

**KISA KOLON OLUŞUMUNA NEDEN OLABİLECEK BOŞLUKSUZ DOLGU
DUVARLI BETONARME ÇERÇEVE DAVRANIŞININ ANALİTİK VE
DENEYSEL YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ**

Onur TUNABOYU

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özgür AVŞAR

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mayıs, 2017

Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1303F055 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Onur TUNABOYU'nun "Kısa Kolon Oluşumuna Neden Olabilecek Boşluksuz Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Davranışının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle İrdelenmesi" başlıklı tezi 22/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı – Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	Doç. Dr. Özgür AVŞAR	
Üye	Prof. Dr. Yücel GÜNEY	
Üye	Prof. Dr. Aydın DOĞAN	
Üye	Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN	
Üye	Doç. Dr. Emre AKIN	

PROF. DR. NEDİM DEĞİRMENCİ

Enstitü Müdürü

ÖZET

KISA KOLON OLUŞUMUNA NEDEN OLABİLECEK BOŞLUKSUZ DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVE DAVRANIŞININ ANALİTİK VE DENEYSEL YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ

Onur TUNABOYU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2017

Danışman: Doç. Dr. Özgür AVŞAR

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası incelendiğinde, aktif deprem kuşağında olan ülkemizin büyük bir bölümünün yüksek deprem tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır. Yapılan deneyler ve deprem sonrası gözlemlenen hasarlı binalarda kısa kolon oluşumunun sadece duvarlarda boşluk olması durumunda değil, dolgu duvar malzemesinin köşelerde kırılmasından sonra da oluşabileceği görülmüştür. Bu çalışmada kısa kolon oluşumu gözlemlenmesi beklenmeyen boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçevede kısa kolon oluşumuna neden olabilecek etmenler deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Türkiye'deki mevcut yapı stokunu temsil edecek standart altı 1/3 ölçekli boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeveler tersinir tekrarlı yatay yükler altında incelenmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalar, kısa kolon hasarı beklenmeyen boşluksuz dolgu duvarlı çerçeve tiplerinde de dolgu duvar malzemesine ve çerçeve geometrik özelliklerine bağlı olarak kolonlarda gevrek bir kırılma olan kesme hasarının oluşabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kısa kolon, Betonarme, Dolgu duvarlı çerçeve, Kesme hasarı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE INFILLED REINFORCED CONCRETE FRAMES WITHOUT OPENINGS CAUSING SHORT COLUMN BY ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL METHODS

Onur TUNABOYU

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, May, 2017

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Özgür AVŞAR

According to the Seismic Hazard Map of Turkey, which is in the active seismic zone, it is seen that a large proportion of our country is under the effect of high seismic hazard. Turkish Earthquake Code (TEC, 2007) has specifications for the captive or short columns adjacent to infill walls with openings, which can cause severe damage resulting in column shear failure. Experimental and analytical studies, as well as the building damage observations after earthquakes, revealed that non-structural infill walls have negative influence on the structural systems by crushing the infill wall around column top end causing short column. In this study, the parameters affecting the development of short columns in infilled RC frames without openings were investigated through experimental and analytical methods. 1/3 scaled test specimens were tested under reversed cyclic lateral load to simulate the seismic effects. Test specimens were designed such that they represent the substandard RC buildings in building the inventory of Turkey. Experimental and analytical studies conducted in this study showed that; depending on the infill material properties and the geometry of the frames, the infill walls can cause unexpected short or captive column damages on the columns of infilled frames without openings.

Keywords: Short-Captive column, Reinforced concrete, Frames with infill wall, Shear damage.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, çalışmanın oluşumunda ve tamamlanmasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam; Doç. Dr. Özgür AVŞAR’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen ve bana destek olan değerli arkadaşlarıma, bilgilerini paylaşan tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmanın deneysel aşamasında, tecrübe ve emeklerini esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Atölyesi personeline teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun desteğini esirgemeyen, tüm zorlukları benimle göğüsleyen, bana inanan ve gücüme güç katan hayat arkadaşşıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm çalışma sürecinde manevi destekleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, mutluluğumla mutlu olan, mutsuzluğumu anlayıp yardımcı olan anneme ve babama minnetlerimi sunuyorum. İhtiyacım olduğunda bir telefon kadar yakınımda olduklarını bildiğim eşimin ailesine şükranlarımı sunarım.

Onur TUNABOYU

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Onur TUNABOYU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xvi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Kısa Kolon	3
2.2. Dolgu Duvar Davranışı.....	6
2.3. Dolgu Duvar Modelleme	10
2.4. CFRP ile Onarım	16
2.5. Boşluksuz Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerde Kısa Kolon Davranışı	17
3. DENEYSEL YÖNTEM	29
3.1. Çerçeve Deneyleri.....	30
3.1.1. Numune boyutları ve detayları.....	31
3.1.2. Malzeme özellikleri.....	38
3.1.3. Çerçeve numunelerinin üretimi	49
3.1.4. Deney düzeneği	60
3.1.5. Veri okuma sistemi	66

	<u>Sayfa</u>
3.1.6. Deney yöntemi.....	69
3.2. Panel Deneyleri.....	70
3.2.1. Malzeme özellikleri.....	71
3.2.2. Panel deneyi düzeneği	72
3.2.3. Panel deneyi sonuçları.....	73
4. ÇERÇEVE DENEYİ SONUÇLARI	81
4.1. Kısa Çerçevesel Numuneler	81
4.1.1. IE01.....	82
4.1.2. IE02	87
4.1.2. IE03.....	91
4.1.2. IE04.....	96
4.1.2. IE05.....	101
4.1.2. IE06	106
4.1.2. IE07	110
4.1.2. IE13.....	115
4.1.2. IE14.....	120
4.1.2. IE02_G.....	125
4.2. Uzun Çerçevesel Numuneler.....	129
4.2.1. IE08.....	129
4.2.1. IE09.....	134
4.2.1. IE10.....	140
4.2.1. IE11.....	144
4.2.1. IE12.....	150
4.3. Çerçeve Deneyi Sonuçlarının Genel Özeti.....	155
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	158
5.1. Dayanım.....	158
5.2. Rijitlik	161
5.3. Süneklik	165
5.4. Enerji Sönümlene Kapasitesi.....	169
6. SAYISAL MODELLEME	171

	<u>Sayfa</u>
6.1. Dolgu Duvar Modeli	171
6.1.1. B Grubu sıva ve harç modeli	172
6.1.2. C Grubu sıva ve harç modeli	173
6.1.3. D Grubu sıva ve harç modeli	174
6.1.4. Dolgu duvar malzeme model sonuçlarının kıyaslanması	175
6.2. Çerçeve Modeli.....	177
6.2.1. Çerçeve modelinin oluşturulması.....	178
6.2.2. Çerçeve malzeme modelleri	179
6.2.3. Çerçeve analiz sonuçları	187
7. SONUÇ	209
KAYNAKÇA.....	214
ÖZGEÇMİŞ	222

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Deney numuneleri özellikleri.....	31
Tablo 3.2. 7 günlük ve 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları	40
Tablo 3.3. Kısa numuneler için deney günü yapılan beton basınç deneyi sonuçları	41
Tablo 3.4. Uzun numuneler için deney günü yapılan beton basınç deneyi sonuçları	42
Tablo 3.5. Tuğla basınç dayanımları	45
Tablo 3.6. İyi dayanımlı (B grubu) harç ve sıva karışımları	45
Tablo 3.7. Orta dayanımlı (C grubu) harç ve sıva karışımları	46
Tablo 3.8. Kötü dayanımlı (D grubu) harç ve sıva karışımları	46
Tablo 3.9. 28 günlük harç ve sıva basınç deneyi sonuçları.....	47
Tablo 3.10. Kısa numuneler için deney günü yapılan harç ve sıva basınç deneyi sonuçları	48
Tablo 3.11. Uzun numuneler için deney günü yapılan harç ve sıva basınç deneyi sonuçları	49
Tablo 3.12. Panel deneyi numuneleri özellikleri	71
Tablo 3.13. Panel deneyi numuneleri en yüksek dayanım değerleri.....	74
Tablo 4.1. IE01 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	84
Tablo 4.2. IE01 numunesi için çatlak oluşumları	86
Tablo 4.3. IE02 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	88
Tablo 4.4. IE02 numunesi için çatlak oluşumları	89
Tablo 4.5. IE03 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	93
Tablo 4.6. IE03 numunesi için çatlak oluşumları	95
Tablo 4.7. IE04 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	98
Tablo 4.8. IE04 numunesi için çatlak oluşumları	100
Tablo 4.9. IE05 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	103
Tablo 4.10. IE05 numunesi için çatlak oluşumları	104
Tablo 4.11. IE06 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	107
Tablo 4.12. IE06 numunesi için çatlak oluşumları	109
Tablo 4.13. IE07 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	112
Tablo 4.14. IE07 numunesi için çatlak oluşumları	114
Tablo 4.15. IE13 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	117
Tablo 4.16. IE13 numunesi için çatlak oluşumları	119

Sayfa

Tablo 4.17. IE14 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	122
Tablo 4.18. IE14 numunesi için çatlak oluşumları	123
Tablo 4.19. IE02_G numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	126
Tablo 4.20. IE02_G numunesi için çatlak oluşumları.....	128
Tablo 4.21. IE08 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	131
Tablo 4.22. IE08 numunesi için çatlak oluşumları	133
Tablo 4.23. IE09 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	136
Tablo 4.24. IE09 numunesi için çatlak oluşumları	138
Tablo 4.25. IE10 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	141
Tablo 4.26. IE10 numunesi için çatlak oluşumları	143
Tablo 4.27. IE11 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	146
Tablo 4.28. IE11 numunesi için çatlak oluşumları	148
Tablo 4.29. IE12 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri	151
Tablo 4.30. IE12 numunesi için çatlak oluşumları	153
Tablo 4.31. Betonarme numune özellikleri.....	157
Tablo 5.1. Kısa numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri	160
Tablo 5.2. Uzun numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri	161
Tablo 5.3. Kısa numuneler için başlangıç ve sekant rijitlikleri.....	164
Tablo 5.4. Uzun numuneler için başlangıç ve sekant rijitlikleri	165
Tablo 5.5. Çerçeve numunelerinin süneklik değerleri	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dolgu duvarlarda farklı kırılma mekanizmaları	7
Şekil 2.2. Kolonlarda gözlenen kesme kırılma hasarı	7
Şekil 2.3. Önerilen gerilme-birim deformasyon grafiği	10
Şekil 2.4. Dolgu duvar için eşdeğer basınç çubuğu modeli.....	11
Şekil 2.5. Dolgu duvar köşelerindeki basınç ezilmeleri	13
Şekil 2.6. Analizlerde kullanılan sonlu eleman modeli	14
Şekil 2.7. Potansiyel kırılma düzlemi	25
Şekil 2.8. Rijitlik hesabında kullanılacak davranış şekilleri.....	26
Şekil 2.9. Dolgu duvar basınç çubuğunun etkilediği nokta.....	27
Şekil 3.1. Kısa numune özellikleri.....	33
Şekil 3.2. Kısa numune boyutları (mm)	34
Şekil 3.3. Kısa numune kolon ve kiriş boyutları (mm)	34
Şekil 3.4. Uzun numune özellikleri	35
Şekil 3.5. Uzun numune boyutları (mm)	36
Şekil 3.6. Uzun numune kolon ve kiriş boyutları (mm)	36
Şekil 3.7. IE02_G numunesinin CFRP ile yapısal onarım detayı	38
Şekil 3.8. Kolon ve kirişlerde etriye olarak kullanılan Ø4 donatı için çelik çekme deneyleri.....	43
Şekil 3.9. Kolon ve kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılan Ø8 donatı için çelik çekme deneyleri	43
Şekil 3.10. Tuğla boyutları (mm)	44
Şekil 3.11. Boy/en oranı 0,58 olan Tip 1 numuneleri için kalıp planı (cm).....	51
Şekil 3.12. Boy/en oranı 1,72 olan Tip 2 numuneleri için kalıp planı (cm).....	51
Şekil 3.13. IE01 IE02 IE03 IE04 IE05 IE06 IE07 ve IE13 Numunelerine ait donatı planları	54
Şekil 3.14. IE08 IE09 IE10 IE11 ve IE12 Numunelerine ait donatı planları	54
Şekil 3.15. IE14 Numunesine ait donatı planları.....	55
Şekil 3.16. Güçlü duvar bağlantı plakası delik detayları (mm)	61
Şekil 3.17. Tip 1 ve Tip 2 için deney düzenekleri yerleşim planları	61
Şekil 3.18. Kısa numunelere ait yükleme protokolleri	64
Şekil 3.19. Uzun numunelerine ait yükleme protokolleri.....	64
Şekil 3.20. Tip 1 Deney düzeneği genel görünümü	65

Şekil 3.21. Tip 2 Deney düzeneği genel görünümü	65
Şekil 3.22. İtme, çekme mekanizması	66
Şekil 3.23. Deney çerçevesi için veri okuma düzeni	67
Şekil 3.24. Ölçüm aletlerinin kanal ayarları	68
Şekil 3.25. Ölçüm aletleri ile veri toplama cihazı arasındaki bağlantı detayları	69
Şekil 3.26. Panel deneyi numunesi ölçüleri (mm).....	70
Şekil 3.27. Panel deneyi test düzeneği	72
Şekil 3.28. B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları.....	74
Şekil 3.29. C Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları.....	78
Şekil 3.30. D Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları.....	79
Şekil 4.1. B ve C Grubu harç ve sıva ile üretilen betonarme çerçevelerde dolgu duvarın neden olduğu kesme hasarı oluşum mekanizması.....	82
Şekil 4.2. D Grubu harç ve sıva ile üretilen betonarme çerçevelerde dolgu duvar kırılma mekanizması.....	82
Şekil 4.3. IE01 Elastik olmayan çevrimsel davranış	85
Şekil 4.4. IE02 Elastik olmayan çevrimsel davranış	88
Şekil 4.5. IE03 Elastik olmayan çevrimsel davranış	93
Şekil 4.6. IE04 Elastik olmayan çevrimsel davranış	99
Şekil 4.7. IE05 Elastik olmayan çevrimsel davranış	103
Şekil 4.8. IE06 Elastik olmayan çevrimsel davranış	108
Şekil 4.9. IE07 Elastik olmayan çevrimsel davranış	113
Şekil 4.10. IE13 Elastik olmayan çevrimsel davranış	118
Şekil 4.11. IE14 Elastik olmayan çevrimsel davranış	122
Şekil 4.12. IE02_G Elastik olmayan çevrimsel davranış	127
Şekil 4.13. Uzun numunelerde hasar mekanizması	129
Şekil 4.14. IE08 Elastik olmayan çevrimsel davranış	132
Şekil 4.15. IE09 Elastik olmayan çevrimsel davranış	137
Şekil 4.16. IE10 Elastik olmayan çevrimsel davranış	142
Şekil 4.17. IE11 Elastik olmayan çevrimsel davranış	147
Şekil 4.18. IE12 Elastik olmayan çevrimsel davranış	152
Şekil 5.1. Çerçeve numuneleri zarf eğrisi.....	158

Sayfa

Şekil 5.2. Kısa numunelerin zarf eğrileri.....	159
Şekil 5.3. Uzun numunelerin zarf eğrileri	160
Şekil 5.4. Çevrimlerdeki rijitlik hesabı.....	162
Şekil 5.5. Kısa numunelerin rijitlik azalması grafikleri.....	162
Şekil 5.6. Uzun numunelerin rijitlik azalması grafikleri	163
Şekil 5.7. Sekant rijitliği hesabı.....	164
Şekil 5.8. İdealleştirilmiş çerçeve davranışı oluşturma	165
Şekil 5.9. Kısa numunelerin idealleştirilmiş çerçeve davranışları.....	166
Şekil 5.10. Uzun numunelerin idealleştirilmiş çerçeve davranışları	167
Şekil 5.11. Sönümlenen enerji hesabı.....	169
Şekil 5.12. Kısa numunelerin enerji sönümleme kapasite grafikleri.....	170
Şekil 5.13. Uzun numunelerin enerji sönümleme kapasite grafikleri.....	170
Şekil 6.1. Dolgu duvar modeli ve laboratuvar test görünümü.....	171
Şekil 6.2. B Grubu için malzeme modeli özellikleri	172
Şekil 6.3. C Grubu için malzeme modeli özellikleri	173
Şekil 6.4. D Grubu için malzeme modeli özellikleri	174
Şekil 6.5. Maksimum uygulanan yük	175
Şekil 6.6. Von Mises gerilmeleri	176
Şekil 6.7. Birim uzama vektörleri.....	177
Şekil 6.8. IE01 deney sonuçları ve ANSYS modeli karşılaştırması.....	178
Şekil 6.9. Çerçeve numunesi ANSYS modeli	179
Şekil 6.10. Kullanılan malzeme model davranışları.....	180
Şekil 6.11. Kabuk ve çekirdek betonu yoğunluk bilgileri	180
Şekil 6.12. IE02, IE03, IE04 numuneleri dolgu duvar malzemesi yoğunluk bilgileri .	180
Şekil 6.13. Kabuk ve çekirdek betonu lineer izotropik malzeme özellikleri.....	181
Şekil 6.14. Dolgu duvar malzemesi lineer izotropik malzeme özellikleri.....	181
Şekil 6.15. Ø4 ve Ø8 donatılarının lineer izotropik malzeme özellikleri.....	182
Şekil 6.16. Rijit plaka malzemesinin lineer izotropik malzeme özellikleri.....	182
Şekil 6.17. Ø4 donatılarının davranış modeli	182
Şekil 6.18. Ø8 donatılarının davranış modeli	183
Şekil 6.19. Kabuk betonu davranış modeli.....	183
Şekil 6.20. Çekirdek betonu davranış modeli.....	184

Şekil 6.21. Dolgu duvar modeli.....	184
Şekil 6.22. IE02 numunesi dolgu duvar davranış modeli.....	185
Şekil 6.23. IE03 numunesi dolgu duvar davranış modeli.....	185
Şekil 6.24. IE04 numunesi dolgu duvar davranış modeli.....	186
Şekil 6.25. Kabuk ve çekirdek betonu beton davranış modeli	186
Şekil 6.26. Dolgu duvar davranış modeli	186
Şekil 6.27. Tepe noktası deplasmanı - Taban kesme kuvveti grafikleri.....	188
Şekil 6.28. Tepe noktası deplasmanı - Taban kesme kuvveti grafikleri.....	189
Şekil 6.29. Sadece çerçeve için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri.....	190
Şekil 6.30. Sadece çerçeve için son yer değıştirmedeki Von Mises gerilmeleri	191
Şekil 6.31. Sadece çerçeve için zati yükte Von Mises gerilmeleri.....	193
Şekil 6.32. Sadece çerçeve için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri.....	194
Şekil 6.33. Sadece çerçeve için son yer değıştirmedeki Von Mises gerilmeleri	195
Şekil 6.34. Sadece çerçeve için zati yükte S_{xz} kayma gerilmeleri.....	196
Şekil 6.35. Sadece çerçeve için %1 görelî kat ötelemesi S_{xz} kayma gerilmeleri.....	197
Şekil 6.36. Sadece çerçeve için son yer değıştirmedeki S_{xz} kayma gerilmeleri	198
Şekil 6.37. Çerçeve+Duvar için zati yükte Von Mises gerilmeleri	199
Şekil 6.38. Çerçeve+Duvar için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri.....	200
Şekil 6.39. Çerçeve+Duvar için son yer değıştirmedeki Von Mises gerilmeleri	201
Şekil 6.40. Çerçeve+Duvar için zati yükte S_{xz} kayma gerilmeleri	202
Şekil 6.41. Çerçeve+Duvar için %1 görelî kat ötelemesi S_{xz} kayma gerilmeleri.....	203
Şekil 6.42. Çerçeve+Duvar için son yer değıştirmedeki S_{xz} kayma gerilmeleri	204
Şekil 6.43. Sadece duvar için zati yükte Von Mises gerilmeleri.....	205
Şekil 6.44. Sadece duvar için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri.....	206
Şekil 6.45. Çerçeve+Duvar+Temel için son yer değıştirmedeki Von Mises gerilmeleri	207
Şekil 6.46. ANSYS ile statik itme analizi sonuçlarının karşılaştırılması	208
Şekil 7.1. IE01 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları.....	212
Şekil 7.2. IE02 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları	212
Şekil 7.3. IE03 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları	213
Şekil 7.4. IE04 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları	213

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Dolgu duvar hasar tipi	9
Görsel 2.2. Tam dolu dolgu duvarlı çerçevede kısa kolon hasarı	17
Görsel 2.3. Dolgu duvar hasarına bağlı kolon kesme hasarı	18
Görsel 2.4. Etrafı tam dolu dolgu duvar olan kolondaki kesme kırılması	18
Görsel 2.5. Dolgu duvar hasarına bağlı kolondaki kesme hasarı	19
Görsel 2.6. Dolgu duvar hasarından sonra kolonda meydana gelen kesme hasarı	19
Görsel 2.7. Sürekli donatılı numunede dolgu duvar hasarı sonrası kolondaki kesme hasarı	20
Görsel 2.8. Bindirmeli donatılı numunede dolgu duvar hasarı sonrası kolondaki kesme hasarı	20
Görsel 2.9. Tam dolu dolgu duvarlı sistemde kolonlarda kesme hasarı	21
Görsel 2.10. Kolonda ilk katta gözlenen kesme hasarı	22
Görsel 2.11. İlk kattaki kolonlarda gözlenen kesme hasarları	23
Görsel 2.12. Dolgu duvar hasarına bağlı kolonda gözlenen kesme hasarı	23
Görsel 2.13. Tam dolu dolgu duvarlı numunelerde kesme hasarları	24
Görsel 2.14. Dolgu duvarda köşede oluşan hasara bağlı kesme çatlakları	24
Görsel 2.15. Deprem sonrası gözlenen boşluksuz dolgu duvarlı çerçevede kısa kolon hasarı	28
Görsel 3.1. Kesme hasarının onarım aşamaları	37
Görsel 3.2. Beton basınç deneyleri	39
Görsel 3.3. Çelik çekme deneyleri	42
Görsel 3.4. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak tuğlaların eksenel yük testi	44
Görsel 3.5. Harç ve sıva uygulaması	45
Görsel 3.6. Temel kalıbı	52
Görsel 3.7. Temelde bırakılacak boşluk imalatı	52
Görsel 3.8. Tüm donatıların hazırlanması	53
Görsel 3.9. Betonda boşluk kalacak yerlere plastik borunun sabitlenmesi	55
Görsel 3.10. Birim deformasyon ölçer yapıştırılacak bölgenin temizlenmesi	56
Görsel 3.11. Birim deformasyon ölçerin yapıştırılması	56
Görsel 3.12. Birim deformasyon ölçere koruma bandı yapıştırılması ve kablo kontrollerinin yapılması	57
Görsel 3.13. Kablolara koruma bandı yapıştırılması ve kabloların kalıptan çıkarılması	57

	<u>Sayfa</u>
Görsel 3.14. Temel betonu dökümü	58
Görsel 3.15. Kolon kiriş beton dökümü	58
Görsel 3.16. Duvar imalatı ve sıva	59
Görsel 3.17. Panel deneyleri için duvar imalatı ve sıva	59
Görsel 3.18. Onarım öncesi kısa kolon hasarı görmüş numune ve onarılmış numune (IE02 ve IE02_G)	60
Görsel 3.19. Düzlem dışı hareketi önleme ve eksenel yük koruma çelik çerçevesi	62
Görsel 3.20. İki parça olarak toplam 2,3 ton eksenel yük	63
Görsel 3.21. Eksenel yükün yerleştirildiği elastomer takozlar	63
Görsel 3.22. Panel deneyi uygulaması	73
Görsel 3.23. B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları	76
Görsel 3.24. C Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları	79
Görsel 3.25. D Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları	80
Görsel 4.1. IE01 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	85
Görsel 4.2. IE01 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	86
Görsel 4.3. IE01 Birleşim bölgesindeki ilk çatlak	86
Görsel 4.4. IE02 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	89
Görsel 4.5. IE02 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	90
Görsel 4.6. IE02 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	90
Görsel 4.7. IE02 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	91
Görsel 4.8. IE03 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	94
Görsel 4.9. IE03 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	95
Görsel 4.10. IE03 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	95
Görsel 4.11. IE03 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	96
Görsel 4.12. IE04 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	99
Görsel 4.13. IE04 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	100
Görsel 4.14. IE04 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	100
Görsel 4.15. IE04 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	101

Görsel 4.16. IE05 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	104
Görsel 4.17. IE05 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	105
Görsel 4.18. IE05 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	105
Görsel 4.19. IE05 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	106
Görsel 4.20. IE06 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	108
Görsel 4.21. IE06 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	109
Görsel 4.22. IE06 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	109
Görsel 4.23. IE06 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	110
Görsel 4.24. IE07 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	113
Görsel 4.25. IE07 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	114
Görsel 4.26. IE07 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	114
Görsel 4.27. IE07 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	115
Görsel 4.28. IE13 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	118
Görsel 4.29. IE13 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	119
Görsel 4.30. IE13 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	119
Görsel 4.31. IE13 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	120
Görsel 4.32. IE14 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	123
Görsel 4.33. IE14 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	124
Görsel 4.34. IE14 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	124
Görsel 4.35. IE14 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	125
Görsel 4.36. IE02_G numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	127
Görsel 4.37. IE02_G numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	128
Görsel 4.38. IE02_G numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları	128
Görsel 4.39. IE08 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	132
Görsel 4.40. IE08 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	133
Görsel 4.41. IE08 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	133
Görsel 4.42. IE09 numunesinde dolgu duvarda gözlenen dönme hareketi başlangıcı.	135
Görsel 4.43. IE09 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	137

Görsel 4.44. IE09 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	138
Görsel 4.45. IE09 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	138
Görsel 4.46. IE09 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	139
Görsel 4.47. IE09 numunesinde gözlenen dolgu duvarın alttan dönme mekanizması	140
Görsel 4.48. IE10 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	142
Görsel 4.49. IE10 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	143
Görsel 4.50. IE10 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	143
Görsel 4.51. IE10 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	144
Görsel 4.52. Boşluğa eklenen metal pencere kasası	145
Görsel 4.53. IE11 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	147
Görsel 4.54. IE11 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	148
Görsel 4.55. IE11 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	148
Görsel 4.56. IE11 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	149
Görsel 4.57. IE11 numunesinde metal pencere kasasının çalışması	149
Görsel 4.58. IE11 numunesinde gözlenen dolgu duvarın alttan dönme mekanizması	150
Görsel 4.59. IE12 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu.....	152
Görsel 4.60. IE12 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	153
Görsel 4.61. IE12 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları.....	154
Görsel 4.62. IE12 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları	154
Görsel 4.63. Beklenmeyen kısa kolon hasarı gözlenen numuneler	156
Görsel 7.1. Tam dolu dolgu duvarlı fakat kesme hasarı gözlemlenen numuneler	209

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\Delta_{0,6 V_{mak}}$	: Çerçeve numunesinin dayanımının lineer bölgedeki %60'na karşılık gelen deplasman değeri
ε_0	: Betonun dayanımına ulaştığı andaki birim şekil değiştirme değeri
ε	: Gerilmenin hesaplanacağı andaki birim şekil değiştirme değeri
θ	: Dolgu duvar köşegenin yatay ile olan açısı
θ_c	: Potansiyel kırılma yüzeyi dikkate alınarak eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile açısı
λ_{duvar}	: Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
σ_1	: X Yönü eleman gerilmesi
σ_2	: Y Yönü eleman gerilmesi
σ_3	: Z Yönü eleman gerilmesi
σ_w	: Dolgu duvarın köşelerindeki basınç gerilmesi
a_{duvar}	: Eşdeğer basınç çubuk genişliği
$\sum A_s$	: Kolonların toplam boyuna donatı miktarı
A_v	: Kesme Alanı
b	: Kolon kesit boyutu
d	: Kolon faydalı yüksekliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü
E_{duvar}	: Dolgu duvarın elastisite modülü
E_m	: Dolgu duvarın elastisite modülü
f_c	: Betonun istenen birim şekil değiştirme değerindeki hesaplanan gerilme değeri
$f_{c''}$	: Deney sonucu elde edilen beton dayanımı
f_c	: Beton tasarım basınç dayanımı
f_{wv}	: Dolgu duvarın basınç dayanımının yatay bileşeni
f_y	: Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
G_m	: Dolgu duvar kayma modülü
h_{duvar}	: Dolgu duvarın yüksekliği
h_{eff}	: Dolgu duvar yüksekliği
h_{inf}	: Dolgu duvarın net yüksekliği
h_k	: Kolon boyu

I_g	: Çatlamamış davranış için dolgu duvar atalet momenti
I_k	: Kolonun atalet momenti
K_1	: λ_{duvar} ve h_{duvar} parametresine bağlı katsayı
K_2	: λ_{duvar} ve h_{duvar} parametresine bağlı katsayı
l_{inf}	: Dolgu duvarın iki kolon arasında kalan net uzunluğu
l_n	: Kısa kolon oluşturacak şekilde bırakılmış boşluğun serbest yüksekliği
l_{ceff}	: Potansiyel kırılma boyu
M_p^{col}	: Kolonun, çeliğin pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi
M_{ra}	: Kolonlun alt ucundaki moment taşıma kapasitesi
$M_{r\ddot{u}}$	: Kolonlun üst ucundaki moment taşıma kapasitesi
N_d	: Kolon eksenel yük kapasitesi
r_{duvar}	: Dolgu duvar köşegen uzunluğu
S_{xz}	: Çerçeve düzlemindeki kayma gerilmeleri
t_{duvar}	: Dolgu duvar kalınlığı
V_{col}	: Kolon kesme kuvveti talebi
V_e	: Kolonların enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvveti
V_{mak}^+	: Çerçeve numunesinin pozitif yöndeki yatay yük taşıma kapasitesi
V_y	: Çerçeve numunesinin akma dayanımı

1. GİRİŞ

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre, aktif deprem kuşağında olan ülkemizin büyük bir bölümünün yüksek deprem tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Bu sebeple inşa edilecek yapılar titizlikle projelendirilmeli ve uygulaması da aynı titizlikle yapılmalıdır. 2007 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)” yapıların depreme dayanıklı olmasını sağlayan hükümler içermektedir. Bu yönetmelikte betonarme yapı elemanlarında birçok detay açıklanırken, taşıyıcı olmayan dolgu duvarın taşıyıcı sistem üzerine etkileri çoğunlukla hesaba katılmazlar, ancak yıllardır yapılan deneysel çalışmalar, analitik hesaplar ve deprem sonrasında incelenen bina hasarları sonucunda dolgu duvarların yapıya olumlu ve olumsuz etkilerinin olabileceğini göstermişlerdir. Bu olumsuz etkilerin başında dolgu duvarlarda bırakılan boşluk neticesinde meydana gelen kesme kırılması sonucu ağır hasara neden olan kısa kolon etkisi gelmektedir. Kısa kolon oluşumu çoğunlukla binada bir kattaki bazı kolonların mimari nedenlerle etkin boylarının diğer kolonlara kıyasla daha kısa kalmasından kaynaklanmaktadır. Bodrum ve zemin katlarda aydınlık sağlama amacıyla bırakılan bant pencereler ya da merdiven plağının etrafındaki kolonlarda gözlenen kısa kolon oluşumu en sık karşılaşılan mimari etkenlerdendir. Etkin boyu kısalan kolonun rijitliği diğer kolonlardan oldukça fazla olması nedeniyle deprem kuvvetlerinin büyük kısmı kısa kolonlar tarafından taşınmaktadır. Çoğunlukla, meydana gelen büyük kesme kuvvetleri kısa kolonun kesme dayanımından büyük olmasından dolayı, bu kolonlarda gevrek kesme kırılmaları oluşmaktadır. Bu durum binanın ağır hasar görmesine ve hatta toplu göçmeye neden olabilmektedir.

DBYBHY’ye (2007, s. 46) göre kısa kolon etkilerine karşı ilgili kolonun projelendirilmesinde “Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar” başlığı altında ilave yönetmelik hükümleri bulunmaktadır. Bu maddede kısa kolon oluşumunun taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarda kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşacağı öngörülmektedir. Dolgu duvarında boşluk olmayan çerçevelerin kolonlarında meydana gelebilecek kısa kolon oluşumu beklenmediğinden bu kolonlar için yönetmelikte herhangi bir özel koşul belirtilmemiştir. Fakat hasar yapıcı depremler sonrasında yapılan incelemelerde boşluksuz dolgu duvarlı çerçeve kolonlarının üst bölgesinde dolgu duvarın ezilerek dökülmesi ile kolon etrafında boşluk oluştuğu ve bu boşluğun kısa kolon oluşmasına neden olarak kesme kırılmaları gözlenmiştir. Literatürde kısa kolon üzerine yapılan çalışmalar genellikle kısa kolon oluşumunu engellemeye yönelik iyileştirme ya

da kısa kolonların kesme kapasitelerinin artırılmasına yönelik çalışmalardır. Ayrıca kısa kolon oluşumuna neden olan bant pencere boşluğunun büyüklüğü ve ilgili kolonlara mesafesinin kısa kolon oluşumuna etkileri incelenmiştir. Fakat kısa kolon oluşması beklenmeyen boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve kolonlarında kısa kolon oluşumuna neden olan etmenler ve hangi durumlarda oluşabileceği incelenmemiştir.

Bu çalışmada kısa kolon oluşumu gözlenmesi beklenmeyen boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçevede kısa kolon oluşumuna neden olabilecek etmenler deneysel ve teorik olarak araştırılacaktır. Yaşanan son depremlerde binaların beton kalitelerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Daha yeni yapılan çoğu betonarme yapıda, beton basınç dayanımının 8-10 MPa arasında olduğu görülmüştür (Biniciksü, Kaplan ve Görür, 2005, s. 705). Türkiye'deki mevcut yapı stokunda bulunan binaların çoğunu temsil edebilmesi için beton dayanımı düşük, nervürlü boyuna donatılı, etriye aralığı yetersiz boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeveler tersinir tekrarlı yatay yükler altında incelenmiştir. Deneysel çalışmada kolonun üst bölgesi etrafındaki dolgu duvar parçasının ezilip dağılarak belirli miktarda boşluk oluşması ve bu boşluğun ise kısa kolon oluşumuna sebebiyet vermesi beklenmektedir. Bu duruma neden olabilecek etmenler olarak çerçevenin en/boy oranı ve dolgu duvarı oluşturan tuğla ve harç özellikleri incelenmiştir. Bunlar, kullanılacak tuğlaların boşluk oranı, tuğlanın yatay ya da düşey uygulanması ve kullanılacak harç ve sıvanın kalitesidir. Yapılan deneysel çalışmaya ilave olarak, sonlu elemanlar yöntemi ile çerçevelerden bazıları için analitik modelleri oluşturularak gerçekleştirilecek simülasyonlarla boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve kolonlarında oluşabilecek kısa kolon olgusu incelenmiştir. Sonlu elemanlar modelinde kullanılacak dolgu duvar özelliklerinin doğru bir şekilde temsil edilebilmesi için dolgu duvar panel deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın son kısmında deneysel veriler incelenerek, boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve kolonlarında hangi durumlarda kısa kolon oluşumu gözleneceği, hangi etmenlerin bu davranışa neden olduğu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada tam dolu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde beklenmeyen kısa kolon oluşumu standart altı yapılar için irdelenmiştir. Ülkemizde deprem sonrasındaki yapılan incelemelerde, birçok yapıda, uygulamada yapılan hatalar ve malzeme kalitesinin yetersizliğinden dolayı sismik performanslarının yeterli olmadığı gözlenmiştir. Çağatay'a (2005a, s. 440) göre ülkemiz yapı stokunu oluşturan yapıların birçoğunun beton dayanımının düşük olması (8-10 MPa), düz donatı kullanılması ve işçilik kalitesinin yetersizliği ele alınmıştır. Arslan ve Korkmaz (2007, s. 19) Türkiye'deki deprem sonrası betonarme yapılardaki hasarlardan yola çıkarak edindikleri bilgileri açıkladıkları çalışmalarında mevcut binalardaki ortalama basınç dayanımlarının 10 MPa civarında olduğunu belirtmiştir. Bunun yanında DBYBHY 2007'de bahsedilen düşey doğrultudaki düzensizlik durumları olan zayıf kat, yumuşak kat gibi düzensizliklerle sistemin süneklik düzeyini etkileyen kısa kolon ve güçlü kiriş-zayıf kolon gibi sistem yetersizlikleri yapının sismik davranışını olumsuz yönde etkileyen parametrelerdir. Bu gibi düzensizliklerin birine ya da birkaçına sahip yapılarda, deprem gibi yıkıcı doğal afet sonucunda yapısal hasarlar oluşmaktadır. Kısa kolon oluşumu genellikle mimari nedenlerden dolayı yıkıcı deprem sonucunda, sıklıkla görülen yapısal hasar türlerindendir. Gevrek bir hasar tipi olarak ani kırılmalar şeklinde gözlenmektedir. Bu durum kolon kenarlarındaki dolgu duvarda bırakılan boşluklar nedeni ile gözlenirse de, deprem sonrası incelemelerde tam dolu dolgu duvarlı kolon elemanlarında da bu oluşuma benzer durumlar gözlenmiştir. Çalışmada tam dolu dolgu duvarlı numunelerde kısa kolon oluşumunun hangi şartlarda gözlemlendiğini incelemek için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deney düzeneği hazırlanırken Akın'ın (2011, s. 23) çalışmasında kullandığı düzeneğe benzer bir düzenek, ihtiyaçlar doğrultusunda değişiklikler yapılarak kullanılmıştır.

Kısa kolon oluşumu, dolgu duvarların yapıya etkileri, dolgu duvarların davranışları, dolgu duvar modellemeleri ve bu çalışmayla beraber yapılan onarım çalışması için yapılan literatür taramaları ayrı ayrı açıklanmıştır.

2.1. Kısa Kolon

Yıkıcı deprem sonucunda, sıklıkla görülen yapısal hasar türlerinden biri de kısa kolon hasarıdır. Mimari tasarımlar sonucunda kolonlar arasında bant pencere bırakılarak kolon kenarında boşluklar oluşturulmaktadır. Bu nedenle, kolonun tasarımda esas alınan hesap boyu kısaltmakta ve kesme kuvvetleri beklenenin üzerinde gelerek gevrek kolon

hasarı oluşmaktadır. DBYBHY (2007, s. 46) 3.3.8. numaralı “Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar” başlıklı maddesinde kısa kolon oluşumuyla ilgili hesap yöntemi anlatılmıştır. Kısa kolon oluşumunun taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarda kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabileceğinden söz edilmiştir. Tarif edilen durumlarda esas alınacak kesme kuvveti denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$V_e = \frac{(1,4M_{ra} + 1,4M_{r\ddot{u}})}{l_n} \quad (2.1)$$

Burada; V_e kolonların enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvveti, M_{ra} ve $M_{r\ddot{u}}$ kolonun alt ve üst ucundaki moment taşıma kapasitesi ve l_n ise kolonun kısa kolon oluşturacak şekilde bırakılmış boşluğun serbest yüksekliğidir. Hesaplanan kesme kuvveti, kolon kesitinin asal çekme gerilmesine karşılık gelen kesme dayanımından ve ayrıca asal basınç gerilmesinin %22’sinden daha az olmalıdır. Hesapta kullanılan kesme kuvveti ile hesaplanan enine donatı tüm kolon boyunca uygulanmaktadır.

Ani olarak meydana gelen gevrek bir kırılma modu olan kesme kırılması için literatürde çalışmalar mevcuttur. Guevara ve Garcı’a (2005, s. 141), çalışmalarında kısa kolon oluşumunun mimari nedenlerden ötürü hangi durumlarda oluştuğundan bahsetmiş ve depremler sonrası oluşmuş kısa kolon örnekleri vermişlerdir. Çözüm olarak, içinde mühendislik, mimari ve inşaat yapım aşamasının da olduğu disiplinler arası bir bakış açısıyla bakılmasının gerekliliğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında kısa kolona neden olabilecek etmenler açıklanarak, mimari nedenlerden dolayı oluşmuş kısa kolon mekanizmasının teorik olarak kolon iç kuvvetlerine etkisini açıklamışlardır. Farklı depremler sonrasında oluşmuş kısa kolon hasarlarını araştırmışlardır. Kısa kolon davranışını yapısal olarak açıkladıktan sonra farklı üniversitelerde kısa kolon ile ilgili yapılan deneylerle deney düzeneklerinde gözlemlenen kısa kolon davranışları hakkında yorumlar yapmışlardır.

Çağatay (2005b, s. 497), Türkiye’deki endüstriyel bir yapıyı incelemiş ve 1998 Adana-Ceyhan depremi sonrasında dış kısımdaki bütün kolonların kısa kolon hasarı ile hasar gördüğünü belirtmiştir. Yetersiz etriye aralığı ve etriye kancalarının 90 derece olduğunu göz önünde tutarak hasarı incelemiştir. Yapının sonlu elemanlar modelini oluşturarak analitik hesaplar yapıp boşluk oranının etkisini araştırmış ve kısa kolon etkisini yok edecek bazı pratik önerilerde bulunmuştur.

Demir vd., (2013, s. 1), yaptıkları çalışmalarında, bodrum katı betonarme perde duvarlarında bırakılan bant pencere ve havalandırma boşluklarının oluşturduğu kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutunu araştırmışlardır. Bu amaçla, betonarme perdedeki pencere boşluklarını, kanat dolgu duvarlar kullanarak güçlendirmişler ve böylece kısa kolon etkisinin en az olduğu pencere boyutunu deneysel olarak araştırmışlardır.

Martirossyan ve Xiao (2001, s. 679) yüksek dayanımlı betonarme kolonlarda kısa kolon davranışını araştırmışlar, bunun için deney düzeneği olarak çerçeve değil sadece kolon elemanını ele almışlardır. Numunelerin bazılarında sadece yatay yük yüklenmiş bazılarında ise hem yatay hem düşey yük yüklenmiştir. Eksenel yük oranı, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı gibi parametrelerde değişiklikler yapılarak yaptıkları analiz ve deney sonuçlarının tutarlı olduğunu vurgulamışlardır.

Maruyama, Ramirez ve Jirsa (1984, s. 120) farklı yükleme protokolleri ile kısa kolon davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Kolon geometrilerini değiştirmedikleri 18 adet numune ile yanal deformasyonun, eksenel yükün kolon kesme talebine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde çerçeve sistemi yerine kare kolonlar kullanılarak itme yönünü doğu-batı ve kuzey-güney olacak şekilde 2 eksenli olarak yapmışlardır. Eğer bir eksendeki deplasman, kolonun kesme kapasitesini aşmıyorsa, diğer yöndeki kesme kapasitesini etkilememekte ancak rijitliğinde azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sabit eksenel yük uygulanmış numunede kesme dayanımındaki düşüş hızı artmaktadır. Sabit çekme yükü uygulanmış numunede hız düşük olmasına rağmen kesme dayanımı da düşük olduğu belirtilmiştir.

Umehara ve Jirsa (1984, s. 605) kısa kolonlarda kare ve dikdörtgen kolon kesitleri ile yükleme yönünün kesme dayanımına etkilerini incelemek için 20 adet deney gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde çerçeve sistemi yerine kısa kolonlar kullanılarak yükleme yönünü değiştirerek kısa kolonların kesme kapasitelerini dairesel ve eliptik olarak etki diyagramı ile tahmin etmişlerdir.

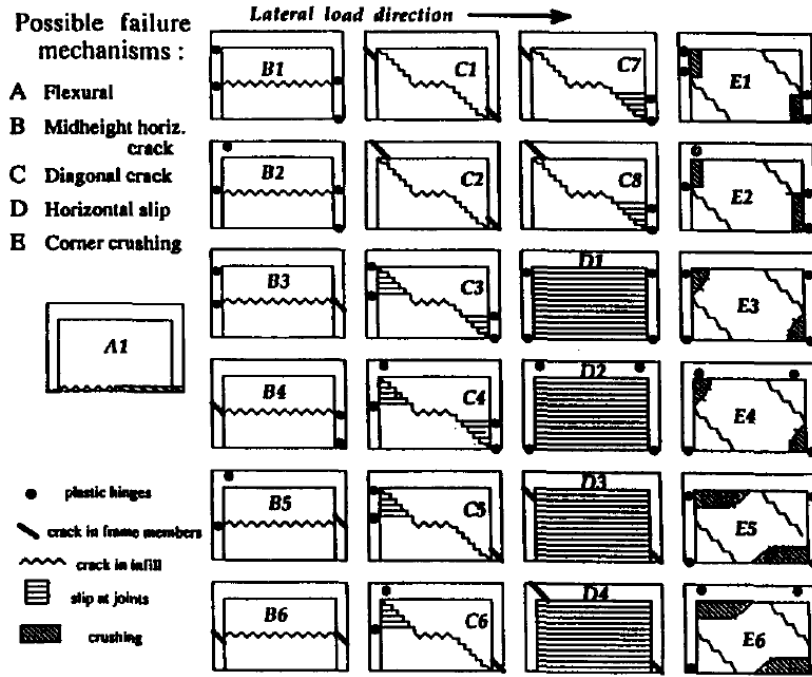
Woodward ve Jirsa (1984, s. 90) betonarme kısa kolonlarda enine ve boyuna donatının etkilerini inceledikleri deneysel bir çalışma yapmışlardır. Enine donatı aralıklarının azaltılmasıyla test edilen kısa kolon davranışlarında iyileşme meydana geldiğini vurgulamışlardır. Kısa kolonlardaki kesme kapasitesinin eğik kesme çatlağından önce beton dayanımına bağlı olduğunu, eğik çatlaktan sonra ise agregaların

kenetlenmesine bağılı olduğu sonucuna varmışlardır. Enine donatılar eğik çatlağı sınırlandırarak agreganın etkili çalışmasına katkısı olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Dolgu Duvar Davranışı

Yapılan birçok çalışmada; dolgu duvar özelliklerinin, çerçeve davranışına etkileri incelenmiştir. Dolgu duvarların doğrusal ve doğrusal olmayan özellikleri kullanılarak çerçeve sistemine olan etkileri araştırılmıştır. Çoğu zaman dayanım ve rijitliğe olan olumlu etkiler araştırılırken bazı durumlarda ki olumsuz etkiler hakkında da çalışmalar yapılmıştır. Kaushik, Rai ve Jain (2006, s. 961) dolgu duvarların başlangıç rijitliğinin fazla olması nedeniyle yapının yanal rijitliğini artırdığından bahsetmişlerdir. Buna rağmen dolgu duvarların taşıyıcı eleman olarak düşünülmediğini ancak yapıya olumlu ya da olumsuz etkilerinin olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada 16 farklı ülkenin yönetmelikleri de incelenmiştir. Farklı yönetmeliklerde dolgu ve çerçeve arasında yatay yüklerin nasıl dağıldığını karşılaştırmışlardır. Dolgu duvar dayanımlarının bırakılan boşluğa göre nasıl etkilendiği yine farklı yönetmeliklere göre açıklanmıştır. Ayrıca dolgu duvarlarla alakalı yönetmeliklerde belirledikleri, yapı periyoduna, dayanıma, sünekliğe ve rijitliğe etkilerinin çok net olmaması gibi eksiklikleri belirtmişlerdir. Sonuç olarak olumlu ya da olumsuz dolgu duvar etkilerinin hesaplarda göz önüne alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

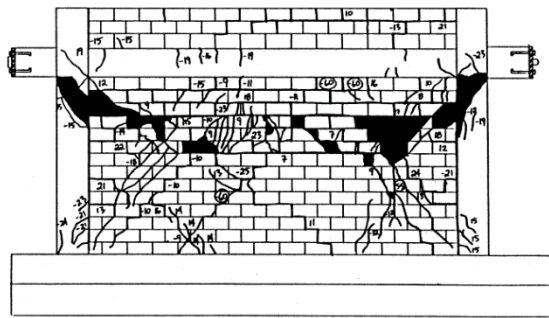
Mehrabi vd., (1996, s. 228) dolgu duvarların, betonarme çerçeveli sistemlere etkilerini inceledikleri çalışmalarında Şekil 2.1’de görülen dolgu duvarlarda farklı kırılma mekanizmalarını açıklamışlardır. Bunun için 12 adet ½ ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı çerçeve kullanılmıştır. Dört adet numunede duvar köşelerinde ezilmeler gözlenmiştir. Bu dört adet numunenin sadece bir tanesinde kolon elemanında kesme çatlağı gözlenmiştir. Dolgu duvar köşelerindeki ezilme ve kolondaki kesme çatlağının beraber gözleendiği çerçevede beton basınç dayanımını 27 MPa, dolgu duvar basınç dayanımını 10 MPa olarak ölçmüşlerdir. Deneylerinde kolon boyunun giriş boyuna oranı 0.67 olan betonarme çerçeve kullanmışlardır. Beş adet numunede ise Şekil 2.1’de görülen dolgu duvar köşelerinde boşalma olmadan kolon elemanında çatlak gözledikleri C7 tipi hasar mekanizmasını meydana gelmiştir.



Şekil 2.1. Dolgu duvarlarda farklı kırılma mekanizmaları

Kaynak: Mehrabi vd., 1996, s. 229

Mehrabi vd., (1996, s. 233) bazı numunelerinde köşe noktasındaki dolgu duvarlarda çatlamalar ve kolonda bu tezin de çalışma konusu olan ve Şekil 2.2’de görülen kesme kırılmalarına benzer kırılmalar gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.2. Kolonlarda gözlenen kesme kırılma hasarı

Kaynak: Mehrabi vd., 1996, s. 233

Hashemi ve Mosalam (2006, s. 1827) dolgu duvarlı 5 katlı betonarme bir yapıda sarsma tablası deneyi gerçekleştirmişlerdir. Yapının dinamik özelliklerini, sarsma tablası deneyi öncesi gerçekleştirdikleri bazı deneylerle belirlemişlerdir. Bu özelliklerle

oluşturdukları bilgisayar modeli sonuçlarını sarsma tablası deney sonuçları ile kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda dolgu duvarların yapıyı rijitleştirdiğini ve periyodunu azalttığını belirtmişlerdir. Bunun yanında yük aktarma şeklinde değişikliğe neden olarak kolon üst ve alt noktalarında kolon yük taleplerinde artmaya neden olduğunu da belirtmişlerdir.

Vahidi ve Malekabadi (2009, s. 472) çalışmalarında dolgu duvarların depremlerde çerçeveye olan etkilerini anlatmış bu nedenle dolgu duvar malzemesinin seçiminin önemini vurgulamışlardır. Mimari veya yapısal nedenlerden dolayı oluşması beklenen kısa kolon davranışlarını açıklamış, bunlara çözümler önermişlerdir. Geçmiş depremlerden, kat yüksekliği boyunca düzensiz dolgu duvar örülmesi durumunda kolonların daha çok etkilendiğini tecrübe ettiğini belirtmişlerdir.

Tasligedik, Pampanin ve Palermo (2011, s. 120) çalışmalarında dolgu malzemelerinin yapısal olmayan elemanlar olmasının, yaşanmış büyük depremlerden sonra, taşıyıcı sistemle doğrudan etkileşim içinde oldukları için bu etkilerin göz önüne alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu sebeple dolgu duvar davranışının etkilerini hesaba katabilmek için deneysel ve teorik olarak araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında daha çok dolgu duvar hasarları üzerinde durmuşlar ve dolgu duvar için 4 temel kırılma şeklinden bahsetmişlerdir. Daha önceki çalışmaların çoğunda dolgu duvarın yapıya olumlu etkileri araştırılmışken dolgu duvarlarda meydana gelen hasarların da yapı için tehlikeli hasarlara neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında da dayanımı iyi dolgu duvar ile üretilmiş numunelerde hasar dolgu duvarda gözlemlendikten sonra kolon kenarlarında boşlukların oluştuğu ve kısa kolon kırılmasına benzer hasarlar gözlenmiştir.

Hak, Morandi ve Magenes (2013, s. 1) betonarme çerçeveli sistemlerde dolgu duvarların bölgesel etkilerini inceledikleri çalışmada, dolgu duvarların değişik dayanım ve rijitlik değerleri ile doğrusal olmayan dinamik analizler yapmışlardır. Analizlerinde dolgu duvarları basınç çubuğu olarak modellemişlerdir. Bu yöntemle dolgu duvarların lokal etkileri doğrudan hesaba etkimese de dolaylı olarak hesaba katıldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında çeşitli yönetmeliklerdeki kolon kesme taleplerini, kendi basitleştirilmiş prosedür sonuçları ile karşılaştırma yaparak, dolgu duvarın bölgesel etkilerini de dahil ederek kolon kesme kuvveti talep formülünü düzeltmişlerdir.

Palermo vd., (2014, s. 45) 2009'da meydana gelen L'Aquila depremi sonrasında hasar görmüş dolgu duvarlı betonarme binaların davranışlarını inceledikleri çalışmada dolgu duvarların, hafif, onarılabilecek orta veya toptan göçmeye neden olacak ağır

hasarlara neden olabildiğini vurgulamaktadırlar. Analitik model hesaplarında dolgu duvarı basınç çubuğu ile modellemişler ve basınç çubuğunun yatay bileşeni kolon alt ve üst uçlarında gevrek kesme hasarına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Modellerinde kesme hasarını açıklayabilmek için doğrusal olmayan elemanlar kullanarak OpenSees programını kullanmışlardır. Doğrusal olmayan elemanlarda sünek olmayan ve yarı sünek iki farklı malzeme modeli denemişlerdir. Yapıların davranışının belirlenmesinde gerçeğe yakın sonuçlar için dolgu duvarın sünek olmayan, ya da yarı sünek olan malzeme modelinin kullanılmasının gerekliliğine dikkat çekmişlerdir.

Mısır (2014, s. 1) yumuşak kat düzensizliği etkisinin kilitli tuğla kullanılarak oluşturulmuş dolgu duvarlı yapılarda azaltılmasını amaçladığı çalışmada, bu yeni dolgu tipinin etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Analitik hesaplardaki verileri, kilitli tuğlalar kullanarak, ½ ölçekli olarak tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve ile gerçekleştirdiği deneylerden elde ettiği sonuçları kullanarak elde etmiştir. Yaptığı analizler sonucunda kilitli tuğlaların kullanımıyla standart tuğla kullanımına oranla yumuşak kat etkilerinin azaldığını vurgulamaktadır. Kilitli tuğlalar kullanıldığında yapıya yanal rijitlik kazandırırken, dolguda daha az hasar gözlemlenmiştir (Görsel 2.1). Aynı zamanda dolgunun düzlem dışı devrilmesini de engellemiş olmaktadır.



(a) Standart tuğla ile gözlenen hasar



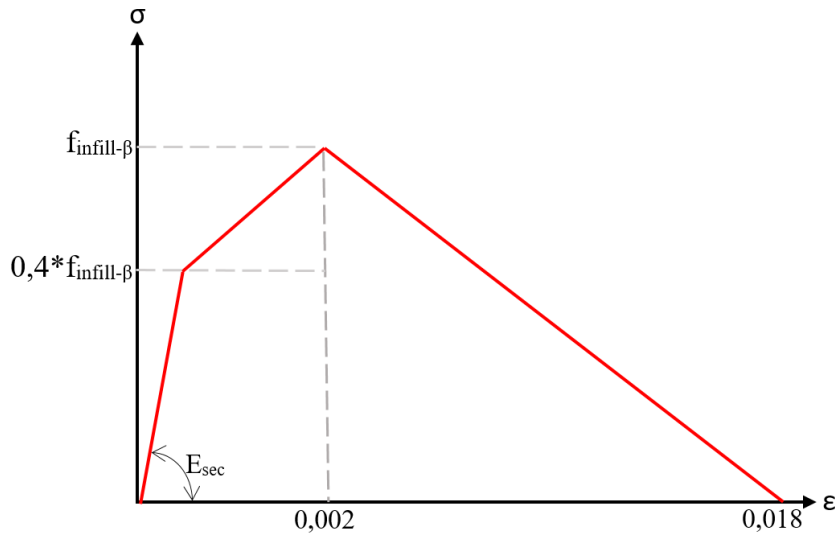
(b) Kilitli tuğla ile gözlenen hasar

Görsel 2.1. Dolgu duvar hasar tipi

Kaynak:Mısır, 2014, s. 3

Haris ve Hortobagyi (2015, s. 193) betonarme çerçevelerde mühendislik hesaplamalarında kullanılacak dolgu duvar modeli önermek için yaptıkları çalışmada deneysel çalışma ve numerik model sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bunun için sonlu eleman modeli, ortotropik yüzey modeli ve önerdikleri model sonuçlarını kullanmışlardır.

Çalışma sonucunda dolgu duvar modellemesinde kullanılmak üzere Şekil 2.3'te görülen gerilme-birim şekil değiştirme grafiğini önermişlerdir. Burada E_{sec} , dolgu duvar basınç dayanımının 1000 katı; $f_{infill-\beta}$ ise dolgu duvar basınç dayanımının %70'i olarak hesaplanmaktadır. 2 katlı ve tek açıklıklı olarak üretilen deney numuneleri sonuçlarına göre rijitlik, dolgu duvarın akma noktası, çerçevenin dayanımı ve deformasyon değerleri yakın çıksa da enerji sönümleme değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir.

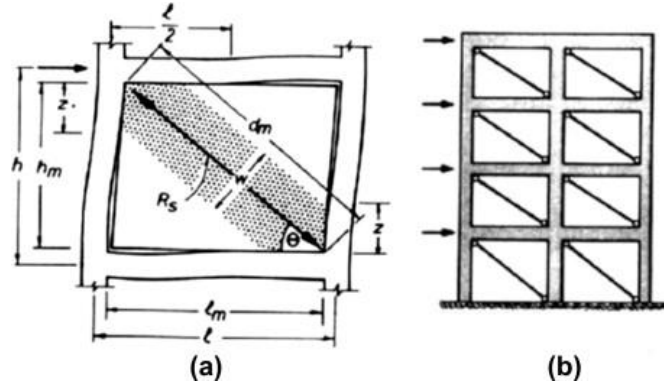


Şekil 2.3. Önerilen gerilme-birim deformasyon grafiği

Kaynak: Haris ve Hortobagyi, 2015, s. 203

2.3. Dolgu Duvar Modelleme

Analitik çözümlerde dolgu duvarların davranışlarını modelleyebilmek için eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Eşdeğer basınç çubuğu yönteminde, depremde olduğu gibi yatay bir kuvvet uygulanmış dolgunun, kuvvetin tesir ettiği kolon kiriş birleşimine bir basınç çubuğu gibi kuvvet aktardığı düşünülmektedir (Şekil 2.4). Holmes (1961, s. 473) dolgu duvar diyagonal uzunluğuna bağlı bir basınç çubuğu genişliği değeri öneren ilk araştırmacılardan biridir. Yöntem daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilerek çalışılmaya devam edilmiştir (Uva vd., 2012, s. 83).



Şekil 2.4. Dolgu duvar için eşdeğer basınç çubuğu modeli

Kaynak: Uva vd., 2012, s. 85

Crisafulli ve Carr (2007, s. 69) dolgu duvarlardaki sık görülen hasar tiplerini kesme hasarı, diyagonal çekme hasarı ve köşelerdeki ezilme olarak açıklayarak yeni bir dolgu duvar modeli önermişlerdir. Bu modelde çoklu diyagonal çubuk kullanılırken, kesme yayları da kullanılarak modele dahil edilmiştir. Dolgu duvar hasarında kesme hasarı da sık görülen bir hasar tipi olduğu için model sonuçları ile deney sonuçlarının birbirleri ile uyumlu çıktığı vurgulanmıştır.

Kaushik vd., (2008, s. 1) dolgu duvar malzemesinin davranışı için doğrusal ve doğrusal olmayan özelliklerin ve dolgu malzemesinin kırılma mekanizmalarının kullanıldığı matematiksel modeller üzerine çalışmışlardır. “3 strut” modeli, “single strut” modeli ve sonlu eleman modellerinin hangi durumlarda kullanılmasının daha doğru sonuca ulaşılmasını sağlayacağını açıklamışlardır. Çalışmalarının sonucunda tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçevelerde single strut modelinin doğruya yakın sonuçlar verdiğini, elemanlar üzerindeki etkiler incelendiğinde 3 strut modelinin daha uygun olduğunu açıklamışlardır.

Hosseini ve Kabeyasawa (2004, s. 133) 2003 yılındaki İran, Bam depremi sonrası dolgu duvarların etkilerini incelemek için Bam telefon merkezi binasında incelemelerde bulunmuşlardır. Deprem sonrası hasar durumları incelendiğinde taşıyıcı elemanlarda hasar gözlenmemişken, yapının lineer elastik olarak performans sergilediği yorumunu yapmışlardır. Ancak Bam depremi ve kayıtlı kuvvetli yer hareketi düşünüldüğünde lineer elastik ötesi davranışa geçmesi gerektiği düşünüldüğü için binayı inceleme gereği duymuşlardır. Bunun için yapı 3 boyutlu olacak şekilde, sadece çerçevelerden oluşacak şekilde, dolgu duvarlı ve zayıf dolgu duvarlı olacak şekilde 3 ayrı model oluşturmuşlardır.

Analiz sonucunda dolgu duvarsız ve zayıf dolgu duvarlı modelde yapı lineer elastik ötesi davranış gösterirken, dolgu duvarlı oluşturulmuş analiz sonucunda gerçekte olduğu gibi yapının lineer elastik olarak davrandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Mondal ve Jain (2008, s. 701) çalışmalarında FEMA-273 ve ATC-40'a göre dolgu duvar davranışı için farklı hesap yöntemlerinin olduğunu belirtmişler fakat boşluklu dolgulu duvarlı sistemlerde bu yöntemleri hesap için önermemişler, bırakılan boşluğa göre bir azaltma faktörü geliştirmişlerdir. Hesaplarında merkezinde boşluk bulunan dolgu duvarın sonlu eleman modelini kullanmışlar daha sonra farklı hesap yöntemleriyle de sonuçlarını kalibre etmişler fakat kısa kolon davranışı hakkında bir yorum yapmamışlardır.

DBYBHY'ye (2007, s. 162) göre güçlendirilmiş dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer basınç çubuğu yöntemi kullanılmaktadır. Modelde köşeden köşeye tanımlanan eşdeğer çubuk özelliklerinin belirlenmesinde çubuğun genişliği için denklem 2.2, eşdeğer basınç çubuğu katsayısı için denklem 2.3 ve çubuk eksenel rijitliği için denklem 2.4 kullanılmaktadır.

$$a_{duvar} = 0,175(\lambda_{duvar}h_k)^{-0,4}r_{duvar} \quad (2.2)$$

Burada; a_{duvar} çubuk genişliği (mm), λ_{duvar} eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, h_k kolon boyu (mm) ve r_{duvar} dolgu duvar köşegen uzunluğudur (mm).

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar}t_{duvar}\sin 2\theta}{4E_cI_kh_{duvar}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.3)$$

Burada; E_{duvar} dolgu duvarın elastisite modülü (MPa), t_{duvar} dolgu duvar kalınlığı, E_c çerçeve betonunun elastisite modülü (MPa), I_k kolonun atalet momenti (mm⁴), h_{duvar} dolgu duvarın yüksekliği ve θ köşegenin yatay ile olan açısıdır.

$$k_{duvar} = \frac{a_{duvar}t_{duvar}E_{duvar}}{r_{duvar}} \quad (2.4)$$

Burada; k_{duvar} eşdeğer basınç çubuğunun eksenel rijitliğidir.

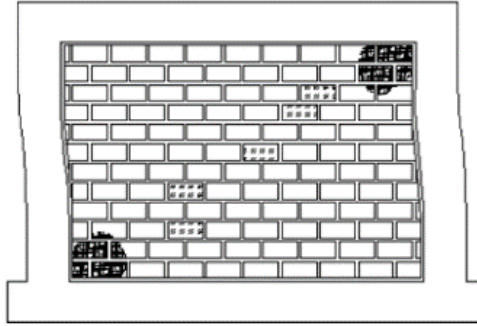
Dolgu duvarlı çerçeve sistemleri analizi için kullanılan diğer bir analitik yöntem olan sonlu elemanlar yönteminde dolgu duvar olarak kullanılacak malzeme makro model veya mikro model olarak kullanılabilir. Krstevska ve Ristic (2004, s. 1) kuvvetli deprem yer hareketlerinde dolgu duvar malzemesinin doğrusal olmayan hesap yöntemleri için

mikro model davranışını açıklamışlardır. Bu davranışın anlaşılması için farklı tipteki yapılar bir paket programla incelenmiş ve sonlu elemanlar yönteminde mikro modelleme yapmanın avantajlarından bahsetmişlerdir.

Hak vd., (2012, s. 1) tuğla duvarlı betonarme çerçeveli yapılarda hasar durumlarını inceledikleri çalışmada, dolgu duvarın köşelerindeki basınç gerilmelerini (σ_w) (Şekil 2.5) denklem 2.5 ile hesaplamışlardır.

$$\sigma_w = \frac{1,12f_{wv}\sin\theta\cos\theta}{K_1(\lambda_{duvar}h_{duvar})^{-0,12} + K_2(\lambda_{duvar}h_{duvar})^{0,88}} \quad (2.5)$$

Burada f_{wv} dolgu duvarın basınç dayanımının yatay bileşeni, K_1 ve K_2 ise $\lambda_{duvar}h_{duvar}$ parametresine bağlı katsayılar olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Dolgu duvar köşelerindeki basınç ezilmeleri

Kaynak: Hak vd., 2012, s. 14

Babu ve Venkatasubramani (2011, s. 73) yapıların güçlendirilmesi için kısmi dolu duvar kullanılmasını iki ve üç boyutlu olarak iki katlı ve iki açıklıklı, dolgu duvarları da boşluklu olacak şekilde deney numuneleri ile araştırmışlardır. Deneylerden sonra ANSYS programı ile sonlu elemanlar modelini oluşturmuşlar ve gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını kıyaslamışlardır. Çekme kuvveti oluşan köşelerde ayrılmalar ve yükleme yapılan köşelerde kırılmalar gözlemlemiş olduklarını vurgulamışlardır. Kolonlarda çatlaklar diagonal strut modeline göre yüklemenin yapıldığı köşenin çaprazında, boşluklu dolgu duvarlı kısımlarda da kısa kolon etkilerini gözlemlemişlerdir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu deneylerde yaklaşık aynı sonuçlara varmalarına rağmen, ANSYS ile yapılan analitik hesapların deneysel sonuçlara göre marjinal çıktığını vurgulamışlardır.

Yuen ve Kuang (2012, s. 1) çalışmalarında dolgu duvarların yapısal olmayan elemanlar olarak değil de, etkilerinin ihmal edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Timurağaoğlu, Doğangün ve Livaoğlu (2016, s. 1) yatay yükler altındaki dolgu duvarlı betonarme çerçeveli sistemlerde sonlu elemanlar yöntemiyle analizler gerçekleştirmişlerdir. Dolgu duvarın, yapının global özelliklerini değiştirdiği bilinse de harç, sıva ve tuğlanın farklı mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle davranışının net olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında tuğla ve gaz beton kullanılarak imal edilmiş dolgu duvar davranışlarını belirlemek için dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak imal edilmiş, tam ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveleri deney numunesi olarak kullanmışlardır. Malzemeleri doğrusal olmayan özellikleri ile modelleyerek sonlu eleman analizlerini, deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Farklı beton malzeme modelleri kullandıkları, hem analitik hem de deneysel çalışma sonucunda dolgu duvarın olumlu etkilerini belirtmişlerdir.

Motwani ve Santhi (2015, s. 29) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde açıklıkların etkilerini ANSYS programını kullanarak araştırmışlardır. Dolgu duvar ve çerçevenin beraber davranışı hakkındaki yetersiz bilgi nedeniyle, dolgu duvarın dayanım ve rijitliğe katkısı olmasına rağmen ihmal edildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada tuğla, harç ve bunların ilişkilerinin ayrı ayrı modellendiği mikro model yerine, tüm dolgu duvarın homojen ve izotropik olarak davranışının modellediği makro model kullanılmışlardır. Lineer analiz sonuçlarından, dolgu duvarların çerçeve davranışını eğilme momenti yerine eksenel kuvvetlerin baskın olduğu davranışa çevirdiğini, bu arada kolon alt ve üst uçlarında kesme kuvvetlerini artırdığını da vurgulamışlardır.

Panto, Calio ve Lourenço (2017, s. 1) makro model kullanarak dolgu duvarlı çerçevelerin deprem güvenliğini incelemişlerdir. Bunun için önceden gerçekleştirilmiş deneysel ve teorik çalışma sonuçları kullanılarak diyagonal basınç çubuğu teorisine alternatif bir makro modelle dolgu duvarlı yapılarda lineer olmayan deprem performansı araştırılmıştır. Modellerini farklı tipte ve boyutta boşluklu dolgu duvarlarla da denemişlerdir. Özellikle boşluklu dolgu duvarlı numunelerde önerdikleri yöntemin daha gerçeğe yakın sonuç verdiğini vurgulamışlardır.

Ranjbaran, Hosseini ve Soltani (2012, s. 259) dolgu duvar modellerinin basitleştirilmiş bir formülle lineer olmayan davranışını araştırmışlardır. Boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerle daha önceden gerçekleştirilmiş deney sonucuyla, kendi modelleri karşılaştırıldığında dolgu duvardaki çatlakların uyumlu olduğu sonucunu vurgulamışlardır.

Skafida, Koutas ve Bousias (2014, s. 1) dolgu duvarlı betonarme çerçeveler için analitik bir yöntem geliştirerek deneysel sonuçlarla doğrulama yapmışlardır. Çalışmalarında analitik sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, taban kesme kuvveti ile görelî kat ötelemesi ilişkileri ve sönümlenen enerji miktarlarının uyumlu olduğunu vurgulamışlardır.

Lini ve Kavita (2015, s. 90) çok katlı yapılarda dolgu duvarın yapının sismik performansına etkisini araştırmak için ANSYS programı ile sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirmişlerdir. Çok katlı yapılar için eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modelini uyguladıklarında olumlu sonuç aldıklarını ve 3 boyutu analizle daha gerçekçi sonuçlar elde ettiklerini vurgulamışlardır.

2.4. CFRP ile Onarım

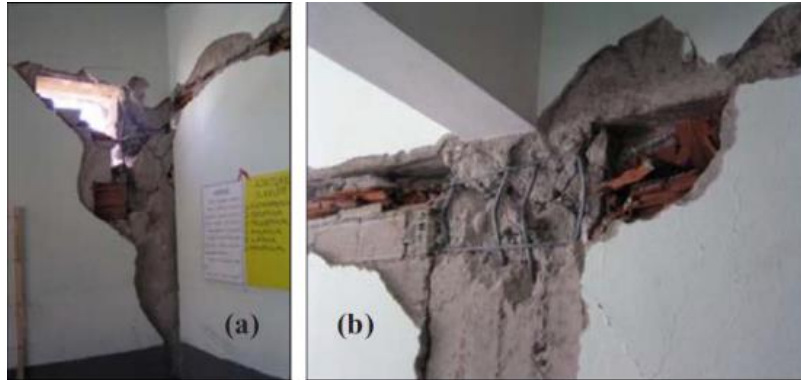
Literatürde onarım yapılan çalışmalar ele alındığında Sheikh (2002, s. 869) betonarme yapıların FRP ile onarılmasından sonraki performansını incelemiştir. Döşeme, kiriş ve kolonlarla yapılan ölçekli deneyler sonucunda yazar, FRP ile onarımın uygulanabilir olduğunu belirtmiştir. FRP'nin hasarlı döşemenin eğilme kapasitesini, hasarlı kirişin kesme dayanımını ve kolonların da depreme karşı dayanıklılığını artırdığını vurgulamıştır. Yurdakul ve Avşar (2015, s. 521) hasarlı kolon kiriş birleşim bölgesini CFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Polymer) ile onardıktan sonra hasarlı elemanın kesme dayanımının arttığını öne çıkarmışlardır. Ferrier vd., (2003, s. 522) betonarme kirişleri CFRP ile sararak mekanik özelliklerini incelemiştir. Daha çok çatlak boyutlarını inceledikleri çalışmada çatlak genişliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Özcan, Binici ve Özcebe (2010, s. 964) nervürlü donatılı ve yetersiz sargılı dikdörtgen betonarme kolonların CFRP ile güçlendirildikten sonra eğilme davranışını incelemek için düşük beton dayanımlı ve tipik yapısal kusurları olan 5 adet numuneyi tekrarlı yatay yüke maruz bırakmışlardır. Deney sonucunda kolon görelî kat ötelemelerinin üç kat daha arttığını görmüşlerdir. Pan, Xu ve Hu (2007, s. 1991) FRP ile güçlendirilmiş narin kolonların yük taşıma kapasitelerini deneysel olarak incelemişler ve çalışma neticesinde narinlik etkisinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Görüldüğü gibi literatürde FRP ile farklı elemanlarda güçlendirme deneyleri yapılmış ve olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Ancak mimari nedenlerle boşluklu olarak örülmüş dolgu duvar nedeni ile kısa kolon hasarı oluşmuş kolon elemanı için CFRP ile onarım uygulamasına rastlanmamıştır. Colomb vd., (2008, s. 475) köprü ayağı gibi

yapısal olarak kısa imal edilmiş ve kesme kapasitesi nedeniyle yetersiz kolon elemanlarını FRP ile güçlendirip elemanların kırılma mekanizmasını değiştirdiğini söylemişlerdir. Jayaguru ve Subramanian (2012, s. 1202) test numunelerini önce kısa kolon hasarı oluşacak şekilde düzeneklerini imal etmişler, kesme kırılması oluştuğundan sonra sistemi yeniden kısa kolon oluşacak şekilde teşkil edip GFRP (Glass-Fiber-Reinforced Polymer) ile onarmışlardır. Yapılan bu tez çalışması kapsamında ise benzer durum tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli düşük beton dayanımı ve nervürlü donatılı deney numuneleri ile CFRP kullanılarak onarılıp testler gerçekleştirilmiştir.

2.5. Boşluksuz Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerde Kısa Kolon Davranışı

İrfanoğlu (2009, s. 11) çalışmasında Türkiye ve Peru'daki tip okul binalarını incelemiş ve şiddetli deprem yaşamış yapıların durumlarını değerlendirmiştir. Çoğu okul binasında bant pencerelerden ötürü kısa kolon hasarı gözlemlemiş ve bunların sonuçlarına dikkat çekmiştir. Çalışmasında kısa kolon hasarlarına yer verirken, kısa kolon hasarı gözlemlenmesi beklenmeyen tam dolu dolgu duvarlı kolonlarda da kısa kolon hasarına benzeyen kesme kırılmalarını gözlemlemiş (Görsel 2.2) ancak bunlara bir açıklama getirmemiştir. Çalışmasının sonunda Türkiye'deki okul binaları için yönetmeliklerin daha esnek yapılara izin verdiğini ve kısa kolon ağır hasarlarının gözlemlendiğini vurgulamıştır.



Görsel 2.2. Tam dolu dolgu duvarlı çerçevede kısa kolon hasarı

Kaynak: İrfanoğlu, 2009, s. 11

Inel, Ozmen ve Akyol (2012, s. 274) 19 Mayıs 2011 Simav depreminden sonraki bina hasarlarını incelediklerinde Görsel 2.3'teki kolonun etrafında tam dolu dolgu duvar olmasına rağmen dolgu duvar hasarına bağlı kesme kırılmalarını gözlemlemişler ve bunu makalelerinde "Accidental Short Column" olarak isimlendirmişlerdir.



Görsel 2.3. *Dolgu duvar hasarına bağlı kolon kesme hasarı*

Kaynak: *İnel vd., 2013, s. 274*

Özcebe vd., (2004, s. 66) 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonraki hazırladıkları raporlarında Görsel 2.4'te görülen kolonun etrafında tam dolu dolgu duvar olmasına rağmen ileri deplasman istemine bağlı olarak kesme kırılmalarını gözlemlemişler ve buna raporlarında yer vermişlerdir. Görsel 2.5'te ise taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının dayanımlarını kaybederek kolon giriş birleşim bölgelerine yakın alanda oluşan hasarlar sonucunda kolonda kısa kolon hasarına neden olduğunu vurgulamışlardır. Dolgu duvarın kolon giriş birleşim bölgesinde hasara uğrayıp kolonda kesme hasarına neden olduğu benzer bir durumu bir okul binasında da gözlemlemişlerdir.



Görsel 2.4. *Etrafı tam dolu dolgu duvar olan kolondaki kesme kırılması*

Kaynak: *Özcebe vd., 2004, s. 66*



Görsel 2.5. *Dolgu duvar hasarına bağlı kolondaki kesme hasarı*

Kaynak: Özcebe vd., 2004, s. 81

Kermani vd., (2008, s. 4) 12 Mayıs 2008'deki Wenchuan depreminden sonra yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışlarını incelemek için birçok dolgu duvarlı betonarme çerçeve hasarlarını incelemişlerdir. Görsel 2.6'da görülen dolgu duvardaki hasar nedeniyle kolonlarda meydana gelen kesme kırılmasının Şekil 2.2'deki kolon hasarına benzediğini vurgulamışlardır. Bu kırılma şeklinde de tam dolu çerçeve içinde boşluksuz dolgu duvar olmasına rağmen kolon üst kısmında kesme hasarı gözlenmiştir.



Görsel 2.6. *Dolgu duvar hasarından sonra kolonda meydana gelen kesme hasarı*

Kaynak: Kermani vd., 2008, s. 4

Yüksel vd., (2006, s. 285) CFRP ile onarılmış dolgu duvarlı betonarme çerçeve davranışını inceledikleri deneysel çalışmada 6 tane 2 katlı, tek açıklı çerçeveye tersinir tekrarlı yük uygulamışlardır. Sıvalı dolgu duvarlı, donatılar sürekli olarak üretilmiş ve 28

günlük silindir beton basınç dayanımı 11 MPa olan numunelerinde birinci katta dolgu duvar hasarından sonra kolon üst bölgesinde kesme hasarını gözlemlemişlerdir (Görsel 2.7). Benzer bir davranışı sıvalı dolgu duvarlı, donatıları bindirmeli olarak üretilmiş ve 28 günlük silindir beton basınç dayanımı 17 MPa olan numunelerinde de gözlemlemişlerdir (Görsel 2.8). Dayanım, rijitlik ve kırılma mekanizmalarını belirlemek için topladıkları veriler sonucunda dolgu duvar köşegeninden uyguladıkları güçlendirme yönteminin dayanım ve rijitliği önemli derecede artırdığını vurgulamışlardır. Kolonlarda gözlenen kesme hasarlı numunelerde dayanımdaki düşüşü belirseler de, kolondaki hasar mekanizmasının oluşum nedeni açıklanmamıştır.



Görsel 2.7. Sürekli donatılı numunede dolgu duvar hasarı sonrası kolondaki kesme hasarı

Kaynak: Yüksel vd., 2006, s. 295



Görsel 2.8. Bindirmeli donatılı numunede dolgu duvar hasarı sonrası kolondaki kesme hasarı

Kaynak: Yüksel vd., 2006, s. 296

Kaplan (2008, s. 60) dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisini incelediği çalışmasında dolgu duvarla kolon arasında çok az bir boşluk bulunması halinde bile yüksek kesme kuvveti oluşmasına sebep olduğunu belirtmiştir (Görsel 2.9). Ancak dolgu duvar hasarı sonrası oluşmuş boşlukların neden olduğu bir kesme hasarından söz etmemiştir.



Görsel 2.9. *Tam dolu dolgu duvarlı sistemde kolonlarda kesme hasarı*

Kaynak: Kaplan, 2008, s. 60

Baran ve Sevil, (2010, s. 1981) dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde deneysel ve analitik olarak çalışma yapmışlardır. Her ne kadar dolgu duvarların taşıyıcı olarak düşünülmediği vurgulansa da tuğla duvarların dayanım ve rijitliğe katkısı olduğu için basınç çubuğu modeli ile yaptıkları analitik çalışma ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, çerçeve beton basınç dayanımı 8,6 MPa, sıva ve harç dayanımı 3,5 MPa olan ve bindirmeli donatılı olarak üretilmiş numunelerinde dolgu duvar hasarına bağlı, kolonlarda kesme hasarı nedeniyle deneyi son adıma ulaşmadan sonlandırmışlardır (Görsel 2.10)



Görsel 2.10. *Kolonda ilk katta gözlenen kesme hasarı*

Kaynak: Baran ve Sevil, 2010, s. 1990

Sattar ve Liel'in (2016b, s. 837) sünek olmayan dolgu duvarlı betonarme yapıların sismik performanslarını inceledikleri çalışmada, binalarda değerlendirme yaparken dolgu duvarlı yapılarda, dolgu duvarın iyi dayanımlı olduğu durumlarda rijitlik ve kütledeki artış nedeniyle kolonların gevrek kesme kırılması sonucu yıkılma olasılığının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Zayıf dayanımlı dolgu duvarlı sistemler ise deprem kuvvetlerini daha iyi sönümledikleri için, güçlü dolgu duvarlı sistemlere oranla daha iyi performans sergilemektedir.

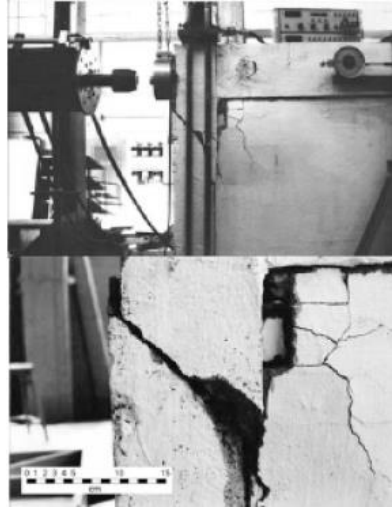
Fenerci vd., (2016, s. 539) 3 katlı ve 3 açıklıklı $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme bir çerçevede dolgu duvarların deprem davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonuçları dolgu duvara bitişik olarak imal edilen kolonlarda, duvarın etkilerinin ihmal edilerek yapıldığı hesaplarda kesme hasarının gözlenebileceğini vurgulamışlardır. Bu tür kolonlarda hasar tahminleri yapılırken, kolon birim şekil değiştirme limitlerini kolon tam boyuna göre değil de plastik mafsallık bölgesi kadar uzunluk için yapılarak iyileştirilmesini önermektedirler. Hem deneysel çalışmalarında hem de analitik çalışmalarında dolgu duvarlı kolonlarda, dolgu duvarın davranışına bağlı olarak kesme hasarını gözlemlemişlerdir (Görsel 2.11). Sonuç olarak dolgu duvarların betonarme çerçeveli sistemlerin rijitlik, dayanım, deformasyon kapasitesi ve süneklik gibi sismik davranışlarını değiştirdiğini bununla beraber etkilerinin dikkate alınmaması durumunda kesme hasarına bağlı olarak gevrek bir kırılmaya neden olduklarını yorumlamışlardır.



Görsel 2.11. İlk kattaki kolonlarda gözlenen kesme hasarları

Kaynak: Fenerci vd., 2016, s. 557

Stylianidis (2012, s. 194) dolgu duvar davranışını deneysel olarak incelediği çalışmasında dolgu duvar hasarına bağlı olarak sünek olmayan, gevrek kırılma sonucu kolondaki kesme hasarını gözlemlemiştir (Görsel 2.12). Dolgu duvardaki diyagonal basınç çubuğu birleşim bölgesinde değil de kolon üst bölgesinde olduğu için bu hasar tipini gözlediğini açıklayarak davranışa neden olan etkenlerden sıva ve harcın etkilerini açıklamamıştır.



Görsel 2.12. Dolgu duvar hasarına bağlı kolonda gözlenen kesme hasarı

Kaynak: Stylianidis, 2012, s. 203

Chiou ve Hwang (2015, s. 1949) tuğla dolgu duvarlı betonarme yapılarda tersinir tekrarlı yük altındaki davranışını inceledikleri çalışmalarında iki açıklıklı ve tek katlı

deney numunesi ile tek açıklıklı ve tek katlı deney numunelerini kullanmışlardır. Her iki numunede de kolon alt uçlarında kesme hasarı gözlemlenmiştir. Görsel 2.13'te görüldüğü gibi iki açıklıklı olarak üretilen çerçevede kesme hasarı kolon üst bölgesinde de meydana gelmiştir. Ara akstaki orta kolonda ağır hasar olduğu görülmektedir.



Görsel 2.13. *Tam dolu dolgu duvarlı numunelerde kesme hasarları*

Kaynak: Chiou ve Hwang, 2015, s. 1949

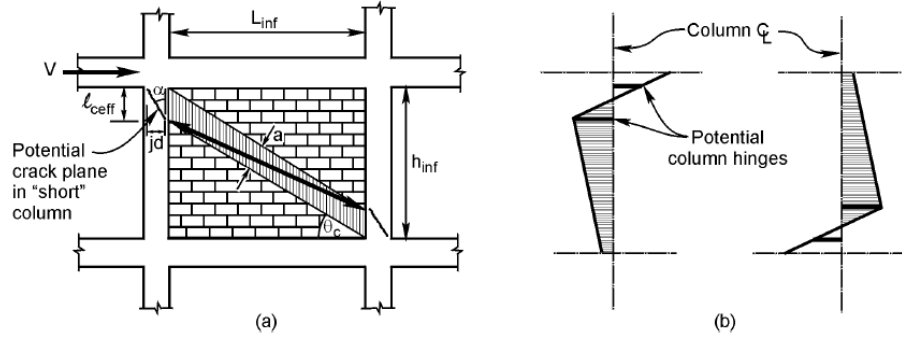
Pujol ve Fick (2010, s. 3112) 3 katlı betonarme bina için tam ölçekli olarak yaptıkları deneysel çalışmada %1,75 görelî kat ötelemesi değeriine kadar uyguladıkları tersinir tekrarlı yük sonucunda, dolgu duvar köşesinde meydana gelen hasar sonucu kesme çatlaklarını gözlemlenmiştir (Görsel 2.14). Dolgu duvar olmayan referans numunede ise %3 görelî kat ötelemesi değeriine kadar deplasmanları uygulayabilmişlerdir. Dolgu duvar ekleyerek güçlendirdikleri bina için taban kesme kuvvetinin %100, yanal rijitliğinin ise %500 oranında arttığını vurgulamışlardır ancak %1,5 görelî kat ötelemesi değeriinden sonra kolonlarda kesme hasarına veya dolgu duvarın düzlem dışı hareketine dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.



Görsel 2.14. *Dolgu duvarda köşede oluşan hasara bağıli kesme çatlakları*

Kaynak: Pujol ve Fick, 2010, s. 3112

Yeni Zellanda yönetmeliği (2006, s. 9-1) 9. bölümde, dolgu duvarlı sistemlerin detaylı olarak incelenmesi anlatılmaktadır. Dolgu duvarlı bir çerçevenin değerlendirilmesinde dolguları oluşturan malzemenin ve çerçevenin geometrisinin önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu yönetmelikte Şekil 2.7’de görüldüğü gibi potansiyel kırılma yüzeylerinden bahsedilmiştir.



Şekil 2.7. Potansiyel kırılma düzlemi

Kaynak: NZSEE., 2006, s.9-8

Tarif edilen potansiyel kırılma boyunun (l_{eff}) etkisinin hesaba katıldığı kolon kesme kuvveti talebi (V_{col}), denklem 2.6’daki gibi çeliğin pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi (M_p^{col}) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_{col} = \frac{2M_p^{col}}{l_{eff}} \quad (2.6)$$

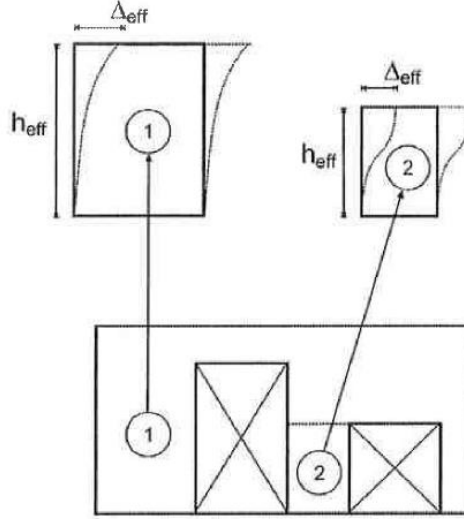
Potansiyel kırılma boyu (l_{eff}) ise denklem 2.2 ile hesaplanan eşdeğer basınç çubuk genişliğinin denklem 2.7 ile hesaplanacak açının (θ_c) kosinüsüne bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$\tan \theta_c = \frac{h_{inf} - \left(\frac{a}{\cos \theta_c} \right)}{l_{inf}} \quad (2.7)$$

Burada h_{inf} dolgu duvarın net yüksekliği, l_{inf} ise iki kolon arasında kalan net uzunluğudur.

ASCE/SEI 41-13’te (2013, s. 244) 11. bölümde dolgu duvarların kullanımıyla ilgili bilgiler verilmektedir. Buna göre taşıyıcı olarak kullanılan dolgu duvarın rijitlik değeri

(k) Şekil 2.8'deki davranışına göre 1 numaralı davranışı göstermesi durumunda denklem 2.8, 2 numaralı davranışı göstermesi durumunda denklem 2.9 kullanılarak hesaplanması gerekmektedir. Denklem 2.10 ile taşıyıcı dolgu duvarın yanal dayanımı (V_r) hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.8. Rijitlik hesabında kullanılacak davranış şekilleri

Kaynak: ASCE/SEI 41-13 (2013, s. 233)

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{3E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} \quad (2.8)$$

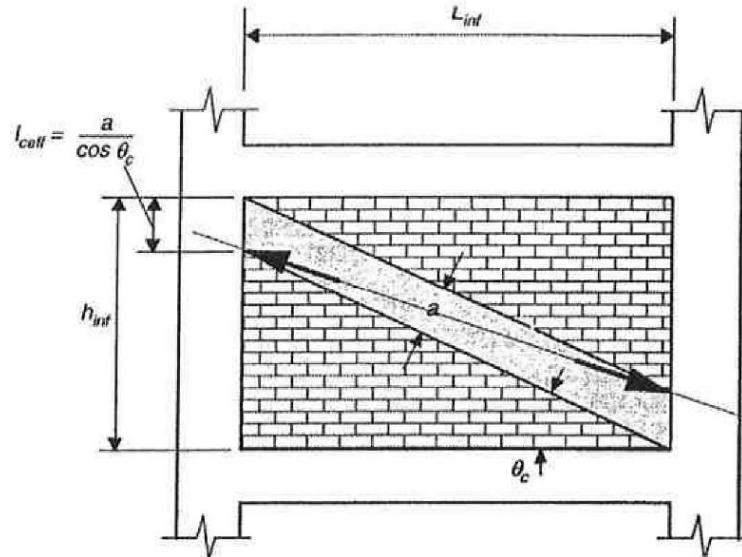
$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{12E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} \quad (2.9)$$

Denklemlerde h_{eff} dolgu duvarın yüksekliği, E_m dolgu duvarın elastisite modülü, I_g çatlamamış davranış için dolgu duvar atalet momenti, A_v kesme alanı ve G_m ise dolgu duvar kayma modülü olarak kullanılmaktadır.

$$V_r = 0,9\alpha P_d \left(\frac{L}{h_{eff}} \right) \quad (2.10)$$

Burada α bir ucu sabit diğer ucu serbest olan konsol duvarlar için 0,5 veya iki ucu da sabit duvarlar için 1,0 olan katsayıdır. P_d duvar üzerindeki ilave zati yük, L dolgu duvar uzunluğu ve h_{eff} dolgu duvar yüksekliğidir.

ASCE/SEI 41-06'da (2006, s. 223) Şekil 2.9'da görüldüğü gibi basınç çubuğunun etkidiği nokta olan l_{ceff} mesafesi kullanılmaktadır. ASCE/SEI 41-13'de ise (2013, s. 246) bu değer dolgu duvar yüksekliğinin üçte biri olarak belirlenmiştir. Her ikisinde de dolgu duvar rijitliğine ve dayanımına bağlı olarak basınç çubuğunun yanal bileşeni ile kolona ekstra kesme kuvveti etkisi eklenmiş olmaktadır. Ancak burada da bahsi geçen kesme kuvveti tezin çalışma konusu olan dolgu duvarlarda meydana gelen hasar sonrası oluşan kısa kolon mekanizması sonucu olan kesme hasarından farklılık göstermektedir. Burada kullanılan eşdeğer basınç çubuğu genişliği (a) denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.9. Dolgu duvar basınç çubuğunun etkilediği nokta

Kaynak: ASCE/SEI 41-06'de (2006, s. 223)

Eurocode 8'e (2004, s. 126) göre dolgu duvarların bölgesel etkileri farklı durumlar için açıklanmıştır. Buna göre klasik kısa kolon hesabı yanında, yapıda kolon kesme talebi için zemin kattaki kolonların, ara katlarda bir tarafında dolgu olup diğer tarafında dolgu olmayan kolonların ve dolgu duvarda en az bir tarafında boşluk bulunan kolonların tüm boyu kritik olarak düşünülerek etriye detaylandırılması gerekmektedir.

19 Maysıs 2011 Simav depremi sonrası yapılan incelemelerde gözlenen, boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde kolonların üst bölgesine komşu dolgu duvar

parçalarının ezilerek hasar görmesi nedeniyle ortaya çıkan boşluğun ilgili kolonlarda kısa kolon oluşturarak kesme kırılmasına sebebiyet verdiği bir durum Görsel 2.15'te görülmektedir. Buna göre kesme hasarı almış dış ve orta kolona komşu dolgu duvarlarda deprem öncesi herhangi bir boşluk olmadığı, deprem sonrası üst kısımdaki ezilmeler sonucu gözlenen hasardan sonra kolonun kesme hasarını aldığı görülmektedir.



Görsel 2.15. *Deprem sonrası gözlenen boşluksuz dolgu duvarlı çerçevede kısa kolon hasarı*

Yapılan literatür taramasında ve ülkemizde yürürlükte olan DBYBHY (2007)'ye göre dolgu duvar davranışları, dolgu duvarın taşıyıcı sisteme etkileri, kısa kolon oluşumu ile ilgili konular incelenmiştir. Kolonlarda kesme hasarı sonucu gevrek kırılmaların gözlemlendiği çalışmalar mevcuttur. Dolgu duvar davranışıyla ilgili deneysel ve analitik çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalar benzerlik gösterse de büyük depremler ve deneysel çalışmalarda gözlemlenen boşluksuz dolgu duvarlı kolonlarda meydana gelen kısa kolon oluşumuna benzer hasar tipinin, çerçeve tipine ve sıva ve harç dolayısıyla dolgu duvar dayanımına bağlı olarak oluşum mekanizması deneysel olarak incelendiği çalışmalara rastlanılmamıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEM

DBYBHY (2007)'nin 3.3.8. "Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar" başlıklı maddesinde kısa kolon oluşumuna sebep olabilecek iki neden belirtilmiştir. Bunlardan ilki taşıyıcı sistem nedeni ile kolonları kat seviyesinden farklı bir kotta birleştiren kirişler, diğeri ise dolgu duvarlarda kolonlar arasında bırakılan boşluklardır. Bu sebeplerle meydana gelebilecek kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlar için yönetmelikte kolonların enine donatı hesabı için ilave önlemler alınmaktadır. Fakat herhangi bir boşluğu bulunmayan dolgu duvarlı çerçevelerde, ya da diğeri bir ifade ile DBYBHY (2007)'e göre kısa kolon oluşumu öngörülme-yen kolonlarda hasar yapıcı depremler sonrası yapılan incelemelerde kısa kolon durumu oluşarak kesme kırılması nedeni ile hasarlar gözlenebilmektedir. Bazı çerçevelerde gözlenen bu durum kolonun üst bölgesinde bulunan dolgu duvarın ezilerek dağılması neticesinde meydana gelen boşluk oluşmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmanın ana konusu olan ve hasar yapıcı depremler sonrası gözlenen bu durum deneysel ve analitik yöntemlerle incelenmiştir. Deney programı, DBYBHY (2007)'e göre kısa kolon oluşumu beklenmeyen boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve kolonlarında kısa kolon olgusunun hangi durumlarda oluştuğunun belirlenmesi ve bu duruma neden olan yapısal ve yapısal olmayan etmenlerin tespit edilmesi için planlanmıştır.

Deprem sonrası yapılan incelemelerde kolonların üst bölgesinde bulunan dolgu duvarın ezilip dağılması neticesinde oluşan boşluğun kısa kolon oluşumuna neden olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçevede kısa kolon oluşma koşulları ve bu duruma neden olan sebepler ortaya konulmuştur. Kolon üst bölgesinde dolgu duvarın ezilerek boşluk oluşmasına neden olan parametreler ele alınacaktır. Marjani ve Ersoy (2002, s. 142) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde sıva ve beton dayanımının davranışı etkileyen etmenler olduğunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında ise betonarme çerçevenin boy/en (boy: çerçeve yüksekliği; en: çerçeve açıklık mesafesi) oranı, dolgu malzemesi olarak kullanılan tuğlaların boşluk oranı, tuğlaları bağlayan harç ve sıvanın dayanımı ve tuğlaların çerçeveye yerleştirilme yönleri dolgu duvarın ezilmesinde etkin olacağı düşünülen parametrelerdir. Bu parametrelerin çerçeve davranışı üzerinde etkisini incelemek için tek katlı tek açıklıklı boşluksuz dolgu duvarlı 14 adet betonarme çerçeve tasarlanmıştır. Üretilen 1/3 ölçekli çerçevelere laboratuvar ortamında tersinir tekrarlı yatay deplasman çevrimleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalara ilave olarak ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar yöntemi

ile analitik modelleri oluşturulmuş ve çerçevelerin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan analitik modelde bölme duvarların doğrusal olmayan davranışını gerçekçi bir şekilde tahmin edebilmek için panel deneyleri yapılmıştır. Hem deneysel sonuçlar hem de sonlu elemanlar yöntemiyle yapılacak analizlerden elde edilecek sonuçlar ışığında boşluksuz dolgu duvarlı betonarme çerçeve kolonlarında kısa kolon oluşma mekanizması ve bu davranışa etki eden parametreler kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir.

3.1. Çerçeve Deneyleri

Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarı'nda bulunan reaksiyon duvarı ve güçlü zeminin kullanıldığı ilk deney Yurdakul ve Avşar (2015) tarafından yapılmıştır. Deneyde tam ölçekli elemanlara, manuel kontrol edilen elektrikli motor ve hidrolik pistonlarla deplasmanlar verilmiştir. Bilgisayar kontrollü kuvvet ve deplasmanların uygulanabileceği hidrolik pistonun bölüm envanterine katılmasıyla, depremi benzeştiren hareket için bu piston kullanılmıştır. Çerçeve deneylerine başlamadan önce tüm deneyler boyunca kullanılacağı öngörülen ekipman ve malzemelerin Yapı Laboratuvarı envanterinde olmayanlarının alımı tamamlanmıştır. Deney düzeneğinin kurulum aşamasında da eksiklerin çıkmasıyla alımlar yapılmaya devam edilmiştir. Deney sistemi kurulumunda ihtiyaç duyulacak düzenekler fakülte atölyelerinde imal edilerek monte edilmiştir. Üretilen düzenekler daha sonraki deneylerde de kullanılabilecek şekilde üretilmeye çalışılmıştır. Sistem tamamlanırken aynı zamanda numunelerin üretimi için kalıp imalatı, donatı işleri, beton dökümü, duvar örümü ve sıvaların yapımı işlemleri tamamlanmıştır. Numune imalatında önceden yerleri belirlenerek bırakılmış saplama delikleri yardımı ile numune sağlam zemine bağlanmıştır. Depremi benzeştiren hareketi deney numunesine verebilmek için gerekli bağlantılar yapıp ölçüm sistemi bağlantılarının tamamlanmasıyla deneyler gerçekleştirilmiş ve veriler elde edilmiştir.

Çalışmada Türkiye yapı stokundaki standart altı betonarme binaları temsil edebilecek 14 farklı numune üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri için beton basınç dayanımı düşük, nervürsüz donatılı, tek katlı ve tek açıklıklı çerçeveler seçilmiştir. Beklenen kısa kolon davranışını etkileyecek ana parametre dolgu duvar olacağı için numunelerdeki farklılaşmaların çoğu dolgu duvar malzemesiyle sağlanmıştır. Tuğlaların boşluk oranı, boşlukların yönü, dolgu duvarda bırakılan boşluk oranı, harç ve sıva

karışımlarındaki farklılıklarla numune özellikleri değiştirilmiştir. Tüm numunelerin özellikleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Deney numuneleri özellikleri

Numune Adı	Boy/En Oranı	Tuğla Delik Yönü	Tuğla Duvar Boşluk Oranı	Harç Malzemesi	Açıklama
IE01	0,58	-	-	-	-
IE02	0,58	Yatay	%42	B Sınıfı	1/4 Pencere Boşluğu
IE02_G	0,58	-	-	-	CFRP ile onarılmış
IE03	0,58	Yatay	%42	B Sınıfı	-
IE04	0,58	Yatay	%42	D Sınıfı	-
IE05	0,58	Yatay	%62	B Sınıfı	-
IE06	0,58	Yatay	%62	D Sınıfı	-
IE07	0,58	Düşey	%42	B Sınıfı	-
IE08	1,72	-	-	-	-
IE09	1,72	Yatay	%42	B Sınıfı	1/4 Pencere Boşluğu
IE10	1,72	Yatay	%42	B Sınıfı	-
IE11	1,72	Yatay	%42	B Sınıfı	1/5 Pencere Boşluğu
IE12	1,72	Yatay	%42	C Sınıfı	-
IE13	0,58	Yatay	%42	C Sınıfı	-
IE14	0,58	Yatay	%42	B Sınıfı	Bindirmeli Donatılı İmalat

Deney numuneleri, önceki depremlerde hasara neden olduğu bilinen, yetersiz etriye aralıklarına sahip, güçlü kiriş-zayıf kolon problemi olan, düşük beton dayanımlı ve nervürsüz donatılı malzeme, işçilik ve imalat hatalarına sahip ortak yapısal eksiklikleri içerecek şekilde üretilmişlerdir. Baskın hasar şeklinin yetersiz kenetlenme boyuna sahip nervürsüz donatılı yapılardaki gibi olmaması amacıyla, kolon boyuna donatıları temelden kirişe kadar tek parçada geçilmiştir. Bu durumun etkisini gözlemleyebilmek için numunelerden birinde yetersiz kenetlenme boyuna sahip bindirmeli imalat da yapılmıştır.

3.1.1. Numune boyutları ve detayları

3.1.1.1. Kısa numune

Kolon boyu, kiriş boyuna göre daha kısa olan numuneler kısa numune olarak isimlendirilmişlerdir. Kısa numuneler için boy/en oranı 0,58 olacak şekilde imal edilmişlerdir. 9 adet kısa numune üretilmiş, bant pencere nedeniyle kısa kolon hasarı alan numune onarılarak toplam 10 adet kısa numune deneyi yapılmıştır (Şekil 3.1). IE01 olarak adlandırılan birinci numune içinde dolgu duvar olmadan üretilen numunedir. IE02 olarak adlandırılan ikinci numunede ise DBYBHY 2007’ de tarif edilen kısa kolon

davranışının meydana gelebilmesi için, kolon net yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar bir boşluk iki kolon arasında kiriş boyunca bırakılmıştır. Dolgu duvar boşluk oranı %42 olan tuğla, TS2510'a göre B sınıfı harç ve sıva kullanılarak imal edilmiştir. IE02_G olarak adlandırılan numune IE02 numunesi kesme hasarı aldıktan sonra onarılan numunedir. IE03 numunesinde dolgu duvar dayanımı en yüksek olan numune olarak planlanarak, boşluk oranı %42 olan tuğlalardan B sınıfı harç ve sıva ile imal edilmiştir. Bu numunenin sıva ve harç dayanımı D olacak şekilde üretilmesi ile IE04 numunesi üretilmiştir. IE03 numunesinin tuğla boşluk oranının %62 olarak değiştirilmesi ile IE05 numunesi oluşturulmuştur. IE05 numunesinin harç ve sıva dayanımı D grubu ile imal edilmesiyle IE06 numunesi oluşturulmuştur. Tuğla duvarların piyasada yaygın olarak imalatı, kullanılan harcın deliklerden aşağı dökülmemesi için delikler yatay olacak şekilde örülmesi şeklindedir. IE07 numunesinde bu durumun tersi bir durum olursa ve delikler düşey olarak kullanılarak dolgu duvarın imalatının yapılması durumu düşünülmüştür. Boşluk oranı %42 olan tuğla ile delikler düşey olarak B sınıfı harç ve sıva ile imalat tamamlanmıştır. IE13 numunesinde B ve D sınıfı harç ve sıva yerine ara bir dayanıma sahip C sınıfı ile imalat boşluk oranı %42 olan tuğla ile yapılmıştır. IE14 numunesinde bindirmeli imalatlardaki durumu araştırabilmek için donatı detayları değiştirilmiştir. Boşluk oranı %42 olan tuğla ile B sınıfı harç ve sıva kullanılmıştır.

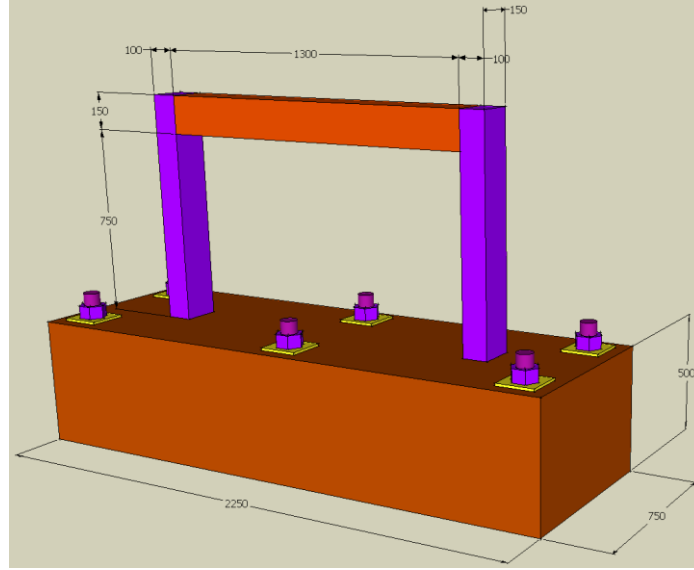


Şekil 3.1. Kısa numune özellikleri

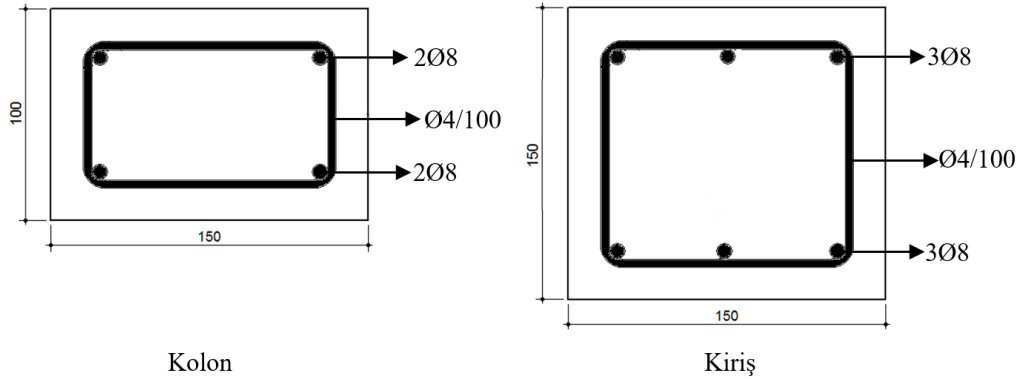
Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 1/3 ölçekli numunelerde net kolon yüksekliği 750 mm, net kiriş açıklığı ise 1300 mm’dir. Kolon alt ucundaki bağlantıların çok rijit çalışabilmesi için 2250 mm uzunluğunda, 750 mm genişliğinde ve 500 mm yüksekliğinde bir temel tasarlanmıştır. Güçlü zemin ile bağlantının yapılabilmesi için numune temellerinde 6’şar adet 70 mm çapında dairesel boşluklar bırakılmıştır.

Tüm numunelerde kolon boyutları 100 mm x 150 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş boyutları ise yine tüm numunelerde 150 mm x 150 mm’dir. Kolon ve kiriş imalatında 15 mm’lik paspayı aparatları ile paspayı bırakılmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarının boyutları Akın (2011)’ın yaptığı çalışmadan elde edilmiştir. Kolon boyuna donatıları için %1,3 donatı oranını sağlayacak her köşeye 1 adet olacak şekilde 4 adet, 8 mm çapındaki nervürsüz donatılar kullanılmıştır. Kolon enine donatıları için 4 mm

apında nervürsüz donatılar kullanılmıştır. Kiriş boyuna donatıları için yine %1,3 donatı oranını sağlayacak 3 tanesi altta 3 tanesi üstte olacak şekilde 6 adet, 8 mm çapında donatı kullanılmıştır. Kiriş elemanları için etriye donatıları 4 mm çapında olacak şekilde seçilmiştir. Tüm taşıyıcı elamanlarda etriye aralığı 100 mm olarak seçilmiş ve uçları 90° kancalı olarak imal edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Kısa numune boyutları (mm)



Kolon

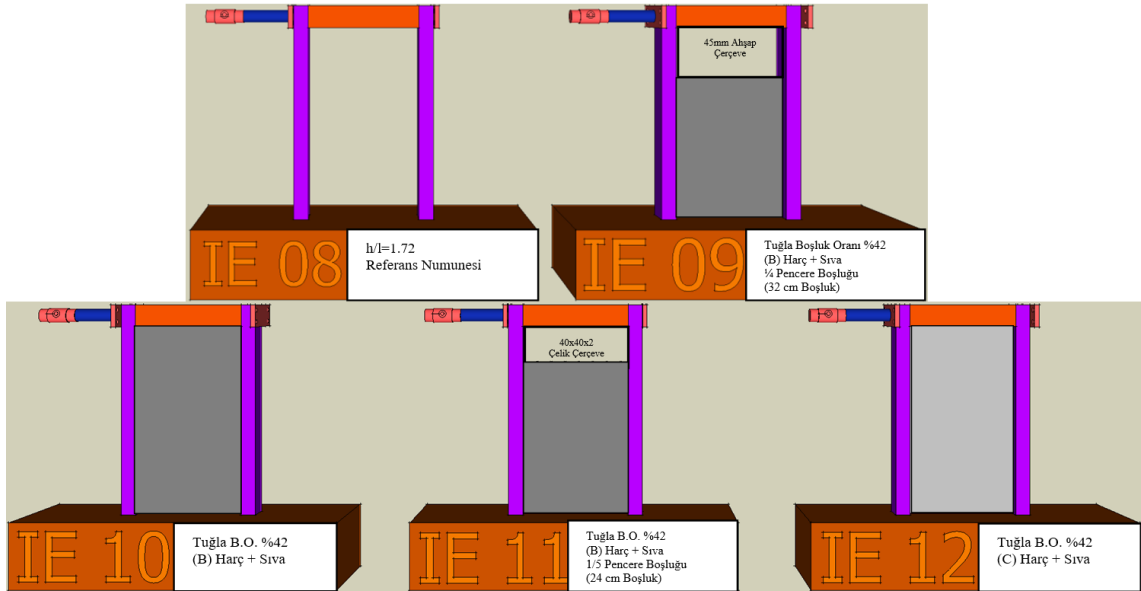
Kiriş

Şekil 3.3. Kısa numune kolon ve kiriş boyutları (mm)

3.1.1.2. Uzun numune

Kolon boyu, kiriş uzunluğuna göre daha fazla olan numuneler uzun numune olarak isimlendirilmişlerdir. Uzun numuneler için boy/en oranı 1,72 olacak şekilde imal edilmişlerdir. 5 adet uzun numune üretilmiştir (Şekil 3.4). IE08 olarak adlandırılan numune dolgu duvarsız olarak üretilmiştir. IE09 olarak adlandırılan numunede ise DBYBHY 2007’de tarif edilen kısa kolon davranışının meydana gelebilmesi için, kolon

net yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar bir boşluk iki kolon arasında kiriş boyunca bırakılmıştır. Dolgu duvar boşluk oranı %42 olan tuğla, B sınıfı harç ve sıva kullanılarak imal edilmiştir. Bu numunede deney esnasında kısa kolon davranışı gözlenemediği için IE11 numunesinde aynı boşluk oranına sahip tuğla ve aynı sınıftaki harç ve sıvayla oluşturulan dolgu duvarda, bırakılan boşluk oranı $\frac{1}{5}$ 'e düşürülerek imal edilmiştir. Ayrıca düşük dayanımlı harç ve sıva ile üretilen uzun numunelerde kesme hasarları gözlenmediği için daha önce düşük dayanımlı harç ve sıva ile üretilmesi planlanan IE11 numunesinin dolgu duvarı yıkılarak yerine iyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiştir. IE10 numunesinde dolgu duvar dayanımı en yüksek olan numune planlanarak, numune boşluk oranı %42 olan tuğlalardan B sınıfı harç ve sıva ile imal edilmiştir. Bu numunenin sıva ve harç dayanımı C grubu olacak şekilde üretilmesi ile IE12 numunesi üretilmiştir.

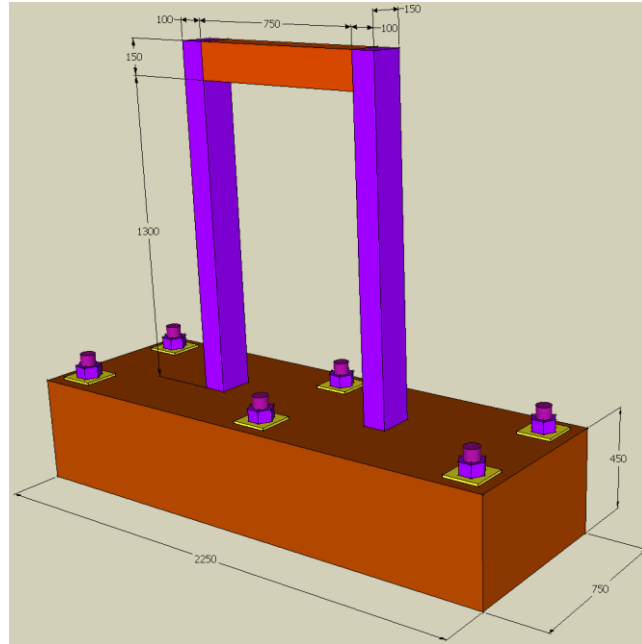


Şekil 3.4. Uzun numune özellikleri

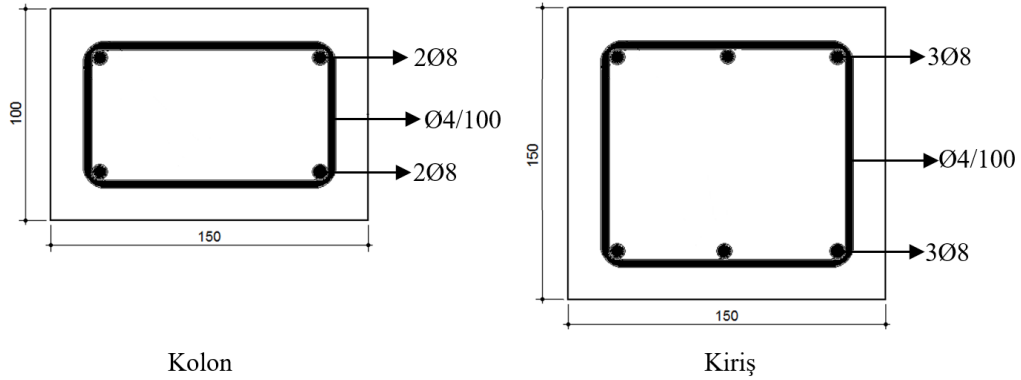
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi $\frac{1}{3}$ ölçekli numunelerde net kolon yüksekliği 1300 mm, net kiriş açıklığı ise 750 mm'dir. Kolon alt ucundaki bağlantıların çok rijit çalışabilmesi için 2250 mm uzunluğunda, 750 mm genişliğinde ve 450 mm yüksekliğinde bir temel tasarlanmıştır. Güçlü zemin ile bağlantının yapılabilmesi için numune temellerinde 6'şar adet 70 mm çapında dairesel boşluklar bırakılmıştır.

Kısa numunelerde olduğu gibi uzun numunelerin tümünde de kolon boyutları 100 mm x 150 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş boyutları ise 150 mm x 150 mm'dir.

Kolon ve kiriş imalatında kısa numunelerde kullanılan 15 mm'lik paspayı aparatları ile paspayı bırakılmıştır. Kolon boyuna donatıları için %1,3 donatı oranını sağlayacak her köşeye 1 adet olacak şekilde 4 adet, 8 mm çapında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Kolon enine donatıları için 4 mm çapında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Kiriş boyuna donatıları için yine %1,3 donatı oranını sağlayacak 3 tanesi altta 3 tanesi üstte olacak şekilde 6 adet, 8 mm çapında donatı kullanılmıştır. Kiriş elemanları için etriye donatıları 4 mm çapında ve aralarında 100 mm boşluk olacak şekilde seçilmiştir. Tüm taşıyıcı elamanlarda etriye donatılarının uçları 90° kancalı olarak imal edilmiştir (Şekil 3.6)



Şekil 3.5. Uzun numune boyutları (mm)

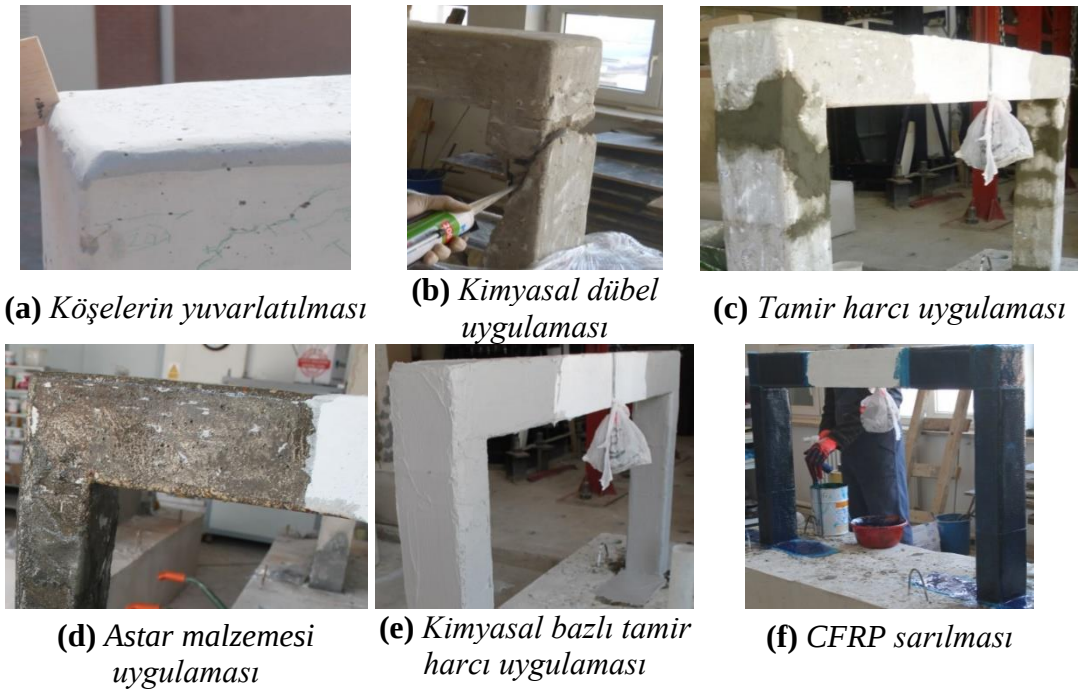


Şekil 3.6. Uzun numune kolon ve kiriş boyutları (mm)

3.1.1.3. Onarılan numune

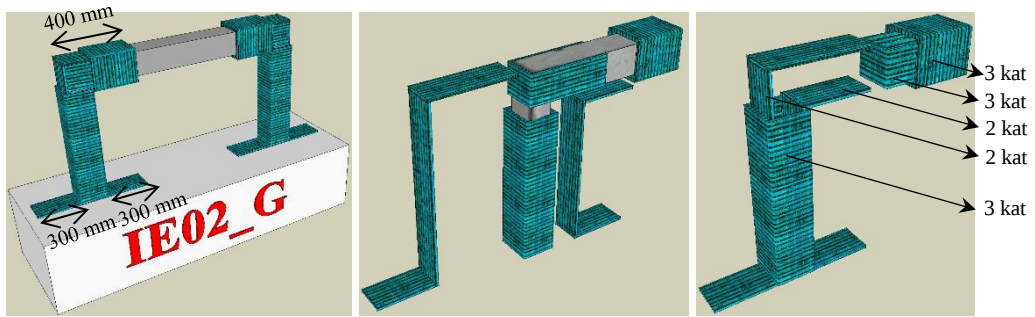
Dolgu duvardaki boşluk oranı $\frac{1}{4}$ olan numuneye kısa kolon hasarı oluşana kadar depremi benzeştiren tersinir-tekrarlı yatay yükler uygulanmıştır. IE02 numunesinde kısa kolon davranışı sonucunda gevrek bir kırılma tipi olan kesme kırılması hasarı görüldükten sonra numune CFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Polymer) şeritleri ile sarılarak onarılmıştır. IE02_G olarak adlandırılan, onarılan numuneyi aynı hasara neden olacak şekilde üretmemek amacıyla içine boşluklu ya da boşluksuz dolgu duvar örülmemiştir.

Kısa kolon hasarı oluşmuş IE02 numunesinin, CFRP ile sarılacak kısımları taşlanarak yarıçapı 10 mm olacak şekilde sivri köşeler yuvarlatılmıştır. Bu işlem CFRP şeritlerine sivri köşelerin zarar vermemesi için yapılmıştır (Görsel 3.1.a). Kesme çatlağı olan kolon elemanlarının çatlaklarından içeri girecek şekilde epoksi akrilat reçinesi esaslı kimyasal dübel enjekte edilmiştir (Görsel 3.1.b). Üzeri tamir harcı ile kapandıktan sonra kolon ve kiriş elemanlarının üzerine astar malzemesi, rulo fırça ile sürülmüştür (Görsel 3.1.c ve Görsel 3.1.d). Beton yüzey ile CFRP arasında aderansı arttırmak amacıyla epoksi bazlı tamir harcı kullanmıştır (Görsel 3.1.e). Kullanılan tamir harcı daha sertleşmeden belirlenen ölçülerde ve sayıda kesilen CFRP şeritleri, şeritlerin sertleşmesini ve dayanımını almasını sağlayan epoksi malzeme olan Saturant ile beraber uygulanmıştır (Görsel 3.1.f).



Görsel 3.1. Kesme hasarının onarım aşamaları

Birleşim bölgesi kirişi yandan U şeklinde 2 kat CFRP şeridi ile sarılmıştır. Kolon eğilme kapasitesini artırmak için ön ve arka yüzeylerine temele 30 cm ve kirişe 40 cm uzayacak şekilde 2 kat CFRP şeridi sarılmıştır. Kesme kapasitelerini artırmak için kolon yüzeylerinin tamamı ve kiriş yüzeyinin 40 cm uzunluğu boyunca 3 kat CFRP şerit ile sarılmıştır (Şekil 3.7). Çalışma, her ne kadar pratikte uygulanması zor gözüktü de kısa kolon hasarı almış bir kolonun onarılmasının mümkün olup olmadığına ışık tutması açısından gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla CFRP katman adetleri fazla sayıda kullanılmıştır.



Şekil 3.7. IE02_G numunesinin CFRP ile yapısal onarım detayı

3.1.1.4. Bindirmeli donatılı numune

Tüm deney numunelerinin imalatında kolon ve kiriş kesitleri için aynı oranda boyuna donatı kullanılmıştır. Kısa ve uzun numunelerin tümünde aynı aralıklara sahip enine donatı kullanılmıştır. Yapı hasarlarında baskın hasar tiplerinden biri olan yetersiz bindirmeli kolonların söz konusu deney sonucuna etkisi olup olmadığına karar verebilmek için kısa numune özelliklerine sahip numunelerden biri için bindirmeli donatılı bir imalat tasarlanarak IE14 numunesi olarak isimlendirilmiştir. Tam dolu dolgu duvarlı olmasına rağmen kısa kolon davranışını, kısa numunelerde gözlemlediğimiz için bindirmeli donatılı numunenin kısa numune olmasına karar verilmiştir.

3.1.2. Malzeme özellikleri

Gerek yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin doğru bir şekilde yorumlanmasında gerekse de bilgisayar modellerinin gerçeğe yakın modellenmesi için; kullanılan beton, çelik, tuğla, sıva, harç ve dolgu duvar davranışları yine laboratuvar şartlarında yapılan deneylerle belirlenmiştir. Yapısal onarımda kullanılan malzeme özellikleri ise üretici firma tarafından temin edilmiştir.

3.1.2.1. Beton

Deney numunelerinin imalatında Türkiye yapı stokunu temsil etmesi için düşük dayanımlı beton kullanılması düşünülmüştür. Bunun için tüm deney numunelerinde 10 MPa basınç dayanımına sahip beton, dayanımı açısından farklılıklar olmaması için aynı beton santralinden hazır beton alımı yolu ile temin edilmiştir. Dökümler 3 ayrı zamanda yapılmıştır. Tüm dökümlerde 7 ve 28 günlük numuneler test edilmek üzere 3'er adet beton numunesi alınmıştır. Ayrıca her çerçevede deney günleri dayanımlarını belirleyebilmek için numunelerle aynı şartlarda bekletilen 3'er adet beton numunesi alınmıştır. Görsel 3.2'de gösterilen beton basınç dayanım testleri yapılarak beton numunelerinin 7 ve 28 günlük, basınç dayanım sonuçları Tablo 3.2 ile görülmektedir. Buna göre 28 günlük 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki silindir beton numunelerinin ortalama basınç dayanımı 1. döküm için 7,9 MPa, 2. döküm için 9,1 MPa ve 3.döküm için 11,3 MPa olarak belirlenmiştir.



Görsel 3.2. Beton basınç deneyleri

Tablo 3.2. 7 günlük ve 28 günlük beton basınç deneyi sonuçları

Döküm No	Kırım Yaşı	Kalıp Tipi (mm)	Döküm Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Beton Numunesi Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
1. Döküm 1	7 gün	150x300 Silindir	03.03.2014	10.06.2014	5,2	5,3
1. Döküm 2					5,3	
1. Döküm 3					5,3	
1. Döküm 1	28 gün	150x300 Silindir	03.03.2014	01.07.2014	7,9	7,9
1. Döküm 2					7,9	
1. Döküm 3					8,0	
2. Döküm 1	7 gün	150x150x150 Küp	12.02.2015	19.02.2015	7,3	7,4
2. Döküm 2					7,5	
2. Döküm 3					7,4	
2. Döküm 1	28 gün	150x300 Silindir	12.02.2015	12.03.2015	9,0	9,1
2. Döküm 2					9,3	
2. Döküm 3					8,9	
3. Döküm 1	7 gün	150x150x150 Küp	07.05.2015	14.05.2015	8,4	8,3
3. Döküm 2					7,9	
3. Döküm 3					8,5	
3. Döküm 1	28 gün	150x300 Silindir	07.05.2015	04.06.2015	10,8	11,3
3. Döküm 2					11,4	
3. Döküm 3					11,6	

Beton özelliklerini belirlerken doğruya yakın tahmin edilebilmesi için deney günü betonun basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney günü yapılacak beton basınç dayanım testi için alınan tüm numuneler 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde olan silindir kalıplarla alınan numunelerdir. Alınan bu numuneler deney çerçeveleri ile aynı şartlarda bekletilmişlerdir. Kısa numune için deney günü yapılan beton basınç dayanımları Tablo 3.3 ile gösterilmektedir. Buna göre çerçeve numunelerinin ortalama beton basınç dayanımları IE01 için 10,9 MPa, IE02 için 9,4 MPa, IE03 için 11,0 MPa, IE04 için 9,5 MPa, IE05 için 9,7 MPa, IE06 için 9,4 MPa, IE07 için 9,8 MPa, IE13 için 11,1 MPa ve IE14 için 10,6 MPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Kısa numuneler için deney günü yapılan beton basınç deneyi sonuçları

Numune No	Döküm Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Beton Numunesi Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
IE01 1	03.06.2014	06.03.2015	11,4	10,9
IE01 2			11,5	
IE01 3			9,9	
IE02 1	12.02.2015	13.04.2015	10,2	9,4
IE02 2			8,6	
IE02 3			9,4	
IE03 1	03.06.2014	11.03.2015	11,0	11,0
IE03 2			11,4	
IE03 3			10,4	
IE04 1	12.02.2015	08.04.2015	9,2	9,5
IE04 2			9,0	
IE04 3			10,2	
IE05 1	12.02.2015	27.03.2015	9,8	9,7
IE05 2			9,7	
IE05 3			9,6	
IE06 1	12.02.2015	03.04.2015	9,2	9,4
IE06 2			9,3	
IE06 3			9,6	
IE07 1	12.02.2015	01.04.2015	10,2	9,8
IE07 2			9,6	
IE07 3			9,5	
IE13 1	07.05.2015	10.06.2015	11,1	11,0
IE13 2			11,7	
IE13 3			10,3	
IE14 1	07.05.2015	12.06.2015	8,5	10,3
IE14 2			11,6	
IE14 3			10,7	

Tablo 3.4. ile uzun numuneler için deney günü yapılan beton basınç dayanım sonuçları görülmektedir. Buna göre çerçeve numunelerinin ortalama beton basınç dayanımları IE08 için 11,61 MPa, IE09 için 11,73 MPa, IE10 için 11,44 MPa, IE11 için 12,37 MPa, IE12 için 12,09 MPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Uzun numuneler için deney günü yapılan beton basınç deneyi sonuçları

Numune No	Döküm Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Beton Numunesi Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
IE08 1	03.06.2014	17.10.2014	12,0	11,6
IE08 2			11,1	
IE08 3			11,7	
IE09 1	07.05.2015	17.06.2015	10,9	11,7
IE09 2			12,0	
IE09 3			12,3	
IE10 1	03.06.2014	11.11.2014	11,9	11,4
IE10 2			11,4	
IE10 3			11,0	
IE11 1	07.05.2015	29.07.2015	13,6	12,4
IE11 2			11,7	
IE11 3			11,8	
IE12 1	07.05.2015	23.06.2015	12,7	12,1
IE12 2			12,9	
IE12 3			10,7	

3.1.2.2. Donatı çeliği

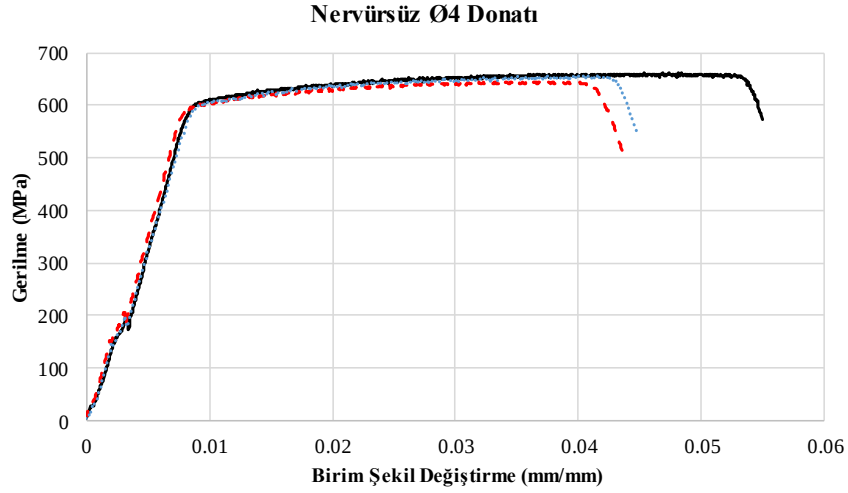
Tüm deney numunelerinde, kolon ve kiriş elemanlarında boyuna donatı olarak 8 mm çapında ve enine donatı olarak kullanılacak etriye elemanları için 4 mm çapında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Deney numunelerinin güçlü zemine bağlanacağı temel elemanında boyuna donatılar için 16 mm ve enine donatılar için 8 mm çapında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Kiriş ve kolonlar için kullanılan her çaptaki donatıdan 3'er adet numune alınıp donatı çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Görsel 3.3).



Görsel 3.3. Çelik çekme deneyleri

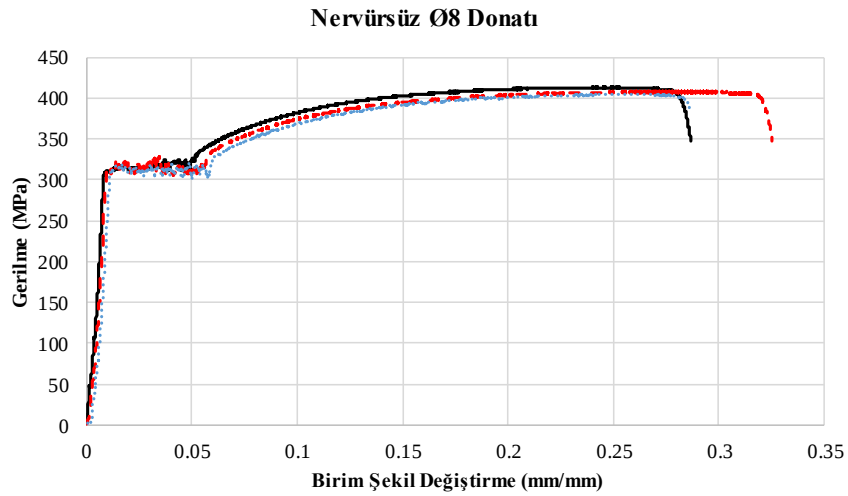
Kolon ve kirişlerde etriye olarak kullanılan 4 mm çapındaki donatıların eksenel çekme test sonuçlarına göre gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.8'de görülmektedir. Buna göre inşaat çeliği olarak kullanılan standart donatılardaki gözlenen akma noktası net olarak gözlenemese de 600 MPa değerinden sonra yük alma hızı

azalarak 650 MPa değerine kadar artmaya devam etmiştir. Kopma noktası birim şekil değiştirme değeri ise üç numune için %4 ile %6 arasında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 3.8. Kolon ve kirişlerde etriye olarak kullanılan Ø4 donatı için çelik çekme deneyleri

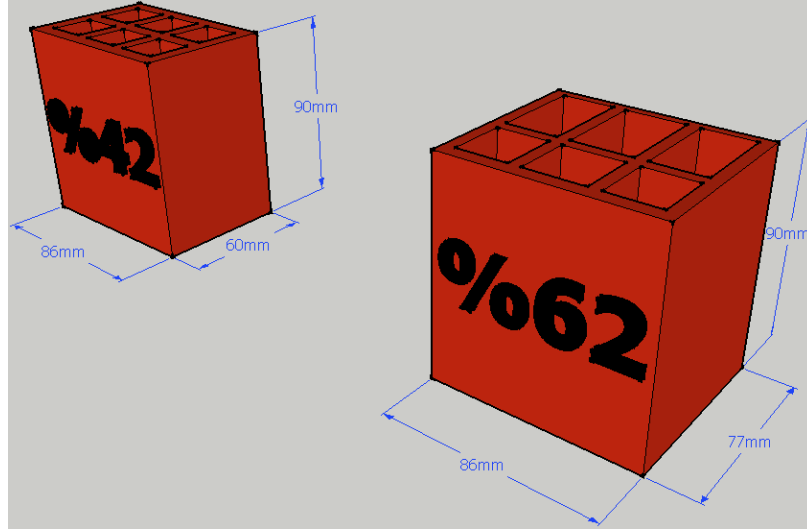
Kolon ve kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılan 8 mm çapındaki donatıların aksenal çekme test sonuçlarına göre gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.9’da görülmektedir. Buna göre ortalama akma dayanımı 310 MPa, ortalama en yüksek dayanım ise 410 MPa gelmiştir. Kopma noktası birim şekil değiştirme değeri ise yaklaşık %30 değerinde gözlenmiştir.



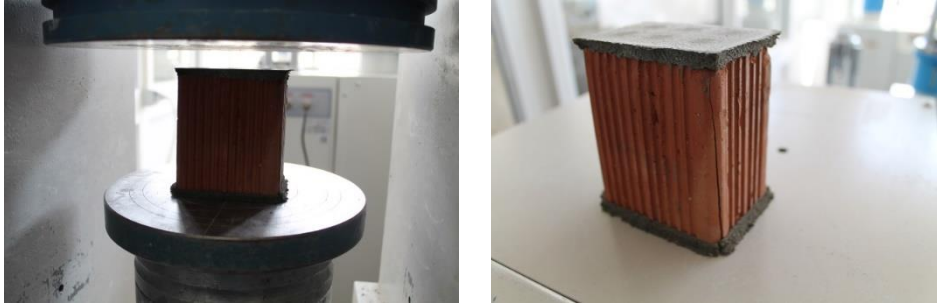
Şekil 3.9. Kolon ve kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılan Ø8 donatı için çelik çekme deneyleri

3.1.2.3. Boşluklu tuğla

Deney numunelerinde dolgu duvar malzemesi olarak boşluk oranı %42 ve %62 olan iki tip tuğla kullanılmıştır. Boyutları Şekil 3.10 ile verilen tuğlalar Görsel 3.4'te olduğu gibi dayanımı yüksek bir tamir harcı ile başlıklar yapılarak eksenel basınç deneyleri, yük deliklere paralel yönde uygulanacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.10. Tuğla boyutları (mm)



Görsel 3.4. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak tuğlaların eksenel yük testi

Elde edilen basınç değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir. Buna göre dayanım açısından iyi olarak seçilen ve boşluk oranı %42 olan tuğlanın eksenel basınç dayanımı ortalama 17 MPa, diğerine göre dayanımı daha kötü olarak seçilen %62 boşluk oranına sahip tuğlanın ortalama basınç dayanımı ise 11 MPa gelmiştir. Ortalama tuğla basınç dayanımı belirlenirken net alan kullanılmıştır.

Tablo 3.5. Tuğla basınç dayanımları

	Boşluk Oranı %42 (MPa)	Boşluk Oranı %62 (MPa)
1. Örnek	26,6	10,3
2. Örnek	11,2	10,7
3. Örnek	13,6	11,1
4. Örnek	17,7	13,6
Ortalama	17,2	11,4

3.1.2.4. Sıva ve harç

Hazırlanan numuneler için harç ve sıva malzeme özellikleri olarak TS 2510'a göre dayanım açısından iyi ve kötü olan B ve D sınıfı karışım oranları ile iki test numunesi için de ikisinin arasında bir dayanım verecek C sınıfı karışımlar seçilmiştir. Tuğla örümünün gerçek şartları yansıtabilmesi için duvar imalatı piyasada çalışan ustalar tarafından gerçekleştirilmiştir (Görsel 3.5). Tuğlalar, piyasada daha çok kullanıldığı gibi kolon ve giriş elemanlarının bir yüzüne, dış yapmayacak şekilde dayalı olarak örülmüştür.



Görsel 3.5. Harç ve sıva uygulaması

Farklı zamanlarda hazırlanan harç ve sıvaların tüm karışım oranları B sınıfı harç ve sıva için Tablo 3.6'da, C sınıfı harç ve sıva için Tablo 3.7'de ve D sınıfı için Tablo 3.8'de verilmiştir.

Buna göre iyi olarak seçilen B grubu karışım için 3 hacim çimento, 8 hacim kum, 1 hacim kireç ve 5 hacim su kullanılmıştır.

Tablo 3.6. İyi dayanımlı (B grubu) harç ve sıva karışımları

Malzeme	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Karışım Hacim Oranı	Karışım Ağırlığı (kg)
Çimento	1,5 t/m ³	3V	37 kg
Kum	2,65 t/m ³	8V	210 kg
Kireç	1,8 t/m ³	1V	17 kg
Su	1 t/m ³	5V	43 kg

Dayanımı B ve D grubu arasında gelmesi beklenen C grubu harç ve sıva karışımı için 2 hacim çimento, 8 hacim kum, 2 hacim kireç ve 5 hacim su kullanılmıştır.

Tablo 3.7. Orta dayanımlı (C grubu) harç ve sıva karışımları

Malzeme	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Karışım Hacim Oranı	Karışım Ağırlığı (kg)
Çimento	1,5 t/m ³	2V	40 kg
Kum	2,65 t/m ³	8V	270 kg
Kireç	1,8 t/m ³	2V	50 kg
Su	1 t/m ³	5V	64 kg

Kötü dayanım grubunu temsil etmesi için seçilen D grubu harç ve sıva karışımı için 1 hacim çimento, 8 hacim kum, 3 hacim kireç ve 5 hacim su kullanılmıştır.

Tablo 3.8. Kötü dayanımlı (D grubu) harç ve sıva karışımları

Malzeme	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Karışım Hacim Oranı	Karışım Ağırlığı (kg)
Çimento	1,5 t/m ³	1V	20 kg
Kum	2,65 t/m ³	8V	280 kg
Kireç	1,8 t/m ³	3V	70 kg
Su	1 t/m ³	5V	60 kg

Sıva ve harç eksenel basınç deneyleri için her çerçevede deney günleri dayanımlarını belirleyebilmek için numunelerle aynı şartlarda bekletilecek 3'er adet ve 28 günlük dayanımı belirlemek için 3'er adet olmak üzere sıva ve harç numuneleri hazırlanmıştır. Kalıp yetersizliği nedeni ile harç ve sıva basınç dayanım testleri için farklı tipte kalıplar kullanılmak zorunda kalınmıştır. Tablo 3.9 ile farklı zamanlarda hazırlanmış harç ve sıvaların kalıp tipi, hazırlanma tarihi, kırım tarihi, 28 günlük basınç dayanımı ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları görülmektedir. Bazı numuneler için 150x300 mm boyutunda kalıplar yetersiz kaldığı için 150 mm boyutlu küp kalıplar kullanılmıştır. Farklı kalıplardaki betonların ortalama basınç dayanımları belirlenirken Arıoğlu, Arıoğlu ve Girgin'in (1999, s. 40) çalışmalarına göre dönüşümler yapılmıştır. Buna göre üç farklı zamanda B grubu olarak hazırlanmış numunelerin ortalama basınç dayanımları 4,32 MPa (150x300 silindirik numune basınç dayanımına dönüştürülmüş hali), 4,25 MPa ve 3,76 MPa olarak belirlenmiştir. C grubu numunelerin ortalama basınç dayanımı 1,96 MPa olarak hesaplanmıştır. D grubu numunelerin ise ortalama basınç dayanım değerleri 0,66 MPa ve 0,83 MPa hesaplanmıştır.

Tablo 3.9. 28 günlük harç ve sıva basınç deneyi sonuçları

Numune Adı	Harç ve Sıva Grubu	Kalıp Tipi (mm)	İmalat Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Harç ve Sıva Numunesi Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
1. İmalat 1	B	150x150x150 Küp	30.06.2014	28.07.2014	5,50	5,40
1. İmalat 2					5,45	
1. İmalat 3					5,24	
2. İmalat 1	B	150x300 Silindir	25.02.2015	25.03.2015	4,03	4,25
2. İmalat 2					4,55	
2. İmalat 3					4,18	
3. İmalat 1	B	150x300 Silindir	15.05.2015	12.06.2015	3,90	3,76
3. İmalat 2					3,98	
3. İmalat 3					3,40	
3. İmalat 1	C	150x300 Silindir	15.05.2015	12.06.2015	2,08	1,96
3. İmalat 2					2,00	
3. İmalat 3					1,81	
2. İmalat 1	D	150x300 Silindir	25.02.2015	25.03.2015	0,58	0,66
2. İmalat 2					0,74	
2. İmalat 3					0,67	
3. İmalat 1	D	150x300 Silindir	15.05.2015	12.06.2015	0,76	0,83
3. İmalat 2					0,80	
3. İmalat 3					0,93	

Harç ve sıva malzemesinin özelliklerini belirlerken de betonda olduğu gibi deney günü basınç dayanım testleri yapılmıştır. Deney günü yapılacak beton basınç dayanım testi için alınan numunelerin bir kısmı 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde olan silindir kalıplarla, diğer bir kısmı ise 150 mm boyutları olan küplerle alınmıştır. Alınan bu numuneler deney çerçeveleri ile aynı şartlarda bekletilmiştir. Kısa numune için deney günü yapılan harç ve sıva basınç dayanım deneyi sonuçları Tablo 3.10 ile gösterilmektedir. Elde edilen ortalama basınç değeri 150 x 300 boyutundaki silindir eş değer basınç değerlerine çevrilerek, IE02 için 3,85 MPa, IE03 için 4,79 MPa, IE04 için 0,93 MPa, IE05 için 3,86 MPa, IE06 için 0,70 MPa, IE07 için 4,46 MPa, IE13 için 1,51 MPa ve IE14 için 4,76 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.10. Kısa numuneler için deney günü yapılan harç ve sıva basınç deneyi sonuçları

Numune No	Harç ve Sıva Grubu	Kalıp Tipi (mm)	İmalat Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
IE02 1	B	100x200 Silindir	25.02.2015	13.04.2015	4,79	3,97
IE02 2					3,86	
IE02 3					3,25	
IE03 1	B	100x200 Silindir	30.06.2014	11.03.2015	5,04	4,94
IE03 2					5,14	
IE03 3					4,65	
IE04 1	D	150x150x150 Küp	25.02.2015	08.04.2015	1,15	1,16
IE04 2					1,22	
IE04 3					1,09	
IE05 1	B	100x200 Silindir	25.02.2015	27.03.2015	3,65	3,98
IE05 2					4,03	
IE05 3					4,26	
IE06 1	D	150x150x150 Küp	25.02.2015	03.04.2015	0,88	0,87
IE06 2					0,86	
IE06 3					0,87	
IE07 1	B	100x200 Silindir	25.02.2015	01.04.2015	5,04	4,60
IE07 2					4,41	
IE07 3					4,36	
IE13 1	C	150x150x150 Küp	15.05.2015	10.06.2015	1,89	1,89
IE13 2					1,88	
IE13 3					1,89	
IE14 1	B	100x200 Silindir	15.05.2015	12.06.2015	4,94	4,91
IE14 2					5,24	
IE14 3					4,54	

Tablo 3.11 ile uzun numuneler için deney günü yapılan harç ve sıva basınç dayanım sonuçları görülmektedir. Uzun numuneler için de kullanılan kalıplarda farklılıklar olmuştur. Ancak 150 x 300 (mm) boyutundaki silindir eş değer basınç değerlerine çevrilerek, IE09 için 5,02 MPa, IE10 için 4,22 MPa, IE11 için 3,57 MPa, IE12 için 2,14 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tüm deney numuneleri düşünüldüğünde harç ve sıva dayanımları iyi, orta ve kötü dayanımlı olmalarına göre ayrılmıştır. İyi dayanımlı olan B grubunun basınç dayanımı ortalama 4,3 MPa gelmiştir. Orta dayanımlı olan C grubunun ortalama basınç dayanımı 1,8 MPa gelirken, kötü dayanımlı olan D grubunun 0,8 MPa gelerek hedeflenen harç ve sıva dayanımları elde edilmiştir.

Tablo 3.11. Uzun numuneler için deney günü yapılan harç ve sıva basınç deneyi sonuçları

Numune No	Harç ve Sıva Grubu	Kalıp Tipi (mm)	İmalat Tarihi	Kırım Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
IE09 1	B	100x200 Silindir	15.05.2015	17.06.2015	5,11	5,02
IE09 2					4,80	
IE09 3					5,15	
IE10 1	B	100x200 Silindir	30.06.2014	11.11.2014	4,53	4,22
IE10 2					4,15	
IE10 3					3,98	
IE11 1	B	150x300 Silindir	26.06.2015	29.07.2015	3,85	3,57
IE11 2					3,81	
IE11 3					3,06	
IE12 1	C	150x150x150 Küp	15.05.2015	23.06.2015	2,18	2,14
IE12 2					2,18	
IE12 3					2,07	

3.1.2.5. CFRP ve onarım kimyasalları

IE02 numunesi kısa kolon hasarı ile kesme çatlağı oluştuğundan sonra CFRP ile sarılarak yapısal onarımı gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan tek doğrultulu 0,111 mm kalınlığındaki CFRP şeridinin mekanik özellikleri; elastisite modülü 230000 MPa, kopma anındaki uzaması %2,10 ve karakteristik çekme dayanımı 4900 MPa olarak firma tarafından verilmiştir. Onarım aşamalarının ilki olan, çekme kuvveti 10,6 kN olan piyasada kimyasal dübel olarak adlandırılan malzeme ile kesme çatlağının doldurulmasıdır. Daha geniş çatlaklar, onarım sonrası oluşacak çatlakların bu geniş çatlakların olduğu bölgede oluşmaması için, 28 günlük basınç dayanımı 40 MPa olan tamir harcı kullanılarak doldurulmuştur. Beton yüzeyi ile onarım malzemelerinin aderansını artırmak amacı ile eğilme kapasitesi 20 MPa olan astar malzeme kullanılmıştır. CFRP şeritlerinin montajında düz bir yüzey elde etmek için basınç dayanımı 75 MPa olan başka bir epoksi bazlı tamir harcı daha kullanılmıştır. Son adımda da şeritler, tamir harcına basınç dayanımı 60 MPa olan solventsiz, yüksek dayanımlı, epoksi esaslı özel yapıştırıcı malzeme ile birlikte sarılmıştır. Yapısal onarımda kullanılan malzeme özellikleri üretici firma tarafından temin edilmiştir (BASF, 2017).

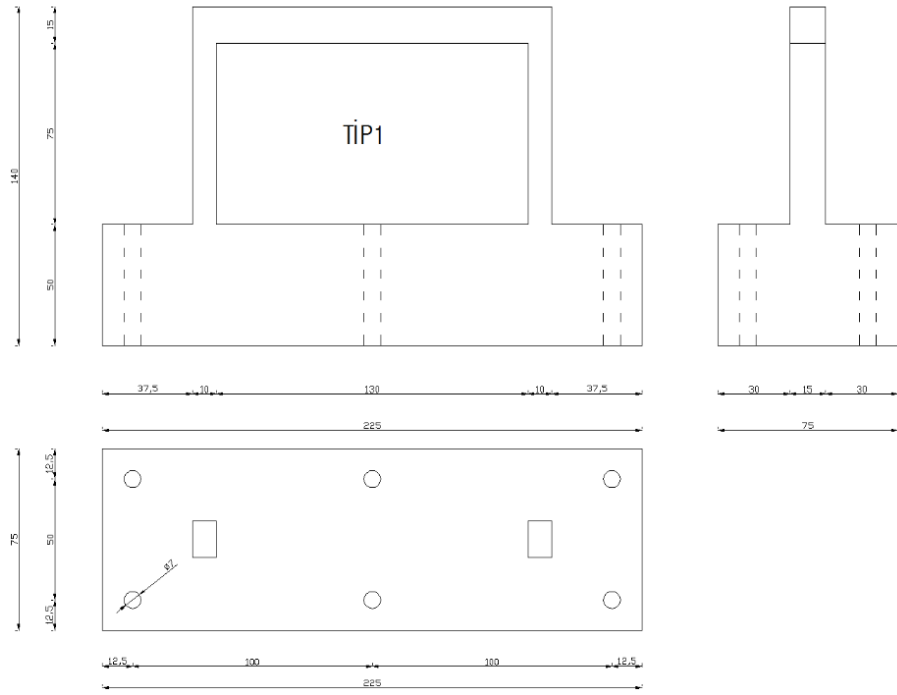
3.1.3. Çerçeve numunelerinin üretimi

Deneylerde kullanılacak tüm çerçeve numuneleri Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde üretilmiştir. 14 adet üretim ilk

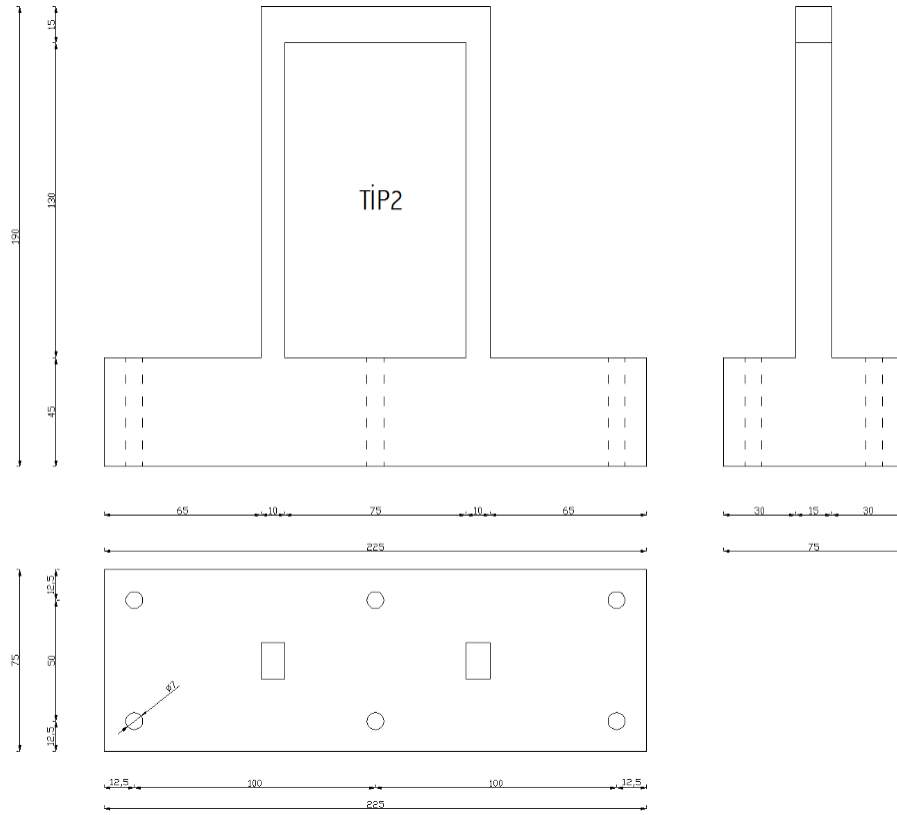
seferde 4, ikinci seferde 5 ve son seferde 5 olmak üzere üç ayrı günde üretilmiştir. Farklı zamanlarda üretilen her bir numune aynı yöntemle üretilmiştir. Kalıp ve donatıların imalatı aynı anda başlamıştır. Donatıları yerleşmiş, güçlü zemine bağlantı için bırakılmış boşluklar tamamlanmış ve kalıp imalatı bitmiş numunelere 16 adet birim deformasyon ölçer yapıştırıldıktan sonra beton döküm işlemine geçilmiştir. Prizini almış betonun kalıpları söküldükten sonra tuğla duvar imalatı tamamlanmış ve sıvaları yapılmıştır. Beton dökümünden sonra en az 28 gün geçmesiyle, deneye hazır hale gelmiş numunelerin çatlakların daha iyi gözlenebilmesi için sönmüş kireç ile kireç sıvaları tamamlanmıştır.

3.1.3.1. Kalıp imalatı

Deneyleri yapılacak numunelerden 9 tanesi boy/en oranı 0,58 olacak şekilde seçilmiş ve Tip 1 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.11). Kalan 5 tanesi boy/en oranı 1,72 olarak seçilmiş ve Tip 2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.12). Tüm kalıpların hazırlanmasında piyasada sıklıkla kullanılan ve pürüzsüz bir yüzey elde edebilmek ve diğer numunelerin hazırlanmasında kullanabilmek için plywood kalıpları kullanılmıştır. Beton dökümünde kalıp ve betona zarar vermemek için kalıplar yağlanmıştır. Kalıplar, çerçeve numune betonları dik olarak dökülecek şekilde düşünülerek imal edilmiştir. Yan döküm, elemanlarda boşluk oluşmaması ve döküm hızı bakımından daha avantajlı olsa da, numunenin kaldırılırken ve yerine yerleştirilirken zarar görebilme ihtimali nedeniyle ve ayrıca laboratuvardaki sınırlı yer için en uygun çözümün dikey beton dökümü olacağına karar verilmiştir. Birim deformasyon ölçerleri bağlayabilmek için kalıp yüzlerinin bir tarafı kapatılmamıştır. Kalıp yüzeyleri, açılmalara ve devrilmelere karşı ahşap elemanlarla güçlendirildikten sonra, bağ telleri ile bağlanarak da önlem alınmıştır.



Şekil 3.11. Boy/en oranı 0,58 olan Tip 1 numuneleri için kalıp planı (cm)



Şekil 3.12. Boy/en oranı 1,72 olan Tip 2 numuneleri için kalıp planı (cm)

Deney düzenekleri için önce temel kalıpları hazırlanmıştır (Görsel 3.6). Temel kalıplarının altına, güçlü zemindeki deliklere denk gelecek şekilde kağıt şablona çizilerek kesilmiş delikler yardımıyla çiviler çakılarak betonda boşluk bırakmaya yarayacak  75 çapındaki plastik boru yerleri belirlenmiştir (Görsel 3.7). Temel kalıbı içine donatılar 2,5 cm'lik pas payı aparatları ile yerleştirildikten sonra imalatı tamamlanmış kolon ve kiriş donatıları yerlerine yerleştirildikten sonra etrafındaki kalıpların da hazırlanmasıyla kalıp imalatı tamamlanmıştır.



Görsel 3.6. *Temel kalıbı*



Görsel 3.7. *Temelde bırakılacak boşluk imalatı*

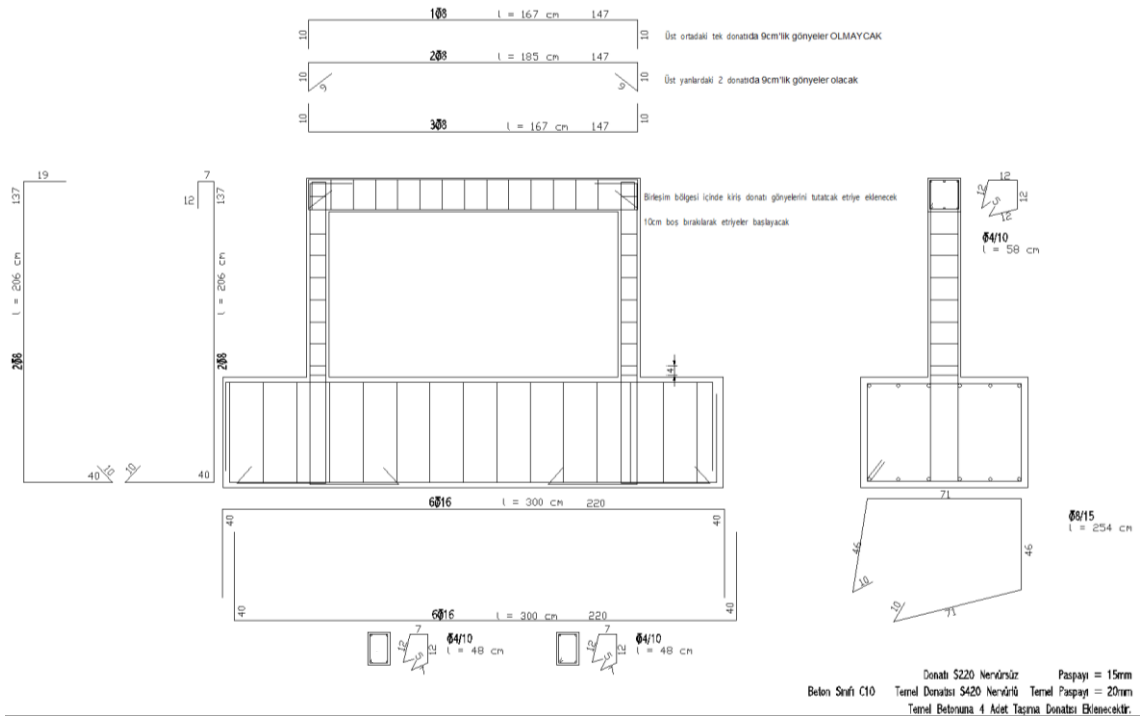
3.1.3.2. Donatı imalatı

Temel kalıpları hazırlanırken aynı anda temel, kolon ve kiriş donatılarının tümü donatı aplikasyon planlarında verilen boylara göre kesilip, gönyeleri yapılarak hazır hale getirilmiştir (Görsel 3.8). Tüm numunelerde aynı tip donatılar kullanılmıştır. Tip 1 ve Tip 2 numuneleri için gönye boyları ve detayları değişmeden, kolon ve kiriş elemanlarının boylarına göre ayarlanarak imal edilmiştir. Temel donatıları tamamlanan numune için önce kolon sonra kiriş donatıları yerleştirilmiştir. Tüm numunelerde kolon ve kiriş elemanlarının donatı oranları %1,34 olacak şekilde seçilmiştir. Kolonlar için köşelerinde birer adet 8 mm çapındaki 4 adet donatı yerleştirilmiştir. Kirişlerde ise altta ve üstte üçer adet 8 mm çapındaki donatılarla %1,34'lük donatı oranı sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. 4 mm çapındaki donatılarla hazırlanan etriyeler tüm elemanlarda aralarında 100 mm boşluk olacak şekilde boyuna donatılara bağlanmıştır.

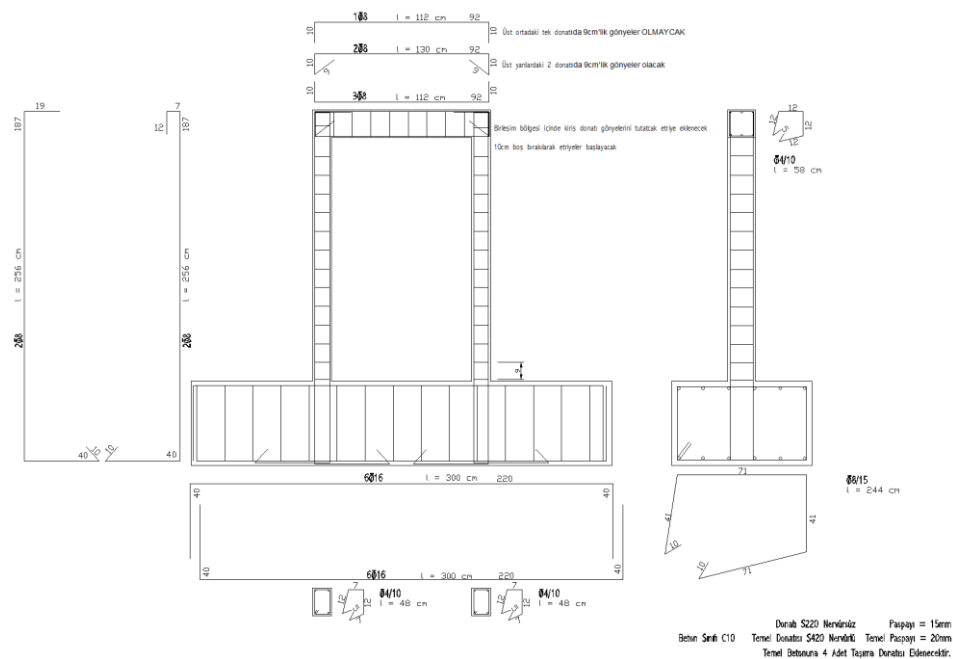


Görsel 3.8. Tüm donatıların hazırlanması

Şekil 3.13 ile Tip 1 numunelerine ait donatı aplikasyon planı görülmektedir. IE14 olarak isimlendirilmiş numune haricindeki tüm kısa numunelerde bu donatı aplikasyon planı kullanılmıştır.



Şekil 3.14 ile Tip 2 numunelerine ait donatı aplikasyon planı görülmektedir. Tüm uzun numunelerde bu donatı aplikasyon planı kullanılmıştır.



Technical drawing of a reinforced concrete structure, showing three views: a plan view, a section view, and a detail view.

Plan View (Top): Shows a rectangular structure with dimensions 113 cm by 113 cm. The reinforcement details include bars 168, 288, and 368. The length of the bars is given as $l = 167 \text{ cm}$, $l = 185 \text{ cm}$, and $l = 167 \text{ cm}$ respectively. The width of the structure is 147 cm.

Section View (Middle): Shows a cross-section of the structure with dimensions 167 cm by 185 cm. The reinforcement details include bars 168, 288, and 368. The length of the bars is given as $l = 167 \text{ cm}$, $l = 185 \text{ cm}$, and $l = 167 \text{ cm}$ respectively. The width of the structure is 147 cm.

Detail View (Bottom): Shows a corner joint of the structure with dimensions 167 cm by 185 cm. The reinforcement details include bars 168, 288, and 368. The length of the bars is given as $l = 167 \text{ cm}$, $l = 185 \text{ cm}$, and $l = 167 \text{ cm}$ respectively. The width of the structure is 147 cm.

Notes:

- Üst ortadaki tek donatıda 9cm'lik gönyeler OLMAYCAK
- Üst yanlardaki 2 donatıda 9cm'lik gönyeler olacak
- Birleşim bölgesinde içinde donatı gönyelerini tutacak etiyeler eklenecek
- 10cm boş bırakılarak etiyeler başlatılacak
- Birleşim bölgesinde içinde donatı gönyelerini tutacak etiyeler eklenecek
- 10cm boş bırakılarak etiyeler başlatılacak

Reinforcement Details:

- Bar 168: $l = 167 \text{ cm}$
- Bar 288: $l = 185 \text{ cm}$
- Bar 368: $l = 167 \text{ cm}$
- Bar 68/16: $l = 300 \text{ cm}$
- Bar 68/10: $l = 48 \text{ cm}$
- Bar 68/10: $l = 58 \text{ cm}$
- Bar 68/10: $l = 254 \text{ cm}$

Dimensions:

- Plan View: 113 cm by 113 cm
- Section View: 167 cm by 185 cm
- Detail View: 167 cm by 185 cm

Şekil 3.15. *IE14 Numunesine ait donatı planları*

Görsel 3.9’da görüldüğü gibi imalatı biten tüm numunelerde çivilerle belirlenmiş yerlere plastik borular yerleştirilmiştir. Boruların alt ve üst kısmına iki boru arasındaki mesafeyi sabit tutacak kısa yönde 425 mm uzunluğunda, uzun yönde 925 mm uzunluğunda Ø8 çapında nervürlü donatılar bağlanmıştır.



Görsel 3.9. *Betonda boşluk kalacak yerlere plastik borunun sabitlenmesi*

İmalatları tamamlanan numunelere beton dökümü öncesinde, yerlerini önceden belirlediğimiz FLA-6-11-5L tipinde birim deformasyon ölçerler (Strain Gauge) yapıştırılmıştır.

Görsel 3.10’da görüldüğü gibi birim deformasyon ölçer yapıştırılacak donatı yüzeyi yüksek devirli motora takılmış ince zımpara ile zımparalanmıştır. Bölgeyi tozdan ve pastan arındırmak için asetonlu bir pamukla temizlenmiştir. Bu aşamadan sonra birim deformasyon ölçerlerin o bölgeye tekrar toz gelmeden yapıştırılması gerekmektedir.



Görsel 3.10. Birim deformasyon ölçer yapıştırılacak bölgenin temizlenmesi

Görsel 3.11’de görüldüğü gibi birim deformasyon ölçerin yapıştırılacağı bölgede kabloların açık uçlarının geleceği kısma, kısa devre oluşumunu önlemek için kablo bandı yapıştırılmıştır. Birim deformasyon ölçerin arka kısmına yapıştırıcı sürüldükten sonra okuma doğrultusuna paralel olmasına dikkat edilerek, elimizin yapışmasını engellemek için teflon kağıdı ile yapışacak bölgeye baskı uygulanılmıştır.



Görsel 3.11. Birim deformasyon ölçerin yapıştırılması

Daha sonra beton dökümü sırasında zarar görmemesi için üzeri Görsel 3.12’de görülen çift taraflı bant ile sarılmıştır. Bir dijital multimetre yardımı ile önce iki kablo arasındaki direncin istenen aralıkta (119 - 120) arasında olup olmadığı ve sonra kablolarda kısa devre olup olmadığı kontrol edilmiştir (Görsel 3.12).



Görsel 3.12. *Birim deformasyon ölçere koruma bandı yapıştırılması ve kablo kontrollerinin yapılması*

Birim deformasyon ölçerlerin beton dökümü sırasında zarar görmemesi için çift taraflı bant üzerine kablo bandı sarılmış ve veri okuma cihazı ile birim deformasyon ölçerler arasındaki kablonun gerilmemesi için kablo bant ile donatıya yapıştırılmıştır. Bütün kablolar kolonun ve kirişin orta bölgelerinde toplanarak temel içine indirilmiş ve betonda oluşacak çatlağın ilerleyişini değiştirmeyecek şekilde uygun noktalardan dışarı çıkarılmıştır (Görsel 3.13).



Görsel 3.13. *Kabloları koruma bandı yapıştırılması ve kabloların kalıptan çıkarılması*

Beton dökümü esnasında kablo uçları zarar görmemesi için poşetlere konulmuştur. Kablolar isimlendirilip bantların üzerine yazılarak elde edilen verilerde meydana gelebilecek karışıklığın önüne geçilmiştir.

3.1.3.3. Beton dökümü

Deney numuneleri tamamen hazırlandıktan sonra Türkiye'deki yapı stokunun büyük bölümünü temsil eden, beton basınç dayanımı düşük, C8-10 beton sınıfında hazır beton sipariş verilerek beton dökümleri gerçekleştirilmiştir. Pompasız, sadece mikser ile Görsel 3.14'te görülen tremi borusu ve laboratuvarındaki vinç yardımıyla önce temellere sonra kolon ve kirişlere beton yerleştirilerek beton döküm işlemi tamamlanmıştır. Beton dökümünün her aşamasında vibratör kullanılarak en alt noktalara kadar betonun boşluk

kalmadan inmesi sağlanmaya çalışılmıştır (Görsel 3.15). Beton dökümü tamamlandıktan sonra mala ile yüzeyler pürüzsüz hale getirilmiştir.



Görsel 3.14. Temel betonu dökümü



Görsel 3.15. Kolon kiriş beton dökümü

Deney numuneleri, beton döküldükten sonra telis bezleri kullanılarak kür yapılmıştır. Malzeme deneyi için alınan silindir numuneler ile çerçevelerin deney günü yapılan beton basınç dayanım değerlerinin yakın çıkması için, alınan silindir numuneler ile çerçeve numuneleri aynı küre tabi tutulmuşlardır. Toplam 14 deney numunesi için beton döküm işlemi 3 ayrı zamanda yapılmış, ancak üçünün de aynı firma tarafından aynı reçete ile üretilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Her ayrı döküm için beton dayanım testlerini yapmak üzere beton numuneleri alınmıştır.

3.1.3.4. Duvar imalatı

Beton dökümü tamamlanan numuneler dayanımını kazandıktan sonra duvar imalatına geçilmiştir. 11 adet çerçeve delikler yatay olacak şekilde, 1 çerçevede ise delik yönünün etkisinin olup olmadığının tespiti açısından delikler düşey olacak şekilde dayanım açısından iyi, orta ve kötü harç ve sıvadan olacak şekilde piyasada çalışan usta ve işçiler tarafından imatlatları tamamlanmıştır (Görsel 3.16). Tuğlalar kolon ve kiriş elemanlarını

ortalayacak şekilde değil, piyasada sıklıkla yapıldığı gibi kolon ve kirişlerin bir yüzüne dayalı şekilde imal edilmişlerdir.



Görsel 3.16. *Duvar imalatı ve sıva*

Dolgu duvar mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için panel deneylerinde kullanılmak üzere, her bir deney çerçevesi imal edilirken, aynı tuğla, sıva ve harç kullanılarak 700 mm x 700 mm boyutlarında duvar elemanları da imal edilmiştir (Görsel 3.17).



Görsel 3.17. *Panel deneyleri için duvar imalatı ve sıva*

3.1.3.5. Kesme hasarının onarımı

Görsel 3.18’de görüldüğü gibi kolonlar arasında bırakılan boşluk nedeni ile kısa kolon hasarı almış IE02 numunesi ayrıntıları 3.1.1.3. bölümünde anlatıldığı gibi onarılacak tüm çerçevelere uygulanan aynı miktarda eksenel yük ve aynı yükleme protokolü ile yeniden test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Onarım prosedürü, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında Yurdakul ve Avşar (2015) tarafından yapılan bir çalışmaya göre uygulanmıştır. CFRP şeritleri kolon eğilme ve kesme kapasitelerini artıracak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca kiriş kesme kapasitesini de artıracak şekilde sarım yapılmıştır. Birleşim bölgesindeki çatlakların onarımı için bir sıra CFRP kullanılmıştır. IE02

numunesi test edilirken birim deformasyon ölçerler kapasitelerini aştığı için kullanılamaz hale gelmiştir. Bu sebeple IE02_G numunesinde donatılardaki uzama verileri olmadan veriler toplanmıştır.



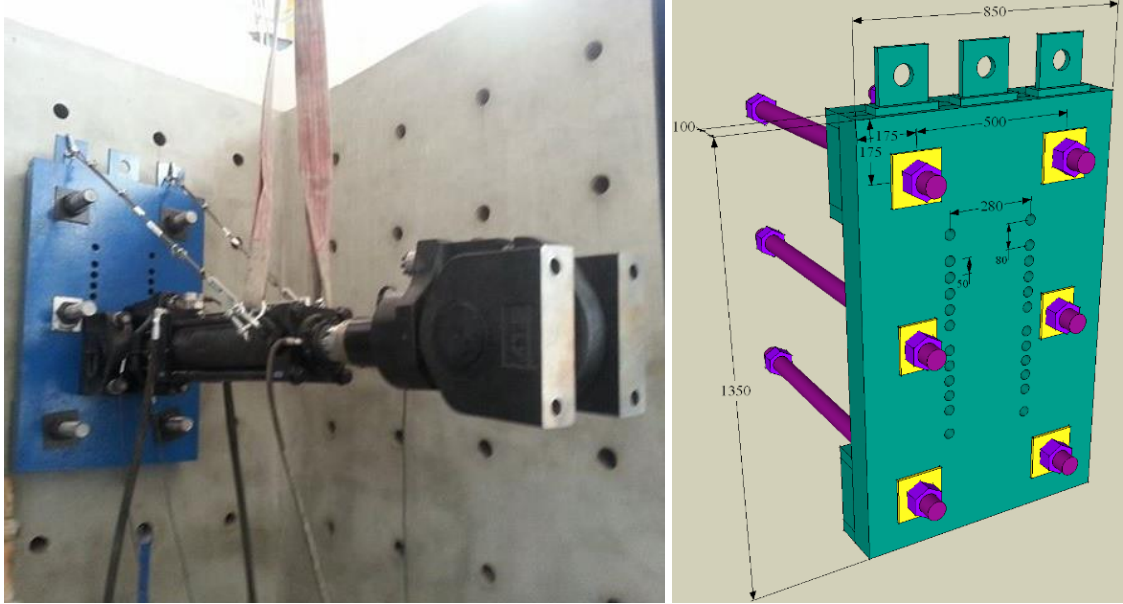
Görsel 3.18. *Onarım öncesi kısa kolon hasarı görmüş numune ve onarılmış numune (IE02 ve IE02_G)*

3.1.4. Deney düzeneği

Tüm deney çerçeveleri için daha sonra başka deneylerde de kullanılabilecek şekilde bir düzenek tasarlanmış ve üretilmiştir. Düzenek Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi atölyelerinde imal edilmiş ve Yapı Laboratuvarı'nda monte edilerek oluşturulmuştur. Deney çerçevelerine uygulanacak yatay yükün uygulanabilmesi için reaksiyon duvarı ve çerçevelerin yatayda hareketini ve dönmesini engelleyecek güçlü zemin, Yapı Laboratuvarı'nda bulunmaktadır. Herhangi bir ek imalat ya da güçlendirme yapılmadan güçlü duvar ve zemin kullanılmıştır.

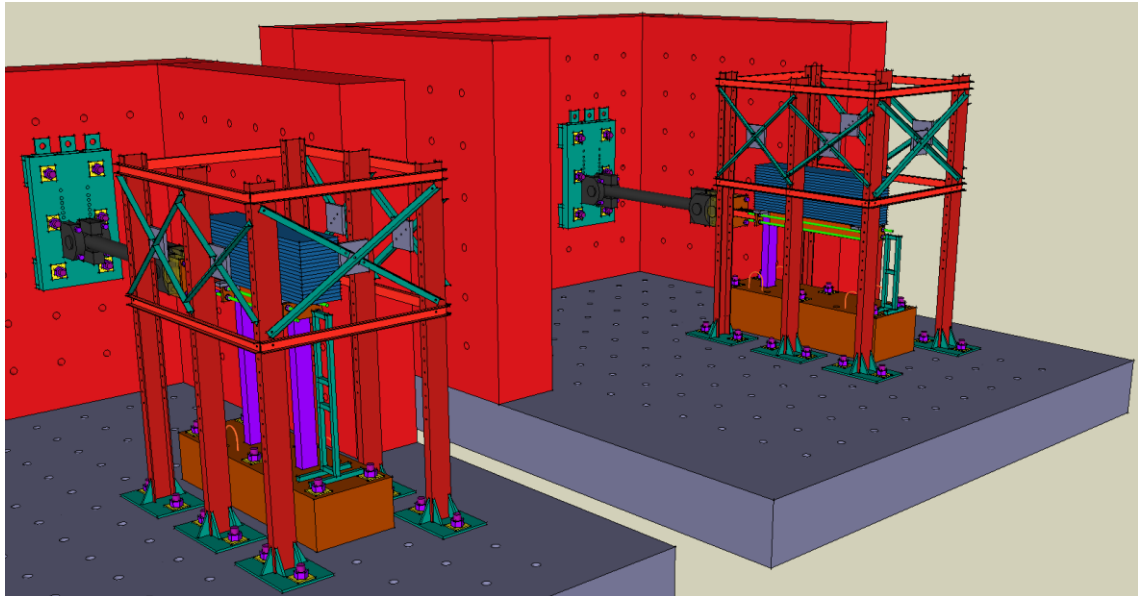
Deney çerçevelerine yatay yüklemenin yapılabilmesi için kullanılacak hidrolik pistonun, güçlü duvara ince ayar yapılabilecek şekilde monte edilebilmesi için 10 cm kalınlığındaki çelik plaka ile bağlantısının yapılacağı aparat imal edilmiştir. Hidrolik pistonun detay ölçüleri alınarak güçlendirilmiş çelik plakadaki delik yerleri, çapları ve montaj lamalarının yerleri gerekli ayarlamaları yapabilecek şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.16). Reaksiyon duvarında delikler arası mesafe eksenden eksene 500 mm iken bu sistemle piston 50 mm aşağı-yukarı hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemi reaksiyon duvarına bağlamak için M64 saplama ve bulonlar kullanılmıştır. Reaksiyon duvarının delik çapları 78-80 mm arasında iken saplamlar 64 mm çapındadır. Boşluk nedeniyle deney düzeneğinin yatayda ve düşeyde hareket etmesini engellemek için dış

apı 78 mm iç çapı 65 mm olan yüzükler imal edilerek saplama ve delikler arasındaki boşluklar doldurulmuştur.



şekil 3.16. *Güçlü duvar bağlantı plakası delik detayları (mm)*

Deneyde kullanılacak Tip 1 ve Tip 2 olarak iki farklı ölçüde ereve sistemi olduğundan hidrolik pistonun güçlü duvara bağlanması için hazırlanan plaka numune boyuna göre yerleştirilmiştir (şekil 3.17).



şekil 3.17. *Tip 1 ve Tip 2 için deney düzenekleri yerleşim planları*

Her iki tip çerçeve için, deney esnasında numunelerin düzlem dışı hareketlerini önlemek ve ileri deplasmanlarda ani göçme olması durumunda üzerindeki eksenel yükün düşmesini engellemek amacıyla NPU200 profilleri ile koruma çerçevesi imal edilmiş ve montajı yapılmıştır. Kirişlerin üzerine yerleştirilen eksenel yük deney esnasında düşmemesi için, kaynaklanan NPU80 ayaklarına bağlanan zincirlerle çelik kolonlara tutturulmuştur. Bu zincirler deney esnasında hareket edebilmesi için ve eksenel yükün bir kısmını çelik kolonlara aktarmaması için gevşek bırakılmıştır (Görsel 3.19).



Görsel 3.19. Düzlem dışı hareketi önleme ve eksenel yük koruma çelik çerçevesi

Tüm deney çerçeveleri için yatay ve düşey olmak üzere iki tip yükleme yapılmıştır. Çerçevelere uygulanacak düşey yük için, Görsel 3.20’de görülen ve kolonlara uygulanması gereken minimum eksenel yük olarak sabit 2,3 ton yüke ihtiyaç duyulmaktadır. Denklem 3.1 ile hesaplanan kolon eksenel taşıma yük kapasitesinin %10’u kadar bir eksenel yük, sadece kolonlara aktarılacak şekilde sisteme eklenmiştir. Eksenel yükün olabilecek en küçük değerde tutulma sebebi, eksenel yükün artmasıyla kolonlardaki kesme kapasitelerinin de artmasını engellemektir.

$$N_d = (0,85 \times f_c \times b \times d) + (\sum A_s \times f_y) \quad (3.1)$$

Burada; N_d kolon eksenel yük taşıma kapasitesini, f_c beton basınç dayanımını, b ve d kolon boyutlarını, $\sum A_s$ kolonların toplam boyuna donatı miktarını ve f_y ise kolon boyuna donatılarının akma dayanımlarını temsil etmektedir.



Görsel 3.20. İki parça olarak toplam 2,3 ton eksenel yük

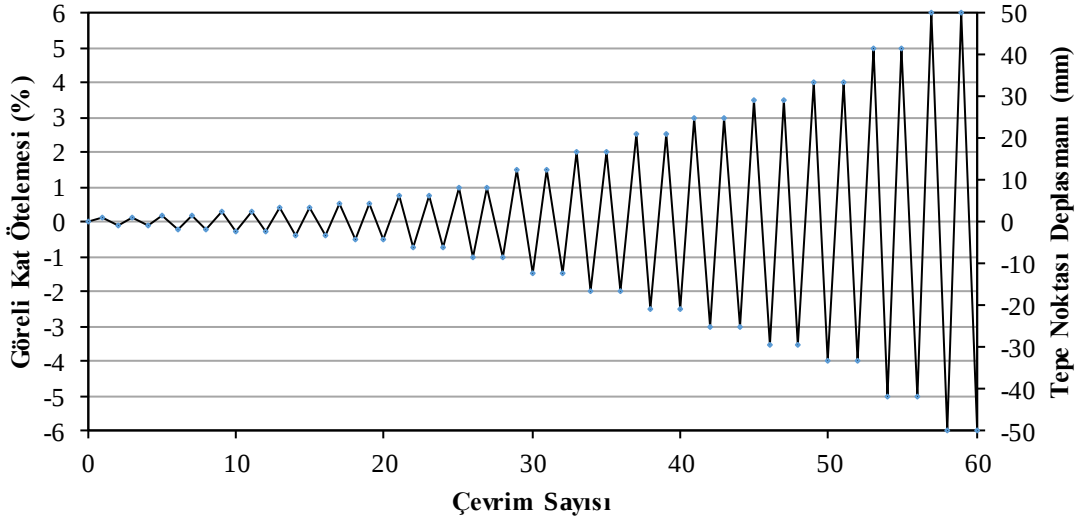
İki parça olarak üretilen 2,3 ton eksenel yük, yükü kirişlere aktarmadan sadece kolonlara iletebilmesi için Görsel 3.21’de görülen iki adet 10 mm kalınlığındaki çelik plaka U şeklinde bükülerek içine 10 ton yük kapasitesi olan yanal rijitliği düşük elastomer takozlar kullanılmıştır. Burada düşey yükün elastomer takozlar ile iletilmesinin sebebi; sabit eksenel yük olarak kullanılan çelik plakaların betonarme çerçeveye ilave rijitlik katmasının önüne geçilmesidir. Ayrıca takozlar eksenel yük yerleştirilirken daha hassas olarak yüklenmesini de sağlamaktadır.



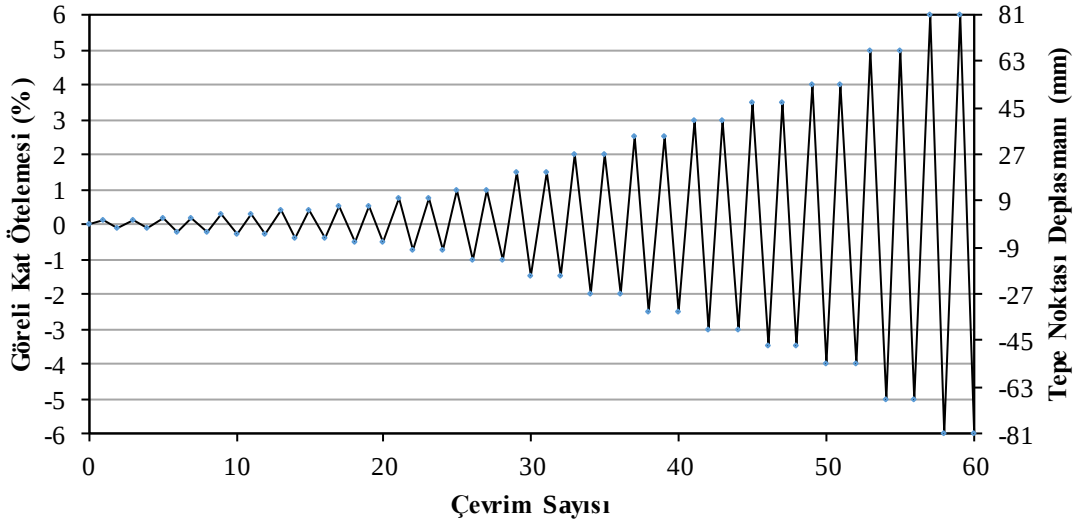
Görsel 3.21. Eksenel yükün yerleştirildiği elastomer takozlar

Deney çerçevelerine uygulanacak çevrimsel yatay yükün belirlenmesi için literatürde yapılan farklı deneyler incelenmiştir. ACI T1.1-01 (Acceptance Criteria for Moment Based on Structural Testing) ile sınır şartları belirlenmiş yükleme protokolü bazı kritik görelî kat ötelemesi değerlerinden geçecek şekilde düzenleme yapılarak %0,1, %0,2, %0,3, %0,4, %0,5, %0,75, %1 gibi kritik oranlar %6’ya ulaşınca kadar numunelere uygulanacak şekilde olmasına karar verilmiştir. Tüm çerçevelere

uygulanacak görelî kat ötelemeleri aynı olmasına rağmen Tip 1 ve Tip 2'deki çerçeveslerin kolon boylarındaki farklılık nedeni ile uygulanacak deplasmanlarda farklılıklar mevcuttur. Tip 1 numuneler için Şekil 3.18'de görülebileceği gibi uygulanacak en büyük deplasman 49,50 mm iken, Tip 2 numuneler için uygulanacak en büyük deplasman Şekil 3.19'da 82,50 mm olarak görülmektedir.

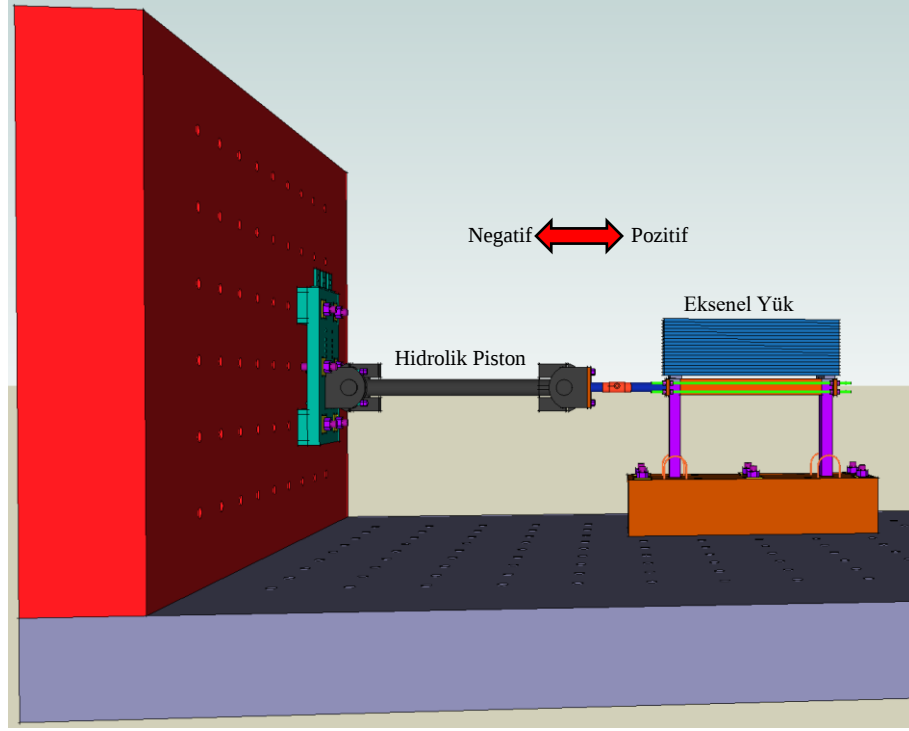


Şekil 3.18. Kısa numunelere ait yükleme protokolleri

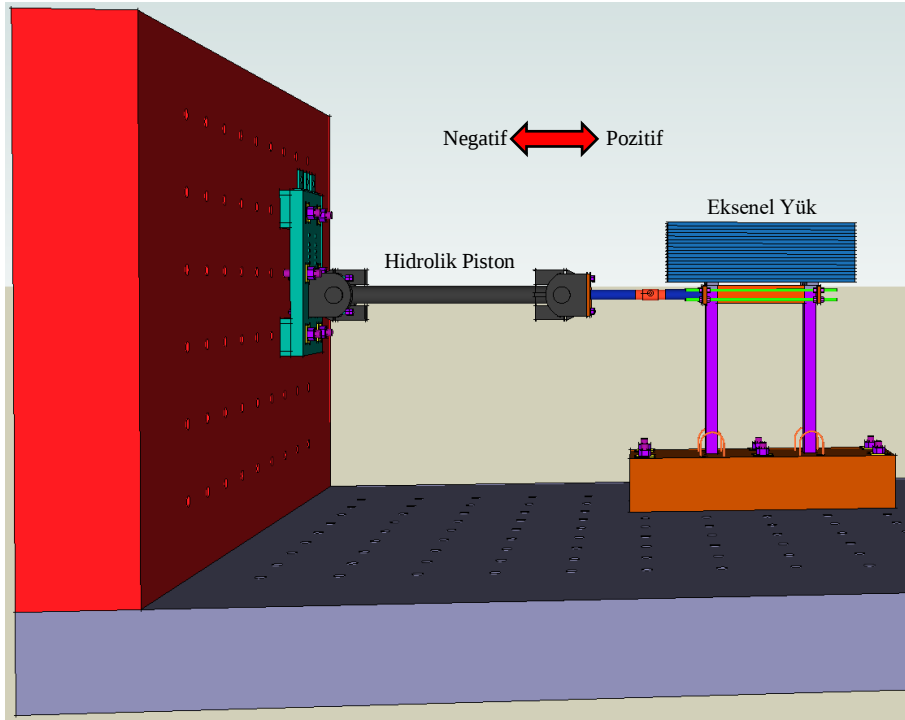


Şekil 3.19. Uzun numunelerine ait yükleme protokolleri

Reaksiyon duvarı, güçlü zemin, çerçeve bağlantı detayları, yatay ve düşey yükleme biçimi, pozitif ve negatif yatay yükleme yönlerinin genel bir görünümü Tip 1 için Şekil 3.20'de, Tip 2 için Şekil 3.21'de görülmektedir.



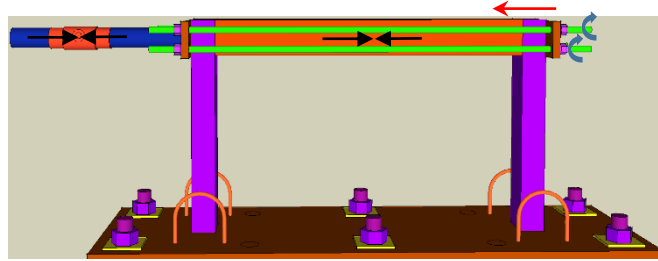
Şekil 3.20. Tip 1 Deney düzeneği genel görünümü



Şekil 3.21. Tip 2 Deney düzeneği genel görünümü

Tüm deneylerde yatay yük, MTS marka ve 201.45 model, çekmede 445 kN, itmede 650 kN ve 500 mm hareket kapasiteli yük ve deplasman kontrollü hidrolik piston ile

uygulanmıştır. Hidrolik piston 4 adet M33 saplama ile çelik plakaya, çelik plaka da 6 adet M64 saplama ile reaksiyon duvarına bağlanmıştır. Hidrolik pistonun iki ucunda her yönde dönmeye izin veren mafsallar mevcuttur. Yatay yük itme yönünde, çerçeveye hidrolik pistondan içi dolu dairesel kesitli bir çelik elemana kaynaklanmış 30 mm'lik çelik plaka ile iletilmektedir. Yatay yük çekme yönünde ise 4 adet M27'lik saplamalarla 30 mm'lik çelik plakayla M27'lik somunlar yardımıyla uygulanmaktadır. Burada 30 mm'lik iki plakanın fazla sıkılması durumunda plakanın pistona doğru hareketi ile kirişte fazladan normal kuvvet meydana gelebilmektedir. Ayrıca hidrolik pistona bağlı sistemi de duvar yönünde itmeye çalışmasıyla yük hücresinde okunan yük değerinin artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.22). Dolayısıyla, deney numunesine bağlanacak itme-çekme plakası ilave yük oluşturmuyarak, hassas bir şekilde monte edilmiştir.



Şekil 3.22. İtme, çekme mekanizması

Deney çerçeveleri ile güçlü zemin bağlantısı 6 adet M64'lük saplama ve bulonlarla sağlanmıştır. Bu sayede deney esnasında yatay yükler uygulanırken çerçevenin yatay hareketi ve dönmeleri engellenmiş olunmuştur.

Çalışmadaki temel amaç yatay yükler ve bunların etkilerinin çerçeve düzleminde araştırılması olduğundan, çerçevenin düzlem dışı hareketi 4 adet çelik bilye ve çelik profil ile üretilmiş bir aparatla engellenmiştir. Bu aparatlar çerçeve kirişi üzerinde ek gerilme ve sürtünmeye neden olmayacak şekilde serbestçe dönebilen bilyeler kullanılmıştır. Saplama uçlarına bağlanan bilyeler, U80 profiller ile koruma çerçevesine bağlanarak kullanılmıştır.

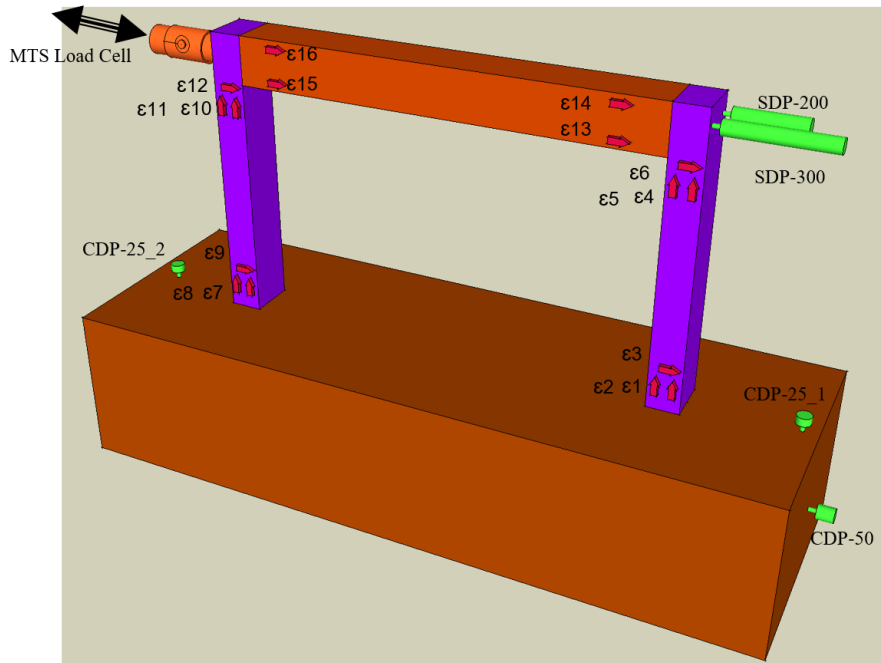
3.1.5. Veri okuma sistemi

Tüm deney çerçeveleri için tersinir tekrarlı yatay yükler altındaki davranışları hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla çeşitli veri okuma araçları sisteme kurulmuştur. Çeşitli noktalardaki yer değiştirmelerin okunabilmesi için LVDT (Linear Variable Differential Transformers) olarak adlandırılan deplasman ölçerler kullanılmıştır. Deney

çerçevelerine uygulanan yükü okuyabilmek için yük hücreleri kullanılmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarında kullanılan boyuna donatıların akma noktalarını belirleyebilmek için de birim deformasyon ölçerler (Strain Gauge) kullanılmıştır. Yükleme esnasında farklı ölçüm araçlarından gelen belirli bir andaki verileri okuyup bilgisayar ortamına dijital olarak kaydedebilmek için veri toplama cihazı (Data Logger) kullanılmıştır. Veri toplama cihazı ile bilgisayar arasında GP-IB kablosu ile bağlantı kurularak veriler kaydedilmiştir. Her iki tip çerçeve için de aynı veri okuma ve toplama araçları kullanılmıştır (Şekil 3.23).

Deney çerçevesi tepe noktası deplasmanı 200 mm ve 300 mm kapasiteli 2 ayrı deplasman ölçer ile ölçülmüştür. Bu deplasman ölçerlerden bir tanesi diğer deplasman ölçerden herhangi bir sebeple veri gelmemesi durumunda yedek olması için kullanılmıştır. Ayrıca yük uygulayacak servo motorlu hidrolik pistonun sağladığı itme ve çekmedeki yer değiştirme değerleri de aynı veri toplama cihazı ile toplanmıştır.

Deney numunesine uygulanan yük esnasında temelde herhangi bir dönmenin olup olmadığı, temelin ön ve arka kısmına düşey olarak yerleştirilen birer adet 25 mm kapasiteli deplasman ölçerler yardımıyla kontrol edilmiştir. Uygulanan yük esnasında temelde meydana gelebilecek dönme veya yer değiştirme, sonuçların yanlış yorumlanmasına neden olabilecektir. Temel kısmının yatayda hareket edip etmediği 50 mm kapasiteli bir deplasman ölçerin yatay olarak yerleştirilmesi ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3.23. Deney çerçevesi için veri okuma düzeni

Deney numunelerinin tümünde, kolon ve kirişlerin yatay yükleme altında oluşan maksimum momentin olduğu kesitteki enine ve boyuna donatılardaki uzama miktarlarını belirleyebilmek için tek eksenli ve 6 mm uzunluğundaki birim deformasyon ölçerler kullanılmıştır. Bu sayede Şekil 3.23'te görülen noktalardaki elemanların birim deformasyonları belirlenerek, donatılarda yüklemenin her aşamasında akma olup olmadığı belirlenmiştir.

Biri yatay itme hareketini veren hidrolik pistonun kendi bünyesinde bulunan, diğeri ise piston ucunda bulunan plaka ile numune arasına yerleştirilen toplam iki adet yük hücresi ile sisteme uygulanan yer değiştirmenin ne kadar kuvvetle uygulandığının ölçümleri yapılarak yatay yük verisi toplanmıştır.

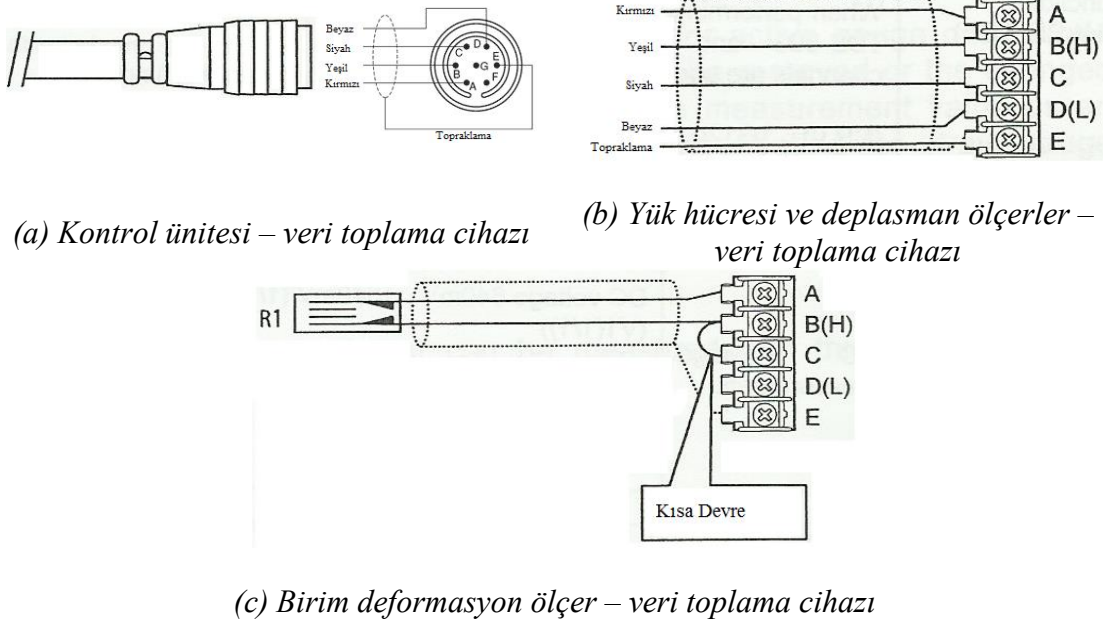
Yüklemeyi gerçekleştiren hidrolik pistonun kontrol ünitesinden, deplasman ölçerlerden, birim deformasyon ölçerlerden ve yük hücrelerinden gelen veriler 30 kanallı veri toplama cihazı, GP-IB kablosu ve bir bilgisayar yardımıyla toplanmıştır. Verilerin toplanmasında (Visual LOG TDS-7130 V1, 2016) paket programı kullanılmıştır. Ölçümlerin okunabilmesi için paket programda yapılan ayarların yapıldığı ekran görüntüsü Şekil 3.24 ile görülmektedir. Okunan verilerin isimlendirmeleri, kanaldan gelen verilerin anlamlı verilere dönüşmeleri için kalibrasyon katsayıları ve bunların birimleri, ondalık hassasiyetleri, sensör tipleri gibi ayarlar yapılmıştır.

Data No.	Name	Ch.No./Function	Unit	Format	Meas/ Direct	Sensor	Offset	Optional data			Alarm value	
								Op.Data1	Op.Data2	Op.Data3	Alarm1	Alarm2
1	date / time	=DATE()		MM/DD/YYYY HH:MM:SS				1				
2	LoadCellIMTS	=CH(0)*3.6/55.15	kN	0.000	Measure	VOLT 1/1		2				
3	LVDIMTS	=CH(1)*50	mm	0.00	Measure	VOLT 1/100		3				
4	LoadCellTCP300KNB	=CH(2)*0.15	kN	0.00	Measure	4GAGE		4				
5	SDP-300D	=CH(3)*0.03	mm	0.00	Measure	4GAGE		5				
6	SDP-200D	=CH(4)*0.02	mm	0.00	Measure	4GAGE		6				
7	CDP-50	=CH(5)*0.005	mm	0.00	Measure	4GAGE		7				
8	CDP-25_1	=CH(6)*0.002	mm	0.00	Measure	4GAGE		8				
9	CDP-25_2	=CH(7)*0.002	mm	0.00	Measure	4GAGE		9				
10	SG-1	=CH(8)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		14				
11	SG-2	=CH(9)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		11				
12	SG-3	=CH(10)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		12				
13	SG-4	=CH(11)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		13				
14	SG-5	=CH(12)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		14				
15	SG-6	=CH(13)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		15				
16	SG-7	=CH(14)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		16				
17	SG-8	=CH(15)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		17				
18	SG-9	=CH(16)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		18				
19	SG-10	=CH(17)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		19				
20	SG-11	=CH(18)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		20				
21	SG-12	=CH(19)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		21				
22	SG-13	=CH(20)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		22				
23	SG-14	=CH(21)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		23				
24	SG-15	=CH(22)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		23				
25	SG-16	=CH(23)*1	μ	0	Measure	1GAGE 3W 120		24				

Şekil 3.24. Ölçüm aletlerinin kanal ayarları

Veri okuma aletleri ile veri toplama cihazı arasında üç farklı şekilde bağlantı yapılmıştır. İlk tip, yükleme yapan hidrolik pistonun kontrol ünitesinin çıkış kartına

bağlanmış kablolar veri toplama cihazına Şekil 3.25(a)'daki bağlantı aparatları ile bağlanmıştır. İkinci tip ise yük hücresi ve deplasman ölçer için yapılan bağlama şeklidir. Buna göre Şekil 3.25(b)'de görüldüğü gibi veri toplama cihazındaki her kanala bir kablo gelecek şekilde bağlanmıştır. Son bağlantı tipi ile birim deformasyon ölçerler veri toplama cihazına Şekil 3.25(c)'de olduğu gibi bağlanmıştır. Bu bağlantı şeklinde birim deformasyon ölçerlerden çıkan iki kablo biri A kanalına diğeri B kanalına gelecek şekilde bağlanır. Daha sonra B kanalı ile C kanalı kısa devre olacak şekilde bağlanmaktadır.



Şekil 3.25. Ölçüm aletleri ile veri toplama cihazı arasındaki bağlantı detayları

3.1.6. Deney yöntemi

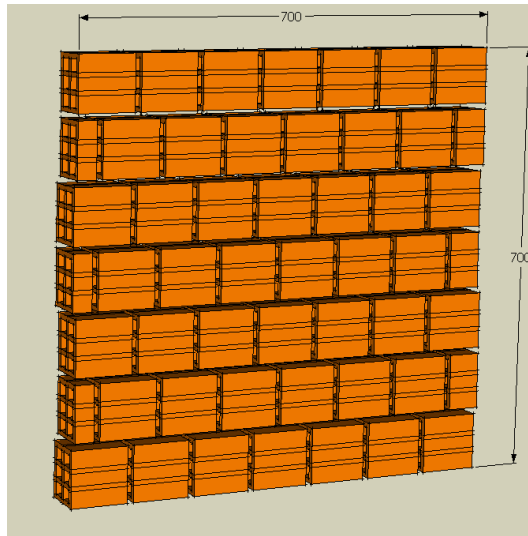
Üretilen deney numunelerinin kolon, kiriş ve duvar elemanları, kılcal ve küçük boyuttaki çatlakların daha rahat görülebilmesi için kireç ile sıvanmıştır. Laboratuvar içinde üretilen numuneler 10 ton kaldırma kapasiteli vinç yardımıyla yerine yerleştirilerek 6 adet 64 mm çapındaki saplama ve M64 bulonlar yardımıyla güçlü zemine sabitlenmişlerdir. Kolon taşıma kapasitelerinin %10'u kadarlık bir eksenel yük için çelik plakalar kolonların üzerine elastomer kauçuk takozlar kullanılarak yerleştirilmişlerdir. İleri deplasmanlarda eksenel yükün çerçeve üzerinden düşmesini engellemek için 4 adet çelik zincir ile çelik çerçeveye bağlantısı yapılmıştır. Sistemin düzlem dışı hareketini önlemek için çelik bilye ve profillerle üretilen 4 adet aparat, çelik çerçeveye bağlantısı yapılmıştır. Deney çerçevesine yatay yükleme itme yönünde hidrolik pistonun ucuna

bağlı 30 mm kalınlığındaki çelik plaka ile verilirken, çekme yönü için 30 mm kalınlığındaki çelik plakaya bağlı 4 adet 27 mm çapındaki saplamalar ve M27 bulonlar ile verilmiştir. Tüm bağlantıları yapılan çerçeve için son olarak veri okuma için bağlanan cihazlar, veri toplama sistemine bağlantıları tamamlanmıştır. Deney günü, beton ve sıva dayanımını belirlemek için hazırlanmış numunelerin basınç dayanım testleri yapılmıştır.

Uzun ve kısa çerçeveler için tümüne aynı yatay görelî kat ötelemesi değerleri deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Tüm deneylerde maksimum %6 görelî kat ötelemesi uygulanacakken, bazı çerçevelerde göçme riski görüldüğü için hedef deplasmanlara ulaşmadan deney sonlandırılmıştır. Her deplasman adımına, çerçevede oluşacak yumuşama etkilerini de görebilmek için 2 defa gidilmiştir. Hedef deplasmanlara ulaşıldığı anda deneye fotoğraf çekmek, çatlakları ve hasarı belirlemek için kısa süreli aralar verilmiştir. Bu aralarda çekilen fotoğraflarla beraber, çatlak yaklaşık yerlerinin, boylarının ve genişliklerinin ilgili yük çevrimi için planlara işlenmesi yapılmıştır.

3.2. Panel Deneyleri

Dolgu duvarlı olarak üretilen deney çerçevelerinin her biri için olmak üzere 11 adet kenar uzunluğu 700 mm olan kare dolgu duvar numuneleri üretilmiştir (Şekil 3.26). Her bir dolgu duvar için aynı sıva ve harçtan, aynı dolgu duvar malzemesi ile üretilmiş numuneler diyagonalden monolitik olarak aksenal basınç uygulanarak testler yapılmıştır. Deney düzeneği ve yöntemi için ASTM E519/E519M - 15 (2015, s.1) kullanılmıştır. Numuneler çerçeve içinde imal edildiği gibi dik olarak imal edilmişlerdir.



Şekil 3.26. Panel deneyi numunesi ölçüleri (mm)

Panel deneyi numunelerinin ayrıntıları Tablo 3.12’de görülmektedir. Numunelerden 7 tanesi iyi dayanımlı (B sınıfı), 2 tanesi orta dayanımlı (C sınıfı) ve kalan 2 tanesi de kötü dayanımlı (D sınıfı) harç ve sıvadan imal edilmiştir. 2 tane panel deneyi numunesi %62 boşluk oranına sahip tuğladan imal edilirken kalan 9 tanesi %42 boşluk oranına sahip tuğladan üretilmişleridir. Panel deneyi numunelerinden bir tanesi ise üretilirken delikler düşey yönde gelecek şekilde imal edilmiştir. Numunelerin geri kalan kısmı çerçeve duvarlarının örüldüğü gibi delikler yatay olacak şekilde imal edilmişlerdir. IE11 deney çerçevesi D grubu sıva ve harç ile imal edilecek şekilde planlanırken sonradan yapılan değişiklikle B grubu sıva ve harç ile üretilmesine karar verilmiştir. D grubu harç ve sıva ile üretilen duvar sökülüp yerine B grup sıva ve harç ile üretilen duvar imal edilmiş ancak panel deneyi için numune üretilmemiştir. Tüm panel deneyi numunelerinin üretimlerinde çerçeve numunelerinin üretiminde olduğu gibi olabildiğince duvarın her iki yönünde 10 mm sıva kalınlığı kullanılmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.12. Panel deneyi numuneleri özellikleri

Numune Adı	Tuğla Delik Yönü	Tuğla Duvar Boşluk Oranı	Harç Malzemesi
IE02	Yatay	%42	B Sınıfı
IE03	Yatay	%42	B Sınıfı
IE04	Yatay	%42	D Sınıfı
IE05	Yatay	%62	B Sınıfı
IE06	Yatay	%62	D Sınıfı
IE07	Düşey	%42	B Sınıfı
IE09	Yatay	%42	B Sınıfı
IE10	Yatay	%42	B Sınıfı
IE12	Yatay	%42	C Sınıfı
IE13	Yatay	%42	C Sınıfı
IE14	Yatay	%42	B Sınıfı

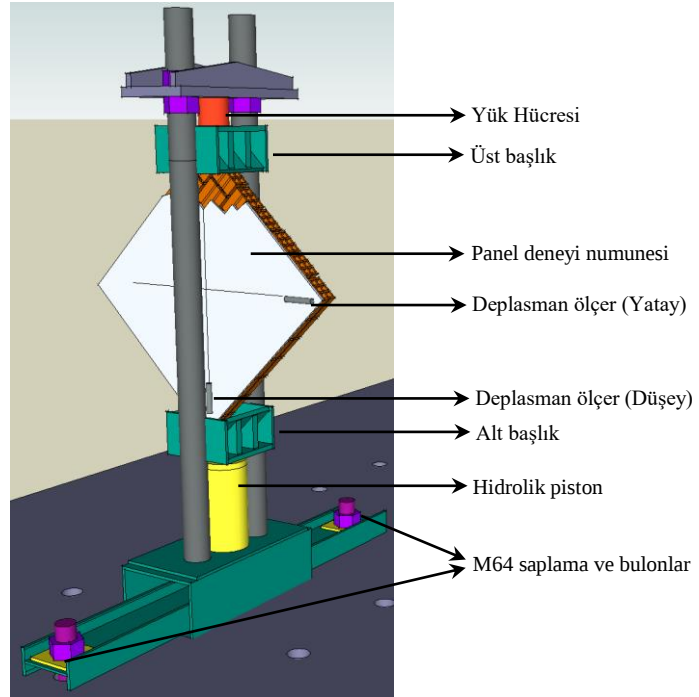
3.2.1. Malzeme özellikleri

Karışım oranları Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 ile verilen dayanım açısından iyi, orta ve kötü olacak şekilde 3 farklı tipteki sıva ve harç ile boşluk oranı %42 ve %62 olan iki farklı tip tuğla kullanılarak 6 farklı tipte dolgu duvar üretilmiştir. Kullanılan boşluklu tuğlanın geometrik ve mekanik özellikleri 3.1.2.3. bölümünde, kullanılan harç ve sıvanın ise mekanik özellikleri 3.1.2.4. bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.2. Panel deneyi düzeneği

Panel deneyleri için Şekil 3.27’de görülen düzenek kullanılmıştır. Düzenek 2 adet 90 mm çapındaki içi dolu dairesel çelik çubuk, üstte yüksekliği ayarlanabilir çelik plaka, altta hidrolik piston ve kutu kesitli çelik plakalardan oluşmaktadır. Panel deney numunesine uygulanan yükü ölçebilmek için düzenek üstündeki başlıkla, üretilen numunenin oturacağı üst başlık arasına 500 kN kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Yatay uzama ve düşey kısalmaların ölçülebilmesi için 25 mm kapasiteli iki adet deplasman ölçer, 600 mm uzunluğundaki parçaların uzama ve kısalmalarını ölçecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Yük hücresi ve deplasman ölçerlerden gelen okumalar çerçeve deneylerinde de kullanılan aynı veri toplama sistemi kullanılarak toplanmış ve bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Ölçümlerin yapılabilmesi için yatay ve düşey diyagonallerde delikler açılıp, kimyasal ve çelik beton dübelleri kullanılmıştır. Ancak deplasman ölçerlerden gelen veriler anlamlı veri olmadığı için kullanılmamıştır.

Deney düzeneği güçlü zemine IPN200 profili ve 2 adet M64 saplama ve bulonlarla bağlanmıştır. Düşey yük elle kontrol edilen bir güç ünitesi yardımıyla, hidrolik piston kullanılarak verilmiştir. Uygulanan yük, sürekli artırılarak duvar dayanımını kaybedene kadar uygulanmıştır.



Şekil 3.27. Panel deneyi test düzeneği

Panel deneyi numunesinin alt ve üst kısmına yükü diyagonallerden uygulayabilmek için üretilen başlıklar yerleştirilmiştir. Başlık ve panel deney numunelerinin arasına, yükün uygulandığı kısımlara zarar vermemesi ve gerilme yığılmalarının önüne geçebilmek için elastomer kauçuklar yerleştirilmiştir. Üst çelik başlık, numune kırıldığında düşerek ölçüm sistemine zarar vermemesi için, çelik zincirler ile düzeneğin üzerindeki başlığa sabitlenmiştir. Ayrıca panel deney numunesi dayanımını kaybedip kırılması durumunda ölçüm sistemine ve laboratuvara zarar vermemesi için alttan kalın bir bez halat geçirilmiş, bu halat laboratuvardaki vince tutturulmuştur. Ancak numuneye herhangi bir yük uygulamaması için gevşek bırakılmıştır (Görsel 3.22).



Görsel 3.22. Panel deneyi uygulaması

3.2.3. Panel deneyi sonuçları

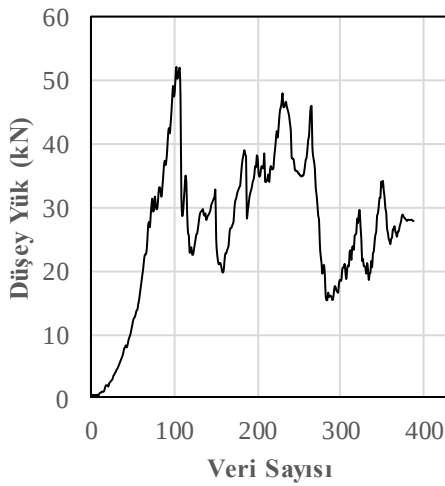
Farklı kombinasyonlar ile üretilmiş 11 adet panel deneyi numunesi için yükleme sonucu okunan en yüksek dayanım değerleri Tablo 3.13 ile verilmiştir. Buna göre %42 boşluk oranına sahip iyi dayanımlı sıva ve harçtan üretilen 6 adet panel deneyi numunelerinin en yüksek 59 kN, en düşük 36 kN ve ortalama 49 kN dayanımları ölçülmüştür. %62 boşluk oranına sahip iyi dayanımlı sıva ve harçtan üretilen tek panel deneyi numunesinin 47 kN dayanımı ölçülmüştür. %42 boşluk oranına sahip orta dayanımlı sıva ve harçtan üretilen 2 adet panel deneyi numunelerinin en yüksek 38 kN, en düşük 37 kN ve ortalama 38 kN dayanımları ölçülmüştür. %42 boşluk oranına sahip kötü dayanımlı sıva ve harçtan üretilen tek panel deneyi numunesinin dayanımı 16 kN ölçülmüştür. %62 boşluk oranına sahip kötü dayanımlı sıva ve harçtan üretilen tek panel deneyi numunesinin dayanımı 23 kN ölçülmüştür.

Tablo 3.13. Panel deneyi numuneleri en yüksek dayanım değerleri

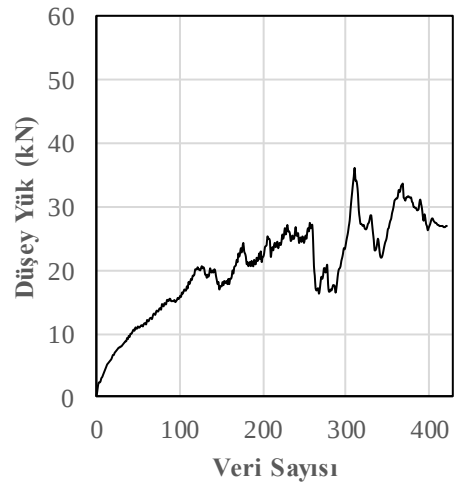
Numune Adı	Tuğla Delik Yönü	Tuğla Duvar Boşluk Oranı	Harç Malzemesi	En Yüksek Dayanım Değerleri (kN)
IE02	Yatay	%42	B Sınıfı	52,27
IE03	Yatay	%42	B Sınıfı	36,07
IE04	Yatay	%42	D Sınıfı	16,03
IE05	Yatay	%62	B Sınıfı	47,09
IE06	Yatay	%62	D Sınıfı	23,05
IE07	Düşey	%42	B Sınıfı	59,29
IE09	Yatay	%42	B Sınıfı	58,28
IE10	Yatay	%42	B Sınıfı	38,74
IE12	Yatay	%42	C Sınıfı	38,08
IE13	Yatay	%42	C Sınıfı	36,91
IE14	Yatay	%42	B Sınıfı	50,60

3.2.3.1. İyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilen dolgu duvar

IE02, E03, IE05, IE07, IE09, IE10 ve IE14 panel deneyi numuneleri iyi dayanımlı (B Grubu) harç ve sıva kullanılarak üretilen numunelerdir. IE05 numunesi diğerlerinden farklı olarak boşluk oranı %62 olan tuğla kullanılarak üretilmiştir. B grubu harç ve sıva ile üretilen panel deneylerinin ortalama basınç dayanımları 49 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.28’de iyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş panel deneyi numunelerinin dayanımını kaybedene kadar uygulanan düşey yük grafikleri görülmektedir.

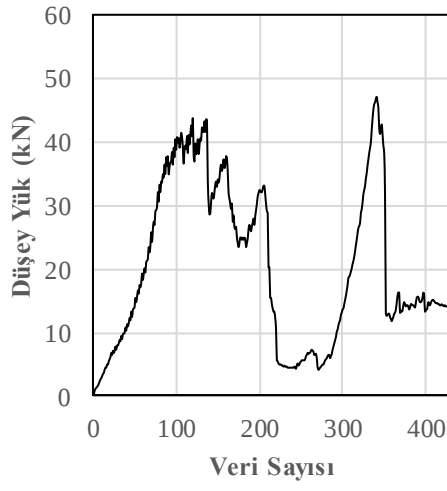


(a) IE02

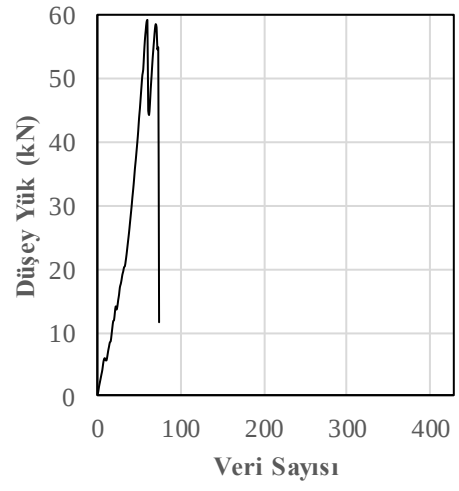


(b) IE03

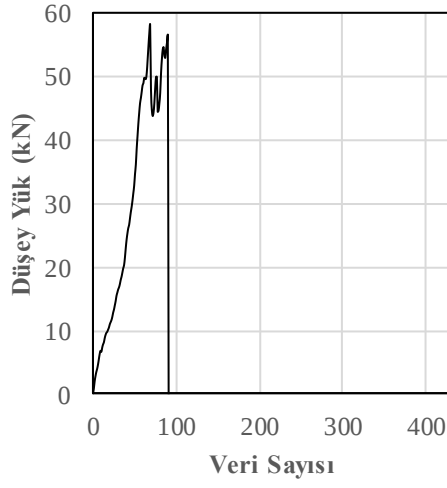
Şekil 3.28. B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları



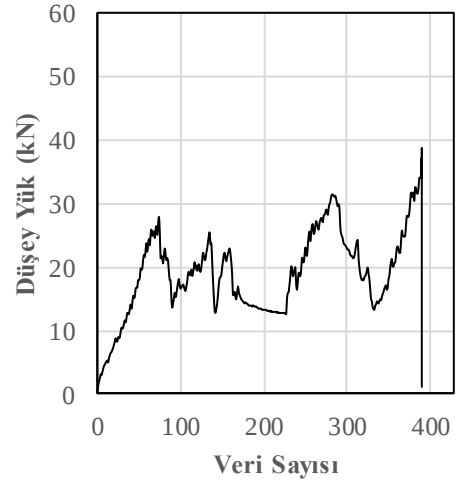
(c) IE05



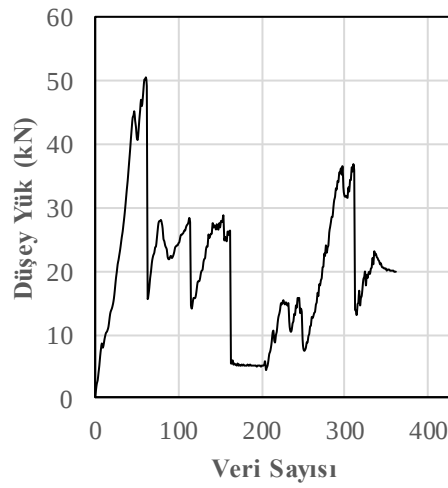
(d) IE07



(e) IE09



(f) IE10



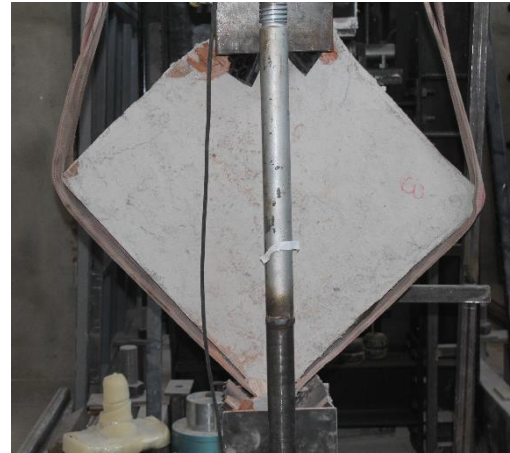
(g) IE14

Şekil 3.28. (Devam) B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları

Şekil 3.28’de görüldüğü gibi iyi dayanımlı sıva ve harç ile üretilen panel deneyi numunelerinde yük dalgalı bir şekilde artıp azalmaktadır. Deney başlangıcında artarak devam eden yük, numunenin başlık kısmında lokal ezilmeler nedeniyle azalmaktadır. Ancak yükü uygulayan metal başlık başka bir noktaya oturduğunda numune tekrar yük almaya devam edebilmektedir. Aslında tezin konusu olan kırılma şekline neden olan davranış, iyi dayanımlı harç ve sıvadan oluşan panel deneyi numunelerinde görülen bu davranışla doğrudan alakalıdır. Görsel 3.23’teki köşelerde oluşan lokal ezilme mekanizmaları incelendiğinde B grubu harç ve sıva ile üretilen panel deneyi numuneleri başlıkların olduğu noktalardan kırılmaktadır. IE07, IE09 ve IE10 panel numunelerinde asal çekme gerilmesi nedeniyle son aşamada kırılma gözlenirse de, son noktaya kadar köşelerde oluşan lokal ezilme ile dayanımda dalgalanmalar gözlenmiştir. Çerçeve deneylerinde de tam köşe noktasındaki dolgu duvarın kırılıp, dayanımını kaybeden noktanın hemen altındaki dolgu duvarın yük taşımaya devam etmesiyle, kısa kolon tanımında olduğu gibi bir boşluk meydana gelmekte ve kolon kesme dayanımını aşır gevrek kırılmalara neden olmaktadır.

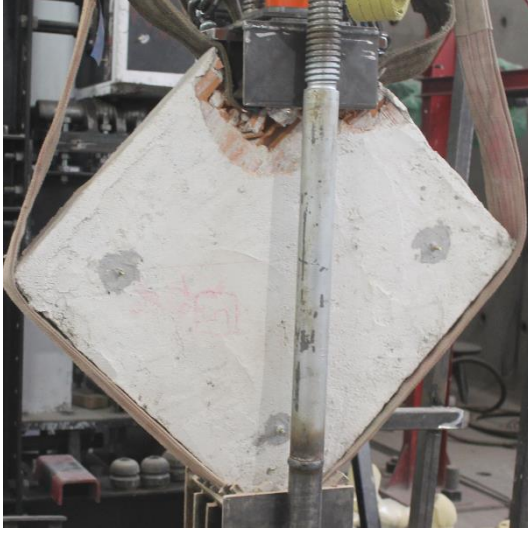


(a) IE02



(b) IE03

Görsel 3.23. B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları



(c) IE05



(d) IE07



(e) IE09



(f) IE010

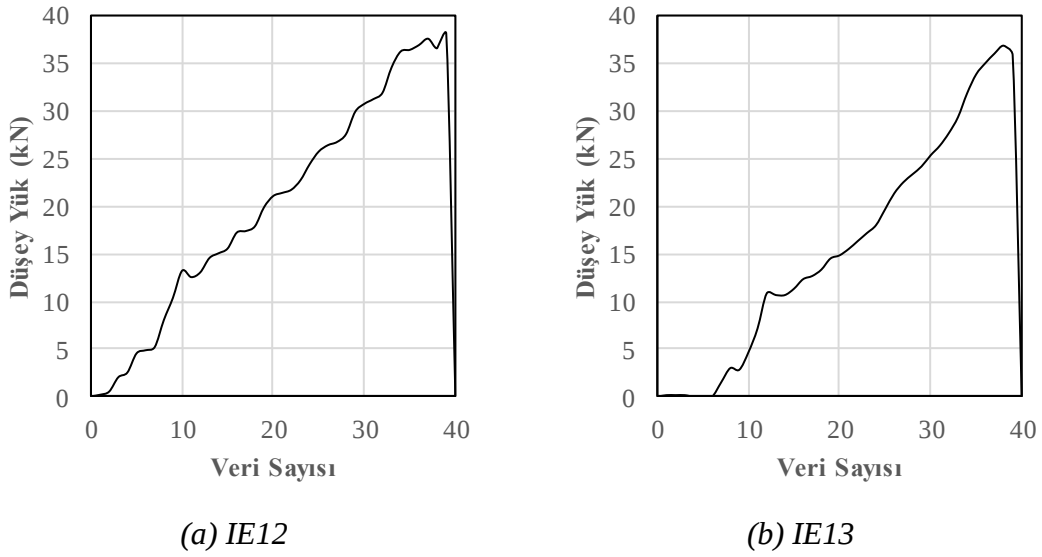


(g) IE14

Görsel 3.23. (Devam) B Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları

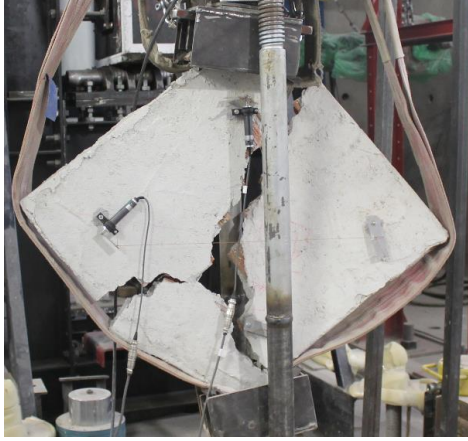
3.2.3.2. Orta dayanımlı harç ve sıva ile üretilen dolgu duvar

IE12 ve E13 panel deneyi numuneleri orta dayanımlı (C Grubu) harç ve sıva kullanılarak üretilen numunelerdir. Her iki numunede boşluk oranı %42 olan tuğla kullanılarak üretilmiştir. C grubu harç ve sıva ile üretilen panel deneylerinin ortalama basınç dayanımları 38 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.29’da orta dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş panel deneyi numunelerinin dayanımını kaybedene kadar uygulanan düşey yük grafikleri görülmektedir.

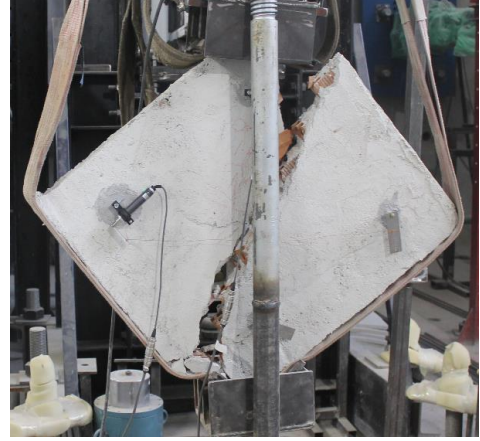


Şekil 3.29. C Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları

Şekil 3.29’da görüldüğü gibi orta dayanımlı sıva ve harç ile üretilen panel deneyi numunelerinde yük iyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilen numunelerde olduğu gibi dalgalanma olmamıştır. Dalgalanma daha küçük ölçekte olmuş ve köşe bölgelerinde lokal ezilmenin olduğu C grubu duvarlarda da gözlenmiştir. Son adımdaki kırılma şekli kötü dayanımlı harç ve sıva ile üretilen numunelerdekine benzer bir davranış göstermesine rağmen tezin konusu olan kırılma şekli bu panel numunesi malzemeleri ile üretilen dolgu duvarlı çerçeve numunelerinde de gözlenmiştir. Görsel 3.24’teki kırılma mekanizmaları incelendiğinde C grubu harç ve sıva ile üretilen panel deneyi numuneleri başlıkların olduğu noktalardan başlayarak diğer başlığa kadar ayrılarak kırılmaktadır. Çerçeve deneylerinde de dolgu duvarın köşe kısımları kırılıp, belli bir mesafe aşağıdaki dolgu duvarın yük almaya devam etmesiyle zorlanan kolonun kesme dayanımlarını aşarak kesme hasarı almalarına neden olmaktadır.



(a) IE12

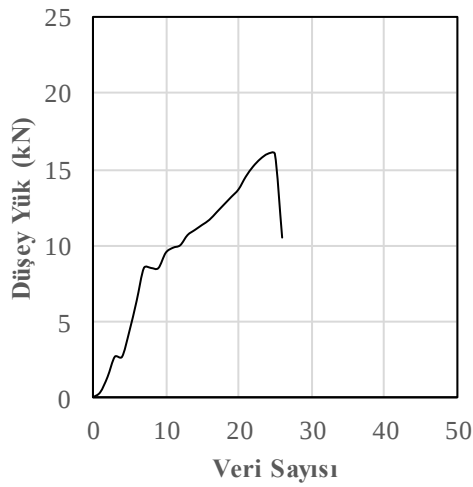


(b) IE13

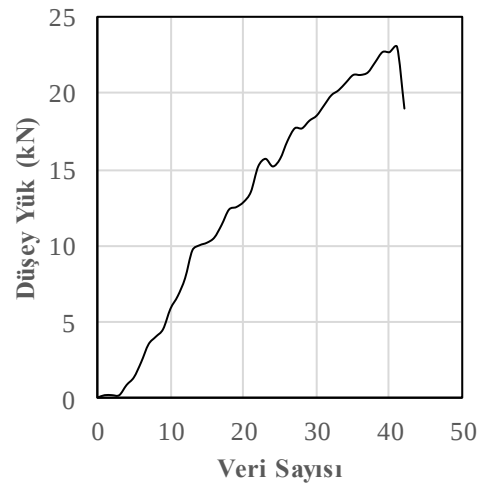
Görsel 3.24. C Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları

3.2.3.3. Kötü dayanımlı harç ve sıva ile üretilen dolgu duvar

IE04 ve E06 panel deneyi numuneleri kötü dayanımlı (D Grubu) harç ve sıva kullanılarak üretilen numunelerdir. IE04 numunesi boşluk oranı %42 olan tuğla kullanılarak üretilirken IE06 numunesi boşluk oranı %62 olan tuğladan üretilmiştir. D grubu harç ve sıva ile üretilen panel deneylerinin ortalama basınç dayanımları 20 kN olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.30'da kötü dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş panel deneyi numunelerinin dayanımını kaybedene kadar uygulanan düşey yük grafikleri görülmektedir.



(a) IE04



(b) IE06

Şekil 3.30. D Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi sonuçları

Şekil 3.30’da görüldüğü gibi kötü dayanımlı sıva ve harç ile üretilen panel deneyi numunelerinde de yük iyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilen numunelerde olduğu gibi dalgalı bir şekilde artıp azalmamaktadır. Kırılma mekanizması, panel diğer panel numunelerine oranla 20 kN gibi daha küçük bir dayanıma ulaştığında yarılarak, dayanımını tümünden kaybetmesi şeklinde oluşmaktadır (Görsel 3.25). Çerçeve deneylerinde de dolgu duvarın köşe kısımları kırılrsa da altta kalan dolgu duvar kısımları kolon elemanlarını zorlamadığı için kolon kesme hasarı bu özelliklerdeki dolgu duvarlı numunelerde gözlenmemiştir.



(a) IE04



(b) IE06

Görsel 3.25. D Grubu harç ve sıva ile üretilen panel numunelerinin basınç deneyi kırılma mekanizmaları

B ve C grubu panel deneyi numunelerinde tuğlaların yükün uygulandığı köşelerde ezildiği görülmektedir. D grubunda ise tuğlalar hasar görmeden harcın ayrılmasıyla ve daha sonra sıvanın hasar görmesiyle kırılma gözlenmiştir. Dolayısıyla harç ve sıvanın dayanımlarının az olduğu dolgu duvarlarda tuğla boşluk oranı veya dayanımı önemini kaybetmektedir.

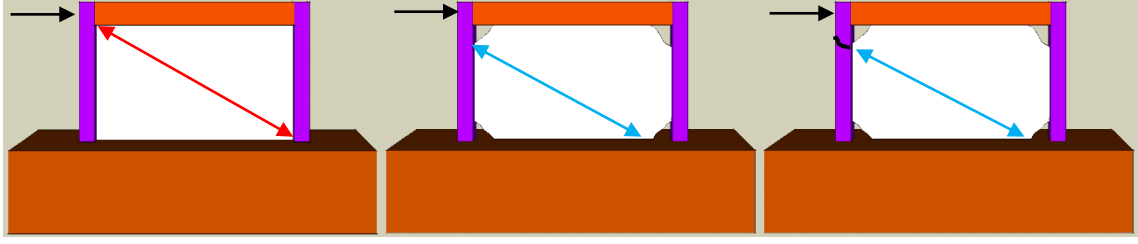
4. ÇERÇEVE DENEYİ SONUÇLARI

Kısa kolon oluşumuna neden olabilecek dolgu duvarlı betonarme çerçeve davranışının deneysel olarak irdelenmesi için yapılan çerçeve deneylerinde, tüm numunelere depremi benzeştiren tersinir tekrarlı yatay deplasmanlar, hedef deplasmana iki kere gidilecek şekilde uygulanmıştır. Numune tepe noktasının hedef yer değiştirmeye ulaşmaya kadar, belirli aralıklarla aynı anda tepe noktası deplasmanı ve bu deplasmana ulaşmak için uygulanan yük verileri toplanmıştır. Bu veriler yardımıyla çerçeve davranışları hakkında bilgi edinilmiştir. Ayrıca her hedef deplasmanda numuneler incelenerek hasar tipi, seviyesi incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

Çerçeve deneyi sonuçları bu bölümde kısa ve uzun çerçeveler olmak üzere iki kısımda açıklanacaktır. Sonuçlar incelenirken hidrolik pistonla bağlanmış olan reaksiyon duvarı tarafındaki kolon arka kolon, diğeri ise ön kolon olarak adlandırılacaktır. Kuvvet hidrolik pistonun itme yönünde pozitif, çekme yönünde negatif olarak kabul edilmiştir. Tepe noktasının arka kolondan ön kolon yönüne doğru yönü yer değiştirme olarak pozitif, diğer yön ise negatif olarak kabul edilmiştir.

4.1. Kısa Çerçevesel Numuneler

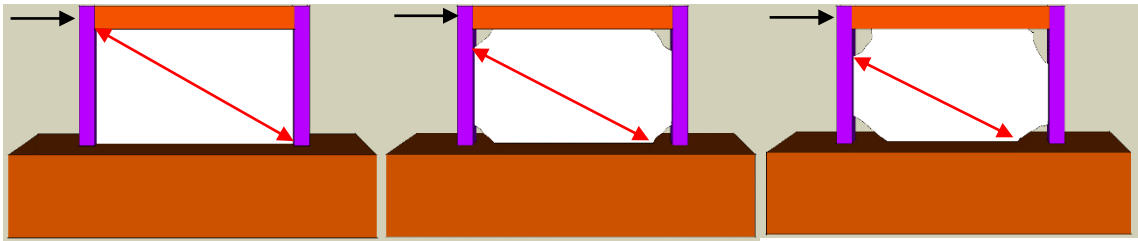
Deneyleri yapılan çerçevelerden kısa çerçeve olarak anılan numuneler, kolon boyları, kiriş boyuna göre daha kısa olan, kolon yüksekliğinin, kiriş açıklığına oranı 0,58 olan betonarme çerçeve numunelerdir. Bu çalışmanın ana konusu olan, tam dolu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerdeki beklenmeyen kısa kolon hasarlarının tamamı, kısa çerçevesel numunelerde gözlenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi betonarme çerçeveye uygulanan deplasmanlar arttıkça köşelerdeki dolgu duvar parçalarında lokal ezilmeler oluşmaktadır. Yeni oluşan basınç bloğu iyi ve orta dayanımlı harç ve sıvadan üretilen dolgu duvarlarda dayanımını kaybetmeyip kolonu zorlamaktadır. Dayanımını kaybetmeyen dolgu duvar ileri deplasmanlarda kısa kolon hasarına neden olmuştur. Kısa kolon oluşumu ile kesme hasarı almış numunelerde ani gevrek kırılmalar gözlenmiştir. IE03, IE05, IE07, IE13 ve IE14 numunelerinde tezin çalışma konusu olan tam dolu dolgu duvarlı numunelerde kısa kolon oluşumu gözlenmiştir.



(a) Hasarsız dolgu duvar (b) Köşelerde hasarlı dolgu duvar ve basınç bloğu (c) Kuvvetli basınç bloğunun neden olduğu kesme hasarı

Şekil 4.1. B ve C Grubu harç ve sıva ile üretilen betonarme çerçevelerde dolgu duvarın neden olduğu kesme hasarı oluşum mekanizması

Dayanım açısından kötü harç ve sıva ile üretilmiş dolgu duvarlı numunelerde kısa kolon hasarı gözlenmemiştir. Dayanımı zayıf olan dolgu duvarlar, köşelerde dayanımını kaybedip kırıldıktan sonra, oluşan yeni basınç bloğu yeterli dayanımı olmadığı için kolona karşı koyamayıp dolgu duvarda yeni hasarlar oluşmakta ve bu sebeple kötü harç ve sıva ile üretilmiş numunelerde kısa kolon hasarı gözlenmemiştir (Şekil 4.2). Bütün çerçeve numunelerinde 23 kN’luk bir eksenel yük kullanılmıştır.



(a) Hasarsız dolgu duvar (b) Köşelerde hasarlı dolgu duvar (c) İleri deplasmanlarda artan köşe hasarı

Şekil 4.2. D Grubu harç ve sıva ile üretilen betonarme çerçevelerde dolgu duvar kırılma mekanizması

4.1.1. IE01

Boy/en oranı 0,58 olan IE01 numunesi kısa numuneler için referans numunesi olarak kullanılmıştır. Bu nedenle numune üretildikten sonra dolgu duvar imalatı yapılmamıştır. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 10,9 MPa olarak belirlenmiştir.

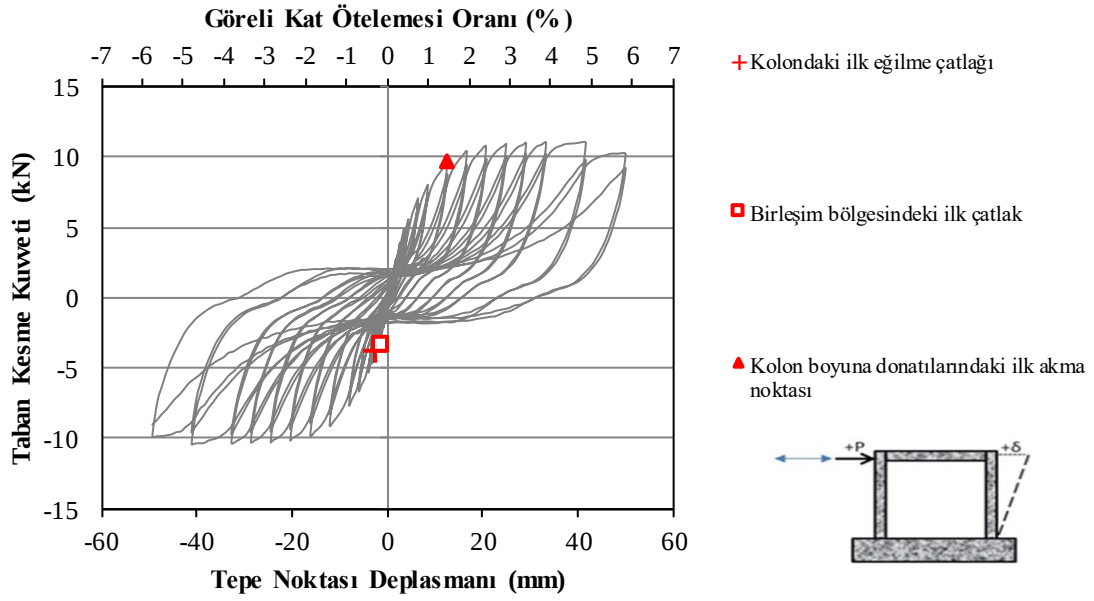
Deney sonucunda Şekil 4.3’teki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Betonarme çerçevelerin elastik olmayan çevrimsel davranışları, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde

edilmiştir. Görsel 4.1 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE01 numunesinde %6,0 görelî kat ötelemesi değeriine kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

IE01 betonarme çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değeri Tablo 4.1’de özetlenmektedir. IE01 numunesinin itme yönündeki en büyük yatay yük dayanımı %4 görelî kat ötelemesinde 11,07 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%5 görelî kat ötelemesinde -10,42 kN olarak ölçülmüştür. Hedeflenen tüm görelî kat ötelemesi değeriine tam olarak ulaşılabilen adımlar bulunmaktadır. Bu durum özellikle yükleme sisteminden kaynaklanmaktadır. Hidrolik piston belirlenen hedef deplasmana ulaşsa da, sistemdeki kuvvet aktaran elemanların uzama ya da kısılmasına bağılı olarak çerçeve tepe noktasındaki ölçülen deplasman, belirlenen hedef deplasmandan daha küçük bir değerde çevrimin sonlanmasıyla oluşmaktadır. Dolayısıyla hedeflenen ve ulaşılabilen görelî kat öteleme değeriileri ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 4.1. *IE01 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri*

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	1,57	0,81	0,1	0,1
2	-2,13	-0,93	-0,1	-0,1
5	2,79	1,71	0,2	0,2
6	-3,25	-1,74	-0,2	-0,2
9	3,97	2,52	0,3	0,3
10	-3,78	-2,49	-0,3	-0,3
13	4,89	3,36	0,4	0,4
14	-4,59	-3,36	-0,4	-0,4
17	5,54	4,29	0,5	0,5
18	-5,26	-4,11	-0,5	-0,5
21	7,07	6,33	0,8	0,75
22	-6,63	-6,12	-0,7	-0,75
25	8,02	8,4	1,0	1,0
26	-7,64	-8,19	-1,0	-1,0
29	9,69	12,45	1,5	1,5
30	-9,10	-12,27	-1,5	-1,5
33	10,44	16,56	2,0	2,0
34	-9,81	-16,32	-2,0	-2,0
37	10,81	20,58	2,5	2,5
38	-10,17	-20,55	-2,5	-2,5
41	10,98	24,84	3,0	3,0
42	-10,28	-24,66	-3,0	-3,0
45	11,04	29,01	3,5	3,5
46	-10,29	-28,83	-3,5	-3,5
49	11,07	33,21	4,0	4,0
50	-10,34	-32,91	-4,0	-4,0
53	11,05	41,58	5,0	5,0
54	-10,42	-41,28	-5,0	-5,0
57	10,26	49,92	6,1	6,0
58	-9,86	-49,5	-6,0	-6,0



Şekil 4.3. IE01 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.1. IE01 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE01 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.2’de görülmektedir. Bu numunede kolonlarda kesme çatlağı oluşmamıştır. Kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,3 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.2.a). Kirişte eğilme ve kesme çatlağı gözlenmemiştir. Birleşim bölgesinde ilk çatlak %0,2 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.3). %0,2 görelî kat ötelemesi değerinde kolon alt uçlarında ayrılmalar gözlenmiştir. Ayrıca yüklemenin yapıldığı noktada plakalar tarafından zorlanan kısımda ezilmeler gözlenmiştir. %0,4 görelî kat ötelemesi değerinde kolon üst

bölgesinde kirişle birleştiği kısımda ayrılmalar gözlenmiştir. %5 görelî kat ötelemesi değeriinde kolonda basınç ezilmeleri gözlenmiştir. Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %1,4 görelî kat ötelemesi değeriinde olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. *IE01 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	10	-3,78	-2,5	-0,3
Kolondaki ilk kesme çatlağı	-	-	-	-
Birleşim bölgesinde gözlenen ilk çatlak	6	-3,25	-1,7	-0,2
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	29	9,38	11,8	1,4



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Kolondaki basınç ezilmesi

Görsel 4.2. *IE01 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



Görsel 4.3. *IE01 Birleşim bölgesindeki ilk çatlak*

IE01 betonarme çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değeriine kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Kolonların alt ve üst kısmında oluşan plastik mafsallar nedeni ile numune sünek bir davranış göstermiştir. Kesme hasarı gözlenmemiştir.

4.1.2. IE02

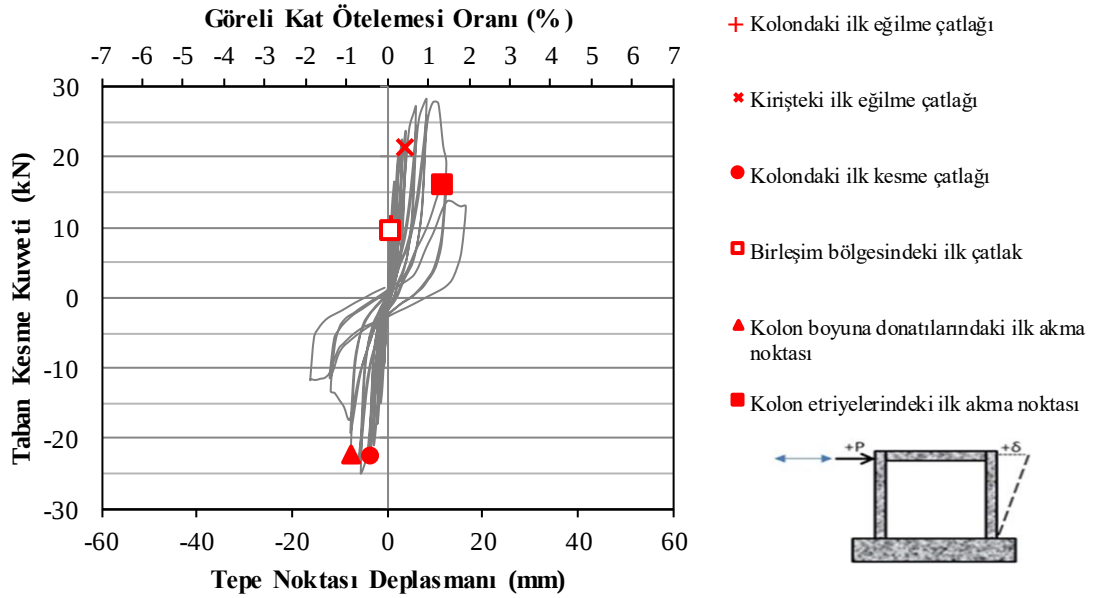
Boy/en oranı 0,58 olan IE02 numunesi kısa numuneler arasında TDY(2007)'de tarif edilen kısa kolon oluşumu nedeniyle kesme hasarı alacak numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, kolonlar arasında kolon yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar boşluk bırakılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 9,4 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.4'teki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.4 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %1,5 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE02 numunesinde %2,0 görelî kat ötelemesi değeriine kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Olması beklenen kesme hasarı gözleendiği için, ileri deplasmanlarda toptan göçmeyi engelleyebilmek ve güvenlik sebebiyle bu adımda deney sonlandırılmıştır.

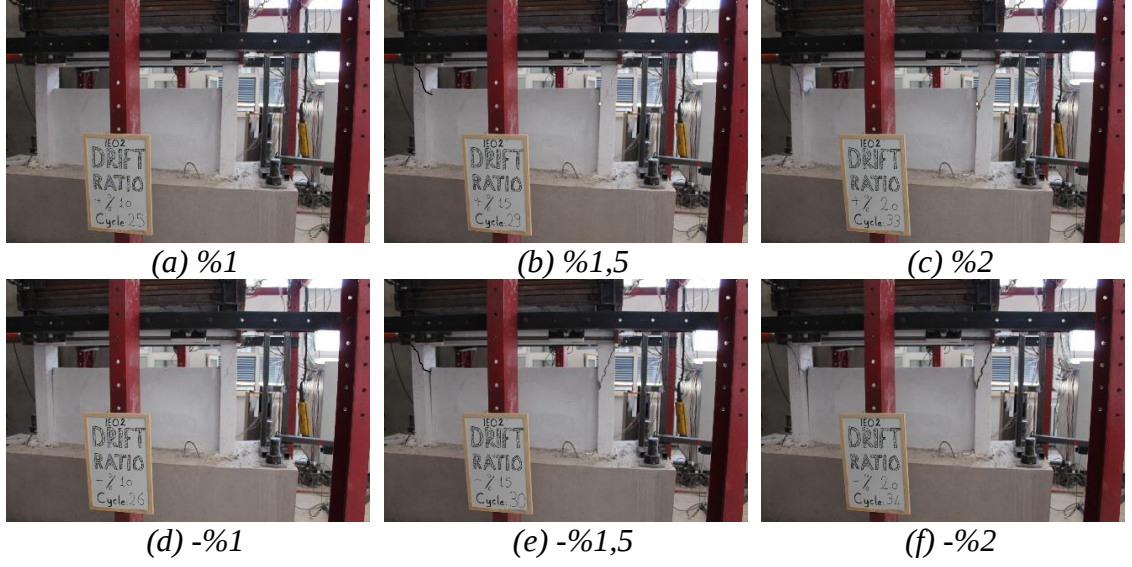
IE02 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değeriileri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.3'te özetlenmektedir. IE02 numunesinin itme yönündeki dayanımı %1 görelî kat ötelemesinde 28,16 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%0,75 görelî kat ötelemesinde -25,01 kN olarak ölçülmüştür. 14, 26 ve 30. çevrimlerde istenilen hedef deplasman değeriilerine yaklaşılmış ancak belirlenen tepe noktası deplasman değeriilerine ulaşılamamıştır.

Tablo 4.3. IE02 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	10,49	0,69	0,1	0,1
2	-9,76	-0,72	-0,1	-0,1
5	16,18	1,44	0,2	0,2
6	-14,80	-1,41	-0,2	-0,2
9	19,78	2,22	0,3	0,3
10	-17,88	-2,07	-0,3	-0,3
13	22,07	3,06	0,4	0,4
14	-20,72	-2,88	-0,3	-0,4
17	23,39	3,84	0,5	0,5
18	-22,31	-3,72	-0,5	-0,5
21	27,12	5,97	0,7	0,75
22	-25,01	-5,61	-0,7	-0,75
25	28,16	8,19	1,0	1,0
26	-22,33	-7,68	-0,9	-1,0
29	18,82	12,33	1,5	1,5
30	-13,32	-11,91	-1,4	-1,5
33	12,93	16,41	2,0	2,0
34	-11,82	-16,20	-2,0	-2,0



Şekil 4.4. IE02 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.4. IE02 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE02 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.4'te görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlakı %0,1 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.5.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlakı %0,5 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.5.b). Görsel 4.5.c'de kolonda basınç ezilmesi görülmektedir. Kirişlerde ilk eğilme çatlakı %0,5 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.6.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlakı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.6.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %2 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Kolon etriyelerinde ise ilk akma %1 görelî kat ötelemesi hedefine gidilirken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar ve ezilmeler gözlenmiştir (Görsel 4.7.a, b). Deney tamamlandığındaki çerçeve ve dolgu duvarın son durumu Görsel 4.7.c'de görülmektedir.

Tablo 4.4. IE02 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlakı	1	10,5	0,69	0,1
Kolondaki ilk kesme çatlakı	18	-22,3	-3,72	-0,5
Kirişteki ilk eğilme çatlakı	19	21,3	3,90	0,5
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	3	9,6	0,69	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	33	-22,3	-7,68	-0,9
Kolon etriyelerindeki ilk akma noktası	26	15,9	11,52	1,4



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlağı



(c) Kolondaki ilk basınç ezilmesi

Görsel 4.5. IE02 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.6. IE02 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.7. IE02 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE02 betonarme çerçeve numunesine %2 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Kolonların üst kısmında oluşan kesme hasarı nedeni ile sünek olmayan bir davranış göstermiştir.

4.1.2. IE03

Boy/en oranı 0,58 olan IE03 numunesi kısa numuneler arasında dolgu duvar dayanımının iyi olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 11,0 MPa olarak belirlenmiştir.

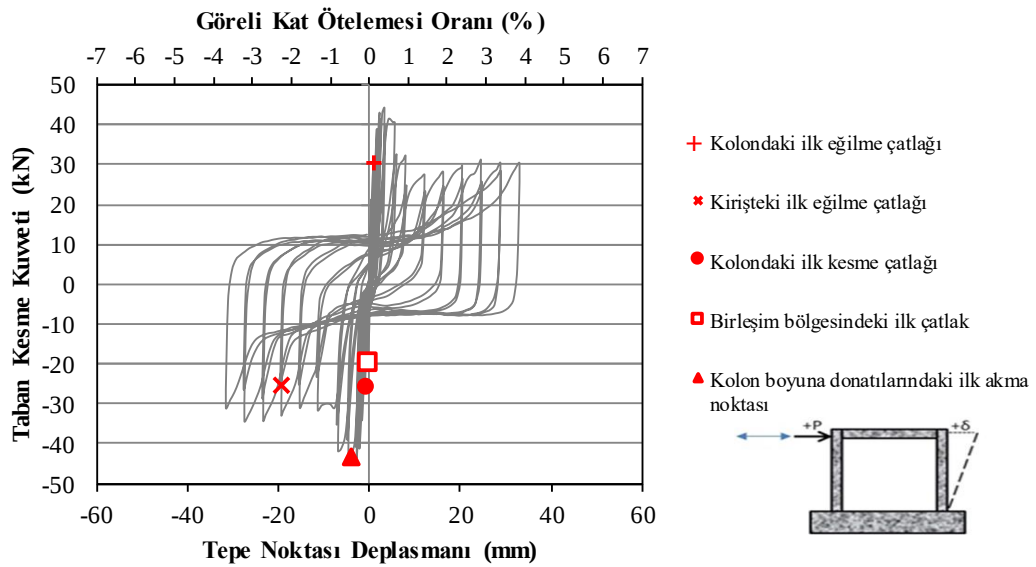
Deney sonucunda Şekil 4.5'teki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Şekil 4.5'te grafikte gözlenen geri dönüşlerdeki dik düşüş, numuneye diğer yönde deplasman verebilmek için kuvvet uygulanması gerektiğinin bir

göstergesi olduğu için kolonun ileri derecede hasar aldığını göstermektedir. Görsel 4.8 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE03 numunesinde %4,0 görelî kat ötelemesi değeri ne kadar çevrimler uygulanabilmiştir. IE03 numunesinde tezin de çalışma konusu olan kısa kolon hasarı beklenmeyen tam dolu dolgu duvarlı çerçevede kesme hasarı gözlenmiştir.

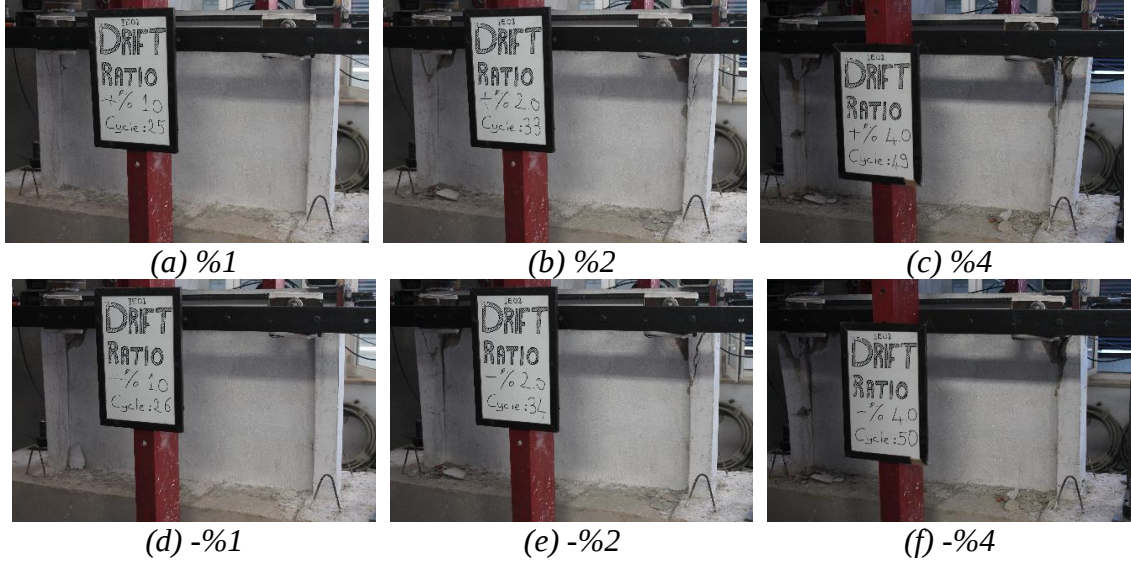
IE03 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değeri leri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.5'te özetlenmektedir. IE03 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,5 görelî kat ötelemesinde 44,10 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%0,75 görelî kat ötelemesinde -44,30 kN olarak ölçülmüştür. IE03 numunesinde çekme yönünde hedef deplasmana sadece ilk adımda gidilebilmiş, diğeri adımlarda hedef deplasmanlara ulaşılammıştır. İtme yönünde ise 21. adıma kadar hedef deplasmanlara ulaşılammış 21. adımdan sonra hedef deplasmanlara ulaşılabilmiştir.

Tablo 4.5. IE03 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	21,14	0,39	0,0	0,1
2	-19,76	-0,45	-0,1	-0,1
5	30,64	1,02	0,1	0,2
6	-26,73	-1,05	-0,1	-0,2
9	38,90	1,68	0,2	0,3
10	-34,05	-1,59	-0,2	-0,3
13	42,10	2,31	0,3	0,4
14	-40,65	-2,16	-0,3	-0,4
17	44,10	3,36	0,4	0,5
18	-43,34	-2,76	-0,3	-0,5
21	40,53	5,64	0,7	0,75
22	-44,30	-4,59	-0,6	-0,75
25	32,12	8,01	1,0	1,0
26	-42,05	-6,87	-0,8	-1,0
29	27,36	12,18	1,5	1,5
30	-31,76	-11,34	-1,4	-1,5
33	28,02	16,29	2,0	2,0
34	-31,02	-15,30	-1,9	-2,0
37	29,79	20,46	2,5	2,5
38	-33,08	-19,35	-2,3	-2,5
41	31,10	24,60	3,0	3,0
42	-34,41	-23,34	-2,8	-3,0
45	30,29	28,89	3,5	3,5
46	-34,52	-27,48	-3,3	-3,5
49	30,23	33,09	4,0	4,0
50	-31,17	-31,56	-3,8	-4,0



Şekil 4.5. IE03 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.8. IE03 numunesinin belirli göreli kat ötelemelerindeki durumu

IE03 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.6’da görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,1 göreli kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.9.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı %0,1 göreli kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak görülmüştür (Görsel 4.9.b). Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı duvarın oluşturduğu basınç bloğu nedeniyle %2,4 göreli kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.10.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 göreli kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.10.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %0,75 göreli kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilk çevrimde kolondan ayrılmalar, ilerleyen çevrimlerde ezilmeler gözlenmiştir (Görsel 4.11). Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.11.c’de görülmektedir. Kolonda oluşan ilk çatlaklar duvar örülü olan tarafta duvarın direnç göstermesi ile başlayıp bir sonraki çevrimde duvar olmayan diğer tarafa doğru tamamlandığı gözlenmiştir. IE03 numunesinde çekme yönündeki hedef deplasmanlara tam ulaşamadığı için arka kolondaki kesme çatlakları %0,5 göreli kat ötelemesinde belirgin, ön kolonda %1 göreli kat ötelemesi değerinde gözlenmiştir.

Tablo 4.6. IE03 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlakı	5	30,64	1,1	0,1
Kolondaki ilk kesme çatlakı	8	-25,29	-1,1	-0,1
Kirişteki ilk eğilme çatlakı	40	-25,45	-19,6	-2,4
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	2	-19,76	-0,5	-0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	22	-43,40	-4,1	-0,5



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlakı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlakı

Görsel 4.9. IE03 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlakı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.10. IE03 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma

(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.11. IE03 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE03 betonarme çerçeve numunesine %4 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmektedir. Kolonların üst kısmında oluşan kesme hasarı nedeni ile sünek olmayan bir davranış göstermiştir.

4.1.2. IE04

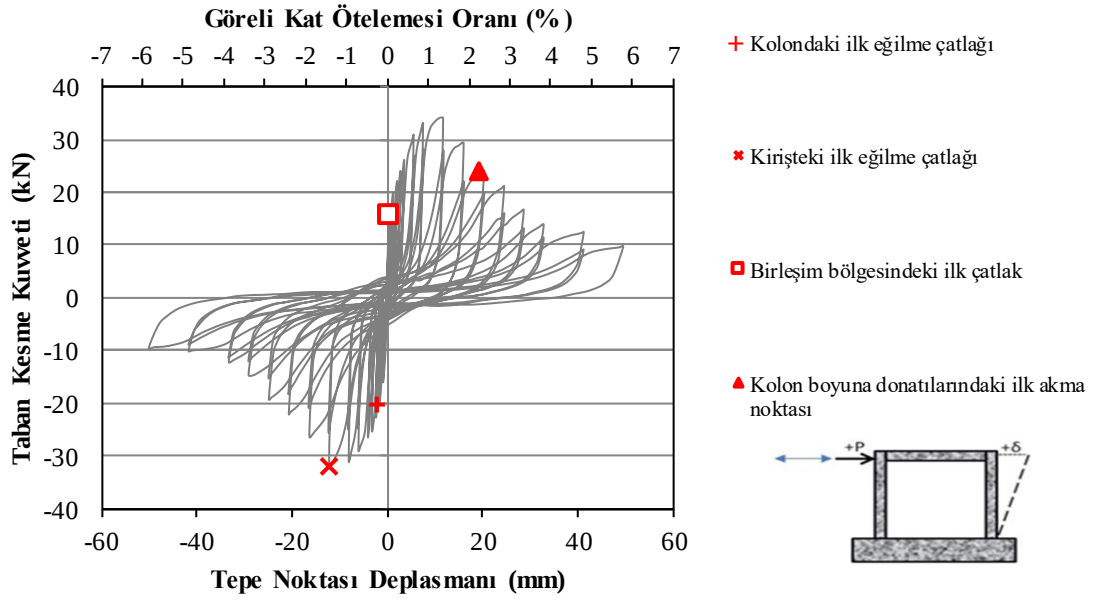
Boy/en oranı 0,58 olan IE04 numunesi kısa numuneler arasında dolgu duvar dayanımının, harç ve sıva dayanımından dolayı zayıf olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak D grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. IE03 numunesi ile olan tek fark harç ve sıva kalitesidir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 9,5 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.6'daki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin

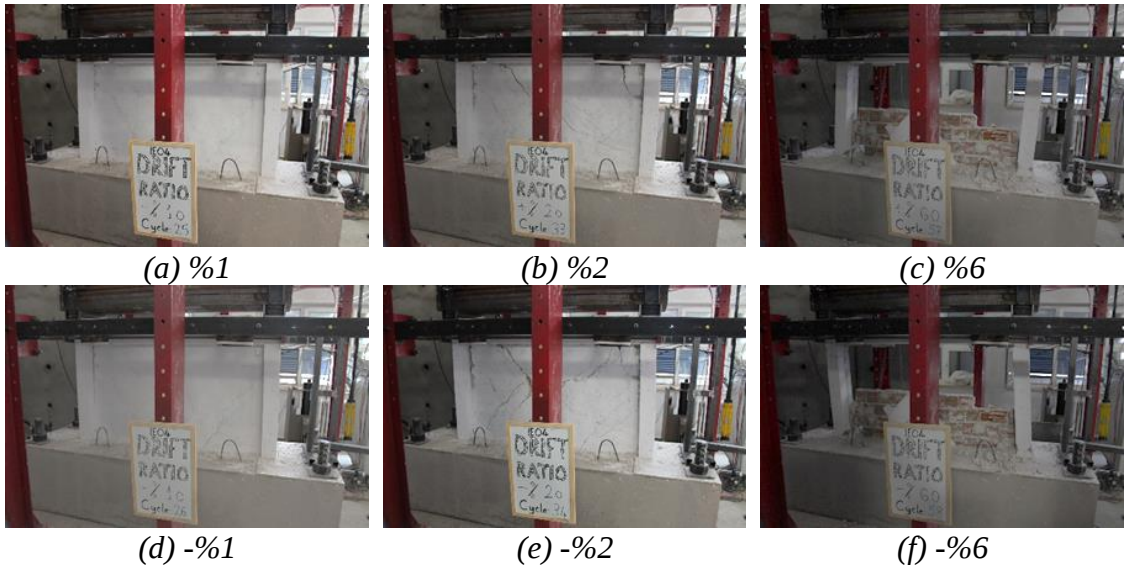
IE04 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.7’de özetlenmektedir. IE04 numunesinin itme yönündeki dayanımı %1,5 görelî kat ötelemesinde 34,24 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%1,5 görelî kat ötelemesinde -32,04 kN olarak ölçülmüştür. 13,17, 25 ve 29. çevrimlerde istenilen hedef deplasman değerlerine yaklaşılmış ancak belirlenen tepe noktası deplasman değerlerine ulaşamamıştır.

Tablo 4.7. IE04 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	0,48	15,76	0,1	0,1
2	-15,87	-0,78	-0,1	-0,1
5	19,72	1,35	0,2	0,2
6	-19,89	-1,53	-0,2	-0,2
9	22,04	2,16	0,3	0,3
10	-22,57	-2,25	-0,3	-0,3
13	23,63	2,88	0,3	0,4
14	-24,96	-3,12	-0,4	-0,4
17	25,87	3,66	0,4	0,5
18	-26,27	-3,96	-0,5	-0,5
21	30,99	5,64	0,7	0,75
22	-29,10	-5,94	-0,7	-0,75
25	33,19	7,62	0,9	1,0
26	-31,08	-7,98	-1,0	-1,0
29	34,24	11,82	1,4	1,5
30	-32,04	-12,09	-1,5	-1,5
33	29,48	16,11	2,0	2,0
34	-26,42	-16,23	-2,0	-2,0
37	24,34	20,25	2,5	2,5
38	-22,13	-20,55	-2,5	-2,5
41	21,28	24,63	3,0	3,0
42	-19,32	-24,72	-3,0	-3,0
45	16,76	28,74	3,5	3,5
46	-14,64	-28,98	-3,5	-3,5
49	13,93	32,91	4,0	4,0
50	-12,15	-33,12	-4,0	-4,0
53	12,53	41,31	5,0	5,0
54	-10,07	-41,55	-5,0	-5,0
57	9,79	49,59	6,0	6,0
58	-9,481	-49,89	-6,0	-6,0



Şekil 4.6. IE04 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.12. IE04 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE04 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.8’de görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,3 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.13.a). Kolonlarda kesme hasarı gözlenmemiştir. Görsel 4.13.b’de kolonda basınç ezilmesi görülmektedir. Kirişlerde ilk eğilme çatlağı %1,5 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.14.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.14.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %2,5 görelî kat

ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.15.a) ve basınç ezilmeleri gözlenmiştir (Görsel 4.15.b). Uygulanan son çevrimlere doğru dolgu duvarın üst kısmı düzlem dışı devrilmiştir. Devrilmeden önce duvarda gözlenen çatlak oluşumu Görsel 4.15.c’de, deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu ise Görsel 4.15.d’de görülmektedir.

Tablo 4.8. IE04 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlakı	12	-20,10	-2,3	-0,3
Kolondaki ilk kesme çatlakı	-	-	-	-
Kirişteki ilk eğilme çatlakı	30	-32,04	-12,1	-1,5
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	1	15,76	0,5	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	37	24,04	19,3	2,3



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlakı



(b) Kolondaki basınç ezilmesi

Görsel 4.13. IE04 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları

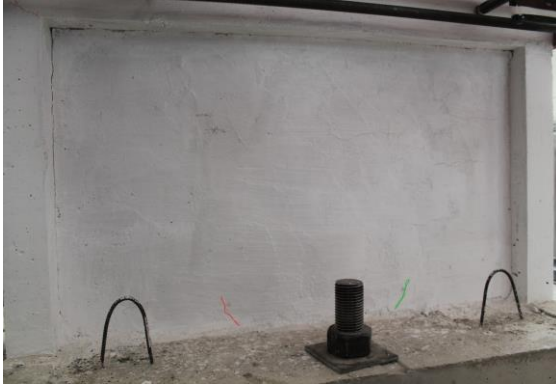


(a) Kirişteki ilk eğilme çatlakı

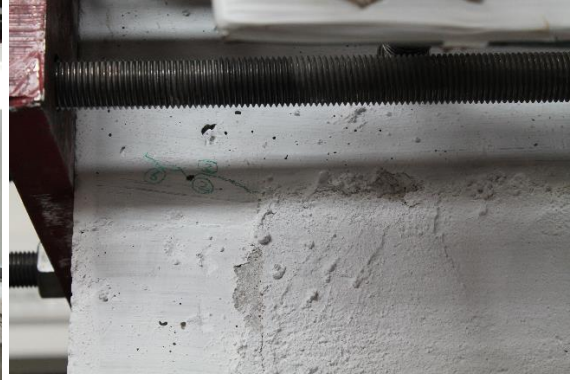


(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.14. IE04 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma ve eğik çatlaklar



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Yıkılmadan önceki duvar hasarı



(d) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.15. IE04 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE04 betonarme çerçeve numunesine %6 görece kat ötelemesi değerine kadar çevrimleri uygulanabilmektedir. Numunede kısa kolon oluşumuna neden olabilecek boşluk oluşsa da kolonlara karşı koyacak duvar dayanımı az olduğu için kısa kolon hasarı gözlenmemiştir. Kolonların alt ve üst kısmında oluşan plastik mafsallar nedeni ile numune IE03 numunesine kıyasla daha sünek bir davranış göstermiştir.

4.1.2. IE05

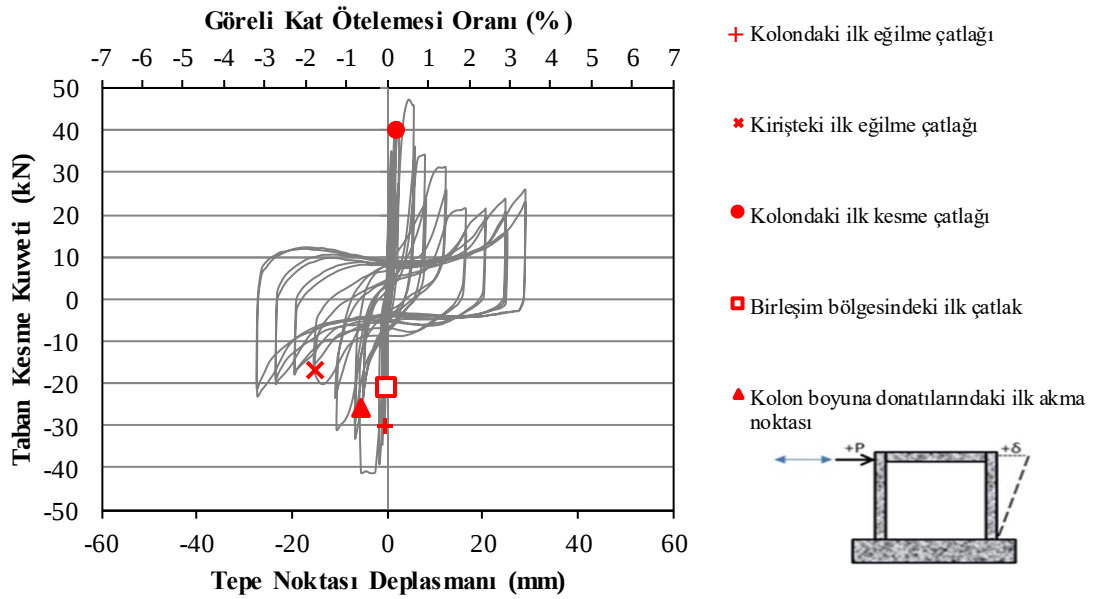
Boy/en oranı 0,58 olan IE05 numunesi kısa numuneler arasında dolgu duvar dayanımının, harç ve sıva dayanımından dolayı iyi, ancak tuğla boşluk oranının fazla olması nedeniyle dolgu malzemesinin zayıf olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı fazla olan tuğla kullanılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 9,7 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.7’deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.16 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE05 numunesinde %3,5 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Tezin çalışma konusu olan kolonlarda beklenmeyen kesme hasarı gözlemlendiği için, ileri deplasmanlarda toptan göçmeyi engellemek adına bu adımda deney sonlandırılmıştır.

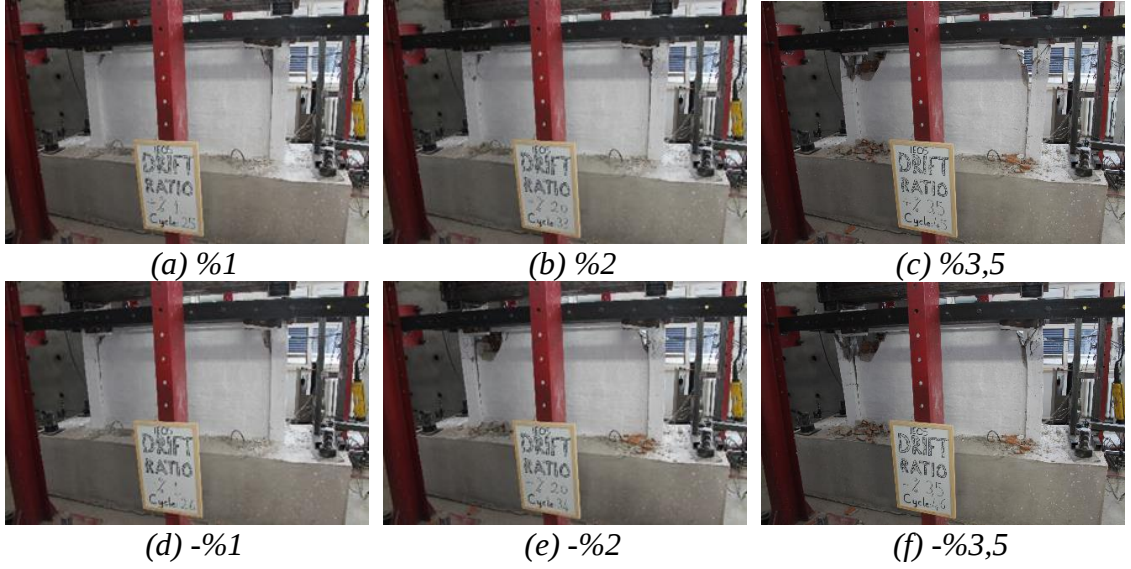
IE05 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.9’da özetlenmektedir. IE05 numunesi deneyinde -%0,4 görelî kat ötelemesine ikinci çevriminde gidilirken eksik veri kaynaklı bir hata düzeltilmeye çalışılırken yanlışlıkla -%0,67 görelî kat ötelemesi değerine gidilmiştir ve numune çekme yönünde dayanımına bu tepe noktası deplasmanında -41,29 kN değerine ulaşmıştır. 14. ve 17. çevrimlerin arka arkaya çekme olarak uygulanma sebebi budur. Bu aşamadan sonra çevrimlerin bozulmaması adına 18. adımda %0,75 görelî kat ötelemesi değeri hedeflenmiş ve itme yönündeki çerçeve dayanımı bu adımda 46,10 kN olarak ölçülmüştür. Çevrimlerin çekme yönünde hiçbirinde hedeflenen tepe noktası değerlerine ulaşılammıştır. Bunun nedeni çekme yüklemesi uygulanırken kullanılan 4 adet çekme saplamasında meydana gelen uzama deformasyonudur. İtme yönünde ise %1,0 görelî kat ötelemesi değerinden sonra hedef deplasmanlara ulaşılmıştır.

Tablo 4.9. IE05 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	20,33	0,21	0,0	0,1
2	-20,95	-0,24	0,0	-0,1
5	34,42	0,84	0,1	0,2
6	-29,88	-0,69	-0,1	-0,2
9	40,30	1,59	0,2	0,3
10	-34,48	-1,11	-0,1	-0,3
13	41,40	2,46	0,3	0,4
14	-38,77	-1,74	-0,2	-0,4
17	-41,29	-5,55	-0,7	-0,75
18	46,10	5,58	0,7	0,75
21	34,32	7,92	1,0	1,0
22	-33,01	-6,81	-0,8	-1,0
25	31,36	12,30	1,5	1,5
26	-31,10	-10,71	-1,3	-1,5
29	21,49	16,53	2,0	2,0
30	-16,99	-15,33	-1,9	-2,0
33	21,60	20,70	2,5	2,5
34	-17,62	-19,53	-2,4	-2,5
37	23,85	24,87	3,0	3,0
38	-20,17	-23,52	-2,9	-3,0
41	25,97	29,07	3,5	3,5
42	-23,05	-27,42	-3,3	-3,5



Şekil 4.7. IE05 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.16. IE05 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE05 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.10’da görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,1 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.17.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı %0,2 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.17.b). Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %1,9 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.18.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesindeki ilk çatlak ilk çevrimde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.18.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %0,75 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.19.a) ve ezilmeler (Görsel 4.19.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.19.c’de görülmektedir.

Tablo 4.10. IE05 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	6	-29,88	-0,7	-0,1
Kolondaki ilk kesme çatlağı	9	40,30	1,6	0,2
Kirişteki ilk eğilme çatlağı	30	-16,99	-15,3	-1,9
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	2	-20,95	-0,2	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	22	-25,72	-5,5	-0,7



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlağı

Görsel 4.17. IE05 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.18. IE05 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.19. IE05 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE05 betonarme çerçeve numunesine %3,5 görelî kat ötelemesi değeri ne kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Kolonların üst kısmında oluşan kesme hasarı nedeni ile sünek olmayan bir davranış göstermiştir.

4.1.2. IE06

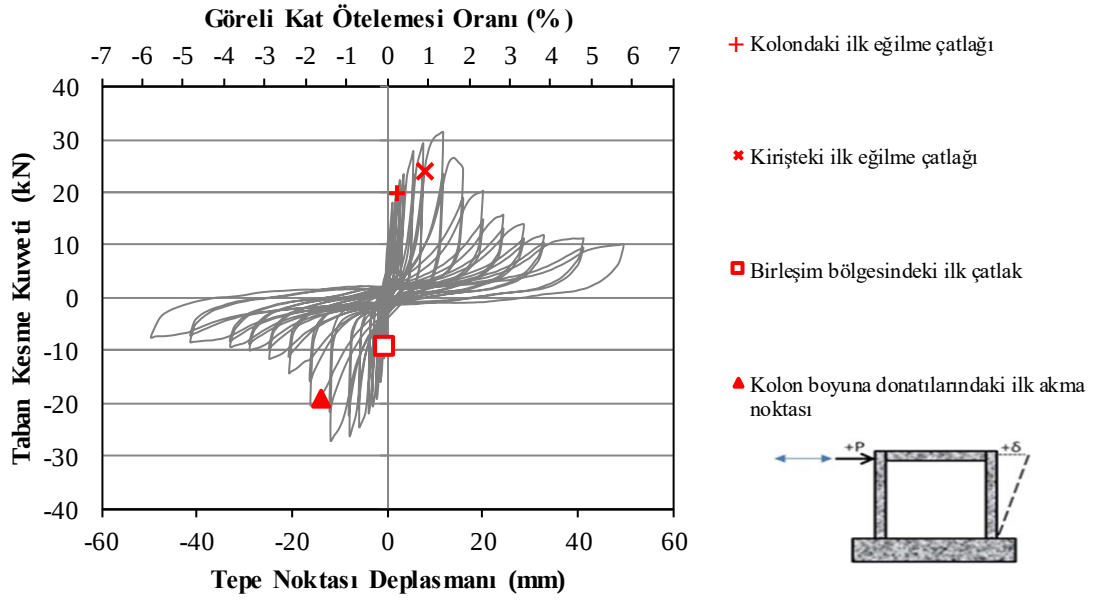
Boy/en oranı 0,58 olan IE06 numunesi kısa numuneler arasında en zayıf olan numunedir. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı fazla olan tuğla kullanılarak D grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 9,4 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.8'deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.20 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve %6,0 görelî kat ötelemesi anındaki durumları görülmektedir.

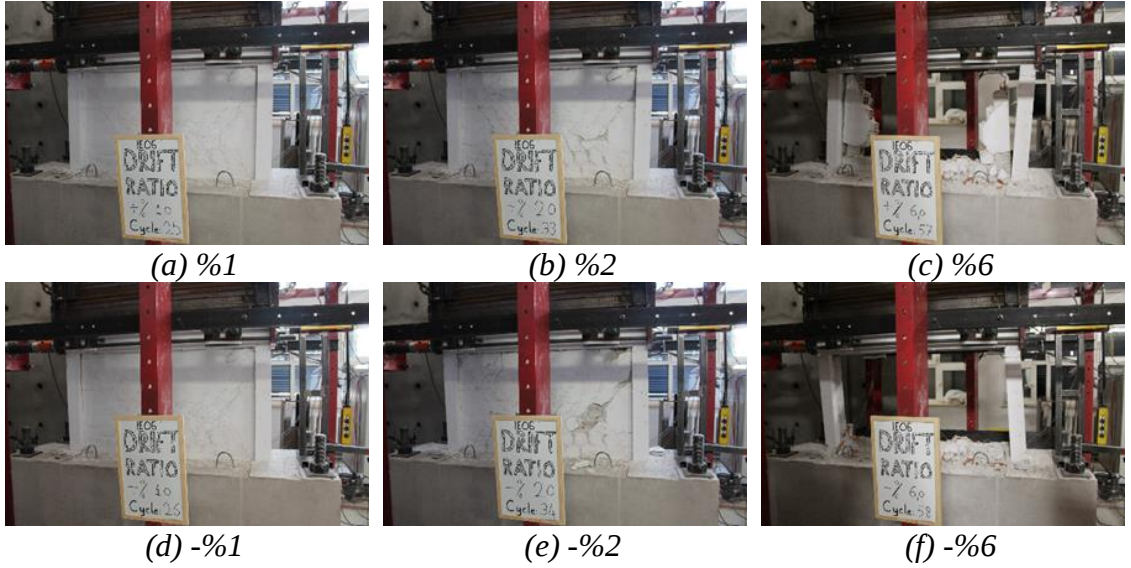
IE06 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.11’de özetlenmektedir. IE06 numunesinin itme yönündeki dayanımı %1,5 görelî kat ötelemesinde 31,30 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%1,5 görelî kat ötelemesinde -27,22 kN olarak ölçülmüştür. İtme yönündeki çevrimlerin çoğunda istenilen hedef deplasman değerlerine yaklaşılmış ancak çekme yönünde hedeflenen tepe noktası deplasman değerlerine ulaşılammıştır.

Tablo 4.11. IE06 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	12,41	0,45	0,1	0,1
2	-11,37	-0,63	-0,1	-0,1
5	17,54	1,20	0,1	0,2
6	-15,85	-1,35	-0,2	-0,2
9	19,68	1,98	0,2	0,3
10	-19,10	-2,13	-0,3	-0,3
13	21,84	2,76	0,3	0,4
14	-20,41	-3,00	-0,4	-0,4
17	22,95	3,54	0,4	0,5
18	-21,93	-3,81	-0,5	-0,5
21	27,61	5,58	0,7	0,75
22	-24,67	-5,82	-0,7	-0,75
25	29,11	7,65	0,9	1,0
26	-26,28	-7,83	-0,9	-1,0
29	31,30	11,82	1,4	1,5
30	-27,22	-11,82	-1,4	-1,5
33	24,22	15,99	1,9	2,0
34	-20,46	-16,02	-1,9	-2,0
37	20,24	20,19	2,4	2,5
38	-14,43	-20,52	-2,5	-2,5
41	15,59	24,45	3,0	3,0
42	-11,65	-24,69	-3,0	-3,0
45	13,74	28,77	3,5	3,5
46	-10,03	-28,83	-3,5	-3,5
49	11,64	32,97	4,0	4,0
50	-9,33	-32,88	-4,0	-4,0
53	11,14	41,28	5,0	5,0
54	-8,48	-41,25	-5,0	-5,0
57	9,92	49,68	6,0	6,0
58	-7,57	-49,50	-6,0	-6,0



Şekil 4.8. IE06 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.20. IE06 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE06 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.12’de görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,2 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.21). Kolonlarda kesme çatlağı oluşmamıştır. Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %0,9 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.22.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.22.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %2 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan basınç ezilmeleri (Görsel 4.23.a) ve tuğlalar arasında kaymalar (Görsel 4.23.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.23.c’de görülmektedir.

Tablo 4.12. *IE06 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	9	19,68	2,0	0,2
Kolondaki ilk kesme çatlağı	-	-	-	-
Kirişteki ilk eğilme çatlağı	27	24,07	7,7	0,9
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	4	-9,23	0,7	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	34	-19,05	-14,1	-1,7



Görsel 4.21. *IE06 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı

(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.22. *IE06 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Duvarda gözlenen ezilme

(b) Tuğlalar arası gözlenen kayma



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.23. IE06 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE06 betonarme çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmekmiştir. Bazı diğeri numunelerde olduğı gibi kısa kolon oluşumuna neden olabilecek boşluk oluşsa da kolonlara karşı koyacak duvar dayanımı az olduğı için kısa kolon hasarı gözlenmemiştir. Bu numunede dayanımda ani düşme olsa da hedeflenen tüm deplasmanlar uygulanılmıştır.

4.1.2. IE07

Boy/en oranı 0,58 olan IE07 numunesi kısa numuneler arasında dayanımı yüksek olan numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla, tuğla delikleri dik olacak şekilde kullanılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 9,8 MPa olarak belirlenmiştir.

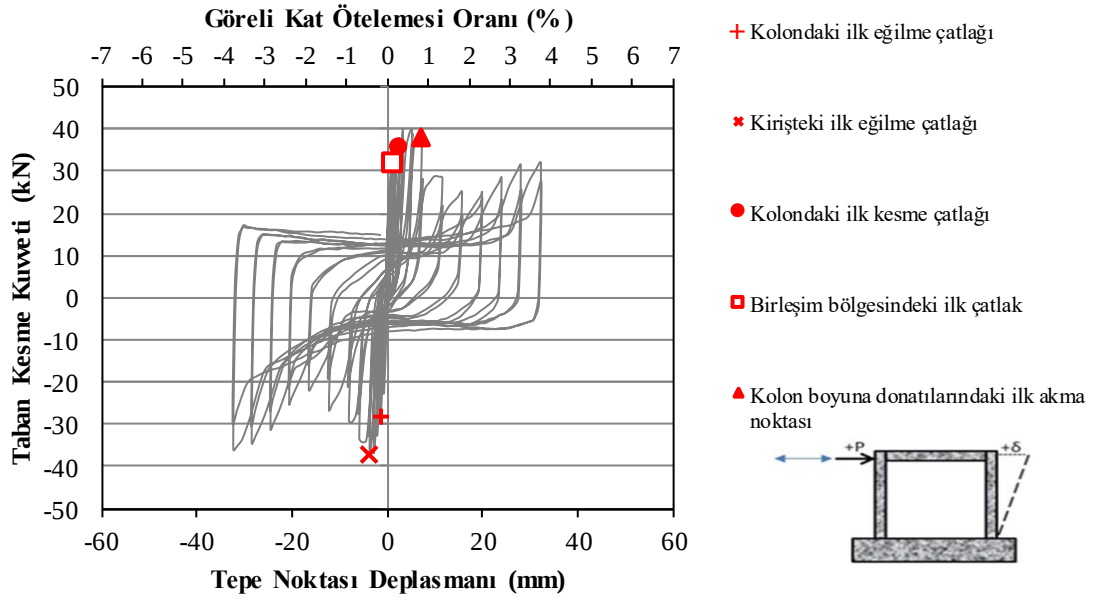
Deney sonucunda Şekil 4.9'daki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğı gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış,

hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Şekil 4.9'da numune dayanımında azalma gözlemlendikten sonraki deplasmanlarda yeniden bir artış meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise panel deneylerindeki iyi dayanımlı numunelerde gözlemlendiği gibi hasar sonrası dayanımdaki artıştır. Dolgu duvarın hasar sonrası çerçeve dayanımındaki azalmadan sonra, hasar görmeyen bölümleri çerçeve dayanımını artırmaya devam etmektedir. Görsel 4.24 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve %4,0 görelî kat ötelemesi anındaki durumları görülmektedir. IE07 numunesinde tezin çalışma konusu olan beklenmeyen kesme hasarı gözlemlendiği için, ileri deplasmanlarda toptan göçmeyi engellemek adına bu adımda deney sonlandırılmıştır.

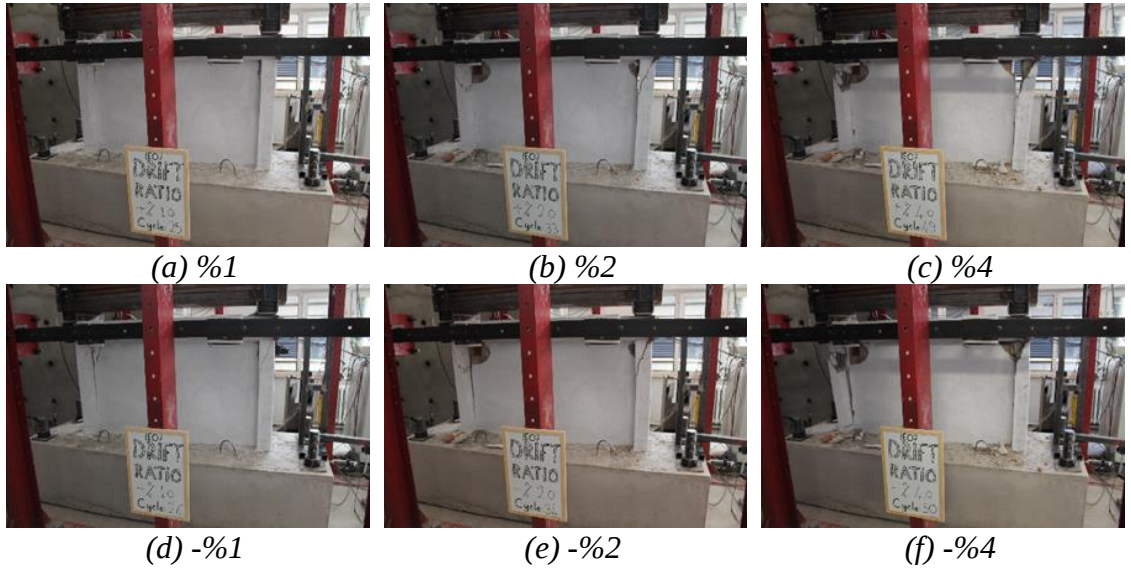
IE07 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.13'te özetlenmektedir. IE07 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,75 görelî kat ötelemesinde 40,00 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%0,5 görelî kat ötelemesinde -36,94 kN olarak ölçülmüştür. İtme yönünde hiçbir çevrimde, çekme yönünde ise bazı çevrimlerde istenilen hedef deplasman değerlerine ulaşamamıştır. Fakat hedeflenen ve ulaşılan yer değiştirmeler arasındaki fark %10'dan daha az seviyededir.

Tablo 4.13. IE07 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	25,76	0,36	0,0	0,1
2	-22,54	-0,66	-0,1	-0,1
5	32,06	1,08	0,1	0,2
6	-28,27	-1,41	-0,2	-0,2
9	36,00	1,83	0,2	0,3
10	-32,46	-2,07	-0,3	-0,3
13	37,12	2,64	0,3	0,4
14	-36,36	-2,79	-0,3	-0,4
17	39,52	3,39	0,4	0,5
18	-36,94	-3,66	-0,4	-0,5
21	40,00	5,31	0,6	0,75
22	-33,42	-5,82	-0,7	-0,75
25	37,46	7,38	0,9	1,0
26	-29,33	-8,01	-1,0	-1,0
29	28,45	11,70	1,4	1,5
30	-26,74	-12,21	-1,5	-1,5
33	25,16	15,84	1,9	2,0
34	-21,91	-16,44	-2,0	-2,0
37	25,21	20,04	2,4	2,5
38	-25,40	-20,58	-2,5	-2,5
41	28,59	24,15	2,9	3,0
42	-31,36	-24,51	-3,0	-3,0
45	31,57	28,20	3,4	3,5
46	-34,61	-28,47	-3,5	-3,5
49	32,10	32,43	3,9	4,0
50	-36,18	-32,34	-3,9	-4,0



Şekil 4.9. IE07 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.24. IE07 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE07 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.14'te görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı (Görsel 4.25.a) ve ilk kesme çatlağı (Görsel 4.25.b) %0,2 görelî kat ötelemesinde görülmüştür. Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %0,4 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.26.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.26.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyunca donatılarında ilk akma %1 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır.

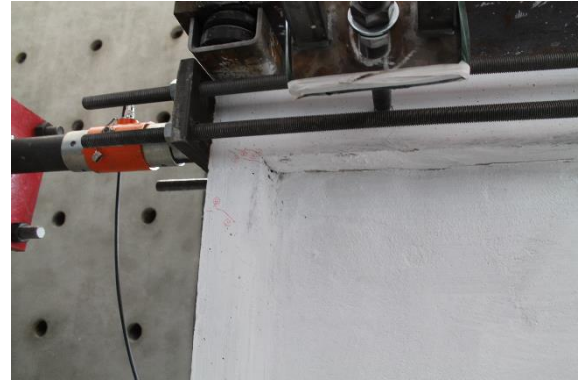
Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.27.a) ve köşelerde ezilmeler (Görsel 4.27.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.27.c’de görülmektedir.

Tablo 4.14. IE07 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlakı	6	-28,27	-1,4	-0,2
Kolondaki ilk kesme çatlakı	9	36,00	1,8	0,2
Kirişteki ilk eğilme çatlakı	18	-36,94	-3,7	-0,4
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	5	32,06	1,1	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	25	38,04	6,8	0,8



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlakı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlakı

Görsel 4.25. IE07 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlakı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.26. IE07 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.27. IE07 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE07 betonarme çerçeve numunesine %4 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmekmiştir. Kolonların üst kısmında oluşan kesme hasarı nedeni ile sünek olmayan bir davranış göstermiştir.

4.1.2. IE13

Boy/en oranı 0,58 olan IE13 numunesi kısa numuneler arasında dolgu duvar dayanımının orta seviyede olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak C grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 11,1 MPa olarak belirlenmiştir.

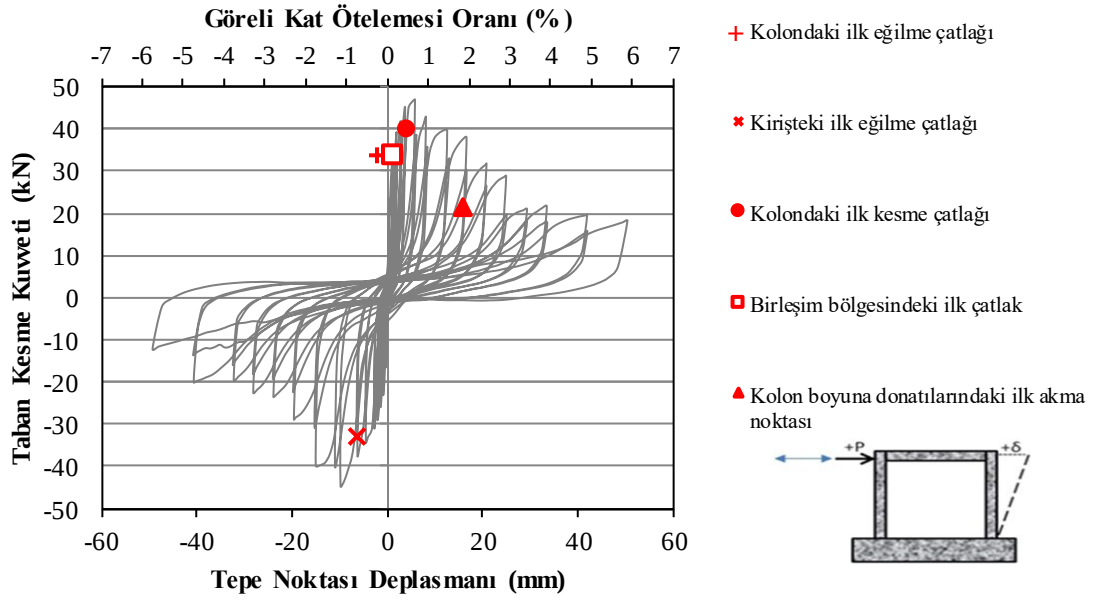
Deney sonucunda Şekil 4.10'daki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.28 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görölmektedir. Tezin çalışma konusu olan beklenmeyen kesme hasarı gözlenmesine rağmen %6 görelî kat ötelemesi hedefine bu numunede ulaşılmıştır. Duvarları daha dayanımlı olan çerçevelere kıyasla

kolonlarda gözlenen kesme hasarı daha düşük seviyede kalmıştır. Bu numunede dolgu duvar orta dayanımda olduğu için duvarlarında ileri seviyede hasar oluşurken kolonlarda da beklenmeyen kısa kolon hasarı orta seviyede gözlenmiştir. IE13 numunesi tez konusu olan kısa kolon hasarının oluşabileceği sınır numune olarak değerlendirilebilir.

IE13 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.15'te özetlenmektedir. IE13 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,75 görelî kat ötelemesinde 47,10 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%1,5 görelî kat ötelemesinde -44,85 kN olarak ölçülmüştür. Çekme yönünde son çevrim hariç ve itme yönünde ise 17. çevrimden sonra belirlenen tepe noktası değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 4.15. IE13 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	23,52	0,36	0,0	0,1
2	-16,58	-0,27	0,0	-0,1
5	33,65	1,20	0,1	0,2
6	-22,74	-0,87	-0,1	-0,2
9	39,41	1,95	0,2	0,3
10	-25,78	-1,44	-0,2	-0,3
13	41,12	2,82	0,3	0,4
14	-28,62	-2,07	-0,3	-0,4
17	44,85	3,72	0,5	0,5
18	-30,90	-2,73	-0,3	-0,5
21	47,10	5,79	0,7	0,75
22	-34,40	-4,50	-0,5	-0,75
25	42,90	8,10	1,0	1,0
26	-37,56	-6,27	-0,8	-1,0
29	39,82	12,54	1,5	1,5
30	-44,85	-9,81	-1,2	-1,5
33	38,11	16,59	2,0	2,0
34	-39,96	-15,00	-1,8	-2,0
37	31,95	20,79	2,5	2,5
38	-28,98	-19,59	-2,4	-2,5
41	28,95	24,90	3,0	3,0
42	-23,55	-23,88	-2,9	-3,0
45	21,07	29,28	3,5	3,5
46	-22,59	-28,11	-3,4	-3,5
49	21,72	33,42	4,1	4,0
50	-19,60	-32,19	-3,9	-4,0
53	19,73	41,88	5,1	5,0
54	-20,12	-40,59	-4,9	-5,0
57	18,28	50,31	6,1	6,0
58	-12,22	-49,20	-6,0	-6,0



Şekil 4.10. IE13 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.28. IE13 numunesinin belirli görel kat ötelemelerindeki durumu

IE13 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.16’da görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,2 görel kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.29.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı %0,5 görel kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.29.b). Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %0,8 görel kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.30.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görel kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.30.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyunca donatılarında ilk akma %2,5 görel kat

ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.31.a) ve köşelerde ezilmeler (Görsel 4.31.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.31.c’de görülmektedir.

Tablo 4.16. *IE13 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlaklığı	5	33,65	3,8	0,2
Kolondaki ilk kesme çatlaklığı	21	40,31	3,8	0,5
Kirişteki ilk eğilme çatlaklığı	30	-32,84	-6,5	-0,8
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	5	33,65	1,2	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	39	21,58	15,7	1,9

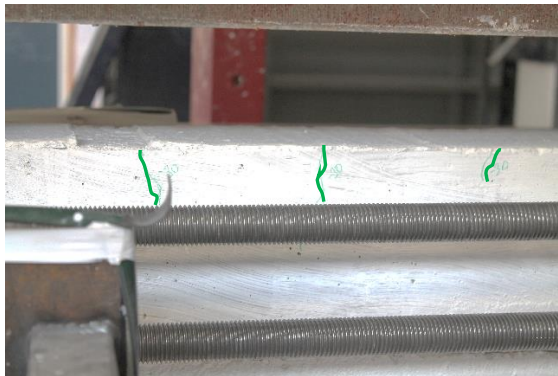


(a) Kolondaki ilk eğilme çatlaklığı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlaklığı

Görsel 4.29. *IE13 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlaklığı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.30. *IE13 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.31. IE13 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE13 betonarme çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabîlmîştir. Kolonların üst kısmında kesme hasarları sınırlı seviyede kalarak çevrimler tamamlanabîlmîştir.

4.1.2. IE14

Boy/en oranı 0,58 olan IE14 numunesi kısa numuneler arasında dolgu duvar dayanımının iyi seviyede olduğu, ancak donatıdaki sıyrılmanın etkisinin araştırılacağı numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve kolon altlarında bindirmeli donatı imalatı ile üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu tip duvar ile beklenmeyen kısa kolon hasarı en belirgin şekilde gözlemlendiğî için bindirmeli numune de bu duvar tipi seçilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 10,3 MPa olarak belirlenmiştir.

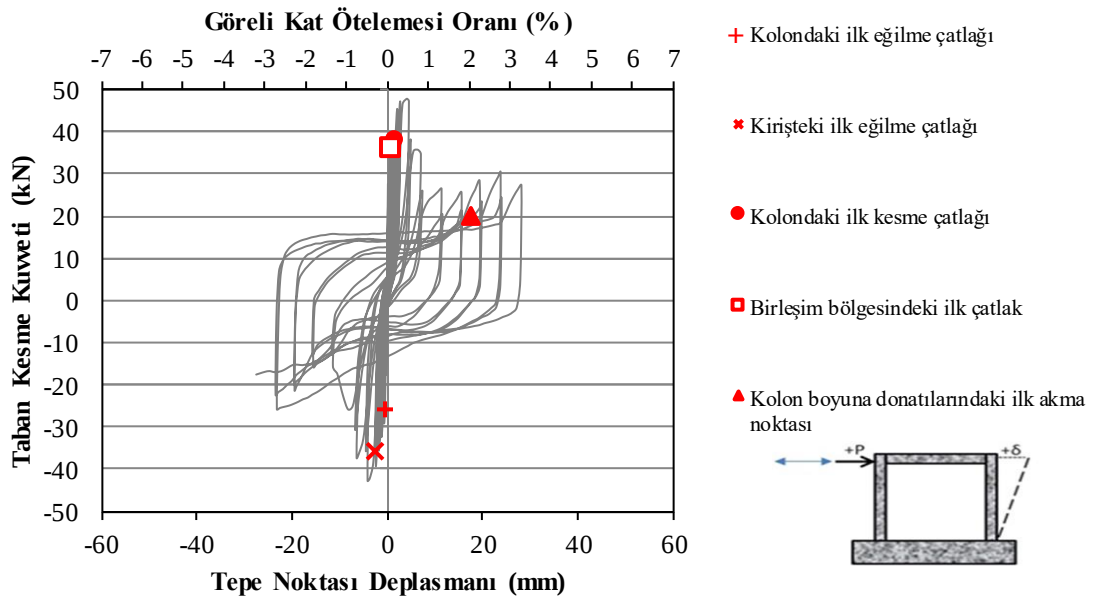
Deney sonucunda Şekil 4.11'deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numune de elastik olmayan çevrimsel

davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.32 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE02 numunesinde %3,5 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Tezin çalışma konusu olan kolonlarda beklenmeyen kesme hasarı gözlemlendiğî için, ileri deplasmanlarda toptan göçmeyi engellemek adına bu adımda deney sonlandırılmıştır.

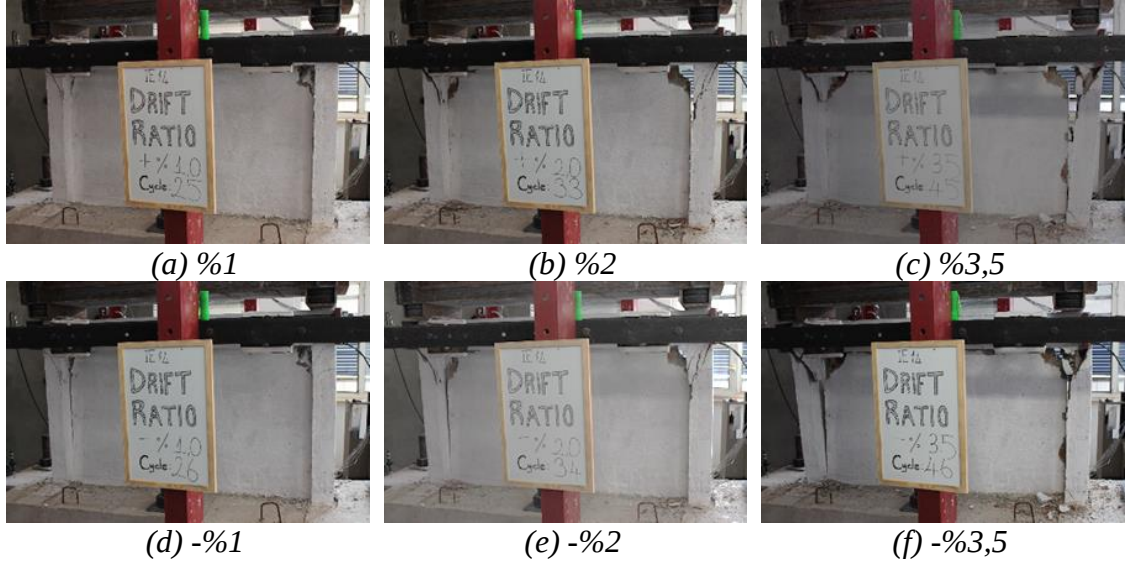
IE14 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.17’de özetlenmektedir. IE14 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,75 görelî kat ötelemesinde 47,15 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%0,75 görelî kat ötelemesinde -42,74 kN olarak ölçülmüştür. Beton dayanımları IE03 numunesi ile yakın olsa da çerçeve dayanımının donatı sıyrılma problemlî numunede yakın çıkması, hasarın yetersiz bindirme bölgesi olan kolon alt kısmında değil de kolon üst bölgelerinde gözlenmesiyle açıklanabilir. İtme ve çekme yönündeki tüm çevrimlerde istenilen hedef deplasman değerlerine düşük hata payı çerçevesinde yaklaşılmıştır.

Tablo 4.17. *IE14 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri*

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	27,60	0,15	0,0	0,1
2	-17,70	-0,24	0,0	-0,1
5	36,32	0,75	0,1	0,2
6	-28,56	-0,66	-0,1	-0,2
9	38,43	1,26	0,2	0,3
10	-32,07	-1,20	-0,1	-0,3
13	44,60	2,13	0,3	0,4
14	-35,10	-1,83	-0,2	-0,4
17	46,40	2,73	0,3	0,5
18	-38,91	-2,40	-0,3	-0,5
21	47,15	4,56	0,6	0,75
22	-42,74	-4,14	-0,5	-0,75
25	34,57	7,08	0,9	1,0
26	-37,27	-6,45	-0,8	-1,0
29	26,41	11,43	1,4	1,5
30	-15,57	-11,43	-1,4	-1,5
33	25,51	15,63	1,9	2,0
34	-15,71	-15,54	-1,9	-2,0
37	28,24	19,44	2,4	2,5
38	-21,35	-19,50	-2,4	-2,5
41	30,40	23,85	2,9	3,0
42	-25,79	-23,22	-2,8	-3,0
45	27,26	28,23	3,4	3,5
46	-17,57	-27,57	-3,3	-3,5



Şekil 4.11. *IE14 Elastik olmayan çevrimsel davranış*



Görsel 4.32. IE14 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE14 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.18’de görölmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,1 görelî kat ötelemesinde görölmüştür (Görsel 4.33.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı %0,2 görelî kat ötelemesinde görölmüştür (Görsel 4.33.b). Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %0,3 görelî kat ötelemesinde görölmüştür (Görsel 4.34.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görölmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.34.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %2,5 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarı ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.35.a) ve köşelerde ezilmeler (Görsel 4.35.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.35.c’de görölmektedir.

Tablo 4.18. IE14 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	8	-25,93	-1,3	-0,1
Kolondaki ilk kesme çatlağı	9	38,43	1,3	0,2
Kirişteki ilk eğilme çatlağı	20	-35,59	-2,5	-0,3
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	5	36,32	0,8	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	39	20,01	17,6	2,1



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Kolondaki ilk kesme çatlağı

Görsel 4.33. IE14 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.34. IE14 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen ezilme



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.35. IE14 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE14 betonarme çerçeve numunesine %3,5 görelî kat ötelemesi değeri ne kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Uygulanan en son çevrimde numune üzerindeki eksenel yükün bir tarafa yatmasıyla, numune üzerinden düşmemesi için deney numune sıfır noktasına çekilmeden sonlandırılmıştır. Üzerindeki eksenel yük kaldırıldıktan sonra, numune sıfır noktasına çekilmiş, ancak bu esnada veri toplanmamıştır.

4.1.2. IE02_G

Boy/en oranı 0,58 olan IE02_G numunesi kısa kolon hasarının CFRP ile yapısal onarımı sonrası davranışının belirlenmesi amacıyla onarılan numunedir. Bu nedenle IE02 numunesinin kısa kolon hasarı gözledikten sonra CFRP ile onarım adımları uygulanarak tekrar test edilmiştir. Bu numune için deney günü beton basınç dayanım testi yapılmamıştır.

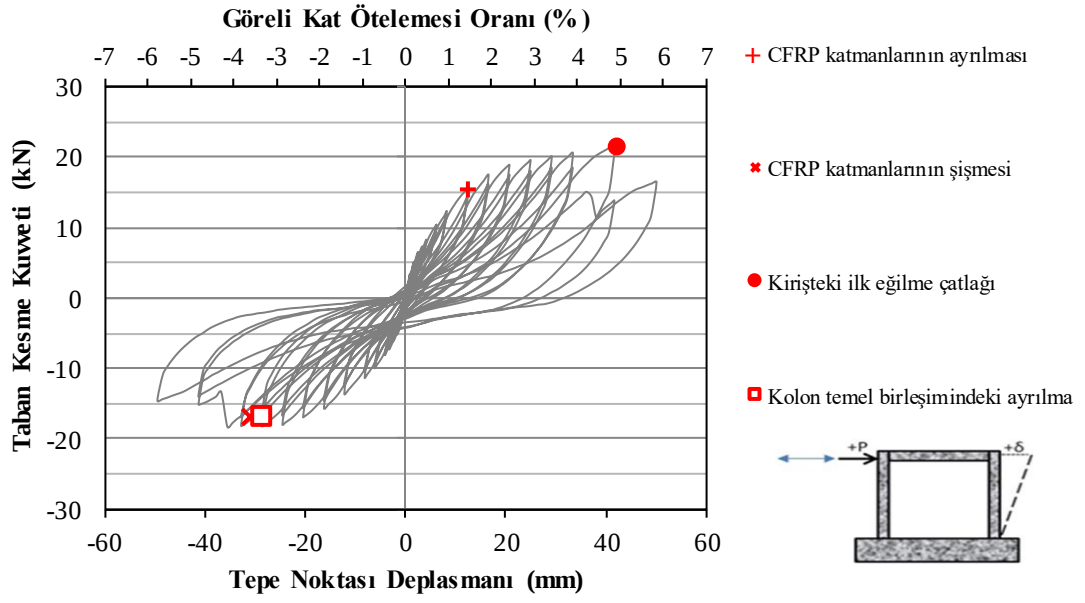
Deney sonucunda Şekil 4.12'deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.36 ile betonarme çerçevelerin %1,0,

%2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE02_G numunesinde %6,0 görelî kat ötelemesi değeri ne kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

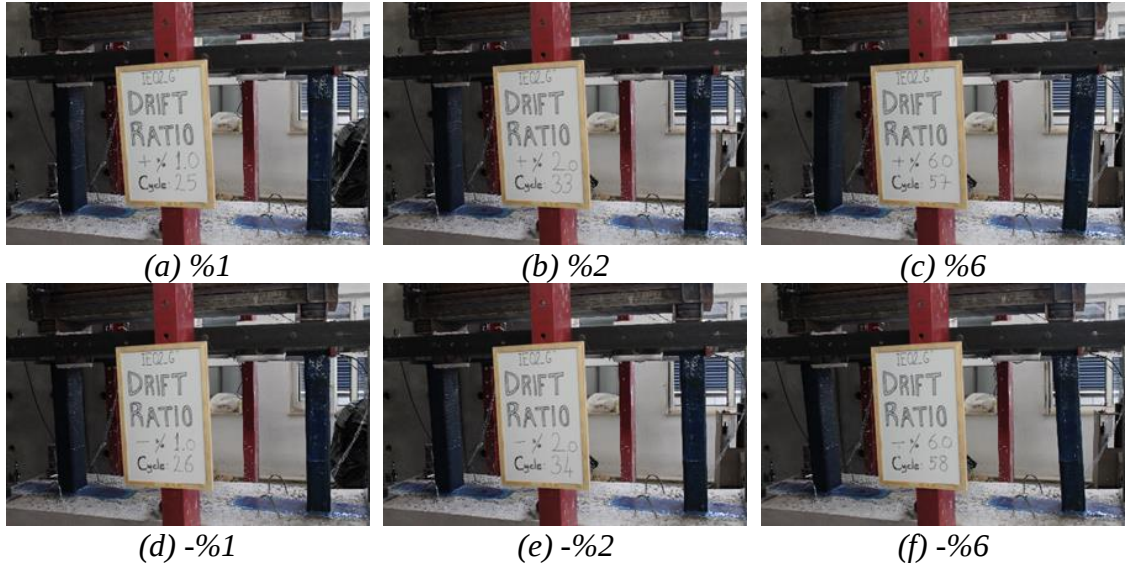
IE02_G çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değeri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.19’da özetlenmektedir. IE02_G numunesinin itme yönündeki dayanımı %5 görelî kat ötelemesinde 21,81 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%4 görelî kat ötelemesinde -18,34 kN olarak ölçülmüştür. Tüm çevrimlerde belirlenen tepe noktası değeri ne ulaşmıştır.

Tablo 4.19. IE02_G numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değeri ne

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	3,44	0,93	0,1	0,1
2	-3,47	-0,84	-0,1	-0,1
5	5,12	1,65	0,2	0,2
6	-5,19	-1,68	-0,2	-0,2
9	6,52	2,49	0,3	0,3
10	-6,18	-2,43	-0,3	-0,3
13	7,31	3,33	0,4	0,4
14	-7,29	-3,27	-0,4	-0,4
17	8,22	4,14	0,5	0,5
18	-8,12	-4,08	-0,5	-0,5
21	10,43	6,18	0,7	0,75
22	-10,00	-6,12	-0,7	-0,75
25	12,35	8,22	1,0	1,0
26	-11,38	-8,13	-1,0	-1,0
29	15,51	12,42	1,5	1,5
30	-13,71	-12,18	-1,5	-1,5
33	17,53	16,56	2,0	2,0
34	-15,75	-16,23	-2,0	-2,0
37	19,04	20,73	2,5	2,5
38	-17,04	-20,40	-2,5	-2,5
41	19,68	24,93	3,0	3,0
42	-18,10	-24,51	-3,0	-3,0
45	20,20	29,16	3,5	3,5
46	-18,28	-28,62	-3,5	-3,5
49	20,69	33,36	4,0	4,0
50	-18,34	-32,67	-4,0	-4,0
53	21,81	41,76	5,1	5,0
54	-15,22	-41,22	-5,0	-5,0
57	16,56	50,01	6,1	6,0
58	-14,68	-49,41	-6,0	-6,0



Şekil 4.12. IE02_G Elastik olmayan çevrimsel davranış



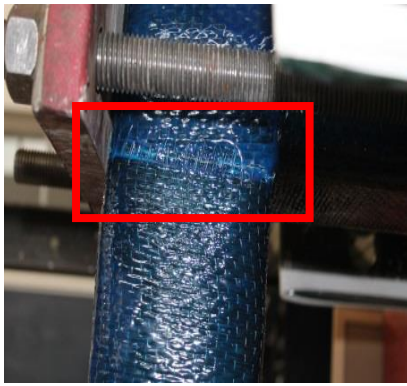
Görsel 4.36. IE02_G numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE02_G numunesinde CFRP katmanlarındaki ayrılmalar, şişmeler ve kirişteki çatlak oluşumları Tablo 4.20’de görülmektedir. Buna göre %1,5 görelî kat ötelemesinde CFRP katmanlarında ayrılmalar görülmüştür (Görsel 4.37.a). %3,5 görelî kat ötelemesi değerinde ise CFRP katmanları kolon üst bölgesinde şişmiştir (Görsel 4.37.b). Kirişte ilk eğilme çatlağı %5,1 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.38.a). %3,5 görelî kat ötelemesinde kolon ve temel bölgesinin birleştiği kısımda CFRP katmanı, tamir harcıyla beraber kalkmıştır (Görsel 4.38.b). Numune onarılmadan önce birim deformasyon

ölçerlerden, IE02 numunesi deneyinde limitlerine ulaşmış olabileceği için, sağlıklı veriler elde edilemeyeceği için veri toplanmamıştır.

Tablo 4.20. IE02_G numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
CFRP katmanlarının ayrılması	29	15,51	12,4	1,5
CFRP katmanlarının şişmesi	48	-16,93	-28,7	-3,5
Kirişteki ilk eğilme çatlak	53	21,81	41,8	5,1
Kolon temel bölgesindeki ayrılma	48	-16,93	-28,7	-3,5

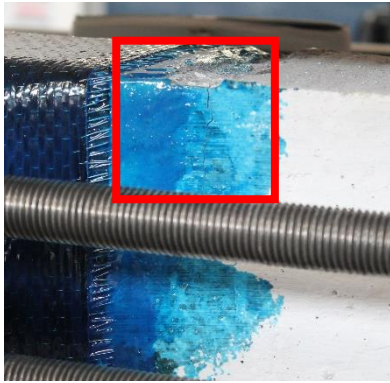


(a) CFRP katmanlarının ayrılması

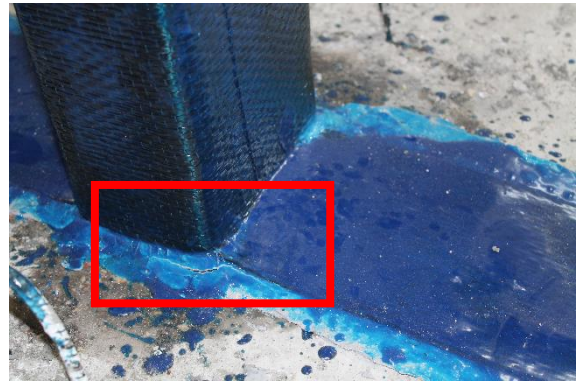


(b) CFRP katmanlarının şişmesi

Görsel 4.37. IE02_G numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlak



(b) Kolon temel bölgesindeki ayrılma

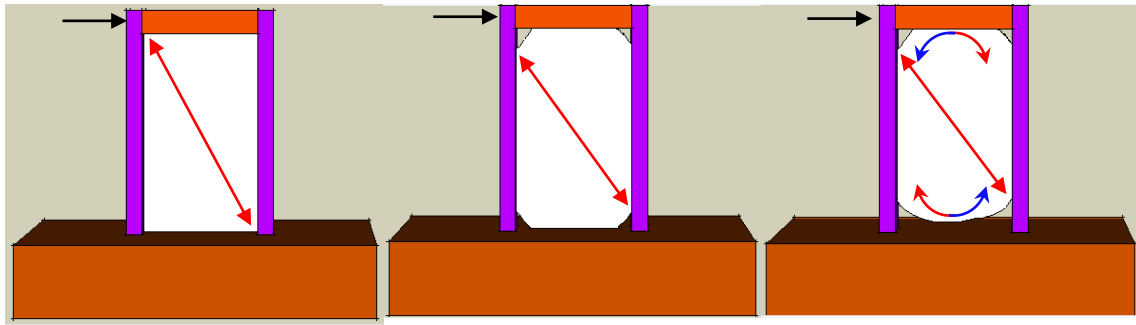
Görsel 4.38. IE02_G numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları

IE02_G çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Kolonların alt ve üst kısmında oluşan plastik mafsallar nedeni ile

numune sünek bir davranış göstermiştir. Ancak CFRP şeritlerinin kopmasıyla %4 göreceli kat ötelemesi değerinde çerçeve taşıma kapasitesinde ani bir düşme meydana gelmiştir.

4.2. Uzun Çerçevesel Numuneler

Deneyleri yapılacak çerçevelerden uzun çerçeve olarak anılan numuneler, kolon boyları, kiriş boyuna göre daha uzun olan, kolon yüksekliğinin, kiriş açıklığına oranı 1,72 olan betonarme çerçeve numunelerdir. Bu çalışmanın ana konusu olan, tam dolu dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde beklenmeyen kısa kolon hasarları, uzun çerçevesel numunelerde gözlenmemiştir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi betonarme çerçeveye uygulanan deplasmanlar arttıkça köşelerdeki dolgu duvarın dayanımını yitirmesiyle kırılmalar oluşmaktadır. Uzun numunelerde kısa numunelerden farklı olarak sıva ve harç tipi ne olursa olsun, dolgu duvarın çerçeve içinde dönmesi nedeni ile duvarda bir basınç çubuğu mekanizması oluşmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla dolgu duvarlardan kolonlara karşı bir kuvvet uygulayamadığı için köşelerde oluşan boşluklar kısa kolon hasarına neden olmamıştır. Bütün uzun çerçeve numunelerinde de kısa numunelerde olduğu gibi minimum eksenel yük kullanılmıştır.



(a) Hasarsız dolgu duvar (b) Köşelerde hasarlı dolgu duvar (c) İleri hasarda dönen dolgu duvar

Şekil 4.13. Uzun numunelerde hasar mekanizması

4.2.1. IE08

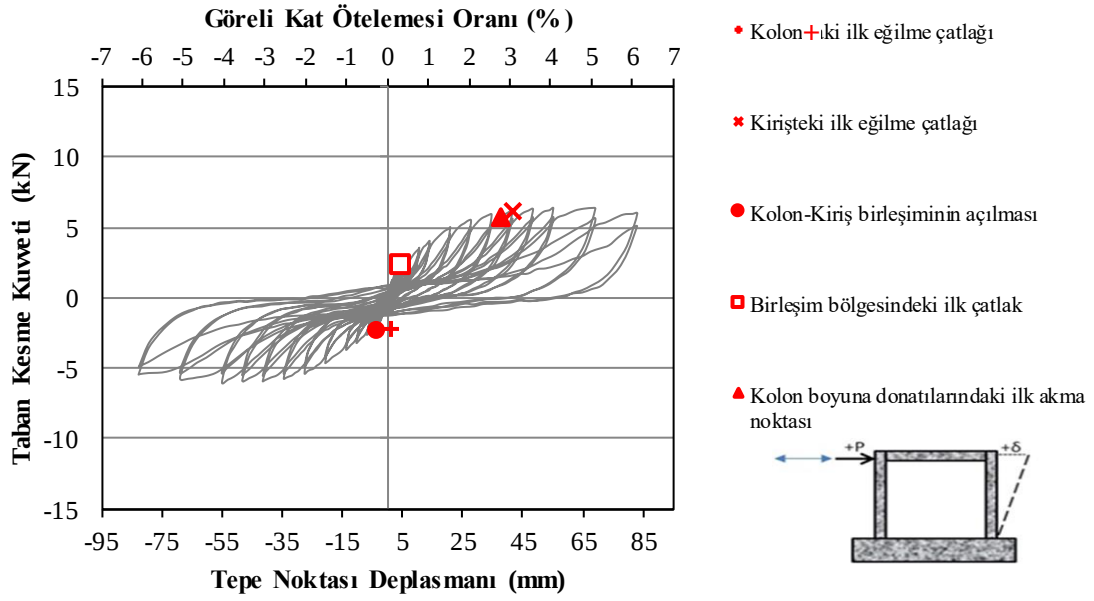
Boy/en oranı 1,72 olan IE08 numunesi uzun numuneler için referans numunesi olarak kullanılmıştır. Bu nedenle numune üretildikten sonra dolgu duvar imalatı yapılmamıştır. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 11,6 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.14'teki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.39 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE08 numunesinde %6,0 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

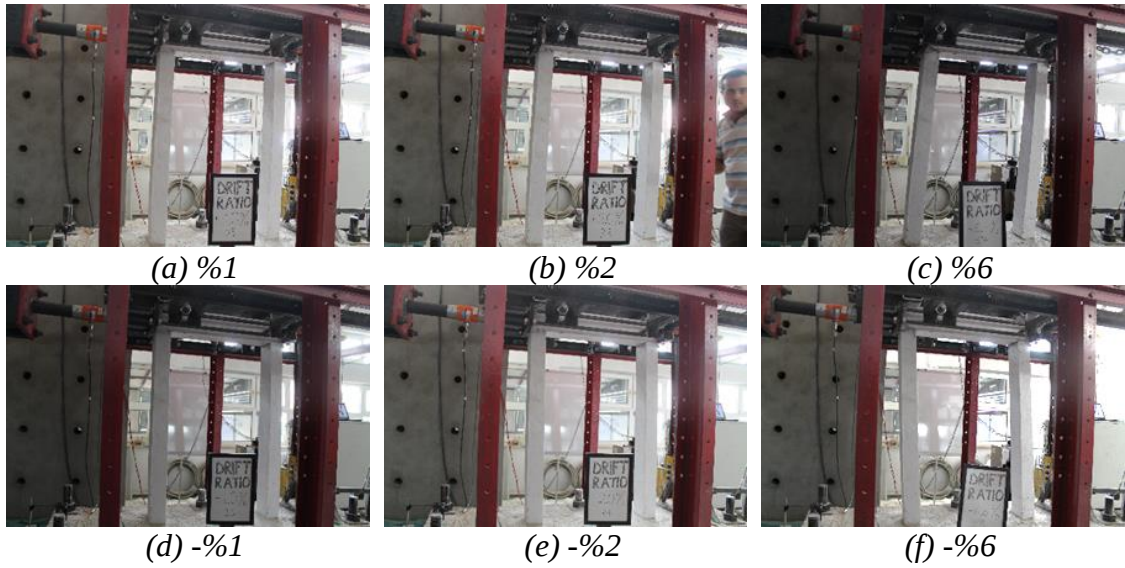
IE08 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.21'de özetlenmektedir. IE08 numunesinin itme yönündeki dayanımı %4 görelî kat ötelemesinde 6,34 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%4 görelî kat ötelemesinde -6,04 kN olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.21. IE08 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	1,24	1,50	0,1	0,1
2	-1,01	-1,44	-0,1	-0,1
5	1,95	2,91	0,2	0,2
6	-1,71	-2,76	-0,2	-0,2
9	2,31	4,32	0,3	0,3
10	-2,20	-4,20	-0,3	-0,3
13	2,57	5,79	0,4	0,4
14	-2,44	-5,40	-0,4	-0,4
17	2,83	7,11	0,5	0,5
18	-2,62	-6,90	-0,5	-0,5
21	3,54	10,53	0,8	0,75
22	-3,21	-10,35	-0,8	-0,75
25	4,02	13,83	1,0	1,0
26	-3,70	-13,80	-1,0	-1,0
29	5,00	20,82	1,5	1,5
30	-4,66	-20,73	-1,5	-1,5
33	5,51	27,69	2,0	2,0
34	-5,39	-27,60	-2,0	-2,0
37	5,90	34,56	2,5	2,5
38	-5,76	-34,50	-2,5	-2,5
41	6,14	41,49	3,0	3,0
42	-5,94	-41,49	-3,0	-3,0
45	6,26	48,33	3,5	3,5
46	-5,90	-48,30	-3,5	-3,5
49	6,34	55,05	4,0	4,0
50	-6,04	-55,02	-4,0	-4,0
53	6,32	69,03	5,0	5,0
54	-5,72	-68,97	-5,0	-5,0
57	5,96	82,95	6,0	6,0
58	-5,45	-82,44	-6,0	-6,0



Şekil 4.14. IE08 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.39. IE08 numunesinin belirli görece kat ötelemelerindeki durumu

IE08 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.22’de görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlakları %0,3 görece kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.40.a). Kolonlarda kesme çatlakları görülmemiştir. %0,3 görece kat ötelemesi değerinde kolon ve kiriş elemanlarının birleştiği köşede ayrılma görülmüştür (Görsel 4.40.b). Kirişlerde ilk eğilme çatlakları %3,0 görece kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.41.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlakları görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,3 görece kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.41.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile

kolon boyuna donatılarında ilk akma %3,0 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Tablo 4.22. IE08 numunesi için çatlak oluşumları

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	10	-2,20	-4,2	-0,3
Kolondaki ilk kesme çatlağı	-	-	-	-
Kirişteki ilk eğilme çatlağı	41	6,14	41,5	3,0
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	9	2,31	4,3	0,3
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	41	5,77	37,8	2,7
Kolon-Kiriş arası ayrılması	10	-2,20	-4,2	-0,3



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Kolon ve kiriş birleşiminin açılması

Görsel 4.40. IE08 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.41. IE08 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları

IE08 betonarme çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değeri ne kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Kolonların alt ve üst kısmında oluşan plastik mafsallar nedeni ile numune sünek bir davranış göstermiştir. Kesme hasarı gözlenmemiştir.

4.2.1. IE09

Boy/en oranı 1,72 olan IE09 numunesi uzun numuneler arasında TDY(2007)'de tarif edilen kısa kolon oluşumu nedeniyle kesme hasarı beklenen numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, kolonlar arasında kolon yüksekliğinin ¼'ü kadar boşluk bırakılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 11,7 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney esnasında %1,0 görelî kat ötelemesine kadar deney diğer numunelerde olduğu gibi yapılmıştır. %1,0 görelî kat ötelemesi değeri nde duvar Görsel 4.42'de görüldüğü gibi alt kısımdan çatlayıp çerçeveden ayrılarak dönmeye başlamıştır. Dolgu duvar döndüğü için kolonlara basınç bloğu olarak etki etmeyeceğinden dolayı davranışın gözlenmeyeceği düşünülüp, dönmeyi engelleyecek 45x45 mm boyutundaki ahşap pencere kasası boşluğa yerleştirilmiştir. Bu sebeple %1,0 görelî kat ötelemesi değeri nden sonra çerçeve dayanımında artış olmuştur. Boşluğa sonradan yerleştirilen ahşap çerçevenin kenar dikmeleri dolgu duvarların kenar kısmı ile betonarme kiriş arasında bir basınç çubuğu olarak çalışarak duvarın dönmesi sınırlandırılmıştır. Gerek ahşaptaki ezilme gerekse dolgu duvar ve betonarme kirişteki ezilme nedeniyle dolgu duvarın çerçeve içinde dönmesi tam anlamıyla sınırlandırılmamıştır. Fakat elde edilen kısmı sınırlama ile dolgu duvarda kısmi diyagonal basınç çubuğu oluşturulduğundan kısa kolonlarda kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur (Görsel 4.47).



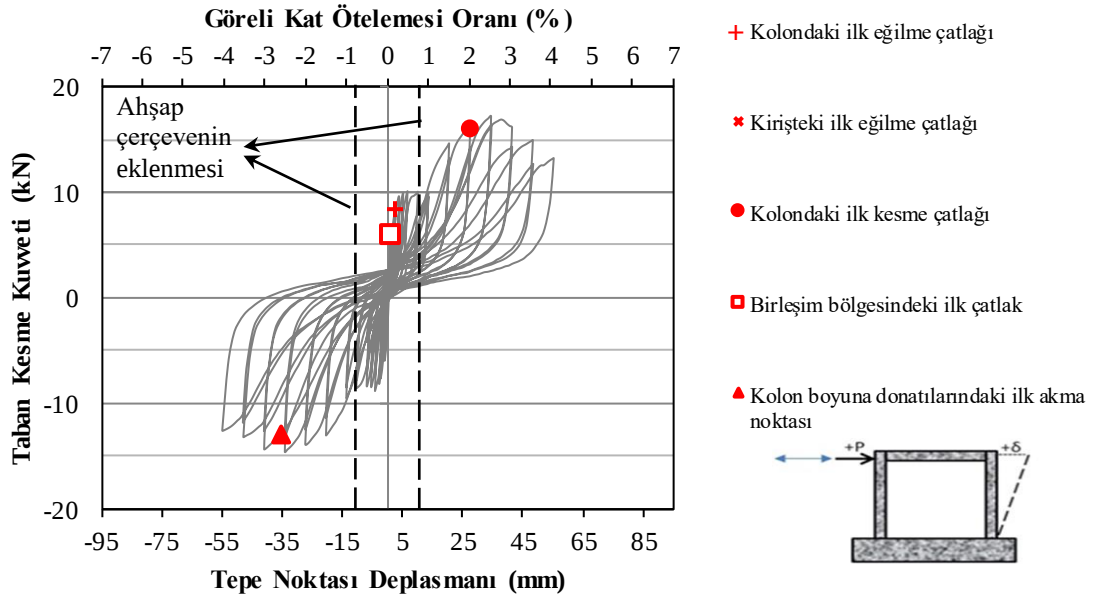
Görsel 4.42. IE09 numunesinde dolgu duvarda gözlenen dönme hareketi başlangıcı

Deney sonucunda Şekil 4.15'teki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Şekil 4.15'te görülen çerçeve dayanımındaki, ani artışın nedeni sonradan eklenen pencere kasasının yerleştirilmesi ile meydana gelen dayanımdaki artıştır. Görsel 4.43 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE09 numunesinde %4,0 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir. Olması beklenen kesme hasarı gözlemlendiği için, ileri deplasmanlarda toptan göçmeyi engellemek adına bu adımda deney sonlandırılmıştır.

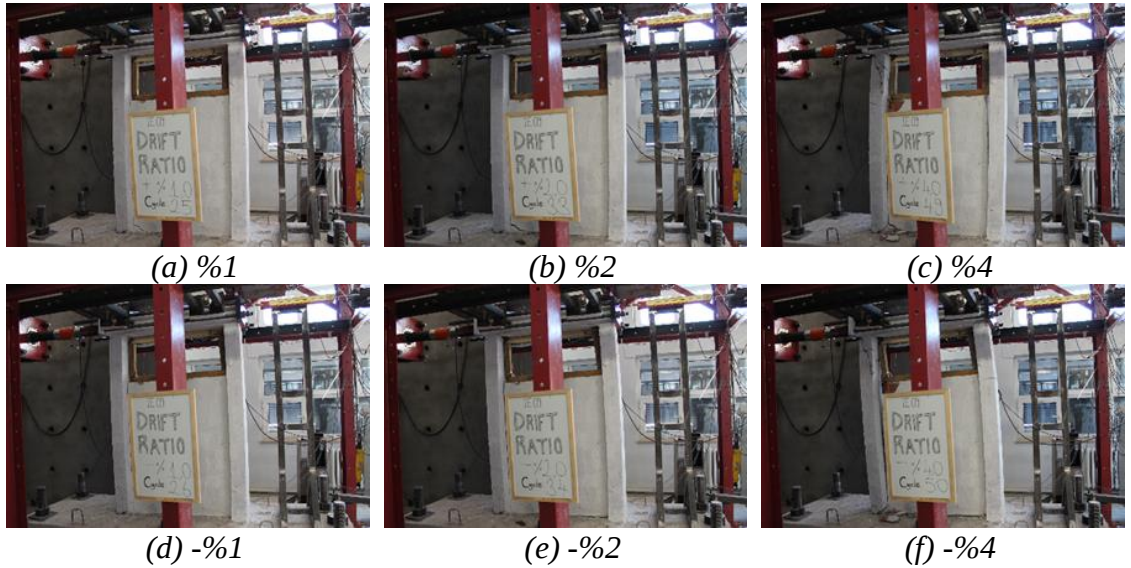
IE09 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.23'te özetlenmektedir. IE09 numunesinin itme yönündeki dayanımı %2,5 görelî kat ötelemesinde 17,15 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%2,5 görelî kat ötelemesinde -14,67 kN olarak ölçülmüştür. Ahşap pencere kasası eklenmesiyle davranışı değişen çerçeve numunesinin dayanımı, kasa olmasaydı 10 kN değerlerinde kalacak ve dolgu duvar hasarından sonra referans çerçevesine yakın bir dayanım ve davranış gösterecekti.

Tablo 4.23. *IE09 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri*

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	6,03	0,99	0,1	0,1
2	-5,91	-1,17	-0,1	-0,1
5	8,34	2,34	0,2	0,2
6	-7,65	-2,52	-0,2	-0,2
9	9,40	3,69	0,3	0,3
10	-8,87	-4,32	-0,3	-0,3
13	9,79	5,04	0,4	0,4
14	-8,40	-5,64	-0,4	-0,4
17	9,99	6,48	0,5	0,5
18	-8,37	-7,08	-0,5	-0,5
21	9,99	9,90	0,7	0,75
22	-8,60	-10,50	-0,8	-0,75
25	9,49	13,41	1,0	1,0
26	-9,57	-13,83	-1,0	-1,0
29	14,56	20,28	1,5	1,5
30	-13,10	-20,58	-1,5	-1,5
33	16,12	27,30	2,0	2,0
34	-13,94	-27,45	-2,0	-2,0
37	17,15	34,20	2,5	2,5
38	-14,67	-34,23	-2,5	-2,5
41	16,09	41,16	3,0	3,0
42	-14,42	-41,10	-3,0	-3,0
45	14,88	48,06	3,5	3,5
46	-13,28	-48,00	-3,5	-3,5
49	13,18	54,99	4,0	4,0
50	-12,69	-54,87	-4,0	-4,0



Şekil 4.15. IE09 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.43. IE09 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE09 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.24'te görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,2 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.44.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı ahşap pencere kasası eklendikten sonra (Görsel 4.46.c) %2,0 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.44.b). Kirişte herhangi bir eğilme ya da kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.45). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %3,5 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiği

hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.46.a) ve köşelerde dönmeye neden olan çatlamlar (Görsel 4.46.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.46.d’de görülmektedir.

Tablo 4.24. *IE09 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlak	5	8,34	2,3	0,2
Kolondaki ilk kesme çatlak	37	16,12	27,3	2,0
Kirişteki ilk eğilme çatlak	-	-	-	-
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	1	6,03	1,0	0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	46	-13,02	-35,6	-2,6

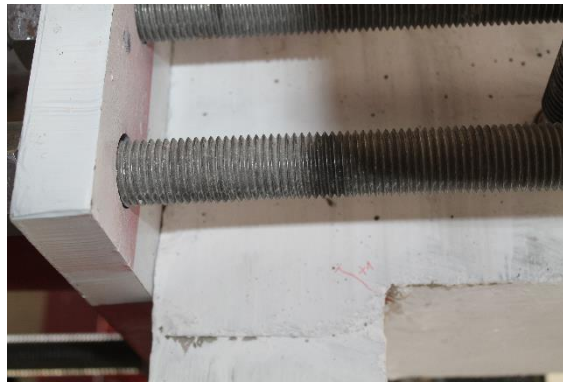


(a) Kolondaki ilk eğilme çatlak



(b) Kolondaki ilk kesme çatlak

Görsel 4.44. *IE09 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.45. *IE09 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda dönmeye neden olabilecek hasar



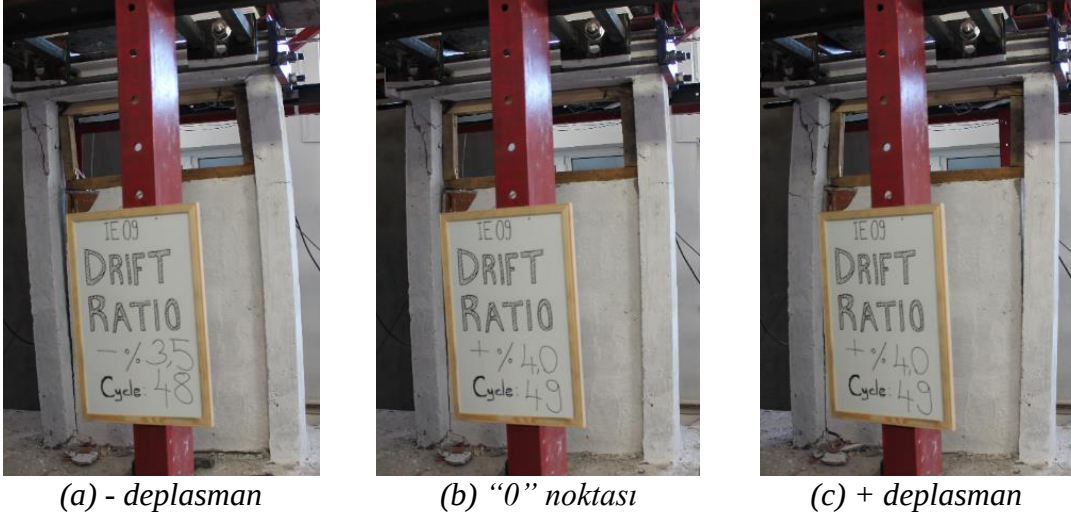
(c) Eklenen pencere kasası



(d) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.46. IE09 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE09 çerçeve numunesine %4 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Görsel 4.47’de görüldüğü gibi ahşap pencere kasası eklenmesine rağmen duvardaki dönme engellenememiştir. Bu dönme sebebiyle dolgu duvarlardan kolonlara kuvvet tam olarak aktarılamadığı için kısa kolon davranışı ileri deplasmanlarda gözlenebilmiştir.



Görsel 4.47. IE09 numunesinde gözlenen dolgu duvarın alttan dönme mekanizması

4.2.1. IE10

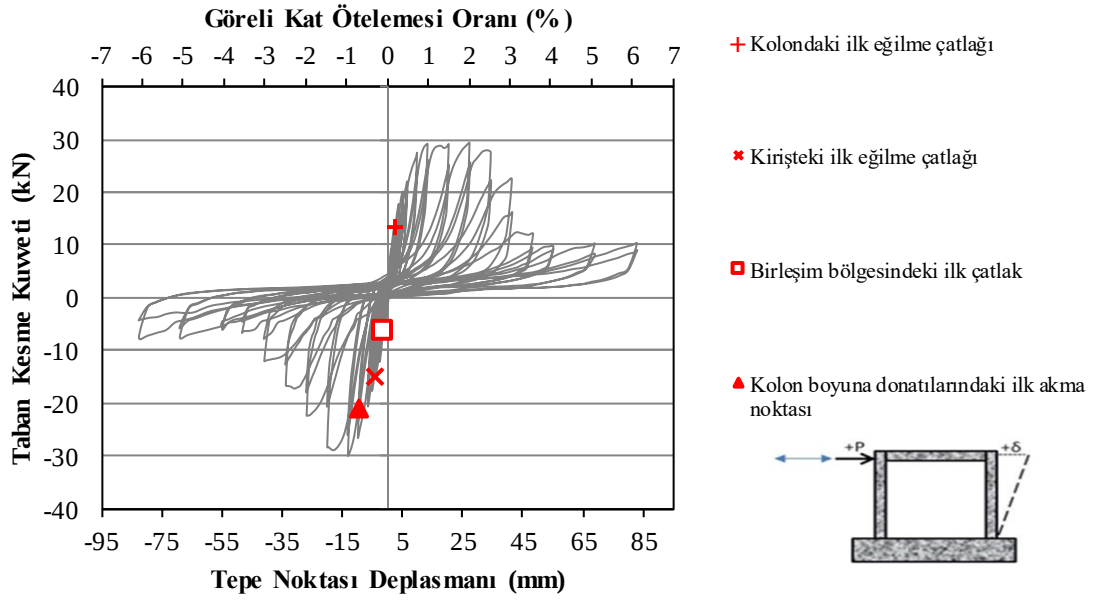
Boy/en oranı 1,72 olan IE10 numunesi uzun numuneler arasında dolgu duvar dayanımının iyi olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 11,4 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.16'daki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.48 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE10 numunesinde %6,0 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

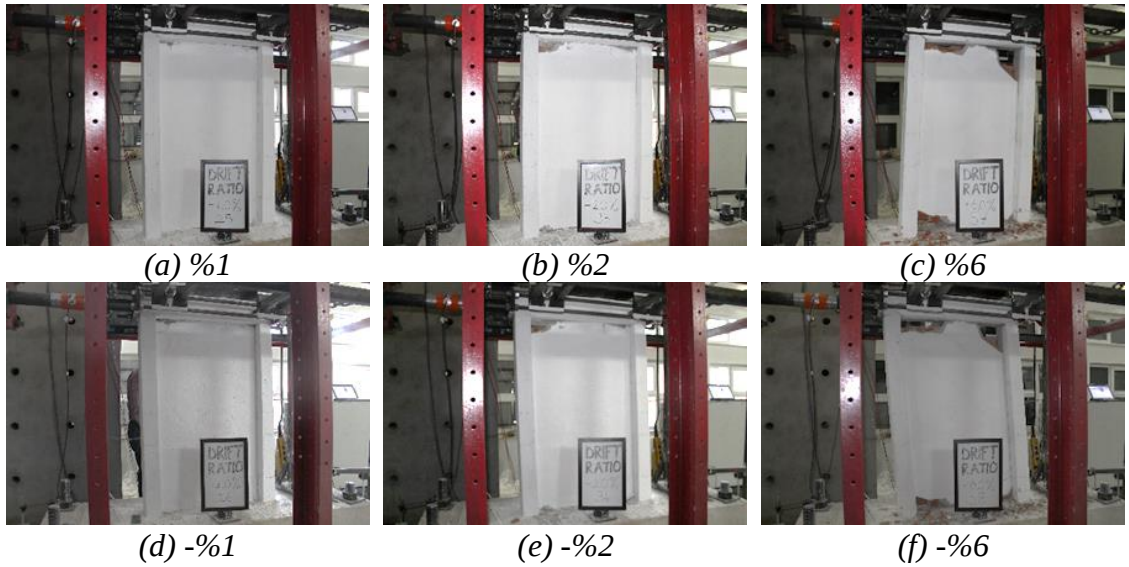
IE10 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.25'te özetlenmektedir. IE10 numunesinin itme yönündeki dayanımı %2 görelî kat ötelemesinde 29,05 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%1 görelî kat ötelemesinde -29,81 kN olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.25. *IE10 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri*

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	9,21	1,26	0,1	0,1
2	-6,86	-1,14	-0,1	-0,1
5	14,45	2,55	0,2	0,2
6	-11,82	-2,58	-0,2	-0,2
9	17,45	3,84	0,3	0,3
10	-14,88	-3,84	-0,3	-0,3
13	19,86	5,19	0,4	0,4
14	-17,35	-5,13	-0,4	-0,4
17	21,83	6,57	0,5	0,5
18	-20,22	-6,48	-0,5	-0,5
21	27,40	9,90	0,7	0,75
22	-26,32	-9,78	-0,7	-0,75
25	29,05	13,38	1,0	1,0
26	-29,81	-13,08	-1,0	-1,0
29	28,96	20,40	1,5	1,5
30	-28,24	-19,98	-1,5	-1,5
33	29,28	27,33	2,0	2,0
34	-22,29	-26,73	-1,9	-2,0
37	27,42	34,38	2,5	2,5
38	-16,54	-33,72	-2,5	-2,5
41	22,40	41,37	3,0	3,0
42	-11,94	-40,89	-3,0	-3,0
45	12,03	48,45	3,5	3,5
46	-6,61	-48,27	-3,5	-3,5
49	9,62	55,20	4,0	4,0
50	-6,00	-54,90	-4,0	-4,0
53	10,20	68,94	5,0	5,0
54	-7,45	-68,94	-5,0	-5,0
57	10,20	82,95	6,0	6,0
58	-7,52	-82,53	-6,0	-6,0



Şekil 4.16. IE10 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.48. IE10 numunesinin belirli görel kat ötelemelerindeki durumu

IE10 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.26’da görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,2 görel kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.49.a). Kolonlardaki kesme hasarı gözlenmemiştir. Kirişlerde ilk eğilme çatlağı %0,3 görel kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.50.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görel kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.50.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna donatılarında ilk akma %0,75 görel kat ötelemesine giderken gerçekleştiği

hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.51.a) ve köşelerde ezilmeler (Görsel 4.51.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.51.c’de görülmektedir.

Tablo 4.26. *IE10 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlak	7	13,43	2,6	0,2
Kolondaki ilk kesme çatlak	-	-	-	-
Kirişteki ilk eğilme çatlak	10	-14,88	-3,8	-0,3
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	4	-6,23	-1,2	-0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	23	-21,03	-9,7	-0,7



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlak

Görsel 4.49. *IE10 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlak

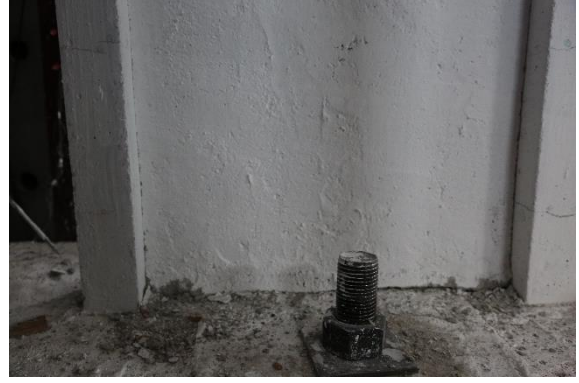


(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.50. *IE10 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Dönmeye neden olabilecek hasar



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.51. IE10 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE10 çerçeve numunesine ileri deplasmanlarda duvarda meydana gelen hasarla beraber dayanım düşmüştür, ancak %6 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Kolonların alt ve üst kısmında oluşan plastik mafsallar ve duvarın alt kısımdan dönmesi nedeni ile tüm çevrimler tamamlanmıştır. Duvarın alt ve üst köşelerinde lokal ezilme nedeni ile dolgu duvar malzemesi boşalmıştır. Her ne kadar kısa kolon oluşumuna neden olabilecek boşluk oluşmuş olsa da, duvar çerçeve içerisinde dönme hareketi yaptığından diyagonal basınç çubuğu oluşmamıştır. Böylelikle kolonlarda ilave kesme kuvveti oluşmadığından kesme hasarı gözlenmemiştir.

4.2.1. IE11

Boy/en oranı 1,72 olan IE11 numunesi uzun numuneler arasında TDY(2007)'de tarif edilen kısa kolon oluşumu nedeniyle kesme hasarı alacak numune olarak kullanılmıştır. IE09 numunesinde kesme hasarı, ahşap pencere kasası eklenmeden gözlenmediği için kolonlar arası bırakılacak boşluğun yüksekliği küçültülmüş ve ahşap kasa yerine metal kasa kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra

dolgu duvar imalatı, kolonlar arasında kolon yüksekliğinin 1/5'i kadar boşluk bırakılarak B grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Dolgu duvarın dönmesini engellemek için 40x40x2 mm boyutunda metal pencere kasası kullanılmıştır (Görsel 4.52). Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 12,4 MPa olarak belirlenmiştir.



Görsel 4.52. Boşluğa eklenen metal pencere kasası

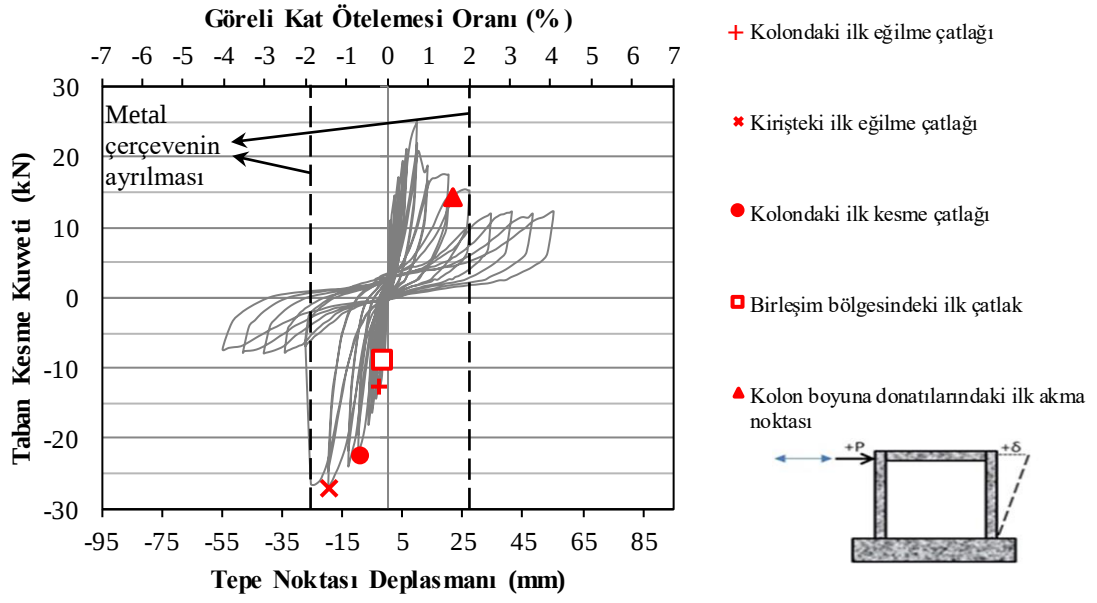
Deney sonucunda Şekil 4.17'deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Şekil 4.17'de metal pencere kasasının çerçeveden ayrılmasıyla dayanımdaki düşüş belirgin bir şekilde görülmektedir. Görsel 4.53 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE11 numunesinde %4,0 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

IE11 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.27'de özetlenmektedir. IE11 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,75 görelî kat ötelemesinde 24,98 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%1,5 görelî

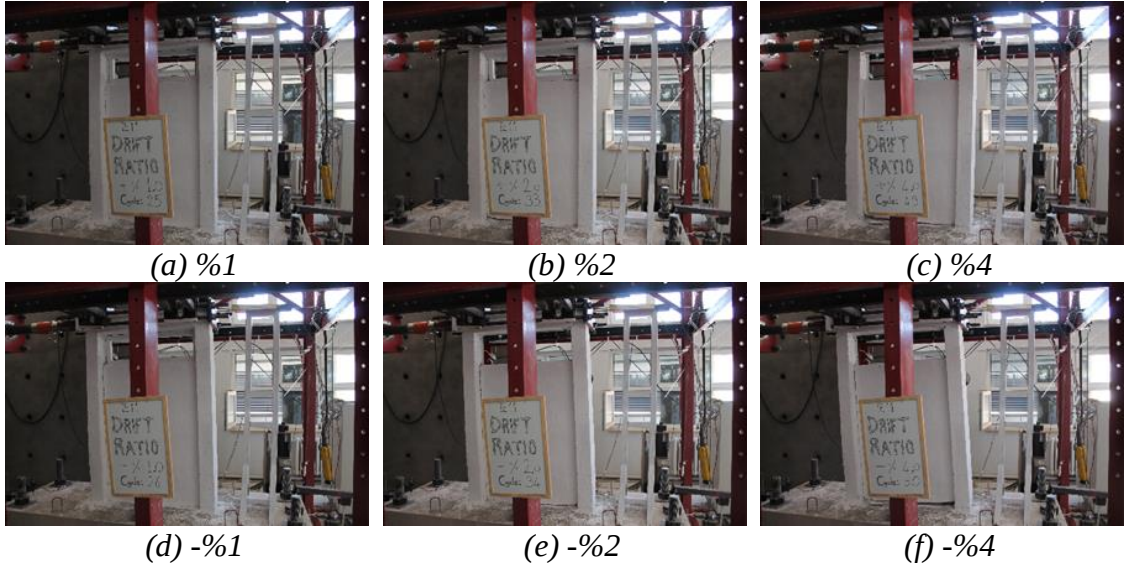
kat ötelemesinde -27,18 kN olarak ölçülmüştür. Deney yapılırken metal pencere kasası çekme yönünde -%2 görelî kat ötelemesi değeriinde duvardan ayrılarak düşmüştür. Şekil 4.17’de görülen yükteki ani düşüşün nedeni budur. Ayrıca %2,5 görelî kat ötelemesi değeriinden sonra hidrolik pistonun soğutma ünitesinde meydana gelen arıza nedeniyle deneyi tamamlamak adına çevrimler hedef deplasmanlara tek seferde gidilecek şekilde uygulanmıştır.

Tablo 4.27. IE11 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değeriieri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	10,98	1,02	0,1	0,1
2	-9,84	-1,14	-0,1	-0,1
5	14,51	2,40	0,2	0,2
6	-12,54	-2,46	-0,2	-0,2
9	16,80	3,72	0,3	0,3
10	-14,46	-3,78	-0,3	-0,3
13	19,15	5,13	0,4	0,4
14	-16,47	-5,10	-0,4	-0,4
17	20,98	6,36	0,5	0,5
18	-17,91	-6,33	-0,5	-0,5
21	24,98	9,81	0,7	0,75
22	-22,34	-9,72	-0,7	-0,75
25	18,76	13,41	1,0	1,0
26	-24,02	-13,02	-0,9	-1,0
29	17,44	20,34	1,5	1,5
30	-27,18	-19,71	-1,4	-1,5
33	15,15	27,06	2,0	2,0
34	-26,59	-25,44	-1,9	-2,0
37	11,87	34,44	2,5	2,5
38	-7,86	-34,14	-2,5	-2,5
41	12,16	41,40	3,0	3,0
42	-7,96	-41,13	-3,0	-3,0
45	11,82	48,33	3,5	3,5
46	-7,90	-48,03	-3,5	-3,5
49	12,16	55,26	4,0	4,0
50	-7,39	-54,78	-4,0	-4,0



Şekil 4.17. IE11 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.53. IE11 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE11 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.28’de görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,2 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.54.a). Kolonlardaki ilk kesme çatlağı %0,7 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.54.b). Kirişlerde ise ilk eğilme çatlağı %1,4 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.55.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde hasar %0,1 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.55.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyunca donatılarında ilk akma %2,0 görelî kat

ötelemesine giderken gerçekleştiği hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.56.a) ve köşelerde duvarın dönmesine neden olacak hasarlar (Görsel 4.56.b) gözlenmiştir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.56.c’de görülmektedir.

Tablo 4.28. *IE11 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlak	6	-12,54	-9,7	-0,2
Kolondaki ilk kesme çatlak	22	-22,34	-9,7	-0,7
Kirişteki ilk eğilme çatlak	30	-27,18	-19,7	-1,4
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen	4	-8,99	-1,2	-0,1
Kolon boyuna donatılarındaki ilk	33	14,35	22,1	1,6



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlak



(b) Kolondaki ilk kesme çatlak

Görsel 4.54. *IE11 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlak



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.55. *IE11 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Dönmeye neden olabilecek hasar



(c) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.56. IE11 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE11 betonarme çerçeve numunesine %3,5 görelî kat ötelemesi değeri kadar çevrimleri uygulanabilmiştir. Metal çerçevenin duvara verdiği hasarla ve duvarın düzlem dışına itmeye çalışmasıyla dolgu duvarın dönmeginin engellendiğı Görsel 4.57’de görölmektedir. Buna rağmen Görsel 4.58 ise göröldüğü gibi metal pencere kasası da tam olarak duvardaki dönmeyi engelleyememiştir. Bu dönme sebebiyle de dolgu duvarlardan kolonlara kuvvet tam olarak aktaramadığı için kısa kolon davranışı ileri deplasmanlarda gözlenebilmiştir.



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

Görsel 4.57. IE11 numunesinde metal pencere kasasının çalışması



(a) - deplasman

(b) "0" noktası

(c) + deplasman

Görsel 4.58. IE11 numunesinde gözlenen dolgu duvarın alttan dönme mekanizması

4.2.1. IE12

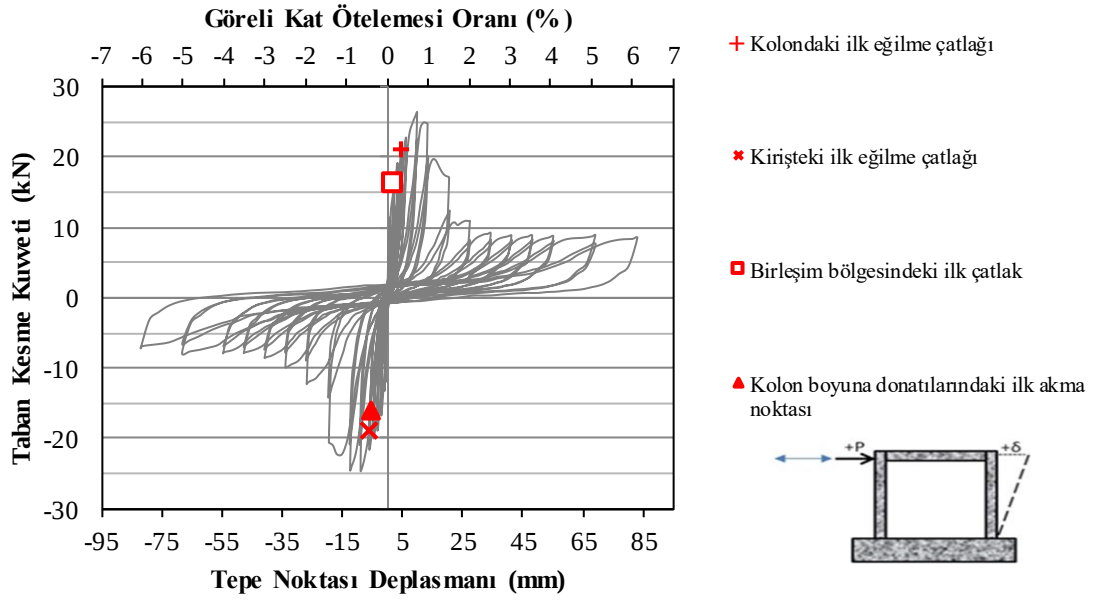
Boy/en oranı 1,72 olan IE12 numunesi uzun numuneler arasında dolgu duvar dayanımının orta seviyede olduğu numune olarak kullanılmıştır. Bu nedenle betonarme çerçeve üretildikten sonra dolgu duvar imalatı, boşluk oranı az olan tuğla kullanılarak C grubu harç ve sıva ile üretilmiştir. Bu numune için deney günü yapılan beton basınç dayanım testine göre ortalama beton basınç dayanımı 12,1 MPa olarak belirlenmiştir.

Deney sonucunda Şekil 4.18'deki elastik olmayan çevrimsel davranış elde edilmiştir. Tüm çerçevelerde olduğu gibi bu numunede de elastik olmayan çevrimsel davranış, hedeflenen deplasmanlara iki çevrimde gidilirken belirli aralıklarla ara değerlerin okunması ile elde edilmiştir. Görsel 4.59 ile betonarme çerçevelerin %1,0, %2,0 ve uygulanabilen son çevrimden sonraki durumları görülmektedir. IE12 numunesinde %6,0 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimler uygulanabilmiştir.

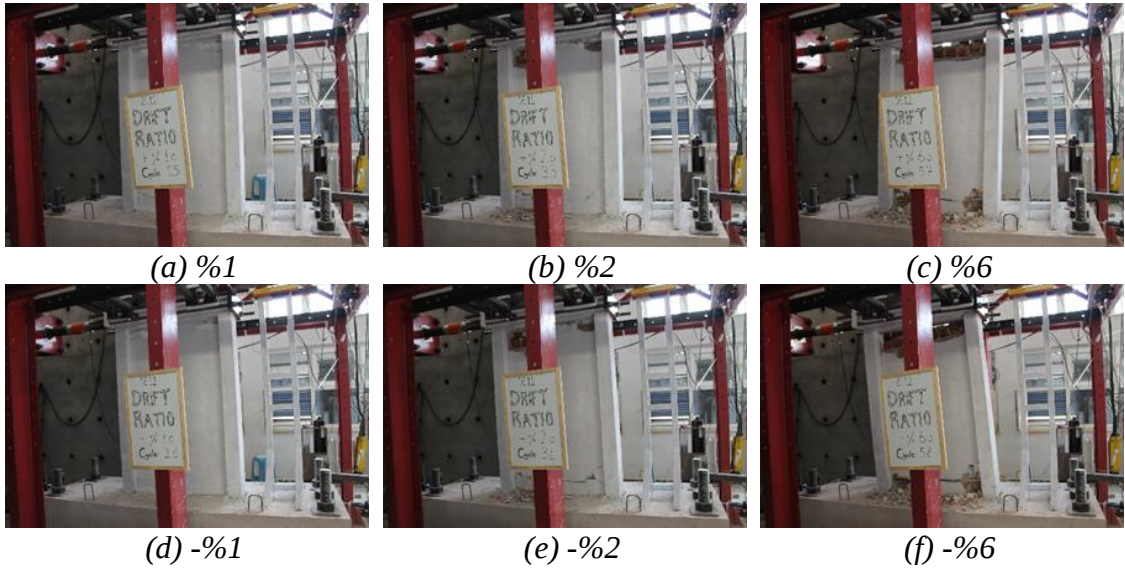
IE12 çerçeve numunesinin, hedef deplasmanlara gidilen ilk çevrimlerinin tepe noktası deplasmanları ile taban kesme kuvveti değerleri itme ve çekme olmak üzere her iki yön için Tablo 4.29'da özetlenmektedir. IE12 numunesinin itme yönündeki dayanımı %0,75 görelî kat ötelemesinde 26,29 kN iken çekme yönündeki dayanımı -%0,75 görelî kat ötelemesinde -24,59 kN olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.29. IE12 numunesi için birinci çevrim yük-deplasman değerleri

Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)	Hedef Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
1	11,24	0,81	0,1	0,1
2	-12,05	-0,69	-0,1	-0,1
5	16,24	2,07	0,2	0,2
6	-16,50	-2,07	-0,2	-0,2
9	18,73	3,39	0,2	0,3
10	-18,92	-3,33	-0,2	-0,3
13	21,23	4,77	0,3	0,4
14	-20,01	-4,62	-0,3	-0,4
17	22,61	6,15	0,4	0,5
18	-21,34	-6,09	-0,4	-0,5
21	26,29	9,84	0,7	0,75
22	-24,59	-8,97	-0,7	-0,75
25	24,66	13,32	1,0	1,0
26	-24,52	-12,45	-0,9	-1,0
29	17,01	20,46	1,5	1,5
30	-20,58	-19,50	-1,4	-1,5
33	10,88	27,39	2,0	2,0
34	-12,32	-26,88	-2,0	-2,0
37	9,13	34,29	2,5	2,5
38	-9,88	-33,96	-2,5	-2,5
41	8,80	41,19	3,0	3,0
42	-8,56	-40,89	-3,0	-3,0
45	8,76	48,09	3,5	3,5
46	-7,88	-47,79	-3,5	-3,5
49	8,66	55,11	4,0	4,0
50	-7,95	-54,66	-4,0	-4,0
53	8,82	69,09	5,0	5,0
54	-7,91	-68,31	-5,0	-5,0
57	8,46	83,04	6,0	6,0
58	-7,23	-82,08	-6,0	-6,0



Şekil 4.18. IE12 Elastik olmayan çevrimsel davranış



Görsel 4.59. IE12 numunesinin belirli görelî kat ötelemelerindeki durumu

IE12 numunesinde çatlak oluşumları Tablo 4.30'da görülmektedir. Buna göre kolonlardaki ilk eğilme çatlağı %0,3 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.60.a). Kolonlarda kesme hasarı gözlenmemiştir. Görsel 4.60.b'de dolgu duvar elemanının köşe noktasına uyguladığı basınçla sıvanın kabardığı görülmektedir. Kirişte ilk eğilme çatlağı %0,4 görelî kat ötelemesinde görülmüştür (Görsel 4.61.a). Kirişte herhangi bir kesme çatlağı görülmemiştir. Birleşim bölgesinde %0,2 görelî kat ötelemesinde kılcal çatlak olarak gözlenmiştir (Görsel 4.61.b). Birim deformasyon ölçer verileri ile kolon boyuna

donatılarında ilk akma %0,75 görelî kat ötelemesine giderken gerçekleştiğı hesaplanmıştır. Duvarda ilerleyen çevrimlerde kolondan ayrılmalar (Görsel 4.62.a) ve köşelerde dolgu duvarın dönmesine neden olacak hasar (Görsel 4.62.b) gözlenmiştir. Görsel 4.62.c’de duvarda kayma hareketine benzer bir çatlak oluşmuştur. Ancak çevrimler düşünöldüğünde çatlağın yarısı itme hareketinde oluşmuş, diğêr kısmı ise çekme hareketinde oluşmuştur. Hangi hedef deplasman yönünde oluştuysa o çevrimde çatlak daha geniş olduğı için daha belirgin olarak gözlenebilmektedir. Deney tamamlandığındaki dolgu duvarın son durumu Görsel 4.62.d’de görölmektedir.

Tablo 4.30. *IE12 numunesi için çatlak oluşumları*

	Çevrim No	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Noktası Deplasmanı (mm)	Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
Kolondaki ilk eğilme çatlağı	13	21,23	4,8	0,3
Kolondaki ilk kesme çatlağı	-	-	-	-
Kirişteki ilk eğilme çatlağı	20	-18,84	-6,1	-0,4
Birleşim bölgesinde ilk gözlenen çatlak	5	16,24	2,1	0,2
Kolon boyuna donatılarındaki ilk akma noktası	22	-16,15	-5,8	-0,4



(a) Kolondaki ilk eğilme çatlağı



(b) Köşeye uygulanan basınç bloğı

Görsel 4.60. *IE12 numunesinde kolonlarda gözlenen ilk çatlak oluşumları*



(a) Kirişteki ilk eğilme çatlağı



(b) Birleşim bölgesindeki ilk çatlak

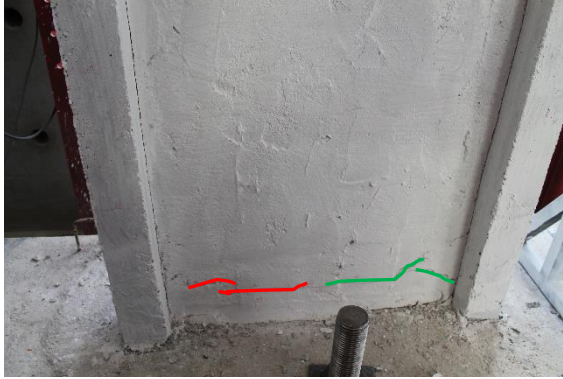
Görsel 4.61. IE12 numunesinde kiriş ve birleşim bölgelerinde gözlenen ilk çatlak oluşumları



(a) Duvarda gözlenen ayrılma



(b) Duvarda gözlenen dönmeye neden olabilecek hasar



(c) Duvar alt kısımdaki çatlama mekanizması



(d) Son çevrimdeki duvar hasarı

Görsel 4.62. IE12 numunesinde duvarda gözlenen hasar oluşumları

IE12 betonarme çerçeve numunesine %6 görelî kat ötelemesi değerine kadar çevrimleri uygulanabilmekmiştir. IE10 numunesi ile kıyaslandığında, IE12 numunesinin duvarlarında daha ileri seviyede çatlaklar ve ezilmeler oluşmuştur. Duvar kenar ve köşeleri hasar gördükten sonra, duvar betonarme çerçeve düzlemi içerisinde dönerek

betonarme çerçeveye ilave yük aktarımına neden olmamıştır. Duvarın dönmesiyle kolonlarda kesme hasarı gözlenmemiştir.

4.3. Çerçeve Deneyi Sonuçlarının Genel Özeti

Toplam 15 adet betonarme çerçeve numunesinin deneyleri tamamlandıktan sonra, tezin konusu olan boşluksuz, tam dolu dolgu duvarlı olarak imal edilmesine rağmen, kısa kolon oluşumuna benzer bir davranış, boy/en oranı 0,58 olan IE03, IE05, IE07, IE13 ve IE14 numunelerinde gözlenmiştir (Görsel 4.63). Kısa numunelerden tüm B ve C grubu harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarlı numunelerde kısa kolon oluşumu gözlenmiştir. Uzun numunelerin tümünde ve kısa numunelerden ise kötü harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarlı olanlarda bu davranış gözlenmemiştir. İyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilen numunelerde dolgu duvardaki hasar sadece köşelerde gözlenmiştir. IE13 numunesi orta dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş numunedir. Bu numunede dolgu duvardaki hasar duvarın tamamında gözlene de kolonlarda kısa kolon oluşumları ileri deplasmanlarda gözlenebilmiştir.



Görsel 4.63. *Beklenmeyen kısa kolon hasarı gözlenen numuneler*

Tablo 4.31 ile numunelerin dolgu duvar imalat özellikleri ve malzeme deney sonuçları özetlenmiştir. Beton, harç ve sıva basınç dayanımları, çerçeve deneyi günü yapılan ortalama dayanım değerleridir. Panel deneyi sonuçlarında ise dolgu duvarın kırıldığı en büyük yük değeri kullanılmıştır.

Tablo 4.31. Betonarme numune özellikleri

Numune Adı	Boy/En Oranı	Tuğla Boşluk Oranı	Harç/Sıva Grubu	Ortalama Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Harç/Sıva Basınç Dayanımı (MPa)	Dolgu Duvar Kırılma Yüğü (kN)
IE01	0,58	-	-	10,9	-	-
IE02	0,58	%42	B	9,4	3,9	52,27
IE03	0,58	%42	B	11,0	4,8	36,07
IE04	0,58	%42	D	9,5	0,9	16,03
IE05	0,58	%62	B	9,7	3,9	47,09
IE06	0,58	%62	D	9,4	0,7	23,05
IE07	0,58	%42	B	9,8	4,5	59,29
IE13	0,58	%42	C	11,1	1,5	36,91
IE14	0,58	%42	B	10,3	4,8	50,60
IE02_G	0,58	-	-	-	-	-
IE08	1,72	-	-	11,6	-	-
IE09	1,72	%42	B	11,7	5,0	58,28
IE10	1,72	%42	B	11,4	4,2	38,74
IE11	1,72	%42	B	12,4	3,6	-
IE12	1,72	%42	C	12,1	2,1	38,08

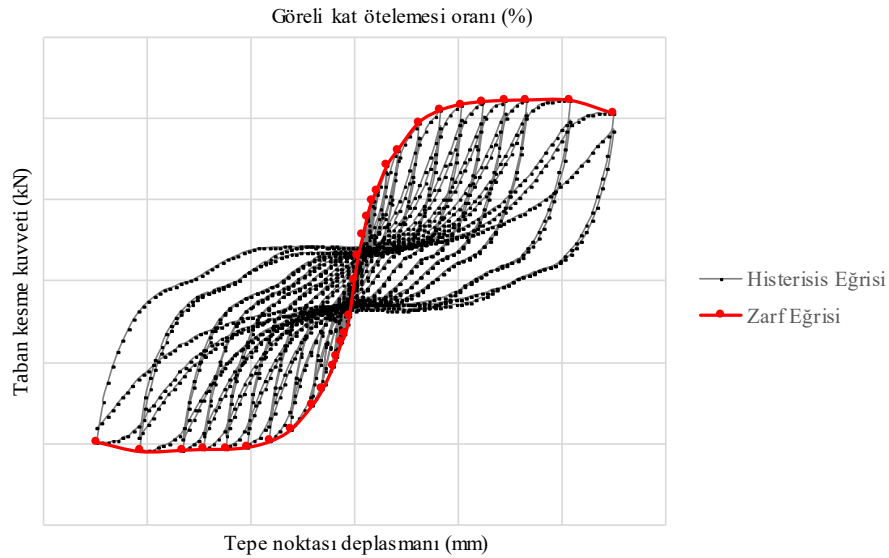
Dayanımı kötü harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarlı numunelerde, dolgu duvar dayanımını kaybedip kırılrsa da, kolonun hareketini kısıtlayacak kalan kısım yine dayanımını kaybederek kısa kolon oluşumu gözlenmemektedir. Uzun numunelerde ise dolgu duvar dayanımından bağımsız olarak, duvarın köşe bölgeleri ezilerek çerçeve içinde rijit blok olarak dönme hareketi yaptığı gözlenmiştir. Dolayısıyla duvarlarda basınç çubuğu oluşmadığından duvardan kolonlara ilave kesme kuvveti aktarılmamaktadır. Bu durumda boy/en oranı 1,72 olan numunelerde beklenmeyen kısa kolon oluşumu ile karşılaşılmayacağı sonuncunu doğurmaktadır. DBYBHY (2007)'ye göre kısa kolon tanımına uyacak şekilde üretilen uzun numunelerde bile boşluk kısmında pencere kasası olmadığında ya da kullanılan pencere kasası yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmadığında duvarda yine dönme hareketi gözlenmiştir. Bu hareket sonucu olması beklenen kısa kolon oluşumu gözlenmemiştir. Duvarın dönmesini engelleyen pencere kasasının eklenmesi ile çerçeve hasar mekanizması, sınırlı seviyede de olsa kısa kolon hasarına dönüşmüştür.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

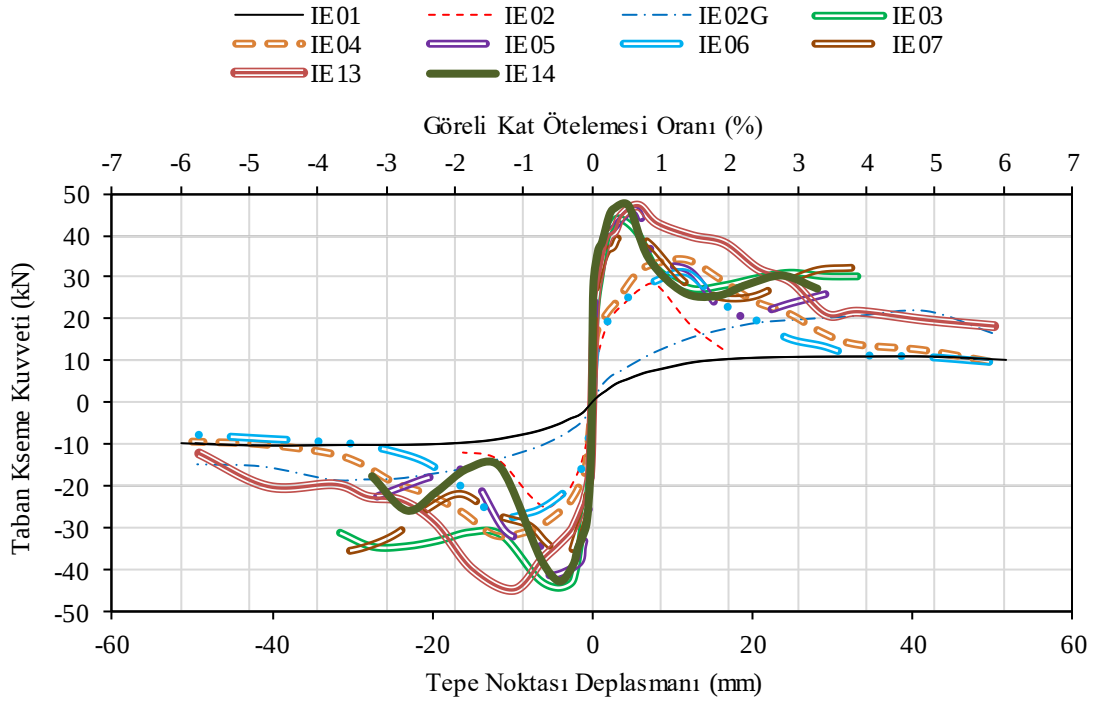
Deney esnasında yükleme protokolü ile belirlenen hedef deplasmana ulaşılırken, hidrolik pistonun veri toplama cihazına belli aralıklarla sinyal göndermesiyle o andaki yüke karşılık tepe noktası deplasman grafikleri ile numunelerin elastik olmayan çevrimsel davranışı olan histerisis eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu eğrilerin sonucunda farklı dolgu duvar özelliklerine sahip betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji sönümleme kapasiteleri karşılaştırılarak numunelerin genel çerçeve davranışları hakkında bilgi edinilmiştir.

5.1. Dayanım

Çerçeve numunelerinin elastik olmayan çevrimsel davranışlarının elde edilmesiyle, çerçevenin dayanımı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Elde edilen histerisis eğrilerinin her bir hedef görelî kat öteleme oranı için gidilen ilk çevrimdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile zarf eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 5.1). Oluşturulmuş zarf eğrileri ile çerçeve numunesinin dayanımı, en yüksek dayanıma ulaştığı andaki görelî kat öteleme oranı ve uygulanabilen en büyük görelî kat öteleme oranı değerleri hakkında bilgiler okunabilmektedir. Kısa numuneler için zarf eğrileri Şekil 5.2’de görülmektedir. Tablo 5.1 ile kısa çerçeve numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri ve kapasiteye ulaştığı andaki görelî kat öteleme oranları görülmektedir. Buna göre kısa numuneler için yatay yük taşıma kapasitesi en yüksek olan numune 47,2 kN değerine %0,6 görelî kat ötelemesinde ulaşmış IE14 numunesidir.



Şekil 5.1. Çerçeve numuneleri zarf eğrisi



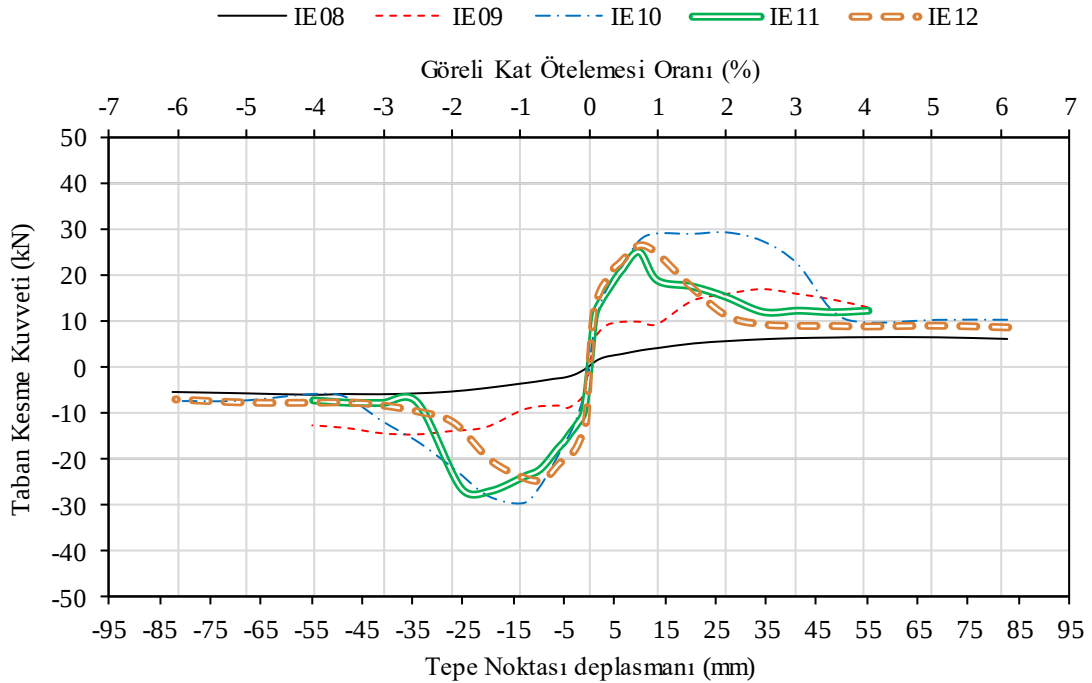
Şekil 5.2. Kısa numunelerin zarf eğrileri

Kısa çerçeve numunelerinde, çerçeve dayanımını dolgu duvar kullanılıp kullanılmaması önemli ölçüde etkilemektedir. İyi dayanımlı harç ve sıva ile tam dolu dolgu duvarlı olarak üretilen numunelerde çerçeve dayanımının, %0,6 görelî kat ötelemesi değerinde referans numunesine oranla yaklaşık 4 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Boşluklu dolgu duvar ile üretilen numunede ise %1 görelî kat ötelemesi değerinde 2,5 kat daha fazladır. Harç ve sıva dayanımı azaldıkça dayanımdaki düşüş yavaş yavaş gözlenmektedir. Referans çerçevesinde ise dayanım azalması yok denecek kadar azdır. Yine sıva kalitesinin artmasıyla deneyde uygulanabilen en büyük hedef görelî kat ötelemesi değerlerinde azalmalar görülmüştür. Kötü ve orta dayanımlı harç ve sıva ile üretilen numuneler ile duvarsız olarak üretilen numunelere %6 görelî kat ötelemesi değerine kadar hedef deplasmanlar uygulanmıştır.

Tablo 5.1. Kısa numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri

Çerçeve Numunesi	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)	Kapasite Anındaki Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
IE01	11,1	4,0
IE02	28,2	1,0
IE03	44,3	0,6
IE04	34,2	1,4
IE05	46,1	0,7
IE06	31,3	1,4
IE07	40,0	0,6
IE02_G	21,8	5,1
IE13	47,1	0,7
IE14	47,2	0,6

Uzun numuneler için oluşturulmuş zarf eğrileri Şekil 5.3'te görülmektedir. Tablo 5.2 ile uzun çerçeve numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerini ve kapasiteye ulaştığı andaki görelî kat öteleme oranları görülmektedir. Buna göre uzun numuneler için yatay yük taşıma kapasitesi en yüksek olan numune 29,8 kN değerine %1 görelî kat ötelemesinde ulaşmış IE10 numunesidir.



Şekil 5.3. Uzun numunelerin zarf eğrileri

Uzun çerçeve numunelerinde de, çerçeve dayanımı dolgu duvarın varlığından etkilenmektedir. İyi dayanımlı harç ve sıva ile tam dolu dolgu duvarlı olarak üretilen numune çerçeve dayanımının, %1 görelî kat ötelemesi değeriinde referans numunesine oranla yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Boşluklu dolgu duvar ile üretilen numunede metal pencere kasalı olanda 4,5 kat, ahşap pencere kasalı olanda ise 3 kat daha fazla dayanım gözlenmiştir. Uzun numunelerden sadece kısa kolon oluşumu gözlenmesi beklenen, kolonlar arasında kiriş boyunca, pencere boşluklu olarak üretilen numunelerde %6 görelî kat ötelemesi değeriine kadar olan hedef deplasmanlara ulaşılammıştır.

Tablo 5.2. *Uzun numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri*

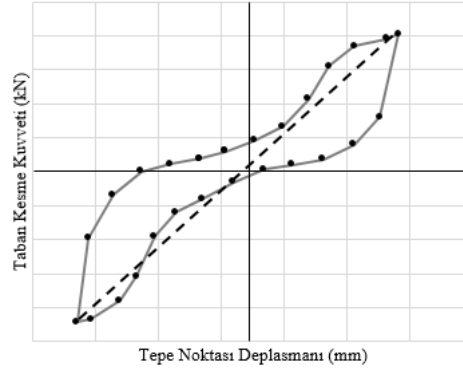
Çerçeve Numunesi	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)	Kapasite Anındaki Görelî Kat Ötelemesi Oranı (%)
IE08	6,3	4,0
IE09	17,1	2,5
IE10	29,8	1,0
IE11	27,2	1,4
IE12	26,3	0,7

Sonuç olarak dolgu duvar kullanılan numunelerde sıva ve harç dayanımı kısa ve uzun numunelerde dayanımı önemli oranda artırmaktadır. Ancak; dolgu duvarların komşu olduğu kolonlarda önemli seviyede kesme talebi oluşturması ve kısa kolon hasarına benzer bir hasar mekanizması nedeniyle yatay deplasman kapasitelerinde kısa numunelerde azalmalara neden olsa da, uzun numunelerde etkili olmamıştır.

5.2. Rijitlik

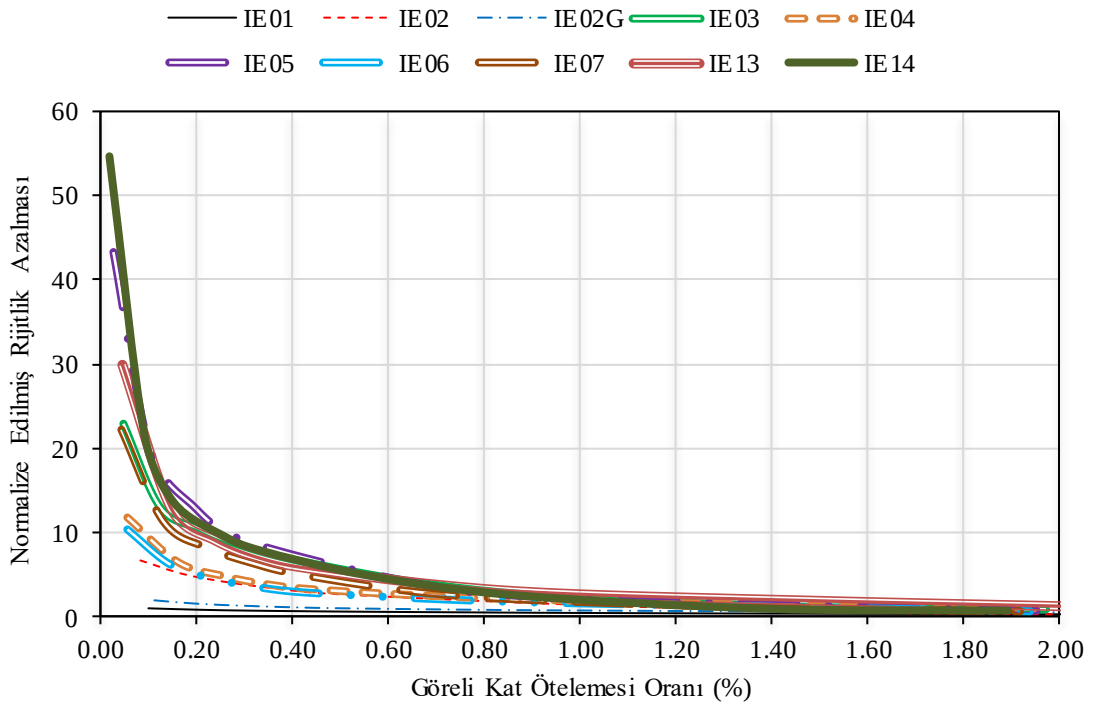
Çerçeve numunelerine hedef deplasmanlar uygulandıkça oluşan çatlaklar ve plastik deformasyonlar sonucunda rijitlik değeriinde azalmalar meydana gelmektedir. Her numune için 3 farklı rijitlik hesabı yapılmıştır. Birincisi her çevrimdeki rijitlik hesabı, ikincisi gidilen ilk hedef deplasmanlar için başlangıç rijitliği ve üçüncüsü ise yatay yük taşıma kapasitesinin %60 değeriine karşılık gelen sekant rijitliğidir.

Çevrimlerdeki rijitlikler, belirlenen hedef deplasmanın pozitif yönde ilk çevrimine gidilirken ulaşılan en büyük taban kesme kuvvetine karşılık gelen nokta ve negatif yöndeki hedef deplasmana ulaşılan andaki taban kesme kuvvetine karşılık gelen nokta arasındaki doğrunun eğimiyle hesaplanmıştır (Şekil 5.4).



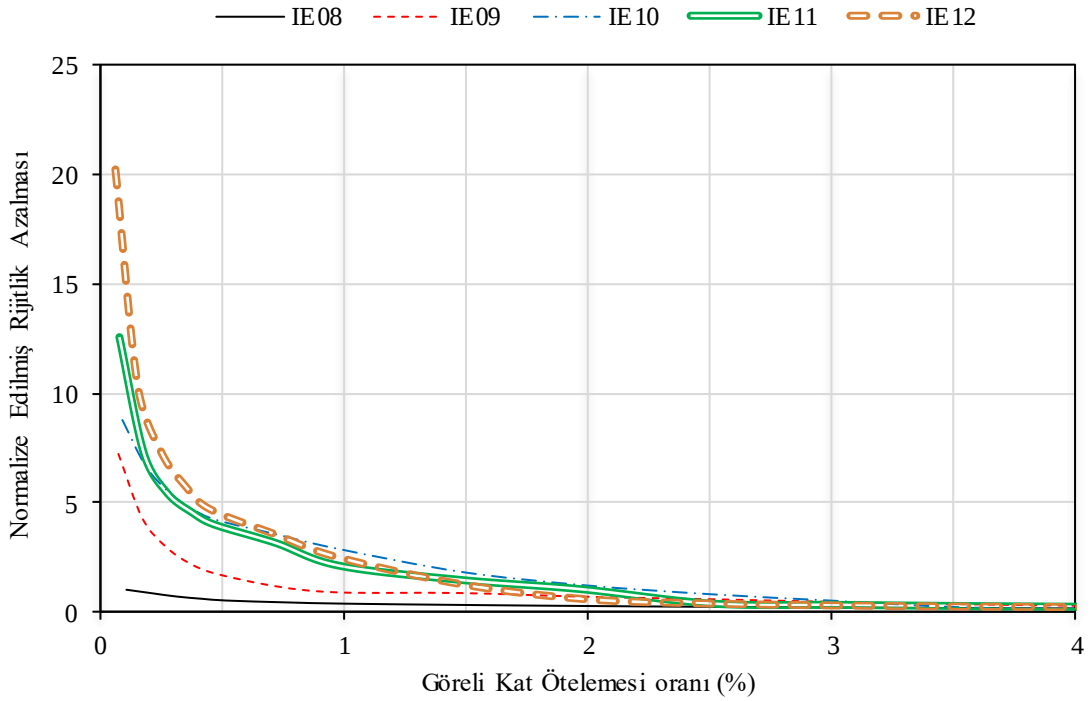
Şekil 5.4. Çevrimlerdeki rijitlik hesabı

Her çevrim için hesaplanan rijitlikler, kısa ve uzun numuneler için ayrı ayrı referans çerçevesinin ilk çevrimindeki başlangıç rijitliğine bölünmesi ile normalize edilerek rijitlik azalmaları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.5'te kısa numuneler için referans çerçeveye göre normalize edilmiş rijitlik azalma grafikleri verilmiştir. Kısa numunelerde başlangıç rijitliği en fazla olan IE14 numunesidir. Dolgu duvarın, sıva ve harç dayanımlarının iyi olmasıyla referans çerçeveye göre 55 kat daha rijit başlayan çerçevede rijitlikler hızla azalarak daha ilk çevrimlerde diğer çerçevelere yaklaşmıştır. Dolgu duvarı bulunmayan onarılmış numune ve referans çerçevesi dışındaki tüm numunelerde %1 görel kat ötelemesi değerinde rijitlikler birbirine yaklaşmıştır.



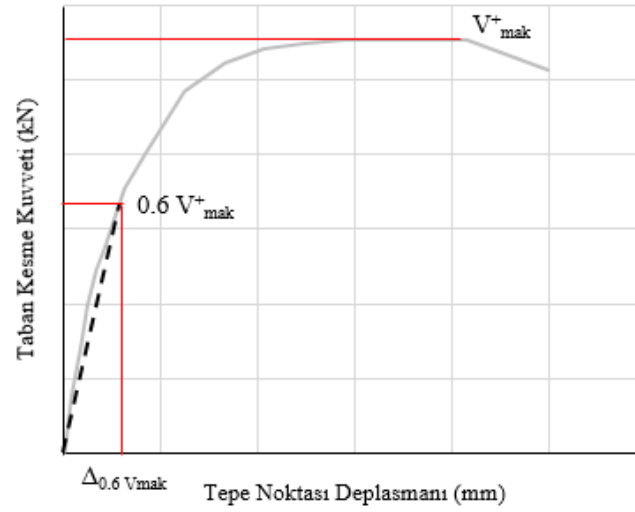
Şekil 5.5. Kısa numunelerin rijitlik azalması grafikleri

Şekil 5.6’da uzun numuneler için referans çerçeveye göre normalize edilmiş rijitlik azalma grafikleri verilmiştir. Uzun numunelerde başlangıç rijitliği en fazla olan numune referans çerçeveye oranla 20 kat fazla olmasıyla IE12 numunesidir. IE09 numunesinde deney esnasında ahşap pencere kasasının eklenmesi ile rijitlik azalması değerinde dalgalanma gözlenmektedir. IE11 numunesinde ise metal pencere kasası ve onun düzlem dışı hareketine bağlı olarak yine dalgalanmalar söz konusudur. Dolgu duvarlı imal edilmiş uzun numunelerde çerçeve rijitlikleri %2 görelî kat ötelemesi değerlerinde birbirlerine yaklaşmıştır.



Şekil 5.6. Uzun numunelerin rijitlik azalması grafikleri

Tüm numuneler için sekant rijitliği ise çerçeveye uygulanan pozitif yöndeki yatay deplasmanların çerçevenin yük almaya devam ettiği kısımda maksimum dayanımının %60 dayanımına karşılık gelen deplasman değeri doğrusunun eğimi ile hesaplanmıştır (Şekil 5.7). Tüm çerçeveler için hesaplanan sekant rijitliği, çerçevelerin idealleştirilmiş davranış hesaplarında kullanılacaktır.



Şekil 5.7. Sekant rijitliği hesabı

Tablo 5.3'te kısa ve Tablo 5.4'te uzun numuneler için başlangıç ve sekant rijitlik değerleri, numune dayanımının %60 değeri ($0,6 V_{mak}^+$) ve bu değerin numunenin yük almaya devam ettiği kısımdaki deplasman değerleri ($\Delta_{0,6 V_{mak}}$) görülmektedir. IE09 numunesinin sekant rijitlik değerinin çok düşük gelmesi deney esnasında eklenen ahşap pencere kasasından kaynaklanmaktadır. Kasa eklenmesiyle artan çerçeve dayanımı ile hesaplanan deplasman değeri ve buna karşılık gelen yük değeri kasasız alana denk geldiği için düşük kalmıştır. Bu sebeple sekant rijitlik değeri tutarlı bir değer olmamaktadır. Tüm numunelerde sekant rijitlik değerleri, başlangıç rijitlik değerlerinden daha az hesaplanmıştır. Çerçeve numunelerinde, dolgu duvarın boşluklu ya da boşluksuz olması, harç ve sıva dayanımları çerçeve rijitliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

Tablo 5.3. Kısa numuneler için başlangıç ve sekant rijitlikleri

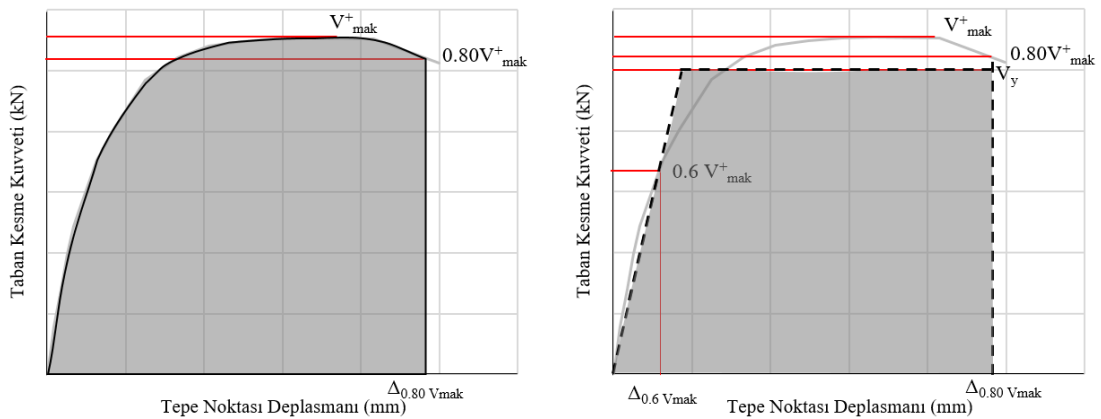
Çerçeve Numunesi	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Sekant Rijitliği (kN/mm)	$0,6 V_{mak}^+$ (kN)	$\Delta_{0,6 V_{mak}}$ (mm)
IE01	2,1	1,2	6,6	5,8
IE02	14,4	10,6	16,9	1,6
IE03	48,7	35,6	26,5	0,7
IE04	25,1	12,5	20,5	1,6
IE05	91,7	51,4	27,7	0,5
IE06	22,0	11,4	18,8	1,7
IE07	47,3	71,6	24,0	0,3
IE13	63,7	37,5	28,3	0,8
IE14	116,2	143,3	28,3	0,2
IE02_G	3,9	1,4	13,1	9,2

Tablo 5.4. Uzun numuneler için başlangıç ve sekant rijitlikleri

Çerçeve Numunesi	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Sekant Rijitliği (kN/mm)	0,6 V^+_{mak} (kN)	$\Delta_{0,6 V_{mak}}$ (mm)
IE08	0,8	0,3	3,8	12,3
IE09	5,5	0,7	10,3	14,5
IE10	6,7	4,5	17,6	3,9
IE11	9,6	5,6	15,1	2,7
IE12	15,5	8,1	15,8	2,0

5.3. Süneklik

Dimova, (2005, s. 724) çerçeve akma deplasmanı ve süneklik değerini, idealleştirilmiş elasto-plastik yük-deformasyon ilişkisi ile hesaplamıştır. Yapılan çerçeve deneylerinde numunelerin akma noktaları ve süneklik değerleri Akın'ın (2011, s. 146) kullandığı, alanların eşitliğine dayanan iteratif bir yöntemle belirlenmiştir. Buna göre Şekil 5.8(a)'daki histerisis eğrisi altında kalan alan ile Şekil 5.8(b)'deki idealleştirilmiş çerçeve davranışı altındaki kalan alanlar eşit olana kadar çerçeve akma noktası olan V_y değeri bulununcaya kadar iterasyon yapılarak hesaplanmıştır. Burada grafiğin lineer elastik kısımda kullanılacak eğim, sekant rijitlik değeridir. Park, (1989.s 155) yatay eksenindeki kullanılacak son noktayı numune dayanımının %20'si kadar azalma gösterdiği nokta olarak kullanmayı önermiştir. Referans çerçevelerinde görüldüğü gibi yükte azalma meydana gelmeden çevrimler meydana geliyorsa deneyde uygulanabilen son hedef deplasman değeri kullanılmıştır. Aynı işlemlerin negatif yönde yapılması ile çerçevelerin idealleştirilmiş elasto-plastik yük-deformasyon davranış grafikleri oluşturulmuştur.

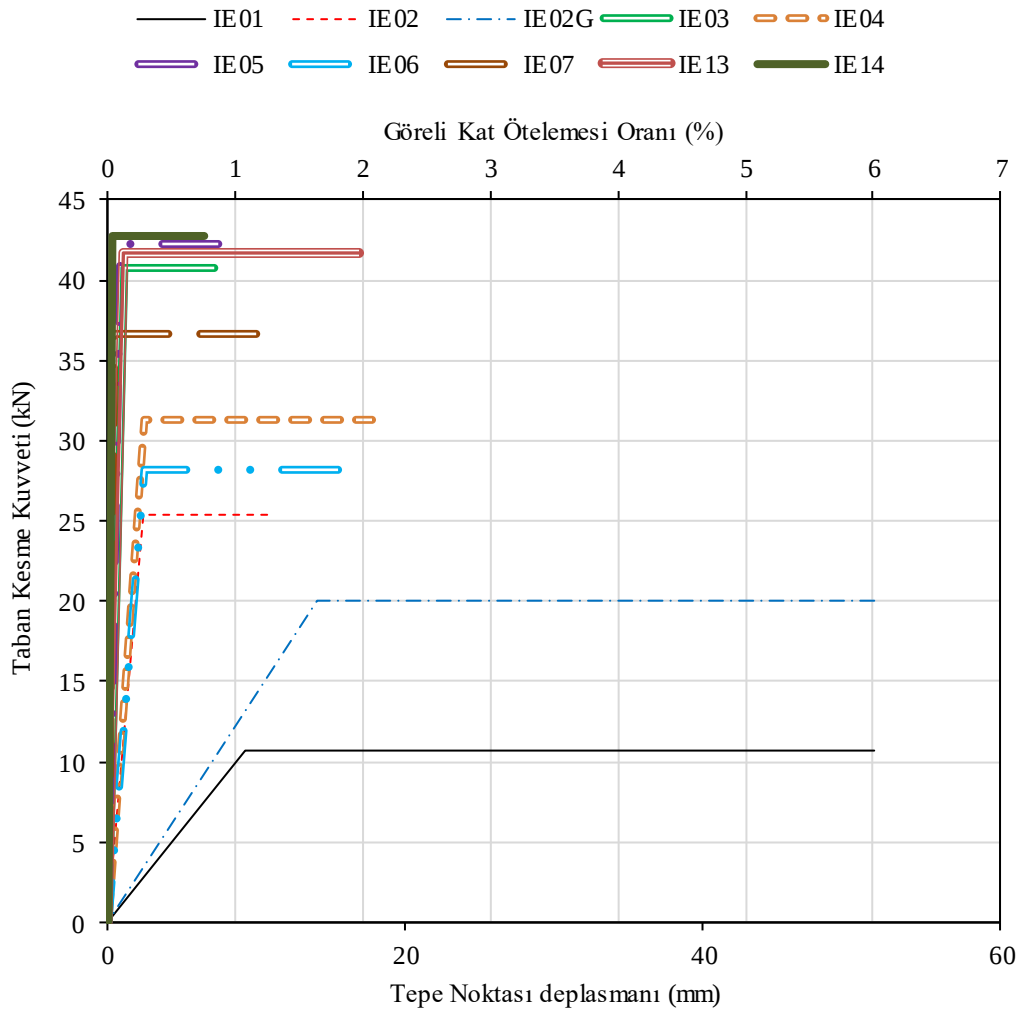


(a) Histerisis eğrisi altındaki alan

(b) İdealleştirilmiş davranış altındaki alan

Şekil 5.8. İdealleştirilmiş çerçeve davranışı oluşturma

Şekil 5.9 ile kısa numunelerin idealleştirilmiş davranış karşılaştırmaları görülmektedir. Buna göre referans çerçevesi ve onarılmış çerçevelerde çevrimler uygulanırken yatay yükte bir azalma olmadığı için idealleştirilmiş davranışlarda deneyin son noktası kullanılmıştır. %2 görelî kat ötelemesi değeri ulaşabilen numuneler, B ve C grubu harç ve sıva kullanılarak üretilmiş numunelerdir. Deneylerde de gözlemlendiği gibi harç ve sıva kalitesi iyi olarak kullanılan çerçevelerde kısa kolon hasarı nedeniyle ileri deplasmanlara gidilemeyen gevrek bir davranış gözlenmektedir.

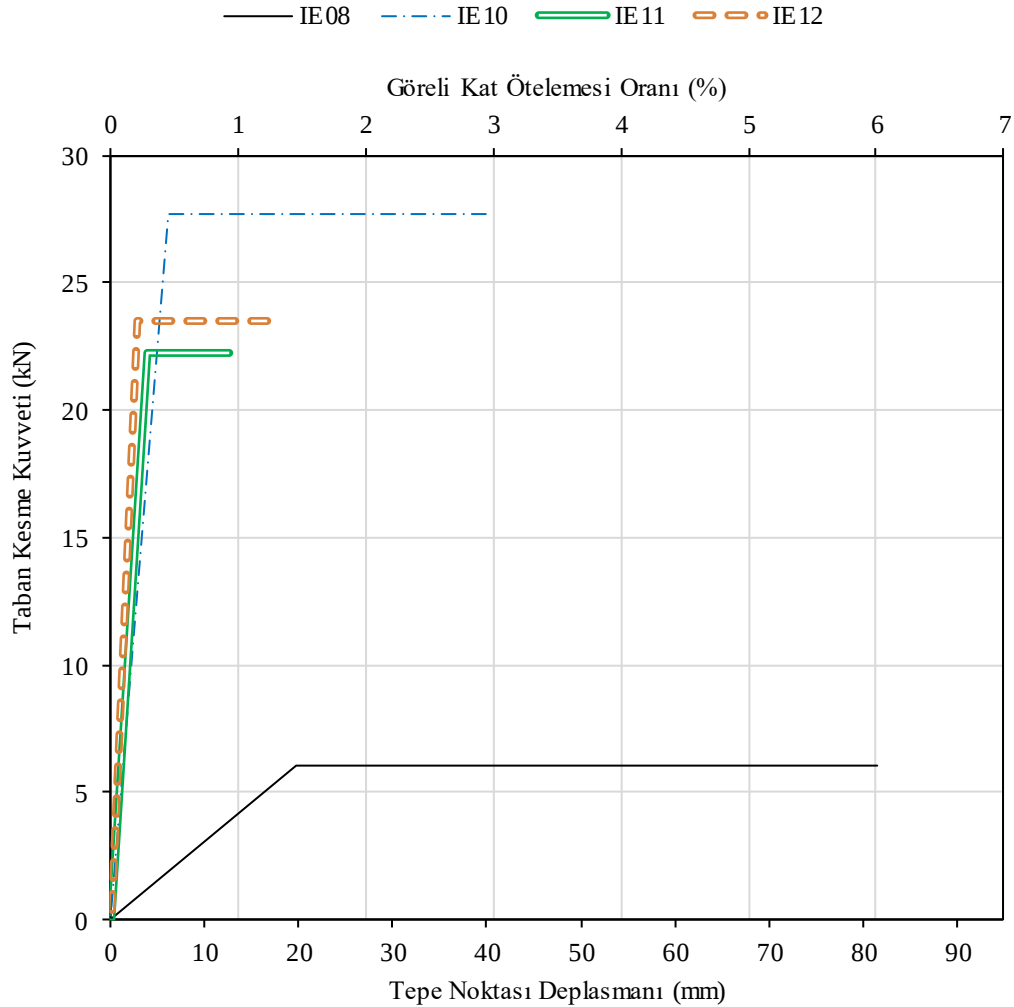


Şekil 5.9. Kısa numunelerin idealleştirilmiş çerçeve davranışları

Şekil 5.10 ile uzun numunelerin idealleştirilmiş davranışları görülmektedir. Buna göre referans çerçevesinde çevrimler uygulanırken yatay yükte bir azalma olmadığı için idealleştirilmiş davranışlarda deneyin son noktası kullanılmıştır. Uzun numunelerde iyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş numunede %3 görelî kat öteleme değeri

hesaplanmışken, kısa kolon hasarı beklenen boşluklu dolgu duvarlı numunelerde bu değer %1 olarak hesaplanmıştır. Hem uzun hem de kısa numunelerin 2 doğrulu idealleştirilmiş kuvvet-deplasman grafikleri incelendiğinde, dolgu duvarlı numunelerin rijitliklerinin (ilk eğimlerinin) beklendiği üzere çok yüksek olduğu görülmektedir. Fakat özellikle iyi ve orta dayanımlı harç ve sıva kullanılan duvarlı çerçevelerde kısa kolon hasarı gözlemlendiği için en büyük dayanımın %20'sine karşılık gelen son noktaya küçük görelî kat öteleme değerlerinde ulaşılmaktadır. Böylece bu numunelerde daha gevrek bir davranış gözlemlenmiştir.

Uzun numunelerden IE09 numunesinin deneyleri gerçekleştirilirken deney devam ederken eklenen ahşap pencere çerçeve davranışını etkilediği için idealleştirilmiş çerçeve davranışı karşılaştırmalarında kullanılmamıştır.



Şekil 5.10. Uzun numunelerin idealleştirilmiş çerçeve davranışları

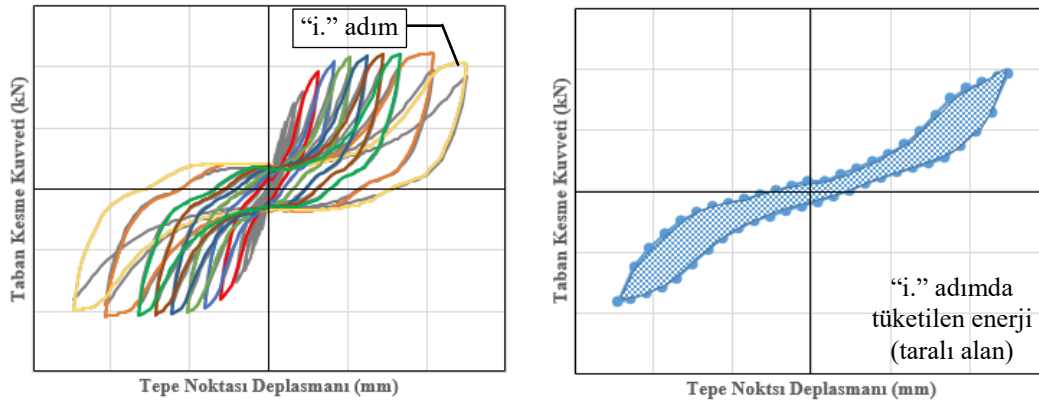
Çerçevelerin idealleştirilmiş davranışlarıyla belirlenen en büyük deplasman değerinin, akma anındaki deplasman değerine oranı olan süneklik değerleri hesaplanmıştır. Tablo 5.5 ile tüm çerçevelerdeki süneklik değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan değerler özetlenmektedir. Kısa numuneler için süneklik değeri en fazla olan numune IE14 numunesi olsa da kolonlardaki kesme hasarı ile gevrek bir davranış göstermiştir. Uygulanabilen en büyük görelî kat ötelemesi değeri %2 olmasına rağmen, duvarın çerçeveye katmış olduğu yüksek rijitlik nedeniyle idealleştirilmiş akma deplasman değeri çok düşük çıkmakta ve dolayısıyla süneklik değeri yüksek hesaplanmaktadır. Aynı durumun gevrek davranış gösteren diğerkısa numunelerde de görülmesi, süneklik değerlerinin kesme hasarlı numunelerde kıyaslanmasının hatalı olabileceğini göstermektedir. Bu sebeple numunelerin süneklik değerleri yanında deplasman kapasiteleri de değerlendirilmelidir. Kısa numuneler için çerçevenin dayanımında %20’lik bir azalmanın olduğu görelî kat ötelemeleri düşünüldüğünde, dolgu duvarsız referans çerçevesi ve onarılmış çerçeve dışında %2,2 görelî kat ötelemesi değeriyle düşük dayanımlı harç ve sıva ile üretilmiş dolgu duvarlı çerçeve en yüksek deplasman yapabilen çerçeve olmuştur. Tam dolu dolgu duvarlı olarak üretilen numunelerde sıva ve harç dayanımının artması, uygulanabilen hedef deplasman değerlerini azaltmaktadır. Benzer durumun uzun numuneler için de geçerli olduğu görülmektedir.

Tablo 5.5. Çerçeve numunelerinin süneklik değerleri

Çerçeve Numunesi	dy (mm)	dmax (mm)	δy (%)	δmax (%)	Vy (kN)	Süneklik
IE01	9,2	49,9	1,1	6,1	10,65	5,4
IE02	2,4	10,7	0,3	1,3	25,45	4,4
IE03	1,1	7,1	0,1	0,9	40,73	6,2
IE04	2,5	17,8	0,3	2,2	31,30	7,1
IE05	0,8	7,4	0,1	0,9	42,20	9,0
IE06	2,5	15,5	0,3	1,9	28,20	6,3
IE07	0,5	10,0	0,1	1,2	36,62	19,5
IE13	1,1	16,9	0,1	2,0	41,71	15,2
IE14	0,3	6,4	0,1	0,8	42,78	21,6
IE02_G	14,1	48,6	1,7	5,9	20,00	3,5
IE08	19,7	83,0	1,4	6,0	6,07	4,2
IE10	6,2	39,9	0,4	2,9	27,74	6,5
IE11	4,0	12,7	0,3	0,9	22,22	3,2
IE12	2,9	16,7	0,2	1,2	23,54	5,7

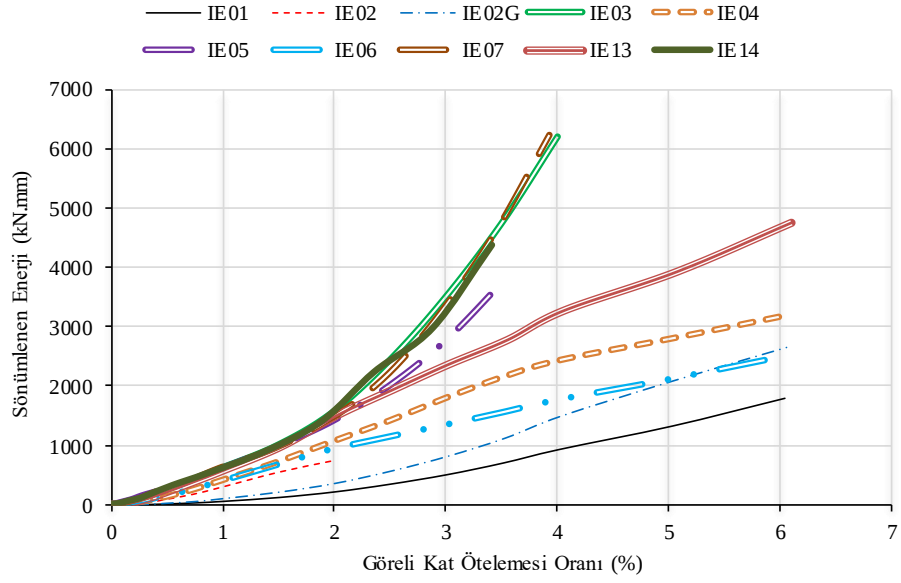
5.4. Enerji Sönümleme Kapasitesi

Deney numunelerinin sönümledikleri her adımdaki enerji kapasiteleri, her bir hedef deplasman için, o hedef deplasmana gidilen ilk çevrimdeki deplasman değerine karşılık yük değeri grafiğinin içinde kalan kapalı alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir (Şekil 5.11). Aynı hedef deplasman için uygulanan ikinci çevrimdeki alanlar hesaba dahil edilmemiştir. Deney numunelerinin enerji tüketimleri ise her adım için tüketilen enerji kapasitelerinin toplanmasıyla kümülatif değer hesaplanmıştır.



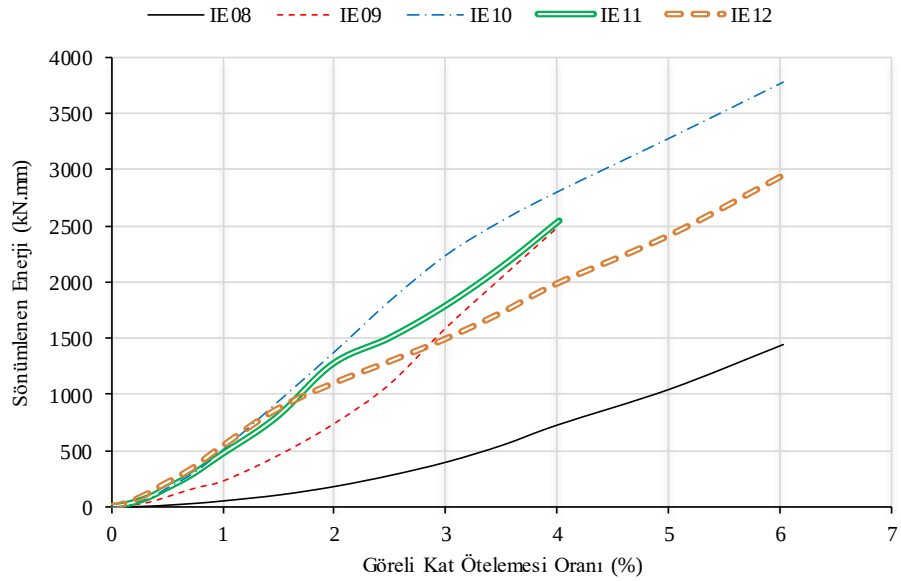
Şekil 5.11. Sönümlenen enerji hesabı

Kısa deney numunelerinin sönümlenen enerji miktarları Şekil 5.12 ile gösterilmektedir. Kısa numunelerde çerçeve numunelerinin tamamının ulaşabildiği maksimum göreceli kat ötelemesi oranı olan %2 değerinde en çok sönümlenen enerji IE03, IE05, IE07, IE13 ve IE14 numunelerinde gözlenmiştir. Bu numuneler aynı zamanda tam dolu dolgu duvarlı olmasına rağmen beklenmeyen kısa kolon hasarı gözlenen iyi dayanımlı dolgu duvarlı numunelerdir. Numunelere ters yönde deplasman uygulanırken bile kuvvet uygulanması gereken ve kolonlarda ileri hasar gözlenen bu çerçevelerde histeresis eğrileri altındaki alanlar arttığı için bu numunelerde enerji sönümleme kapasiteleri, dayanımı düşük dolgu duvarlı numunelere göre daha fazla çıkmaktadır. Buna da dolgu duvardaki hasar ve sonucunda gözlenen kolon kesme hasarının sönümlediği enerjiler neden olmaktadır. %2 göreceli kat ötelemesi değerinde enerji sönümleme kapasitesi en az olan numune dolgu duvarsız olarak üretilen IE01 numunesidir. IE14 numunesinde deney başlangıç noktasına dönülemeden sonlandırıldığı için enerji hesabının dönüş kısmında bir önceki çevrimin yük-deplasman değerleri kullanılmıştır.



Şekil 5.12. Kısa numunelerin enerji sönümleme kapasite grafikleri

Uzun deney numunelerinin sönümlenen enerji miktarları Şekil 5.13 ile gösterilmiştir. Uzun numunelerde çerçeve numunelerinin ulaşabildiği maksimum göreceli kat öteleme oranı olan %4 değerinde en çok sönümlenen enerji tam dolu dolgu duvarlı olarak, B grubu harç ve sıva ile imal edilmiş IE10 numunesinde gözlenmiştir. Daha sonra B grubu harç ve sıva ile kısa kolon oluşacak şekilde boşluklu olarak imal edilmiş IE9 ve IE11 numunelerinde gözlenmiştir. %4 göreceli kat öteleme oranı değerinde en az enerji sönümleyen numune dolgu duvarsız olarak üretilen referans numunesi olmuştur.



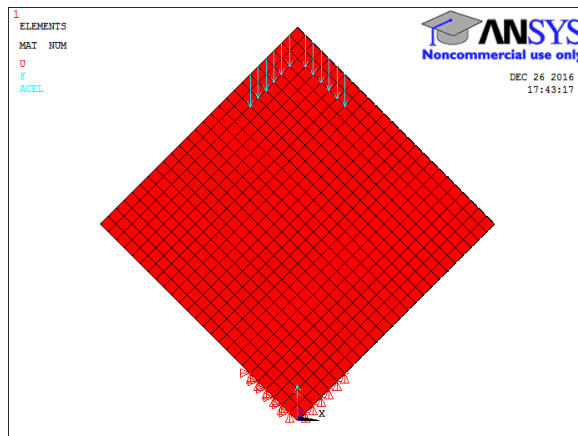
Şekil 5.13. Uzun numunelerin enerji sönümleme kapasite grafikleri

6. SAYISAL MODELLEME

Deneyleri gerçekleştirilen numunelerden referans çerçevesi olan IE01, kısa kolon hasarı oluşması için bant pencere boşluğu bırakılan IE02, iyi dayanımlı harç ve sıva kullanılarak tam dolu dolgu duvarlı üretilen IE03 ve kötü dayanımlı harç ve sıva kullanılarak tam dolu dolgu duvarlı üretilen IE04 numuneleri, ANSYS Mechanical APDL V14.0 kullanarak sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Tezin konusu olan beklenmeyen kısa kolon hasarının gözlemlendiği çerçeve dikkate alınarak boy/en oranı 0,58 olan çerçevelerin seçimine karar verilmiştir. Çerçeve deneylerindeki dolgu duvar modellerini daha doğru kurabilmek için, yapılan panel deneyi modelleri de oluşturulmuştur. Elde edilen duvar modelleri kullanılarak, çerçeve numunelerindeki duvarlar modellenmiştir.

6.1. Dolgu Duvar Modeli

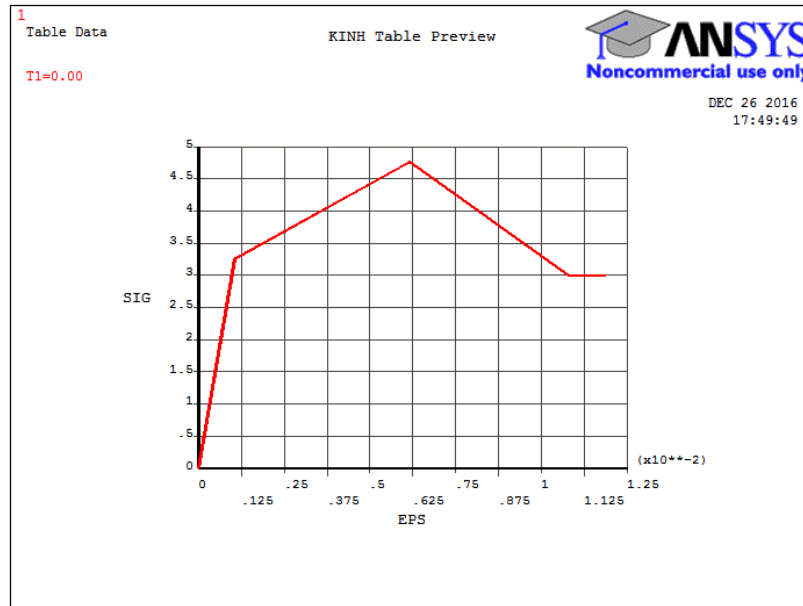
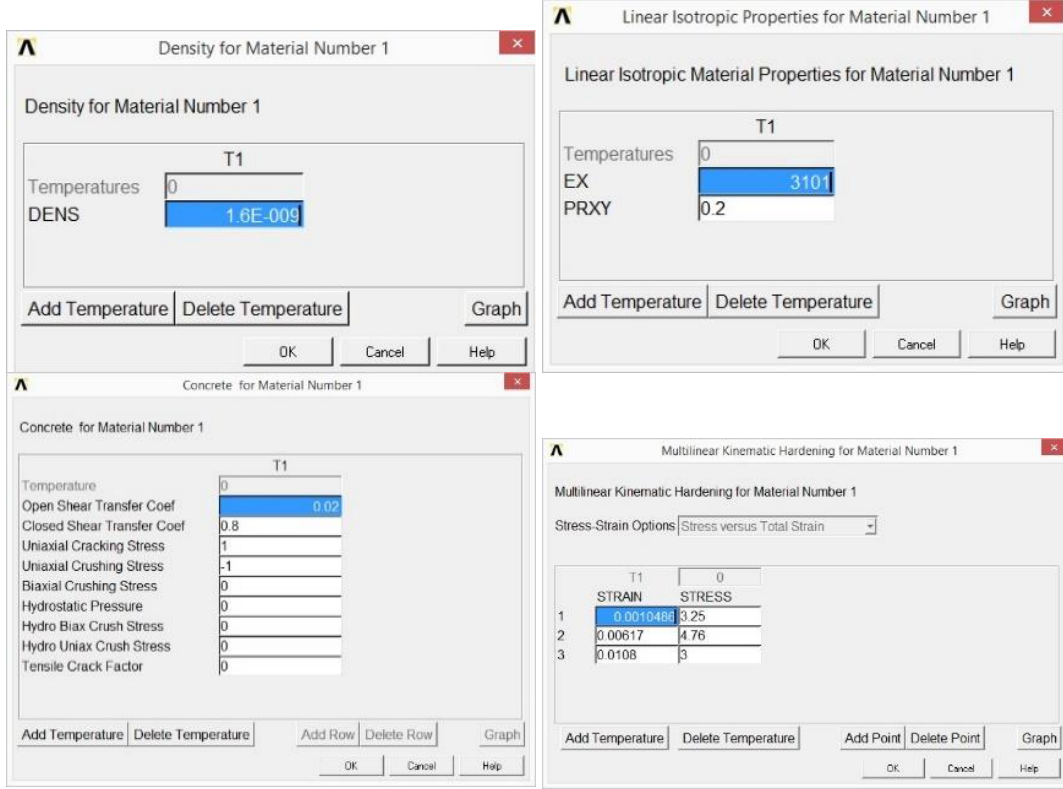
Laboratuvar ortamında üretilen dolgu duvarların deneyleri yapıldıktan sonra Şekil 6.1 ile gösterilen sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Model laboratuvar şartlarına uygun olarak alt kısımdan ilgili noktalarda her yöndeki deplasman ve dönmeler kısıtlanacak şekilde oluşturulmuştur. Kuvvet ise üstten kademeli olarak artırılarak sonuçlar elde edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen kırılma yükü ile deney sonrası belirlenen kırılma yükü benzer olana kadar malzeme özellikleri değiştirilerek, dolgu duvarın mekanik özelliklerine karar verilmiştir.



Şekil 6.1. Dolgu duvar modeli ve laboratuvar test görünümü

6.1.1. B Grubu sıva ve harç modeli

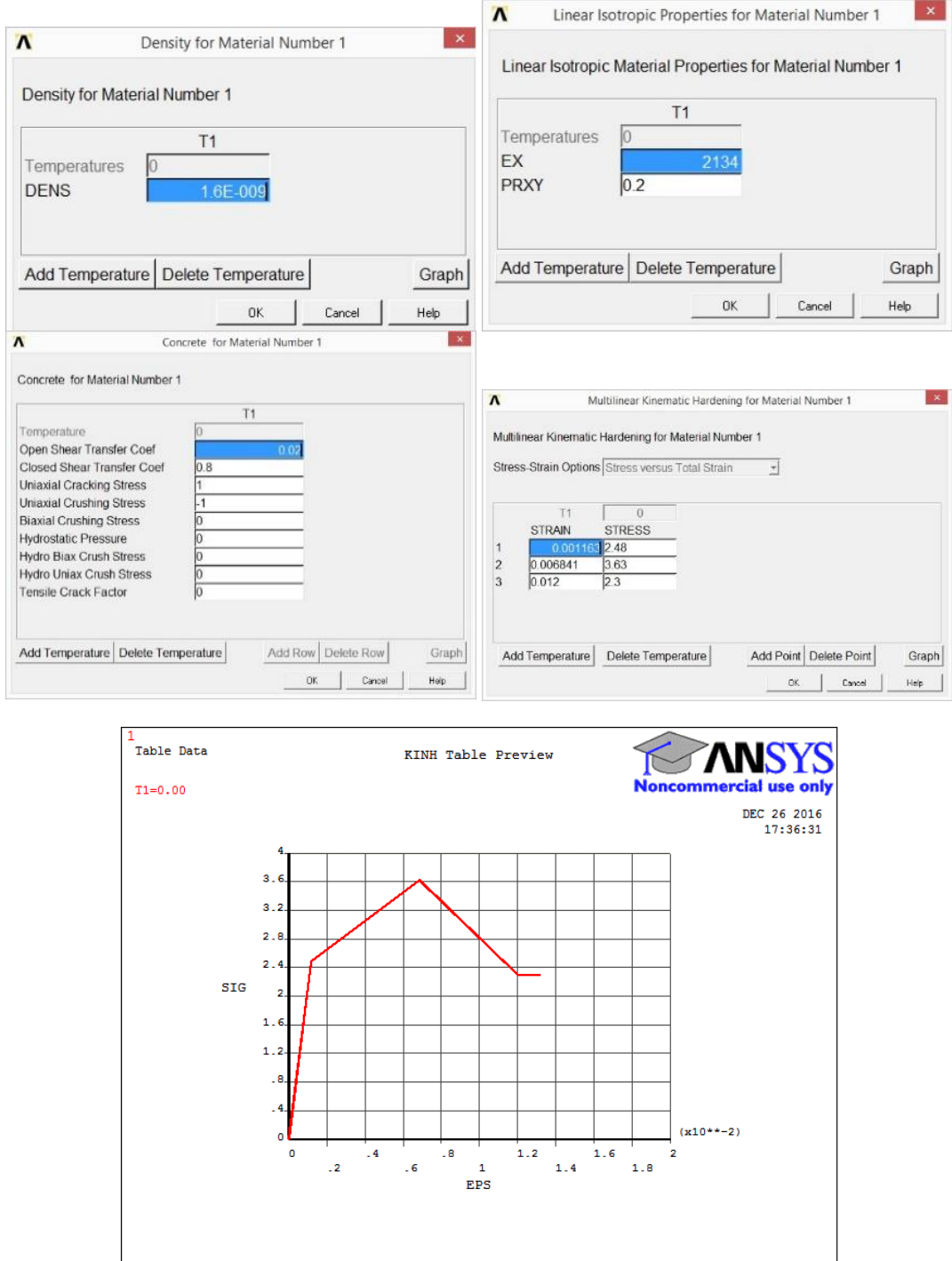
B grubu harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarın bilgisayar modeli için malzeme özellikleri olarak yoğunluk, lineer elastik bölge özelliği, davranış parametreleri, kinematik özellikleri ve malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 6.2 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.2. B Grubu için malzeme modeli özellikleri

6.1.2. C Grubu sıva ve harç modeli

C grubu harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarın bilgisayar modeli için malzeme özellikleri olarak yoğunluk, lineer elastik bölge özelliği, davranış parametreleri, kinematik özellikleri ve malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 6.3 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.3. C Grubu için malzeme modeli özellikleri

6.1.3. D Grubu sıva ve harç modeli

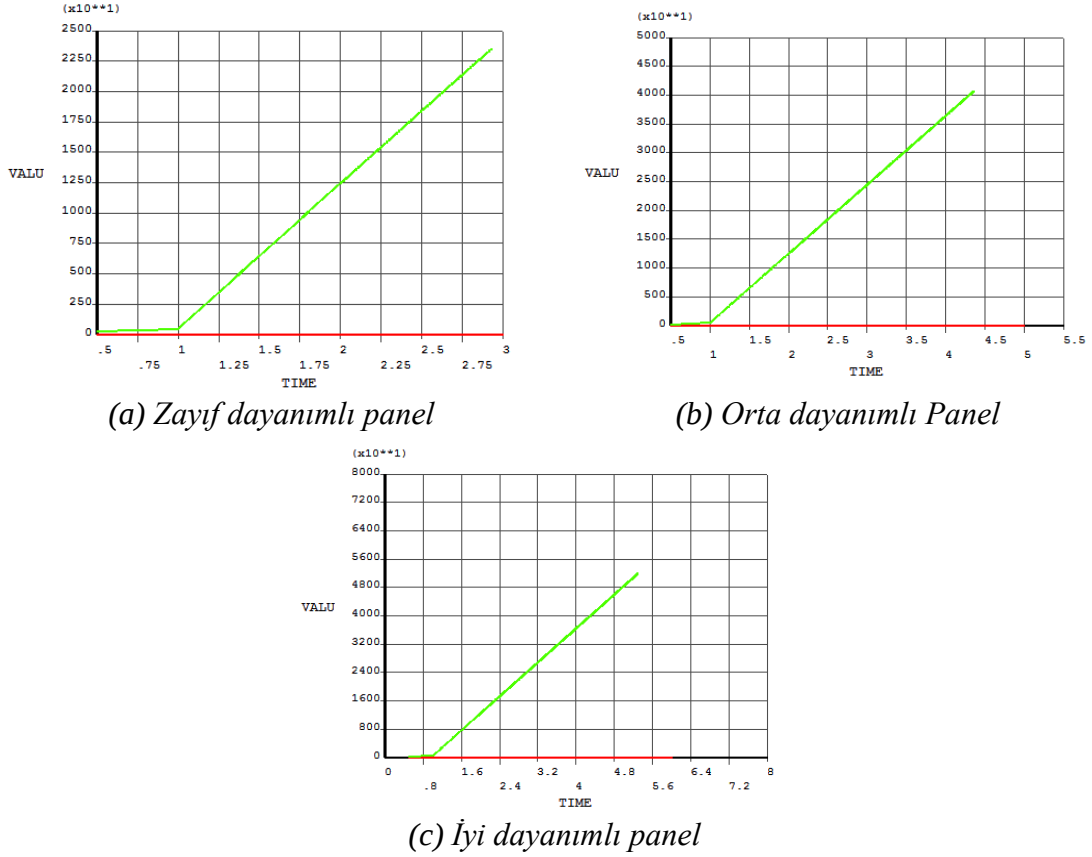
D grubu harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarın bilgisayar modeli için malzeme özellikleri olarak yoğunluk, lineer elastik bölge özelliği, davranış parametreleri, kinematik özellikleri ve malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 6.4 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.4. D Grubu için malzeme modeli özellikleri

6.1.4. Dolgu duvar malzeme model sonuçlarının kıyaslanması

Deney numunelerindeki dolgu duvarlarla aynı malzeme ve işçilikle üretilen panel deneyi numunelerinin deneysel sonuçları ile sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre Şekil 6.5'te B grubu harç ve sıva ile üretilen numunede 52 kN'luk bir yük uygulanabilmiştir. C grubu harç ve sıva ile üretilen numunede 41 kN'luk bir yük, D grubu harç ve sıva ile üretilen numunede ise 23 kN'luk yük uygulanabilmiştir.

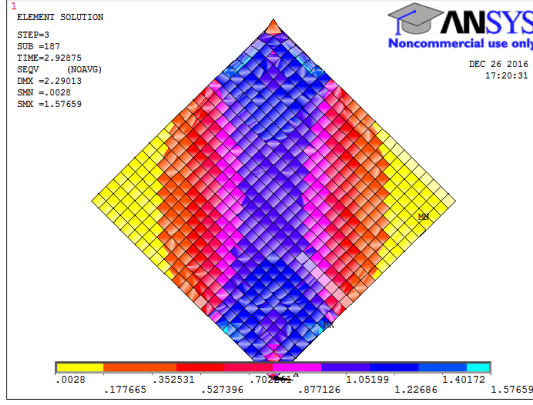


Şekil 6.5. Maksimum uygulanan yük

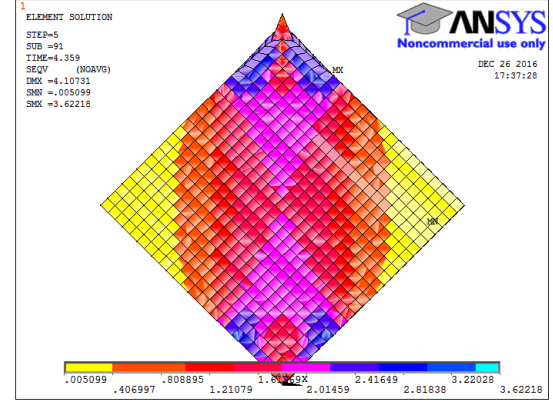
Uygulanabilen maksimum yüklerdeki denklem 6.1 ile hesaplanan Von Mises gerilme sonuçları her üç tip dolgu duvar için de Şekil 6.6'da görülmektedir. Burada σ_1 , σ_2 , ve σ_3 farklı eksenler için elemanların gerilme değerlerini belirtmektedir. Buna göre B grubu harç ve sıva ile üretilen numunede 4,6 MPa'lık gerilmeler başlıkların bitiminde gözlenmiştir. Panel elemanın ortasına doğru gerilmeler düşmektedir. C grubu harç ve sıva ile üretilen numuneler ise B grubu ile üretilen numuneye benzemekte ancak panelin ortasına doğru elemanların gerilemeleri daha fazla artış göstermektedir. Paneldeki en büyük gerilme 3,6 MPa olarak hesaplanmıştır. D grubu harç ve sıva ile üretilen numunede ise 1,6 MPa'lık maksimum gerilme yine başlıkların olduğu bölgelerde görülmektedir.

Ancak bu numunede panelin ortasındaki elemanların çoğu maksimum gerilmeye yakın olduğu görülmektedir.

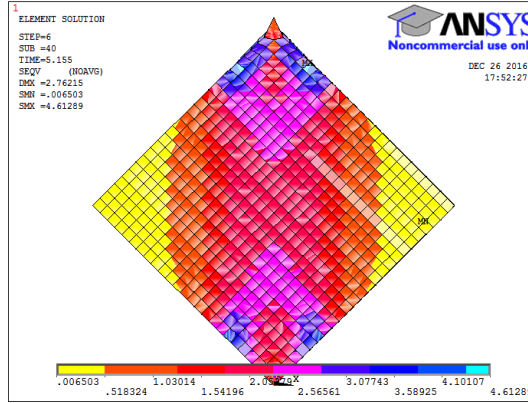
$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} = \sigma_V \quad (6.1)$$



(a) Zayıf dayanımlı panel



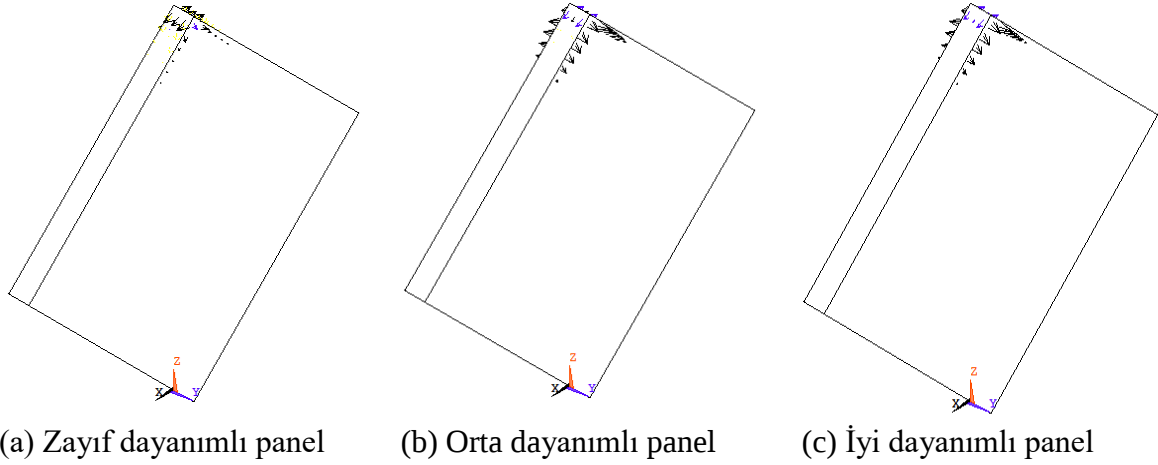
(b) Orta dayanımlı Panel



(c) İyi dayanımlı panel

Şekil 6.6. Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi panel elemanlarındaki en büyük yer değiştirmeler başlıkların olduğu bölgelerde görülmektedir. Orta ve iyi dayanımlı numunelerde kırılmanın gözlemlendiği başlık bölgelerindeki deplasman vektörlerinin kötü dayanımlı panelden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum deneyde de kırılmanın başlık bölgesinde başlamasıyla gözlenmiştir.

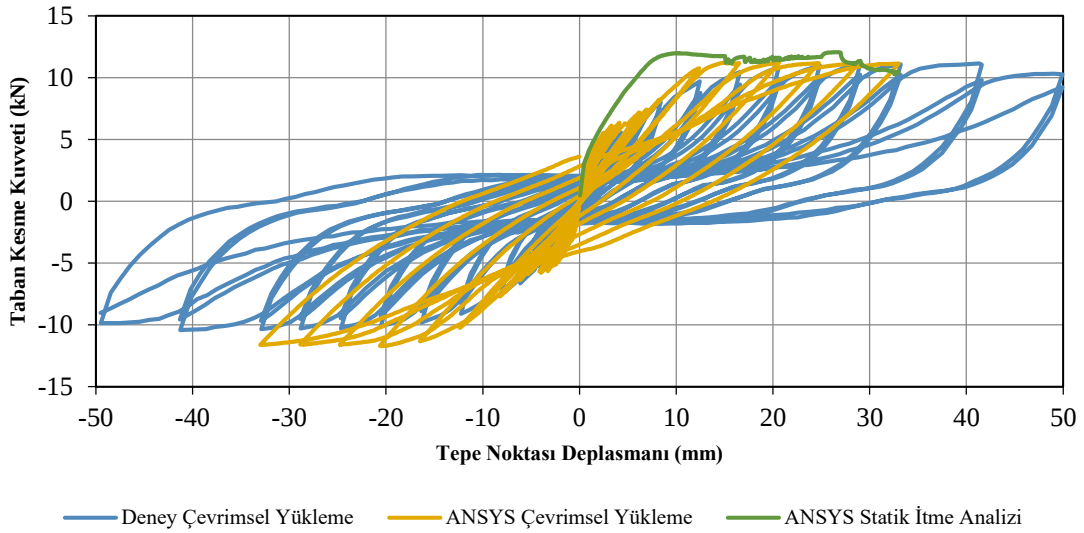


Şekil 6.7. Birim uzama vektörleri

6.2. Çerçeve Modeli

Çerçeve modellerinin karşılaştırmaları yapılırken ANSYS programında, deneyde kullanılan yük protokolleri kullanılacak şekilde planlanmıştı ancak zaman tanım alanında çevrimsel yükleme hesabı ile statik itme analiz sonuçları karşılaştırıldığında birbirine kabul edilebilir mertebede yakın sonuçlar çıktığı Şekil 6.8’de görülmektedir. Dayanım değerlerinde bir farklılaşma görülmektedir. Fakat gerek sonlu elemanlar modelinde kullanılan malzeme modellerinin gerçek durumu tam anlamıyla temsil edememesi, gerekse de modelleme ve analiz aşamalarındaki belirsizlikler ve kabuller nedeniyle elde edilen analiz sonucunun kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Babu ve Venkatasubramani (2011, s. 73) ANSYS ile elastik olmayan analiz sonuçlarının marjinal olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 6.8 ile IE01 numunesine deney numunelerine uygulanan deplasmanlar, sayısal modellere %4 görece kat ötelemesi değeri olan 33 mm değeri uygulanarak zaman tanım alanında elastik olmayan hesap yapılmıştır. Ayrıca aynı malzeme modelleri kullanılarak 33 mm hedef deplasman olacak şekilde statik itme analizi yapılarak bu iki sonuç karşılaştırıldığında çerçeve dayanımı olarak yeterli seviyede uygun sonuçlar elde edilse de, enerji sönümleme kapasitelerinde farklılık gözlenmiştir. Bu farkın malzeme model kabulünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Enerji sönümleme kapasitesindeki fark, deney sonuçları ile ANSYS sonuçlarında da gözlenirken çerçeve dayanımında çok yakın değerler elde edilmiştir. IE01 numunesi ile yapılan kıyaslama sonucunda ANSYS programı ile elde edilen verilerde zaman tanım alanında hesap ve statik itme analizi hesap sonuçlarındaki dayanım değerinin benzerliği ile sadece statik itme analizi kullanılmasına karar verilmiştir. Zaman tanım alanında hesap yapılırken analiz süresi lineer olmayan davranışla yapıldığında çok uzun sürmektedir. Bu sebeple

analiz sonuçlarındaki bu farkın az olması nedeniyle IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde zaman tanım alanında hesap yerine, %2 görelî kat ötelemesine karşılık gelen 16,50 mm deplasman hedef olacak şekilde statik itme analizleri yapılmıştır. Tam dolu dolgu duvarlı numunelerde, dolgu duvar malzeme özellikleri nedeniyle sonlu elemanlar model sonuçlarının yakınsama problemi nedeni ile analizler 16,5 mm'ye kadar tamamlanamamıştır. Boşluklu dolgu duvarlı ve dolgu duvar kullanılmayan numunelerde analizler belirlenen hedef deplasmana kadar tamamlanabilmektedir.

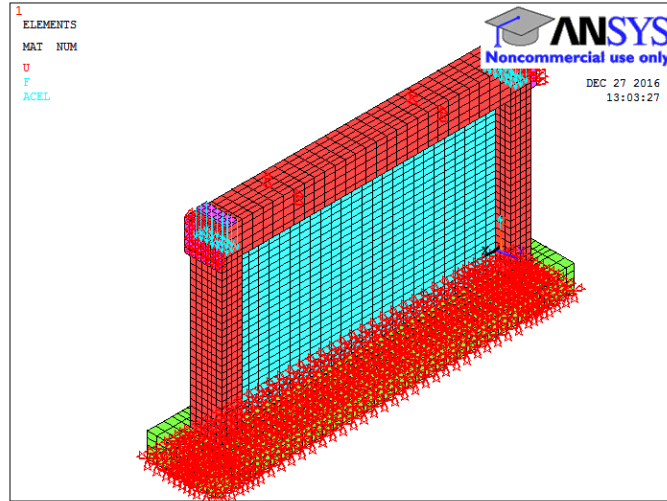


Şekil 6.8. IE01 deney sonuçları ve ANSYS modeli karşılaştırması

6.2.1. Çerçeve modelinin oluşturulması

Tüm analizlerde Şekil 6.9'da görülen çerçeve modeli kullanılmıştır. Model iki adet kolon, bir adet kiriş, bir adet dolgu duvar malzemesi, bir adet temel ve iki adet yükleme plakalarından oluşmaktadır. Kolon ve kirişlerde donatı olarak kullanılacak elemanlar link eleman olarak modellenmiştir (Link 180). Yükleme plakaları, kolon, kiriş ve dolgu duvar ise hacim elemanları ile oluşturulmuştur (Solid 65). Temel modeli de Solid 65 ile oluşturulmuş ancak donatı olarak link 180 elemanları yerine “smeared” metodu kullanılmıştır. Bu metotta donatıların yerlerini tek tek tanımlamak yerine, donatılar X, Y ve Z doğrultusunda kesite düzgün olarak yayılmış olarak modellenir. Laboratuvarında deney elemanı üzerine uygulanan düşey yükleri temsil edebilmesi için 2,3 ton'luk ağırlık konulmuştur. Bu sebeple her bir kolon için üstündeki düğüm noktalarının her birine toplamda 11 kN olacak şekilde eksenel yük düğüm noktalarına yayılarak uygulanmıştır. Modelde yer çekimi ivmesi tanımlanarak (9810 ANSYS'te kullanılan birim = 9,81 m/s²)

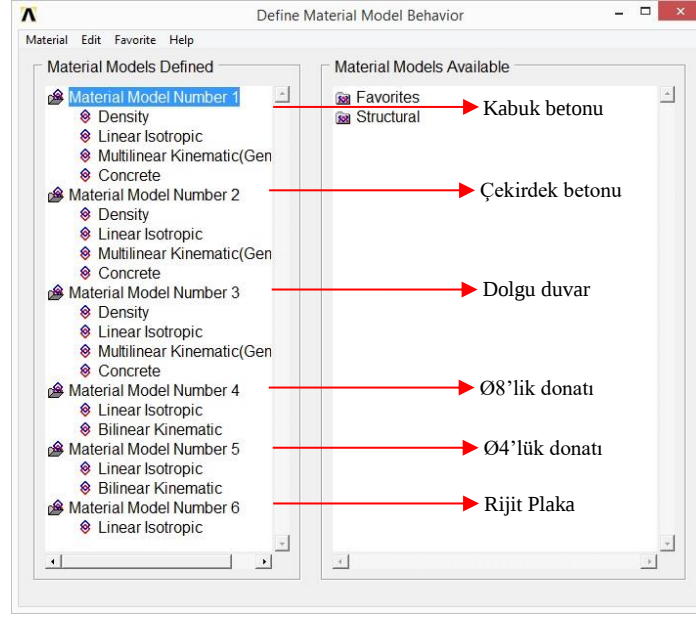
eleman öz ağırlıklarının hesaba katılması sağlanmıştır. Laboratuvardaki 64 mm'lik saplamalar ve rijit temelin davranış modeli, modeldeki temel elemanın altındaki tüm düğüm noktalarındaki, her yöne dönme ve yer değiştirmeleri kısıtlanarak mesnet oluşturularak sağlanmıştır. Numunenin düzlem dışı hareketini önleyecek bilyeler yerine modelde aynı noktalarda mesnetler oluşturulmuştur. IE01 numunesinde, dolgu duvar elemanları modelde yer alsa da ANSYS programında kullanılan “ekill” kodu ile eleman rijitlikleri sıfır alınarak analizde hesaplara dahil edilmemiştir. IE02 numunesinde iki kolon arasında ve çerçeve boyunca uzanan boşluk da aynı teknikle modellenmiştir. Boşluk bölgesinde dolgu duvar malzemesi olmasına rağmen hesaplarda kullanılmamıştır. IE03 ve IE04 numunesinde ise dolgu duvar malzeme özellikleri değiştirilerek analizler tamamlanmıştır.



Şekil 6.9. Çerçeve numunesi ANSYS modeli

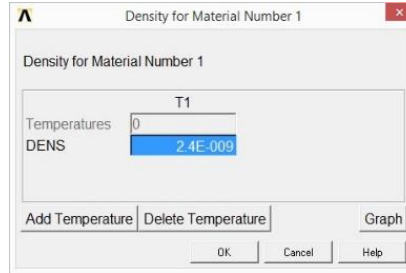
6.2.2. Çerçeve malzeme modelleri

ANSYS programı her türlü malzemenin modellenmesi için hazırda bulunan çeşitli davranış modellerine sahiptir. Şekil 6.10'da oluşturulan ANSYS modeli için kullanılan davranış modelleri tüm malzemeler için gösterilmiştir. 1 numaralı malzeme modeli kabuk betonu için, 2 numaralı malzeme çekirdek betonu için, 3 numaralı malzeme dolgu duvar için, 4 numaralı malzeme 8 mm çapındaki donatılar için, 5 numaralı malzeme 4 mm çapındaki donatılar için ve 6 numaralı malzeme ise rijit plakalar için oluşturulmuştur.



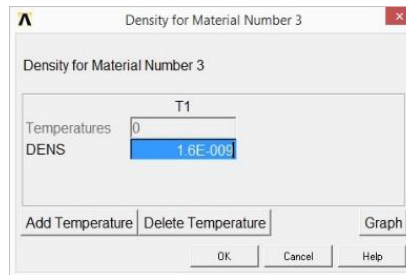
Şekil 6.10. Kullanılan malzeme model davranışları

IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinin tümünde çekirdek ve kabuk betonu için yoğunluk değerleri Şekil 6.11’de görülmektedir.



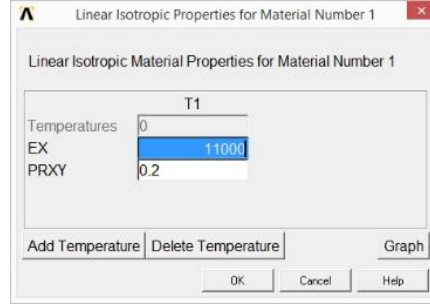
Şekil 6.11. Kabuk ve çekirdek betonu yoğunluk bilgileri

IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde kullanılan dolgu duvar malzemesinin yoğunluk değeri laboratuvarıda yapılan ölçümlerle hesaplandığı gibi Şekil 6.12’de görülmektedir.



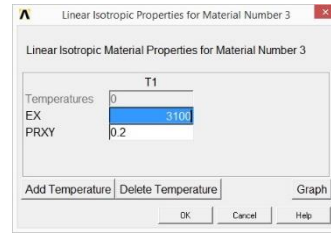
Şekil 6.12. IE02, IE03, IE04 numuneleri dolgu duvar malzemesi yoğunluk bilgileri

IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde kabuk ve çekirdek betonları için lineer izotropik malzeme özelliği Şekil 6.13'te görülmektedir. Burada kullanılan elastisite modülü değeri, beton davranışı için belirlenen birim deformasyon-gerilme grafiğinin elastik bölgesindeki doğrunun eğimi ile hesaplanmıştır.

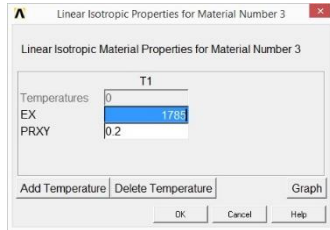


Şekil 6.13. Kabuk ve çekirdek betonu lineer izotropik malzeme özellikleri

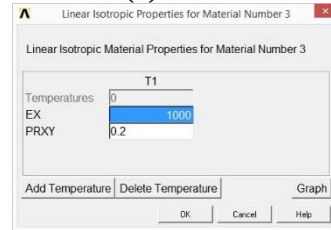
IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde dolgu duvar malzemesinin lineer izotropik malzeme özellikleri Şekil 6.14'te görülmektedir. Referans çerçevesi olan IE01 numunesinde dolgu duvar malzemesi kullanılmamıştır.



(a) IE02



(b) IE03

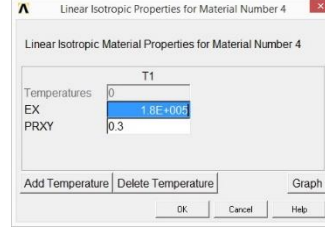


(c) IE04

Şekil 6.14. Dolgu duvar malzemesi lineer izotropik malzeme özellikleri

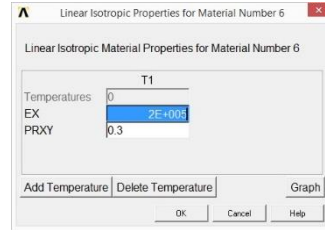
IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde 4 mm ve 8 mm çapındaki donatıların lineer izotropik malzeme özellikleri Şekil 6.15'te görülmektedir. D'Amato vd., (2012, s. 1351), betonarme yapıların sismik değerlendirilmesinde kullanılmak üzere donatı sıyrılması modeli için, donatının elastisite modülünün azaltıldığı basitleştirilmiş model önermişlerdir. Kwak ve Kim (2006, s. 1720) ile Dehestani ve Mousavi (2015, s. 287) de yaptıkları çalışmalarda donatı sıyrılmasının modellenmesi için yeni bir elastisite modülü

önermişlerdir. Hazırlanan deney numunelerinde kullanılan nervürsüz donatıların sıyrılma etkilerini analiz sonuçlarında görebilmek için donatı elastisite modülü değeri düşürülerek kullanılmıştır.



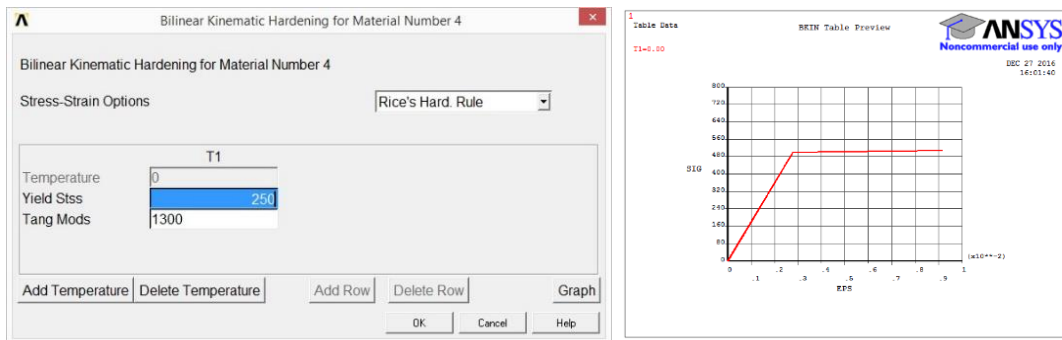
Şekil 6.15. Ø4 ve Ø8 donatılarının lineer izotropik malzeme özellikleri

Tüm numune modellerinde yüklemenin yapıldığı rijit plakaların lineer izotropik malzeme özelliği Şekil 6.16’da görülmektedir.



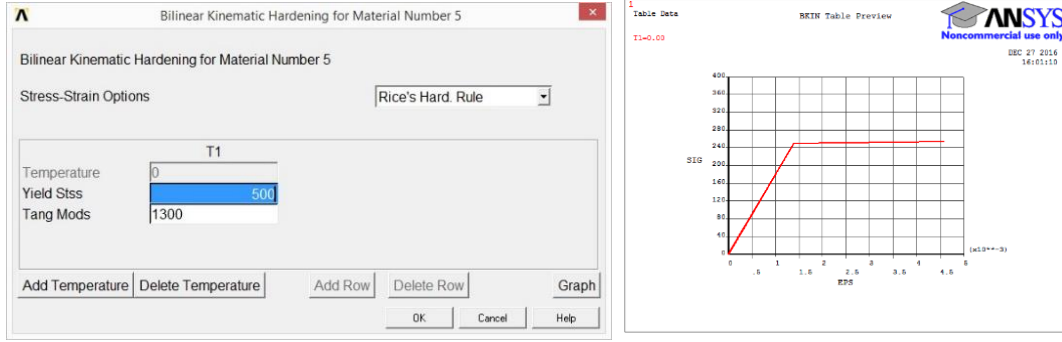
Şekil 6.16. Rijit plaka malzemesinin lineer izotropik malzeme özellikleri

IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde 4 mm çapındaki donatıların davranış modelleri bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.17’de görülmektedir.



Şekil 6.17. Ø4 donatılarının davranış modeli

IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde 8 mm çapındaki donatıların davranış modelleri bilgi girişi ve model grafiği ise Şekil 6.18’de görülmektedir.

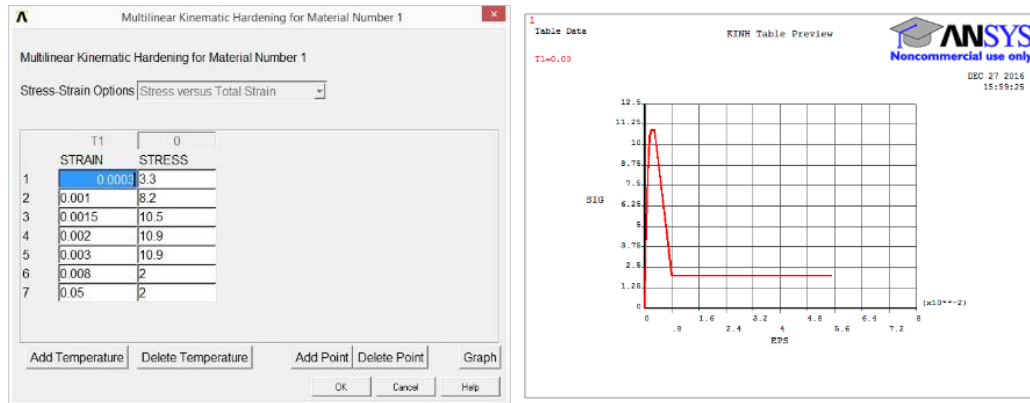


Şekil 6.18. Ø8 donatılarının davranış modeli

Sayısal modellerde kullanılan beton davranışı Hognestad (1951, s. 45) beton modeline göre denklem 6.2 ile hesaplanan birim deformasyon-gerilme değerleri ile belirlenmiştir. IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde kabuk betonu davranış modeli bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.19'da görülmektedir. Kabuk ve çekirdek beton modelleri, yetersiz etriye aralığı ve detayı (90° kanca) nedeniyle betonun dayanımına ulaşınca kadar farklılık göstermese de, dayanım düştükten sonra kabuk betonunda dayanım çekirdek betonuna göre daha yüksek bir değerde ancak daha az birim uzama yapacak şekilde modellenmiştir.

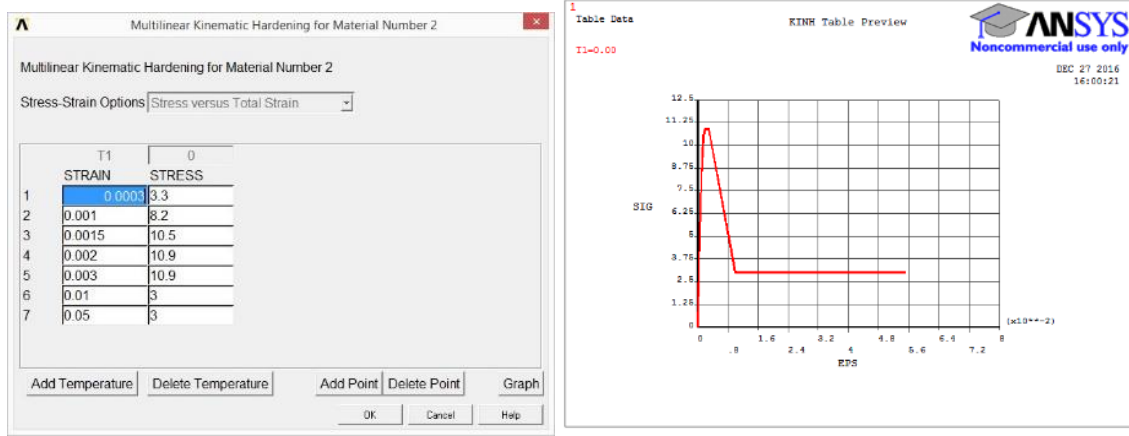
$$f_c = f_c'' \left[\frac{2 \cdot \varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (6.2)$$

Burada; f_c'' deney sonucu elde edilen beton basınç dayanımı, ε_0 betonun dayanımına ulaştığındaki birim şekil değiştirme değeri, ε gerilmenin hesaplanacağı andaki birim şekil değiştirme değeri ve f_c ise betonun istenen birim şekil değiştirme değerindeki hesaplanan gerilme değeridir.



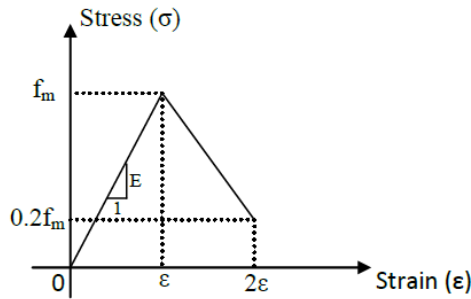
Şekil 6.19. Kabuk betonu davranış modeli

IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde çekirdek betonu davranış modeli bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.20’de görülmektedir.



Şekil 6.20. Çekirdek betonu davranış modeli

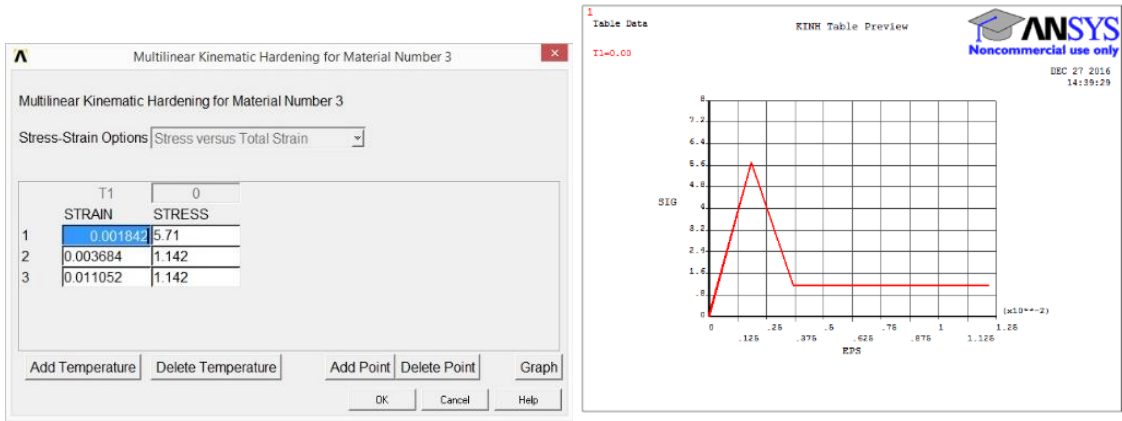
Deney numuneleri ANSYS modelleri için dolgu duvar özellikleri tanımlanırken, panel deneyi sonuçları ile Aldemir’in (2010, s. 69) kullandığı ve Şekil 6.21’de görülen dolgu duvar modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.21. Dolgu duvar modeli

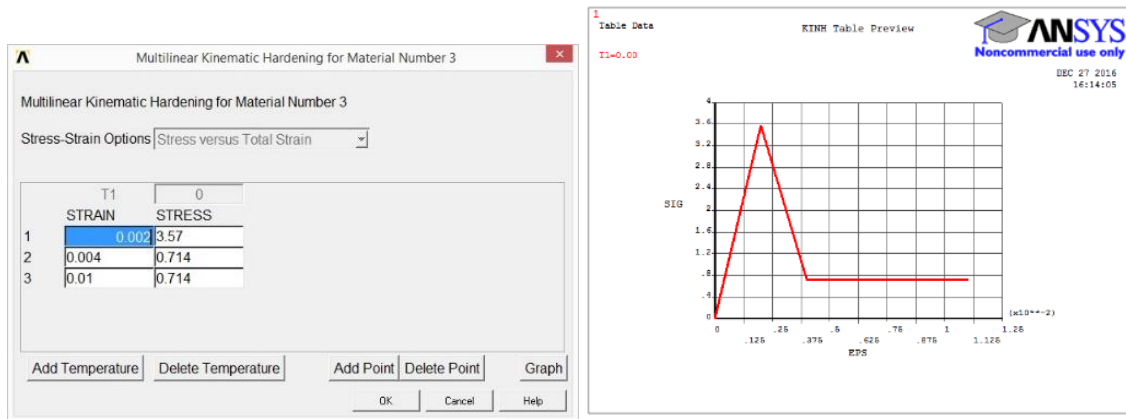
Kaynak: Aldemir, 2010, s. 69

IE02 numunesi dolgu duvar malzemesi davranış modeli bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.22’de görülmektedir.



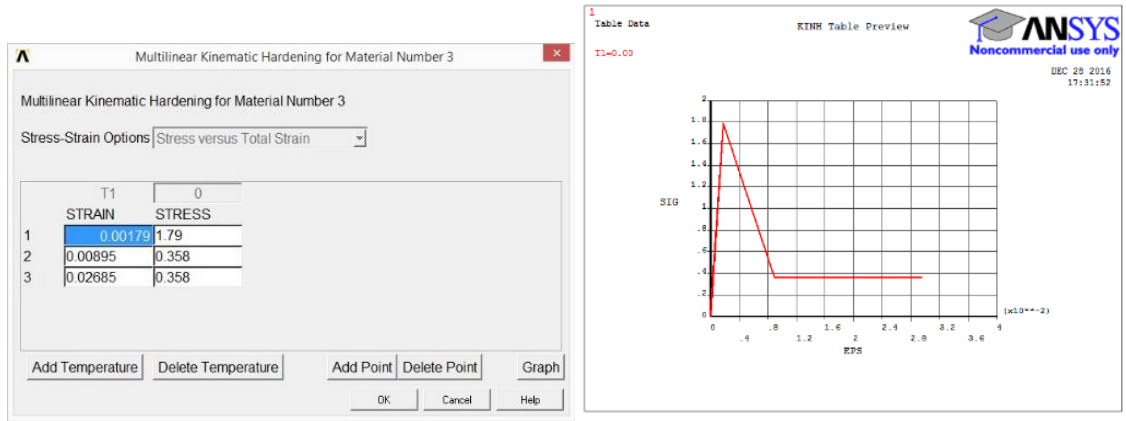
Şekil 6.22. IE02 numunesi dolgu duvar davranış modeli

IE03 numunesi dolgu duvar malzemesi davranış modeli bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.23'te görülmektedir.



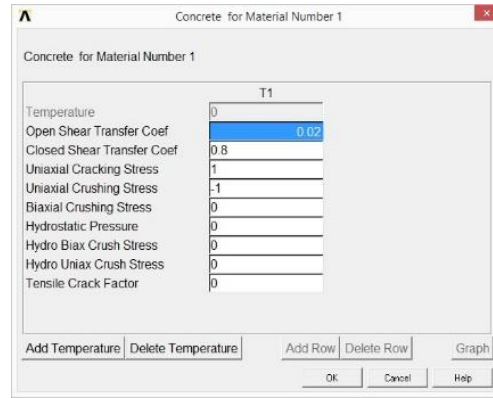
Şekil 6.23. IE03 numunesi dolgu duvar davranış modeli

IE04 numunesi dolgu duvar malzemesi davranış modeli bilgi girişi ve model grafiği Şekil 6.24'te görülmektedir.



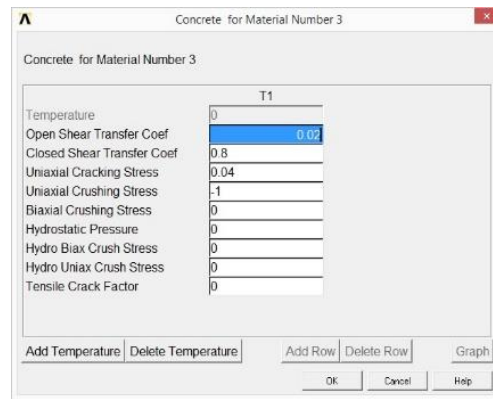
Şekil 6.24. IE04 numunesi dolgu duvar davranış modeli

Tüm numunelerde kabuk ve çekirdek betonu beton davranış modeli Şekil 6.25 ile gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Kabuk ve çekirdek betonu beton davranış modeli

IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde dolgu duvar malzemesinin davranış modeli Şekil 6.26 ile gösterilmektedir. IE01 numunesinde dolgu duvar kullanılmamıştır.

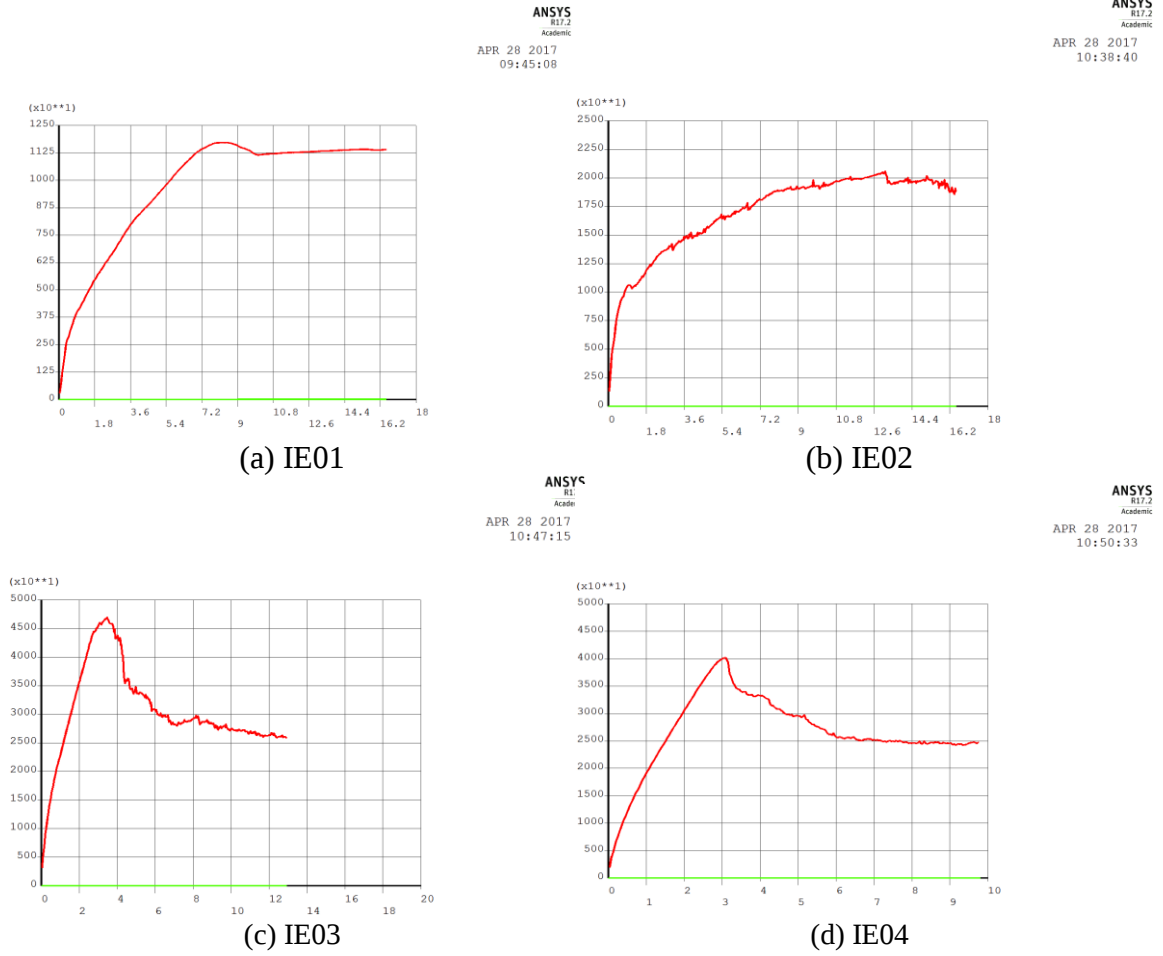


Şekil 6.26. Dolgu duvar davranış modeli

Her bir numunenin malzeme özellikleri sonlu elemanlar modeline tanımlanırken, o numunenin malzeme deney sonuçlarından faydalanılmıştır.

6.2.3. Çerçeve analiz sonuçları

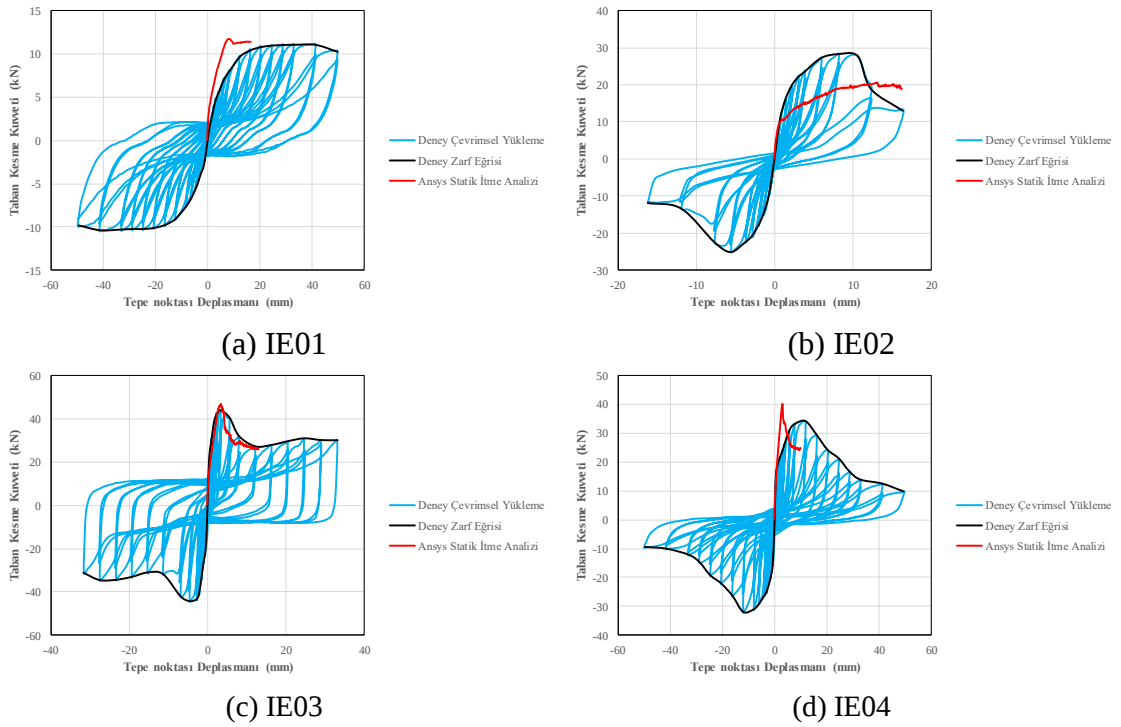
ANSYS programı analiz sonuçları yapılan 4 analiz için aşağıdaki şekilde karşılaştırılmıştır. Şekil 6.27 ile analiz sonuçlarından, tepe noktası deplasmanı - taban kesme kuvveti grafikleri görülmektedir. Buna göre tam dolu dolgu duvarlı ve dolgu duvar dayanımı kalitesi iyi olduğu için en büyük taban kesme kuvveti kapasitesi yaklaşık 48 kN ile IE03 numunesinde hesaplanmıştır. IE04 numunesi de tam dolu dolgu duvarlı olmasına rağmen, sıva ve harç kalitesinin kötü olması nedeniyle taban kesme kuvveti kapasitesi 40 kN olarak IE03 numunesinden daha az hesaplanmıştır. Dolgu duvar dayanımı iyi olmasına rağmen dolgu duvardaki boşluk nedeni ile IE02 numunesinin taban kesme kuvveti kapasitesi 20 kN olarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarsız olarak modellenen IE01 numunesinde ise taban kesme kuvveti beklendiği gibi en düşük olacak şekilde 12 kN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.27. Tepe noktası deplasmanı - Taban kesme kuvveti grafikleri

Analizleri yapılan IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinin tepe noktasından alınan deplasman değerleri ile, bu deplasmana ulaşması için uygulanan kuvvet değerleri kullanılarak çevrimsel yükleme histerisis eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğrilerin en büyük deplasman değeri ve bu değerdeki kuvvet değerlerinin birleştirilmesi ile deney zarf eğrileri elde edilmiştir. Aynı numunelerin ANSYS sonlu elemanlar programı ile lineer olmayan malzeme özellikleri kullanılarak lineer olmayan statik itme analizi sonucu, tepe noktasındaki bir noktanın deplasman değerleri ile o deplasmandaki en alt noktalardaki mesnet reaksiyonlarının toplamı olan ANSYS statik itme analizi eğrisi oluşturulmuştur. Şekil 6.28’de 4 numune için ANSYS ve deney sonucu elde edilen grafikler karşılaştırılmıştır. Buna göre sadece IE02 numunesinde, deneyde de %1,5 görel kat ötelemesi değerine gidilebildiği için, deneyde uygulanabilen yatay deplasman değeri analizde de uygulanabilmiştir. Diğer üç numunede %4 ve %6 görel kat ötelemesi değerlerine deneylerde ulaşılabilmıştır, ancak ileri deplasmanlarda sonlu elemanlar analiz sonuçları yakınsayamadığından analizlerde hedef deplasmanlara ulaşamamıştır. Dolgu

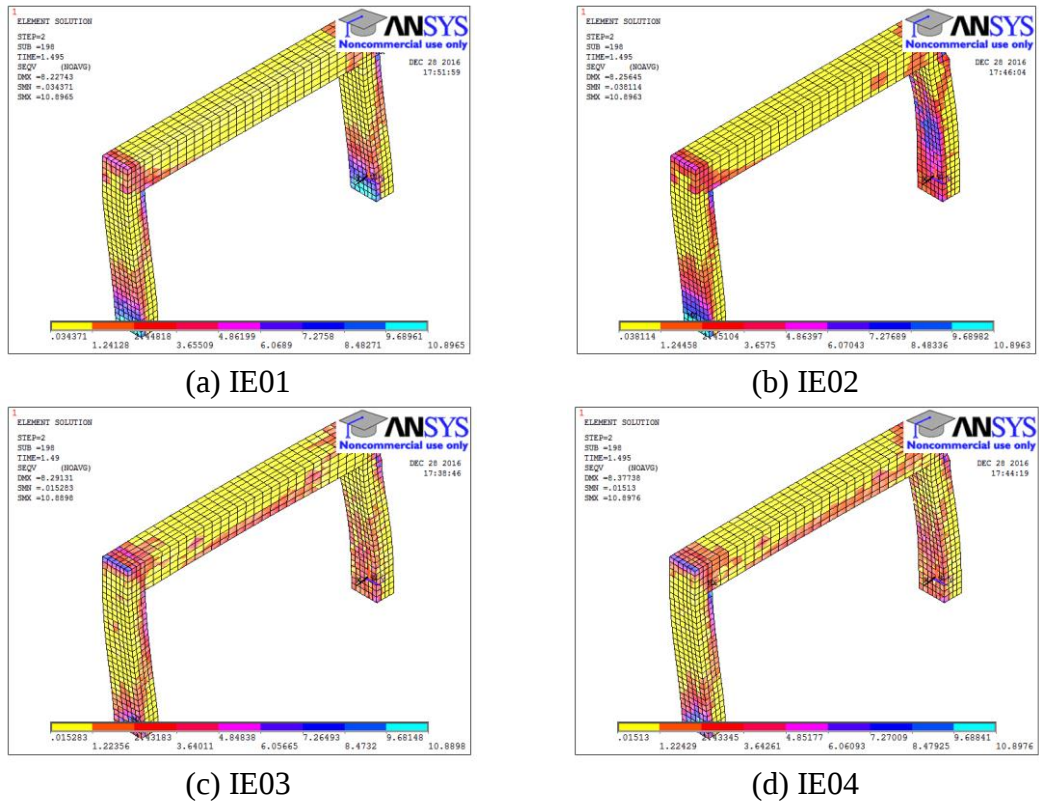
duvar kullanılarak modellenen numunelerde başlangıç rijitlikleri deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Dolgu duvar kullanılmayan IE01 numunesinin analizle hesaplanan başlangıç rijitliği deney sonucu hesaplanan başlangıç rijitliğine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Boşluklu dolgu duvarlı olarak modellenen numune dışında çerçeve dayanımları analiz ve deney sonuçlarına göre yeterli seviyede yakınlık göstermiştir. IE02 numunesinde deney sonuçlarıyla analiz sonuçları arasında %30'luk bir fark gözlenmiştir. Bu farkın, boşluklu dolgu duvarlı model kullanılan analizde dolgu duvar malzeme modelinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 6.28'e göre deney ve analiz sonuçları; başlangıç rijitliği, çerçeve dayanımı ve elastik ötesi davranış açısından en iyi örtüşen numunenin IE03 numunesi olduğu görülmektedir.



Şekil 6.28. Tepe noktası deplasmanı - Taban kesme kuvveti grafikleri

ANSYS analizleri sonucunda elemanlardaki gerilmeler ve şekil değiştirmeler çeşitli görelî kat ötelemesi değerlerinde ve farklı eleman grupları ile aşağıdaki şekillerde açıklanmıştır. Şekil 6.29 ve Şekil 6.30 ile çerçevelerdeki Von Mises gerilmelerini %1 görelî kat ötelemesinde ve analiz yapılabilen son yer değiştirme değerindeki durumları 3 boyutlu çizimlerle gösterilmektedir. Taşıyıcı elemanlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için temel ve dolgu duvar elemanları olmadan grafikler oluşturulmuştur.

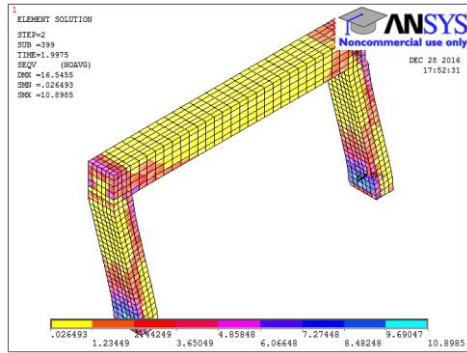
Şekil 6.29’da analizleri yapılan 4 adet çerçevenin %1 görel kat ötelemesi değerindeki Von Misses gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre IE01 numunesinde en büyük gerilmeler dolgu duvar olmadığından, kolon alt uçlarında gözlenmektedir. Diğer numunelerde de en büyük gerilmeler kolon alt uçlarında gözlenebilir de dolgu duvarın boşluk durumuna göre kolon üst bölgelerinde de gerilme yığılmaları gözlenmektedir. Deney sonuçlarında gözlenen hasar tipine en yakın sonuç IE02 numunesinde gözlenmiştir. Her ne kadar dolgu duvar dayanım özellikleri farklı olsa da analiz sonuçlarında IE03 ve IE04 numuneleri benzerlik göstermektedir. Kiriş elemanlarında gerilmelerde bir yığılma oluşmasa da dolgu duvarlı numunelerde düzlem dışı davranışı engelleyecek mesnetlerin olduğu noktalarda gerilmeler gözlenmiştir. Dolgu duvarın kirişi ortalayacak şekilde değil de kirişin bir yüzüne gelecek şekilde modellenmesiyle uygulanan deplasmanlarda düzlem dışı hareket ve gerilmeler gözlenmiştir. Bu davranış sonucundaki gerilmeler dolgu duvarsız numunede gözlenmemiştir.



Şekil 6.29. Sadece çerçeve için %1 görel kat ötelemesi Von Misses gerilmeleri

Şekil 6.30’da analizleri yapılan 4 adet çerçevenin analizlerde uygulanabilen son deplasman değerindeki Von Misses gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre IE01 ve

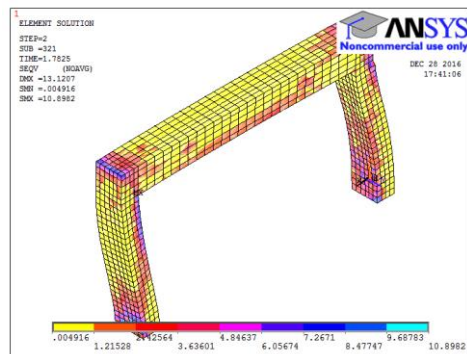
IE02 numunelerine %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 görel kat ötelemesi değerlerine kadar deplasmanlar uygulanabilmektedir. Bu deplasman değerlerinde de davranış %1,0 görel kat ötelemesi değerlerindeki davranışa benzemektedir. IE01, IE02, IE03 ve IE04 numunelerinde en büyük gerilmeler kolon alt uçlarında gözlenmektedir. Dolgu duvarlı olarak modellenen numunelerde kolon üst bölgelerinde de gerilme yığılmaları gözlenmektedir. Deney sonuçlarında gözlenen hasar tipine en yakın sonuç IE02 numunesinde gözlene de IE03 ve IE04 numunelerinde ileri deplasmana kadar analizler tamamlanamadığı için kolonlardaki gerilmeler IE02 numunesindeki kadar net bir şekilde gözlenememiştir. Kirişlerde bu deplasman değerlerinde de kolonlara oranla gerilmeler düşük değerlerde kalmıştır. IE02 numunesinde dolgu duvarın boşluklu bölgesinde, dolgu duvarın örüldüğü tarafta daha az deformasyon gözlenirken, dolgu duvarsız kısımda kolon daha fazla deplasman yaparak dönme hareketi gözlenmiştir. Bu davranış IE03 ve IE04 numunelerinde de gözlene de boşluklu dolgu duvar numunesinde olduğu kadar gözlenmemiştir.



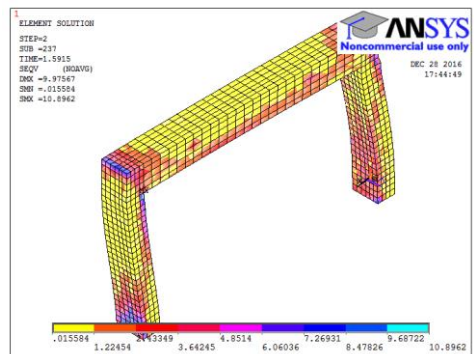
(a) IE01



(b) IE02



(c) IE03

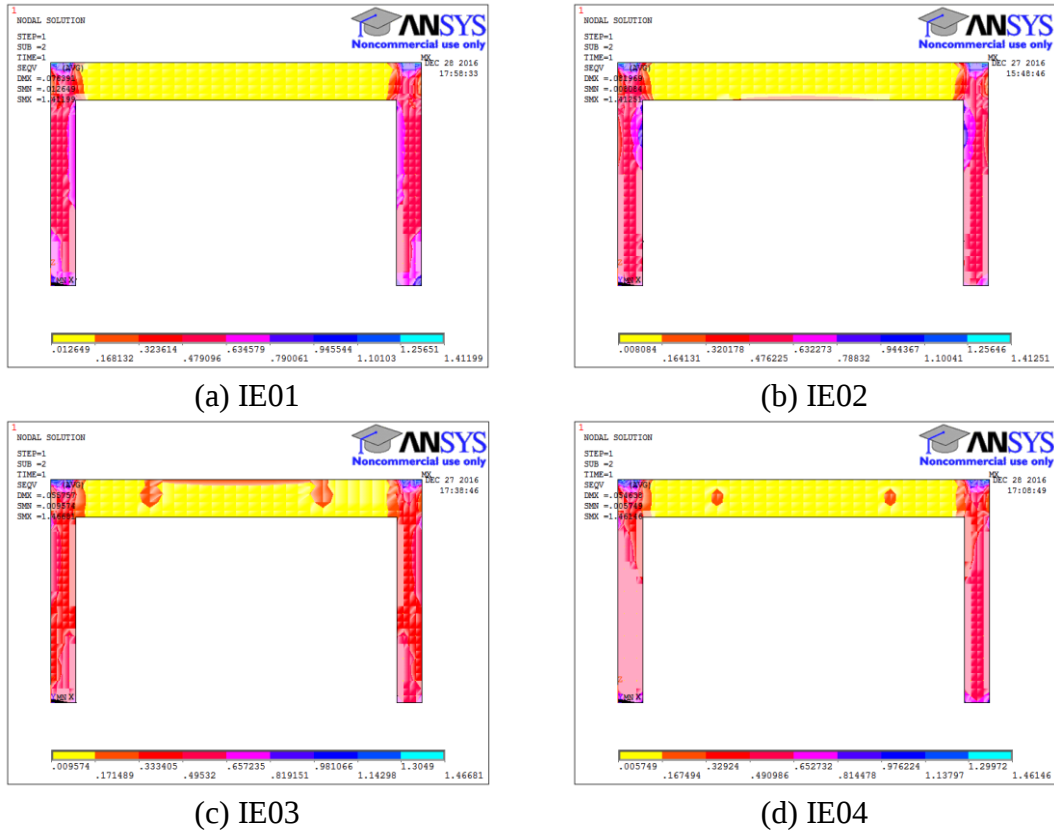


(d) IE04

Şekil 6.30. Sadece çerçeve için son yer değiştirmedeki Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33 ile sadece çerçeve elemanları için sırasıyla zati yükte, %1 görelî kat ötelemesinde ve analizin tamamlandığı son yer değıştirme değeriindeki Von Mises gerilmeleri görölmektedir. Taşıyıcı elemanlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için temel ve dolgu duvar elemanları olmadan sadece kolon ve kiriş gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır.

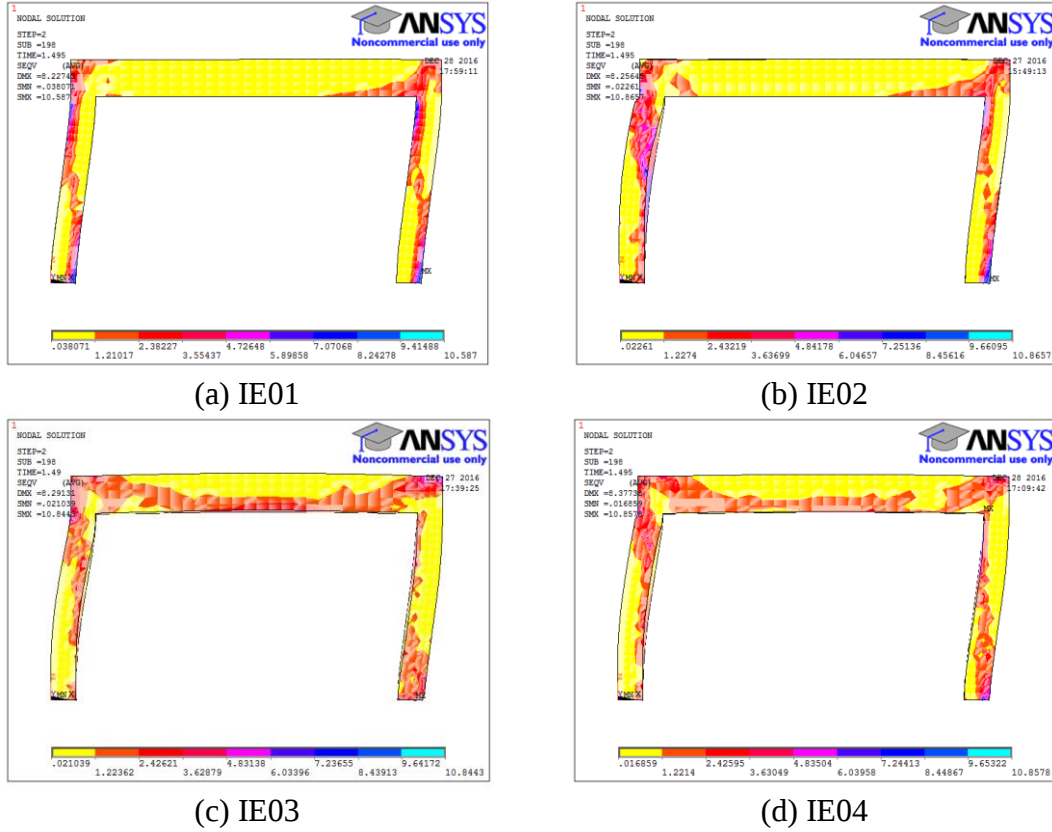
Şekil 6.31’de analizleri yapılan 4 adet çerçevenin 2,3 ton eksenel yük altındaki Von Misses gerilme grafikleri görölmektedir. Buna göre en büyük gerilmeler eksenel yükün uygulandığı kısımlarda bölgesel olarak görölmektedir. Kolon ve kiriş elemanlarına bakıldığında kirişlerde gerilme görölmese de dolgu duvarlı çerçevelerde, dolgu duvarın simetrik olmayan modellenmesine bağılı olarak düzlem dışı davranış nedeniyle kirişlerde gerilme yığılmaları gözlenmektedir. Kolonlardaki en büyük gerilme değeri IE02 numunesinde dolgu duvarın boşluklu kısmında gözlenmiştir. Böylece kısa kolon oluşacak şekilde bırakılan boşlukların, çerçeve elemanlarını daha yatay yükleme olmadan bile etkilediğı görölmüştür. IE02 numunesinden sonra sadece eksenel yüklemede IE01 numunesinin kolonları en büyük gerilmelere maruz kalmaktadır. Dolgu duvar dayanımı iyi olan IE03 numunesindeki kolonlar eksenel yükleme sonucundaki en az gerilmeye maruz kalan elemanlar olmuştur. IE04 numunesinde dolgu duvarların dayanımı az da olsa, eksenel yükten gelen kuvvetleri aldığı için IE01 numunesinin kolonlarına göre daha az ancak IE03 numunesini kolonlarına göre daha fazla gerilme gözlenmiştir.



Şekil 6.31. Sadece çerçeve için zati yükte Von Mises gerilmeleri

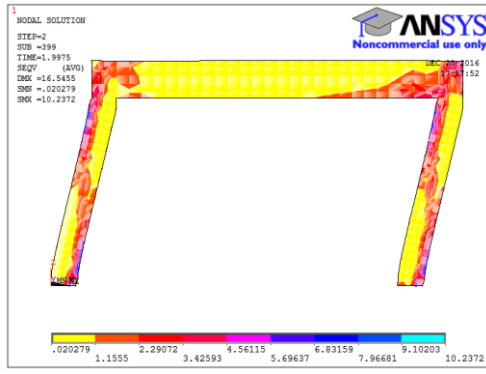
Şekil 6.32’de analizleri yapılan 4 adet çerçevenin 8 mm’deki deplasman değeri olan %1 görelî kat ötelemesi değeriindeki Von Misses gerilme dağılımları görülmektedir. IE01 numunesinde en büyük gerilme kolon alt uçlarında kolonun temelle birleştiği kısımlara yakın bölgede gözlenmiştir. Bunun dışında itme yönüne bağılı olarak kolonların alt ve üst kısımlarında ön ve arka taraflarında düzgün bir şekilde yayılı olduğu görülmektedir. IE02 numunesinde ise en büyük gerilmeler deney sonuçlarıyla uyumlu olacak şekilde dolgu duvarın boşluklu olduğu kısımda görülmektedir. Gerilmelerin yığılı olduğu bölgede deney sonucunda da kesme çatlakları net bir şekilde gözlenmiştir. IE03 ve IE04 numunelerinde dolgu duvar modellerinin dayanım özellikleri farklı olsa da benzer davranışlar gözlenmiştir. IE03 numunesinde deney sonuçları ile uyumlu bir şekilde kesme hasarının gözlemlendiği bölgede gerilme yığılımları gözlenmiştir. IE04 numunesinde ise deney sonucunda kesme çatlakları gözlenmese de sayısal hesaplarda bu numune gerilmeler kolonlarda IE03 numunesine benzer bir davranış göstermiştir. Bunun nedeni olarak IE04 numunesindeki dolgu duvar modelinde, dolgu duvarın hasar görmesi davranışının tam olarak modellenemediğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca dolgu duvarla, kolon arasındaki yüzeyin birbiri ile bağlantısı iyi olarak modellenmiştir.

Ancak dayanımı zayıf olan dolgu duvarlı numunelerde daha ilk deplasmanlarda çerçeve ve duvar ayrılmaktadır. Bu davranışın da tam olarak modellenememesi de analiz sonuçlarını etkilemektedir.

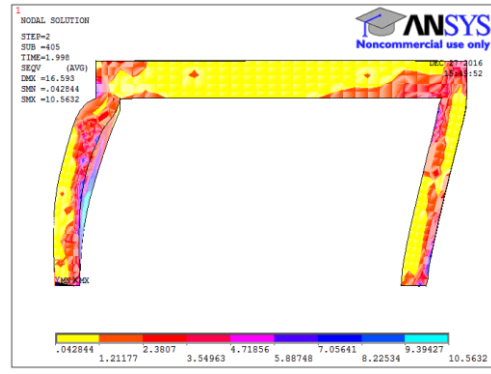


Şekil 6.32. Sadece çerçeve için %1 görel kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri

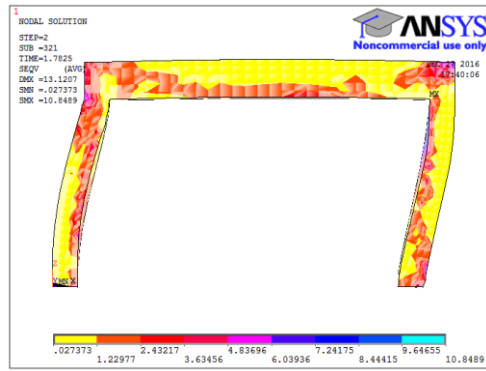
Şekil 6.33'te analizleri yapılan 4 adet çerçevenin analizlerde uygulanabilen son deplasman değerindeki Von Misses gerilme dağılımları görülmektedir. Buna göre IE01 ve IE02 numunelerine %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 görel kat ötelemesi değerlerine kadar deplasmanlar uygulanabilmiştir. Bu deplasman değerlerinde de davranış %1,0 görel kat ötelemesi değerlerindeki davranışa benzemektedir. IE01 numunesinde kolon gerilmelerinde farklılık gözlenmese de gerilmeler birleşim bölgesine ve kirişlere doğru kaymıştır. IE02 numunesinde de gerilmelerde farklılık az olsa da, kolonun dolgu duvarlı tarafta az deplasman yaptığı görülmektedir. IE03 ve IE04 numunelerinde analizlerde ileri deplasmanlara gidilemediği için %1 görel kat ötelemesi değerlerine yakın sonuçlar görülmektedir. Her iki çerçevede de gerilmeler ileri deplasmanlarda kirişlere doğru kaymıştır.



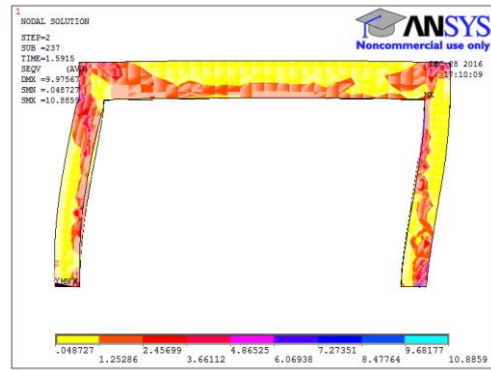
(a) IE01



(b) IE02



(c) IE03

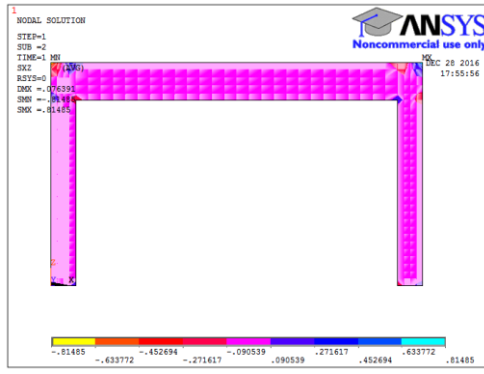


(d) IE04

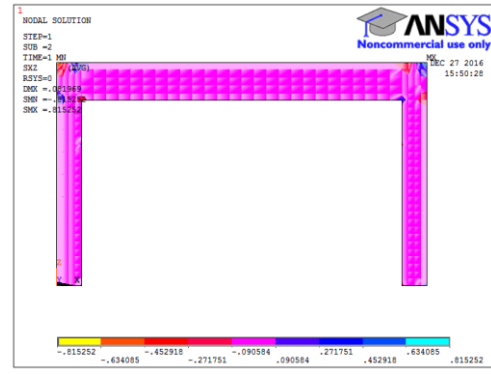
Şekil 6.33. Sadece çerçeve için son yer değiştirmedeki Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.34, Şekil 6.35 ve Şekil 6.36 ile sadece çerçeve elemanları için sırasıyla zati yükte, %1 görelî kat ötelemesinde ve analizin tamamlandığı son yer değiştirme değerindeki çerçeve düzlemi için kayma gerilmeleri görülmektedir. Taşıyıcı elemanlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için temel ve dolgu duvar elemanları olmadan sadece kolon ve kiriş gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır.

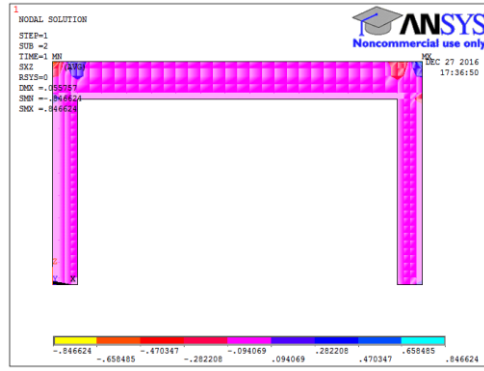
Şekil 6.34'te analizleri yapılan 4 adet çerçevenin 2,3 ton eksenel yükleme sonucunda düşey düzlemdeki kayma gerilmelerinin grafikleri görülmektedir. Buna göre 4 numunede de en büyük kayma gerilmeleri aynı bölgelerde oluşmaktadır. Bu bölgeler 2,3 ton eksenel yükün uygulandığı rijit plakaların alt kısmı ve kolon köşeleridir. Eksenel yükün doğrudan kolonların üzerindeki noktalara yüklenmeyip, çok rijit plakalara yüklenme sebebi de bu gerilmelerin önce plakalara, sonra kolonlara aktarılmasıdır. Aksi taktirde yüklemenin tek noktadan uygulanması durumunda gerilme yığılmaları nedeniyle nümerik problemlerle karşılaşma riski bulunacaktı.



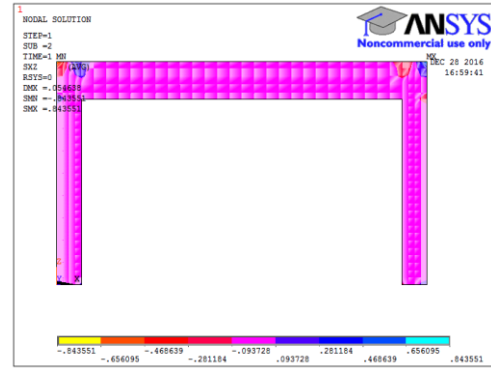
(a) IE01



(b) IE02



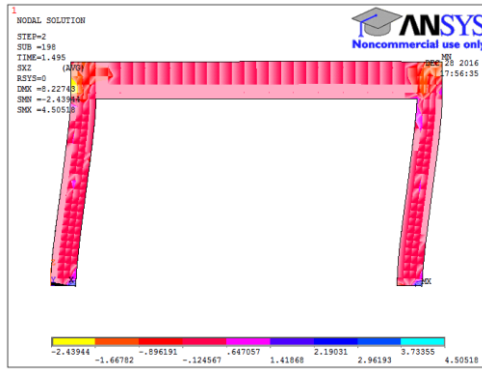
(c) IE03



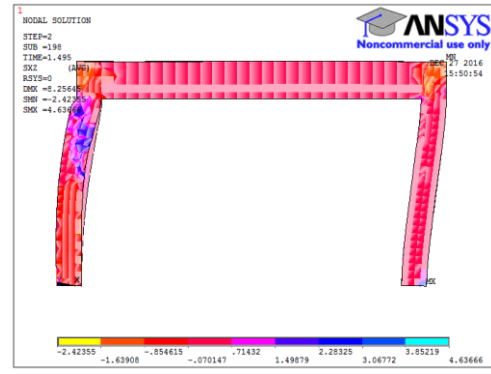
(d) IE04

Şekil 6.34. Sadece çerçeve için zati yükte S_{xz} kayma gerilmeleri

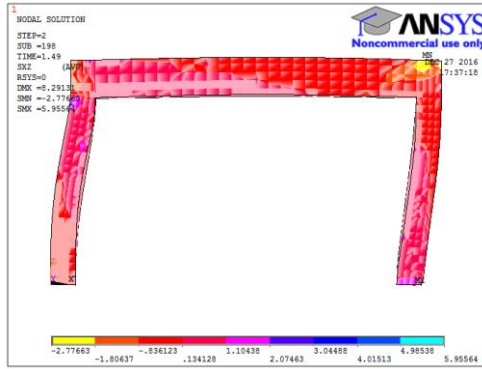
Şekil 6.35'te analizleri yapılan 4 adet çerçevenin %1 görelî kat ötelemesi değeriindeki çerçeve düzlemindeki kayma gerilme dağılımları görölmektedir. IE01 numunesindeki en büyük kayma gerilmesi kolonun alt ucunda, temelle birleştiği kısımda ve kolonların üst kısmında, ancak diğer numunelere göre daha küçük değerde olduğu görölmektedir. En büyük kayma gerilmeleri net bir şekilde IE02 numunesinde ve kesme hasarının olduğu bölgede deney sonuçları ile uyumlu bir şekilde görölmektedir. IE03 ve IE04 numunelerinde de kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı noktalar, IE03 numunesinin deney sonuçları ile de uyumlu bir şekilde kolon üst bölgesinde olduğu görölmektedir.



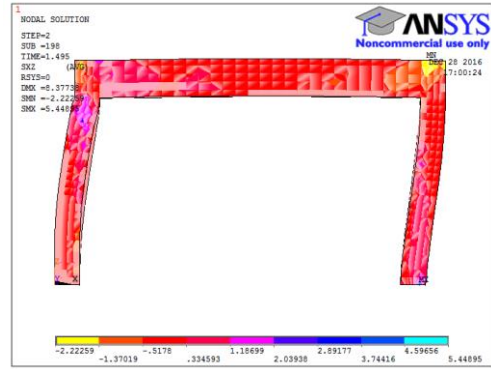
(a) IE01



(b) IE02



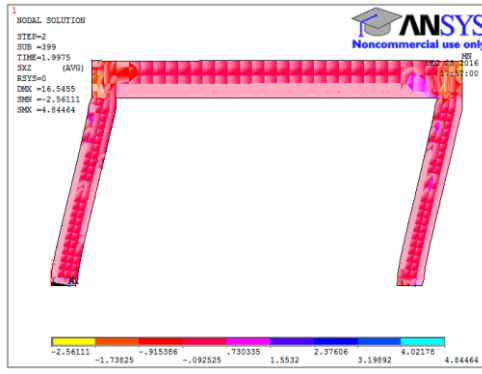
(c) IE03



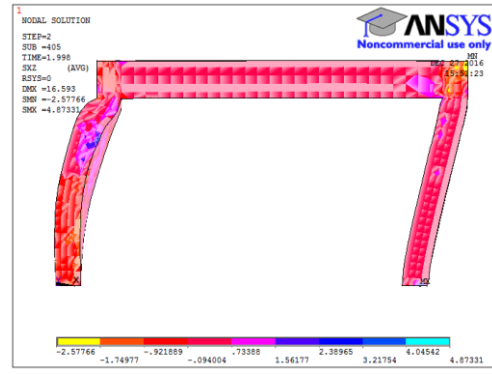
(d) IE04

Şekil 6.35. Sadece çerçeve için %1 görel kat ötelemesi S_{XZ} kayma gerilmeleri

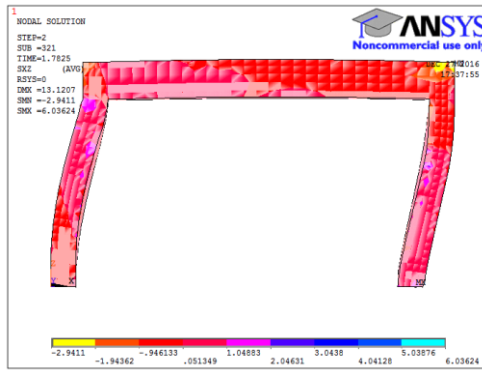
Şekil 6.36’da analizleri yapılan 4 adet çerçevenin analizlerde uygulanabilen son deplasman değerindeki çerçeve düzlemi için kayma gerilmeleri görülmektedir. Buna göre IE01 ve IE02 numunelerine %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 görel kat ötelemesi değerlerine kadar deplasmanlar uygulanabilmıştır. Bu deplasman değerlerinde de davranış %1,0 görel kat ötelemesi değerlerindeki davranışa benzemektedir. En belirgin fark IE03 numunesinde deneyle uyumlu olarak kesme hasarı gözlenen bölgede kayma gerilmelerinin yoğunluğunun, %1,0 görel kat ötelemesi değerine göre daha da artmış olmasıdır. IE04 numunesinde %1,0 görel kat ötelemesi değerine yakın bir deplasman değeri uygulanabildiği için düşey düzlemde kayma gerilmeleri anlamında çok büyük bir fark görülmemiştir.



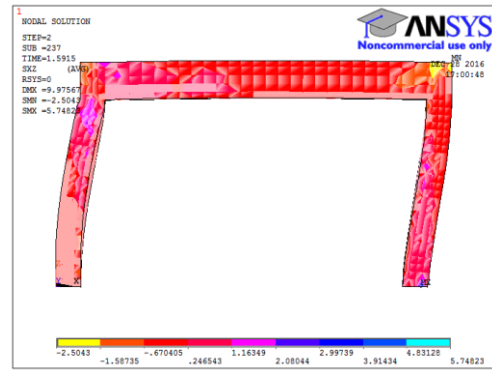
(a) IE01



(b) IE02



(c) IE03



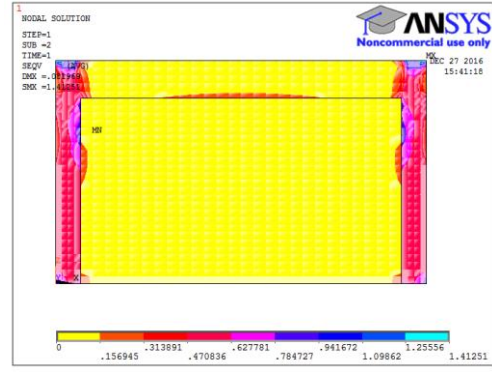
(d) IE04

Şekil 6.36. Sadece çerçeve için son yer değiştirmedeki S_{xz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.37, Şekil 6.38 ve Şekil 6.39 ile çerçeve elemanlarıyla beraber duvar elemanları için sırasıyla zati yükte, %1 görelî kat ötelemesinde ve analizin tamamlandığı son yer değiştirme değerindeki Von Mises gerilmeleri görülmektedir. Taşıyıcı elemanlarla beraber kullanılan dolgu duvarlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için sadece temel elemanları olmadan, kolon, kiriş ve dolgu duvar gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır. IE01 numunesine dolgu duvar olmadığı için Şekil 6.37, Şekil 6.38 ve Şekil 6.39'daki kıyaslamalarda analiz sonuçları kullanılmamıştır.

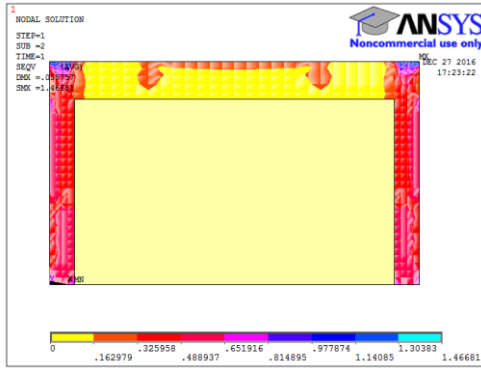
Şekil 6.37'de analizleri yapılan 4 adet çerçeveden dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin 2,3 ton eksenel yükleme sonucundaki Von Mises gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre sadece eksenel yükleme sonucu IE03 ve IE04 numunelerinde duvarlardaki gerilmelerin kiriş ve kolonlara göre daha az olduğu görülmektedir. IE02 numunesinde ise benzer bir durum gözlenirken dolgu duvarda boşluğun hemen altında gerilmeler olduğu görülmektedir.

Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.

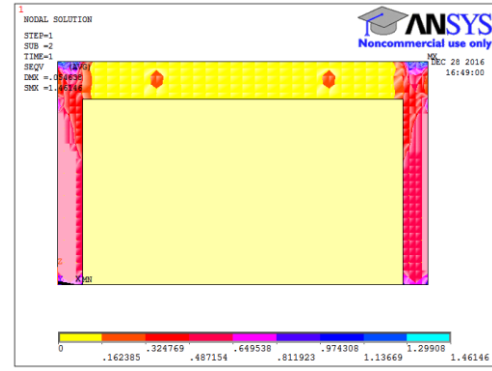


(a) IE01

(b) IE02



(c) IE03

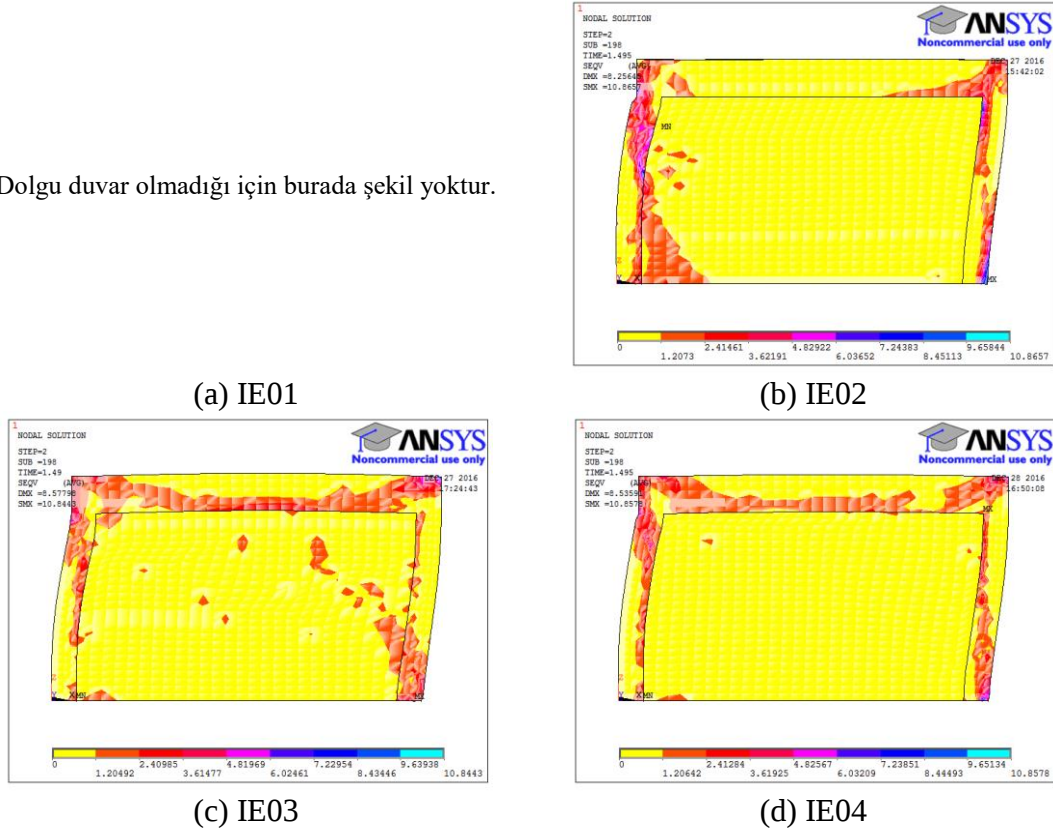


(d) IE04

Şekil 6.37. Çerçeve+Duvar için zati yükte Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.38’de analizleri yapılan 4 adet çerçeveden dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin %1,0 görelî kat ötelemesi değeriindeki Von Misses gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre her 3 numunede de duvarlarda ve taşıyıcı elemanlarda gerilmeler mevcuttur. IE02 ve IE03 numunesindeki gerilmeler deney sonuçları ile uyumludur. IE04 numunesinde ise dolgu duvardaki gerilme yoğunluğu az gibi gözükse de kolon ve kirişlerde, dolgu duvara oranla daha büyük gerilmeler olması buna sebep olmaktadır. Bu numunedeki dolgu duvar gerilmeleri ilerleyen paragrafta sadece dolgu duvar gerilmelerinin olduğu grafiklerde daha iyi anlaşılacaktır.

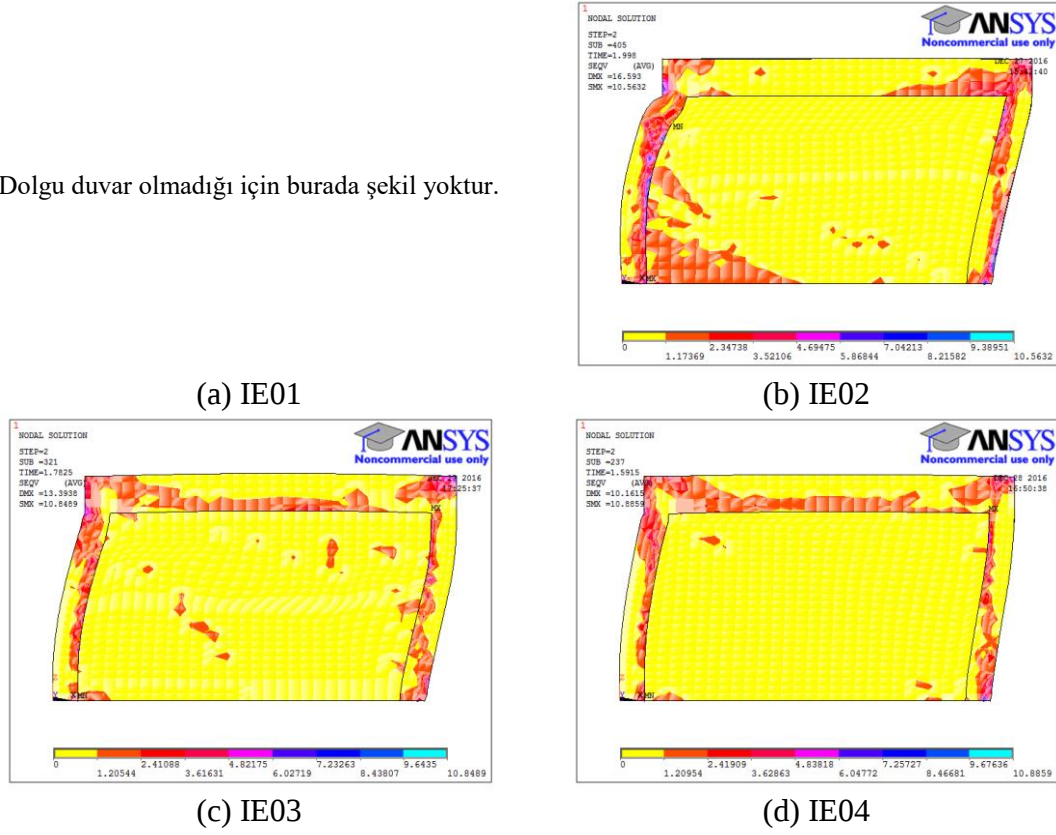
Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.



Şekil 6.38. Çerçeve+Duvar için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.39’da analizleri yapılan 4 adet çerçeveden dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin, analizlerde uygulanabilen son deplasman değeriindeki Von Misses gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre IE02 numunesinde %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 görelî kat ötelemesi değeri kadar deplasmanlar uygulanabilmiştir. Bu deplasman değeriinde de davranış %1,0 görelî kat ötelemesi değeriindeki davranışa benzemektedir. Her 3 numune de dolgu duvarlarda %1,0 görelî kat ötelemesi değeriine göre gerilme yoğunluğundaki artış, kolon ve kirişteki gerilme yoğunluğundaki artıştan daha fazladır.

Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.

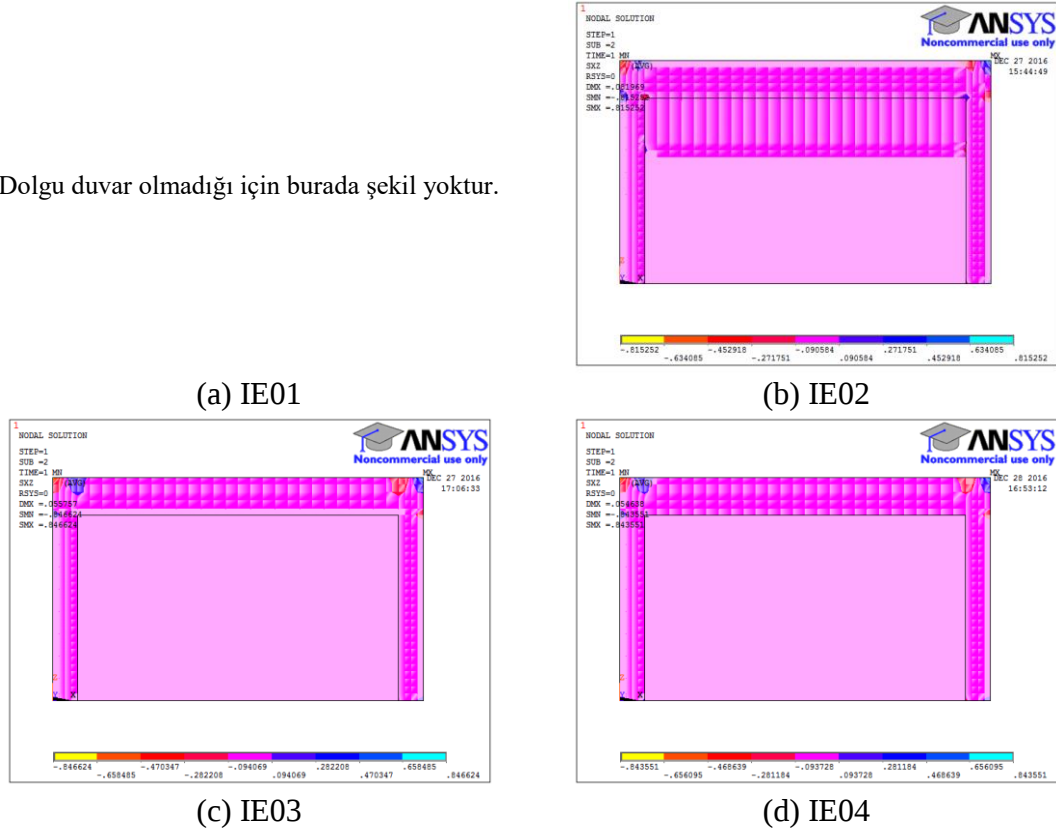


Şekil 6.39. Çerçeve+Duvar için son yer değiştirmedeki Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.40, Şekil 6.41 ve Şekil 6.42 ile çerçeve elemanları ile beraber dolgu duvar elemanları için sırasıyla zati yükte, %1 görelî kat ötelemesinde ve analizin tamamlandığı son yer değiştirme değeriindeki çerçeve düzlemi için kayma gerilmeleri görülmektedir. Taşıyıcı elemanlarla beraber kullanılan dolgu duvarlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için sadece temel elemanları olmadan, kolon, kiriş ve dolgu duvar gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır. IE01 numunesine dolgu duvar olmadığı için Şekil 6.40, Şekil 6.41 ve Şekil 6.42’deki kıyaslamalarda analiz sonuçları kullanılmamıştır.

Şekil 6.40’ta analizleri yapılan 4 adet çerçeveden dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin 2,3 ton eksenel yükleme sonucunda düşey düzlemdeki kayma gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre her 3 numunede kayma gerilmelerinin çoğunu kolon ve kiriş elemanları alarak, duvarlarda kayma gerilme değeri düşük gelmektedir.

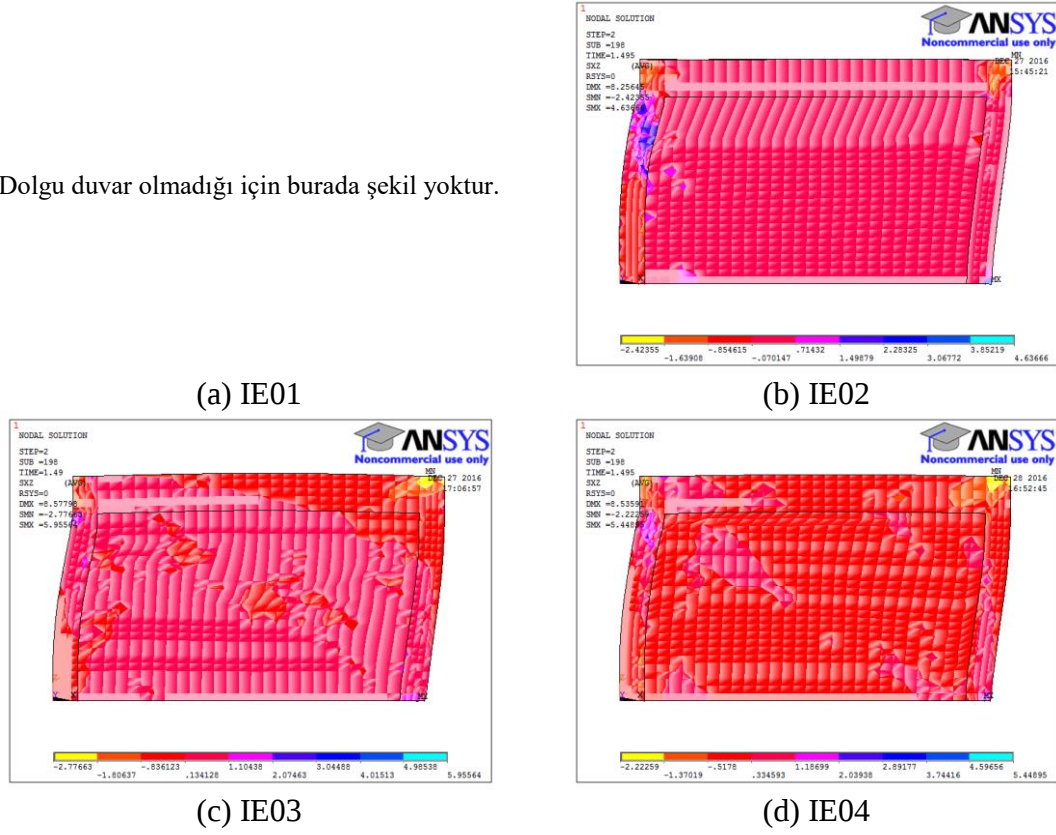
Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.



Şekil 6.40. Çerçeve+Duvar için zati yükte S_{xz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.41’de analizleri yapılan 4 adet çerçevede, dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin %1,0 görelî kat ötelemesi değeriindeki kayma gerilme grafikleri görülmektedir. Dolgu duvarlardaki kayma gerilmesi değeri ve yoğunluğu kolon ve kiriş elemanlarına göre daha fazla olan numuneler IE02 ve IE03 numuneleridir. IE04 numunesinde kayma gerilmeleri dolgu duvardan ziyade kolon ve kirişlerde daha yoğun olduğu görülmektedir.

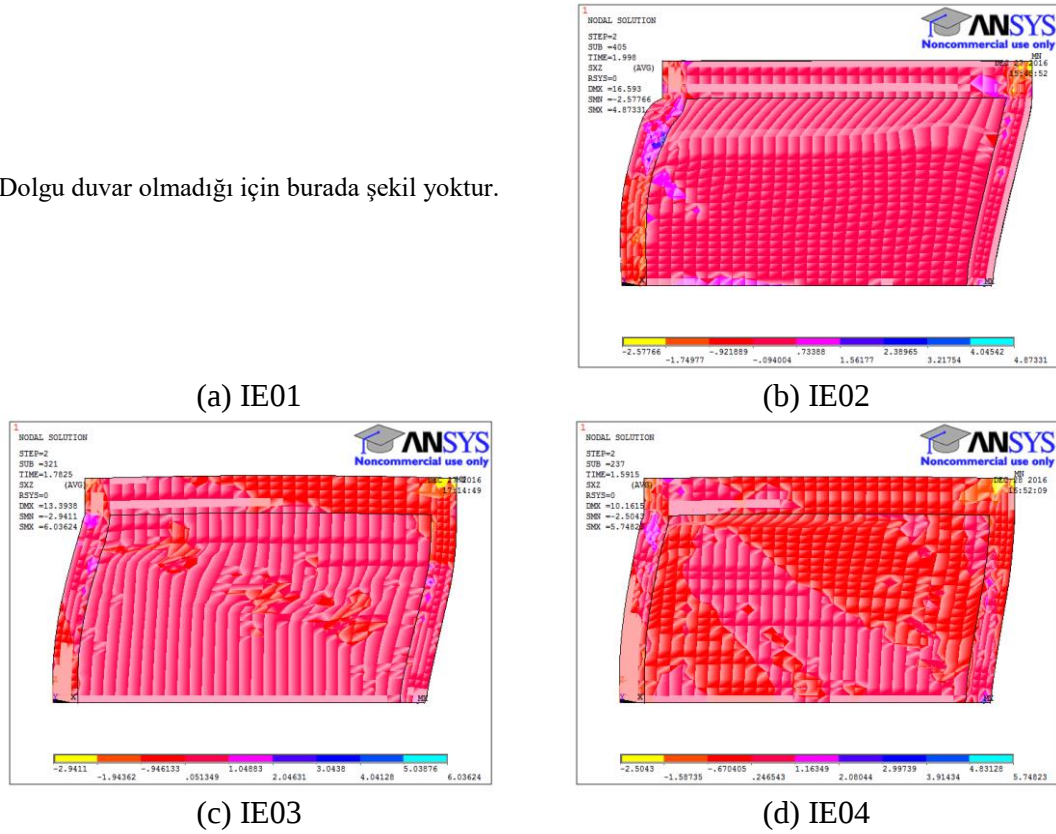
Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.



Şekil 6.41. Çerçeve+Duvar için %1 göreli kat ötelemesi S_{xz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.42’de analizleri yapılan 4 adet çerçeveden dolgu duvarlı olarak modellenen 3 tanesinin analizlerde uygulanabilen son deplasman değerindeki düşey düzlem için kayma gerilmeleri görülmektedir. Buna göre IE02 numunesinde %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 göreli kat ötelemesi değerlerine kadar deplasmanlar uygulanabilmiştir. Bu deplasman değerlerinde de davranış %1,0 göreli kat ötelemesi değerlerindeki davranışa benzemektedir. %1,0 göreli kat ötelemesi değerinden farklı olarak bu numunelerin her üçünde de dolgu duvar kayma gerilmeleri yoğunluğunda artış meydana gelmiştir.

Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.

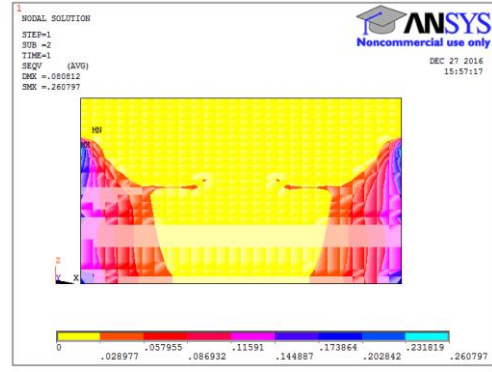


Şekil 6.42. Çerçeve+Duvar için son yer değiştirmedeki S_{xz} kayma gerilmeleri

Şekil 6.43 ve Şekil 6.44 ile sadece duvar elemanları için sırasıyla zati yükte, %1 görelî kat ötelemesindeki Von Misses gerilmeleri görülmektedir. Taşıyıcı elemanlarla beraber dolgu duvarların kullanıldığı grafiklerde dolgu duvardaki gerilmeler, taşıyıcı elemanlara göre daha küçük olduğundan, dolgu duvarlardaki gerilmeleri daha net görebilmek için sadece dolgu duvar gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır. IE01 numunesinde dolgu duvar olmadığı için analiz sonuçları sadece dolgu duvar için Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'teki kıyaslamalarda kullanılmamıştır. Ayrıca dolgu duvardaki gerilmelerin aynı görelî kat ötelemesi değerindeki kıyaslamalarının yapılabilmesi için analizin uygulanabildiği son noktasındaki hedef deplasman için kıyaslama yapılmamıştır.

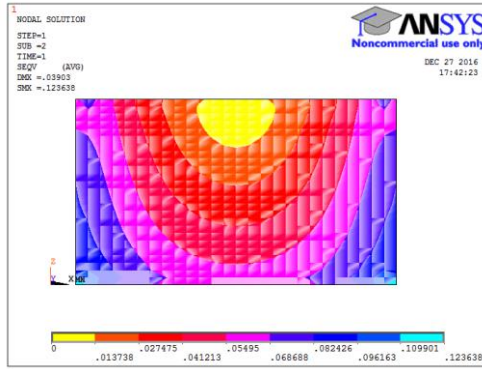
Şekil 6.43'te analizleri yapılan 3 adet dolgu duvardan 2,3 ton eksenel yükleme sonucundaki Von Misses gerilme grafikleri görülmektedir. Buna göre 3 numune için de dolgu duvardaki en büyük gerilmeler IE02 numunesinde gözlenmiştir. Böylece boşluklu dolgu duvarlarda yatay olmayan düşey yüklerde bile gerilmeler fazla çıkarak dolgu duvar elemanlarını, tam dolu dolgulu numunelere oranla daha fazla zorlamaktadır. IE03 numunesinde IE04'e göre daha büyük gerilme değerleri gözlenirse de, gerilme yoğunluğu olarak benzerlik görülmektedir.

Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.

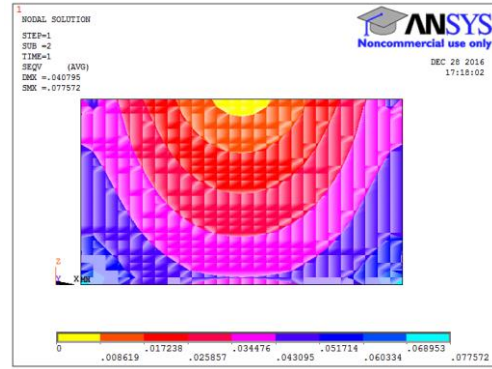


(a) IE01

(b) IE02



(c) IE03

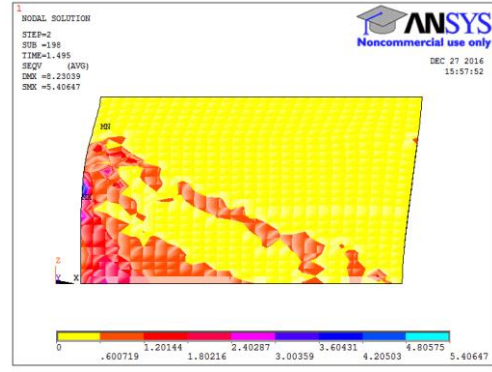


(d) IE04

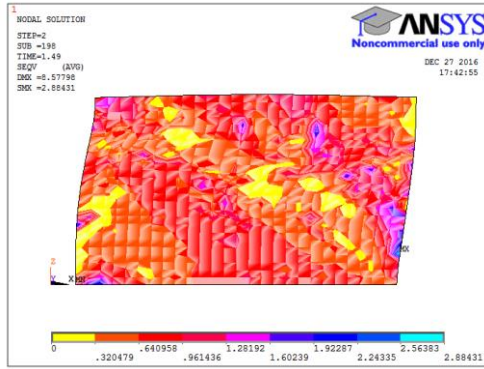
Şekil 6.43. Sadece duvar için zati yükte Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.44'te analizleri yapılan 3 adet dolgu duvarda %1,0 görelî kat ötelemesi değeriindeki Von Misses gerilme grafikleri görölmektedir. Buna göre en büyük gerilme değeri IE02 numunesinde boşluğun hemen altında meydana gelmektedir. IE03 numunesinde IE04 numunesine göre daha yüksek değeri görölmektedir. Ancak yüksek değeriindeki gerilme yoğunluğu, deney sonucuyla uyumlu olacak şekilde IE04 numunesinde gözlenmiştir. Gerilme grafikleriindeki yüksek gerilmeler incelendiğinde basınç çubuğu davranışına benzer bir şekilde diyagonal oluştuğu görölmektedir.

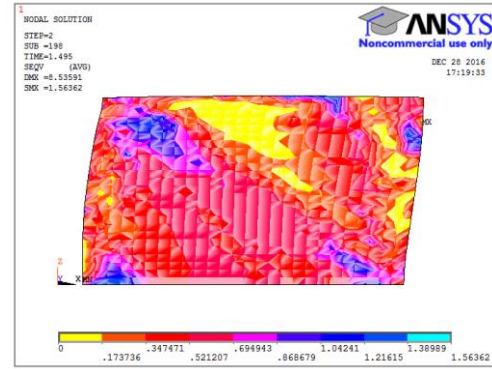
Dolgu duvar olmadığı için burada şekil yoktur.



(b) IE02



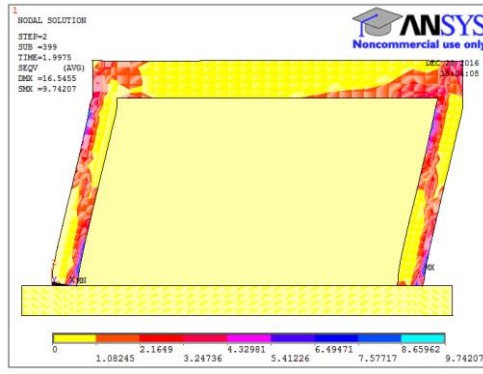
(c) IE03



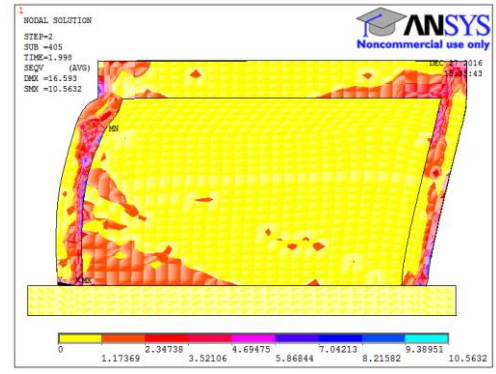
(d) IE04

Şekil 6.44. Sadece duvar için %1 görelî kat ötelemesi Von Mises gerilmeleri

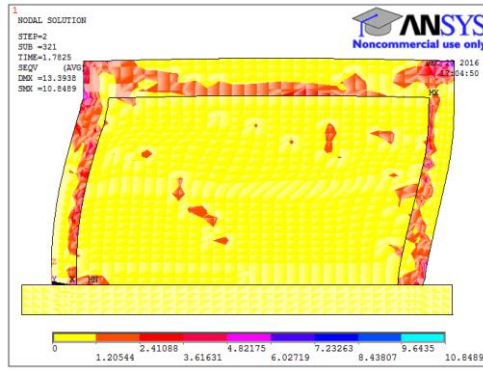
Şekil 6.45'te analizleri yapılan 4 adet çerçevenin analizlerde uygulanabilen son deplasman değeriindeki Von Misses gerilmeleri görülmektedir. Buna göre IE01 ve IE02 numunelerine %2,0, IE03 numunesine %1,6 ve IE04 numunesine %1,2 görelî kat ötelemesi değeri kadar deplasmanlar uygulanabilmiştir. Tüm taşıyıcı sistemde gerilme dağılımlarını görebilmek için tüm elemanların gerilmelerinden oluşan grafikler kullanılmıştır. Buna göre deneylerle uyumlu olarak temelde gerilmelerin oluşmadığı görülmektedir. Hiçbir deneyde temelde bir hasar gözlenmemiştir. IE01 numunesinde dolgu duvar gözükse de elemanlar olmadığı için hiç gerilme çıkmamıştır. IE02 numunesinde en büyük gerilmeler ve gerilme yoğunluğu kolonda deneyle uyumlu olarak görülmektedir. IE03 ve IE04 numunelerinde benzer bir davranış görülmektedir.



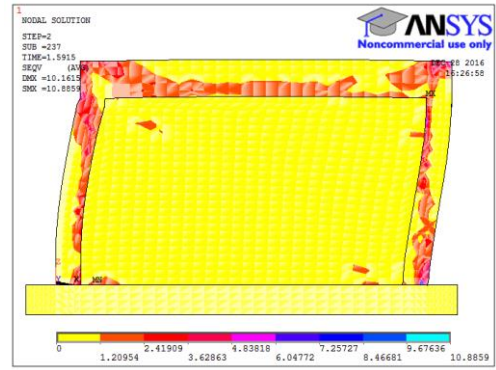
(a) IE01



(b) IE02



(c) IE03

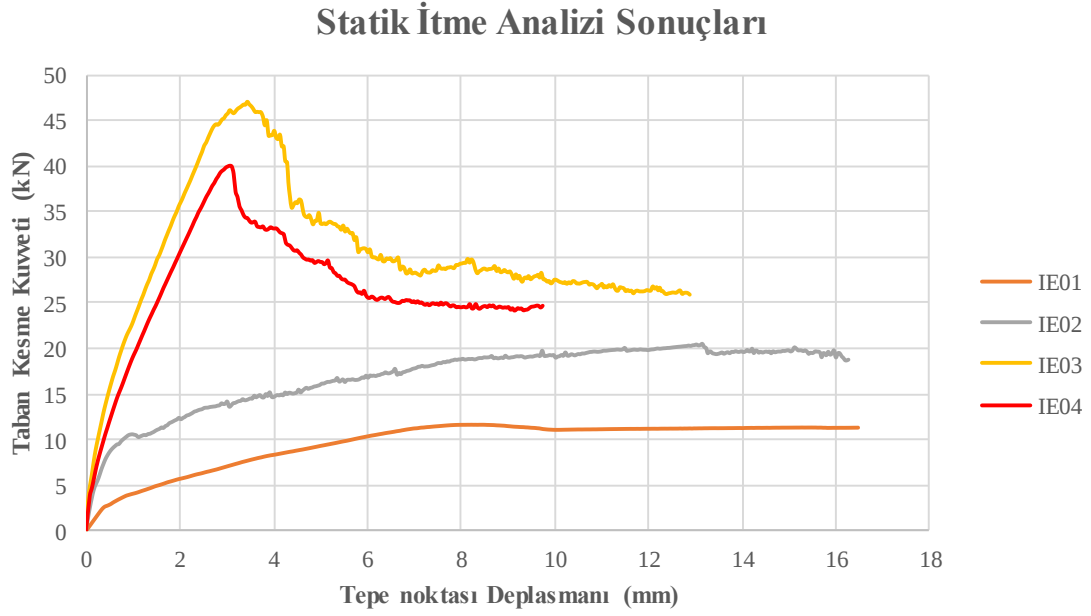


(d) IE04

Şekil 6.45. Çerçeve+Duvar+Temel için son yer değiştirmedeki Von Mises gerilmeleri

Şekil 6.46’da ANSYS ile statik itme analizi yapılan 4 adet numune sonuçları görülmektedir. Buna göre IE01 numunesinde dolgu duvar olmadığı için, beklendiği gibi çerçeve dayanımı düşük ama sünek bir davranış gözlenmektedir. IE02 numunesinde dolgu duvarın boşluklu olması nedeniyle dayanımı diğer numunelere göre daha az ancak dolgu duvarın etkisiyle IE01 numunesinden daha fazladır. Kısa kolon hasarı nedeniyle gözlenmesi beklenen ani düşüş IE02 numunesinde gözlenmemiştir. Deneysel sonuçlarında gözlenen %1 görelî kat ötelemesi değeriindeki çerçeve dayanımında ani bir düşüş analiz sonuçlarında olmamıştır. Boşluksuz dolgu duvarlı çerçevelerde beklenmeyen kısa kolon davranışı nedeniyle çerçeve dayanımındaki ani düşüş en net IE03 numunesinde gözlenmektedir. Dolgu duvarın etkisiyle çerçeve dayanımı en fazla olan numune de bu numunedir. IE04 numunesinin deneysel sonuçlarında çerçeve dayanımında ani bir düşüş gözlenmese de analiz sonuçlarında bu davranış gözlenmektedir. Dolgu duvar modellemesinden kaynaklandığı düşünülen bu davranışa rağmen dayanımı IE03 numunesinden daha az çıkması dayanım açısından tutarlı bir sonuçtur. Deneysel sonuçlarla, dolgu duvarlı olarak imal edilen numunelerde başlangıç rijitlikleri, dolgu duvarsız olarak modellenen numuneden fazla olduğu gözlenirken aynı

durum analiz sonuçlarında da gözlenmiştir. IE01 numunesi başlangıç rijitliği en az olan numunedir, ancak dayanımında ani bir düşme olmadığından sünek bir davranış göstermektedir.



Şekil 6.46. ANSYS ile statik itme analizi sonuçlarının karşılaştırılması

7. SONUÇ

Çalışma kapsamında 15 adet 1/3 ölçekli çerçeve test numunesinin yatay yük altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiş ve IE01, IE02, IE03 ve IE04 olarak adlandırılan 4 tanesinin sonlu elemanlar modelleri kurularak analizleri yapılmıştır. Tüm çerçeveler ülkemiz mevcut yapı stokunu oluşturan standart-altı betonarme binaların büyük bir bölümünü temsil etmesi için düşük dayanımlı beton ve nervürlü donatılı olarak imal edilmişlerdir. Deneyleri gerçekleştirilen çerçeve numuneleri sabit düşey yük ve tekrarlı tersinir yatay yük altında test edilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında, boy/en oranı 0,58 olan IE03, IE05, IE07, IE13 ve IE14 numunelerinde tezin çalışma konusu olan tam dolu dolgu duvarlı numunelerde kısa kolon oluşumu gözlenmiştir (Görsel 7.1). Kısa numuneler arasında tam dolu dolgu duvarlı üretilmesine rağmen kısa kolon nedeni ile kesme hasarı gözlenen numunelerin ortak özelliği dayanım açısından iyi ve orta kaliteli sıva ve harç ile üretilmiş numuneler olmasıdır. Dayanımı kötü olan harç ve sıva kullanılarak üretilmiş dolgu duvarlı numunelerle ve tam dolu dolgu duvarlı uzun numunelerin hiçbirinde kesme hasarı gözlenmemiştir. Boy/en oranı 0,58 olan, tam dolu dolgu duvarlı çerçevelerde, kısa kolon hasarı davranışının meydana gelmesinde harç ve sıva dayanımının en etkin rolü üstlendiği görülmektedir.



Görsel 7.1. Tam dolu dolgu duvarlı fakat kesme hasarı gözlemlenen numuneler

Kısa numuneler için kısa kolon davranışının beklendiği, boşluklu dolgu duvarlı numunede ilk kesme çatlağı %0,5 görelî kat ötelemesi değeriinde gözlenirken, %1,3 görelî kat ötelemesi değeriinde çerçeve dayanımında %20'lik bir azalma meydana gelmiştir. İyi ve orta kaliteli harç ve sıva ile üretilmiş tam dolu dolgu duvarlı numunelerde ise ilk kesme çatlakları %0,1, %0,7, %0,2, %0,5 ve %0,2 görelî kat ötelemesi değeriinde gözlenirken, bu numunelerin çerçeve dayanımlarının %20 azaldığı görelî kat ötelemesi değeri %0,9, %0,8, %1,0, %2,0 ve %0,8'dir. Dolayısıyla deprem gibi yanal deplasmana neden olan yatay kuvvetler sonucunda yapıda %1,0 görelî kat ötelemesi değeriine ulaşılması durumunda, beton basınç dayanımı düşük, dolgu duvar dayanımı yüksek ve kiriş uzunluğu kolon uzunluğundan daha fazla olduğu çerçevelerde tam dolu dolgu duvar olmasına rağmen, kısa kolon oluşumu nedeniyle kolonda kesme hasarı gözlenebilir. Dolgu duvar hasarı nedeniyle kısa kolon oluşumu sonucu kolondaki kesme hasarı nedeniyle çerçeve dayanımındaki %20'lik azalmanın gözleendiği en büyük görelî kat ötelemesi değeri %2,0 olan numune, harç ve sıva dayanımı orta kalitede olan dolgu ile üretilmiş numunedir. Dolgu duvar dayanımını etkileyen en önemli etmenlerden olan sıva ve harç kalitesi çerçeve davranışını da doğrudan etkilemektedir. İyi dayanımlı harç ve sıva ile üretilen dolgu duvarlı numunelerde hasar küçük deplasmanlarda gözlenirken, dayanımın azalmasıyla ileri deplasmanlarda gözükmemektedir. Sıva ve harç dayanımı kötü olan numuneler nispeten daha sünek bir davranış göstermektedir.

Kısa deney numuneleri histerisis eğrii incelendiğinde, beklenmeyen kısa kolon hasarı gözlenen iyi dayanımlı boşluksuz dolgu duvar ile üretilen numunelerde, kolonların ileri seviyede hasar aldığı ve ters yönde deplasman uygulanırken bile kalıcı hasarlardan dolayı ters yönde kuvvet uygulanması gerektiği görölmektedir. Dolayısıyla histerisis eğrii altındaki alanlar arttığı için bu numunelerde enerji sönümleme kapasiteleri, dayanımı düşük dolgu duvarlı numunelere göre daha fazla çıkmaktadır.

Kısa deney numunelerine depremi benzeştiren tersinir tekrarlı yatay deplasman uygulanırken, ileri deplasmanlarda dolgu duvarın köşelerde dayanımını kaybedip hasar almasından sonra, dayanımı iyi olan dolgu duvarın hasar almayan kısmı diyagonal basınç çubuğu oluşturarak kolonu zorladığı ve kesme hasarına neden olduğu görölmüştür. Dayanımı yetersiz olan dolgu duvarda, hasar kolonu zorlamadan devam ettiği için bu davranış gözlenmemiştir. Bu tip numunelerde dolgu duvar toptan göçerek, dolgusuz çerçeve davranışına dönmüştür. Uzun deney numunelerinde ise davranış, sıva ve harç dayanımından bağımsız olarak, dolgu duvarların köşelerinden ezilerek dönmesi

nedeniyle çerçeve içinde basınç çubuğunun oluşturulamadığı görülmüştür. Bu durumda da kolonlarda ilave kesme talepleri oluşmamıştır.

DBYBHY (2007)'ye göre betonarme yapı elemanlarında birçok detay açıklanırken, taşıyıcı olmayan dolgu duvarın taşıyıcı sistem üzerine etkileri hesaba katılmazlar, ancak tüm deney sonuçları, dolgu duvar malzemesinin çerçeve davranışını etkilediğini net bir şekilde göstermiştir. Dolgu duvar imalatında harç ve sıva kalitesi, dayanımı, rijitliği ve enerji sönümleme kapasitesini artırırken, duvarlara komşu kolonlarda kısa kolon mekanizmasına benzer bir şekilde çok büyük kesme kuvveti talepleri oluşturduğundan, bu kolonlarda kırılma kesme hasarına neden olabilmektedir. Bu da tüm yapının davranışını olumsuz yönde etkileyen bir durumdur.

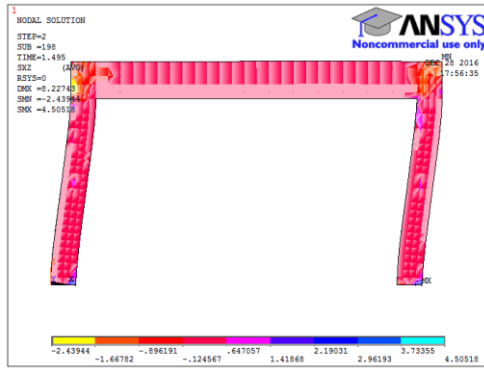
Dolgu duvar kullanılan numunelerde sıva ve harç dayanımı kısa ve uzun numunelerde dayanımı önemli oranda artırmaktadır. Ancak yatay deplasman kapasitelerinde kısa numunelerde kolon kesme hasarı nedeniyle azalmalara neden olsa da, uzun numunelerde etkili olmamıştır.

Deney sonucunda uzun numunelerde kısa kolon hasarı davranışı gözlenmediği için sadece kısa numunelerin modelleri oluşturularak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde iyi dayanımlı dolgu duvarlı olarak üretilen numunelerde kolonlarda yüksek gerilmeler, deney ile uyumlu bir şekilde gözlenmiştir.

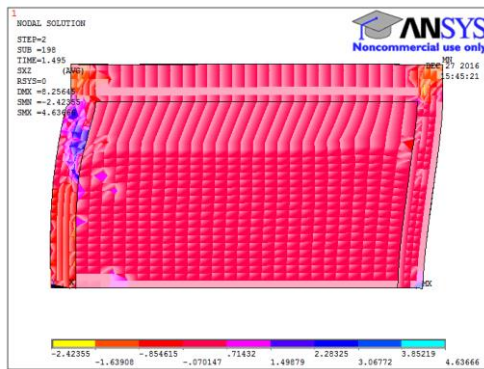
Deneysel çalışma sonrasında, deney çerçevelerinin üretiminde kullanılan malzemelere ve yine aynı malzemeler ile üretilen dolgu duvarlara yapılan deneyler sonucunda elde edilen malzeme özellikleri ile sayısal çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda IE01, IE03 ve IE04 numunelerinde çerçeve dayanımı anlamında yeterli seviyede yakınlık elde edilmiş ancak IE02 numunesinde deney verilerine göre daha az bir dayanım hesaplanmıştır. Böylece, kullanılan dolgu duvar modelinin boşluklu dolgu duvarlı numunelerde yeteri kadar gerçeği yansıtmayan bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şekil 7.1'de analiz sonucundaki deforme olmuş IE01 çerçevesinin kayma gerilmeleri değerleri ve deney bitimindeki çerçevenin durumu görülmektedir. Referans çerçevesi için deney sonucu taşıyıcı elemanlardaki çatlak durumu ile analiz sonucundaki gerilmelerin uyumlu olduğu görülmektedir. Analiz sonucu kayma gerilmeleri ve deney sonucu çatlakları belirli bir noktaya yığılmadan tüm elemanlara düzgün bir şekilde yayılmıştır. Her ne kadar IE02 numunesi için dayanım değerleri gerçeğe yakın çıkmasa da, Şekil 7.2'de analiz sonucunda görülen kayma gerilmelerinin görüldüğü noktada deney

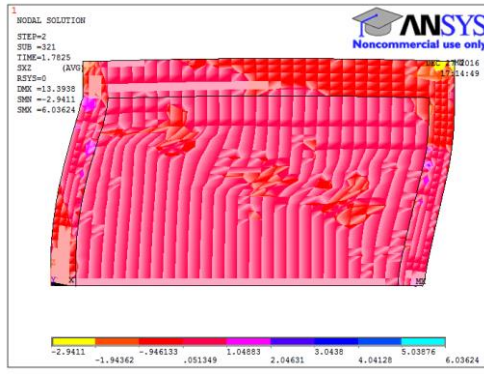
sonucunda da kesme hasarı gözlenerek analiz sonucundaki gerilmelerle, deney sonucunun örtüştüğü görülmüştür. IE03 numunesi analiz sonuçları, hem dayanım anlamında hem de gerilmelerin gözlemlendiği noktalar anlamında deneysel sonuçlarla uyum içinde çıkmıştır. Şekil 7.3'te deney sonucunda gözlenen kesme hasarı, analiz sonucunda da gerilmelerin yoğunlaştığı bölge ile benzerlik göstermiştir. IE04 numunesinde deney sonucunda kesme hasarı gözlenmese de Şekil 7.4'te sayısal hesap sonucu kolonlarda yine IE03 numunesinde olduğu gibi kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı görülmektedir. Buna rağmen analiz sonucu gözlenen duvardaki gerilmeler ile deney sonucu gözlenen çatlakların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Dolgu duvarda kolonlarda kesme hasarına neden olacak basınç bloğu oluşmasa bile, orta bölgesinde diyagonal olarak kayma gerilmelerinin diğer bölümlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



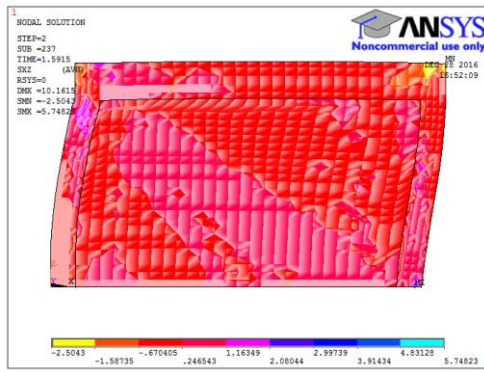
Şekil 7.1. IE01 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları



Şekil 7.2. IE02 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları



Şekil 7.3. IE03 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları



Şekil 7.4. IE04 Numunesi sayısal model ve deney sonuçları

Yapılan birçok çalışma ve yaşanan büyük depremler sonrasında, hesaplarda çoğu zaman etkilerinin ihmal edildiği dolgu duvarların yapıya dayanım ve rijitlik gibi bazı parametrelerde olumlu etkileri olduğunu, bununla beraber çalışmanın da konusu olan olumsuz etkilerinin de olduğunu göstermektedir. Ülkemiz yapı stokunda fazlaca bulunan, özellikle malzeme özellikleri yetersiz, uygun olmayan donatı düzenine sahip standart altı betonarme yapılarda dolgu duvarın dayanımının sıva ve harç özelliklerine bağlı olarak iyi olmasıyla bu olumsuz etkiler kısa kolon hasarına bağlı gevrek kesme hasarı gibi çok ciddi problemlere neden olabilmektedir. Bunun için yeni yapılacak yapılarda bu etkiler de mutlak suretle dikkate alınmalıdır. Ayrıca mevcut binaların değerlendirilmesinde tam dolu dolgu duvara komşu kolonların bu etkilere maruz kalıp kalmayacağı çerçeve geometrisine ve dolgu duvar malzeme özelliğine bağlı olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- ACI T1.1-01. (2001). *Acceptance criteria for moment frames based*. American Concrete Institute.
- Akın, E. (2011). *Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP reinforcement-general principles*. Doktora Tezi. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Aldemir, A. (2010). *A simple seismic performance assessment technique for unreinforced brick masonry structures*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Girgin, C. (1999). Normal ve yüksek dayanımlı betonlarda numune şekil-boyut etkisi. *Hazır Beton*, Ocak-Şubat, 40-50.
- Arslan, M.H. ve Korkmaz, H.H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 14(1), 1-22.
- ASCE/SEI 41-06. (2006). *Seismic rehabilitation of existing buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ASCE/SEI 41-13. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ASTM E 519 - 15.(2015). *Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages*. American Society for Testing and Materials.
- Babu, R.S. ve Venkatasubramani, R. (2011). Seismic strengthening of low rise buildings using brick inserts (Retrofit) - Experimental investigation on 2d and 3d R/C framed structures. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, 2(1), 73-84.
- Baran, M. ve Sevil, T. (2010). Analytical and experimental studies on infilled RC frames. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1981-1998.
- BASF. *Yapı Kimyasalları*, <https://www.master-builders-solutions.basf.com.tr/tr-tr/product-overview>. (Erişim Tarihi: 26.04.2017)

- Biniciksu, H., Kaplan, H. ve Gorur, E.B. (2005). Türkiye’de yaşanan son depremlerde malzeme kalitesi ve kötü işçiliğin neden olduğu hasarlar, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 703-706
- Chiou, T.C. ve Hwang, S.J. (2015). Tests on cyclic behavior of reinforced concrete frames with brick infill. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(12), 1939-1958.
- Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E., Hamelin, P. (2008). Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials. *Composite Structures*, 82, 475-487.
- Crisafulli, F.J. ve Carr, A.J. (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40(2), 69-77.
- Çağatay, İ. H. (2005a). Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 12, 440-452.
- Çağatay, İ. H. (2005b). Failure of an industrial building during a recent earthquake in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 12, 497-507.
- D’Amato, M., Braga, F., Gigliotti, R., Kunnath, S., ve Laterza, M. (2012). Validation of a modified steel bar model incorporating bond-slip for seismic assessment of concrete structures. *Journal of Structural Engineering*, 138(11), 1351-1360.
- Dehestani, M., ve Mousavi, S.S. (2015). Modified steel bar model incorporating bond-slip effects for embedded element method. *Construction and Building Materials*, 81, 284-290.
- Demir, S., Hüsem, M., Altın, S., Pul, S., Bikçe, M., Emsen, E. (2013). Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 6 Mart 2007 tarih ve 26454 sayılı Resmî Gazete.

- DeSalvo, G.J. ve Swanson, J.A. (1985). ANSYS engineering analysis system user's manual. Houston, Pa. Swanson Analysis Systems.
- Dimova, S.L. ve Negro, P. (2005). Seismic assessment of an industrial frame structure designed according to Eurocodes. Part 2: Capacity and vulnerability. *Engineering Structures*, 27(5), 724-735.
- Eurocode 8 - EN 1998-1. (2004). *Design of structures for earthquake resistance*. European Standard.
- Fenerci, A., Binici, B., Ezzatfar, P., Canbay, E., Ozcebe, G. (2016). The effect of infill walls on the seismic behavior of boundary columns in RC frames. *Earthquakes and Structures*, 10(3), 539-562.
- Ferrier, E., Avril, S., Hamelin, P., Vautrin, A. (2003). Mechanical behavior of RC beams reinforced by externally bonded CFRP sheets. *Materials and Structures*, 36(8), 522-529.
- Guevara, L.T. ve Garcia, L.E. (2005). The captive and short-column effects. *Earthquake Spectra*, 21(1), 141-160.
- Hak, S., Morandi, P., Magenes, G., Sullivan, T.J. (2012). Damage control for clay masonry infills in the design of RC frame structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 16(1), 1-35.
- Hak, S., Morandi, P. ve Magenes, G. (2013). Local effects in the seismic design of RC frame structures with masonry infills. *4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Greece.
- Haris, I. ve Hortobágyi, Z. (2015). Comparison of experimental and analytical results on masonry infilled RC frames for cyclic lateral load. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59(2), 193-208.
- Hashemi, A. ve Mosalam, K.M. (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(14), 1827-1852.

- Hognestad, E. (1951). A study on combined bending and axial load in reinforced concrete members. University of Illinois, Urbana.
- Holmes, M. (1961). Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 19(4), 473-478.
- Hosseini, M. ve Kabeyasawa, T. (2004). Effect of infill masonry walls on the seismic response of reinforced concrete buildings subjected to the 2003 Bam earthquake strong motion: a case study of Bam telephone center. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 13, 133-156.
- Inel, M., Ozmen, H.B. ve Akyol, E. (2013). Observations on the building damages after 19 May 2011 Simav (Turkey) earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 255-283.
- İrfanoğlu, A. (2009). Performance of Template School Buildings during Earthquakes in Turkey and Peru. *Journal of Performance of Constructed Facilities ASCE*, February, 5-14.
- Jayaguru, C. ve Subramanian, K. (2012). Retrofit of RC frames with captive-column defects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(7), 1202-1208.
- Kaplan, S.A. (2008). Dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 452, 49-62
- Kaushik, H.B., Rai, D.C. ve Jain S.K. (2006). Code approaches to seismic design of masonry-infilled reinforced concrete frames: A state-of-the-art review. *Earthquake Spectra*, 22(4), 961-983.
- Kaushik, H.B., Rai, D.C. ve Jain, S.K. (2008). A rational approach to analytical modeling of masonry infills in reinforced concrete frame buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China.
- Kermani, A.M., Goldsworthy, H.M. ve Gad, E.F. (2008). The behaviour of RC frames with masonry infill in Wenchuan Earthquake. *Proceedings of the Australian Earthquake Engineering Society Conference*, Australia.

- Krstevka, L. ve Ristic, D. (2004). Seismic response of RC infilled frames–micro-model for non-linear numerical simulation, *In Proc. 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada.
- Kwak, H. G., ve Kim, J. K. (2006). Implementation of bond-slip effect in analyses of RC frames under cyclic loads using layered section method. *Engineering Structures*, 28(12), 1715-1727.
- Lini, M.T. ve Kavitha, P.E. (2015). Effect of infill walls on the seismic performance of the multistoried buildings. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(10), 90-96.
- Marjani, F. ve Ersoy, U. (2002). Behavior of brick infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading. *International Symposium on Structural and Earthquake Engineering*, Türkiye.
- Martirosyan, A. ve Xiao, Y. (2001). Flexural-shear behavior of high-strength concrete short columns. *Earthquake Spectra*, 17(4), 679-695.
- Maruyama, K., Ramirez, H. ve Jirsa, J.O. (1984). Short RC columns under bilateral load histories. *Journal of Structural Engineering*, 110(1), 120-137
- Mehrabi, A.B., Shing P.B., Schuller M.P., Noland J.L. (1996). Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. *Journal of Structural Engineering*, 228-237.
- Misir, I.S. (2014). Potential use of locked brick infill walls to decrease soft-story formation in Frame buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(5), 040141331-0401413310.
- Mondal G. ve Jain S.K. (2008). Lateral stiffness of masonry infilled reinforced concrete (RC) frames with central opening. *Earthquake Spectra*, 24(3), 701-723.
- Motwani, P. ve Santhi, A.S. (2015). Simulation of brick infill and effect of openings on RC frames using ANSYS. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(2), 29-35.
- NZSEE2006. (2006). *Detailed assessment of moment resisting frame elements with masonry infill panels*. New Zealand Society for Earthquake Engineering

- Özcan, O., Binici, B. ve Özcebe, G. (2010). Seismic strengthening of rectangular reinforced concrete columns using fiber reinforced polymers. *Engineering Structures*, 32, 964-973.
- Özcebe, G., Ramirez, J., Wasti S.T., Yakut, A. (2004). 1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report, TÜBİTAK, National Science Foundation.
- Palermo, M., Hernandez, R.R., Mazzoni, S., Trombetti, T. (2014). On the seismic behavior of a reinforced concrete building with masonry infills collapsed during the 2009 L'Aquila earthquake. *Earthquakes and Structures*, 6(1), 45-69.
- Pan, J.L., Xu, T. ve Hu, Z.J. (2007). Experimental investigation of load carrying capacity of the slender reinforced concrete columns wrapped with FRP. *Construction and Building Materials*, 21(11), 1991-1996.
- Pantò, B., Calì, I. ve Lourenço, P.B. (2017). Seismic safety evaluation of reinforced concrete masonry infilled frames using macro modelling approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-25.
- Park, R. (1989). Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 22(3), 155-166.
- Pujol, S. ve Fick, D. (2010). The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls. *Engineering Structures*, 32(10), 3112-3121.
- Ranjbaran, F., Hosseini, M. ve Soltani, M. (2012). Simplified formulation for modeling the nonlinear behavior of confined masonry walls in seismic analysis. *International Journal of Architectural Heritage*, 6(3), 259-289.
- Sattar, S. ve Liel, A.B. (2016a). Seismic performance of nonductile reinforced concrete frames with masonry infill walls-I: Development of a strut model enhanced by finite element models. *Earthquake Spectra*, 32(2), 795-818.
- Sattar, S. ve Liel, A.B. (2016b). Seismic performance of nonductile reinforced concrete frames with masonry infill walls-II: Collapse assessment. *Earthquake Spectra*, 32(2), 819-842.

- Sheikh, S.A. (2002). Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers. *Engineering Structures*, 24(7), 869-879.
- Skafida, S., Koutas, L. ve Bousias, S.N. (2014). Analytical modeling of masonry infilled RC frames and verification with experimental data. *Journal of Structures*, 2014, 17.
- Stylianidis, K.C. (2012). Experimental investigation of masonry infilled RC frames. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6(1), 194-212.
- Taşlıgedik, A.S., Pampanin, S. ve Palermo A. (2011). Damage mitigation strategies of ‘non-structural’ infill walls: Concept and numerical-experimental validation program. *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society*, New Zealand.
- Timurağaoğlu, M.Ö., Doğangün, A. ve Livaoğlu, R. (2016). Finite element analysis of infilled RC frames under lateral loads. *International Conference on Engineering and Natural Science*, Bosnia and Herzegovina.
- TS 500. (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü
- TS 2510. (1977). *Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü
- Umehara, H. ve Jirsa, J.O. (1984). Short rectangular RC columns under bidirectional loadings. *Journal of Structural Engineering*, 110(3), 605-618.
- Uva, G., Raffaele, D., Porco, F., Fiore, A. (2012). On the role of equivalent strut models in the seismic assessment of infilled RC buildings. *Engineering Structures*, 42, 83-94.
- Vahidi, E.K., Malekabadi, M.M. (2009). Conceptual investigation of short-columns and masonry infill frames effect in the earthquakes. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 3(11), 472-477.
- Woodward, A. ve Jirsa, O. (1984). Influence of reinforcement on RC short column lateral resistance. *Journal of Structural Engineering*, 110(1), 90–104.

- Yuen, Y.P. ve Kuang, J.S., (2012). Nonlinear response and failure mechanism of infilled RC frame structures under biaxial seismic excitation. *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Portugal.
- Yurdakul, Ö. ve Avşar, Ö. (2015). Structural repairing of damaged reinforced concrete beam-column assemblies with CFRPs. *Structural Engineering and Mechanics*, 54(3), 521-543.
- Yüksel, E., Ilki, A., Erol, G., Demir, C.E.M., Karadoğan, H.F. (2006). Seismic retrofit of infilled reinforced concrete frames with CFRP composites. *In Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction*, 2006, 285-300.