yapılar inşa edilmesi pratik bir çözüm değildir. Ayrıca bu işlemin maliyeti de oldukça yüksektir. Bu yüzden daha az maliyetli ve pratik olmasından dolayı var olan yapıların depreme karşı güçlendirilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu deneysel çalışmada çerçeve yapı içerisinde var olan boşlukların dolgu duvar ile doldurulması ve sonrasında dolgu duvarların hasır çelik uygulaması ve üzerine sıva kaplanmasıyla güçlendirilmesi üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada uygulamada görülen tasarım ve imalat kusurlarına sahip, malzeme dayanımları yetersiz olacak şekilde bir katlı ve bir açıklıklı bir betonarme çerçeve sistemi imal edilmiştir. Deney sistemi 1/2 oranında olup, 5 adet farklı numune üretilmiştir. Bu numunelerden bir tanesi boş çerçeve, bir tanesi sadece dolgu duvarlı çerçeve, 3 tanesi de dolgu duvarları güçlendirilmiş çerçevedir. Son 3 çerçeve arasındaki farkı kullanılan dik ankraj çapı oluşturmaktadır. Numuneler tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Numunelerin ankastre mesnetli oldukları kabul edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucu deney elemanlarının yatay yük – yatay yer değiştirme, zarf eğrisi- yatay yer değiştirme ve rijitlik- ötelenme değer ve grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgulardan hasır çelik ve sıvayla güçlendirme uygulamasının çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak güçlendirilen çerçevelerin yatay yer değiştirme kapasitesi azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, dolgu duvar, güçlendirme, hasır çelik, dik ankraj

IN STRENGTHENING OF INFILL WALLS WITH REINFORCEMENT WIRE MESH, THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIATION IN ANCHORAGE DIAMETER ORTHOGONAL TO WALL PLANE ON THE WALL STRENGTHENING PROCEDURE

Basheer ABED

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, NOVEMBER 2017

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hidayet ÖZDEMİR

ABSTRACT

It is known that a major portion of the building stock in Turkey are not earthquake-resistant to even moderate magnitude shakings. It is not of a practical solution to demolish all of them and then to build earthquake-resistant structures in place. Additionally, the cost of doing so is quite high. For these reasons, due to being less costly and practical consideration, the strengthening of existing structures against probable design earthquake comes to forefront. In the study herein, experimental studies are performed on the filling of the bare frames and strengthening of the infilled frames with reinforcement mesh and plaster on top.

In this experimental study, one story and single bay reinforced concrete frame structures that have design and production shortcomings and have poor material qualities confronted with in practice are produced. The specimens' scale is $\frac{1}{2}$ and five different specimens are built. Of these test specimens, one is bare frame, one is infilled frame and the rest three are infilled and strengthened with mesh wire, plaster and anchorage. The difference among the last three is caused by the different diameter of orthogonal anchorage. The structures are tested using a reversible cyclic loading. It is assumed that the specimens are fixed at the base.

As a result of tests carried out, the lateral load- lateral deformation, envelope curve- lateral displacement and stiffness-drift values and graphics of the frame buildings are obtained. The test results indicate that the application of wire mesh, plaster and orthogonal anchorage increased the lateral load capacity and stiffness of reinforced concrete structures. However, the displacement capacity of the strengthened frames is decreased.

Keywords: Reinforced concrete, Infill wall, strengthening, wire mesh, orthogonal anchorage

İÇİNDEKİLER

DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN HASIR DONATI İLE GÜÇLENDİRİLMESİNDE, DUVAR DÜZLEMİNE DİK ANKRAJ ÇAPI DEĞİŞİMİNİN BÖLME DUVARLI ÇERÇEVE GÜÇLENDİRMESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
KISALTMALAR	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	3

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Genel Bilgiler	7
2.2. Önceki Araştırmalar	9

3. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışma.....	21
3.2. Malzeme Özellikleri	23

3.2.1. Beton	23
3.2.2. Donatı	23
3.2.3. Güçlendirme Sıvaları	24
3.2. Numunelerin İmalatı.....	25
3.2.1. Boyutlar ve donatı detayları.....	33
3.2.2. Çerçevelerin güçlendirilmesi	33
3.3. Deney ve ölçüm düzeneği.....	38
3.3.1. Deneylerin yapılması	40

4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Deneylerin Aşamaları ve Yük-Yer Değiştirme Eğrileri	45
4.1.1. Boş Çerçeve (B).....	45
4.1.2. Dolgu Duvarlı Referans Çerçeve (I)	48
4.1.3. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8 -WA Φ 8).....	53
4.1.4. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8-WA Φ 10).....	57
4.1.5. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8-WA Φ 12).....	61
4.2. Zarf Eğrileri - Bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına etkisi.....	64
4.3 Çerçeve Rijitliklerinin Kıyaslanması	67
4.4. Çevrimler Arası Rijitlik Azalması.....	72

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	96

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer
EMPA	: Uluslararası Malzeme Test ve Araştırma Merkezi
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
LP	: Lifli polimer
LVDT	: Linear Variable Displacement Transducer
Mpa	: Megapascal
MR	: Mağnetik Rezonans

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney numunelerinin fiziksel ve geometrik özellikleri	22
Tablo 3.2. Beton Karışım Oranları	23
Tablo 3.3. Beton Numune Özellikleri	23
Tablo 3.4. Donatı Özellikleri.....	24
Tablo 3.5. Deprem Yönetmeliğinde Verilen Karışım Oranına Göre Hazırlanmış Sıva.	24
Tablo 3.6. Tuğla Basınç Dayanımı.....	24



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yönetmeliğe göre dolgu duvar güçlendirme.....	8
Şekil 3.1. Temel betonu	25
Şekil 3.2. Temel kalıpları sökülüş.....	26
Şekil 3.3. Temel betonu kürü	26
Şekil 3.4. Çerçeve kalıplarının ve donatıların yapımı.....	27
Şekil 3.5. Çerçeve donatıları tamamlanmış.....	27
Şekil 3.6. Hazırlanan çerçeve kalıpları	28
Şekil 3.7. Çerçeve betonlarının dökümü	28
Şekil 3.8. Beton dökümü tamamlanmış çerçeveler	29
Şekil 3.9. Beton numunelerinin alınması	29
Şekil 3.10. Beton numunesi alınmış şekli	29
Şekil 3.11. Çerçevelerin kalıplarının sökülüş şekli.....	30
Şekil 3.12. Güçlendirme için çerçevede bırakılan dış.....	30
Şekil 3.13. Bölme duvarının dış yüzey	31
Şekil 3.14. Bölme duvarlara sıva yapılması iç yüz	31
Şekil 3.15. Bölme duvarlara sıva yapılması dış yüz	31
Şekil 3.16. Güçlendirme için çerçevede bırakılan dış.....	32
Şekil 3.17. Sıva sulanmış	32
Şekil 3.18. Deney elemanları ve donatı detayları (boyutlar cm birimindedir).....	33
Şekil 3.19. Boş çerçeve (B).....	34
Şekil 3.20. I, Dolgu duvarlı ve sıvalı çerçeve (Güçlendirilmemiş).....	34
Şekil 3.21. I-FA30Φ8-WA8Φ8-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun).....	34
Şekil 3.22. I-FA30Φ8-WA8Φ10-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun).....	35

Şekil 3.23. I-FA30Φ8-WA8Φ12-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun).....	35
Şekil 3.24. Duvar düzlemine dik ankraj yapımı.....	36
Şekil 3.25. 3 no'lu numune ankraj detayları	37
Şekil 3.26. Düzlem dışı hareketi engellemek için yapılan kayıcı mesnetler.....	39
Şekil 3.27. Yükleme düzeneği, krika ve yük hücresi.....	39
Şekil 3.28. Yükleme duvarı ve deney düzeneği	39
Şekil 3.29. Deney düzeneği.....	40
Şekil 3.30. Deney veri toplama düzeneği.....	40
Şekil 3.31. Boş çerçeve numunesine yatay yükleme yapılması.....	41
Şekil 3.32. LVDT lerle numuneden veri toplanması	42
Şekil 3.33. Dolgu duvarlı numunesine yatay yükleme yapılması.....	42
Şekil 3.34. LVDT lerle numuneden veri toplanması	43
Şekil 4.1. Boş çerçeve deney öncesi	46
Şekil 4.2. 4. döngü sonunda çatlak durumu	46
Şekil 4.3. 7. Döngü sonunda çatlak durumu	47
Şekil 4.4. 12. Döngü sonunda çatlak durumu	47
Şekil 4.5. 13. Döngü sonunda çatlak durumu	48
Şekil 4.6. Boş çerçeveye ait yük-yer değiştirme eğrisi	48
Şekil 4.7. Dolgu duvarlı referans çerçeve (I)	49
Şekil 4.8. Dolgu duvarlı referans çerçevede 2 ve 3. döngüde oluşan çatlaklar.....	50
Şekil 4.9. 7. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler	50
Şekil 4.10. 13. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler	51
Şekil 4.11. 17. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler	52
Şekil 4.12. 30. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler	52
Şekil 4.13. Tuğla dolgulu çerçeveye (I) ait yük-yer değiştirme eğrisi.....	52
Şekil 4.14. 1. döngü sonunda oluşan çatlaklar	54
Şekil 4.15 4. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve ayrılımlar.....	54

Şekil 4.16. 8. döngü sonunda çatlak durumu	54
Şekil 4.17. 14. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu	55
Şekil 4.18. 24. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu	55
Şekil 4.19. 26, 28 ve 30. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu.....	56
Şekil 4.20. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ 8- WA Φ 8) ait yük-yer değiştirme eğrisi.....	56
Şekil 4.21. İlk iki döngü sonunda çatlak durumu.....	57
Şekil 4.22. 5. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu	58
Şekil 4.23. 9. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu	58
Şekil 4.24. 20. döngü sonunda çatlak, ayrılma ve dökülme durumu	59
Şekil 4.25. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ 8-WA Φ 10) ait yük-yer değiştirme eğrisi.....	60
Şekil 4.26. 24. döngü sonunda çatlak, ayrılma ve dökülme durumu	60
Şekil 4.27. İlk 3 döngü sonunda çatlak durumu.....	61
Şekil 4.28. 5. döngü sonunda çatlak durumu.	62
Şekil 4.29. 10. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu	62
Şekil 4.30. 18. döngü sonunda çatlak durumu	63
Şekil 4.31. 24. döngü sonunda çatlak durumu	63
Şekil 4.32. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ 8-WA Φ 12) ait yük-yer değiştirme eğrisi.....	63
Şekil 4.33. Boş çerçeve (B) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi.....	64
Şekil 4.34. Dolgu duvarlı çerçeve (I) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi.....	64
Şekil 4.35. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 Φ 8-WA8-P) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi.....	65
Şekil 4.36. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 Φ 8-WA Φ 10-P) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi	65
Şekil 4.37. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 Φ 8-WA Φ 12-P) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi	66
Şekil 4.38. Boş çerçeve, dolgu duvarlı referans çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeveler için elde edilen yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi.....	67

Şekil 4.39. Boş çerçeve (B) rijitlik-ötenme eğrisi	69
Şekil 4.40. Dolgu duvarlı çerçeve (I) rijitlik-ötenme eğrisi	69
Şekil 4.41. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ8-P) rijitlik-ötenme eğrisi	70
Şekil 4.42. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ10-P) rijitlik-ötenme eğrisi	70
Şekil 4.43. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ12-P) rijitlik-ötenme eğrisi	71
Şekil 4.44. Boş çerçeve, dolgu duvarlı referans çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeveler için elde edilen rijitlik-ötenme eğrileri	71
Şekil 4.45. Tüm numunelerde meydana gelen çevrim içi rijitlik kayıp yüzdesi.....	73
Şekil 4.46. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş numunelerde meydana gelen çevrim içi rijitlik kayıp yüzdesi.....	74

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Türkiye, dünyanın en aktif ikinci deprem kuşağı olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Son yıllarda yaşanan şiddetli depremler bu gerçeğin en iyi göstergesidir. 20. yüzyılda gerçekleşen bu depremlerde yüz binden fazla can ve birçok mal kaybı yaşanmıştır. Önümüzdeki yıllarda oluşabilecek muhtemel depremlerde yaşanacak bu kayıpları en aza indirmek için çalışmalar yapılması ülkemizin öncelikli amaçları arasındadır [1].

Bu amaç doğrultusunda mevcut ve yeni tasarlanan binaların yapısal modellenmesinde yaşanan gelişmelerin yakından takip edilmesi gerekmektedir. Yapılarda bulunan dolgu duvarların bina davranışına etkisinin ihmal edilmesi Türkiye'deki mühendislik geleneğinde bina modellemesinde yapılan en yaygın hatalardan birini oluşturmaktadır.

Dolgu duvarların yapı davranışını önemli ölçüde etkilediği depremlerden sonra yapılan incelemelerde açık bir şekilde gözükmemektedir. Dolgu duvar olan ve olmayan çerçevelerle yapılan deneyler dolgu duvar varlığının özellikle çerçeve yatay rijitliğini büyük ölçüde arttırdığını göstermiştir. Özellikle yapıların birçoğunda zemin katlarda üst katlara göre daha az dolgu duvar kullanılmamaktadır. Bu durum sonucu düşey doğrultuda ani rijitlik değişimi oluşmakta ve böylece yumuşak kat davranışı ortaya çıkmaktadır. Deprem davranışı ve yer değiştirme talebi hesabında yapı hakim periyodu ve rijitliği önemli parametrelerdendir. Bu parametrelerin hesabında dolgu duvarların göz önüne alınmaması yapı periyodunun yanlış hesaplanmasına ve gerekli değerlendirmelerde önemli hatalara neden olmaktadır.

Türkiye’de deprem mühendisliği açısından yetersiz dolayısıyla güçlendirilmesi gereken birçok yapı bulunmaktadır. Perde ilavesi güçlendirmede yapılan en sık çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu yöntemin zahmetli, zaman alıcı ve maliyetli olması nedeniyle yeni bir metoda ihtiyaç vardır. Perde ilavesinden daha pratik bir çözüm, dolgu duvarların var olan özelliklerinin daha olumlu kullanılması ile güçlendirme yapılmasıdır. Bu da duvarların hasır çelik donatı ile güçlendirilerek davranışının iyileştirilmesi şeklinde mümkün olmaktadır. Bu yol ile güçlendirmede duvarların gevrek kırılması ihtimali ortadan kalkmakta ve mevcut malzemelerle daha hızlı, daha az hasarlı ve daha ekonomik bir güçlendirme yöntemine geçilmektedir.

Türkiye'deki yapı stokunun büyük bir çoğunluğunu betonarme sistemler oluşturmaktadır. Özellikle 6-14 katlı betonarme yapılarda kusurların fazla olması ve Türkiye’nin dünyanın en aktif deprem bölgelerinden biri üzerinde olması bu yapıların güçlendirilmesini önemli bir konu haline sokmaktadır. 1999 Marmara depremlerinden sonra deprem şartnamesindeki bazı maddeler yeniden gözden geçirilmiş ve uyulması gereken kriterler ağırlaştırılmıştır. Yapılan incelemeler göstermiştir ki 1999’dan daha önce inşa edilmiş yapılar içerisinde o dönemde mevcut olan şartnamelerdeki minimum kıstasları dahi sağlamayan yapılar bulunmaktadır. Bu tarihten sonra imal edilen binalar içerisinde de şartnamelere uymayan durumlar olduğu anlaşılmıştır. Bunun nedeni yeterli düzeyde denetleme sağlanamamasıdır. Özellikle şiddetli depremlerin olma ihtimali yüksek olan bölgelerde bu gibi kusurlu yapıların doğru yöntemlerle güçlendirilmesi çok büyük önem kazanmaktadır.

Betonarme yapılar için güçlendirme seçenekleri göz önüne alındığında; belirli taşıyıcı elemanlar bazında uygulanabildiği gibi, bütün taşıyıcı sistem bazında da uygulanabilmektedir. Taşıyıcı elemanlar ile yapılan güçlendirmede döşemeler, kolonlar, kirişler ile sınırlı kalınmaktadır. Bütün taşıyıcı sistem üzerinden uygulanabilen güçlendirme seçenekleri ise; çelik eleman takviyesi, dolgu duvarların güçlendirmesi ve perde duvarlarla güçlendirme yapılması şeklinde olmaktadır. Türkiye’de kusurlu şekilde imal edilmiş olan betonarme yapıların deprem gibi yatay yüklere karşı dayanımlarının yetersiz olduğu bilinmektedir. Aynı şekilde bu binaların süneklik ve rijitlikleri de yetersizdir. Bu nedenle Türkiye’de sadece eleman düzeyinde güçlendirme yapmaktansa, taşıyıcı sistem bazında güçlendirme yapmak ve dolayısıyla sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin ve rijitliğinin artırılması daha uygun görülmektedir.

Betonarme çerçeve yapıların aşağıdaki yöntemler kullanılarak sistem bazındaki güçlendirmeleri mümkün olmaktadır: betonarme çerçevelerdeki boşlukların çapraz çelik elemanlarla takviye edilmesi, çerçeve boşluğuna betonarme yerinde dökme perde duvar ilave edilmesi, çerçeve dışından perde duvar eklenmesi ve sistemde mevcut olan dolgu duvarların dayanımlarının artırılması gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

Dolgu duvarlar betonarme yapılarda sadece mimari elemanlar olarak görülmektedirler. Bu nedenle dolgu duvarlar yapıların statik ve dinamik analizlerinde hesaba katılmamakta ve sadece düşey yük olarak ele alınmaktadır. Bununla birlikte dolgu duvarlar üzerinde güçlendirme çalışmaları yapılmakta ve güçlendirmenin yapıların dayanım ve rijitliğine olan katkısı araştırılmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışması da, betonarme çerçeve yapılarıdaki dolgu duvarların TDY 2007'de yer verilen seçeneklerden biri olan hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesini ve sonucunda elde edilebilecek yatay yük taşıma kapasitesinde artışın deneysel olarak incelenmesini içermektedir.

Bu çalışmada betonarme bir yapıda dolgu duvarların ve takviyeli duvarların modellendiği sistemler oluşturulmuştur.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu deneysel çalışmada yalın bölme duvarlarının ve bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Test edilen elemanların rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerindeki değişim incelenmiştir. Bölme duvarlarından depremde daha fazla faydalanmak, rijitlik ve dayanımındaki kazanımdan depremde daha fazla istifade edebilmek için, bölme duvarların güçlendirilmesi çalışmaları yapılmaktadır [2].

Deprem riski yüksek olan Türkiye'de bulunan mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünün depreme karşı dayanımlarının yetersiz olduğu tahmin edilmektedir. Maalesef bu gerçeğe çok yakın zamanlarda oluşan depremlerde yaşanan acı tecrübelerle şahit olunmuştur. Bu yüzden mevcut ve kusurlu binaların deprem performansları incelenmeli ve yetersiz olan yapıların güçlendirme yöntemleri ile gerekli performans kriterlerini sağlayacak şekilde güçlendirmeleri gerekmektedir. Bu anlamda, güçlendirme yönteminin ne olacağı, güçlendirme metodunun yapı performansına etkisi, sosyal olarak uygunluğu, ekonomik uygunluğu ve fizibilite işlemleri gibi sorular akla gelmektedir. Bu

sorulara cevap olması açısından birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır ve çalışmalara devam etmektedir [Sugano 1982, Frosch vd. 1996, Alcocer vd. 1996, Sonuvar 2001, Özdemir 2006]. Bu araştırmalar sonucu ve ilerleyen malzeme ve teknoloji bilgisi ışığında önceden teklik edilen ve kullanılan güçlendirme yöntemlerinin iyileştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi hedefinde önemli adımlar kaydedilmiştir.

Türkiye’deki betonarme binalar genellikle istenilen yanal dayanım ve yanal rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem şartnamelerinin gerektirdiği düzende olmayan ve beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yansısı zayıf kat, yumuşak kat gibi düşey düzensizliklerin bulunması, zayıf kolon-kuvvetli kiriş gibi kapasite tasarım ilkelerine uymayan yetersizliklerin bulunması, deprem yatay performansları yeterli olmayan önemli bir yapı stokunu göz önüne getirmektedir. Bu tür yetersizliklere sahip yapıların tasarım depremlemlerinde sağlıklı ve istenilen seviyede davranış göstermesi mümkün olamamaktadır. Bu sebeple mevcut yapı stokunun belirli bir öncelik sırası belirlenerek deprem güvenliklerinin oluşturulması gerekmektedir [33].

Yukarıdaki bilgiler ışığında güçlendirilmesi gereken bina sayısının çok olduğu anlaşılmaktadır. Bu kadar fazla yapının hemen kullanım seviyesi performans seviyesini sağlayacak şekilde güçlendirilmesi ekonomik olarak mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Öte taraftan can ve mal kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi için bu yapıların depremlerde göçmelerinin engellemesi gerekmektedir.

Halen kullanımda olan bina ve endüstri yapılarının, yapı fonksiyonunu ve kullanım amacını engellemeden güçlendirilmesini mümkün kılacak ekonomik ve hızlı metotların geliştirilmesi gerekmektedir.

Yanal ötelenmelerin belirli seviye altında kaldığı sürece, tuğla dolgu duvarların betonarme yapıların hem rijitliğini hem de yanal dayanımını önemli derecede arttırdığı herkes tarafından bilinmektedir. Fakat yanal yer değiştirmeler belirli bir seviyeyi geçtiği zaman dolgu duvarlar düzlem içi ezilerek ya da düzlem dışı devrilerek fonksiyonunu yitirmekte ve dolayısıyla betonarme yapının davranışına tüm deprem boyunca katkıda bulunamamaktadır. Tuğla dolgu duvarlardan deprem boyunca daha fazla istifade etmek, elastik bölge içerisindeyken yapı rijitliğine ve dayanımına sağladığı katkıyı depremin

ilerleyen aşamalarında da koruyabilmek için, bölme dolgu duvarların güçlendirilme uğraşları halen devam etmektedir.

Türkiye’de betonarme çerçevelerden oluşan yapıların büyük bir kısmının şiddetli hatta orta şiddetli depremleri sağlıklı bir şekilde atlatabilecek yeterlilikte olmadığı bilinmektedir. Bu yapıların tasarım depremi öncesi güçlendirilmeleri veya depremi az veya orta hasarlı geçirdikten sonra iyileştirilmesi, onarılması veya güçlendirilmesi gerçek hayatta yaygın bir şekilde yapılmaktadır. Güçlendirme işleminde çerçeve içerisindeki boşlukların betonarme duvar ile kapatılarak rehabilite edilmesi ekonomik ve pratik bir çözüm olabilmektedir. Betonarme çerçeveler içerisindeki dolgu duvarlar uygun bir şekilde analiz edilip, projelendirilir ve gerektiği gibi imal edilirse, yapısal perde gibi davranarak binanın yatay rijitliğini ve yanal dayanımını arttırabilir. Bu durumda taşıyıcı sistem içerisindeki diğer elemanların güçlendirilmesine gerek kalmayabilir.

Buradaki yüksek lisans çalışmasında betonarme çerçeveler içerisinde bulunan tuğla dolgu duvarların hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmesi işlemi yapılacak. Üretilen çerçeveler daha sonra deneye tabi tutulacaktır. Betonarme çerçevenin kusurlu bir şekilde imal edildiği kabul edilerek, pratikte sıklıkla karşılaşılan durum yansıtılacaktır. Bu deneysel çalışmada beş adet, tek katlı, tek açıklıklı ve ½ ölçekli betonarme çerçeve yapısı üretilecektir. Tuğla dolgu duvar üzerine farklı güçlendirme detayları uygulanarak elde edilen çerçeveler deneye tabi tutulacaktır.

Bahsedilen amaç doğrultusunda hazırlanan beş tane çerçeve yapıları, dinamik yüklemeyi temsil edecek şekilde tersinir ve tekrarlanır yatay yük altında test edilecektir. Betonarme çerçevelerde kullanılacak geometrik kesit ve donatı detayları, pratik hayatta kusurlu bir biçimde üretildikleri zannedilen çerçeveleri temsil etmektedir. Betonarme çerçeveler rijit temel üzerine inşa edileceklerdir. Bu şekilde mesnet bölgesinde tam ankastrelik sağlanmış olacaktır. Çerçeveler tek katlı ve tek açıklıklıdır. İmalatta kullanılan beton basınç mukavemeti düşük, zayıf kolon ve güçlü kiriş prensibine dayanan tasarım şeklinde yapılacaktır. Bu çalışmada bölme duvarı ile çerçeve elemanları arasında yapılan dik ankraj çapı değişiminin betonarme çerçeve davranışına olan etkisi araştırılacaktır.

Bu numuneler'den 1 no'lu numune boş çerçeve, 2 no'lu numune bölme duvarlı çerçeve ve 3, 4 ve 5 no'lu numuneler ise deprem şartnamesine uygun olarak dolgu duvarları güçlendirilmiş çerçeve olacaktır.

3, 4 ve 5 no'lu betonarme çerçeve numuneler duvar düzlemine dik ankraj çapının değiştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu şekilde imal edilen numuneler kendi aralarında kıyaslanacak ve dolgu duvar ile taşıyıcı sistem elemanları arasında yapılan ankraj çapı değişiminin çerçeve güçlendirilmesine olan etkisi araştırılacaktır.



2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Genel Bilgiler

Güçlendirme: Bir yapının taşıma gücünü, rijitliğini, sünekliğini veya stabilitesini önceki durumunun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliklerin bütünüdür [3].

Güçlendirme ihtiyacı aşağıdaki durumlarda ortaya çıkar:

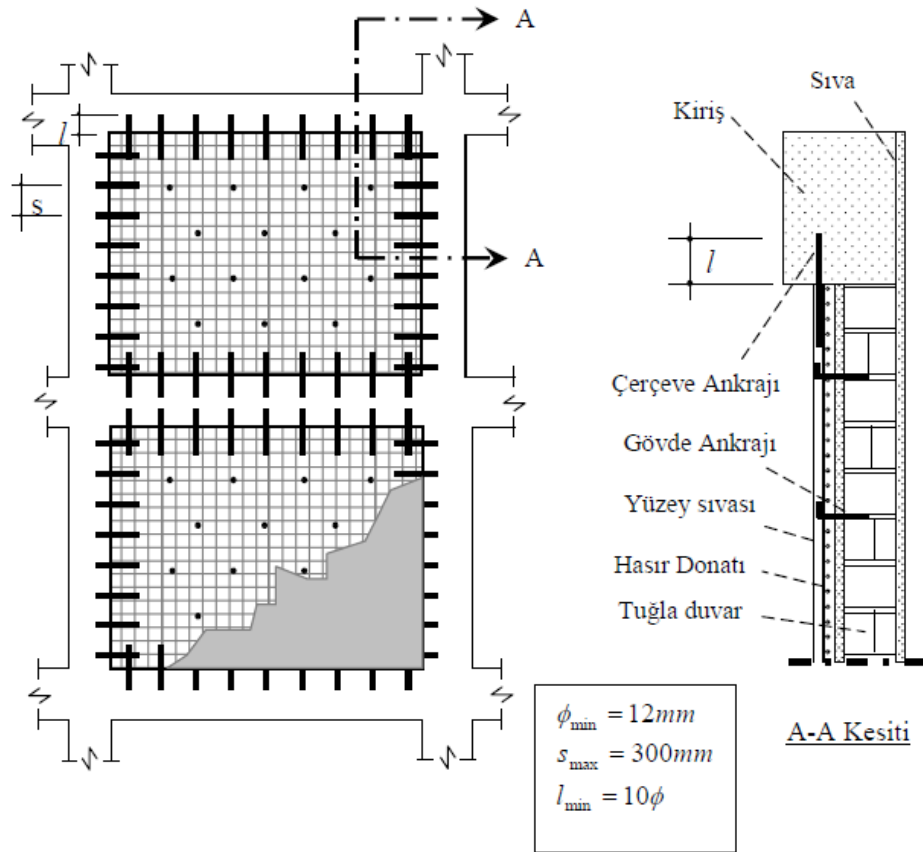
- Kullanımda değişiklik olması (örneğin, konut → okul).
- Mevcut yönetmelik koşullarının sağlanmaması.
- Beton dayanımından kuşku duyulması.
- Donatıdan kuşku duyulması.
 - * Proje uygulama hatası.
 - * Projeye gereklerine uymama.
- Yapıya yeni bir kat ilave edilmesi veya bol miktarda taşıyıcı olmayan bölme duvar eklenmesi.
- Yetersiz yanal dayanım veya rijitlik olması.
- Hasar bulunması.
 - * Az hasarlı.
 - * Orta hasarlı (Güçlendirme).
 - * Ağır hasarlı.

Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi:

2007 yılında yayınlanan Türk Deprem Şartnamesinde dolgu duvarların güçlendirilmesine yönelik 7F.1 bölümü yapılmıştır. Buna göre;

“Bodrum hariç en fazla 3 katlı binalarda mevcut olan ve temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarların rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan ve aşağıda tanımlanan güçlendirme yöntemleri ile artırılır”.

- * Hasır çelik donatılı sıva.
- * Lifli polimerler.
- * Prefabrike beton paneller.
- Duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı sıva ile artırılır.
- Sıva kalınlığı en az 3 cm.
- Hasır donatı pas payı en az 2 cm.
- Karışım; 4hacim kum, 1hacim çimento ve 1hacim kireç.
- Basınç dayanımı 5 Mpa.
- Kayma dayanımı ise 0.5 Mpa.



Şekil 2.1. Yönetmeliğe göre dolgu duvar güçlendirme

Duvarın köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır.

- Bu türlü uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir.
- Çerçeve ankraj çubuğunun en az çapı 12 mm.
- Minimum ankraj derinliği çubuk çapının 10 katı.
- En geniş çubuk aralığı 30 cm olmalıdır.
- Duvar düzlemine dik yönde, her $1m^2$ duvar alanında 4 adet gövde ankrajı yapılmalıdır.
- Gövde ankraj çubukları duvarın harç derzleri içine gömülmelidir.
- Tüm ankraj çubukları açılacak deliklere epoksi macunuyla ekilecek ve uçları L şeklinde 90^0 bükülerek hasır donatının içine geçirilecektir.
- Kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır.

2.2. Önceki Araştırmalar

Dolgulu çerçeveler konusundaki ilk çalışmalar Whitney vd. [4] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar 1949 yılında Amerikan Ordusu için deneysel bir çalışma programına başlamışlar ve çalışmaların sonuçlarını 1955 yılında yayınlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmada yapıların patlama yükleri etkisinde dayanımlarını araştırmışlardır. Yapılarda bulunan boşlukların dolgu duvar ile kaplanmasının çerçevenin yanal dayanımını ve rijitliğini ciddi bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu artışının çıplak çerçeveli duruma göre 10~20 kat arasında olabileceği belirlenmiştir. Yazarlar aynı zamanda çalışmanın analitik kısmını da gerçekleştirmişlerdir. Çerçevelerin yatay deplasmanını tahmin etmek için kiriş teorisine dayanan bir denklem önerilmiştir. Denklemden eğilme etkilerinin çerçeve elemanları, kesme etkilerinin ise sadece dolgu duvar tarafından karşılanacağı kabulü yapılmıştır.

Tek kat, boşluklu perde duvarlı çerçevelerin patlama yükleri ve deprem etkileri altındaki davranışları Benjamin ve Williams [5] tarafından araştırılmıştır. Çalışmada çerçeve yapılarının davranış ve yer değiştirme tipleri incelenmiştir. Yazarlar boşluk etrafındaki

perde duvarlardaki donatı detayının, çerçevede bulunan boşluk yer ve büyüklüğünün ve dolgu ile perde duvar arasındaki donatı detayının yapı davranışına olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada boşluklu perde duvar yapısının davranışının tahmin edilebileceği iddia edilmiştir. Elastik tasarım için gereken hassas sonuçların elde edilmesi adına mukavemet prensiplerinde kayma, eğilme ve eksenel yer değiştirme etkilerinin göz önüne alınması gerektiği bildirilmiştir.

Smith [6] dikey yönde dağıtılmış yükün çelik çerçeve içerisindeki yığma duvarın yatay rijitlik ve dayanımına olan etkisini araştırmıştır. Sistem üzerinde küçük dikey yük varken sistemin yatay rijitlik ve dayanımı, sistem üzerinde düşey yük olmadığı durumdan daha fazla olmaktadır. Dolgu duvar göçme modu yapı üzerinde sadece yatay yük varken olan durum ile aynıdır yani diyagonal çatlak ve köşe basınç göçmesi. Düşey yük arttırılınca, maksimum yatay rijitlik ve dayanım için optimum bir değer bulunmuştur. Bu yükten daha fazla düşey yük sisteme uygulanırsa sistemin yatay davranışı kötüleşmektedir. Optimum düşey yük değeri yaklaşık olarak düşey göçme yük değerinin yarısı kadardır. Düşey yük ve yatay dayanım arasındaki ilişkiyi göstermek için etkileşim diyagramları çizilmiştir.

Ersoy ve Uzsoy [7] yaptıkları araştırma çalışmasında tek açıklıklı ve tek katlı, 9 adet betonarme dolgulu çerçeve deneyi yapmışlardır. Çerçeveler iki katlı inşa edilmiştir. Çerçevelerin orta bölgesinden noktasal yük uygulanarak bir katlı bina davranışı simüle edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde tekdüze artan yatay yükleme uygulanmıştır. Dolgulu çerçeveler için yapılan değerlendirmeler sonucunda çerçeve yatay yük kapasitesinin yedi katına çıktığı ve sonuç durumdaki yer değiştirme kapasitesinin ise azaldığı anlaşılmıştır. Dolgu duvar yapılması durumunda, çerçeve yatay rijitliğinin yaklaşık olarak beş katına çıktığı hesap edilmiştir. Çalışma sonucunda betonarme dolgu duvarın “iki ucu mafsallı basınç çubuğu” ile modellenmesini önerilmiş ve bu matematiksel çubuğa ait parametrik özellikler belirtilmiştir.

Klingner ve Bertero [8] 11 katlı bir yapının ilk üç katının 1/3 ölçekli modeline yarı statik yük uygulayarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yapı üç açıklıktan oluşmakta ve dış açıklıklar dolgu duvar ile örülmüştür. Çıplak ve dolgu duvarlı çerçeve davranışını modellemek amacıyla basit ve iri ölçekli matematiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin dolgu duvarlı çerçeve davranışını çok güzel bir şekilde gösterdiği

anlaşılmıştır. Dolayısıyla modelin, büyük mühendislik yapılarının davranışını tahmin etmede kullanılabileceği belirtilmiştir.

Betonarme dolgu duvarlı 4 katlı çelik çerçeve yapılarının yatay dinamik yükleme testleri Liauw [9] tarafından yapılmıştır. Çerçeve ve dolgular arasındaki kesme bağlantıları ve dolgudaki boşlukların etkisi gibi faktörler, modellerin rijitlik ve dayanımı açısından incelenmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik davranışıyla alakalı olarak modellerin çatlama desenleri ve göçme modları dikkate alınmıştır. Kesme bağlantıları, dolgu çerçevelerin dayanım ve rijitliğini iyileştirmede son derece önemli bir rol üstlenmiştir. Fakat dolgu duvarlardaki boşlukların varlığı yapıların dinamik yükler altındaki dayanımını dikkate değer bir şekilde düşürmüştür.

Yüzügüllü [10] tek katlı, tek açıklıklı bir yapının güçlendirme çalışmalarını yapmıştır. Güçlendirme işlemi betonarme prefabrik panellerle yapılmış olup, elde edilen sonuçlar teknik bir raporda yayınlamıştır. Deneyler esnasında yapıya herhangi bir düşey yük uygulanmamış ve yapı kiriş seviyesinden yüklenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde hem hasarsız hem de hasarlı çerçeveler denenmiştir. Panel sayısı ve kiriş-kolon bağlantı şekli çalışmada parametre olarak kullanılmıştır. Prefabrik panellerin çıplak çerçeveye göre rijitliği 1.3-2.9 kat arasında arttırdığı, yatay yük kapasitesinin ise 7-9 kat arasında kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmada panel miktarının ve kolon-panel arasındaki bağlantının bulunup bulunmamasının çerçeve rijitliğini ve göçme modunu ciddi bir şekilde etkilemediği görülmüştür. Öte yandan panel sayısının artması, enerji sönümünü de arttırdığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonucu hasarlı çerçevelerin güçlendirilmesi ile oluşan rijitlik artışı, hasarsız çerçevelerin güçlendirilmesi ile oluşan rijitlik artışından %50-60 daha az olduğu belirlenmiştir

Higashi vd. [11] bir seminer yayını ile 1979 ve 1981 yıllarında yapılan deney serilerinin sonuçlarını bildirmişlerdir. Her iki yılda da yapılan deneylerde dört adet, 3 katlı betonarme çerçeveler kullanılmıştır. İlk yıl deneyleri tek açıklıklı, ikinci yıl deneyleri ise iki açıklıklı çerçevelerden oluşmaktadır. İkinci yıl deneylerindeki çerçevelerde güçlendirme işlemi sadece tek açıklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan çerçevelerden birincisi çıplak çerçeve, ikincisi betonarme dolgusu sonradan eklenmiş çerçeve, üçüncüsü kolonlarla yan yana kısmi perdeler eklenmiş çerçeve, sonuncusu ise tek döküm perdeli betonarme çerçeve olarak dizayn edilmiştir. Çıplak çerçeveyle perde

eklenerek güçlendirilmiş çerçeve arasında ilk yıl numunelerinde 66 kN, ikinci yıl numunelerinde ise 94 kN fark hesap edilmiştir. Birinci yıl numunelerinde tek döküm ve sonradan ilave edilen perde duvarlı çerçeve yatay davranışlarının benzeştiği, ikinci yıl yani iki açıklıklı çerçevelerde ise davranışların farklılaştığı gözlenmiştir. Deneyler sonucunda kolonlarla yan yana ilave edilen perdeli çerçevelerde sünek davranışının olabileceği gözlemlenmiştir. Çalışma dâhilinde gerçekleştirilen elastik olmayan yöntemlere deney sonuçlarının çakıştığı yazarlar tarafından belirtilmiştir.

1982 yılında kadar Japonya’da yapılan güçlendirilmiş çerçeve deneylerini özetleyen bir çalışma Sugano [12] tarafından yayınlanmıştır. Yapılan deney sonuçları göstermiştir ki bağlantı detaylarının uygun olması durumunda dolgu duvar güçlendirmesi tek döküm betonarme perde duvarlar kadar etkili olmaktadır. Prefabrik dolgu panellerin ise iyi süneklik sergilemelerine rağmen dayanım değerlerinin düşük seviyelerde kaldığı anlaşılmıştır. 1982 yılına kadar yapılan çelik X, K ve $\diamond$ çaprazlı çerçeve deneylerinden, bu güçlendirme yöntemi ile dayanımda genel olarak bir iyileşmenin görüldüğü, süneklik ve enerji tüketimi açısından ise daha iyi bir performansın sergilendiği belirtilmiştir. Kolonların yanına sonradan ilave edilen kısmi perdelerin tek döküm perdeler kadar etkin performans gösterdiği açıklanmıştır. Japon güçlendirme teknikleri ve güçlendirme yapılmış yapılardan örnekler çalışmanın sonunda verilmiştir.

Govindan vd [13] yatay yüklere maruz yedi katlı dolgu duvarlı betonarme çerçeve ile dolgusuz çerçeve davranışı arasındaki farkı araştırmıştır. Tuğla dolgulu çerçevenin göçme modu da yazarlar tarafından incelenmiştir. Çalışmada özellikle, yapılan deneysel çalışmada tersinir tekrarlı yatay yüke maruz dolgu duvarlı çerçevenin dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasiteleri tartışılmıştır.

Altın [14] tekrarlı-tersinir yükler altında 14 adet dolgulu çerçeve deneyi yapmıştır. Yapılan doktora tezi çalışmasındaki çerçeveler; 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı modellerden hazırlanmıştır. Çerçeve elemanların mukavemeti, dolgu donatısı, eksenel yük seviyesi ve dolgu-çerçeve bağlantı detayı deneysel çalışmada parametre olarak kullanılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde çerçeve-dolu arasındaki bağlantıların iyi yapılmış numunelerde rijitlik ve dayanımın arttığı hesap edilmiştir. Kolonlardaki dayanım ve eksenel yük miktarındaki artışın, çerçeve dayanımını arttırdığı ve çerçeve davranışına olumlu etkilediği gözlemlenmiştir.

Bush vd. [15] kayma göçmesine maruz kolonlara sahip, sünek olmayan betonarme bir çerçevenin büyük ölçekli bir modeli, iki güçlendirme yöntemi ile güçlendirmişlerdir. Birinci güçlendirme yönteminde, orijinal kolonlarla aynı yükseklikte beton kolonlar eklenmiştir. Testler, güçlendirilmiş kolon bölümünün monolitik olarak davrandığını ve hasar modunun çevre kırıslara doğru kaydığını göstermiştir. Çerçeve dayanımında ve rijitliğinde büyük artışlar da gerçekleşmiştir. İkinci güçlendirme yönteminde, çerçevenin dış yüzüne bir çelik X çapraz sistemi ilave edilmiştir. Çerçevenin yanal kapasitesi, çaprazların akması ve burkulması tarafından kontrol edildiği anlaşılmıştır. Sistem, ciddi bir şekilde artan çerçeve rijitliği ve mukavemet sergilemiştir. Her iki sistemin de imalatı yapılabilir ve performansının önemli bir şekilde epoksi ile doldurulmuş dübellere bağlı kaldığı belirtilmiştir. Kolon ilave sistemi daha düşük bir inşaat becerisi gerektirmiş ancak daha fazla emek gerektiren bir iş olduğu anlaşılmıştır. Çapraz destek sistemi daha yüksek bir inşaat beceri seviyesi gerektirmiştir.

Hasarlı betonarme çerçeve yapılarının çelik dolgu ve öngerilme çubuklarla güçlendirilmesi konusunda iki deney Gündoğmuş [16] tarafından yapılmıştır. İlk deney numunesinde betonarme çerçeve boşluğuna çelik çerçeve konulmuş ve köşelerine K şeklinde çapraz elemanlar imal edilmiştir. Çelik çapraz elemanlarına öngerme çubukları bağlanarak gerilmiştir. İkinci deney numunesinde çelik öngerme elemanları çelik çerçevedeki küçük boyuttaki köşebentlere bağlanarak gerilmiştir. Deneylerde kullanılan betonarme çerçevelerin özellikleri Altın (1990) tarafından kullanılan numunelerle aynı özelliklere sahiptir. Altın (1990) tarafından çıplak betonarme çerçevenin yatay yük kapasitesi 30.5 kN ve dolgu duvarlı betonarme çerçeveninki ise 260 kN olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada önerilen yöntemle bu dayanım 200 kN'a kadar yükseltilebilmiştir.

Yığma duvar dolgu panellerinin mevcut kod hükümlerine uygun olarak tasarlanan betonarme (RC) çerçevelerin sismik performansı üzerindeki etkisi Mehrabi vd. [17] tarafından araştırılmıştır. İki çerçeve türü dikkate alınmıştır. Bu çerçevelerden bir tanesi rüzgar yükleri için, diğeri de güçlü deprem ivmeleri için tasarlanmıştır. On iki adet 1/2 ölçekli, tek katlı ve tek bölmeli, çerçeve örnekleri test edilmiştir. Dolgu panellerinin içerisinde bulunduğu çerçeveye göre dayanımı, perdenin boy oranı, düşey yük dağılımı ve yanal yük çalışmanın parametrelerini oluşturmaktadır. Deney sonuçları, dolgu panellerinin RC çerçevelerinin performansını önemli ölçüde artırabileceğini

göstermiştir. Bununla birlikte, güçlü çerçeveli ve güçlü panelli numuneler, zayıf çerçeveli ve zayıf panelli olanlara göre, yük direnci ve enerji-tükenme kabiliyeti açısından daha iyi bir performans sergilemiştir. Dolgulu çerçeve numuneleri tarafından geliştirilen yanal yükler her zaman çıplak çerçeveye göre daha yüksek olarak hesap edilmiştir. Bu % 2 sürüklenme seviyesine kadar deforme olan en az sünek numune için bile geçerli olmuştur.

Frosch vd. [18] betonarme prefabrik panel dolgu duvarla alakalı deneysel çalışmaların sonuçlarını yayınlamıştır. Çalışmada düşük miktarda süneklik düzeyine sahip betonarme çerçevelerin prefabrik panel elemanlarla güçlendirilmesi önerilmektedir. Paneller arasındaki kesme gerilmeleri karşılamak üzere kayma dişleri konulmuştur. Yapılan uygulama çalışması panel elemanlarla oluşturulan perdenin artgerme tekniği ile gerilmesiyle nihai bir hal almaktadır.

Masri ve Goel [19] yaptıkları çalışmada, sismik olarak "zayıf" olarak nitelendirilen betonarme döşeme-kolon yapılarının güçlendirilmesi için sünek çelik destek kullanılmasına yönelik rasyonel bir tasarım prosedürünün geliştirilmesi ile uğraşmışlardır. 1/3 ölçekli, iki açıklıklı, iki katlı betonarme döşeme-kolon çerçeve modeli mevcut sismik olarak yetersiz yapılarını temsil etmek üzere seçilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçevesinin güçlendirilmesi için çelik destek sisteminin tasarım prosedürü, konstrüksiyonu ve test sonuçları sunulmuştur. Güçlendirilmiş çerçeve, ağırlık ve periyodik yanal yüklerin % 2'sine kadar toplam çerçeve ötelenmesine tabi tutulmuştur. Güçlendirilmiş çerçevenin davranışı, çıplak betonarme çerçevesininkinden büyük ölçüde iyileştiği gözlemlenmiştir. Şiddetli deprem hareketleri sırasında muhtemel olan ilk katta %2.75'lik bir ötelenme miktarına ulaşılmıştır.

Gilmore vd. [20] süneklik seviyesi yetersiz dolgulu betonarme çerçevelerin ard germe tekniği ile gerilmiş çelik çaprazlarla güçlendirilmesi konusunda deneysel çalışma yapmışlardır.

Deneysel çalışma ile binada bulunabilecek yatay ve düşey yönde düzensizlikleri giderilebileceği anlaşılmıştır. Ard germeli çaprazların dolgu duvarlı betonarme sistem dayanımını 3 katına, rijitliğini ise 2 ila 3 katına çıkarabildiği görülmüştür. Yapılan

sistemin az ve orta katlı yapılara uygun olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir. Bununla birlikte tavsiye edilen sistemin noksan yönleri de ortaya konulmuştur.

Hafif ponza taşı beton (LWPSC) dolgu plakaları, düz plakalı binalar için bir güçlendirme alternatifi olarak Humay ve Durrani [21] tarafından araştırılmıştır. Dört adet 4/10 ölçekli döşeme-kolon sistemleri. Döşeme ve dolgu duvarı arasındaki bağlantılar ve düzgün dağıtılmış delikler (dairese delikler ve dikdörtgen açıklıklar) dikkate alınan parametreleri oluşturmuştur. Deneysel sonuçlar, güçlendirilmiş numunelerin tümünün çıplak çerçeve ile karşılaştırıldığında dayanım ve rijitliğini belirgin bir şekilde arttırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, süneklik ve enerji dağılım mekanizması nedeniyle, en umut verici dolgu paneli yapılandırması dikdörtgen deliklere sahip olanı olarak belirlenmiştir. Dikdörtgen açıklıklar kullanarak iki farklı takviye kalıbı test edilmiştir. Açıklıklar arasında köşegen takviye ilavesi, duvarın dayanım gücünü arttırmanın yanı sıra, akma sonrası dayanım azalmasının daha iyi korunması etkisine sahip olmuştur.

Betonarme duvar takviyeli betonarme çerçevelerde iç kuvvet dağılımı üzerine deneysel bir araştırma Canbay vd. [22] tarafından yapılmıştır. Çalışmada iç kuvvetleri belirlemek için tasarlanmış özel bir test düzeneği ve kuvvet dönüştürücülerini tanımlanmıştır. Dönüştürücüler, kolonlardaki rijitlik değişiminin en düşük düzeyde olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma 1/3 ölçekli, iki katlı, üç bölmeli bir betonarme çerçevesinin önce hasarlı yanal ötelenme dönüşlerine maruz kaldığı ve daha sonra orta açıklığı dolduracak betonarme duvarının eklenmesiyle güçlendirildiği bir test sonuçlarını bildirmiştir. Türkiye'deki binalarda yaygın olarak gözlenen eksikliklerle inşa edilen çerçeve % 1.6'lık bir çatı katı ötelenmesine kadar itilmiştir. Çerçeve, yaklaşık 14 kN'lik bir taban kesme kuvveti oluşturmuştur. Daha sonra orta açıklığı doldurmak için iki betonarme duvarı dökülmüştür. Bu durumda % 1.6'lık bir kayma testi ile modifiye edilmiş yapı yaklaşık 53 kN'lik bir taban kesme kuvveti geliştirmiştir. İç kolonlardaki donatım birleşim yerlerinde kayma olmasına rağmen gözlemlenen histerezis döngüleri istikrarlı olarak kalmıştır.

Tuğla dolgulu betonarme yapıların lifli polimer kompozitlerle (CFRP) ile güçlendirilmesi Özcebe vd. [23] tarafından yapılan deneysel ve analitik çalışma ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada yedi adet 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı

çerçeveler test edilmiştir. Deneyler sonucunda CFRP ile güçlendirmede çerçeve dayanımında bir artış olmasına karşın çerçeve rijitliğinde kayda değer bir iyileşme gözlenmemiştir. Tüm deneyler göz önüne alındığında en büyük rijitlik artışı %34 olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda; güçlendirilmiş sistemin istenen performansı sergileyebilmesi için CFRP elemanların dolguya ve çerçeve elemanlara iyi ankrajlanması gerektiği, aksi takdirde uygulamanın faydalı olamayacağını ifade etmişlerdir.

Türk vd. [24] ODTÜ’de daha önce yapılan testlerde kullanılan boyutlara sahip tek açıklıklı, iki katlı ve 1/3 ölçeğinde betonarme çerçeve elemanları üretmişlerdir. Bu çerçeve numuneler kullanılarak betonarme dolguların çerçeve davranışa olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmalar hem hasarlı hem de hasarsız betonarme numunelerin güçlendirilmesi için tekrarlanmıştır. Çerçevelerde oluşan hasar seviyesinin yapının onarım/güçlendirilmesi sonrasındaki performansına olan etkileri de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ağır hasar görmüş boş çerçevelere dolgu ilavesi ile çerçeve dayanımında 9-14 kat arası artışlar sağlanmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin boş çerçevelere göre 13-24 kat arası daha rijit davrandıkları gözlenmiştir. Sistemin toplam dayanımında kolon boyuna donatı miktarının önemli olduğu tespit edilmiştir. Numune beton dayanımının toplam dayanıma ise etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Ancak çerçeve beton dayanımının ankraj performansına önemli etkileri olduğu deneylerde belirlenmiştir.

Perera vd. [25] yaptıkları çalışmada, duvarlı dolgu betonarme çerçeveler için, dolgu panellerinin dikey kesme linki ile K-çapraz sistemi ile değiştirilmesine dayanan bir sismik güçlendirme tekniği önermişlerdir. Bu tekniğin performansı deneysel testlerle değerlendirilmiştir. Yapısal hasar değerlendirmesi için basitleştirilmiş bir sayısal model de devamlılık hasar mekaniği kavram ve ilkelerine göre formüle edilmiştir. Önerilen model, deney sonuçları ile kalibre edilmiştir. Deney sonuçları, önerilen teknik ile mükemmel bir enerji yitirme kapasitesini göstermiştir. Benzer şekilde, önerilen model ile sayısal tahminler deney sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğu anlaşılmıştır.

Karaduman [26] farklı boyutlarda 7 tane çelik çerçeve üreterek deneysel bir çalışma yapmıştır. Çelik çerçeve sistemi tek açıklıklı ve tek gözlüdür. Çerçeve sistemindeki duvar malzemesi gaz beton yapı taşlarından oluşmaktadır. Çelik çerçeve sistemlerinin

açıklık/yükseklik oranı 0.9, 1.2, 1.4 şeklinde seçilmiştir. Çelik çerçeveler dört farklı şekilde test edilmiştir: dolgusuz, gazbeton duvar dolgulu ve gaz beton duvar + sıva dolgulu. Deney numunelerinin yatay doğrultuda meydana gelen yer değiştirmeleri, çatlama, göçme biçimleri ve süneklikleri araştırılmıştır.

Kesner ve Billington [27] kritik yapılar için güçlendirme stratejisi olarak, çerçeve yapılar için bir dolgu sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde geleneksel bir betonarme veya duvar yerine, çimentolu sentetik (ECC) malzemeden yapılmış prekast paneller kullanmıştır. ECC malzemesinin geleneksel malzemelere göre artan çekme gerilimi kapasitesi ve basınç tokluğundan dolayı avantajlıdır. Dolgu geometrilerini belirlemek için sonlu elemanlar benzetimleri yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından bir dizi yapısal ölçek testi geliştirilmiştir. Bir dizi tek panel testinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Test sonuçları, ECC malzemesinin karışım tasarımını ve panellerdeki takviye miktarını değiştirerek farklı panel sağlamlık ve sağlamlık düzeylerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Simülasyon sonuçlarıyla birlikte yapılan panel test sonuçları, dolgu sisteminin bir güçlendirme olarak potansiyelini ortaya koymuştur.

Kaltakçı ve Yavuz [28] düşük deprem direnci ve yetersiz betonarme donatı detaylarına sahip 3 adet 1/3 ölçekli, 2 katlı ve 2 açıklıklı betonarme çerçeveler üretmişlerdir. Bu çerçevelerin orta kolonun iki tarafına yapılan kısmi betonarme perde duvarlarla güçlendirme gerçekleştirilmiş ve tersinir tekrarlı yükler altında deneylerini yapmışlardır. Numunelerden ilki referans numunedir. Geriye kalan iki numunede ise 60 ve 90 cm uzunluğunda kısmi perdeler ilave edilmiştir. 60 cm perde uygulanan numunede, deney sonucunda yatay yük kapasitesi %178, 90 cm perde uygulanan numunede ise %316 oranında artmıştır. Fakat güçlendirilmiş deney elemanlarının yer değiştirme kapasitelerinin ilk numunenin yarısına kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Albanesi vd. [29] üç boyutlu bir katlı ve bir açıklıklı tam ölçekli betonarme çerçevelerle sarsma tablası deneyleri yapmıştır. Deneylerde boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlı modeller kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 0.45g ve 0.55g büyüklüğünde ivmelere ulaşılmıştır. Deney sonunda boşluksuz dolgulu çerçevelerin performansının diğerlerine nazaran oldukça başarılı olduğunu anlaşılmıştır.

Kara ve Altın [30] sünek olmayan ve kısmi dolgu ile güçlendirilen betonarme çerçevelerin davranışını incelemişlerdir. Çerçeveler yatay döngüsel yüke maruz

bırakılmıştır. Çalışmada yedi adet tek açıklıklı, iki katlı ve 1/3 ölçekli test numuneleri inşa edilmiş ve test edilmiştir. Test çerçevelerinde Türkiye'deki konut betonarme binalarında yaygın olarak görülen eksikliklerin var olduğu kabul edilmiştir. Dolgulu duvarın en / boy oranı ve yerleştirme konfigürasyonları deneysel çalışmanın parametrelerini oluşturmaktadır. Test sonuçları, kısmen doldurulmuş ve sünek olmayan betonarme çerçevelerinin çıplak çerçeveye (dolgu içermeyen çerçeve) kıyasla belirgin şekilde daha yüksek nihai dayanım ve daha yüksek başlangıç rijitliği sergilediğini ortaya koymuştur. Dolgulu duvarın en-boy oranı arttıkça yanal dayanım ve rijitlik önemli derecede artmıştır. Çerçeve elemanlarının mukavemet ve süneklik yetersizlikleri, kısmi dolgularla güçlendirilen çerçevenin yanal performansını etkilemiştir. En başarılı davranış, kısmen dolgulu duvarlar çerçevenin hem sütunlarına hem de kirişlerine bağlanan örneklerden elde edilmiştir.

Güney ve Boduroğlu [31] yaptıkları çalışmada boşluk dolgu duvarların sahip oldukları rijitliklerinin analiz ve tasarım aşamasında yapı davranışına olan etkisinin dikkate alınmadığını ifade etmişlerdir. Ancak bu elemanlar sahip oldukları rijitlik nedeniyle, simetrik veya asimetrik plana sahip yapılarda, deprem kuvvetleri altında, bina davranışını etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışmaya göre burulma davranışı beklenmeyen yatay yönde simetrik yapılarda, dolgu duvar nedeniyle burulma davranışı ortaya çıkabilmektedir. Bu etkileri araştırmak için simetrik ve simetrik olmayan yapı modelleri seçilmiş, farklı deprem etkileri altında yapı tepkileri değerlendirilmiştir. Çerçeve taşıyıcı ve duvar elemanları malzeme açısından lineer olmayan malzeme şeklinde modellenmiştir.

Anıl ve Altın [32] kısmi dolgu ile güçlendirilen sünek betonarme çerçevelerin çevrimsel yanal yükleme altında davranışını araştırmışlardır. Tek açıklıklı, tek katlı ve 1/3 ölçekli dokuz numune test edilmiş ve tersinir çevrimli yükleme uygulanmıştır. Dolgu duvarının en-boy oranı (l_w / h_w , burada l_w = dolgu uzunluğu, h_w = doldurma yüksekliği) ve yerleştirme biçimleri deneysel çalışmanın parametrelerini oluşturmuştur. Test sonuçları, kısmen dolgulu betonarme çerçevelerinin çıplak çerçeveye (dolgu içermeyen çerçeve) kıyasla belirgin şekilde daha yüksek nihai dayanım ve daha yüksek başlangıç rijitliği sergilediğini göstermiştir. Dolgu duvarının en-boy oranı artarken, yanal dayanım ve rijitlik önemli derecede artmıştır. Bu değişkenlere ek olarak, çerçeveler ve dolgular arasındaki bağlantı da dolgulu çerçevelerin davranışını etkilediği görülmüştür. Hem

kolona hem de kirişlere bağlanan kısmi dolgu betonarme çerçeve en başarılı davranışı göstermiştir.

Özdemir [33] hatalı olarak üretildikleri kabul edilen tuğla dolgu duvarlı betonarme yapılar üzerinde çalışma yapmıştır. Tuğla dolgu duvar yüzeyine çelik hasır donatı ve sıva uygulanarak betonarme çerçeve güçlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada 10 adet 1/2 ölçekli, bir katlı ve bir açıklıklı betonarme elemanlar üretilerek elde edilmiştir. Dolgu duvar yüzeyine yapılan farklı güçlendirme detayları sonucu farklı deney elemanları oluşturulmuştur. Bu uygulama sonucu elde edilen 10 adet çerçeve tersinir tekrarlı yatay yüke maruz bırakılmıştır. Üretilen çerçevelerin pratik hayatta karşılaşılan üretim hatalarını içerdiği dolayısıyla mevcut yapı stokunda bulunan kusurlu yapıları temsil ettiği kabul edilmiştir. Yapılan çerçeve imalatlarında numunelerin zemin ankastre temel ile bağlandığı kabul edilerek numuneler rijit bir temel üzerine inşa edilmişlerdir. Ayrıca üretim kusurları olarak düşük beton dayanımı ve zayıf kolon-güçlü kirişten oluşan bir tasarım felsefesi kabul edilmiştir. Çalışmada bölme duvarı ile çerçeve arasına yapılan ankraj aralığı, duvar düzlemine ortogonal ankraj sayısı, yapılan sıvanın kalınlığı ve kalitesi değişken olarak kullanılmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak numuneler deneye tabi tutulmuş ve çerçevelerin yatay kuvvet altındaki davranışları ve bu davranışlardaki değişimler incelenmiştir. Çalışmanın analitik kısmında çalışmada oluşturulan boş çerçeve, dolgu duvarlı güçlendirilmemiş çerçeve ve dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevelerin matematiksel modelleri kurulmuş, bu modellerin SAP2000 programında lineer olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilerek yatay yük kapasiteleri elde edilmiştir. Nümerik çalışmalar sonucunda deneylerde elde edilen yatay yük- yer değiştirme eğrileri, deneylerde elde edilen eğrilerle karşılaştırılmıştır.

Ünal [34] yaptığı çalışmada 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine göre betonarme çerçeveler tasarlamış ve çerçevelerin düzlem dışı perdelerle güçlendirerek deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada 1/3 ölçekli 4 adet numune üretilmiştir. Bu betonarme numuneler depreme ivmelerine benzeştirilen tersinir, tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Numunelerden ilki imalat hataları içeren dolayısıyla deprem dayanımı yetersiz yapıları temsil etmek üzere üretilen referans çerçevedir. Bu numuneye herhangi bir güçlendirme yapılmamıştır. İkinci numune eksenel kuvvetten dolayı yetersiz binaları temsil etmek amacıyla oluşturulan ve bu eksikliği güçlendirme

ile bertaraf edilen numunedir. Bu deney elemanında kolonlar 3 taraftan güçlendirilmiştir. Üçüncü deney numunesi düzlem dışı perde ile güçlendirilen ve pencere boşluğu içeren deney elemanıdır. Son numune ise düzlem dışı 2 adet betonarme perde ile güçlendirilen deney elemanıdır. Yapılan deneyler sonucunda numunelere ait yatay yük – deplasman döngüleri, bu döngülere ait zarf eğrileri ve yatay rijitlik, süneklik ve enerji yutma eğrileri verilmiş, sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Kılıç [35] tek açıklıklı ve iki katlı, pratikte karşılaşılan uygulama hatalarına ve malzeme noksanlıklarına sahip betonarme çerçeveler üretmiştir. Toplamda beş çerçeve numunesi üretilmiş olup numuneler $\frac{1}{2}$ ölçeğinde tasarlanmıştır. Bu beş çerçeveden ilki boş çerçeve, ikincisi dolgu duvarlı betonarme çerçeve, diğer üç tanesi ise hasır çelik ve sıva kaplamasının değişik şekillerde kullanıldığı güçlendirilmiş çerçevedir. Çalışma sonucu hasır çelik ve sıva yapılması ile güçlendirme işleminin çerçevelerin yatay rijitliğini ve yük taşıma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Ancak bu güçlendirmenin çerçeveleri deprem şartnamesinin öngördüğü deprem performansı seviyesine getirmediği anlaşılmıştır. Bunun nedenleri, mevcut numunelerdeki yetersiz bindirme boyları ve kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki yetersiz donatı miktarıdır. Dolayısıyla çalışmanın sonunda bu eksikliklerin giderilmesi şartıyla ve mevcut bir yapının detaylı bir şekilde incelenmesi, güçlendirme işleminin eksiksiz yerine getirilmesi ve güçlendirme çalışmalarının tecrübeli ve yetkin mühendislerce yerine getirilmesi tavsiye edilmiştir.

3. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmada 5 adet ½ ölçekli, bir katlı ve bir açıklıklı betonarme çerçeve numune yapıları üretilmiştir. Bu betonarme numuneler pratikte tasarım ve imalat açısından hatalı olarak üretilen binaları temsil etmektedir. Deneysel çalışmada uygulaması sade, kolay ve ekonomik güçlendirme yöntemleri uygulanmış daha sonra maruz kalabilecekleri yükler altında yatay kapasiteleri belirlenmiştir. Güçlendirme tekniği olarak dolgu duvar üzerine hasır çelik donatılı konulmuş ve daha sonra şartnameye uygun sıva ile sıvanmıştır.

Üretilen 5 tane deney elemanının geometrik boyutları, donatı detayları, donatı fiziksel ve mekanik özellikleri, beton mukavemeti ve güçlendirme de kullanılan hasır donatı ve sıva malzeme özelliklerine karar verilmiştir. Üretilen numunelerin hepsinde sayılan özelliklerin hepsi aynı kalmış yani bu fiziksel ve mekanik özellikler bir parametre olarak ele alınmamıştır.

Benzer şekilde betonarme çerçeve boşluğuna örülen tuğla dolgu duvar, çelik hasır fiziksel ve mekanik özellikleri, miktarı, duvar harcı, tuğla duvar yüzeyine uygulanan sıva, ankraj donatısı fiziksel ve mekanik özellikleri üretilen numunelerin hepsinde aynı olup ve yine sabit parametreleri oluşturmuştur. Deneye tabi tutulacak elemanların geometrik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Uygulanan ankraj çapının boyutu güçlendirilen deneylerde farklılık göstermektedir.

Numunelerin beton karışım oranları Tablo 3.2’de, çerçeve elemanlarında kullanılan beton özellikleri Tablo 3.3’te sunulmuştur. Donatının mekanik ve fiziksel özellikleri

Tablo 3.4’te verilmiştir. Numuneler Şekil 3.18’de verilen donatı detayları baz alınarak üretilmişlerdir.

Üretilen beş numunenin dördünde dolgu duvar olarak kullanılan tuğla malzemenin özellikleri Tablo 3.6’da sunulmuştur. Dolgu duvarlı bu dört numune özellikleri Tablo 3.5’te verilen sıva ile sıvanmıştır. Dolgu duvarlı olarak üretilen numune deneye tabi tutulmuş ve dolgu duvarın çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Dolgu duvarları güçlendirilen numuneler, duvar düzlemine dik ankraj çapının değişimini altında deneye tabi tutulmuş ve numunelerin yatay yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

Tablo 3.1. Deney numunelerinin fiziksel ve geometrik özellikleri

Numune no.	Numune adı	Numune özellikleri	Çerçeve boyutları cm×cm	Dolgu duvar Boyutları cm×cm
1	B	Boş çerçeve	210×145	170×120
2	I	Tuğla dolgu+sıva	210×145	170×120
3	I-FA30-WA8Φ8-P	Tuğla dolgu+sıva+çerçeve ankraj aralığı 30cm+duvar ankraj sayısı 8 adet ve 8mm çap+ Dep. Yön. verilen sıva 3.5cm	210×145	170×120
4	I-FA30-WA8Φ10-P	Tuğla dolgu+sıva+çerçeve ankraj aralığı 30cm+duvar ankraj sayısı 8 ade ve 10mm çap+ Dep. Yön. verilen sıva 3.5cm	210×145	170×120
5	I-FA30-WA8Φ12-P	Tuğla dolgu+sıva+çerçeve ankraj aralığı 30cm+duvar ankraj sayısı 8 adet ve 12mm çap+ Dep. Yön. verilen sıva 3.5cm	210×145	170×120

3.1. Malzeme Özellikleri

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan beton ve çelik malzemelerinin özellikleri Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4’te sunulmuştur.

3.1.1. Beton

Tablo 3.2. Beton Karışım Oranları

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

Tablo 3.3. Beton Numune Özellikleri

	Numune şekli	Numune boyutları (mm)	Kırılma yükü (kgf)	Kırılma yükü (kN)	Numune basınç dayanımı (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Temel	Silindir	150×300	46119	452.3	26.2	-
Çerçeve (28 günlük)	Silindir	150×300	23261.3	228.1	13.3	12837

3.1.2. Donatı

Donatı ile ilgili bilgiler Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Donatı Özellikleri

	Çap	Boy (m)	Ağırlık (kg)	Kütle (kg/m)	Akma (N)	Çekme (N)	Akma Dayanım 1 (MPa)	Çekme Dayanım 1 (MPa)	Kopma Uzam. %
Kolon	10	0.60	0.3638	0.606	38144	47091	486	600	16
	8	0.60	0.2525	0.421	23338	29529	464	588	16
Kiriş	12	0.60	0.543	0.905	53183	68698	471	608	17
	8	0.60	0.2525	0.421	23338	29529	464	588	16
Temel	16	0.60	0.9589	1.598	92398	111793	460	556	17
	8	0.60	0.2525	0.421	23338	29529	464	588	16
Ankraj Donatısı	8	0.60	0.2525	0.421	23338	29529	464	588	16
	10	0.60	0.3638	0.606	38144	47091	486	600	16
	12	0.60	0.543	0.905	53183	68698	471	608	17
Hasır Donatı	6	0.615	0.129	0.203	8947	17327	317	613	3

3.1.3. Güçlendirme Sıvaları

Deney numulerinde kullanılan sıvanın kalitesi deprem yönetmeliğinde verilen karışım oranlarına paralel olarak hazırlanmıştır. Sıva karışım oranları yönetmelikte verilen karışımlara uygun olup, 4 hacim kum/1 hacim çimento/1 hacim kireç karışımıyla sıva elde edilmiştir. Bu karışımla elde edilen sıvanın basınç mukavemeti Tablo 3.5’te sunulmuştur.

Tablo 3.5. Deprem Yönetmeliğinde Verilen Karışım Oranına Göre Hazırlanmış Sıva

	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (Mpa)
Sıva	136.8	7.8

Tablo 3.6. Tuğla Basınç Dayanımı

	Numune boyutları (cm)	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
Yatay delikli tuğla	19.5×19.5×8.5	36	2.41	1000

3.2. Numunelerin İmalatı

Buradaki deneysel çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli, bir katlı ve bir açıklıklı toplam beş adet betonarme çerçeve numunesi üretilmiştir. Güçlendirme işlemi dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan beş adet çerçeve numunesi, tersinir tekrarlanır yatay kuvvet altında test edilmiştir. Numunelerin donatı detayları ve boyutları Şekil 3.18’de verilmiştir.

Deney elemanlarında kullanılan donatı miktarı detayları ve kesit geometrisi pratikte hatalı olarak üretildikleri kabul edilen yapıları temsil etmektedir. Bu imalatlarda numunelerin tam ankastre mesnetlendiği kabul edilerek, numuneler rijit temel üzerine inşa edilmişlerdir. Deney numuneleri bir katlı, bir açıklıklı, beton basınç dayanımı zayıf, zayıf kolon-güçlü kiriş prensibine dayanan çerçevelerden imal edilmişlerdir. Deney elemanlarında kullanılan donatılar nervürlüdür. Etriyeler sadece 90° eğilmiş ve kancasız olarak imal edilmiştir. Şartnamenin öngördüğü etriye sıklaştırması yapılmamış ve kesitlerde minimum donatı kullanılmıştır. Numunelerin temelleri 310×100 cm boyutunda ve 50 cm yüksekliğinde inşa edilmiştir. Beş adet numunenin tamamının temel kalıpları yapılmış, donatıları yerleştirilmiş, kolon filizleri temel betonu dökülmeden önce Şekil 3.18’de verilen detaylara uygun yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Temel betonu



Şekil 3.2. Temel kalıpları sökülümüş

Bütün numunelerin temellerinin betonu aynı beton mikserinden ve aynı zamanda C25 mukavemetinde dökülmüştür. Temel dökümünden sonra, temel betonunun kuru yapılmıştır. Daha sonra çerçevelerin kalıpları hazırlanmış, beton ve kiriş donatıları kalıba yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Temel betonu kuru



Şekil 3.4. Çerçeve kalıplarının ve donatıların yapımı



Şekil 3.5. Çerçeve donatıları tamamlanmış



Şekil 3.6. Hazırlanan çerçeve kalıpları

Kalıpların tamamlanması ve donatıların yerleştirilmesinden sonra beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. 5 adet numunenin tamamının beton dökümü aynı zamanda yapılmıştır. Deney elemanlarının beton basınç mukavemetlerinin farklılık göstermemesi açısından, tamamı aynı karışım oranlarına sahip bir mikserden beton dökülmüştür. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi bol miktarda beton örneği alınmıştır.



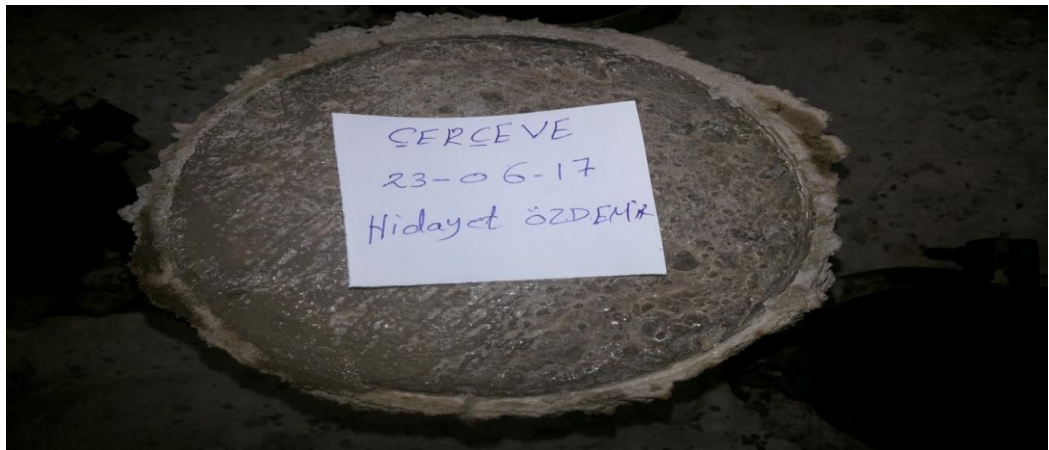
Şekil 3.7. Çerçeve betonlarının dökümü



Şekil 3.8. Beton dökümü tamamlanmış çerçeveler



Şekil 3.9. Beton numunelerinin alınması



Şekil 3.10. Beton numunesi alınmış şekli

Numunelerin betonları aynı gün ve aynı mikserden elde edilmiştir. Hazır beton belirli bir mukavemet kazandıktan sonra numune kalıpları sökülüştür. Numunelerde kullanılan betonun dayanımının düşük çıkması istendiğinden dolayı kürleme yeterli seviyede ve miktarda yapılmamıştır.



Şekil 3.11. Çerçevelerin kalıplarının sökülüş şekli

Numune çerçevelerin 4 tanesine 8.5 cm'lik tuğlalarla dolgu duvarlar ilave edilmiştir. Duvarlar dış yüzeye 1.5 cm hizalanmış, çerçevenin iç yüzeyinde ise güçlendirme yapılabilmesi için bir girinti şartmıdır.



Şekil 3.12. Güçlendirme için çerçevede bırakılan dış



Şekil 3.13. Bölme duvarının dış yüzey



Şekil 3.14. Bölme duvarlara sıva yapılması iç yüz



Şekil 3.15. Bölme duvarlara sıva yapılması dış yüz



Şekil 3.16. Güçlendirme için çerçevede bırakılan dış

Dolgu duvar üzerine yapılan sıvanın yeterli mukavemet elde etmesi için yeterli süre beklenilmiştir. Sıvalar 5 gün boyunca sulanmıştır.

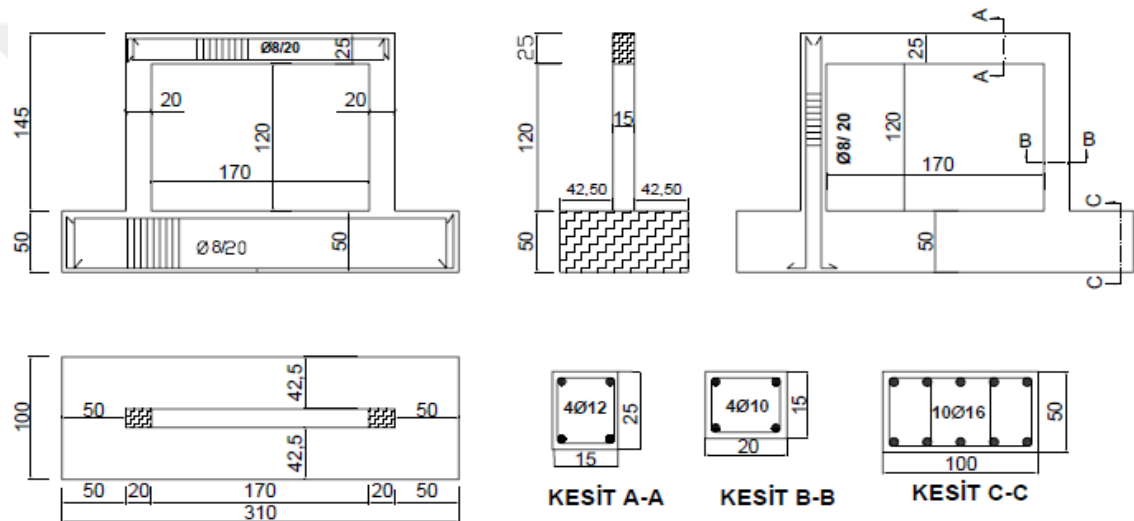


Şekil 3.17. Sıva sulanmış

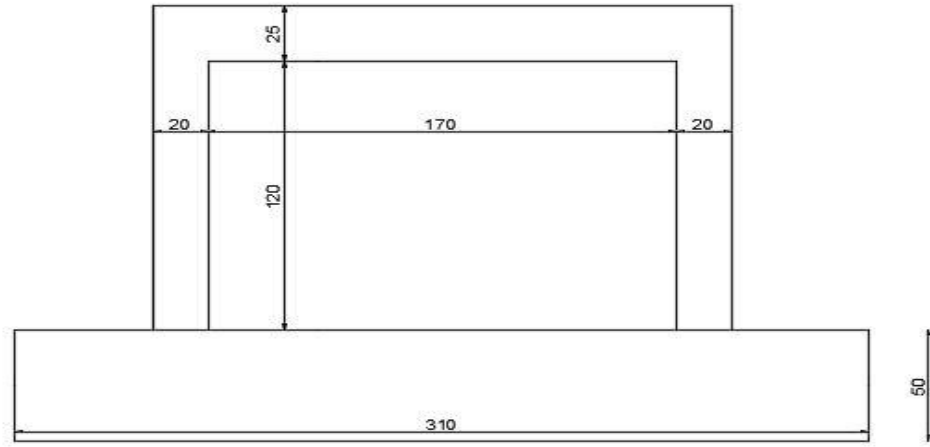
Elde edilen bu dört deney numunesinin 3 tanesinin güçlendirilmesine başlanmıştır.

3.2.1. Boyutlar ve donatı detayları

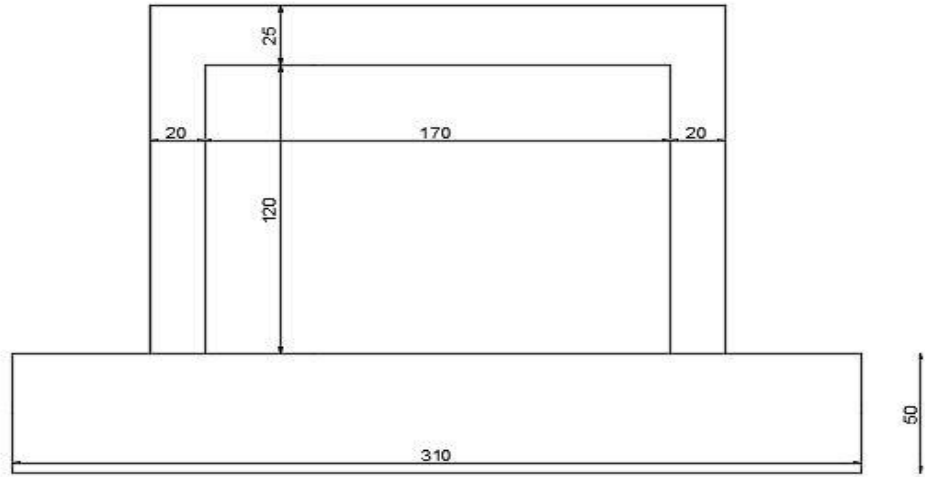
Yapılan üretimlerde numunelerin temele tam ankastre şeklinde bağlandığı kabul edilerek numuneler için rijit bir temel dizayn edilmiştir. Bu temel üzerine bir katlı, bir açıklıklı, beton basınç dayanımı zayıf, zayıf kolon-güçlü kirişten oluşan çerçeveler üretilmiştir. Etriyeler 90° ve kancasız olarak tasarlanmıştır. Deney elemanlarında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Şartnamenin öngördüğü etriye sıklaştırması gerçekleştirilmemiş, aynı zamanda kesitlerde minimum donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinin boyutları ve donatı detayları Şekil 3.18’de verilmiştir.



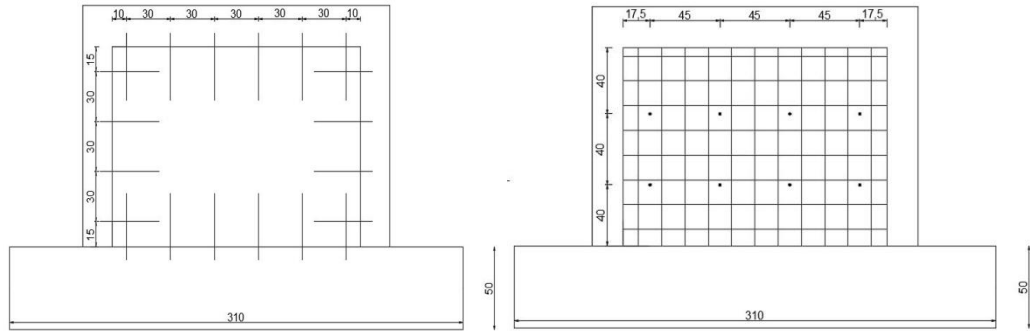
Şekil 3.18. Deney elemanları ve donatı detayları (boyutlar cm birimindedir)



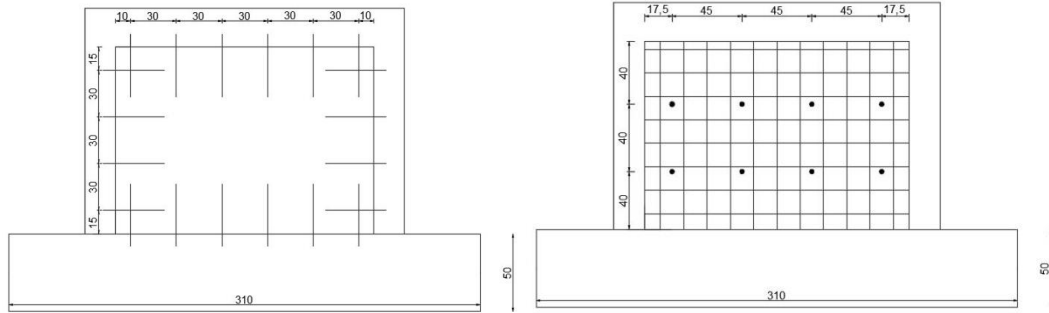
Şekil 3.19. Boş çerçeve (B)



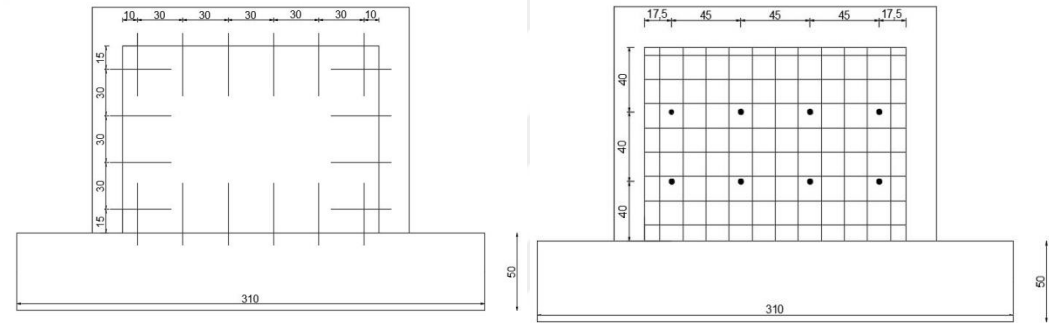
Şekil 3.20. I, Dolgu duvarlı ve sıvalı çerçeve (Güçlendirilmemiş)



Şekil 3.21. I-FA30Φ8-WA8Φ8-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun)



Şekil 3.22. I-FA30Φ8-WA8Φ10-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun)



Şekil 3.23. I-FA30Φ8-WA8Φ12-P (Çerçeve ankraj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankraj sayısı 8 adet, 3.5 cm yönetmelikteki sıva) (Deprem Yönetmeliğine uygun)

Aynı özelliklere sahip üretilen 5 adet numune deneyi gerçekleştirilmiştir. Dört numune dolgu duvarları olarak imal edilmiş, bunlardan birincisinde herhangi bir güçlendirme yapılmamıştır. Geriye kalan üç tanesinde güçlendirme yapılmış, ankraj çapı hariç diğer parametreler aynı tutulmuş ve o şekilde numuneler yatay yükler etkisi altında deneye tabi tutulmuştur.

Numunelerden birincisi 1 no'lu numune olarak isimlendirilmiş ve boş çerçeve (bare frame) olarak test edilmiştir. B numunesi olarak adlandırılan numune Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

2 no'lu numune ise dolgu duvarlı numunedir ve dış yüzeyde 1.5 cm normal sıva ile sıvanmış, iç yüzeyde ise 1 cm lik sıva ile sıvanmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve (infilled frame) olarak kırılacak olup, bölme duvarının yatay yükler altındaki davranışa katkısı araştırılacaktır. W olarak isimlendirilen bu numune Şekil 3.20'de gösterilmektedir.

Geriye kalan numuneler güçlendirilmiş deney elemanlarıdır. Bu numunelerin güçlendirilmesinde, temel ve çerçeveye belirli mesafelerde ankrajlar ekilmiştir. Ankrajlar Ø8 nervürlü donatıdan imal edilmiştir. Bütün numunelerde ankrajların içine gireceği deliklerin derinliği donatı çapının 10 katı yani 10Ø şeklinde açılmıştır. Çerçeve dışında kalan ankraj boyu ise donatı çapının 40 katı yani 40Ø şeklinde düzenlenmiştir. Ankraj donatılarının mevcut betona tutturulmasında epoksi kullanılmıştır.

Ankraj delikleri, ankraj donatı çapından bir büyük çapta (Ø10) matkapla, 8 cm derinliğinde yani 10Ø boyutunda açılmıştır. Açılan deliklerin tozları temizlenmiş ve sonrasında su ile yıkanmıştır. Duvar düzlemine ortogonal olan ankraj delikleri de aynı şekilde açılmış ve temizlenmiştir. Duvar düzlemine dik ankrajlar L şeklinde dir. Bu ankrajların her bir kolu 10Ø olacak şekilde hazırlanmış ve duvara yaslanan hasır donatının üzerinden ankrajlar yapılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Duvar düzlemine dik ankraj yapımı

Güçlendirilen numunelerde temel ve çerçeveye 30 cm mesafeyle ankraj yapılmıştır. Numunelerde girinti oluşturulan yüzeye 15×15 cm gözenekli ve Ø6'lık Q tipi hasır çelik döşenmiştir. Şekil 3.25'te gösterildiği gibi bu hasır çeliğin ankrajı, duvar düzlemine dik olacak şekilde ve L şeklinde ankrajlar dan 8 adet yapılmıştır. Bu ankrajlar epoksiyle yapılmış ve hasır çeliğe dışarıdan mesnet olacak şekilde uygulanmıştır. Hasır çelik üzerine deprem şartnamesindeki karışım oranlarına uygun sıva ile 3.5 cm kalınlığında sıva yapılmıştır. Bu sıvaların kuru yapılmıştır. Bu numune I-FA30-WA8-P olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.21).

3, 4 ve 5 no'lu deney elemanlarında güçlendirilmesinde tek bir parametre değiştirilmiştir. Bu üç numunede de kullanılan çerçeve ankraj aralığı, hasır çelik

miktarı aynı kalmaktadır. Güçlendirmede kullanılan sıva kalitesi deprem şartnamesinde verilen karışım oranlarına uygun bir biçimde hazırlanmıştır. Numunelerde değişen tek parametre duvar düzlemine dik ankraj çapıdır. Yapılan deneylerde duvar düzlemine dik ankraj çapının değişiminin güçlendirmeye olan etkisi incelenecektir.

Şekil 3.21’de gösterildiği gibi üç numaralı deney elemanında duvar düzlemine dik ankraj çapı şartnamede verilen değerlere uygun seçilmiş ve toplamda 8 adet kullanılmıştır. Diğer parametrelerin tamamı da deprem şartnamesine uygun seçilmiştir. Numunelerde sadece duvar düzlemine dik ankraj çapı olan 8 mm değişecektir. Bu numune yani üç numaralı çerçeve I-FA30-WA8Φ8-P olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. 3 no’lu numune ankraj detayları

Şekil 3.22’de gösterildiği gibi dört numaralı numunede duvar düzlemine dik ankraj çapın şartnamede verilen değerlere uygun seçilmiş ve 8 adet kullanılmıştır. Diğer parametrelerin tamamı da deprem şartnamesine uygun seçilmiştir. Numunelerde sadece duvar düzlemine dik ankraj çapı olan 10 mm’ye değişecektir. Bu numune yani dört numaralı çerçeve I-FA30-WA8Φ10-P olarak adlandırılmıştır.

Şekil 3.23’te gösterildiği gibi beş numaralı deney elemanında duvar düzlemine dik ankraj çapı şartnamede verilen değerlere uygun seçilmiş ve toplamda 8 adet kullanılmıştır. Diğer parametrelerin tamamı da deprem şartnamesine uygun seçilmiştir. Numunelerde sadece duvar düzlemine dik ankraj çapı olan 12 mm’ye değişecektir. Bu numune yani beş numaralı çerçeve I-FA30-WA8Φ12-P olarak adlandırılmıştır.

3.3. Deney ve ölçüm düzeneği

Deneylerin yapıldığı laboratuvarında 7 m uzunluğunda ve 50 cm kalınlığında L şeklinde betonarme yükleme duvarı ve 60 cm kalınlığında deney numunelerinin mesnetlendiği rijit bir döşeme bulunmaktadır. Şekil 3.28’de yükleme duvarı ve deney düzeneği gösterilmiştir. Yapılan deneylerde yer değiştirmeleri ölçmek için Linear Variable Differential Transformers - LVDT’ler kullanılmıştır. Şekil 3.27’de gösterildiği gibi yükleme krikos ile yapılmış ve krikos önünde bulunan yük hücresinden uygulanan yükler veri toplatıcıya aktarılmıştır. LVDT’nin bağlandığı kanallardan alınan veriler yine veri toplatıcıya (data logger) ve oradan da bilgisayara aktarılmıştır.

Yapılan numune deneylerinde toplam 13 tane LVDT kullanılmıştır. Bunlardan 4 tanesi tepe yer değiştirmelerini ölçmek için istifade edilmiştir. Şekil 3.30’da gösterildiği gibi duvarın iç yüzünde 39.13° olarak karşılıklı yerleştirilen 2 adet LVDT ile diyagonal okumaları alınmıştır. Ölçümlerin alındığı kolonun alt ucuna her iki yüzde 2 adet olmak üzere toplam 4 adet LVDT bağlanmış ve okumalar alınmıştır. Şekil 3.30’da görüldüğü gibi temel hareketi ve dönmeleri için de aynı şekilde LVDT’ler bağlanmış ve okumalar elde edilmiştir.

Deney numunelerinde iç yüzeyde hasır ve ankarjlarla güçlendirilen elemanın duvar imalatı merkezden kaçık (eksantrisite) örülen dolgu duvarların yatay kuvvet uygulanması sırasında elemanlarda düzlem dışına doğru harekete neden olabileceği düşünülmüştür. Bu hareketin engellenebilmesi için çerçeve elemanlarının çevresine sağlam temele dayalı çelik kafes sistemi inşa edilmiştir. Şekil 3.26’da gösterildiği gibi bu sisteme deney elemanlarının kirişleri hizasına gelecek şekilde bağlanan kayar mesnetler yardımıyla yatay yükün, elemanların sadece düzlem içinde hareketine izin verecek şekilde etkilmesi sağlanmıştır.

Yapılan deneyler yer değiştirme kontrollü devam ettirilmiştir. Deney elemanları üzerine yerleştirilen veri toplama aletlerinden gelen veriler eş zamanlı olarak bilgisayarda toplanmıştır. İtme ve çekme döngüleri çift çevrim şeklinde uygulanmış ve ikinci çevrimlerin sonunda deneylere kısa süre ara verilerek elemanlar üzerindeki çatlak ve hasar tespiti yapılmıştır.



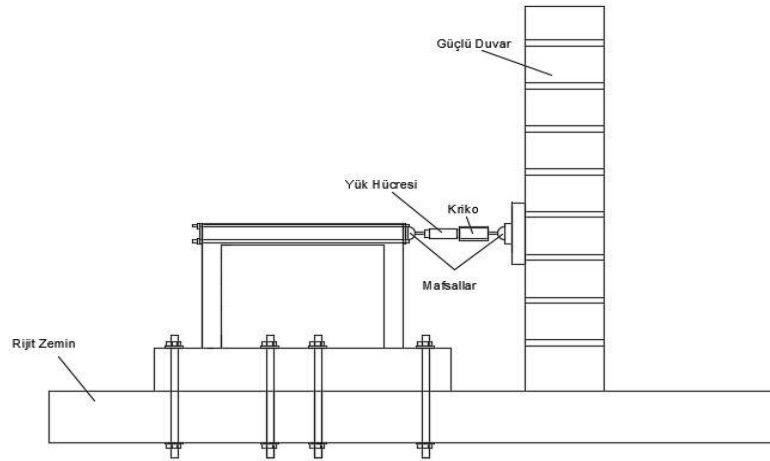
Şekil 3.26. Düzlem dışı hareketi engellemek için yapılan kayıcı mesnetler



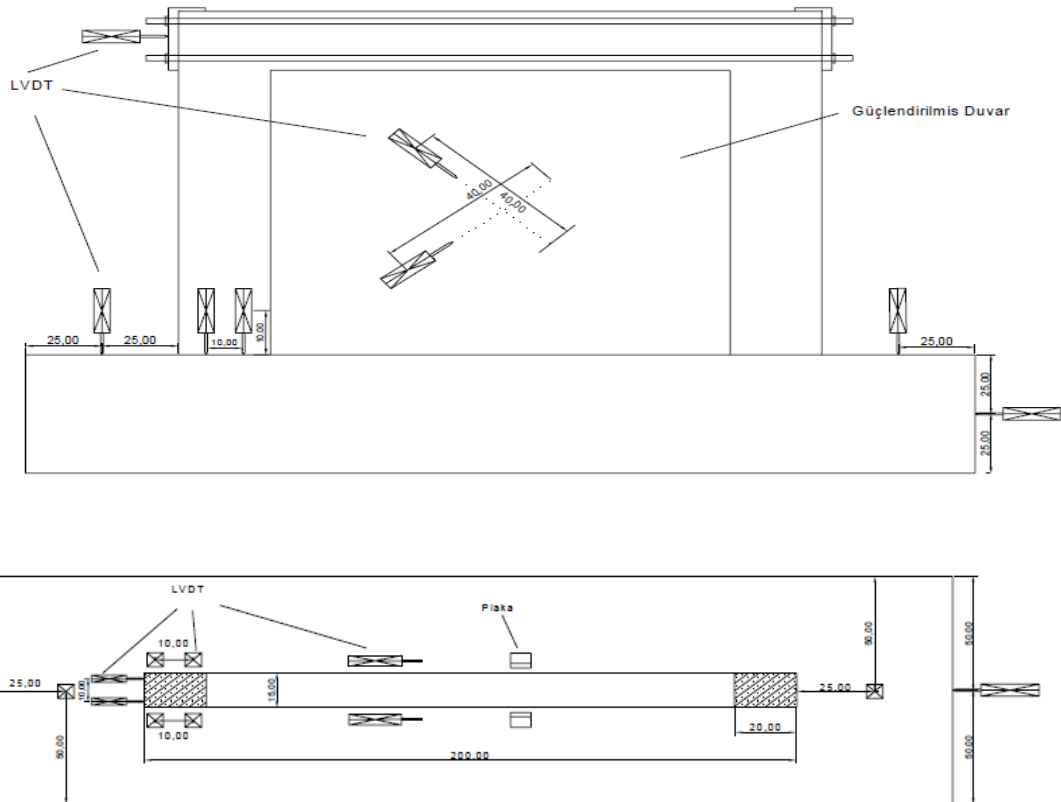
Şekil 3.27. Yükleme düzeneği, krika ve yük hücresi



Şekil 3.28. Yükleme duvarı ve deney düzeneği



Şekil 3.29. Deney düzeneği



Şekil 3.30. Deney veri toplama düzeneği

3.3.1. Deneylerin yapılması

Deneylerde bir açıklıklı, bir katlı ve $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme çerçeve numuneleri tersinir tekrarlanır yatay kuvvet altında test edilmiştir. Deney numunesine bağlanan

LVDT'lerden elde edilen okumalar dijital ortama aktarılmıştır. Bu aktarılan veriler kullanılarak çeşitli hesaplamalar yapılmış, tablo ve grafikler elde edilmiştir.

Yapılan deneyler yer değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yer değiştirme oranlarına göre hedef yer değiştirmeler hesap edilmiştir. Hedef yer değiştirme, yer değiştirme oranı ile LVDT lerden tepe yer değiştirmelerin ölçüldüğü noktanın temele olan uzaklığıyla çarpılması sonucunda elde edilmiştir. Numuneler her bir yer değiştirme oranında, belirlenen hedef yer değiştirmeye kadar hem itme hem de çekme yönünde iki çevrim yapılmıştır. Yapılan her deney için yatay yük-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

Boş çerçeve (B) deneyinde, hedef yer değiştirme, yer değiştirme oranı ile tepe yer değiştirmelerin ölçüldüğü LVDT'nin temele olan mesafesi 1330 mm ile çarpılması sonucunda bulunmuştur. Deney yer değiştirme oranı 0.0005'den (hedef yer değiştirme 0.665 mm) başlatılmış ve yer değiştirme oranı 0.07'de (hedef yer değiştirme 93.1 mm) sonlandırılmıştır. İtme ve çekmedeki ikinci çevrimlerde deneye kısa bir süre ara verilerek hasarlara not edilmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 3.31. Boş çerçeve numunesine yatay yükleme yapılması



Şekil 3.32. LVDT lerle numuneden veri toplanması

Dolgu duvarlı çerçevede (I), hedef yer değiştirme için ölçülen LVDT mesafesi 1330 mm dir. Yer değiştirme oranı 0.0005’den (hedef yer değiştirme 0.665 mm) başlatılmış ve yer değiştirme oranı 0.01’de (hedef yer değiştirme 13.3 mm) sonlandırılmıştır.



Şekil 3.33. Dolgu duvarlı numunesine yatay yükleme yapılması



Şekil 3.34 : LVDT lerle numuneden veri toplanması



Şekil 3.34. LVDT lerle numuneden veri toplanması

Dolgu duvarlı güçlendirilmiş numuneler için de dolgu duvarlı çerçeve için uygulanan yükleme protokolünün aynısı uygulanmıştır.



4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada 5 adet tek katlı, tek açıklıklı ve ½ ölçekli çerçeveler üretilerek, tersinir tekrarlı yatay yük altında deneye tabi tutulmuşlardır. Her bir çerçeve numunesine ait deney ve deney sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki paragraflarda sayısal ve grafiksel olarak sunulmuştur.

4.1. Deneylerin Aşamaları ve Yük-Yer Değiştirme Eğrileri

4.1.1. Boş Çerçeve (B)

Numunelerden ilki boş çerçeve (bare frame) olarak test edilmiş ve bu numune B olarak adlandırılmıştır. Boş çerçeve (B) deneyinde, amaç yer değiştirme, yer değiştirme oranı ile tepe yer değiştirmelerin ölçüldüğü LVDT nin temele olan mesafesi 1330 mm ile çarpılması sonucunda bulunmuştur. Deney yer değiştirme oranı 0.0005 (amaç yer değiştirme 0.665 mm) den başlatılmış ve yer değiştirme oranı 0.07 (amaç yer değiştirme 93.1 mm) de sonlandırılmıştır. Numune her bir yer değiştirme oranındaki amaç yer değiştirmeye kadar ikişer sefer çekme ve itme yapılmıştır. Çekme ve itmedeki 2.döngülerde deneye kısa bir süre ara verilerek çatlaklara bakılmış ve fotoğrafları çekilmiştir.

Kriko ile yükleme yapılan numune yüzeyi D olmak üzere saat yönünde devam ederek sırasıyla C,B,A yüzeyleri devam etmektedir. Numunede yer alan kolonlardan yükleme krikosuna yakın taraftaki kolon A1 ve diğer kolon da A2 olarak isimlendirilmiştir.

Şekil 4.1’de boş çerçevenin deney öncesi görüntüleri verilmiştir. Deney numunesinin her bir döngüde fotoğrafları çekilmiş ve oluşan hasar çerçeve üzerinde işaretlenmiştir. İlk dört döngü sonrası A1 ve A2 kolonlarının kiriş birleşim yerlerinde 6h seviyesinde ve B yüzeylerinde ilk çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.2). Dördüncü döngüye yakın

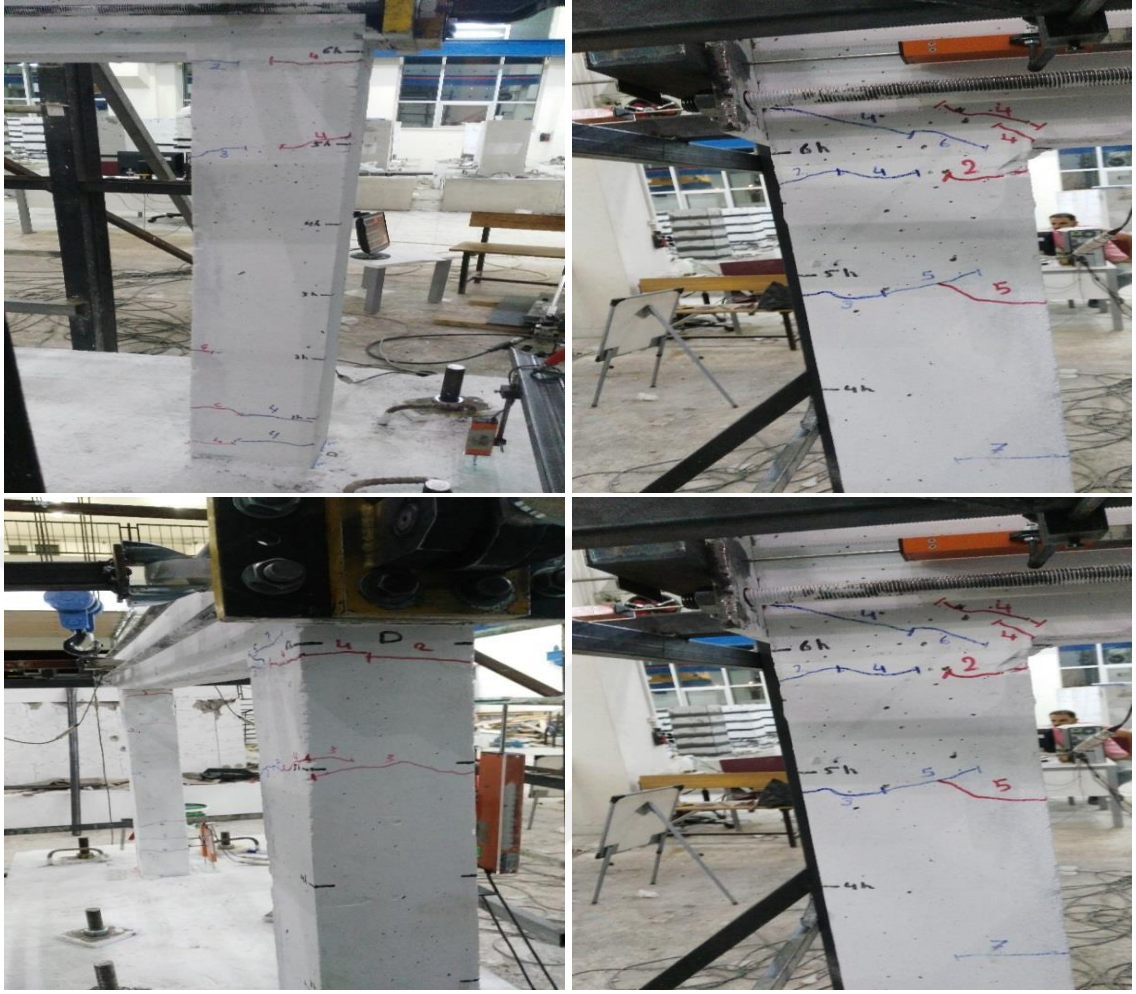
döngülerde A2 kolonunun 5h seviyesinde B yüzünde ve A1 kolonunun D yüzünde 5h seviyesinde çatlaklar meydana gelmiştir. 7. döngüye kadar mevcut çatlakların genişliği 1mm seviyesine kadar artmış ve ilaveten A1 kolonun C yüzünde kolon-kiriş seviyesinde 45° çatlak meydana gelmiştir (Şekil 4.3). 12 döngü seviyesinde A1 kolonu B yüzünde kiriş birleşim bölgesindeki çatlak boyutu 4 mm ulaşmıştır. (Şekil 4.4). 13. döngüden sonra A2 kolonu tarafındaki kolon-kiriş bölgesi D yüzündeki mevcut çatlakların genişliği 6-7 mm mertebesine ulaşmıştır (Şekil 4.5). Daha sonraki döngülerde temel-kolon birleşim bölgesinde plastik mafsall oluşmuş, yani hasar seviyesi artarak çatlaklar genişlemiştir.



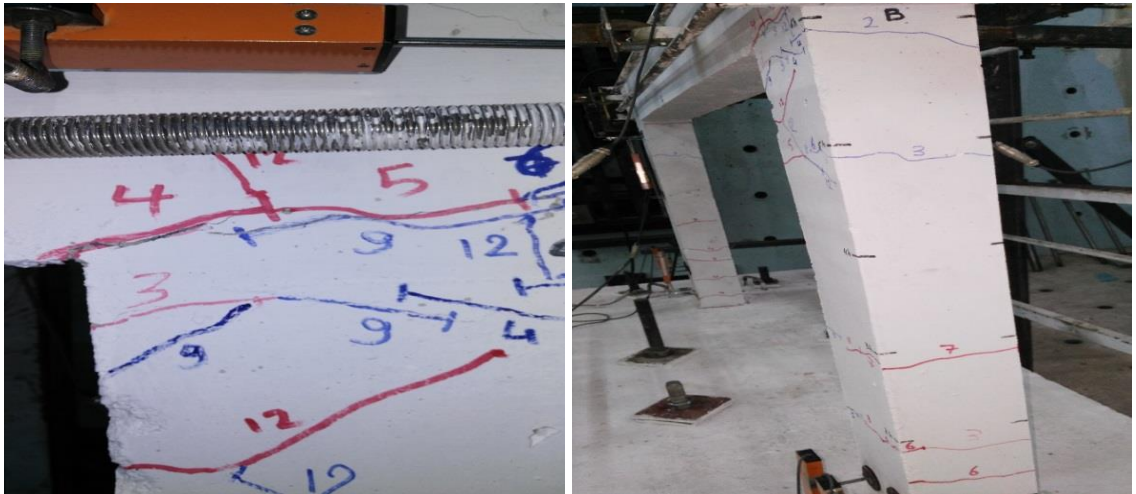
Şekil 4.1. Boş çerçeve deney öncesi



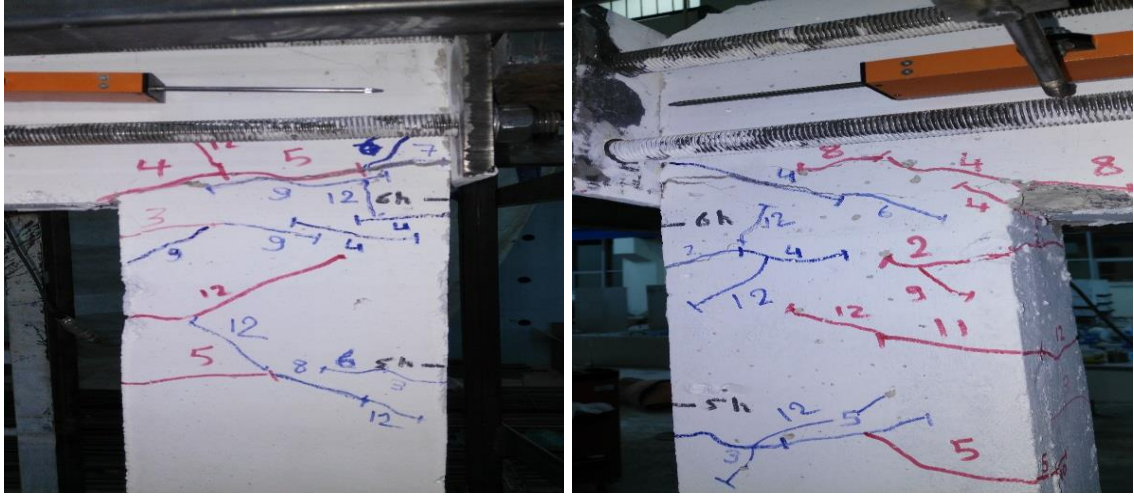
Şekil 4.2. 4. döngü sonunda çatlak durumu



Şekil 4.3. 7. Döngü sonunda çatlak durumu

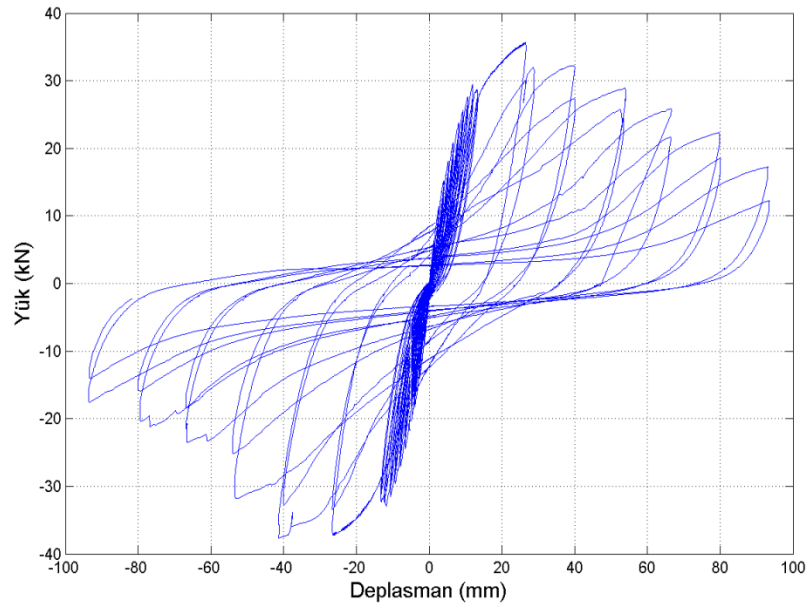


Şekil 4.4. 12. Döngü sonunda çatlak durumu



Şekil 4.5. 13. Döngü sonunda çatlak durumu

Yapılan itme ve çekme döngüleri sonunda elde edilen boş çerçeveye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.6. Boş çerçeveye ait yük-yer değiştirme eğrisi

4.1.2. Dolgu Duvarlı Referans Çerçeve (I)

Dolgu duvarlı çerçevede (I) amaç yer değiştirme için ölçülen LVDT mesafesi 1330 mm'dir. Yer değiştirme oranı 0.0005, amaç yer değiştirme 0.665 mm den başlatılmış ve yer değiştirme oranı 0.01, amaç yer değiştirme 13.3 mm de sonlandırılmıştır.

Çerçeveadaki ilk çatlaklar 2. döngüden sonra meydana gelmiştir. 2. kolon B yüzünde 1, 2, 3, 4, 5h seviyelerinde kesit boyunca enine çatlaklar oluşmuştur. 2. ve 3. döngü sonunda oluşan bu çatlaklar Şekil 4.8’de gösterilmiştir. 4. döngü itmede 1. kolon ile kirişin birleşim bölgesinde 45° çatlak gözlenmiştir. Çekmede ise 2. kolon kiriş birleşim bölgesinde 45° çatlak görülmüştür. İlerleyen aşamalarda mevcut çatlaklar genişlemiş ve 5. döngüde 2. kolon-teme-duvar arasında ayrılma 1mm mertebesine ulaşmıştır. 8. döngüde kesme çatlakları 1 mm seviyesine ulaşmış ve çerçevede dökülmeler başlamıştır (Şekil 4.9). 12. döngü sonunda duvar ortasında diyagonal çatlaklar oluşmuştur. 13. döngüde 1. kolon-kiriş birleşimiyle duvar arasındaki ayrılma 10 mm civarında ölçülmüştür (Şekil 4.10).



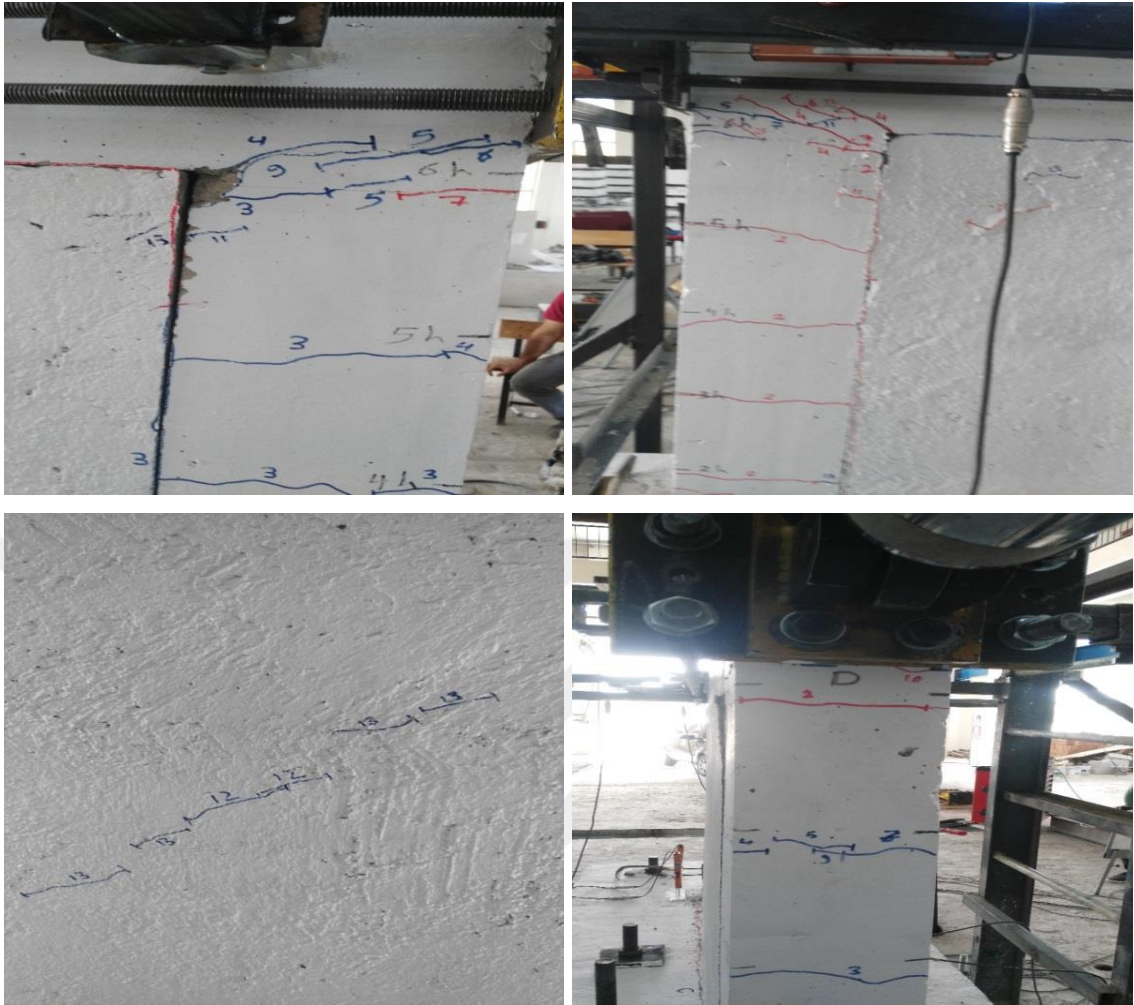
Şekil 4.7. Dolgu duvarlı referans çerçeve (I)



Şekil 4.8. Dolgu duvarlı referans çerçevede 2 ve 3. döngüde oluşan çatlaklar



Şekil 4.9. 7. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler



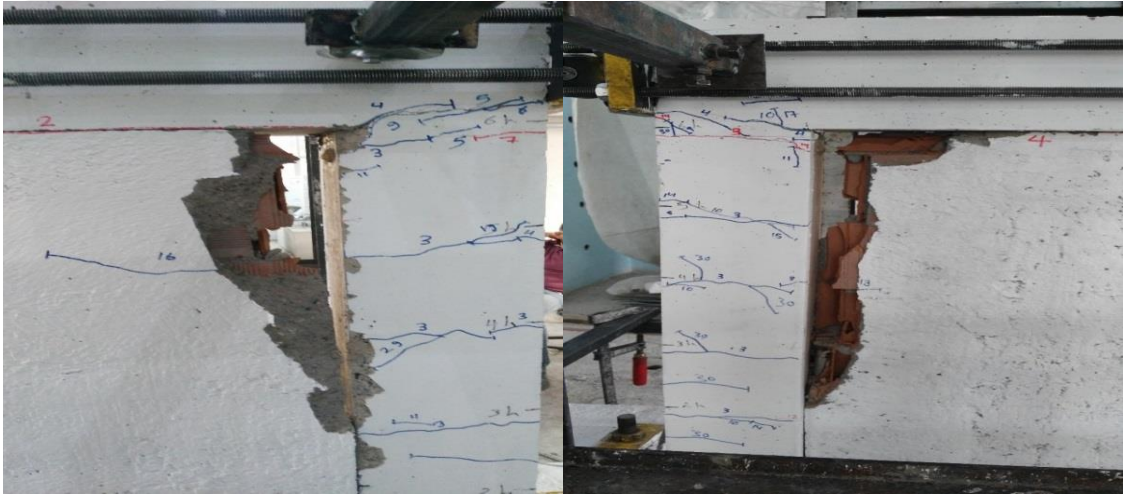
Şekil 4.10. 13. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler

17. döngü itmede 1. kolon-kiriş birleşim bölgesindeki kesme çatlaklarının genişliği 4mm mertebesine ulaşmıştır. 1. kolon birleşim bölgesinde bulunan tuğla kırılmaya ve dökülmeye başlamıştır (Şekil 4.11). Çerçeve nihai dayanımını ise yaklaşık olarak 29 döngüden sonra ulaşmıştır (Şekil 4.12)

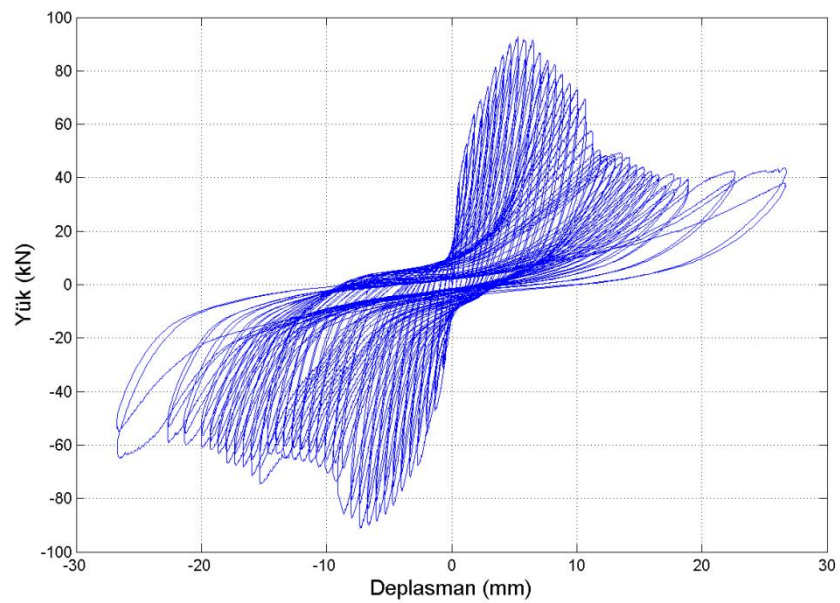
Tuğla dolgulu referans çerçeve için yapılan itme ve çekme deneylerinden sonra elde edilen yük –deformasyon grafiği Şekil 4.13’te sunulmuştur.



Şekil 4.11. 17. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler



Şekil 4.12. 30. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve dökülmeler



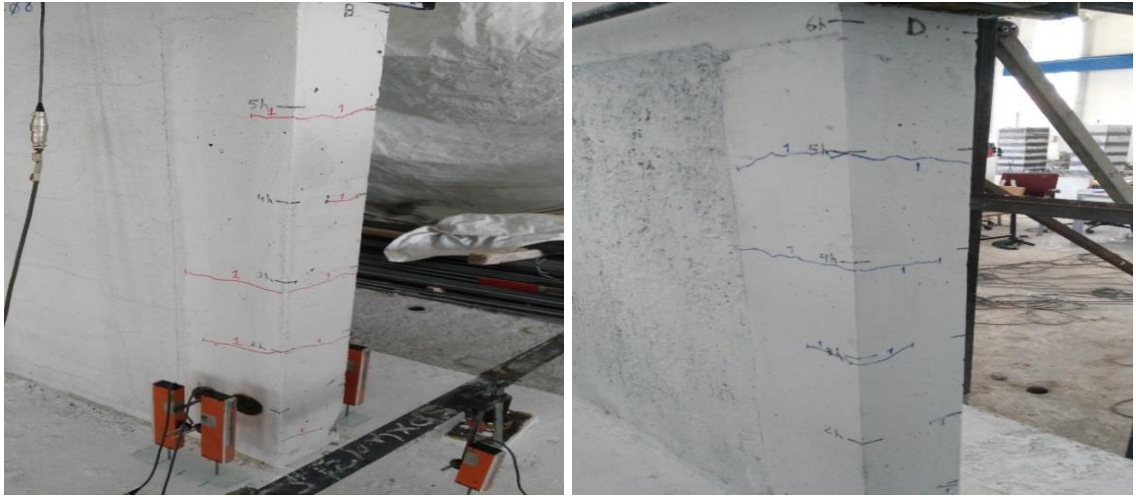
Şekil 4.13. Tuğla dolgulu çerçeveye (I) ait yük-yer değiştirme eğrisi

4.1.3. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8 -WA Φ 8)

Dolgu duvarlı güçlendirilmiş numuneler için aynı yükleme protokolü uygulanmıştır. Yer değiştirme oranı 0.0005, amaç yer değiştirme 0.665 mm den başlatılmış ve yer değiştirme oranı 0.01, amaç yer değiştirme 13.3 mm de sonlandırılmıştır.

Deneyin 1. döngüsü itmede kolonun D yüzünde eğilme çatlakları gözlenmiştir. Çekmede de 1, 2, 3, 4 ve 5h seviyelerinde enine çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.14). 4. döngü çekme esnasında A2 kolonunun kolon-temel birleşim bölgesinde 1mm seviyesinde duvardan ayrılma gözlenmiştir. İtmede ise A1 kolonunun kolon-kiriş birleşim bölgesinde duvarda ezilmeler görülmüştür (Şekil 4.15). 8. döngüde A1 kolonunun A ve C yüzlerinde kiriş-kolon birleşim bölgesinde dökülmeler başlamış, A2 kolonunun temel birleşim bölgesinde oluşan diyagonal çatlak 4mm mertebesine ulaşmıştır (Şekil 4.16). 14. döngüde A2 kolonu C yüzü kolon-kiriş birleşim bölgesindeki duvar ile ayrılma 6-7 mm seviyesine ulaşmış, dökülmeler başlamıştır. Aynı döngünün çekmesinde A1 kolonun duvarla arasındaki ayrılma 1cm mertebesine ulaşmıştır. A2 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesindeki eğik çatlağın genişliği 3mm civarında ölçülmüştür (Şekil 4.17). 26. Döngünün itme aşamasında A2 kolonun kolon-kiriş birleşim bölgesi duvardaki ayrılma 2.5 cm civarına ulaşmıştır. Çekmede ise A1 kolonunun kolon-kiriş birleşim bölgesinde duvardaki ayrılma yine 2.5 cm mertebesinde ölçülmüştür (Şekil 4.18). İlerleyen aşamalarda (26, 28 ve 30. döngü) mevcut çatlakların genişlikleri hızla artmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen alt tarafında kolon bölgesinde plastik mafsallar oluşmuş ve bahsedilen panel bölgesinde büyük kesme çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.19).

Bu deneyde numune toplamda 32 döngüye maruz bırakılmıştır. Bu döngüler sonu elde edilen yük- deplasman eğrisi Şekil 4.20’de sunulmuştur.



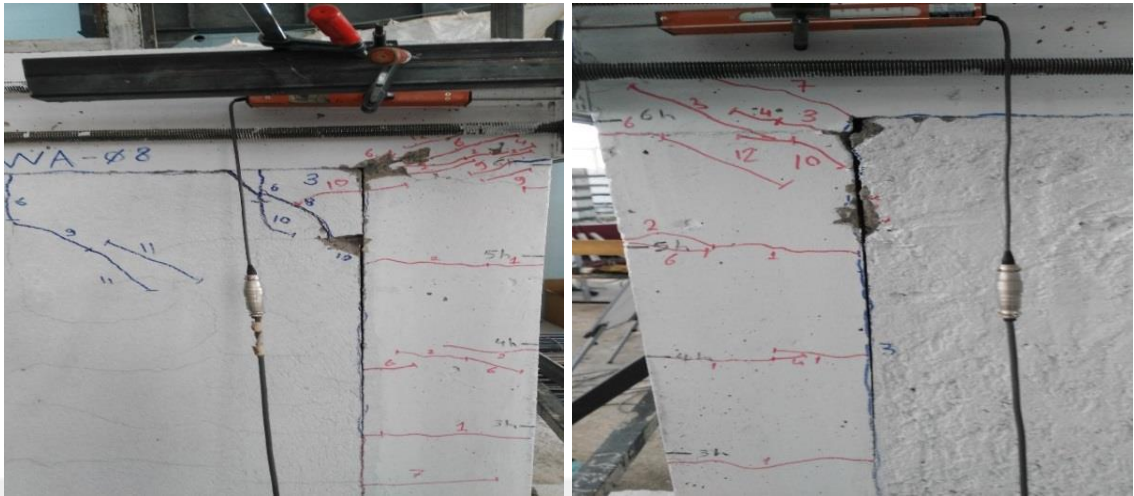
Şekil 4.14. 1. döngü sonunda oluşan çatlaklar



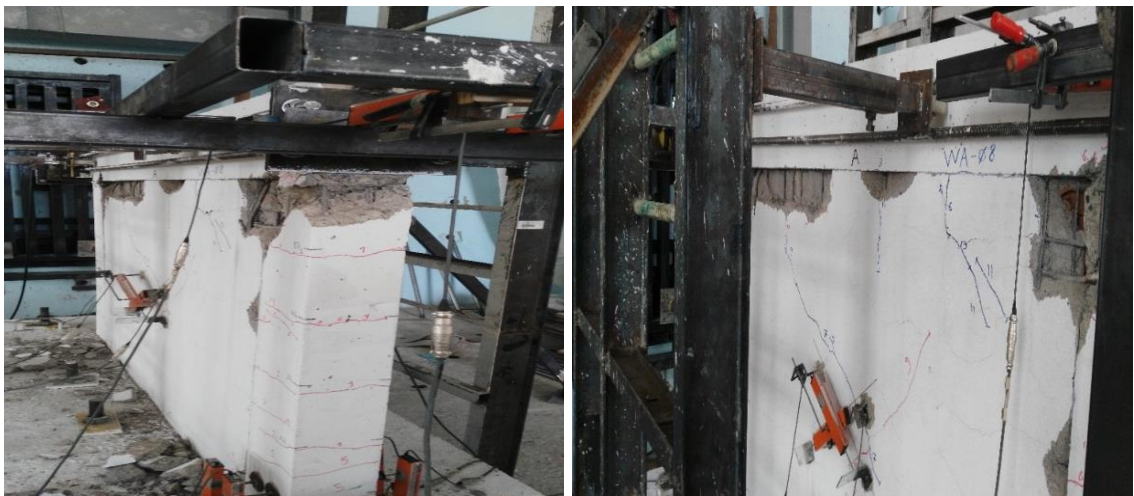
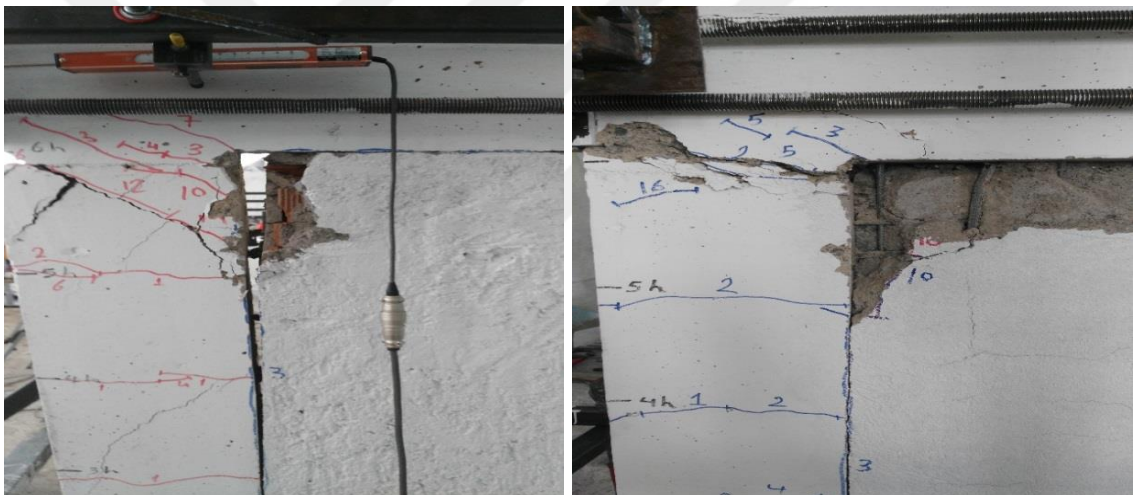
Şekil 4.15 4. döngü sonunda oluşan çatlaklar ve ayrılmalar



Şekil 4.16. 8. döngü sonunda çatlak durumu



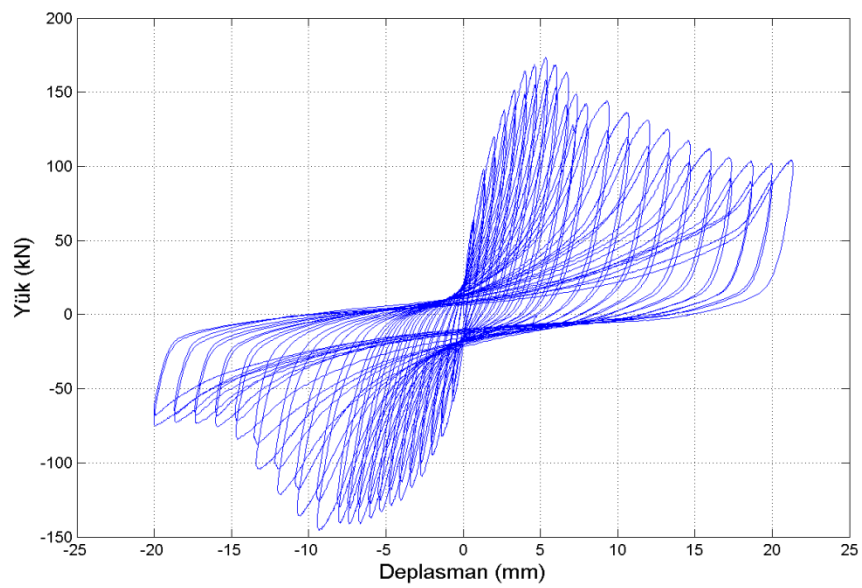
Şekil 4.17. 14. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu



Şekil 4.18. 24. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu



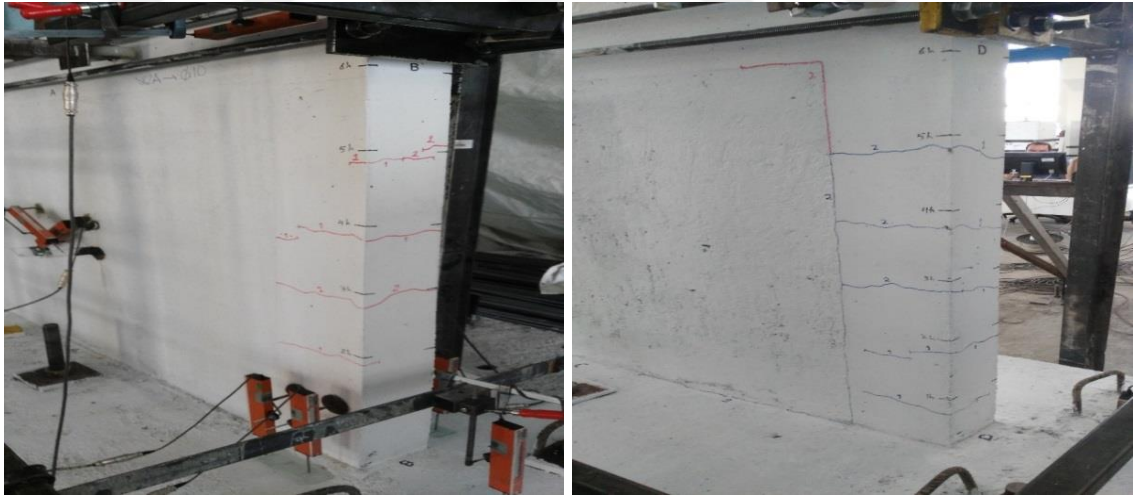
Şekil 4.19. 26, 28 ve 30. döngü sonunda çatlak ve dökülme durumu



Şekil 4.20. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ 8- WA Φ 8) ait yük-yer değiştirme eğrisi

4.1.4. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8-WA Φ 10)

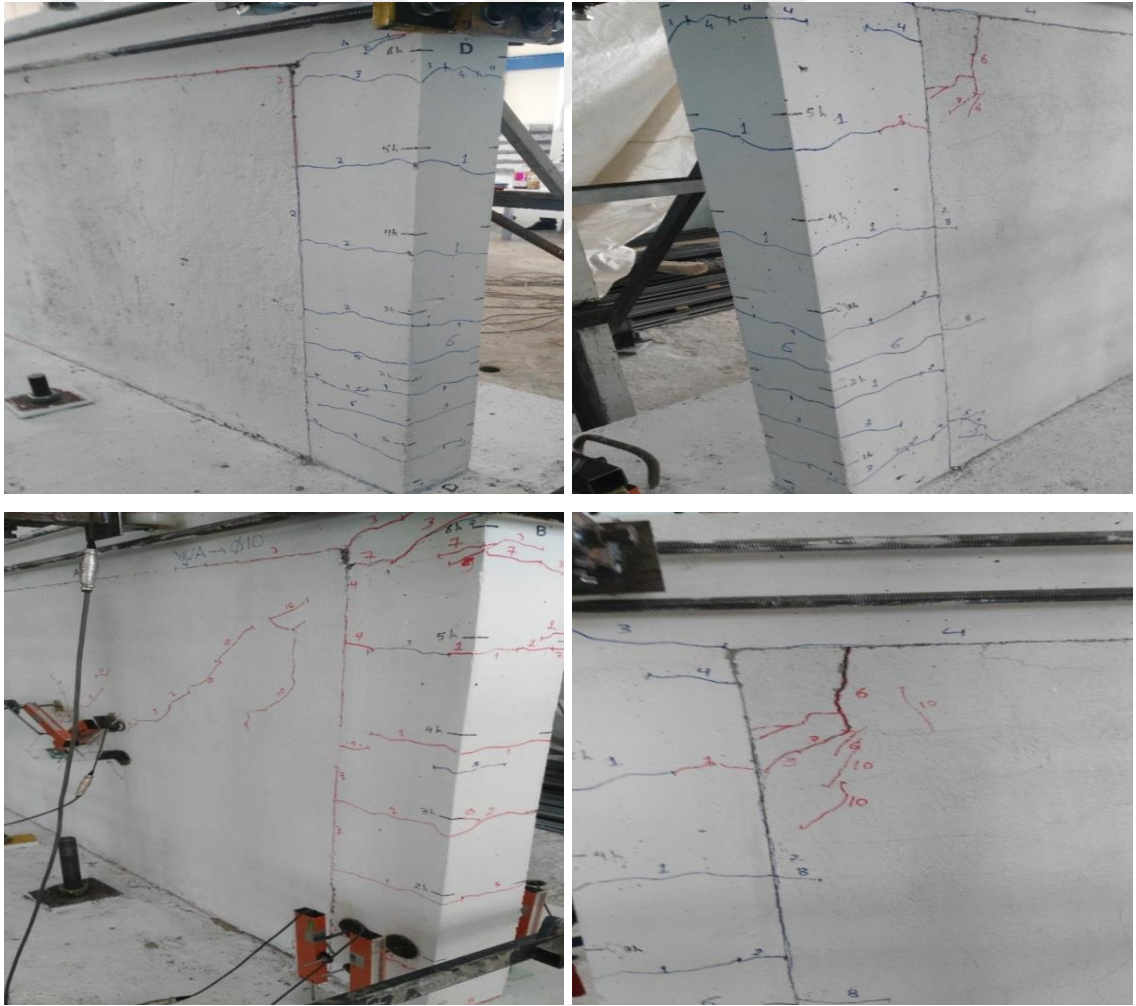
Dolgu duvarlı güçlendirilmiş bu numune için aynı bir önceki yükleme protokolü uygulanmıştır. Numune toplamda 34 döngüye maruz bırakılmıştır. 1. ve 2. döngüde tüm h seviyelerinde kolonların A, C ve D yüzlerinde enine çatlaklar görülmüştür (Şekil 4.21). 4. döngüde A1 kolonun temel-kolon birleşim bölgesi çatlamıştır. Ayrıca A1 kolonu A yüzünde kolon-temel duvar birleşim bölgesinde duvar üzerinde 45° çatlak oluşmuştur. Benzer şekilde 5. döngüde duvarın A ve C yüzlerinde orta kısımda diyagonal çatlak oluşmuştur (Şekil 4.22). 8. döngü çekmede A2 kolonunun A yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca A2 kolonunun C yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde dökülmeler başlamıştır. Aynı kolonun C yüzünde 9. döngüde diyagonal çatlaklar oluşmuştur (Şekil 4.23). 20. döngüde A2 kolonun kolon-kiriş birleşim bölgesindeki eğik çatlak genişliği 7mm mertebesine ulaşmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin altında bulunan duvar kısımlarında dökülmeler başlamıştır. Duvar elemanındaki kesme çatlaklarının boyutları artmaya devam etmiştir (Şekil 4.24).



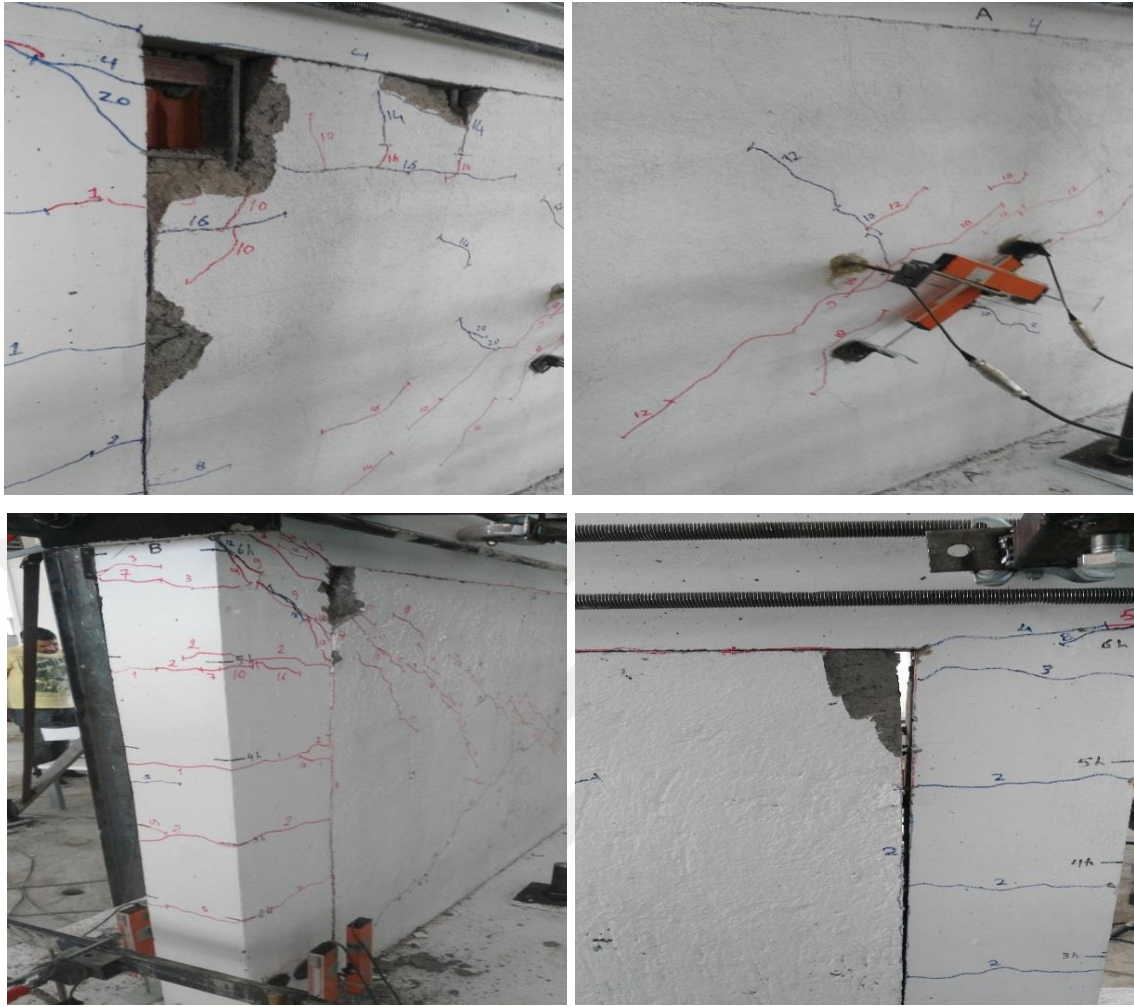
Şekil 4.21. İlk iki döngü sonunda çatlak durumu



Şekil 4.22. 5. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu

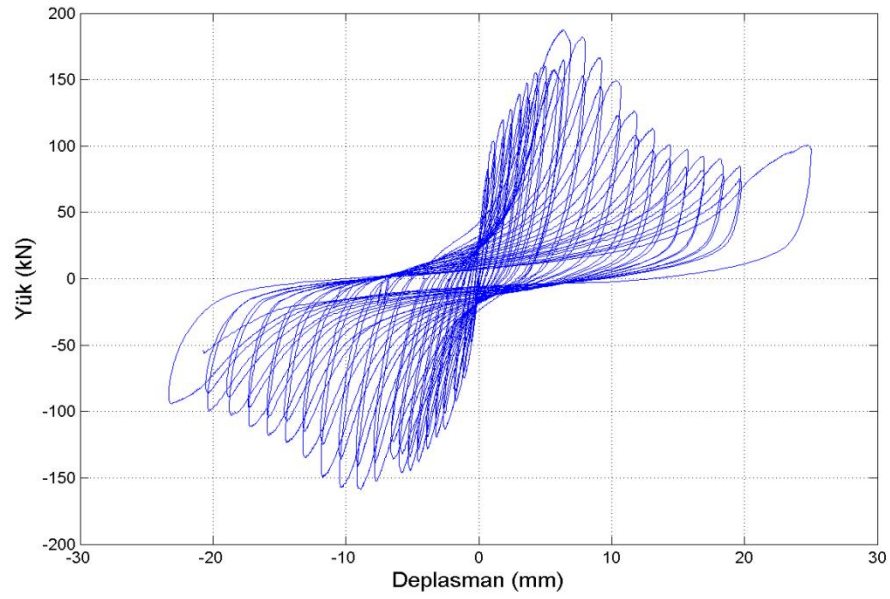


Şekil 4.23. 9. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu

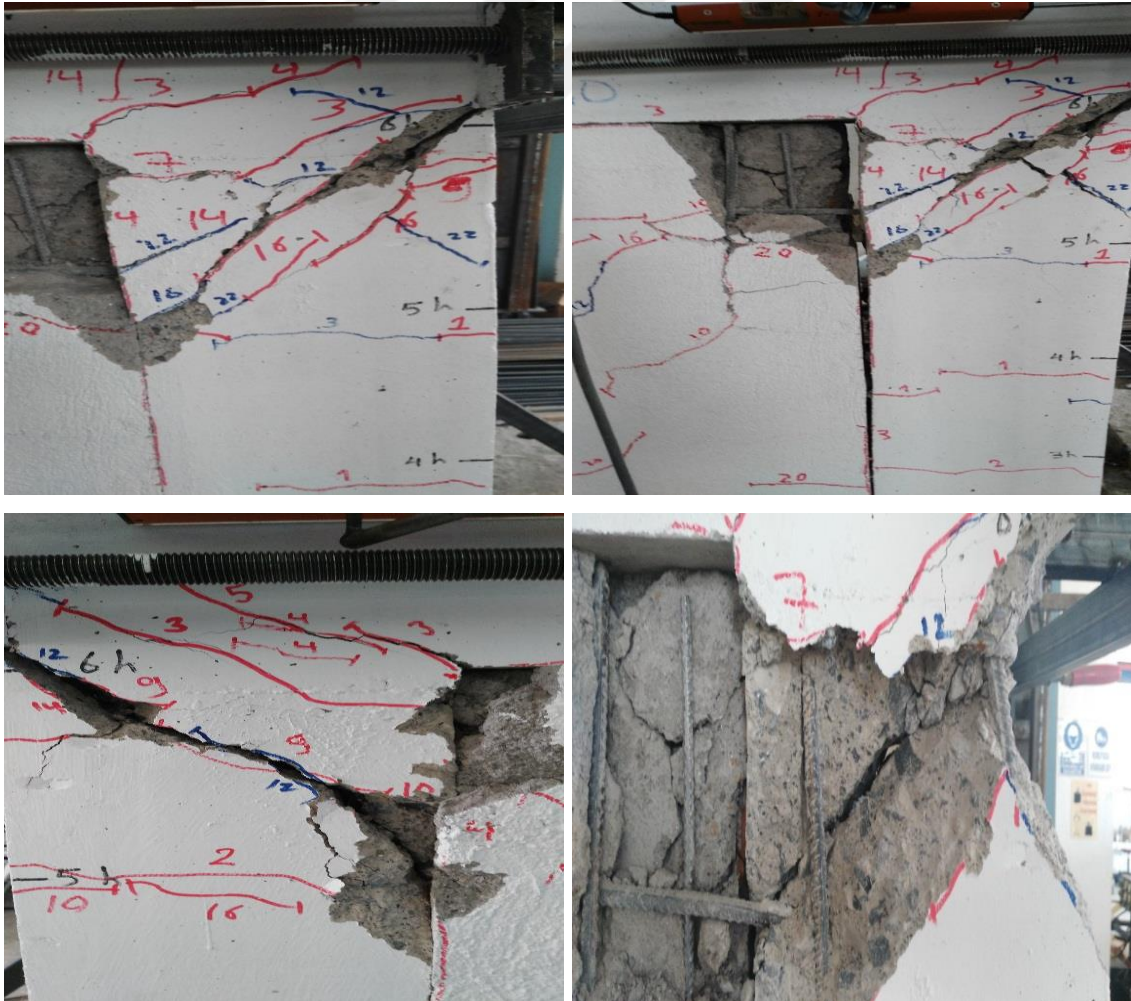


Şekil 4.24. 20. döngü sonunda çatlak, ayrılma ve dökülme durumu

24. döngü itmede A2 kolon-kiriş birleşim bölgesi kabuk betonu dökülmüştür. Kolonda oluşan plastik mafsalları açıkça gözlemlenmektedir (Şekil 4.25). İlerleyen aşamalarda şekillerde gösterilen hasarlar artmış olup, yapılan döngülerden elde edilen yatay yük-deformasyon grafiği Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



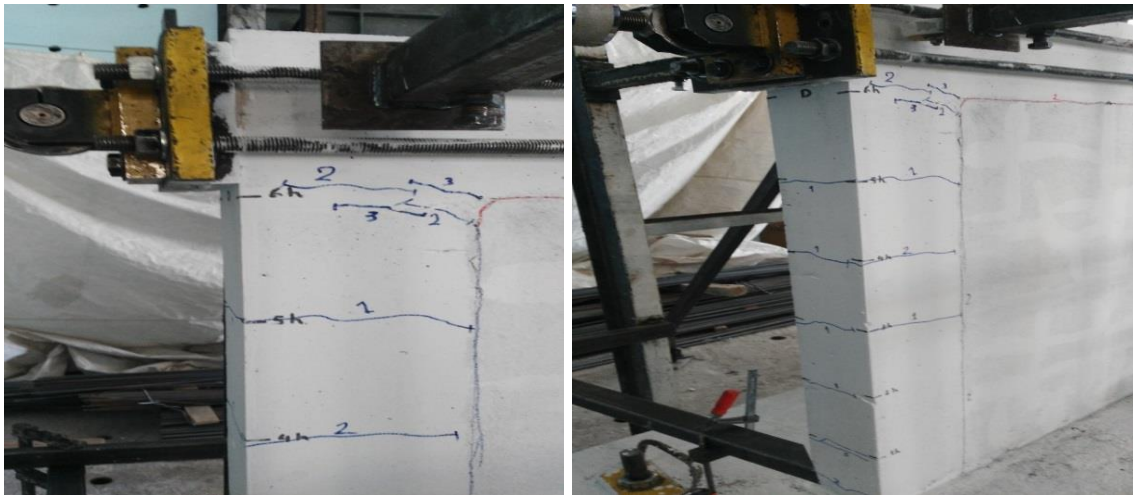
Şekil 4.25. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ8-WAΦ10) ait yük-yer değiştirme eğrisi



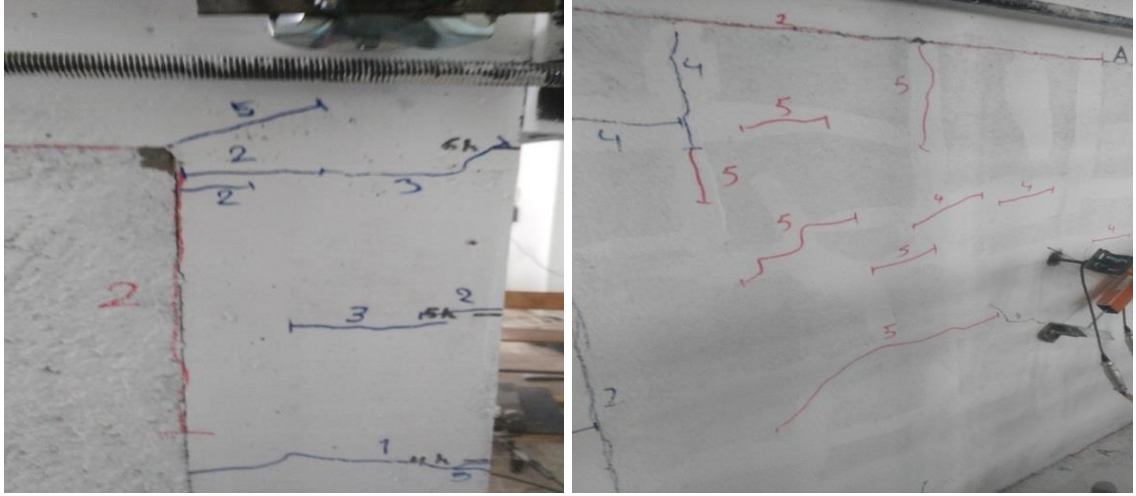
Şekil 4.26. 24. döngü sonunda çatlak, ayrılma ve dökülme durumu

4.1.5. Güçlendirilmiş Çerçeve (FA30 Φ 8-WA Φ 12)

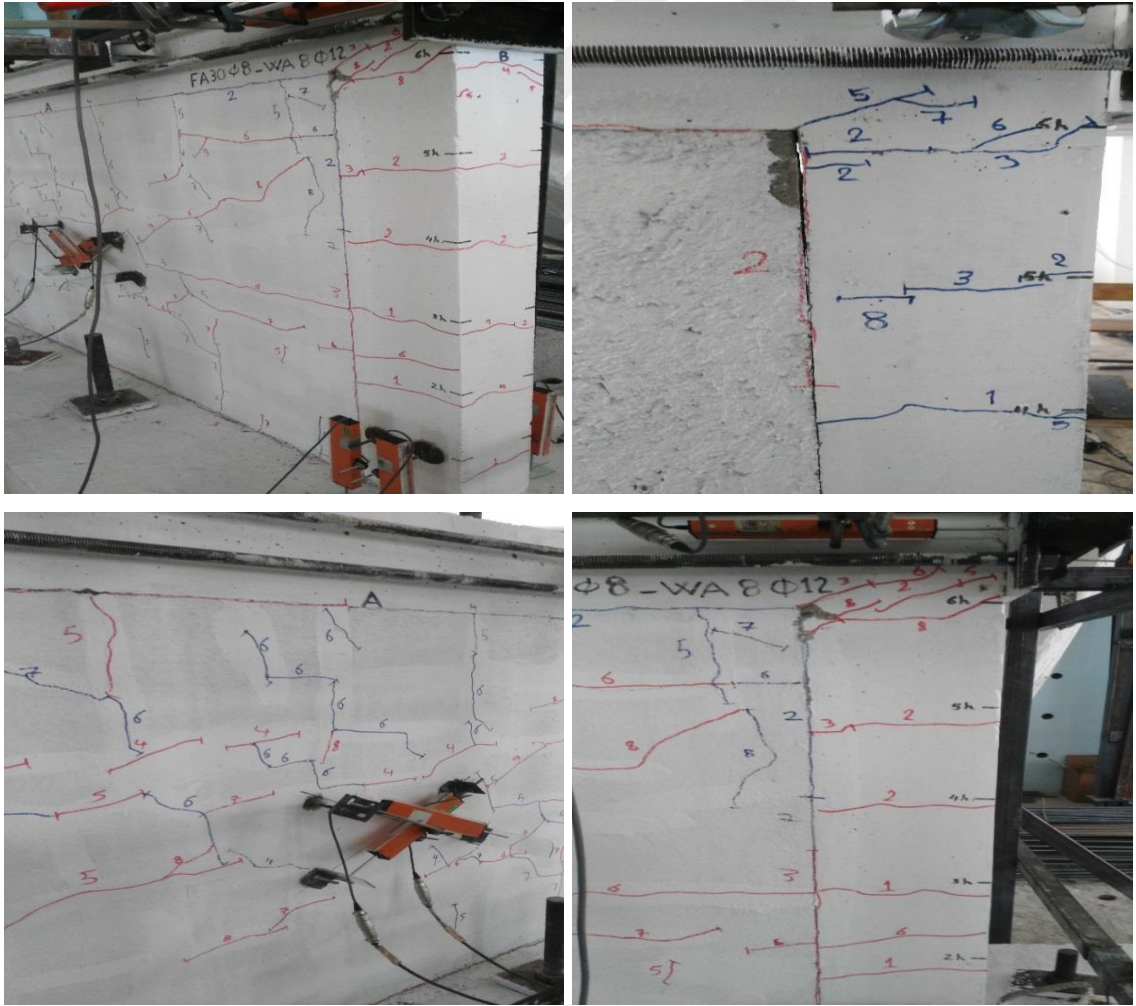
Diğer güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve deneylerinde olduğu gibi ilk 3 döngü içerisinde kolonlarda bütün seviyelerde enine çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca kolon ile duvar arasında temelden 3h seviyesine kadar ayrılmalar oluşmuştur. 3. döngüde kolonların A ve C yüzeylerinde kolon-kiriş birleşim yerlerinde diyagonal çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 4.27). 5. döngü itmede duvarın A yüzünde ankrajların bulunduğu bölgelerde çatlaklar tespit edilmiştir. Çekmede ise A2 kolonunun kolon-kiriş birleşim bölgesinde C yüzünde sıva dökülmeleri gözlemlenmiştir (Şekil 4.28). 10. döngü itmede A2 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesinde duvarın kolondan ayrılması 3-4 mm mertebesine ulaşmıştır. Aynı döngünün çekmesinde duvarın C yüzünde 4 ve 5. döngüde oluşmuş olan kesit ortasındaki diyagonal çatlak genişliği 2 mm mertebesine ulaşmıştır (Şekil 4.29). 16. döngüde A1 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesinde dökülmeler başlamıştır. 18. döngü itmede A2 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesi ile duvar arasındaki ayrılmak miktarı 10 mm civarında ölçülmüştür. Çekmede duvarın C yüzündeki çatlakların genişliği 3mm mertebesine ulaşmıştır (Şekil 4.30). 20. döngü sonunda kolonlarda kesme kırılması bariz şekilde gözükmektedir. 24. döngü sonunda ise kolon-kiriş birleşim bölgelerinin altında bulunan duvar iyice ayrılmaya ve dökülmeye başlamıştır (Şekil 4.31). İlerleyen aşamalarda kesme çatlağının genişliği iyice artmış, duvardan tuğla ezilmeler ve dökülmeleri olmuştur. Bu yüzden deney 26. Döngü ile sonlandırılmıştır. Deney sonucunda elde edilen yük – deformasyon grafiği Şekil 4.32’de sunulmuştur.



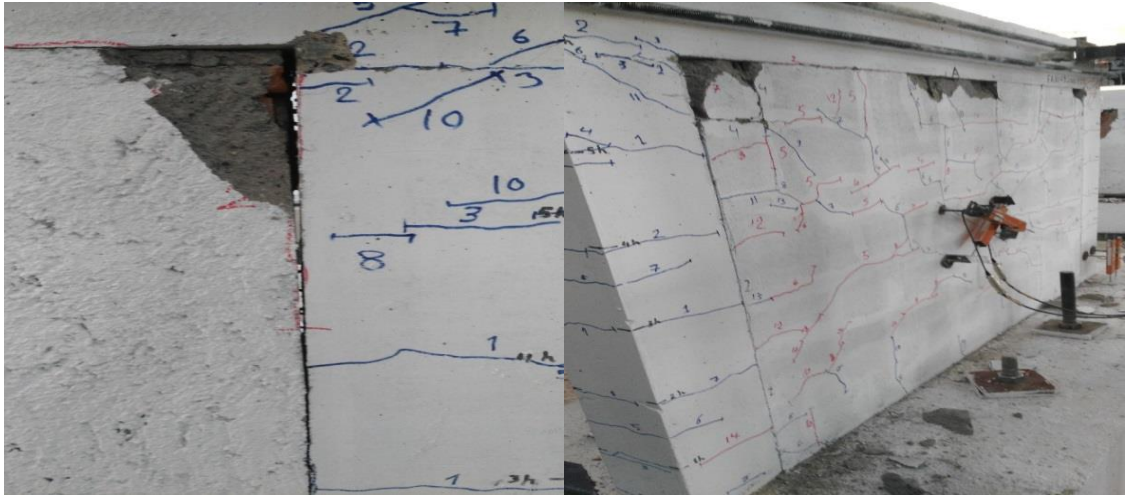
Şekil 4.27. İlk 3 döngü sonunda çatlak durumu



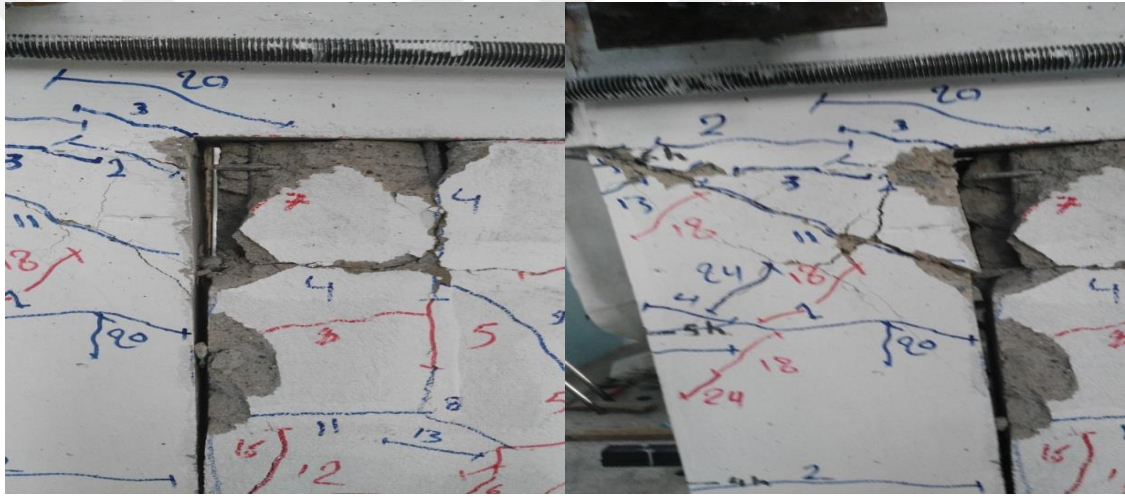
Şekil 4.28. 5. döngü sonunda çatlak durumu.



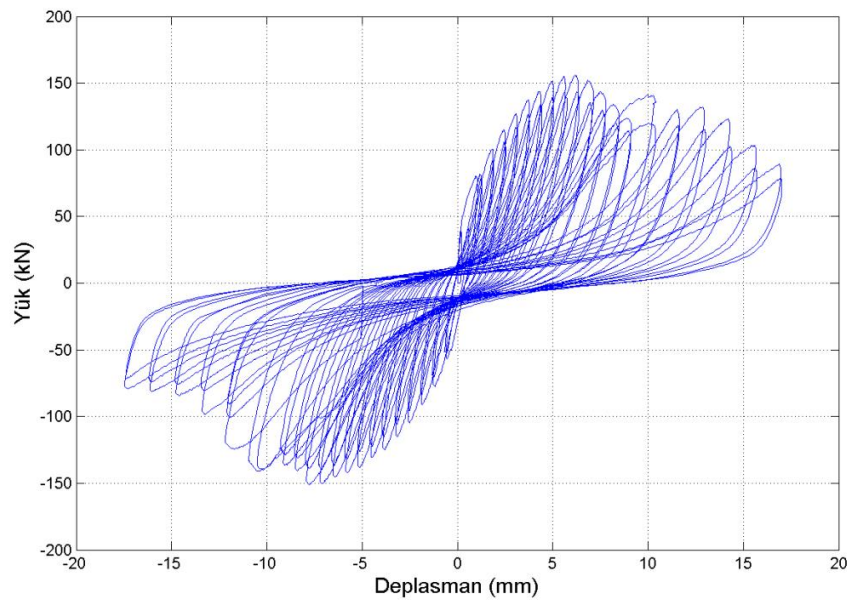
Şekil 4.29. 10. döngü sonunda çatlak ve ayrılma durumu



Şekil 4.30. 18. döngü sonunda çatlak durumu



Şekil 4.31. 24. döngü sonunda çatlak durumu

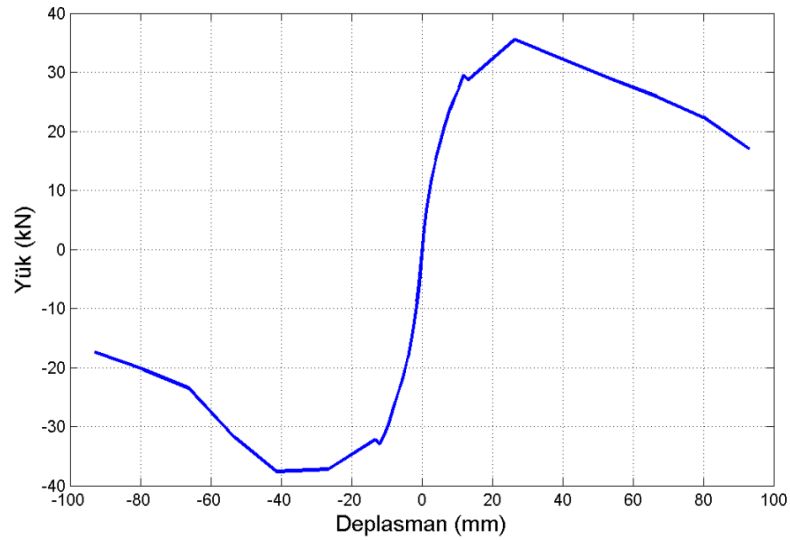


Şekil 4.32. Güçlendirilmiş çerçeveye (FA30 Φ 8-WA Φ 12) ait yük-yer değiştirme eğrisi

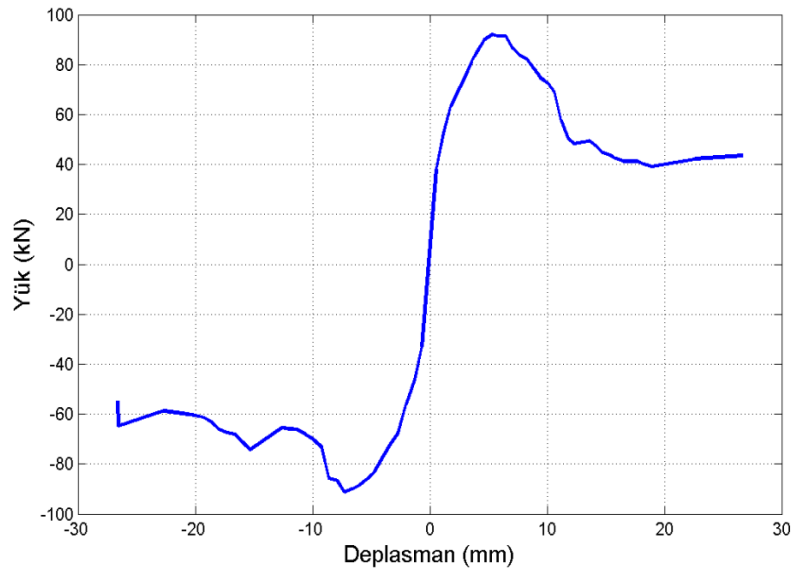
4.2. Zarf Eğrileri - Bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına etkisi

Toplamda 5 adet çerçeve deneye tabi tutulmuştur. Bunlardan 4 numunede bölme duvarı örülmüş ve 3 numunede bu duvarlar 2008 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak güçlendirilmiştir. Yapılan bu güçlendirmenin ve bölme duvarının etkisi deneyler sonucu elde edilen yük – deformasyon eğrileri kullanılarak değerlendirilecektir.

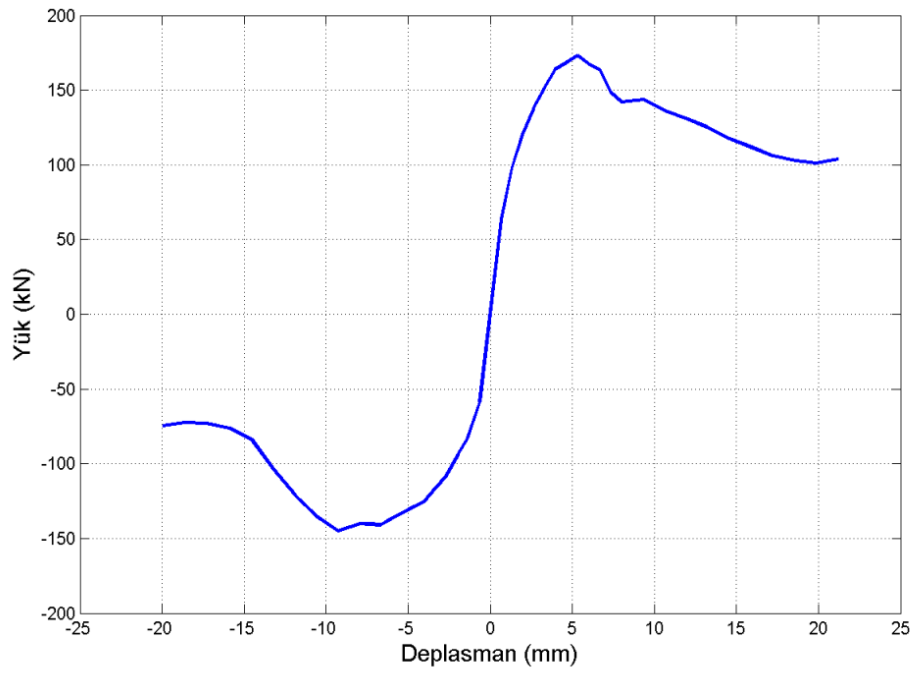
Numunelerin yatay yük- tepe yer değiştirme zarf eğrileri Şekil 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37’de verilmiştir.



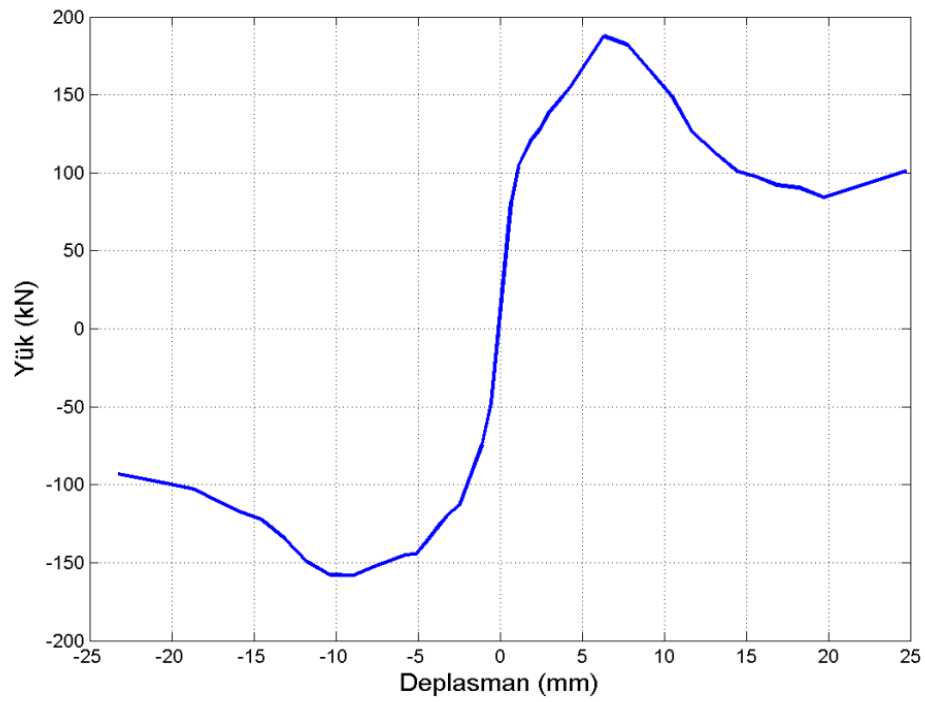
Şekil 4.33. Boş çerçeve (B) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi



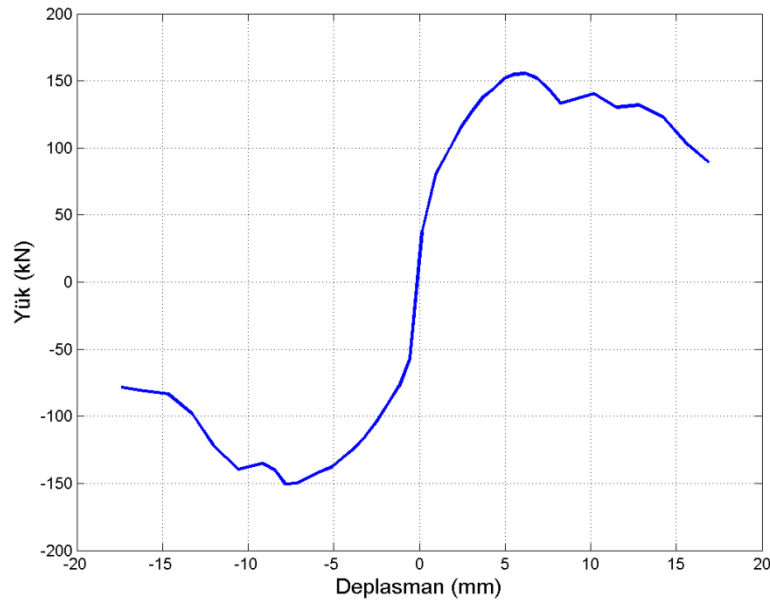
Şekil 4.34. Dolgu duvarlı çerçeve (I) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi



Şekil 4.35. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 Φ 8-WA8-P) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi



Şekil 4.36. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 Φ 8-WA Φ 10-P) yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi



Şekil 4.37. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 $\Phi 8$ -WA $\Phi 12$ -P) yatay yük-yer değiştirme zarf eğrisi

Yukarıdaki eğrilere göre numunelerin itme ve çekmede gösterdikleri en büyük yük değerleri sırasıyla:

Boş çerçevede (B) $F_{max} = 35.5 \text{ kN}, 37.6 \text{ kN}$

Dolgu duvarlı çerçeve (I) $F_{max} = 92.1 \text{ kN}, 91.2 \text{ kN}$

Güçlendirilmiş çerçeve ($\Phi 8$) $F_{max} = 173.6 \text{ kN}, 145.1 \text{ kN}$

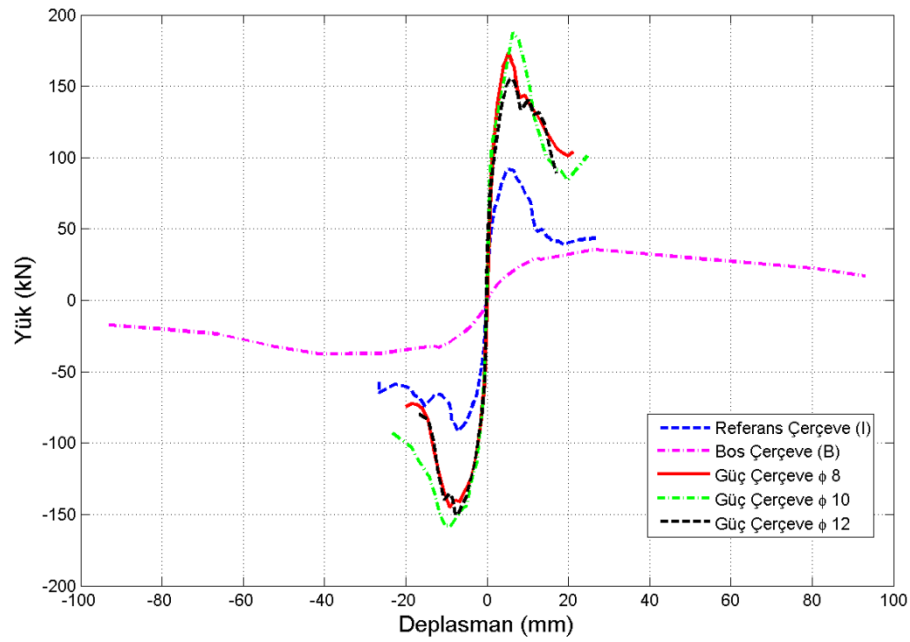
Güçlendirilmiş çerçeve ($\Phi 10$) $F_{max} = 187.6 \text{ kN}, 158.0 \text{ kN}$

Güçlendirilmiş çerçeve ($\Phi 12$) $F_{max} = 155.5 \text{ kN}, 150.4 \text{ kN}$

Buna göre boş çerçevenin duvarlı hale getirilmesiyle $92.1 / 35.5 = 2.6$ kat yük taşıma kapasitesinde bir artış görülmektedir. Yani bölme duvarların etkisi ciddi manada ortaya çıkmaktadır.

Fakat olası bir deprem esnasında sade duvarın büyük olasılıkla düzlem dışına devrilebilecek ve bölme duvarın bu katkısı tam kullanılamayarak kaybedilecektir. Oysaki güçlendirme sonrasında ankrajlar sayesinde duvar yerinde kalacak ve böylece hem duvarın hem de güçlendirmenin yük taşımadaki katkısı

korunacaktır. Yapılan deneylerde de çerçevenin düzlem dışı hareketi engellenmiş ve duvarın bu katkısı ciddi manada görülmüştür. Bölme duvarlı çerçevenin, hasır çelik ve sıva ile güçlendirilmesiyle numunenin yatay yük taşıma kapasitesindeki artış $\Phi 8$ 'lik dik ankraj için $173.6 / 92.1 = 1.88$ kat artmaktadır. $\Phi 10$ ve $\Phi 12$ dik ankrajlar için bu oran $187.6 / 92.1 = 2.03$ ve $155.5 / 92.1 = 1.69$ olmaktadır. Başka bir deyişle deprem yönetmeliğinde belirtilen verilere göre yapılmış, bölme duvarlı çerçevenin güçlendirilmesi ile yatay yük taşıma kapasitesinde $\Phi 8$, $\Phi 10$ ve $\Phi 12$ 'lik dik ankraj kullanılmasıyla sırasıyla %88, %103 ve %69 oranında artış sağlanmıştır. Şekil 4.38'de deney yapılan bütün çerçeveler için elde edilen grafikte bölme duvarının ve güçlendirilmiş çerçevenin etkisi görülmektedir.



Şekil 4.38. Boş çerçeve, dolgu duvarlı referans çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeveler için elde edilen yatay yük- yer değiştirme zarf eğrisi

4.3 Çerçeve Rijitliklerinin Kıyaslanması

Çerçevelerin başlangıç rijitlikleri hem itme hem de çekmede oluşan rijitliklerin ortalaması alınarak hesaplanabilir. Bu anlamda başlangıç rijitlikleri açısından bakıldığında; boş çerçeve (B) numunesi başlangıç rijitliği 6.54 kN/mm, dolgu duvarlı çerçeve (I) numunesi başlangıç rijitliği 57.94 kN/mm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30 $\Phi 8$ -WA $\Phi 8$ -P) numunesi başlangıç rijitliği 95.97 kN/mm, dolgu duvarlı

güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ10-P) numunesi başlangıç rijitliği 103.0 kN/mm ve dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ12-P) numunesi başlangıç rijitliği 121.35 kN/mm'dir.

Boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı (I) hale getirilmesi ile 9 kat rijitlik artışı sağlanmıştır.

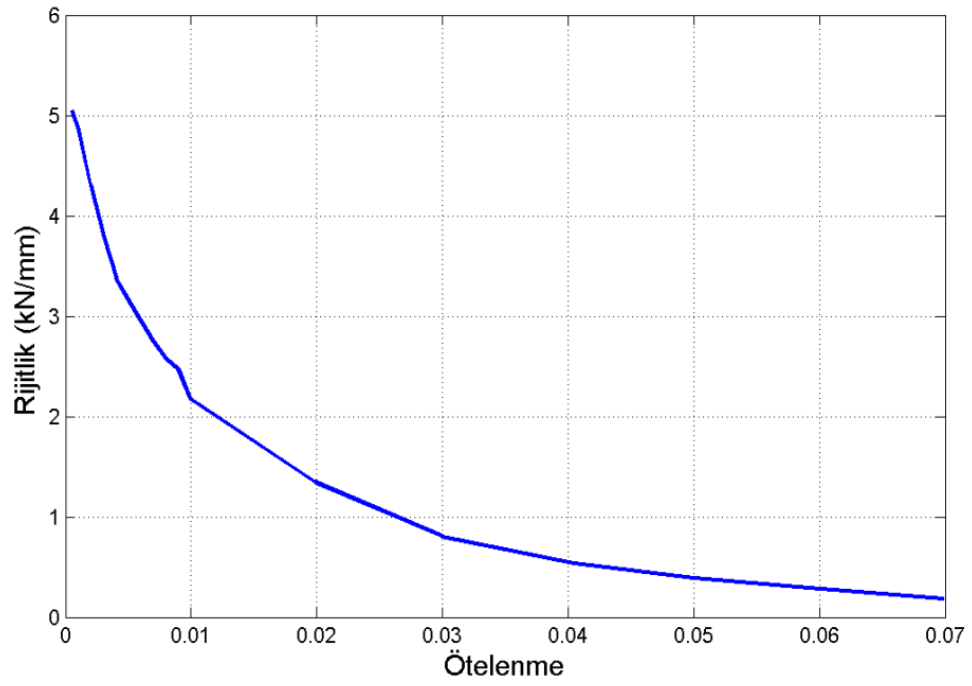
Boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı güçlendirilmiş numune (I-FA30Φ8-WAΦ8-P) ile kıyaslandığında 15 kat rijitlik artışı gözlenmiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı çerçevenin güçlendirilmesiyle elde edilen rijitlik artışı 1.66 katıdır. Yani % 66 oranında bir rijitlik artışı sağlanmıştır.

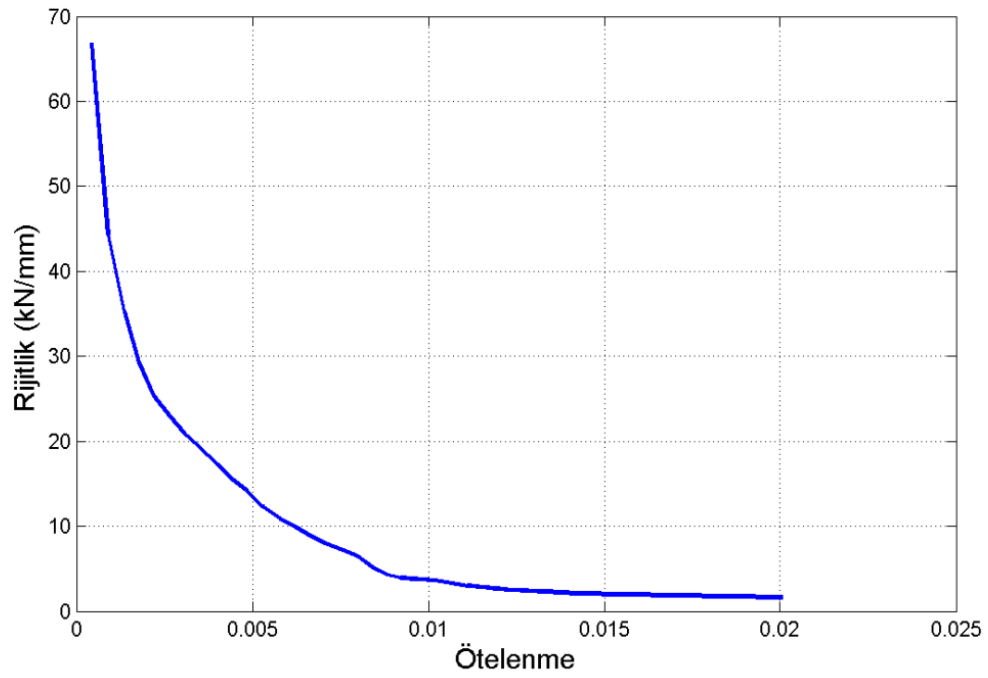
Dik ankraj çapının Φ8'den Φ10'na çıkarılmasıyla rijitlikte %7'lik bir artış görülmüştür.

Dik ankraj çapının Φ8'den Φ12'na çıkarılmasıyla rijitlikte %26'lık bir artış hesaplanmıştır.

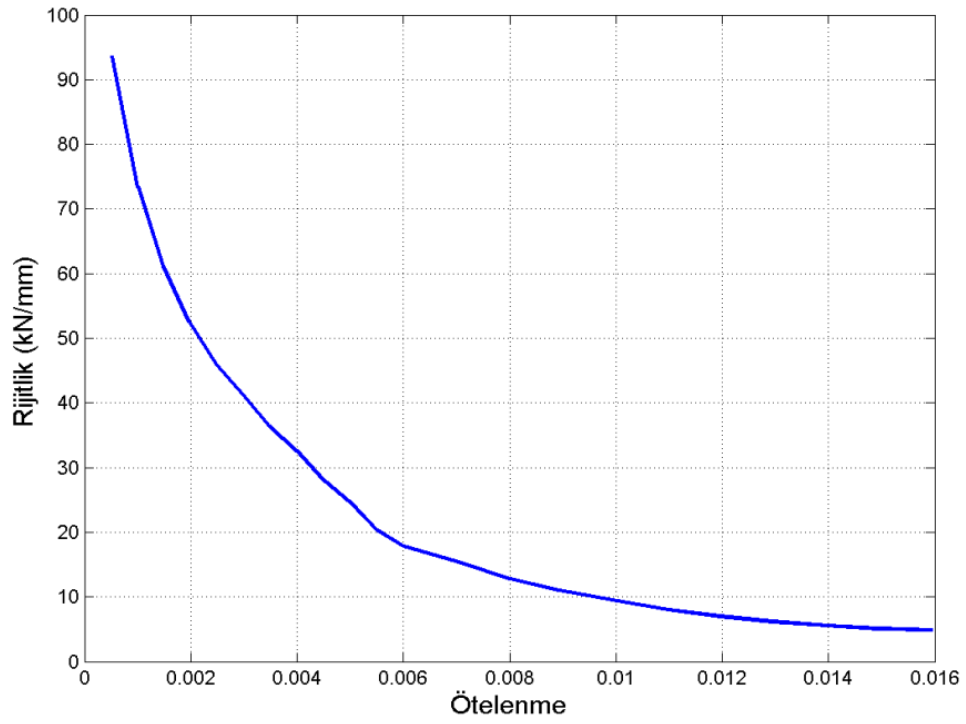
Numunelerin rijitlik-ötelenme eğrileri Şekil 4.39, 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43'te verilmiştir. Bütün çerçevelere ait rijitlik-ötelenme eğrileri ise Şekil 4.44'te sunulmuştur. Boş çerçeve (B) numunesinde, ötelenme oranı %1 iken başlangıç rijitliğinin %43'ünü korurken, ötelenme oranı %5 te başlangıç rijitliğinin %8 seviyesine inmiştir. Bölme duvarlı çerçevede (I), ötelenme oranı 0.002 iken başlangıç rijitliğinin %37'sini korurken, 0.01 ötelenme oranında rijitliğin %5'i mertebesine kadar azalmıştır. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevede (I-FA30Φ8-WAΦ8-P), ötelenme oranı 0.002 iken başlangıç rijitliğin %53'nü korunmakta, 0.007 ötelenme oranında ise rijitliğin %1.6'sını korunmaktadır. Diğer dolgu duvarları güçlendirilmiş çerçevelerde de benzer rijitlik azalması görülmektedir. Sonuçla, rijitlik azalmasına açısından bakıldığında başlangıç rijitliği fazla olan çerçevede, rijitlik azalması daha hızlı gerçekleşmiştir.



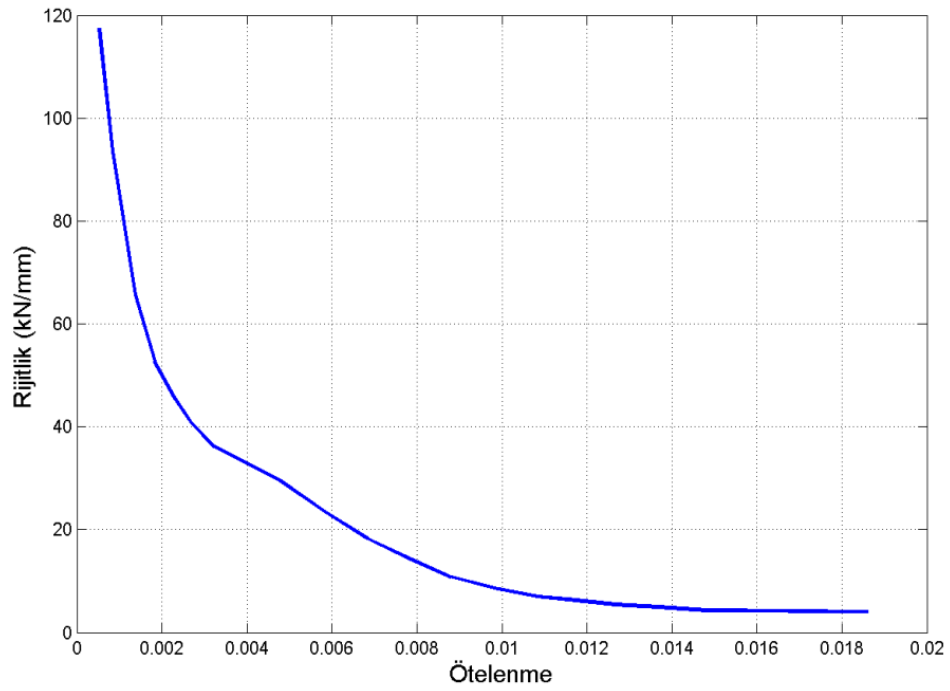
Şekil 4.39. Boş çerçeve (B) rijitlik-ötelenme eğrisi



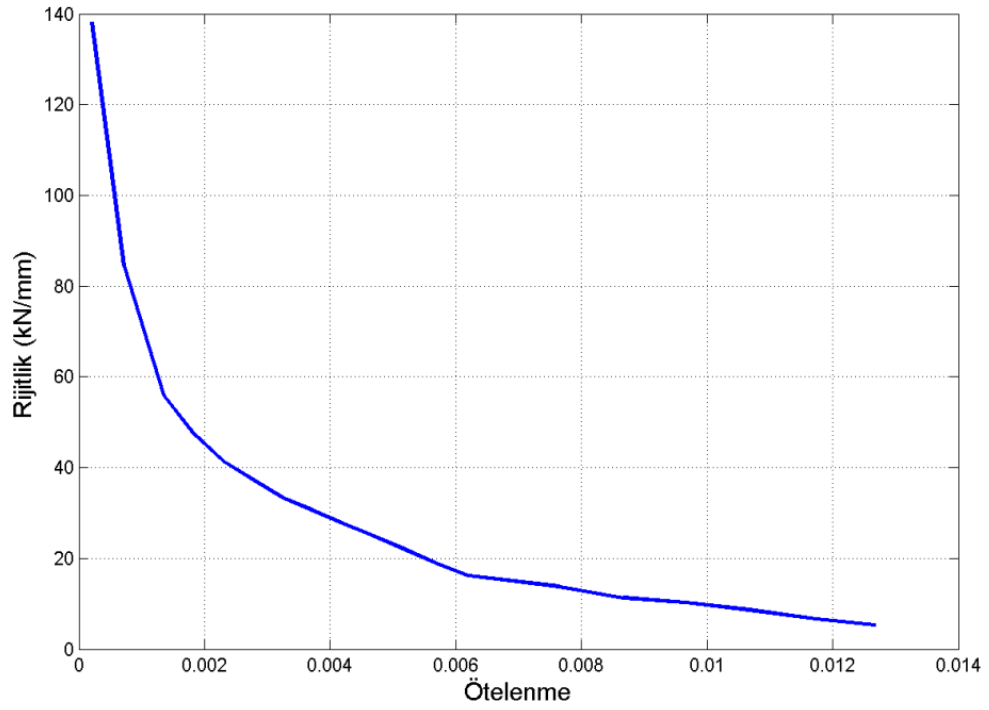
Şekil 4.40. Dolgu duvarlı çerçeve (I) rijitlik-ötelenme eğrisi



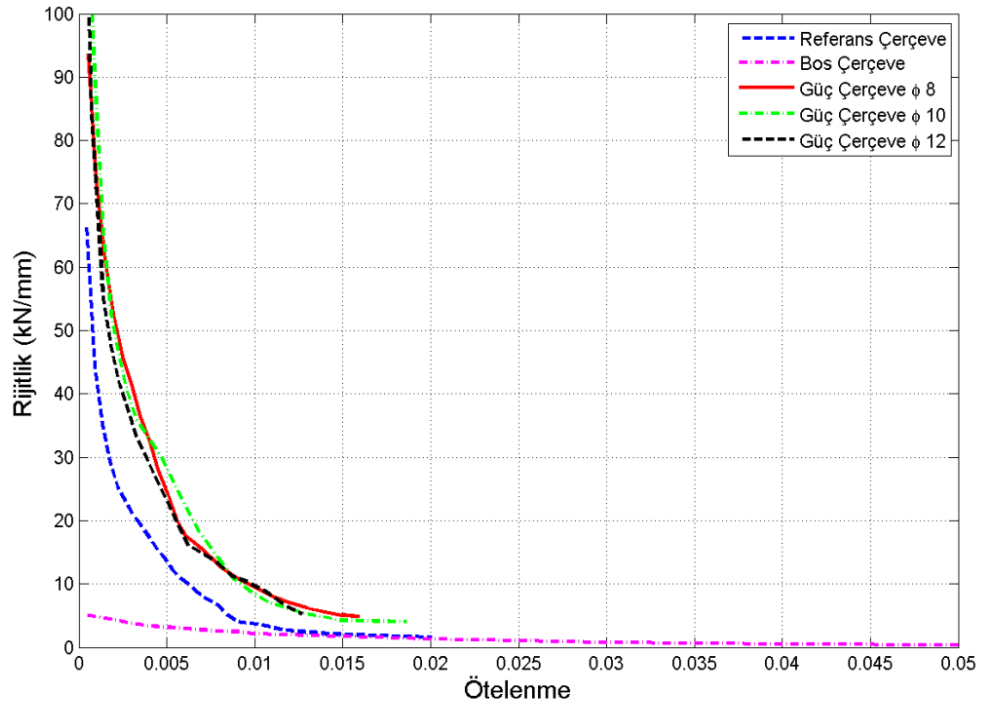
Şekil 4.41. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ8-P) rijitlik-ötelenme eğrisi



Şekil 4.42. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ10-P) rijitlik-ötelenme eğrisi



Şekil 4.43. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30Φ8-WAΦ12-P) rijitlik-ötelenme eğrisi



Şekil 4.44. Boş çerçeve, dolgu duvarlı referans çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeveler için elde edilen rijitlik-ötelenme eğrileri

4.4. Çevrimler Arası Rijitlik Azalması

Betonarme çerçeve numuneleri her bir ötelenme oranında hem itmede hem de çekme yönünde ikişer kez yüklenmiştir. Dolayısıyla her döngüye ait çevrim içi rijitlikleri hesaplamak mümkün olmuştur. İtmeden sonra yapılan çekme döngüsünde ve sonrasında tekrar itme ve çekme çevrimlerinde rijitlik azalması meydana gelmiştir. Bu azalım aşağıda verilen rijitlik değişim yüzdesi denklemi ile hesaplanmıştır.

$$\Delta S = (S_1 - S_2) / S_1$$

Bu denklemde;

ΔS = Çevrimler arası rijitlik azalması yüzdesini,

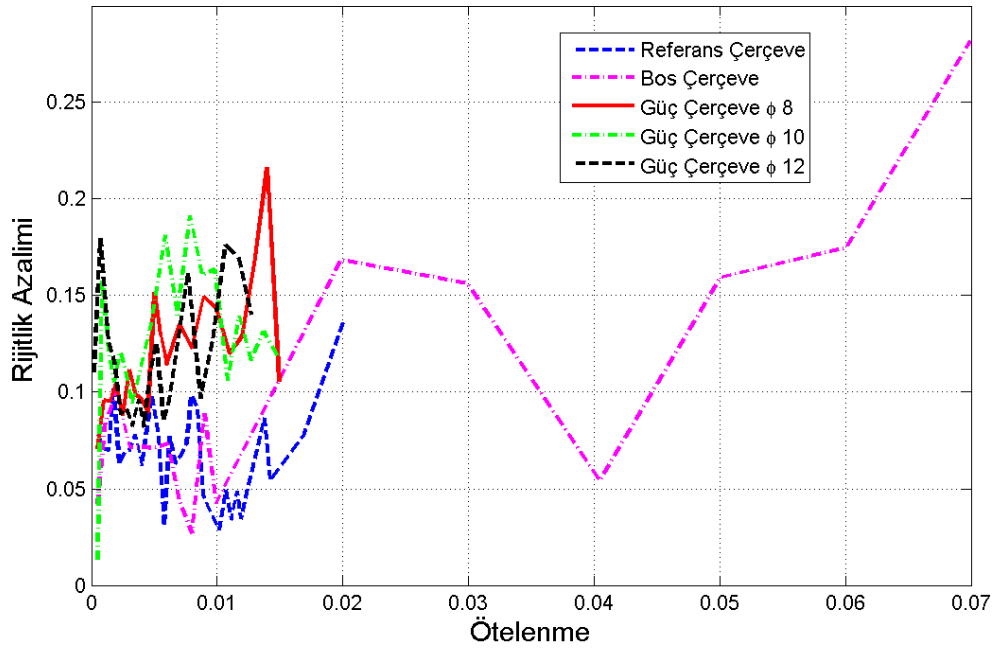
S_1 = i.inci ötelenme adımındaki 1.çevrim rijitliğini,

S_2 = i.inci ötelenme adımındaki 2.çevrim rijitliğini göstermektedir.

Şekil 4.45'te boş çerçeve, dolgu duvarlı güçlendirilmemiş referans çerçeve ve dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevelerin her bir ötelenme oranında meydana gelen çevrim içi rijitlik azalımlarını göstermektedir. Boş çerçevede ötelenme oranı 0.01'e kadar çevrimler arası (1. çevrim ve 2. çevrim rijitlikleri) rijitlikteki azalma %5 civarında görülmektedir. Bu orandan sonra rijitlik azalım değeri artmaktadır. 0.02 ötelenme oranında rijitlik azalımı %16, 0.07 ötelenme oranında bu değer %28 mertebesinde olmaktadır. Ötelenme değerleri arasında rijitlik azalımında dalgalanmalar görülmekte ise de azalım davranışı artan ötelenme değerleri ile beraber yükselmektedir.

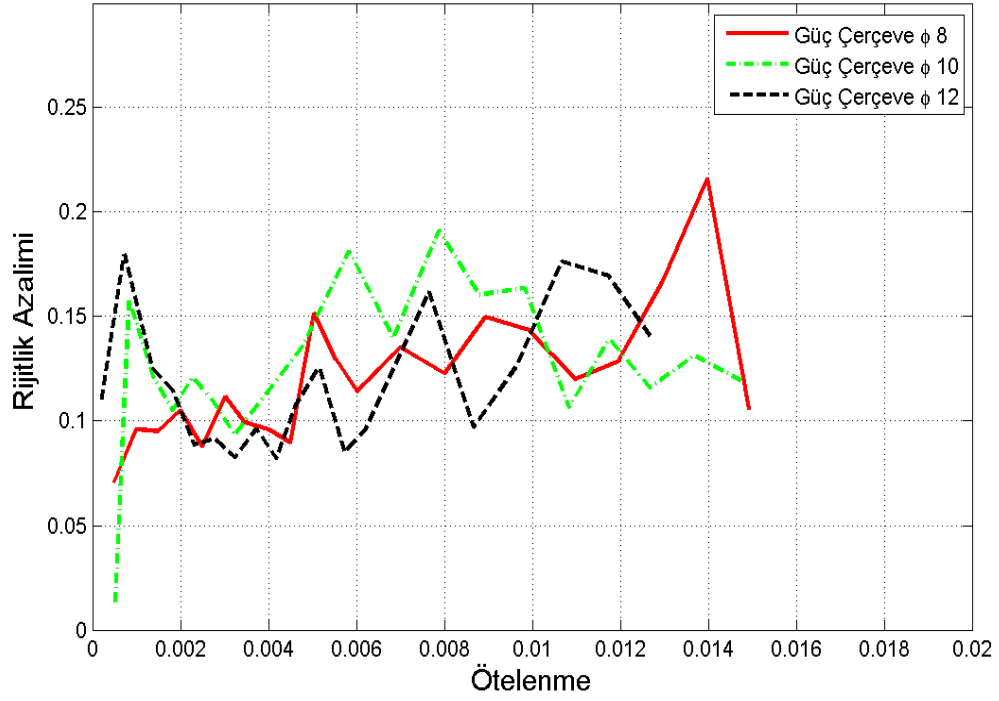
Dolgu duvarlı referans çerçevede 0.01 ötelenme oranına kadar çevrim içi rijitlik değerinde ortalama olarak %7 civarında bir azalım görülmektedir Şekil 4.45. 0.015 ötelenme oranında bu azalım %9, 0.02 ötelenme oranında ise rijitlik kaybı %14 mertebesinde hesap edilmiştir. Bu azalım değerleri, boş çerçevede meydana gelen azalmalardan daha büyüktür.

Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevelerde meydana gelen çevrim içi rijitlik azalması yüzdesinin, boş ve dolgu duvarlı referans çerçeveye göre daha yüksek olduğu Şekil 4.45'ten anlaşılmaktadır. Şekil 4.46 bu azalmaları daha detaylı bir biçimde göstermektedir.



Şekil 4.45. Tüm numunelerde meydana gelen çevrim içi rijitlik kayıp yüzdesi

Şekil 4.46'dan ankraj çapı değişiminin çevrim içi rijitlik azalmalarında belirgin bir etkisi olmadığına işaret etmektedir. İlk çevrimlerden sonra rijitlik azalım yüzdesi ötelenme oranı arttıkça fazlalaşmaktadır. İlk çevrimde numunelerde ortalama olarak %10'nun üzerinde rijitlikte azalma görülmektedir. Bunun nedeni güçlendirilmiş çerçevelerin başlangıç rijitliklerinin çok yüksek olması ve dolayısıyla azalım değerlerinin yüksek hesaplanmasıdır. 0.005 ötelenme oranında bu azalım %10 mertebesinde, 0.01 ötelenme oranında azalım değeri %15 olarak hesap edilmiştir. Bu ötelenme oranından sonra rijitlik azalım oranında bir miktar artma gözlenmekte ve en son döngülerde ortalama olarak %16 civarına çıkmaktadır.



Şekil 4.46. Dolgu duvarlı güçlendirilmiş numunelerde meydana gelen çevrim içi rijitlik kayıp yüzdesi

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölme duvarının betonarme bir çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine ve yanal rijitliğine yaptığı pozitif katkılar İnşaat Mühendisliği camiası tarafından bilinmektedir. Fakat tek başına bölme duvarlar muhtemel bir depremde düzlem dışına devrilebilecek veya deprem hareketinin ilk safhalarında gevrek kırılabilir ve bölme duvarların bu katkısı tam kullanılamayabilecektir. Bölme duvarların güçlendirilmesiyle bu sorunlar ortadan kaldırılabilir. Yapılacak olan ankrajlar ve güçlendirme sıvasının etkisi ile duvar yerinde kalacak, böylece duvarın düzlem dışına devrilerek erken devreden çıkması önlenecek hem duvarın hem de güçlendirmenin katkısı olası deprem boyunca korunmuş olacaktır.

Çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliğine uygun olarak yapılan duvar güçlendirmesinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 5 adet bir katlı, bir açıklıklı ve ½ ölçekli çerçeve üretilmiştir. Bu numunelerden ilki dolgusuz çerçeve, ikincisi tuğla dolgulu çerçeve ve diğer üç tanesi ise dolgu duvarları güçlendirilmiş çerçevedir. Çerçeve kolon ve kiriş boyutları ve donatı detayları, pratikte kusurlu olarak üretilen çerçeveleri temsil etmek üzere seçilmiştir. Güçlendirilen 3 çerçeve arasındaki farkı uygulanan dik ankraj çapındaki değişim oluşturmaktadır. Çerçeve ankraj ise aralıkları 30cm, çapı 8 mm'dir.

Üretilen çerçeve numuneleri Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Deprem Araştırma Laboratuvarında deneye tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Boş çerçevenin (B) yatay yük taşıma kapasitesi 35.5 kN'dur. Dolgu duvarlı çerçevenin ise 92.1 kN, yani dolgu duvar örülmesi ile çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi 2.6 kez arttırılmıştır. Dolgu duvara ilaveten $\Phi 8$ çaplı dik ankraj ve sıva ile yapılan güçlendirme sonucu bu kapasite 173.6 kN'na çıkmıştır. Başka bir deyişle güçlendirilmiş

çerçevenin kapasitesi boş çerçeve kapasitesinin 4.9 katı, dolgu duvarlı çerçeve kapasitesinin ise 1.9 katıdır. Dik ankraj çapının 10 mm ve 12 mm çıkarılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesi 10 mm çaplı dik ankraj için 187.6 kN'na çıkmış ve 12 mm çaplı dik ankraj içinse 155.5 kN'na düşmüştür. Yani çap arttırmanın tasarlanan betonarme çerçevelerde belirli ve düzgün bir etkisi olmamıştır. Çap arttırılmasıyla çerçeve itme kapasitede yaşanan bu değişimler, çekme kapasitesinde sırasıyla 158.0 kN ve 150.4 kN olmuştur. Yani dik ankraj çapının arttırılması betonarme çerçevelerin çekme kapasitelerinde bir artışa neden olsa da bu artış çap artımıyla orantılı olmamıştır.

Çerçeve dolgu duvar yapılması ve dolgu duvar güçlendirilmesi çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede arttırsa da yatay yer değiştirme kapasitesinde boş çerçeveye göre düşüşe neden olmuştur.

Çerçeve elastik rijitliği bakımında karşılaştırma yapılırsa; boş çerçevenin rijitliği 6.54 kN/mm, dolgu duvarlı çerçevenin 57.94 kN/mm, dolgu duvarlı $\Phi 8$ çap dik ankrajla güçlendirilmiş çerçevenin 95.97 kN/mm, dolgu duvarlı $\Phi 10$ çap dik ankrajla güçlendirilmiş çerçevenin 103.0 kN/mm, dolgu duvarlı $\Phi 12$ çap dik ankrajla güçlendirilmiş çerçevenin 121.35 kN/mm olarak belirlenmiştir. Yani boş çerçevenin, dolgu duvarlı hale getirilmesiyle rijitlikte 9 kat artış sağlanmıştır. Ayrıca duvar güçlendirmesi ile bu artış 15 kata çıkmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı çerçevenin güçlendirilmesi ile elde edilen rijitlik artışı 1.66 kattır. Dik ankraj çapının $\Phi 8$ 'den $\Phi 10$ 'na çıkarılmasıyla rijitlikte %7'lik bir artış görülmüştür. Dik ankraj çapının $\Phi 8$ 'den $\Phi 12$ 'na çıkarılmasıyla rijitlikte %26'lık bir artış hesaplanmıştır. Rijitlik açısından bakıldığında; dik ankraj çapının artması, çerçevelerin başlangıç rijitliğinin artmasına neden olmuştur. Başlangıç rijitlikleri yüksek olan güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin rijitlikleri yatay ötelenme oranı ile hızlı bir şekilde düşmektedir.

Yapılan deneysel çalışmaların hepsinde düzlem içi yükleme dikkate alınmış, düzlem dışı hareket engellenmiş ve düzlem dışı bir etki ettirilmemiştir. Bu sebeple burada yapılan yorumlar düzlem içi yükler için geçerlidir.

Benzer şekilde çerçeve elemanlarına herhangi bir eksenel yükleme yapılmamıştır. Konu üzerinde daha kesin sonuçlara ulaşabilmek için bu faktörün göz önüne alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Tarakcı, U. (2006) "Mevcut Yapıların incelenmesi Ve Dolgu Duvar Takviyesi İle Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
2. Özdemir, H., Eren, İ. (2009) "Bölme Duvarının Ve Bölme Duvar Güçlendirilmesinin Çerçeve Davranışına Etkisi", **İTÜ Dergisi/d**, 8 (6): 133-145.
3. DBYYHY, (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Ankara.
4. 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.
5. 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.
6. Smith, B. S. (1968) "Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Frames", **ACI Journal**. 65:618-625.
7. 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.
8. Klingner, R. E. and Bertero, V.V. (1978) "Earthquake Resistance of Infilled Frames", **ASCE Journal of Structural Engineering**. 104:973-989.
9. Liauw, T. C. (1979) "Tests on multistory infilled frames subject to dynamic lateral loading", *ACI Journal*, 76(4):551-563.
10. Yüzügüllü, Ö. (1979) "Strengthening of Reinforced Concrete Frames Damaged by Earthquake Using Precast Panel Elements", TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-494.
11. 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.

12. 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.
13. Govindan, P., Lakshmipathy M., and Santhakumar A. R. (1986) "Ductility of Infilled Frames", **ACI Structural Journal**, **83**(4): 567-576.
14. Altın, S. (1990) "Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills ", Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
15. Bush, T. D., Wyllie, L. A. And Jirsa, J. O. (1991) "Observations on two seismic strengthening schemes for concrete frames", **Earthquake Spectra**. **7**(4):511-527.
16. Gündoğmuş, H. T. (1995) "Repair and Strengthening of Damaged Reinforced Concrete Frames with Steel Infill Frame and Prestressing Bars", *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 135 s.
17. 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.
18. Frosch, R. J., Wanzhi, L., Jirsa, J. O. and Kreger, M. E. (1996) "Retrofit of Non-Ductile Moment-Resisting Frames Using Precast Infill Wall Panels", **Earthquake Spectra**. **12**(4): 741-760.
19. Masri, A. and Goel, S. (1996) "Seismic Design and Testing of an RC Slab Column Frame Strengthened with Steel Bracing", **Earthquake Spectra**, **12**(4):645-666.
20. 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.
21. 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.

22. Canbay, E., Ersoy, U. and Özcebe, G. (2003) "Contribution of Reinforced Concrete Infills to Seismic Behavior of Structural Systems", **ACI Structural Journal**, **100**(5): 637-643.
23. 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.
24. Türk, M., Ersoy, U., Özcebe, G. (2003) "Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Depreme Karşı Onarımı ve Güçlendirilmesi", *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Bildiri No: AT-045.
25. 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.
26. Karaduman, A. (2005) "Dolgu Duvarların Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma", **Mühendislik Bilimler Dergisi (Journal of Engineering sciences)** 11(3).
27. Kesner, K. and Billington, S. L. (2005) "Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitious Composites for Seismic Strengthening and Retrofit", **ASCE Journal of Structural Engineering**, **131**(11): 1712- 1720.
28. Kaltakçı, M. Y. ve Yavuz, G. (2006) "Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Betonarme Çerçevelerin Depremi Benzeştiren Yatay Yük Etkisindeki Davranışı". *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, İstanbul, Bildiri No: 169.
29. 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.
30. Kara, M. E. and Altın, S. (2006) "Behavior of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Partial Infills", **ACI Structural Journal**, **103**(5):701-709.

31. Güney, D. ve Boduroğlu M. H.(2006) "Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetrik yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı", **İTÜ dergisi/dmühendislik**, 5(3), 165-174.
32. Anil, Ö. and Altın, S. (2007) "An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames", **Engineering Structures**, 29(3): 449-460.
33. Özdemir H. (2008) "Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
34. Ünal, A. (2012) "TDY 2007'ye Göre Tasarlanmamış Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
35. Kılıç, A. (2012) "Betonarme Çerçeveli Yapılarda Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi",Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

EKLER

Ek A: Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi

Tablo A.1: Boş Çerçevenin (B), Belirli Ötelenme Oranlarındaki Maksimum Yük Değerleri Tablosu

YERDEĞİŞTİRME - MAKSİMUM YÜK 1 NO'LU DENEY			
BOŞ ÇERÇEVE (B)			
1. ÇEVİRİM			
ÖTELENME ORANI	HEDEF YERD. mm	İTME kN	ÇEKME kN
0	0	0	0
0.0005	0.665	3.483	-5.739
0.001	1.33	6.7	-8.78
0.002	2.66	11.37	-13.96
0.003	3.99	15.22	-17.42
0.004	5.32	18.03	-18.25
0.005	6.65	20.87	-20.35
0.006	7.98	23.79	-21.72
0.007	9.31	25.59	-23.48
0.008	10.64	27.44	-24.28
0.009	11.97	29.49	-26.91
0.01	13.3	28.69	-29.57
0.02	26.6	35.54	-31.44
0.03	39.9	32.21	-31.77
0.04	53.2	28.9	-32.16
0.05	66.5	25.9	-32.95
0.06	79.8	22.4	-37.22
0.07	93.1	17	-37.6

Tablo A.2: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (I), Belirli Ötelenme Oranlarındaki Maksimum Yük Değerleri Tablosu

YERDEĞİŞTİRME - MAKSİMUM YÜK 2 NO'LU DENEY DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE (I)			
1. ÇEVİRİM			
ÖTELENME ORANI	HEDEF YERD. mm	İTME kN	ÇEKME kN
0	0	0	0
0.0005	0.665	38.23	-32.71
0.001	1.33	52.63	-46.23
0.0015	1.995	63.42	-54.85
0.002	2.66	68.7	-55.79
0.0025	3.325	73.98	-58.7
0.003	3.99	81.03	-59.76
0.0035	4.655	85.32	-60.55
0.004	5.32	89.71	-61.33
0.0045	5.985	92.08	-63.11
0.005	6.65	91.18	-64.84
0.0055	7.315	91.18	-65.46
0.006	7.98	86.51	-65.9
0.0065	8.645	86.72	-66.06
0.007	9.31	83.58	-66.29
0.0075	9.975	82.16	-67.34
0.008	10.64	78.31	-67.43
0.0085	11.305	74.82	-68.11
0.009	11.97	72.34	-68.14
0.0095	12.635	69.26	-70
0.01	13.3	57.56	-71.39
0.0105	13.965	50.37	-71.39
0.011	14.63	48.29	-73.3
0.0115	15.295	49.49	-74.2
0.012	15.96	47.47	-77.04
0.0125	16.625	44.56	-82.78
0.013	17.29	43.73	-85.69
0.0135	17.955	42.21	-85.92
0.014	18.62	41.32	-86.85
0.0145	19.285	41.25	-88.35
0.015	19.95	40.01	-90.05
0.016	21.28	39.1	-91.21
0.017	22.61	42.31	-32.71
0.02	26.6	43.57	-46.23

Tablo A.3: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA8-P), Belirli Ötelenme Oranlarındaki Maksimum Yük Değerleri Tablosı

YERDEĞİŞTİRME - MAKSİMUM YÜK 3 NO'LU DENEY (I-FA30- WA8Φ8-P)			
1. ÇEVİRİM			
ÖTELENME ORANI	HEDEF YERD. mm	İTME kN	ÇEKME kN
0	0	0	0
0.0005	0.665	63.38	-58.6
0.001	1.33	97.91	-82.65
0.0015	1.995	120.1	-94.13
0.002	2.66	137.3	-108.6
0.0025	3.325	151.2	-116.5
0.003	3.99	163.7	-125.4
0.0035	4.655	168.3	-128.5
0.004	5.32	173.1	-132.2
0.0045	5.985	167.9	-136.8
0.005	6.65	163.3	-140.9
0.0055	7.315	148.7	-140.5
0.006	7.98	141.9	-140.1
0.0065	8.645	143.7	-145.1
0.007	9.31	136	-135.3
0.008	10.64	131.2	-120.7
0.009	11.97	125.4	-103.9
0.01	13.3	117.3	-83.83
0.011	14.63	111.7	-75.99
0.012	15.96	106	-72.91
0.013	17.29	103.1	-72.53
0.014	18.62	101	-74.58
0.015	19.95	103.8	-58.6

Tablo A.4: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA10-P), Belirli Ötelenme Oranlarındaki Maksimum Yük Değerleri Tablosı

YERDEĞİŞTİRME - MAKSİMUM YÜK 4 NO'LU DENEY (I-FA30- WA8Φ10-P)			
1. ÇEVİRİM			
ÖTELENME ORANI	HEDEF YERD. mm	İTME kN	ÇEKME kN
0	0	0	0
0.0005	0.665	81.53	-47.49
0.001	1.33	103.7	-74.41
0.0015	1.995	119.7	-90.38
0.002	2.66	127.9	-113
0.0025	3.325	138.9	-119.6
0.003	3.99	145.5	-128.1
0.0035	4.655	155	-137.6
0.004	5.32	187.6	-144.6
0.0045	5.985	182.1	-145
0.005	6.65	166	-152.8
0.006	7.98	148.8	-158
0.007	9.31	126.5	-157.9
0.008	10.64	113.3	-149.5
0.009	11.97	101	-134.7
0.01	13.3	97.22	-122.7
0.011	14.63	92.06	-117.7
0.012	15.96	90.47	-110.7
0.013	17.29	84.03	-102.9
0.014	18.62	101.2	-99.26

Tablo A.5: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA12-P), Belirli Ötelenme Oranlarındaki Maksimum Yük Değerleri Tablosı

YERDEĞİŞTİRME - MAKSİMUM YÜK 5 NO'LU DENEY (I-FA30- WA8Φ12-P)			
1. ÇEVİRİM			
ÖTELENME ORANI	HEDEF YERD. mm	İTME kN	ÇEKME kN
0	0	0	0
0.0005	0.665	37.43	-56.9
0.001	1.33	80.22	-77.65
0.0015	1.995	100.1	-91.1
0.002	2.66	115.1	-103.6
0.0025	3.325	126.9	-114.9
0.003	3.99	137.7	-124.5
0.0035	4.655	144	-131
0.004	5.32	151.8	-137.6
0.0045	5.985	154.8	-141.1
0.005	6.65	155.5	-145.3
0.0055	7.315	152.1	-150
0.006	7.98	142.6	-150.4
0.0065	8.645	133.2	-140
0.007	9.31	140.4	-135.2
0.008	10.64	130.2	-139.9
0.009	11.97	131.8	-121.2
0.01	113.3	123.2	-97.96
0.011	14.63	102.9	-83.34
0.012	15.96	89.43	-81.29

Tablo A.6: Boş Çerçevenin (B) Rijitlik Tablosu

ÇERÇEVE RİJİTLİĞİ 1 NO'LU DENEY (B)		
1. ÇEVİRİM		
ÖTELENME ORANI	İTME kN	RİJİTLİK kN/mm
0	0	0
0.0005	3.483	5.047826
0.001	6.7	4.851557
0.002	11.37	4.306818
0.003	15.22	3.785128
0.004	18.03	3.38147
0.005	20.87	3.167881
0.006	23.79	2.938125
0.007	25.59	2.751613
0.008	27.44	2.576526
0.009	29.49	2.469849
0.01	28.69	2.176783
0.02	35.54	1.345702
0.03	32.21	0.808484
0.04	28.9	0.537574
0.05	25.9	0.389064
0.06	22.4	0.28028
0.07	17	0.182835

Tablo A.7: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (I), Rijitlik Tablosu

ÇERÇEVE RİJİTLİĞİ 2 NO'LU DENEY (I)		
1. ÇEVİRİM		
ÖTELENME ORANI	İTME kN	RİJİTLİK kN/mm
0	0	0
0.0005	38.23	66.83566
0.001	52.63	44.33867
0.0015	63.42	35.19423
0.002	68.7	29.30887
0.0025	73.98	25.28366
0.003	81.03	22.94817
0.0035	85.32	20.94256
0.004	89.71	19.36326
0.0045	92.08	17.30827
0.005	91.18	15.56238
0.0055	91.18	14.12767
0.006	86.51	12.29534
0.0065	86.72	12.26765
0.007	83.58	10.8729
0.0075	82.16	9.931101
0.008	78.31	8.827641
0.0085	74.82	7.951116
0.009	72.34	7.183714
0.0095	69.26	6.527804
0.01	57.56	5.143878
0.0105	50.37	4.279524
0.011	48.29	3.938825
0.0115	49.49	3.660503
0.012	47.47	3.345314
0.0125	44.56	3.016926
0.013	43.73	2.845153
0.0135	42.21	2.664773
0.014	41.32	2.510328
0.0145	41.25	2.327878
0.015	40.01	2.189929
0.016	39.1	2.066596
0.017	42.31	1.871296
0.02	43.57	1.631835

Tablo A.8: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA8-P) Rijitlik Tablosu

ÇERÇEVE RİJİTLİĞİ 3 NO'LU DENEY (I-FA30-WA8-P)		
1. ÇEVİRİM		
ÖTELENME ORANI	İTME kN	RİJİTLİK kN/mm
0	0	0
0.0005	63.38	93.61891
0.001	97.91	73.34082
0.0015	120.1	61.18186
0.002	137.3	52.58522
0.0025	151.2	45.88771
0.003	163.7	41.28625
0.0035	168.3	36.38132
0.004	173.1	32.6173
0.0045	167.9	28.13338
0.005	163.3	24.44245
0.0055	148.7	20.28096
0.006	141.9	17.75303
0.0065	143.7	15.36734
0.007	136	12.76995
0.008	131.2	11.04377
0.009	125.4	9.492808
0.01	117.3	8.034247
0.011	111.7	7.016332
0.012	106	6.155633
0.013	103.1	5.543011
0.014	101	5.085599
0.015	103.8	4.891612

Tablo A.9: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA10-P) Rijitlik Tablosu

ÇERÇEVE RİJİTLİĞİ 4 NO'LU DENEY (I-FA30-WA10-P)		
1. ÇEVİRİM		
ÖTELENME ORANI	İTME kN	RİJİTLİK kN/mm
0	0	0
0.0005	81.53	117.4784
0.001	103.7	93.59206
0.0015	119.7	65.58904
0.002	127.9	52.7858
0.0025	138.9	45.91736
0.003	145.5	40.82492
0.0035	155	36.12212
0.004	187.6	29.60859
0.0045	182.1	23.45743
0.005	166	18.24577
0.006	148.8	14.22562
0.007	126.5	10.82121
0.008	113.3	8.675345
0.009	101	7.009022
0.01	97.22	6.224072
0.011	92.06	5.460261
0.012	90.47	4.970879
0.013	84.03	4.263318
0.014	101.2	4.088889

Tablo A.10: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA12-P) Rijitlik Tablosı

ÇERÇEVE RİJİTLİĞİ 5 NO'LU DENEY (I-FA30-WA12-P)		
1. ÇEVİRİM		
ÖTELENME ORANI	İTME kN	RİJİTLİK kN/mm
0	0	0
0.0005	37.43	138.1181
0.001	80.22	84.44211
0.0015	100.1	56.01567
0.002	115.1	47.6802
0.0025	126.9	41.29515
0.003	137.7	37.18607
0.0035	144	33.38743
0.004	151.8	30.62954
0.0045	154.8	27.84674
0.005	155.5	25.35464
0.0055	152.1	22.2206
0.006	142.6	18.71391
0.0065	133.2	16.15917
0.007	140.4	13.79175
0.008	130.2	11.30208
0.009	131.8	10.25681
0.01	123.2	8.676056
0.011	102.9	6.591928
0.012	89.43	5.301126

Tablo A.11: Boş Çerçevenin (B), Çevrimler Arası Rijitlik Azalması oranı Tablosı

ÇEVİRİMLER ARASI RİJİTLİK AZALMASI ORANI 1 NO'LU DENEY (B)			
ÖTELENME ORANI	İTME 1.ÇEVİRİM kN/mm	İTME 2.ÇEVİRİM kN/mm	$\Delta S=(S1-S2)/S1$
0	0	0	0
0.0005	5.047826087	4.456428571	0.042302
0.001	4.851556843	3.875186846	0.081444
0.002	4.306818182	3.514257129	0.10022
0.003	3.785128078	3.139425783	0.071562
0.004	3.381470368	2.942767012	0.07158
0.005	3.167880996	2.722722723	0.071061
0.006	2.938125232	2.631805004	0.073313
0.007	2.751612903	2.507029053	0.043541
0.008	2.576525822	2.249584027	0.026973
0.009	2.469849246	2.084147258	0.089182
0.01	2.176783005	1.118614416	0.042556
0.02	1.345702385	0.68222666	0.168751
0.03	0.808483936	0.508513488	0.156165
0.04	0.537574405	0.327062011	0.054059
0.05	0.389064143	0.23125937	0.159362
0.06	0.28028028	0.131305559	0.1749
0.07	5.047826087	4.456428571	0.281836

Tablo A.12: Dolgu Duvarlı Çerçevenin (I), Çevrimler Arası Rijitlik Azalması oranı Tablosı

ÇEVİRİMLER ARASI RİJİTLİK AZALMASI ORANI 2 NO'LU DENEY (I)			
ÖTELENME ORANI	İTME 1.ÇEVİRİM kN/mm	İTME 2.ÇEVİRİM kN/mm	$\Delta S=(S1-S2)/S1$
0	0	0	0
0.0005	66.83566	61.50337838	0.079782045
0.0015	44.33867	41.19087838	0.07099425
0.002	35.19423	32.73720529	0.069813246
0.0025	29.30887	26.32775633	0.101713816
0.003	25.28366	23.69858279	0.0626919
0.0035	22.94817	21.36054422	0.069183245
0.004	20.94256	19.47649055	0.070004425
0.0045	19.36326	17.85046729	0.078127132
0.005	17.30827	16.23556145	0.061976684
0.0055	15.56238	14.30246389	0.080959246
0.006	14.12767	12.73923815	0.098277659
0.0065	12.26765	11.32035548	0.077218717
0.007	10.8729	10.54198076	0.030435437
0.0075	9.9311	9.165964617	0.077044483
0.008	8.82764	8.270507483	0.06311235
0.0085	7.95112	7.419728392	0.066831807
0.009	7.18371	6.657057654	0.073312544
0.0095	6.5278	5.884615385	0.09853062
0.01	5.14388	4.672306322	0.091676377
0.0105	4.27952	4.077768385	0.047144453
0.011	3.93883	3.774636511	0.041684746
0.0115	3.6605	3.555390335	0.02871535
0.012	3.34531	3.180154821	0.049370194
0.0125	3.01693	2.914460285	0.03396368
0.013	2.84515	2.70703125	0.0485463
0.0135	2.66477	2.573132454	0.034389527
0.014	2.51033	2.389359129	0.048188498
0.0145	2.32788	2.154115587	0.074644165
0.015	2.18993	2	0.086728318
0.016	2.0666	1.954521417	0.05423158
0.017	1.8713	1.724015922	0.078704798
0.02	1.63184	1.409602401	0.136185814

Tablo A.13: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA8-P)
Çevrimler Çevrimler Arası Rijitlik Azalması Oranı Tablosu

ÇEVİRİMLER ARASI RİJİTLİK AZALMASI ORANI 3 NO'LU DENEY (I-FA30 Φ8-WA8-P)			
ÖTELENME ORANI	İTME 1.ÇEVİRİM kN/mm	İTME 2.ÇEVİRİM kN/mm	$\Delta S=(S1-S2)/S1$
0	0	0	0
0.0005	98.81987578	91.84210526	0.070611003
0.0015	74.68296409	67.51295337	0.096005974
0.002	60.17034068	54.43668993	0.095290316
0.0025	52.17227049	46.69619786	0.104961363
0.003	45.63575959	41.62679426	0.087847017
0.0035	40.81632653	36.25963691	0.111638896
0.004	36.74135306	33.09044149	0.099367913
0.0045	32.57035647	29.44579213	0.095932765
0.005	28.02537139	25.5124146	0.089667208
0.0055	24.44244874	20.73389021	0.151726145
0.006	20.14417845	17.5328304	0.129632889
0.0065	17.7530339	15.72626048	0.114164905
0.007	15.50187869	13.40294973	0.135398361
0.008	12.76995305	11.20187793	0.122794118
0.009	11.04377104	9.390651085	0.149687996
0.01	9.492808478	8.130630631	0.143495768
0.011	8.034246575	7.070499658	0.119954859
0.012	7.016331658	6.112225705	0.128857357
0.013	6.155632985	5.132446501	0.16621954
0.014	5.543010753	4.344605475	0.216201146
0.015	5.085599194	4.547965846	0.105716815

Tablo A.14: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA810-P)
Çevrimler Çevrimler Arası Rijitlik Azalması Oranı Tablosı

ÇEVİRİMLER ARASI RİJİTLİK AZALMASI ORANI 4 NO'LU DENEY (I-FA30 Φ8-WA10-P)			
ÖTELENME ORANI	İTME 1.ÇEVİRİM kN/mm	İTME 2.ÇEVİRİM kN/mm	$\Delta S=(S1-S2)/S1$
0	0	0	0
0.0005	117.4784	115.8936	0.01349
0.001	93.59206	76.94215	0.177899
0.0015	65.58904	57.63172	0.121321
0.002	52.7858	47.24827	0.104906
0.0025	45.91736	40.35817	0.121069
0.003	40.82492	36.28319	0.111249
0.0035	36.12212	32.75666	0.093169
0.004	29.60859	25.59626	0.135512
0.0045	23.45743	19.20538	0.181266
0.005	18.24577	15.69248	0.139939
0.006	14.22562	11.50568	0.1912
0.007	10.82121	9.086294	0.160326
0.008	8.675345	7.256839	0.16351
0.009	7.009022	6.264111	0.106279
0.01	6.224072	5.356182	0.139441
0.011	5.460261	4.826627	0.116045
0.012	4.970879	4.317686	0.131404
0.013	4.263318	3.758376	0.118439

Tablo A.15: Dolgu Duvarlı Güçlendirilmiş Çerçevenin (I-FA30-WA12-P)
Çevrimler Çevrimler Arası Rijitlik Azalması Oranı Tablosu

ÇEVİRİMLER ARASI RİJİTLİK AZALMASI ORANI 5 NO'LU DENEY (I-FA30 Φ8-WA12-P)			
ÖTELENME ORANI	İTME 1.ÇEVİRİM kN/mm	İTME 2.ÇEVİRİM kN/mm	$\Delta S=(S1-S2)/S1$
0	0	0	0
0.0005	138.1181	123.1343	0.108485
0.001	84.44211	60.82742	0.279655
0.0015	56.01567	48.96588	0.125854
0.002	47.6802	42.20624	0.114806
0.0025	41.29515	37.64479	0.088397
0.003	37.18607	33.77837	0.091639
0.0035	33.38743	30.63703	0.082378
0.004	30.62954	27.68125	0.096257
0.0045	27.84674	25.56525	0.08193
0.005	25.35464	22.63942	0.10709
0.0055	22.2206	19.43087	0.125547
0.006	18.71391	17.12293	0.085016
0.0065	16.15917	14.61231	0.095726
0.007	13.79175	11.55945	0.161857
0.008	11.30208	10.20725	0.09687
0.009	10.25681	8.955108	0.126911
0.01	8.676056	7.146853	0.176256
0.011	6.591928	5.476647	0.169189
0.012	5.301126	4.557715	0.140236

S1=i. inci ötelenme oranının daki 1.çevrim rijitliği
S2=i. inci ötelenme oranının daki 2.çevrim rijitliği

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Basheer ABED

Uyruğu: Irak

Doğum Tarihi ve Yeri: 13 Mayıs 1971, Bağdat

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 536 394 48 03

email: basheerneamah@yahoo.com

Yazışma Adresi: Yeni doğan Mah. Atılğan Sok. Deniz Apt.5 D.No:10 Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Tecknology Üniversitesi	1995
Lise	Selaheddin	1989

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2007 - Halen	Irak Eğitim Bakanlığı	Mühendis
1996 - 2006	Taahhüt Şirketi - Libya	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce