

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLGU DUVARLARIN HASIR DONATI EKLENEREK ÖZEL SIVA İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

Fatih KAYA

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hamide TEKELİ**

**II. Danışman
Prof. Dr. Özgür ANIL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Fatih KAYA]

TEZ ONAYI

Fatih KAYA tarafından hazırlanan "**Dolgu Duvarların Hasır Donatı Eklenerek Özel Sıva İle Güçlendirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Hamide TEKELİ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa SIVRI
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ULUTAŞ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr.Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Fatih KAYA



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MALZEME ÖN DENEYLERİNİN YAPILMASI	7
3.1. Agregası Karışım Oranlarının Belirlenmesi	7
3.2. Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi	9
3.3. Dolgu Duvara Ait Harç, Sıva ve Güçlendirme Sıvası Karışım Oranlarının Belirlenmesi	10
3.4. Donatı Çeliği Özelliklerinin Belirlenmesi	10
4. DENEY HAZIRLIKLARI.....	12
4.1. Betonarme Çerçeve Numunelerinin Hazırlanması.....	13
4.2. Betonarme Çerçeve Numunelerinin Güçlendirilmesi.....	19
4.3. Yükleme Düzeneklerinin Hazırlanması	37
5. DENEYLERDEKİ HASAR GÖZLEMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	42
5.1. BÇN-1 Numunesi.....	43
5.2. BÇN-2 Numunesi.....	47
5.3. BÇN-3 Numunesi.....	50
5.4. BÇN-4 Numunesi.....	55
5.5. BÇN-5 Numunesi.....	59
5.6. BÇN-6 Numunesi.....	63
5.7. BÇN-7 Numunesi.....	67
5.8. BÇN-8 Numunesi.....	72
5.9. BÇN-9 Numunesi.....	76
5.10. BÇN-10 Numunesi	80
5.11. BÇN-11 Numunesi	86
6. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KIYASLANMASI.....	93
6.1. Kolona -Kiriş Uygulanan Ankraj Aralığı Farklılığının Davranışa Etkisi.....	95
6.2. Dolgu Duvar Üzerindeki Ankraj Yerleşim Farklılığının Etkisi	97
6.3. Kolon ve Kiriş Elemanlara Uygulanan Ankraj Boyu Farklılığının Etkisi.....	99
6.4. Hasır Donatıda Benzeştirilmiş Öngerme Uygulamasının Etkisi	100
6.5. Dıştan Güçlendirmenin Etkisi	102
7. SONUÇLAR.....	105
KAYNAKLAR	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOLGU DUVARLARIN HASIR DONATI EKLENEREK ÖZEL SIVA İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Fatih KAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hamide TEKELİ

II. Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek özel harç (sıva), lif takviyeli polimerler ve prefabrike beton paneller ile güçlendirilmesine izin vermektedir. Çalışma dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek özel harç ile güçlendirilmesi yöntemini kapsamaktadır. Bu yöntemin seçilmesinin en önemli nedenlerinden birisi, hasır donatı üzerine kalıp hazırlığı yapılmasına gerek duymadan daha az işçilik ile güçlendirmenin yapılabilmesidir. Bu çalışmada, farklı ankraj detayları ve yüzeyleri için yapılan güçlendirmenin sistem davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 11 adet 1/3 ölçekli tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve üretilmiştir. Betonarme çerçeveler, mevcut betonarme binalardaki yetersizlikleri yansıtacak şekilde; düşük beton dayanımı, yetersiz etriye ve kolona göre güçlü kiriş tasarımına uygun olarak üretilmiştir. Dolgu duvarın güçlendirmesi, iç yüzde ve dış yüzde olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. Çalışmada, farklı ankraj detayları uygulanarak güçlendirilmiş dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin incelenmesi öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ankraj, betonarme çerçeve, dolgu duvar, hasır donatı, güçlendirme.

2018, 112 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

STRENGTHENING OF INFILL WALLS BY USING MESH REINFORCEMENT AND SPECIAL MORTAR LAYER

Fatih KAYA

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hamide TEKELİ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Özgür ANIL

Turkish Earthquake Resistant Design Code 2007 (TERDC 2007) allows to use strengthening techniques of infill walls by using mesh reinforcement and mortar layer, fiber reinforced polymers and precast panels. Within the scope of this thesis, it is planned to strengthen of RC frame buildings strengthening the infill walls by using mesh reinforcement and special mortar layer. One of the most important reason of the chosen strengthening technique is that there is no need formwork and requires less labor. This study deals with the effects of RC frame behavior on the strengthened facade walls having different anchor detailing and applicability of that strengthening technique. Total number of 11 RC frame samples were prepared scale of 1/3 having one bay and one story. The RC frames were produced having low concrete strength, less transverse reinforcement (stirrup) and satisfying strong beam-weak column condition to represent the structural system properties of the existing RC buildings. The strengthening of infill walls were planned variably; inside and outside of the masonry walls of the RC frames. It was anticipated to see the effects on the behavior of RC frames having strengthened infill walls with different anchor detailing and different side.

Keywords: Anchor, reinforced concrete frame, infill wall, mesh reinforcement, strengthening.

2018, 112 pages

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında yürütülmüştür.

Numunelerin üretilmesi ve/veya deneylerin yapılması sırasında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Hüseyin Tanrıseven, Arif Çelik, Burak Özdamar, Aytaç Aktaş, Umut Akbulut, Fatih Sabri Ercan, Celal Güçlü, Furkan Acar, Enes Demirel, Sıla Yaman, Mustafa Üreyen, Veysel Sasa' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her türlü desteği sağlayan danışman hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Hamide TEKELİ'ye ve Prof. Dr. Özgür ANIL'a, malzeme deneylerinin yapılmasında bizlere büyük kolaylık sağlayan Yapı Malzemesi Laboratuvar Sorumlusu Doç. Dr. Kemal T. YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney malzemelerinin temin edilmesinde problem yaşadığımız her anda maddi olarak destek sağlayan Keleşoğlu İnşaat A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı İnş. Müh. Şinasi Keleş'e ve çimento desteği sağlayan Göltaş Göller Bölgesi Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatih KAYA
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Agreg a granölometri eğrisi.....	9
Şekil 3.2. Hazırlanan karışımlardan alınan küp numuneler	9
Şekil 3.3. Donatı çeliğine ait çekme deneyi.....	11
Şekil 4.1. Deney numunesi detayları	14
Şekil 4.2. Eleman donatılarının hazırlanması	14
Şekil 4.3. Temelin beton dökümüne hazırlanması.....	15
Şekil 4.4. Temel betonunun dökülmesi	15
Şekil 4.5. Üst yapı kalıplarının hazırlanması.....	16
Şekil 4.6. Üretilen betonarme çerçeve numunelerine ait bir görünüm	17
Şekil 4.7. Duvar örümünde kullanılacak tuğlanın ölçeklendirilmesi.....	17
Şekil 4.8. Tuğla duvar örülmesi.....	18
Şekil 4.9. Dolgu duvarların örülmesi.....	18
Şekil 4.10. Tuğla duvar üzerine sıva uygulamasının yapılması	18
Şekil 4.11. BÇN-3'e ait güçlendirme detayları	23
Şekil 4.12. BÇN-4'e ait güçlendirme detayları	24
Şekil 4.13. BÇN-5'e ait güçlendirme detayları	25
Şekil 4.14. BÇN-6'ya ait güçlendirme detayları.....	26
Şekil 4.15. BÇN-7'ye ait güçlendirme detayları.....	27
Şekil 4.16. BÇN-8'e ait güçlendirme detayları	28
Şekil 4.17. BÇN-9'a ait güçlendirme detayları	29
Şekil 4.18. BÇN-10'a ait güçlendirme detayları	30
Şekil 4.19. BÇN-11'e ait güçlendirme detayları	31
Şekil 4.20. Güçlendirme işleminin uygulanması aşamaları.....	32
Şekil 4.21. Dolgu duvar üzerinde ankraj deliklerinin belirlenmesi	32
Şekil 4.22. BÇN-3'e ait ankraj görünüm leri	33
Şekil 4.23. BÇN-4'e ait ankraj görünüm leri	33
Şekil 4.24. BÇN-5'e ait ankraj görünüm leri	34
Şekil 4.25. BÇN-6'ya ait ankraj görünüm leri.....	34
Şekil 4.26. BÇN-7'ye ait ankraj görünüm leri.....	34
Şekil 4.27. BÇN-8'e ait ankraj görünüm leri	35
Şekil 4.28. BÇN-9'a ait ankraj görünüm leri	35
Şekil 4.29. BÇN-10'a ait ankraj görünümü.....	35
Şekil 4.30. BÇN-11'e ait ankraj görünüm leri.....	36
Şekil 4.31. Deneye hazır numunelerin görünümü	36
Şekil 4.32. Kiriş eleman üzerine yerleştirilen kayar mesnet	38
Şekil 4.33. Oluşturulan ölçüm düzeneği.....	39
Şekil 4.34. Yerdeğiştirme ölçerlerin konumları.....	40
Şekil 4.35. Yükleme düzeneğine ait bir görünüm.....	41
Şekil 4.36. Ölçüm düzeneğine ait bir görünüm	41
Şekil 5.1. Veri toplama sistemi.....	42
Şekil 5.2. Numunelerin deney öncesi görünümü.....	43
Şekil 5.3. Kolon alt ucu hasarı (Numune 1)	44
Şekil 5.4. BÇN-1 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünüm leri	45
Şekil 5.5. BÇN-1 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünüm leri	46

Şekil 5.6. BÇN-1'e ait yükleme protokolü	47
Şekil 5.7. BÇN-1 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	47
Şekil 5.8. BÇN-2 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	48
Şekil 5.9. BÇN-2 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	49
Şekil 5.10. BÇN-2'ye ait yükleme protokolü	50
Şekil 5.11. BÇN-2 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	50
Şekil 5.12. Güçlendirilmiş duvar yüzünde ortaya çıkan ilk çatlak (BÇN-3)	51
Şekil 5.13. BÇN-3'e ait duvar hasarlarının kıyaslanması	52
Şekil 5.14. BÇN-3 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	53
Şekil 5.15. BÇN-3 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	54
Şekil 5.16. BÇN-3'e ait yükleme protokolü	55
Şekil 5.17. BÇN-3 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	55
Şekil 5.18. Kolon elemanda meydana gelen ilk hasar (BÇN-4)	56
Şekil 5.19. Numune 4'e ait duvar hasarlarının kıyaslanması	56
Şekil 5.20. BÇN-4 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	57
Şekil 5.21. BÇN-4 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	58
Şekil 5.22. BÇN-4'e ait yükleme protokolü	59
Şekil 5.23. BÇN-4 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	59
Şekil 5.24. Kolon alt ucunda etriye açılması (BÇN-5)	60
Şekil 5.25. BÇN-5 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	61
Şekil 5.26. BÇN-5 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	62
Şekil 5.27. BÇN-5'e ait yükleme protokolü	63
Şekil 5.28. BÇN-5 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	63
Şekil 5.29. Duvar köşesinde çatlama (BÇN-6)	64
Şekil 5.30. BÇN-6 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	65
Şekil 5.31. BÇN-6 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	66
Şekil 5.32. Numune 6'ya ait yükleme protokolü	67
Şekil 5.33. BÇN-6 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	67
Şekil 5.34. Dolgu duvarda meydana gelen yatay çatlama (BÇN-7)	68
Şekil 5.35. Dolgu duvar ve kolon hasarı (BÇN-7)	68
Şekil 5.36. Dolgu duvarda meydana gelen hasar (BÇN-7)	69
Şekil 5.37. BÇN-7 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	70
Şekil 5.38. BÇN-7'ye ait yükleme protokolü	72
Şekil 5.39. BÇN-7 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	72
Şekil 5.40. BÇN-8 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	74
Şekil 5.41. BÇN-8 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	75

Şekil 5.42. BÇN-8'e ait yükleme protokolü	76
Şekil 5.43. BÇN-8 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi.....	76
Şekil 5.44. BÇN-9 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	78
Şekil 5.45. BÇN-9 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	79
Şekil 5.46. BÇN-9'a ait yükleme protokolü	80
Şekil 5.47. BÇN-9 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi.....	80
Şekil 5.48. Güçlendirme sıvası ile kolon ayrılması (BÇN-10)	81
Şekil 5.49. Güçlendirme sıvasının köşe hasarı (BÇN-10)	81
Şekil 5.50. Dolgu duvar köşesinde ezilme ve çerçeve ile ayrılması (BÇN-10) ...	82
Şekil 5.51. Güçlendirilen duvar yüzünde kolon ve kirişe paralel çatlama (BÇN10)	82
Şekil 5.52. Kolon alt ucunda boyuna donatıda burkulma (BÇN-10)	83
Şekil 5.53. Temel ankrajlarında eğilme (BÇN-10)	83
Şekil 5.54. BÇN-10 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	84
Şekil 5.55. BÇN-10 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	85
Şekil 5.56. BÇN-10'a ait yükleme protokolü.....	86
Şekil 5.57. BÇN-10 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	86
Şekil 5.58. Güçlendirme sıvası ile kolon ayrışma çatlağı (BÇN-11)	87
Şekil 5.59. Güçlendirilen dolgu duvar yüzündeki hasar oluşumu (BÇN-11)	88
Şekil 5.60. Elemanlarda meydana gelen kesme hasarı (BÇN-11)	88
Şekil 5.61. Güçlendirme sıvası ile temel ayrılma çatlağı (BÇN-11)	89
Şekil 5.62. Kolon boyunca meydana gelen çatlama (BÇN-11)	89
Şekil 5.63. BÇN-11 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	90
Şekil 5.64. BÇN-11 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri	91
Şekil 5.65. BÇN-11'e ait yükleme protokolü.....	92
Şekil 5.66. BÇN-11 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi	92
Şekil 6.1. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının zarf eğrisi üzerindeki etkisi.....	95
Şekil 6.2. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi	96
Şekil 6.3. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi	96
Şekil 6.4. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi	97
Şekil 6.5. Dolgu duvardaki ankraj yerleşimi farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi.....	98
Şekil 6.6. Dolgu duvardaki ankraj yerleşimi farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi	98
Şekil 6.7. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının zarf eğrisi üzerindeki etkisi	99
Şekil 6.8. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi	100

Şekil 6.9. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi	100
Şekil 6.10. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin zarf eğrisi üzerindeki etkisi	101
Şekil 6.11. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin numune rijitliği üzerindeki etkisi	102
Şekil 6.12. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi.....	102
Şekil 6.13. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin zarf eğrisi üzerindeki etkisi	103
Şekil 6.14. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin numune rijitliği üzerindeki etkisi	104
Şekil 6.15. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi.....	104



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Agregaların birim hacim ağırlıkları	7
Çizelge 3.2. Kırma taş için elde edilen elek analizi sonuçları.....	8
Çizelge 3.3. Kum için elde edilen elek analizi sonuçları.....	8
Çizelge 3.4. Beton karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanımı değeri	10
Çizelge 3.5. Sıva ve harç karışımına ait ağırlık yüzdeleri	10
Çizelge 3.6. Donatı çeliğine ait mekanik özellikler	11
Çizelge 4.1. Üretilen numune sayıları	12
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının özellikleri	13
Çizelge 4.3. Beton dökümü sırasında alınan numunelerin 28 günlük beton basınç dayanımları.....	16
Çizelge 4.4. Sıva yapımı sırasında alınan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	19
Çizelge 4.5. DBYBHY 2007’de verilen minimum değerler	20
Çizelge 4.6. Numunelerin güçlendirme görünüşleri	20
Çizelge 4.7. Numunelerde uygulanan ankraj detayları	22
Çizelge 4.8. Güçlendirme sıvasına ait 28 günlük basınç dayanımları.....	37
Çizelge 4.9. Veri toplama sistemindeki kanal bilgileri	40
Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının özetlenmesi.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BÇN	Betonarme Çerçeve Numunesi
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
f_c	Betonun 28 günlük basınç dayanımı
f_{gs}	Güçlendirme sıvasının 28 günlük basınç dayanımı
f_s	Sıvanın 28 günlük basınç dayanımı
f_y	Donatının akma dayanımı
f_{su}	Donatının çekme dayanımı
f_u	Donatının kopma dayanımı
l	Ankraj çubuklarının derinliği
LVDT	Lineer Voltaj Diferansiyel Transformator
s	Ankraj çubuklarının aralığı
W/C	Su/çimento oranı
ϕ	Donatı çapı

1. GİRİŞ

Yurdumuz, deprem riski açısından dünyanın en önde gelen ülkelerinden biridir. Ülkemizin yüz ölçümünün yaklaşık % 42'si birinci derece deprem bölgesi üzerindedir. Depreme dayanıklı yapı oluşturmayı amaçlayan deprem yönetmeliklerindeki şartların tam ve doğru olarak yerine getirilebilmesi için proje ve yapım aşamasında verilecek bir mühendislik hizmetinin yararı gayet açıktır. Ancak, yurdumuzun önemli bir deprem kuşağında olmasının yanı sıra yapım kalitesinde ve kontrol mekanizmasında eksikliklerinin olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla meydana gelebilecek depremlerde çok sayıda can kaybına ve büyük ekonomik kayıplara sebep olabilecek bir durumun ortaya çıkma ihtimali oldukça yüksektir. Son yıllarda meydana gelen Erzincan (1992), Dinar (1995), Adana-Ceyhan (1998), Kocaeli (1999), Bolu-Düzce (Kasım 1999), Afyon-Çay (2002) ve Van (2011) depremleri bu konuyu doğrular niteliktedir. Depremlerin oluşturacağı hasarları azaltmanın en etkin yolu ise depreme dayanıklı yapıların inşa edilmesidir. Ancak bu durum, yeni yapılacak olan binalar için bir tedbir olabilirse de daha önce yapılmış mevcut binalar için deprem güvenliklerinin kontrol edilmesi ve gerekli görülenlerin bir an önce güçlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Demir vd., 2013).

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyük hasarlara neden olmasının en önemli nedeni, hangi yılda yapılmış olursa olsun binaların yeterli mühendislik hizmeti almamış olmalarıdır. Mevcut binalarımızın büyük çoğunluğu yeterli deprem performansına sahip değildir. Bu nedenle meydana gelmesi muhtemel bir depremde ortaya çıkabilecek deprem zararlarının en aza indirilebilmesi için, öncelikle depreme güvenli olmayan binaların belirlenmesi gerekir. Belirlenen bu binaların, güçlendirilmesi veya güçlendirmenin ekonomik olmaması durumunda yıkılması, en etkili zarar azaltma önlemdir.

Literatürde ve uygulamada farklı güçlendirme yöntemleri mevcuttur. Güçlendirme yönteminin seçimine, tekniğin yapı performansına katkısı, ekonomik uygunluğu ve uygulanabilirliği gibi parametreler değerlendirilerek karar verilir. Farklı güçlendirme yöntemlerinin etkinliği üzerine pek çok ülkede

olduğu gibi ülkemizde de deneysel ve analitik çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalara bağlı olarak daha önce önerilen ve kullanılan güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ve yeni yöntemlerin oluşturulması yönünde önemli mesafeler kaydedilmiştir. Bu kapsamdaki çalışmaların bir kısmını betonarme çerçevelerin sistem boyutunda güçlendirilmesi oluşturmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların bazılarında, elik çapraz ( zelik vd., 2011; Kamanlı vd., 2011),  n retimli şerit beton paneller (Arslan, 2009), boşluksuz veya boşluklu betonarme perde (Anıl ve Altın, 2007; Bahadır, 2012; Balık, 2012) ve dış perde (Yılmaz vd., 2010; Özdöner, 2011;  nal vd., 2013) ilavesi ile güçlendirmenin etkinliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalarda önerilen yöntemlerin güçlendirmedeki etkinliği her ne kadar kanıtlanmış olsa da, işçiliğin zor ve taşıyıcı olan/olmayan elemanlara hasar verici olması, kolay uygulanabilir olmaması, güçlendirme sırasında yapının kullanımını aksatması önemli birer dezavantaj olarak görülebilir. Bu nedenle özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda, güçlendirme yöntemlerine bir alternatif olarak betonarme çerçevelerdeki dolgu duvarların güçlendirilmesi; işçiliğin kolay, yöntemin daha az tahripkar ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı oldukça tercih edilen bir konu olmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dolgu duvarlar betonarme yapı sistemlerinde genellikle yapıyı bölümlere ayırmak için kullanılsa da yapının yanal yük dayanımını, rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini bir miktar artırdığı bilinmektedir (Altın vd., 1992; İrtəm vd., 2005; Kaltakçı ve Arslan, 2005; Karşlıoğlu, 2005; Özdoğu, 2006; Sivri vd., 2006; Peynirci, 2007; Kamanlı vd., 2011; Mulgund vd., 2011). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007), mevcut dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek özel sıva, lifli polimerler ve prefabrike beton paneller ile güçlendirilmesine izin vermektedir. Literatürde, cam lif takviyeli çimento esaslı kompozit (CMG) (Ökten, 2013; Özkan, 2012), karbon lif takviyeli polimerler (FRP) (Binici vd., 2007; Yüksel ve Yalçın, 2008; Baştemir, 2009; Akın, 2011; Zhu vd., 2011), çelik lif katkılı sıva (Sevil vd., 2011), önüretimli beton paneller (Baran vd., 2010; Sezer ve Akın, 2011) ve çelik hasır donatılı sıva uygulaması (Acun ve Sucuoğlu, 2005; Özdemir, 2008; Özdemir ve Eren, 2009; Kılıç, 2012; Tekeli vd., 2014) ile güçlendirilmesi üzerine yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Tez çalışması kapsamında "Dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek özel sıva ile güçlendirilmesi" yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin amacı hasır donatı üzerine püskürtme beton ve kalıp hazırlığı yapılmasına gerek duymadan çok daha az bir işçilik ile güçlendirme işleminin yapılabilmesidir.

Literatürde dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek sıva ile güçlendirilmesi konusunda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle sıva tabakasının kalınlığı (Kılıç, 2012; Özdemir, 2008), sıva dayanımı (Acun ve Sucuoğlu, 2005; Özdemir, 2008), ankraj aralığı (Özdemir, 2008; Tekeli vd., 2014), hasır donatı oranı (Acun ve Sucuoğlu, 2005) değişiminin davranışa etkisi incelenmiştir.

Acun ve Sucuoğlu (2005) yaptıkları çalışmada; 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı betonarme çerçeve elemanlarında tuğla dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması ile güçlendirme deneyleri gerçekleştirmiştir. Kullanılan hasır donatı oranı ile yüzeye uygulanan sıva dayanımı parametreleri değiştirilerek yürütülen

deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek; önerilen tekniğin performansa katkısı araştırılmıştır. Numunelerden birincisi düşük dayanımlı sıva ve tek sıra hasır donatıyla, ikincisi ilk elemandan daha güçlü sıva ve tek sıra hasır donatıyla, üçüncü ise ikinci numune ile aynı sıva dayanımı ve çift sıra hasır donatıyla güçlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, sıva dayanımı ve donatı oranı parametrelerinin artımına bağlı olarak test edilen elemanların rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerinde belirgin iyileşmeler gözlenmiştir.

Kılıç (2012) tarafından yapılan çalışmada, uygulamada görülen tasarım ve imalat kusurlarına sahip, malzeme dayanımları yetersiz olan 1/2 ölçekli iki katlı ve tek açıklıklı beş adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen numunelerden bir tanesi boş çerçeve, bir tanesi tam dolu dolgu duvarlı çerçeve olmak üzere referans numuneler olarak hazırlanmıştır. Diğer üç numune ise farklı hasır çelik ve sıva uygulamaları ile güçlendirilmiştir. Numunelerden ilki tek sıra hasır donatı ve 15 mm kalınlığında özel sıva ile güçlendirilmiştir. Bu numunenin deneyinde maksimum yatay yük seviyesine ulaşıldığında, orta kat kirişi ve duvar paneli arasında teşkil edilen kayma kamaları arasında aderans kaybolmuş ve ani bir göçme meydana gelmiştir. Bu göçme durumundan sonra panellerin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı tamamen sona ermiş ve çerçeve davranışı boş çerçevenin davranış seviyesine düşmüştür. Güçlendirilen ikinci numunede tek sıra hasır donatı ve 30 mm kalınlığında sıva uygulaması yapılmıştır. Deney esnasında yükleme çevrimleri artıkça giriş ve duvarlarda çatlak oluşumu pek gözlenmemiş, kolon alt ucundaki ayrılma çatlakları genişlemiş ve boyuna donatıların sıyrıldığı net olarak gözlenmiştir. Bu deney numunesinde gözlenen sıyrılma problemine çözüm bulmak amacıyla kolon alt ucundan temele çelik levha ve epoksi ankrajlarıyla bağlanması sağlanmıştır. Üçüncü numunede güçlendirme detayları diğer numune ile aynı alınmıştır. Elde edilen bulgulardan hasır çelik ve sıva ile güçlendirme uygulamasının çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliğini arttırdığı gözlenmiş olsa da bu güçlendirme metodunun tek başına uygulanması ile şartnamelerin belirtmiş olduğu performans değerlerine ulaşamadığı tespit edilmiştir. Mevcut çerçevenin yetersiz bindirme boyu ve yetersiz donatı detayına sahip kolon-kiriş birleşimleri nedeniyle hedeflenen performansa ulaşamadığı görülmüştür.

Özdemir (2008) tarafından yapılan çalışma; kusurlu (beton basınç dayanımı düşük, güçlü kiriş ve zayıf kolondan oluşan) olarak üretildikleri varsayılan tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel araştırmayı içermektedir. Bu çalışmada on adet tek katlı tek açıklıklı $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme çerçeve üretilmiştir. Dolgu duvar üzerine farklı uygulama detayları ile güçlendirilen numuneler deneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla hazırlanan on adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bölme duvarının, çerçeveye yapılan ankraj aralığının, duvar düzlemine dik ankraj sayısının, sıva kalınlığının ve sıva kalitesinin güçlendirilmiş bölme duvarlı çerçeve davranışına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan çerçeve ankraj aralıklarının değişmesinin ve duvar düzlemine dik ankraj miktarı değişiminin, numunenin yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesinde ciddi bir farklılık ortaya çıkarmadığı görülmüştür. Benzer şekilde güçlendirme sıvasının dayanım ve kalınlığının artırılmasının, rijitlik ve taşınan maksimum yükü fazla değiştirmedeği gözlenmiştir.

Özdemir ve Eren (2009) yaptıkları çalışmada kusurlu olarak üretilen betonarme çerçeveleri, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirmişlerdir. Bu çalışmada 3 adet tek katlı tek açıklıklı $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme çerçeveler üretilmiştir. Numunelerden biri boş olarak deneye tabi tutulmuştur. İkinci numuneye duvar örülerek deneye tabi tutulmuş ve bölme duvar etkisi araştırılmıştır. Diğer numune ise dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması 2007 DBYBHY’de verilen parametreler esas alınarak güçlendirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan üç adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Bu imalatlarda tam ankastreliği sağlamak için bir rijit temel ve bu temel üzerine, tek katlı, tek açıklıklı, beton basınç dayanımı düşük, güçlü kiriş ve zayıf kolondan oluşan çerçeveler imal edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına etkisi araştırılmış ve test edilen elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerindeki değişim incelenmiştir.

Tekeli vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada dört adet aynı yapısal özelliklere sahip betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu numunelerden bir tanesi yalın halde bırakılırken, diğer üçünün açıklığı tam dolu olarak tuğla dolgu duvar ile örülmüştür. Tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerden iki tanesi, duvar yüzeyine tek taraflı olarak uygulanan hasır donatı ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen iki numunede ankraj aralığı ve işçiliği değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yapılan güçlendirmenin elemanın yük taşıma kapasitesi yanında enerji tüketme kapasitesini de artırdığı görülmüştür. Ankraj işçiliği kötü olan numunede güçlendirme yüzeyinin duvardan ayrıldığı görülmüştür. Güçlendirmenin tek taraflı yapılması nedeniyle güçlendirme uygulanmayan yüzeyde hasar X şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu nedenle güçlendirmenin, duvarın tek tarafından ziyade her iki yüzünde de uygulanmasının yöntem etkinliğini artıracığı vurgulanmıştır.

Yapılan tez çalışmasında, kusurlu olarak üretilen tek katlı, tek açıklıklı ve 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerin mevcut dolgu duvarları hasır çelik donatı eklenerek özel sıva ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme uygulamasında kolon, kiriş, dolgu duvar üzerine uygulanan ankraj boyu, aralığı ve dağılımının değişiminin davranış üzerindeki etkinliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunun yanında dolgu duvarların hasır çelik donatı eklenerek özel sıva ile güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların tamamı *dolgu duvarın kolon ve kiriş ile aynı düzlemde olmadığı ve dış mevcut olan uygulamalar* için gerçekleştirilmiştir. Bu durum ise bina içinde ancak bazı durumlarda uygulamanın yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Oysa güçlendirmenin bina dış cephesinden uygulanabilmesi bina kullanımını aksatmaması açısından, büyük üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada, güçlendirmenin bina dış cephesinde uygulanabilirliğinin ve etkinliğinin de incelenmesi amaçlanmıştır.

3. MALZEME ÖN DENEYLERİNİN YAPILMASI

Yapılan deneysel çalışmanın ilk aşamasında, betonarme çerçevenin hazırlanmasında kullanılacak agrega granülometrisinin, beton karışım oranlarının, dolgu duvar örülmesinde ve güçlendirilmesinde kullanılacak harç ve sıva karışım oranlarının, donatı gerilmelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bu bölümü İnşaat Mühendisliği öğrencilerinden Hüseyin Tanrıseven ve Arif Çelik tarafından yürütülen Tübitak 2209 projesi ile ortak olarak çalışılmış ve hazırlanmıştır (Çelik ve Tanrıseven, 2016).

3.1. Agrega Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Betonarme çerçevenin beton karışımlarının hazırlanmasında ince agrega olarak 0-3 mm kum, iri agrega olarak ise 7-13 mm kırma taş kullanılmıştır. Agregaların birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi için piknometre deneyi yapılmış ve Çizelge 3.1’ de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregaların birim hacim ağırlıkları

	İri agrega	İnce agrega
Kuru agrega ağırlığı (W_1) gr	198.3	153.92
Su+piknometre ağırlığı (W_2) gr	1607.63	1607.63
Su+piknometre+agrega ağırlığı (W_3) gr	1732.66	1704.26
$W_1+W_2-W_3$	73.60	57.29
Birim hacim ağırlığı= $W_1/(W_1+W_2-W_3)$	2.70	2.69

Agreganın en uygun granülometri dağılımının belirlenebilmesi için, kum ve kırma taş malzemenin her birinden 3 kg. toplam malzeme alınarak elek analizi standartlara uygun olarak yapılmıştır. Her malzeme grubu için elek üzerinde kalan miktar hassas terazi ile tartılmış ve elekten kümülatif geçen yüzde değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler kırma taş için Çizelge 3.2’de, kum için Çizelge 3.3’te verilmiştir.

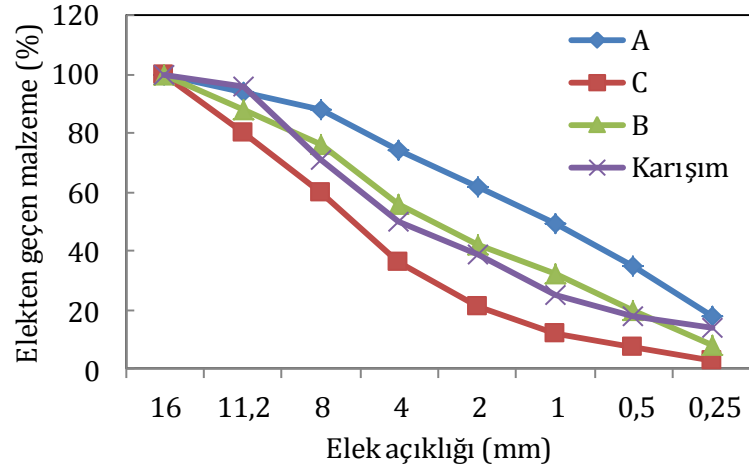
Çizelge 3.2. Kırma taş için elde edilen elek analizi sonuçları

Elek çapı	Elek üstünde kalan		Kümülatif kalan		Kümülatif geçen
	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)
16	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
11.2	202.25	6.74	202.25	6.74	93.26
8	1697.10	56.57	1899.35	63.31	36.69
4	1070.58	35.69	2969.93	99.00	1.00
2	7.60	0.25	2977.53	99.25	0.75
1	1.13	0.04	2978.66	99.29	0.71
0.5	0.70	0.02	2979.36	99.31	0.69
0.25	0.63	0.02	2979.99	99.33	0.67
Geçen	11.28	0.38	2991.27	99.71	0.29

Çizelge 3.3. Kum için elde edilen elek analizi sonuçları

Elek çapı	Elek üstünde kalan		Kümülatif kalan		Kümülatif geçen
	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(%)
16	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
11.2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	48.10	1.60	48.10	1.60	98.40
2	610.72	20.36	658.82	21.96	78.04
1	854.52	28.48	1513.34	50.44	49.56
0.5	417.12	13.90	1930.46	64.35	35.65
0.25	250.19	8.34	2180.65	72.69	27.31
Geçen	791.51	26.38	2972.16	99.07	0.93

Standartlarda tanımlanan ideal granülometri eğrisine (maksimum dane çapı 16 mm) en yakın karışım oranları %50 kum ve %50 kırma taş kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.1). Çalışma kapsamında bu karışım oranları kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Agrega granülometri eğrisi

3.2. Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Betonarme çerçevelerin üretilmesinde kullanılacak agrega karışım oranlarının belirlenmesinin ardından beton üretimi için farklı su/çimento oranlarına sahip karışımlar hazırlanmıştır. Her bir karışımdan 150×150×150 mm boyutlarında 6 adet küp numune alınmıştır (Şekil 3.2). Betonarme çerçevelerin hazırlanmasında kullanılan karışım oranı ve alınan küp numunelerin 28 günlük kür işlemi sonunda belirlenen ortalama basınç dayanım değeri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Hazırlanan karışımlardan alınan küp numuneler

Çizelge 3.4. Beton karışım oranı ve 28 günlük basınç dayanımı değeri

Çimento (kg)	13.2
Su (kg)	10.6
Kum (0-3) (kg)	38.1
Kırma taş (7-13) (kg)	38.1
Toplam	100.0
W/C	0.8
f_{c28} (MPa)	19.35

3.3. Dolgu Duvara Ait Harç, Sıva ve Güçlendirme Sıvası Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Numune üretiminde kullanılan sıva, harç ve güçlendirme sıvası karışım oranları ağırlık yüzdesi olarak belirlenmiş ve Çizelge 3.5’ te verilmiştir.

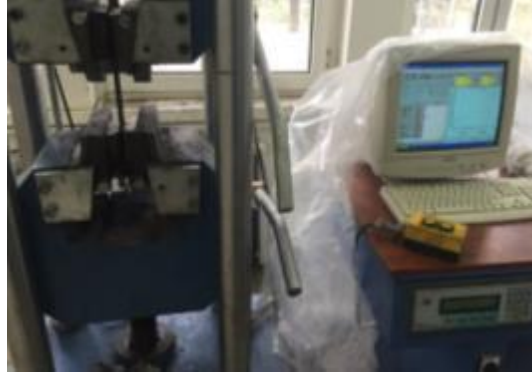
Çizelge 3.5. Sıva ve harç karışımına ait ağırlık yüzdeleri

	Sıva ve harç	Güçlendirme sıvası
Çimento	10.0	21.0
Su	18.5	12.5
Kum (0-3)	61.0	56.0
Kireç	10.5	10.5
Toplam	100.0	100.0

Çalışma kapsamında üretilen tüm dolgu duvarların sıva ve harç karışımları aynı oranlar kullanılarak hazırlanmıştır.

3.4. Donatı Çeliği Özelliklerinin Belirlenmesi

Çelik çekme deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Farklı çapa sahip donatılardan üç adet örnek alınarak çekme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.3. Donatı çeliğine ait çekme deneyi

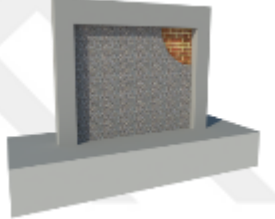
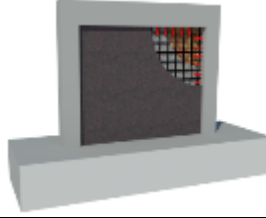
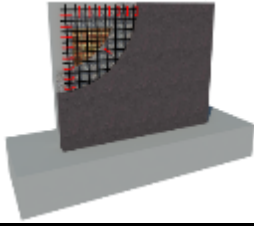
Çizelge 3.6. Donatı çeliğine ait mekanik özellikler

Donatı çapı	Kullanılan yer	f_y (MPa) Akma	f_y (MPa) Çekme	f_u (MPa) Kopma
Ø5 (hasır)	Dolgu duvar güçlendirme	574	777	630
Ø5.5	Kolon ve kiriş enine donatı	622	850	708
Ø10	Kolon ve kiriş boyuna donatı Temel enine donatı	518	640	565
Ø16	Temel boyuna donatı	520	675	578

4. DENEY HAZIRLIKLARI

Çalışma kapsamında, betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarının hasır donatılı özel sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla tek katlı, tek açıklıklı ve 1/3 ölçekli onbir adet betonarme çerçeve üretilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Üretilen numune sayıları

Numune Adedi	Özelliği	Görünümü
1	Boş çerçeve	
1	Tam dolu dolgu duvarlı çerçeve	
7	İçten güçlendirilen çerçeve	
2	Dıştan güçlendirilen çerçeve	

Bu deneysel çalışma, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında deneylerin yapılması için gerekli yükleme ve veri toplama düzenekleri mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan mevcut cihazlar, hidrolik silindir, yük hücresi, veri toplama sistemi, yerdeğiştirme ölçerler, el kumandalı hidrolik krika, vinç ve toplanan

verileri saklamak için kullanılacak bir bilgisayar laboratuvarının olanakları arasında sayılabilir.

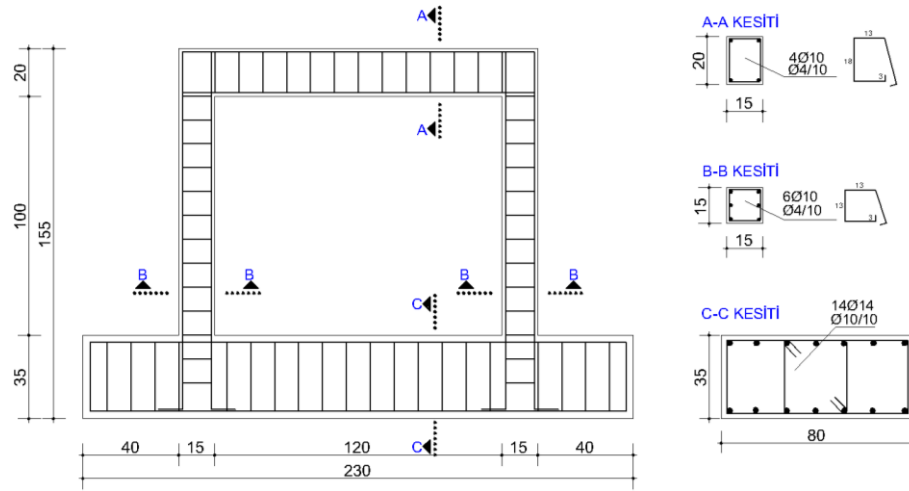
Çalışmada yapılan deneylere ait numunelerin özellikleri Çizelge 4.2’de özetle verilmiştir. Deney elemanlarının isimlendirilmesinde “BÇN” harfi “Betonarme Çerçeve Numunesi” ifadesinin kısaltmasını temsil etmektedir. Bu harften sonra gelen sayı, numune numarasını göstermektedir.

Çizelge 4.2. Deney elemanlarının özellikleri

Deney No	Deney elemanı adı	Numune özelliği
1	BÇN-1	Boş çerçeve
2	BÇN-2	Tam dolu dolgu duvarlı çerçeve
3	BÇN-3	Güçlendirilen çerçeve
4	BÇN-4	Güçlendirilen çerçeve
5	BÇN-5	Güçlendirilen çerçeve
6	BÇN-6	Güçlendirilen çerçeve
7	BÇN-7	Güçlendirilen çerçeve
8	BÇN-8	Güçlendirilen çerçeve
9	BÇN-9	Güçlendirilen çerçeve
10	BÇN-10	Güçlendirilen çerçeve
11	BÇN-11	Güçlendirilen çerçeve

4.1. Betonarme Çerçeve Numunelerinin Hazırlanması

Betonarme çerçevelere ait boyut ve malzeme detayları tüm numunelerde aynı şekilde uygulanmıştır. Betonarme çerçevelerin özellikleri mevcut betonarme binalardaki kusurları içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bunun için betonarme çerçevelerin; etriye kancaları 90°, kolon ve kiriş taşıyıcı eleman mesnetlerinde etriye sıklaştırmaz (özel sargı donatısı olmaksızın), kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriyesiz ve kolona göre güçlü kiriş tasarımına uygun olarak üretilmesi sağlanmıştır. Tek katlı, tek açıklıklı ve 1/3 ölçekli betonarme çerçevenin üretiminde uyulması planlanan boyut ve donatı detayları Şekil 4.1’de verilmiştir. Toplamda 11 adet numune hazırlanmıştır. Üretilen betonarme çerçevelerden bir adedi boş çerçeve, bir adedi ise tam dolu dolgu duvarlı çerçeve olarak bırakılmıştır. Diğer tüm numuneler hasır donatı eklenerek özel sıva ile güçlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Deney numunesi detayları

Deney numunelerinin üretilmesinde, öncelikle numune temel, kolon ve giriş elemanlarına ait donatılar hazırlanmıştır. Donatılar, sehpa üzerinde bağ teli yardımıyla bağlanmıştır. Etriyeler bağlanırken, aralıklarının tüm numunelerde standart olması için hazırlanan kalıp kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Eleman donatılarının hazırlanması

Hazırlanan betonarme çerçeve temel donatıları temel kalıbı içerisine yerleştirilmiştir. Numunenin rijit döşemeye bağlantısının yapılabilmesi için temel betonu içerisinde düşey doğrultuda on adet boşluk bırakılmıştır. Beton dökümü sırasında bu bırakılan boşlukların kaymaması için temelin rijit döşemeye tijler yardımıyla bağlantısı yapılmıştır. Tijlerin üzerine plastik veya çelik borular yerleştirilerek beton dökümü sonrasında sökülebilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.3). Numunenin vinç yardımıyla taşınması sırasında taşıyıcı

sistemde herhangi bir hasarın oluşmasını engellemek amacıyla temel içerisinde yine plastik borular yardımıyla simetrik şekilde iki adet yatay boşluk bırakılmıştır. Numunenin taşınması sırasında bu boşluklardan tij geçirilerek halat yardımıyla vince bağlanmıştır. Şekil4.3'te temel üzerinde görülen ahşap kalıp kolon donatılarının sabitlenmesi ve standart üretimin sağlanması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Temelin beton dökümüne hazırlanması

Temel ile ilgili son kontrollerin yapılmasının ardından temelin beton dökümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4). Beton karışımı elle hazırlanmış olup, mikserden alınan beton el arabası yardımı ile kalıbın bulunduğu bölgeye taşınmıştır. Betonun yerleştirilmesi sırasında vibratör kullanılarak iyi bir sıkışma sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Temel betonunun dökülmesi

Temel betonunun dökülmesinin ve priz alma süresinin beklenmesinin ardından üst taşıyıcı sisteme ait kalıp hazırlıklarına başlanmıştır. Kalıpların şakülünde

olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Kirişte beton dökümü sırasında oluşabilecek sehimlerin engellenmesi için kiriş altında, yatay ve düşey doğrultuda 5/10 ahşap elemanlar kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Üst yapı kalıplarının hazırlanması

Her bir numunede beton dayanımının belirlenmesi amacıyla altı adet 150 mm boyutlarında küp numune alınmıştır. Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton dökümü sırasında alınan numunelerin 28 günlük beton basınç dayanımları

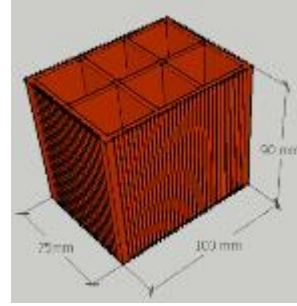
Betonarme Çerçeve Numune Numarası	f_c (MPa) Beton	Betonarme Çerçeve Numune Numarası	f_c (MPa) Beton
BÇN-1	15.8	BÇN-7	15.8
BÇN-2	16.1	BÇN-8	15.9
BÇN-3	15.9	BÇN-9	16.0
BÇN-4	15.7	BÇN-10	15.7
BÇN-5	16.0	BÇN-11	15.8
BÇN-6	16.1	-	-

Kolon ve kiriş elemanlara beton dökümü gerçekleştirilen çerçeveye ait bir görünüm Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Üretilen betonarme çerçeve numunelerine ait bir görünüm

Üretilen numunelerden bir tanesi boş olarak yalın halde bırakılmıştır. Diğer tüm betonarme çerçevelerin içerisine tuğla duvar örümü gerçekleştirilmiştir. Tuğla duvar örülmesi işleminde kullanılacak tuğlaların boyutları 1/3 ölçeğini sağlayacak şekilde spiral yardımıyla kesilerek küçültülmüştür (Şekil 4.7).

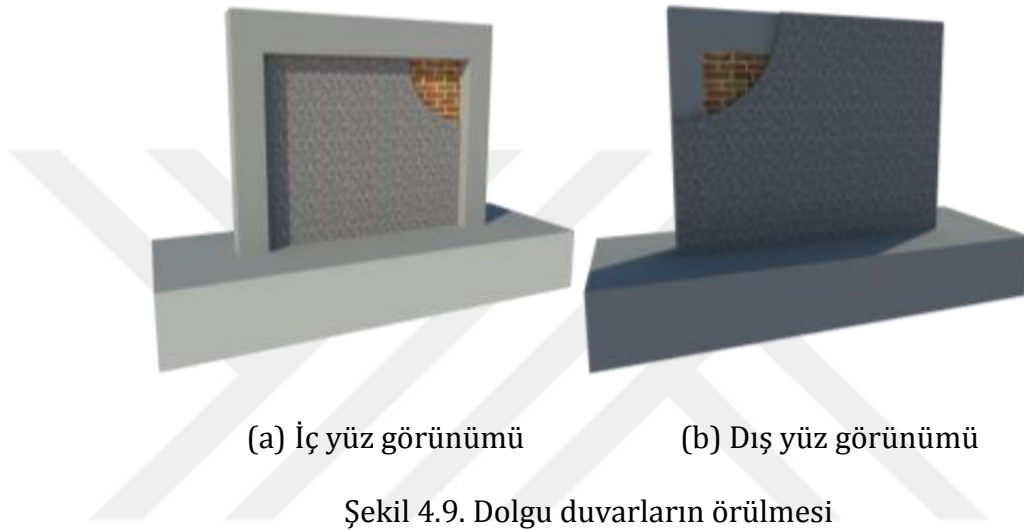


Şekil 4.7. Duvar örümünde kullanılacak tuğlanın ölçeklendirilmesi

Tuğla malzemeleri, deney numunelerindeki çerçeve içerisine şaşırtmalı şekilde tam dolu dolgu duvar olarak örülmüştür (Şekil 4.8). Harç karışım oranları tüm numunelerde aynı şekilde uygulanmıştır. Duvar örülmesi sırasında ip çekilerek, duvarın düzgünlüğü sağlanmıştır. Dolgu duvarlar çerçevenin dış yüzünde, kolon ve kiriş ile aynı hizada olacak şekilde örülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Tuğla duvar örülmesi



Şekil 4.9. Dolgu duvarların örülmesi

Tüm numunelerde duvarın her iki yüzüne 15 mm kalınlığında kaba sıva uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Tuğla duvar üzerine sıva uygulamasının yapılması

Uygulanan sıvanın dayanımının belirlenmesi için 150 mm boyutlarında küp numune alınmış ve küp numunelerin elde edilen 28 günlük basınç dayanım değerleri Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sıva yapımı sırasında alınan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Betonarme Çerçeve Numune Numarası	f_s (MPa) Sıva	Betonarme Çerçeve Numune Numarası	f_s (MPa) Sıva
BÇN-1	3.1	BÇN-7	3.3
BÇN-2	3.4	BÇN-8	3.6
BÇN-3	3.3	BÇN-9	3.4
BÇN-4	3.6	BÇN-10	3.3
BÇN-5	3.9	BÇN-11	3.1
BÇN-6	3.8	-	-

4.2. Betonarme Çerçeve Numunelerinin Güçlendirilmesi

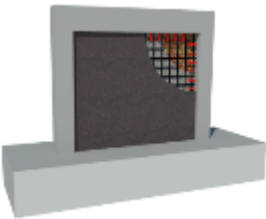
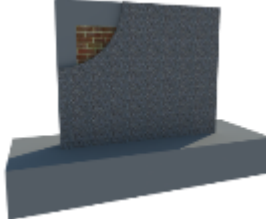
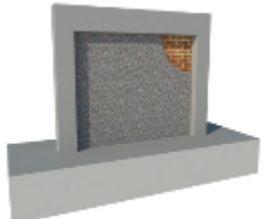
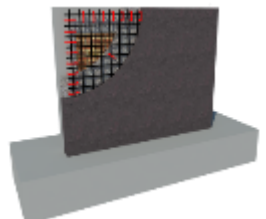
Hazırlanan numunelerin hasır çelik donatı eklenerek özel sıva ile güçlendirme uygulaması DBYBHY 2007'de tanımlanan esaslar çerçevesinde yapılmıştır. DBYBHY 2007 'de çerçeve elemanlarına uygulanacak ankraj çubuklarının en az çapı (ϕ) 12 mm, aralığı (s) 300 mm ve derinliği (l) ise 10ϕ olarak verilmiştir. Ayrıca yönetmeliğe göre donatılı sıva ile mevcut dolgu duvarın birlikte çalışmasını sağlamak için duvar düzlemine dik yönde, her bir metrekare duvar alanında dört adet gövde ankrajının yapılması öngörülmüştür. Tüm ankraj çubuklarının epoksi esaslı malzeme ile ekilmesi ve uçlarının L şeklinde 90° bükülerek hasır donatının içine geçirilmesi gerekmektedir. DBYBHY 2007'de verilen minimum kurallar Çizelge 4.5' te özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. DBYBHY 2007’de verilen minimum değerler

Minimum değerler	DBYBHY 2007
Ankraj çubuklarının çapı (ϕ)	12 mm (çerçeve) 8 mm (dolgu duvar)
Ankraj çubuklarının aralığı (s)	300 mm (çerçeve)
Ankraj çubuklarının derinliği (l)	10 ϕ (çerçeve-dolgu duvar)
Duvar alanında bulunacak ankraj sayısı	4 (dolgu duvar 1m×1m)
Hasır donatı ile dolgu duvar arasında pas payı	20 mm
Sıva tabakasının kalınlığı	30 mm

DBYBHY 2007’de “Uygulamanın yapılacağı duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır” denilmektedir. Bu nedenle yönetmelikte güçlendirmenin betonarme çerçevenin iç yüzünde uygulanması önerilmektedir. Çalışma kapsamında güçlendirme uygulamasının betonarme çerçeve dış yüzünde yapılmasının da etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla güçlendirilen numunelerden yedi adedinin (BÇN-3, BÇN-4, BÇN-5, BÇN-6, BÇN-7, BÇN-8 ve BÇN-9) güçlendirmesi duvar iç yüzünde yapılırken, iki adedinin (BÇN-10 ve BÇN-11) güçlendirmesi duvar dış yüzünde uygulanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Numunelerin güçlendirme görünümleri

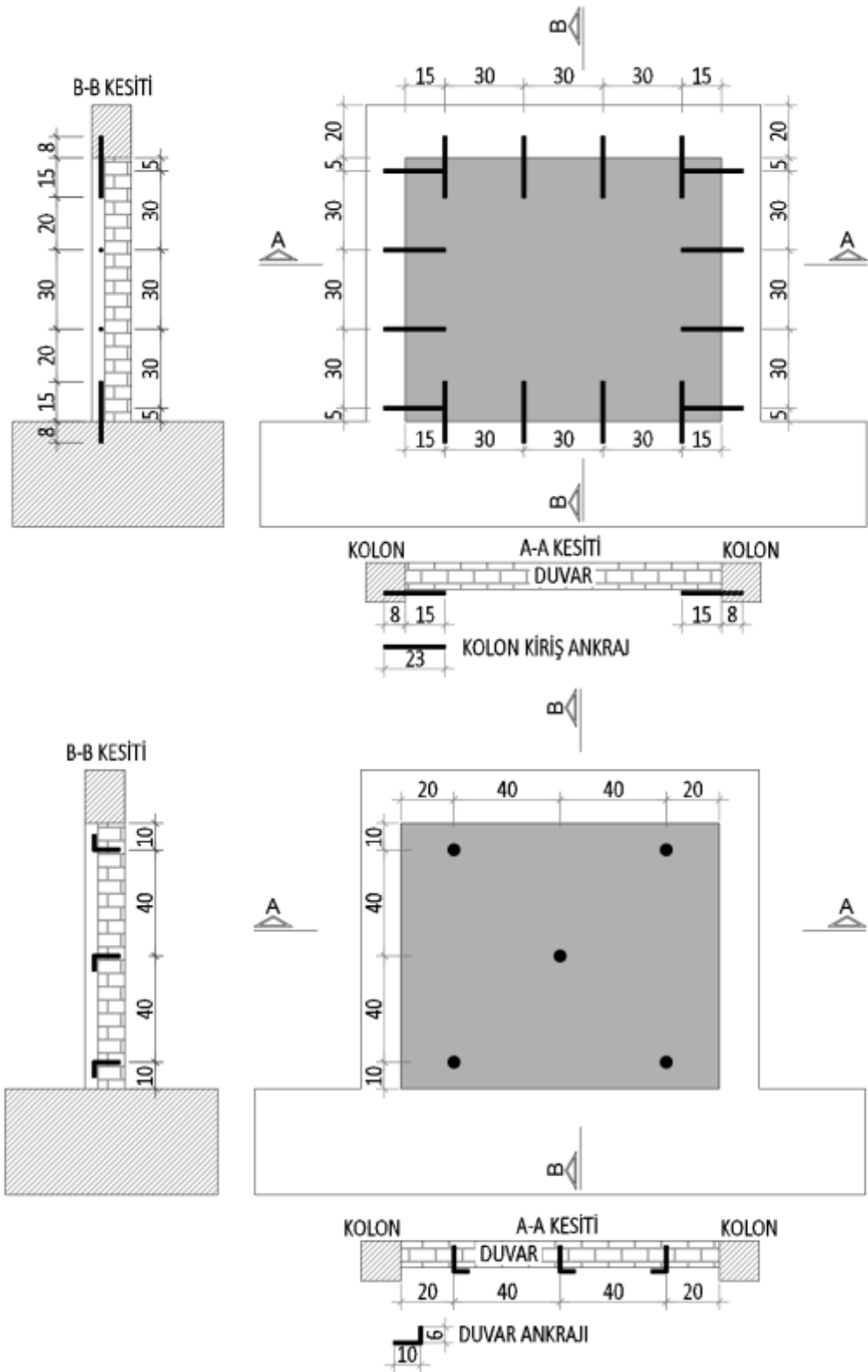
Güçlendirme Yüzeyi	İç yüz	Dış yüz
Güçlendirme 1		
	Güçlendirme var	Güçlendirme yok
Güçlendirme 2		
	Güçlendirme yok	Güçlendirme var

Güçlendirme uygulamasında tek sıra Q131/131 hasır donatı kullanılmıştır. Kolon, kiriş, temel ve duvar elemanlarda uygulanan ankraj çubuğu çapı (ϕ) 6 mm olarak seçilmiştir. Hasır donatı ile dolgu duvar arasında 20 mm pas payının kalması ve hasır donatının altına özel harç karışımının girmesi sağlanmıştır. Güçlendirme sıva kalınlığı toplam 30 mm olarak uygulanmıştır. Ankraj donatılarının aralığı, boyu ve duvarda uygulanan ankraj detayları numuneden numuneye farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında üretilen toplam onbir adet deney numunesinden bir tanesi yalın halde (BÇN-1) bırakılmıştır. Diğer bir numune betonarme çerçeve içerisine tam dolu dolgu duvar örülerek kaba sıvası yapılmıştır (BÇN-2). Geriye kalan toplam dokuz adet numune ise farklı ankraj detayları uygulanarak hasır donatı ilave edilerek özel sıva ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen tüm numunelerde, güçlendirme sıvası karışım oranları ve kalınlığı aynı olacak şekilde uygulanırken, taşıyıcı sisteme ve dolgu duvara uygulanan ankraj detayları değiştirilmiştir (Çizelge 4.7).

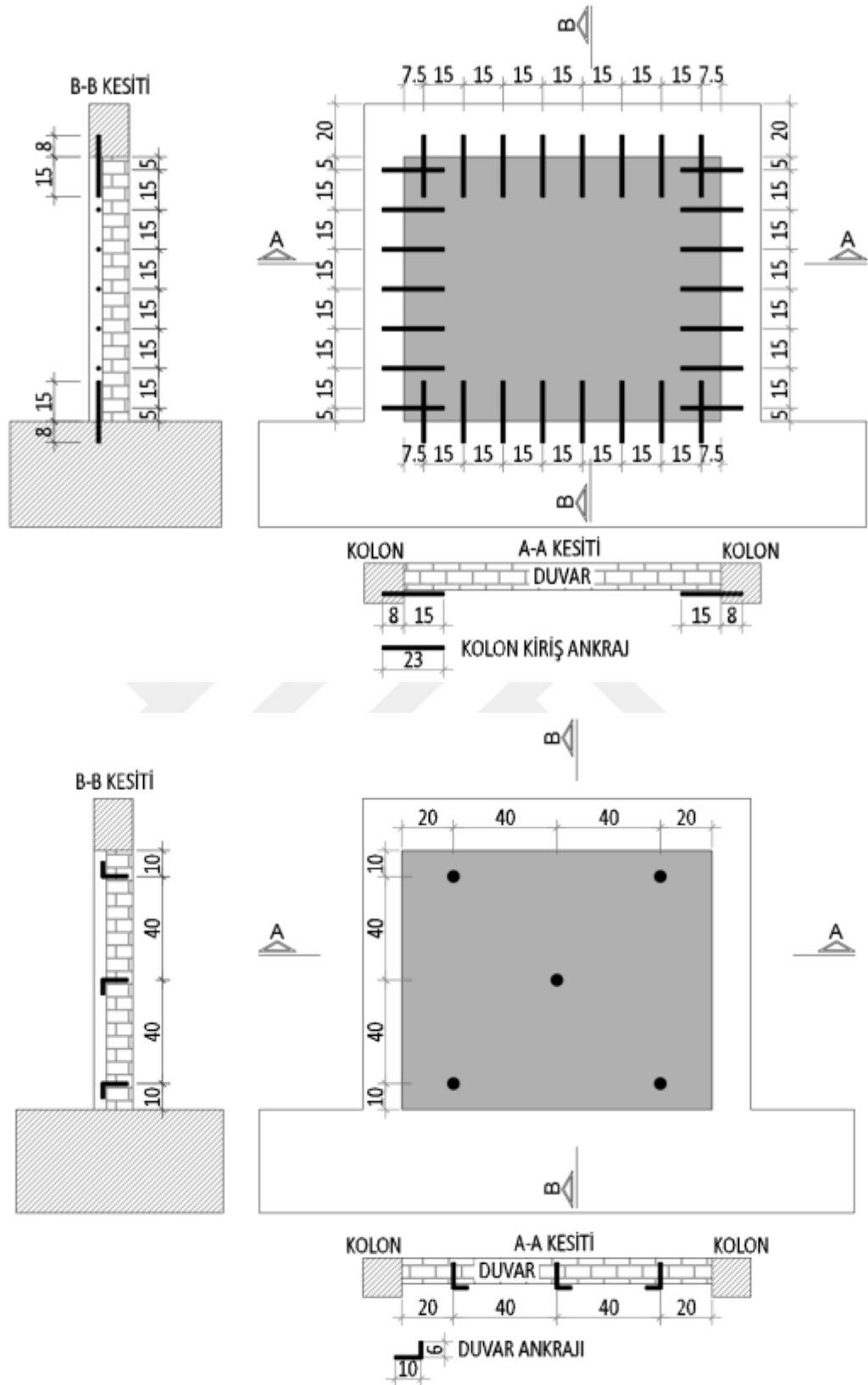
Hazırlanan deney numunelerinin sonuçları ile kolon, kiriş ve temelde uygulanan ankraj aralığının, ankraj boyunun, dolgu duvardaki ankraj yerleşiminin, içten ve dıştan güçlendirme uygulamasının etkinliği yorumlanmıştır. Numune 3 ile Numune 11 arasındaki betonarme çerçevelerin güçlendirilmesine ait ankraj detayları Şekil 4.11 ile Şekil 4.19 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.7. Numunelerde uygulanan ankraj detayları

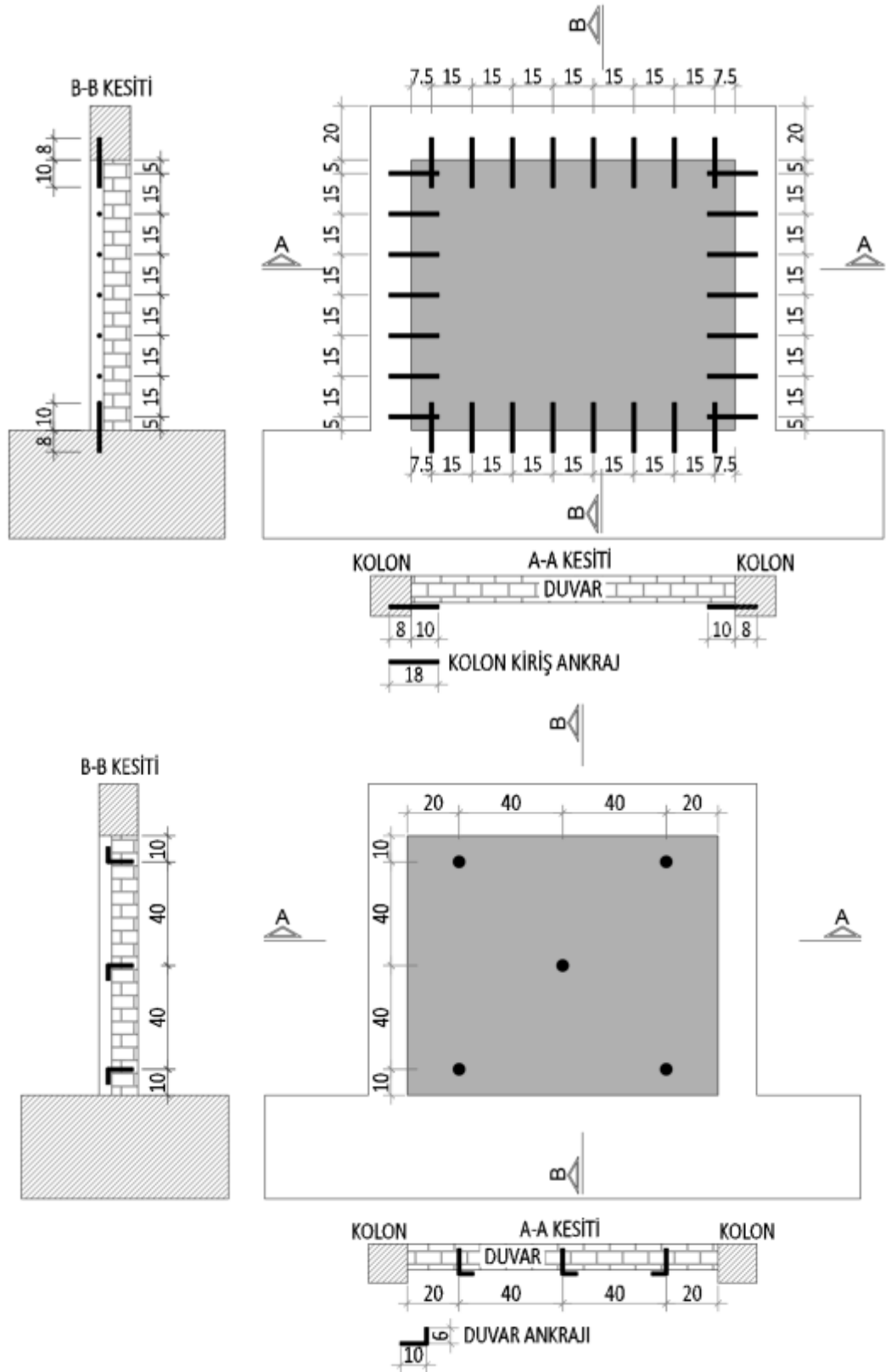
Numune numarası	Güçlendirme yöntemi	Kolon, kiriş ve temel			Duvar	
		Ankraj çubuğu şekli	Ankraj elemanı uzunluğu (cm)	Ankraj aralığı (cm)	Ankrajı yerleşimi	Ankraj adedi
BÇN-3	İç	I şeklinde donatı	23	30	×	5
BÇN-4	İç	I şeklinde donatı	23	15	×	5
BÇN-5	İç	I şeklinde donatı	23	7,5/15/30	×	5
BÇN-6	İç	I şeklinde donatı	23	15	+	5
BÇN-7	İç	I şeklinde donatı	13	15	×	5
BÇN-8	İç	I şeklinde donatı	18	15	×	5
BÇN-9	İç	L şeklinde lama	13	15	×	5
BÇN-10	Dış	L şeklinde donatı	16	30	×	5
BÇN-11	Dış	L şeklinde donatı	16	15	×	8



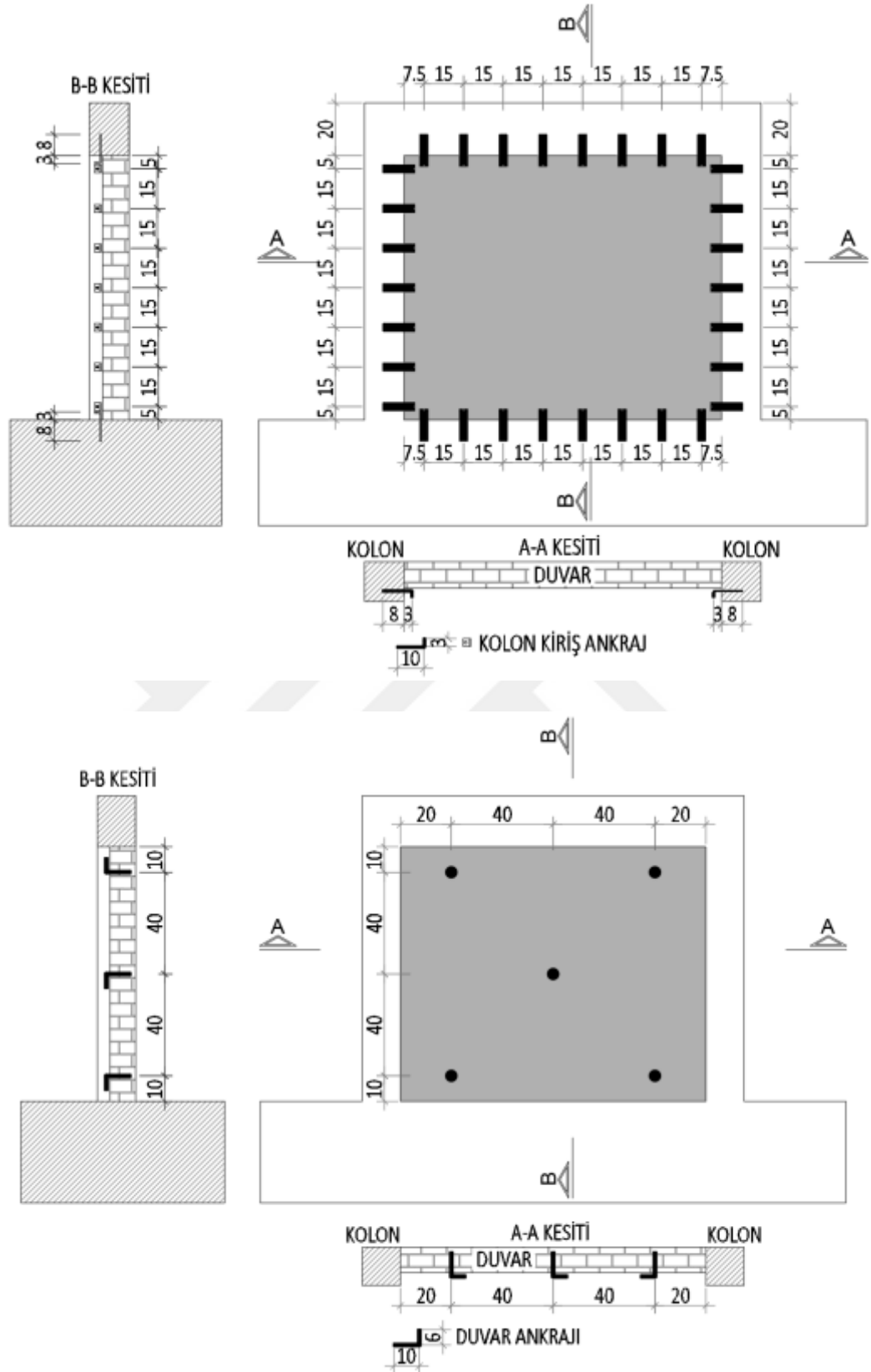
Şekil 4.11. BÇN-3'e ait güçlendirme detayları



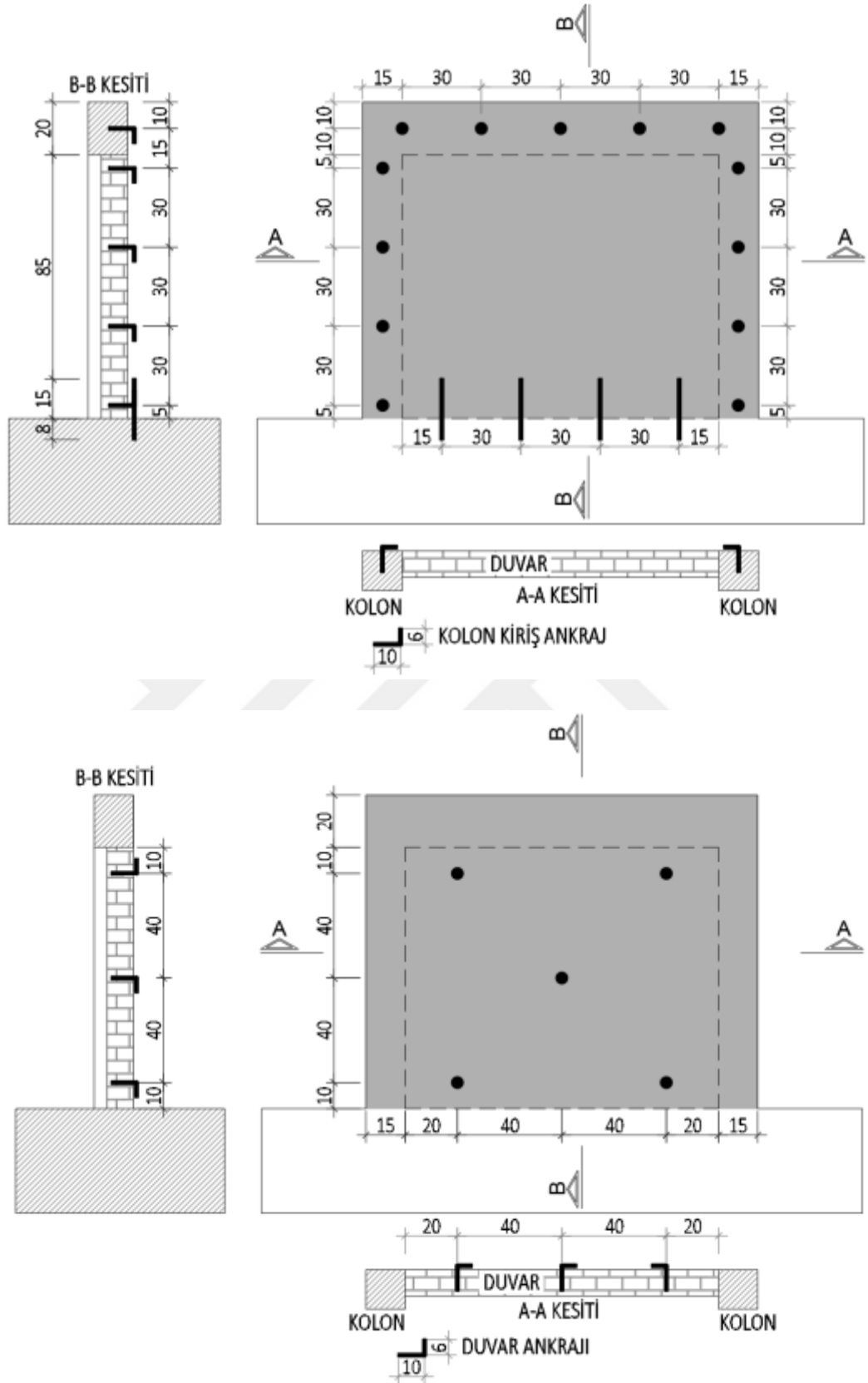
Şekil 4.12. BÇN-4'e ait güçlendirme detayları



Şekil 4.16. BÇN-8'e ait güçlendirme detayları



Şekil 4.17. BÇN-9'a ait güçlendirme detayları



Şekil 4.18. BÇN-10'a ait güçlendirme detayları

Güçlendirme uygulamasında ankraj delik çapı, ankraj çubuğu çapının 2-3 mm fazlası olarak hazırlanmıştır. Ankraj deliklerinin hava kompresörü ile iyice temizlenmesinin ardından çift bileşenli epoksi yardımıyla, hazırlanan ankraj çubukları hasır donatının üzerinden delik içerisine yavaşça döndürülerek yerleştirilmiştir. Güçlendirme aşamasına ait görünüm Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Güçlendirme işleminin uygulanması aşamaları

Dolgu duvar üzerindeki ankraj deliklerinin tuğla duvar arasındaki harç tabakasına denk gelmesi sağlanmıştır. Açılan ankraj deliğinin harç tabakası üzerine denk gelmesi durumunda delik açma işlemi yenilenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Dolgu duvar üzerinde ankraj deliklerinin belirlenmesi

Güçlendirme işleminde tek sıra Q131/131 hasır donatı kullanılmıştır. Hasır donatı umunede güçlendirme detayına uygun ölçülerde en az zaiyat sağlanacak şekilde kesilmiş, ankraj donatılarının altına gelecek şekilde yerleştirilmiş ve ankraj donatıları ile hasır donatı bağ teli yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Harç uygulamasından önce duvar ile hasır arasında 2 cm boşluğun kalması amacıyla hasırın bağlantı noktalarının altına yer yer 16 mm çapında küçük donatı parçaları bağ teli yardımıyla bağlanmıştır. Güçlendirme uygulanan BÇN-3 ile BÇN-11

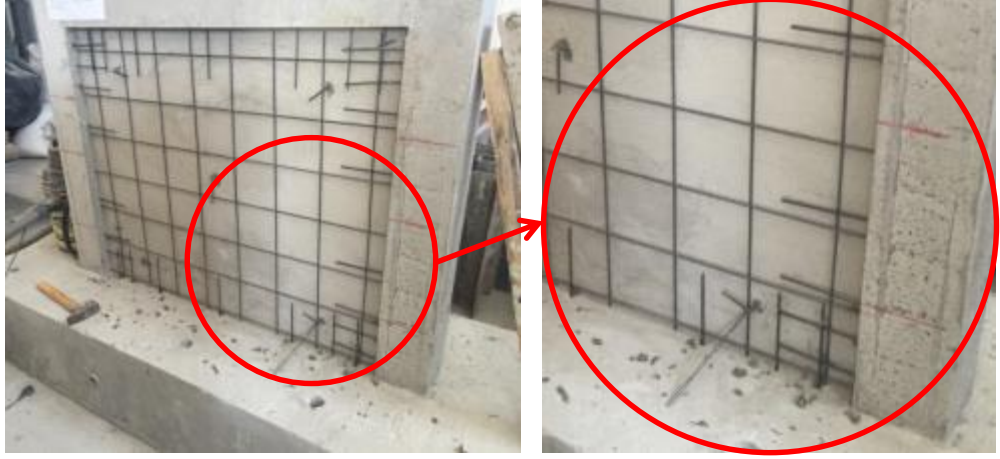
arasındaki tüm numuneler için ankraj detay görünümleri Şekil 4.22 ile Şekil 4.30 arasında sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.22. BÇN-3'e ait ankraj görünümleri



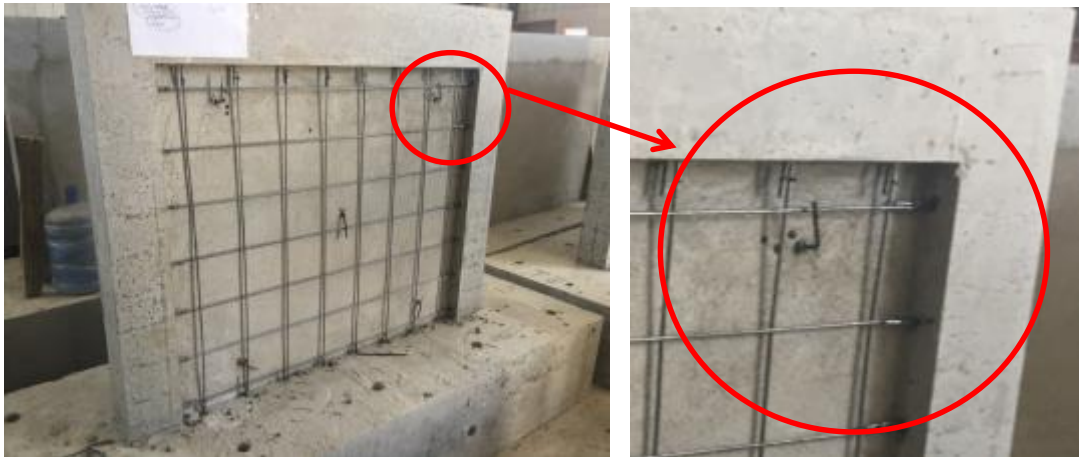
Şekil 4.23. BÇN-4'e ait ankraj görünümleri



Şekil 4.24. BÇN-5'e ait ankraj görünümüleri



Şekil 4.25. BÇN-6'ya ait ankraj görünümüleri



Şekil 4.26. BÇN-7'ye ait ankraj görünümüleri



Şekil 4.27. BÇN-8'e ait ankraj görünümüleri



Şekil 4.28. BÇN-9'a ait ankraj görünümüleri



Şekil 4.29. BÇN-10'a ait ankraj görünümü



Şekil 4.30. BÇN-11'e ait ankraj görünümü

Ankraj işlemlerinin tamamlanması ve hasır donatının yerleştirilmesinin ardından yüksek mukavemetli harç yardımıyla hasır donatının üzeri kapatılmıştır. DBYBHY 2007'de sıva dayanımının en az 5 MPa olması öngörülmektedir. Çalışmada malzeme ön deneyleri ile elde edilen karışım oranları güçlendirilen tüm numunelere aynı şekilde uygulanmıştır. Toplam güçlendirme sıva kalınlığı 3 cm olarak seçilmiştir.

Numunelerin güçlendirilmesinin ardından sıvanın mukavemetini kazanması için 28 günlük kür işlemi uygulanmıştır. Deney sırasında gelişecek çatlakların gözlemlenmesi için deney elemanlarının dış yüzeyleri kireç ile badana yapılmıştır. Deneye hazır hale getirilen ve 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler (Şekil 4.31) vinç yardımıyla sırası ile yükleme düzeneğinin olduğu bölgeye taşınmıştır.



Şekil 4.31. Deneye hazır numunelerin görünümü

Güçlendirilen tüm numunelerde elde edilen güçlendirme sıvası basınç dayanım değerleri Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Güçlendirme sıvasına ait 28 günlük basınç dayanımları

Numune Numarası	f_{gs} (MPa) Güçlendirme Sıvası	Numune Numarası	f_{gs} (MPa) Güçlendirme Sıvası
BÇN-1	-	BÇN-7	8.1
BÇN-2	-	BÇN-8	8.0
BÇN-3	8.1	BÇN-9	7.8
BÇN-4	7.9	BÇN-10	7.7
BÇN-5	8.0	BÇN-11	8.0
BÇN-6	7.8	-	-

4.3. Yükleme Düzeneğinin Hazırlanması

Hazırlanan numunelerin deneyleri rijit deney platformu üzerinde yapılmıştır. Deney platformu; rijit döşeme ve reaksiyon duvarından meydana gelmektedir. Deney elemanları, kür sürelerinin tamamlanmasının ardından 15 ton kapasiteli vinç yardımıyla sırasıyla deney düzeneğinin hazırlandığı bölüme taşınmıştır. Numune rijit döşeme üzerine yerleştirilerek, numune temelinde herhangi bir kaymanın olmaması için, 32 mm çapındaki tijler ve somunlar yardımıyla rijit döşemeye sabitlenmiştir.

Yatay yük numunelere depremin tersinir etkisini temsil etmesi açısından hem basınç hem de çekme olarak uygulanmıştır. Bu amaçla 25 cm genlik kapasiteli kriko kullanılmış ve krikonun genliği itme ve çekme için eşit olarak paylaştırılmıştır. Yük okumaları, kriko ile numune arasına yerleştirilen yük hücresi ile yapılmıştır. Deney düzeneğinde 30/60 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresine ait kalibrasyon değerleri veri toplama sistemine ait programda tanımlanmıştır. Yükleme düzeneği oluşturulurken, yük hücresi ile reaksiyon duvarı ve yük hücresi ile numune arasına mafsal yerleştirilmiştir.

Böylece uygulanan yatay yükün çerçevenin ötelenmesinden sonrada çerçeveye dik olarak etkimesi sağlanmıştır. Kiriş üzerine her iki tarafından yerleştirilen plakalar birbirine tijler yardımıyla bağlanarak numuneye çekme yüklemesinin yapılabilmesine imkan sağlanmıştır.

Yük değerleri, deney sırasında yük hücresinden veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Deney sırasında yükleme düzlemine dik doğrultuda hareketin ortaya çıkmasını engellemek amacıyla numune kirişi üzerine her iki tarafa kayar mesnet yerleştirilmiştir (Şekil 4.32). Bu mesnetler kuvvet doğrultusundaki hareketi engellemeyecek şekilde tasarlanmıştır.



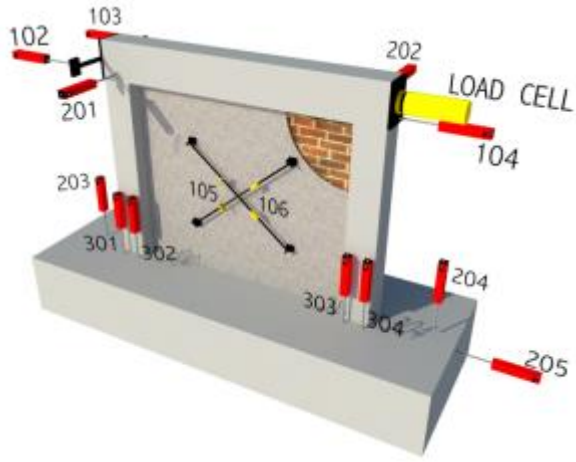
Şekil 4.32. Kiriş eleman üzerine yerleştirilen kayar mesnet

Numunenin deney platformuna taşınmasının ardından öncelikle yerdeğiştirme ölçerlerin (LVDT) yerleştirilebilmesi için ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Kutu profiller yardımıyla oluşturulan sistem rijit döşemeye tij ve somunlar yardımıyla sabitlenmiştir. Deney tamamlandıktan sonra numunenin en az iş gücüyle çıkarılarak düzeneğin tekrar kurulabilmesi için LVDT yerleştirilen profiller ana sisteme civata ve somun yardımıyla bağlanmıştır. Numunenin çıkarılması sırasında öncelikle somunlar gevşetilerek ölçüm sistemleri indirilmektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Oluşturulan ölçüm düzeneği

Deneyde, numunenin çeşitli yön ve doğrultudaki yerdeğiştirmesini tanımlayabilmek için 0.01 mm hassasiyetli 10 cm ve 20 cm kapasiteli LVDT'ler kullanılmıştır. Deney sırasında hem itme hem de çekme yer değiştirmelerinin okunabilmesi için LVDT'ler yarı kapasiteli olarak ayarlanmıştır. 10 cm kapasiteli LVDT'ler ile yükleme doğrultusuna dik çerçeve hareketi ve rijit temeldeki yatay ve düşey hareket kontrol edilmiştir. 20 cm kapasiteli LVDT'ler ise yükleme doğrultusundaki yerdeğiştirme miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Yerdeğiştirme ölçerlerden alınan sinyallerin veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayara aktarılması sağlanmıştır. Böylece bilgisayar ortamında yerdeğiştirme ölçümlerinin değişimi kolayca takip edilmiştir. Yerdeğiştirme ölçerler (LVDT), numune temelindeki ve çerçeve sistem üzerindeki hareketi kontrol etmek istenen noktalara yerleştirilmiştir (Şekil 4.34). Deney sırasında veri toplama sisteminde kullanılan kanal numaraları ve kullanılma amaçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

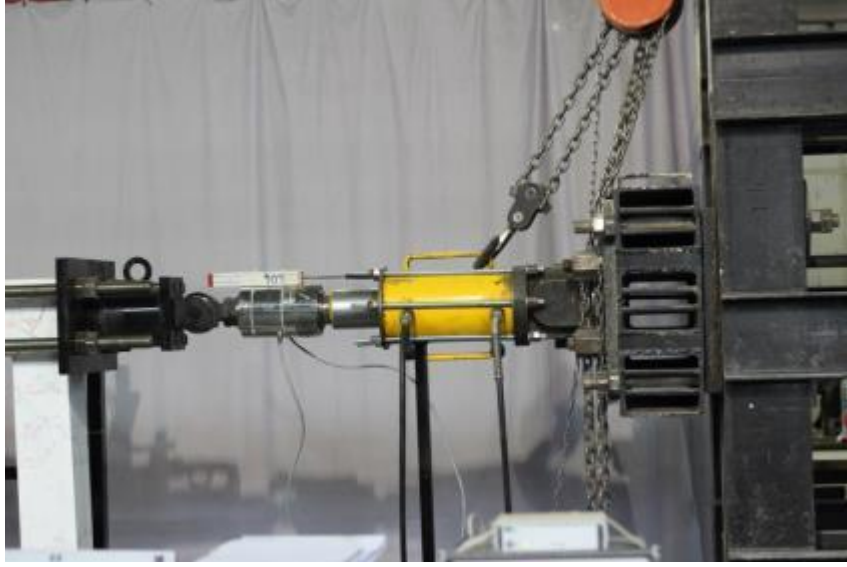


Şekil 4.34. Yerdeğiştirme ölçerlerin konumları

Çizelge 4.9. Veri toplama sistemindeki kanal bilgileri

Kanal numarası	Cinsi	Amacı
101	Yük hücresi	Yatay yükü kontrol etmek
102, 103, 104	LVDT	Yatay ötelenmeyi kontrol etmek
201, 202	LVDT	Yüklemeye dik çerçeve hareketini kontrol etmek
203, 204, 205	LVDT	Temeldeki kayma ve dönmeyi kontrol etmek
301, 302, 303, 304	LVDT	Kolondaki şekil değiştirmeyi ölçmek
105, 106, 107, 108	LVDT	Dolgu duvardaki şekil değiştirmeyi belirlemek

Deney için hazırlanan yükleme ve ölçüm düzenekleri sırasıyla Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da görülmektedir.



Şekil 4.35. Yükleme düzeneğine ait bir görünüm



a. Ön taraf (yük sağda)



b. Arka taraf (yük solda)

Şekil 4.36. Ölçüm düzeneğine ait bir görünüm

5. DENEYLERDEKİ HASAR GÖZLEMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Deneyde numuneye etkiyen yatay yük her çevrimde itme ve çekme olarak arttırılarak uygulanmıştır. Deneye yük kontrollü olarak başlanmış fakat numune taşıma gücü yüküne ulaştıktan sonra yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Deney sırasında oluşan hasarlar, itme ve çekme yüklemelerinin her adımı için iki farklı renkte tebeşir kullanılarak işaretlenmiştir. Yükün numune yatay yük taşıma kapasitesinin %15 altına düştüğü seviyede deney durdurulmuştur.

Deneyler sırasında düşey ekseninde yük hücresinden okunan yatay yük değeri, yatay ekseninde ise 102 ve 103 numaralı LVDT'lerden okunan yerdeğiştirme miktarlarının ortalaması olmak üzere numune davranışı bilgisayar ortamında grafiksel olarak takip edilmiştir (Şekil 5.1). Deney boyunca toplam 18 kanal okuması alınmıştır. Deney verilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasının ardından her bir deney için elde edilen yatay yük- yatay yerdeğiştirme çevrimsel eğrilerinden yararlanarak zarf eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu grafiklerden her bir numune için yanal yük taşıma kapasitesi, yanal ötelenme rijitliği, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi gibi önemli davranış parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Veri toplama sistemi

Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı numunelerin deney öncesi görünüşleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Numunelerin deney öncesi görünümü

Deneyler sırasında numunelerde gözlenen hasarlar ve elde edilen sonuçlar tüm numuneler için aşağıda özetlenmiştir.

5.1. BÇN-1 Numunesi

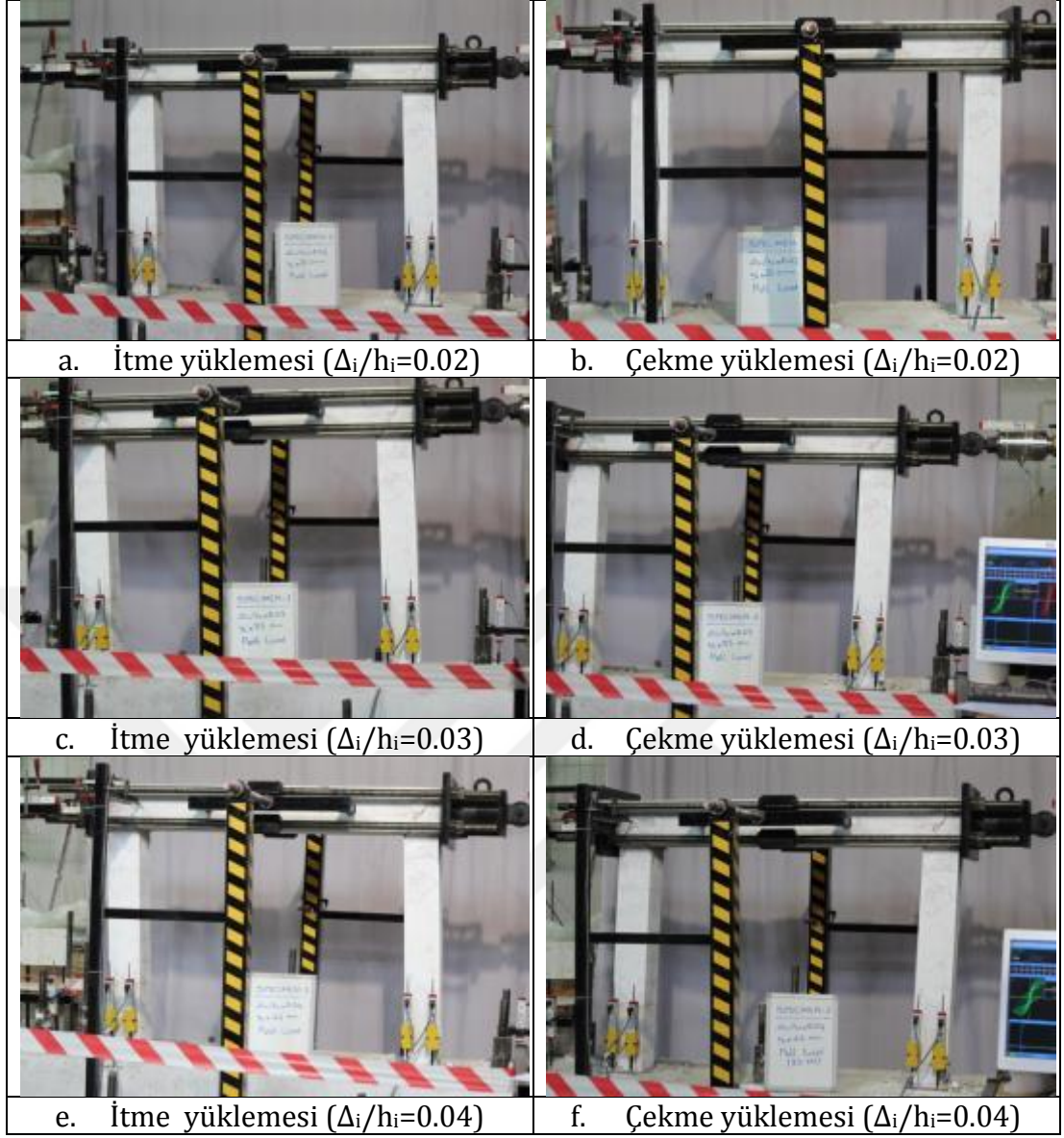
Numunede ilk çatlama, itme ve çekme yüklemeleri için 10 kN değerinde kolon elemanda eğilme hasarı olarak ortaya çıkmıştır. Yük değeri 20 kN'a ulaştığında ise kolon-kiriş birleşim bölgesinde kılcal kesme çatlağı oluşmuş ve ilerleyen yük adımlarında bu çatlakta genişleme gözlenmiştir.

İtme yüklemesinin 40 kN değerinde kolon alt bölgesinde X şeklinde kılcal çatlamlar başlamıştır. Numune taşıma gücü yüküne, itme yüklemesinde 42 kN değerinde ulaşırken çekme yüklemesinde 40 kN değerinde ulaşmıştır. Bu değerden sonra yüklemeye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Yüklemin ilerleyen adımlarında kolon alt ucunda kabuk betonunda dökülmeler ve boyuna donatıda burkulma gözlenmiştir (Şekil 5.3).

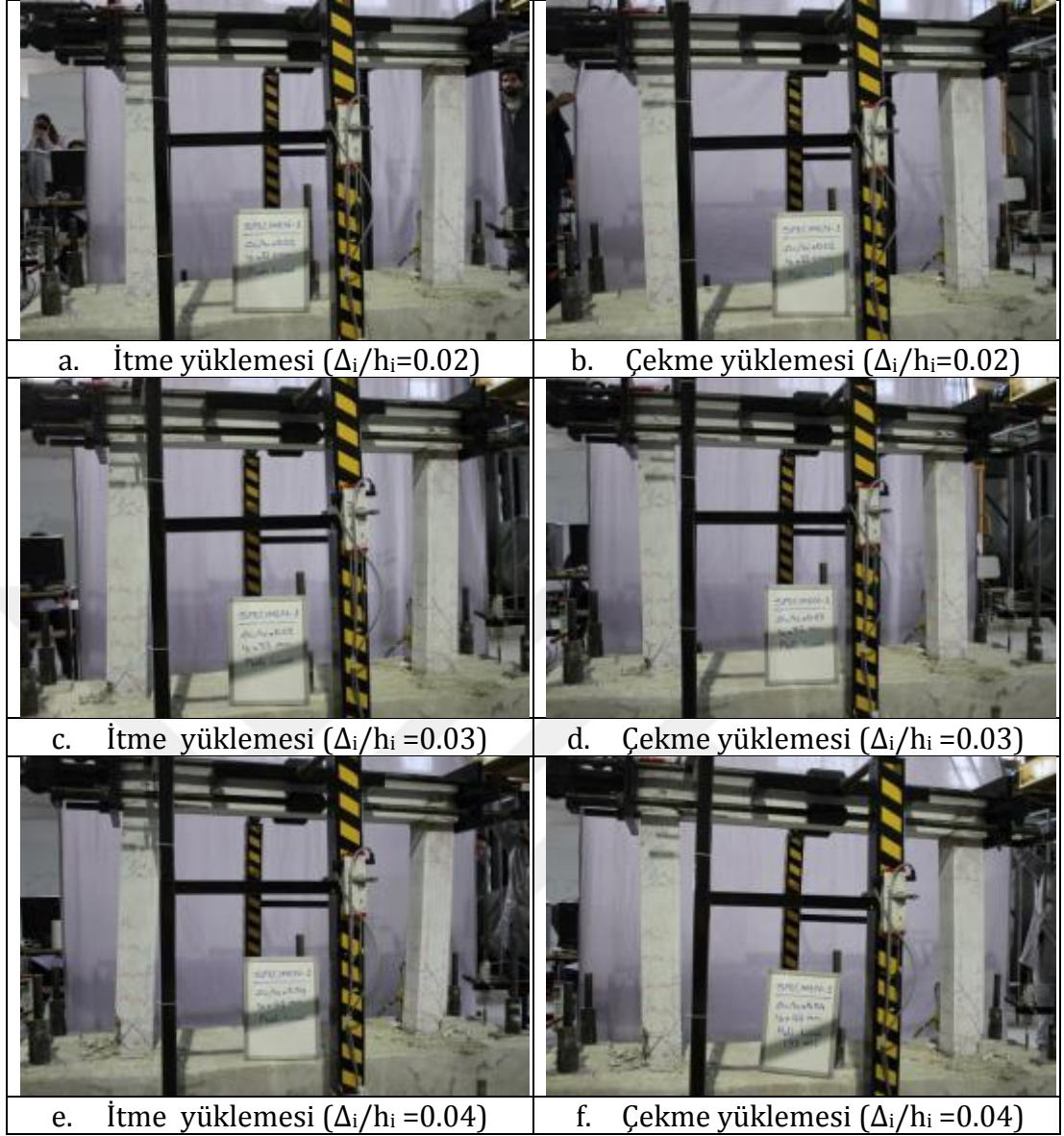


Şekil 5.3. Kolon alt ucu hasarı (Numune 1)

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.

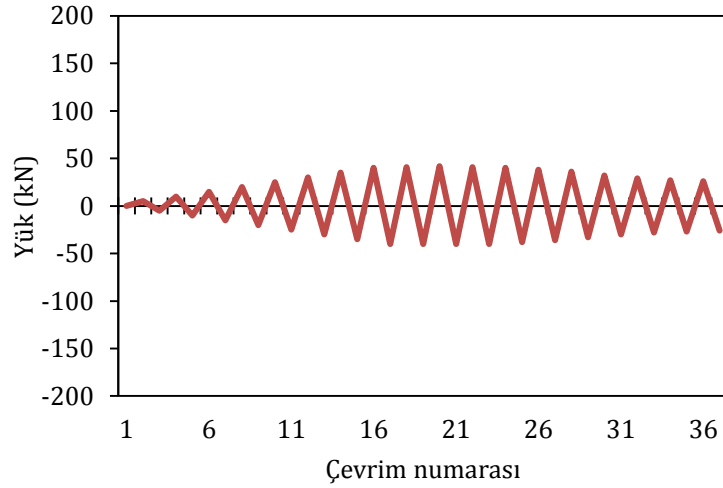


Şekil 5.4. BÇN-1 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

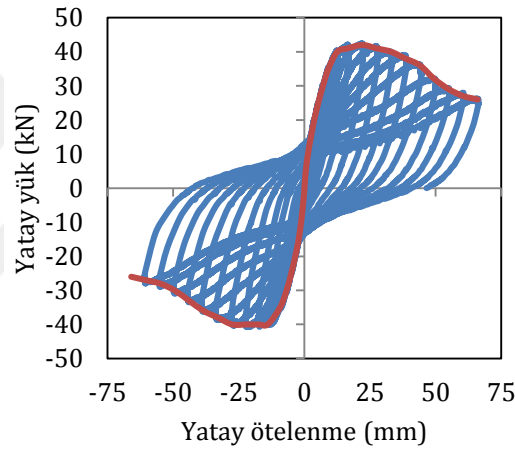


Şekil 5.5. BÇN-1 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

Numune-1 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.6'da, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.6. BÇN-1'e ait yükleme protokolü

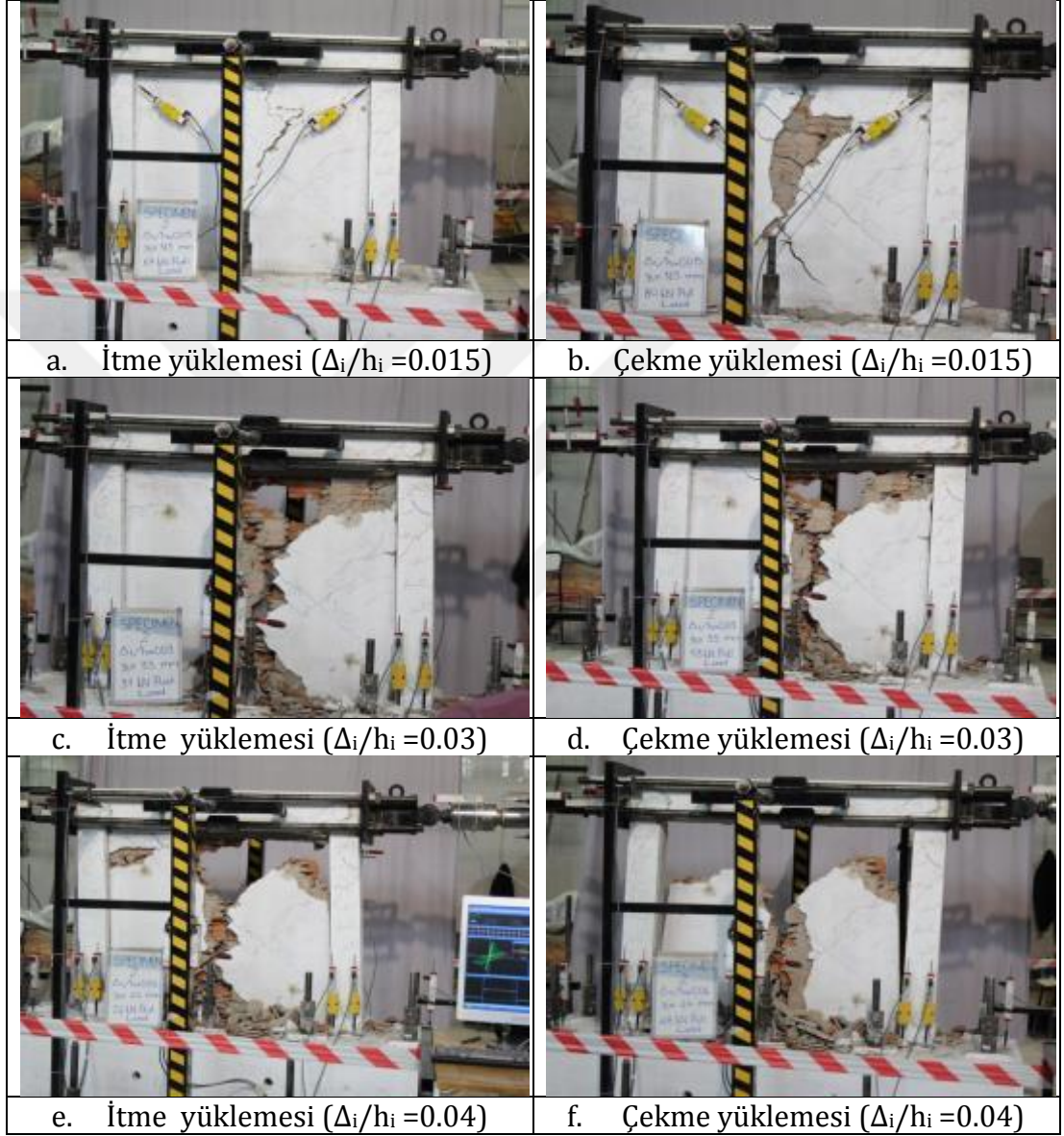


Şekil 5.7. BÇN-1 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

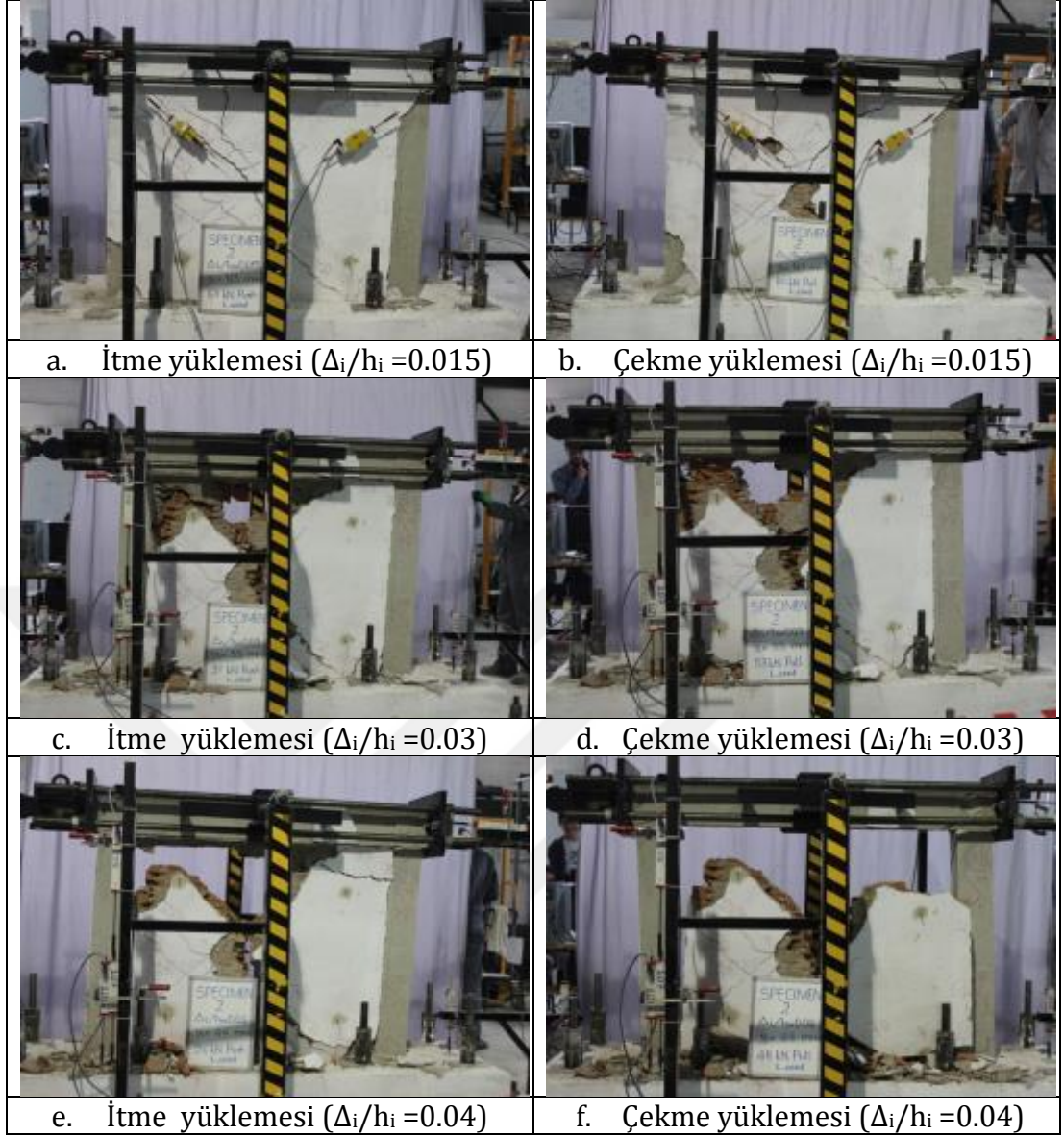
5.2. BÇN-2 Numunesi

Tam dolu dolgu duvarlı (BÇN-2) numunenin deneyinde, 20 kN yüklemesine ulaşıldığında duvar ile çerçeve arasında ayrılma çatlakları meydana gelmiştir. 25 kN çekme yüklemesinde ise duvar üzerinde X şeklinde çatlak başlangıcı gözlenmiştir. Yüklemenin artmasıyla çatlakta genişleme ve ilerleme ortaya çıkmıştır. Numune taşıma gücüne, itme yüklemesinde 98 kN değerinde ulaşırken çekme yüklemesinde 105 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüklemeden sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Yüklemede 22 mm yerdeğiştirmeye ulaşıldığında kolon alt ucunda X kesme çatlağı oluşmuştur. Daha sonraki yüklemelerde kolon boyuna donatısında burkulma gözlenmiştir. Boş

çerçevede olduğu gibi kolon elemanlarda hasarın ilerlemesiyle deney durdurulmuştur. Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’ da verilmiştir.

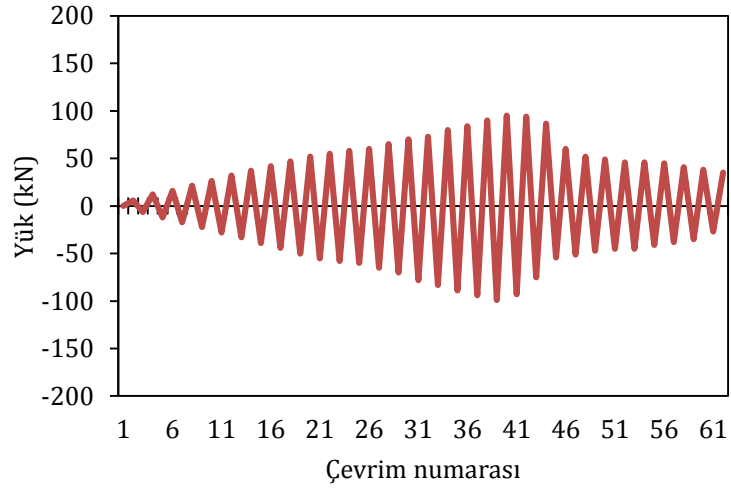


Şekil 5.8. BÇN-2 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

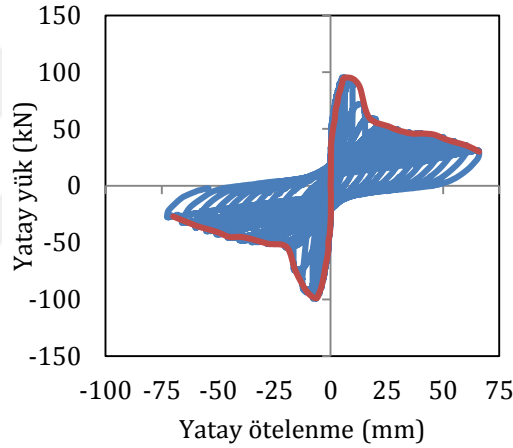


Şekil 5.9. BÇN-2 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

Numune-2 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.10'da, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.11' de verilmiştir.



Şekil 5.10. BÇN-2'ye ait yükleme protokolü



Şekil 5.11. BÇN-2 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.3. BÇN-3 Numunesi

Üçüncü numune ve sonrasında yapılan tüm deneyler, tam dolu dolgu duvarlı numunenin farklı ankraj detayları ile güçlendirilmiş durumlarını temsil etmektedir. Bu numune kolon ve kiriş elemanlarda seyrek aralıklarla yerleştirilmiş ankraj detaylarını içermektedir. Kolon ve kiriş üzerindeki ankraj aralığı 30 cm olarak uygulanmıştır. Deney düzeneği diğer deneylerle aynı şekilde oluşturulmuştur. Numunedeki ilk hasar, 25 kN yükleme değerinde dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrılma çatlağı olarak meydana gelmiştir. Kolon elemandaki ilk çatlama, 45 kN yüklemesinde kolonun alt ucunda eğilme çatlaması olarak

ortaya çıkmış ve yüklemenin artmasıyla eğilme çatlağı sayısında yukarıya doğru artma gözlenmiştir. Güçlendirilen duvar yüzündeki ilk çatlama ise 60 kN değerinde kiriş altından aşağıya doğru dik doğrultuda oluşmuştur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Güçlendirilmiş duvar yüzünde ortaya çıkan ilk çatlak (BÇN-3)

Deney sırasında 95 kN yük değerine ulaşıldığında kolon alt ucunda ve güçlendirilen duvar yüzünün ortasında ilk eğik kesme çatlağı ortaya çıkmıştır. Dolgu duvarın güçlendirilmeyen tarafında ise ilk X çatlağı 100 kN değerinde gözlenmiş ve 115 kN yüklemesinde bu çatlaklar ani olarak genişlemiştir. Numunenin taşıma gücüne itme ve çekme için 140 kN yük değerinde ulaşılmıştır. Bu yüklemekten sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Çerçevenin ötelenmesi, $\Delta_i/h_i=0.02$ seviyesine ulaştığında dolgu duvarın güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş yüzlerindeki hasar dağılımı Şekil 5.13'te verilmiştir. Güçlendirilen yüzde çok sayıda ve hasarı takip eden kare şeklinde kılcal çatlak gözlenirken güçlendirilmeyen yüzde az sayıda ve genişlemiş X çatlağı ile sıva atmaları ve tuğla duvarda dağılmalar gözlenmiştir.



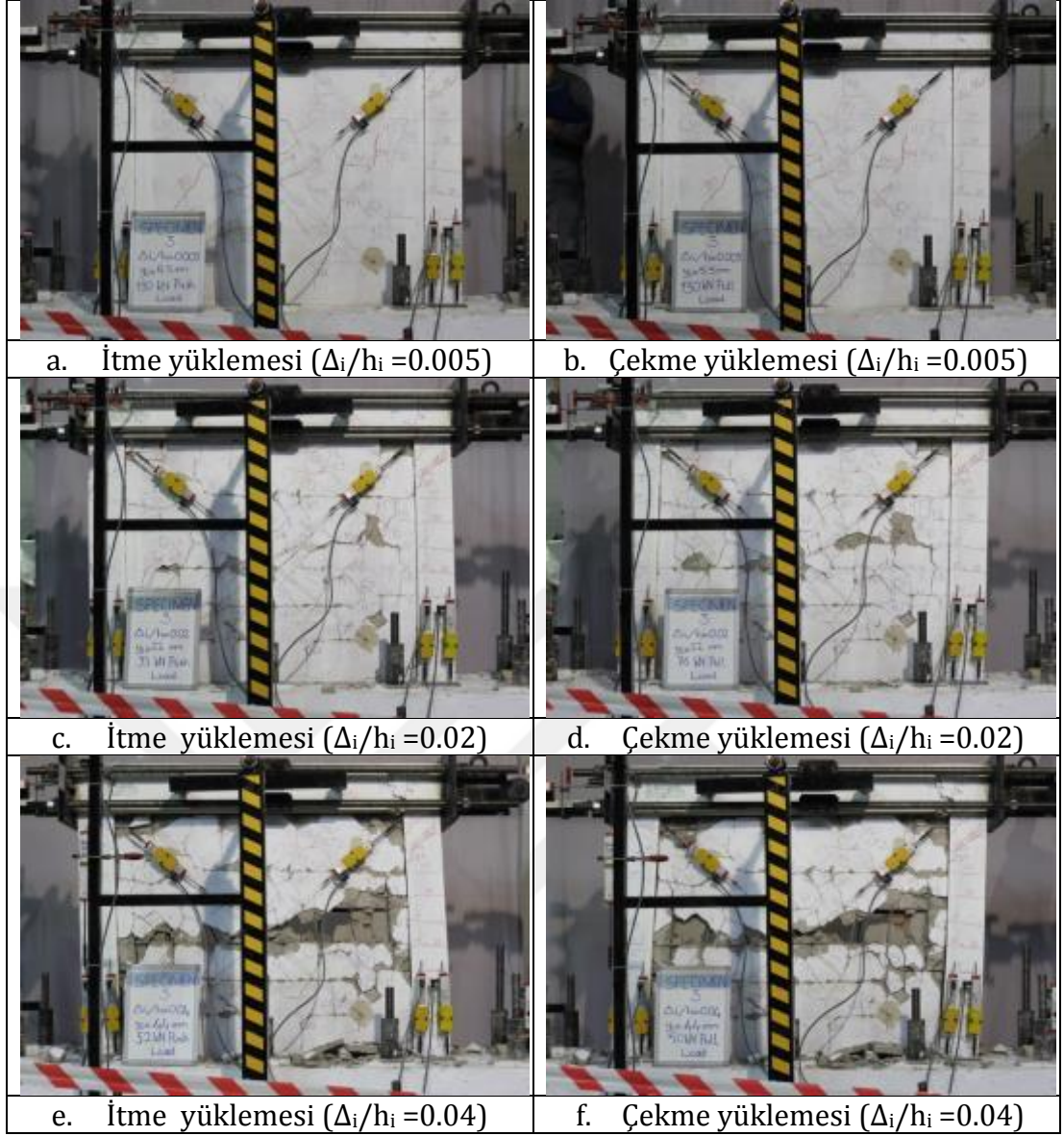
a. Güçlendirilen yüzey



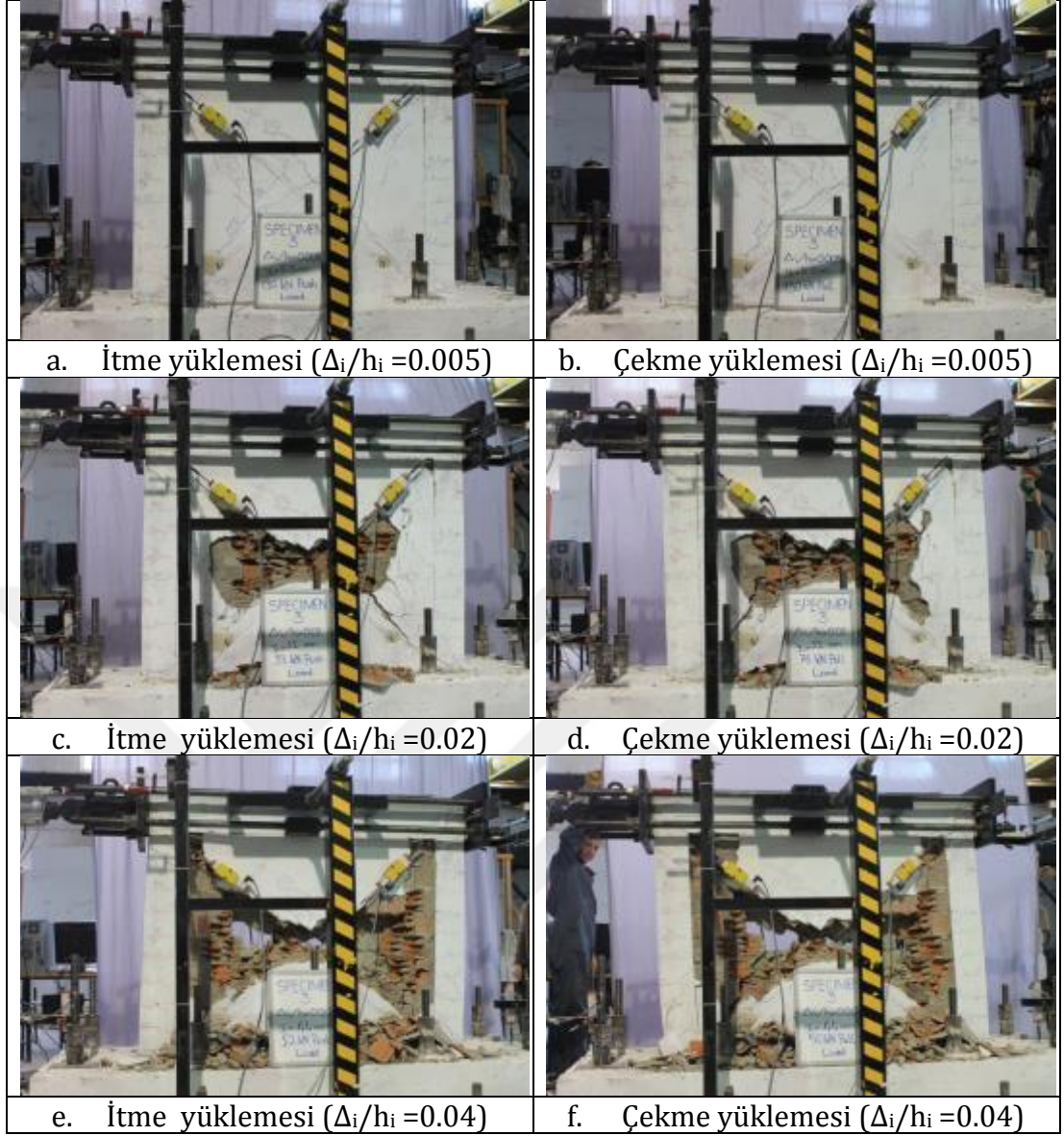
b. Güçlendirilmeyen yüzey

Şekil 5.13. BÇN-3'e ait duvar hasarlarının kıyaslanması

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.14 ve Şekil 5.15' te verilmiştir.

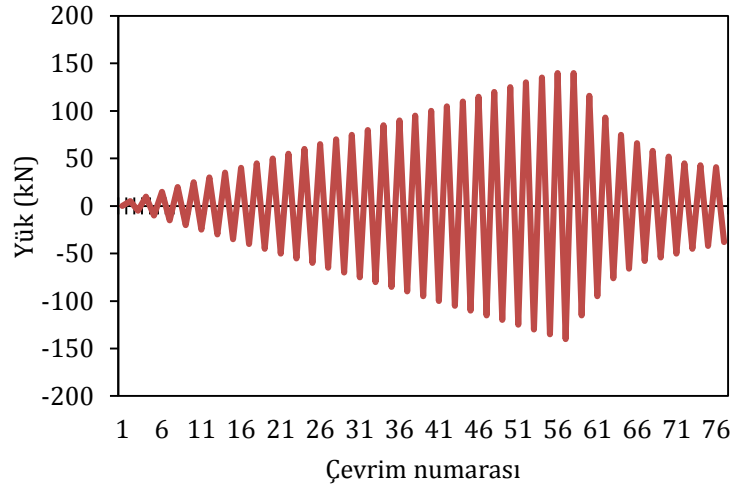


Şekil 5.14. BÇN-3 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

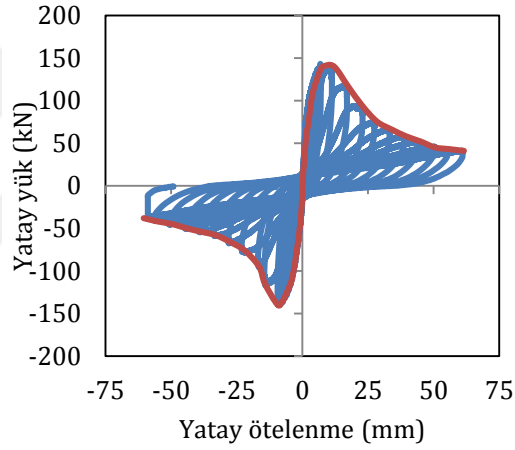


Şekil 5.15. BÇN-3 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-3 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.16'da, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.16. BÇN-3'e ait yükleme protokolü



Şekil 5.17. BÇN-3 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.4. BÇN-4 Numunesi

Dördüncü deney numunesi sık ankrajlı olarak uygulanmıştır. Kolon ve kirişlerde ankraj aralığı 15 cm'dir. Diğer tüm detaylar üçüncü numune ile aynıdır. Yapılan deney sırasında ilk çatlama 50 kN yükleme değerinde eğilme hasarı olarak kolon alt ucunda ortaya çıkmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Kolon elemanda meydana gelen ilk hasar (BÇN-4)

Kolonda oluşan eğilme hasarı genel olarak etriye hizalarını takip etmiştir. Dolgu duvarın ilk X çatlağı, güçlendirilen yüzünde 70 kN çekme ve 100 kN basınç yüklemesinde görülürken, güçlendirilmeyen yüzde 85 kN değerinde görülmüştür. Çekme yüklemesi altında duvarda oluşan çatlamlar kolonda meydana gelen eğilme çatlaklarını takip etmiştir. İtme yüklemesinin 110 kN değerinde duvar ile temel arasında ayrılma çatlakları ortaya çıkmıştır. Yüklemin artırılmasıyla duvarın güçlendirilmeyen yüzündeki X çatlaklarının genişliğinde artma gözlenmiştir. Numunenin taşıma gücüne 150 kN itme ve 145 kN çekme yüklemelerinde ulaşılmıştır. Bu yüklemelerden sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Güçlendirilmeyen duvar yüzeyinde, ani olarak oluşan X çatlağının genişlemesi, sıva tabakasında dökülme ve tuğla duvarın ortasında dağılma gözlenirken; güçlendirilen duvarın, yüzeyinde yayılmış kılcal seviyede hasarla yük taşımaya devam ettiği görülmüştür (Şekil 5.19).

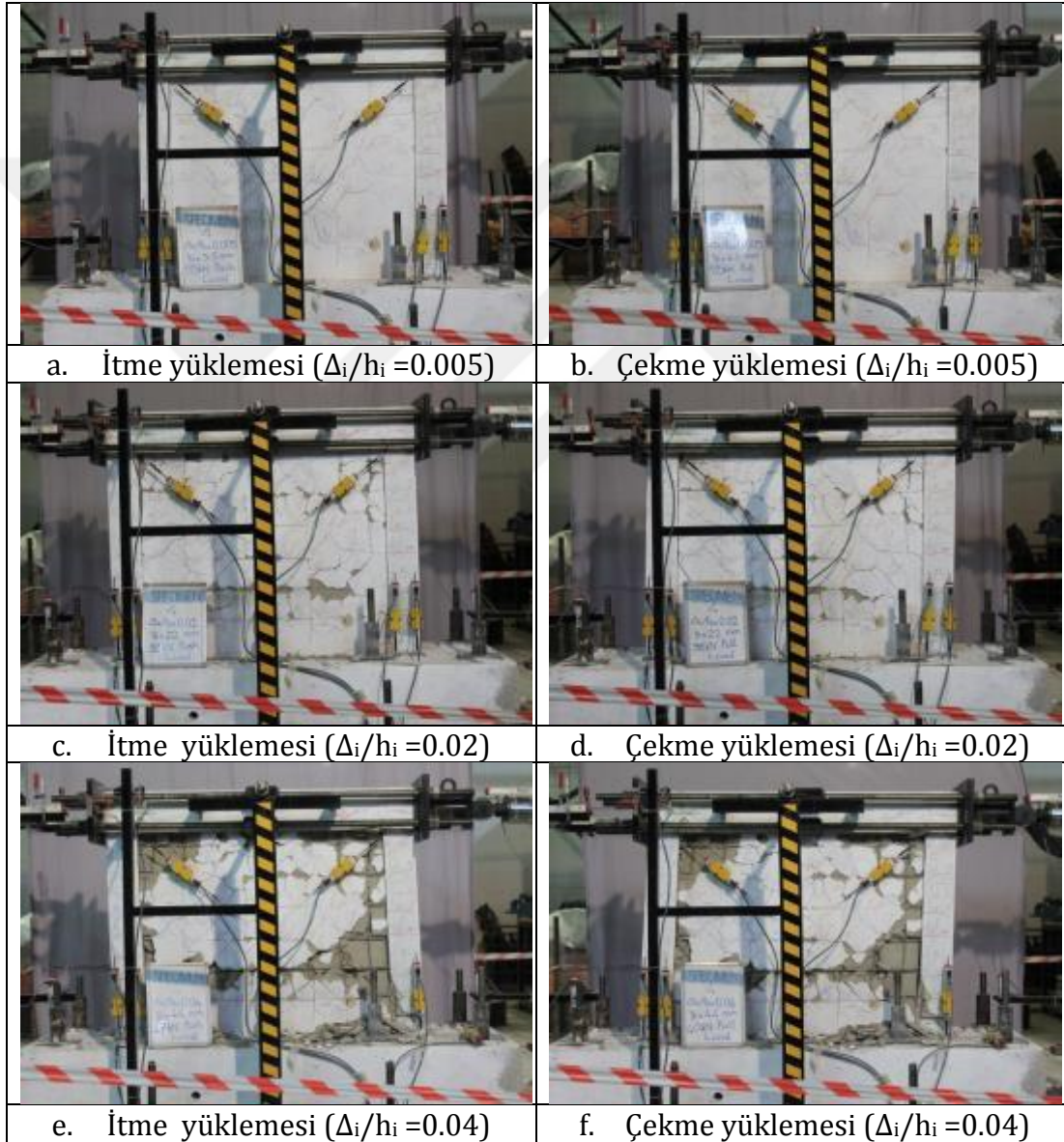


a. Güçlendirilen yüzey

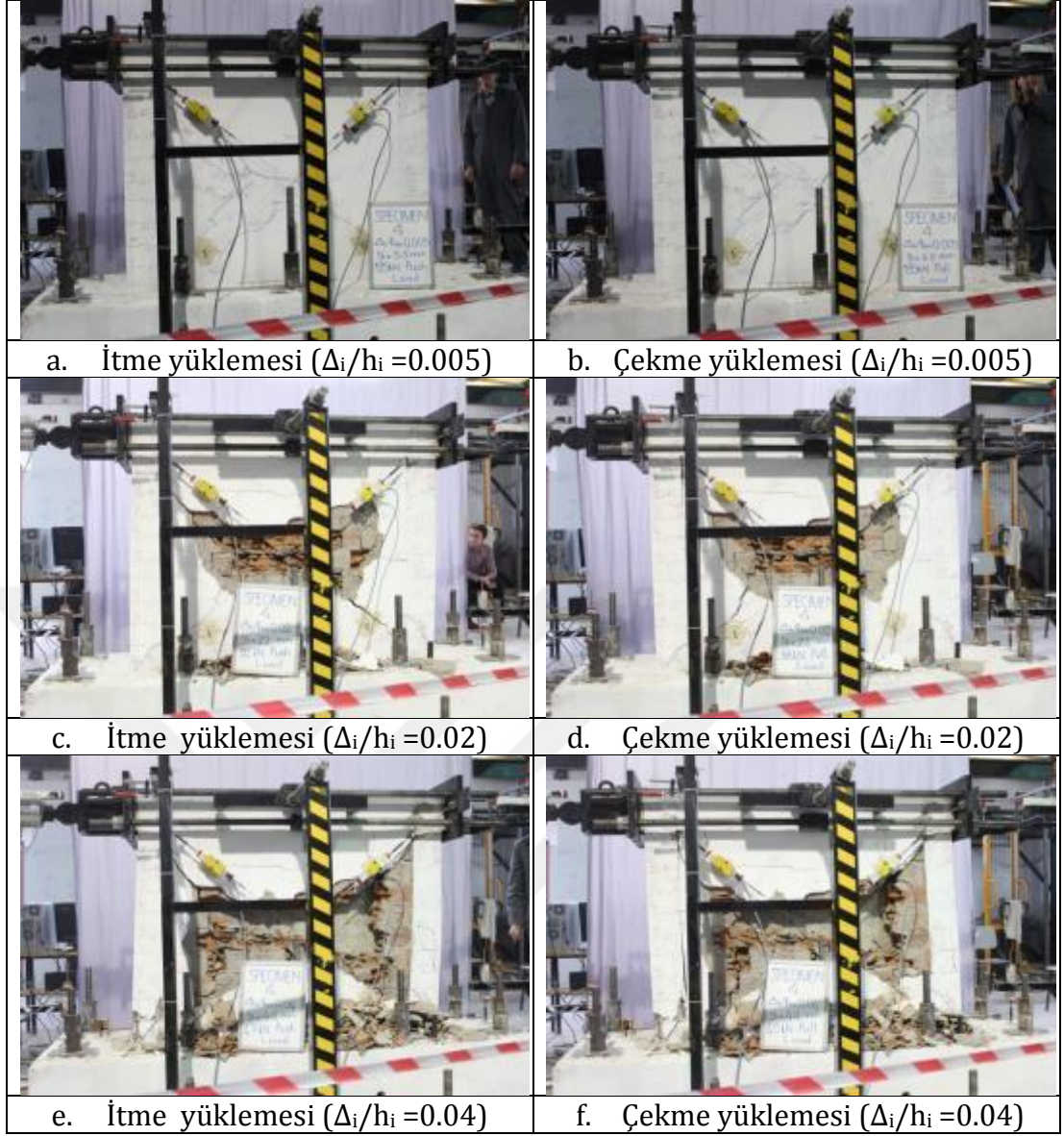
b. Güçlendirilmeyen yüzey

Şekil 5.19. Numune 4'e ait duvar hasarlarının kıyaslanması

Yerdeğiştirmenin 44 mm'ye ulaşmasıyla kolonda ani kesme kırılması ortaya çıkmış, kabuk betonu dökülmüş ve boyuna donatılar burkulmuştur. Ayrıca 55 mm yerdeğiştirmeye ulaşıldığında güçlendirme sıvasında dağılmalar, hasır donatıda kaynak yerlerinden kopmalar gözlenmiş ve deney durdurulmuştur. Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.21' de verilmiştir.

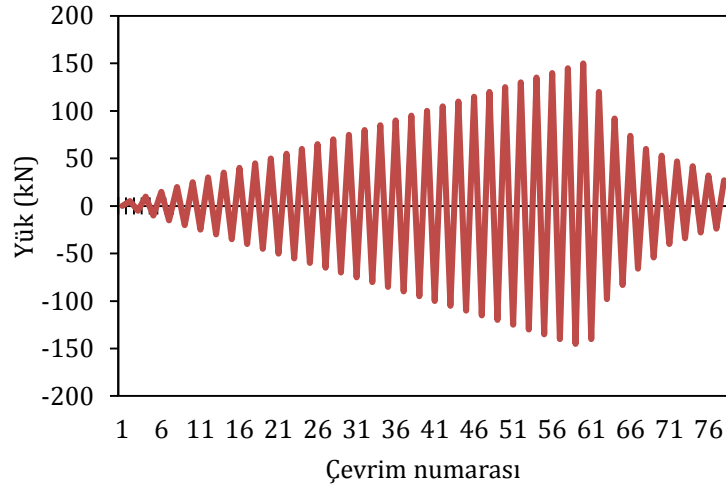


Şekil 5.20. BÇN-4 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünüşleri

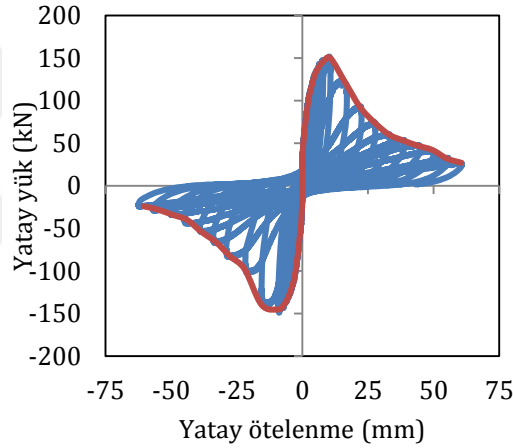


Şekil 5.21. BÇN-4 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

Numune-4 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.22' de, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.23' te verilmiştir.



Şekil 5.22. BÇN-4'e ait yükleme protokolü



Şekil 5.23. BÇN-4 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.5. BÇN-5 Numunesi

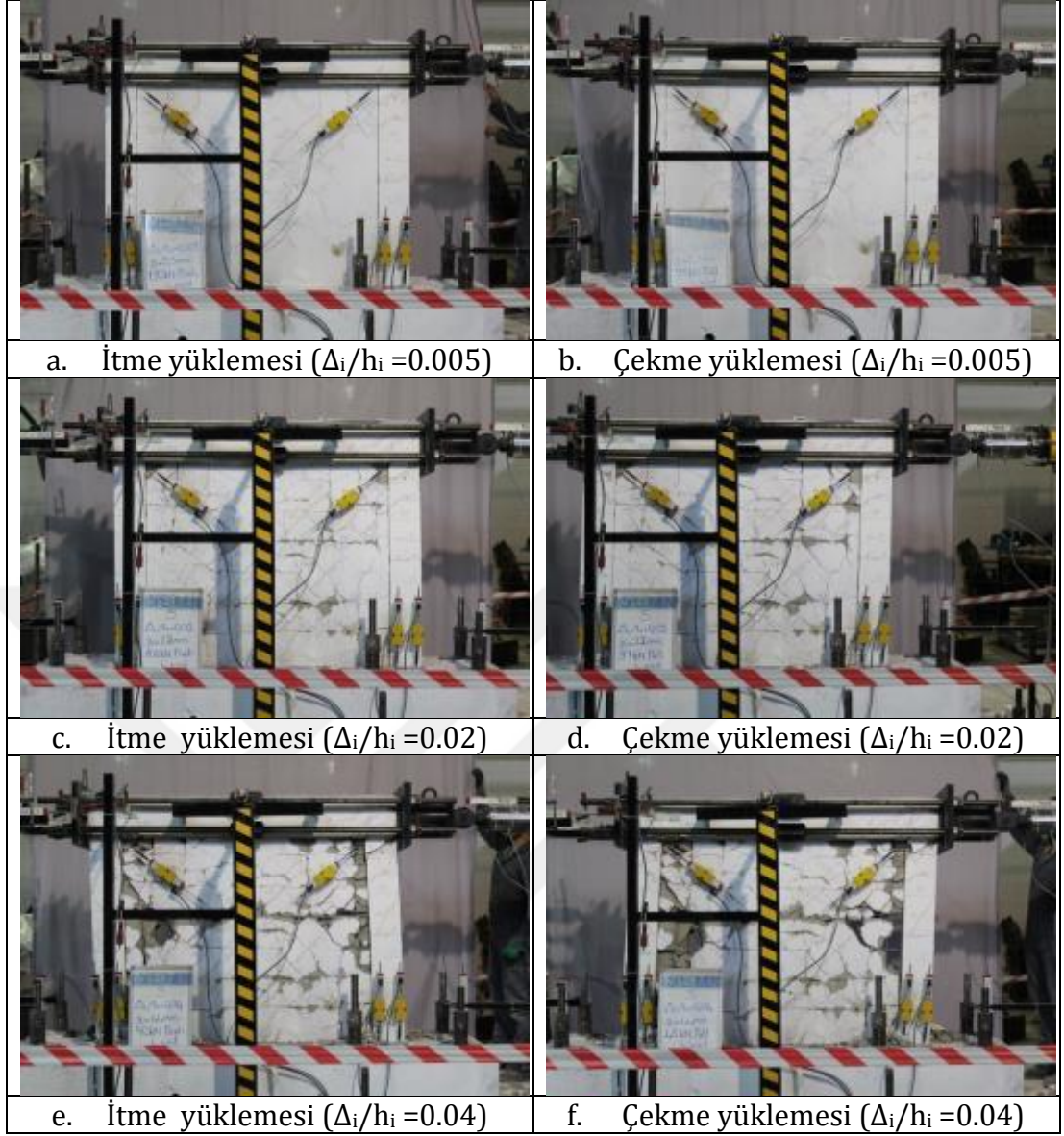
Beşinci deney numunesi kiriş ve kolon elemanlarının mesnet bölgelerinde sık ankraj, orta bölgelerinde ise seyrek ankraja karşılık gelmektedir. BÇN-3, BÇN-4 ve BÇN-5 deneylerine ait sonuçlar kıyaslanarak ankraj aralığının davranışa etkisi yorumlanabilir. Deney sırasında 45 kN yük seviyesine ulaşıldığında kolon elemanda ilk eğilme çatlağı, 55 kN yük seviyesinde ise kolon-kiriş birleşim bölgesinde eğik çekme çatlağı oluşmuştur. Güçlendirilmiş duvar yüzeyinin ortasında ilk eğik çatlak 65 kN çekme ve 70 kN basınç yüklemesinde meydana gelmiştir. Daha sonra dolgu duvar ile kolon, kiriş ve temel arasında ayrılma

çatlakları başlamıştır. Güçlendirilmemiş duvar yüzeyinde 100 kN itme yüklemesinde X çatlağı oluşmuş ve yüklemenin ilerlemesiyle bu çatlakta ani ilerleme ve genişleme gözlenmiştir. Deneyde 135 kN çekme yüklemesine ulaşıldığında kolon alt ucunda X şeklinde kesme çatlakları oluşmuştur. Deneyde çekme ve itme için 155 kN taşıma gücü yüküne ulaşılmıştır. Bu yüklemeden sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Yerdeğiştirme kontrolüne geçilmesiyle güçlendirilmeyen duvar yüzeyinde dağılmalar başlamıştır. Diğer deneylere benzer olarak kolon alt ucunda boyuna donatıda burkulma ve etriyelerde açılmalar gözlenmiştir (Şekil 5.24).

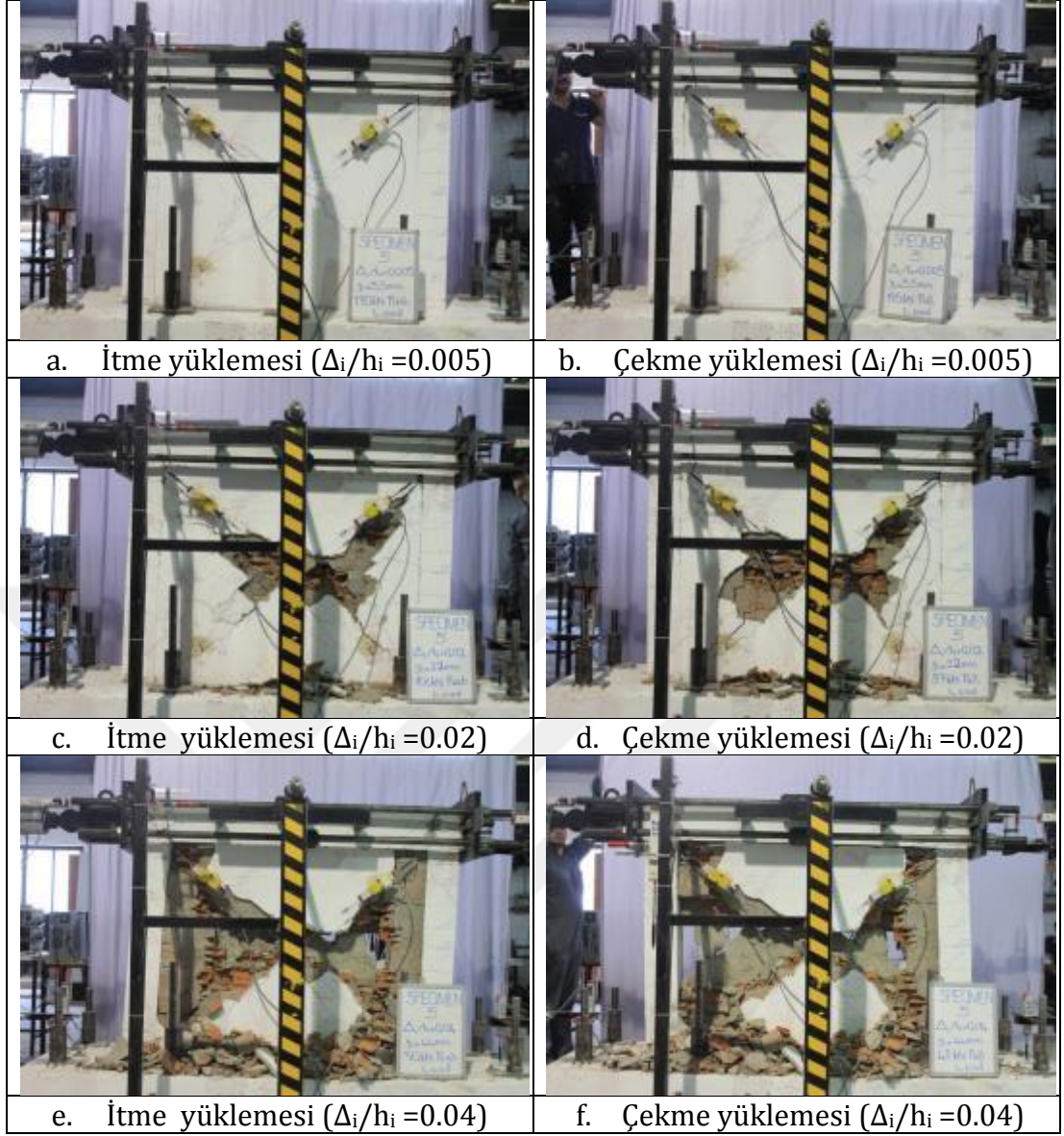


Şekil 5.24. Kolon alt ucunda etriye açılması (BÇN-5)

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.25 ve Şekil 5.26' da verilmiştir.

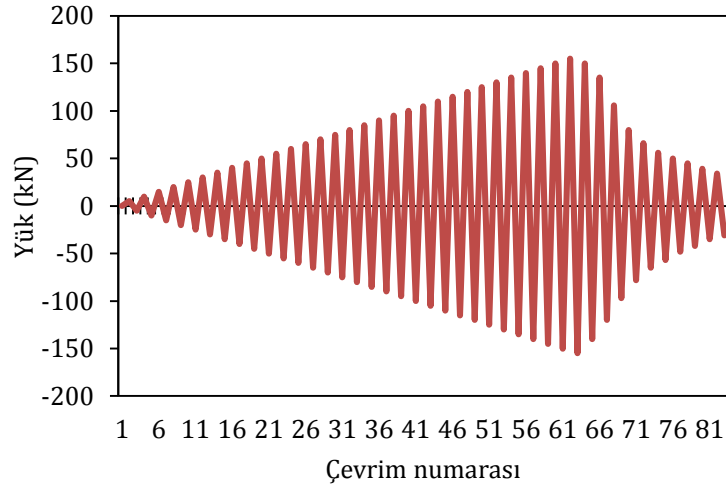


Şekil 5.25. BÇN-5 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

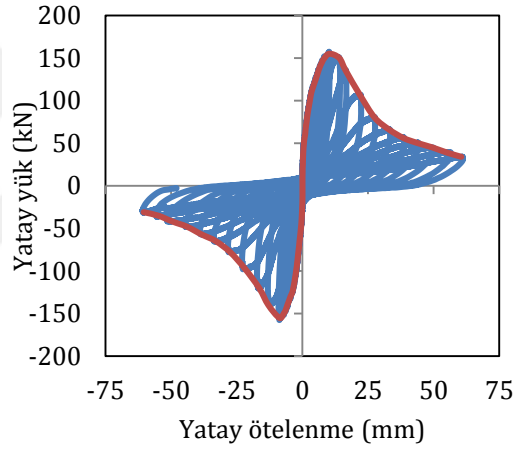


Şekil 5.26. BÇN-5 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

Numune-5 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.27’de, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.28’de verilmiştir.



Şekil 5.27. BÇN-5'e ait yükleme protokolü

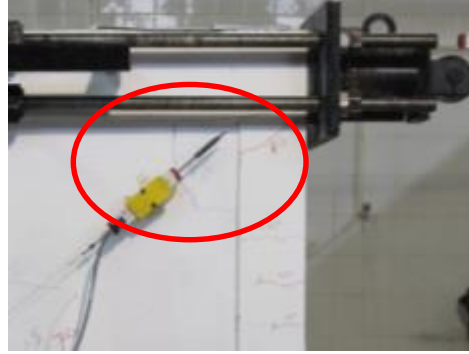


Şekil 5.28. BÇN-5 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.6. BÇN-6 Numunesi

Altıncı numunede kolon, kiriş ve temelde uygulanan ankraj aralığı 15 cm olarak seçilmiştir. Bu değer, BÇN-4 ile aynı olmasına rağmen dolgu duvar üzerindeki ankrajın dağılımı farklıdır. Dolayısıyla BÇN-4 ile BÇN-6'nın sonuçlarının kıyaslanması ile dolgu duvar üzerindeki ankraj dağılımının değişiminin davranış üzerindeki etkisi yorumlanabilir.

Kolon elemanda ilk eğilme çatlağı 45 kN yüklemesinde oluşmuştur. Yükleme değeri 60 kN değerine ulaştığında dolgu duvarın köşesinde kolon ve kirişe doğru çatlama gözlenmiştir (Şekil 5.29).

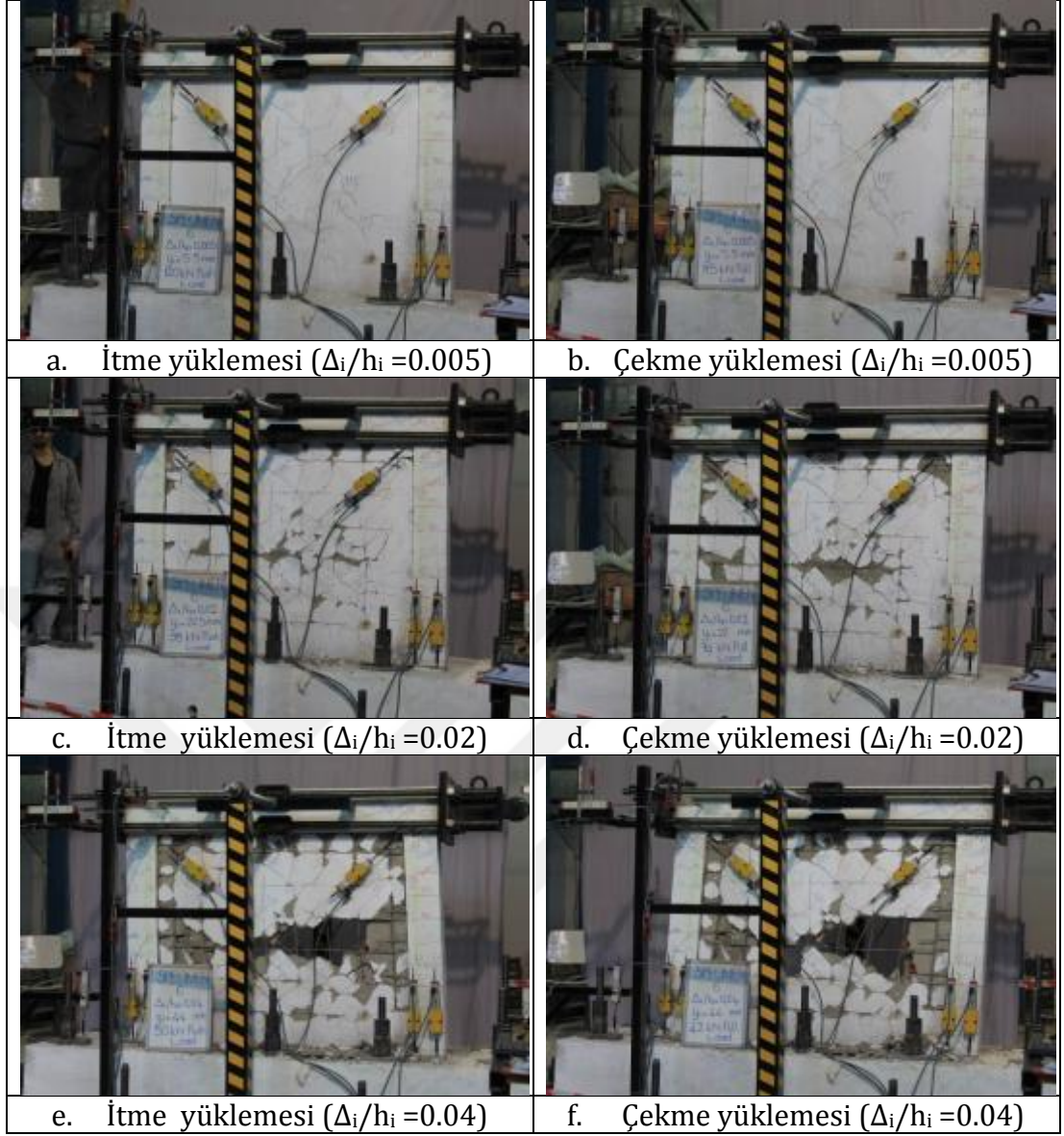


Şekil 5.29. Duvar köşesinde çatlama (BÇN-6)

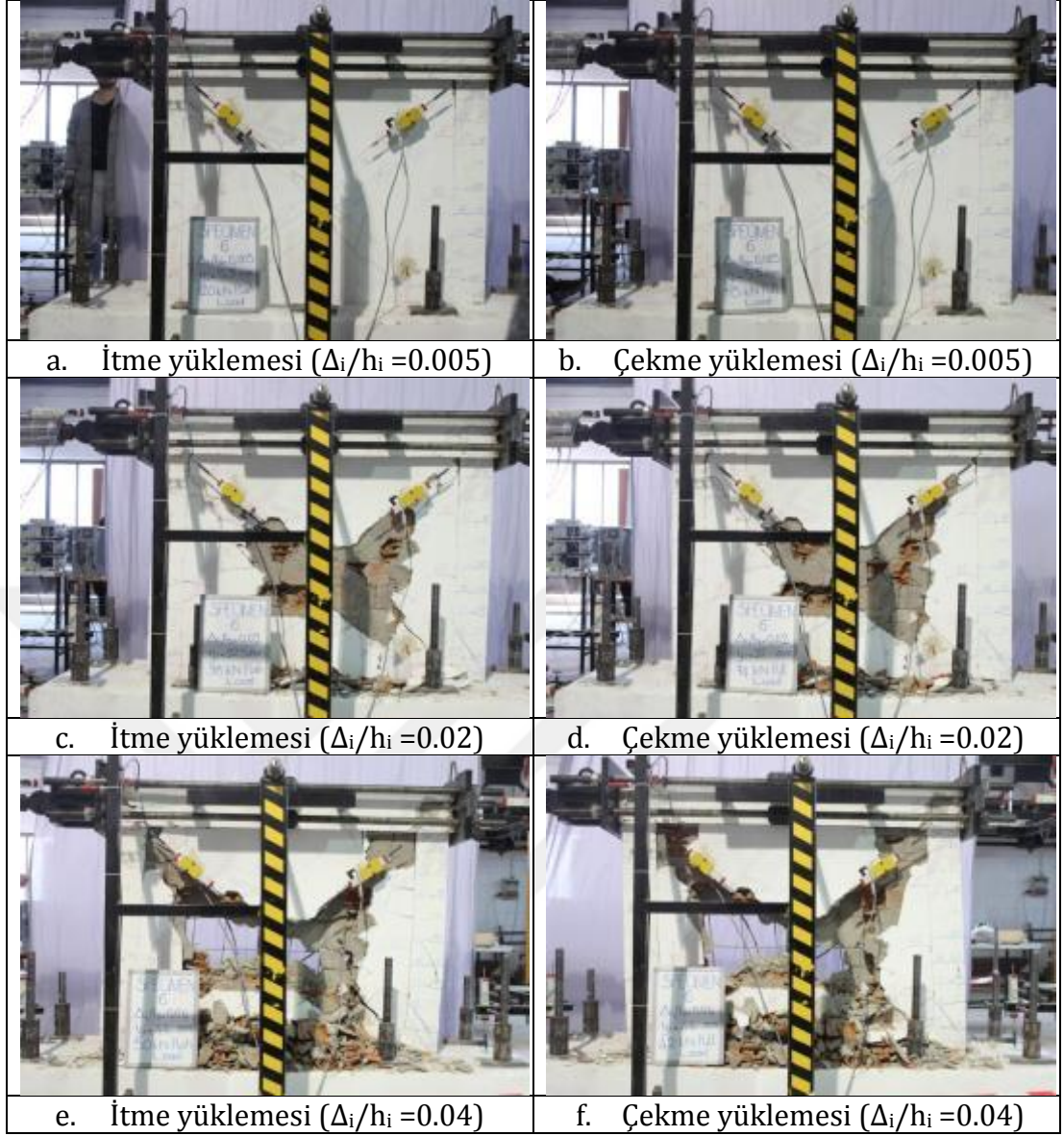
İlerleyen adımlarda dolgu duvar ile kolon ve kiriş arasında ayrılma çatlakları başlamıştır. Yük 80 kN değerine ulaştığında, dolgu duvarın güçlendirilen yüzünün ortasında X şeklinde çatlak gözlenmiştir. Yükün artırılmasıyla dolgu duvarda hasır donatıyı takip eden ve merdiven basamağına benzeyen çok sayıda kılcal çatlama meydana gelmiştir. Duvarın güçlendirilmemiş yüzünde ise 105 kN yüklemesinde X şeklinde çatlama başlamış ve 110 kN seviyesinde bu çatlak genişliğinde artma gözlenmiştir.

Deneyin devam etmesiyle kolonun üst ucunda X şeklinde çatlama ve duvar köşelerinde ezilme meydana gelmiştir. Numunede; itme için 140 kN, çekme için ise 135 kN yüklemesinde taşıma gücü yüküne ulaşılmıştır. Bu yüklemekten sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Diğer deneylerde olduğu gibi kolon alt ucunda meydana gelen kesme hasarı ve boyuna donatıda burkulma ile deney durdurulmuştur.

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’ de verilmiştir.

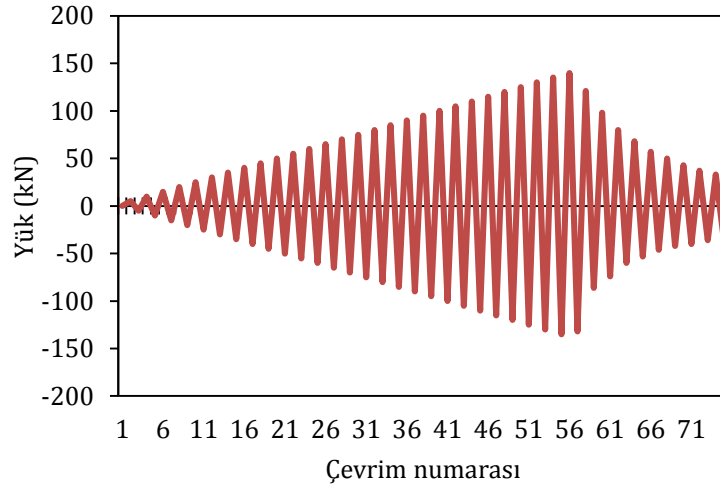


Şekil 5.30. BÇN-6 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

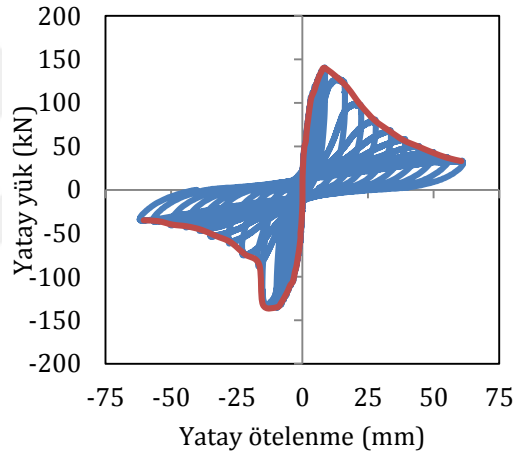


Şekil 5.31. BÇN-6 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-6 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.32' de, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.33' te verilmiştir.



Şekil 5.32. Numune 6'ya ait yükleme protokolü

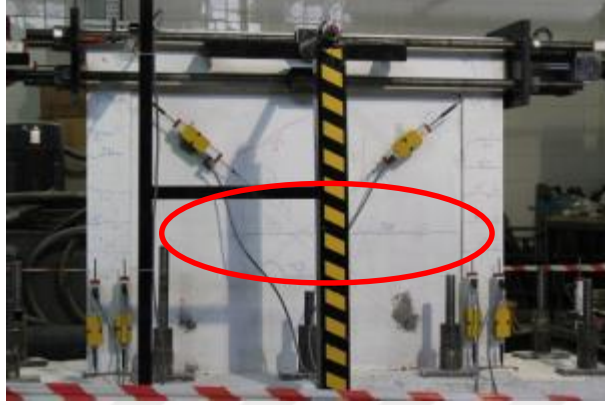


Şekil 5.33. BÇN-6 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.7. BÇN-7 Numunesi

BÇN-7'de kolon, kiriş, temel ve dolgu duvardaki ankraj yerleşimi BÇN-4 ile aynı olacak şekilde seçilmiştir. İki numune arasındaki tek fark kolon, kiriş ve temelde uygulanan ankraj çubuklarının boyunun değişimidir. BÇN-4'teki ankraj boyu 23 cm iken BÇN-7'deki boy 13 cm olarak seçilmiştir. Kolon elemanda ilk eğilme çatlağı itmede 40 kN çekmede ise 35 kN yüklemesinde meydana gelmiştir. Çekme yüklemesi 60 kN değerine ulaştığında, dolgu duvarın güçlendirilen tarafında köşelerde çatlama ve yüklemenin ilerlemesiyle bu bölgelerde ezilme meydana gelmiştir. Duvar ile kolon, kiriş ve temel arasında ayrışma çatlakları 75 kN

değerinde gözlenmiştir. Dolgu duvarın güçlendirilen tarafında 80 kN yüklemeye duvarın ortasında düşey doğrultuda çatlak başlamış, yükün 90 kN değerine ulaşması ile duvar ortasını neredeyse boydan boya kesen yatay bir çatlama meydana gelmiştir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34. Dolgu duvarda meydana gelen yatay çatlama (BÇN-7)

Dolgu duvarın güçlendirilen yüzünde hasar güçlendirilmeyen yüzündeki hasardan daha önce meydana gelmiş olmasına rağmen, hasarın ilerlemesi güçlendirilmeyen dolgu duvarda daha hızlı ortaya çıkmıştır. Yüklemenin 105 kN değerine ulaşması ile güçlendirilmeyen dolgu duvar tarafında köşelerde çatlama ve duvar ortasında X çatlağı gelişmiştir. Numunenin 110 kN yüklemesinde bu çatlak duvarda meydana gelen hasar sesleri ile birlikte ani olarak ilerlemiş ve genişlemiştir. Kolon elemanda dolgu duvardaki eğik çatlağı takip eden çatlama gözlenmiştir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35. Dolgu duvar ve kolon hasarı (BÇN-7)

Numune taşıma gücü yüküne itmede 145 kN, çekmede ise 135 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüklemelerden sonra deneyde yerdeğiştirme kontrolüne geçilmiştir. Dolgu duvarın güçlendirilmeyen tarafında X şeklinde çatlama ile orta bölgede dağılmalar gözlenirken, güçlendirilen tarafta hasır donatıyı takip eden ve çok sayıda çatlama meydana gelmiştir (Şekil 5.36).



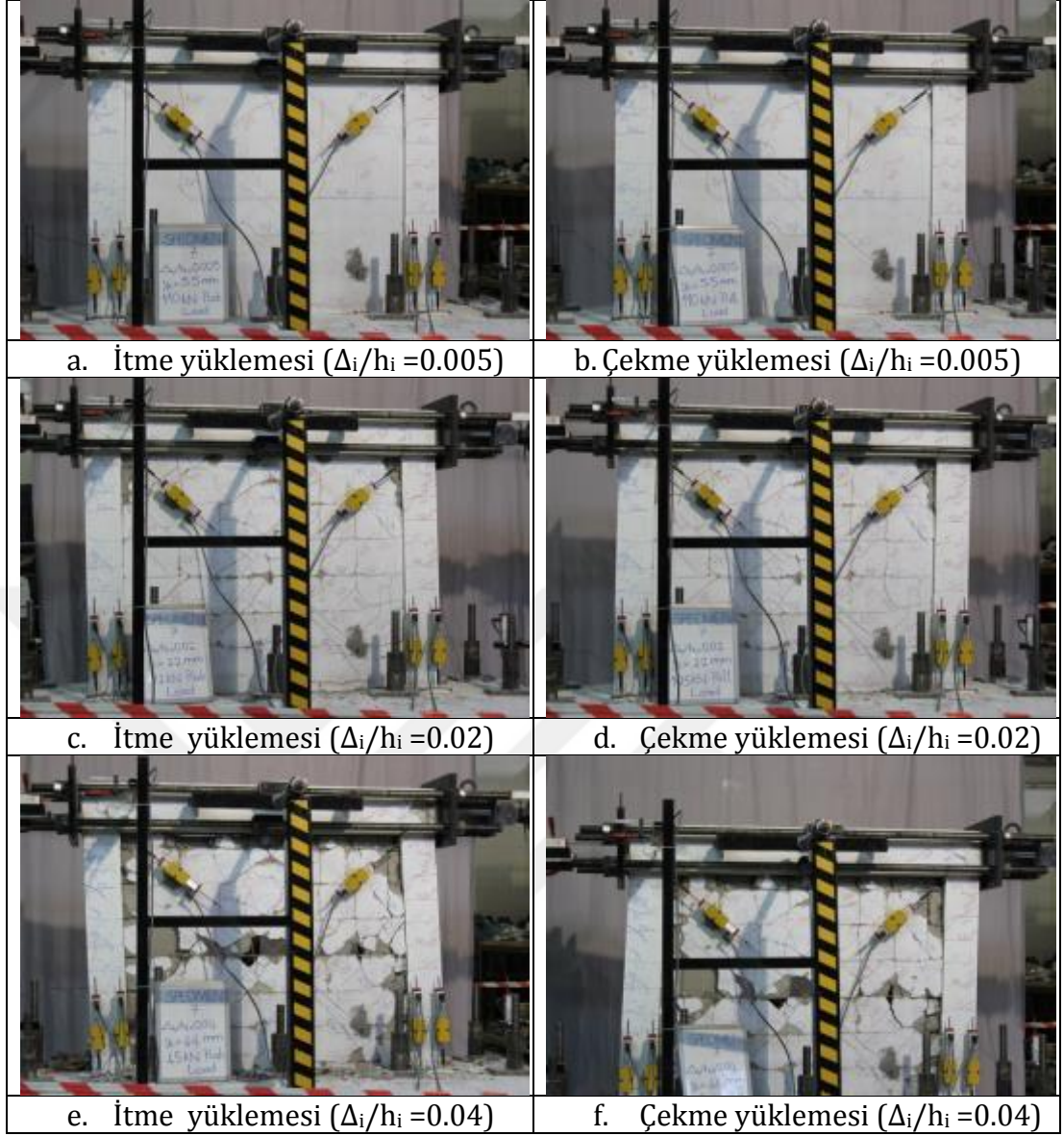
a. Güçlendirilmeyen yüz



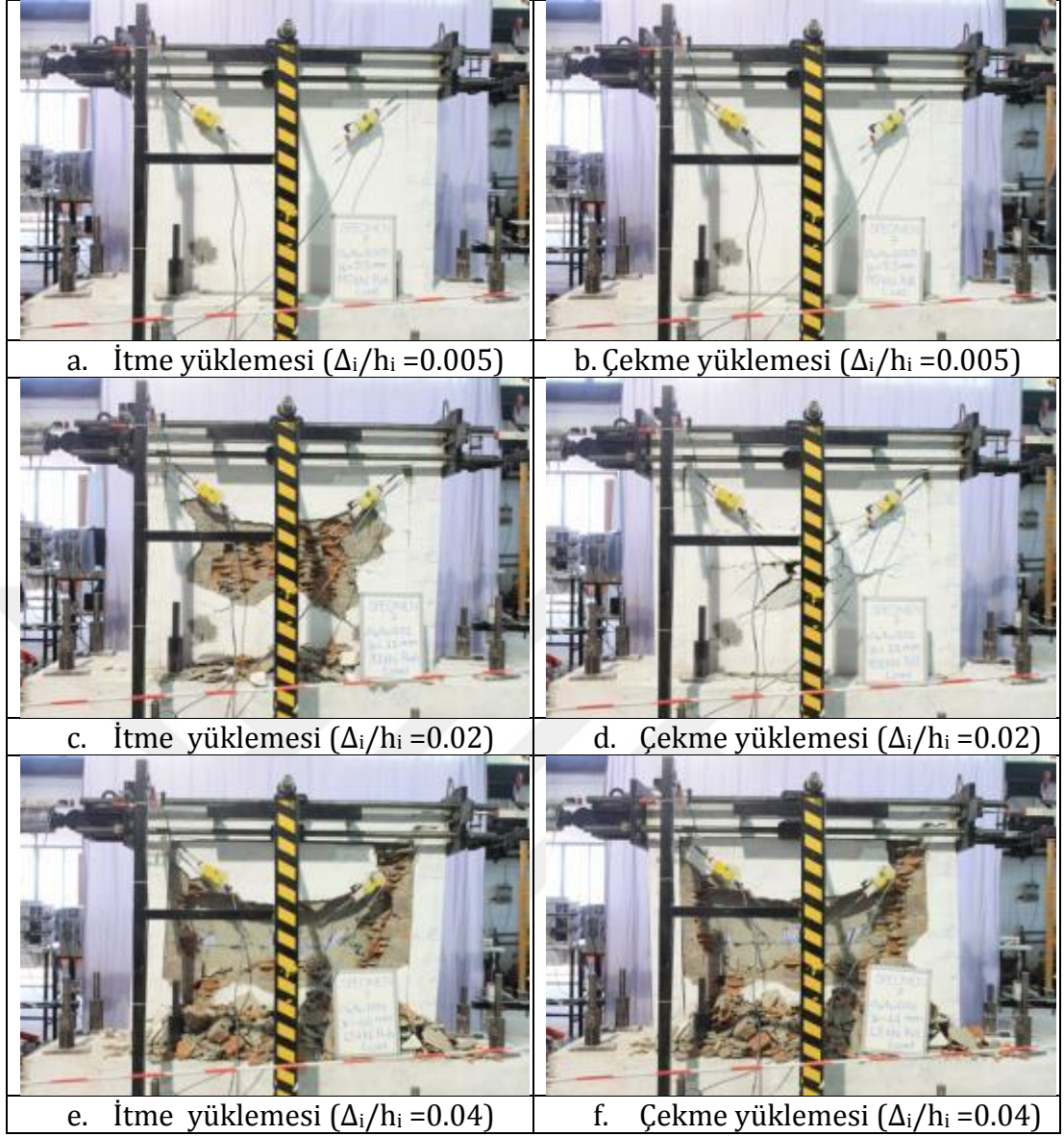
b. Güçlendirilen yüz

Şekil 5.36. Dolgu duvarda meydana gelen hasar (BÇN-7)

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’ de verilmiştir.

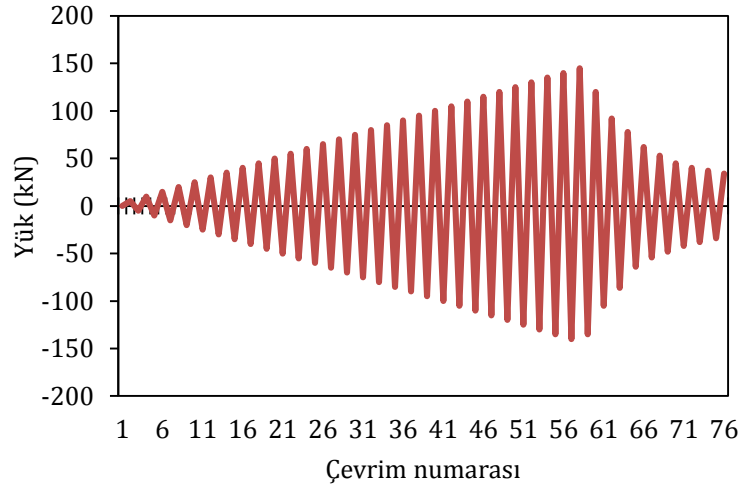


Şekil 5.37. BÇN-7 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

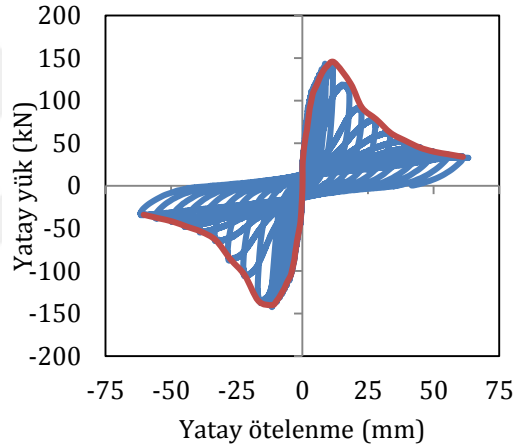


Şekil 5.38. BÇN-7 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-7 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.39' da, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.40' da verilmiştir.



Şekil 5.38. BÇN-7'ye ait yükleme protokolü



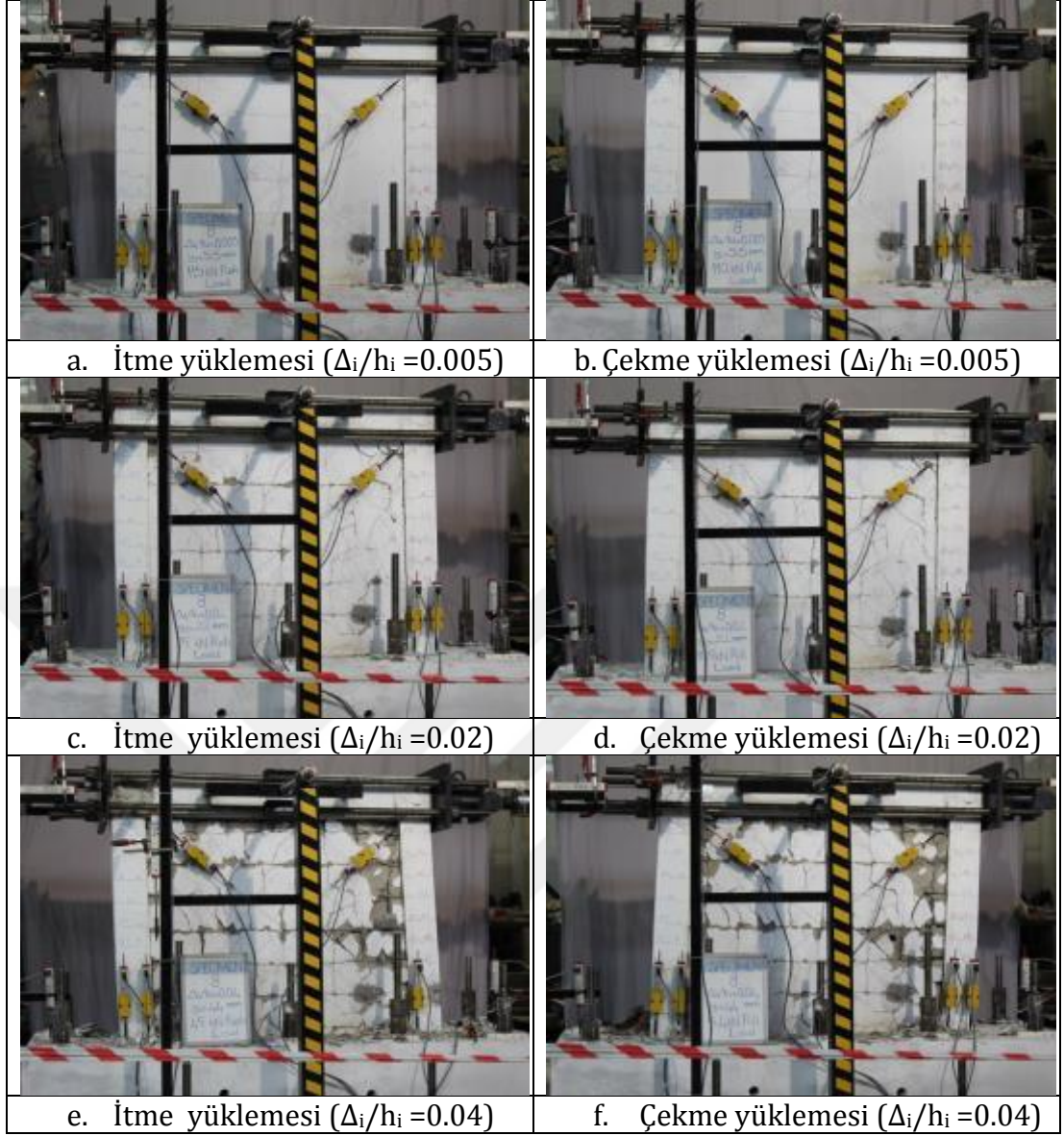
Şekil 5.39. BÇN-7 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.8. BÇN-8 Numunesi

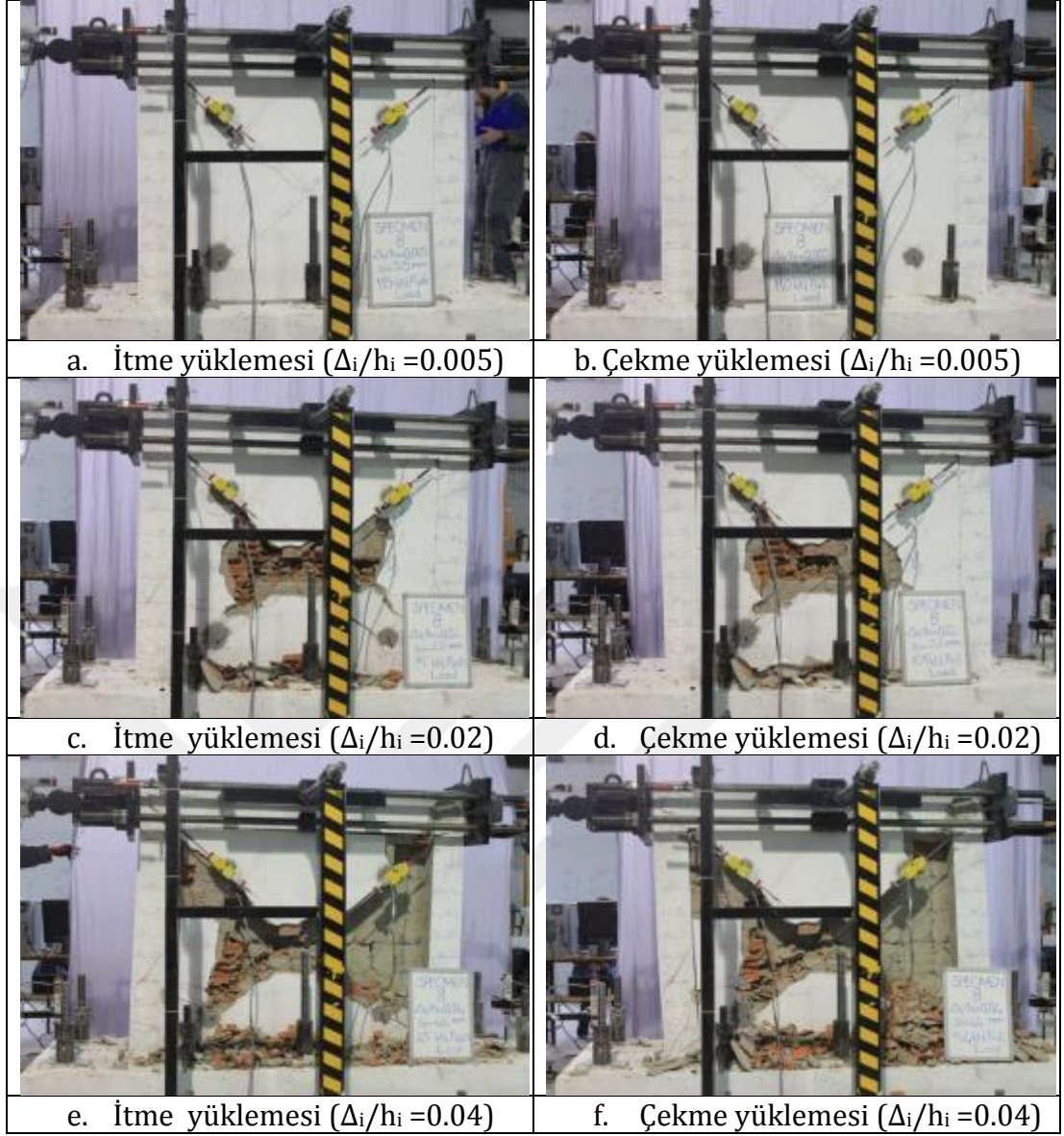
Sekizinci numunenin yedinci numuneden tek farkı ankraj boyunun 18 cm olmasıdır. BÇN-4, BÇN-7 ve BÇN-8 değerlerinin kıyaslanması ile ankraj boyunun değişiminin davranışa etkisi yorumlanabilecektir. Numunede ilk olarak 40 kN basınç yüklemesinde ve 45 kN çekme yüklemesinde kolon alt ucunda çatlak meydana gelmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme şeklinde çatlama gözlenmiştir. Deneyde 65 kN itme yüklemesinde kolon üst ucunda X şeklinde ve dolgu duvarın çerçeveden ayrılma çatlakları başlamıştır. Bu hasarı takiben dolgu

duvarın güçlendirme uygulanan tarafının köşelerinde çatlama başlamıştır. Duvar ortasında yatay çatlak oluşumu ve merdiven basamağına benzer hasar gelişimi gözlenmiştir. Güçlendirilmeyen dolgu duvar tarafında ise 95 kN yüklemede ilk X çatlağı oluşarak çatlama ani olarak ilerlemiş ve genişlemiştir. Numune taşıma gücüne; itmede 140 kN, çekmede ise 150 kN yük değerinde ulaşılmıştır. Bu yüklemelerden sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Güçlendirilmeyen dolgu duvar tarafında duvar ortasında X çatlağının genişlemesiyle dökülmeler başlamıştır. Deney numunesinin 38.5 mm yüklemede 22 mm kalıcı yerdeğiştirme gözlenmiştir. Deneye kolon boyuna donatılarının burkulması ile son verilmiştir.

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.41 ve Şekil 5.42' de verilmiştir.

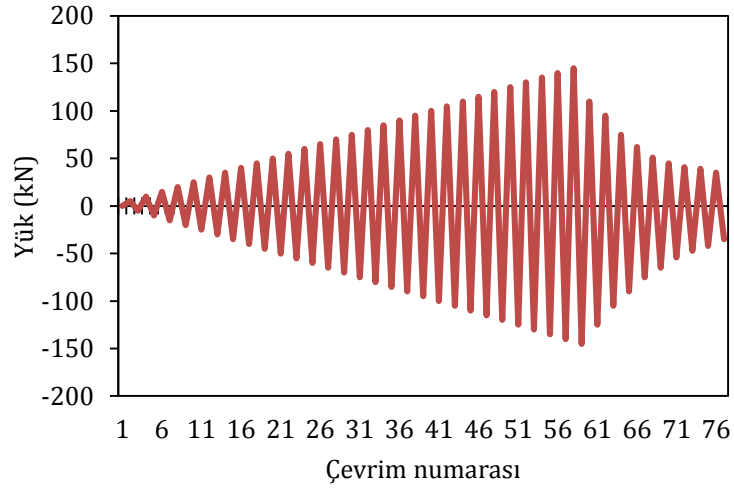


Şekil 5.40. BÇN-8 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

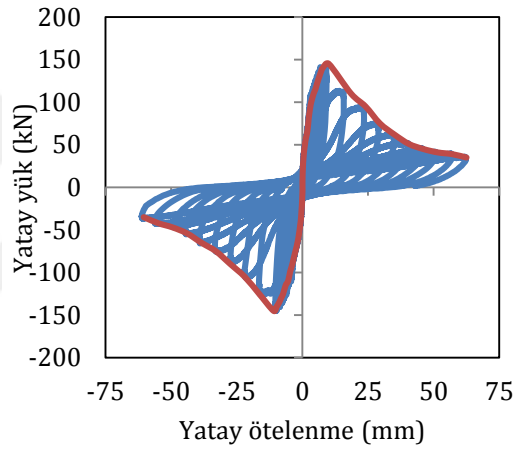


Şekil 5.41. BÇN-8 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-8 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.43' te, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.44' te verilmiştir.



Şekil 5.42. BÇN-8'e ait yükleme protokolü



Şekil 5.43. BÇN-8 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

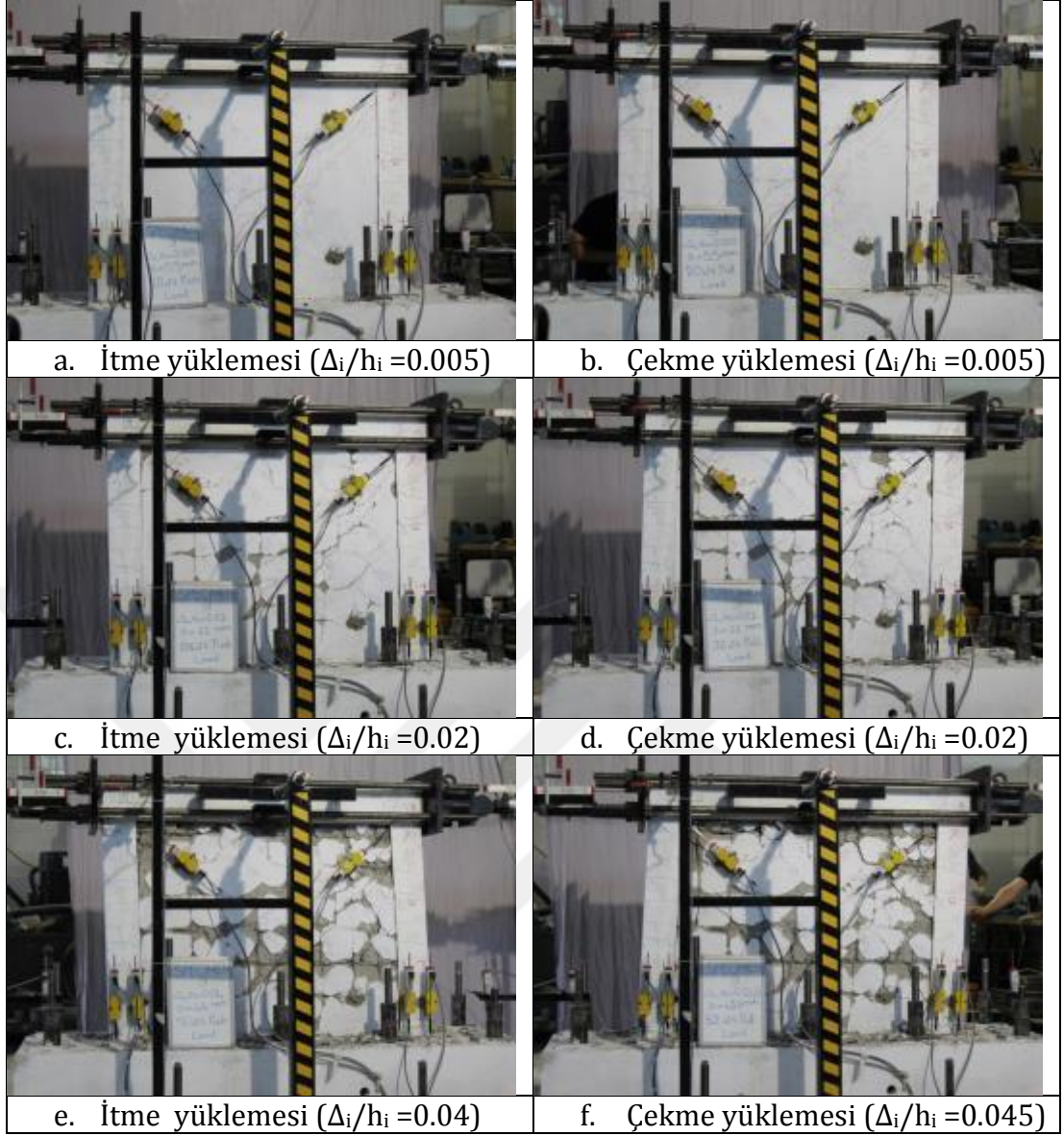
5.9. BÇN-9 Numunesi

Dokuzuncu numunede kolon, kiriş ve temele yapılan ankraj uygulamasında donatı yerine lama kullanılmıştır. Lama aralığı dördüncü numunedeki ankraj aralığı (15 cm) ile aynı seçilmiştir. Hasır donatıya dış açılarak hasır donatı lama elemanı üzerine açılan delikten geçirilerek somun ile sıkılmıştır.

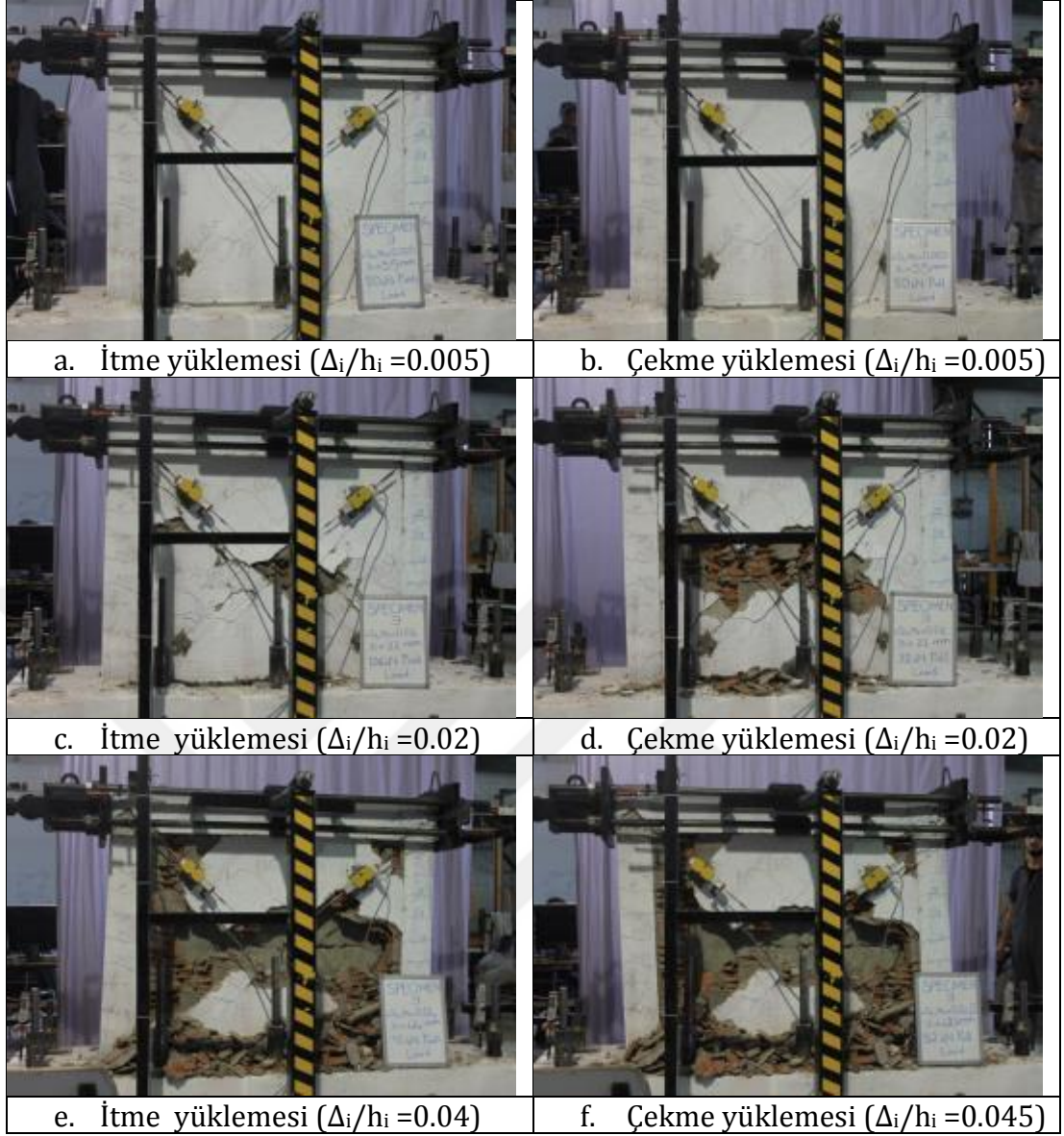
Numunedeki ilk çatlama kolon elemanda 45 kN yüklemesinde meydana gelmiştir. Yüklemenin bir sonraki adımında kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlama gözlenmiştir. Dolgu duvar ile kolon, kiriş ve temel arasında ayrılma çatlakları ve

güçlendirilen duvar yüzündeki köşelerde çatlamlar meydana gelmiştir. Güçlendirilen duvar yüzündeki ilk X çatlağı 80 kN değerinde oluşurken, güçlendirilmeyen duvar yüzündeki çatlama 100 kN değerinde gözlenmiştir. Deneye devam edilmesiyle güçlendirilmeyen yüzde oluşan X şeklindeki çatlamlar ani olarak ilerlemiş ve genişlemiştir. Güçlendirilen duvar yüzünde sıva dökülmeleri, 135 kN itme yüklemesi taşıma gücüne ulaşılması ile görülmüştür. Çekmedeki taşıma gücü yükü ise 130 kN olarak elde edilmiştir.

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.45 ve Şekil 5.46' da verilmiştir.

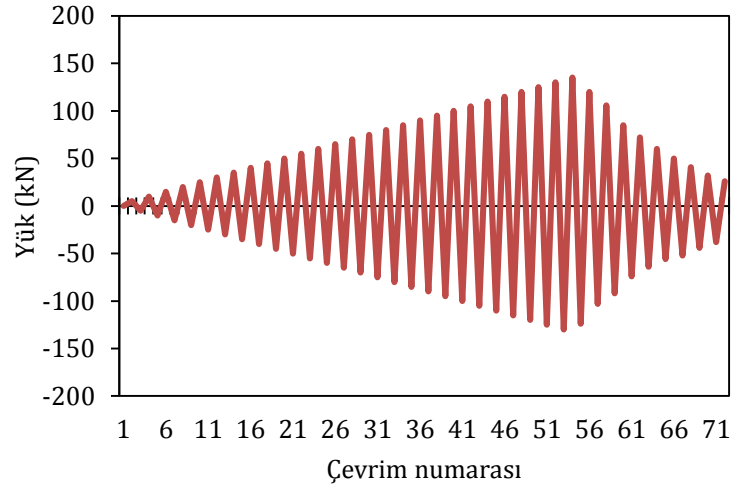


Şekil 5.44. BÇN-9 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

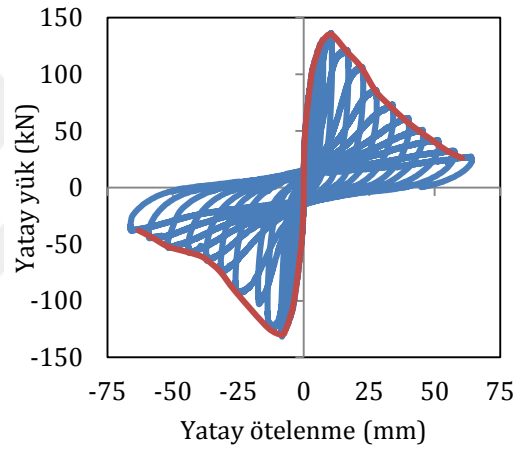


Şekil 5.45. BÇN-9 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-9 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.47' de, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.48' de verilmiştir.



Şekil 5.46. BÇN-9'a ait yükleme protokolü



Şekil 5.47. BÇN-9 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.10. BÇN-10 Numunesi

Onuncu numunenin diğer numunelerden en önemli farkı 2007 DBYBHY'te güçlendirme için bahsedilen kolon ile duvar arasında bulunması gereken 3 cm dış çıkıntısının olmamasıdır. Güçlendirme uygulaması dışın bulunduğu yüzdeyde değil, kolon-kiriş ve duvarın aynı hizada olduğu yüzeyde uygulanmıştır.

Deneyin yapılması sırasında ilk hasar 30 kN çekme yüklemesinde güçlendirme sıvası ile kolon eleman arasında ayrılma çatlağı olarak başlamıştır. Bu ayrılma çatlaması yükün 50 kN'a ulaşmasıyla tüm çerçevede gözlenmiş ve yükün

artmasıyla genişlemiştir (Şekil 5.49). Kolon elemanda ilk eğilme çatlamaşı itme ve çekme için 60 kN yüklemede meydana gelmiştir.



Şekil 5.48. Güçlendirme sıvası ile kolon ayrılması (BÇN-10)

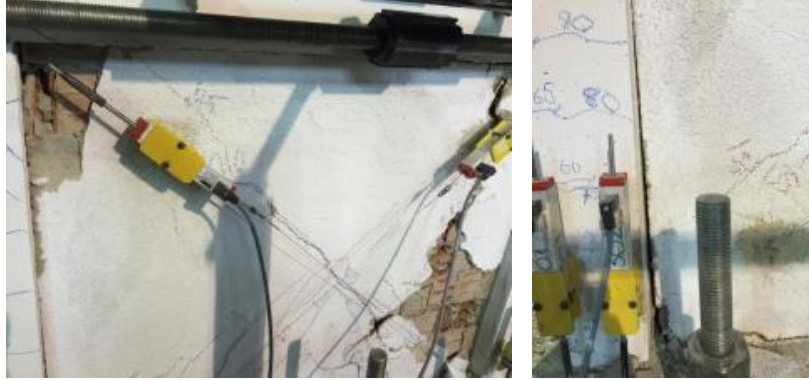
Yükün 85 kN değerinde dolgu duvarın güçlendirilen dış yüzünde, güçlendirme sıvasının köşelerinde yay şeklinde çatlama meydana gelmiştir (Şekil 5.50).



Şekil 5.49. Güçlendirme sıvasının köşe hasarı (BÇN-10)

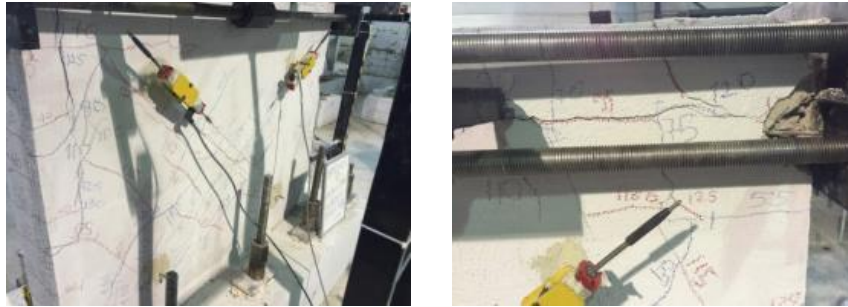
Dolgu duvarın hem güçlendirilen hemde güçlendirilmeyen yüzünde kılcal X çatlağı aynı yüklemede gözlenmiştir. Bu çatlama çekme yüklemesi için 105 kN değerinde, itme yüklemesi için ise 110 kN değerinde meydana gelmiştir. Kolon elemanın alt ucunda kesme çatlağı 125 kN yüklemede oluşmuştur.

Güçlendirilmemiş duvar tarafında köşelerde ezilme meydana gelmiş ve çerçeve ile dolgu duvar arasındaki ayrılma çatlakları belirginleşmiştir (Şekil 5.51).



Şekil 5.50. Dolgu duvar köşesinde ezilme ve çerçeve ile ayrılması (BÇN-10)

Numunenin taşıma gücü yükü, itme yüklemesi için 135 kN, çekme yüklemesi için ise 130 kN olarak elde edilmiştir. Bu yüklemeden sonra deneye yer değiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir. Yer değiştirmenin 22 mm değerine ulaşmasıyla güçlendirilmeyen duvar tarafında sıva dökülmeleri ve tuğla duvarda dağılma başlamıştır. Güçlendirilen duvar yüzünde ise kiriş ve kolon elemanında ankraj uygulanan seviyede, kolon ve kiriş elemanlara paralel olarak çatlamlar gözlenmiştir (Şekil 5.52).



Şekil 5.51. Güçlendirilen duvar yüzünde kolon ve kirişe paralel çatlama (BÇN10)

Yüklemenin ilerleyen adımlarında kolon alt ucunda beton dağılması ve boyuna donatının burkulması ile deney durdurulmuştur (Şekil 5.53). Deneyin son aşamasında güçlendirilen duvar yüzeyinde temele ekilen ankrajlarda eğilme ve temel ile duvar arasında ayrılma hasarı olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.54).

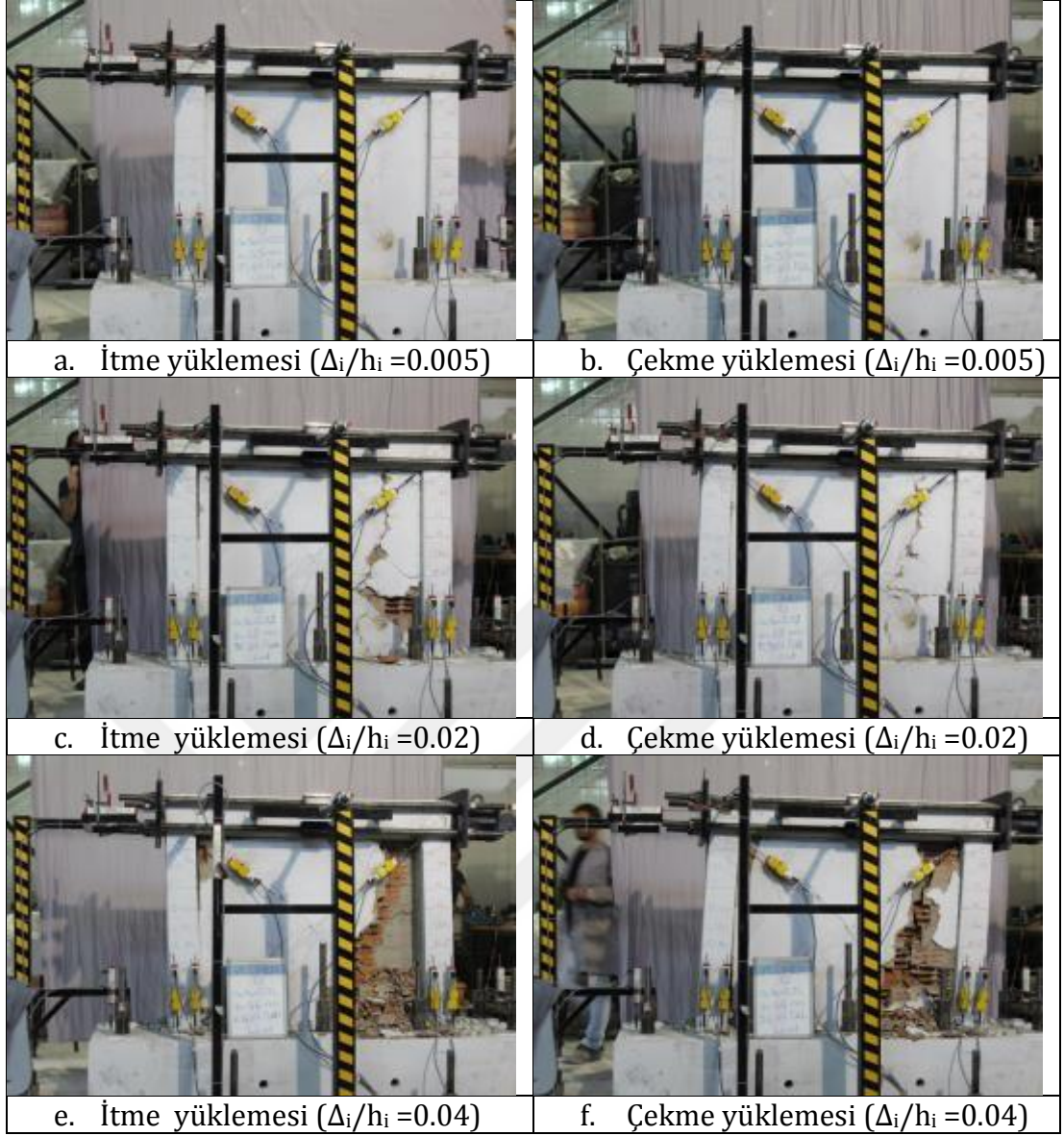


Şekil 5.52. Kolon alt ucunda boyuna donatıda burkulma (BÇN-10)

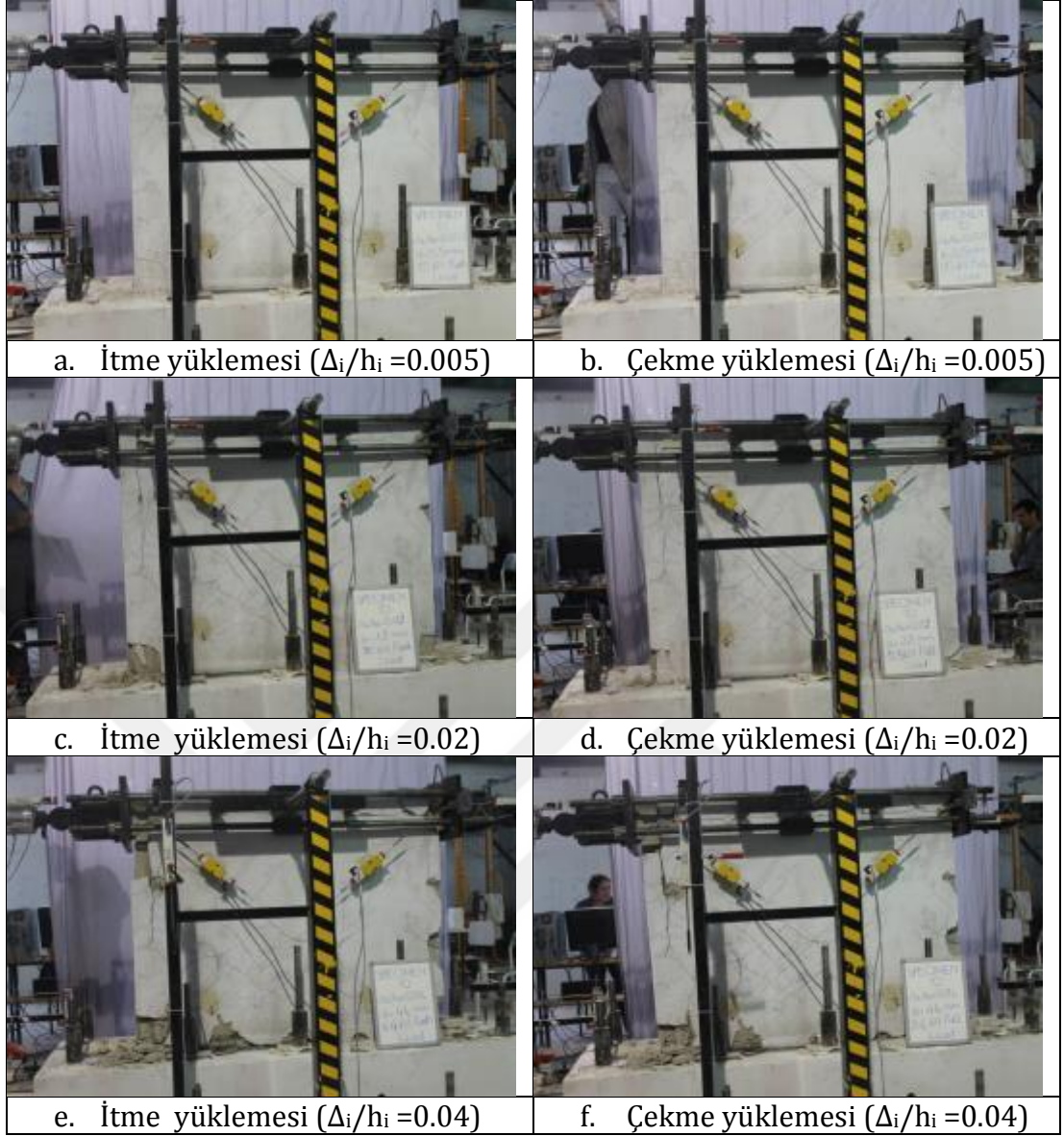


Şekil 5.53. Temel ankrajlarında eğilme (BÇN-10)

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.55 ve Şekil 5.56' da verilmiştir.

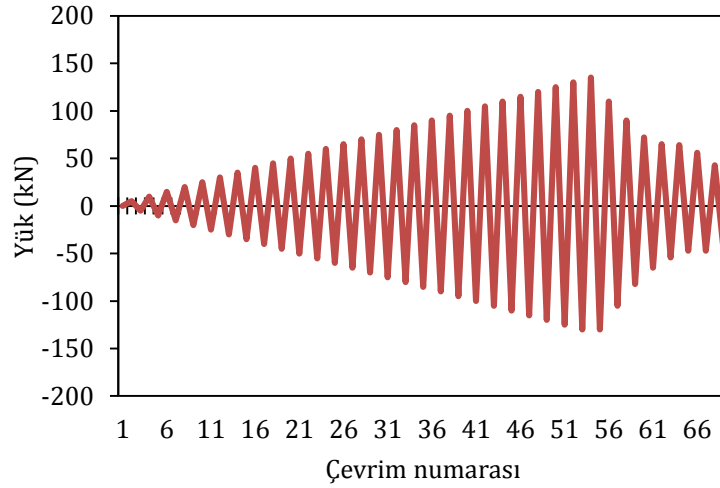


Şekil 5.54. BÇN-10 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

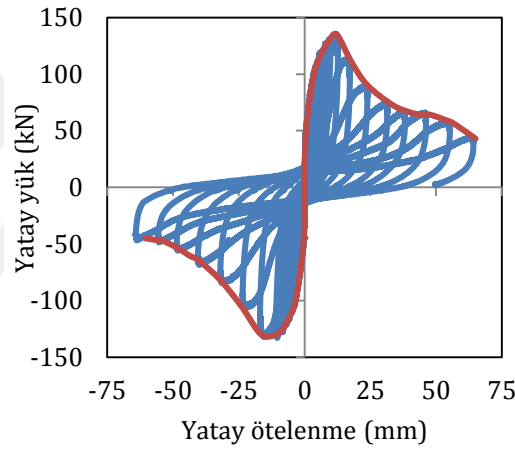


Şekil 5.55. BÇN-10 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-10 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.57' de, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.58' de verilmiştir.



Şekil 5.56. BÇN-10'a ait yükleme protokolü



Şekil 5.57. BÇN-10 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

5.11. BÇN-11 Numunesi

Onbirinci numune, bir önceki numune gibi dıştan güçlendirme olarak uygulanmıştır. Bu iki numune arasındaki temel fark, bu numunede kolon, kiriş, temel ve dolgu duvara daha sık aralıklarla ankraj uygulamasının yapılmasıdır. Bir önceki deneye benzer olarak numunedeki ilk çatlama 30 kN yüklemesinde güçlendirme sıvası ile kolon arasında kılcal ayrılma çatlak şeklinde görülmüştür. Çekme yüklemesinde ise güçlendirilen duvar yüzü köşelerinde yine yay görünümüne benzer hasar oluşmuştur (Şekil 5.59). Kolon elemanda ilk çatlama

55 kN itme ve çekme yüklemesinde kolon alt ucunda eğilme hasarı olarak görülmüştür.



Şekil 5.58. Güçlendirme sıvası ile kolon ayrışma çatlağı (BÇN-11)

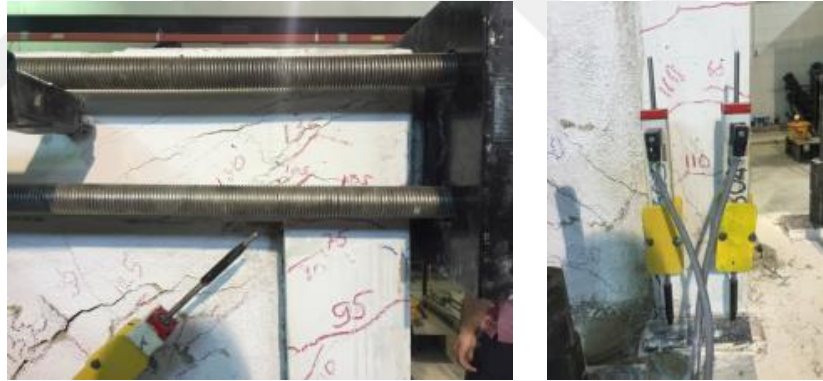
Yüklemenin 70 kN değerinde güçlendirme tarafında kiriş ve kolon ankrajlarının uygulandığı bölgelerde elemanları takip eden çatlama meydana gelmiştir. Dolgu duvardaki ilk X çatlağı; güçlendirilen dolgu duvar tarafında 80 kN çekme ve 95 kN itme yüklemesinde gözlenirken, güçlendirilmeyen tarafta 90 kN itme ve 95 kN çekme yüklemesinde gözlenmiştir.

Diğer güçlendirme deneylerine benzer olarak güçlendirilen dolgu duvar yüzünde hasarı takip eden merdiven basamağına benzeyen çok sayıda çatlama meydana gelmiştir (Şekil 5.60).



Şekil 5.59. Güçlendirilen dolgu duvar yüzündeki hasar oluşumu (BÇN-11)

Numunenin 130 kN yüklemede kolon ve kiriş elemanlarda ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme hasarları gözlenmiştir (Şekil 5.61). Numune itme ve çekmede 145 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. Bu yüklemekten sonra deneye yerdeğiştirme kontrollü olarak devam edilmiştir.



Şekil 5.60. Elemanlarda meydana gelen kesme hasarı (BÇN-11)

Deneyde yerdeğiştirme kontrolüne geçilmesiyle kolon kesme çatlağını takip eden güçlendirme sıvası ve temel ayrılma çatlağında ani genişleme gözlenmiştir. (Şekil 5.62)



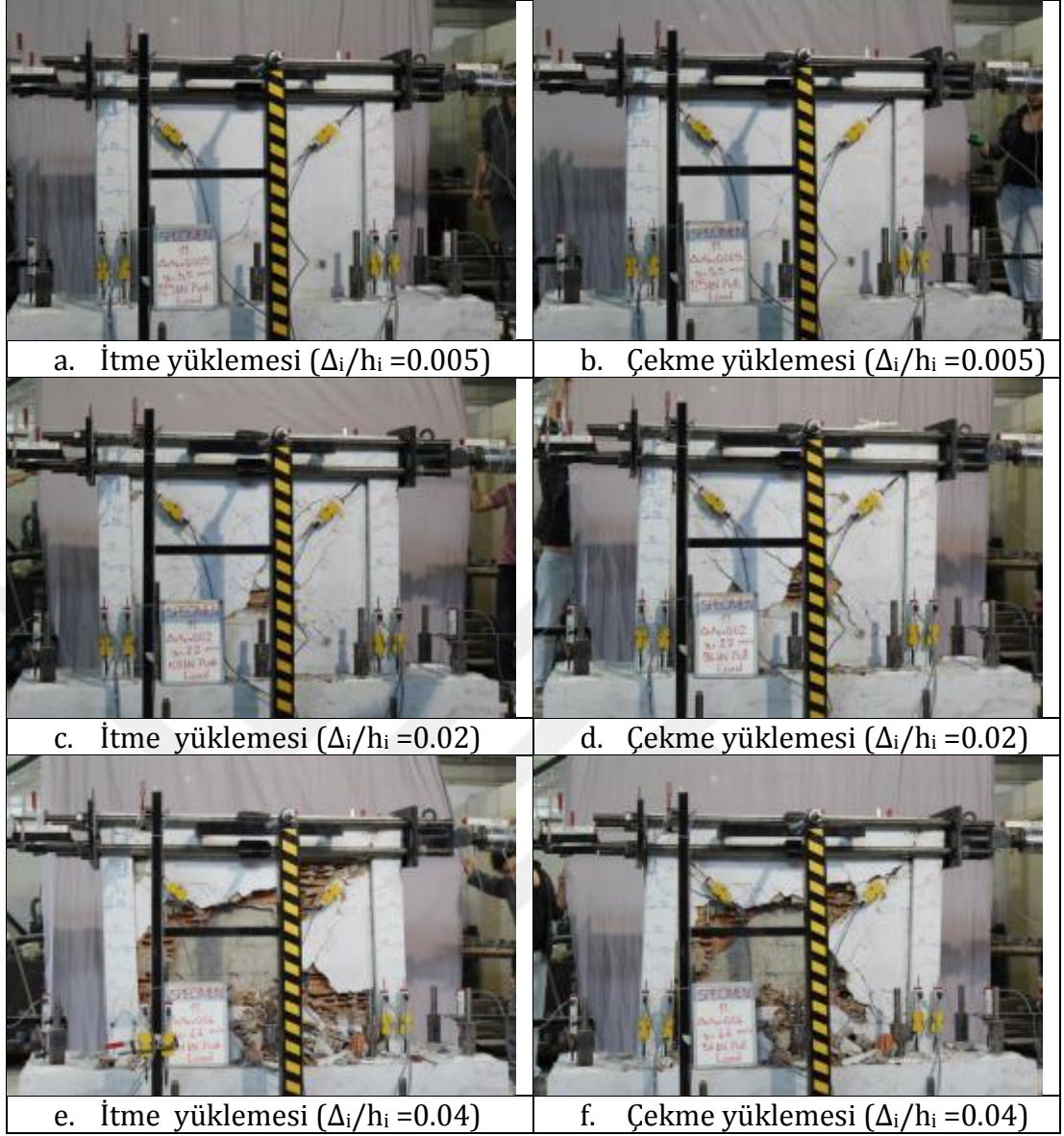
Şekil 5.61. Güçlendirme sıvası ile temel ayrılma çatlağı (BÇN-11)

Kolon üzerindeki ankraj hizasını takip eden ve kolon boyunca meydana gelen çatlama önemli derecede genişleme gözlenmiştir. Bu hasarı takiben temel üzerindeki ankraj çubuklarında eğilme ortaya çıkmıştır (Şekil 5.63).

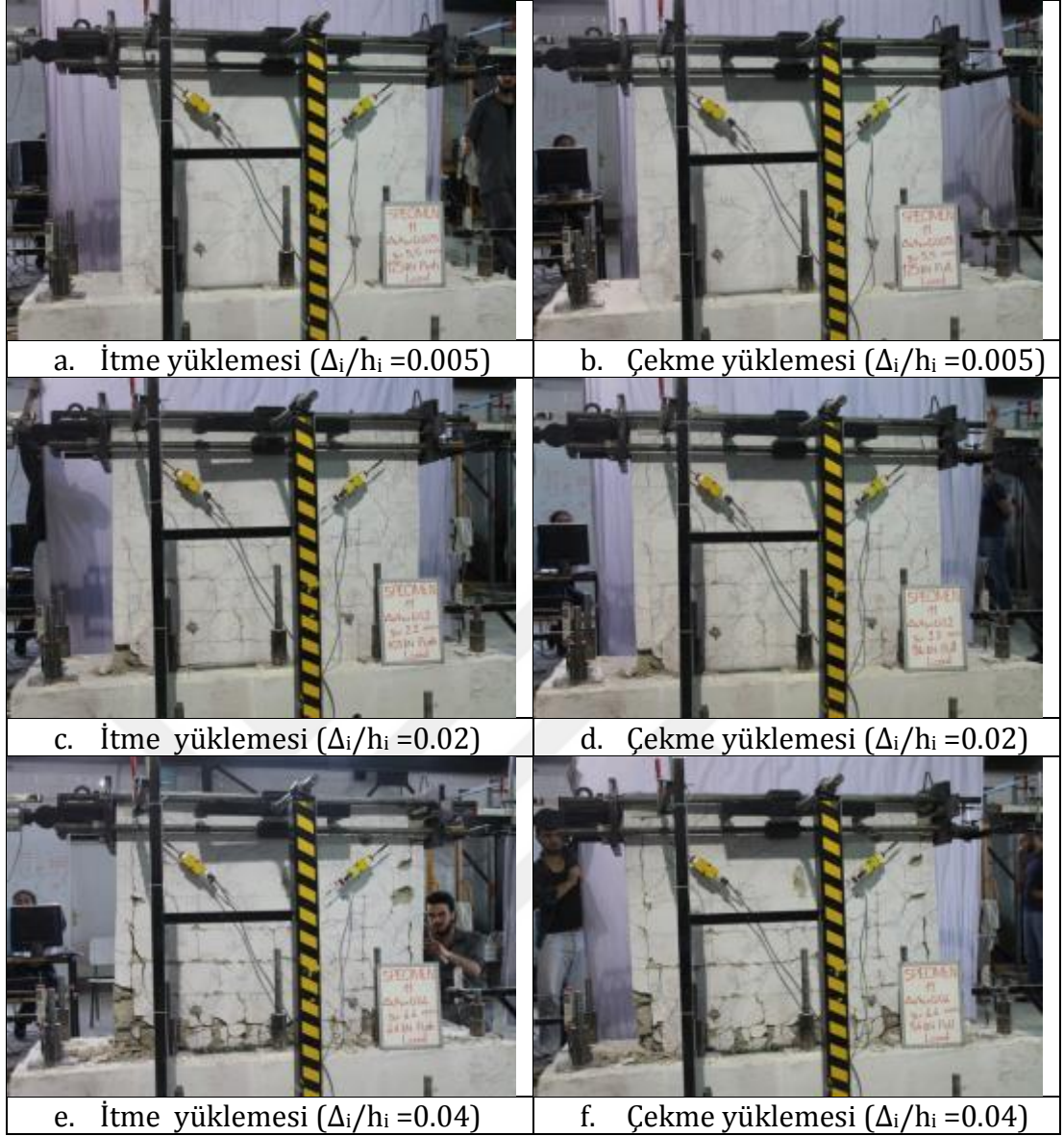


Şekil 5.62. Kolon boyunca meydana gelen çatlama (BÇN-11)

Deney sırasında farklı Δ_i/h_i (yatay yerdeğiştirme/kat yüksekliği) değerleri için gözlenen hasar fotoğrafları, numunenin iç (yük sağda) ve dış (yük solda) yüzleri için sırasıyla Şekil 5.64 ve Şekil 5.65’ te verilmiştir.

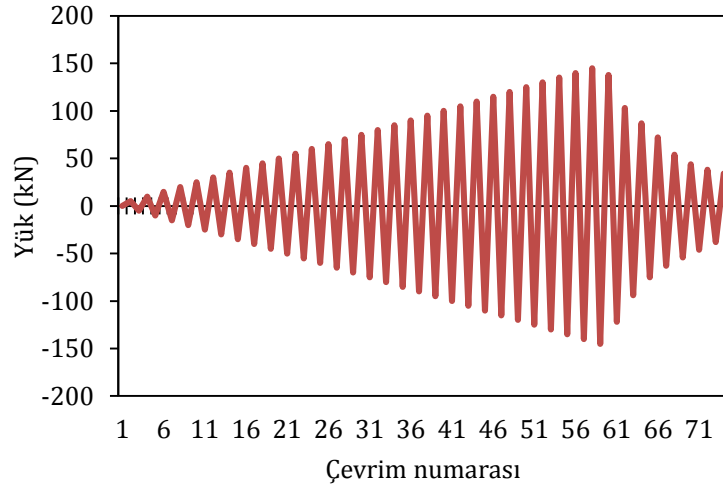


Şekil 5.63. BÇN-11 numunesi iç yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

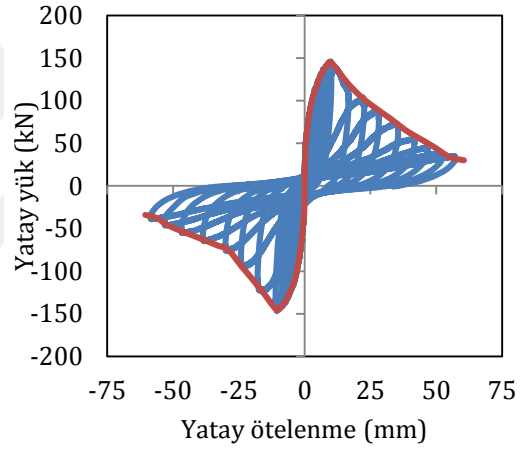


Şekil 5.64. BÇN-11 numunesi dış yüzünde farklı Δ_i/h_i değerlerindeki hasar görünümleri

BÇN-11 deneyinde takip edilen yükleme protokolü Şekil 5.66' da, deney sonucunda elde edilen yatay yük- yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi ise Şekil 5.67' de verilmiştir.



Şekil 5.65. BÇN-11'e ait yükleme protokolü



Şekil 5.66. BÇN-11 yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel grafiği ve zarf eğrisi

6. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KIYASLANMASI

Yapılan çalışma ile kolon ve kirişlerde uygulanan ankrajların aralığı ve boy değişiminin, dolgu duvar üzerine uygulanan ankraj yerleşiminin, hasır donatıya benzeştirilmiş öngerme uygulamasının, dıştan güçlendirmenin numune davranışı, kapasite eğrisi, rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deneylerde tüm numuneler için, yatay yük-yerdeğiştirme çevrimsel eğrileri üzerinden herbir çevrimdeki en büyük yük değerine ulaşılan noktaların birleştirilmesi ile zarf eğrileri elde edilmiştir. Numunelerin zarf eğrileri kullanılarak yatay yükün yerdeğiştirmeye oranı hesap edilmiş ve çerçevelere ait yatay ötelenme rijitlikleri elde edilmiştir. Numunelerin sünekliği ise, en büyük yatay yük taşıma kapasitesinin en fazla %15 azaldığı seviyedeki yatay ötelenme değerinin, akma seviyesindeki yatay ötelenme değerine oranlanması ile elde edilmiştir.

Betonarme deney çerçevelerinin enerji tüketme kapasitesi, yatay yük yerdeğiştirme çevrimsel döngüsünün içerisinde kalan alan hesaplanarak tanımlanmıştır. Herbir çevrim için bu alan hesaplanarak bir önceki çevrim alanı ile toplanmış ve toplam enerji tüketimi elde edilmiştir.

Tüm numuneler için elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1' de verilmiştir. BÇN-2, tam dolu dolgu duvarlı numuneye karşılık gelmek üzere, tüm incelemelerde kıyas numune olarak dikkate alınmıştır. Bunun için numunenin incelenen parametreye ait değeri, BÇN-2 (tam dolu dolgu duvarlı çerçeve) numunesi değerine oranlanmıştır. Böylece BÇN-2'ye göre değişim oranları bulunmuştur. Yük taşıma kapasitesi en büyük BÇN-5 numunesinde elde edilmiştir. Numunenin rijitliği, güçlendirmenin uygulanması ile önemli derecede artmıştır. En büyük rijitlik değeri sık ankrajın uygulandığı ve ankraj boyunun en büyük olduğu numunede gözlenmiştir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının özetlenmesi

Numune No	Yük kapasitesi (kN)		*Oran	Maksimum yükteki ötelenme oranı (10^{-2})	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	**Oran	Yerdeğiştirme sünekliği	***Oran	Toplam enerji tüketme kapasitesi (kN-mm)	****Oran
	İtme	Çekme								
1	42	-40	0.44	2.0	9.59	0.18	3.3	1.47	1885	0.25
2	95	-99	1.00	0.6	53.91	1.00	2.3	1.00	7651	1.00
3	140	-140	1.47	0.7	85.23	1.58	1.9	0.83	8660	1.13
4	150	-145	1.58	1.0	750.00	13.91	2.0	0.89	8736	1.14
5	155	-155	1.63	0.9	562.50	10.43	1.5	0.68	10314	1.35
6	140	-135	1.47	0.8	500.00	9.27	1.8	0.79	8205	1.07
7	145	-140	1.53	1.1	187.50	3.48	1.7	0.75	8985	1.17
8	145	-145	1.53	0.9	321.43	5.96	1.7	0.74	8804	1.15
9	135	-130	1.42	1.0	375.00	6.96	2.3	1.03	7581	0.99
10	135	-130	1.42	1.1	312.50	5.80	1.9	0.83	4688	0.61
11	145	-145	1.53	0.9	375.00	6.96	1.6	0.70	6363	0.83

*Numunenin yük taşıma kapasitesinin BÇN-2 numunesi yük taşıma kapasitesine oranı

** Numunenin ilk rijitliğinin BÇN-2 numunesi ilk rijitliğine oranı

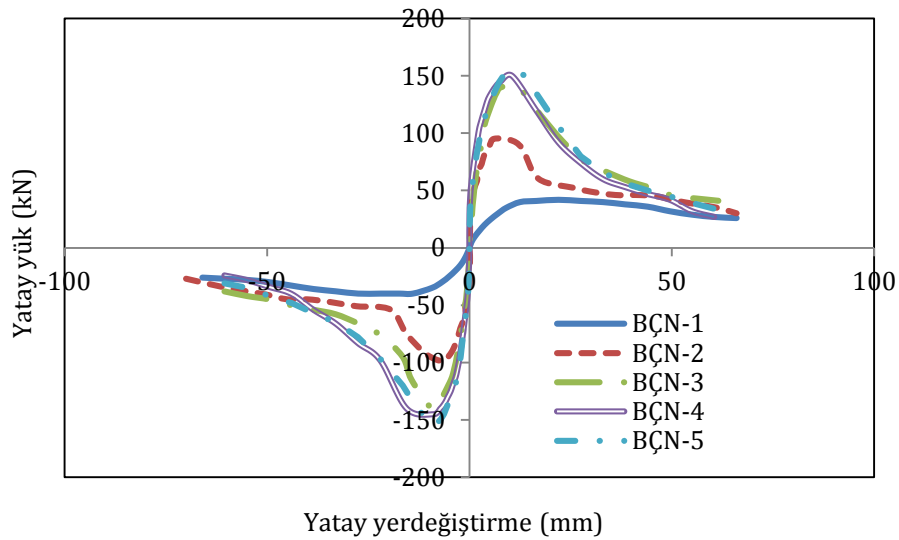
*** Numunenin yerdeğiştirme sünekliğinin BÇN-2 numunesi sünekliğine oranı

**** Toplam enerji tüketme kapasitesinin BÇN-2 numunesi toplam enerji tüketme kapasitesine oranı

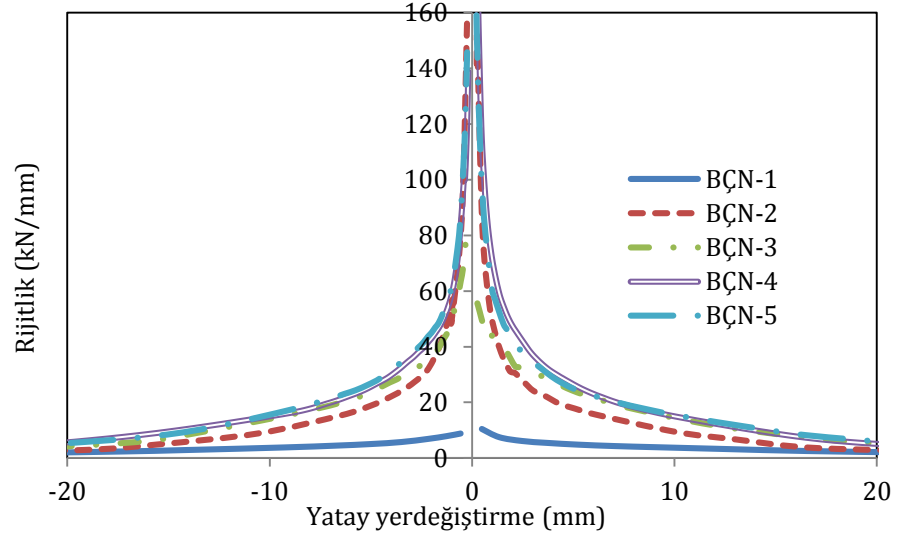
6.1. Kolona -Kirişe Uygulanan Ankraj Aralığı Farklılığının Davranışa Etkisi

Kolon ve kirişte ankraj aralığı BÇN-3'te sabit 30 cm, BÇN-4'te sabit 15 cm ve BÇN-5'te ise 7.5-15-30 cm değişken mesafelerde (kiriş açıklığından mesnete doğru sıklaşarak) uygulanmıştır. Diğer tüm numune ve güçlendirme detayları aynı özellikte hazırlanmıştır.

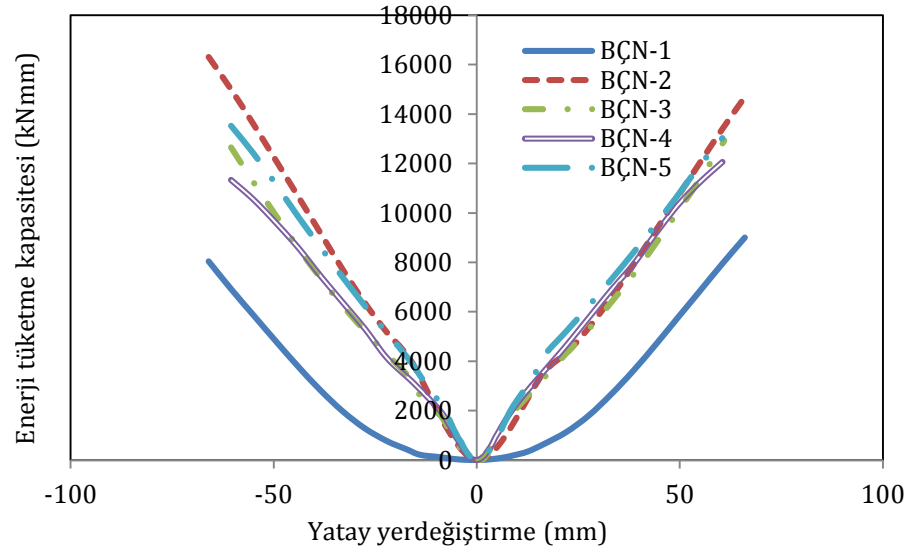
Ankraj aralığı değişiminin zarf eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 6.1'de, yanal rijitlik üzerindeki etkisi Şekil 6.2'de, enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi ise Şekil 6.3'te grafiklerle kıyaslamalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, ankrajların sık uygulandığı numunede, en büyük yatay yük taşıma kapasitesi ve yanal ötelenme rijitliğinin elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.1. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının zarf eğrisi üzerindeki etkisi



Şekil 6.2. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi

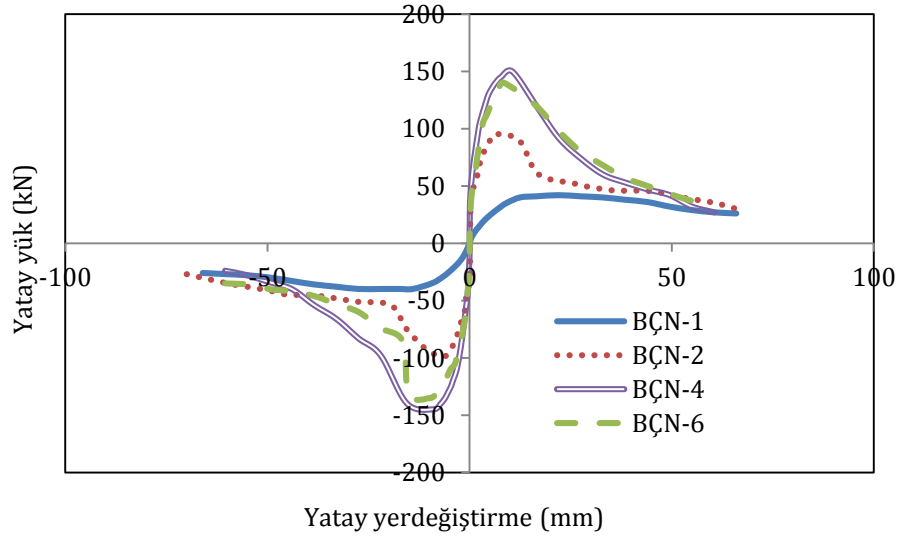


Şekil 6.3. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi

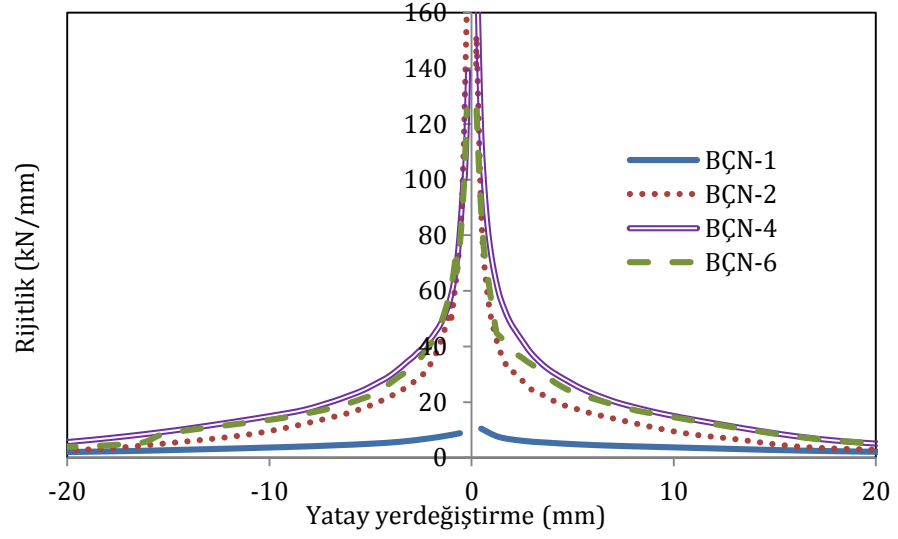
6.2. Dolgu Duvar Üzerindeki Ankraj Yerleşim Farklılığının Etkisi

Dolgu duvar üzerindeki ankraj yerleşimi BÇN-4' te diyagonal "x" çaprazı üzerinde uygulanırken, BÇN-6' da bu çaprazın dışındaki noktalara "+" şeklinde uygulanmıştır. Diğer tüm numune ve güçlendirme detayları aynı özellikte hazırlanmıştır.

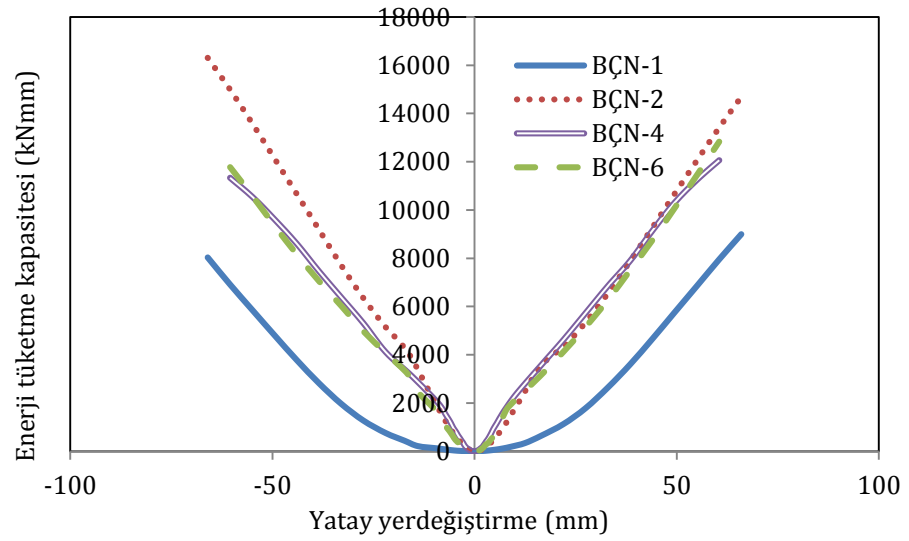
Dolgu duvar üzerindeki ankraj yerleşim değişiminin zarf eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 6.4'te, yanal rijitlik üzerindeki etkisi Şekil 6.5'te, enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi ise Şekil 6.6'da grafiklerle kıyaslamalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, dolgu duvar üzerinde basınç ve çekme diyagonalleri doğrultusunda (X şeklinde) yerleşilen ankrajların, bu diyagonal dışına (+ şeklinde) yerleştirilen ankrajlara göre numunenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi üzerinde daha fazla etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 6.4. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj aralığı farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi



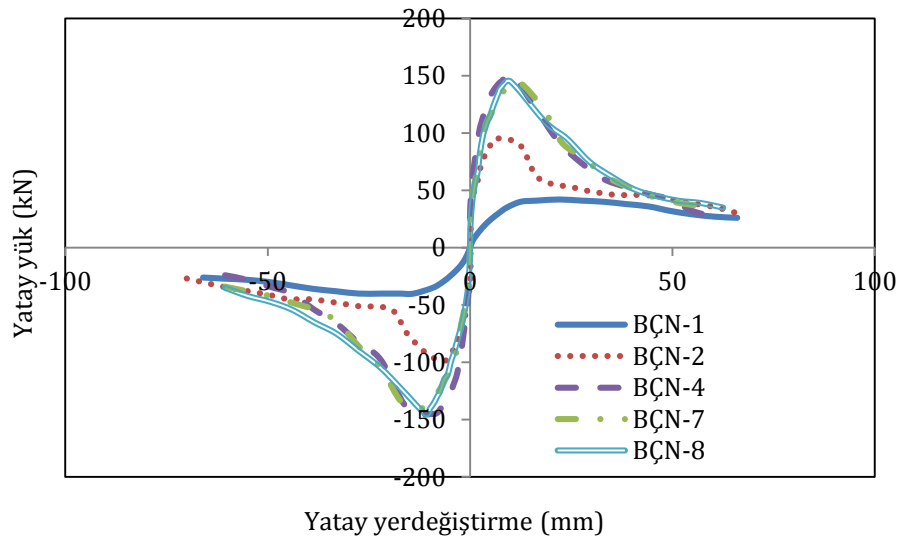
Şekil 6.5. Dolgu duvardaki ankraj yerleşimi farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi



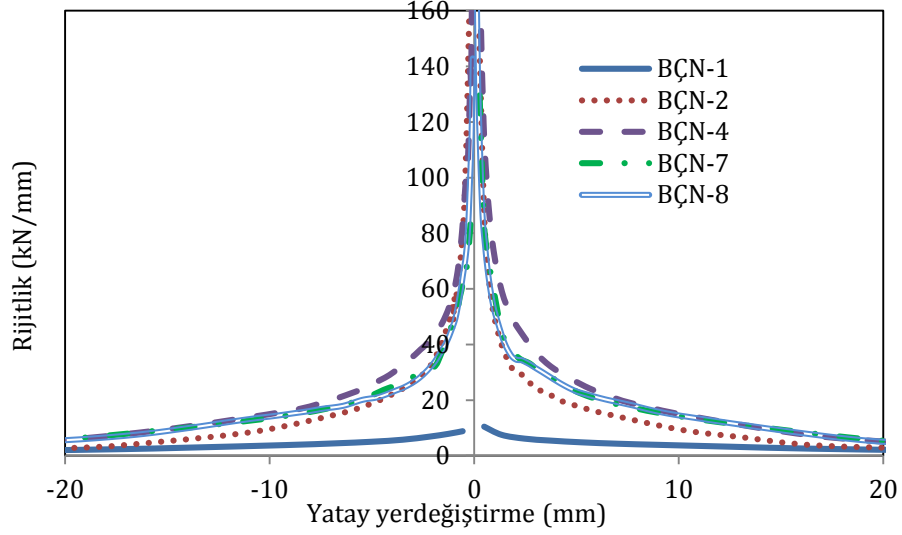
Şekil 6.6. Dolgu duvardaki ankraj yerleşimi farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi

6.3. Kolon ve Kiriş Elemanlara Uygulanan Ankraj Boyu Farklılığının Etkisi

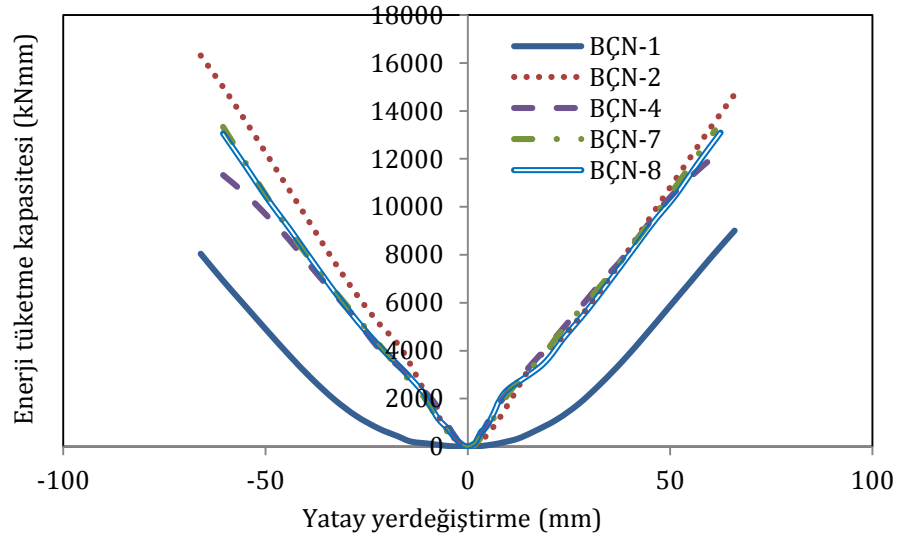
Kolon ve kiriş elemanlara uygulanan ankrajların boyu BÇN-4'te 23 cm, BÇN-7'de 13 cm, BÇN-8'de ise 18 cm olarak hazırlanmıştır. Tüm numunelerde kolon ve kiriş içerisine giren ankraj boyu sabit 8 cm olarak seçilmiştir. Dolayısıyla ankraj boyundan kasıt hasır donatı ile bağlantısı sağlanan uzunluktur. Kolon ve kiriş elemanlara uygulanan ankrajların boy değişiminin zarf eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 6.7'de, yanal rijitlik üzerindeki etkisi Şekil 6.8'de, enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi ise Şekil 6.9'da grafiklerle kıyaslamalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ankraj boyu büyüdükçe, numunenin yük taşıma kapasitesinde, rijitliğinde ve sünekliğinde artış meydana geldiği, ancak enerji tüketme kapasitesinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.7. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının zarf eğrisi üzerindeki etkisi



Şekil 6.8. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının numune rijitliği üzerindeki etkisi

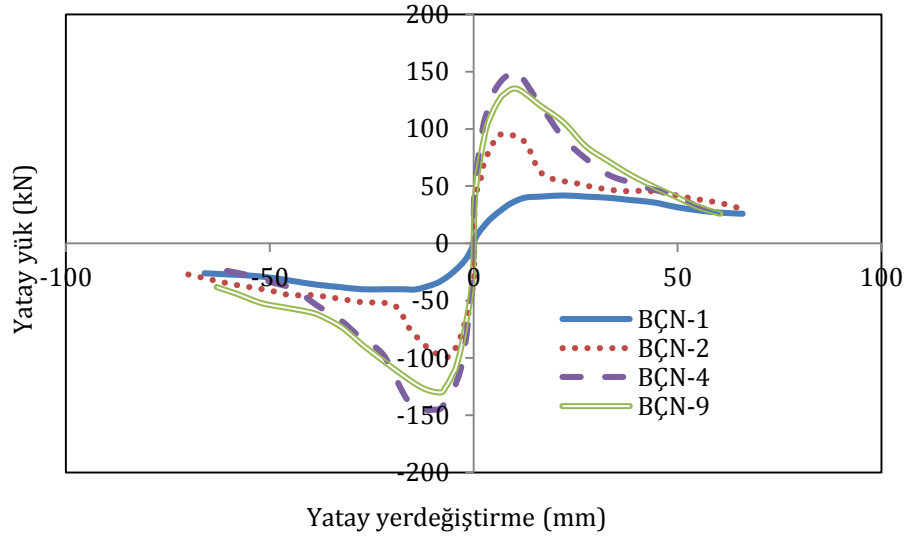


Şekil 6.9. Kolon ve kiriş elemanlardaki ankraj uzunluğu farklılığının enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi

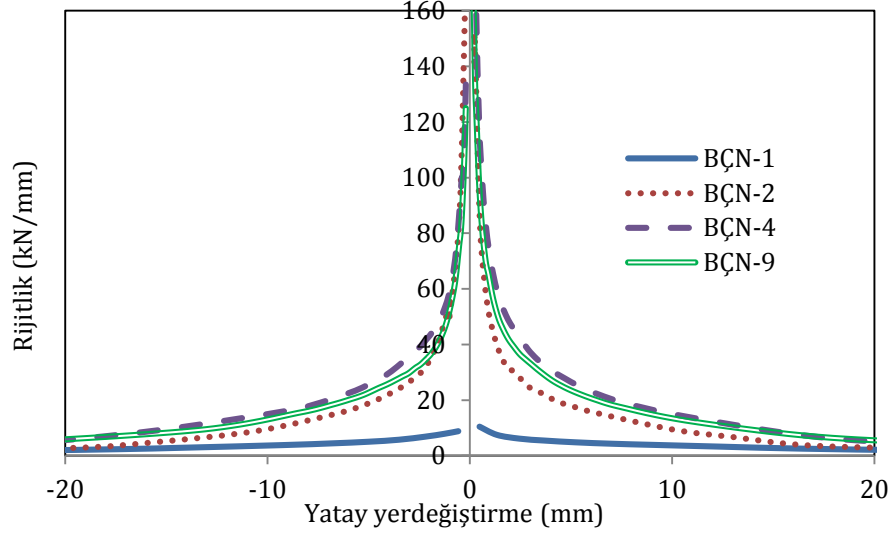
6.4. Hasır Donatıda Benzeştirilmiş Öngerme Uygulamasının Etkisi

Hasır donatıda benzeştirilmiş öngerme uygulamasının davranışa etkisinin incelenebilmesi için BÇN-4'te verilen donatı çubuğu ile ankraj uygulamasına benzer olarak BÇN-9'da "L" şeklinde lama ile kolon ve kiriş elemanlara ankraj yapılmıştır. Öncelikle hasır donatı uçlarında diş açılmıştır. Lamanın bir yüzünde açılan deliklerden hasır donatılar geçirilerek somun yardımıyla sıkılmıştır.

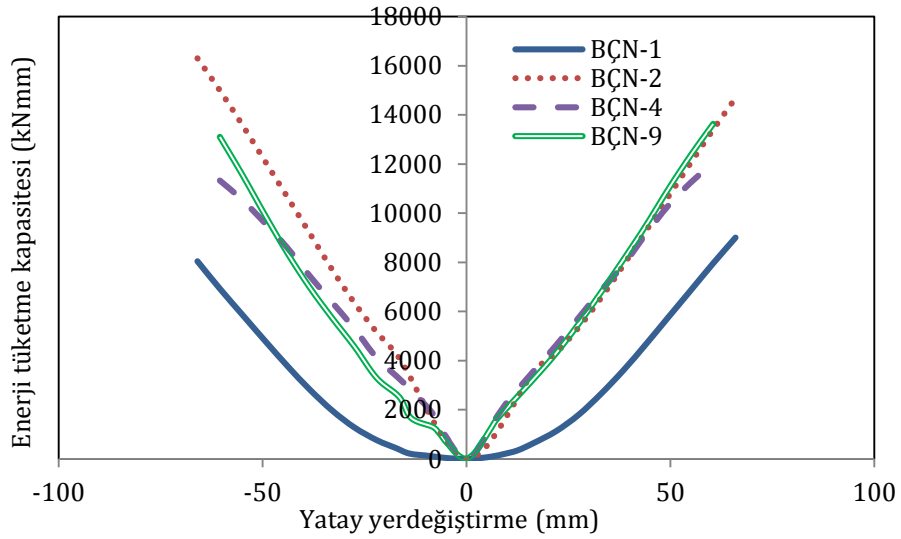
Benzeştirilmiş öngerme işleminin numune zarf eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 6.10' da, yanal rijitlik üzerindeki etkisi Şekil 6.11' de, enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi ise Şekil 6.12' de grafiklerle kıyaslamalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, donatı çubuğu ankrajlı numunenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve toplam enerji tüketme kapasitesi değerleri; lama ile öngerme benzeri ankrajlı numune sonuçlarına göre daha büyük olarak elde edilirken, numunenin sünekliği daha küçük olarak elde edilmiştir. Her ne kadar numune sünekliği açısından avantaj sağlasada, yapılacak güçlendirme uygulamasının hem önemli davranış parametreleri açısından hem de uygulama kolaylığı üstünlüklerinden dolayı lama yerine yönetmelikte önerildiği gibi donatı çubuğu ankrajının uygulanmaya devam edilmesi gerektiği söylenebilir.



Şekil 6.10. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin zarf eğrisi üzerindeki etkisi



Şekil 6.11. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin numune rijitliği üzerindeki etkisi

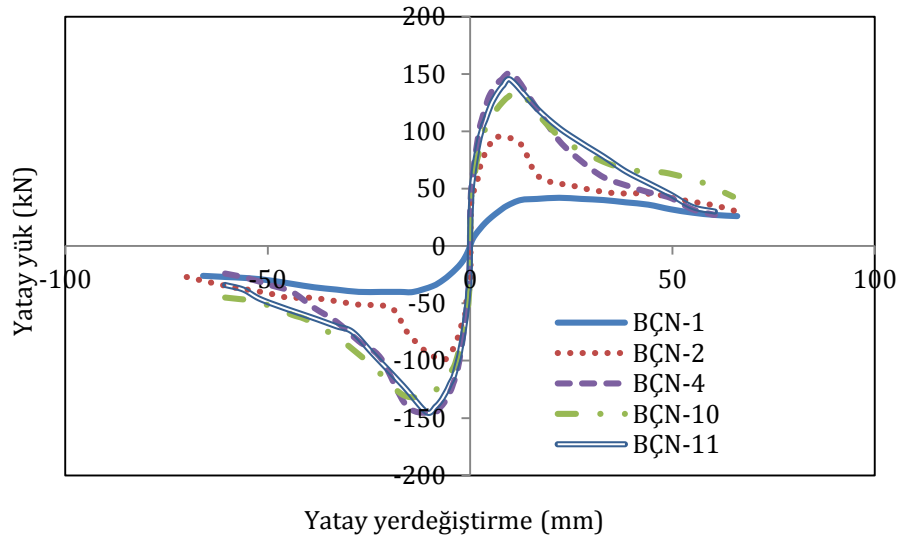


Şekil 6.12. Dolgu duvarın öngerme ile güçlendirilmesinin enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi

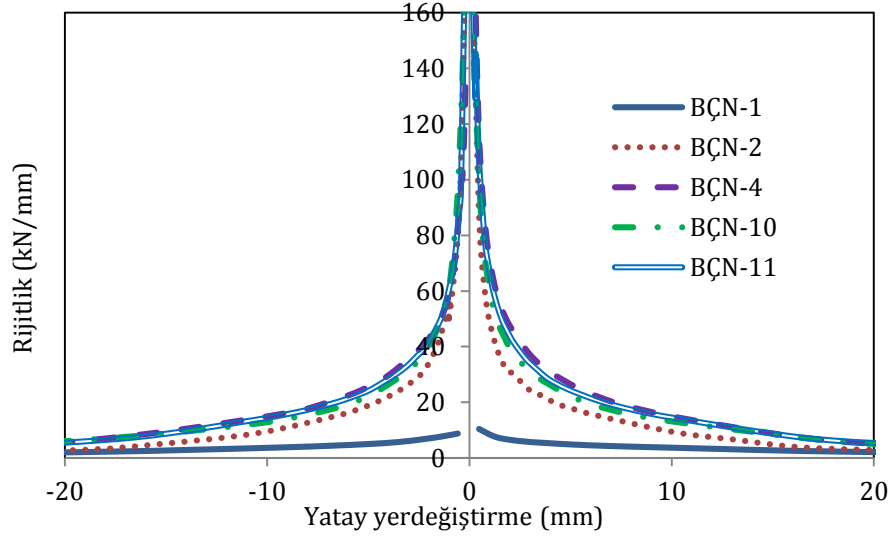
6.5. Dıştan Güçlendirmenin Etkisi

DBYBHY 2007’de güçlendirme uygulamasının yapılabilmesi için kolon ve duvar arasında en az 3 cm dış bulunması öngörülmektedir. Burada yönetmelik şartlarındaki uygulama (BÇN-4) ile kolon ve duvarın hem yüz yani aynı hizada olduğu (BÇN-10, BÇN-11) durum içinde uygulama yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. BÇN-10’da kolon, kiriş ve duvar elemanı üzerindeki ankraj uygulaması yönetmelikte ifade edildiği gibi yapılırken, BÇN-11’de daha sık

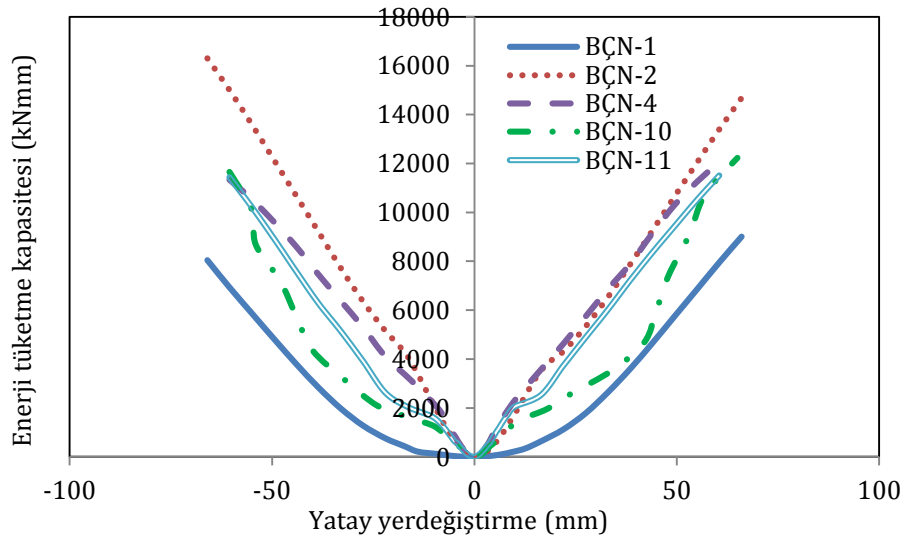
aralıklarla ankraj yerleşimi uygulanmıştır. Dıştan güçlendirmenin numune zarf eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 6.13' te, yanal rijitlik üzerindeki etkisi Şekil 6.14' te, enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi ise Şekil 6.15' te grafiklerle kıyaslamalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hem içten yapılan güçlendirmenin hem de dıştan yapılan güçlendirmenin güçlendirilmeyen numuneye göre önemli katkı sağladığı söylenebilir. Ancak numunenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi açısından en büyük katkı beklendiği gibi içten yapılan güçlendirmede, en küçük katkı ise dıştan daha az ankrajla yapılan güçlendirmede gözlenmiştir.



Şekil 6.13. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin zarf eğrisi üzerindeki etkisi



Şekil 6.14. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin numune rijitliği üzerindeki etkisi



Şekil 6.15. Dolgu duvarın içten ve dıştan güçlendirilmesinin enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi

7. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında, betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarlar, hasır çelik donatı eklenerek özel harç ile güçlendirilmiştir. Bu çalışmada, deney elemanlarında güçlendirme için eklenen donatılı katman L ile betonarme çerçeveyi birbirine bağlayan ankrajlar; iki farklı türde (düz ve “L” şeklinde), dört farklı boyda (230, 180, 160 ve 130 mm) ve üç farklı aralıkta (eşit aralıklı 300 ile 150 mm ve değişken aralıklı 75/150/300 mm) kullanılmıştır. Bu amaçla 11 adet 1/3 ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Dolayısıyla çalışma kapsamında kolon, kiriş ve dolgu duvarda uygulanan ankraj farklılıklarının davranışa etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda dolgu duvarın kolon ve kiriş ile aynı düzlemde olmadığı ve dış mevcut olan uygulamalar için de yöntemin etkinliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Güçlendirilmeyen numunedeki dolgu duvarda X şeklinde hasar meydana gelmiş, artan yük etkisi ile çatlakta ani olarak genişleme ortaya çıkmış ve numunenin yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilen numunelerde ise, güçlendirme uygulanan yüzde çok sayıda ve hasırı takip eden kare şeklinde kılcal çatlak gözlenirken güçlendirilmeyen yüzde az sayıda ve genişlemiş X çatlağı ile sıva atmaları ve tuğla duvarda dağılmalar gözlenmiştir.
2. Çalışma kapsamında tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi için önerilen donatılı sıva katmanı eklenmesi metodu deney elemanlarının taşıma gücü, yükü ve başlangıç rijitliği değerlerini önemli oranlarda artırmıştır. Özellikle donatılı katmanın tuğla dolgu duvarın iç yüzeyine eklenmesi dış yüzeye eklenmesine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca donatılı katman ve betonarme çerçevenin bağlantısında kullanılan ankrajların dolgu duvar köşelerine doğru yaklaşıldıkça aralıklarının sıklaştırılması ve ankraj boyunun uzatılması taşıma gücü, yükü ve başlangıç rijitliği değerlerinin çok daha fazla artmasına neden olmuştur.

3. Deneysel çalışmada önerilen donatılı sıva katmanının tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelere eklenmesi yerdeğiştirme süneklik oranının azalmasına neden olmuştur. Deplasman süneklik oranındaki azalma oranı düşük bir miktarda kalmıştır.
4. Önerilen güçlendirme tekniği deney elemanlarının genel yerdeğiştirme süneklik oranlarının düşük bir oranda azalmasına neden olmasına rağmen, maksimum taşıma gücü yükü değerlerine karşı gelen kat ötelenme oranlarının artmasına neden olmuştur. Deney elemanları taşıma gücü, yükü uygulanan güçlendirme sonucunda artmasına rağmen bu yük değerine çok daha fazla kat ötelenme oranı ile ulaşılmıştır.
5. Donatılı sıva katmanının eklenmesi sonucunda enerji tüketim kapasiteleri katmanın tuğla dolgu duvarın iç yüzeyine eklenmesi durumunda bir miktar artış göstermiştir. Katmanın dolgu duvarın dış yüzeyine yerleştirilmesi enerji tüketim kapasitelerinin azalmasına neden olmuştur. Eklenen katman ve betonarme çerçeve arasındaki ankrajların dolgu duvar köşelerinde sıklaştırılması ve ankraj boyunun uzatılması, enerji tüketim kapasitesindeki artış oranının büyümesine neden olmuştur.
6. Donatı çubuğu ankrajlı numunenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve toplam enerji tüketme kapasitesi değerleri; lama ile öngerme benzeri ankrajlı numune sonuçlarına göre daha büyük olarak elde edilirken, numunenin sünekliği daha küçük olarak elde edilmiştir. Her ne kadar numune sünekliği açısından avantaj sağlasada, yapılacak güçlendirme uygulamasının diğer önemli davranış parametreleri ve uygulama kolaylığı üstünlüklerinden dolayı lama yerine yönetmelikte önerildiği gibi donatı çubuğu ankrajının uygulanmaya devam edilmesi gerektiği tavsiye edilebilir.
7. Dolgu duvar üzerinde basınç ve çekme diyagonalleri doğrultusunda (X şeklinde) yerleşilen ankrajların, bu diyagonal dışına (+ şeklinde) yerleştirilen ankrajlara göre, numunenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi üzerinde daha fazla etkili olduğu görülmüştür.
8. Deneysel programdaki genel olarak en başarılı davranışı, donatılı katmanın tuğla dolgu duvar iç yüzeyine yerleştirildiği, katman ve çerçeve arasındaki ankrajların dolgu duvar köşelerinde sıklaştırıldığı ve ankraj

boyu en uzun olan BÇN-5 deney elemanı sergilemiştir. Uygulamada, bu yaklaşımın taşıma gücü, yükü, başlangıç rijitliği, maksimum yük düzeyindeki kat ötelenme oranı ve enerji tüketim kapasitesini önemli oranlarda artırdığını ve davranışı olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.



KAYNAKLAR

- Acun, B., ve Sucuoğlu, H. 2005. Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesi, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli.
- Akın, E. 2011. Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP reinforcement-general principles, PhD thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Altın, S., Ersoy, U., and Tankut, T. 1992. Hysteretic response of reinforced concrete infilled frames, Journal of Structural Engineering, 118(8), 2133-2150.
- Anil, O., and Altın, S. 2007. Experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, Engineering Structures, 29, 449-460.
- Arslan, G. 2009. Strengthening of reinforced concrete frames by custom shaped high strength concrete masonry blocks, MSc thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Bahadır, F. 2012. Düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Balık, F.S. 2012. Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Baran, M., Canbay, E., ve Tankut, T. 2010. Beton panellerle güçlendirme - kuramsal yaklaşım, İMO Teknik Dergi, 324, 4959-4978.
- Baştemir, İ. 2009. Büyük atalet kuvvetleri etkisindeki bölme duvarlı betonarme çerçevelerin lifli polimerler ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Binici, B., Ozcebe, G., and Ozcelik, R. 2007. Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames, Composites: Part B, 38, 575-583.

- Çelik, A., Tanrıseven, H., 2016. Betonarme çerçevelerde dolgu duvarların hasır donatılı özel sıva ile güçlendirilmesinin deneysel ve analitik olarak incelenmesi, Tübitak 2209 Projesi, 14/06/2015-12/06/2016.
- Demir, F., Tekeli, H., Güler, K., Celep, Z., 2013, Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım, 111M119 numaralı Tübitak projesi.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- İrtem, E., Türker, K., ve Hasgöl, U. 2005. Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi, İTÜ Mühendislik Dergisi, 4(4), 3-13.
- Kaltakçı, M.Y., ve Arslan, M.H., 2005. Taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapı davranış katsayısına olan etkisinin incelenmesi, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 598-605.
- Kamanlı, M., Korkmaz, H.H.; Balık F.S., ve Bahadır, F. 2011. Sünek olmayan B/A çerçevelerin, çelik çaprazlarla, B/A dolgu duvarlarla ve çelik levhalar ile güçlendirilmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
- Karşoğlu, Ö. 2005. Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kılıç, A. 2012. Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Mulgund, G.V., and Kulkarni A.B. 2011. Seismic assesement of RC frame buildings with brick masonry infills, International Journal Of Advanced Engineering Sciences And Technologies, 2(2), 140 – 147.
- Ökten, S. 2013. Lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Özçelik, R., Binici, B., ve Kurç, Ö., Yapısal çelik elemanlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin dinamik benzeri deney performansı, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara, 2011.
- Özdemir, H. 2008. Dolgu duvarlı çerçevelerin hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, H., ve Eren, İ. 2009. Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi, İTÜ Dergisi/d, 8(6), 133-145.
- Özdoğu, O.Z. 2006. Deprem etkisi altındaki binaların davranışına dolgu duvarların etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özdöner, N. 2011. Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile arttırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özkan, C. 2012. Çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlı yükler altında davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Peynirci, R. 2007. Betonarme çerçeve sistemlerde dolgu duvarların deprem davranışına katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Sevil, T., Baran M., Bilir, T., and Canbay, E. 2011. Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening, construction and building materials, 25, 892-899.
- Sezer, R., ve Akın, A. 2011. Dolgu duvarları önüretimli beton panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, 6(4), 1127-1145.

- Sivri, M., Demir, F., ve Kuyucular, A. 2006. Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 109-115.
- Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U., ve Kaya, F. 2014. Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2),179-193.
- Ünal, A., Korkmaz, H.H., Kaltakçı, M.Y., Kamanlı, M., Bahadır, F., ve Balık, F.S. 2013. Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvar ile güçlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Hatay.
- Yılmaz, Ü., Arslan, H., ve Kaltakçı, Y. 2010. Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi, Tübav Bilim Dergisi, 3(1), 11-22.
- Yüksel, E., ve Yalçın, C. 2008. Benzeşik dinamik deney tekniği kullanılarak karbon liflerle güçlendirilmiş bölme duvarlı betonarme çerçevelerin incelenmesi, Tübitak 106M050 numaralı proje sonuç raporu, Ankara.
- Zhu, J.T., Wang, X.L., Xu, Z.D., and Weng, C.H. 2011. Experimental study on seismic behavior of RC frames strengthened with CFRP sheets, Composite Structures, 93, 1595–1603.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih KAYA

Doğum Yeri ve Yılı : BİGA, 1990

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yl1430101010@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Yeni Biga Lisesi, 2008

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Mesart Mimarlık (TOKİ Proje) 2014-2015

As Yapı Mühendislik – Mimarlık 2015-2017

Masif Mühendislik 2017-.....

Yayınları

Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U., ve Kaya, F. 2014. Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2),179-193.

Kaya, F., Tekeli, H., Anıl, O. Experimental behavior of strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames by adding rebar-reinforced stucco, Structural Concrete, DOI: 10.1002/suco.201700210 (In Press).