



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Muhammet Musab ERDEM

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOKTORA
TEZİ**

**BETONARME BİNALARDA DOLGU
DUVAR VE TAŞIYICI ÇERÇEVE
ARASI UYGUN BAĞLANTI
ELEMENLARININ ARAŞTIRILMASI**

Muhammet Musab ERDEM

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2021

TEMMUZ 2021





**BETONARME BİNALARDA DOLGU DUVAR VE TAŞIYICI ÇERÇEVE
ARASI UYGUN BAĞLANTI ELEMANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Muhammet Musab ERDEM

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

Muhammet Musab ERDEM tarafından hazırlanan “BETONARME BİNALARDA DOLGU DUVAR VE TAŞIYICI ÇERÇEVE ARASI UYGUN BAĞLANTI ELEMANLARININ ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Tuğrul TALASLIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Talha EKMEKYAPAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gaziantep Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammet Musab ERDEM

02/07/2021

BETONARME BİNALARDA DOLGU DUVAR VE TAŞIYICI ÇERÇEVE ARASI UYGUN
BAĞLANTI ELEMANLARININ ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)

Muhammet Musab ERDEM

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Yapı tasarımında genellikle dolgu duvarların sağladığı yanal rijitlik ihmal edilmektedir. Hesaplara yalnızca ölü yük olarak dahil edilen dolgu duvarlar, çerçevelerin yanal direncini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Tasarımda öngörülmeven bu etkilerin varlığını, hem literatürdeki çalışmalar hem de deprem sonrası gözlenen dolgu duvar hasarları desteklemektedir. Dolgu duvar etkilerinin tasarlandığı şekliyle uygulamaya yansıtılması önemli bir sorundur. Gevrek malzemenen yapılan dolgu duvarların neden olduğu sorunları minimize etmek için, literatürde denenen çeşitli yöntemlerin yanında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde dolgu duvarları ve çerçeveden izole ederek aralarına esnek derzli bağlantı elemanları uygulanması seçeneği getirilmiştir. Bu çalışmada da dolgu duvarların taşıyıcı çerçevelerden izole edilmesi çözümü benimsenmiştir. Bu kapsamda, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde örnek olarak sunulan esnek derz detayı ile birlikte, üç farklı esnek bağlantı tasarlanan detayı tasarlanmıştır. 2/3 ölçekte üretilen betonarme çerçevelere uygulanan esnek derz detayları, deneysel ve nümerik olarak incelenmiş, düzlem içi davranışları boş ve geleneksel dolgulu çerçevelerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda; ilk ötelemelerde yanal direncini önemli ölçüde kaybeden dolu çerçeve davranışının aksine, ilk ötelemelerde esnek bağlantılı çerçevenin boş çerçeveye yakın davrandığı ve ileri ötelemelere kadar yanal direncini hasar almadan sürdürdüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Betonarme çerçeve, dolgu duvar, esnek derz, tersinir tekrarlı yükleme, sismik davranış, nümerik modelleme

Sayfa Adedi : 181

Danışman : Prof. Dr. Murat BİKÇE

INVESTIGATION OF FLEXIBLE JOINTS BETWEEN INFILL WALL AND FRAME IN
REINFORCED CONCRETE BUILDINGS
(Ph. D. Thesis)

Muhammet Musab ERDEM

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

July 2021

ABSTRACT

Lateral stiffness provided by infill walls is generally neglected in building design. Infill walls, which are only included in the calculations as dead load, significantly affect the lateral resistance, stiffness and energy dissipation of the frames. The existence of these effects, which are not foreseen in the design, are supported by both the experimental studies in the literature and the infill wall damages observed after the earthquakes. It is an important problem to reflect the infill wall effects to the application as designed. In order to minimize the problems caused by infill walls made of brittle material, in addition to various methods tried in the literature, the 2018 Turkish Building Earthquake Code introduced the option of applying flexible joints between infill walls and insulating them from the frame. In this study, the solution of isolating the infill walls from the load-bearing frames has been adopted. In this context, together with the flexible joint detail presented as an example in 2018 Turkish Building Earthquake Code, three different flexible joint details were designed. Flexible joint details applied to reinforced concrete frames produced in 2/3 scale were examined experimentally and numerically, and their in-plane behavior was compared with bare and traditionally infilled frames. Contrary to the full-frame behavior, which loses its lateral resistance significantly in small drifts, it was observed that the frames with flexible connections behaved close to the bare frame in the small drifts and maintained its lateral resistance without being damaged until the extreme drifts.

Key Words : Reinforced concrete frame, infill wall, deformable joint, reversed cyclic loading, seismic behavior, numerical modeling
Page Number : 181
Supervisor : Prof. Dr. Murat BİKÇE

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca tüm bilgi birikimiyle bana destek olan, tecrübesi ile yol gösteren, süreci sabırla takip eden, zorlu süreçler içeren bu tez konusunu bana layık görerek akademik hayatıma sağlam bir temel oluşturan kıymetli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Murat BİKÇE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli eleştiri ve önerileriyle çalışmama önemli katkılar sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Talha EKMEKYAPAR ve Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN, doktora tez sınavı jüri üyeleri Prof. Dr. Murat ÖRNEK ve Doç. Dr. Tuğrul TALASLIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bilgisinden istifade ettiğim, çalışmanın geliştirilmesi için vaktini ayıran değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN'e şükranlarımı sunarım.

Deneysel altyapı oluşturulması ve deneylerin yürütülmesi konusunda bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren, Orta Doğu Teknik Üniversitesi doktora öğrencisi İsmail Ozan DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarında bulunarak destek olan İSTE İnşaat Mühendisliği bölümü öğrencilerinden Osman BAYRAK, Seda YEDEK, Nilay SABAHOĞLU, Abdullah KARAKAŞ, Yusuf AYDIN, Cengiz YAMAN, Ali DÖRÜCÜ, Osman ÖNGÜN, Gökhan FIRINCIOĞULLARI, Mahmut ATALAN, Neşe AYDAZ, Merve ZENCİR, Caner AYTEN, Ahmet CİN, Eylem GÜMÜŞ ve bu süreçte manevi desteklerini esirgemeyen Araştırma Görevlileri Kevser ÜNSALAN, Yakup TÜREDİ, Nurullah KARACA, Müzeyyen BANKİR, Bestami TAŞAR, Murat ÖZTÜRK, Ada YILMAZ, Kaan DAL, Çağrı YILMAZ ve Sezer SANCAR'a teşekkürlerimi sunarım. Deney düzeneği ekipmanlarının temininde maddi kolaylık sağlayan MAB Makine Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet Ali BULUT, İTSO, Surkon Makina Satış Müdürü Burhan ORHAN, Berdan Cıvata Yönetim Kurulu Başkanı Hasan ŞEMİ, KÇS Gazbeton Genel Müdürü Mustafa ERBALTACI ve çalışanlarına teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez sürecimin yoğunluğuna ortak olan, büyük sabır ve anlayış gösteren kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı, 118M317 numaralı proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK, deneylerin yürütüldüğü İSTE Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi ve İSTE yönetimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	11
2.1. Betonarme Çerçeve Numuneleri	11
2.1.1. Betonarme çerçevelerin tasarımı	11
2.1.2. Betonarme çerçevelerin üretimi.....	16
2.2. Dolgu Duvar – Çerçeve Bağlantıları ve Tasarımları.....	23
2.2.1. Geleneksel dolgulu GÇ'nin bağlantı detayı.....	24
2.2.2. Esnek derzli YÇ'nin bağlantı detayının tasarımı.....	24
2.2.3. Esnek derzli T1Ç'nin bağlantı detayının tasarımı	27
2.2.4. Esnek derzli T2Ç'nin bağlantı detayının tasarımı	28
2.2.5. Esnek derzli T3Ç'nin bağlantı detayının tasarımı	30
2.3. Dolgu Duvarların Üretimi	30
2.3.1. GÇ'nin dolgu duvar üretimi.....	32
2.3.2. YÇ'nin dolgu duvar üretimi.....	33
2.3.3. T1Ç'nin dolgu duvar üretimi	35

	Sayfa
2.3.4. T2Ç'nin dolgu duvar üretimi	38
2.3.5. T3Ç'nin dolgu duvar üretimi	40
2.4. Malzeme Özellikleri	42
2.4.1. Beton	42
2.4.2. Donatı	43
2.4.3. Harç ve sıva	44
2.4.4. Gazbeton duvar numuneleri	45
2.5. Deney Düzeneği	47
2.5.1. Yükleme ve ölçüm ekipmanları	56
2.6. Deney Prosedürü	58
2.7. Ölçümlerin değerlendirilmesi	60
3. DENEYSEL SONUÇLAR	62
3.1. BÇ	63
3.1.1. Yük – deplasman davranışı (BÇ)	63
3.1.2. Hasar gözlemleri (BÇ)	64
3.2. GÇ	67
3.2.1. Yük – deplasman davranışı (GÇ)	67
3.2.2. Hasar gözlemleri (GÇ)	68
3.3. YÇ	73
3.3.1. Yük – deplasman davranışı (YÇ)	73
3.3.2. Hasar gözlemleri (YÇ)	74
3.4. T1Ç	78
3.4.1. Yük – deplasman davranışı (T1Ç)	78
3.4.2. Hasar gözlemleri (T1Ç)	79

	Sayfa
3.5. T2Ç.....	84
3.5.1. Yük – deplasman davranışı (T2Ç).....	84
3.5.2. Hasar gözlemleri (T2Ç).....	84
3.6. T3Ç.....	89
3.6.1. Yük – deplasman davranışı (T3Ç).....	89
3.6.2. Hasar gözlemleri (T3Ç).....	90
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	95
5. NÜMERİK ÇALIŞMA.....	109
5.1. Modelleme Çalışması.....	109
5.1.1. Yük ve sınır koşulları.....	109
5.1.2. Beton, sıva ve gazbeton malzeme modeli.....	111
5.1.3. Beton için basınç gerilme – birim şekil değiştirme bağıntısı önerisi.....	121
5.1.4. Donatı malzeme modeli.....	128
5.1.5. Dolgu duvar derz bağlantı özellikleri	129
5.1.6. Eleman türleri	135
5.2. Nümerik Sonuçlar	140
6. SONUÇ	145
KAYNAKLAR	149
EKLER.....	162
EK-1. Çelik yükleme düzeneğinin teknik detayları	163
EK-2. Eksenel yük hücreleri ve temel deplasmanı ham ölçümleri	179
DİZİN	181

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çerçeve bilgileri ve kısaltmaları	11
Çizelge 2.2. Çerçeve numunelerinin beton basınç dayanımı	43
Çizelge 2.3. Donatıların mekanik özellikleri	44
Çizelge 2.4. Harç ve sıva numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımları.....	46
Çizelge 2.5. Duvar panellerinin mekanik özellikleri	47
Çizelge 4.1. Önemli noktalardaki yük, rijitlik ve kümülatif enerji değerleri.....	106
Çizelge 5.1. CDP malzeme modelinde kullanılan parametreler	119
Çizelge 5.2. Kullanılan basınç testleri ve kaynakları.....	125
Çizelge 5.3. Kohezif kontakt özellikleri	135
Çizelge 5.4. Modellerde kullanılan eleman türleri ve sayıları	137

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dolgu duvar birimleri.....	1
Şekil 1.2. Yumuşak ve zayıf kat nedeniyle göçme durumu [47]	3
Şekil 1.3. Burulma etkisi sonucunda ağır hasar almış yapı, (a) dolgu duvarsız ön cephe, (b) dolgu duvarlı arka cephe, (c) bir kolondaki hasar görüntüsü [40].....	4
Şekil 1.4. (a) Dolgu duvarda oluşan basınç çubuğu [47], (b, c) kolonda oluşan kesme kırılmaları [72] (d) kısa kolon hasarı [73]	6
Şekil 1.5. 2018 TBDY'de sunulan duvar-kolon bağlantı detayı [102].....	8
Şekil 2.1 . 2/3 ölçekli çerçevenin boyutları	13
Şekil 2.2. 2/3 ölçekli çerçevelerin donatı detayları	15
Şekil 2.3. Ahşap kalıpların, (a) tasarımı, (b) kesip planı, (c, d) üretimi, (e) ahşap takoz montajı.....	17
Şekil 2.4. Çerçeve temelinin kalıp-donatı imalatları, (a) temel kalıp tabanı, (b) temel donatıları, (c) kolon boyuna donatıları ve montaj boruları, (d) beton dökümüne hazır hali	19
Şekil 2.5. Çerçeve temelinin beton dökümü, (a) temel beton dökümü, (b) beton numuneleri, (c) kolon etriye montajı, (d) beton dökümü sonrası.....	20
Şekil 2.6. Kolon ve kirişlerin imalat aşamaları, (a) kolon kalıp montajı, (b) kiriş donatı montajı, (c) kiriş kalıp montajı, (d) beton dökümü, (e, f) beton yerleştirmesi	21
Şekil 2.7. İmalat aşamasındaki kolon ve kirişlerin, (a) montaj ankrajları, (b) kiriş kalıpları, (c) boya aşaması, (d) beton bakımı, (e) çerçeve taşınması	22
Şekil 2.8. Esnek derzlerde kullanılan taş yünü.....	24
Şekil 2.9. GÇ numunesinin, (a) bağlantı detaylarının kesit görünümleri, (b) üç boyutlu görünümü	25

Şekil	Sayfa
Şekil 2.10. (a) YÇ esnek bağlantı detayının kesit görünümleri, (b) çelik profil detayı, (c) üç boyutlu görünüm.....	26
Şekil 2.11. T1Ç esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü.....	28
Şekil 2.12. T2Ç esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü.....	29
Şekil 2.13. T3Ç numunesinin esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü	31
Şekil 2.14. Dolgu duvarlarda kullanılan, (a) tam ölçekli ve (b) 2/3 ölçekli gazbeton blokları	32
Şekil 2.15. GÇ numunesinin dolgu duvar imalatı, (a) duvar örümü, (b, c) sıva aşaması, (d) kür işlemi	33
Şekil 2.16. U profillerinin üretimi ve çerçeveye montajı, (a) 2 mm kalınlıkta çelik levha, (b) U profilleri, (c) Ø6-60mm vida, (d, e) U profillerinin montajı....	34
Şekil 2.17. YÇ numunesinin dolgu duvar imalatı, (a) duvar örümü, (b) esnek derz boşluğu, (c) üst sıra blokların yerleşimi, (d) sıvalı hali, (e) boya aşaması...	35
Şekil 2.18. T1Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a) gazbetona açılan deliklere dübellerin yerleştirilmesi, (b) U profillerinin vida ile montajı, (c) T1 elemanlarının hazır hali.....	36
Şekil 2.19. T1Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a-c) duvar örümü, (d) sıvalı hali ve kür işlemi, (e) boya aşaması.....	37
Şekil 2.20. T2Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a, b) T plakalar ve yarıkların açılması, (c) T plakaların çerçeveye montajı.....	38
Şekil 2.21. T2Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a) duvar örümü, (b) esnek derz boşluğu, (c) üst sıra blokların yerleştirilmesi, (d, e) sıva aşaması, (f) boya aşaması.....	39

Şekil	Sayfa
Şekil 2.22. T3Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a) blokların kesimi, (b) dişi ve erkek blokların görünümü	40
Şekil 2.23. T3Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a) duvar örümü, (b) kesim detayı, (c) sıva aşaması, (d) boya aşaması	41
Şekil 2.24. Beton basınç testleri, (a) 15x15x15 cm küp numuneleri, (b) basınç testi cihazı	42
Şekil 2.25. (a) Hazır harç, (b) hazır sıva, (c) harç ve sıva numuneleri, (d) basınç testi, (e) eğilme testi	45
Şekil 2.26. (a) Düşey yükleme çerçevesi, (b) sıvalı ve (c) sıvasız diyagonal kayma testleri, (d) sıvalı ve (e) sıvasız basınç testleri, (f) çekme testi, (g) kayma testi	46
Şekil 2.27. Deney düzeneği	48
Şekil 2.28. Betonarme çerçevelerinin oturduğu çelik levha	49
Şekil 2.29. (a) Betonarme çerçevelerin deney düzeneğine forklift ile yerleştirilmesi, (b) oturma alanının alçı ile kaplanması	49
Şekil 2.30. (a) ağırlık bloklarının taşınması, (b) çerçeve temelini zemine sabitlemesi, (c) ankraj ön germe aparatı	50
Şekil 2.31. Düşey yük silindirleri montajı, (a) bağlantı plakası ve tesviyesi, (b) silindirlerin rijit kirişe montajı, (c, d) alt ve üst mafsalların detay görünümü	51
Şekil 2.32. (a) Düzlem dışı hareket engelleme aparatları, (b) bilyeli kaydırıcılar	52
Şekil 2.33. Tersinir kuvvet aktarım aparatları, (a) başlık plakası montajı, (b) M48 saplamaların yerleşimi	53
Şekil 2.34. Reaksiyon duvarı askı aparatı	54
Şekil 2.35. Aktüatör ve betonarme çerçevelerin eksen kontrolü, (a, b) aktüatörün arka ucunun hizalaması, (c, d) çerçeveden uzatılan ipler	55

Şekil	Sayfa
Şekil 2.36. Yükleme ve ölçüm ekipmanlarının yerleşim planı	56
Şekil 2.37. (a) Rijit kiriş deplasman ölçümü, (b) rijit temel deplasman ölçümü, (c) betonarme çerçeve deplasman ölçümü	57
Şekil 2.38. Deney uygulaması.....	59
Şekil 2.39. Yükleme protokolü	59
Şekil 2.40. Betonarme çerçeve numunelerine uygulanan yük düzeltmesi.....	60
Şekil 2.41. Rijitlik ve tüketilen enerji hesapları	61
Şekil 3.1. Hasar gösteriminde kullanılan renklendirmeler	63
Şekil 3.2. BÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi	64
Şekil 3.3. BÇ numunesinin hasar gözlemleri	65
Şekil 3.4. GÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi.....	68
Şekil 3.5. GÇ numunesinin hasar gözlemleri.....	70
Şekil 3.6. YÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi.....	73
Şekil 3.7. YÇ numunesinin hasar gözlemleri.....	75
Şekil 3.8. T1Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi	80
Şekil 3.9. T1Ç numunesinin hasar gözlemleri	81
Şekil 3.10. T2Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi	85
Şekil 3.11. T2Ç numunesinin hasar gözlemleri	86
Şekil 3.12. T3Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi	89
Şekil 3.13. T3Ç numunesi: hasar gözlemleri	92
Şekil 4.1. Zarf eğrileri karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.2. GÇ'de gözlemlenen tipik hasarlar	97
Şekil 4.3. BÇ'de gözlemlenen tipik hasarlar	98
Şekil 4.4. YÇ'nin düzlem içi davranış gösterimi	100

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. T1Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi	100
Şekil 4.6. T2Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi	101
Şekil 4.7. T3Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi	101
Şekil 4.8. (a) T3Ç'nin dişi bağlantı elemanında gerçekleşen kırılma, (b) YÇ'nin U profilinde yanal burkulma gözlemi	102
Şekil 4.9. YÇ'nin dolgu duvarında gözlemlenen köşe ezilmesi	104
Şekil 4.10. Esnek derzli çerçevelerdeki dolgu duvar hasarı gözlemleri, (a) T3Ç, (b) YÇ, (c) T1Ç, (d) T2Ç	105
Şekil 4.11. (a) Rijitlik ve (b) kümülatif enerji tüketim eğrileri	107
Şekil 4.12. Kapasite oranı eğrileri	108
Şekil 5.1. Sonlu elemanlara uygulanan yük ve sınır koşulları	110
Şekil 5.2. Tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme davranışı gösterimi [116]	113
Şekil 5.3. Tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme davranışı gösterimi [116]	114
Şekil 5.4. Akma yüzeyinin deviatorik düzlemde gösterimi [116]	115
Şekil 5.5. Akma yüzeyinin düzlemsel gerilme halindeki gösterimi [116]	116
Şekil 5.6. Hiperbolik akma potansiyeli [116]	117
Şekil 5.7. Dilatasyon açısının model davranışına etkisi	119
Şekil 5.8. Beton için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı	121

Şekil	Sayfa
Şekil 5.9. Sıva için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı.....	122
Şekil 5.10. Gazbeton için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı.....	123
Şekil 5.11. Betonun tipik gerilme - birim şekil değiştirme eğrisi	124
Şekil 5.12. <i>nasc</i> katsayılarının üstel eğrileri	127
Şekil 5.13. <i>ndesc</i> katsayılarının üstel eğrileri	127
Şekil 5.14. Boyuna donatı çekme davranışı	128
Şekil 5.15. Enine donatı çekme davranışı	129
Şekil 5.16. Mikro modelleme yaklaşımları	131
Şekil 5.17. Klasik çekme - ayrılma davranışı [116].....	132
Şekil 5.18. Tipik hasar modları	132
Şekil 5.19. Modellerde kullanılan eleman türleri	135
Şekil 5.20. Eleman boyutlarının çerçeve davranışına etkisi.....	136
Şekil 5.21. Eleman boyutlarının çözüm süresine etkisi	137
Şekil 5.22. Nümerik modellere yerleştirilen donatılar	138
Şekil 5.23. Sonlu eleman modelleri	139
Şekil 5.24. Öteleme oranlarına karşılık gelen Von Mises gerilme dağılımları.....	142
Şekil 5.25. Nümerik ve deneysel birinci çevrim zarf eğrilerinin karşılaştırması	143

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve ile boş çerçevenin düzlem içi davranışı	147
Şekil 6.2. Tasarlanan esnek derzli çerçeveler ile boş çerçevenin düzlem içi davranışı	148

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

δ_i	Etkin görelî kat ötelemesi
Δ_i	Azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta_{i,max}^-$	$p_{i,max}^-$ 'a karşılık gelen öteleme
$\Delta_{i,max}^+$	$p_{i,max}^+$ 'a karşılık gelen öteleme
ε	Donatı çeliği birim şekil değıştirme
ε^{pl}	Donatı çeliği plastik şekil değıştirme
ε^{el}	Donatı çeliği elastik şekil değıştirme
ε_c	Basınç birim şekil değıştirmesi
ε_{cu}	Basınç dayanımı birim şekil değıştirmesi
$\tilde{\varepsilon}_c^{pl}$	Plastik basınç birim şekil değıştirmesi
$\tilde{\varepsilon}_c^{in}$	Elastik ötesi basınç birim şekil değıştirmesi
ε_{0c}^{el}	Elastik basınç birim şekil değıştirmesi
ε_t	Çekme birim şekil değıştirmesi
ε_{t0}	Çekme dayanımı birim şekil değıştirmesi
$\tilde{\varepsilon}_t^{pl}$	Plastik çekme birim şekil değıştirmesi
$\tilde{\varepsilon}_t^{ck}$	Çatlama birim şekil değıştirmesi
ε_{0t}^{el}	Elastik çekme birim şekil değıştirmesi
λ	DD-3 ve DD-2 depremlerinden elde edilen elastik tasarım spektral ivmelerinin oranı

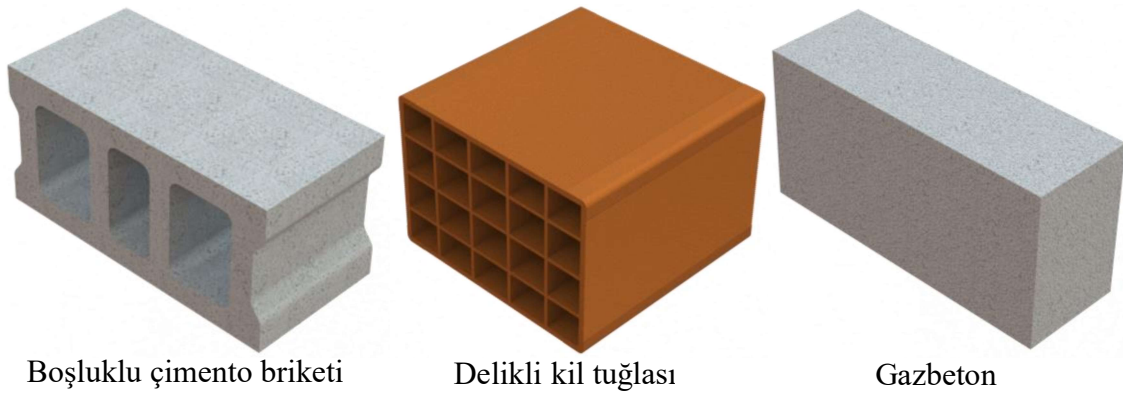
Simgeler**Açıklamalar**

σ_{c0}	Basınç akma dayanımı
σ_{cu}	Basınç dayanımı
σ_c	Basınç gerilmesi
σ_{t0}	Çekme dayanımı
σ_t	Çekme gerilmesi
σ^0	Donatı çeliği akma dayanımı
d_c	Basınç hasar parametresi
d_t	Çekme hasar parametresi
E	Donatı çeliği elastisite modülü
E_0	Başlangıç elastisite modülü
h_i	Kat yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
K	Rijitlik
K_{nn}, K_{ss}, K_{tt}	Kohezif kontakt rijitlikleri
t_n^0, t_s^0, t_t^0	Kohezif kontakt hasar başlangıç gerilmeleri
G_n^c, G_s^c, G_t^c	Kohezif kontakt kırılma enerjileri
n_{asc}	Eğrinin artan kısmının dikliğini kontrol eden katsayı
n_{desc}	Eğrinin azalan kısmının dikliğini kontrol eden katsayı
n	Eğrinin artan kısmının dikliğini kontrol eden katsayı
p_i	Yanal yük
$p_{i,max}^+$	İleri ötelemelerden elde edilen maksimum yük
$p_{i,max}^-$	Geri ötelemelerden elde edilen maksimum yük
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
BÇ	Boş Çerçeve
CDP	Concrete Damaged Plasticity
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EPS	Expanded Polystyrene Foam (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük)
GÇ	Geleneksel Dolgu Duvarlı Çerçeve
İSTE	İskenderun Teknik Üniversitesi
İSTE-BTM	İSTE Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
LPDT	Linear Potentiometer Displacement Transducer (Doğrusal Potansiyometre Deplasman Dönüştürücü)
LVDT	Linear Variable Differential Transformer (Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatör)
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk Standardı
T1Ç	T1 Esnek Derz Detayı İle Üretilen Esnek Derzli Çerçeve
T2Ç	T2 Esnek Derz Detayı İle Üretilen Esnek Derzli Çerçeve
T3Ç	T3 Esnek Derz Detayı İle Üretilen Esnek Derzli Çerçeve
XPS	Extruded Polystyrene Foam (Haddeden Çekilmiş Polistiren Sert Köpük)
YÇ	2018 TBDY Örneğine Göre Hazırlanan Esnek Derzli Çerçeve

1. GİRİŞ

Dolgu duvarlar, yapıları iç bölümlere ayırma ve dış ortamdan izole etme gibi amaçlarla kullanılan, temel yapı elemanlarından biridir. Betonarme yapılarda yatay/düşey yük taşıma görevini, kolon, kiriş ve perde gibi betonarme elemanlar üstlenmektedir. Yük taşıyıcılığından dolayı bu elemanlar “yapısal eleman” olarak kabul edilmektedir. Dolgu duvarlar ise, esas olarak ısı/ses yalıtımı ve bölümlendirme gibi görevler üstlendiği için, hafif ve boşluklu yapıdaki mukavemeti yüksek olmayan birimlerden oluşmaktadır. Betonarme yapılarda yük taşıma amacıyla kullanılmayan dolgu duvarlar “yapısal olmayan eleman” olarak kabul edilmektedir. Yapılarda, dolgu duvar malzemesi olarak sıklıkla kullanılan delikli kil tuğlası ve boşluklu briketlerin yanında, yaygınlığı son yıllarda artan gazbeton birimler de tercih edilmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Dolgu duvar birimleri

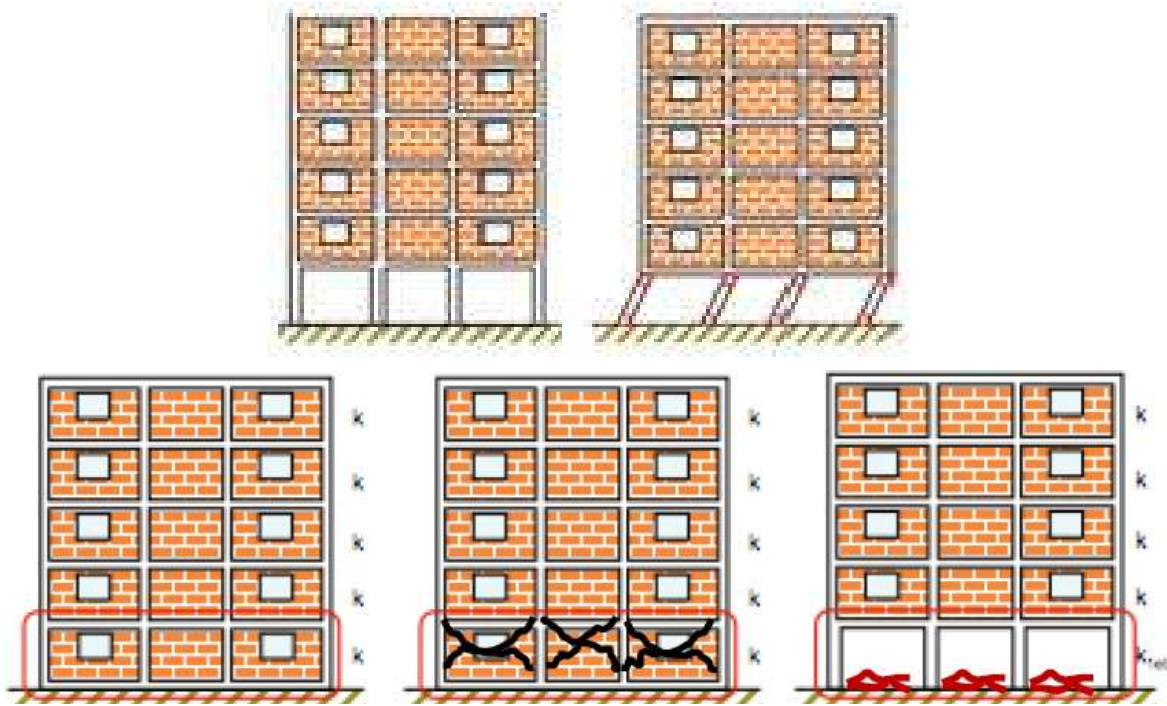
Yapı tasarımları, genellikle dolgu duvarların yalnızca ağırlıkları dikkate alınarak yapılmakta, bulunduğu çerçeveye sağladığı dayanım ihmal edilmektedir. Ancak, dolgu duvarların, buldukları betonarme çerçevelerin rijitlik, enerji tüketimi ve yanal yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı bilinmektedir. Yanal yük taşıma özelliğinden dolayı, dolgu duvarlar için zayıf perde duvar benzetmesi de yapılmıştır [1]. Yatay ötelemelere maruz kalan dolgu duvarlarda meydana gelen çatlak ve hasarlar, yanal yük taşıdıklarını göstermektedir [2–11]. Tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveler üzerinde yapılan deneysel araştırmalarda, dolgu duvarların betonarme çerçevelerin yanal direncini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli ölçüde artırdığı sonucu çıkarılmıştır [3, 9, 12–23]. Öte yandan, yük uygulanan doğrultuda 2, öteki

doğrultuda tek açıklığı bulunan 3 katlı betonarme yapının tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışı, önce duvarsız haliyle [24], daha sonra yük doğrultusuna paralel duvarlar eklenerek [25] incelenmiştir. Deneyleerde, dolgu duvarların yapının yanal rijitliğini ve yanal direncini, sırasıyla, %500 ve %100 artırdığı anlaşılmıştır. Ancak, dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmaların genelinde, gerçek uygulamalarda karşılaşılan planda asimetrik dağılım ve düşeyde süreksizliği dikkate alınmamış; rijitlik ve dayanıma olan katkısı tek açıklıklı düzlemsel çerçeve bazında değerlendirilmiştir. Çok katlı ve birden fazla açıklıklı çalışmada ise [25], dolgu duvarların asimetrik yerleşimi ve düşeyde süreksizliği söz konusu değildir.

Dolgu duvarların buldukları çerçevelerin yanal direnç ve rijitliğine etkisi, yapının genel davranışını da değiştirmektedir [8, 26–33]. Pratikte, dolgu duvarlar, hesap dışı ek dayanım rezervi sağladığı düşünülerek genellikle ihmal edilmekte, yapıların tasarım hesapları yatay yüklerin yalnızca kolon ve perdeler tarafından taşındığı kabul edilerek yapılmaktadır. Ancak, yukarıda belirtilen deneysel çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, deprem sırasında yapılardaki yanal öteleme talebine, kolon ve perdelerle birlikte dolgu duvarların da direnç göstermektedir. Ayrıca, dolgu duvarların yapının yanal rijitliğine etkisi, plandaki oranına bağlı olarak önemli ölçüde değiştirmektedir [34, 35]. Aynı yapıdaki katların farklı amaçlarla kullanılması, dolgu duvar dağılımı ve oranının katlar arasında değişmesine neden olmaktadır. Dolgu duvarların düşeyde süreksiz ve planda asimetrik yerleştirildiği örneklerle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu durumda, zayıf bir perde duvara benzer bir davranış gösteren dolgu duvarlar, kat rijitliklerinin değişmesine, burulmaya ve dinamik özelliklerin değişmesine neden olmaktadır [25, 32, 36–39]. Yapısal çözümlerde, dolgu duvarların çerçeveye sağladığı rijitliğin güvenli tarafta kalma şeklinde değerlendirerek genellikle ihmal edilmesi, söz konusu olumsuzlukların görülmemesine neden olmaktadır. Deprem sonrasında yapılan incelemelerde, dolgu duvarların etkili olduğu ağır hasar/göçme örnekleriyle de karşılaşılmaktadır [40–42]. Yapısal davranışın daha gerçekçi anlaşılması için, dolgu duvarların ya tasarımda modellendiği gibi üretilmesi, ya da üretildiği halinin tasarım modeline yansıtılması son derece önemlidir.

Zemin katın işyeri veya otopark olarak kullanıldığı binalarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. İşyeri olarak kullanılan zemin katların dış cephelerinde dolgu duvarlar yerine cam çerçeveler tercih edilmekte, iç çerçeveleri ise genellikle boş bırakılmaktadır. Bu gibi uygulamalarda dolgu

duvarların düşeyde süreksizlik durumu ortaya çıkmaktadır. Zemin katlarda dolgu duvarın asimetrik uygulanması ya da hiç uygulanmaması, katlar arası dayanımın değişmesine ve yapının ağır hasar almasına neden olabilmektedir (Şekil 1.2) [43–46].



Şekil 1.2. Yumuşak ve zayıf kat nedeniyle göçme durumu [47]

Yapılarda dolgu duvarların neden olduğu diğer bir sorun da burulma etkileridir. Dolgu duvarların, çeşitli gerekçelerle yapı planına homojen olarak dağılmaması veya planda çoğunlukla bir tarafta bulunması durumuyla sıklıkla karşılaşılmaktadır (Şekil 1.3). Bu durumda; yapının rijitlik ve kütle merkezlerinin uzaklaşması burulma etkisinin artmasına bağlı hasara yol açabilmektedir [26, 40, 46, 48].



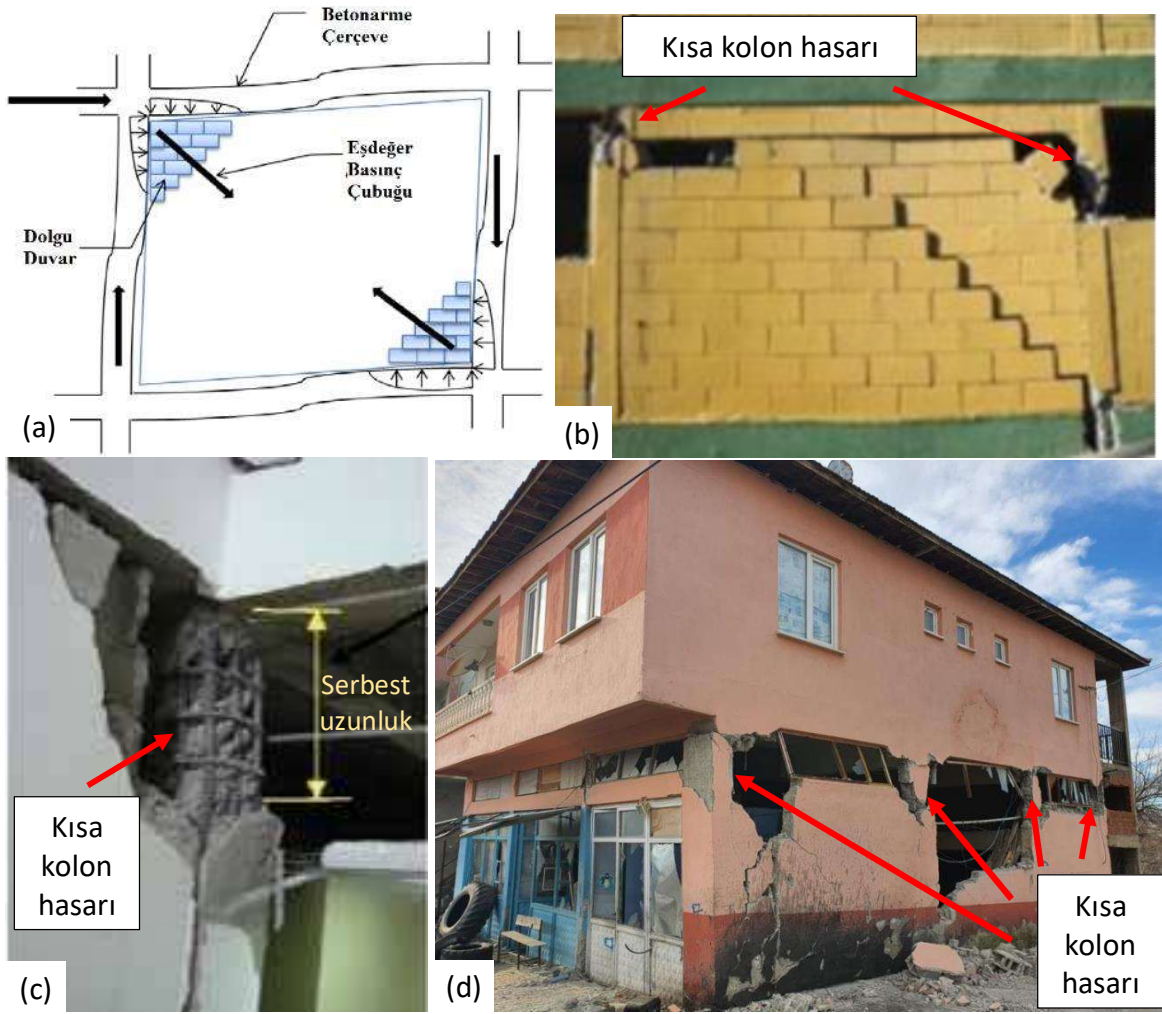
Şekil 1.3. Burulma etkisi sonucunda ağır hasar almış yapı, (a) dolgu duvarsız ön cephe, (b) dolgu duvarlı arka cephe, (c) bir kolondaki hasar görüntüsü [40]

Dolgu duvarların, yapının genel davranışına etkilerinin yanı sıra, kendilerini çevreleyen betonarme elemanlarda oluşacak hasarlara da etkileri mevcuttur [49]. Dolgu duvarlar, yapıdaki yatay yer değiştirmeler nedeniyle diyagonal basınç çubuğu gibi davranmakta [50–52] (Şekil 1.4a), dolgu malzemelerinin dayanımına bağlı olarak, kolonlarda kesme hasarlarının oluşmasına neden olabilmektedir [53–56]. Ayrıca bant pencere veya kısmi dolgulu duvar uygulamaları, duvarlarla desteklenen kolonlarda kısmi serbest kısımlar meydana getirebilmektedir. Kısa kolon etkisi olarak anılan bu durum, kolonların serbest boylarının aşırı kesme kuvvetlerine maruz kalmasına neden olabilmektedir (Şekil 1.4b-d) [45, 48, 57–59].

Dolgu duvarların tasarım hesaplarına gerçekçi olarak dâhil edilmemesinden dolayı, yukarıda bahsedilen durumlar genellikle tasarım aşamasında öngörülememektedir. Bu nedenle, deprem sırasında yapısal elemanlarda beklenen hasarlar, dolgu duvarın da etkisiyle daha büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Dolgu duvar etkisiyle ortaya çıkabilecek hasarların, tasarım aşamasında öngörülebilmesi için, tasarım modeli ile gerçek yapının uyumlu olması gerekmektedir.

Dolgu duvarları oluşturan birimler, malzeme, dayanım ve geometrik olarak farklı özelliklere sahip çok sayıda çeşit ihtiva etmektedir. Ayrıca, işçilik, sıva/harç özellikleri ve yükseklik/genişlik oranı gibi birçok faktör, dolgu duvarların sismik etkiler altındaki davranışını ve hasar mekanizmasını etkilemektedir. Bu yönüyle dolgu duvarlar davranışı en karmaşık yapı elemanları arasında gösterilmektedir. Yapı tasarımında yalnızca ölü yük etkisi dikkate alınarak çerçeveye sağladığı rijitlik ihmal edilmesinin nedenlerinden biri de, dolgu duvarların karmaşık davranışını her durumda yansıtabilecek ekonomik bir modelleme tekniğinin olmamasıdır. Geçmişten günümüze dolgu duvarların rijitlikleri eşdeğer diyagonal çubuklar [60–64], gibi basit yaklaşımlarla modele dâhil edilmektedir. Ancak elastik ötesi davranışlarının ve hasar mekanizmalarının dikkate alındığı, güvenilir ve kesin sonuç veren yaklaşımlar, güçlü bilgisayar altyapısı gerektirmektedir [65–68] ve ekonomiklikten uzaktır.

Gerçek yapı ile tasarım modeli arasındaki uyumsuzluğu gidermek üzere, dolgu duvarların modele dâhil edilmesi için araştırmalar devam ederken [69–71], yapı davranışına etkisini azaltmak/iyileştirmek için, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu çalışmalarda genel olarak, dolgu duvar ile taşıyıcı sistem etkileşimini, doğrudan veya dolaylı olarak azaltma yolu benimsenmektedir. Yapılan araştırmalarda, dolgu duvar ile çerçeve arasına boşluk bırakılmış, bu boşluğa yüksek şekil değiştirme özelliklerine sahip çeşitli dolgu malzemeleri konularak dolgu duvarın yapısal davranışa etkisi minimize edilmeye çalışılmıştır. Öte yandan, düşük dayanımlı dolgu malzemesi, harçsız yatay derz uygulaması, yüksek şekil değiştirme özelliğine sahip derz malzemesi kullanımı gibi çözüm yöntemleri de önerilmektedir. Söz konusu araştırmalar, uygulama türüne göre incelenerek aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 1.4. (a) Dolgu duvarda oluşan basınç çubuğu [47], (b, c) kolonda oluşan kesme kırılmaları [72], (d) kısa kolon hasarı [73]

Dolgu duvar – çerçeve etkileşimini minimize etmek üzere yapılan araştırmalarda, düşük dayanımlı dolgu duvarlı çerçevelerde taşıyıcı elemanlardaki hasar mekanizmasının boş çerçeveye benzer olduğu, deneysel çalışmalarda ifade edilmektedir. Ancak, düşük dayanımlı da olsa, dolgu duvarların yapısal elemanlara bitişik imal edilmesi durumunda, çerçevenin rijitlik ve yanal direncinin arttığı, bununla birlikte, dolgu duvarlarda tamir gerektiren hasarlar meydana geldiği anlaşılmaktadır [54, 74, 75].

Dolgu duvar birimleri arasındaki harç ve benzeri bağlayıcı malzemelerin, belirli yatay derzlerde kullanılmayarak, kayar bağlantılar uygulanması da araştırılan yöntemler arasındadır. Bu çalışmalarda, dolgu duvarlı çerçevelerin düzlem içi davranışının iyileştiği, rijitlik ve yük - deplasman davranışının boş çerçeveye yaklaştığı, küçük ötelemelerde çapraz basınç çubuğu

oluşumunun engellendiği, ileri ötelemelerde ise geleneksel çerçevelere göre dolgu duvarda daha az hasar oluşmasını sağladığı ifade edilmektedir [76–81]. Bu yöntem ile, dolgu duvarların düzlem içi davranışa etkisini azaltıldığı, ancak duvar hasarlarının engellenemediği anlaşılmaktadır. Öte yandan, güçlü dolgu duvar malzemesi kullanılan deneylerde, düzlem içi ötelemelerin kayar bağlantılarda yığıldığı, bağlantılardan kolonlara aktarılan noktasal kesme kuvvetlerinin, bu noktalarda deformasyonun artmasına neden olduğu görülmüştür.

Dolgu bloklarının arasında, harç yerine plastik konektörler kullanılması [82], yüksek şekil değiştirme özelliğine sahip poliüretan, polietilen vb. malzemeler kullanılması [83, 84], yapısal elemanlara komşu blokların poliüretan esaslı malzemelerden üretilmesi de [85], dolgu duvar-çerçeve etkileşimini azaltmak için önerilen yöntemlerdendir. Bu yöntemle küçük ötelemelerde duvarın elastik davrandığı ve ağır hasar oluşumunun engellendiği anlaşılmıştır. Ancak yanıcı malzemeler kullanılması, yöntem için dezavantaj olarak düşünülmektedir.

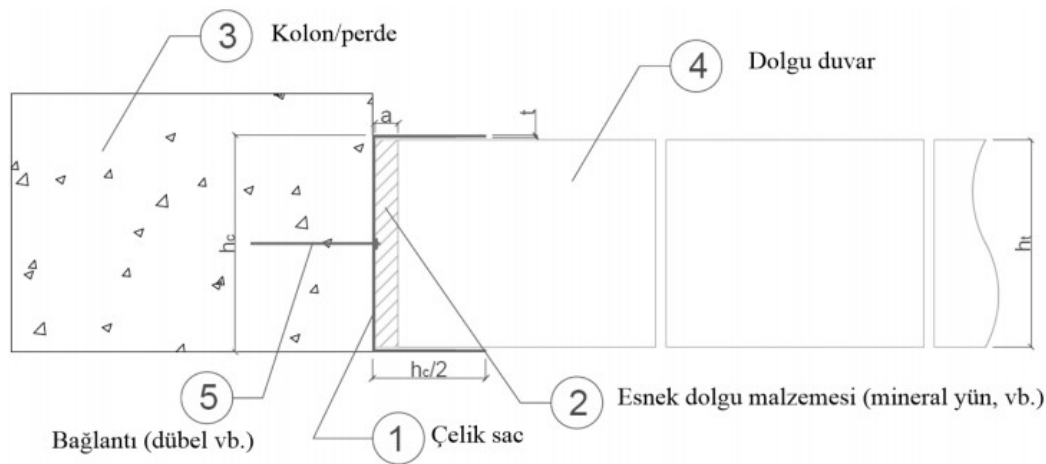
Ayrıca, dolgu duvar - çerçeve arasına bırakılan boşluğa, sismik izolatör görevi gören aparatlar yerleştirilmesi, [86, 87], dolgu duvarların ahşap veya çelik elemanlara bölünüp alt çerçevelerle desteklenmesi [88, 89] gibi uygulamalar, düzlem içi davranışı iyileştirerek dolgu duvar hasarını azaltsa da, işçilik ve maliyet yönünden dezavantajlara sahip olduğu düşünülmektedir.

Dolgu duvarların, betonarme çerçevelerden izole edilmesi durumundaki davranışının incelendiği öncü çalışmalardan biri Riddington [90] tarafından yapılmış, dolgu duvar – çerçeve arasında bırakılan boşluğun, sistem sünekliğini artırdığı ifade edilmiştir. Ancak, bu çalışmada dolgu duvar – çerçeve arasındaki boşluğun düzlem içi davranışa etkisi araştırılmış, düzlem dışı hareketi engelleyen herhangi bir aparat kullanılmamıştır. Dolgu duvar-çerçeve arasında esnek derz uygulanması, geleneksel dolgu duvar uygulamalarına kıyasla, çerçeve sünekliğini artırması ve modele uygunluğu nedeniyle gelişmeye devam eden bir yöntemdir [84, 91, 92] Ancak, duvar ile çerçeve arasına boşluk bırakılan bazı uygulamalarda, düzlem dışı hareketi engellemek üzere, çerçeve-dolgu duvar arasına çelik çubukların ankre edilmesi [93–95] işçilik konusunda dezavantaj olarak düşünülmektedir. Esnek derzlerde polietilen şeritlerin [84, 96] veya poliüretan blokların [85] kullanılması yöntemlerinde olumlu sonuçlar alınmış olsa da; derz boşluğunun yanal deplasman talebinden daha küçük olması, malzemelerin yanıcı olması dezavantaj olarak düşünülmektedir. Dolgu duvar-çerçeve arası boşluğun, yanal

deplasman talebiyle uyumlu olması yöntemin başarısı konusunda önem arz etmektedir [97, 98]. Çelik çerçeveler üzerinde yapılan bir çalışmada da, düzlem dışı hareketi engellemek üzere kullanılan köşebent ve U profillerin içi EPS ile doldurularak, dolgu duvarlar, düzlem içinde taşıyıcı sistemden izole edilmiştir. Esnek derzlerde yamıcılık konusunda dezavantaja sahip malzemeler kullanılmış olsa da, yöntemin düzlem içi davranışın iyileştirdiği sonucu çıkarılmıştır [99].

Dolgu duvar- taşıyıcı çerçeve etkileşimi, bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde de yer almıştır. Yeni Zelanda [100] ve Amerikan yönetmeliklerinde [101], dolgu duvarların çerçeveden yalıtılması bir seçenek olarak sunulmaktadır. Bu seçenek, Türkiye’de ilk olarak 2018 TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) ile gündeme gelmiştir [102].

2018 TBDY EK-5C’de örnek bir dolgu duvar – çerçeve bağlantı detayı (Şekil 1.5) sunulmuş, yapısal elemanların, dolgu duvardan izole edilmesi önerilmiştir. Şekil 1.5’teki görselde, kolon veya perdenin iç yüzeyine U şeklindeki çelik saclar tutturulmaktadır. Çelik sac ile betonarme elemanların bağlantıları, vida ve dübel gibi elemanlar ile sağlanmaktadır. Dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin azalması için bu iki elemanın aralarında boşluk bırakılmaktadır. Bu boşluk, cam/taş yünü gibi yüksek şekil değiştirme özelliğine sahip malzemelerle doldurularak, yöntemin ısı ve ses yalıtımı konusundaki dezavantajı ortadan kaldırılmaktadır. Dolgu duvar ile çerçeve arasına bırakılan bu boşluk sayesinde, düzlem içi etkileşimin minimize edileceği, düzlem dışı hareketin ise, U şeklindeki çelik plakaların flanşları ile tutulacağı beklenmektedir.



Şekil 1.5. 2018 TBDY’de sunulan duvar-kolon bağlantı detayı [102]

2018 TBDY’de dolgu duvarların taşıyıcı çerçevelerden izole edilmesi ve edilmemesi durumları olmak üzere iki bağlantı seçeneği sunulmaktadır. Dolgu duvarların çerçevelerden izole edilmediği durum “*Gevrek malzemedan yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması*” (2018 TBDY-4.9.1.3a) ifadesiyle; izole edildiği durum ise “*Gevrek malzemedan yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması*” (2018 TBDY - 4.9.1.3b) ifadesiyle tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasında, çerçevelerden izole edilmeyen dolgu duvarlar, “geleneksel dolgu duvar” ile; izole edilen dolgu duvarlar ise “esnek derzli dolgu duvar” adlandırılmasıyla anılacaktır.

Önceki deprem yönetmeliği olan 2007 DBYBHY’de (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik), görelî kat ötelemelerinin sınırı Eş. (2.1) ve Eş. (2.2)’de sunulan tek bir kural ile belirlenmektedir. 2018 TBDY’de ise, geleneksel veya esnek derzli dolgu duvar seçeneklerine göre ayrı ayrı hesaplanmakta, esnek derzli dolgu duvar seçeneği tasarım hesaplarında esas alınan görelî kat ötelemesi sınırlarını etkilemektedir.

$$\delta_i = R \times \Delta_i \quad (2.1)$$

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0,02 \quad (2.2)$$

$$\delta_{i,\max}^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (2.3)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008 \times \kappa \quad (2.4)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,016 \times \kappa \quad (2.5)$$

2018 TBDY’de Eş. (2.3) ile hesaplanan etkin görelî kat ötelemeleri, geleneksel dolgu duvarlı binalar için Eş. (2.4) ile, esnek derzli dolgu duvarların uygulandığı binalar için ise Eş. (2.5)’teki

kural ile sınırlandırılmaktadır. Denklemlerde etkin görelî kat ötelemesi $\delta_i^{(x)}$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, bina önem katsayısı I, azaltılmış görelî kat ötelemesi $\Delta_i^{(x)}$, kat yüksekliği h_i , DD-3 ve DD-2 depremlerinden elde edilen elastik tasarım spektral ivmelerinin oranı ise λ ile gösterilmiştir. κ katsayısı ise betonarme yapılar için 1; çelik yapılar için 0,5 olarak alınmaktadır. Eş. (2.4) ve Eş. (2.5) incelendiğinde, görelî kat ötelemesi sınırı 2 katına çıkarılarak, tasarımcıların esnek derz seçeneğine teşvik edildiği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, tasarımlarda rijitliği ve dayanımı ihmal edilen dolgu duvarların, gerçek yapı davranışına etkilerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Yapıların yatay etkiler altındaki davranışını iyileştirmek için dolgu duvarların taşıyıcı çerçeveden izole edilmesi, dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin azaltılması çözümü benimsenmiştir. Bu amaçla, çalışma kapsamında 3 yeni esnek derz detayı tasarlanmış, bu detaylar, betonarme çerçevelere uygulanarak düzlem içi tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Bununla birlikte, 2018 TBDY’de sunulan örnek esnek derz detayının (Şekil 1.5) da üretimi yapılarak aynı şartlarda deneyi gerçekleştirilmiştir. Esnek derzli çerçevelerin davranışı, duvarsız ve geleneksel dolgu duvarlı betonarme çerçevelerle kıyaslanmıştır. Ayrıca, çalışmada incelenen çerçevelerin nümerik modelleri oluşturulmuş, elde edilen deneysel verilerle kalibre edilerek modelleme yaklaşımları ve parametreleri sunulmuştur.

TÜBİTAK 1001 programı, 118M317 numaralı proje kapsamında yürütülen bu tez çalışmasında, İskenderun Teknik Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarına inşa edilen deney düzeneğiyle, betonarme çerçevelerin yatay ve düşey yükler altındaki davranışının incelenmesine olanak sağlayan bir deneysel altyapı geliştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, 1 adet dolgu duvarsız, 5 adet farklı dolgu duvar- çerçeve bağlantılarına sahip olan, toplam 6 adet çerçevenin düzlem içi davranışı incelenmiştir. Deneyleri yapılan numunelerin betonarme çerçeveleri eşdeğer özelliklerdedir. Numuneleri birbirlerinden ayıran özellik, bu çalışmanın da ana konusu olan “dolgu duvar-betonarme çerçeve” bağlantılarıdır. Bu nedenle, numunelerin adlandırılmaları, dolgu duvar özellikleri esas alınarak yapılmıştır. Çalışmada incelenen betonarme çerçeve numuneleri ve adlandırılmaları Çizelge 2.1’de sunulmaktadır. Bu bölümde, betonarme çerçevelerin tasarımı, üretimi, malzeme özellikleri, esnek derzli bağlantı detayları, deney düzeneği ve yük/sınır koşulları açıklanmaktadır.

Dolgu duvar – çerçeve arasındaki esnek derzleri araştırmak üzere 2018 TBDY’ye göre tasarlanan 6 eşdeğer betonarme çerçeveden, BÇ, duvarsız; GÇ, geleneksel duvarlı; YÇ, 2018 TBDY’de sunulan esnek derz detayının uygulandığı; T1Ç, T2Ç ve T3Ç ise bu çalışmada tasarlan esnek derz detaylarının uygulandığı çerçevelerdir.

Çizelge 2.1. Çerçeve bilgileri ve kısaltmaları

Çerçeve Adı	Duvar Bilgisi
BÇ	Dolgu duvar yok (boş çerçeve)
GÇ	Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve
YÇ	TBDY2018’deki esnek bağlantı örneğine göre hazırlanmış çerçeve
T1Ç	T1 bağlantı elemanı ile hazırlanmış çerçeve
T2Ç	T2 bağlantı elemanı ile hazırlanmış çerçeve
T3Ç	T3 bağlantı elemanı ile hazırlanmış çerçeve

2.1. Betonarme Çerçeve Numuneleri

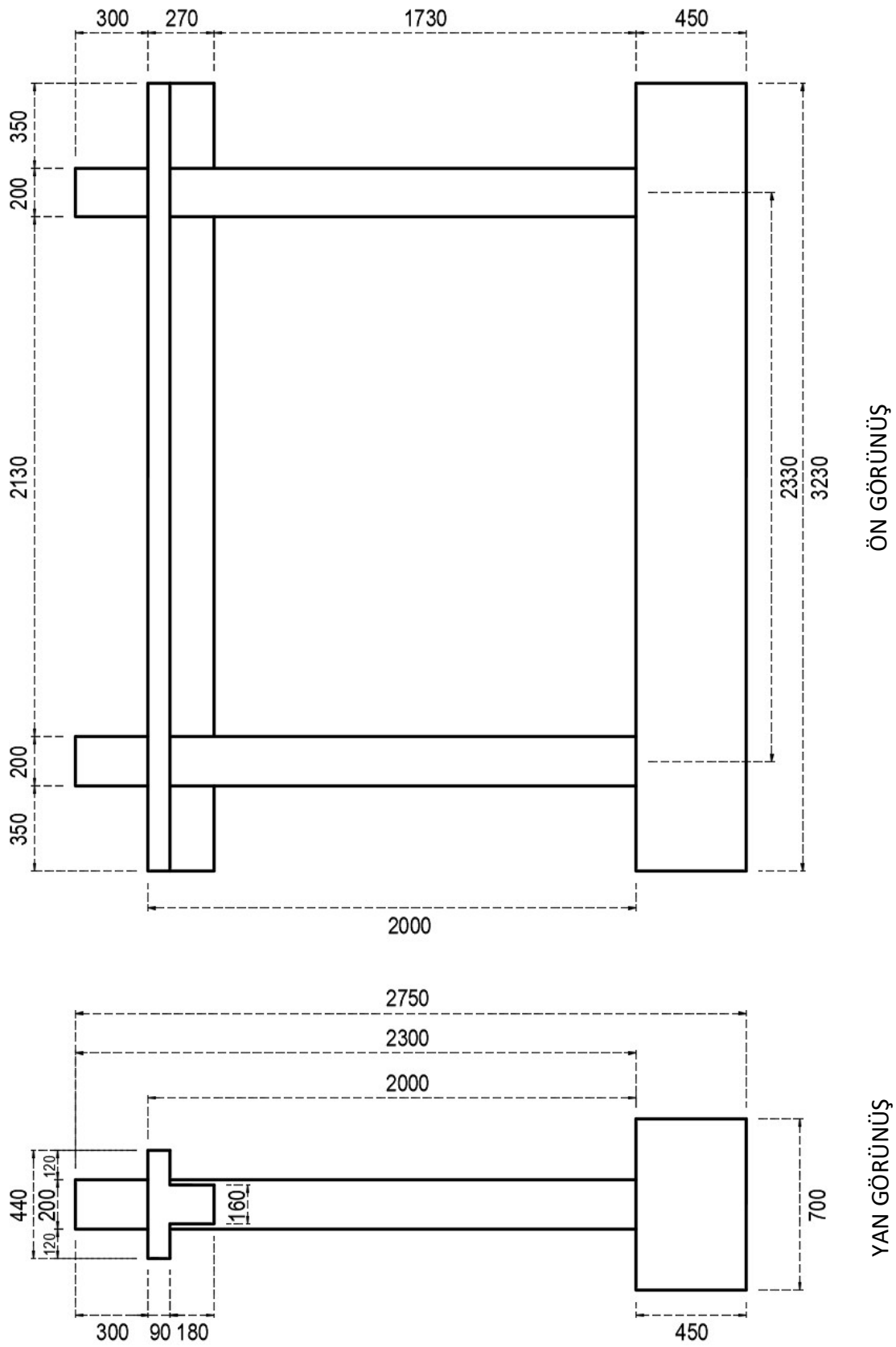
2.1.1. Betonarme çerçevelerin tasarımı

Deneysel çalışma, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveler kullanılarak yürütülmüştür. Farklı dolgu duvar-çerçeve derz detayları uygulanan betonarme çerçeve numunelerinin

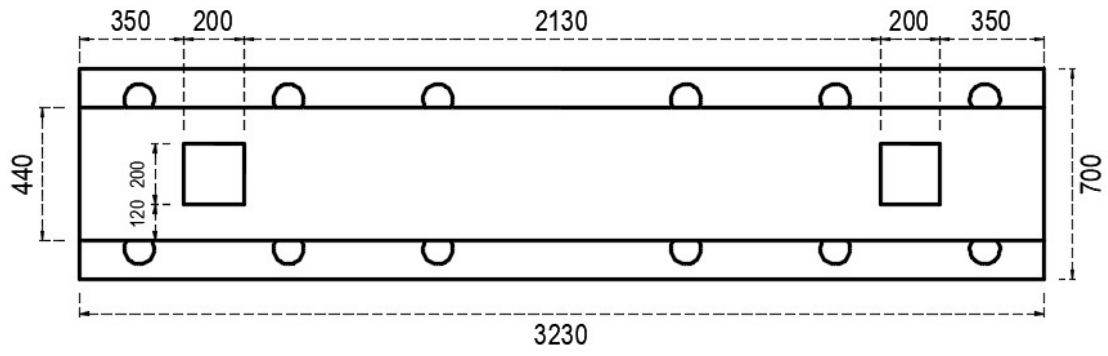
elemanları, boyut, donatı ve malzeme yönünden eşdeğer özelliklere sahiptir. Laboratuvar imkânlarına göre 2/3 ölçeğinde üretilen betonarme çerçevelerin tasarımı ile ilgili detaylar [103]'te bulunmaktadır. Ancak, gerekli detaylara burada da değinilecektir. Betonarme çerçeveler, C25/30 basınç dayanım sınıfında beton, B420C sınıfında boyuna donatı, S220 sınıfında enine donatılar kullanılarak tasarlanmıştır. Boyutları 2/3 ölçeğinde küçültülen çerçevelerin kat yüksekliği 2000 mm, kiriş açıklığı ise (akslar arası) 2330 mm olarak elde edilmiştir. Betonarme çerçeve numunelerinin kolon - kiriş sistemi, 450×700 mm kesitli ve 3230 mm uzunluğunda bir betonarme temel üzerine yerleştirilmektedir. Kiriş ve kolonlar, sırasıyla, 270×160 mm ve 200×200 mm kesit boyutlarına sahip elemanlardan oluşmaktadır. Ölçekli çerçevelerin kolonlarının her birinde, 8 adet Ø10 kesitli boyuna donatı; orta bölgelerinde 100 mm aralıklarla, sarılma bölgelerinde 60 mm aralıklarla, Ø6 kesitli enine donatılar bulunmaktadır. Kirişlerde ise 6 adet Ø10 kesitli boyuna donatı; orta bölgede 100 mm aralıklarla, sarılma bölgelerinde ise 60 mm aralıklarla Ø6 kesitli enine donatılar bulunmaktadır.

Ölçekli çerçevelerin boyutları Şekil 2.1'de; donatı detayları ise Şekil 2.2'de sunulmaktadır. Çerçeve numunelerinin beton örtüsü 20 mm, sıva kalınlığı 10 mm olarak belirlenmiştir. Gazbeton dolgu bloklarının ebatları ise 135×170×600 mm (kalınlık × yükseklik × uzunluk) olarak ölçeklenmiştir. Oranları sabit tutularak ölçeklenen kolon boyuna ve enine donatıları, sırasıyla, 8Ø10 ve Ø6/6-10 cm; kiriş boyuna ve enine donatıları, sırasıyla, 6Ø10 ve Ø6/6-10 cm'dir.

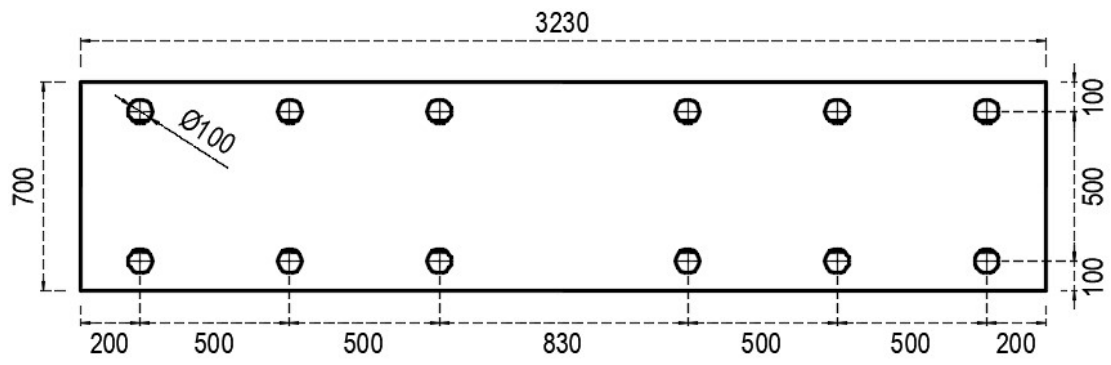
Betonarme çerçevelerde, boyuna donatılara kenetlenme mesafesi sağlamak için, kolon-kiriş birleşiminden sonra, kolonlar 300 mm; kiriş ise 350 mm devam ettirilmiştir. TS500'e göre hesaplanan etkin tabla genişliği de dikkate alınan çerçeve kirişlerinde 440 mm genişliğinde, 90 mm kalınlığında tabla bulunmaktadır.



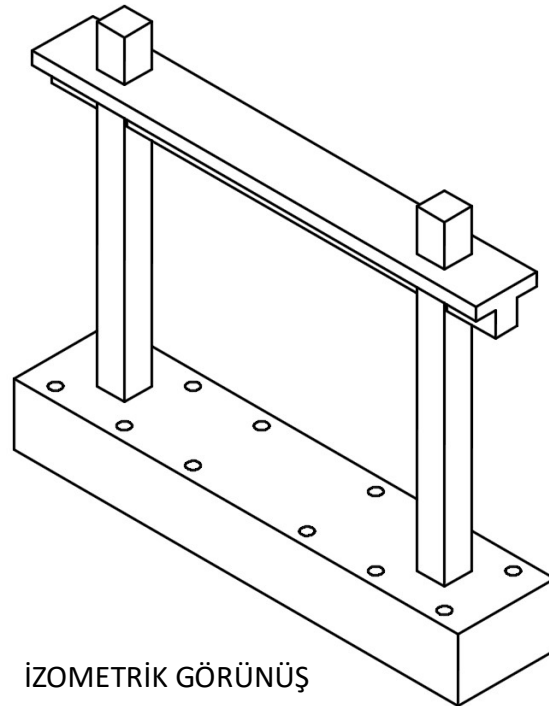
Şekil 2.1 . 2/3 ölçekli çerçevenin boyutları



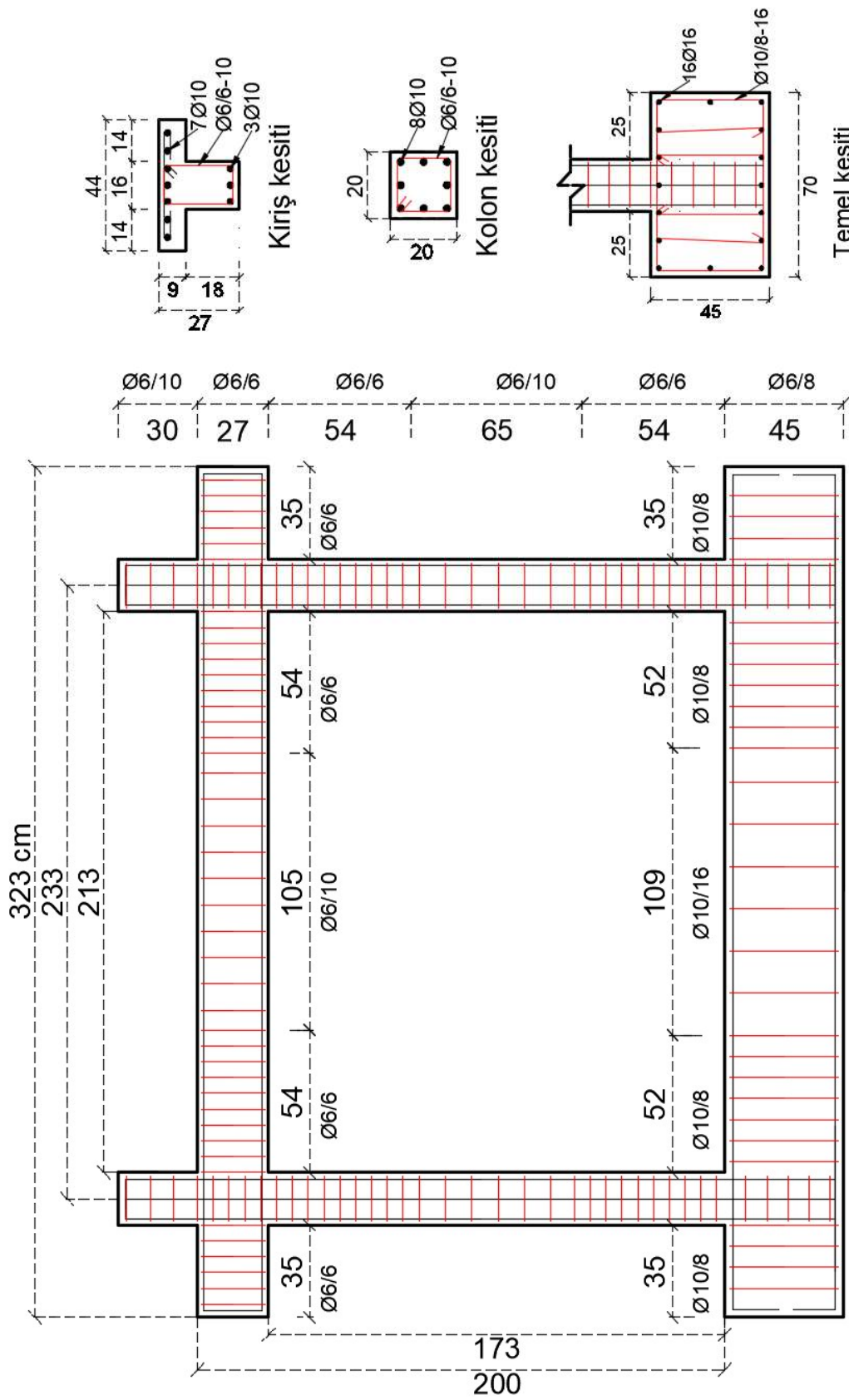
ÜST GÖRÜNÜŞ



ALT GÖRÜNÜŞ



Şekil 2.1. 2/3 ölçekli çerçevenin boyutları (devamı)



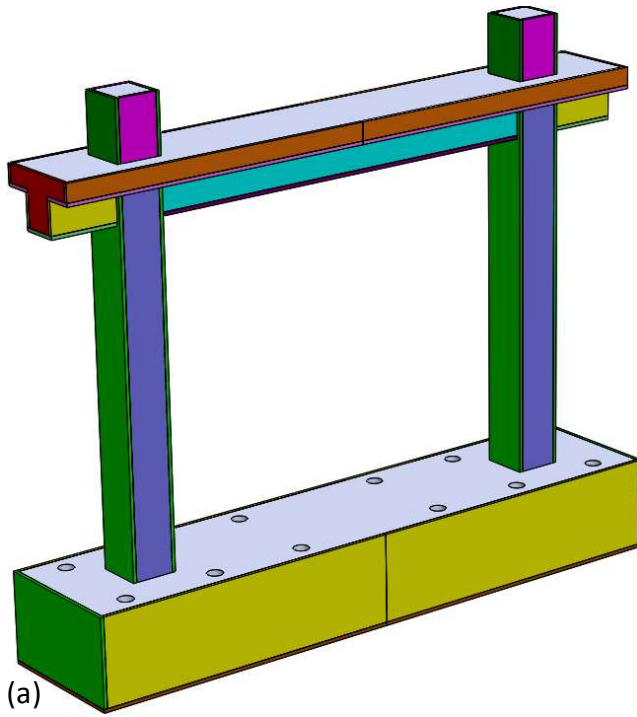
Şekil 2.2. 2/3 ölçekli çerçevelerin donatı detayları

2.1.2. Betonarme çerçevelerin üretimi

Betonarme çerçevelerin üretimi, İSTE Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (İSTE-BTM), Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çerçevelerin mümkün olduğunca aynı özelliklerde olmasını sağlamak için, ahşap kalıplar bilgisayar kontrollü hassas kesim cihazlarıyla üretilmiş, hazır beton kullanılmış, donatılar aynı satıcıdan temin edilmiş ve bütün çerçevelerin inşası aynı işçiler tarafından gerçekleştirilmiştir. Çerçevelerin tamamının üretiminde aşağıda anlatılan prosedür uygulanmıştır.

Çerçevelerin üretiminde kullanılan kalıpların kesim planları ve kullanıma hazır görüntüleri Şekil 2.3a-d'de gösterilmektedir. Betonarme çerçevelerin laboratuvar zeminine tutturulmasında kullanılan ankraj çubukları için, temel kirişinde boşluklar bırakılmıştır. Bu boşlukların yerlerinin sabitlenmesinde Şekil 2.3e'de görülen ahşap takozlar kullanılmıştır.

Her bir çerçevenin üretimi, temel ve kolon-kiriş imalatı olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, öncelikle temel kalıplarının montajı yapılmıştır. Çerçevelerin zemindeki engebelerden etkilenmemesi için, temel kalıbı, 45 cm aralıklarla yerleştirilen ahşap kalıp kirişlerinin üzerine oturtulmuştur (Şekil 2.4a). Bu kirişlerin altına milimetrik kalınlıklarda takozlar yerleştirilerek temel kalıplarının eğimleri sıfırlanmıştır. ahşap kirişlerin altındaki boşluk, aynı zamanda çerçevelerin forklift gibi araçlarla kaldırılmasına da imkân sağlamaktadır. Çerçevelerin deney düzeneğine tutturulması işleminde gereken boşlukların açılması için, 100 mm çapında plastik borular kullanılmıştır (Şekil 2.4c, d). Beton dökümü sırasında boruların hareket etmemesi ve içine beton girmemesi için ahşap takozlar kullanılmıştır (Şekil 2.4a, b). Plastik boruların iç çapına göre üretilen ahşap takozlar, taban kalıbına vida ile tutturulmuştur (Şekil 2.4a). Daha sonra, temel donatıları Şekil 2.4b'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

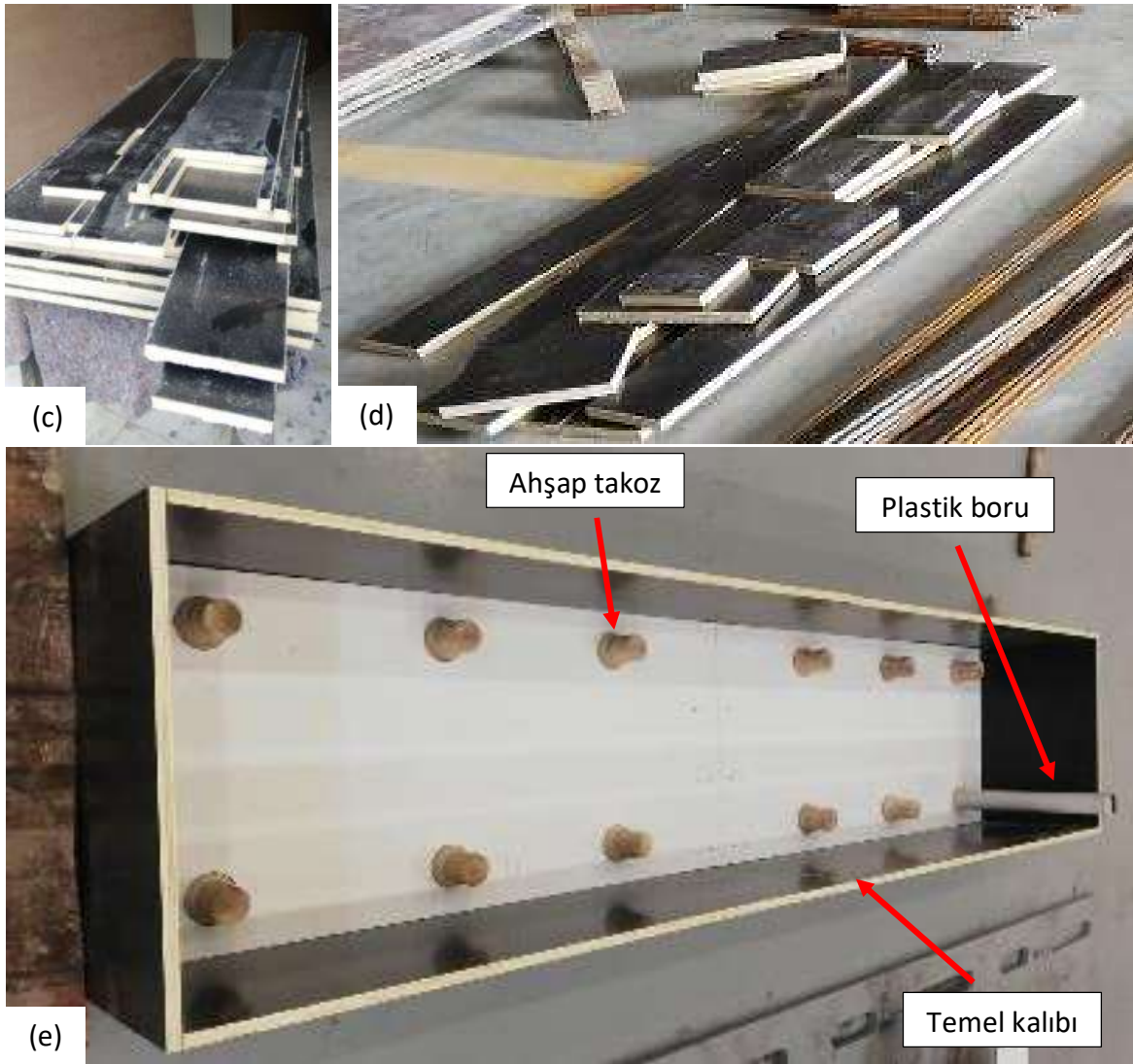


(a)

<p>KI-5 2 ADET (162x2130 mm)</p> <p>KI-6 4 ADET (90x1633 mm)</p> <p>KO-2 4 ADET (236 x 1892 mm)</p> <p>KO-2 4 ADET (236 x 1892 mm)</p>	<p>KO-4 4 ADET (236x300 mm) (236x300 mm)</p> <p>KO-4 4 ADET (236x300 mm) (236x300 mm)</p> <p>KO-4 4 ADET (236x300 mm) (236x300 mm)</p> <p>KO-4 4 ADET (236x300 mm) (236x300 mm)</p> <p>KI-6 4 ADET (90x1633 mm)</p> <p>KO-2 4 ADET (236 x 1892 mm)</p> <p>KO-1 4 ADET (200 x1892 mm)</p> <p>KO-1 4 ADET (200 x1892 mm)</p> <p>KO-1 4 ADET (200 x1892 mm)</p> <p>KO-1 4 ADET (200 x1892 mm)</p>
<p>KI-6 4 ADET (90x1633 mm)</p> <p>KO-2 4 ADET (236 x 1892 mm)</p> <p>KI-72 ADET 440 x 270 mm</p> <p>KI-4 1 ADET (196x2130 mm)</p> <p>KI-2 4 ADET (162x368 mm)</p> <p>KI-1 4 ADET (158x1633mm)</p> <p>KI-2 4 ADET (162x368 mm)</p> <p>KI-1 4 ADET (158x1633mm)</p> <p>KI-2 4 ADET (162x368 mm)</p> <p>KI-1 4 ADET (158x1633mm)</p> <p>KI-2 4 ADET (162x368 mm)</p> <p>KI-1 4 ADET (158x1633mm)</p>	<p>KI-5 2 ADET (162x2130 mm)</p> <p>TE-2 4 ADET 450x1615 mm</p> <p>TE-2 4 ADET 450x1615 mm</p> <p>KI-6 4 ADET (90x1633 mm)</p>
<p>TE-2 4 ADET 450x1615 mm</p> <p>TE-1 2 ADET 736x1633 mm</p>	<p>TE-2 4 ADET 450x1615 mm</p> <p>TE-3 2 ADET 450x736 mm</p> <p>TE-3 2 ADET 450x736 mm</p> <p>TE-1 2 ADET 736x1633 mm</p>

(b)

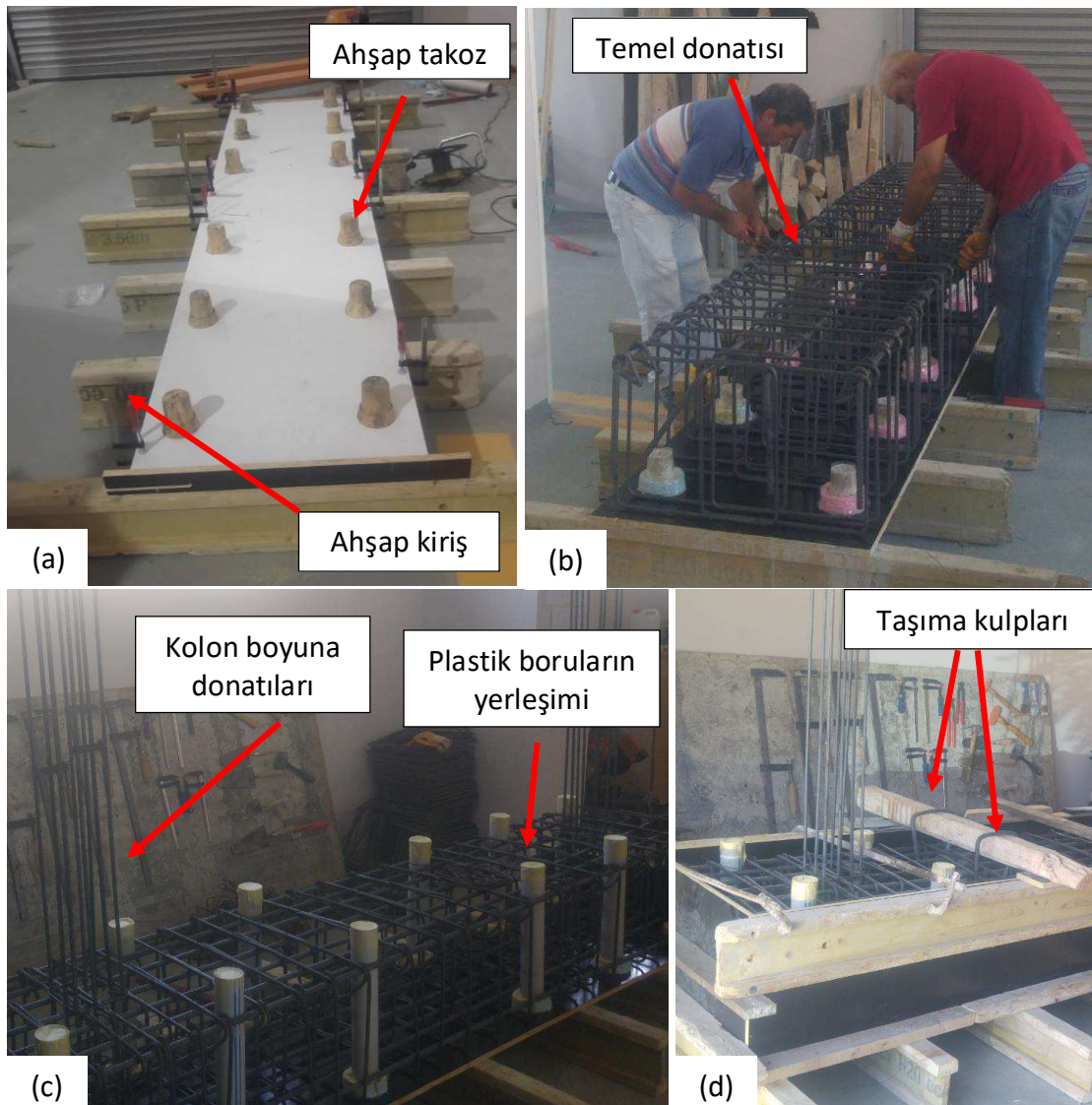
Şekil 2.3. Ahşap kalıpların, (a) tasarımı, (b) kesip planı, (c, d) üretimi, (e) ahşap takoz montajı



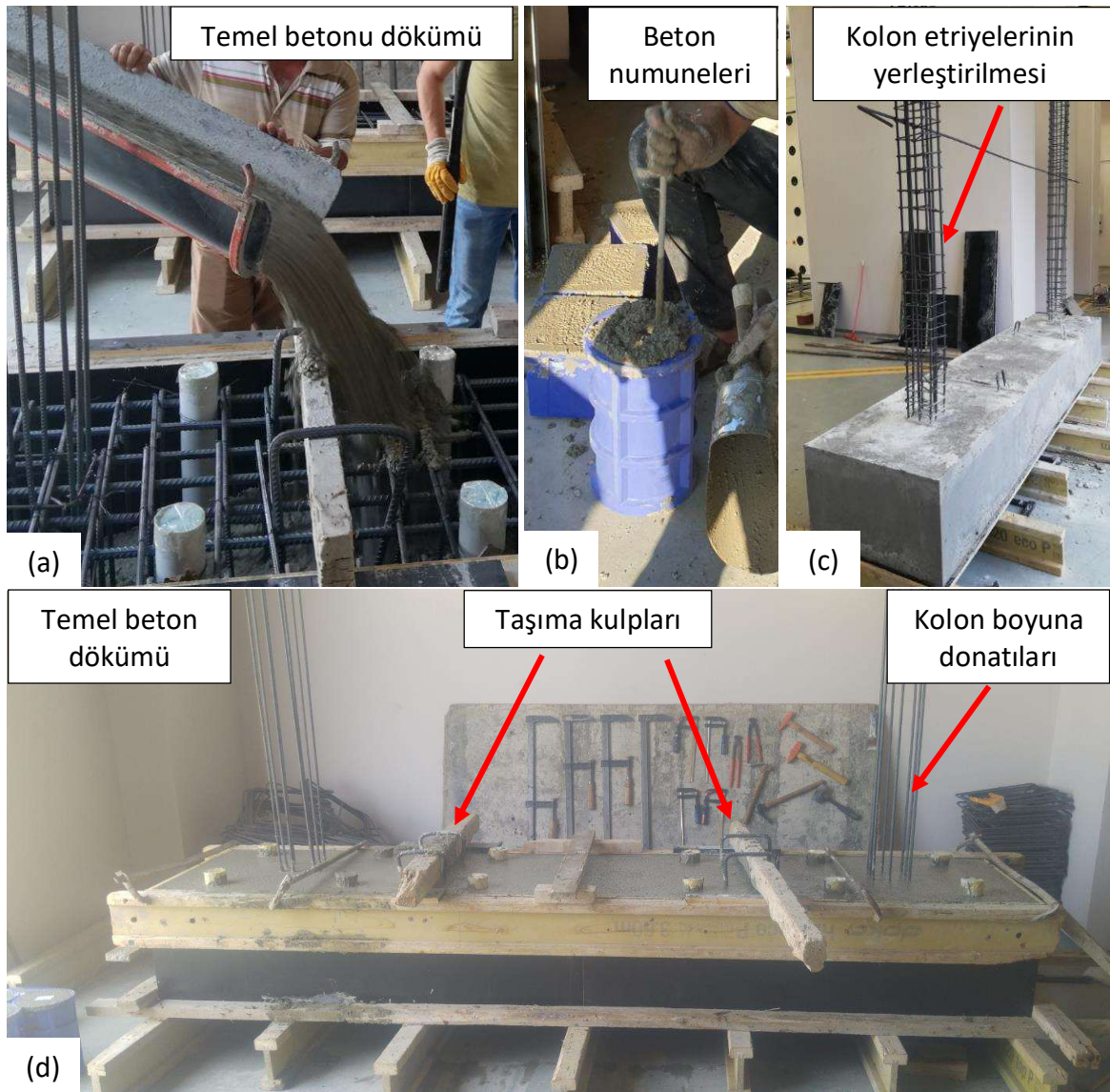
Şekil 2.3. Ahşap kalıpların, (a) tasarımı, (b) kesip planı, (c, d) üretimi, (e) ahşap takoz montajı (devamı)

Kolon boyuna donatıları, bindirmeli ek uygulamasının çerçeve davranışını etkilememesi için, tek parça halinde üretilmiştir. Bu nedenle, temel donatıları aşamasında, kolon boyuna donatıları da yerleştirilmiştir (Şekil 2.4c, d). Betonarme çerçevelerin vinç ile taşınmasına imkân sağlamak amacıyla, 4 adet kulp görevi yapacak donatı parçaları, temel donatıları arasına yerleştirilmiştir (Şekil 2.4d). Son aşamada ise, plastik borular ahşap takozların üzerine yerleştirilmiş, temel donatılarına tel ile bağlanarak beton dökümü sırasında hareket etmeleri engellenmiştir. Tüm çerçevelerde hazır beton kullanılmıştır. Çerçevelerin ölçekli boyutları belirlenirken, beton örtüsü kalınlığı da $2/3$ ölçeğinde küçültülmüştür. Kalınlığı azaltılan beton örtüsü, betonda yerleşme sorunlarına neden olacağı için, maksimum agrega çapı da $2/3$ ölçeğinde

küçültülmüştür. Agrega çapının azaltılması, ölçekli çalışmalarda betonun çatlak gelişiminin daha gerçekçi elde edilmesini de sağlamaktadır. Çerçeve temellerinin betonu mikserden doğrudan dökülmüş (Şekil 2.5a), betonun yerleşmesi 40 mm çapında vibratör kullanılarak sağlanmıştır (Şekil 2.6f). Ardından betonun yüzeyi düzlenerek temel betonunun döküm işlemi tamamlanmıştır (Şekil 2.5d). Her dökümünde alınan beton numuneleri kalıplara 3 aşamada dökülmüş, her aşamada demir çubuk ile yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 2.5b).

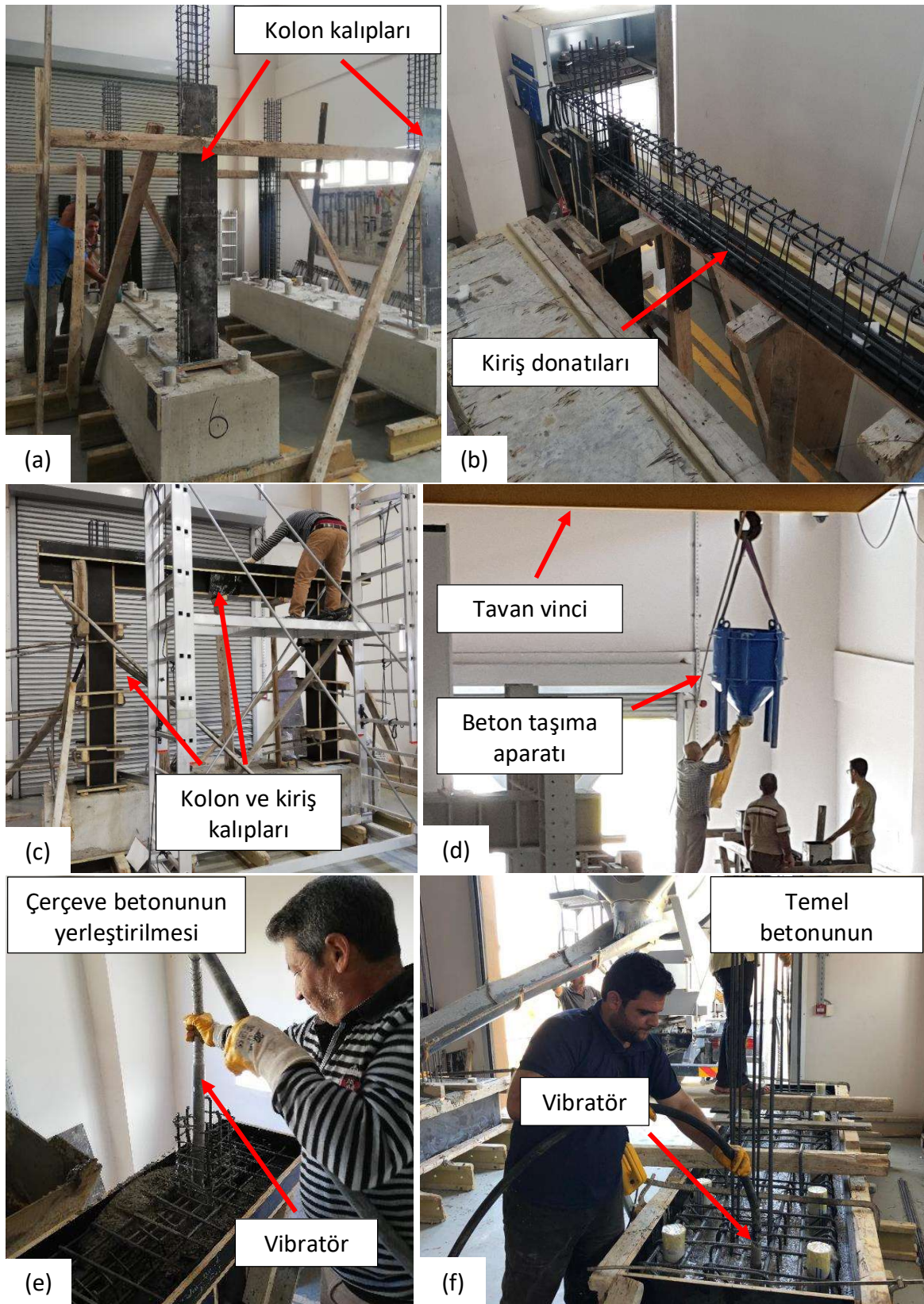


Şekil 2.4. Çerçeve temelinin kalıp-donatı imalatları, (a) temel kalıp tabanı, (b) temel donatıları, (c) kolon boyuna donatıları ve montaj boruları, (d) beton dökümüne hazır hali

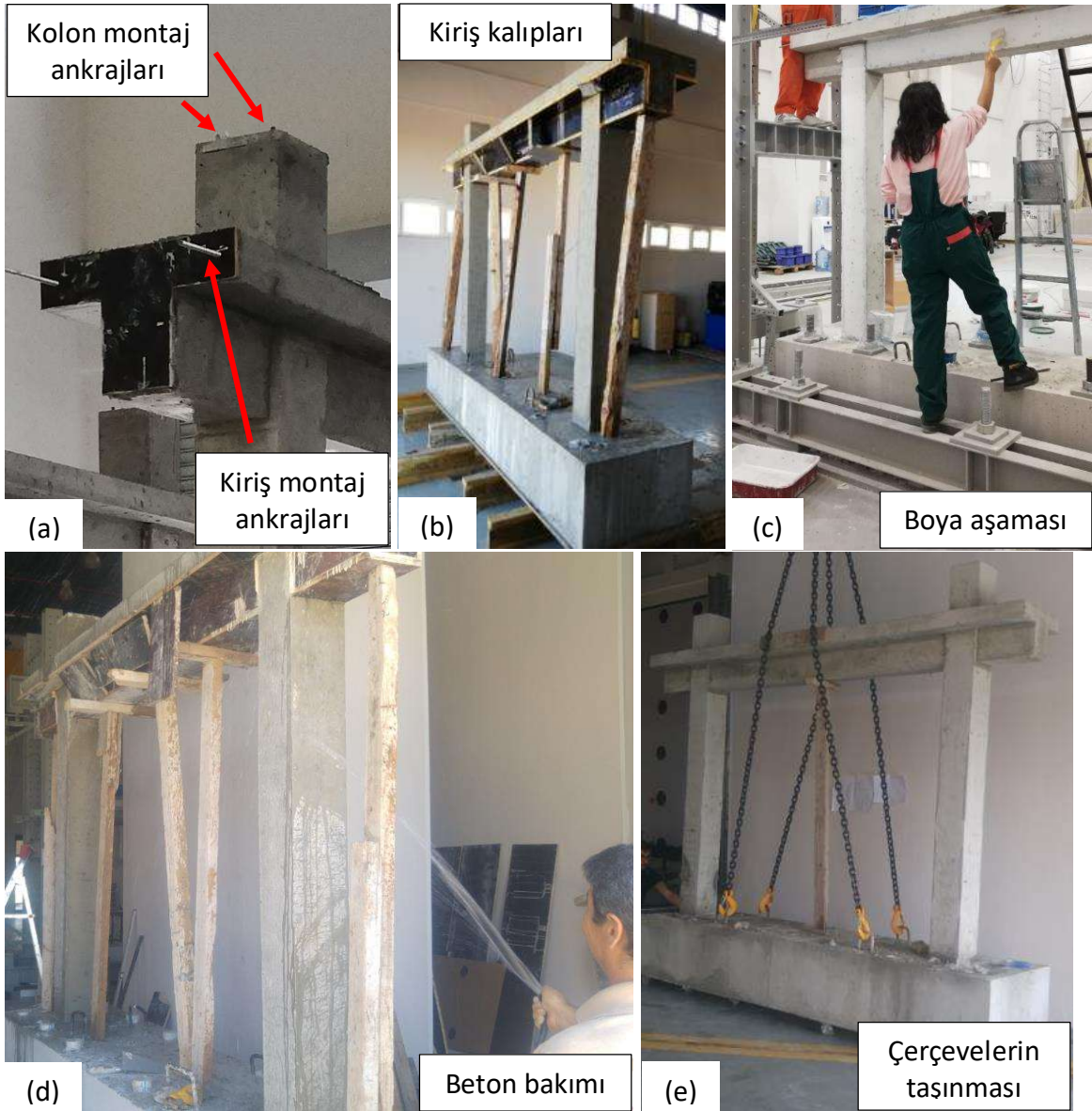


Şekil 2.5. Çerçeve temelinin beton dökümü, (a) temel beton dökümü, (b) beton numuneleri, (c) kolon etriye montajı, (d) beton dökümü sonrası

Temel betonunun kalıpları, beton dökümünden 2 gün sonra açılmıştır. Takip eden günlerde düzenli olarak, günde 3 defa kür uygulanmıştır. Kalıpları açılan bir temelin görüntüsü Şekil 2.5c'de sunulmaktadır.



Şekil 2.6. Kolon ve kirişlerin imalat aşamaları, (a) kolon kalıp montajı, (b) kiriş donatı montajı, (c) kiriş kalıp montajı, (d) beton dökümü, (e, f) beton yerleştirilmesi



Şekil 2.7. İmalat aşamasındaki kolon ve kirişlerin, (a) montaj ankrajları, (b) kiriş kalıpları, (c) boya aşaması, (d) beton bakımı, (e) çerçeve taşınması

Her bir çerçevenin kolon ve kirişlerinin beton dökümü tek seferde gerçekleştirilmiştir. Temel imalatı aşamasında yerleştirilen kolon boyuna donatılarına etriyeler bağlanmış, ardından kolon kalıpları Şekil 2.6a'da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Sonraki aşamada tablalı kirişin donatıları yerleştirilerek kalıp montajı tamamlanmıştır (Şekil 2.6b, c). Kiriş tablası, beton dökümü aşamasında, yerden 2,65 m yüksekliktedir. Transmikserden alınan beton, tabla seviyesine Şekil 2.6d'de görülen aparat vasıtasıyla taşınmıştır. Kolon üst uçlarından kademeli olarak dökülen beton, vibratör ile yerleştirilmiştir (Şekil 2.6e, f).

Beton döküm işleminin son aşamasında, kolonların üst uçlarına çelik montaj plakaları yerleştirilmiştir. Üzerinde delikleri olan bu plakalar, deney sırasında kolonlara düşey yük uygulanan silindirlerin montajı için gereklidir. Yerleştirilen plakalardaki deliklerinden, 4'er adet, 20'şer cm uzunluğunda, Ø8'lik donatı çubukları geçirilerek taze betona ankre edilmiştir. Ayrıca çerçeve ile aktüatörün bağlantısı için, kirişlerin her iki ucuna 2'şer adet M10 ölçüsünde dişli çubuklar yerleştirilerek taze betona gömülmüştür.

Betona gömülen çubuklar ve kolon üstlerine yerleştirilen plakalar Şekil 2.7a'da görülmektedir. Ancak, deney düzeneğinin anlatımında bu konuya daha detaylı değinilecektir. Beton dökümünden 2 gün sonra, kolon kalıplarının tamamı ve kirişlerin yan yüzeyleri açılmıştır (Şekil 2.7b). Bu süreçte betonun kür işlemine devam edilmiştir (Şekil 2.7d). Kiriş alt kalıplarının açılması için betonun dayanım kazanması beklenmiş, 7 gün sonra tüm kalıplar sökülmüştür (Şekil 2.7e). Deney sırasında oluşacak çatlakların daha belirgin olması için, çerçeveler beyaz boya ile boyanmıştır. İstisna olarak, ilk çerçevenin renklendirilmesinde kireç kullanılmıştır. Ancak, kirecin uygulama zorluğu ve istenilen ton için kalın bir tabaka gerektirmesi nedeniyle, sonraki çerçevelerde su bazlı beyaz boya kullanılmıştır (Şekil 2.7c).

2.2. Dolgu Duvar – Çerçeve Bağlantıları ve Tasarımları

Esnek derzli bağlantı elemanlarının düzlem içi performanslarının incelendiği bu çalışma kapsamında, 3 adet bağlantı detayı tasarlanmış, T1Ç, T2Ç ve T3Ç numunelerine uygulanmıştır. Bu bağlantı elemanlarına ek olarak, 2018 TBDY'de sunulan esnek derz örneğinin de üretimi yapılarak, aynı şartlarda incelenmiştir.

Esnek derz kalınlığının belirlenmesinde, Türkiye'deki bütün il merkezlerinden seçilen noktalarda hesaplanan görelî kat ötelemesi sınırları göz önünde bulundurulmuştur. Görelî kat ötelemesi sınırları, 2018 TBDY'ye göre, $R=8$, $I=1$ kabul edilerek, yerel zemin sınıfı, bina periyodu, bina konumu gibi parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilmiştir [104]. Esnek derzli binalar için hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesi sınırı, %0,90 öteleme oranına tekabül etmektedir. Bu çalışmada kullanılacak esnek derz kalınlığı ise %1,75 öteleme oranına tekabül eden 35 mm olarak belirlenmiştir.

Esnek derzler için bırakılan boşlukların doldurulması için, ısı/ses yalıtımı ve yangın direnci konusunda başarılı bir malzeme olan taş tünü tercih edilmiştir (Şekil 2.8). Bu malzemenin, küçük yükler altında yüksek şekil değiştirme özelliğine sahip olması, düzlem içi davranışı etkilememesi açısından tercih nedeni olmuştur.



Şekil 2.8. Esnek derzlerde kullanılan taş yünü

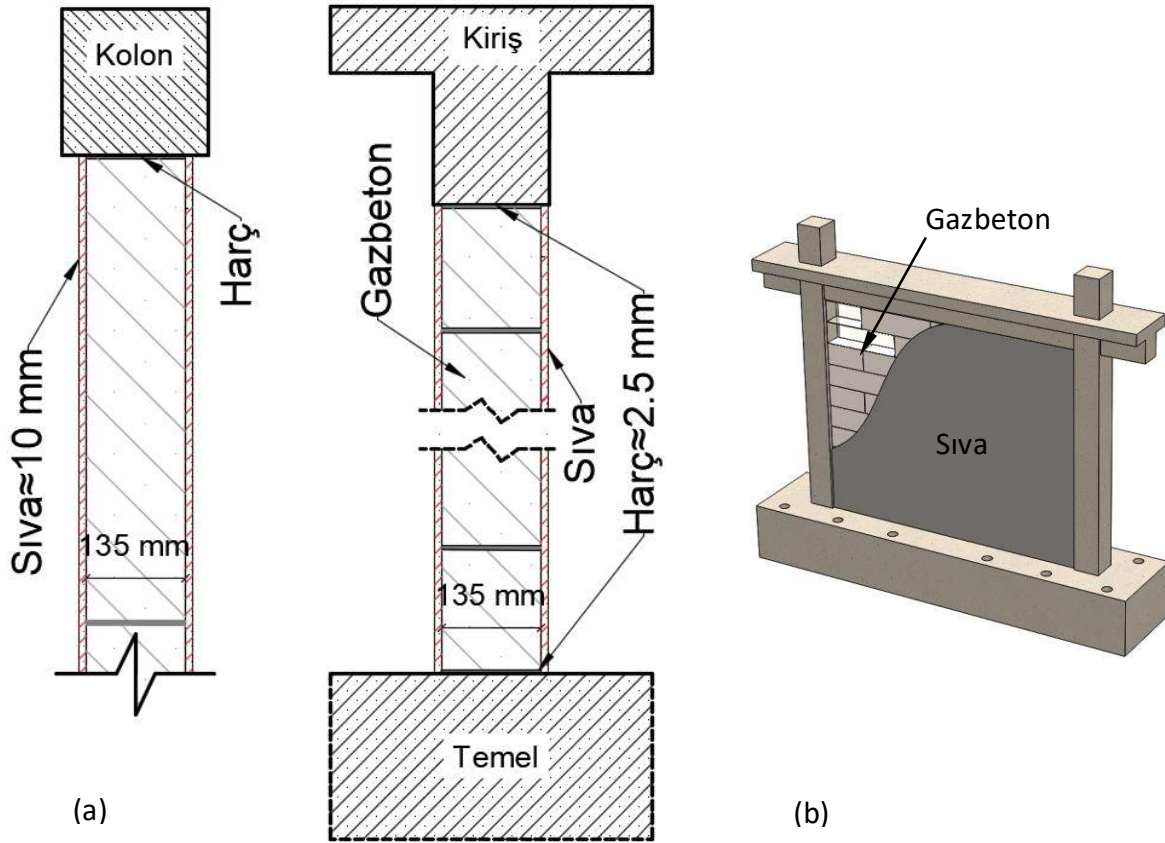
2.2.1. Geleneksel dolgulu GÇ'nin bağlantı detayı

Geleneksel dolgu duvarlı GÇ, dolgu duvar – çerçeve arasında herhangi bir özel detay bulunmayan referans numunedir. Şekil 2.9a'da sunulan kesit görünümünden de anlaşılacağı gibi, GÇ'nin gazbeton blokları, çerçeveye bitişik yerleştirilerek harç ile rijit olarak bağlanmaktadır. GÇ'nin dolgu duvar bileşenlerinin dizilimi Şekil 2.9b'de sunulmaktadır.

2.2.2. Esnek derzli YÇ'nin bağlantı detayının tasarımı

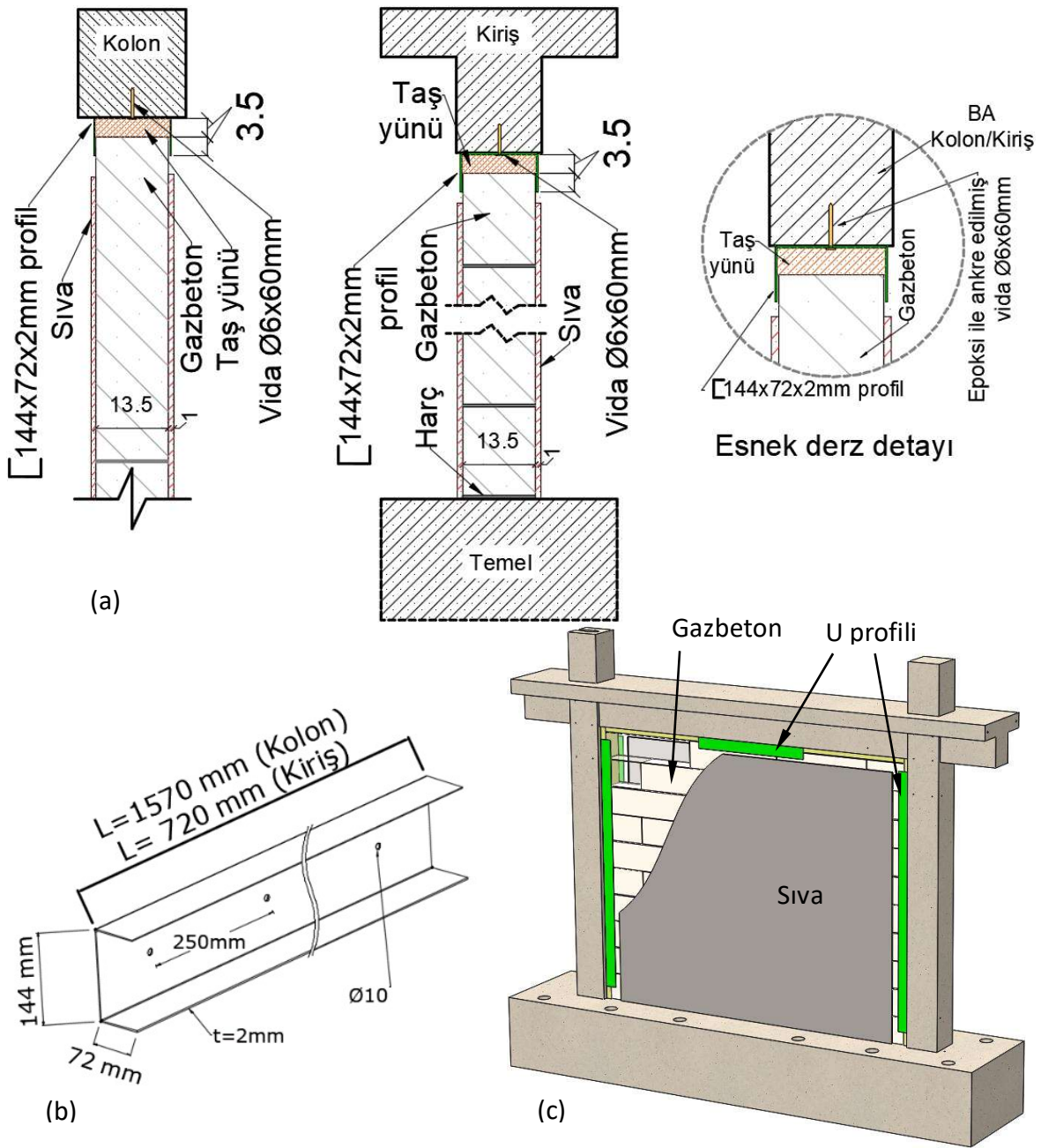
YÇ, 2018 TBDY Bilgilendirme Eki 4C'de belirtilen “Dolgu Duvarlar İçin Esnek Bağlantı Detayı Örneği”nin uygulandığı çerçevedir. Bu bağlantı detayı, 2018 TBDY'de, Şekil 1.5'te sunulan görsel ile sunulmaktadır. TBDY2018 - 4C.2'de “Esnek derz, kolon/perde yüksekliği boyunca kolon/perde iç yüzlerine ve üst kiriş/döşeme alt yüzüne ankraj ile bağlanan bir U-

profil ile sağlanmaktadır. Bu profil aynı zamanda deprem sırasında duvarın düzlem dışı hareketini de engelleyeceği” belirtilmiştir. Ayrıca aynı maddede “detayın uygulanmasında yangın, ısı, ses ve su yalıtımına ilişkin önlemler alınması” gerektiği ifade edilmiştir [102].



Şekil 2.9. GÇ numunesinin, (a) bağlantı detaylarının kesit görünümü, (b) üç boyutlu görünümü

Çerçevelerde kullanılan gazbeton birimlerinin kalınlığı 135 mm’dir. YÇ’ye uygulanan U profillerinin flanşlarının net açıklığı 140 mm belirlenerek, dolgu duvarın her iki tarafında 2,5’er mm tolerans bırakılmıştır. Bu tolerans, hem gazbeton bloklarındaki, hem de U profillerindeki olası üretim hataları için belirlenmiştir. 2018 TBDY-4C’deki şekilde (Şekil 1.5) flanş genişliği, profil yüksekliğinin yarısı olarak belirlenmiştir. Bu durumda, U profilin flanş genişliğinin 70 mm olacağı ortaya çıkmaktadır. Bu mesafenin 35 mm’lik bölümü taş yünü için ayrılmaktadır. Dolgu duvarın düzlem dışı hareketini engellemek üzere 35 mm’lik bir bölüm kalmaktadır (Şekil 2.10a).



Şekil 2.10. (a) YÇ esnek bağlantı detayının kesit görünümleri, (b) çelik profil detayı, (c) üç boyutlu görünüm

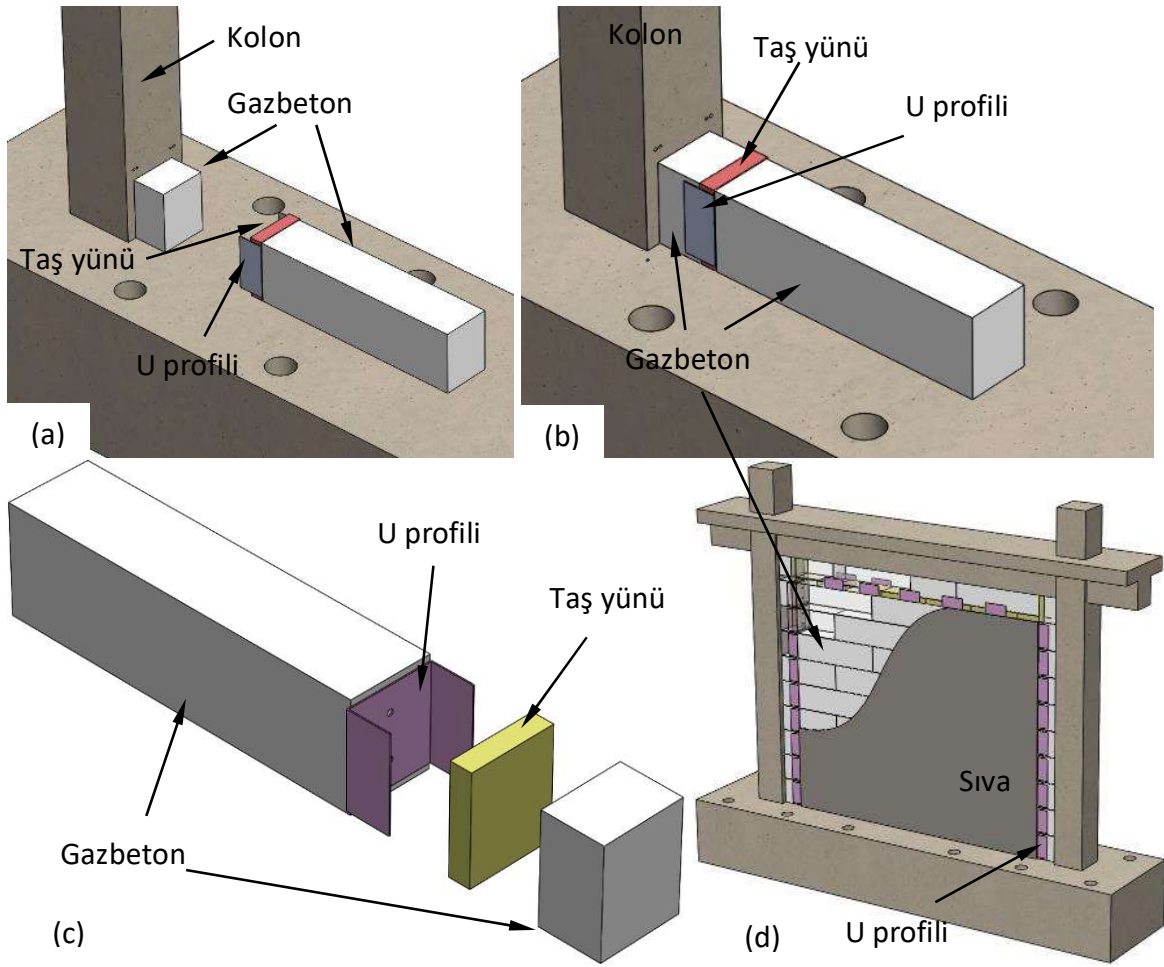
U profillerinin boyları, kolonlar için 157 cm; kiriş için 72 cm olarak belirlenmiştir. 2 mm kalınlığındaki S355 sınıfındaki plakalardan üretilen U profillerinin kiriş ve kolonlara tutturulabilmesi için, 25 cm aralıklarla, 10 mm çapında delikler açılmıştır. Kullanılan U profillerinin boyutları Şekil 2.10b'de sunulmaktadır. Bu bağlantı detayı, çerçeve iç yüzeylerine ankre edilen U profili ve 35 mm kalınlığında taş yününden oluşmaktadır (Şekil 2.10a, c).

Böylece, dolgu duvarın düzlem içi hareketinde taş yünü ezilirken, düzlem dışı hareket U profilinin flanşları ile engellenmesi beklenmektedir.

2.2.3. Esnek derzli T1Ç'nin bağlantı detayının tasarımı

T1Ç'ye uygulamak üzere tasarlanan bu bağlantı detayı, YÇ'de kullanılan 144×72×2 mm kesitli U profilinin, 15 cm boyunda üretilerek gazbeton bloklarına tutturulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bileşenleri Şekil 2.11a'da gösterilen bu bağlantı elemanı, istenilen genişlikte kolon boyutu için uygulanabilmektedir. Bu bağlantı elemanı, Şekil 2.11c'de gösterilen gazbeton bloğuna 2 adet vida ve dübel ile tutturulan U profilinin, aralarına taş yünü yerleştirilerek, kolona bitişik olan bloğa geçirilmesiyle oluşmaktadır (Şekil 2.11b, c). Dolgu duvarı oluşturan diğer bloklar, özel bir detaya sahip olmayan standart gazbetonlardan oluşmaktadır (Şekil 2.11d). Dolgu duvar-kiriş arasındaki bağlantı ise, kolonlardaki ile aynı yöntemle üretilen gazbeton blokları, taş yünü ve U profiller ile tasarlanmıştır (Şekil 2.11d).

Bu bağlantı elemanında kullanılan U profilinin kalınlığı 2 mm'dir. Net flanş açıklığı 140 mm olan U profillerinin içine, 135 mm kalınlığındaki gazbeton bloklar yerleştirilmekte, flanş - gazbeton arasında 2,5 mm boşluk kalmaktadır. U profillerinin içine gazbeton bloklar yerleştirildiğinde, 70 mm genişliğindeki flanşların 35 mm'lik kısmı taş yünüyle doldurulmakta, çerçeveye düzlem içi serbestlik sağlanmaktadır. Kalan 35 mm'lik kısım ise, gazbetonları yan yüzeylerinden tutarak, dolgu duvarın düzlem dışı hareketini engellemektedir.



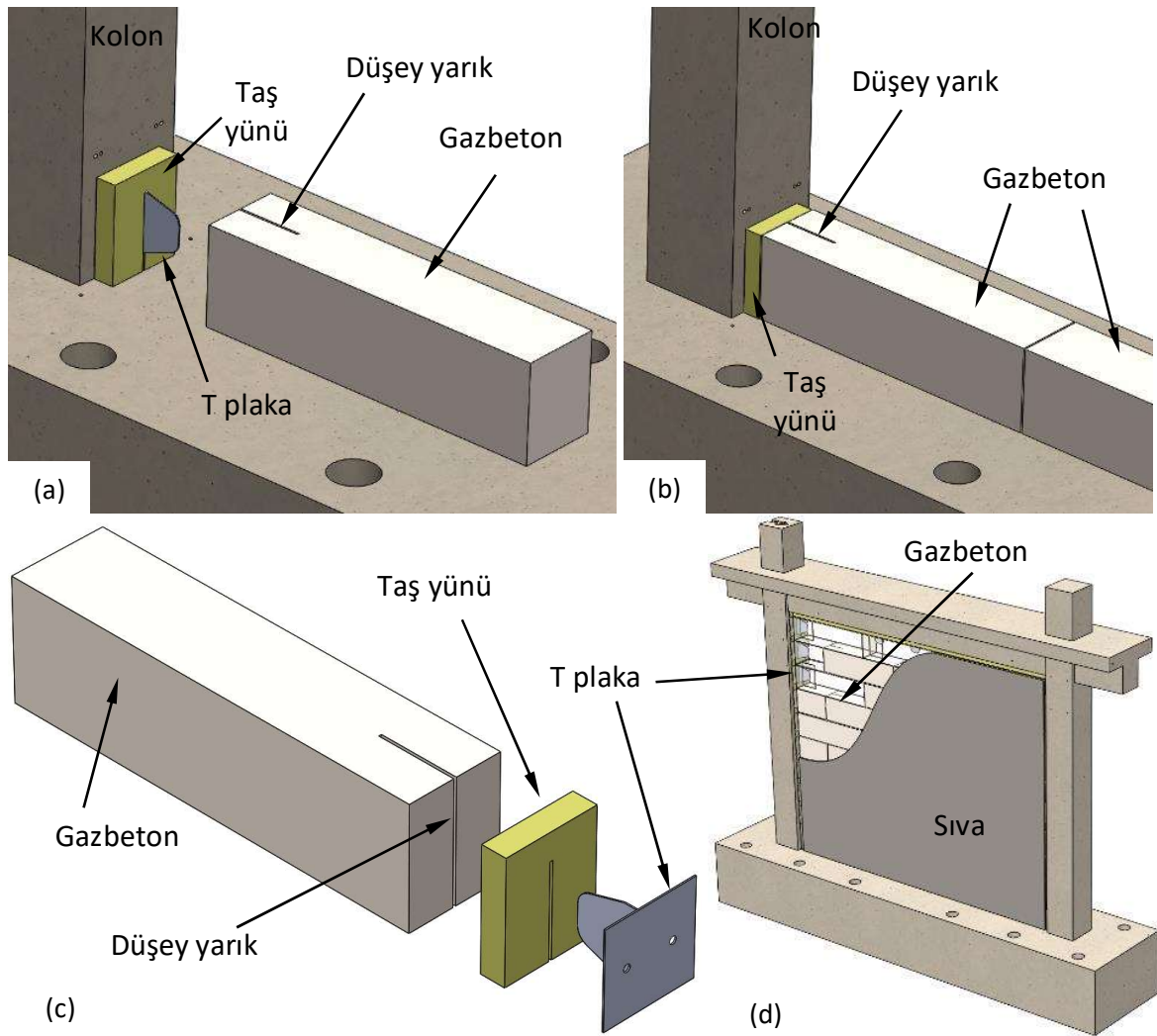
Şekil 2.11. T1Ç esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü

2.2.4. Esnek derzi T2Ç'nin bağlantı detayının tasarımı

T2Ç numunesinde kullanılan esnek derz elemanları, Şekil 2.12c'de de görüldüğü gibi, T şeklinde üretilen çelik plakalar, taş yünü ve düşeyde yarık açılmış bir gazbeton bloğundan oluşmaktadır. Bu bağlantı elemanında gazbetona açılan yarık, içine yerleştirilen çelik plakanın tek düzlemde hareket etmesini sağlamaktadır. T2 bağlantı elemanı, gazbetondaki yarık içine 35 mm boşluk bırakılarak çelik plaka yerleştirilmesi ve bu boşluğun taş yünü ile doldurulmasıyla ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.6). Böylece betonarme çerçeveden izole edilmiş dolgu duvarın tek düzlemde hareket etmesi sağlanması planlanmıştır. T2 bağlantı elemanlarının betonarme çerçeve içine yerleşimi Şekil 2.12a, b, d'de gösterilmektedir.

T2Ç'nin esnek bağlantı detayının uygulamasında, öncelikle, kiriş ve kolon iç yüzeylerine delikler açılmaktadır. Sonraki aşamada, T plakalar, kiriş ve kolonlara 60 mm boyundaki Ø6'lık vida ve dübelleri ile epoksi kullanılarak tutturulmaktadır. Ardından, aralarına 35 mm kalınlığında taş yünü konularak (Şekil 2.12a) yarıklı gazbeton bloğu çerçeveye yerleştirilmektedir (Şekil 2.12b). Bu bağlantı elemanında, yalnızca kolon ve kirişlere komşu gazbetonlara yarık açılmış, diğer bloklara herhangi bir işlem uygulanmamıştır (Şekil 2.12d).

Çerçevenin düzlem içi hareketinde, çelik plakaların kolonlarla birlikte hareket etmesi, yarıklı gazbeton ile aralarındaki taş yününün ezilmesi beklenmektedir. Böylece, çerçeveden dolgu duvara aktarılan düzlem içi etki asgari düzeye indirilmiş olacaktır.



Şekil 2.12. T2Ç esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü

2.2.5. Esnek derzli T3Ç'nin bağlantı detayının tasarımı

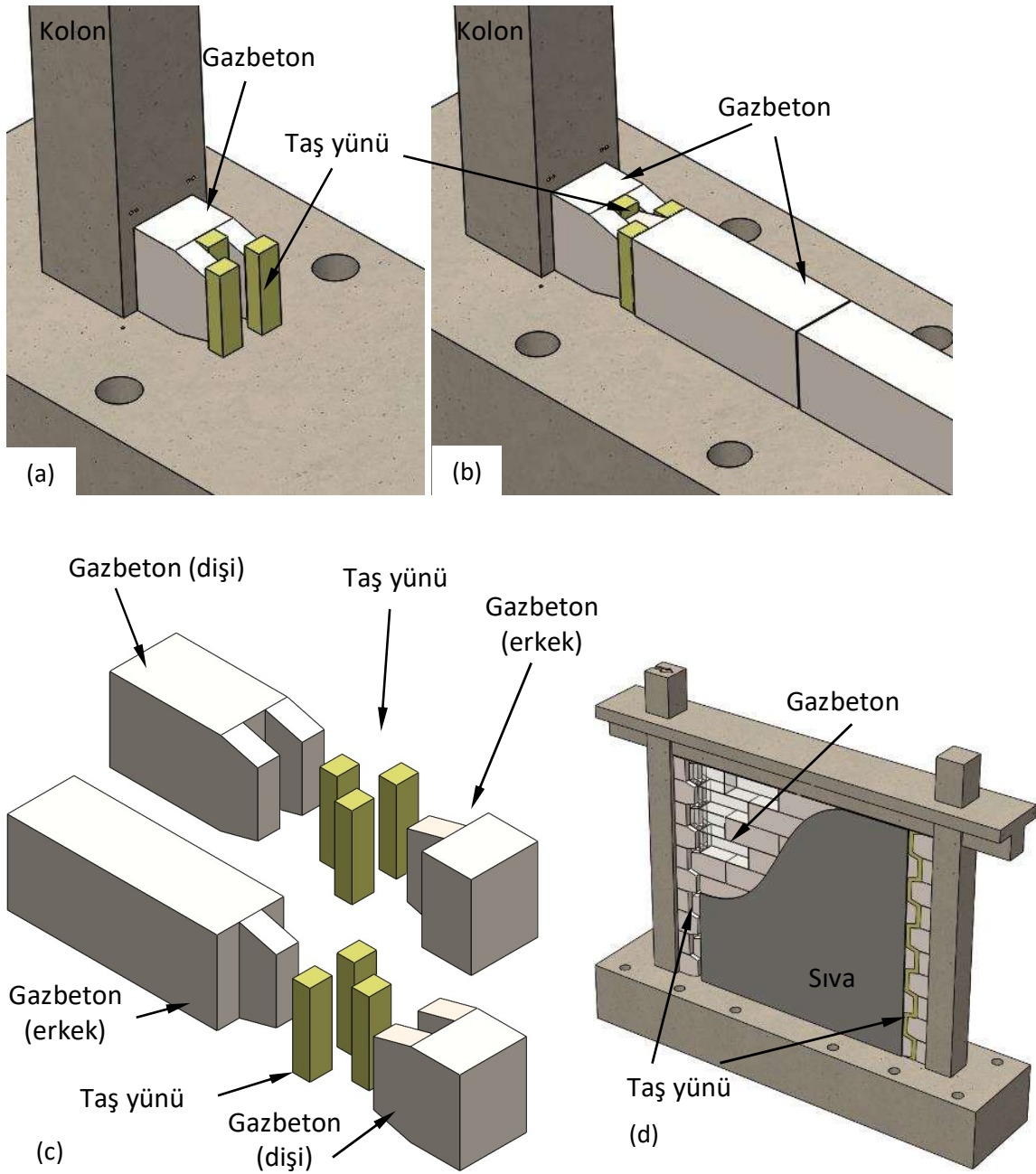
Bu bağlantı elemanı, Şekil 2.13a'da görüldüğü gibi, erkek ve dişi gazbeton bloklardan oluşmaktadır. Duvar inşası sırasında, blokların şaşırtmalı yerleştirileceği düşünülerek, kısa boyda tasarlanan kolona bitişik gazbetonlarda, erkek ve dişi blokların kullanılması planlanmıştır. Erkek bloklarda oluşturulan dişler, 45 mm genişliğinde ve 100 mm uzunluğundadır. Dişi bloklarda ise, 45 mm genişliğindeki dişlerin uzunluğu 105 mm'dir. Bloklar, aralarına 35 mm kalınlığındaki taş yünü yerleştirilerek bir araya getirilmektedir. Bağlantı elemanının uygulaması Şekil 2.13a, b, d'de görülmektedir.

Düzlem içi ötelemelerde, gazbeton blokların taş yününe ezeceği, düzlem dışı etkilerde ise dolgu duvarı, gazbetonlar üzerinde oluşturulan dişlerin engelleyeceği beklenmektedir. Ancak düzlem içi ötelemeler sırasında, kolona tutturulan blokların çerçeve ile birlikte öteleneceği, bununla birlikte, bu blokların kolonun eğilmesiyle dönme hareketi de yapacağı öngörülmüştür. Dönme hareketi sonucunda karşılıklı çapraz blokların düşey etkileşime girmesini önlemek için, dişlerin alt ve üst yüzeyleri eğimli olarak tasarlanmıştır.

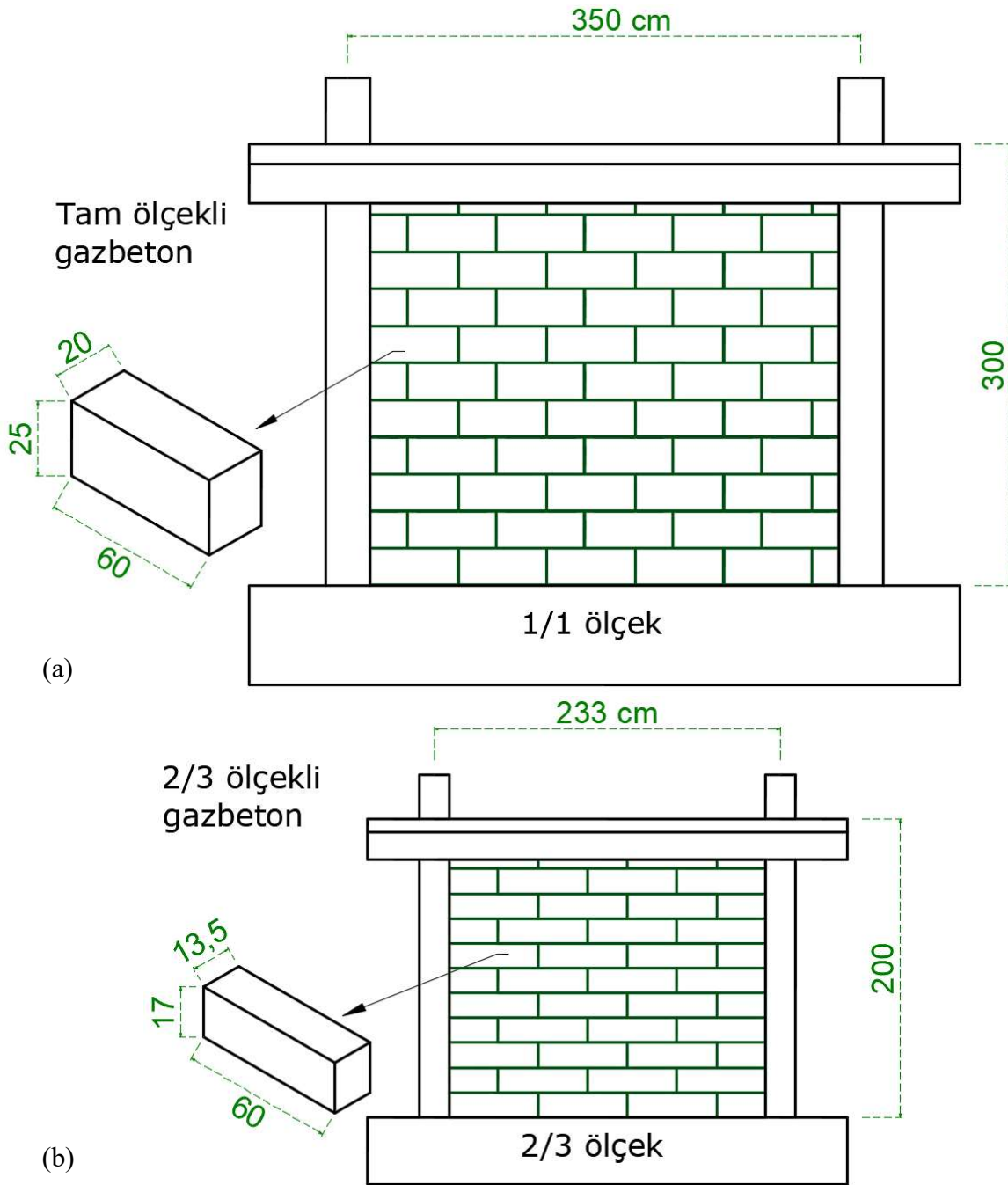
2.3. Dolgu Duvarların Üretimi

2/3 ölçekli betonarme çerçevelerin kullanıldığı bu çalışmada, gazbeton blokların kalınlık ve yüksekliği de aynı oranda ölçeklenmiştir. İnşaat uygulamalarında yaygın olarak kullanılan 20 cm kalınlık ve 25 cm yükseklikteki gazbeton boyutları (Şekil 2.14a) ölçeklenerek, fabrika şartlarında 13,5 cm kalınlık ve 17 cm yükseklik boyutlarıyla (Şekil 2.14b) özel olarak üretilmiştir.

Betonarme çerçevelerin dolgu duvar imalatlarının yalnızca dolgu duvar-çerçeve bağlantı elemanı uygulamalarında farklılık bulunmaktadır. İmalatın diğer aşamaları ise, 1 cm sıva, numune alınması, kür ve boyama olmak üzere aynı işlem adımlarından oluşmaktadır.



Şekil 2.13. T3Ç numunesinin esnek bağlantı detayının, (a, b) yerleşim sıralaması, (c) bileşenleri, (d) üç boyutlu görünümü



Şekil 2.14. Dolgu duvarlarda kullanılan, (a) tam ölçekli ve (b) 2/3 ölçekli gazbeton blokları

2.3.1. GÇ'nin dolgu duvar üretimi

Geleneksel dolgu duvarlı GÇ numunesinin dolgu duvar imalatında, fabrika şartlarında ölçekli olarak üretilmiş gazbeton blokları kullanılmıştır. Geleneksel duvar imalatında olduğu gibi, şaşırtmalı olarak yerleştirmek için her sırada birer adet yarım gazbeton bloğu kullanılmıştır

(Şekil 2.15a). Gazbeton blokları, çerçeve içine yerleştirildikten sonra, duvar üzerine tutturulan kılavuz çubukları ile 1 cm sıva kalınlığı sağlanmıştır (Şekil 2.15b, c). Sıvanın tamamlanmasını takip eden günlerde kür ve bakım işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.15d), dolgu duvar deney öncesinde beyaza boyanmıştır.

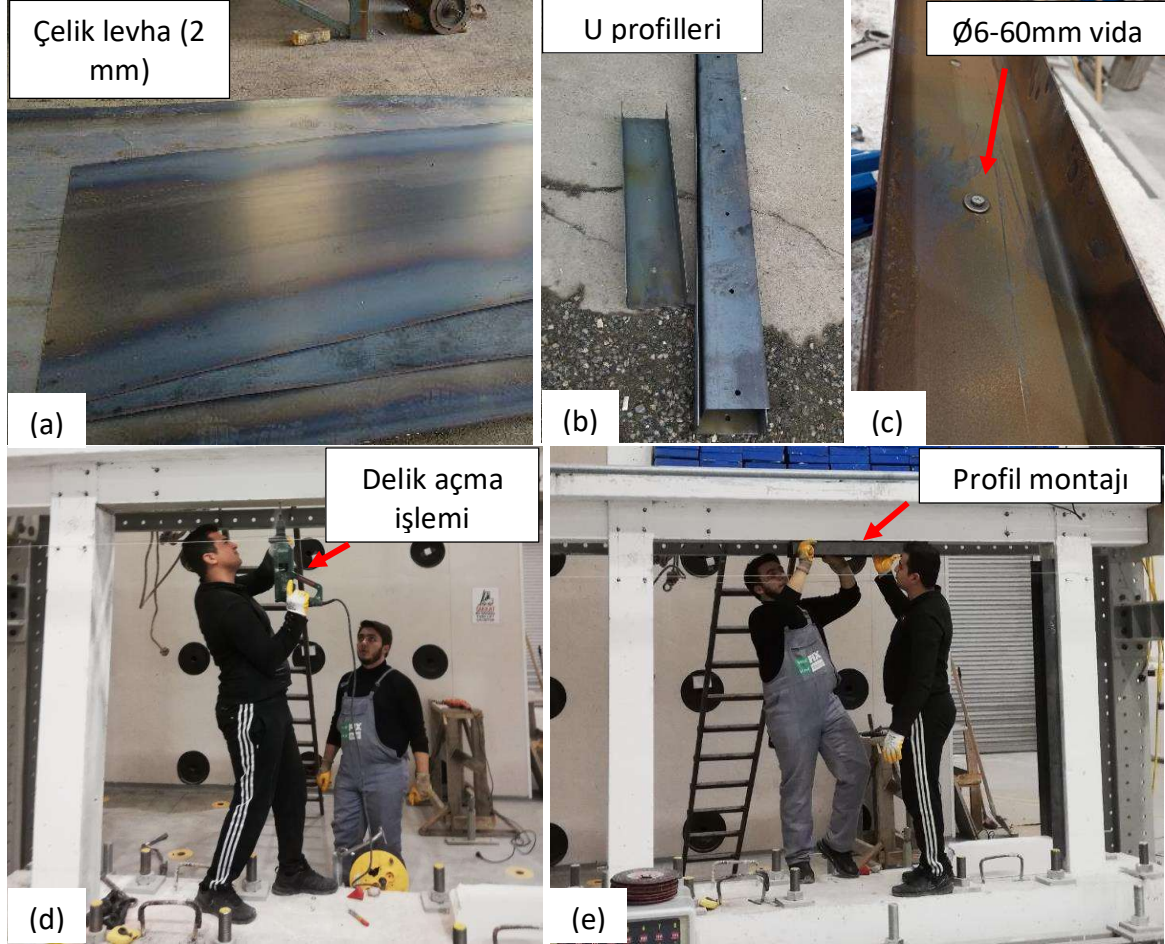


Şekil 2.15. GÇ numunesinin dolgu duvar imalatı, (a) duvar örümü, (b, c) sıva aşaması, (d) kür işlemi

2.3.2. YÇ'nin dolgu duvar üretimi

YÇ'nin esnek derz detayında kullanılan U profili, 2 mm kalınlıktaki çelik levhaların bükülmesiyle üretilmiştir (Şekil 2.16a-c). Profilleri çerçeveye tutturmak için, profil gövdesine 25 cm aralıklarla delikler açılmıştır. Aynı aralıktaki delikler, profillerin tutturulacağı kolon ve

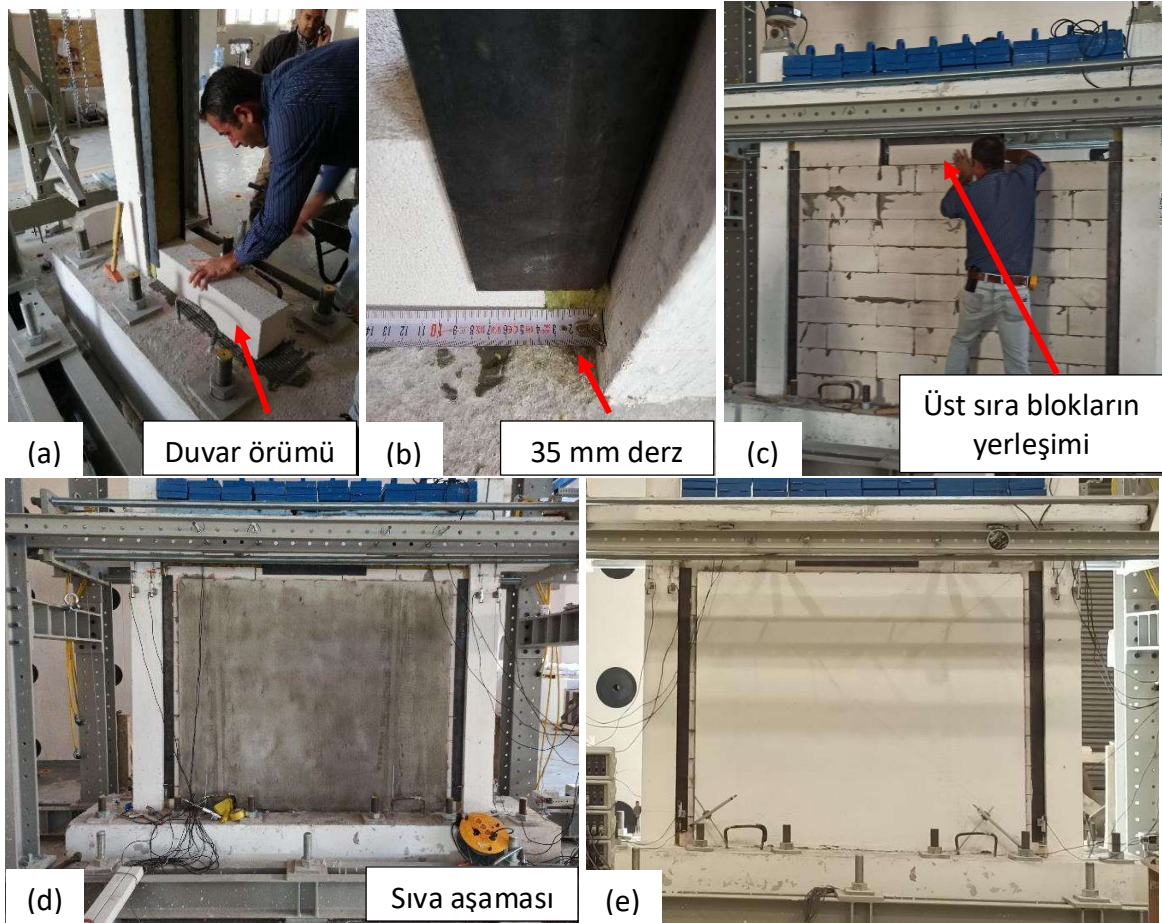
kiriş iç yüzeylerine de açılmıştır (Şekil 2.16b-d). Profilin çerçeveye montajı, 60 mm boydaki Ø6'lık vidalar ve epoksi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.16c, e).



Şekil 2.16. U profillerinin üretimi ve çerçeveye montajı, (a) 2 mm kalınlıkta çelik levha, (b) U profilleri, (c) Ø6-60mm vida, (d, e) U profillerinin montajı

Çerçeveye ankre edilen U profillerinin içlerine taş yünleri yerleştirilmiş, ardından duvar örülmüştür (Şekil 2.17a). Kolona bitişik bloklar yerleştirilirken, çerçeve ile aralarına 35 mm mesafe bırakılmıştır (Şekil 2.17b). Duvar örülmesinde, en üst sıradaki blokların yerleştirilmesi aşamasına kadar herhangi bir engelle karşılaşılmamıştır. Üretim sırasında karşılaşılabilecek güçlükler önceden düşünülmüş olsa da, bu duvar imalatında, en üst sıradaki blokların yerleştirilmesi ve kiriş ile duvar arasına sonradan taş yününün yerleştirilmesi, duvar örüm işlemini yavaşlatmıştır (Şekil 2.17c). Gazbeton bloklarının en üst sırada kalan boşluğa sığmaması, pratikte sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Böyle durumlarda bloklar kesilerek yükseklikleri azaltılmaktadır. Geleneksel dolgu duvar imalatında da söz konusu durumlarla

karşılaşıldığından, bu yavaşlama YÇ'ye özgü bir durum değildir. Sıva işleminde sabit kalınlık elde edebilmek için kılavuz kalınlık çitaları kullanılmış, duvarın her iki tarafına 1 cm kalınlığında hazır sıva uygulanmıştır (Şekil 2.17d). Sıvanın tamamlanması ve kürün tamamlanmasının ardından dolgu duvar beyaz renge boyanmıştır (Şekil 2.17e).

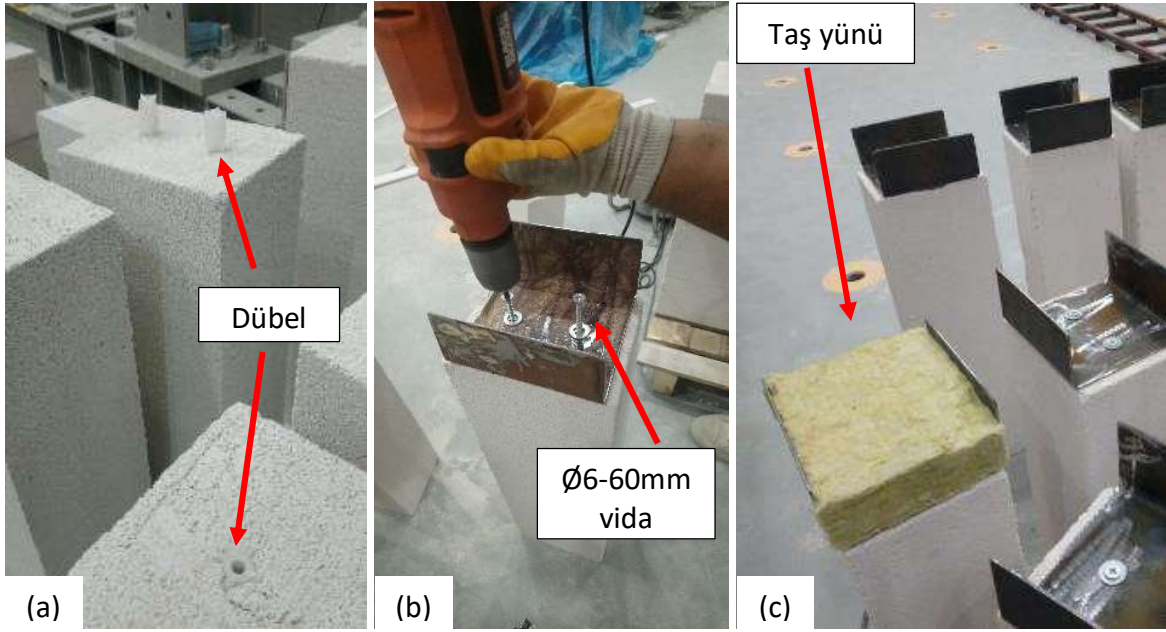


Şekil 2.17. YÇ numunesinin dolgu duvar imalatı, (a) duvar örümü, (b) esnek derz boşluğu, (c) üst sıra blokların yerleşimi, (d) sıvalı hali, (e) boya aşaması

2.3.3. T1Ç'nin dolgu duvar üretimi

T1Ç'nin esnek derzleri için tasarlanan U profilleri, 2 mm kalınlıktaki levhalar bükülerek üretilmiştir. Üretim aşamasında U profillerinin her birine 10 mm çapında 2'şer adet delik açılmıştır (Şekil 2.18b). Profilleri tutturmak için gazbeton bloklarına da aynı mesafede delikler açılmıştır (Şekil 2.18a). Profilin-gazbeton bloğu bağlantısı, bu deliklere geçirilen dübel ve 60 mm uzunluğunda vida ile sağlanmıştır (Şekil 2.18b). Gazbetonlara tutturulan U profillerinin

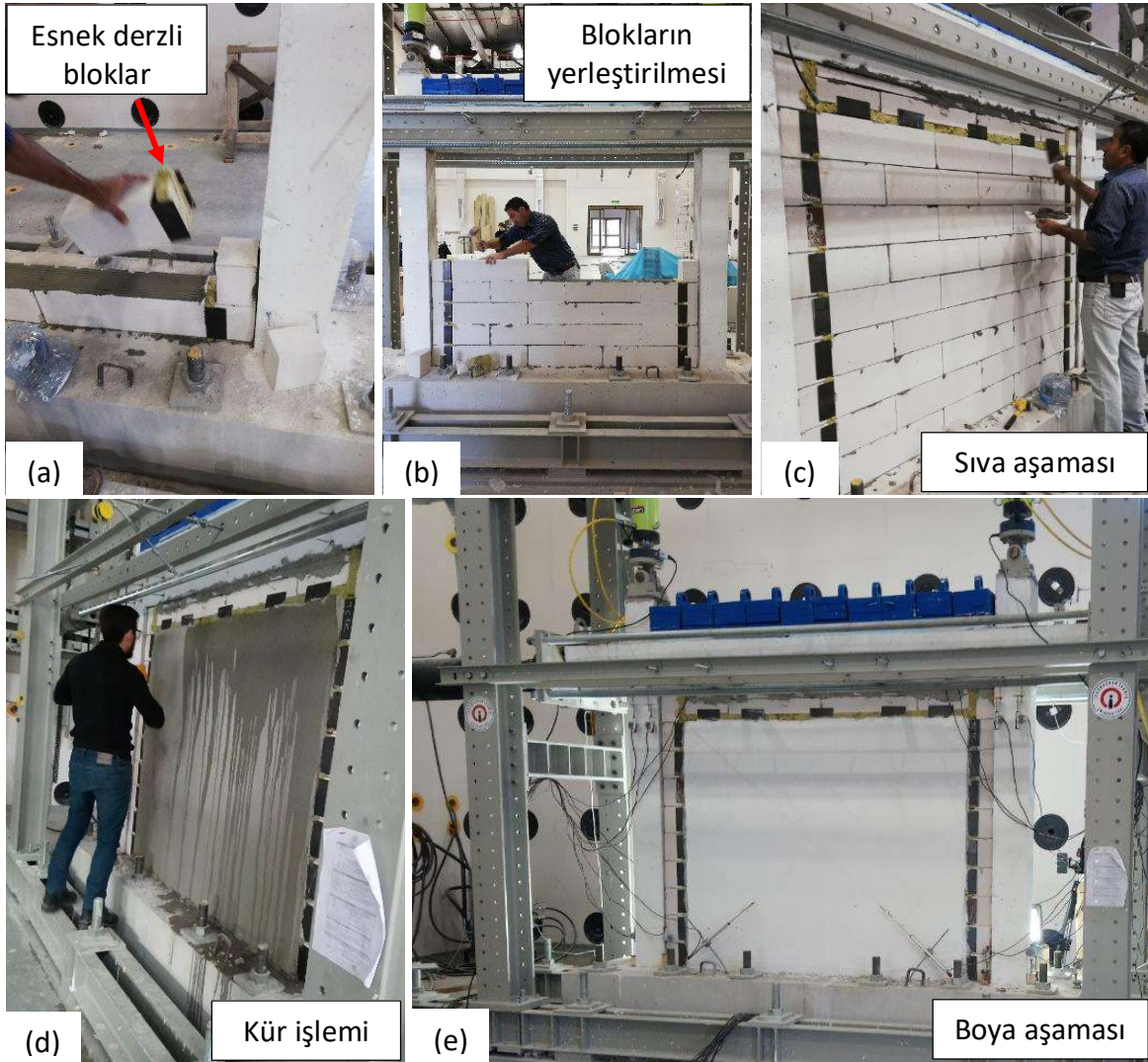
içine taş yünlerinin yerleştirilmesiyle uygulamaya hazır hale gelmiştir (Şekil 2.18c). Seri üretim durumunda, U profillerin dolgu duvar birimlerine sabitlenmesi fabrika ortamında gerçekleştirip inşaat sahasına Şekil 2.18c’de görüldüğü gibi hazır vaziyette getirilmesi mümkündür. Bu durum işçilik ve süre konusunda avantaj sağlayacaktır.



Şekil 2.18. T1Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a) gazbetona açılan deliklere dübellerin yerleştirilmesi, (b) U profillerinin vida ile montajı, (c) T1 elemanlarının hazır hali

T1Ç'nin dolgu duvar imaltı Şekil 2.19'da görülmektedir. İlk aşamada kolon kenarına 15 cm uzunluğundaki gazbeton bloklar gazbeton yapıştırıcısı ile yerleştirilmiştir (Şekil 2.19a). Ardından U profili tutturulmuş bloklar 35 mm esnek derz boşluğu sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 2.19a, b). Dolgu duvarın orta bölgesinde kalan bloklar herhangi özel bir detayı bulunmayan standart gazbeton bloklarıdır (Şekil 2.19c). En üst sıradaki blokların yerleştirilme aşamasına kadar duvar örüm işlemi oldukça hızlı ilerlemiştir. En üst sıradaki blokların yerleşmesi için yeterli miktarda boşluk kalmadığından, bu bloklar kesilerek yüksekliği azaltılmıştır (Şekil 2.19c). Ancak geleneksel duvar imalatında da üst sıradaki blokların kesilerek yüksekliğinin azaltılması sıklıkla karşılaşılan bir durum olduğundan, T1Ç numunesine özgü bir zorluk değildir. Sabit sıva kalınlığı elde edebilmek için kılavuz kalınlık çitaları kullanılmıştır. Dolgu duvarın her iki tarafı 1 cm kalınlığında hazır sıva ile kaplanmıştır. Esnek derzlerin durumunun daha iyi görülebilmesi için, T1 bağlantı detayının olduğu yerlerde

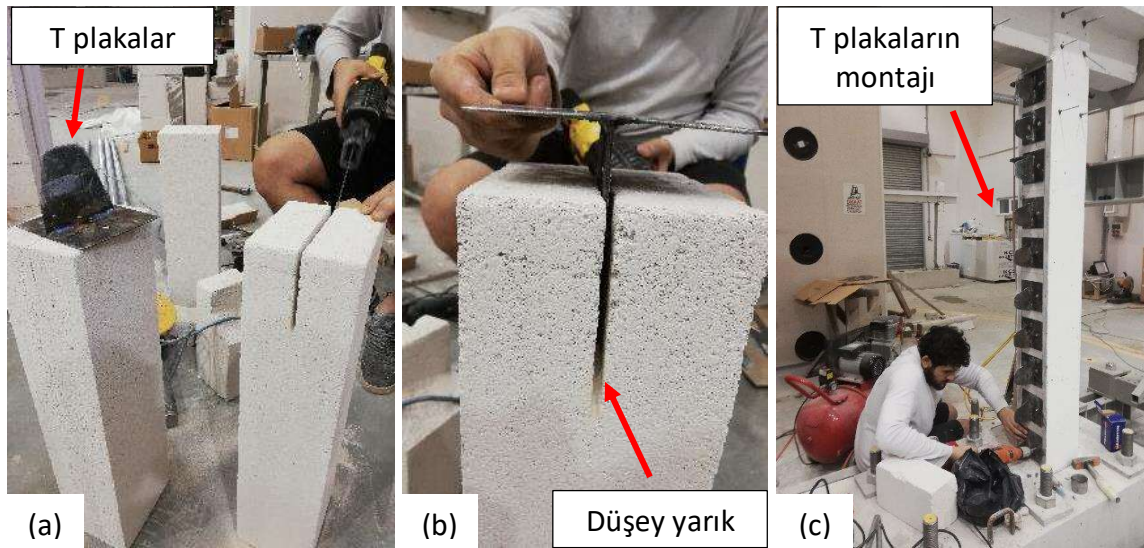
sıvadan kaçınılmıştır. Öte yandan, dolgu duvarlara yaygın bir şekilde sıva yapılması ve gerçekte de sıvalı haliyle davranış göstermesi nedenleriyle profil dışındaki duvara sıva uygulanmıştır. Sıvanın tamamlanmasını takip eden günlerde kür ve bakım işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.19d). Bakım süresinin tamamlanmasının ardından betonarme çerçeveler beyaz renge boyanmıştır (Şekil 2.19e).



Şekil 2.19. T1Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a-c) duvar örümü, (d) sıvalı hali ve kür işlemi, (e) boya aşaması

2.3.4. T2Ç'nin dolgu duvar üretimi

T2Ç esnek bağlantısında kullanılacak çelik elemanlar 2 mm kalınlıktaki levhalardan üretilmiştir (Şekil 2.20a, b). Çelik bileşenin gövdesinin genişliği 135 mm, gazbetona açılan yarığa giren parçasının uzunluğu 100 mm, gazbeton bloğuna açılan yarığın derinliği ise 105 mm olarak belirlenmiştir. Bu bağlantı elemanının bu bileşenleri bir araya getirilince, profil flanşının 35 mm'lik kısmı taş yünü yerleştirilecek esnek derz boşluğuna, kalan 65 mm'lik kısmı da ileri ve geri ötelemelerde düzlem dışı hareketi engellemek üzere gazbeton bloğuna açılan yarık içinde kalacaktır (Şekil 2.20a-c).

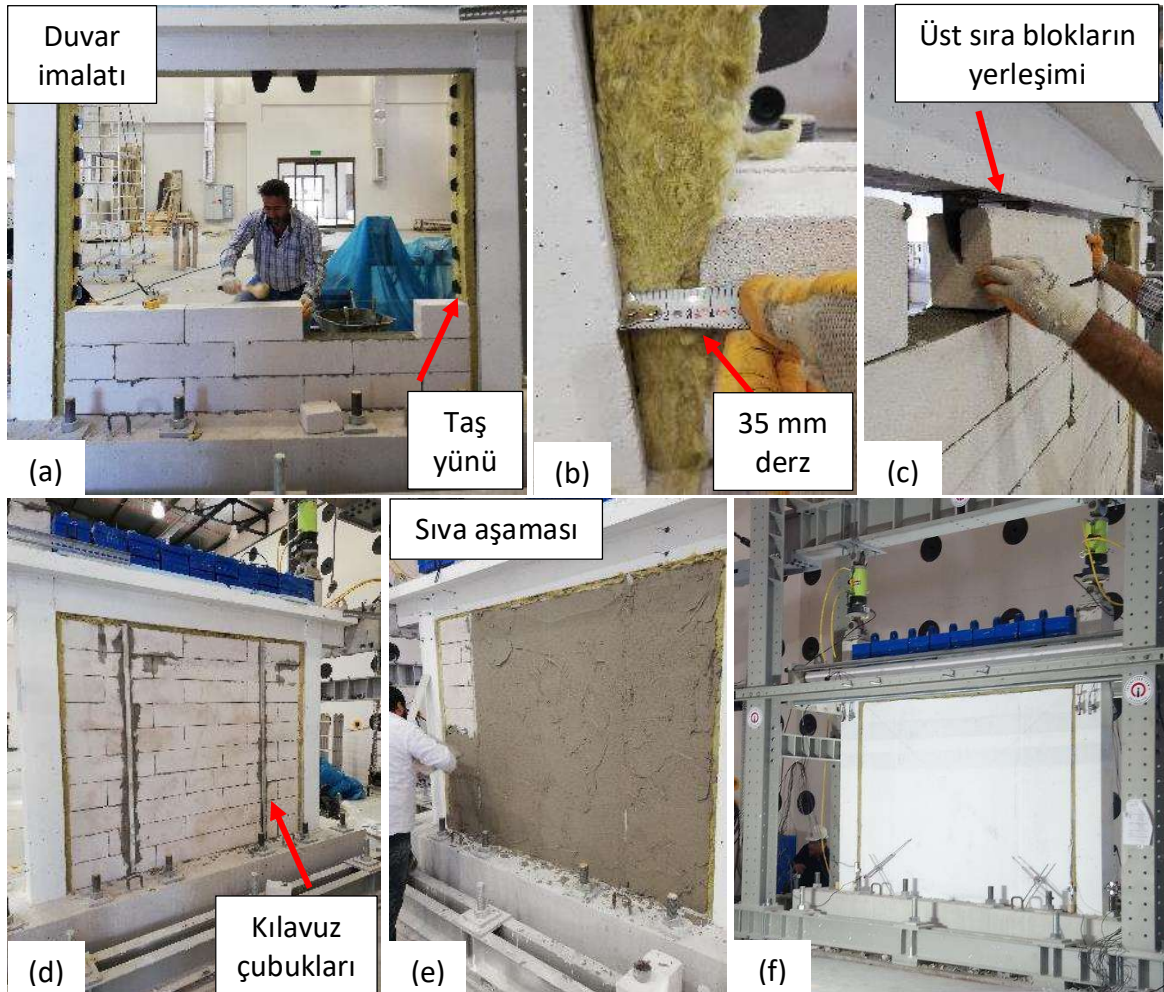


Şekil 2.20. T2Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a, b) T plakalar ve yarıkların açılması, (c) T plakaların çerçeveye montajı

Çelik parçaların çerçeveye montajı Şekil 2.20c'de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Bu elemanların montajında, çerçeveye açılan delikler epoksi ile doldurularak dübellere yerleştirilmiş, 60 mm uzunluğunda vidalar ile sabitlenmiştir. Taş yünlerine de yarıklar açılarak çelik plakalar üzerine tutturulmuştur (Şekil 2.21a).

Kenar bloklar çerçeve ile arasına 35 mm mesafe bırakılarak yerleştirilmiştir (Şekil 2.21b). Dolgu duvarın örülürken en üst sıradaki blokların yerleştirilmesinin kolay olması için, çelik plakalar kirişin kolona yakın bölgelerine yapıştırılmamıştır (Şekil 2.21a). Duvar örümü sırasında en üst sıraya kadar herhangi bir zorlukla karşılaşılmamıştır. En üst sıradaki bloklar

yerleştirilirken blokların küçültülmesi ve kiriş altına cam yünlerinin yerleştirilmesi üretim hızını bir miktar yavaşlatmıştır (Şekil 2.21c). En üst sıradaki bloklar için yeterli boşluk kalmaması ve bu blokların kesilerek yüksekliklerinin azaltılması geleneksel uygulamada da sıklıkla karşılaştıkları bir durumdur. Bu çerçevede karşılaşılan söz konusu durum geleneksel dolgu duvar imalatının da ortak sorunu olduğundan herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.



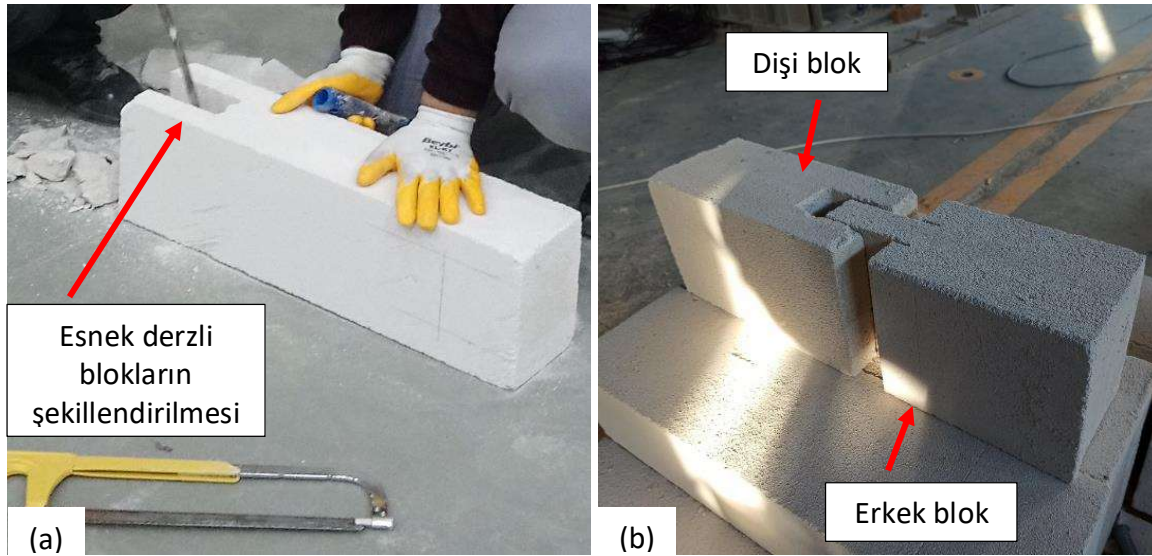
Şekil 2.21. T2Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a) duvar örümü, (b) esnek derz boşluğu, (c) üst sıra blokların yerleştirilmesi, (d, e) sıva aşaması, (f) boya aşaması

Gazbeton bloklarının yerleştirilmesinin ardından dolgu duvarın her iki yüzeyine de 1 cm kalınlığında sıva uygulanmış (Şekil 2.21d, e), ancak, esnek derzlerin durumunun daha iyi görülebilmesi için, taş yünü olduğu bölgelerde sıvadan kaçınılmıştır. Sıva uygulaması tamamlandıktan sonra düzenli olarak bakım işlemi gerçekleştirilmiştir. Dolgu duvar

çatlaklarının daha kolay tespit edilebilmesi için dolgu duvar deney öncesinde beyaz renge boyanmıştır (Şekil 2.21f).

2.3.5. T3Ç'nin dolgu duvar üretimi

T3Ç'nin esnek derz elemanları standart gazbeton blokların kesilmesiyle üretilmiştir (Şekil 2.22). Duvarın örülme aşamasında, önce kolon kenarındaki bloklar yerleştirilmiştir. Üst üste gelen kenar bloklar dişi ve erkek olarak şaşırtmalı yerleştirilmiştir (Şekil 2.23). Kenar bloklar kolonlara gazbeton yapıştırıcısı ile tutturulmuştur. Esnek derz elemanları, dişi ve erkek blokların aralarında 35 mm taş yünü kalacak şekilde konumlandırılmıştır. Esnek derz elemanları dışındaki bütün bloklar, özel bir detayı bulunmayan standart gazbeton bloklarından oluşmaktadır (Şekil 2.23).

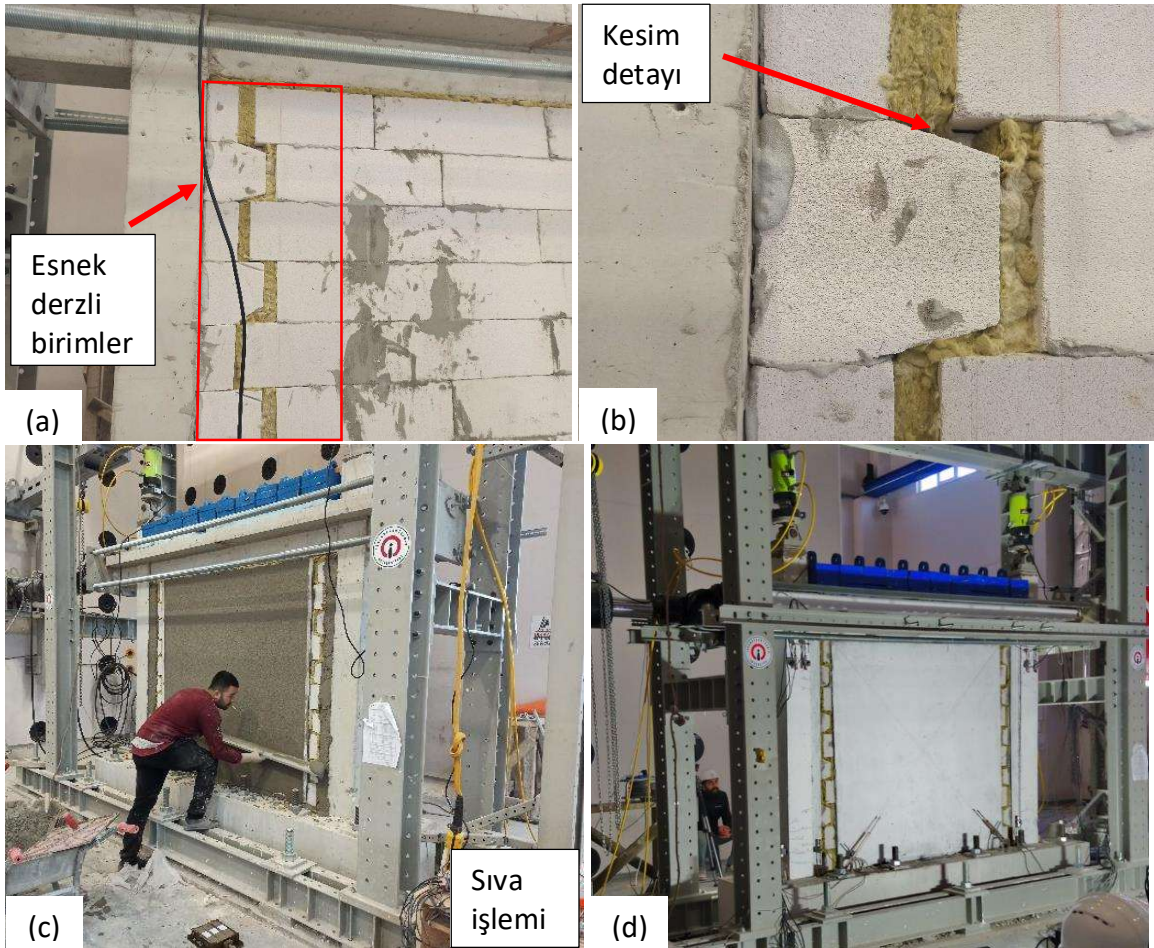


Şekil 2.22. T3Ç'ye uygulanacak esnek derz bileşenlerinin üretimi, (a) blokların kesimi, (b) dişi ve erkek blokların görünümü

T3Ç'deki esnek derz detayı yalnızca kolon kenarlarındaki bloklara uygulandığından, kiriş altındaki blokların yerleştirilmesi geleksel dolgu duvar imalatı ile aynıdır. Dolgu duvar ile kiriş arasında özel bir detaya sahip herhangi bir gazbeton bulunmadığından aralarına taş yünlerinin yerleştirilmesi oldukça kolay olmuştur. Dolayısıyla bu çerçevenin dolgu duvarın örülme aşamasında herhangi bir zorlukla karşılaşılması. Öte yandan, dikdörtgen blokların yatay ötelenme sırasında, dönmeye bağlı olarak, az da olsa düşey hareket ederek birbirini kırması

mümkündür. Bu nedenle, çerçevenin ötelenme hareketi ölçüsünde dişler üzerinde belirlenen parçalar kesilerek çıkarılmıştır (Şekil 2.23a, b).

Gazbeton bloklarının çerçeveye yerleştirilmesinin ardından dolgu duvarın her iki yüzeyine de 1 cm kalınlığında sıva uygulanmış (Şekil 2.23c), ancak, esnek derzlerin durumunun gözle görülebilmesi açısından, taş yününün olduğu bölgelerde sıvadan kaçınılmıştır. Sıva uygulaması tamamlandıktan düzenli olarak sıva bakımı gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında oluşacak çatlakların daha kolay tespit edilebilmesi için, dolgu duvar deney öncesinde beyaz renge boyanmıştır (Şekil 2.23d).

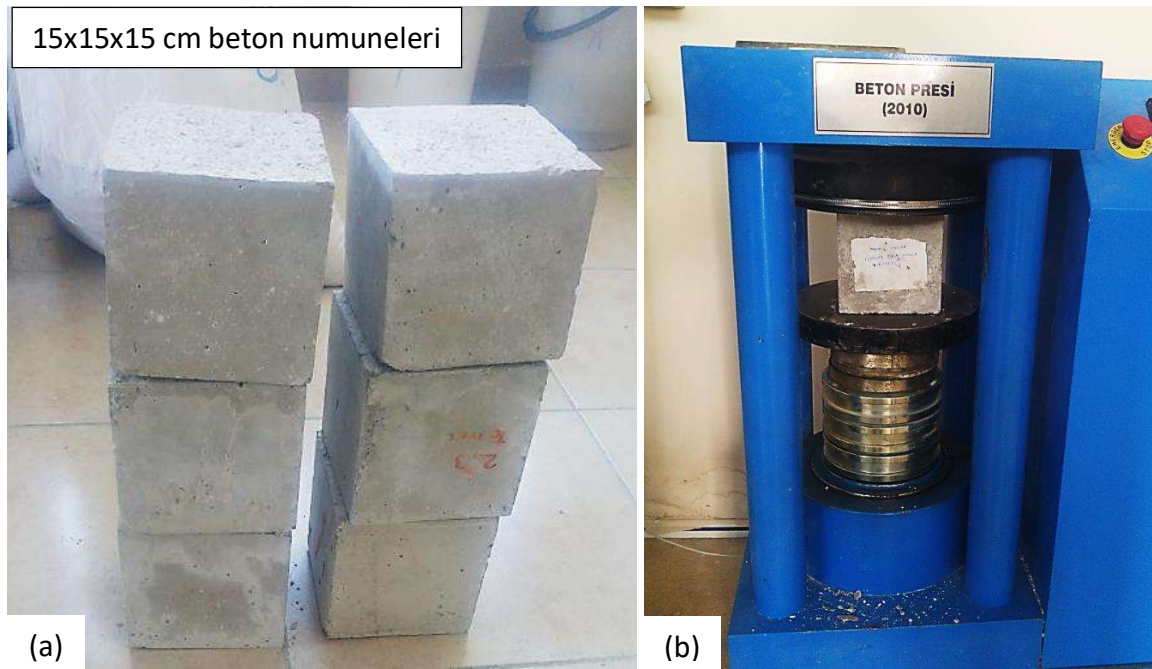


Şekil 2.23. T3Ç numunesinin dolgu duvar imalat aşamaları, (a) duvar örümü, (b) kesim detayı, (c) sıva aşaması, (d) boya aşaması

2.4. Malzeme Özellikleri

2.4.1. Beton

Betonarme çerçevelerin tasarımı C25/30 beton sınıfına göre yapılmıştır. Çerçeve üretimleri, temel ve kolon-kiriş sisteminin beton dökümü olmak üzere, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Her beton dökümü sırasında karışımdan 3'er adet küp numunesi (15×15×15 cm) (Şekil 2.24a) alınarak kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 2.24. Beton basınç testleri, (a) 15×15×15 cm küp numuneleri, (b) basınç testi cihazı

Beton numunelerinin basınç testleri, İSTE İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan beton basınç test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.24b). Beton numuneleri, ait olduğu çerçevelerin deneylerinin yapıldığı gün test edilmiştir. Her bir beton karışımından elde edilen ortalama basınç dayanımları Çizelge 2.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 2.2. Çerçeve numunelerinin beton basınç dayanımı

Çerçeve	Basınç dayanımı	
	Kolon-Kiriş	Temel
	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
BÇ	34,10	34,28
GÇ	35,39	52,17
YÇ	34,01	38,74
T1Ç	34,59	40,65
T2Ç	38,18	42,04
T3Ç	37,61	38,00

2.4.2. Donatı

Betonarme çerçevelerde kullanılan donatılarda benzer mekanik özelliklerin elde edilmesi için, donatıların tamamı aynı üreticiden temin edilmiştir. Donatıların temini 3 seferde yapılmıştır. İlk alımda BÇ ve GÇ; ikinci alımda YÇ; üçüncü alımdaki donatılar ise T1Ç, T2Ç ve T3Ç numunelerinde kullanılmıştır. Çerçevelerde 3 farklı çapta donatı kullanılmıştır. Kolon/kiriş boyuna ve temel enine donatıları B420C sınıfında Ø10; kolon/kiriş enine donatıları S220 sınıfında Ø6; temel enine donatıları ise B420C sınıfında Ø16 donatılardan oluşmaktadır.

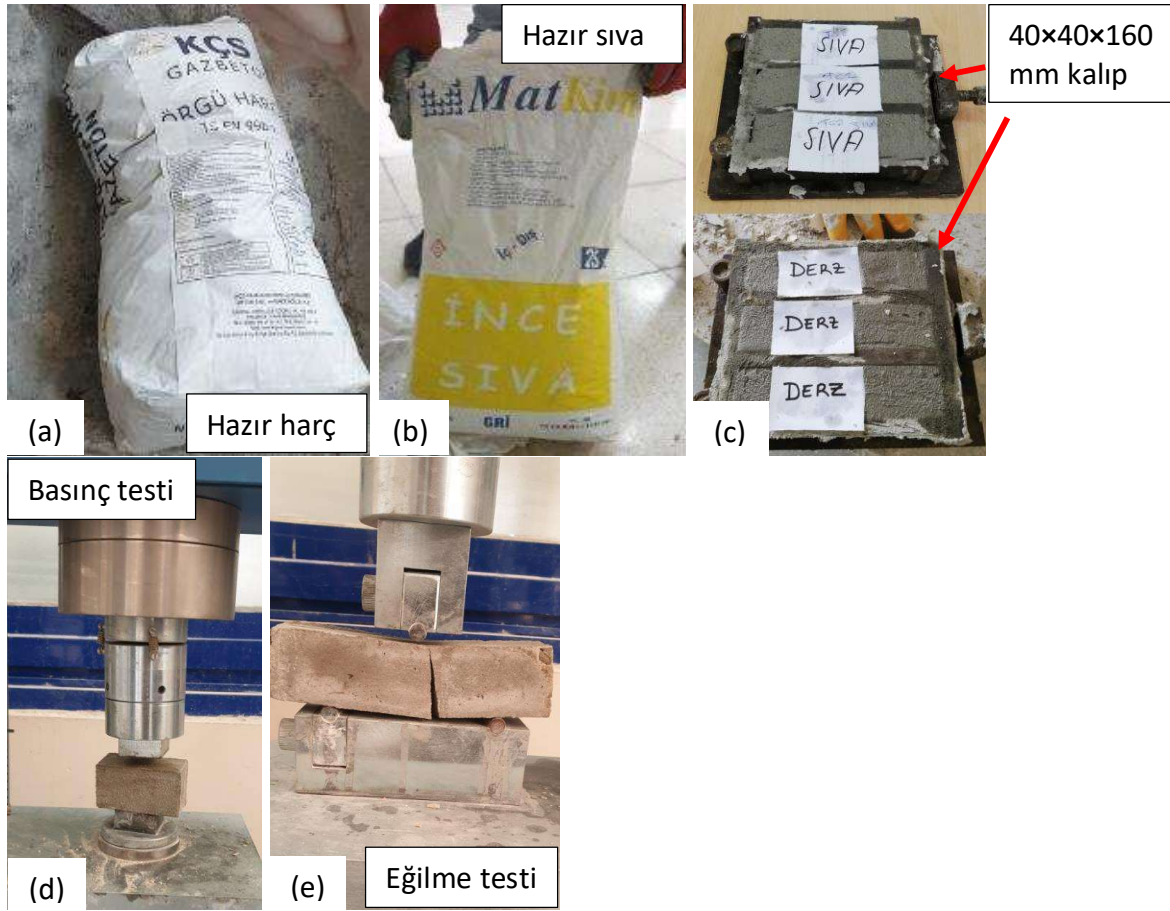
Çizelge 2.3. Donatıların mekanik özellikleri

Çerçeve	Donatı sınıfı	Çap	Akma dayanımı	Kopma dayanımı
		<i>mm</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
BÇ, GÇ	S220	Ø6	503	598
	B420C	Ø10	650	856
YÇ	S220	Ø6	436	487
	B420C	Ø10	667	822
T1Ç, T2Ç, T3Ç	S220	Ø6	439	490
	B420C	Ø10	612	690

Donatı çekme deneyleri İSTE Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü çekme test cihazıyla yapılmıştır. Her donatı alımında Ø10 ve Ø6'lık numunelerden 3'er adet test gerçekleştirilmiştir. Çekme testlerinden elde edilen ortalama dayanımlar Çizelge 2.3'te gösterilmektedir.

2.4.3. Harç ve sıva

Dolgu duvarlı çerçeve numunelerinin tamamında aynı karışım oranına sahip harç ve sıvalar kullanılmıştır. Dayanım farklılıklarını minimize etmek için hazır gazbeton harcı (Şekil 2.25a) ve hazır sıva (Şekil 2.25b) kullanılmıştır. Her bir dolgu duvar imalatı sırasında 40×40×16 mm ebatlarında harç ve sıva numuneleri alınmış (Şekil 2.25c), çerçeve deneylerinin yapıldığı günlerde basınç ve eğilme testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.25d, e). Testlerden elde edilen basınç ve eğilme dayanımları Çizelge 2.4'te sunulmaktadır.



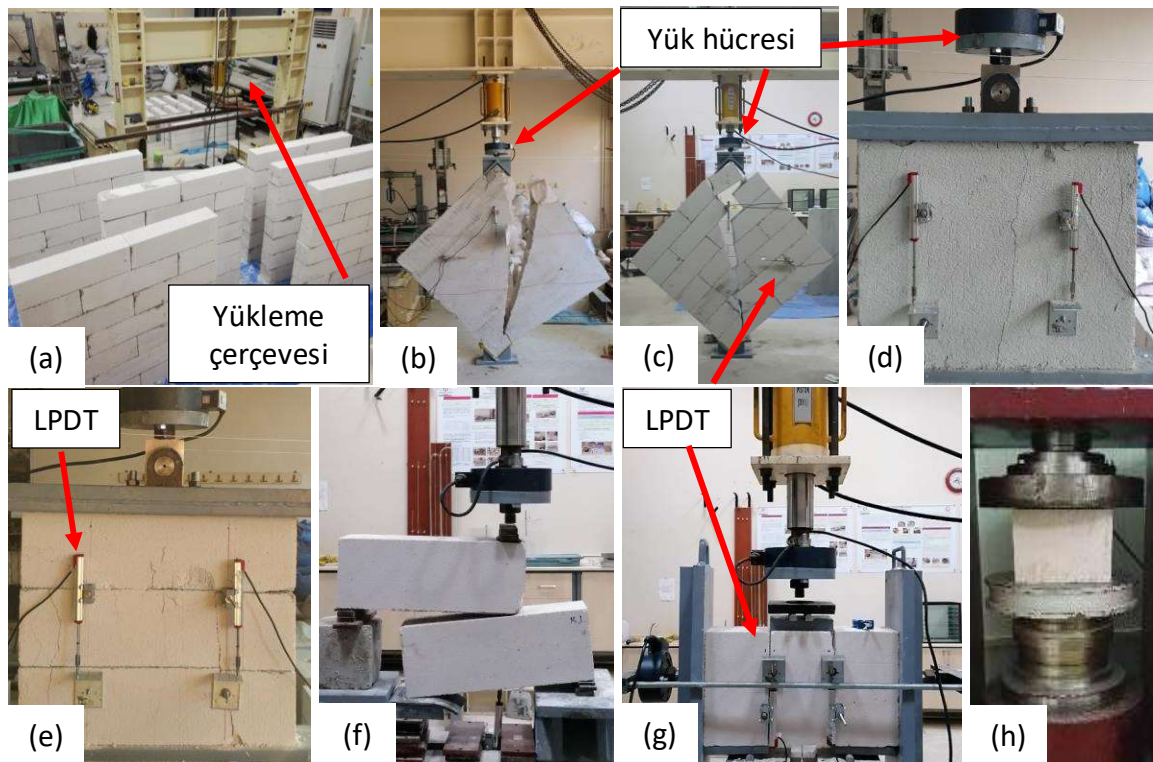
Şekil 2.25. (a) Hazır harç, (b) hazır sıva, (c) harç ve sıva numuneleri, (d) basınç testi, (e) eğilme testi

2.4.4. Gazbeton duvar numuneleri

Çerçevelerde kullanılan dolgu duvarların mekanik özelliklerini belirlemek üzere bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Testlerde İSTE İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında bulunan 50 ton kapasiteli düşey yükleme çerçevesi kullanılmıştır (Şekil 2.26a). Bu kapsamda üretilen sıvalı ve sıvasız dolgu duvar numuneleri üzerinde ASTM E519'a göre [105] diyagonal kayma testleri (Şekil 2.26b, c) ve ASTM C1314'e göre [106] basınç testleri (Şekil 2.26d, e) yapılmıştır. Bununla birlikte, sıvasız olarak üretilen numuneler üzerinde çekme (Şekil 2.26f) [107] ve kayma testleri (Şekil 2.26g) [108] gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.4. Harç ve sıva numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımları

Çerçeve	Harç		Sıva	
	Basınç dayanımı	Eğilmede çekme	Basınç dayanımı	Eğilmede çekme
	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>
GÇ	12,88	2,23	4,35	1,13
YÇ	13,4	2,5	6,0	1,6
T1Ç	15,6	2,7	5,7	1,9
T2Ç	16,7	2,6	5,9	2,1
T3Ç	14,3	2,3	6,1	1,9



Şekil 2.26. (a) Düşey yükleme çerçevesi, (b) sıvalı ve (c) sıvasız diyagonal kayma testleri; (d) sıvalı ve (e) sıvasız basınç testleri, (f) çekme testi, (g) kayma testi

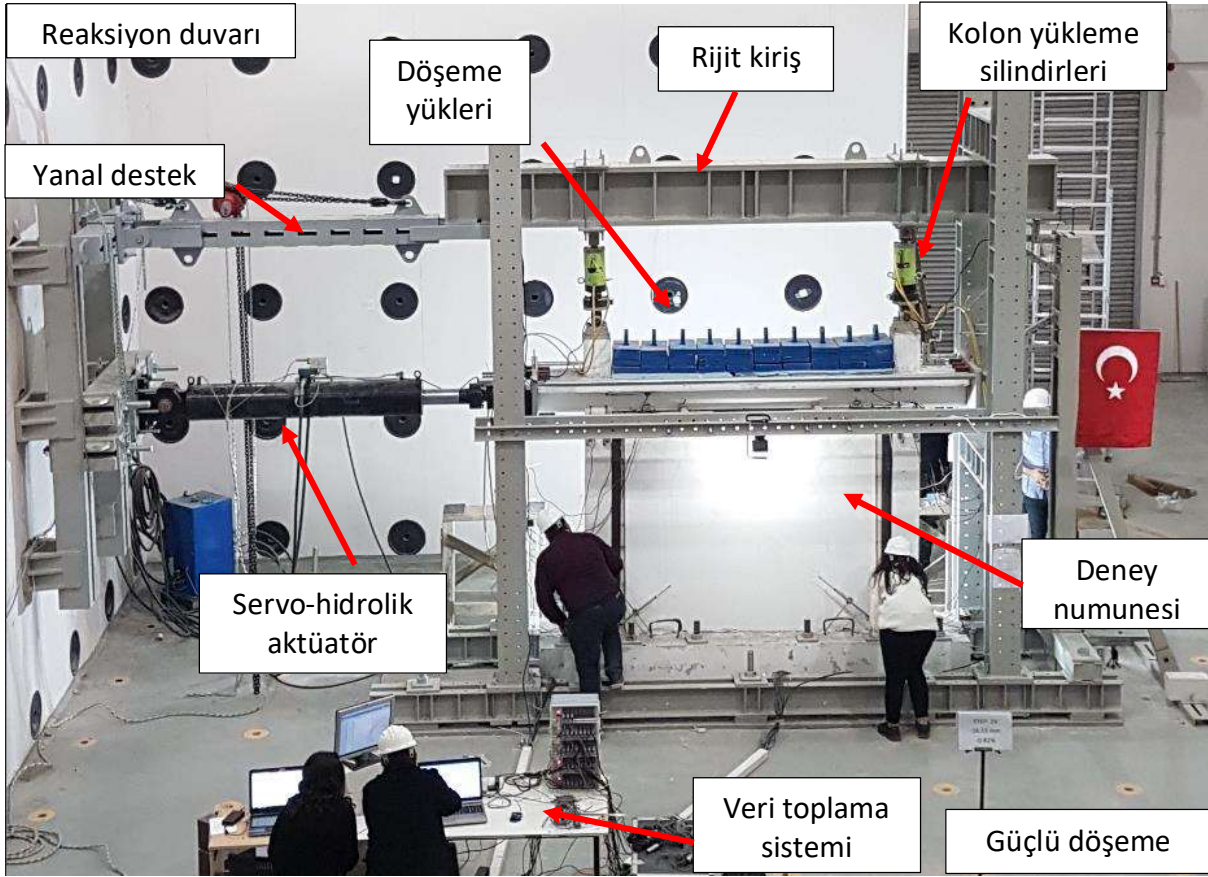
Dolgu duvar numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için her bir numuneden en az 3'er adet üretilmiştir. Diyagonal kayma testi için ASTM E519'a göre 120×120 cm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Yükleme pabuçlarının kenar uzunlukları, numune boyutlarının 1/8'i (15 cm) olacak şekilde üretilmiştir. Basınç dayanımları ise 60×52 cm ebatlarında prizma numuneleriyle tayin edilmiştir. Basınç testi sonuçlarına, prizma yüksekliği ve kalınlığına bağlı olarak ASTM C1314'te belirlenen düzetme faktörleri uygulanmıştır. TS EN 1052'ye göre yapılan kayma testleri için 30 cm boyunda 3'lü bloklardan oluşan numuneler hazırlanmıştır. Testler 3 farklı seviyede ön yükleme (0,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa) altında gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.5'te sunulmaktadır.

Çizelge 2.5. Duvar panellerinin mekanik özellikleri

Mekanik özellikler		Birim	Değer	Standart
Diyagonal kayma dayanımı (Sıvalı)		<i>MPa</i>	0,316	ASTM E519
Diyagonal kayma dayanımı (Sıvasız)		<i>MPa</i>	0,245	ASTM E519
Prizma basınç dayanımı (Sıvalı)		<i>MPa</i>	1,64	ASTM C1314
Prizma basınç dayanımı (Sıvasız)		<i>MPa</i>	1,62	ASTM C1314
Çekme dayanımı		<i>MPa</i>	0,1	Khalaf 2005
Harç ara yüzeyi	Kayma dayanımı (Kohezyon)	<i>MPa</i>	0,238	TS EN 1052
İçsel sürtünme açısı			32°	TS EN 1052

2.5. Deney Düzenegi

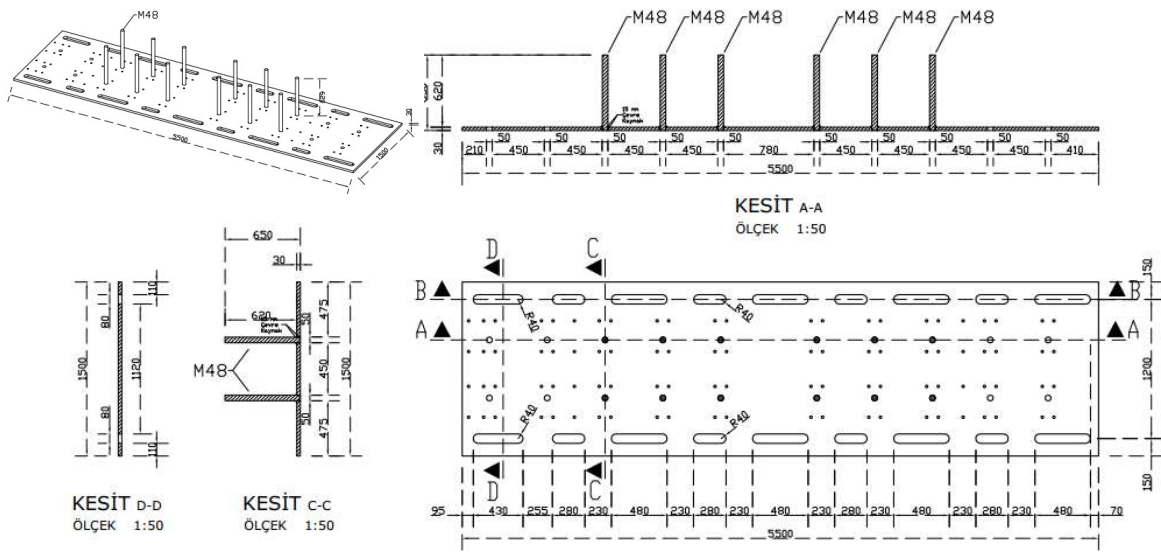
Çalışmanın yürütüldüğü İSTE Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yapı – Deprem Laboratuvarında bulunan reaksiyon duvarları ve güçlü döşeme, eş zamanlı yatay ve düşey yüklerin uygulandığı deneylerin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Güçlü döşeme 140 cm kalınlığındadır. 60 cm kalınlığındaki reaksiyon duvarı ise, 2,2 m aralıklarla imal edilen, 260×80 cm kesitli betonarme elemanlarla yüksekliği boyunca desteklenmektedir. Deney düzenekleri, duvar ve döşemede 120 cm aralıklarla bulunan 60 mm çapındaki delikler kullanılarak sabitlenmektedir (Şekil 2.27). Çelik yükleme düzeneğinin bileşenlerinin teknik çizimleri EK-1'de sunulmaktadır.



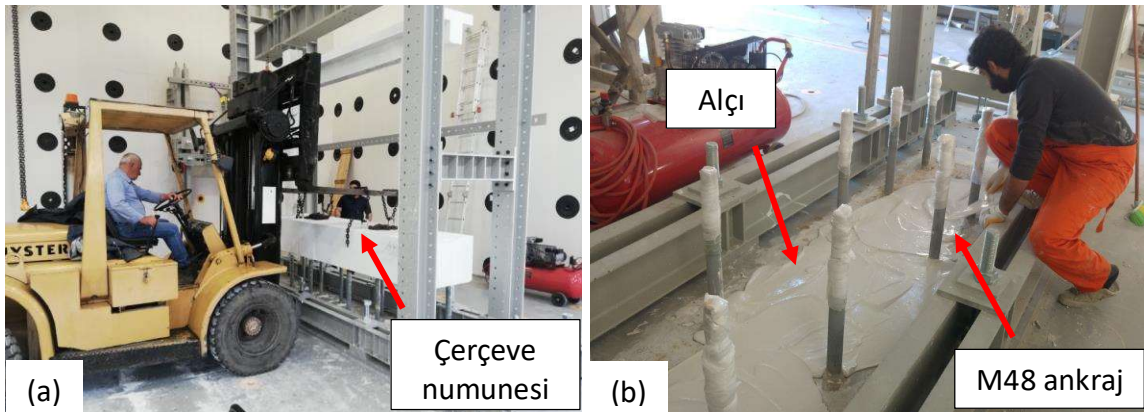
Şekil 2.27. Deney düzeneği

Betonarme çerçeveler, zemine ankre edilmiş 30 mm kalınlığındaki çelik levha üzerine yerleştirilmektedir. Çelik levha üzerinde, belirli aralıklarla kaynaklanmış M48 ankraj çubukları bulunmaktadır (Şekil 2.28). Betonarme çerçeveler, temellerinde bulunan deliklerin (Şekil 2.4) bu ankraj çubuklarına geçirilmesiyle deney düzeneğine oturtulmaktadır. Betonarme çerçevelerden ilki (BÇ) deney düzeneğine forklift yardımıyla yerleştirilmiştir (Şekil 2.29a). Sonrasındaki çerçeveler ise tavan vinci ile taşınarak yerleştirilmiştir. Her vinç ile yerleştirme işleminde, deney düzeneğindeki rijit kiriş yere indirilmiş; çerçeve oturtulduktan sonra tekrar yerleştirilmiştir.

Betonarme çerçeveler deney düzeneğine yerleştirilmeden önce, oturacağı zemin ince bir alçı tabakası ile kaplanmıştır (Şekil 2.29b). Bu işlem, zemin veya betonarme çerçeve tabanında olabilecek geometrik kusurların ortadan kaldırılması, her iki yüzey arasında tam bir temas sağlanması için gereklidir. Zemindeki M48 çubuklar polietilen şilte ile sarılarak, çerçevelerin yerleştirilmesi ve kaldırılması sırasında dışların tahrip olmaları engellenmiştir (Şekil 2.29b).

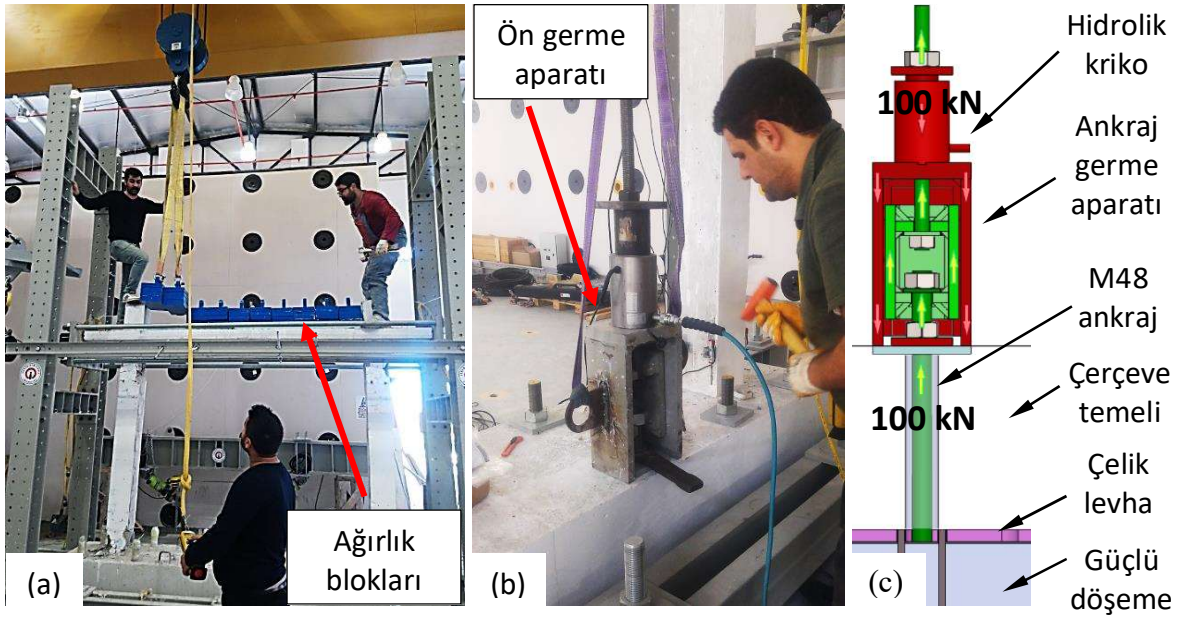


Şekil 2.28. Betonarme çerçevelerinin oturduğu çelik levha



Şekil 2.29. (a) Betonarme çerçevelerin deney düzeneğine forklift ile yerleştirilmesi, (b) oturma alanının alçı ile kaplanması

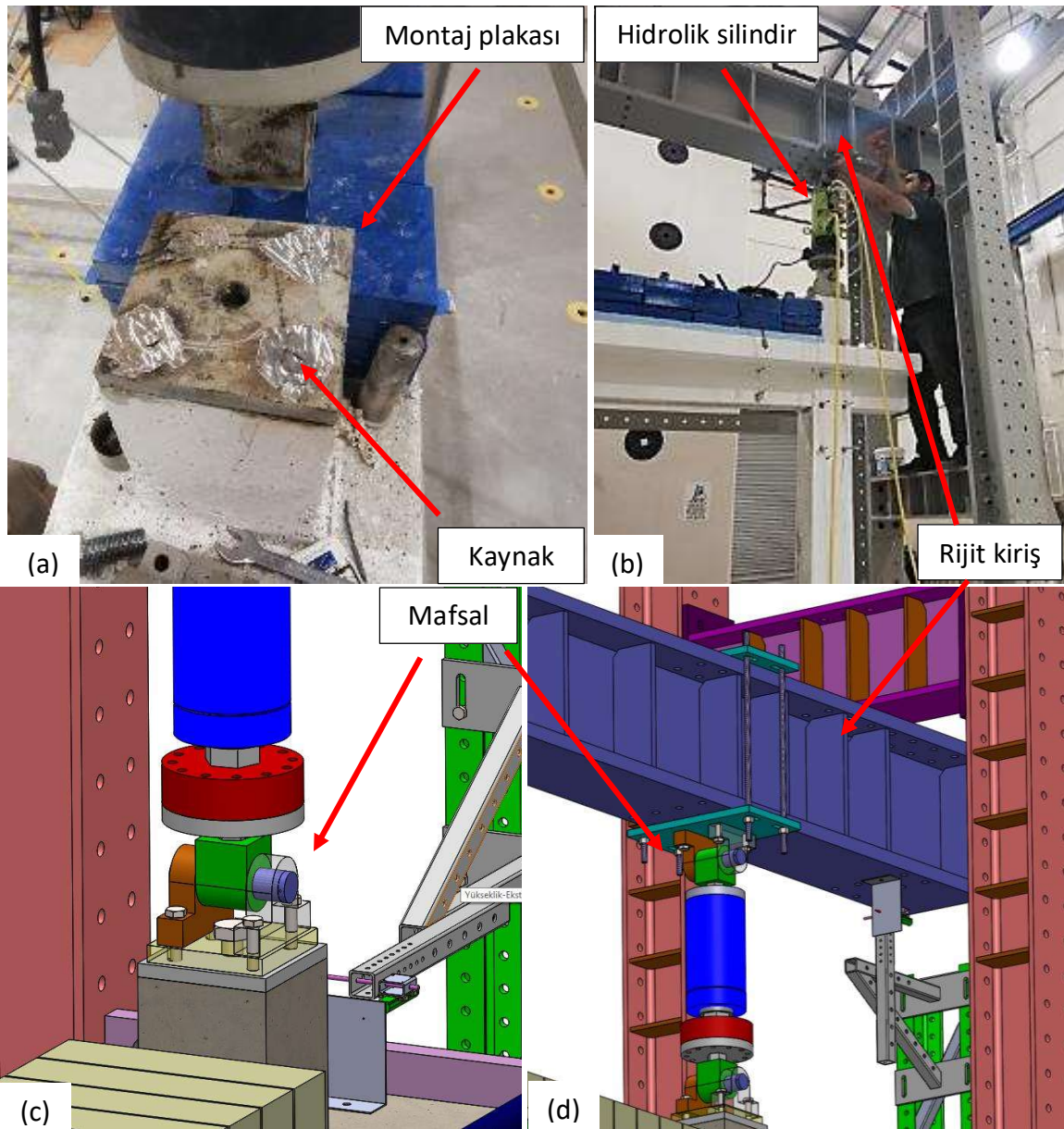
Deney düzeneğine yerleştirilen çerçevelerin tablalarının üzerine, döşeme ve duvar yüklerini temsil eden ağırlık blokları yerleştirilmiştir (Şekil 2.30a). Blokların altına XPS levhalar konularak tabla üzerine düzgün yayılı etkimesi sağlanmıştır.



Şekil 2.30. (a) ağırlık bloklarının taşınması, (b) çerçeve temelini zemine sabitlemesi, (c) ankraj ön germe aparatı

Deneyler sırasında, betonarme çerçevelerin hareket etmesini önlemek için, Şekil 2.30b’de görülen ankraj germe işlemi yapılmıştır. Bu işlemde, çerçeveyi zemine bağlayan her bir M48 ankraj çubuğunun somunları, 100 kN büyüklüğündeki ön kuvvet altında sıkılmıştır (Şekil 2.30). Böylece, betonarme çerçevelerin deneyleri, 12 noktadan, toplam 1200kN kuvvetle, zemine tutturulmuş haldeyken gerçekleştirilmiştir.

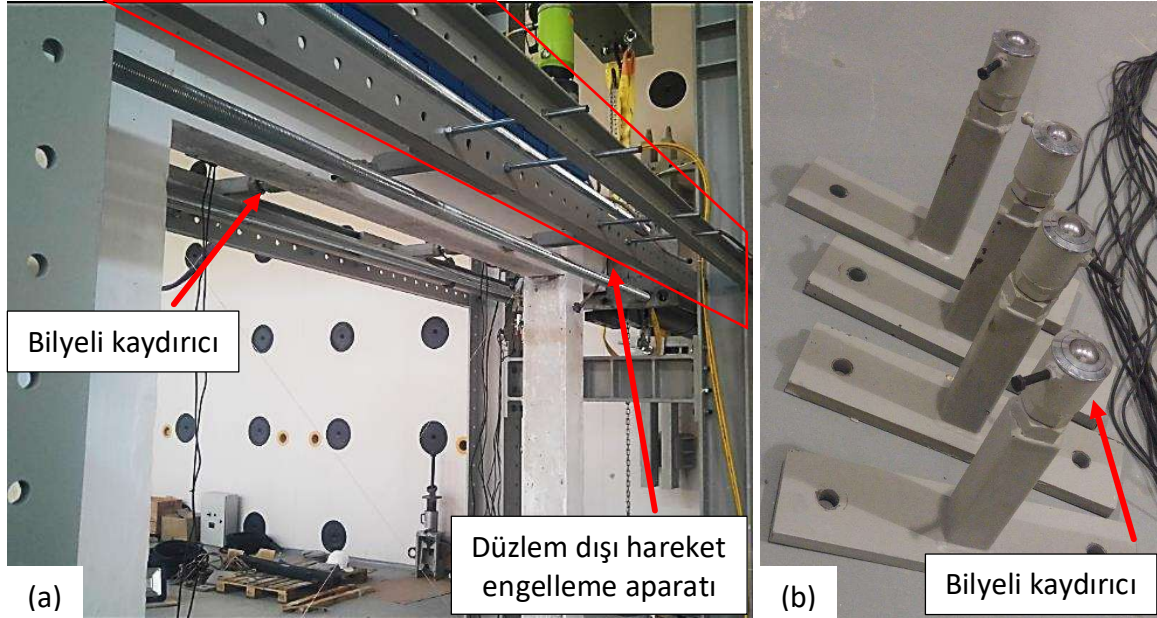
Düşey yükleme silindirlerinin montajı için, beton dökümü aşamasında Şekil 2.7a’da görüldüğü gibi kolon üstlerine montaj plakaları yerleştirilmiş, bu plakaların üzerindeki deliklere 4’er adet donatı çubuğu gömülmüştür. Montajından önce, silindirin bağlanacağı plaka, bu donatı çubuklarına kaynatılarak sabitlenmiş ve plakanın yüzeyi tesviye edilmiştir (Şekil 2.31a). Betonarme kolonlarının üzerine yerleştirilen hidrolik silindirler, çerçevelerin ötelemesine müsaade etmesi için, her iki ucu mafsallı olarak tasarlanmıştır. Kolona kaynaklanan plakanın merkezinde, mafsal bileşenlerini tutturmak için, M30 ölçüsünde dış açılmış bir delik bulunmaktadır (Şekil 2.31c, d). Mafsallın kolona bağlantısı Şekil 2.31c’de görülmektedir. Silindirin üst bağlantısı için ise, rijit kirişe Şekil 2.31d’deki gibi tutturulan plakalar kullanılmıştır. Silindirin üst mafsalı, bu plakada bulunan M16 ölçüsündeki deliklere bulonlar ile bağlanmıştır. Düşey yük silindirleri yerleştirildikten sonra basınç kuvveti alana kadar açılmış ve mafsallarındaki bağlantı bulonları sıkılmıştır (Şekil 2.31b).



Şekil 2.31. Düşey yük silindirleri montajı, (a) bağlantı plakası ve tesviyesi, (b) silindirlerin rijit kirişe montajı, (c, d) alt ve üst mafsalların detay görünümü

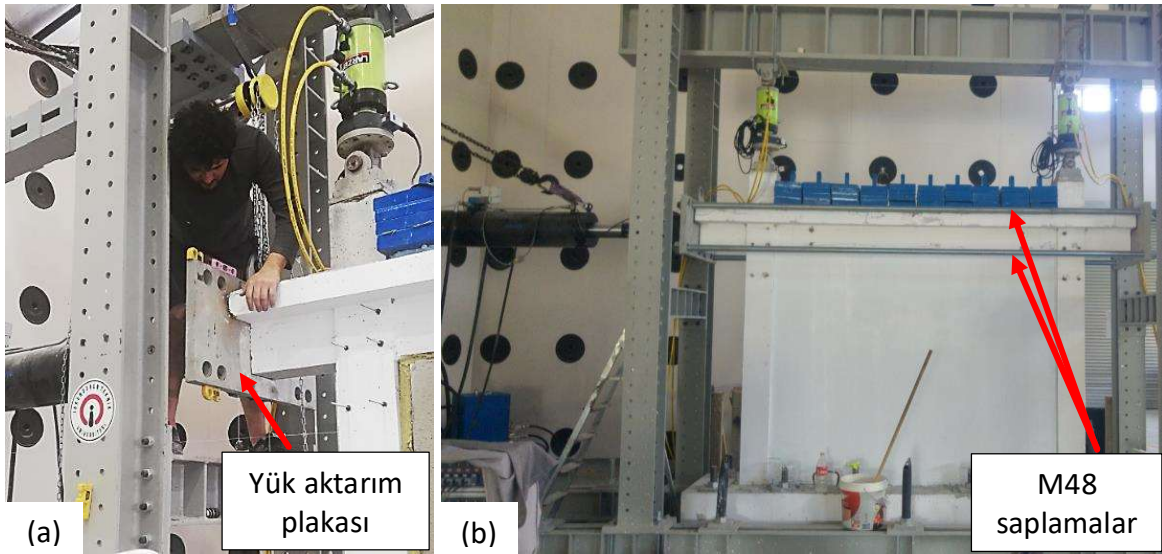
Deneyler sırasında betonarme çerçevelerin düzlemi dışında yapabileceği hareket, Şekil 2.32a’da görüldüğü gibi, 4 noktadan kısıtlanmıştır. Bu amaçla, deney düzeneğinin kolonlarının her iki yüzüne UPN100 kesitli profiller tutturulmuş (Şekil 2.32a), bu profillere Şekil 2.32b’de görülen aparatlar bağlanmıştır. Bu aparatların çerçeveye temas eden noktalarında bilyeli kaydırıcı bulunmaktadır. Bilyeli kaydırıcılar bu aparatlara M30 saplamalar ile bağlanmıştır. Bu bağlantı sayesinde, bilyelerin kirişe olan mesafesi ayarlanabilmektedir. Aparatların montajı

tamamlandıktan sonra, M30 saplamalar uzatılmış, bilyenin çerçeve kirişine temas etmesi sağlanmıştır (Şekil 2.32a)



Şekil 2.32. (a) Düzlem dışı hareket engelleme aparatları, (b) bilyeli kaydırıcılar

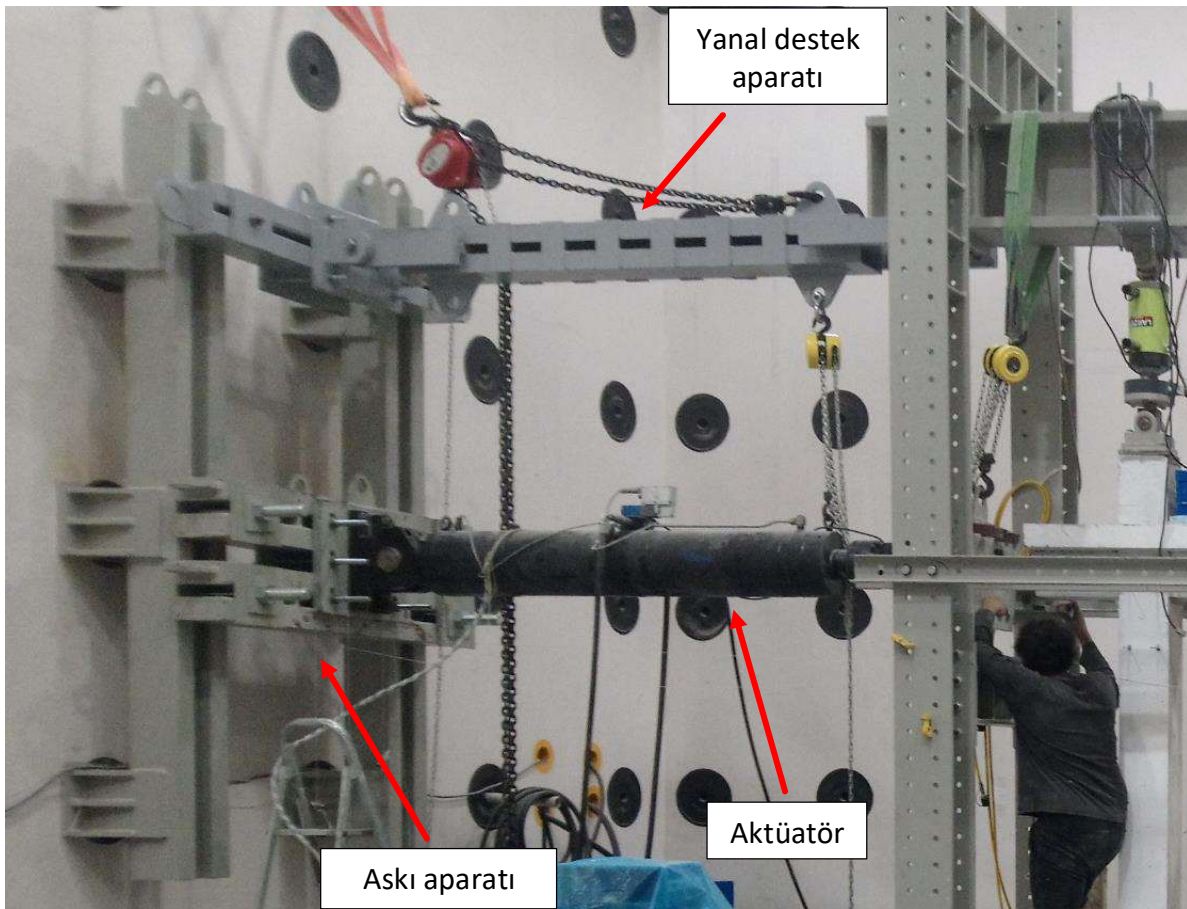
Deneyle sırasında, betonarme çerçevelerin kirişlerine itme ve çekme kuvvetleri tek aktüatör ile uygulanmaktadır. Aktüatörün uyguladığı çekme kuvvetinin betonarme çerçeveye aktarılmasını sağlamak için, kiriş uçlarına 40 mm kalınlığında başlık plakaları (Şekil 2.33a) tutturulmuş, birbirlerine 4 adet M48 saplama (Şekil 2.33b) ile bağlanmıştır. İtme kuvvetleri, çerçeveye aktüatör tarafındaki plaka üzerinden uygulanmaktadır. Çekme kuvvetleri ise, kirişin diğer ucundaki plakaya, M48 saplamalar üzerinden aktarılarak uygulanmaktadır.



Şekil 2.33. Tersinir kuvvet aktarım aparatları, (a) başlık plakası montajı, (b) M48 saplamaların yerleşimi

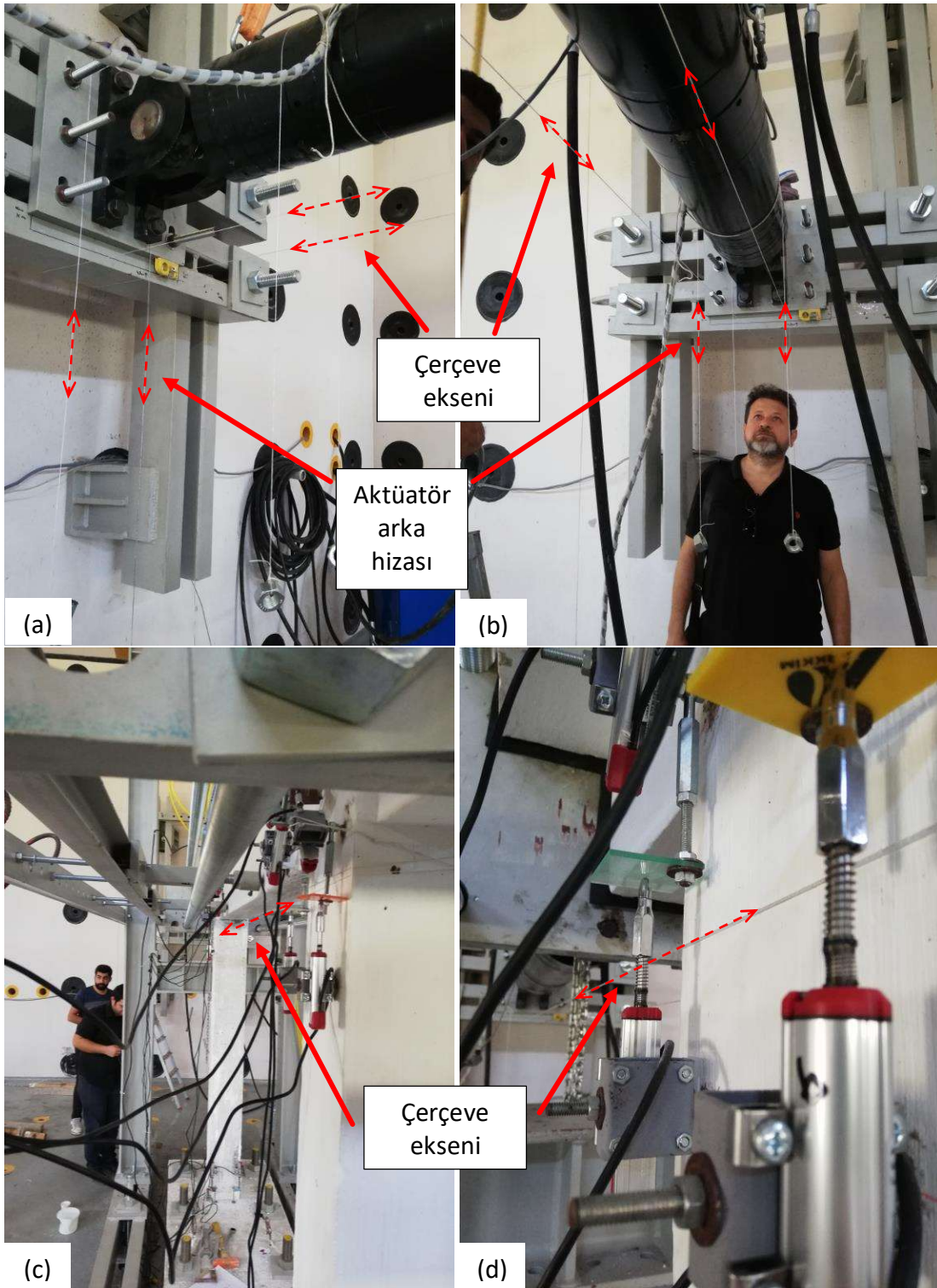
Deney düzeneğinde reaksiyon duvarı ile desteklenen bileşenler, Şekil 2.34'te görülen askı aparatına bağlanmaktadır. Askı aparatı, açık yanları 10 mm kalınlığında plakalar kaynaklanarak kapatılan 4 adet düşey UPN220 profilden oluşmaktadır. Bu profiller, reaksiyon duvarına 6 adet M48 saplama ile tutturulmuştur. Montaj sırasında bu saplamaların her biri, Şekil 2.30a'daki ankraj çekme aparatı kullanılarak uygulanan 250 kN ön yükleme altında sabitlenmiştir. Askı aparatına bağlanan aktüatörün, gereken yükseklikte konumlandırılabilmesi için, yatay doğrultuda yerleştirilen 4 adet UPN 220 profil kullanılmıştır. Bu profiller askı aparatına 4 adet M48 saplama ile bağlanmış, 250 kN çekme kuvveti altında sabitlenmiştir. Yataydaki konumlandırmasında esneklik sağlamak için, aktüatör, Şekil 2.34'te görülen 40 mm kalınlığındaki plakaya sabitlenmiştir. Bu plaka askı aparatına 7 adet M24 saplama ile bağlanmıştır.

Askı aparatına tutturulan diğer bileşen ise yanal destek aparatıdır. Yükleme sırasında kolonlara bağlanan düşey yük silindirlerinin düşey ile yaptığı açığa bağlı olarak, çelik yükleme düzeneği de yatay kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, askı aparatı ile güçlü kiriş arasında Şekil 2.34'te görülen yanal destek aparatı yerleştirilmiş, çelik yükleme çerçevesinin yatay hareketi kısıtlanmıştır.



Şekil 2.34. Reaksiyon duvarı askı aparatı

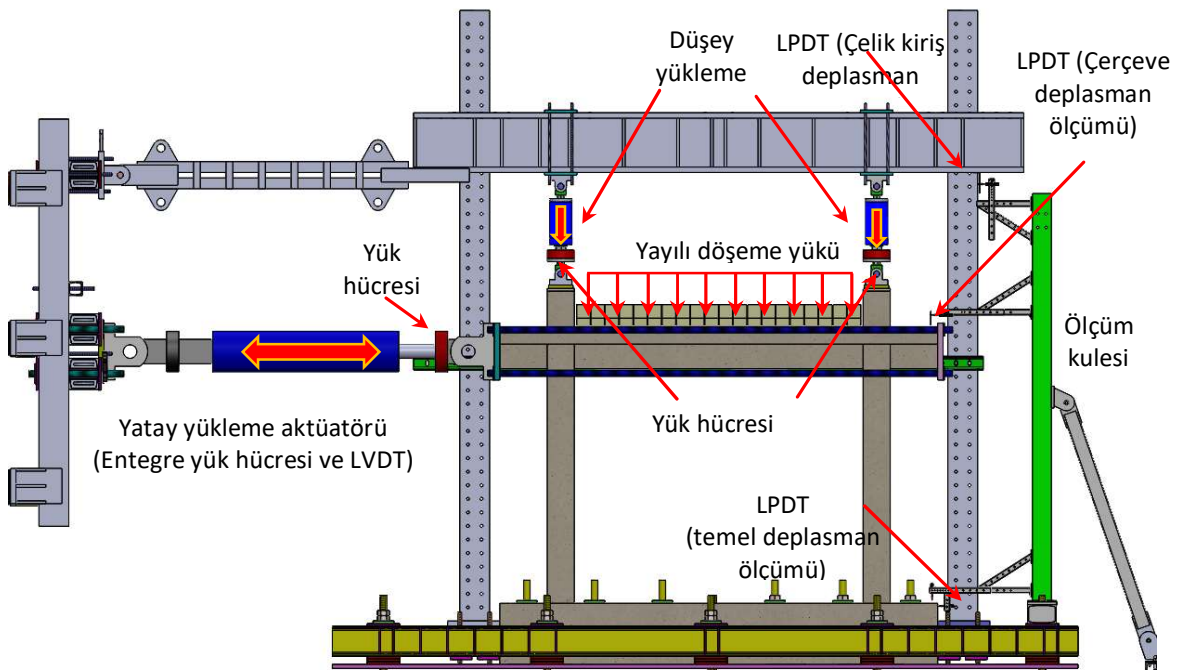
Aktüatör ve betonarme çerçevenin aynı eksende olması, ölçümlerin doğruluğu ve deney düzeneğinin sağlığı için büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, düzenekteki tüm bileşenlerin montajından sonra, aktüatör ve betonarme çerçevenin eksenleri kontrol edilmiştir (Şekil 2.35). Bu işlem, betonarme çerçevenin kolonlarından aktüatör arka mesnedine uzatılan ipler ve aktüatörün ön ve arka uçlarına asılan şakullerle yapılmıştır. Çerçeve ve aktüatör eksenlerinin çakışmadığı durumlarda, aktüatörün askı aparatına bağlandığı plaka hareket ettirilerek aynı eksende olmaları sağlanmıştır.



Şekil 2.35. Aktüatör ve betonarme çerçevelerin eksen kontrolü, (a, b) aktüatörün arka ucunun hizalaması, (c, d) çerçeveden uzatılan ipler

2.5.1. Yükleme ve ölçüm ekipmanları

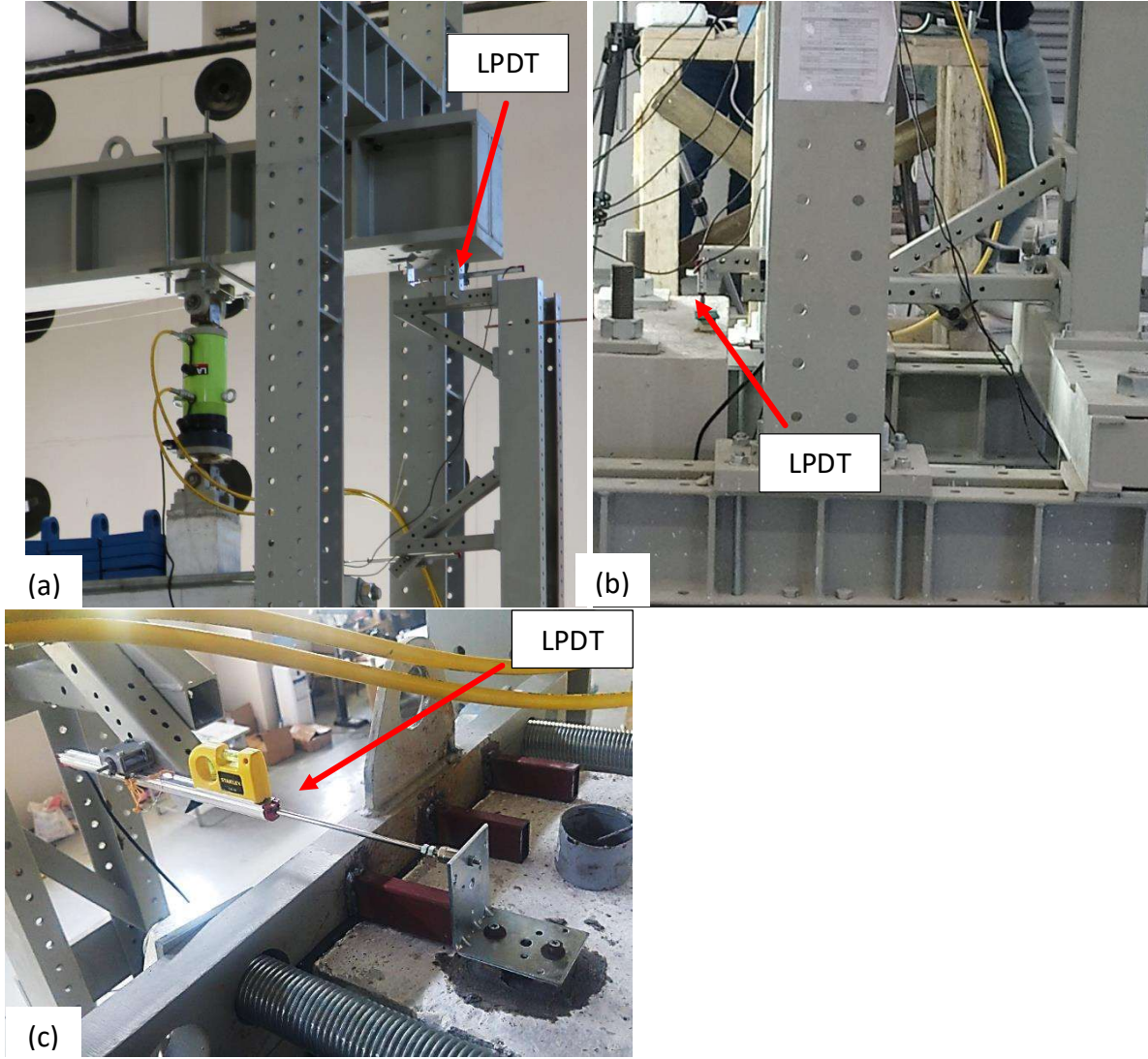
Deney düzeneğindeki yükleme ve ölçüm ekipmanlarının yerleşimi Şekil 2.36'da sunulmaktadır. Deprem hareketini temsilen 500 mm deplasman ve 500 kN itme-çekme kapasitesine sahip servo-hidrolik aktüatör (İdatek) kullanılmıştır. Aktüatörün dahilinde 500 kN kapasiteli yük hücresi ve deplasman takibi için LVDT (Linear variable differential transformer) bulunmaktadır. Betonarme çerçevelerin yanal yükleri aktüatördeki yük hücresiyle ölçülmüştür. Yatay ötelemeler ise, hem aktüatör üzerindeki LVDT, hem de ölçüm kulesinden uzatılan 300 mm kapasiteli LPDT (Linear potentiometric displacement transducer) (Opkon SLPT 300) yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 2.37c). Kolon yükleri 150 mm strok ve 60 kN kapasiteli hidrolik silindirler (Larzep DH6015) ile uygulanmıştır. Düşey yük okumaları hidrolik silindirlerin üzerine yerleştirilen 500 kN kapasiteli yük hücreleri (CAS LS50T) ile alınmıştır.



Şekil 2.36. Yükleme ve ölçüm ekipmanlarının yerleşim planı

Düzenekte deplasman yapması beklenen belirli noktalara LPDT'ler yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde bulunan rijit kiriş, betonarme kolonların üzerindeki hidrolik silindirlerin uyguladığı yatay yüklerle maruz kalmaktadır. Bu nedenle ölçüm kulesine yerleştirilen bir LPDT (Opkon SLPT 300) ile rijit kirişin yatay deplasmanı takip edilmiştir (Şekil 2.37a). Ayrıca,

betonarme çerçeve temelinin yatay ve düşey deplasmanları, ölçüm kulesinden uzatılan LPDT'ler (Opkon SLPS 25) ile takip edilmiştir (Şekil 2.37b).



Şekil 2.37. (a) Rijit kiriş deplasman ölçümü, (b) rijit temel deplasman ölçümü, (c) betonarme çerçeve deplasman ölçümü

2.6. Deney Prosedürü

Detayları önceki bölümlerde verilen deney hazırlık prosedürü, bu bölümde maddeler halinde sırasıyla sunulmaktadır.

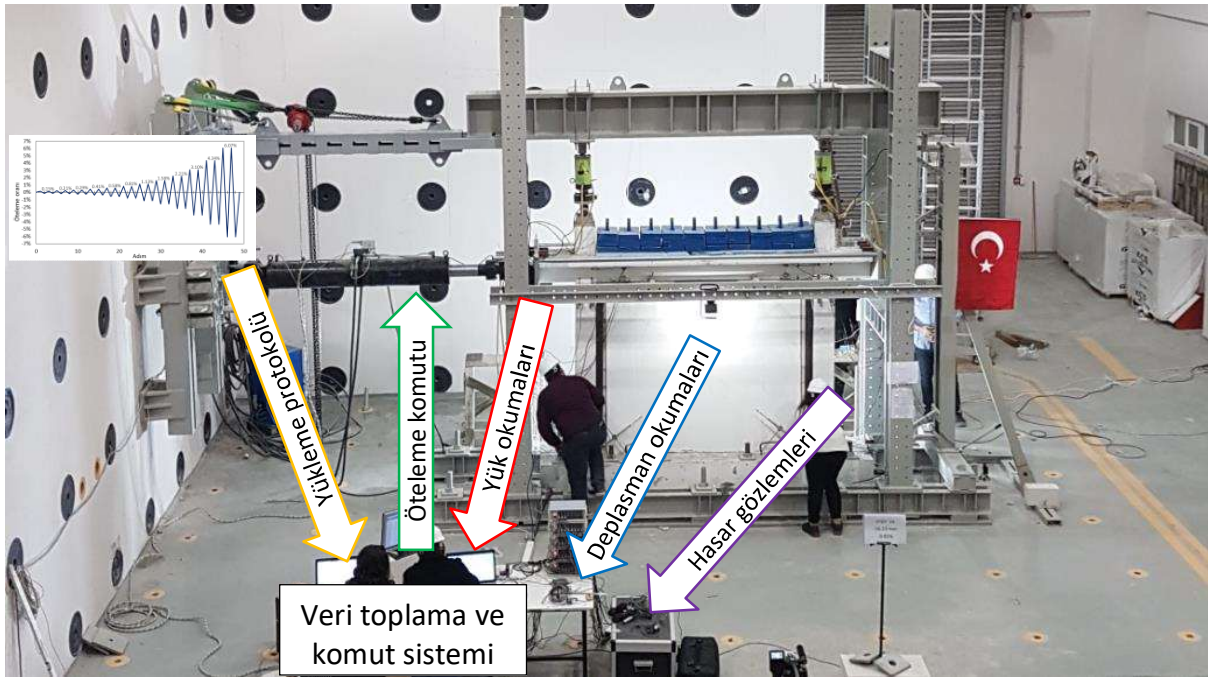
- Duvarsız betonarme çerçeve numunelerinin deney düzeneğine yerleştirilmesi.
- Ağırlık bloklarının kiriş tablasının üzerine yerleştirilmesi.
- 12 noktadan her birine uygulanan 100 kN ön germeyle çerçeve – zemin bağlantısı.
- Rijit kirişin çelik yükleme çerçevesine montajı.
- Kolon-rijit kiriş arasına düşey yük silindirlerinin montajı.
- Dolgu duvarlı çerçevelerin duvar imalatı.
- Çerçevelerin boyanması.
- Düzlem dışı hareket engelleme aparatlarının montajı.
- Tersinir yük aktarım aparatlarının montajı.
- Yanal destek aparatının montajı.
- Aktüatörün betonarme çerçeve numunesine montajı.
- Deplasman ölçüm cihazlarının montajı.

Aktüatöre uygulanan yatay ötelemeler, bilgisayarda bulunan bir yazılım üzerinden verilen komutlarla gerçekleştirilmektedir. Düzeneğine yerleştirilen yük ve deplasman ölçüm cihazlarının okumaları, bir veri toplayıcı vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmekte ve gerçek zamanlı olarak takip edilmektedir (Şekil 2.38).

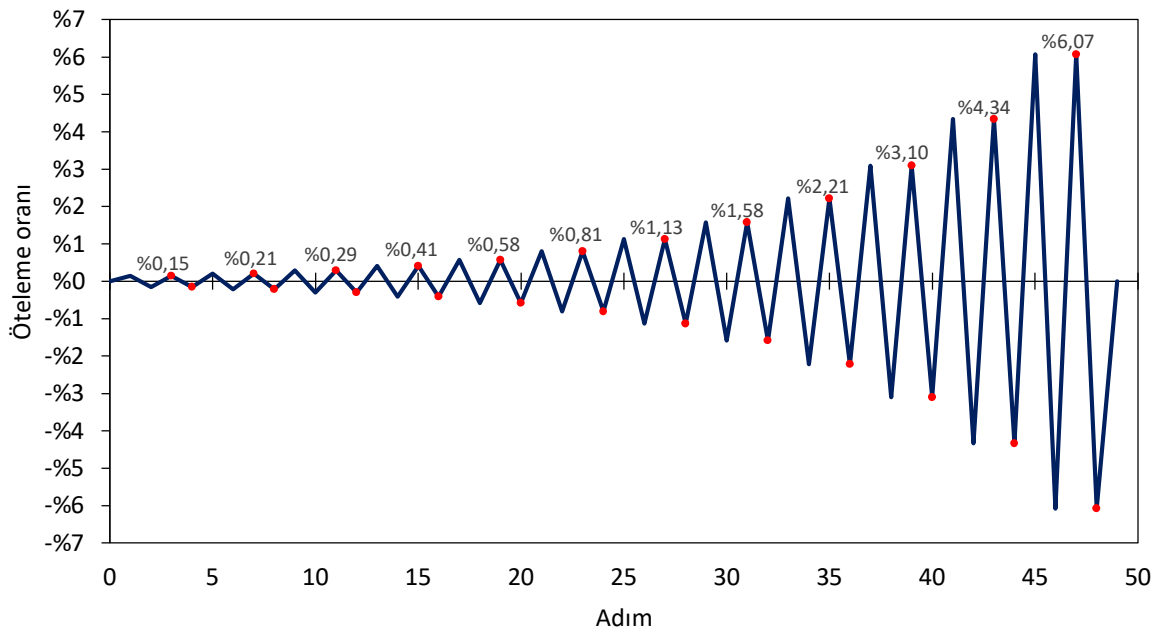
Deneyle,

- Deplasman ölçüm cihazlarının son kontrolleri
- Düşey yük silindirlerinin her birine 100 kN yük uygulanması
- Aktüatör ve deplasman ölçüm cihazlarının sıfırlanması

işlemlerinin tamamlanmasıyla başlatılmıştır.



Şekil 2.38. Deney uygulaması



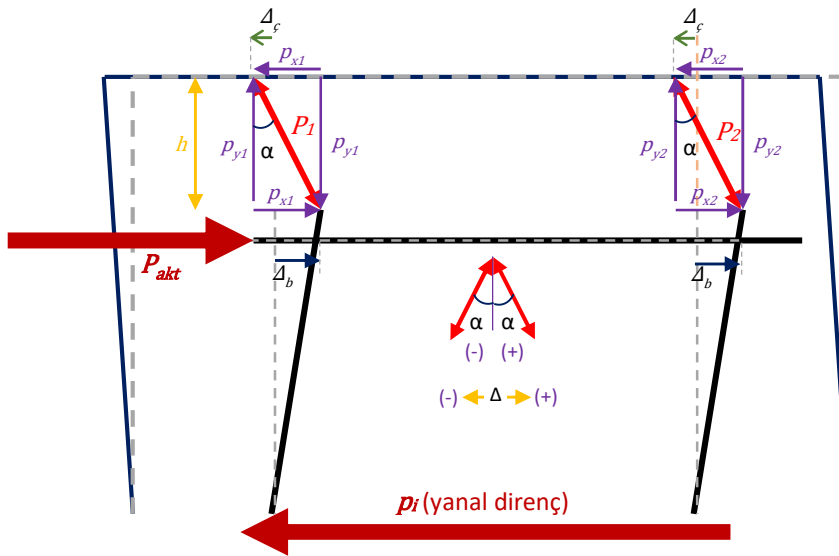
Şekil 2.39. Yükleme protokolü

Deney sırasında çerçevelere FEMA 461'de [109] belirtilen yükleme protokolü uygulanmıştır. Şekil 2.39'da gösterilen yükleme protokolü, %0,15 öteleme oranından başlanarak, 1,4 kat artışlarla, %6,07 öteleme oranına kadar tanımlanmıştır. Uygulanan her farklı öteleme oranında

ikişer çevrim tamamlanarak sonraki öteleme oranına başlanmıştır. Şekil 2.39’da işaretlendiği gibi, her bir öteleme oranının ikinci itme ve çekme çevrimlerinde deneyler durdurularak hasar gözlemleri yapılmıştır.

2.7. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Deneyler sırasında aktüatördeki yük hücresinden okunan yük verileri, kolon yüklerinin uygulandığı hidrolik silindirlerden etkilenmektedir (Şekil 2.40). Bu nedenle, çerçevelerin yanal dirençleri, yük hücresinden alınan verilerin bazı düzeltme işlemlerinden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Kolon yük silindirlerinin eğimi, betonarme çerçeveye uygulanan yatay ötelemelere bağlı olarak değişmektedir. Bu eğim, hidrolik silindirlerin kolona uyguladığı yükün ($P_{1,2}$) yatay bileşenlerinin ($p_{x1,x2}$) ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Silindirlerin uyguladığı yüklerin yatay bileşenleri, çerçeveye yatay yük olarak etkilemekte, aktüatörden okunan yükü (P_{akt}) etkilemektedir.



Şekil 2.40. Betonarme çerçeve numunelerine uygulanan yük düzeltmesi

Öte yandan, P 'nin yatay bileşenler, çelik çerçevenin de yatay deplasman yapmasına neden olmaktadır. Yük bileşenlerini hesaplamak için gereken α açısı, silindir uçları arasındaki düşey uzaklık (h), betonarme çerçeve deplasmanı (Δ_b) ve çelik çerçeve deplasmanına (Δ_c) bağlı olarak elde edilmiştir (Eş. 3.1). Anlık hesaplanan α açılarından faydalanılarak, her P 'nin yatay

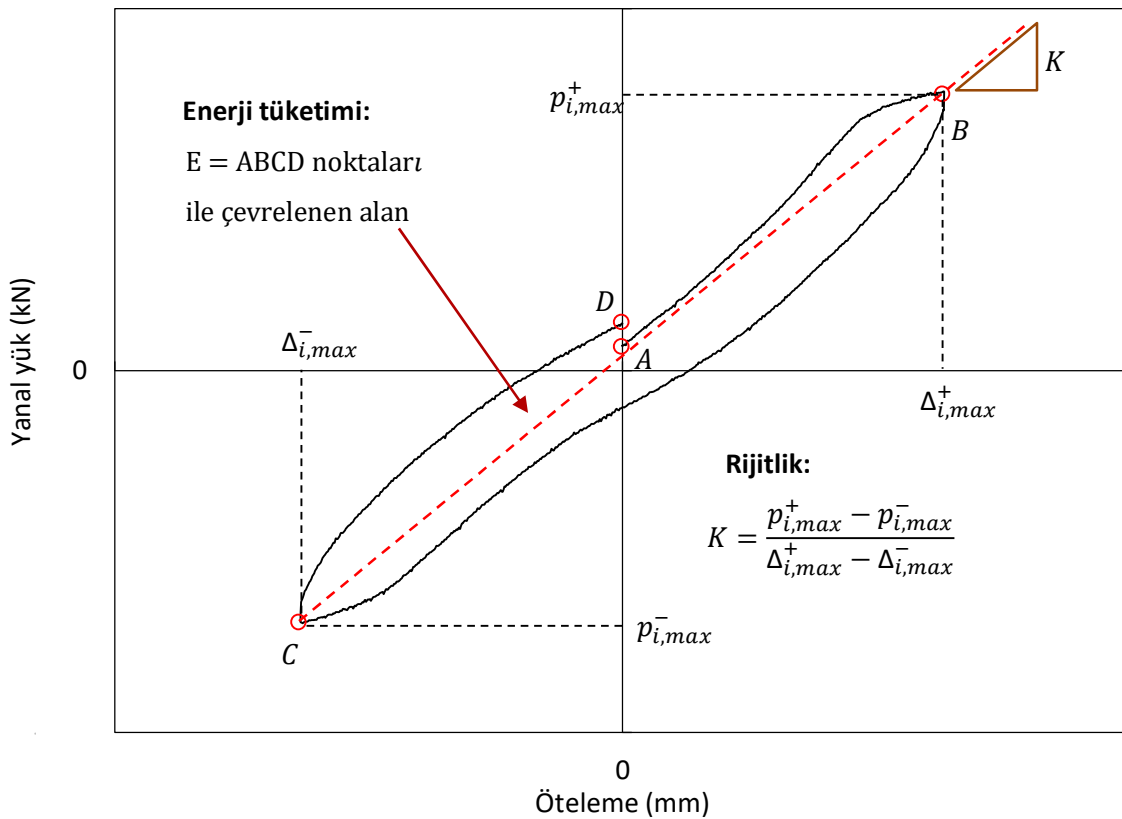
bileşenleri $P_{x1,x2}$ Eş. 3.2'deki gibi elde edilmiştir. Yanal bileşenlerin dâhil edilmesiyle çerçevenin yanal direnci Eş. 3.3 ile hesaplanmıştır.

Deney sonuçlarında belirtilen rijitlik değerleri, ileri ve geri çevrimlerdeki en büyük yatay kuvvetleri birleştiren doğrunun eğimi olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.41). Her bir çevrimde tüketilen enerji ise, Şekil 2.41'de gösterildiği gibi, yük-deplasman eğrisinin çevrelediği alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta_b - \Delta_f}{h} \right) \quad (3.1)$$

$$p_{x1,x2} = P_{1,2} \times \sin \alpha \quad (3.2)$$

$$p_i = P_{akt} + p_{x1} + p_{x2} \quad (3.3)$$



Şekil 2.41. Rijitlik ve tüketilen enerji hesapları

3. DENEYSEL SONUÇLAR

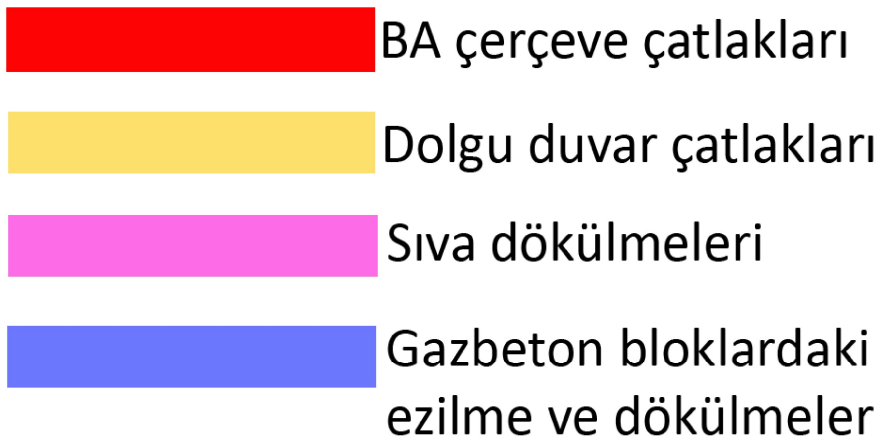
İSTE Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında (İSTE-BTM) yürütülen düzlem içi yanal yükleme deneylerinde, önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, anlık yük – deplasman ölçümleri kaydedilmiştir. Bununla birlikte, her öteleme oranının ikinci çevriminde deneyler durdurulmuş, çerçeve numunelerinde hasar gözlemleri yapılmıştır. Bu bölümde, her bir deneyde kaydedilen düzlem içi yük- tepe deplasmanı verileri ışığında histeretik eğriler, rijitlik ve enerji tüketim eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca, deneyler sırasında gözlemlenen çerçeve ve dolgu duvar hasarları aktarılmıştır.

Esnek bağlantılı YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç numunelerinin düzlem içi davranışını karşılaştırmak için, boş BÇ ve geleneksel dolgulu GÇ referans numuneler olarak belirlenmiştir.

Deney sırasında toplanan yanal yük verileri, Şekil 2.40'ta belirtilen düzeltmeler de uygulanarak kN cinsinden sunulmuştur. Sunulan yük değerleri her bir öteleme oranının ikinci çevrimlerine aittir. Yük-deplasman davranışının anlatımında, yalnızca maksimum yanal yüklerin değerleri belirtilmiştir. Sonrasındaki çevrimlerden elde edilen yüklerin kıyaslanabilirliğini artırmak ve daha anlamlı hale getirebilmek için, çerçeve kapasitesine oranı şeklinde ($p_{i,max}/P_{max}$) yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Böylece ötelemenin artmasıyla yanal yükteki artış/azalış daha anlaşılır hale gelmiştir. Düzlem içi ötelemeler ise milimetre cinsinden ölçülmüştür. Ancak, aynı amaçla, düzlem içi ötelemelerin anlatımında ve grafiksel gösterimlerinde yatay ötelemeler, kat yüksekliğiyle oranlanarak, yüzdesel öteleme oranı şeklinde ifade edilmiştir.

Yanal ötelemeler çerçeve numunelerine Şekil 2.39'daki yükleme protokolünde de görüldüğü gibi her bir öteleme oranında ikişer çevrim tamamlanarak uygulanmıştır. Çerçeve ve dolgu duvarlarda oluşan hasarların gözlemleri ise öteleme oranlarının ikinci çevrimlerinin sonunda deneyler durdurularak yapılmıştır. Çerçeve ve dolgu duvar hasarlarının gösterimlerinde kullanılan renklendirmeler Şekil 3.1'de açıklanmaktadır.

Bu bölümde sunulan yük deplasman ölçümlerinin dışında, temel deplasmanları ve eksenel yük ölçümleri EK-2'de sunulmaktadır.

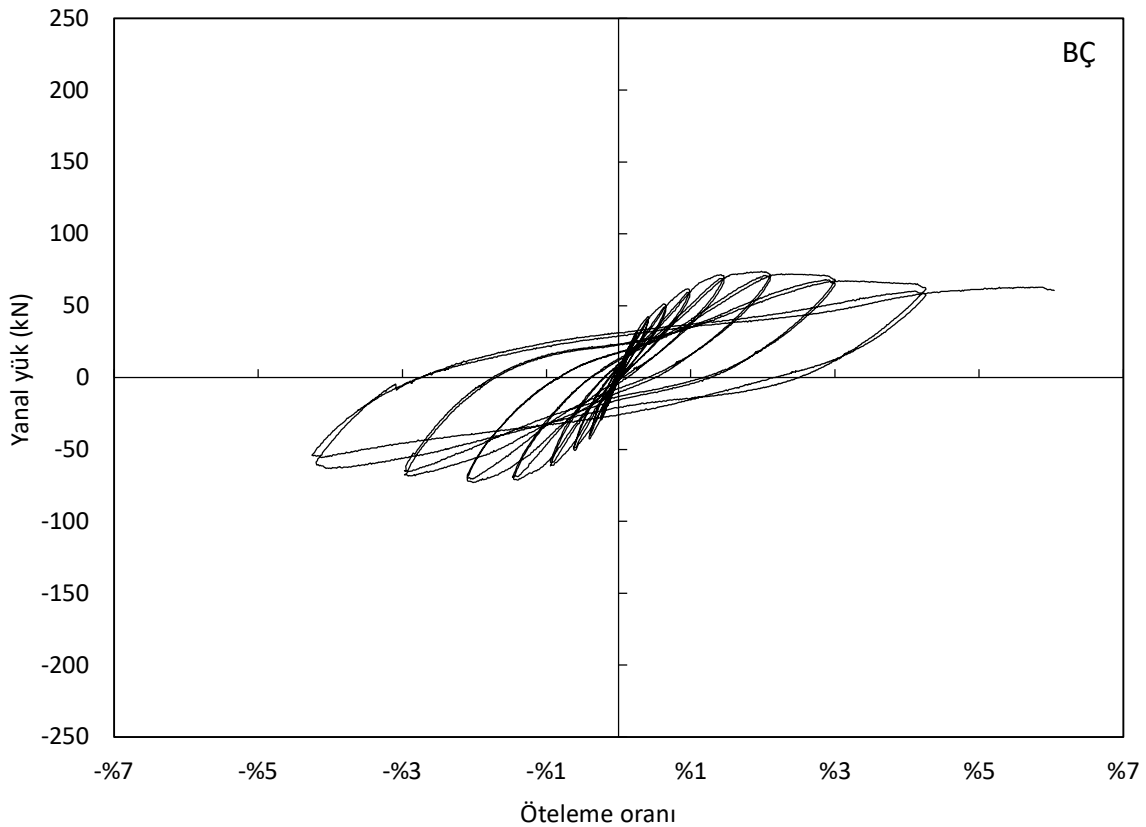


Şekil 3.1. Hasar gösteriminde kullanılan renklendirmeler

3.1. BÇ

3.1.1. Yük – deplasman davranışı (BÇ)

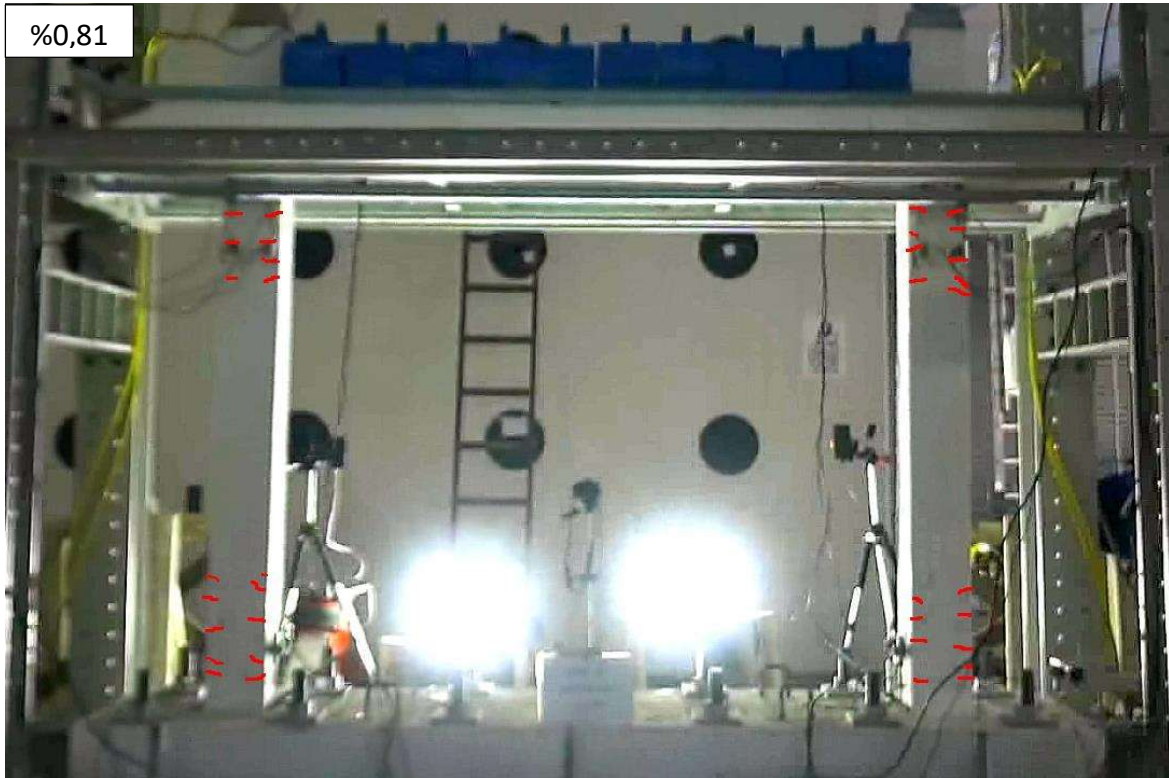
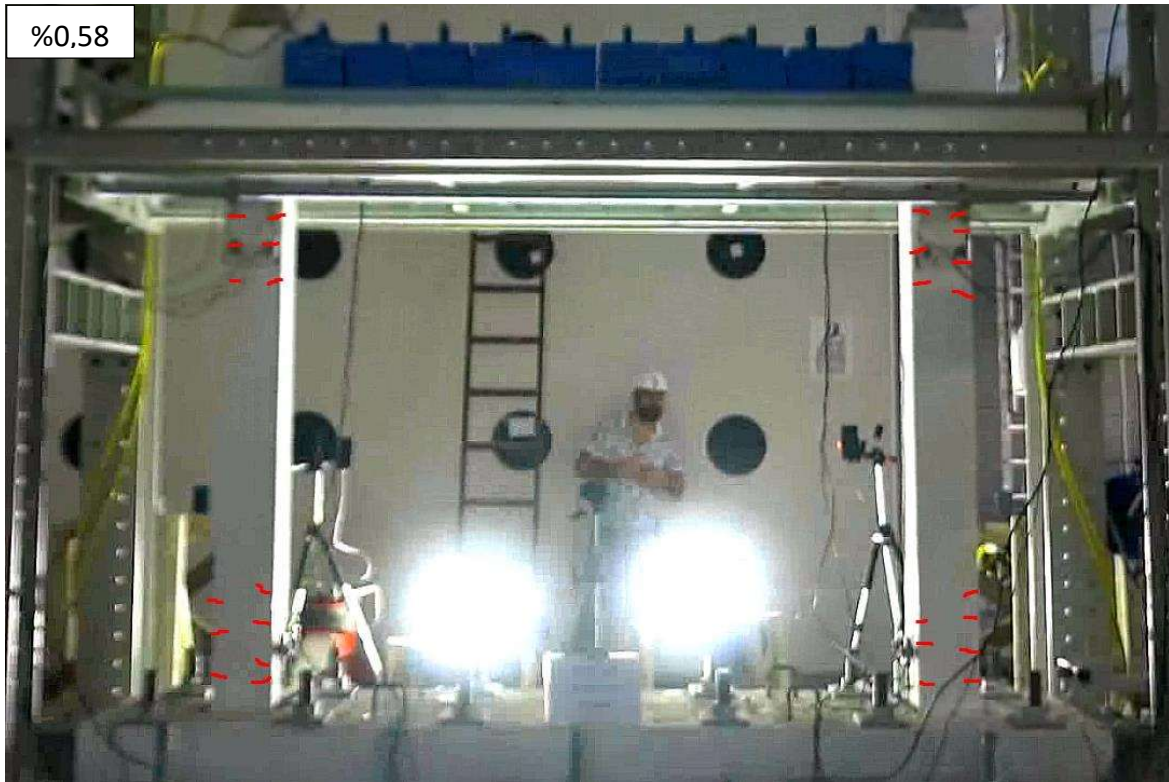
BÇ numunesinden elde edilen yük – öteleme oranı histeretik eğrileri Şekil 3.2’de sunulmuştur. Histeretik eğriler Şekil 2.40’ta açıklanan düzeltme ile elde edilmiştir. İkinci çevrimlerden elde edilen verilere göre, en büyük yatay yük %2,10 öteleme oranında 71,20 kN olarak ölçülmüştür. Takip eden öteleme oranlarında elde edilen yanıl yük, maksimum yüke göre sırasıyla %93,97 (%3,10 öteleme oranında) ve %82,11 (%4,34 öteleme oranında) düzeyinde ölçülmüştür. %6,07 öteleme oranının ilk adımında, kolon eksenel yük silindirlerinden okunan kuvvetler sıfıra yaklaştığı için, deney durdurularak tamamlanmıştır.



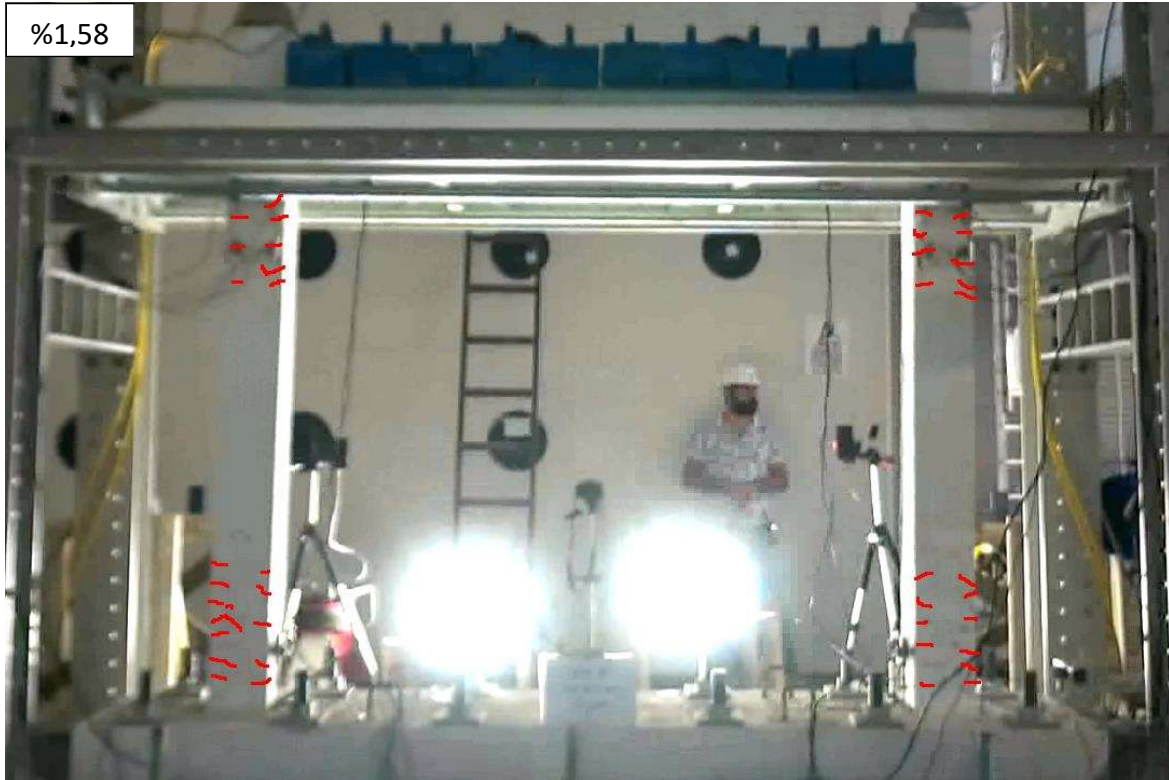
Şekil 3.2. BÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi

3.1.2. Hasar gözlemleri (BÇ)

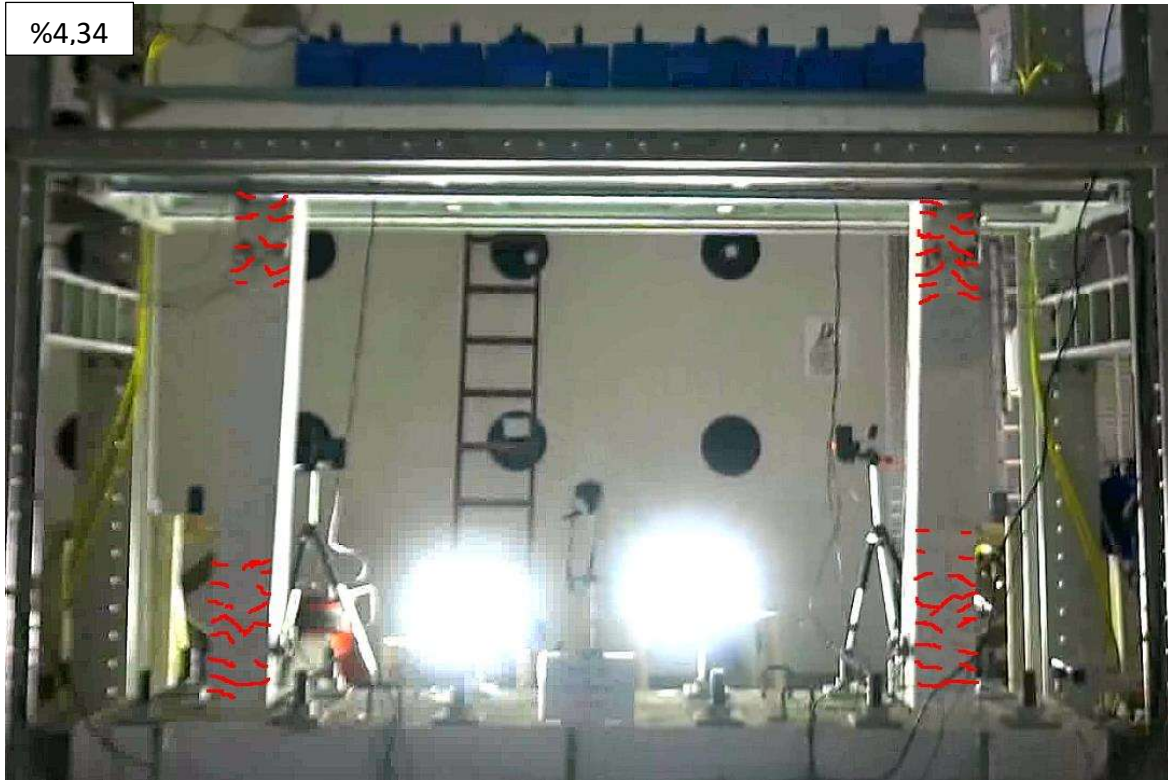
BÇ numunesinde oluşan çatlaklar Şekil 3.3'te gösterilmektedir. BÇ numunesinde ilk çatlaklarının %0,41 öteleme oranında kolonun alt ve üst uçlarının 20 cm'lik bölgelerinde oluştuğu gözlemlenmiştir. %1,13 öteleme oranında kolon uçlarının 20 cm'lik bölgelerinde oluşan çatlakların ilerlediği, bu bölgenin iki katı yüksekliğindeki bölgede yeni çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. %1,58 öteleme oranında kolon üst ucunda yeni çatlaklar oluşmamış, alt ucunda mevcut çatlakların ilerlemesiyle birlikte 60 cm yüksekliğe kadar olan bölgede yeni çatlaklar oluşmuştur. %2,21 öteleme oranında kolonun alt ve üst ucunun 60 cm'lik kısmının kolon ortasına yakın bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuş, önceki ötelemelerde oluşan bazı çatlakların da ilerlediği gözlenmiştir.



Şekil 3.3. BÇ numunesinin hasar gözlemleri



Şekil 3.3. BÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)



Şekil 3.3. BÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)

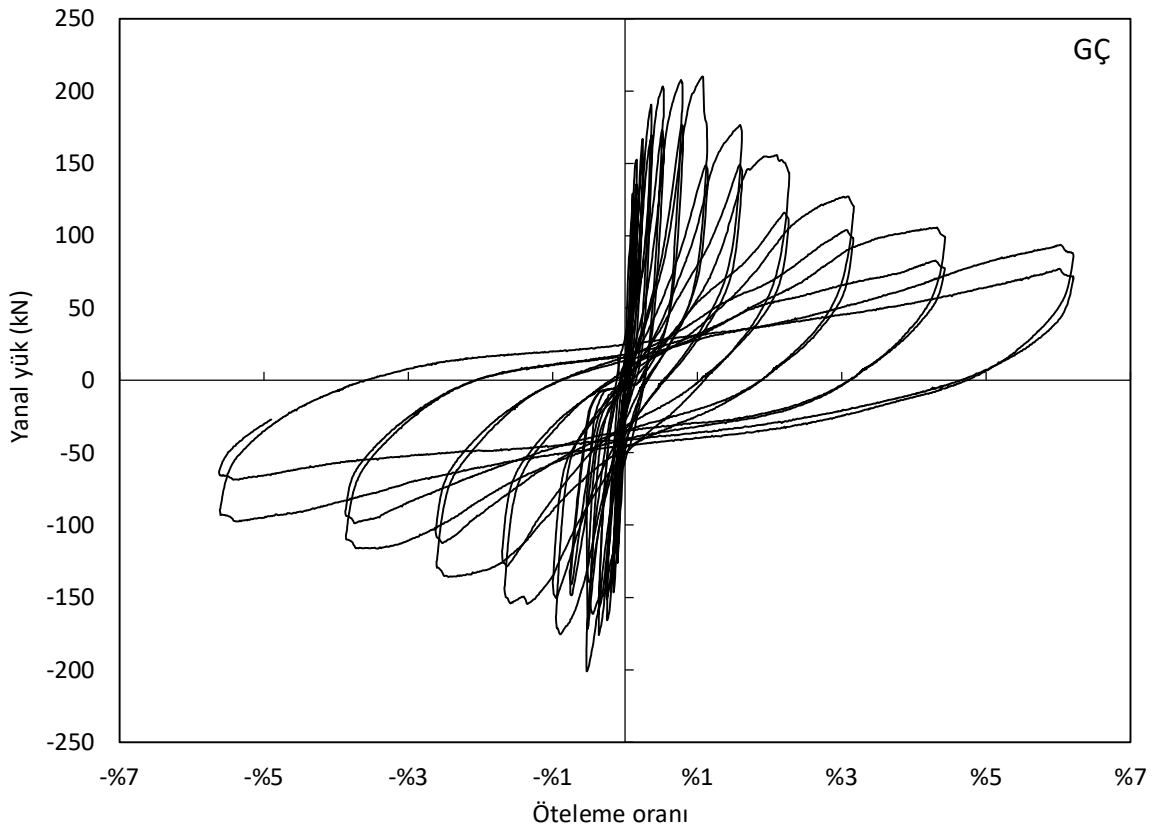
Bu öteleme oranında, kolon alt uçlarında önceki ötelemelerde her iki yüzeyinde başlayan çatlaklar kesit ortasında birleşmiştir. %3,10 öteleme oranında kolon temel birleşim noktasında yeni çatlaklar tespit edilmiş, kolon üst bölgesinde ise kirişin yaklaşık 60 cm altında yeni bir çatlak oluştuğu gözlenmiştir. %4,34 oranına kadar ötelenen BÇ numunesinin kolon orta bölgelerinde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. %2,21 öteleme oranından sonra nadir yeni çatlaklar oluşmuş, deformasyonlar çoğunlukla mevcut çatlakların derinleşmesi şeklinde meydana gelmiştir. BÇ numunesinde tespit edilen çatlaklar, eğilme çatlaklığı niteliğindedir.

3.2. GÇ

3.2.1. Yük – deplasman davranışı (GÇ)

GÇ numunesinden elde edilen yük – öteleme oranı histeretik eğrileri Şekil 3.4’te sunulmuştur. Elde edilen verilere göre ikinci çevrimlerden en büyük yatay yük %0,81 öteleme oranında 179,67 kN olarak ölçülmüştür. Takip eden çevrimlerde %15 - %20 mertebelerinde tepe yükü

azalmaları görülse de deney devam ettirilmiştir. Maksimum yanal yüke ulaşıldıktan sonra, elde edilen yanal yükler maksimum yükün sırasıyla %84,30 (%1,13 öteleme oranında), %84,50 (%1,58 öteleme oranında), %65,65 (%2,21 öteleme oranında), %58,91 (%3,10 öteleme oranında) ve %46,92'si (%6,07 öteleme oranında) kadardır. Son öteleme seviyesi olan %6,04 oranındaki çevrimlerde, kolon aksenal yük silindirlerinde negatif kuvvetler oluşmaması için silindirlerin basınç vanaları açılarak yük almamaları sağlanmıştır. Böylece son öteleme seviyesi kolon yükleri olmadan gerçekleştirilmiştir.

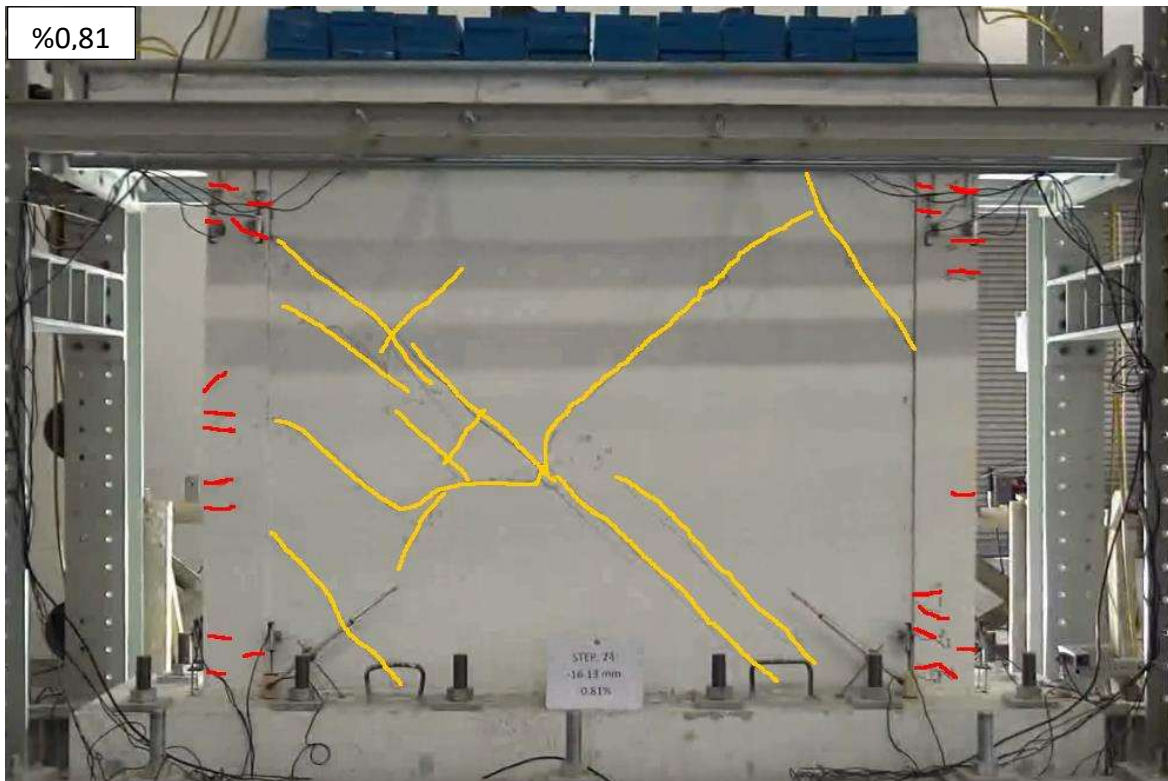
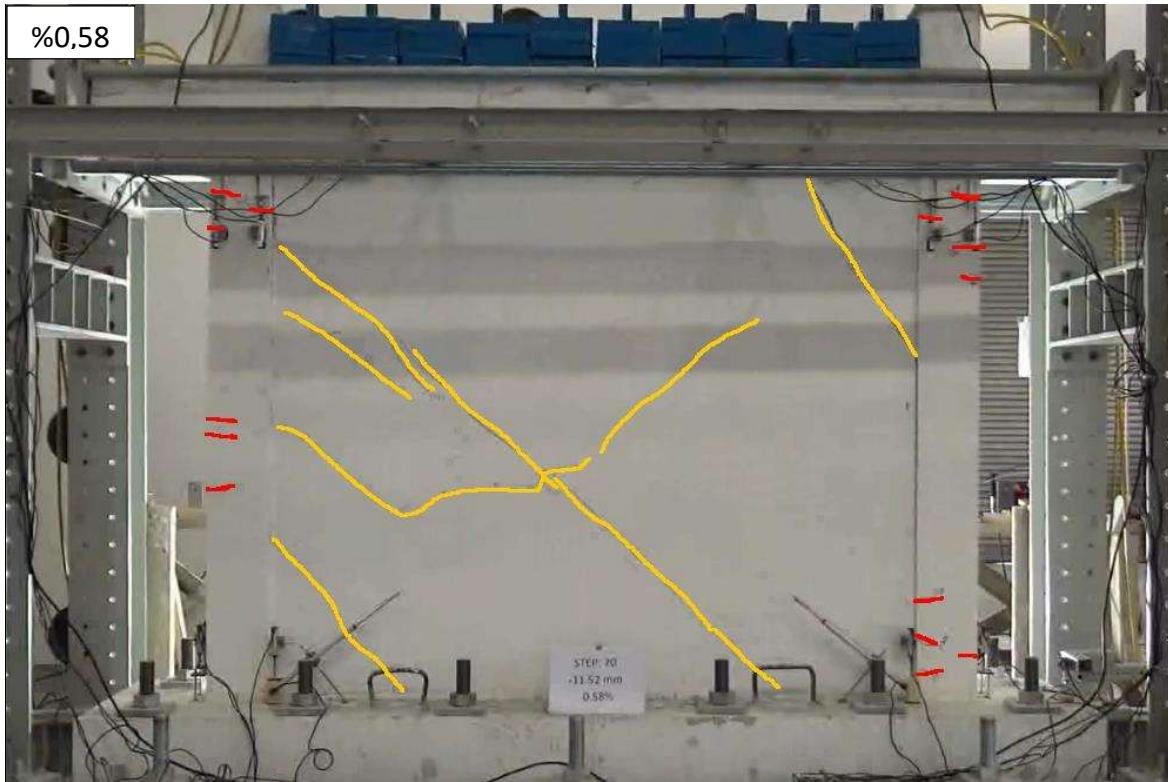


Şekil 3.4. GÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi

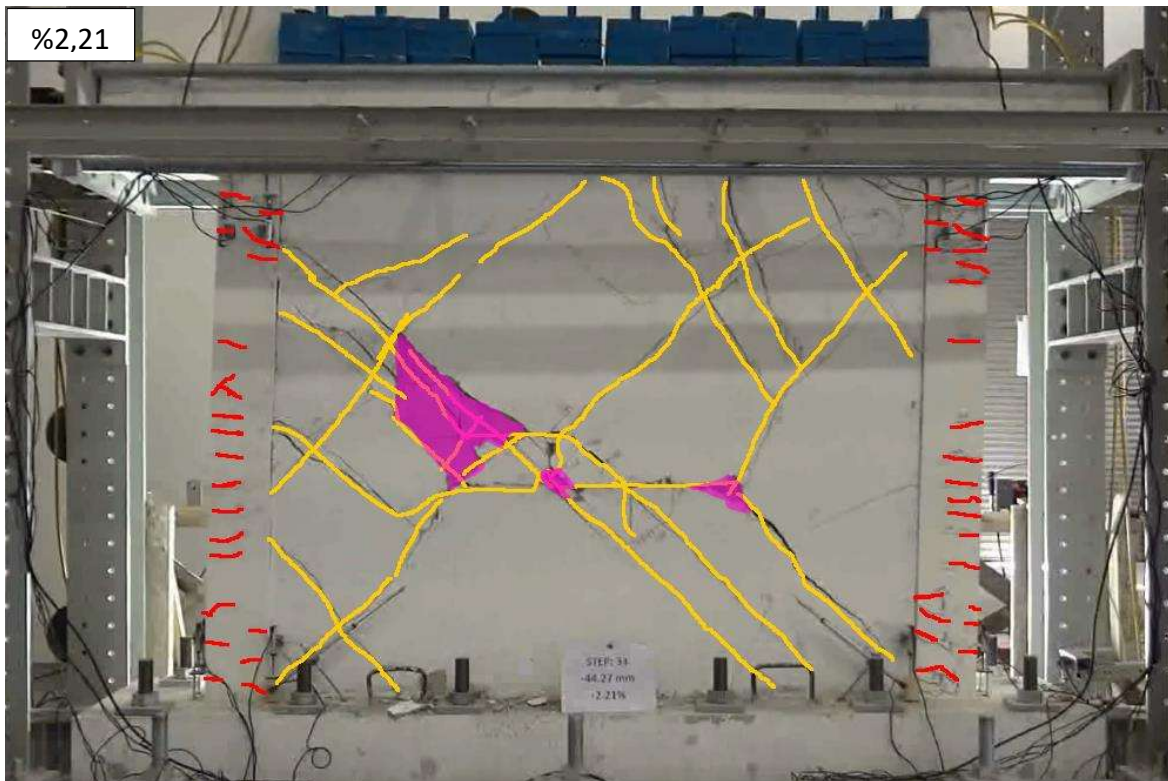
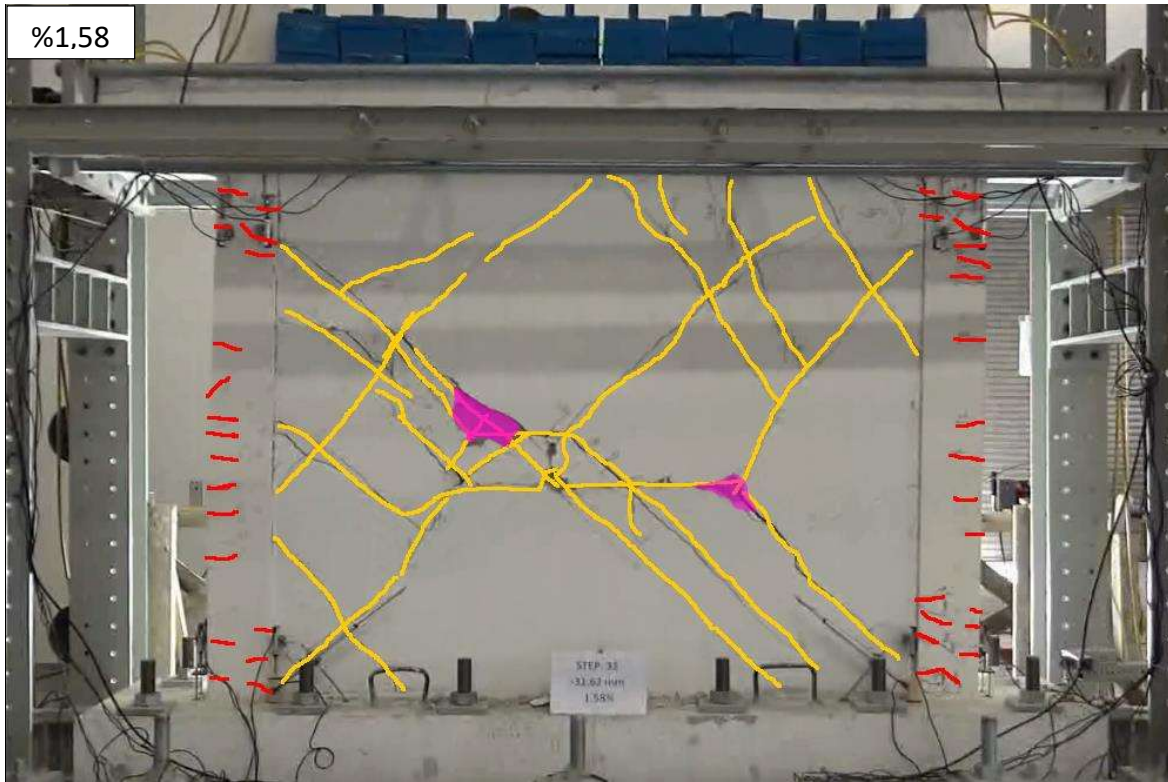
3.2.2. Hasar gözlemleri (GÇ)

GÇ numunesinde tespit edilen hasarlar Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Uygulanan ilk ötelemede (%0,15 öteleme oranı) dolgu duvar üzerinde, köşelere yaklaşık 35 cm dik uzaklıkta 33° açı ile çatlaklar oluşmuştur. %0,21 öteleme oranında, bu çatlakların kolon-duvar ve kiriş duvar ara yüzeylerinde ilerlediği gözlenmiştir. %0,29 öteleme oranında dolgu duvar üzerinde diyagonal

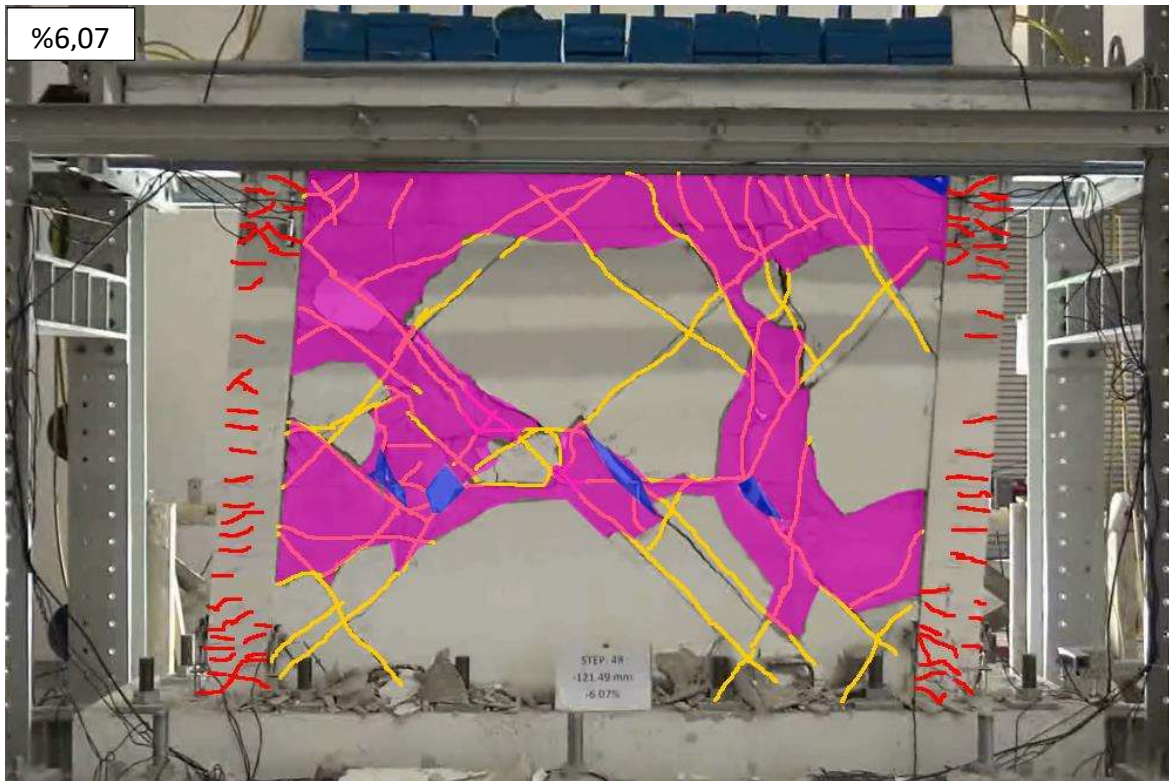
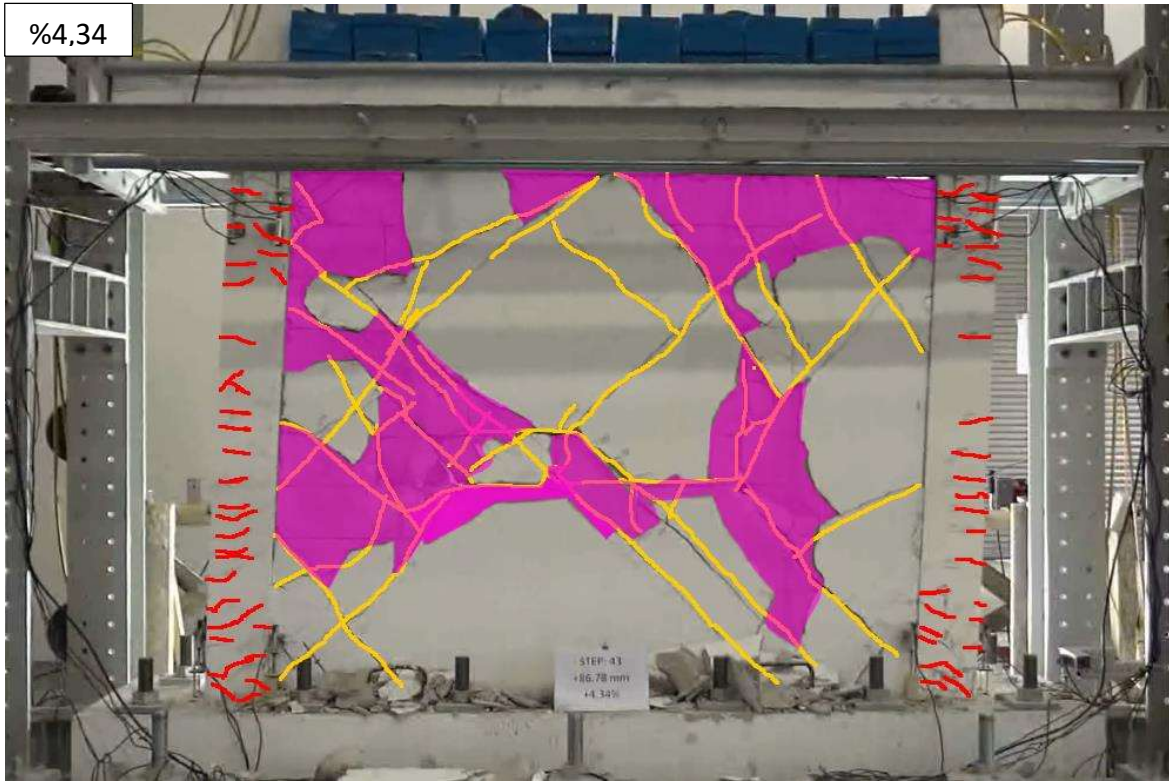
çatlaklar oluşmuş, bu öteleme oranına kadar betonarme elemanlarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. %0,41 öteleme oranında kolon orta bölgesinde, kolon alt ucunun yaklaşık 1 m yukarısında ve kolon uçlarında ilk eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. %0,58 öteleme oranında kolon uçlarında ilk eğilme çatlakları görülmüştür. %0,58 öteleme oranında dolgu duvarın ortasında, tabandan yaklaşık 75 cm yükseklikte, fazla belirgin olmamakla birlikte ilk kayma çatlağı oluşumu tespit edilmiştir. Bu kayma çatlağı %0,81 öteleme oranında belirginleşmiş ve kolonların orta bölgelerinde yeni eğilme çatlakları tespit edilmiştir. Bu öteleme oranından sonra, dolgu duvardaki yatay çatlak belirginleşmiş, dolgu duvarın bu çatlak üzerinde kayma mekanizmasına girdiği gözlenmiştir. Bu öteleme oranında yaklaşık 95 cm uzunluğa ulaşan yatay çatlak, dolgu duvar köşelerine uzanan yaklaşık 45 derecelik çatlaklarla birleşmiştir. %1,13 öteleme oranından itibaren dolgu duvardaki şekil değiştirmeler çoğunlukla kayma hasarı üzerinde gerçekleşmiştir. %1,58 öteleme oranında kayma çatlağı ve bu çatlağın uçlarından köşelere uzanan diyagonal çatlaklar, dolgu duvardaki en çok deformasyonun gerçekleştiği ana çatlaklardır. Yatay çatlak üzerinde kayma hareketi ve diyagonal çatlaklarda ise açılma-kapanma hareketi, bu öteleme oranından itibaren gözle görülür hale gelmiştir. Deneyin devamında ötelemelerin artmasıyla, dolgu duvardaki ana çatlaklarla çevrelenen alanlar ezilerek hasar almıştır. Yaklaşık %2,00 öteleme oranından deneyin sonuna kadar dolgu duvarın sıvasında kopmalar/dökülmeler gerçekleşmiştir.



Şekil 3.5. GÇ numunesinin hasar gözlemleri



Şekil 3.5. GÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)

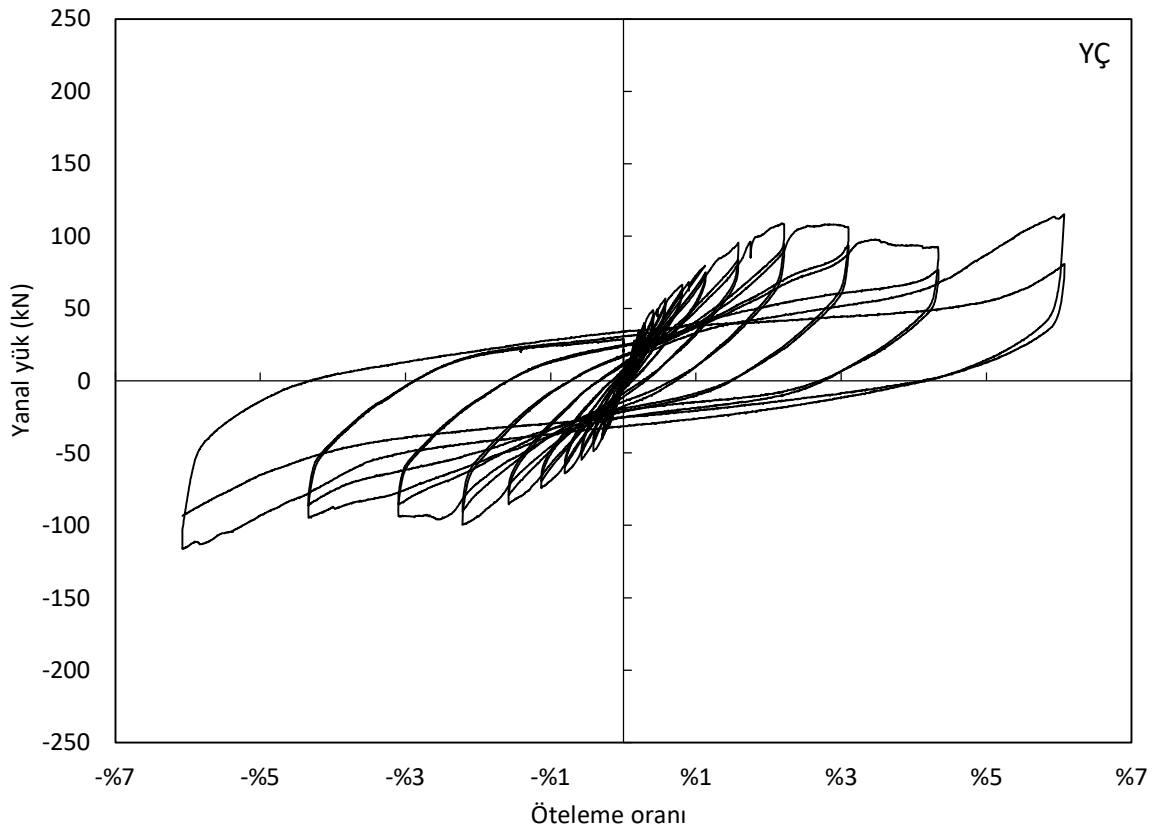


Şekil 3.5. GÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)

3.3. YÇ

3.3.1. Yük – deplasman davranışı (YÇ)

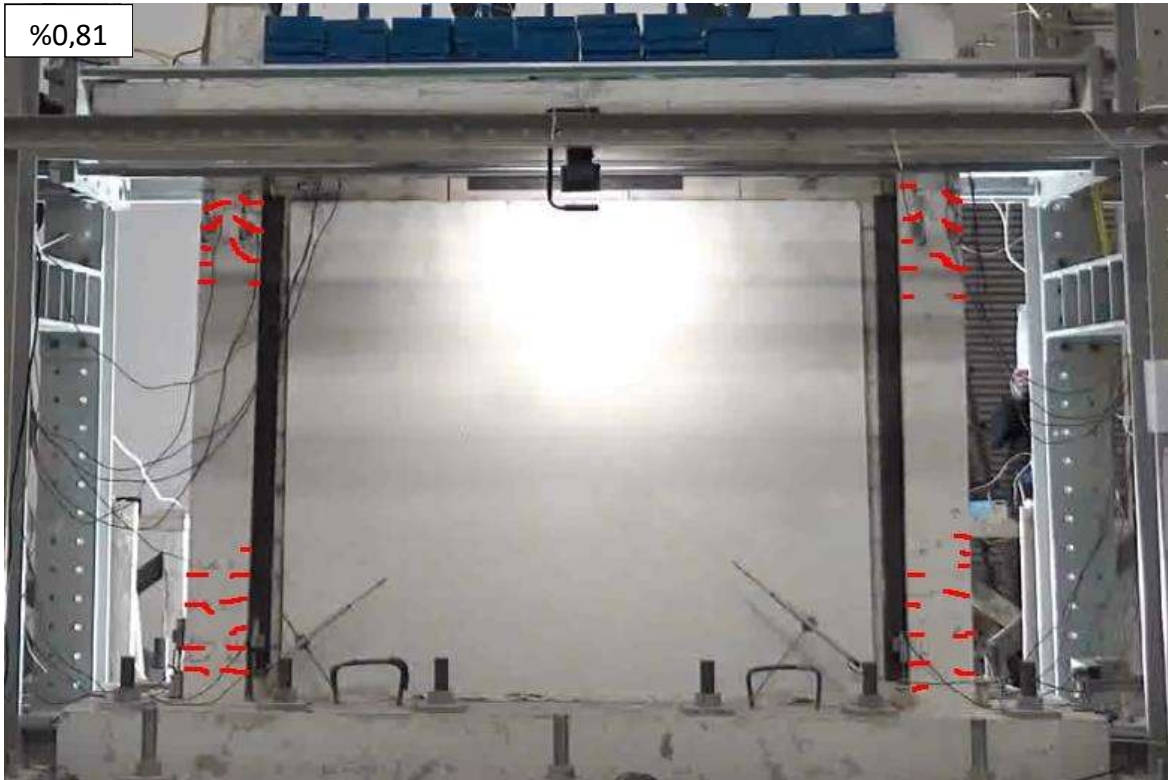
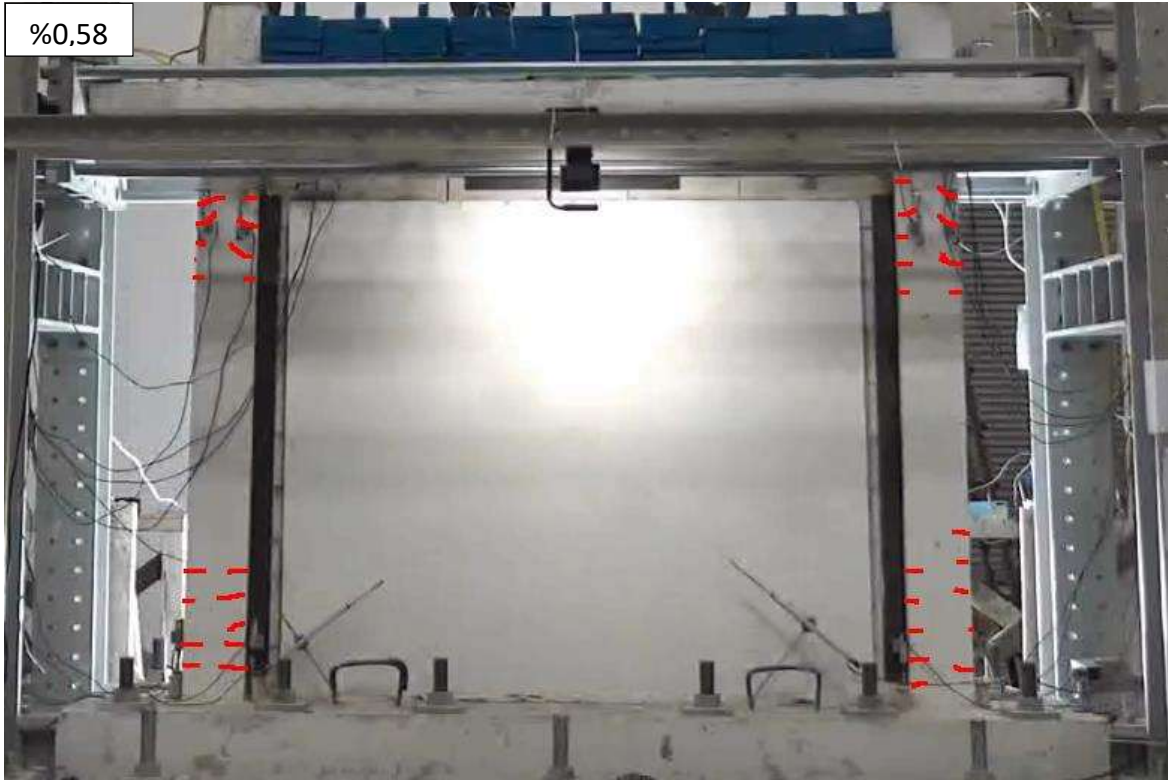
YÇ numunesinden elde edilen yük – öteleme oranı histeretik eğrileri Şekil 3.6’da sunulmuştur. Elde edilen verilere göre en büyük yatay yük %2,21 öteleme oranında 94,68 kN olarak hesaplanmıştır. Maksimum yanal yüke ulaşıldıktan sonraki ötelemelerde elde edilen yanal yük, maksimum yükün %98,88, %81,00 ve %85,26’sı seviyelerinde elde edilmiştir. Deney sırasında, %4,34 öteleme seviyesinin sonunda, kolon eksenel yük hücrelerinden okunan değerlerin sıfıra yaklaştığı görülmüştür. Bir sonraki öteleme seviyesi %6,07’de kolonlardaki silindirin çekme kuvveti oluşturacağı düşünülmüş, bu öteleme oranının çevrimleri, kolon eksenel yük silindirleri serbest bırakılarak devam ettirilmiştir.



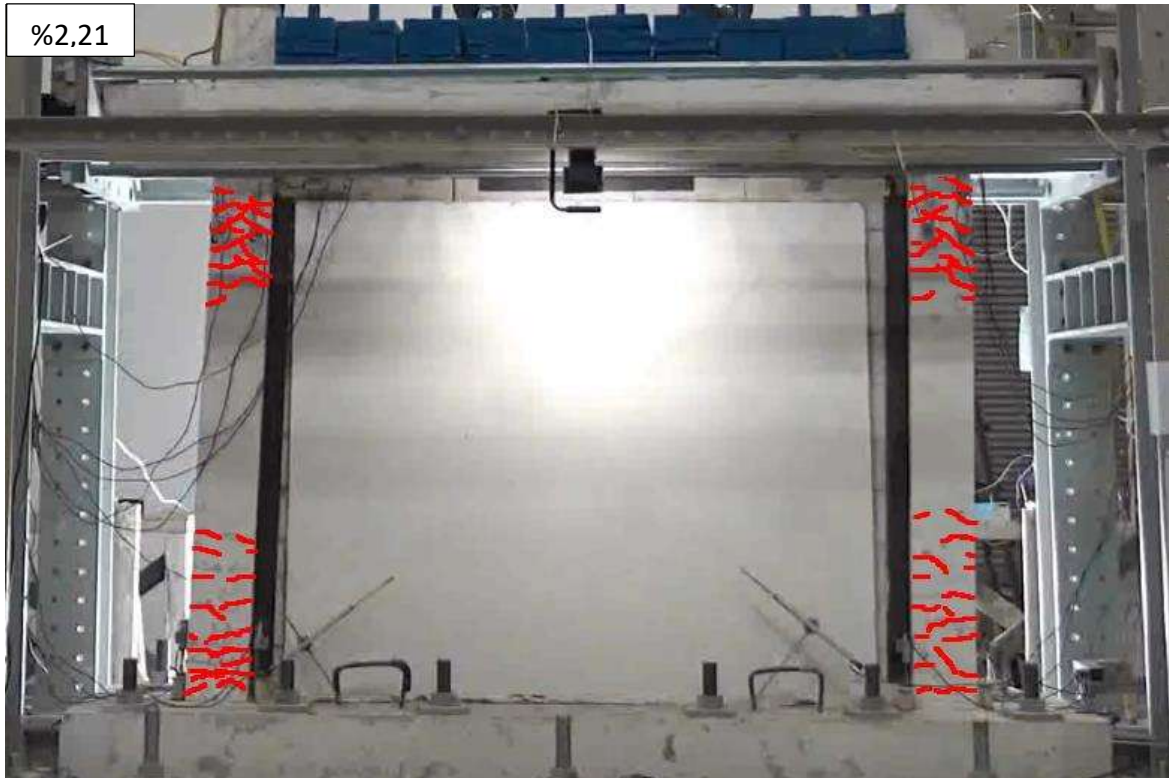
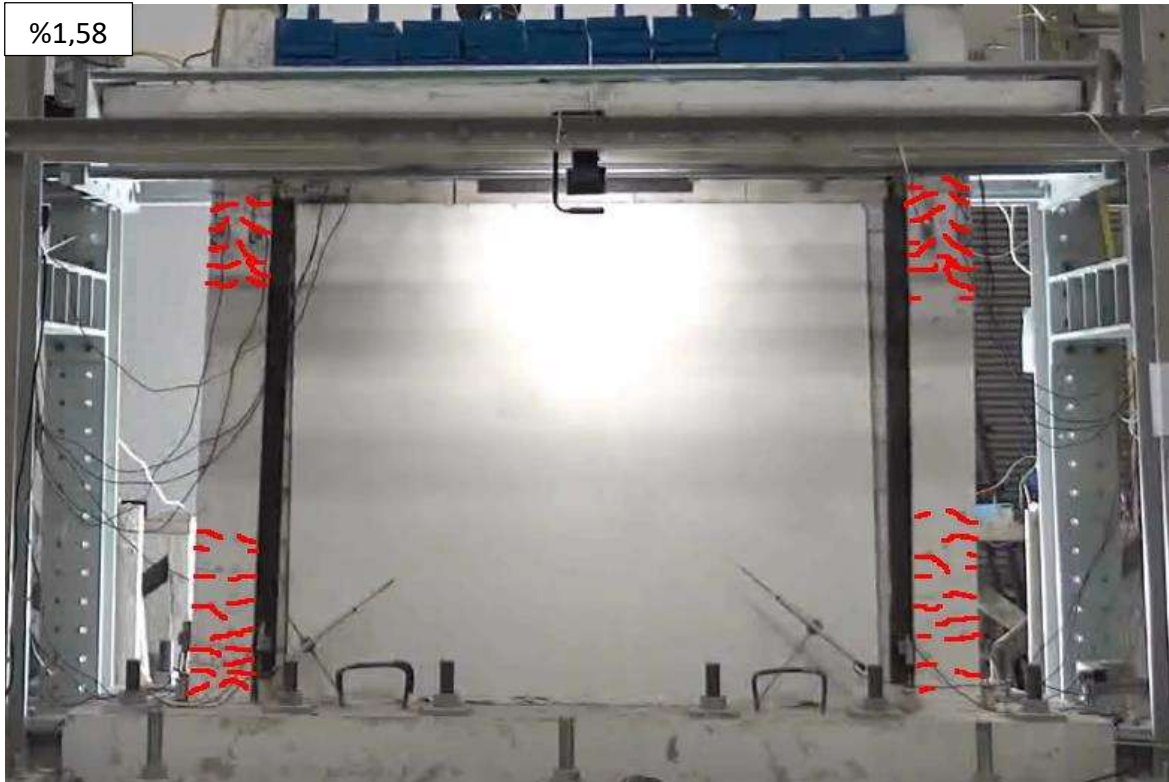
Şekil 3.6. YÇ deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi

3.3.2. Hasar gözlemleri (YÇ)

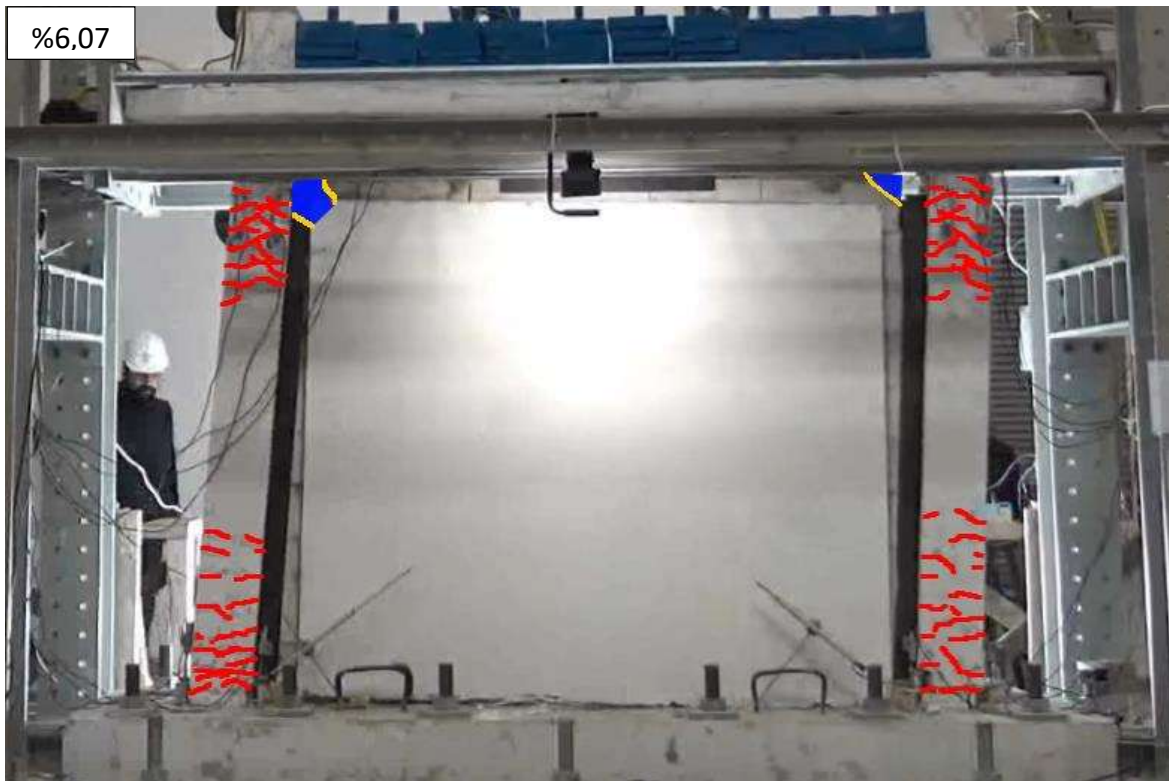
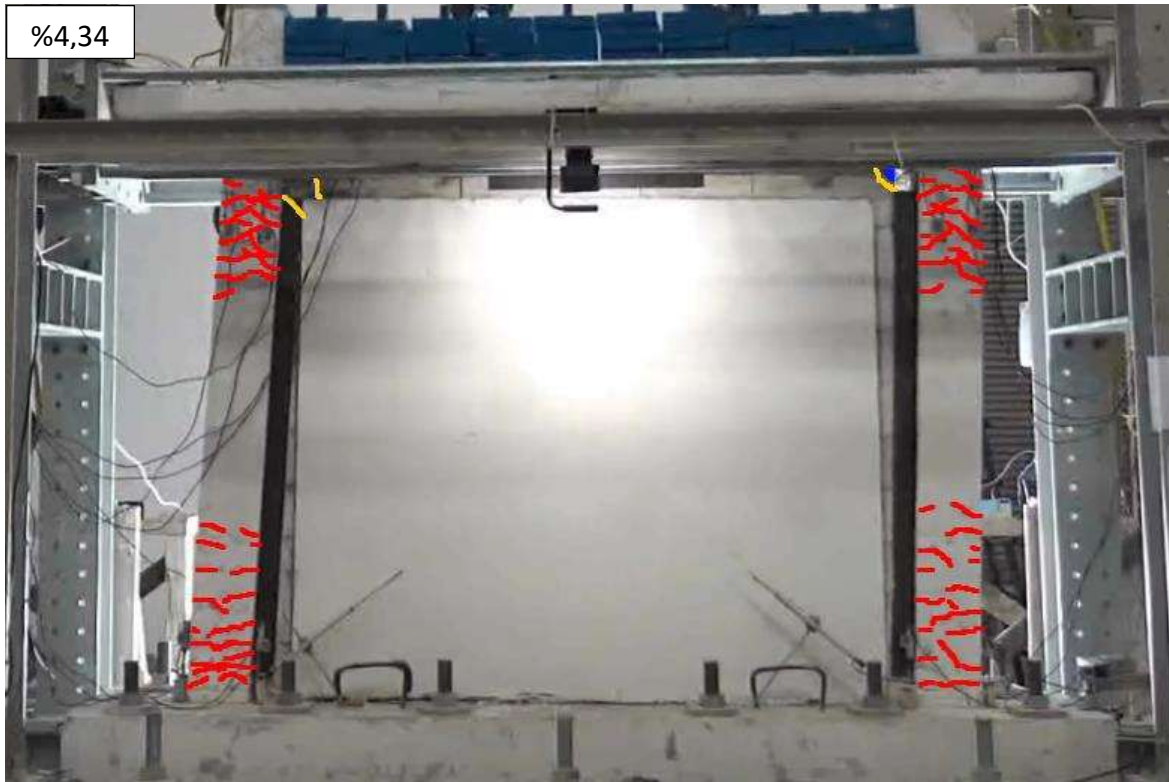
YÇ numunesinde tespit edilen hasarlar Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Yapılan incelemede, %0,41 öteleme oranında kolonun üst 20 cm’lik; alt 40 cm’lik uç bölgelerinde ilk eğilme çatlakları oluştuğu gözlenmiştir. %0,58 öteleme oranında, bir önceki öteleme oranında gözlemlenen çatlaklara ek olarak kolon alt uçlarında yeni çatlakların aynı bölge içerisinde geliştiği ve mevcut çatlakların da ilerlediği tespit edilmiştir. Kolon üst uçlarında ise, mevcut çatlakların ilerlemesiyle birlikte 40 cm’lik bölgede yeni eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. %0,81 öteleme oranında kolonların alt ve üst uçlarının 60 cm’lik bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuş, mevcut çatlaklar ise belirginleşerek ilerlemiştir. %1,58 öteleme oranında kolonların uç bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuştur. Kolonun alt ucundan 11 cm yükseklikteki eğilme çatlakları kolonun merkez ekseninde birleşmiştir. Bazı eğilme çatlaklarının eğiminin, merkez eksene yaklaştıkça arttığı görülmüştür. Ayrıca kolon-temel birleşiminde çatlak oluşumu tespit edilmiştir. %2,21 öteleme oranına mevcut çatlakların ilerlediği, alt ve üst uçlarda ise yeni çatlakların birleştiği görülmüştür. %2,21 oranından sonraki ötelemelerde kolon üzerindeki çatlak gelişimi, mevcut çatlakların ilerlemesi ve belirginleşmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Nadiren yeni çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 3.7. YÇ numunesinin hasar gözlemleri



Şekil 3.7. YÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)



Şekil 3.7. YÇ numunesinin hasar gözlemleri (devamı)

YÇ'nin dolgu duvarının üst ve yan kenarlarında 35 mm'lik esnek derz boşlukları bulunmaktadır. Bu boşluk %1,75 öteleme oranına tekabül etmektedir. Bu ötelemeye ilk olarak %2,21 öteleme oranının uygulandığı adımlarda ulaşılmıştır. Deney sırasında da, beklendiği gibi, yaklaşık %1,75 öteleme oranında dolgu duvarın üst köşeleri ile çerçevenin ilk teması gerçekleşmiştir. %2,21 öteleme oranında yapılan incelemede, ilk temasın gerçekleştiği dolgu duvar üst köşelerinde görünür bir hasar oluşmamış, fakat dolgu duvar bir bütün halinde çerçeveye temas ettiği taraftan yükselmiştir. Böylece, dolgu duvarın üzerinde bulunduğu rijit temel ile arasındaki bağları kopmuştur. Deneyin sonraki adımlarında (%3,10, %4,34 ve %6,07 öteleme oranlarında), her bir ötelemeye, dolgu duvar yükün uygulandığı taraftan kalkarak düzlemi içinde dönmüş, aynı zamanda rijit temel üzerinde kayarak ötelenmiştir. Öteleme oranının %4,34'e ulaştığı adımlarda çapraz köşelerinin kolonlar arasında sıkışmasıyla dolgu duvar-çerçeve temas bölgelerinde ezilme ve kırılmalar başlamıştır. Son öteleme oranı olan %6,07'de ise dolgu duvar köşelerinde gözle görünür hasar meydana gelmiştir. Ancak bu hasar yalnızca dolgu duvar köşelerinde oluşmuş, duvara yayılmamıştır. Bununla birlikte deney boyunca dolgu duvarın düzlem dışı hareketini tutması için kolonlara tutturulan U-profillerin flanşlarında yanal burkulmalar tespit edilmiş ancak ölçülmemiştir.

3.4. T1Ç

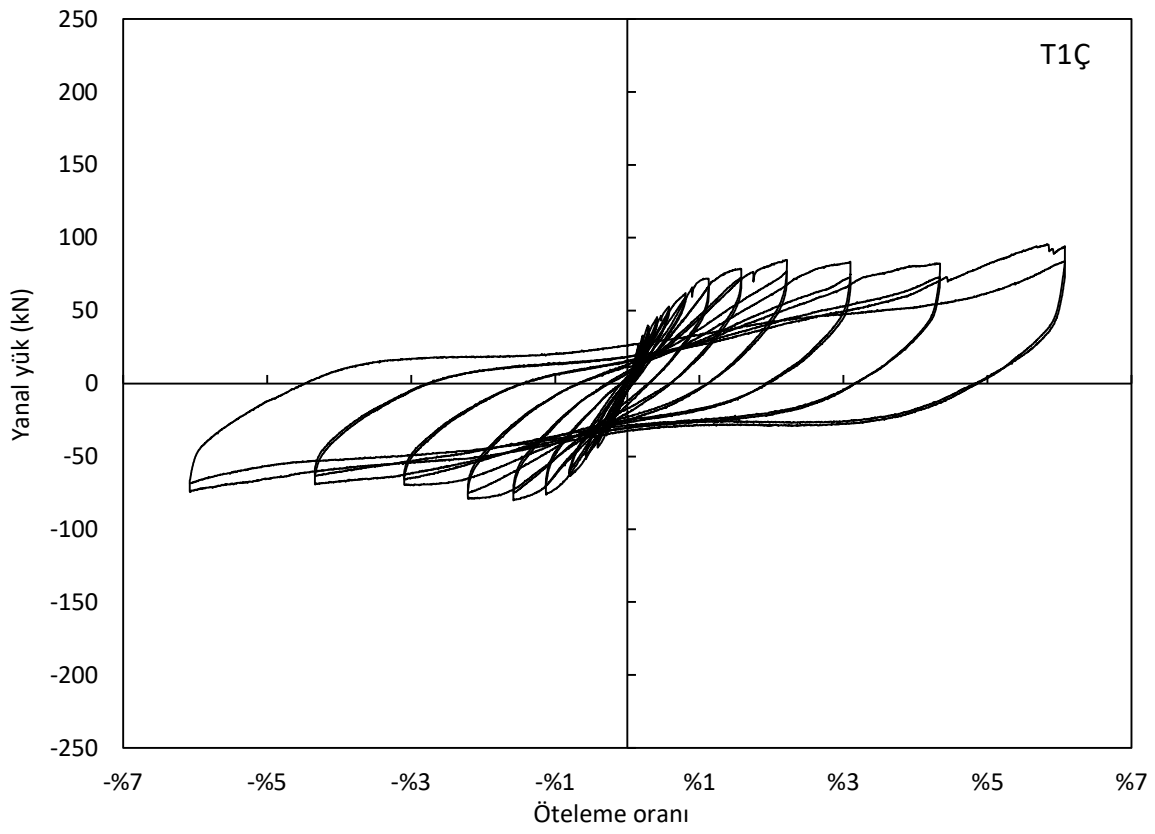
3.4.1. Yük – deplasman davranışı (T1Ç)

T1Ç numunesinden elde edilen yük – öteleme oranı histeretik eğrileri Şekil 3.8'de sunulmuştur. Bu deneyde en büyük yatay yük %2,21 öteleme oranında 77,05 kN olarak elde edilmiştir. Takip eden %3,10, %4,34 ve %6,07 öteleme oranlarında ölçülen yükler, maksimum yüke oranla, sırasıyla, %94,86, %94,65 ve %109,12 düzeyinde elde edilmiştir. Ancak, son öteleme oranı olan %6,07'nin çevrimlerinde, kolon aksenal yük silindirlerinde negatif kuvvetler oluşmaması için silindirlerin basınç vanaları açılarak yük almamaları sağlanmıştır. Böylece %6,07 öteleme oranındaki çevrimler, kolon aksenal yükleri olmadan gerçekleştirilmiştir.

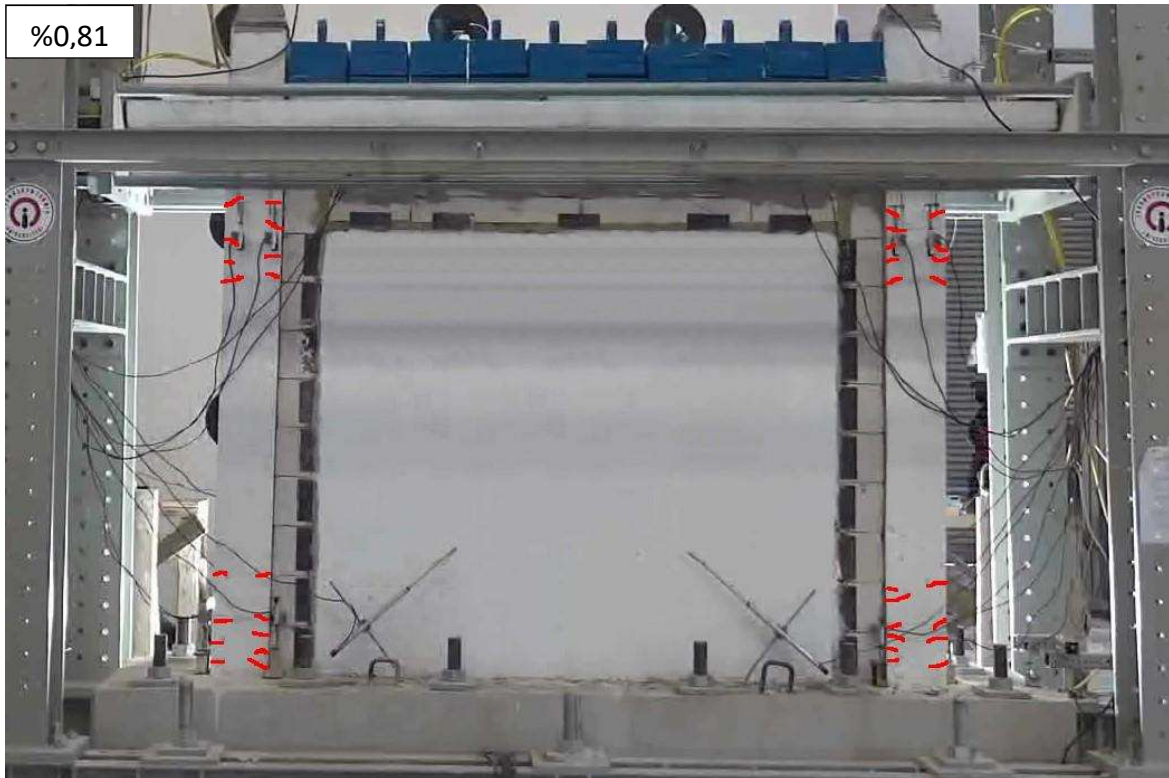
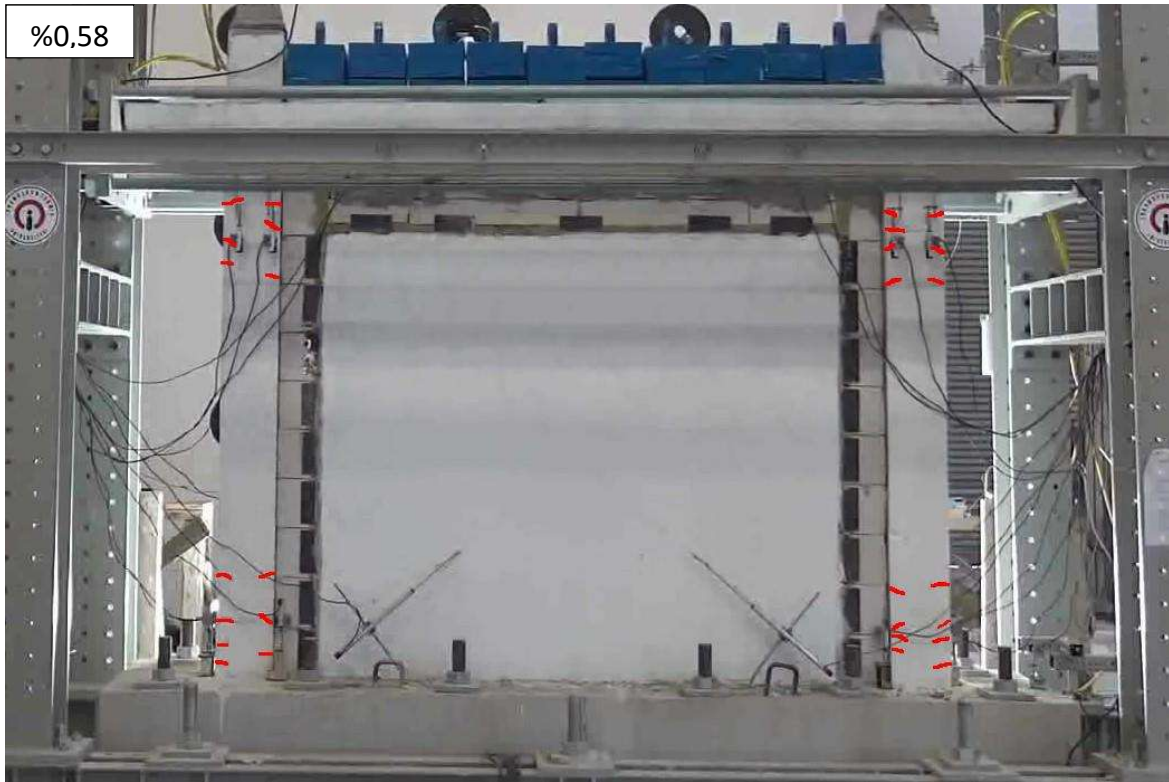
3.4.2. Hasar gözlemleri (T1Ç)

T1Ç numunesinde tespit edilen hasarlar Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Yapılan incelemede, %0,41 öteleme oranında kolonun alt 20 cm'lik uç bölgesinde ilk eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlenmiştir. %0,58 öteleme oranında, bir önceki öteleme oranında gözlemlenen çatlakların ilerlemesine ek olarak kolon alt ve üst uçlarında yeni çatlakların aynı bölge içerisinde geliştiği tespit edilmiştir. %0,81 öteleme oranında kolonların alt uçlarının 60 cm'lik bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuş, mevcut çatlaklar ise belirginleşerek ilerlemiştir. %1,13 öteleme oranında kolon alt ucundaki çatlakların ilerlediği, üst ucunda ise 60 cm'lik bölgede yeni eğilme çatlakları oluştuğu görülmüştür. %1,58 öteleme oranında kolon uç bölgesinde çatlakların ilerlemesiyle birlikte, kolon - temel birleşiminde çatlak tespit edilmiştir. %2,21 öteleme oranında kolonun alt ucunun yaklaşık 10 cm yüksekliğinde, ileri ve geri ötelemeler nedeniyle kesitin her iki kenarında oluşan eğilme çatlakları, merkez eksene yakın bir noktada birleşmiştir. %2,21 öteleme oranı ve sonrasında nadiren yeni çatlaklar oluşmuş, kolonlardaki deformasyonlar mevcut çatlakların ilerlemesi ve belirginleşmesiyle gelişmiştir.

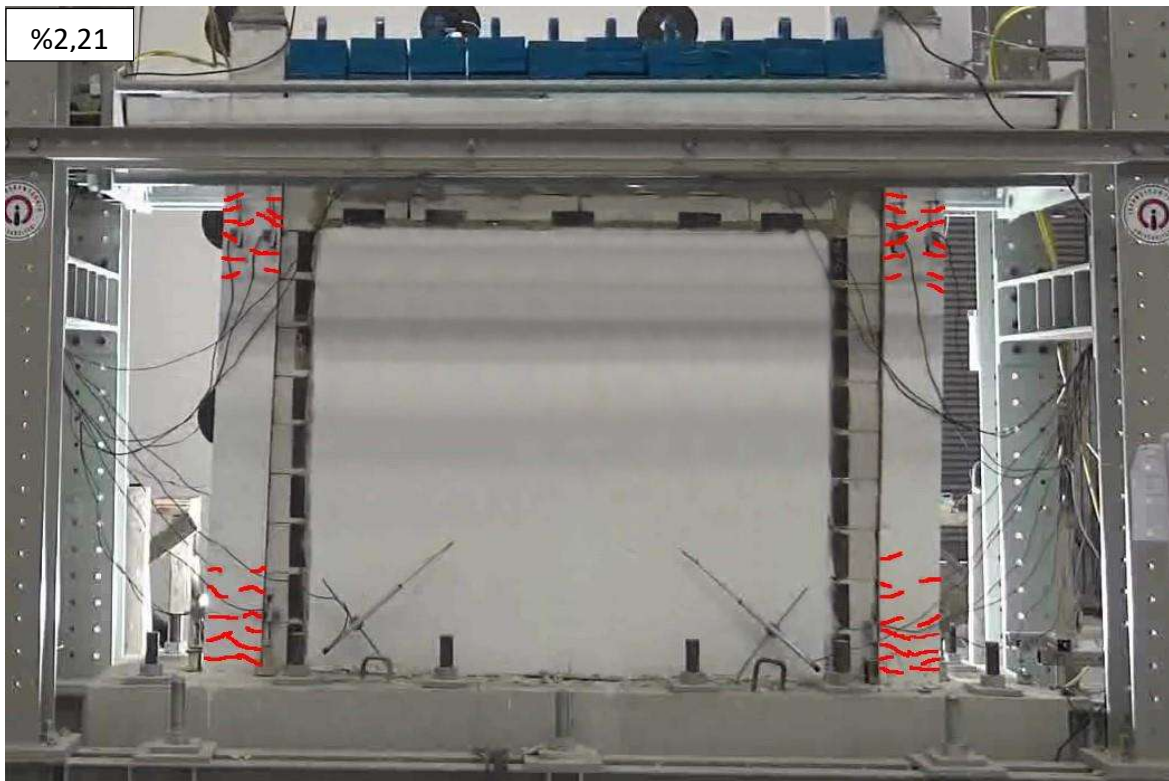
T1Ç çerçevesinde bırakılan 35 mm'lik esnek derz boşluğu kapanana kadar duvarın orta bölgesi ile betonarme çerçeve arasında bir etkileşim olmamış, ancak %0,41 öteleme oranında kolona harç ile bağlanmış olan T1 blokların ara yüzeyinde çatlak tespit edilmiştir. T1Ç'de esnek derz boşluğunun miktarı %1,75 öteleme oranına tekabül etmektedir. Deney sırasında da yaklaşık %1,75 öteleme oranında dolgu duvarın çerçeve ile ilk etkileşimi gerçekleşmiştir. %2,21 öteleme oranında yapılan incelemede dolgu duvar yükün uygulandığı taraftan bir miktar yükselerek temel bağlarını koparmıştır. Ancak %2,21 öteleme oranının uygulandığı çevrimlerde gerçekleşen bu etkileşimde dolgu duvarın üst köşelerinde herhangi bir hasar tespit edilmemiştir. Yalnızca bu etkileşim sadece dolgu duvarın yatak derzi bağlantısının kırılmasıyla sonuçlanmıştır. %3,10, %4,34 ve %6,07 öteleme oranlarının uygulandığı çevrimlerde, çerçeve ile etkileşim sonucunda, dolgu duvar hem düzlem içinde dönme hareketi yapmış, hem de bütün halinde ötelenmiştir. %4,34 öteleme oranında itibaren karşılıklı esnek derz boşlukları henüz kapanmış, ancak dolgu duvar köşelerinde bir ezilme görülmemiştir. %6,07 öteleme oranında ise, dolgu duvarın çapraz köşeleri, çerçeve iç köşeleri arasında sıkışarak çapraz basınç altına girmiştir. Bu etkileşim köşe bloklarda belirgin olmayan ezilmelere neden olmuştur.



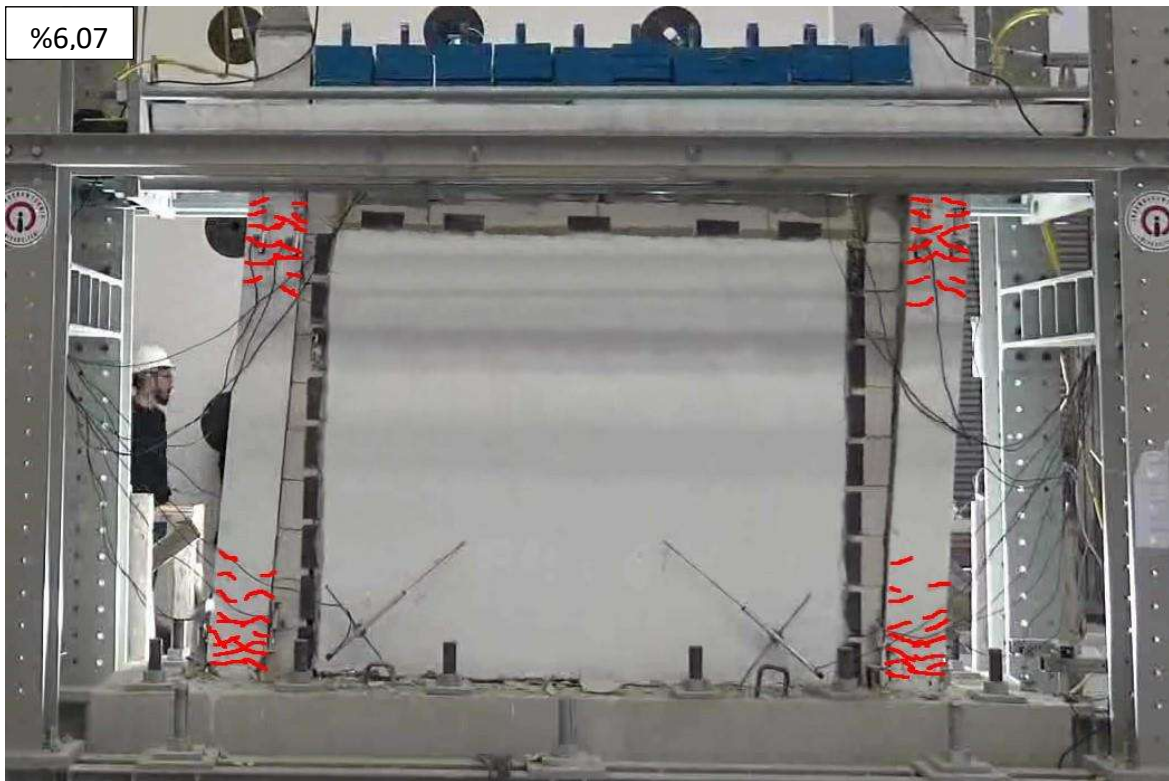
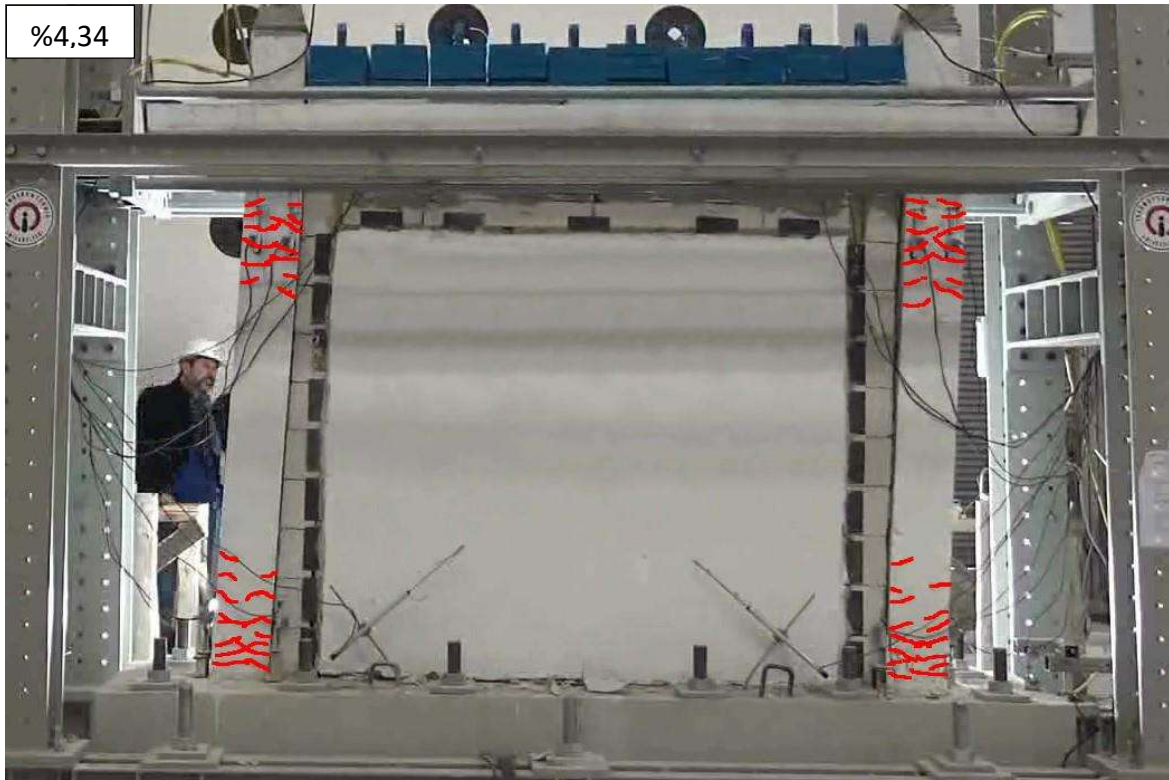
Şekil 3.8. T1Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi



Şekil 3.9. T1Ç numunesinin hasar gözlemleri



Şekil 3.9. T1Ç numunesinin hasar gözlemleri (devamı)



Şekil 3.9. T1Ç numunesinin hasar gözlemleri

3.5. T2Ç

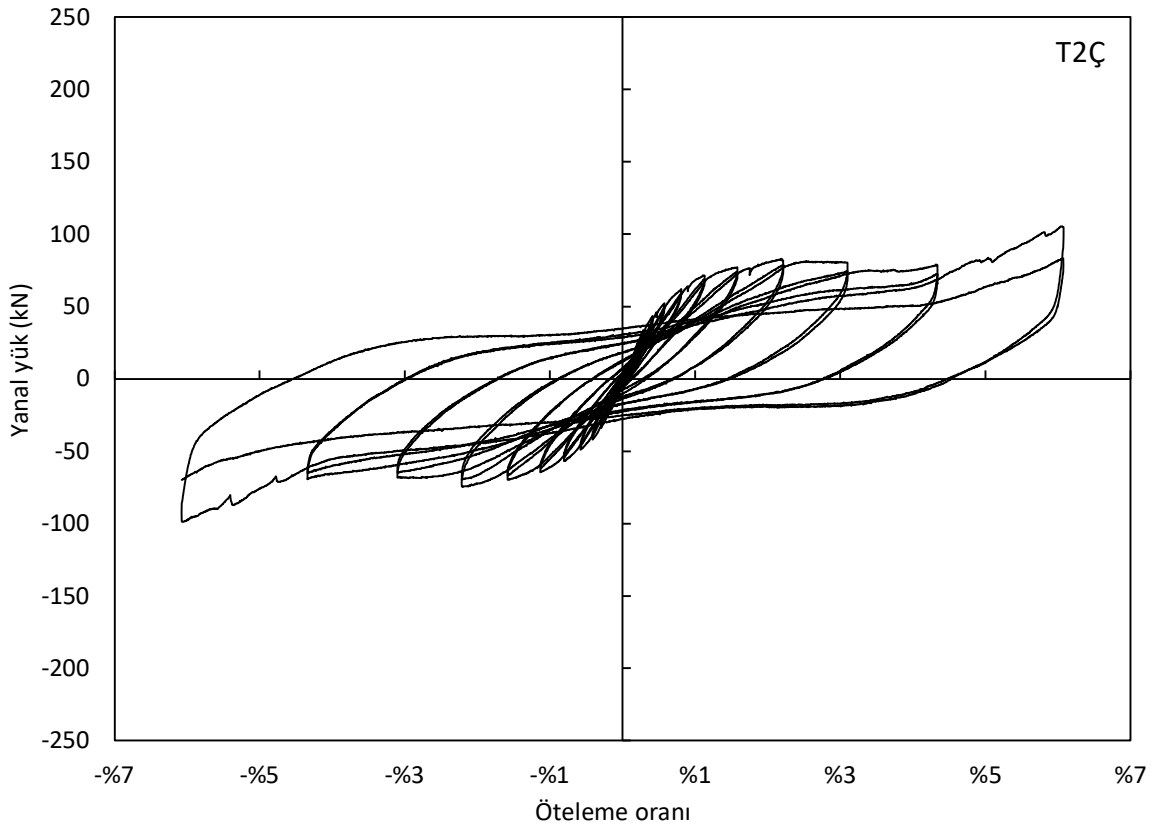
3.5.1. Yük – deplasman davranışı (T2Ç)

T2Ç numunesinden elde edilen yük – öteleme oranı histeretik eğrileri Şekil 3.10’da sunulmuştur. İkinci çevrimlerden elde edilen verilere göre %2,21 öteleme oranında 78,53 kN ile maksimum yanal yüke ulaşılmıştır. Takip eden %3,10 ve %4,34 öteleme oranlarında yanal direnç, maksimum yanal yükün sırasıyla %94,87 ve %92,05’i kadar elde edilmiş, %6,07 öteleme oranında ise maksimum yanal yükün %105,93’ü kadar yük taşıyarak yükselişe geçmiştir. Bu yükselişe dolgu duvarın her iki kenarındaki esnek derz boşluğunun kapanmasıyla köşelerinin çapraz basınç alması neden olmuştur. Son öteleme seviyesi olan %6,07 öteleme oranındaki çevrimlerde, kolon aksenal yük silindirlerinde negatif kuvvetler oluşmaması için, silindirlerin basınç vanaları açılarak yük almamaları sağlanmıştır. Böylece, son öteleme seviyesi kolon aksenal yükleri olmadan gerçekleştirilmiştir.

3.5.2. Hasar gözlemleri (T2Ç)

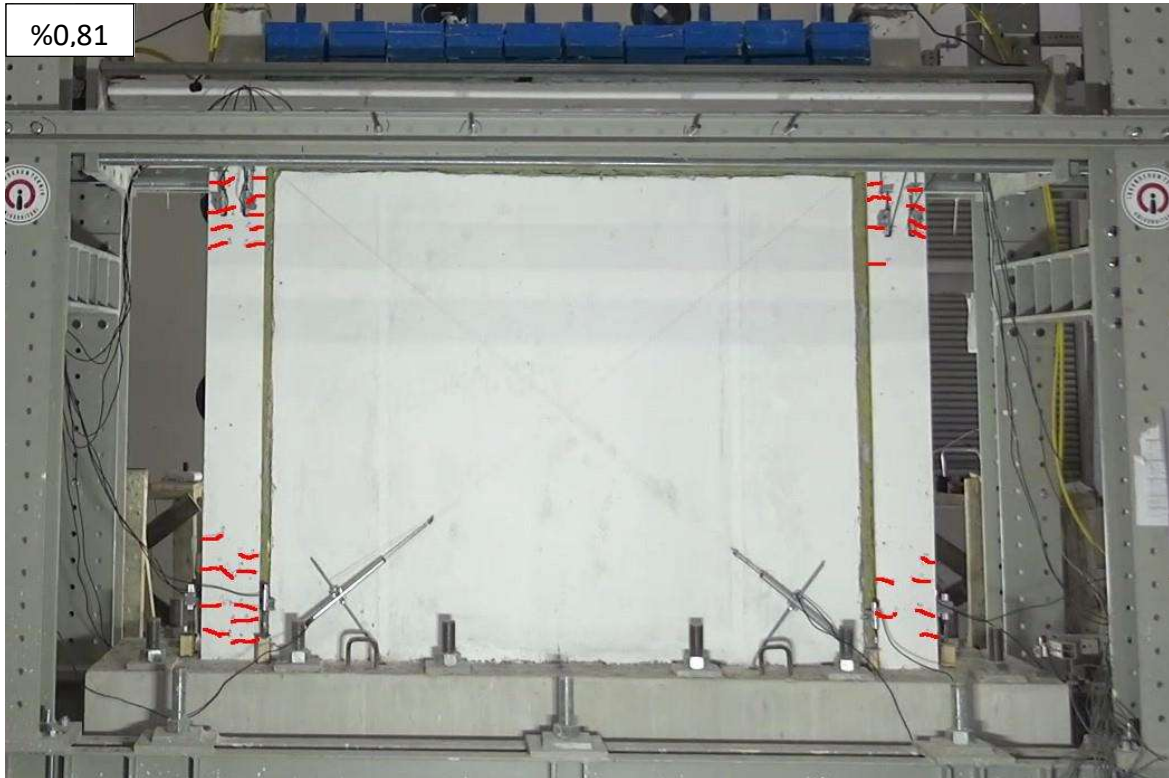
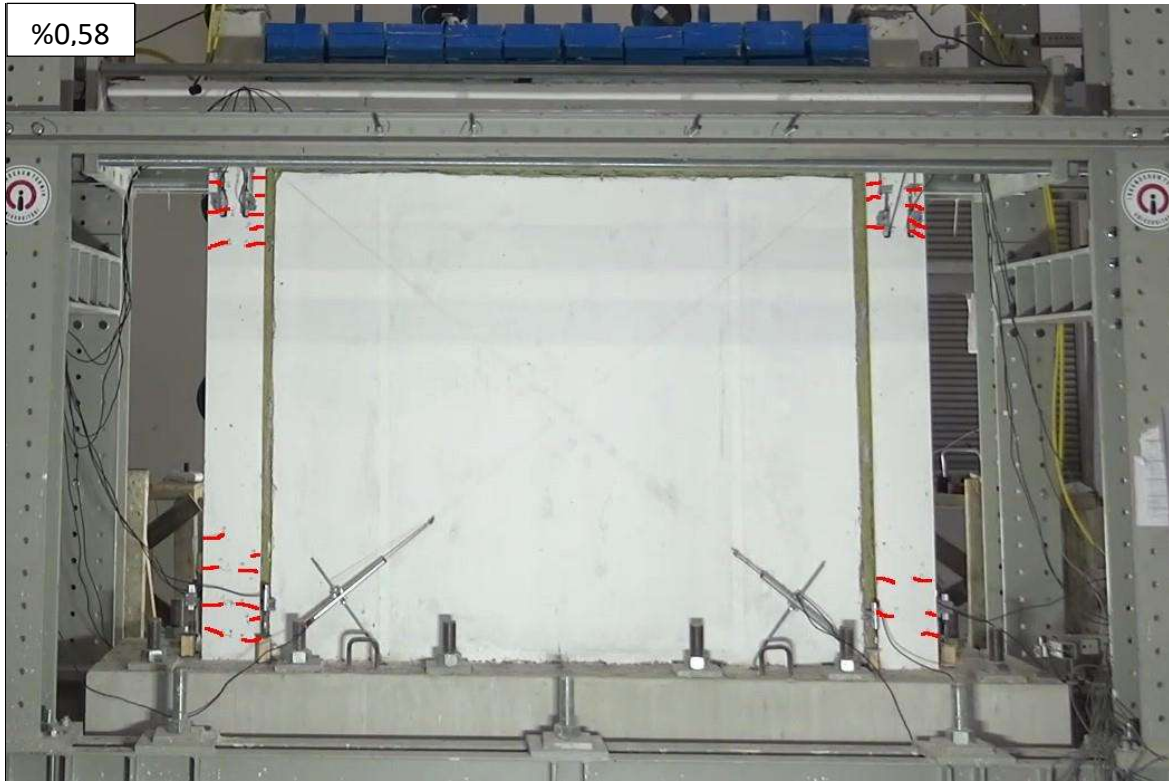
T1Ç’nin hasar gösterimleri Şekil 3.11’de sunulmaktadır. Yapılan incelemede, ilk eğilme çatlakları %0,41 öteleme oranında kolonun üst ve alt 20 cm’lik uç bölgelerinde tespit edilmiştir. %0,58 öteleme oranında mevcut çatlakların ilerlemesiyle birlikte kolon alt ve üst uçlarının 40 cm’lik bölgelerinde yeni çatlak oluşumları tespit edilmiştir. %0,81 öteleme oranında kolonların alt ve üst uçlarının 60 cm’lik bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuş, mevcut çatlaklar ise belirginleşerek ilerlemiştir. %1,58 öteleme oranında mevcut çatlaklar ilerlemiş, bununla birlikte kolon alt ucundan 9 cm yükseklikteki mevcut karşılıklı çatlakların birleştiği görülmüş, kolon-temel birleşiminde çatlak oluşumu tespit edilmiştir. %2,21 öteleme oranına kadar kolon alt ve üst uçlarında yeni çatlaklarla birlikte mevcut çatlakların ilerlediği görülmüştür. %2,21 öteleme oranından sonra nadiren yeni çatlaklar oluşmuş, kolonlardaki deformasyonlar mevcut çatlakların ilerlemesi ve belirginleşmesiyle gelişmiştir.

T2Ç deneyinde, betonarme çerçevenin üst köşesi ile dolgu duvarın ilk teması, esnek derz boşluğunun imalat sırasında planlanan 35 mm’den az bırakılması nedeniyle %1,75 öteleme oranının hemen öncesinde gerçekleşmiştir. Bu temasta dolgu duvar yükün uygulandığı

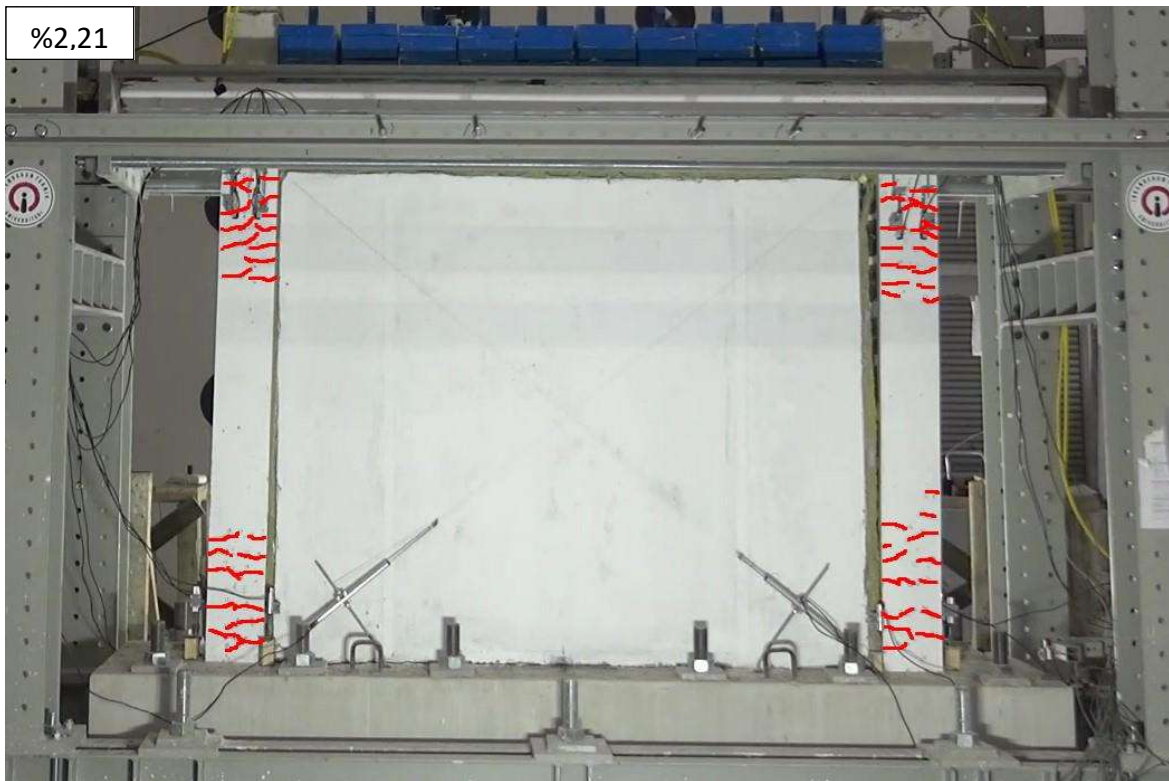
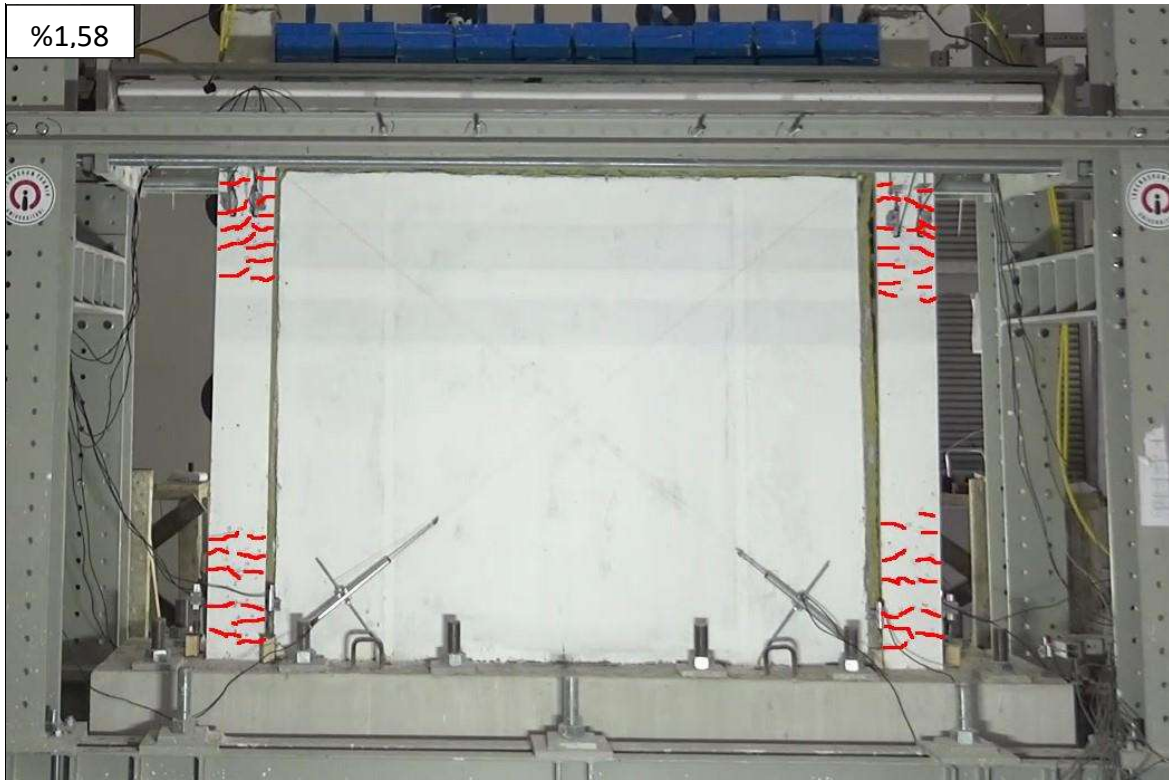


Şekil 3.10. T2Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi

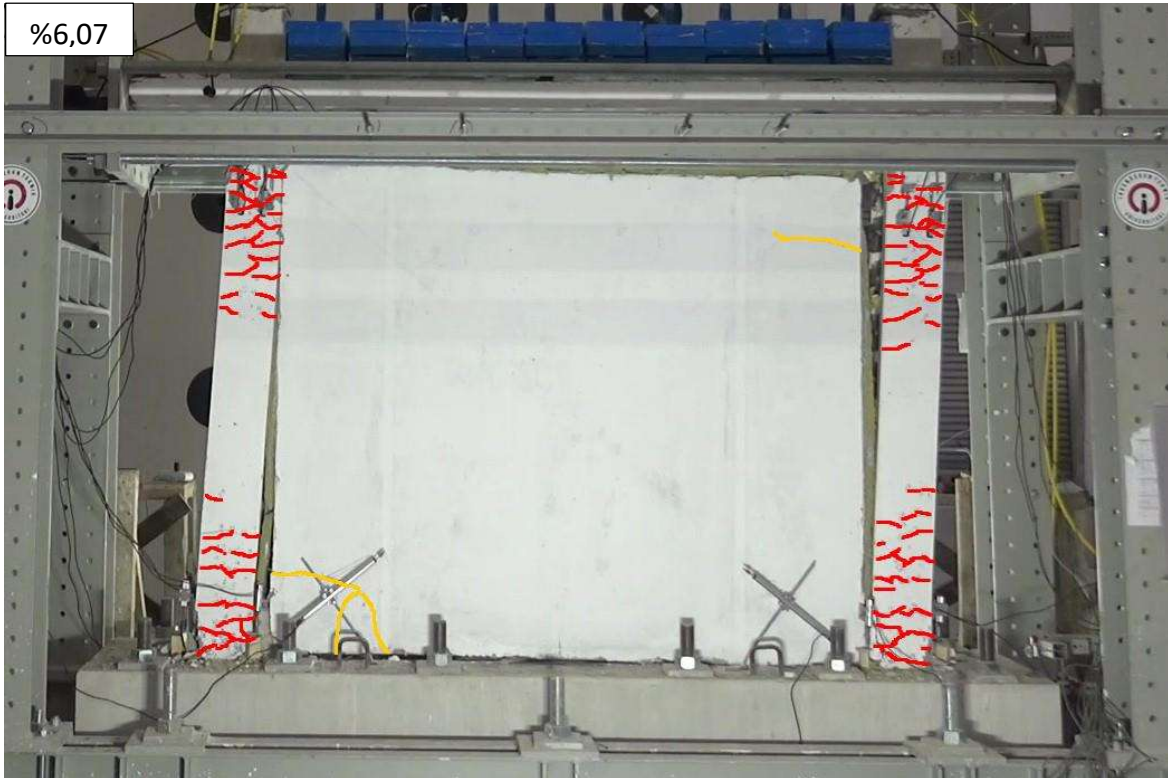
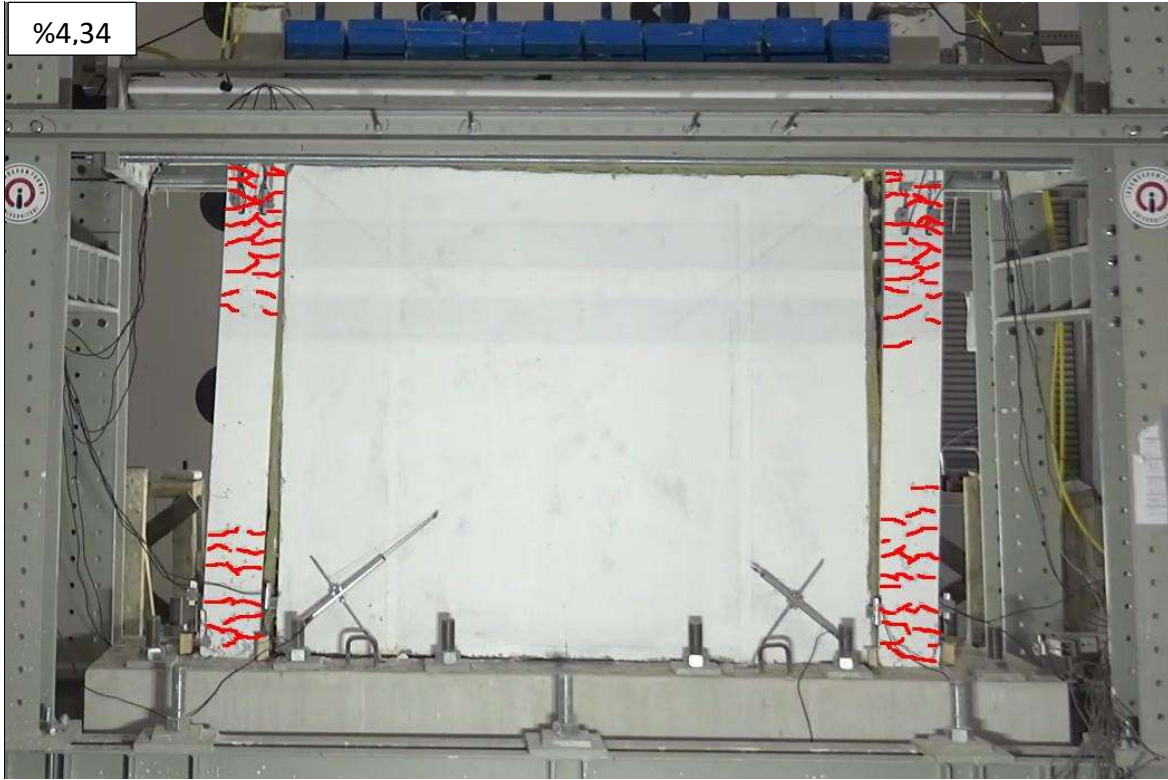
taftan bir miktar yükselerek altındaki temel kirişi ile arasındaki yatak derzleri kırılmıştır. Bu temasta dolgu duvarın temas eden köşesinde görünür bir hasar oluşmamıştır. %2,21 öteleme oranındaki bütün çevrimlerde çerçeve ile temas eden dolgu duvar, temas ettiği taraftan gözle görülür bir şekilde yükselmiş, ancak ötelenmemiştir. %3,10 öteleme oranındaki adımlarda ise, dolgu duvar çerçeve ile her temasında, hem yükün uygulandığı taraftan kalkarak düzlemi içinde dönmüş, hem de bütün halinde ötelenmiştir. Ancak dolgu duvarda bir ezilme gerçekleşmemiştir. Öteleme oranının %4,34'e ulaştığı çevrimlerde, dolgu duvarın çapraz köşelerinin çerçeve iç köşeleri arasında sıkışmasıyla, temas yüzeylerinde ezilmeler başlamıştır. Ancak bu ezilme az miktarda olduğu için, yalnızca temas eden yüzeylerde oluşmuş, sıvada herhangi bir hasara neden olmamıştır. Son öteleme seviyesi olan %6,07'de ise, dolgu duvar ötelemenin artmasıyla çapraz basınç altına girmiş, bunun sonucunda dolgu duvar köşelerinde ezilmeden kaynaklanan çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 3.11. T2Ç numunesinin hasar gözlemleri



Şekil 3.11. T2Ç numunesinin hasar gözlemleri

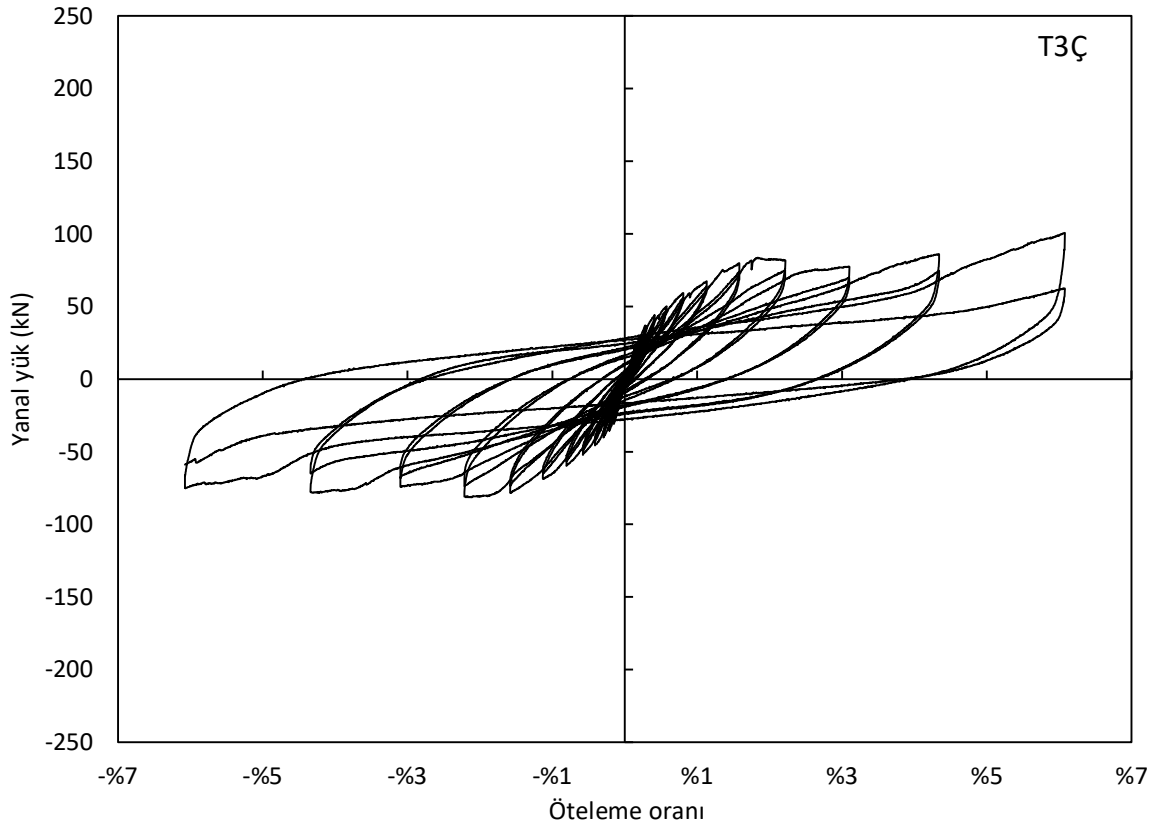


Şekil 3.11. T2Ç numunesinin hasar gözlemleri

3.6. T3Ç

3.6.1. Yük – deplasman davranışı (T3Ç)

T3Ç deneyinden elde edilen yük ve deplasman verileriyle oluşturulan histeretik davranış Şekil 3.12’de sunulmuştur. İkinci çevrimlerdeki yatay yük ve karşılık gelen öteleme oranlarına göre elde edilen maksimum yanıl yük %2,21 öteleme oranında 74,98 kN olarak elde edilmiştir. %3,10 ve %4,34 öteleme oranlarında yanıl direnç, maksimum yanıl yükün sırasıyla %93,36 ve %99,52’i kadar elde edilmiştir. %6,07 öteleme oranında ise diğler esnek bağlantılı çerçevelerden farklı olarak yanıl yük azalmış, maksimum yanıl yükün %83,17’si düzeyinde elde edilmiştir. Yanıl yükteki bu azalmanın nedeni “hasar davranışı” bölümünde açıklanmaktadır. Ayrıca %6,07 öteleme seviyesinin çevrimlerinde kolonlardaki silindirlerin çekme kuvveti oluşturacağı anlaşılmış ve bu öteleme seviyesine geçilmeden önce basınçları alınmıştır.



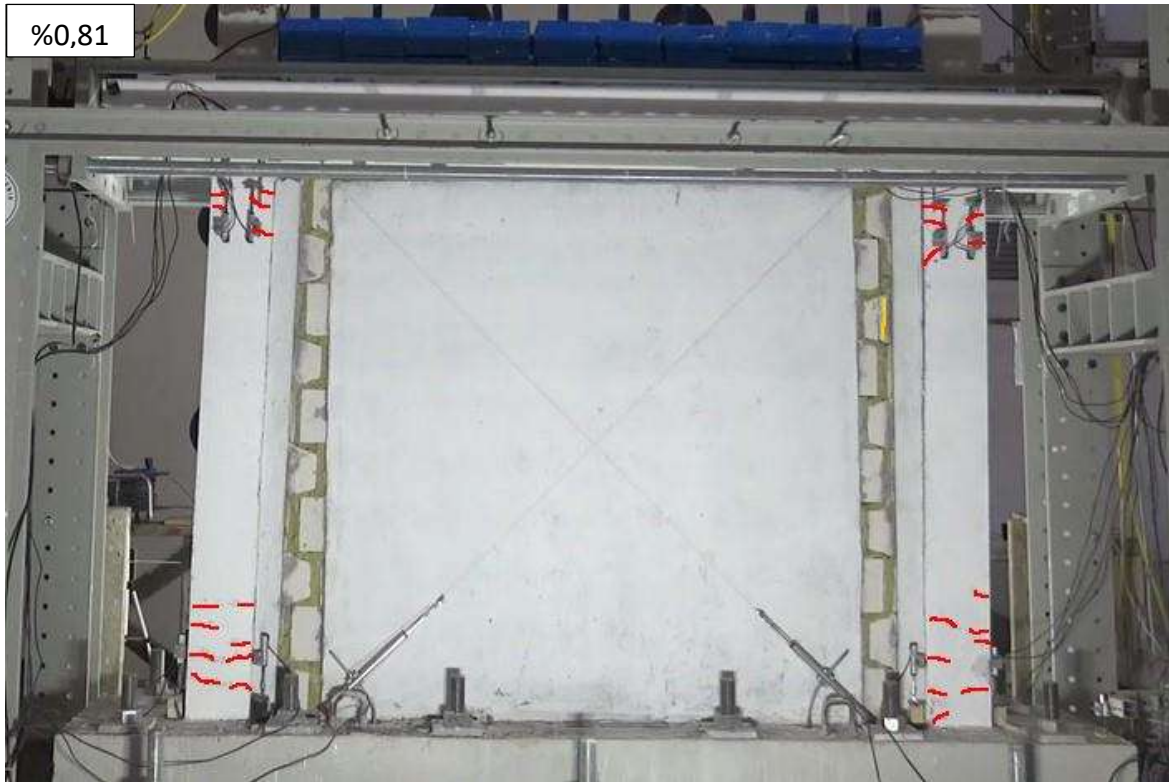
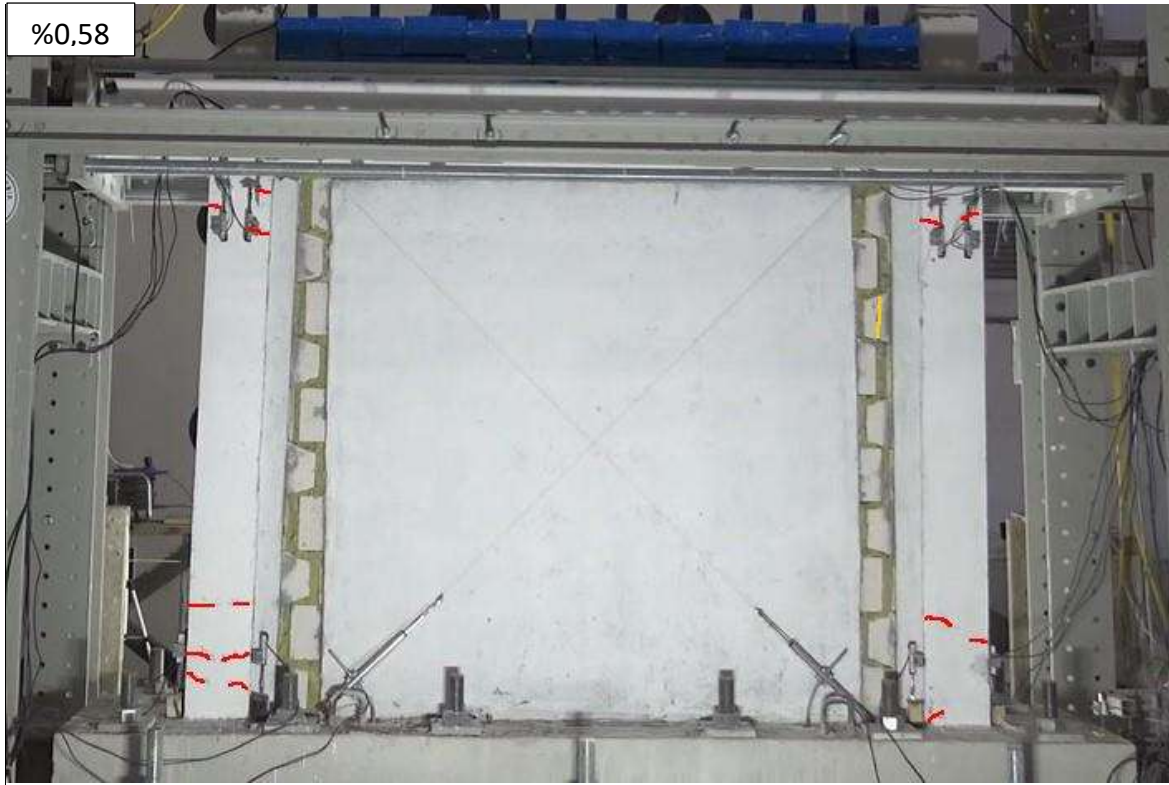
Şekil 3.12. T3Ç deneyi yük – öteleme oranı histeretik eğrisi

3.6.2. Hasar gözlemleri (T3Ç)

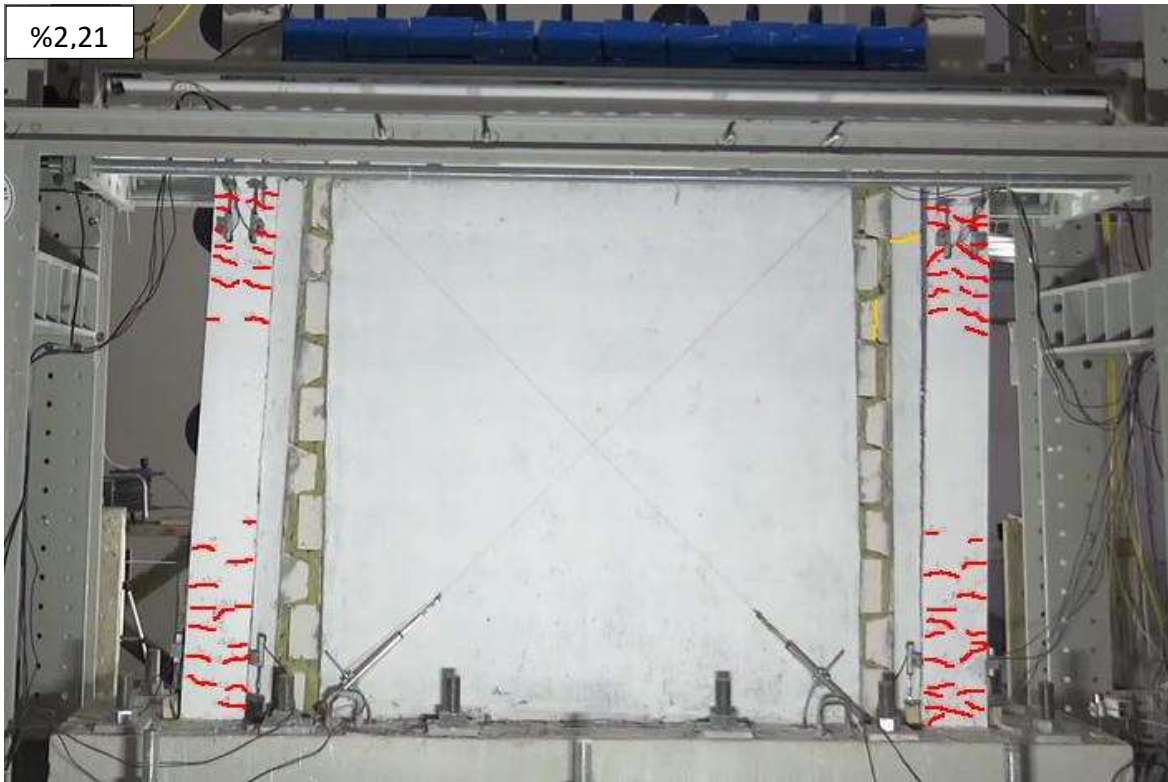
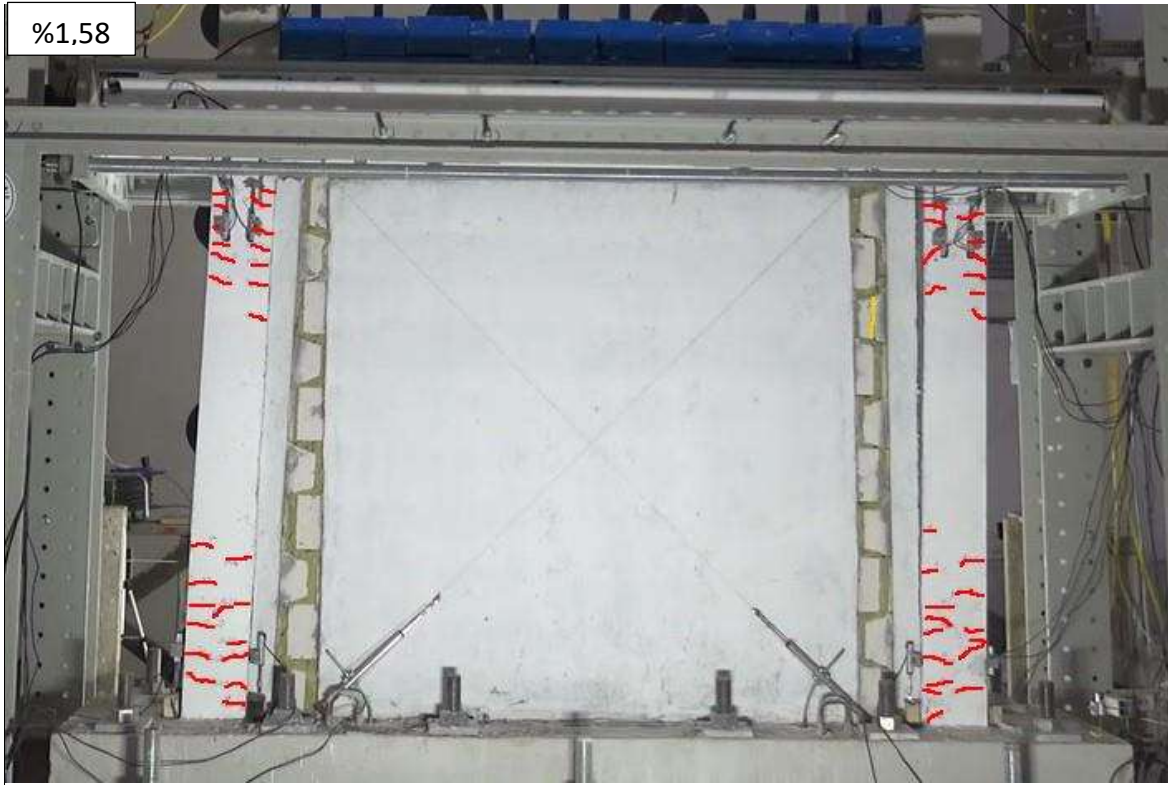
Şekil 3.13'te T3Ç numunesinin hasar gözlemleri sunulmaktadır. Yapılan incelemede, % 0,29 öteleme oranında kolonun alt uç bölgesinde belirgin olmayan ilk eğilme çatlakları tespit edilmiştir. %0,41 öteleme oranında kolonun üst ve alt 20 cm'lik uç bölgelerinde mevcut çatlakların belirginleşmiş; aynı bölgede yeni eğilme çatlakları oluştuğu gözlenmiştir. %0,58 öteleme oranında, bir önceki öteleme oranında gözlemlenen çatlakların ilerlemesine ek olarak, kolon alt ve üst uçlarının ilk 25 cm'lik bölgesinde yeni çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. %0,81 öteleme oranında, kolonların alt ve üst uçlarının sırasıyla 40 ve 60 cm'lik bölgelerinde yeni çatlaklar oluşmuş, mevcut çatlaklar ise belirginleşerek ilerlemiştir. %1,13 öteleme oranında tespit edilen hasar, kolon alt ve üst uçlarının 60 cm'lik bölgelerinde yeni ve mevcut çatlakların gelişmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Bu öteleme oranında, kolon alt ucuna yaklaşık 10 cm uzaklıkta karşılıklı çatlakların birleştiği görülmüştür. %1,58 öteleme oranında kolon-temel birleşiminde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Öte yandan, çoğunlukla mevcut çatlakların belirginleşerek ilerlediği, nadiren yeni çatlakların oluştuğu görülmüştür. %2,21 öteleme oranı ve sonrasında nadiren yeni çatlaklar oluşmuş, ancak mevcut çatlaklar ilerlemiştir.

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi T3Ç'deki esnek bağlantı detayı, ikişer adet karşılıklı geçmeli bloklar şeklinde tasarlanmıştır. Aralarına 35 mm boşluk bırakılarak yerleştirilen geçmeli blokların bir tarafı kolona tutturulmuş, karşılık gelen bloklar ise dolgu duvarın kenar bloklarını oluşturmuştur. %0,29 öteleme oranında, kolona yapışık olan esnek bağlantılı blokların, kolon ile aralarındaki düşey derzlerinde çatlaklar tespit edilmiştir. Kolon-geçmeli blok ara yüzeyinin üst kısımlarında gerçekleşen bu ayrılma, öteleme arttıkça kolon altlarına kadar ilerlemiştir. Kolona tutturulan bloklar, ötemeye bağlı olarak kolonun eğilmesiyle, hem yatay, hem de düşey hareket yapmıştır. %0,58 öteleme oranında, geçmeli blokların dişlerinden biri karşı bloğun dişi ile düşey etkileşimde bulunarak kırılmıştır. İmalat sırasında düşey hareket öngörülerek, dişlerin alt ve üst uçlarından üçgen parçalar kesilmiştir. Ancak bazı dişlerde bu kesimin yetersiz açıyla yapılması nedeniyle, dolgu duvar ile çerçeve etkileşimi %1,75 öteleme oranının öncesinde başlamıştır. Bu etkileşim tüm temas noktalarında hasara neden olmasa da, çerçevenin yük-deplasman davranışına yansımıştır. %1,75 öteleme oranında yapılan incelemelerde dolgu duvarın yükün uygulandığı taraftan kalktığı ve temel kirişi ile arasındaki yatay derz bağlantısının kırıldığı görülmüştür. %2,21 öteleme oranında da aynı davranış tekrar etmiştir.

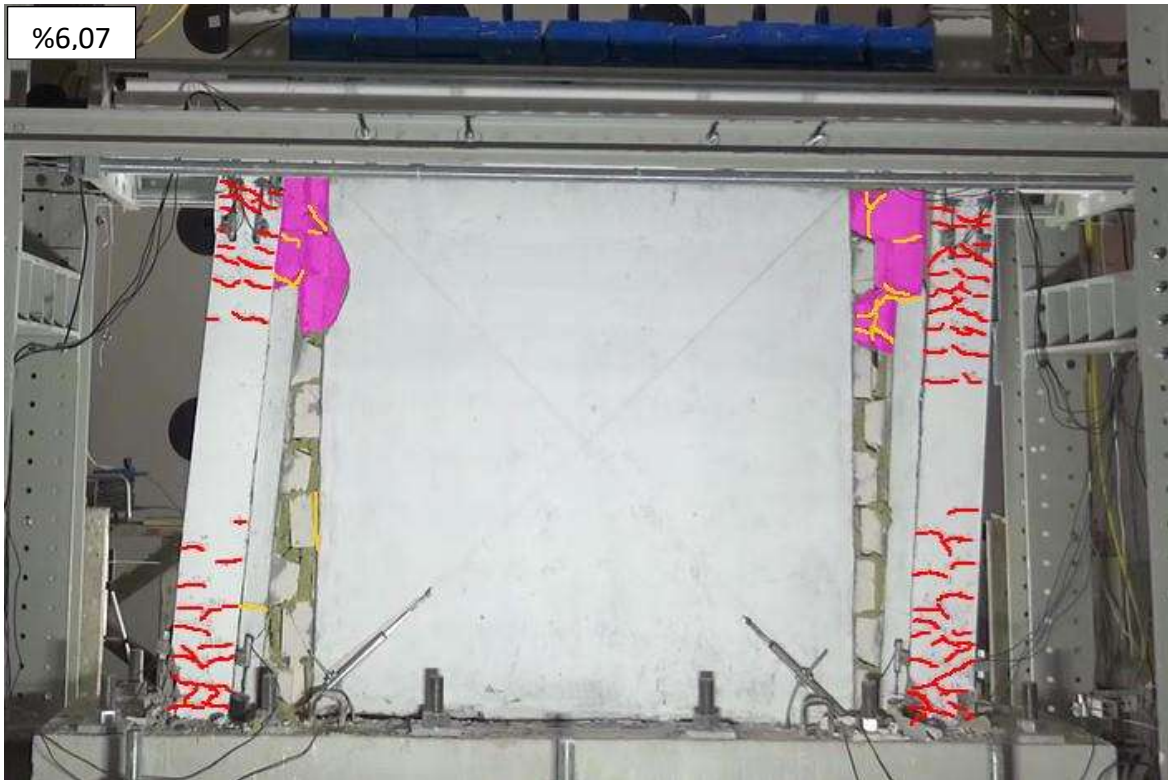
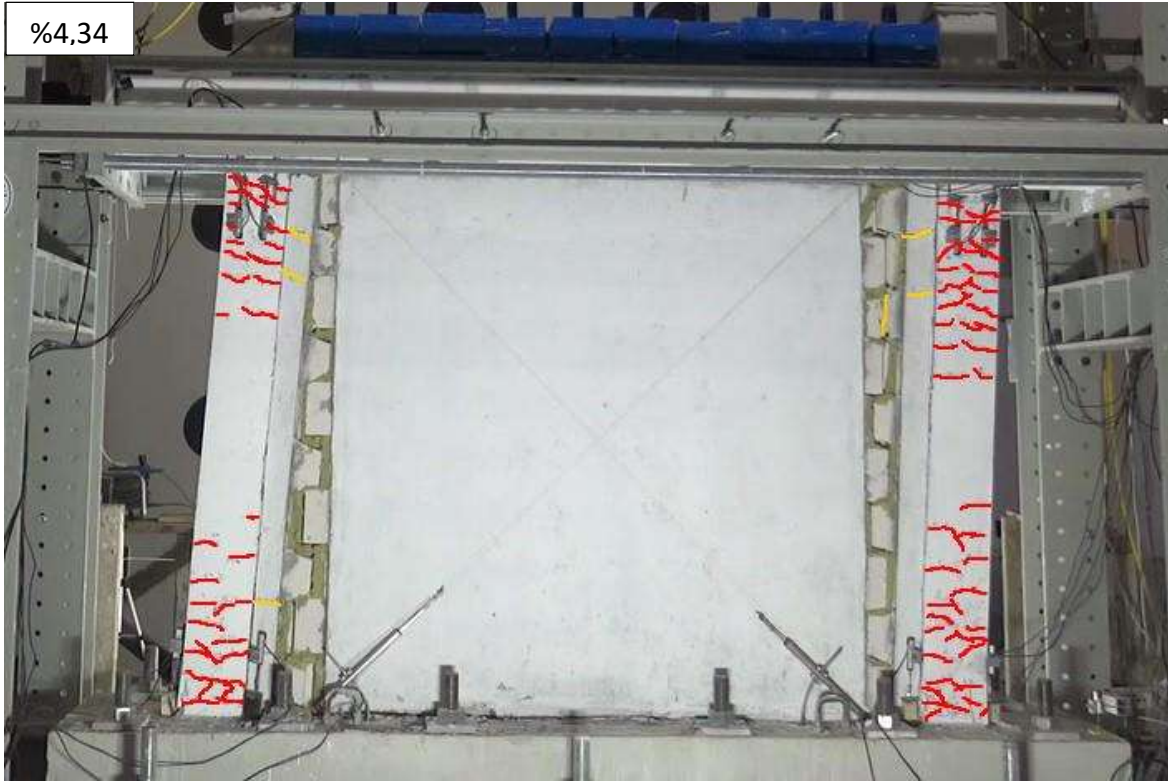
%3,10, %4,34 ve %6,07 öteleme oranlarında dolgu duvar, diğer esnek derzli çerçevelerde olduğu gibi düzlemi içinde dönme ve ötelenme hareketi yapmıştır. Ancak ötelemenin artmasıyla kolona bitişik blokların sıvalarında çatlaklar tespit edilmiştir. %6,07 öteleme oranının ilk çevriminde, dolgu duvarın maruz kaldığı çapraz basınç nedeniyle, üst köşelerdeki geçmeli bloklar ezilerek kırılmıştır. İkinci çevriminde ise, ilk çevrimde kırılan blok parçaları dökülmüş, yükleme esnasında dolgu duvar köşeleri boş kalmıştır.



Şekil 3.13. T3Ç numunesi: hasar gözlemleri



Şekil 3.13. T3Ç numunesi: hasar gözlemleri (devamı)



Şekil 3.13. T3Ç numunesi: hasar gözlemleri (devamı)

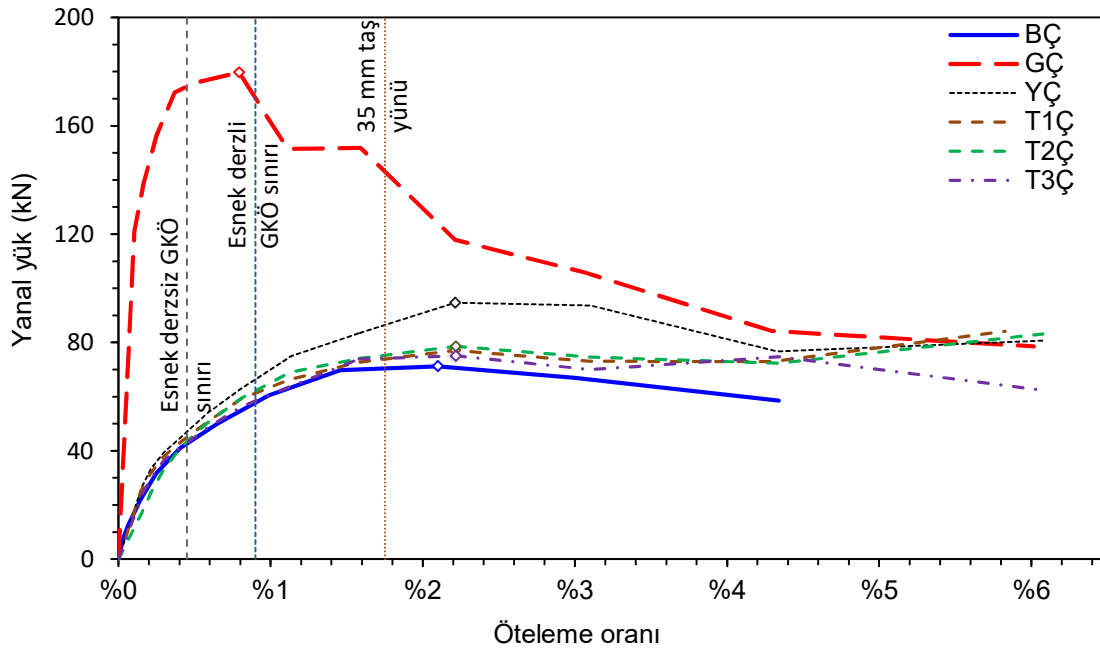
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, dolgu duvar çerçeve etkileşimini azaltmak üzere, 2018 TBDY’de sunulan esnek derz detayının yanı sıra, yeni tasarlanan esnek derz detaylarının davranışı kıyaslanmıştır. Esnek derzli çerçevelerin davranışlarının değerlendirilmesinde referans numuneler olan duvarsız BÇ ve geleneksel duvarlı (tam dolgulu) GÇ davranışları baz alınmıştır. Kıyaslamalar yük – deplasman davranışı, enerji tüketimi ve rijitlik açısından incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar 2018 TBDY’de esnek derzli durum için belirlenen görelî kat ötelemesi durumuna göre değerlendirilmiştir.

Literatürde dolgu duvarlar üzerine yapılan araştırmalarda, deneylerin %3,00 – %4,00 öteleme oranlarına kadar sürdürüldüğü; dolgu duvarlı çerçevelerde %25 - %30’ların üzerinde kapasite kaybı gerçekleşirken, boş çerçeve deneylerinin %10 - %20 kapasite kayıplarıyla tamamlandığı görülmektedir [76, 77, 93, 110, 111]. Bu çalışmada, BÇ deneyi %4,34 oranına kadar ötelenmiş; GÇ, YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç numuneleri ise, pratikte karşılaşılan bir öteleme olmasa da, esnek derzli dolgu duvarların da yük alması beklenerek, %6,07 oranına kadar ötelenmiştir.

Deneysel numunelerinin imalatlarının aynı şartlar altında gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir. İmalatlarda gösterilen hassasiyet, beton ve donatı yerleştirme işlemleri, kür şartları ve malzeme özelliklerindeki olası farklılıkları minimize etmekte, çerçeve davranışlarındaki farklılıkların kabul edilebilir düzeyde olmasını sağlamaktadır. Çerçeve numuneleri göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel dolgulu GÇ’nin davranışı ile boş (BÇ) ve esnek derzli çerçevelerin (YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç) düzlem içi davranışlarının tamamen farklı olacağı öngörülebilmektedir. Boş ve esnek derzli çerçeveler göz önünde bulundurulduğunda ise, esnek derzli çerçevelerin dolgu duvar ile etkileşimi öncesinde, yapısal elemanlarına tutturulan bileşenlere bağlı olarak, boş çerçeveye yakın davranış göstereceği, bu etkileşimden sonra da esnek derz özelliklerine bağlı olarak farklılıkların oluşacağı öngörülebilmektedir. Nitekim, Şekil 4.1 incelendiğinde, duvarsız BÇ, esnek derzli T1Ç, T2Ç ve T3Ç’nin dolgu duvar – çerçeve etkileşimi öncesinde yakın davranış gösterdiği görülmektedir. YÇ’nin davranışının BÇ ve diğer esnek derzli çerçevelerden ayrılmasının nedenine ise bu bölümde detaylıca yer verilecektir.

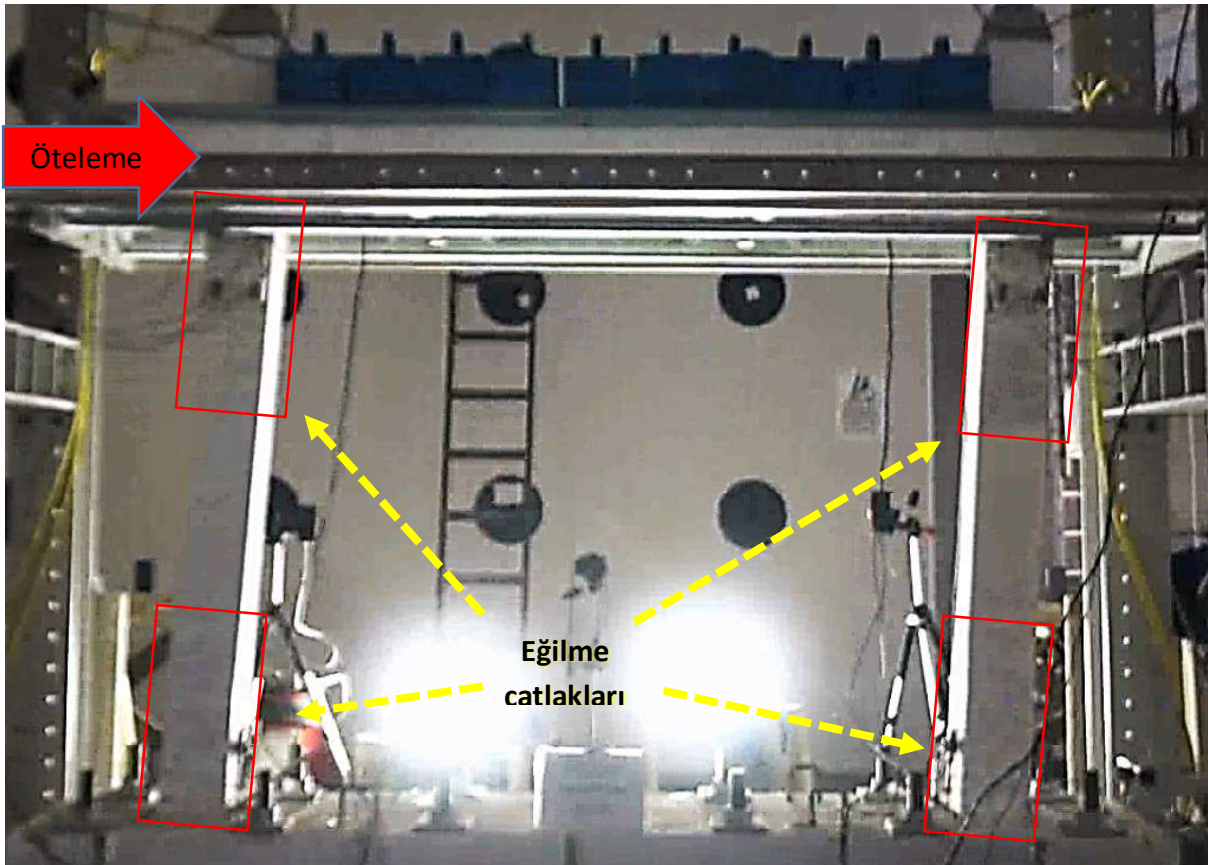
Çerçeve numunelerinin davranışları, her bir öteleme oranında uygulanan ikişer çevrimin ikincisinden elde edilen en büyük yanal yük noktalarının birleştirilmesiyle oluşturulan zarf eğrileri üzerinden değerlendirilmiştir. Çerçevelerden elde edilen zarf eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu bölümde, öncelikle referans numuneler olan geleneksel dolgu GÇ ve duvarsız BÇ’nin davranışı tartışılacaktır. Daha sonra, esnek derzli YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç’nin davranışları irdelenerek referans numuneler ile karşılaştırılacaktır.



Şekil 4.1. Zarf eğrileri karşılaştırılması

Şekil 4.1’deki zarf eğrilerinden görüldüğü gibi, geleneksel dolgu duvarlı GÇ numunesinin düzlem içi davranışı, diğer boş ve esnek derzli çerçevelerden çok daha farklı bir karakterdedir. İlk ötelemelerden itibaren, GÇ’nin davranışına önemli ölçüde dolgu duvarlar hâkim olmuştur. Dolgu duvarlardaki çatlak gelişimi çoğunlukla gazbeton blokların üzerinde oluşmuştur. İlk adımda uygulanan %0,15 öteleme oranında GÇ oldukça rijit bir başlangıç yaparak 120,8 kN yanal yüke ulaşmış, ancak bu öteleme adımından itibaren kapasitesine ulaşana kadar, dolgu duvarda meydana gelen diyagonal çatlaklar neticesinde, davranışını daha küçük yük artışlarıyla sürdürmüştür. GÇ numunesi, yaklaşık %0,40 - %0,80 öteleme oranı aralığında dolgu duvarda tespit edilen yatay çatlak gelişimi sürecinin sonunda, 179,67 kN ile kapasitesine ulaşmıştır. Bu aşamada dolgu duvarda görülen yatay çatlakların kayma mekanizmasına dönüşmesiyle yanal

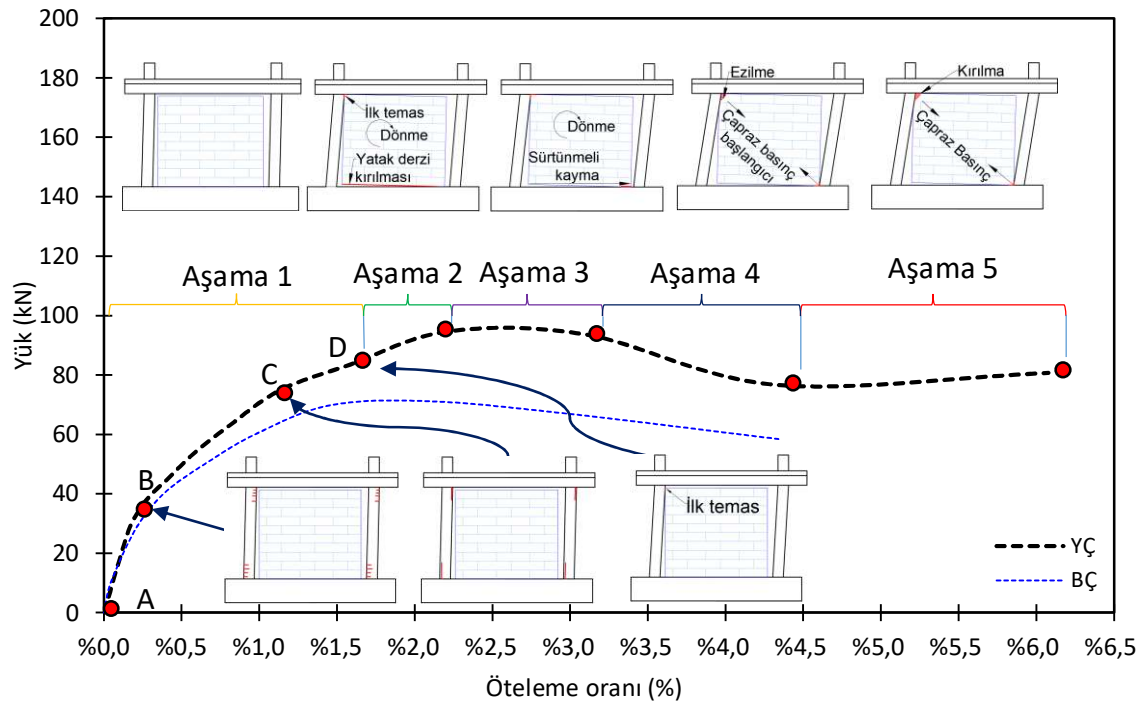
öteleme oranında BÇ, rijitliğinde gerçekleşen azalma ile, doğrusala yakın davranış gösterdiği ikinci bir safhaya geçmiştir. %0,30 - %1,40 öteleme oranları arasında kalan bu bölgede kolon uçlarında çatlak oluşumu başlamıştır. %1,40 öteleme oranından sonra kolon uç kesitlerinde boyuna donatılar akma sınırına ulaşmış ve oluşan çatlaklar belirgin hale gelmeye başlamıştır. Yaklaşık %2,10 öteleme oranında, davranış eğrisinin yumuşak bir geçiş ile 71,20 kN'lik kapasitesine ulaştığı ve sonrasında eğiminin azaldığı görülmektedir. BÇ'de görülen davranış, literatürde farklı çalışmalarda sunulan boş çerçevelerin davranışlarıyla benzer karakterdedir [17, 93, 114, 115]. BÇ'de tespit edilen hasarlar, beklendiği gibi kolon uçlarında eğilme hasarı şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.3). Çerçevelerin boyuna donatılarından gerinim ölçümleri alınmamasına rağmen, eğilme hasarı gözlemleri ve yük-deplasman eğrisine bakılarak, BÇ çerçevesinin sünek bir davranış sergilediği söylenebilir.



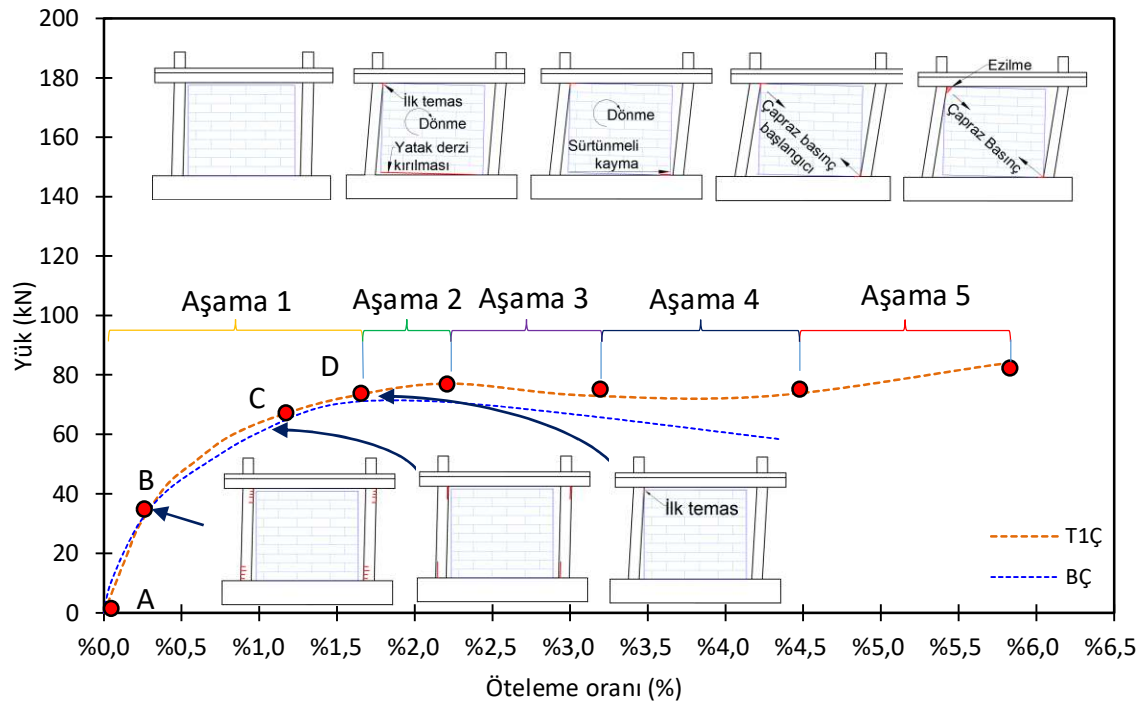
Şekil 4.3. BÇ'de gözlemlenen tipik hasarlar

Esnek derzli YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç numunelerinin davranışı, kısmen BÇ'ye yakın; GÇ'den oldukça farklı bir karakterdedir. Esnek derzli çerçevelerin her birinde, bağlantı elemanlarına özgü davranış farklılıklarıyla birlikte, farklı yanal kapasiteler elde edilmiştir. Ancak, bu numunelerin genel davranışları benzer karakterdedir. Daha anlaşılır olması açısından esnek derzli çerçevelerin davranışları, YÇ için Şekil 4.4'te, T1Ç için Şekil 4.5'te, T2Ç için Şekil 4.6'da, T3Ç için Şekil 4.7'de sunulan zarf eğrileri ve gözlemlenen hasarların basitleştirilmiş gösterimleri üzerinden yorumlanmıştır.

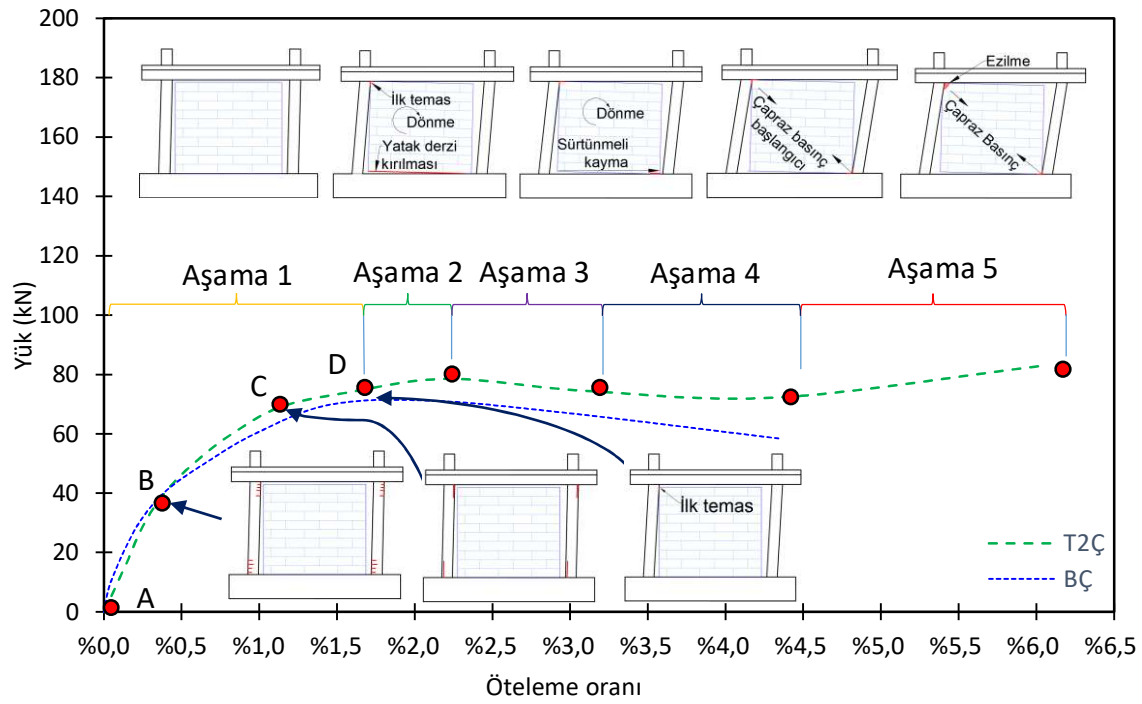
Esnek derzli çerçevelerin davranışı, özellikle esnek derz boşluğunun kapandığı yaklaşık %1,75 öteleme oranına kadar (Şekil 4.4 - Şekil 4.7; Aşama-1) BÇ ile benzerdir. Bu çerçeveler, A ile B noktaları arasındaki yaklaşık %0,30 öteleme oranına kadar olan bölgede, BÇ'de de olduğu gibi, doğrusal bir davranış göstermiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.4 -Şekil 4.7). Eğilme çatlakları, deneylerde göz ile yaklaşık %0,41 öteleme oranında tespit edilse de, B noktasından sonra kolon uç bölgelerinde kılcal düzeyde eğilme çatlakları belirdiği, boyuna donatılar çekme kuvvetini almaya başladığı ve eğri eğiminin azaldığı anlaşılmaktadır. C ile D noktaları arasında, kolon uç bölgelerindeki boyuna donatılarda uzamanın başlamasıyla, yük deplasman eğrisinin eğiminde ikinci bir azalma gerçekleşmiştir. Şekil 4.4 - Şekil 4.7'deki Aşama-1 olarak adlandırılan bölgede, esnek derzli çerçevelerde genel olarak BÇ'ye yakın bir davranış elde edilmiştir. Ancak, daha önce de ifade edildiği gibi, olası işçilik ve malzeme özelliklerindeki farklılıklar, çerçeveler arasında az da olsa farklı yanal yüklerin elde edilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, 2018 TBDY'de sunulan esnek derz detayının uygulandığı YÇ'ye uygulanan U-profillerinin flanşlarında gözlemlenen yanal burkulmalar (Şekil 4.8a), profillerin de kolonlarla birlikte yük aldığı göstermektedir. Nitekim U-profillerinin yanal dirence sağladığı katkı neticesinde YÇ'den; BÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç'ye nispeten daha rijit davranış elde edilmiştir. Ayrıca, Aşama-1'de %0,58 öteleme oranında T3Ç'nin geçmeli olarak üretilen dişi bağlantı elemanlarından ikisinin teması sonucunda, kolon tarafındaki blok kırılmış (Şekil 4.8b), ancak bu etkileşim yük-deplasman davranışını etkilememiştir.



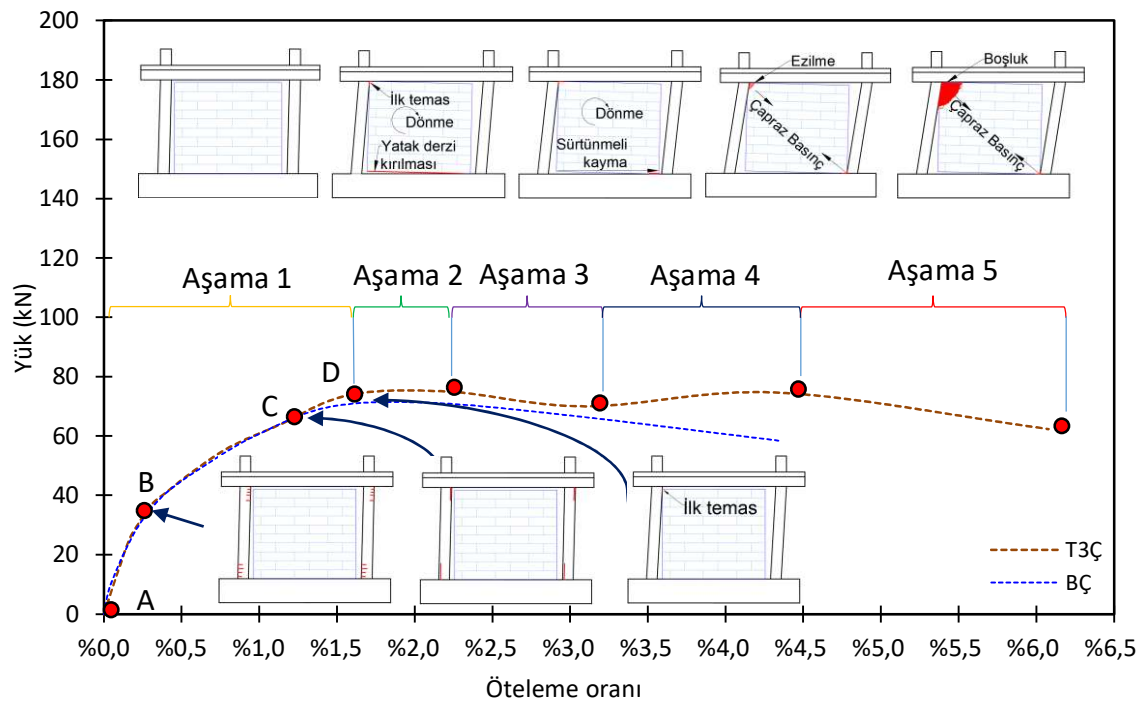
Şekil 4.4. YÇ'nin düzlem içi davranış gösterimi



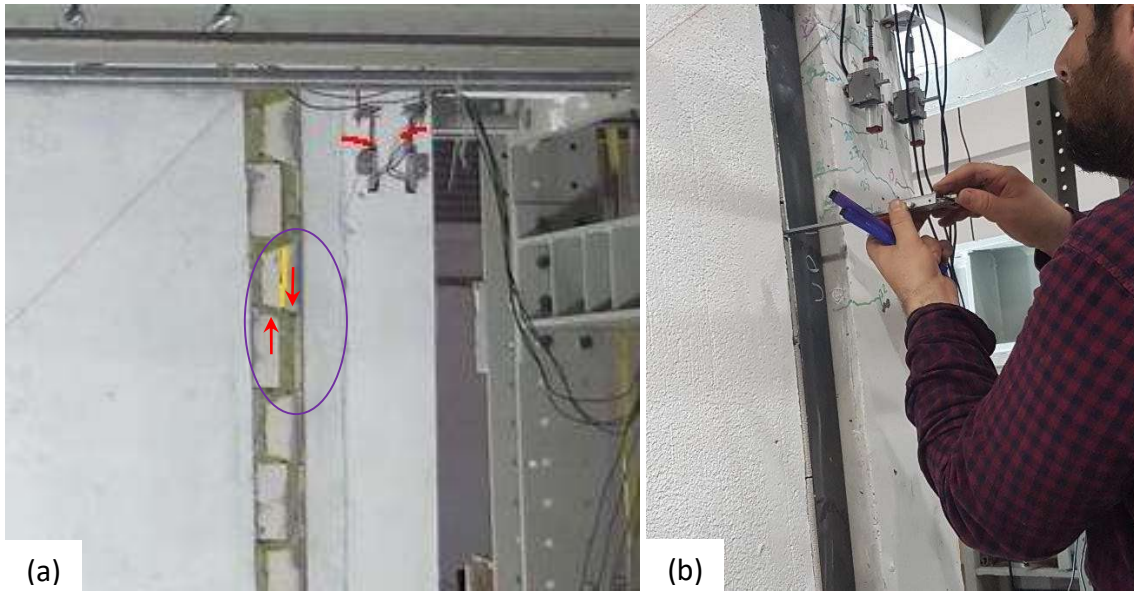
Şekil 4.5. T1Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi



Şekil 4.6. T2Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi



Şekil 4.7. T3Ç'nin düzlem içi davranış gösterimi



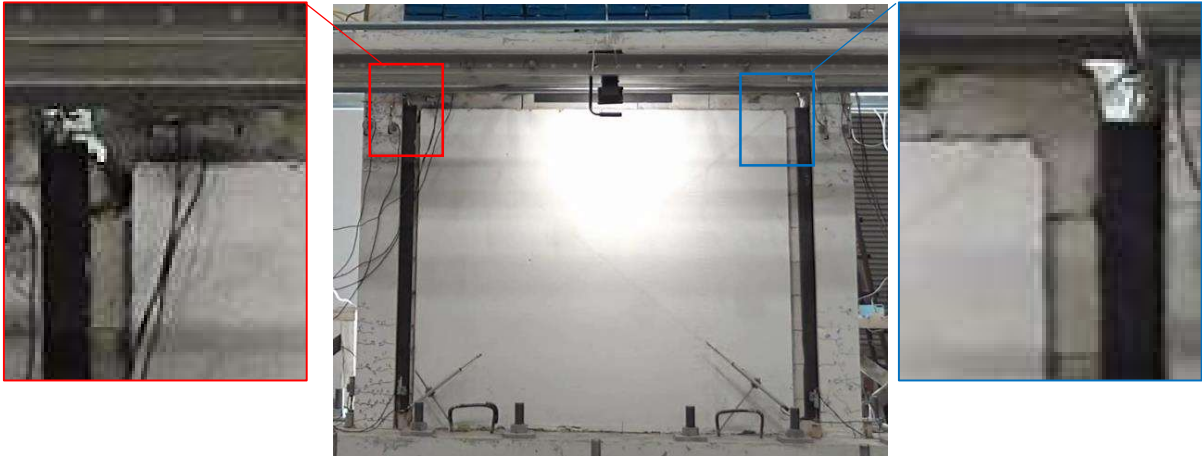
Şekil 4.8. (a) T3Ç'nin dışı bağlantı elemanında gerçekleşen kırılma, (b) YÇ'nin U profilinde yanal burkulma gözlemi

Şekil 4.4 -Şekil 4.7'deki D noktasından itibaren, esnek derzli çerçevelerin davranışında, betonarme çerçeve ile birlikte dolgu duvarlar da etkili olmuştur. Esnek derzli çerçevelerin taşıyıcı kalınlıklarının %1,75 öteleme oranına karşılık gelen 35 mm olması planlanmıştır. T3Ç'nin dışı esnek derz bloklarından birinin %0,58 öteleme oranında kırılmasına rağmen, esnek derzlerin kapanarak duvarla tam etkileşimin başlaması yaklaşık %1,75 öteleme oranında gerçekleşmiştir.

Bütün esnek derzli çerçevelerde, yaklaşık D noktasında esnek derz boşluğu kapanmış, çerçeve ile dolgu duvarların etkileşimi başlamıştır. %1,75 - %2,21 öteleme oranı aralığındaki Aşama-2 olarak adlandırılan bölgede, betonarme çerçevelerin itmesiyle, dolgu duvarlar yükün uygulandığı taraftan kalkarak düzlemi içinde dönme hareketi yapmıştır (Şekil 4.4 -Şekil 4.7). Bu hareket neticesinde dolgu duvarlar ile rijit temel arasındaki yatak derzleri kırılmıştır. Aşama-2'de, dolgu duvarlarla etkileşimlerinin de etkisiyle, esnek derzli çerçevelerde, BÇ'ye kıyasla daha fazla yanal yük artışı gerçekleşmiştir. BÇ yanal kapasitesine %2,10 öteleme oranında 71,20 kN ile ulaşırken, esnek derzli çerçeveler yanal kapasitelerine %2,21 öteleme oranında ulaşmıştır. Yanal kapasiteler YÇ'de U-profillerinin de etkisiyle 94,68 kN; T1Ç'de 77,05 kN; T2Ç'de 78,53 kN; T3Ç'de ise 74,98 kN olarak elde edilmiştir.

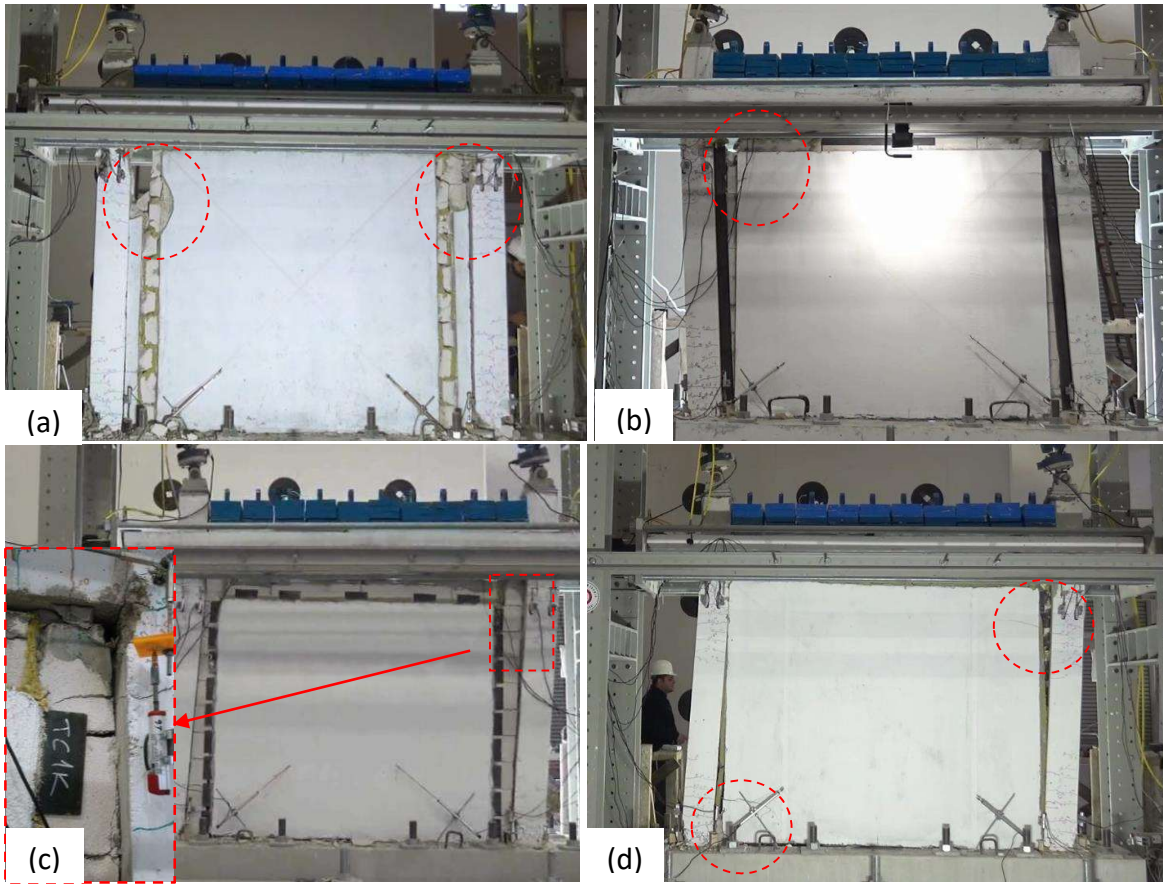
Aşama-2’de, hem betonarme çerçevelerin kapasitelerine ulaşması, hem de dolgu duvarın çerçeve ile bağlarını koparmasının sonucunda, bütün esnek derzli çerçevelerin yanal dirençleri Aşama-3’te düşüşe geçmiştir. Önceki aşamada dolgu duvarları betonarme çerçevelere sabitleyen yatak derzleri kırıldığı için, Aşama-3’te dolgu duvarlar serbest kalmıştır. Bu aşamada dolgu duvarların düzlem dışı hareketini bağlantı elemanları kısıtlarken, düzlem içi hareketinde çerçeve-dolgu duvar arasındaki sürtünme etkili olmuştur. Dolgu duvarlar Aşama-3’ten itibaren, uygulanan her bir ötelemede, yükün uygulandığı taraftan kalkarak düzlemi içinde dönmüş, bununla birlikte, temel betonu üzerinde sürüklenmiştir. Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi, Aşama-3’te esnek derzli çerçevelerde BÇ’den daha az direnç kayıpları görülmektedir. Bu aşamada bütün esnek derzli çerçevelerden elde edilen yanal dirençlerde, dolgu duvar etkileşiminin sağladığı katkıların yanında, YÇ’de kullanılan U-profillerinin de etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Esnek derzli dolgu duvarlar, önceki aşamada olduğu gibi, Aşama-4’te de dönme ve ötelenme hareketi yapmıştır. YÇ, T1Ç ve T2Ç’nin yanal dirençlerinin bu aşamada azaldığı görülmektedir. YÇ, T1Ç ve T2Ç’nin temel üzerinde sürüklenen dolgu duvarlarının ötelemelere direnmesi, bununla birlikte, YÇ’deki U-profillerinin sağladığı mukavemet, yanal direnç kaybının BÇ’den daha az olmasını sağlamıştır. Aşama-4’ün başlarında T3Ç’deki bağlantı elemanlarının kolon tarafındaki bloklarının dişleri, kolonların eğilmesine bağlı olarak, duvar tarafındaki blokların dişleri ile temas etmiştir. Bu temas, dolgu duvarın yük almasına ve T3Ç’nin yanal direncinin artmasına neden olmuştur. T3Ç, bu hareketi nedeniyle, YÇ, T1Ç ve T2Ç’nin gösterdiği genel davranışın dışına çıkmıştır. Öte yandan, Aşama-4’ün sonlarında YÇ’nin dolgu duvar köşeleri, çerçeve köşeleri ile temas ederek sıkışmıştır. Bu temas neticesinde YÇ’nin dolgu duvarının üst köşeleri ezilmiştir (Şekil 4.9). T1Ç ve T2Ç’nin esnek derzleri bu aşamada kapanarak yük almaya başlamış, ancak ezilmemiştir.



Şekil 4.9. YÇ'nin dolgu duvarında gözlemlenen köşe ezilmesi

Aşama-5'te YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç'nin esnek derz boşlukları kapanmış, dolgu duvarlar yük altına girmiştir. YÇ ve T3Ç'nin dolgu duvarları yük taşımaya önceki aşamada başlarken, T1Ç ve T2Ç'nin dolgu duvarları ilk olarak bu aşamada çapraz basınca maruz kalmıştır. T3Ç'nin dolgu duvarının üst köşelerindeki bloklar, Aşama-5'te hasar alarak dökülmüş (Şekil 4.10a), bu nedenle yanal direncinde azalma gerçekleşmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.7). Bu aşamada YÇ'nin dolgu duvarının sol köşesinde küçük bir parçanın kırılmasına rağmen, dolgu duvar köşeleri T3Ç'deki kadar boşalmamıştır (Şekil 4.10a, b). Dolayısıyla, ötelemenin arttıkça dolgu duvar çapraz basınç olarak yanal direncini artırmıştır (Şekil 4.7). T1Ç ve T2Ç'nin ise dolgu duvar köşelerinde küçük ezilmeler gerçekleşmiştir (Şekil 4.10c, d). Bu çerçevelerden, T1Ç'deki ezilme U-profillerinin içinde kalmıştır. T2Ç'de ise dolgu duvar köşelerine yakın bölgelerde çatlak oluşmuştur. T1Ç ve T2Ç'nin dolgu duvarlarında dökülme meydana gelmediği için, dolgu duvarlar çapraz basınç olarak yanal direnci artırmıştır (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.10. Esnek derzli çerçevelerdeki dolgu duvar hasarı gözlemleri, (a) T3Ç, (b) YÇ, (c) T1Ç, (d) T2Ç

Çerçeveler genel olarak değerlendirildiğinde, esnek derzli çerçeveler kapasitelerine ulaşmadan önce boş çerçeveye yakın bir davranış göstermiştir. Deneilerin başlangıcında çerçevelerin doğrusal davranış gösterdiği %0,29 öteleme oranında, BÇ ve esnek derzli çerçevelerden elde edilen rijitliklerin yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). YÇ'deki U-profillerinin başlangıç rijitliğine katkısı da Çizelge 4.1'den anlaşılmaktadır. GÇ'nin davranışına bakıldığında ise henüz ilk ötelemeye diğer çerçevelere göre aşırı rijit davranarak rijitliğini kaybetmiştir (Şekil 4.11a). BÇ ve esnek derzli çerçeveler yanal kapasitelerine %2,10-%2,21 öteleme oranlarında ulaşırken, GÇ gevrek bir davranış göstererek yaklaşık %0,80 öteleme oranında ulaşmıştır.

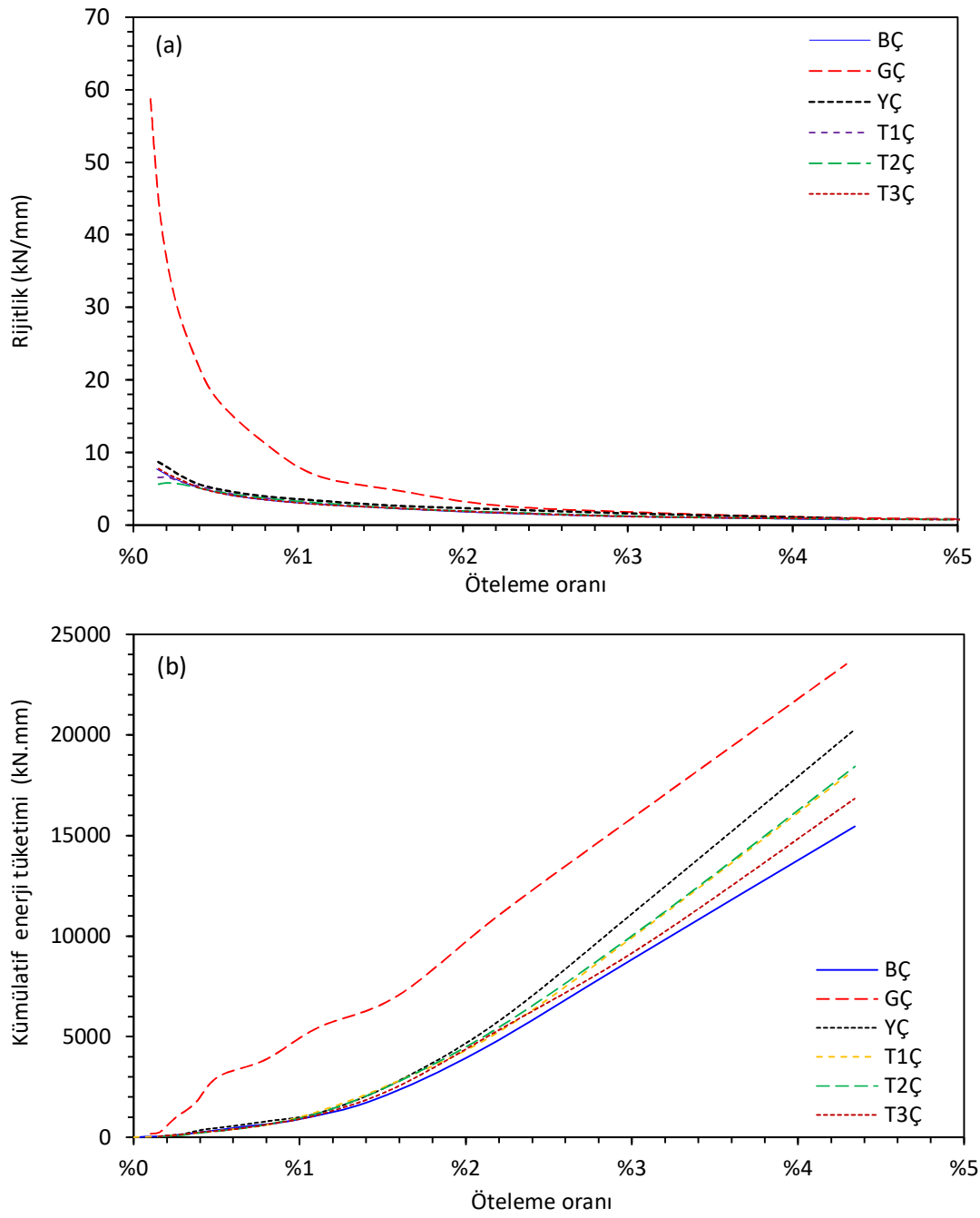
Çizelge 4.1. Önemli noktalardaki yük, rijitlik ve kümülatif enerji değerleri

Çerçeve Numunesi	Başlangıç		Maksimum yük			Kümülatif enerji*		
	Öteleme oranı (%)	Rijitlik (kN/mm)	Öteleme oranı (%)	Rijitlik kN/mm	Yük kN	Öteleme oranı (%)	Enerji $kN \times mm$	Kapasite oranı (%)
BÇ	%0,29	6,1	%2,10	1,7	71,2	%4,34	15458,7	%82,11
GÇ	%0,14	58,7	%0,81	11,3	179,7	%1,58	7037,5	%84,50
YÇ	%0,29	6,7	%2,21	2,1	94,7	%4,34	20191,1	%81,00
T1Ç	%0,29	5,9	%2,21	1,7	77,1	%4,34	17992,0	%94,65
T2Ç	%0,29	5,6	%2,21	1,8	78,5	%4,34	18437,8	%92,05
T3Ç	%0,29	6,1	%2,21	1,7	75,0	%4,34	16830,9	%99,52

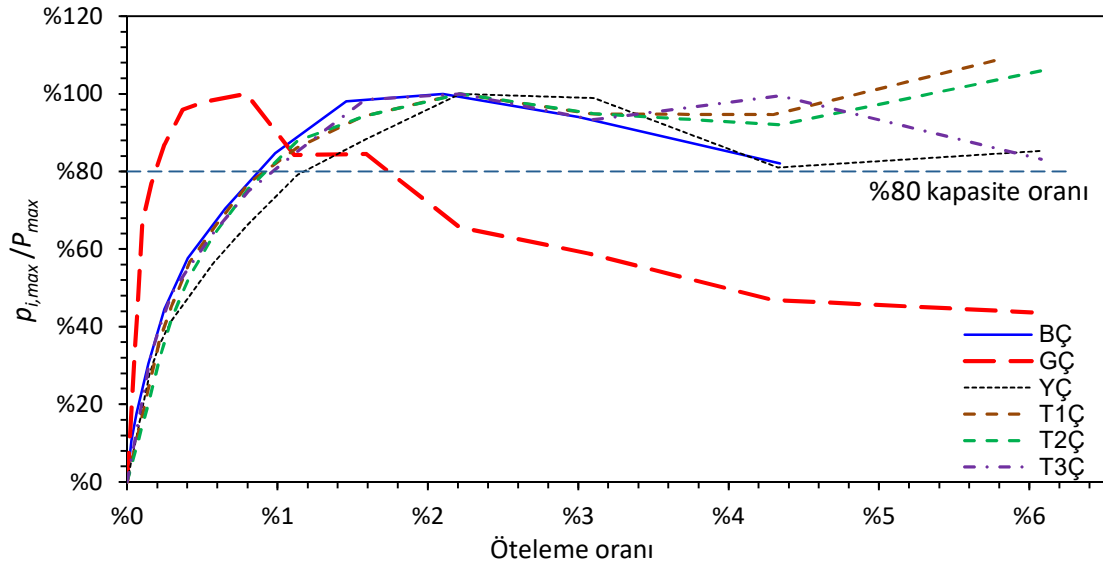
*%80 kapasite oranına en yakın çevrimlere kadar hesaplanmıştır.

Dolgu duvarlar geleneksel dolgu duvarlı GÇ’de ağır hasar alarak çerçevenin yanal direncini hızla kaybetmesine neden olmuştur (Şekil 4.1 Şekil 4.12). Esnek derzli çerçevelerde ise, dolgu duvarlar yaklaşık %1,75 öteleme oranından itibaren yanal dirence katkı sağlamış, %6,07 gibi aşırı ötelemelere kadar yanal direncin korunmasını sağlamıştır. Şekil 4.12’de düşey eksen, her bir ötelemede elde edilen yanal yükün ($p_{i,max}$), yanal kapasiteye (P_{max}) oranını göstermektedir. Görüldüğü gibi esnek derzli çerçevelerde kapasiteye ulaşıldıktan sonra gerçekleşen direnç kayıpları %20’nin altında kalmıştır. Bununla birlikte son öteleme oranında T3Ç haricindeki esnek derzli çerçevelerin yanal dirençleri artmıştır.

Şekil 4.11b’de görülen kümülatif enerji tüketimi kıyaslamalarında, %20 kapasite kaybı ve kümülatif enerji hesabı için gereken deneysel verinin mevcudiyeti esas alınmıştır. Deneysel verilerde %4,34 öteleme oranının ötesi için enerji hesabı yapılmak üzere yeterli veri bulunmamaktadır. Ayrıca YÇ, T1Ç, T2Ç’den elde edilen yanal direnç kayıpları %20’ye %4,34 öteleme oranında yaklaşmış, GÇ’de ise %1,58 öteleme oranında yaklaşmıştır. Bu nedenle, Çizelge 4.1’de BÇ ve esnek derzli çerçevelerin %4,34 öteleme oranındaki; GÇ’nin ise %1,58 öteleme oranındaki kümülatif enerji değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11. (a) Rijitlik ve (b) kümülatif enerji tüketim eğrileri



Şekil 4.12. Kapasite oranı eğrileri

5. NÜMERİK ÇALIŞMA

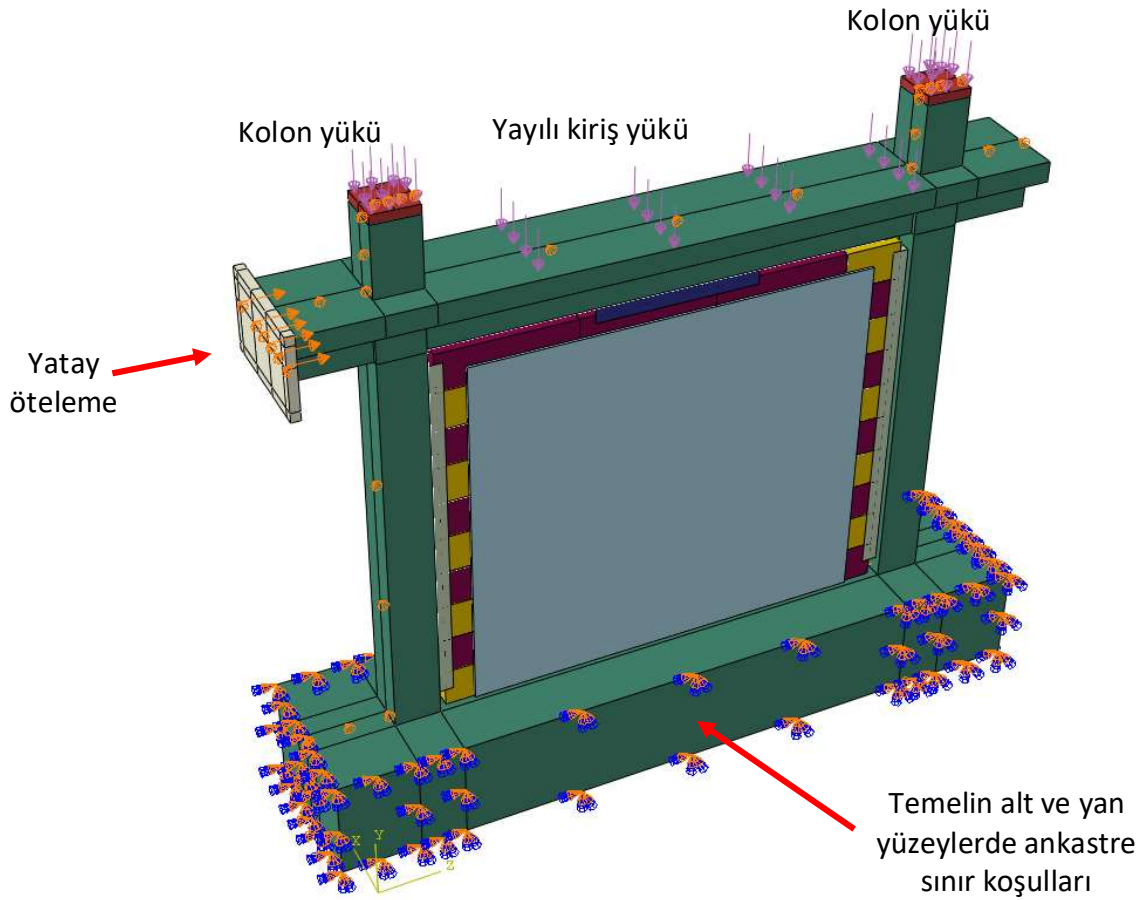
Çalışmanın bu bölümünde, betonarme çerçeve numunelerinin sayısal modelleri oluşturulmuş, deneysel düzlem içi davranışlarından yararlanılarak kalibrasyonları yapılmıştır. Modellerin hazırlanmasında, literatürde mevcut olan modelleme teknikleri ve yaklaşımları kullanılmıştır. Bununla birlikte, model davranışında önemli etkisi bulunan beton gerilme – birim şekil değiştirmesini tahmin eden bir bağıntı ortaya çıkarılmıştır. Araştırmanın bu kısmının temel amacı, dolgu duvarlı çerçevelerin düzlem – içi yük deplasman davranışını yeterli doğrulukta tahmin edebilen sayısal modeller sunmaktır.

5.1. Modelleme Çalışması

Bu çalışmada deneysel olarak incelenen betonarme çerçeve numunelerinin nümerik modellerinin oluşturulmasında ve çözümlerinde Abaqus sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır. Nümerik çözümlerde doğrusal olmayan açık formlu (explicit) dinamik çözüm metodu kullanılmıştır [116]. Bu çözüm yöntemi, yüksek miktarda kontakt problemi içeren dolgu duvar ve doğrusal olmayan betonarme elemanların modellerde görülen gevrek hasar/ani rijitlik kayıplarının neden olduğu nümerik stabilite ve ıraksama sorunları ile karşılaşmamak amacıyla tercih edilmiştir.

5.1.1. Yük ve sınır koşulları

Sonlu eleman modellerine uygulanan sınır koşulları ve yükler gibi dış etkiler Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Modellerde kolon yükleri ve yatay ötelemeler, gerilme yoğunlaşmasını engellemek için, bu elemanların uçlarına tanımlanan çelik plakalara uygulanmıştır. Deneylerde çerçeve temellerinde yatay ve düşey doğrultularda ihmal edilecek büyüklüklerde yer değiştirmeler ölçülmüştür. Ancak bu durum analizlere ihmal edilmiş, sonlu eleman modellerinin temellerinin alt ve yan yüzeylerindeki düğüm noktalarının bütün serbestlikleri tutulmuştur.



Şekil 5.1. Sonlu elemanlara uygulanan yük ve sınır koşulları

Deneysel yapılar ölçümlerinde, kolon yüklerinin çerçeve ötelemesine bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Sonlu eleman modellerine ise kolon yükleri ötelemeye bağlı olarak, %0, %4,34 ve %6,07 öteleme oranlarında sırasıyla 100 kN, 0 kN ve 0 kN olacak şekilde idealleştirilmiş doğru parçalarıyla tanımlanmıştır. Yükler, Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi her bir kolona yerleştirilen çelik plakaların yüzeylerine yayılı olarak uygulanmıştır.

Deneysel numunelerinde dolgu duvar ve döşemelerden aktarılan yükleri temsil etmek üzere kiriş boyunca yerleştirilen çelik ağırlıklar, sayısal modellere tabla üzerine uygulanan yayılı yük olarak yansıtılmıştır. Çerçeve ötelemeleri ise kiriş seviyesinden monotonik olarak uygulanmıştır. Deneysel ikinci çevrimlerden elde edilen zarf eğrileri çatlamış kesit davranışını ifade ettiği için, monotonik ötelemelerle gerçekleştirilen bu sayısal çalışmada birinci çevrimlerin zarf eğrileri elde edilmeye çalışılmıştır.

Deney numunelerini zemine sabitlemek için üretilen temeller, kesit olarak kolonlardan çok daha güçlü olduğu için rijit varsayılmaktadır. Dolayısıyla sayısal modelleri temel olmadan da oluşturmak mümkündür. Ancak kolon boyuna donatılarının betonarme temel kirişi içinde devam ederek kenetlendiği göz önünde bulundurulduğunda, temelin bu bölgelerinde az da olsa şekil değiştirmelerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Nitekim temelde oluşan gerilmeler ilerleyen bölümlerde sunulan analiz sonuçlarında da görülmektedir. Bu durum kolon-temel bağlantısının ankastreliğini az da olsa etkileyecektir. Eleman davranışlarının daha gerçekçi elde edilmesi amacıyla bu çalışmada oluşturulan nümerik modellere betonarme temel kirişleri de dâhil edilmiştir. Ancak, nümerik modellerde donatıların betondan sıyrılma durumu ihmal edilmiş, beton – donatı bağlantıları tam aderans varsayımıyla tanımlanmıştır.

5.1.2. Beton, sıva ve gazbeton malzeme modeli

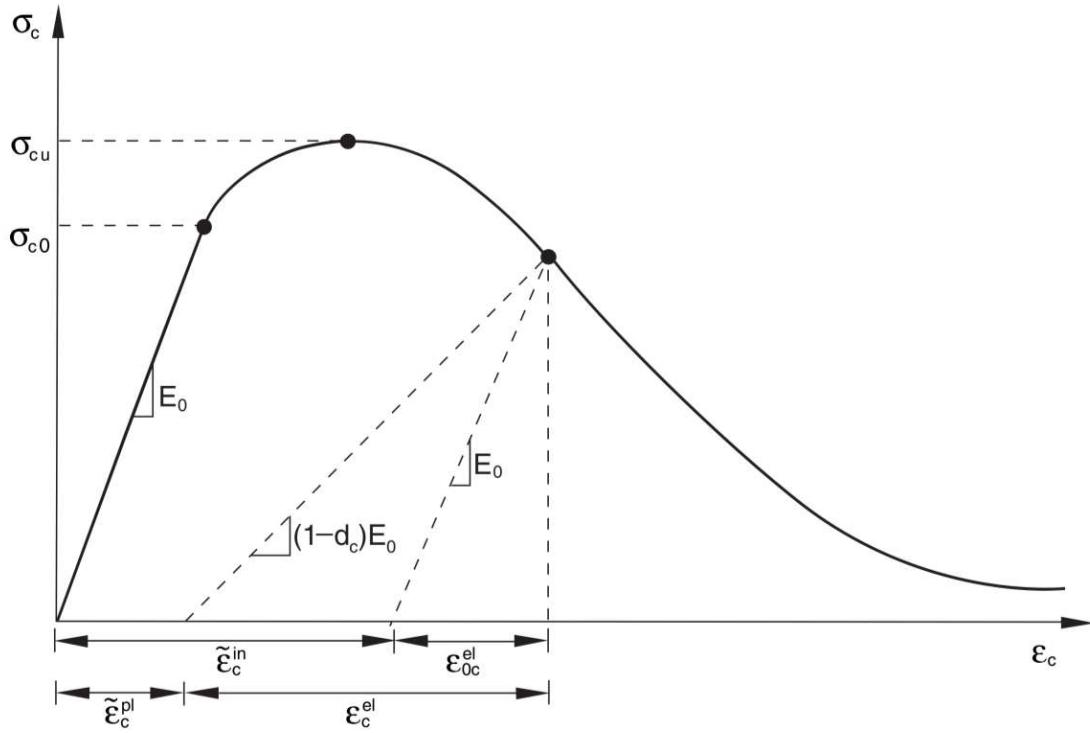
Doğrusalsızlığı yüksek olan betonun davranışı, çelik gibi homojen ve sünek yapıdaki malzemelere göre oldukça farklıdır. Farklı boyut ve mekanik özelliklerde tanecikler ve bu tanecikleri birbirlerine bağlayan farklı kimyasal bağlar içermesi, mekanik davranışının karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Örneğin, çekme ve basınç altındaki davranışının farklı karakterlere sahip betonun hasar davranışı, maruz kaldığı yanal basınca göre değişkenlik göstermekte, düşük hidrostatik basınç altında daha gevrek iken; yüksek hidrostatik basınç durumunda daha sünek davranmaktadır [117]. Bu nedenle çok eksenli gerilmeler altında elastik ötesi davranışını ve kırılma mekanizmasını dikkate alan karmaşık malzeme modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmadaki nümerik modellerde, betonun davranışı Abaqus yazılımı kütüphanesinde bulunan Concrete Damaged Plasticity (CDP) malzeme modeli kullanılarak tanımlanmıştır [116]. CDP malzeme modeli beton, kaya ve seramik gibi kırılğan malzemelerin elastik ötesi davranışını tanımlayan başarılı bir araçtır. Sıva ve gazbeton blokları da betona yakın karaktere sahip olduğu için, CDP ile modellenmiştir. İlk olarak Lubliner ve arkadaşları [118] tarafından ortaya çıkarılan CDP modeli betonun monotonik etkiler altındaki elastik ötesi davranışını tanımlamaktadır. Daha sonra Lee ve Fenves [119] tarafından modifiye edilen bu malzeme modeli, beton gibi kırılğan malzemelerin tekrarlı yükler altındaki dayanım ve rijitlik kaybının da dikkate alındığı elastik ötesi davranışını başarılı bir şekilde temsil eden bir araç haline

gelmiştir. Dolayısıyla betonun hem statik, hem de deprem gibi tersinir tekrarlı dinamik etkiler altındaki davranışını modelleme imkânı sağlamaktadır. Ancak düşük yanal basınç altında daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

CDP malzeme modelinde kırılğan bir malzemenin davranışı, mikro çatlakların başladığı elastik bölge ve bu bölgeyi takip eden doğrusal olmayan plastik davranıştan oluşmaktadır. Malzeme davranışı, tanımlanan akma yüzeyi, plastik potansiyel ve pekleşme kuralı ile belirlenmektedir. Kullanılan malzeme modelinde betonun çekme çatlama ve basınç ezilmesi olmak üzere iki ana göçme mekanizmasını dikkate almakta; hasar gelişimi çekme ve basınçtaki plastik şekil değiştirmeler ile idare edilmektedir. Bu nedenle malzeme tanımı için gerekli girdilerden tek eksenli çekme ve basınç altındaki gerilme – birim şekil değiştirme davranışı (ve bağıntısı) önem taşımaktadır.

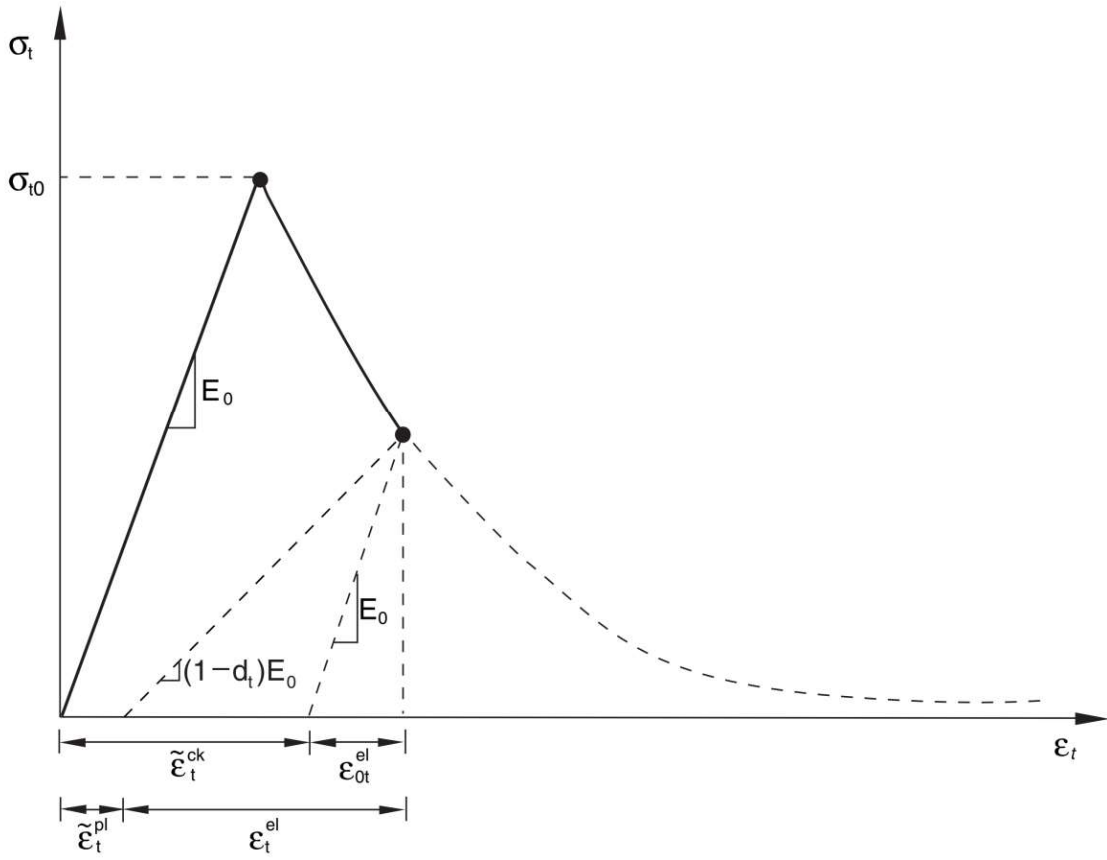
Tek eksenli çekme – birim şekil değiştirme davranışında, çekme dayanımı (σ_{t0}) öncesinde malzemenin doğrusal elastik davrandığı, ilk mikro çatlakların çekme dayanımına ulaşıldığı anda oluştuğu varsayılmaktadır. Çekme dayanımından sonraki azalan kısım ise, gerilme – birim şekil değiştirme yumuşaması ile malzeme yapısındaki mikro çatlaklar ilerlemektedir. Tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisinde malzeme akma dayanımına (σ_{c0}) kadar doğrusal elastik davranmaktadır. Akma dayanımından sonraki davranış, basınç dayanımına (σ_{cu}) ulaşılmadan önceki rijitliğin azaldığı pekleşme bölgesi ve sonrasındaki yumuşama bölgesinden oluşmaktadır. CDP modeli esasında tekrarlı yükleme durumunda malzemenin çekme ve basınç mukavemetindeki kayıpları, elastisite modülündeki azalmaları ve kalıcı şekil değiştirmeleri modele yansıtma kabiliyetine sahiptir. Bu özellik malzeme modelinde basınç ve çekme hasar parametrelerinin (sırasıyla d_c ve d_t) tanımlanması ile yansıtılmaktadır. Hasar parametrelerinin tanımlanmaması durumunda yalnızca monotonik yük altındaki davranış yakalanabilmektedir. Bu nümerik çalışmada da modellere monotonik yükler uygulanmış, dolayısıyla malzemelere hasar parametreleri tanımlanmamıştır. Bu durumda; basınçtaki plastik basınç birim şekil değiştirmeler ($\tilde{\epsilon}_c^{pl}$), elastik ötesi birim şekil değiştirmelere ($\tilde{\epsilon}_c^{in}$) (Şekil 5.2); çekmedeki plastik çekme birim şekil değiştirmeler ($\tilde{\epsilon}_t^{pl}$), çatlama birim şekil değiştirmelerine ($\tilde{\epsilon}_t^{ck}$) (Şekil 5.3) eşit olmaktadır.



Şekil 5.2. Tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme davranışı gösterimi [116]

Bu nedenle, ilerleyen kısımlarda akma yüzeyi ve akma potansiyeli tanımında geçen plastik şekil değiştirmelerin $\tilde{\epsilon}_c^{in}$ ve $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ 'e eşit olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, bu bölümde CDP'nin yalnızca çalışma kapsamında kullanılan özelliklerine değinilmiştir.

CDP malzeme modelinde basınç pekleşmesi ve çekme rijitleşmesi verileri, sırasıyla, elastik ötesi birim şekil değiştirmelerine ve çatlama birim şekil değiştirmelerine dönüştürülerek tanımlanmaktadır. Bu veriler malzemenin toplam birim şekil değiştirmelerinden elastik birim şekil değiştirmelerin çıkarılmasıyla elde edilmektedir (Eş. 5.1 ve 5.2).



Şekil 5.3. Tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme davranışı gösterimi [116]

$$\tilde{\varepsilon}_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el}, \quad \varepsilon_{0t}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (5.1)$$

$$\tilde{\varepsilon}_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{0c}^{el}, \quad \varepsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (5.2)$$

Malzemenin plastisite özellikleri akma yüzeyi ve akış kuralı ile tanımlanmaktadır. Akma yüzeyi, malzemenin elastik davranacağı gerilme kombinasyonlarının sınırlarını belirleyen bir sanal hacmi ifade etmektedir. Üç eksenli gerilmeler altındaki malzemenin gerilme hali bu hacim içinde kalan değerler aldığı sürece elastik davranmaktadır. CDP modelinin akma yüzeyi Eş 5.3'teki fonksiyon ile tanımlanmaktadır. Üç eksenli gerilme halindeki malzemenin akma yüzeyinin deviatorik kesitinin gösterimi Şekil 5.4'te sunulmaktadır. Akma yüzeyi fonksiyonunda \bar{p} hidrostatik basınç; \bar{q} mises eşdeğer gerilmesini ifade etmektedir. α , β ve γ parametreleri ise sırasıyla Eş. 5.4, 5.5 ve 5.6 ile hesaplanmaktadır.

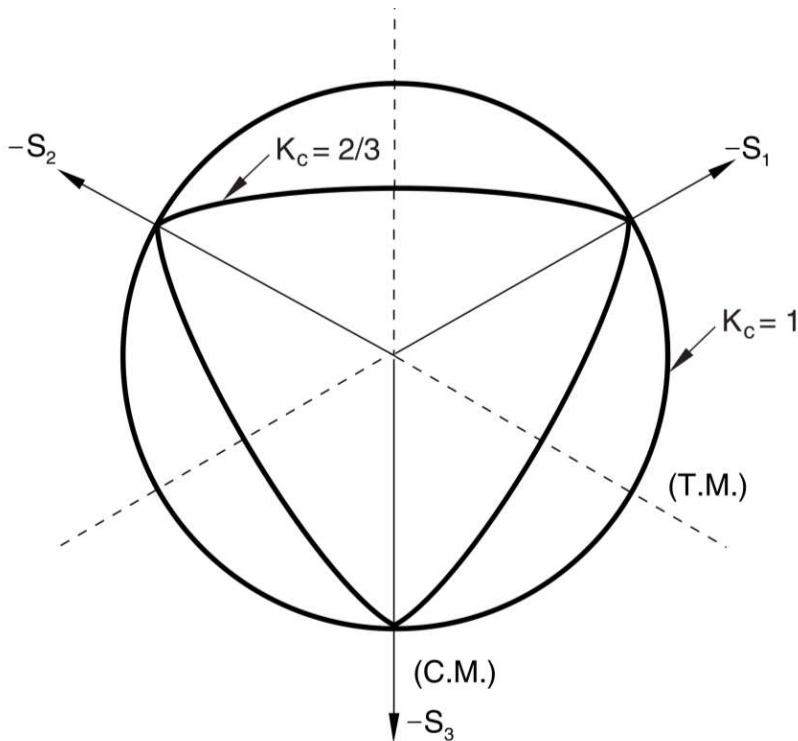
$$F = \frac{1}{1-\alpha} (\bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta(\tilde{\varepsilon}^{pl})\langle\hat{\sigma}_{max}\rangle - \gamma\langle-\hat{\sigma}_{max}\rangle) - \bar{\sigma}_c(\tilde{\varepsilon}^{pl}) = 0 \quad (5.3)$$

$$\alpha = \frac{(\frac{\sigma_{b0}}{\sigma_{c0}})^{-1}}{2(\frac{\sigma_{b0}}{\sigma_{c0}})^{-1}-1}; 0 \leq \alpha \leq 0,5 \quad (5.4)$$

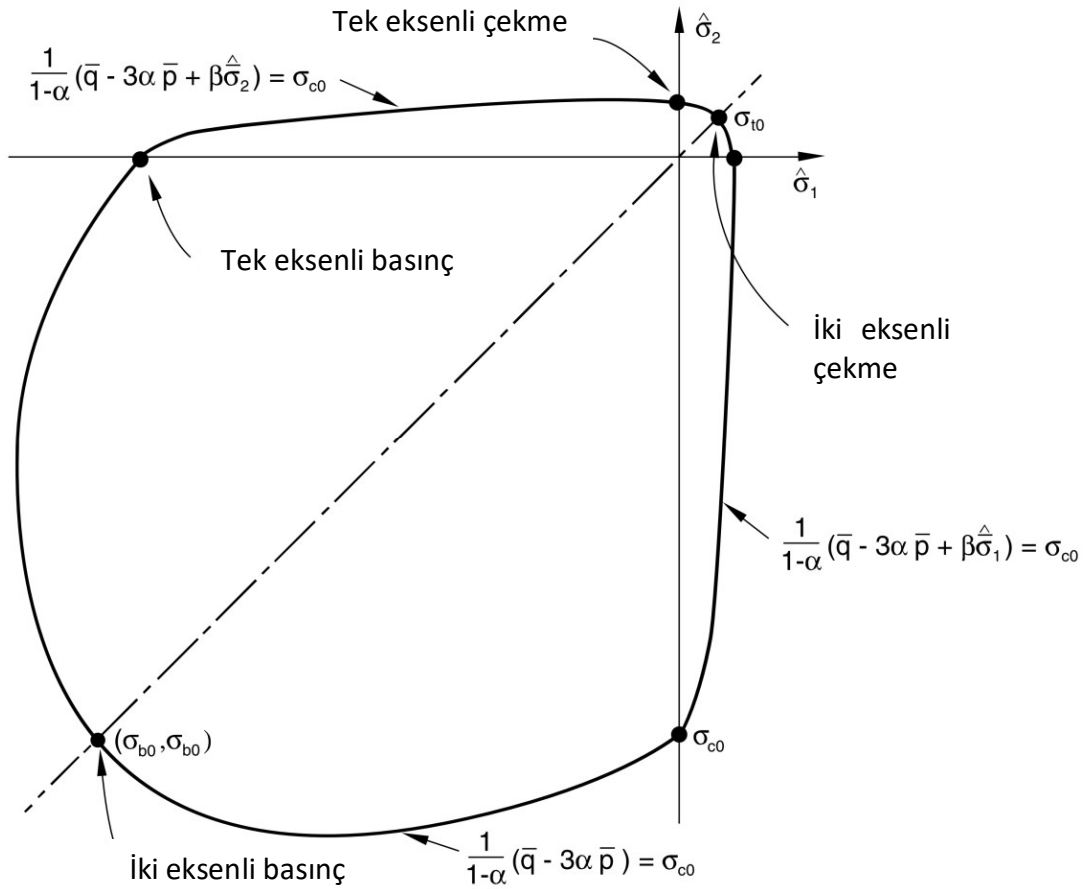
$$\beta = \frac{\bar{\sigma}_c(\tilde{\varepsilon}_c^{pl})}{2\bar{\sigma}_t(\tilde{\varepsilon}_t^{pl})}(1-\alpha) - (1+\alpha) \quad (5.5)$$

$$\gamma = \frac{3(1-K_c)}{2K_c-1} \quad (5.6)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, $\hat{\sigma}_{max}$, maksimum efektif asal çekme gerilmesi; σ_{b0}/σ_{c0} , malzemenin iki eksenli basınç akma dayanımının tek eksenli basınç akma dayanımına oranı ifade etmektedir (Şekil 5.5). K_c , ise akma yüzeyi fonksiyonunun, Şekil 5.4'te gösterildiği gibi, basınç ve çekme meridyenlerindeki gerilmelerinin hidrostatik eksene göre birbirlerine oranı olarak ifade edilmektedir.

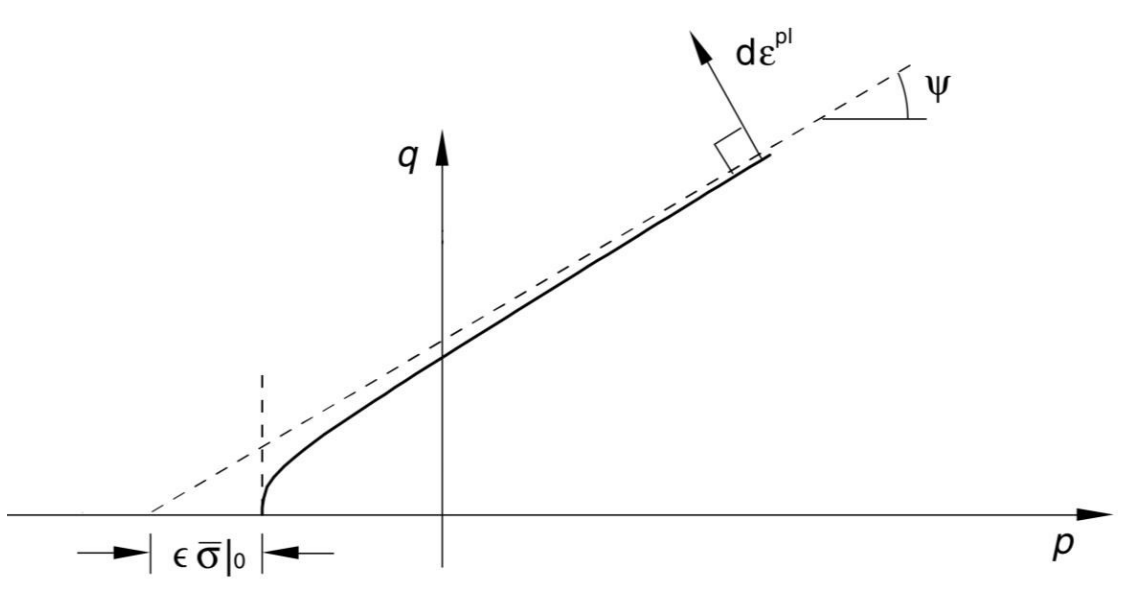


Şekil 5.4. Akma yüzeyinin deviatorik düzlemde gösterimi [116]



Şekil 5.5. Akma yüzeyinin düzlemsel gerilme halindeki gösterimi [116]

Akış kuralı malzemedeki plastik deformasyonları belirlemektedir. Metaller üzerinde geliştirilen malzeme modellerinde plastik deformasyonlar, akma yüzeyi üzerinde plastik birim şekil değiştirme hızı kabulüyle belirlenmektedir. Ancak, beton ve zemin üzerinde yapılan deneylerde bu kabulün geçerli olmadığı anlaşılmış, plastik şekil değiştirmelerin akma yüzeyi dışında farklı bir fonksiyonla idare edilmesinin beton davranışını daha gerçekçi yansıttığı ortaya çıkarılmıştır [120]. CDP malzeme modelinde de plastik deformasyonların gelişimini idare etmek için, plastik potansiyel fonksiyonu olarak hiperbolik Drucker-Prager fonksiyonu kullanılmaktadır (Eş. 5.7). Bu hiperbolik fonksiyon, hidrostatik basınç arttıkça doğrusal Drucker-Prager fonksiyonuna asimptot olarak yaklaşmaktadır (Şekil 5.6). Asimptotun hidrostatik eksenine açısı ψ (dilation angle) ile ifade edilmektedir. Öte taraftan fonksiyon hidrostatik basınç eksenini 90° açıyla kesmekte, bu nokta ϵ (eccentricity) parametresi ile idare edilmektedir.



Şekil 5.6. Hiperbolik akma potansiyeli [116]

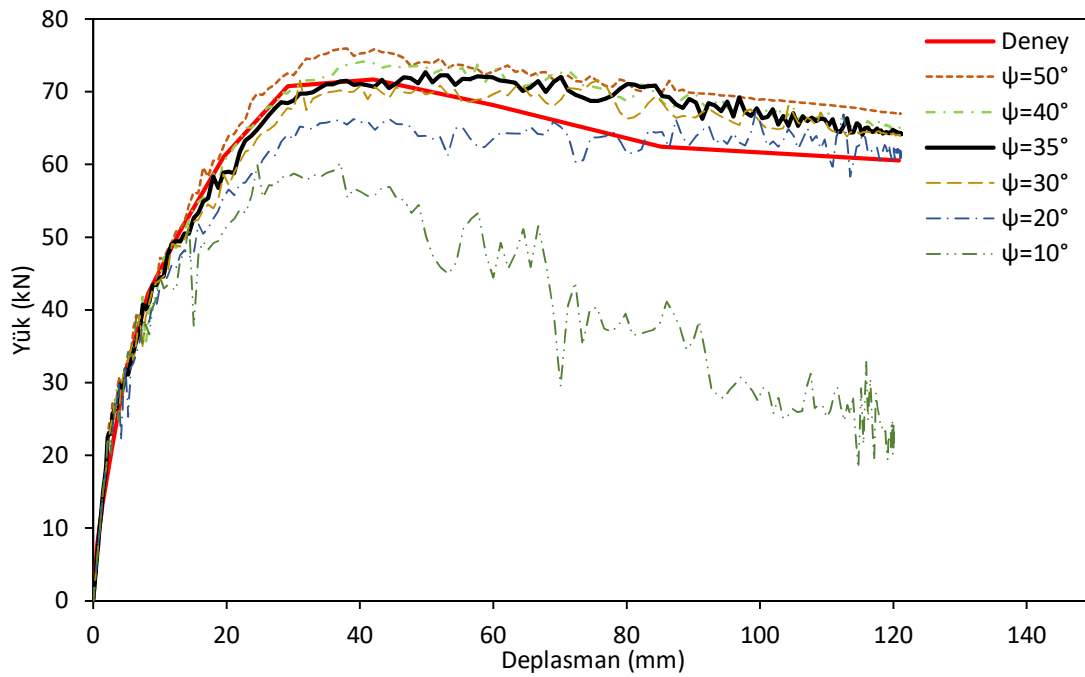
$$G = \sqrt{(\epsilon \sigma_{t0} \tan \psi)^2 + \bar{q}^2} - \bar{p} \tan \psi \quad (5.7)$$

CDP malzeme modeli temelde Drucker – Prager kriterinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Drucker-Prager akma yüzeyi temelde kohezyon ve sürtünme parametreleri ile tanımlanmaktadır. CDP ise Drucker – Prager’in betona uyarlanmış hali olarak ifade edilmektedir.

CDP’nin akma yüzeyi girdilerinden K_c parametresiyle akma yüzeyinin deviatorik düzlemdeki şekli kontrol edilmektedir. $K_c = 1$ durumunda akma yüzeyi daire; $K_c = 0,5$ durumda ise üçgen şeklini almaktadır. Lubliner ve arkadaşları [118] tarafından yapılan çalışmada beton davranışını yansıtan en ideal K_c parametresinin $2/3$ olduğu belirtilmektedir. Akma yüzeyinin tanımında gereken diğer bir parametre de σ_{b0}/σ_{c0} oranıdır. Kupfer ve arkadaşlarının [121] deneysel çalışmasında, beton dayanımının, iki eksenle eşit basınç uygulandığı durumda, tek eksenli basınç durumuna göre %16 arttığı ifade edilmektedir. Dolayısıyla malzeme tanımında σ_{b0}/σ_{c0} oranı 1,16 olarak tanımlanmaktadır. Kupfer ve arkadaşlarının bu çalışmasında elde edilen veriler birçok malzeme modelinde de esas alınmaktadır.

Plastik potansiyel fonksiyonu için gereken parametrelerden ϵ , betonun çekme dayanımının basınç dayanımına oranlanmasıyla elde edilebildiği ifade edilmekte [122], bu parametrenin ideal değerinin 0,1 olduğu belirtilmektedir [123]. Plastikleşmeyi kontrol eden parametrelerden ψ genellikle $30^\circ - 40^\circ$ arasında başarılı sonuçlar vermektedir [124]. Bu parametrenin betonun sünekliği üzerinde önemli etkisinin olduğu ifade edilmektedir. ψ 'nin azalması malzemenin kırılma enerjisiyle; artması ise daha sünek bir davranış ile sonuçlanmaktadır [125].

Akma yüzeyi ve akış kuralı parametrelerinin elde edilmesi, farklı yanal basınç düzeylerinde çok sayıda üç eksenli test verileriyle mümkün olmaktadır. Bu testler uygun laboratuvar altyapısı ve yüksek hassasiyet gerektiğinden, araştırmacılar çoğunlukla literatürdeki mevcut çalışmalardan faydalanmaktadır. Yukarıda belirtilen K_c , σ_{b0}/σ_{c0} ve ϵ parametreleri, beton davranışını başarıyla yansıtmakla birlikte nümerik kararsızlıklara neden olmayan değerlerdir. Bu parametreler için kullanılan değerler hem Abaqus dökümantasyonunda [126] önerilmekte, hem de literatürdeki birçok çalışmada kullanılmakta olan, kabul görmüş parametrelerdir. Dolayısıyla K_c , σ_{b0}/σ_{c0} ve ϵ parametrelerini elde etmek için ayrı bir çalışma yapılmamıştır. Ancak, ψ dilatasyon açısı, literatürdeki çalışmalarda kalibre edilerek $30^\circ - 40^\circ$ arasında kullanılmakta, bu değer artmasıyla daha sünek davranış elde edildiği ifade edilmektedir [124, 125, 127, 128]. Bu çalışmada ise ideal ψ değeri, BÇ üzerinde, Şekil 5.7'de sonuçları gösterilen parametrik çalışma ile elde edilmiştir. yalnızca sıva veya gazbetonun davranışına ait bir deney verisi olmadığı için, bu malzemelerde de aynı ψ değeri varsayılmıştır. Çalışmada kullanılan plastisite parametreleri Çizelge 5.1'de sunulmaktadır.



Şekil 5.7. Dilatasyon açısının model davranışına etkisi

Çizelge 5.1. CDP malzeme modelinde kullanılan parametreler

Parametre	Değer
ψ	35
ϵ	0,1
σ_{b0}/σ_{c0}	1,16
K_c	2/3

CDP'nin modelinde pekleşme ve yumuşama davranışlarını tanımlayan basınç ve çekmedeki tek eksenli gerilme – birim şekil değiştirme davranışı laboratuvar testleriyle elde edileceği gibi, literatürdeki gerilme – birim şekil değiştirme bağıntılarıyla da tanımlanmaktadır. Ancak araştırmacılar laboratuvar imkânlarının kısıtlılığından dolayı genellikle matematiksel bağıntıları tercih etmektedir. Bu çalışmada da tek eksenli çekme ve basınç davranışı matematiksel bağıntılar kullanılarak tanımlanmıştır. Tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme davranışı Wang [129] tarafından önerilen bağıntı (Eş. 5.8) ile tanımlanmıştır. Basınç gerilme – birim şekil değiştirme davranışı için ise, Popovics [130] tarafından önerilen bağıntı (Eş. 5.9) bu çalışma kapsamında geliştirilerek, yeni bir gerilme – birim şekil bağıntısı (Eş. 5.10)

ve Eş 5.11) önerilmiştir [131]. Bu bağıntıların geliştirilmesi ile ilgili detaylar “5.1.3; Beton için basınç gerilme – birim şekil değiştirme bağıntısı önerisi” bölümünde açıklanmaktadır.

$$\sigma_t = \sigma_{t0} \left(\frac{\varepsilon_{t0}}{\varepsilon_t} \right)^{(0,4)}, \quad \varepsilon_{t0} = \frac{\sigma_{t0}}{E_c} \quad (5.8)$$

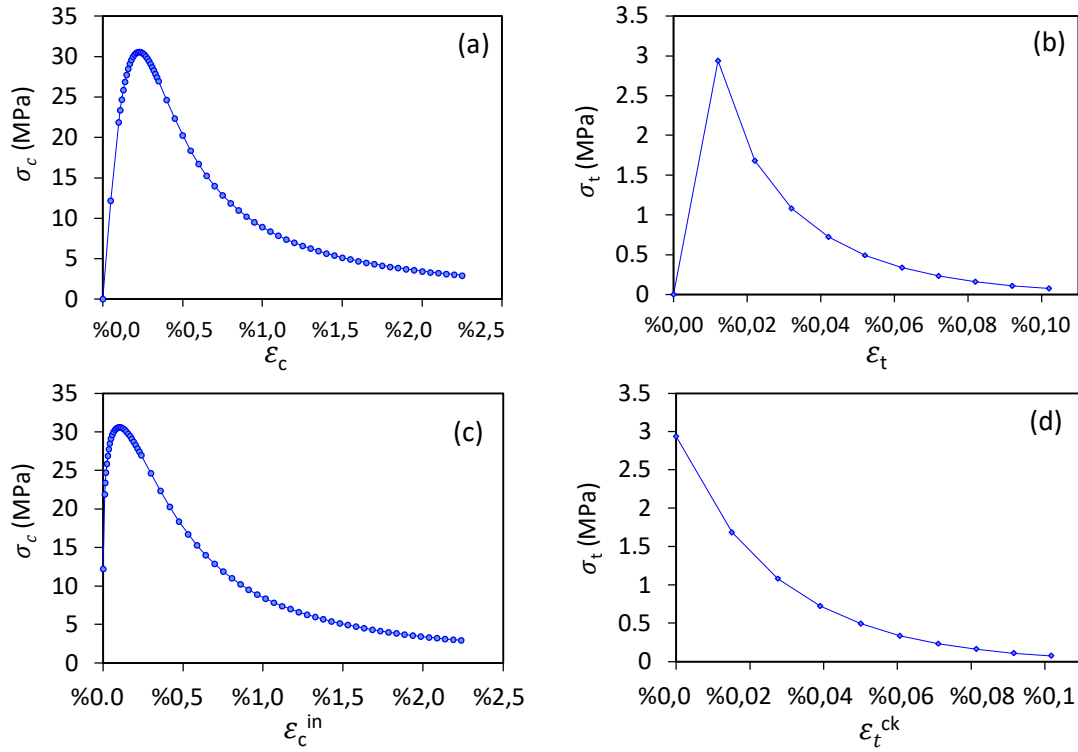
$$\sigma_c = \sigma_{cu} \times \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right) \times \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right)^n}, \quad n = 0,4 \times 10^{-3} \times \sigma_{cu} (psi) + 1 \quad (5.9)$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad \sigma_c = \sigma_{cu} \times \frac{\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right) \times n_{asc}}{n_{asc} - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right)^{n_{asc}}} \quad (5.10)$$

$$\varepsilon_{cu} < \varepsilon_c \quad \sigma_c = \sigma_{cu} \times \frac{\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right) \times n_{desc}}{n_{desc} - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu}} \right)^{n_{desc}}} \quad (5.11)$$

Eş. 5.9 - 5.11’de σ_{cu} ve ε_{cu} , basınç dayanımı ve maksimum gerilmedeki şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. σ_c ve ε_c ise basınç gerilmeleri ve şekil değiştirmeleridir. Gerilme – birim şekil değiştirme eğrisinin artan ve azalan kısımlarının dikliği sırasıyla n_{asc} ve n_{desc} katsayılarıyla idare edilmektedir. Eş. 5.8’deki σ_t ve ε_t sırasıyla betonun çekme gerilmelerini ve bu gerilmelere karşılık gelen birim şekil değiştirmelerdir. σ_{t0} , çekme dayanımı; ε_{t0} , σ_{t0} ’ye karşılık gelen birim şekil değiştirme; E_c ise beton elastisite modülüdür. Betonun dayanımının %30 - %60’ı gerilmelerine kadar doğrusal davrandığı varsayılmaktadır [128]. Bu çalışmada elastisite modülü betonun basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisinden, $0,4 \times \sigma_{cu}$ ’ya göre belirlenmiştir.

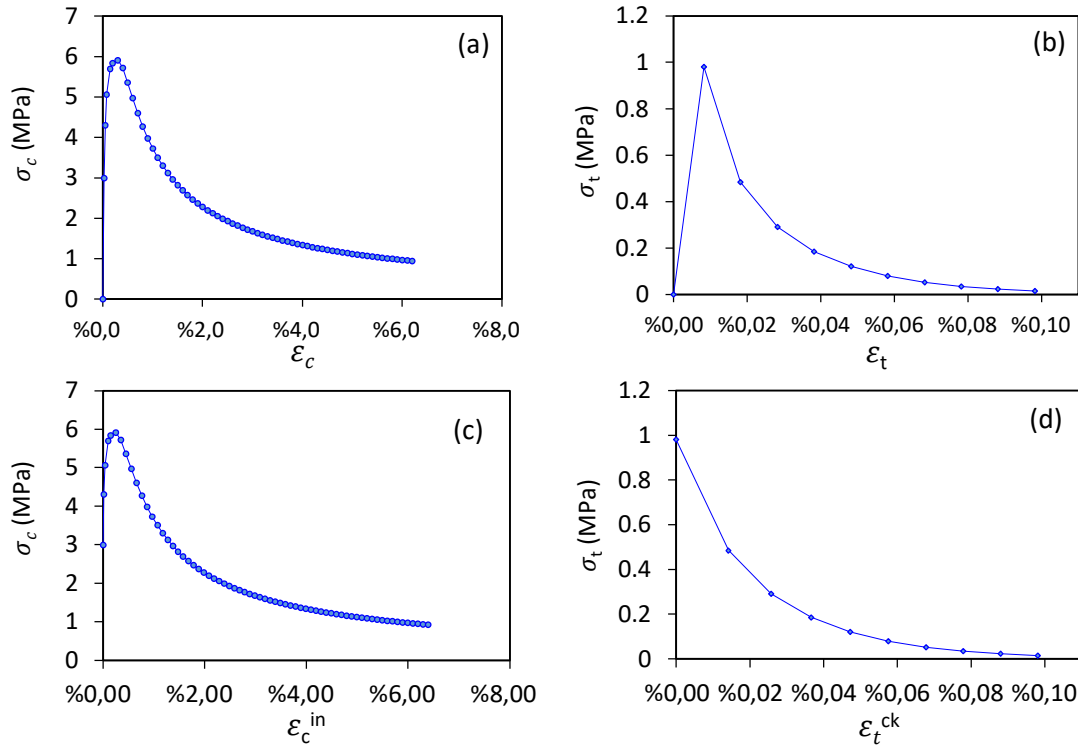
Nümerik modellerde beton için kullanılan gerilme birim şekil değiştirme bağıntılarının, benzer karakterdeki sıva ve gazbeton için de geçerli olduğu varsayılmıştır. Tanımlanan basınç ve çekme davranışları, basınçta inelastik ve çekmede çatlama birim şekil değiştirmelere bağlı girdiler ile birlikte Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da sunulmaktadır.



Şekil 5.8. Beton için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı

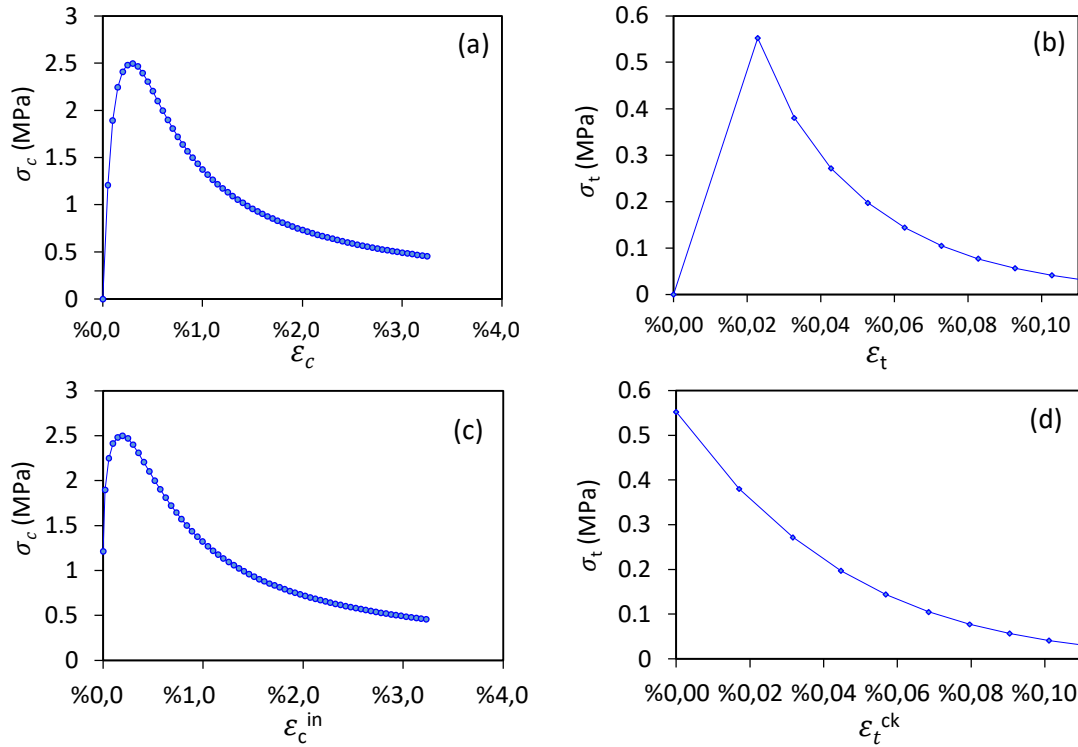
5.1.3. Beton için basınç gerilme – birim şekil değiştirme bağıntısı önerisi

Geleneksel portland çimentosu betonları için literatürde önerilen bağıntılardan, aynı basınç dayanımı için elde edilen eğrilerdeki farklılıklar, bu çalışma kapsamında geliştirilen gerilme – birim şekil değiştirme bağıntısının motivasyon kaynağı olmuştur. Gerilme – birim şekil değiştirme bağıntıları, betonun deneysel davranışını temsil eden, ampirik katsayılar içeren matematiksel ifadelerle geliştirilmektedir. Ancak, bağıntı geliştirme için kullanılan deneysel eğrilerin şekilleri, yükleme hızı [132–138], deney düzeneğinin rijitliği [139, 140], yükleme türü (yük/deplasman kontrolü) [141, 142], numunelerin yükseklik-çap oranı [138, 143, 144], numune yaşı [138, 145], gibi birçok faktörden etkilenmektedir.



Şekil 5.9. Sıva için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı

Betonun tipik basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi Şekil 5.11’de gösterilmektedir. Sabit artımlarla yükleme yapılan yük kontrollü cihazlarda, beton davranışının artan kısmı yakalanabilmektedir. Basınçta ezilme davranışını modele yansıtabilmek için gereken azalan kısmı yakalamak ise deplasman kontrollü cihazlarla mümkün olmaktadır. Ancak, deplasman kontrollü cihazların rijitliği, gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Basınç testlerinde beton numunesi yüklenirken, yükleme sistemi de tepki kuvvetine maruz kalarak bir miktar enerji depolamaktadır. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmının eğiminin, yükleme cihazının rijitlik eğrisinin eğimine eşitlendiği anda, cihazda depolanan enerji serbest kalmaktadır. Bu durumda beton numunesinde ani bir kırılma meydana gelmektedir. Bu nedenle eğride azalan kısım sağlıklı bir şekilde yakalanamamaktadır [139, 140, 146].

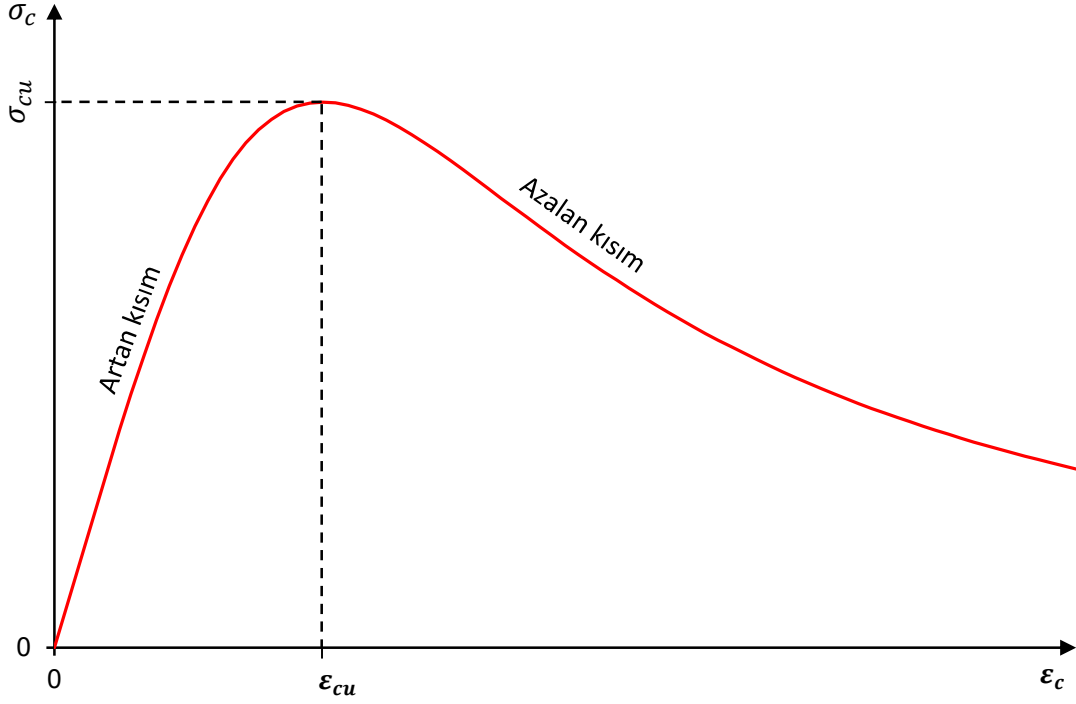


Şekil 5.10. Gazbeton için tanımlanan, (a) tek eksenli basınç gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (b) tek eksenli çekme gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi, (c) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı basınç davranışı, (d) elastik ötesi birim şekil değiştirmelere bağlı çekme davranışı

Ayrıca, betonun yükleme hızının artması, eğrinin azalan kısmının dikliğini artırmakta, plastik şekil değiştirmelerin daha düşük elde edilmesine neden olmaktadır [134, 147–149]. Numunenin yükseklik – boy oranı elde edilecek davranışı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu oranın artmasının, eğrinin azalan kısmının dikliğine artırıcı bir etkide bulunmaktadır [143, 144, 146, 150].

Geleneksel portland çimentosu betonu üzerinde gerilme – şekil değiştirme bağıntıları uzun yıllardır geliştirilmektedir [130, 133, 151–165]. Betonun tek eksenli davranışını modellemek için kullanılan gerilme – şekil değiştirme ilişkileri incelendiğinde, belirli bir dayanıma sahip bir beton için, farklı bağıntılar kullanılarak birbirinden uzak gerilme – şekil değiştirme davranışları elde edilebilmektedir. Bu farklılığın nedeni olarak, az sayıda numuneyle veya tek bir laboratuvardan elde edilen sonuçlarla bağıntı geliştirilmesi, farklı oranlarda ve farklı mineralojiye sahip bileşenlerin bileşimi gibi faktörler sayılabilir. Bu çalışmada önerilen bağıntıyı geliştirmek için kullanılan test verisi seçiminde;

- Sonuçların farklı laboratuvarlardan elde edilmiş olmasına
- Yalnızca geleneksel portland çimentosu betonu olmasına
- 28 günlük numune yaşına
- Yükseklik – çap oranının 2 olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.11. Betonun tipik gerilme - birim şekil değiştirme eğrisi

Ayrıca yüksek dayanımlı betonlar karakterini değiştiren özel katkıları içerebileceği için çalışma 52 MPa'dan düşük dayanımlı betonlar için sınırlandırılmıştır. Kullanılan test verileri Çizelge 5.2'de sıralanmaktadır.

Çizelge 5.2. Kullanılan basınç testleri ve kaynakları

No	Kısaltma	σ_{cu}	Kaynak	Yazar
1	SM-1	8,8	[166]	Smith & Young, 1956
2	HO-1	11,4	[140]	Hognestad, Hanson & Mchenry, 1955
3	YI-1	14,9	[145]	Yi, Kim & Oh, 2003
4	IL-1	16,4	[167]	İlki, 2000
5	IL-2	17,0	[167]	İlki, 2000
6	IL-3	17,8	[167]	İlki, 2000
7	AL-1	20,0	[168]	Mohamad Ali, 1983
8	SM-2	20,7	[166]	Smith & Young, 1956
9	HO-2	21,0	[140]	Hognestad, Hanson & Mchenry, 1955
10	YI-2	21,1	[145]	Yi, Kim & Oh, 2003
11	IL-4	21,6	[167]	İlki, 2000
12	NA-1	19,8	[150]	Nakamura & Higai, 2001
13	IL-5	22,6	[167]	İlki, 2000
14	AL-2	25,0	[168]	Mohamad Ali, 1983
15	IL-6	28,2	[167]	İlki, 2000
16	IL-7	28,9	[167]	İlki, 2000
17	KU-1	29,1	[169]	Kuchma, 1996
18	AL-3	30,0	[168]	Mohamad Ali, 1983
19	SM-3	30,6	[166]	Smith & Young, 1956
20	IL-8	30,8	[167]	İlki, 2000
21	WE-1	31,3	[151]	Wee, Chin & Mansur, 1996
22	YI-3	33,8	[145]	Yi, Kim & Oh, 2003
23	AL-4	35,0	[168]	Mohamad Ali, 1983
24	HO-3	35,7	[140]	Hognestad, Hanson & Mchenry, 1955
25	ME-2	36,0	[170]	Melek, Wallace & Conte, 2003

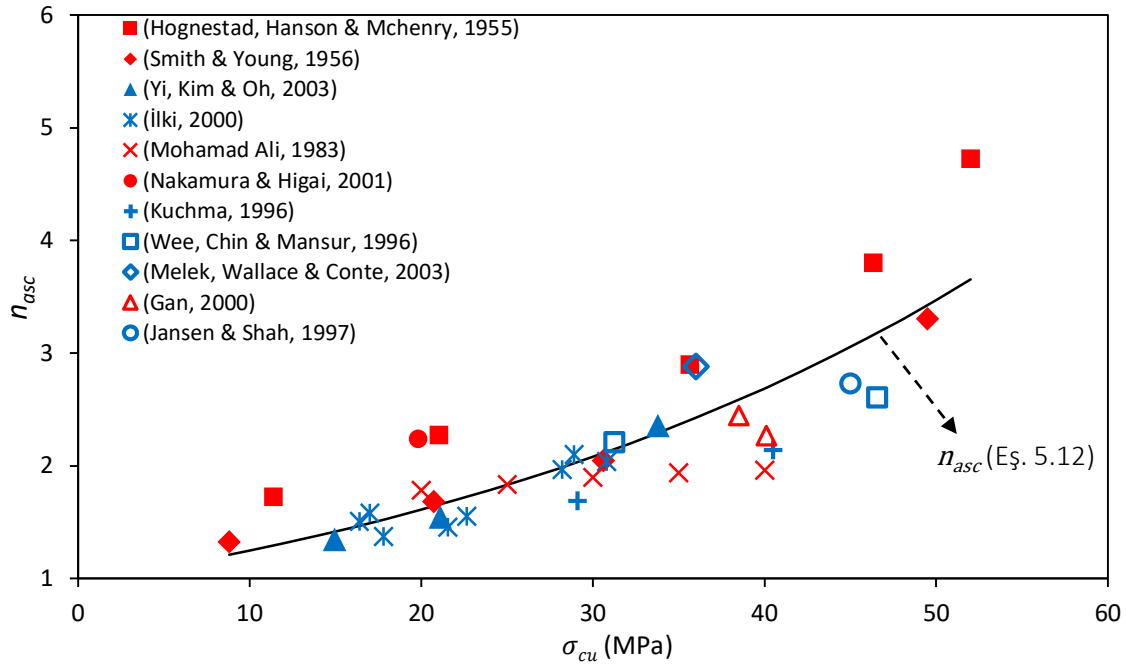
Çizelge 5.2. Kullanılan basınç testleri ve kaynakları (devamı)

No	Kısaltma	σ_{cu}	Kaynak	Yazar
26	GA-1	38,5	[171]	Gan, 2000
27	AL-5	40,0	[168]	Mohamad Ali, 1983
28	GA-2	40,1	[171]	Gan, 2000
29	KU-2	40,5	[169]	Kuchma, 1996
30	JA-1	45,0	[172]	Jansen & Shah, 1997
31	HO-4	46,3	[140]	Hognestad, Hanson & Mchenry, 1955
32	WE-2	46,6	[151]	Wee, Chin & Mansur, 1996
33	SM-4	49,5	[166]	Smith & Young, 1956
34	HO-5	52,0	[140]	Hognestad, Hanson & Mchenry, 1955

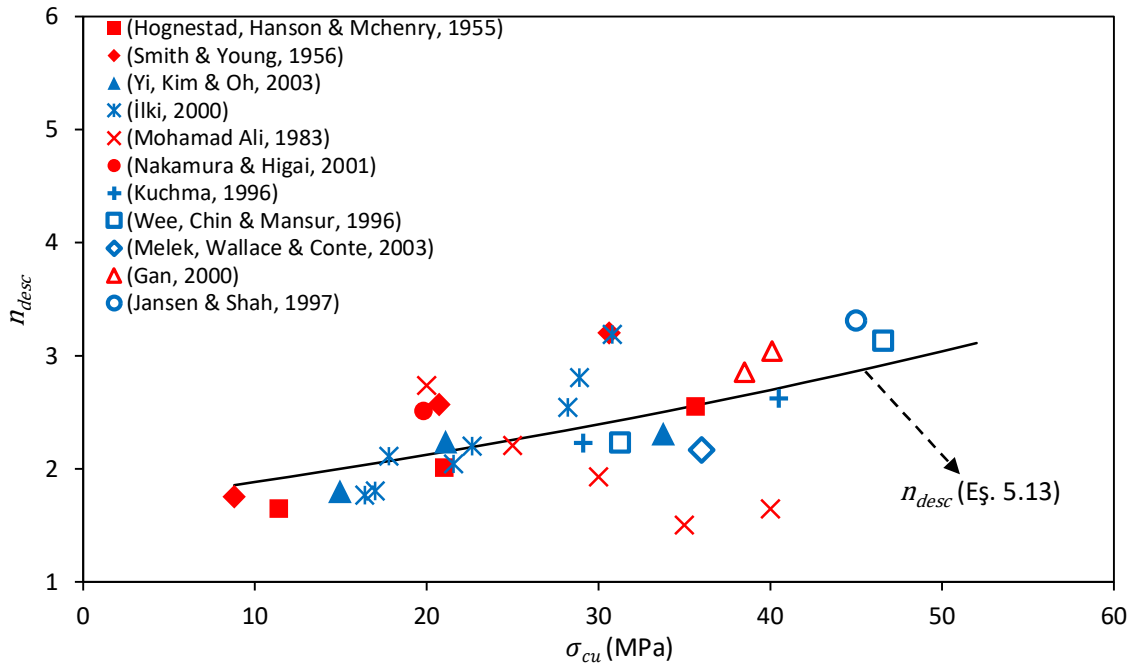
Bu çalışma kapsamında geliştirilen bağıntıda [131] (Eş 5.10 ve Eş 5.11), Popovics'in (1973) [130] bağıntısının (Eş 5.9) genel formu kullanılmıştır. Bağıntının genel formunda gerilme – birim şekil değiştirme davranışın artan ve azalan kısımları tek bir n katsayısıyla idare edilmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen bağıntıda ise, grafiğin artan ve azalan kısımlarında farklı katsayılar (sırasıyla, n_{asc} ve n_{desc}) kullanılmaktadır. Bu katsayılar grafiğin artan ve azalan kısımlarının dikliklerini belirlemektedir. Bu katsayıları belirlemek için, yukarıda belirtilen şartları sağlayan, 8 - 52 MPa basınç dayanımı aralığındaki 34 adet test verisi derlenmiştir. Her bir verinin azalan ve artan kısımlarını yansıtan ayrı ayrı katsayılar Levenberg–Marquardt [173, 174] algoritması ile belirlenmiştir. Daha sonra, her bir test verisini fit eden katsayılar, ait oldukları basınç dayanımlarıyla eşleştirilerek, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 daki gibi n_{asc} ve n_{desc} eğilim eğrileri elde edilmiştir. Artan ve azalan kısımlar için elde edilen eğilim eğrilerinin, basınç dayanımına bağlı üstel fonksiyonları aynı metot ile Eş 5.12 ve Eş. 5.13'teki gibi elde edilmiştir. Bu eşitliklerden basınç dayanımına göre elde edilen katsayılar Eş. 5.10 ve Eş. 5.11'deki yerlerine konulduğunda betonun basınç gerilme – şekil değiştirme davranışını başarıyla temsil eden bir eğri elde edilebilmektedir. Çalışma ile ilgili daha fazla detay için [131] incelenebilir.

$$n_{asc} = 0,9658 \times e^{\sigma_{cu} \times \frac{2,59}{100}} \quad (5.12)$$

$$n_{desc} = 1,6733 \times e^{\sigma_{cu} \times \frac{1,194}{100}} \quad (5.13)$$



Şekil 5.12. n_{asc} katsayılarının üstel eğrileri



Şekil 5.13. n_{desc} katsayılarının üstel eğrileri

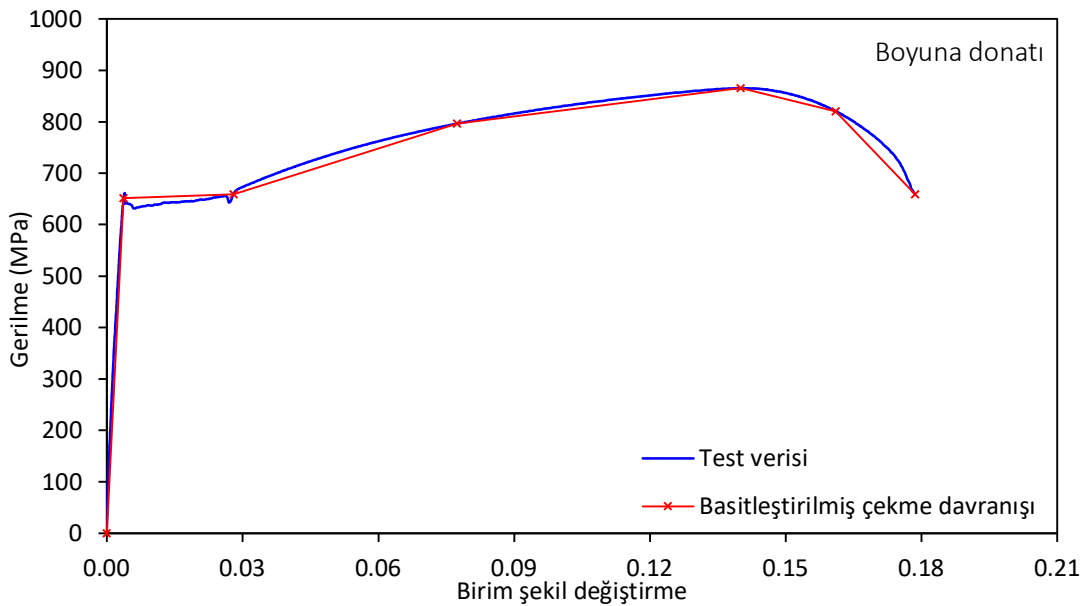
5.1.4. Donatı malzeme modeli

Betonarme çerçeve kesitlerinde kullanılan donatı çeliklerinin davranışı birleşik elastik ve plastik kısımlardan oluşmaktadır (Eş. 5.14). Donatı çeliğinin akma dayanımına kadar doğrusal – elastik davrandığı varsayımıyla elastik model ile tanımlanmıştır. Akma dayanımının ötesinde ise klasik metal plastisite modeli kullanılmıştır. Davranışın elastik bölgesi, elastisite modülü ve poisson oranı; plastik kısım ise gerilmelere karşılık gelen plastik şekil değiştirmeler ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada donatı testlerinden elde edilen çekme davranışı, çözüm yükünü azaltmak için, basitleştirilerek modele yansıtılmıştır (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15). Plastik bölge davranışının tanımında, gerilmelere karşılık gelen plastik birim şekil değiştirmeler, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’teki birim şekil değiştirmelerden Eş. 5.15 ile hesaplanan elastik şekil değiştirmeler çıkarılarak Eş. 5.16 ile elde edilmiştir.

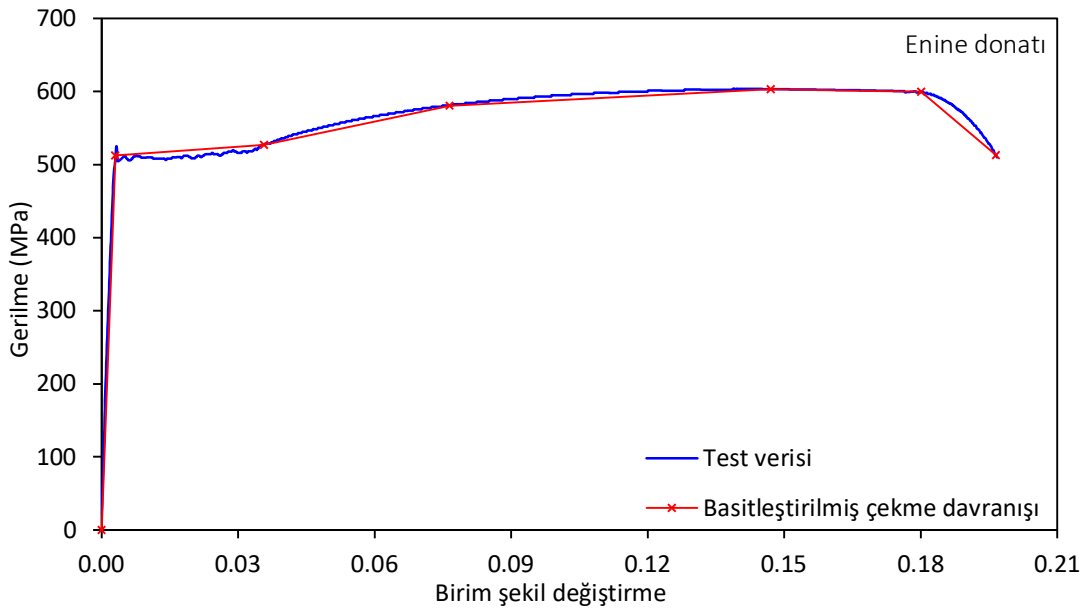
$$\varepsilon = \varepsilon^{el} + \varepsilon^{pl} \quad (5.14)$$

$$\varepsilon^{el} = \frac{\sigma^0}{E} \quad (5.15)$$

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon - \frac{\sigma^0}{E} \quad (5.16)$$



Şekil 5.14. Boyuna donatı çekme davranışı



Şekil 5.15. Enine donatı çekme davranışı

5.1.5. Dolgu duvar derz bağlantı özellikleri

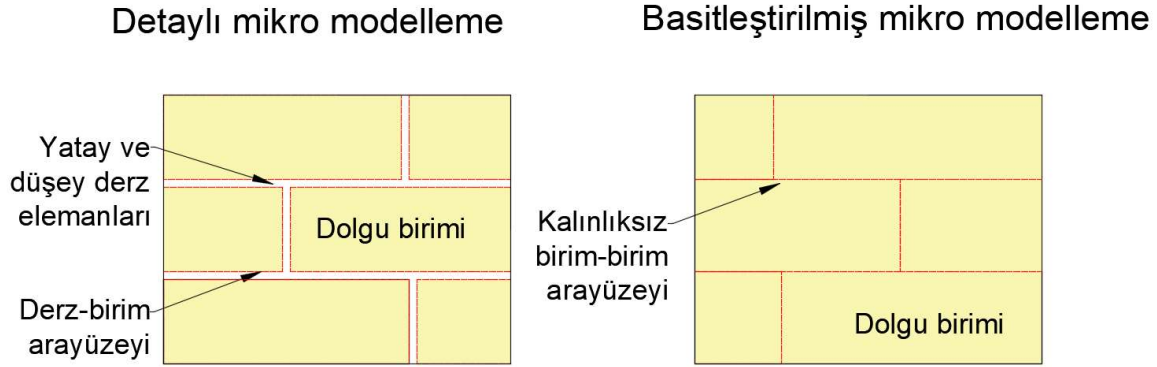
Dolgu duvarlar, sıva, harç ve dolgu birimleri gibi farklı bileşenlerden oluşan heterojen yapıya sahip elemanlardır. Farklı geometrik ve mekanik özelliklere sahip bileşenlerin bir araya gelerek bir bütünü oluşturduğu için, davranışlarının sayısallaştırılması oldukça karmaşıktır. Dolgu duvarların davranışını sayısal modellere dâhil etmek için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar genel olarak makro ve mikro modelleme yöntemleri olarak kategorize edilmektedir [175]. Dolgu duvar modellemesinde kullanılacak yöntem seçiminde, çıktılarından beklenen detay düzeyi, girdilerin maliyeti, çözüm maliyeti ve süresi belirleyici olmaktadır. Makro modelleme yaklaşımlarında, dolgu duvarı oluşturan bileşenlerin özelliklerinin çeşitli yöntemlerle yaklaşık olarak hesaplanarak, dolgu duvarın her bir noktasında aynı olduğu varsayımı yapılmakta, diğer bir ifadeyle, dolgu duvarların homojen olduğu kabul edilmektedir. Makro modelleme yaklaşımlarında, dolgu duvarlar çubuk, kabuk ve katı elemanlarla modellenebilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı, eşdeğer çapraz çubuk yöntemidir. Bu yöntemde deprem gibi yanal etkiler altındaki dolgu duvarların, taşıyıcı çerçevelerin çapraz köşelerine uzanan basınç çubuğu gibi davrandığı varsayılmaktadır [64]. Eşdeğer çapraz çubuk yaklaşımında dolgu duvarlar 1-boyutlu çubuk elemanlardan oluştuğu için çözümü oldukça ekonomik ve hızlı, çok katlı yapı

modellerinde uygulamak için elverişlidir. Ancak sonuçların hassasiyeti konusunda dezavantajlara sahiptir.

Ancak, klasik bir dolgu duvar, ayırık dolgu birimleri, birimleri birbirlerine/taşıyıcı çerçeveye bağlayan harç, dolgu duvarın her iki yüzeyini kaplayan sıvadan oluşmaktadır. Dolgu duvarların yukarıda sayılan tüm bileşenlerinin dâhil edildiği teknik mikro modelleme olarak anılmaktadır. Mikro modelleme yaklaşımında dolgu duvar birimleri, harç ve sıva ayrı ayrı modellenerek heterojen bir yapı meydana getirmektedir. Bu yöntemde daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmekte, ancak, diğer basit yöntemler kadar ekonomik değildir.

Mikro modelleme yaklaşımında dolgu bloklarını birbirine bağlayan harçlar iki ayrı yöntemle modellenenilmekte, bu yöntemler detaylı mikro modelleme ve basitleştirilmiş mikro modelleme olarak anılmaktadır. Detaylı mikro modelleme yönteminde, harçlar, dolgu bloklarından ayrı elemanlar olarak tanımlanmakta, bu elemanlara tanımlanan elastik ve plastik özellikler ile modele yansıtılmaktadır. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinde ise bloklar arasında harçları temsil eden elemanların yerine, ara yüzey bağlantı özellikleri tanımlanmaktadır (Şekil 5.16).

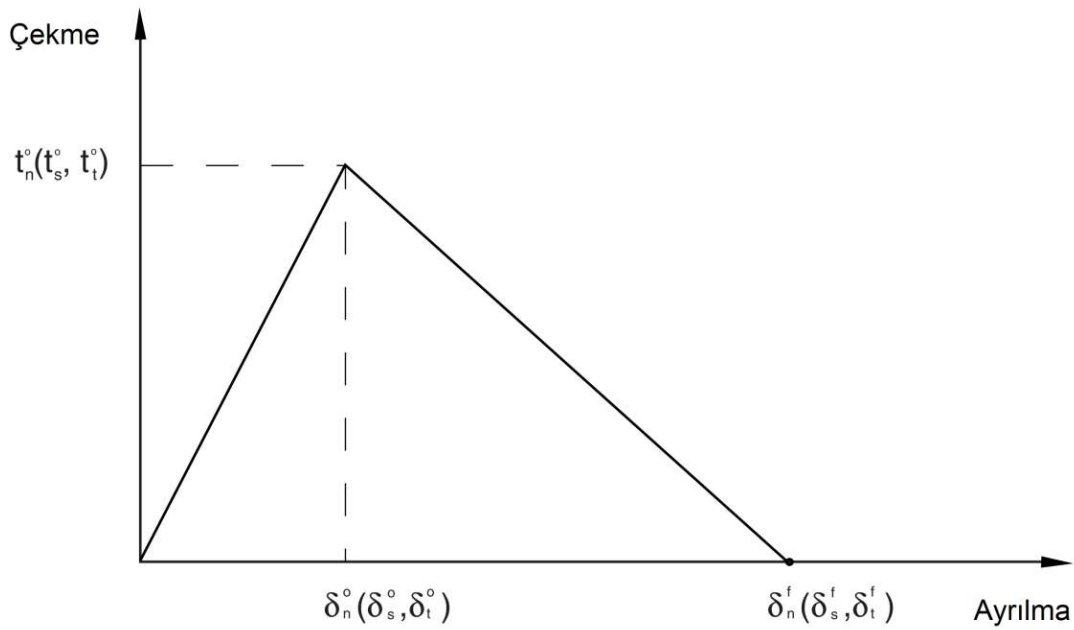
Bu çalışmada incelenen çerçevelerin dolgu duvarları, sayısal modellere, basitleştirilmiş mikro modelleme yaklaşımıyla dâhil edilmiştir. Basitleştirilmiş mikro modellemede, dolgu birimleri arası derzlerdeki harçların kalınlığı ihmal edilmekte, birimler arasındaki etkileşim, kalınlığı olmayan sanal elemanlarla tanımlanmaktadır. Nümerik çalışmanın yürütüldüğü Abaqus yazılımındaki yüzey tabanlı kohezif davranış tanımlanan kontakt ara yüzeyi elemanları, basitleştirilmiş mikro modelleme yaklaşımındaki harç etkileşimini yansıtmak için oldukça elverişlidir. Bu çalışmadaki kohezif ara-yüz özellikleri Bolhassani [176] tarafından yürütülen çalışmadaki yöntem esas alınarak uygulanmıştır.



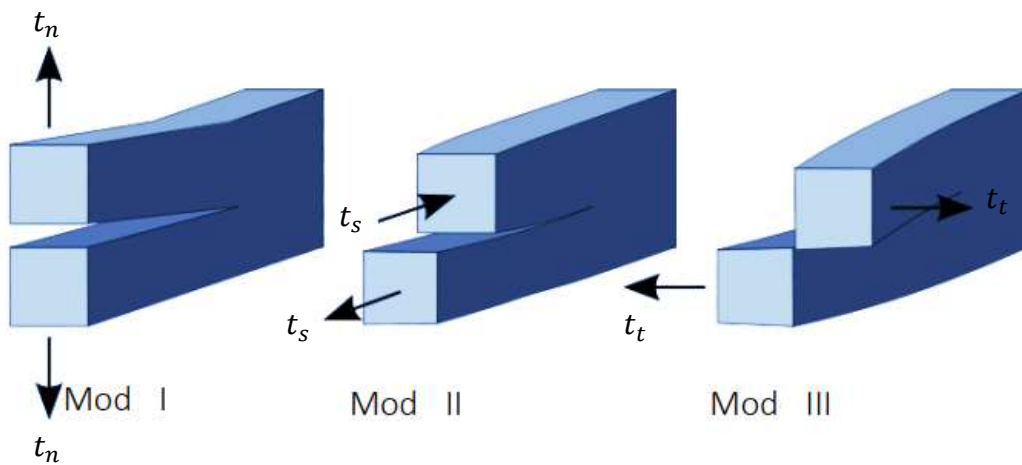
Şekil 5.16. Mikro modelleme yaklaşımları

Yüzey tabanlı kohezif davranış, duvarı oluşturan diğer bileşenlerdeki gibi malzeme özelliği ile değil, kontakt özelliği olarak tanımlanmaktadır. Malzeme özellikleri, eleman bünyesindeki şekil değiştirmelere bağlı bir davranış sunarken; kohezif kontakt özellikleri ise yapışık iki elemanın düğüm noktaları arasındaki normal ve kesme doğrultularındaki göreceli yer değiştirmelere (ayrılma) bağlı davranış göstermektedir. Kontakt ara yüzeylerindeki kohezif davranış, klasik bilinear çekme – ayrılma davranışıyla (Şekil 5.17) tanımlanmaktadır.

Çekme – ayrılma davranışı iki temel kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, ara yüzeyin hasar almadan doğrusal – elastik davrandığı bölgedir. Bu bölgenin sonunda hasar başlangıcını tanımlayan gerilmelere ulaşılmakta, yani kontakt ara yüzeyindeki bağlar kırılmaya başlamaktadır. İkinci bölge ise kontakt ara yüzeyindeki ayrılmaların yer değiştirmesine bağlı olarak hasar gelişimini tanımlamaktadır. Kontakt ara yüzeyinde gelişen hasar davranışı Şekil 5.18’de gösterilen normal (Mod I) ve iki doğrultudaki kayma (Mod II ve Mod III) modları üzerinden idare edilmektedir. Normal doğrultudaki davranışı Mod I, düzlem içi kayma davranışı Mod II, düzlem dışı kayma davranışı ise Mod III ile ifade edilmektedir. Bu çalışmadaki modellerde dolgu duvar derzlerinin mekanik özelliklerinin her iki kayma doğrultusunda da eşit olduğu (Mod II = Mod III) varsayılmıştır.



Şekil 5.17. Klasik çekme - ayrılma davranışı [116]



Şekil 5.18. Tipik hasar modları

Çekme – ayrılma davranışının elastik kısmının gerilmeleri (t) vektör olarak ifade edilmekte, kontakt ara yüzeyindeki yer değiştirme vektörü (δ) ve elastik rijitlik matrisine (K) bağlı olarak Eş 5.17'deki gibi tanımlanmaktadır. t vektörü üç doğrultudaki gerilme bileşenlerinden (t_n , t_s ve t_t); δ vektörü ise yer değiştirme (ayrılma) bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$t = \begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{nn} & 0 & 0 \\ 0 & K_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & K_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_s \\ \delta_t \end{Bmatrix} = K\delta \quad (5.17)$$

Kohezif kontakt ara yüzeyindeki hasar, belirlenen hasar başlangıcı kriterinin sağlanmasıyla başlamaktadır. Hasar başlangıcı kriterini gerilme veya ayrılmaya bağlı olarak tanımlamak mümkündür. Bu çalışmadaki modellerde maksimum gerilme kriteri esas alınmıştır. Hasar başlangıcı, kontakt ara yüzeyinde her bir doğrultuda belirlenen gerilme sınır değerleri ile tanımlanmaktadır. Kontakt ara yüzeylerinde gelişen gerilmeler (t_n , t_s ve t_t), sınır gerilmelere (t_n^0 , t_s^0 ve t_t^0) ulaştığında kriter sağlanarak hasar başlamaktadır (Eş. 5.18).

$$\max \left\{ \frac{\langle t_n \rangle}{t_n^0}, \frac{t_s}{t_s^0}, \frac{t_t}{t_t^0} \right\} = 1 \quad (5.18)$$

Eş. 5.18’de kullanılan $\langle \rangle$, Macaulay parantezini ifade etmektedir. Macaulay parantezi Eş. 5.19’deki işlemi uygulamaktadır. Normal doğrultudaki gerilmeler için kullanılan Macaulay parantezi, basınç durumunda hasarın başlamasını engellemektedir.

$$\langle x \rangle = \frac{(x+|x|)}{2} \quad (5.19)$$

Şekil 5.17’de gösterilen çekme – ayrılma davranışının ikinci kısmı, kontakt yüzeyinde gerçekleşecek hasarın ilerleme davranışını ifade etmektedir. Hasar davranışı kontakt ara yüzeyindeki ayrılmalara bağlı ifade edilebildiği gibi, kırılma enerjisi üzerinden de tanımlanabilmektedir. Hasar modları için kırılma enerjisi çekme - ayrılma davranışının çevrelediği alan olarak hesaplanmaktadır.

Dolgu duvarlarda uygulanan kohezif davranış, başlangıçta yapışık olan iki yüzeyin yük altındaki deformasyon ve hasar davranışını tanımlamaktadır. Ancak dolgu duvar modellerinde kohezif davranışa ek olarak normal ve teğetsel davranış da tanımlanmaktadır. Kontakt yüzeylerindeki normal basıncın komşu yüzeye penetrasyon olmadan iletildiği varsayılarak *hard contact* tanımı yapılmıştır. Oluşturulan modellerin herhangi bir noktasındaki kohezif kontakt tamamen ayrılrsa bile, öteleme etkisi devam ettikçe komşu yüzeyler birbiri üzerinde kayarak

etkileşime devam edecektir. Bu etki de kontakt algoritmasına teğetsel davranış eklenerek sağlanmıştır.

Sayısal modellerde dolgu duvar kohezif kontakt özelliklerinin tanımlanmasında, bu çalışmadaki bölüm 2.5'te açıklanan gazbeton duvar numuneleri üzerinde yapılan testlerden faydalanılmıştır. Kontakt ara yüzeyinde kullanılan özellikler Çizelge 5.3'te sunulmaktadır. normal doğrultusundaki çekme – ayrılma davranışı, çekme testlerinden elde edilen çekme dayanımı ve deplasmanı kullanılarak tanımlanmıştır. Diyagonal kayma testleri ise kohezif yüzeyin kayma modları için gereken gerilme sınırı ve elastik rijitlik tanımında kullanılmıştır. Her bir moddaki hasar başlangıcı için testlerden elde edilen maksimum gerilme noktaları esas alınmıştır. Dolgu duvar numunelerin gevrek yapısı ve test düzeneğinin servo kontrollü olmaması nedeniyle, davranışın hasar öncesi kısmı ve hasar başlangıç değerleri elde edilebilmiştir. Ancak, hasar ilerlemesi davranışı kırılma enerjisi cinsinden girilerek, betonarme çerçeve deneyleriyle en uyumlu davranışı veren kırılma enerjisi değerleri ile tanımlanmıştır.

Kohezif kontakt yüzeyleri ayrıldıktan sonra göstereceği teğetsel davranış Coulomb kuru sürtünme kanununa göre tanımlanmıştır (Eş. 5.20). Kontakt yüzeyinin göstereceği kayma direnci, yüzeye etkiyen normal doğrultudaki basınca göre değişmektedir.

$$\tau = \mu \times p \quad (5.20)$$

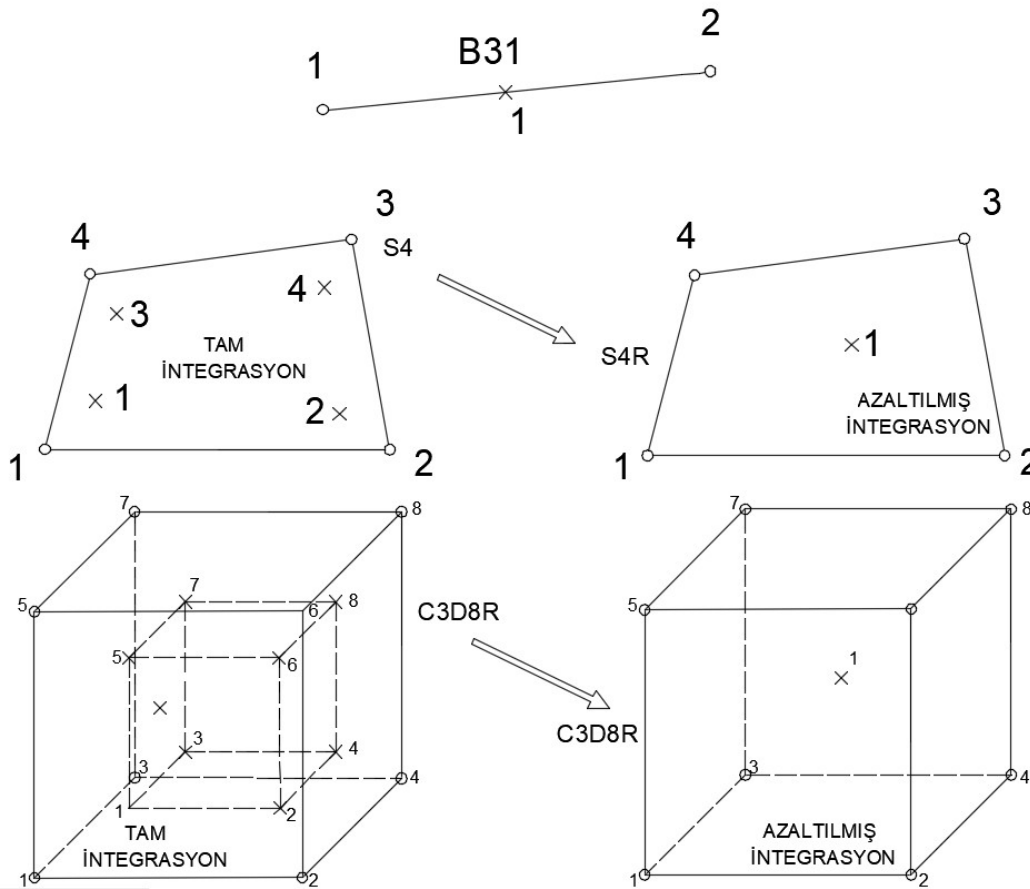
Bu davranışta μ sürtünme katsayısını; p kontakt yüzeyindeki normal basıncı; τ ise kayma gerilmesini ifade etmektedir. Nümerik modellerde teğetsel davranış için tanımlanan sürtünme katsayısı üçlü gazbeton numuneleri üzerinde yapılan kayma testlerinden elde edilmiştir. Kontakt modellemesinde faydalanılan test sonuçları Çizelge 2.5'te, modellere tanımlanan parametreler ise Çizelge 5.3'te sunulmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi Mod I, Mod II ve Mod III'e ait parametrelerin alt indisleri, Çizelge 5.3'teki n , s ve t alt indisleriyle belirtilmiştir.

Çizelge 5.3. Kohezif kontakt özellikleri

Teğetsel davranış	Doğrusal elastik davranış		Hasar başlangıcı		Hasar ilerlemesi	
	μ	K_{nn}	K_{ss}, K_{tt}	t_n^0	t_s^0, t_t^0	G_n^c
	$N/mm^2/mm$		N/mm^2		$N/mm^2 \times mm$	
0,622	15	9,43	0,1	0,32	0,001	0,023

5.1.6. Eleman türleri

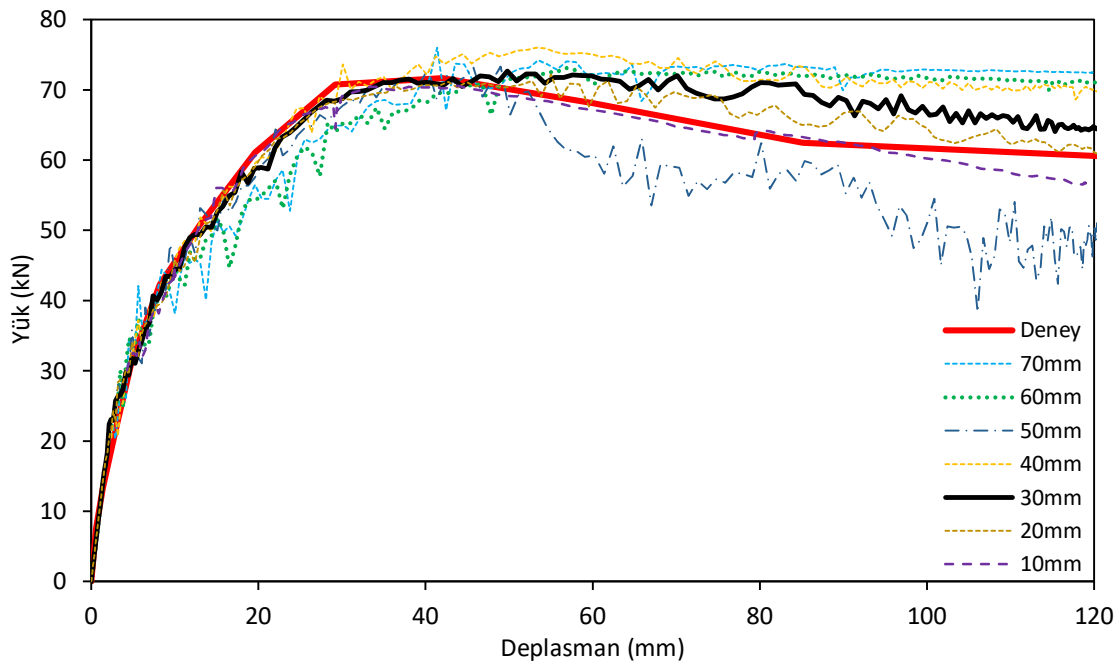
Çözüm yükünü azaltmak için mümkün olduğunca kabul görmüş basitleştirilmiş modelleme yaklaşımları benimsenmiştir. Modellerde 3 farklı eleman türü kullanılmıştır (Şekil 5.19). Kullanılan elemanlar her bir düğüm noktasında 6 serbestlik derecesine sahip, integrasyon noktaları azaltılmış doğrusal elemanlardan oluşmaktadır.



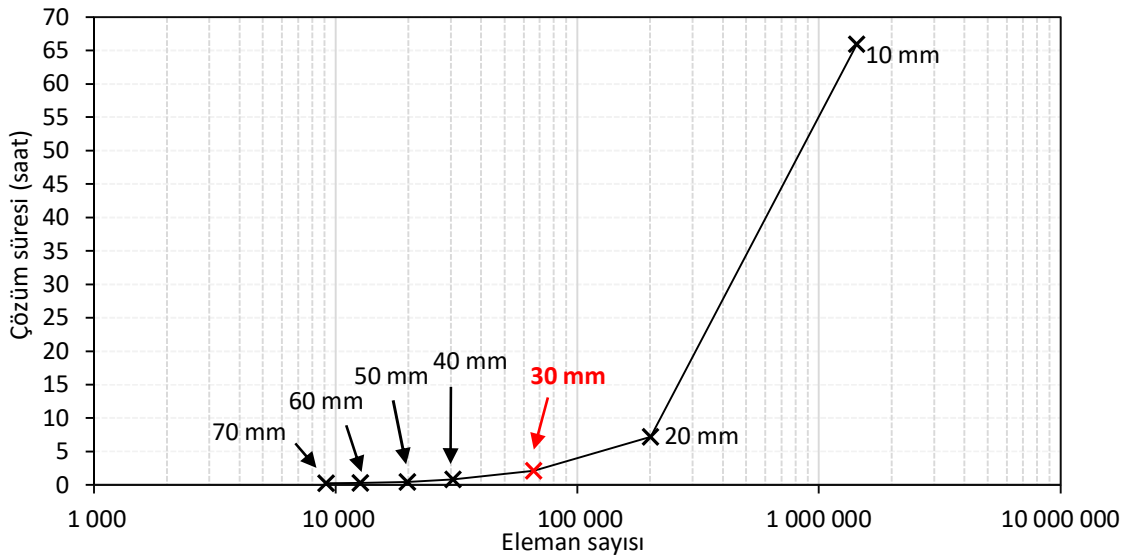
Şekil 5.19. Modellerde kullanılan eleman türleri

Tam integrasyonlu doğrusal elemanların çözümlerinde oluşan gerçek dışı kayma gerilmeleri, elemanların dengeye daha küçük deformasyonlarda ulaşmasına neden olmaktadır. Beklenenden önce dengeye ulaşan elemanlar, normalden çok daha rijit davranarak hatalı sonuçlara neden olmaktadır. Azaltılmış integrasyonlu elemanların kullanılması, kayma kilitlemesi olarak anılan bu soruna çözüm olmaktadır [126].

Çerçeve modellerindeki bütün elemanların ortalama (ağ) boyutu 30 mm'dir. Bu değer 10 – 70 mm arasında farklı eleman boyutlarının model davranışı (Şekil 5.20) ve çözüm süresi (Şekil 5.21) göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Beton ve dolgu duvarlar C3D8R (8-node brick elements with reduced integration) üç boyutlu katı (solid) elemanlarla, esnek bağlantı elemanlarında kullanılan plakalar iki boyutlu kabuk (Shell) elemanlarla (S4R), donatılar ise bir boyutlu düğümlü çubuk (beam) elemanlarla (B31) modellenmiştir. Kullanılan katı elemanlarda 8 düğüm noktası, kabuk elemanlarda 4 düğüm noktası, çubuk elemanlarda 2 düğüm noktası bulunmaktadır. İntegrasyon noktası ise bütün eleman türlerinde 1 adet bulunmaktadır. İntegrasyon noktaları azaltılmış elemanlar kayma kilitlemesi konusundaki avantajının yanı sıra, çözüm yükünü de hafifletmektedir.



Şekil 5.20. Eleman boyutlarının çerçeve davranışına etkisi



Şekil 5.21. Eleman boyutlarının çözüm süresine etkisi

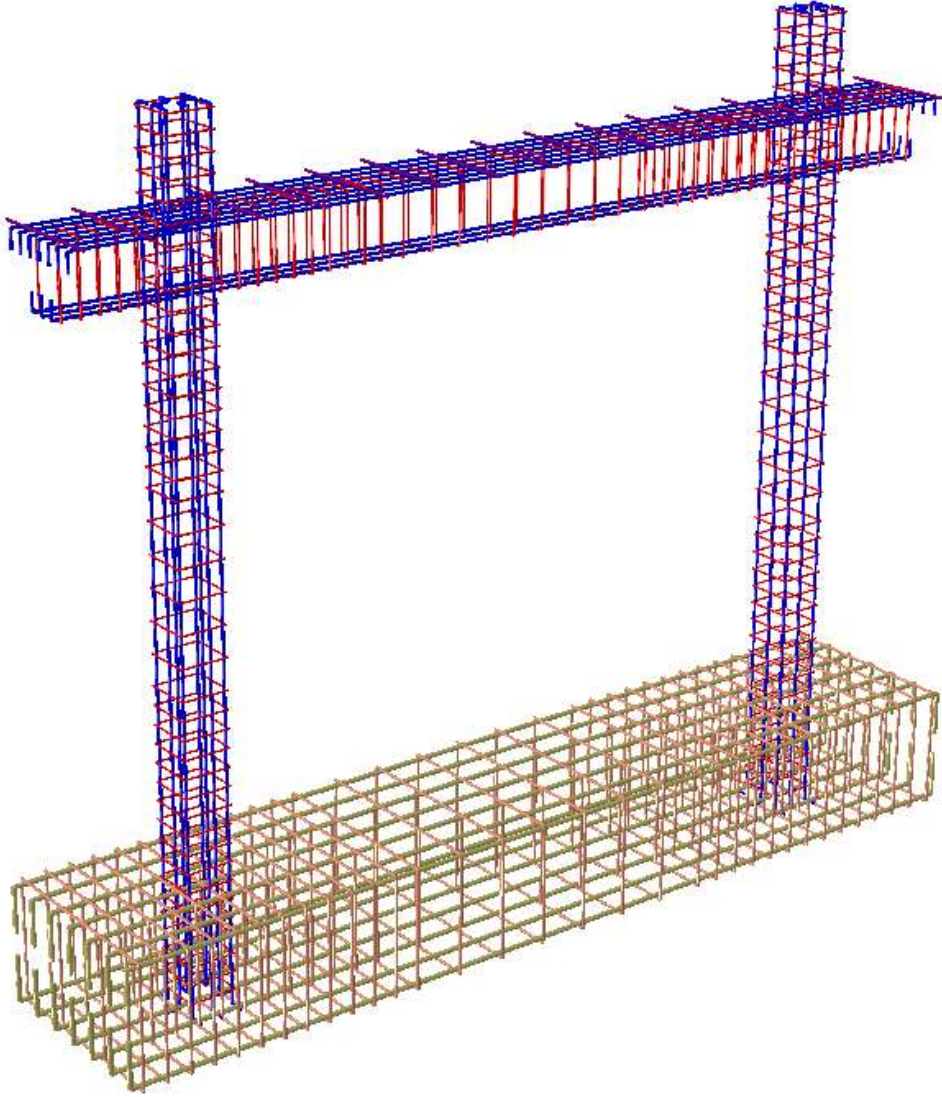
Çizelge 5.4. Modellerde kullanılan eleman türleri ve sayıları

Çerçeve modeli	Eleman türü			Toplam eleman sayısı
	Üç-boyutlu katı eleman (C3D8R)	İki-boyutlu kabuk eleman (S4R)	Bir-boyutlu çubuk eleman (B31)	
BÇ	56 020	-	10 155	66 175
GÇ	85 707	-	10 155	95 862
YÇ	79 960	1 152	10 155	91 267
T1Ç	82 360	1 035	10 155	93 550
T2Ç	85 248	880	10 155	96 283
T3Ç	85 732	-	10 155	95 887

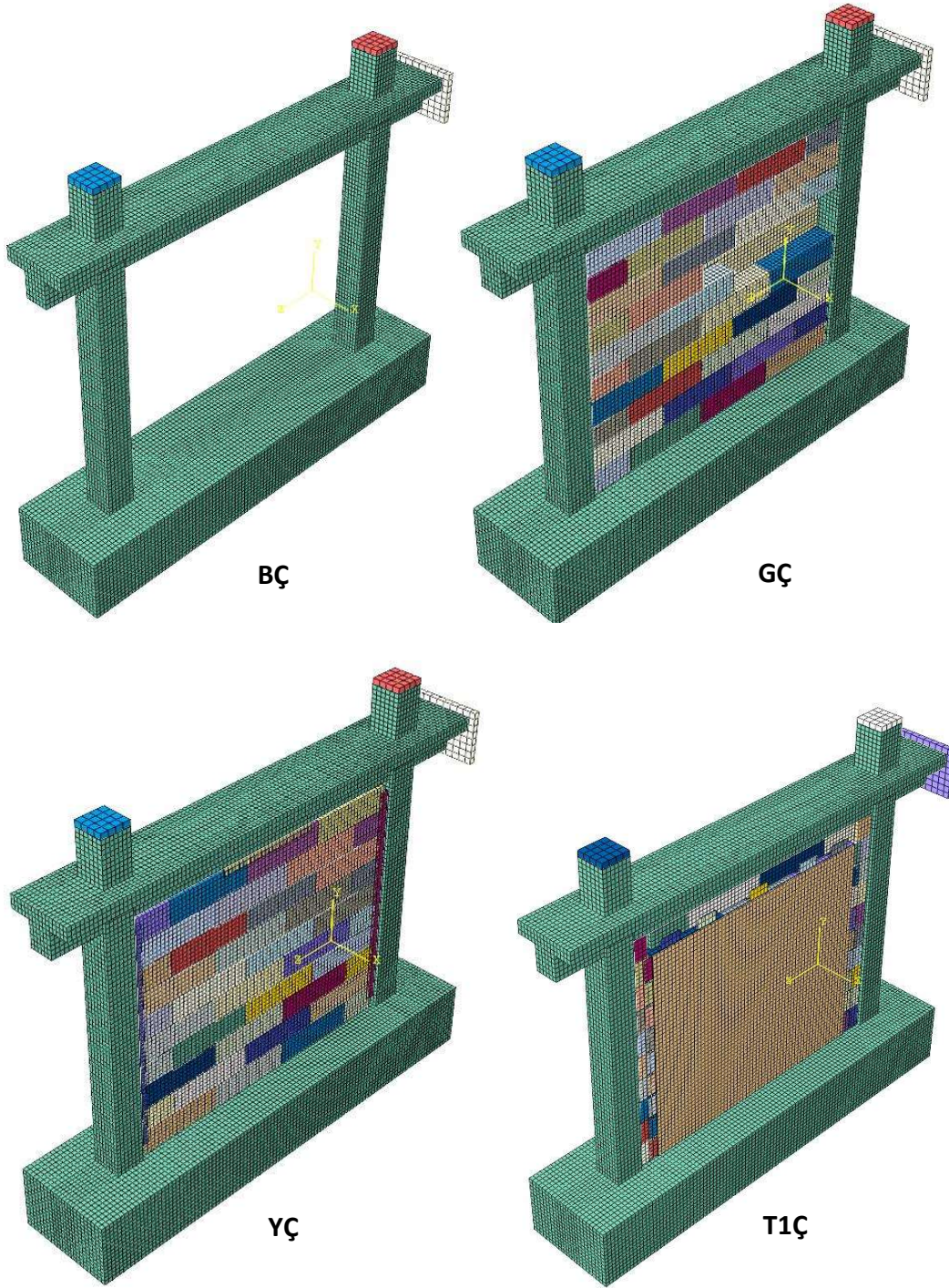
Şekil 5.22'de görülen donatılar bütün çerçeve modellerine tam aderans varsayımıyla bağlanmış, donatı ve beton arasındaki sıyrılma ihmal edilmiştir. Tabla üzerindeki kiriş eksenine dik donatılar, deney çerçevelerindeki uygulamada uçlarından 180° bükülmüştür. Bu büküm detayı, donatı modellerinde 20 mm uzunluğunda elemanlar ile modellenebilmektedir. Ancak nümerik çözümler sırasında zaman adımının belirlenmesinde boyutundan dolayı en kritik eleman olarak çözüm süresini önemli ölçüde uzatmıştır. Boyuna donatıların montajını kolaylaştırmak için

yapılan bu detayın yapısal davranışa etkisi ihmal edilerek düz çubuklar halinde modellenmiştir (Şekil 5.22).

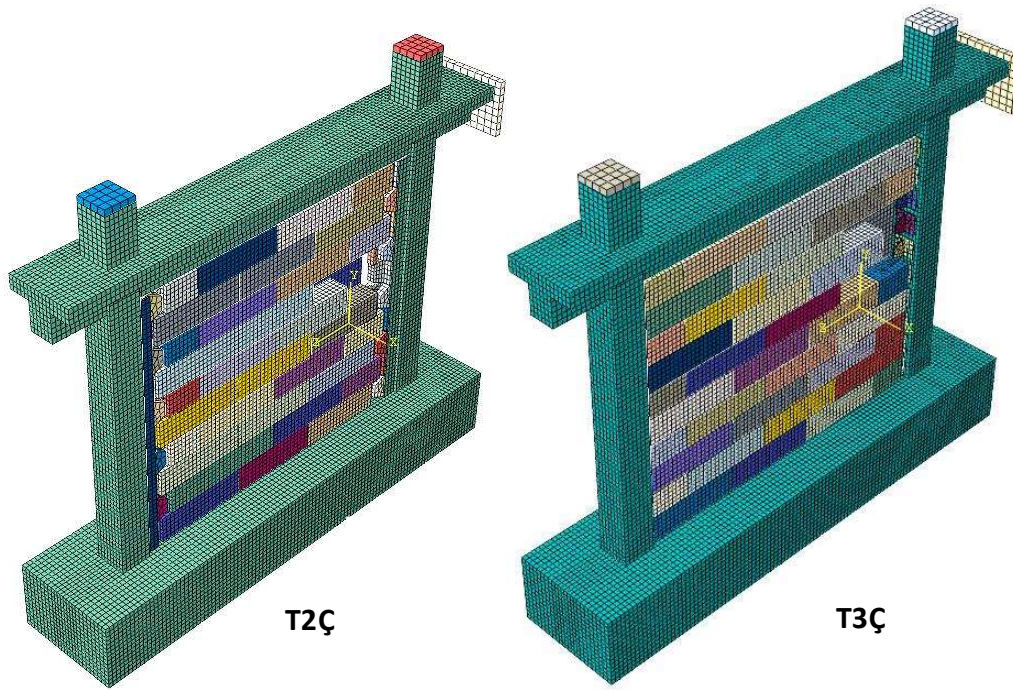
Oluşturulan sayısal modeller eleman ağı ile birlikte Şekil 5.23'te sunulmaktadır. Modellerin gösteriminde gazbeton blokları ve esnek derz detaylarının görülebilmesi için, ön yüzdeki sıva elemanları ve bazı gazbeton bloklar görüntüden kaldırılmıştır. Ancak dolgu duvarların arka yüzeylerindeki sıvalar Şekil 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.22. Nümerik modellere yerleştirilen donatılar



Şekil 5.23. Sonlu eleman modelleri



Şekil 5.23. Sonlu eleman modelleri (devamı)

5.2. Nümerik Sonuçlar

Nümerik çözümlerde AMD Ryzen Threadripper 2950x (16 çekirdek/32 sanal çekirdek, 3,5 Ghz/4,5 Ghz) işlemci kullanılmıştır. Modellerde problem 16 parçaya bölünmüş, MPI-çoklu işlem modu ile çözülmüştür.

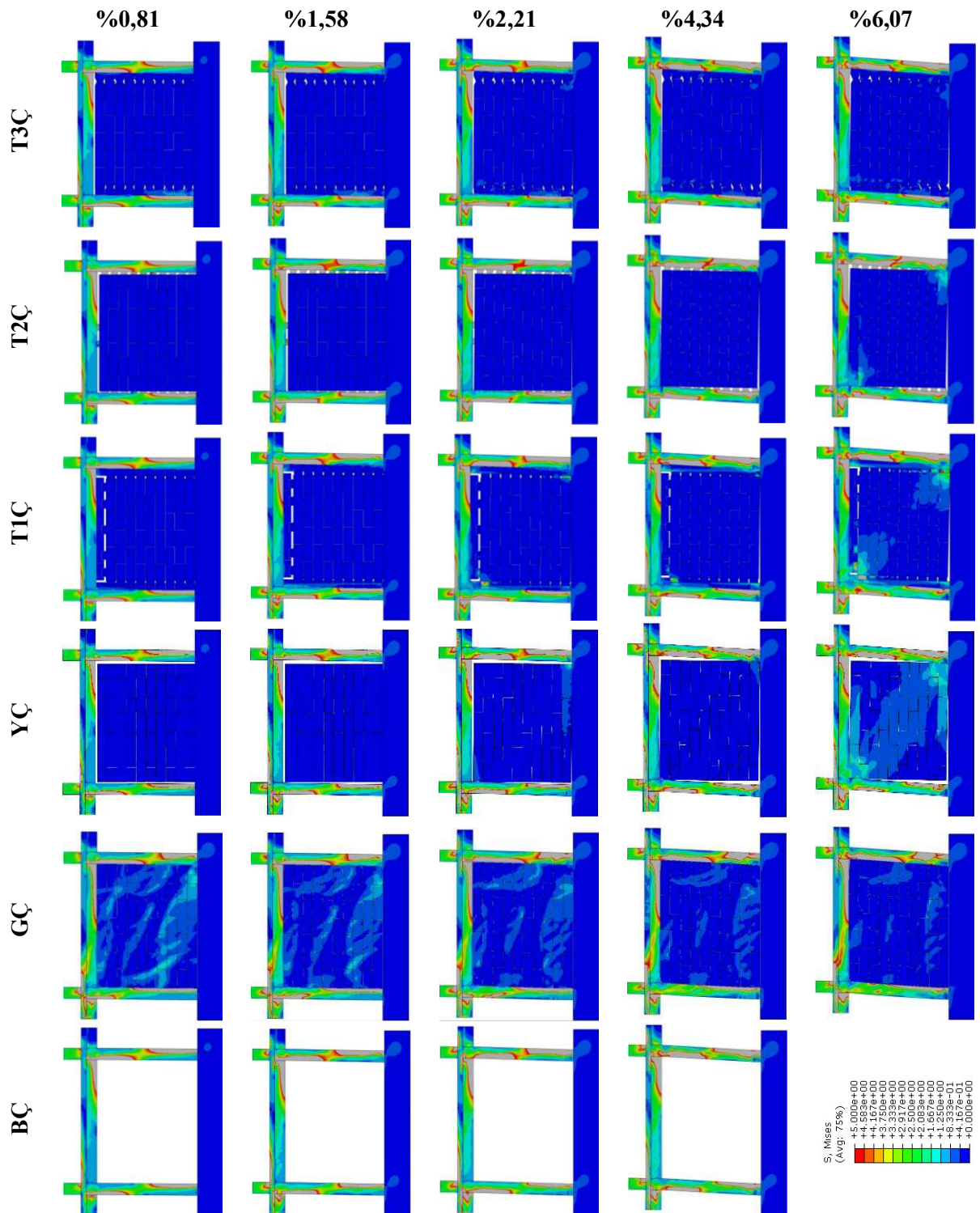
Sonlu eleman analizlerinde çerçeve ve duvarlarda oluşan mises gerilmeleri Şekil 5.24'te gösterilmektedir. Şekil 5.24'teki gerilme dağılımının renk ölçeği, dayanımı betona göre daha düşük olan duvarlarda da görülebilmesi amacıyla 5 MPa gerilme üst limitiyle sınırlanmıştır. YÇ'nin duvar sınırlarındaki gerilmelerin görülebilmesi için U profilleri analiz görüntülerinden kaldırılmıştır.

GÇ'nin duvarı analizin başından itibaren gerilme altındayken, %0,81'den sonra hasar almasıyla daha küçük gerilmeler almıştır (Şekil 5.24). Dolgu duvarlardaki bu hasar, Şekil 5.25'teki deneysel ve nümerik eğrilerde ani yanal yük düşüşleri olarak yansımıştır. Öteleme arttıkça GÇ'deki hasarlar dolgu duvarın tamamına yayılmış (Şekil 3.5, Şekil 5.24), buna bağlı olarak daha düşük gerilmeler oluşmuştur. Bu nedenle davranışını yanal direnç kayıplarıyla

sürdürmüştür (Şekil 5.25). Esnek derzli çerçevelerde dolgu duvar – çerçeve etkileşimi yaklaşık %1,75 öteleme oranında başlamıştır.

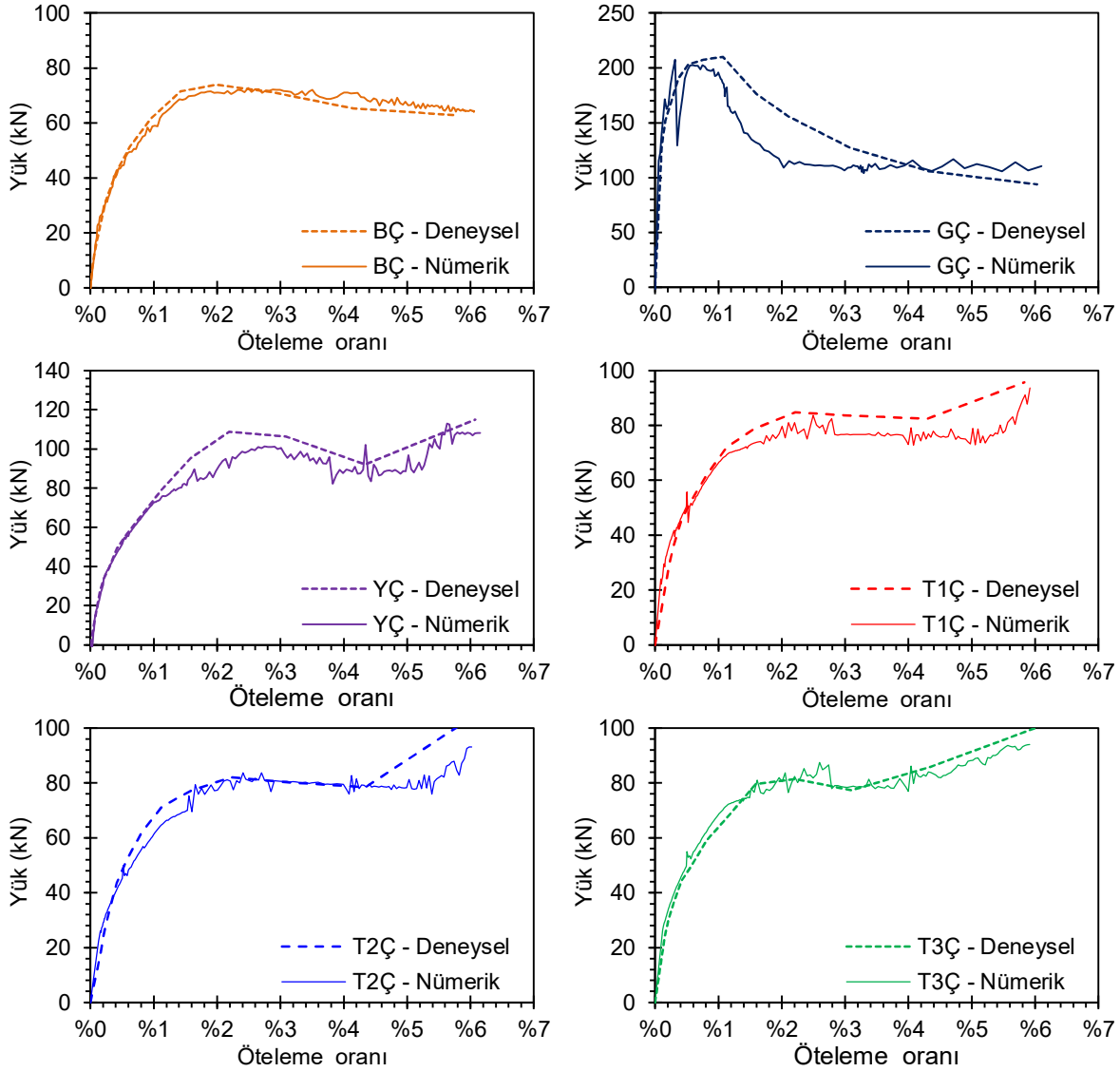
Şekil 5.24'teki analiz görüntüleri incelendiğinde, bu öteleme oranı öncesinde BÇ ile esnek derzli çerçevelerin betonarme elemanlarında oluşan gerilme dağılımlarındaki benzerlik dikkat çekmektedir. YÇ'nin dolgu duvar ile ilk etkileşiminde çerçeveye temas eden köşelerinde gerilmelerin arttığı görülmektedir. Bu öteleme oranında YÇ'nin dolgu duvarı yükün uygulandığı tarafından bir miktar kalkmış, ancak ötelenmemiştir. %4,34 öteleme oranında YÇ'nin duvarının her iki köşesinin kolonlar ile teması neticesinde gerilme aldığı görülmektedir. %6,07 öteleme oranında YÇ'nin dolgu duvar köşelerinin betonarme çerçeve köşeleri arasında sıkışarak gerilme aldığı görülmektedir. Gerilmeler dolgu duvarın gövdesine yayılsa da, köşelerde daha yüksek seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır.

Esnek bağlantılı T1Ç, T2Ç ve T3Ç modellerinde yaklaşık %1,75 öteleme oranında dolgu duvar – çerçeve etkileşimi başlamıştır. Ancak bu aşamadan önce, T1Ç ve T3Ç'nin kolonlarına kohezif kontakt ile bağlı olan gazbeton bloklarının etkisiyle, BÇ ve T2Ç'ye göre nispeten yüksek yanal yükler elde edilmiştir (Şekil 5.25). Betonarme çerçeve ile ilk temas sonucunda, dolgu duvarlarının köşelerinde küçük gerilmeler oluşmuştur. %2,21 öteleme oranında esnek bağlantılı çerçevelerin dolgu duvarları yükün uygulandığı tarafın bir miktar kalktığı görülmektedir (Şekil 5.24). Ancak bu aşamada çerçeve temeline oturan yatak derzlerinin tamamı kırılmamıştır. Nitekim Şekil 5.25'te yatak derzlerinin yük aldığı ötelemelerde yük - deplasman grafiğinde dalgalanmalar görülmektedir. Ötelemenin artmasıyla, T1Ç, T2Ç ve T3Ç'nin dolgu duvarlarının çerçeve temelleri ile aralarındaki bağlar tamamen kopmuş, dolgu duvarlar hareketini temel üzerinde kayarak sürdürmüştür. %4,34 öteleme oranında, T1Ç ve T2Ç'nin dolgu duvarlarının her iki tarafındaki esnek bağlantı boşlukları henüz kapanmış, böylece dolgu duvarlarda çapraz basınç etkisi başlamıştır. Ancak bu etki henüz başladığı için %4,34 öteleme oranında dolgu duvar köşelerinde küçük gerilmeler oluşmuştur (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Öteleme oranlarına karşılık gelen Von Mises gerilme dağılımları

Öte yandan, T3Ç'nin esnek bağlantısındaki bazı bloklar %1,75 öteleme oranından önceki aşamalarda temas ederek birbirlerine düşey kuvvet uygulamışlardır. Düşey etkileşimde bulunan bloklar ani kırılmalarla deforme olarak mukavemetini kaybetmiştir. %6,07 öteleme oranında esnek bağlantılı çerçevelerin dolgu duvarları, betonarme çerçeve köşeleri arasında sıkışsa da, gerilmeler gazbeton blokların geçmeli dışlarına yayılmıştır.



Şekil 5.25. Nümerik ve deneysel birinci çevrim zarf eğrilerinin karşılaştırması

Analizlerden elde edilen yük deplasman eğrileri deneysel zarf eğrileri ile birlikte Şekil 5.25'te sunulmaktadır. Çerçevelerin deneysel ve nümerik sonuçları karşılaştırmasında, düzlem içi davranışlarında büyük ölçüde tutarlılık sağlandığı görülmektedir. Analizlerde dolgu duvarlar

elastik ötesi davranışı en karmaşık olan elemanlardır. GÇ'nin dolgu duvar ilk ötelemelerden itibaren plastik şekil değiştirmelere maruz kalmıştır. Deneyde GÇ'nin dolgu duvarının sıvalarında meydana gelen kopmalar nümerik modele yansıtılamamıştır. Bu nedenle, ileri ötelemelerden elde edilen yük deplasman davranışı, deneysel zarf eğrisinin üzerinde kalmıştır.

BÇ'nin duvarsız olması, YÇ, T1Ç, T2Ç ve T3Ç'nin duvarında oluşan gerilmelerin çoğunlukla elastik ötesi bölgeye geçmemesi nedeniyle, deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Esnek derzli çerçevelerin davranışına, küçük ötelemelerde daha çok betonarme çerçeveler hâkimken, yaklaşık %1,75 öteleme oranından sonra dolgu duvarlardan da etkilenmiştir. İstisnai olarak, deneyde özellikle %6,07 öteleme oranında T3Ç'nin esnek bağlantılı elemanlarının dışlarında ve duvar köşelerinde kırılmalar gerçekleşmiş, yanal yük azalmıştır. T3Ç'nin analizinde ise esnek bağlantı elemanlarının dışlarında şekil değiştirmeler meydana gelmiştir. Gazbeton blokların kırılması/kopması nümerik modellere yansıtılamadığından, T3Ç'nin deneyinde %6,07 öteleme oranındaki yanal direnç kaybı, nümerik yük-deplasman eğrisinde görülememiştir (Şekil 5.25).

6. SONUÇ

Türkiye’de ilk olarak 2018 TBDY ile gündeme gelen “dolgu duvar – çerçeve arası esnek derzli bağlantı elemanları” üzerinde yapılan bu araştırmada, üç yeni esnek derz detayı önerilmiştir. Bu kapsamda, hem 2018 TBDY’de sunulan esnek derz detayı, hem de bu çalışmada tasarlanan yeni esnek derz detayları betonarme çerçevelere uygulanarak düzlem içi tersinir tekrarlı yükler altında deneysel olarak incelenmiştir. Bu çerçevelerden elde edilen davranışlar, aynı şartlarda deneyleri gerçekleştirilen boş ve geleneksel dolgu çerçevelerle kıyaslanmıştır.

Dolgu duvarların rijitliği ihmal edilerek yapılan tasarımlar ile sağladıkları rijitlik etkisi altında davranış gösteren gerçek yapılar arasındaki uyumsuzluğu ortadan kaldırmanın hedeflendiği bu çalışmada, gevrek malzemelerden oluşan dolgu duvarların taşıyıcı çerçevelerden izole edilmesi yöntemi benimsenmiştir. Esnek derzli dolgu duvar tasarımına ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Esnek derzli dolgu duvar uygulamasıyla çerçeve davranışı, özellikle yanal yük kapasitesi, rijitlik ve süneklik açısından boş çerçeve davranışına yaklaştırılmıştır. Dolayısıyla, dolgu duvardan kaynaklanan yumuşak/zayıf kat, kısa kolon ve burulma gibi olumsuz etkilerin azalacağı düşünülmektedir.
- Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve, yanal direnç, rijitlik ve enerji tüketimi açısından boş ve esnek derzli çerçevelerden oldukça yüksektir. Geleneksel çerçeve küçük ötelemelerde kapasitesine ulaşmış ve yanal direncini hızla kaybetmiştir. Öte yandan, esnek derzli çerçeveler kapasitelerine geleneksel dolgu duvarlı çerçeveden daha ileri ötelemelerde ulaşmış, artan ötelemelerde yanal direncini ciddi kayıplar olmadan korumuştur.
- Geleneksel uygulamada dolgu duvar, küçük ötelemelerde ciddi hasar alarak bütünlüğünü kaybederken, esnek derzli çerçevelerde hasarlar aşırı ötelemeler uygulanmasına rağmen yalnızca duvar köşelerinde meydana gelmiştir.
- Esnek derzli numunelerde, betonarme çerçevelerin göçme konumuna geldiği ileri ötelemelerde dolgu duvarların yük alarak sistemin yanal direncini artırması olumlu bir katkı olarak değerlendirilmiştir.

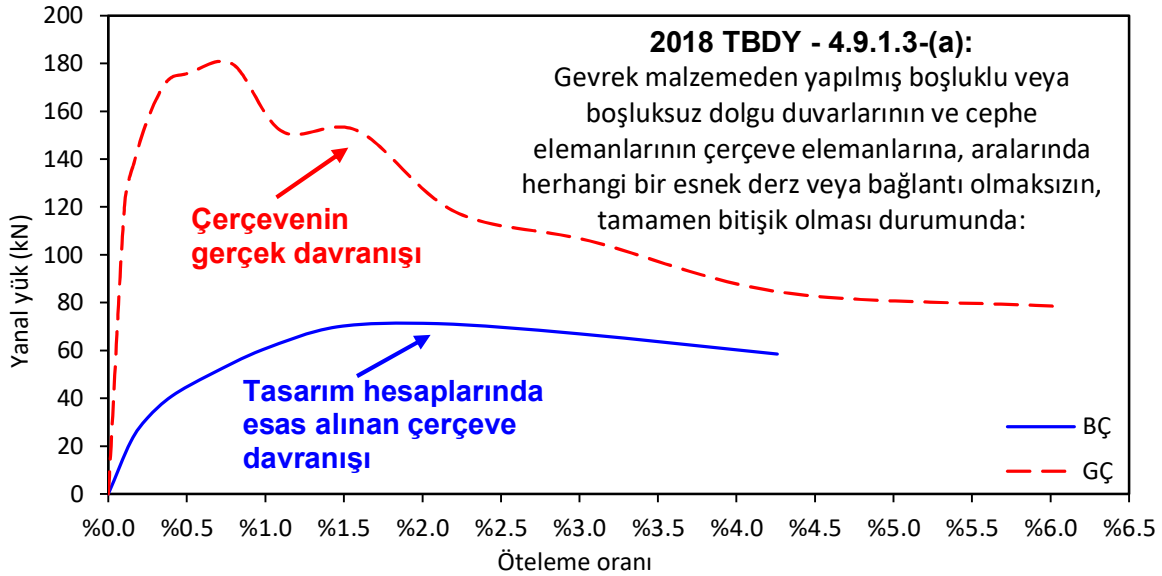
- Boş ve esnek derzli numunelerin başlangıç rijitlikleri birbirine oldukça yakın iken, 2018 TBDY'deki örneğe göre hazırlanan numunenin kiriş ve kolonlara tutturulan profiller çerçeve rijitliğini artırmıştır.
- Dolgu duvarın düzlem dışı devrilmesini önlemek için kullanılan çelik U profiller, betonarme çerçeve elemanları ile uyumlu davranmış, ani bir davranış değişikliğine neden olmamıştır. Kolon uçlarında meydana gelen eğilme çatlakları, küçük ve orta ötelenme oranlarında boş çerçeveye benzerlik göstermiştir. Ancak çerçeveye sabitlenen U profillerin kolon uçlarında süreksiz olması, ileri ötelenmelerde eğilme hasarının kolon uçlarındaki profilsiz bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu nedenle 2018 TBDY'de belirtilen esnek bağlantı detayı dışında farklı yenilikçi düzlem dışı devrilme önleme yöntemlerinin araştırılmasının faydalı olacağı düşünülmüştür.
- Dolgu duvarlı çerçeve davranışındaki iyileşme, yanıcı olmayan, ısı yalıtımında başarılı, temini ve üretimi kolay malzemelerle sağlanmıştır.
- Esnek derzli dolgu duvarlarda küçük ötelenme oranlarında meydana gelen hasarlar kolayca onarılabilir düzeyde olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, alternatif esnek derzli dolgu duvar tasarımlarının geliştirilmesine yönelik çeşitli öneriler aşağıda sunulmuştur:

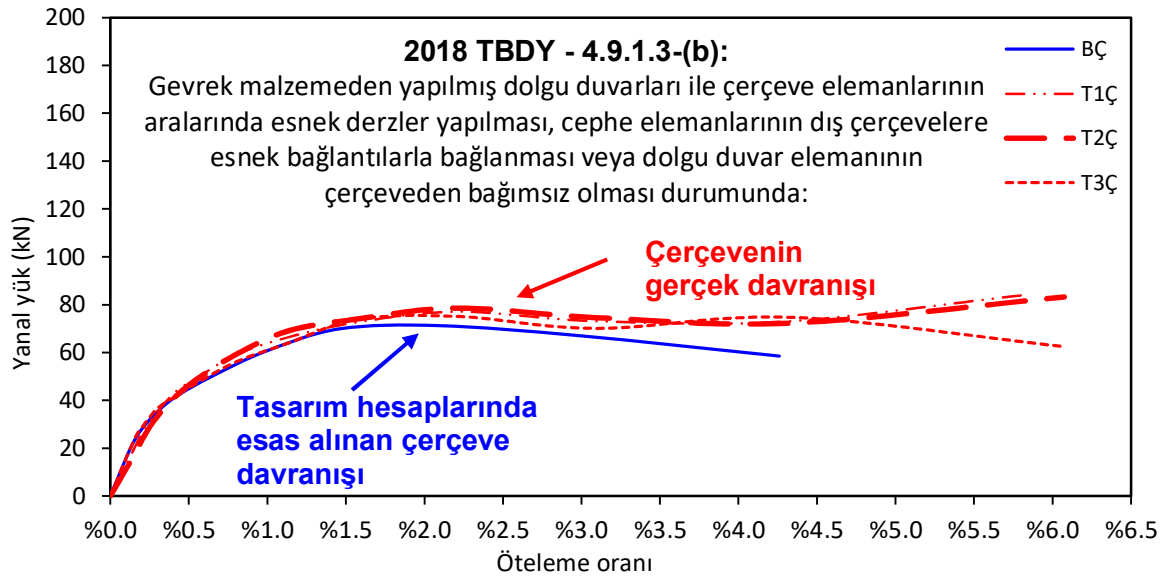
- Düzlem dışı devrilmeyi önlemek için çerçeve elemanları boyunca tek bir U profil kullanmak yerine, ayrık parçalar kullanılarak U-profillerinin çerçeve davranışı üzerindeki etkisi azaltılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 2018 TBDY'de belirtilen kolonlara vida kullanılarak yapılan sabitlemeler yerine daha pratik ve hasarsız alternatif yöntemler geliştirilebilir.
- Bu çalışmadaki esnek derz detaylarının performansı düzlem içi ötelemeler altında değerlendirilmiştir. Duvarların düzlem dışı performansı da değerlendirilmelidir.
- Düzlem içi davranışı en fazla etkileyen durum olduğu için, bu çalışmada, tam dolgulu çerçeve davranışı incelenmiştir. Kısmi dolgulu veya boşluklu duvar uygulamalarının düzlem içi/dışı davranışları da deneysel olarak incelenmelidir.
- Bu çalışmada sunulan sayısal modeller deneylerle doğrulanmıştır. Bu modeller kullanılarak, farklı derz/sıva/duvar kalınlıklarına sahip esnek derzli dolgu duvarlar için parametrik bir çalışma, ileri bir araştırma olarak değerlendirilmektedir.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, esnek derzlerin uygulandığı çerçevelerin, 2018 TBDY’de izin verilen görelî kat ötelemesi sınırları içerisindeki düzlem içi davranışının boş çerçeve davranışına yaklaştığı anlaşılmıştır. Şekil 6.1’den de anlaşıldığı gibi, geleneksel yöntemle oluşturulan dolgu duvarlı çerçevelerin davranışı, tasarımda esas alınan duvarsız çerçevelere göre farklı bir karakterdedir. Bu nedenle, geleneksel dolgu duvarlarla inşa edilen yapılar, tasarımda öngörülme yen hasarlara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada sunulan esnek derz detaylarının davranışları göz önünde bulundurulduğunda, tasarımda esas alınan davranış ve gerçek çerçeve davranışının uyumlu hale geldiği görülmektedir (Şekil 6.2). Esnek derzli çerçevelerin yanal direncinin ileri ötelemelere kadar sürdürmesi ise bu yöntemin diğ er bir avantajıdır.

Esnek derz uygulamasının inşaat sektöründe yer bulması halinde, gevrek dolgu duvarların çerçeve davranışında neden olduğu, dinamik özelliklerin değişmesi, yumuşak/zayıf kat, burulma gibi öngörülme yen etkilerin, bununla birlikte, dolgu duvar etkileşiminden kaynaklanan yapısal eleman hasarlarının ortadan kalkacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.1. Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve ile boş çerçevenin düzlem içi davranışı



Şekil 6.2. Tasarlanan esnek derzli çerçeveler ile boş çerçevenin düzlem içi davranışı

KAYNAKLAR

1. Bayülke, N. (2003). Betonarme yapının dolgu duvari. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 85–98.
2. Ricci, P., Di Domenico, M., Verderame, G. M. (2018). Experimental investigation of the influence of slenderness ratio and of the in-plane/out-of-plane interaction on the out-of-plane strength of URM infill walls, *Construction and Building Materials*, 191, 507–22.
3. Palieraki, V., Zeris, C., Vintzileou, E., Adami, C.E. (2018). In-plane and out-of plane response of currently constructed masonry infills. *Engineering Structures*, 177, 103–16.
4. Da Porto, F., Donà, M., Verlato, N., Guidi, G. (2020). Experimental Testing and Numerical Modeling of Robust Unreinforced and Reinforced Clay Masonry Infill Walls, With and Without Openings. *Frontiers in Built Environment*, 6.
5. Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. (2015). Influence of the in Plane and Out-of-Plane Masonry Infill Walls' Interaction in the Structural Response of RC Buildings. *Procedia Engineering*, 114, 722–9.
6. Hak, S., Morandi, P., Magenes, G. (2018). Prediction of inter-storey drifts for regular RC structures with masonry infills based on bare frame modelling. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 397–425.
7. Morandi, P., Hak, S, Magenes, G. (2018). Performance-based interpretation of in-plane cyclic tests on RC frames with strong masonry infills. *Engineering Structures*, 156, 503–21.
8. Milanesi, R. R., Hemmat, M., Morandi, P., Totoev, Y., Rossi, A., Magenes, G. (2020). Modeling Strategies of Ductile Masonry Infills for the Reduction of the Seismic Vulnerability of RC Frames. *Frontiers in Built Environment*, 6, 1–22.
9. Schwarz, S., Hanaor, A., Yankelevsky, D. Z. (2015). Experimental Response of Reinforced Concrete Frames With AAC Masonry Infill Walls to In-plane Cyclic Loading. *Structures*, 3, 306–19.
10. Brodsky, A., Rabinovitch, O., Yankelevsky, D. Z. (2018). Determination of the interaction between a masonry wall and a confining frame. *Engineering Structures*, 167, 214–26.
11. Brodsky, A., Rabinovitch, O., Yankelevsky, D. Z. (2017). Experimental evaluation of the interaction between a masonry infill wall and the surrounding frame. *Strain*, 53, e12250.
12. Mehrabi, A. B, Benson Shing, P., Schuller, M. P, Noland, J. L. (1996). Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames. *Journal of Structural Engineering*, 122, 228–37.

13. Mısır, İ. S., Özçelik, Ö., Kahraman, S. (2015). Betonarme Çerçeve İçerisindeki Sandviç Duvarların Birleşik İki Yönlü Yükler Altındaki Davranışı. *İMO Teknik Dergi*, 7139–66.
14. Abdel-Hafez, L. M., Abouelezz, A. E. Y., Elzefer, F. F. (2015). Behavior of masonry strengthened infilled reinforced concrete frames under in-plane load. *HBRC Journal*, 11, 213–23.
15. Teguh, M. (2017). Experimental Evaluation of Masonry Infill Walls of RC Frame Buildings Subjected to Cyclic Loads. *Procedia Engineering*, 171, 191–200.
16. Ahani, E., Mousavi, M. N., Rafezy, B., Osmanzadeh, .F. (2019). Effects of Central Opening in Masonry Infill on Lateral Behavior of Intermediate RC Frames. *Advances in Civil Engineering Materials*, 8, 20180040.
17. Alwashali, H., Torihata, Y., Jin, K., Maeda, M. (2017). Experimental observations on the in-plane behaviour of masonry wall infilled RC frames; focusing on deformation limits and backbone curve. *Bulletin of Earthquake Engineering 2017 16:3*, 16, 1373–97.
18. Suzuki, T., Choi, H., Sanada, Y., Nakano, Y., Matsukawa, K., Paul, D., Gülkan, P., Binici, B. (2017). Experimental evaluation of the in-plane behaviour of masonry wall infilled RC frames. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15, 4245–67.
19. Leal G., J. M., Pérez Gavilán, J. J., Castorena G. J. H., Velázquez D., J. I. (2017). Infill walls with confining elements and horizontal reinforcement: An experimental study. *Engineering Structures*, 150, 153–65.
20. Akhoundi, F., Vasconcelos, G., Lourenço, P. (2018). Experimental Out-Of-Plane Behavior of Brick Masonry Infilled Frames. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1529207>, 14, 221–37.
21. Umar, M., Shah, S. A. A., Shahzada, K., Naqash, T., Ali, W. (2020). Assessment of seismic capacity for reinforced concrete frames with perforated unreinforced brick masonry infill wall. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 6, 2397–415.
22. Ayatar, M. E, Canbay, E., Binici, B. (2020). Strengthening of reinforced concrete frames with engineered cementitious composite panels. <https://doi.org/10.1680/jstbu.18.00001>, 173, 237–51.
23. Penava, D., Sarhosis, V., Kožar, I., Guljaš, I. (2018). Contribution of RC columns and masonry wall to the shear resistance of masonry infilled RC frames containing different in size window and door openings. *Engineering Structures*, 172, 105–30.
24. Fick, D. R. (2008). Experimental Investigation of a Full-Scale Flate-Plate Reinforced Concrete Structure Subjected to Cyclic Lateral Loading in the Inelastic Range of Response. Doktora Tezi, *Purdue Üniversitesi*, West Lafayette, Indiana .
25. Pujol, S., Fick, D. (2010). The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls. *Engineering Structures*, 32, 3112–21.

26. Charleson, A. (2008). *Seismic Design For Architects outwitting the quake*. Elsevier.
27. Jazany, R. A., Hajirasouliha, I., Farshchi, H. (2013). Influence of masonry infill on the seismic performance of concentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 150–63.
28. Dolšek, M., Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame-a probabilistic assessment. *Engineering Structures*, 30, 3186–92.
29. Yuen, Y. P., Kuang, J. S. (2015). Nonlinear seismic responses and lateral force transfer mechanisms of RC frames with different infill configurations. *Engineering Structures*, 91, 125–40.
30. Koutromanos, I., Stavridis, A., Shing, P. B., Willam, K. (2011). Numerical modeling of masonry-infilled RC frames subjected to seismic loads. *Computers and Structures*, 89, 1026–37.
31. Al Hanoun, M. H., Abrahamczyk, L., Schwarz, J. (2019). Macromodeling of in- and out-of-plane behavior of unreinforced masonry infill walls. *Bulletin of Earthquake Engineering* 17:(1), 519–35.
32. Aras, F. (2018). Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylemlerle Araştırılması. *Teknik Dergi*, 29, 8651–68.
33. Miccoli, L. (2020). Seismic resistant AAC infill masonry: State-of-the-art and future developments. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 5, 170–84.
34. Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ. O., Özcebe, G. (2013). Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. In *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 1–10, Hatay.
35. Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z., Erkal, A. (2007). Weak Storey – Soft Storey Irregularity. *Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 Ekim 2007, Istanbul, Turkey* pp 16–20.
36. Sankhla, S.S., Bhati, D. (2016). A Comparative Study on the Effect of Infill Walls on RCC Frame Structures. 13, 1–8.
37. Perrone, D., Leone, M., Aiello, M. A. (2016). Evaluation of the infill influence on the elastic period of existing RC frames. *Engineering Structures*, 123, 419–33.
38. Benavent-Climent, A., Ramírez-Márquez, A., Pujol, S. (2018). Seismic strengthening of low-rise reinforced concrete frame structures with masonry infill walls: Shaking-table test. *Engineering Structures*, 165, 142–51.
39. Sharbatdar, M. K., Tajari, A. (2021). Experimental in-plane seismic strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames by engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 293, 123529.

40. Bikçe, M., Çelik, T. B. (2016). Failure analysis of newly constructed RC buildings designed according to 2007 Turkish Seismic Code during the October 23, 2011 Van earthquake. *Engineering Failure Analysis*, 64, 67–84.
41. Petrović, M., Mojsilović, N., Stojadinović, B. (2017). Masonry walls with a multi-layer bed joint subjected to in-plane cyclic loading: An experimental investigation. *Engineering Structures*, 143, 189–203.
42. Anbazhagan, P., Mog, K., Rao, K. S. N., Prabhu, N. S., Agarwal, A., Reddy, G. R., Ghosh, S., Deb, M. K., Baruah, S., Das, S. K. (2019). Reconnaissance report on geotechnical effects and structural damage caused by the 3 January 2017 Tripura earthquake, India. *Natural Hazards*, 98, 425–50.
43. Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J., Mosalam, K. M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. *Engineering Structures*, 25, 103–14.
44. Bachmann, H. (2003). Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners, and authorities. *Federal Office for Water and Geology and the Swiss Agency for Development and Cooperation*, 82.
45. Tabeshpour, M. R., Azad, A., Golafshani, A. A. (2011). Seismic Behavior and Retrofit of Infilled Frames. *Earthquake-Resistant Structures*, 280–306.
46. Murty, C. V. R., Jain, S. K. (2000). Beneficial Influence of Masonry Infill Walls on Seismic Performance of Rc Frame Buildings. *Twelfth World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE)*, 1–6.
47. Semnani, S. J., Rodgers, J. E., Burton, H. V. (2014). Conceptual Seismic Design Guidance for New Reinforced Concrete Framed Infill Buildings.
48. Uva, G., Porco, F., Fiore, A. (2012). Appraisal of masonry infill walls effect in the seismic response of RC framed buildings: A case study. *Engineering Structures*, 34, 514–26.
49. Masi, A., Chiauzzi, L., Santarsiero, G., Manfredi, V., Biondi, S., Spacone, E., Del Gaudio, C., Ricci, P., Manfredi, G., Verderame, G. M. (2019). Seismic response of RC buildings during the Mw 6.0 August 24, 2016 Central Italy earthquake: the Amatrice case study. *Bulletin of Earthquake Engineering*.
50. Jinya, M. H., Patel, V. R. (2014). Analysis of Rc Frame With and Without Masonry Infill Wall With Different Stiffness With Outer Central Opening. 76–83.
51. Stafford Smith, B. (1967). Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames. *Building Science*, 2, 247–57.

52. Longo, F., Wiebe, L., Porto, F. da, Modena, C. (2018). Application of an in-plane/out-of-plane interaction model for URM infill walls to dynamic seismic analysis of RC frame buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16:(12), 6163–90.
53. Basha, S., Kaushik, H. B. (2016). Behavior and failure mechanisms of masonry-infilled RC frames (in low-rise buildings) subject to lateral loading. *Engineering Structures*, 111, 233–45.
54. Basha, S. H., Kaushik, B. (2019). Investigation on improving the shear behavior of columns in masonry infilled RC frames under lateral loads. *Bulletin of Earthquake Engineering* 17:(7), 3995–4026.
55. Van, T. C., Lau, T. L. (2020). Experimental Evaluation of Reinforced Concrete Frames with Unreinforced Masonry Infills under Monotonic and Cyclic Loadings. *International Journal of Civil Engineering* 19:(4), 401–19.
56. Wang, L., Qian, K., Fu, F., Deng, X. F. (2020). Experimental study on the seismic behaviour of reinforced concrete frames with different infill masonry. <https://doi.org/10.1680/jmacr.18.00484>, 72, 1203–21.
57. O'Brien, P., Eberhard, M., Haraldsson, O., Irfanoglu, A., Lattanzi, D., Lauer, S., Pujol, S. (2011). Measures of the seismic vulnerability of reinforced concrete buildings in haiti. *Earthquake Spectra*, 27, 373–86.
58. Bahadır, F. (2020). Experimental study on three-dimensional reinforced concrete frames subjected to dynamic loading. *Structures*, 24, 835–50.
59. Han, S. W, Lee, C. S. (2020). Cyclic behavior of lightly reinforced concrete moment frames with partial- and full-height masonry walls. *Earthquake Spectra*, 36, 599–628.
60. Brzev, S. (2014). *Short Course on Sesimic Design of Reinforced and Confined Masonry Buildings*.
61. Mertol, H. C., Akış, T., Tunç, G. (2020). *24.01.2020 Elazığ-Sivrice Deprem Raporu*. İstanbul.
62. Durğut, İ., Tunaboyu, O., Avşar, Ö. (2020). Dolgu duvar modelleme tekniklerinin standart-altı betonarme bir çerçeve üzerinde irdelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36, 147–62.
63. Mansouri, A., Marefat, M. S., Khanmohammadi, M. (2018). Analytical estimation of lateral resistance of low-shear strength masonry infilled reinforced concrete frames with openings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27, e1452.
64. Mucedero, G., Perrone, D., Brunesi, E., Monteiro, R. (2020). Numerical Modelling and Validation of the Response of Masonry Infilled RC Frames Using Experimental Testing Results. *Buildings 2020, Vol. 10, Page 182*, 10 182.

65. Brodsky, A. (2021). A micro–macro modelling methodology for the analysis of infilled frames. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2021, 19:5, 19, 2161–84.
66. Smith, B. S. (1967). Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames. *Building Science*, 2, 247–57.
67. Zhai, C. H., Kong, J-C, Wang, X-M, Wang, X-H. (2018). Finite-element analysis of out-of-plane behaviour of masonry infill walls. <https://doi.org/10.1680/jstbu.15.00093>, 171, 203–15.
68. Wang, G., Li, Y., Zheng, N., Ingham, J. M. (2017). Testing and modelling the in-plane seismic response of clay brick masonry walls with boundary columns made of precast concrete interlocking blocks. *Engineering Structures*, 131, 513–29.
69. Dere, Y. (2016). Assessing a Retrofitting Method for Existing RC Buildings with Low Seismic Capacity in Turkey.
70. Abdulla, K. F., Cunningham, L. S., Gillie, M. (2017). Simulating masonry wall behaviour using a simplified micro-model approach. *Engineering Structures*, 151, 349–65.
71. Asteris, P. G., Antoniou, S. T., Sophianopoulos, D. S., Chrysostomou, C. Z. (2011). Mathematical Macromodeling of Infilled Frames: State of the Art. *Journal of Structural Engineering*, 137, 1508–17.
72. Asteris, P. G., Cotsovos, D. M., Chrysostomou, C. Z., Mohebkhah, A., Al-Chaar, G. K. (2013). Mathematical micromodeling of infilled frames: State of the art. *Engineering Structures*, 56, 1905–21.
73. Fiore, A., Netti, A., Monaco, P. (2012). The influence of masonry infill on the seismic behaviour of RC frame buildings. *Engineering Structures*, 44, 133–45.
74. Markulak, D., Radić, I., Sigmund, V. (2013). Cyclic testing of single bay steel frames with various types of masonry infill. *Engineering Structures*, 51, 267–77.
75. Huang, Q., Guo, Z., Kuang, J.S. (2016). Designing infilled reinforced concrete frames with the strong frame-weak infill principle. *Engineering Structures*, 123, 341–53.
76. Morandi, P., Milanesi, R. R., Magenes, G. (2018). Innovative solution for seismic-resistant masonry infills with sliding joints: in-plane experimental performance. *Engineering Structures*, 176, 719–33.
77. Mısıır, I. S., Özçelik, O., Girgin, S. C., Kahraman, S. (2012). Experimental work on seismic behavior of various types of masonry infilled RC frames. *Structural Engineering and Mechanics*, 44, 763–74.
78. Mohammadi, M., Akrami, V., Mohammadi-Ghazi, R. (2011). Methods to Improve Infilled Frame Ductility. *Journal of Structural Engineering*, 137, 646–53.

79. Preti, M., Bettini, N., Plizzari, G. (2012). Infill walls with sliding joints to limit infill-frame seismic interaction: Large-scale experimental test. *Journal of Earthquake Engineering*, 16, 125–41.
80. Preti, M., Bolis, V. (2017). Masonry infill construction and retrofit technique for the infill-frame interaction mitigation: Test results. *Engineering Structures*, 132, 597–608.
81. Milanesi, R. R., Morandi, P., Manzini, C. F., Albanesi, L., Magenes, G. (2020). Out-of-plane Response of an Innovative Masonry Infill with Sliding Joints from Shaking Table Tests. *Journal of Earthquake Engineering*, 00, 1–35.
82. Vailati, M., Monti, G. (2014). Recycled-Plastic Joints for Earthquake Resistant Infill Panels. 2–3.
83. Gams, M., Kwiecień, A., Korelc, J., Rousakis, T., Viskovic, A. (2017). Modelling of Deformable Polymer to be Used for Joints between Infill Masonry Walls and R.C. Frames. *Procedia Engineering*, 193, 455–61.
84. Umar, Z., Ali Shah, S. A., Bibi, T., Shahzada, K., Ahmad, A. (2021). Innovative seismic isolation of masonry infills using cellular material at the interface with the surrounding RC frame. *Journal of Building Engineering*, 40, 102736.
85. Pallarés, F. J., Pallarés, L. (2016). Experimental study on the response of seismically isolated masonry infilled steel frames during the initial stages of a seismic movement. *Engineering Structures*, 129, 44–53.
86. Aliaari, M., Memari, A. M. (2005). Analysis of masonry infilled steel frames with seismic isolator subframes. *Engineering Structures*, 27, 487–500.
87. Kauffman, A., Memari, A. (2014). Performance Evaluation of Different Masonry Infill Walls with Structural Fuse Elements Based on In-Plane Cyclic Load Testing. *Buildings*, 4, 605–34.
88. Taşlıgedik, A. S., Pampanin, S., Palermo, A. (2011). Damage Mitigation Strategies of Non-Structural Infill Walls : Concept and Numerical-Experimental Validation Program.
89. Taşlıgedik, A. S. (2014). *Damage mitigation strategies for non-structural infill walls*. University of Canterbury Christchurch,.
90. Riddington, J. R. (1984). Influence of Initial Gaps on Infilled Frame Behaviour.. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London)*, 77, 295–310.
91. Marinković, M., Butenweg, C. (2019). Innovative decoupling system for the seismic protection of masonry infill walls in reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 197, 109435.

92. Verlato, N., Guidi, G., Da Porto, F., Modena, C. (2016). Innovative systems for masonry infill walls based on the use of deformable joints: Combined in-plane/out-of-plane tests. In *Brick and Block Masonry: Trends, Innovations and Challenges - Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, IBMAC 2016*.
93. Jiang, H., Liu, X., Mao, J. (2015). Full-scale experimental study on masonry infilled RC moment-resisting frames under cyclic loads. *Engineering Structures*, 91, 70–84.
94. Kuang, J. S., Wang, Z. (2014). Cyclic Loading Tests of Rc Frame With Isolated Masonry Infills. In *Second European Conference On Earthquake Engineerind And Seismology, 25-29 Aug*. Istanbul.
95. Peng, Q., Zhou, X., Yang, C. (2018). Influence of connection and constructional details on masonry-infilled RC frames under cyclic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 96–110.
96. Tsantilis, A. V., Triantafillou, T. C. (2018). Innovative seismic isolation of masonry infills using cellular materials at the interface with the surrounding RC frames. *Engineering Structures*, 155, 279–97.
97. Griffith, M. (2008). Seismic Retrofit of RC Frame Buildings with Masonry Infill Walls: Literature Review and Preliminary Case Study. *JRC Publication and Technical Reports*, 72.
98. Al-Chaar, G. (2002). *Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures*.
99. Ju, R. S., Lee, H. J, Chen, C. C., Tao, C. C. (2012). Experimental study on separating reinforced concrete infill walls from steel moment frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 119–28.
100. NZS-4230. (2004). *Design of Reinforced Concrete Masonry Structures*. Standards New Zealand.
101. ACI 530.1-11. (2011). *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures and Related Commentaries*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
102. TBDY (2018). Türkiye Bina DepreYönetmeliği 2018. 417.
103. Bayrak, O. F. (2020). Dolgu Duvar-Betonarme Çerçeve Arası Esnek Derzli Bağlantı Çeşitlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
104. Erdem, M. M., Bikçe, M. (2019). 2018 TBDY'ye göre etkin görelî kat öteleme sınırlarının incelenmesi. *5th international conference on earthquake engineering and seismology*. Ankara.

105. ASTM E519/E519M-15. (2002). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. *ASTM International, West Conshohocken, PA*, 5.
106. ASTM C1314 - 09. (2015). Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. *ASTM International*.
107. Khalaf, F. M. (2005). New Test for Determination of Masonry Tensile Bond Strength. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17 ,725–32.
108. TS EN 1052-3. (2004). Methods of test for masonry – Part 4 : Determination of initial shear strength. *Turkish Standards Institution*,.
109. FEMA-461. (2007). Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components. *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*.
110. Binici, B., Canbay, E., Aldemir, A., Demirel, I. O., Uzgan, U., Eryurtlu, Z., Bulbul, K., Yakut, A. (2019). Seismic behavior and improvement of autoclaved aerated concrete infill walls. *Engineering Structures*, 193, 68–81.
111. Cai, G., Su, Q. (2019). Effect of Infills on Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame structures—A Full-Scale Experimental Study. *Journal of Earthquake Engineering*, 23, 1531–59.
112. Mehrabi, A. B., Schuller, M. P., Noland, J. L., Foundation, N. S. (1994). Performance Of Masonry-Infilled RIC Frames Under In-Plane Lateral Loads. *Structural Engineering And Structural Mechanics Research Series, Report CD/SR-94/6, University of Colorado at Boulder*.
113. Blasi, G., De Luca, F., Aiello, M. A. (2018). Brittle failure in RC masonry infilled frames: The role of infill overstrength. *Engineering Structures*, 177, 506–18.
114. Anıl, Ö., Altın, S. (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29, 449–60.
115. Mısıır, I. S., Özçelik, O., Girgin, S. C., Yücel, U. (2016). The Behavior of Infill Walls in RC Frames Under Combined Bidirectional Loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 20, 559–86.
116. Abaqus. (2014). ABAQUS Version 6.14. *Dassault systemes*.
117. Chen, W. K. (1982). *Plasticity in Reinforced Concrete*. McGraw-Hill inc., New York.
118. Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., Oñate, E. (1989). A plastic-damage model for concrete. *International Journal of Solids and Structures*,.
119. Lee, J., Fenves, G. L. (1998). Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures. *Journal of Engineering Mechanics*,.

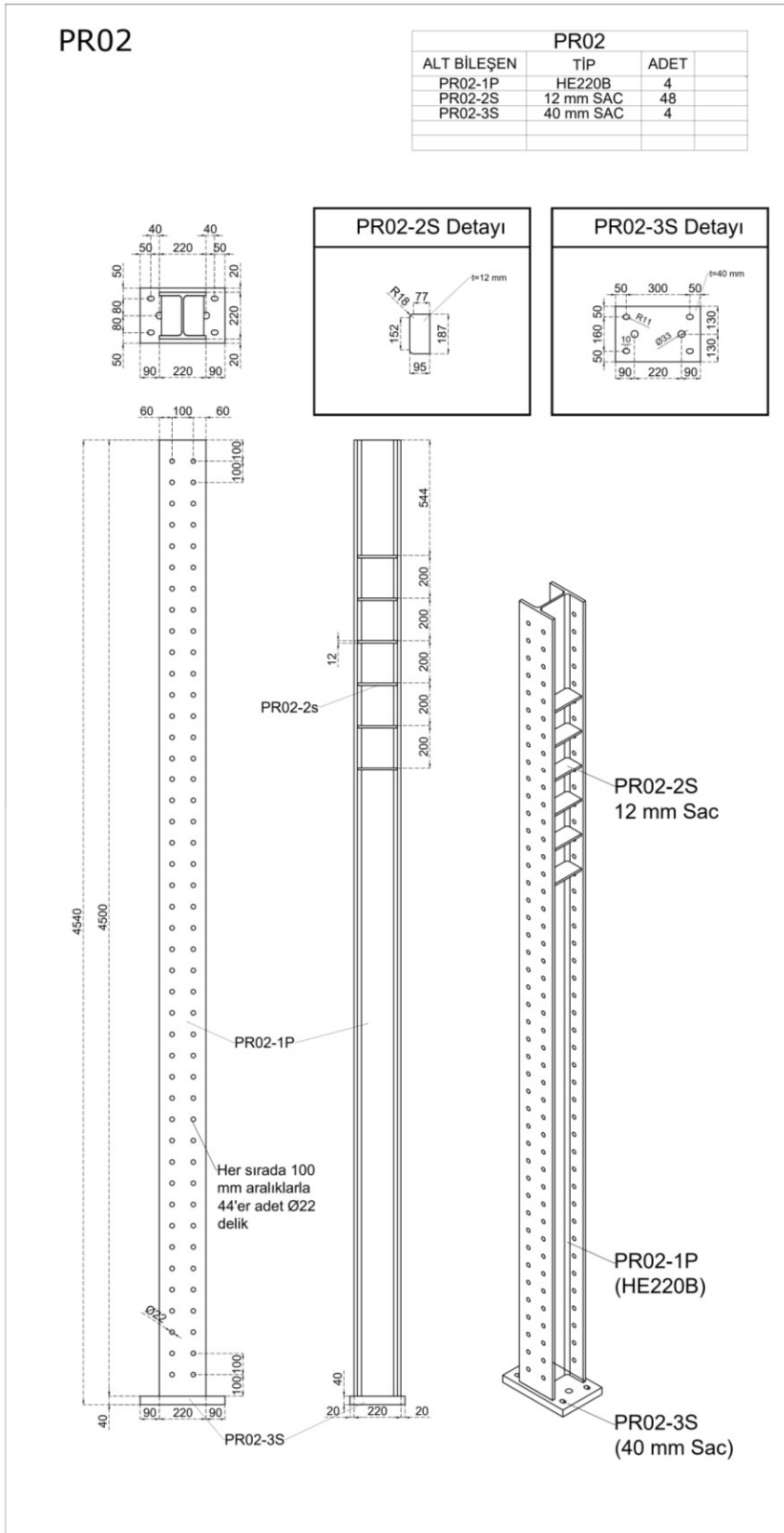
120. Sfer, D., Carol, I., Gettu, R., Etse, G. (2002). Study of the Behavior of Concrete under Triaxial Compression. *Journal of Engineering Mechanics*, 128.
121. Kupfer H., Hilsdorf H. K., Rusch H. (1969). Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses. *American Concrete Institute Journal Proceedings*, 66.
122. Jankowiak, I., Kakol, W., Madaj, A. (2005). Identification of a continuous composite beam numerical model, based on experimental tests. In *7th conference on composite structures*. Zielona Góra.
123. Hibbit, H. D., Karlsson, B.I., Sorensen, E.P. (2012). ABAQUS user manual, version 6.12. *Simulia*.
124. Reissen, K., Hegger, J. (2013). Numerical investigations on the shear capacity of reinforced concrete slabs under concentrated loads. *Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation - Proceedings of the 5th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2013*, pp 1507–12. Cape Town, South Africa.
125. Nana, W. S. A., Bui, T. T., Limam, A., Abouri, S. (2017). Experimental and Numerical Modelling of Shear Behaviour of Full-scale RC Slabs Under Concentrated Loads. *Structures*, 10, 96–116.
126. Hibbitt, H., Karlsson, B., Sorensen, P. (2012). *ABAQUS: Theory Manual, version 6.12*.
127. Kmiecik, P., Kamiński, M. (2011). Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 11, 623–36.
128. Malm, R. (2006). Shear cracks in concrete structures subjected to in-plane stresses. *Trita-Bkn. Bulletin*, 88, 148.
129. Wang, T., Hsu, T. T. C. (2001). Nonlinear finite element analysis of concrete structures using new constitutive models. *Computers and Structures*, 79, 2781–91.
130. Popovics, S. (1973). A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete. *Cement and Concrete Research*, 3, 583–99.
131. Erdem, M. M., Bikçe, M. (2020). Uniaxial Stress-Strain Relation for Low/Normal-Strength Concrete in Compression. *Magazine of Concrete Research*, 1–29.
132. Mainstone, R. J. (1975). Properties of materials at high rates of straining or loading. *Materials and constructions*, 8, 102–16.
133. Shah, S. P., Ahmad, S. H. (1985). Structural Properties of High Strength Concrete and Its Implications for Precast Prestressed Concrete.. *Journal - Prestressed Concrete Institute*, 30.

134. Fu, B. H. C., Erki, M. A., Seçkin, M. (1991). Review of effects of loading rate on concrete in compression. *Journal of Structural Engineering*, 117, 3645–59.
135. Bischoff, P. H., Perry, S. H. (1991). Compressive behaviour of concrete at high strain rates. *Materials and Structures*, 24, 425–50.
136. Jitsu, K., Shirai, K., Ito, C., Shimamura, K., Ohnuma, H. (1998). Effects of strain rate on concrete strength subjected to impact load-Dynamic compressive strength test by Split Hopkinson Pressure Bar method. *Transactions on the Built Environment*, 32, 471–80.
137. Müller, H. (2008). *Constitutive Modelling of High Strength/high Performance Concrete: State-of-the-art report*. CEB FIP Bulletin 42, International Federation for Structural Concrete.
138. Kumar, M., Ma, Z., Matovu, M. (2012). Mechanical Properties of High-Strength Concrete. URL:[http:// www.acsu.buffalo.edu/~mkumar2/Wikiquake/Docs/ReportHSC.Pdf](http://www.acsu.buffalo.edu/~mkumar2/Wikiquake/Docs/ReportHSC.Pdf), Son Erişim Tarihi: 22.05.2017
139. Whitney, C. S. (1943). Discussion of a paper by V. P. Jensen, The Plasticity Ratio of Concrete and Its Effect on the Ultimate Strength of Beams. *Journal of American Concrete Institute*, 39, 584–2 to 584–6.
140. Hognestad, E., Hanson, N. W., Mchenry, D. (1955). *Concrete stress distribution in ultimate strength design*. vol 52.
141. Bineshian, H. (2014). *Failure and post-failure aspects of mechanical response of concrete structures to compression and tension*. The University of Western Australia.
142. Hussein, A. A. (1998). *Behaviour of high strength concrete under biaxial loading conditions*. Memorial University of Newfoundland.
143. Watanabe, K., Niwa, J., Yokota, H., Iwanami, M. (2004). Experimental Study on Stress-Strain Curve of Concrete Considering Localized Failure in Compression. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2, 395–407.
144. Samani, A. K., Attard, M. M. (2012). A stress-strain model for uniaxial and confined concrete under compression. *Engineering Structures*, 41, 335–49.
145. Yi, S. T., Kim, J. K., Oh, T. K. (2003). Effect of strength and age on the stress-strain curves of concrete specimens. *Cement and Concrete Research*, 33, 1235–44.
146. Arioğlu, E. (1995). Discussion of Strain of concrete at peak compressive stress for a wide range of compressive strengths by B. de Nicolo, L. Pani and E. Pozzo, *Materials and Structures* 1994, 27, 205-210. *Materials and Structures*, 28, 611–3.
147. Glanville, W. H. (1938). *An investigation of the stress in reinforced concrete piles during driving*. London.

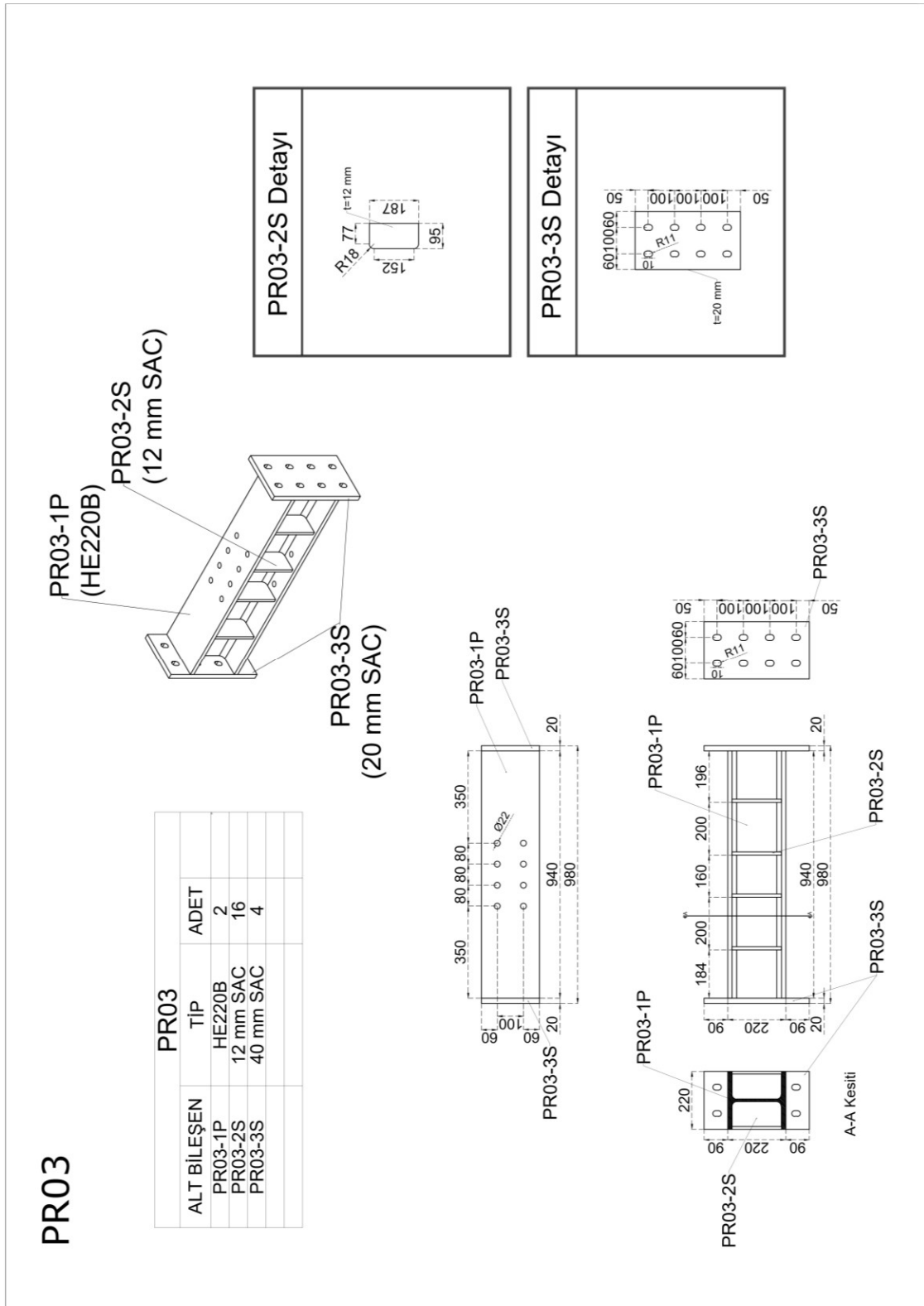
148. Dilger, W. H., Koch, R., Kowalczyk, R. (1984). Ductility of Plain and Confined Concrete Under Different Strain. *ACI Journal*, 81, 73–81.
149. Soroushian, P., Choi, K., Alhamad, A. (1986). Dynamic constitutive behavior of concrete. *ACI Journal*, 83, 251–8.
150. Nakamura, H., Higai, T. (2001). Compressive Fracture Energy And Fracture Zone Length of Concrete. *Modelling of Inelastic Behaviour of RC Structures under Seismic Loads*, 471–87.
151. Hognestad, E. (1951). A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members. *Bulletin Series No. 399*, 128.
152. Desayi, P., Krishnan, S. (1964). Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete. *ACI Journal Proceedings*, 61, 345–50.
153. Saenz, L. P. (1964). Discussion of the paper Equation for the stress-strain curve of concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, 61, 1229–35.
154. Tulin, L. G., Gerstle, K. H. (1964). Discussion of Equation for stress-strain curve of concrete, by P. Desayi, and S. Krishnan. *ACI Journal*, 61, 701–16.
155. Tsai, W. T. (1988). Uniaxial Compressional Stress-Strain Relation of Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114, 2133–6.
156. Yip, W. K. (1996). New Damage Variable in Failure Analysis of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 8, 184–8.
157. Carreira, D. J., Chu, K. H. (1985). Stress-strain relationship for plain concrete in compression. *ACI Journal proceedings*, 6, 797–804.
158. Kumar, P. (2004). A compact analytical material model for unconfined concrete under uni-axial compression. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 37, 585–90.
159. Wee, T. H., Chin, M. S., Mansur, M. A. (1996). Stress-Strain Relationship of High-Strength Concrete in Compression. *Journal of materials in civil engineering*, 8, 70–6.
160. Han, B., Xiang, T. Y. (2017). Axial compressive stress-strain relation and Poisson effect of structural lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 146, 338–43.
161. Lim, J. C., Özbakkaloğlu, T. (2014). Stress-strain model for normal- and light-weight concretes under uniaxial and triaxial compression. *Construction and Building Materials*, 71, 492–509.
162. Aslani, F., Nejadi, S. (2012). Mechanical properties of conventional and self-compacting concrete: An analytical study. *Construction and Building Materials*, 36, 330–47.

163. Şahin, U., Bedirhanoglu, I. (2014). A Fuzzy Model Approach to Stress-Strain Relationship of Concrete in Compression. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 4515–27.
164. Güler, K., Demir, F., Pakdamar, F. (2012). Stress-strain modelling of high strength concrete by fuzzy logic approach. *Construction and Building Materials*, 37, 680–4.
165. Dilmaç, H., Demir, F. (2013). Stress-strain modeling of high-strength concrete by the adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) approach. *Neural Computing and Applications*,.
166. Smith, G. M., Young, L. E. (1956). Ultimate Flexural Analysis Based on Stress-Strain Curves of Cylinders. *ACI Journal*, 53, 597–609.
167. İlki, A. (2000). *Betonarme elemanların yön değiştiren tekrarlı yükler altında doğrusal olmayan davranışı*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
168. Mohamad Ali, A. (1983). *Strength and behaviour of reinforced concrete spandrel beams*. The University of Edinburgh.
169. Kuchma, D. A. (1996). *The Influence of T-headed Bars on the Strength and Ductility of Reinforced Concrete Wall Elements*. University of Toronto.
170. Melek, M., Wallace, J. W., Conte, J. P. (2003). PEER Report 2003/04: Experimental assessment of columns with short lap splices subjected to cyclic loads. *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, 192.
171. Gan, Y. (2000). *Bond Stress and Slip Modeling in Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures*. University of Toronto.
172. Jansen, D. C., Shah, S. P. (1997). Effect of Length on Compressive Strain Softening of Concrete. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, 123 (1), 25–35.
173. Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*,.
174. Marquardt, D. W. (1963). An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11, 431–441.
175. Lourenço, P. B. (1996). Computational strategies for masonry structures. Doktora Tezi, *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Porto
176. Bolhassani, M. (2015). Improvement of seismic performance of ordinary reinforced partially grouted concrete masonry shear walls. Doktora Tezi, *Drexel University*, Philadelphia

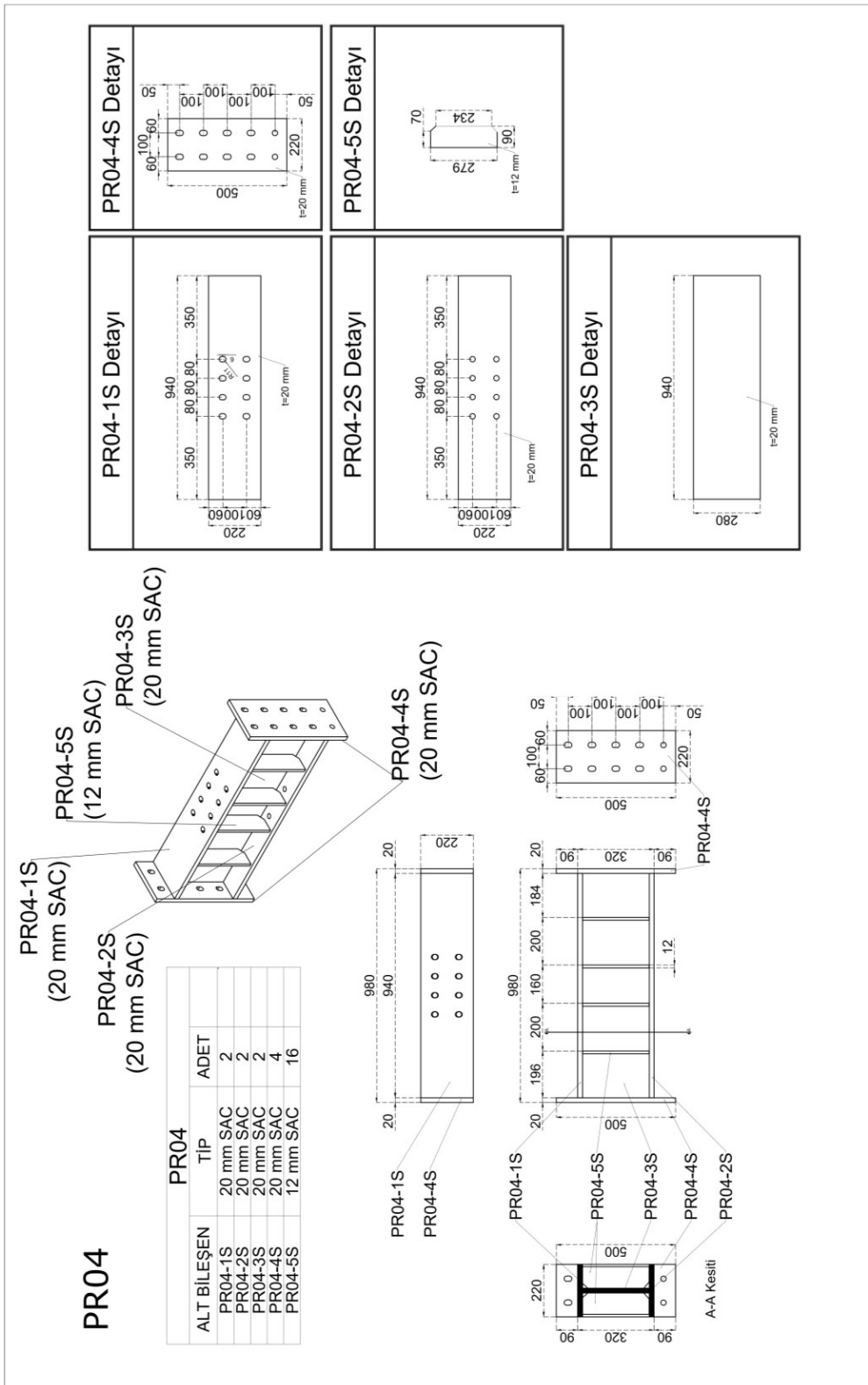
EKLER



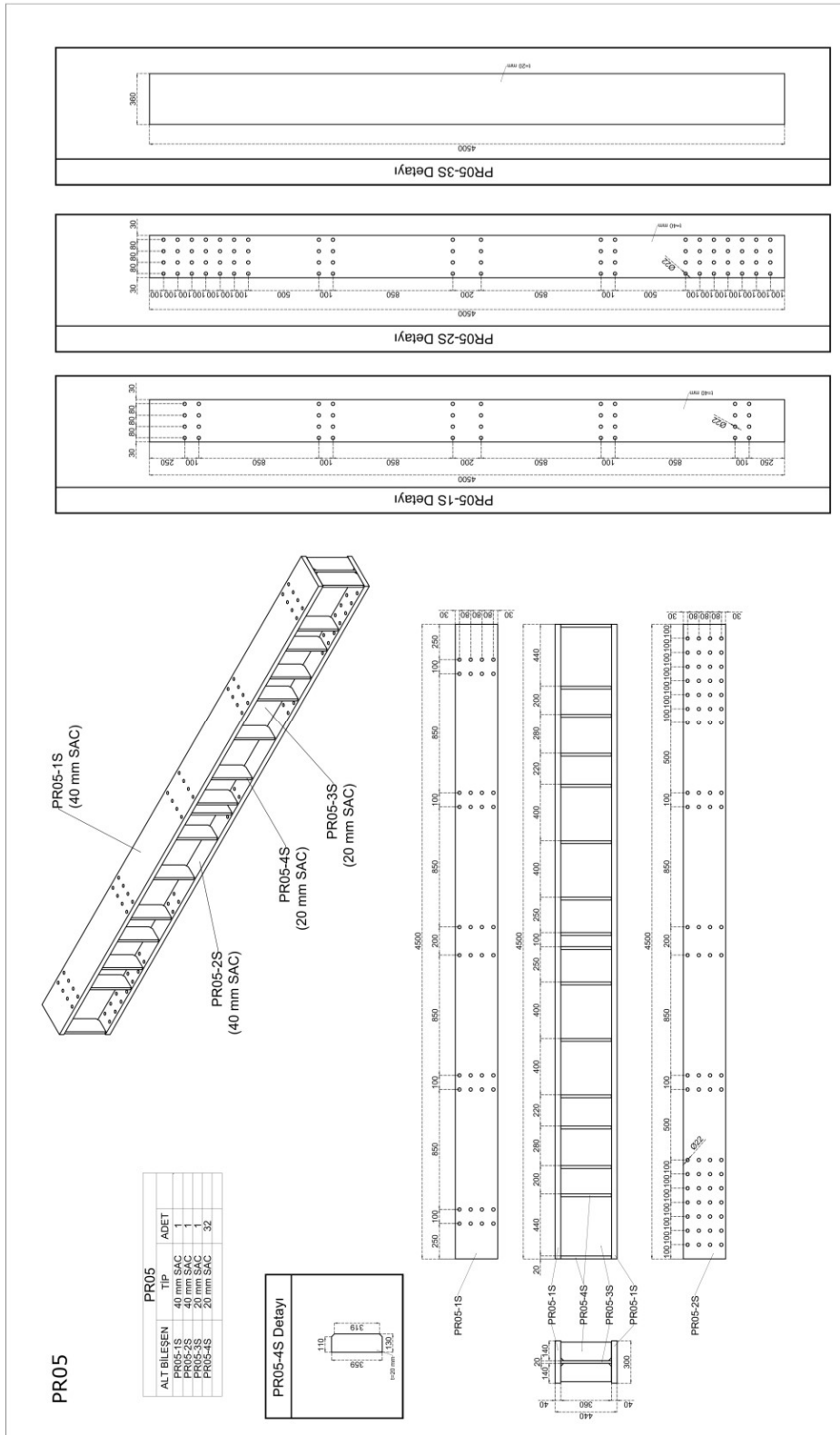
Şekil EK. 1.2. PR02 bileşenin teknik çizimi



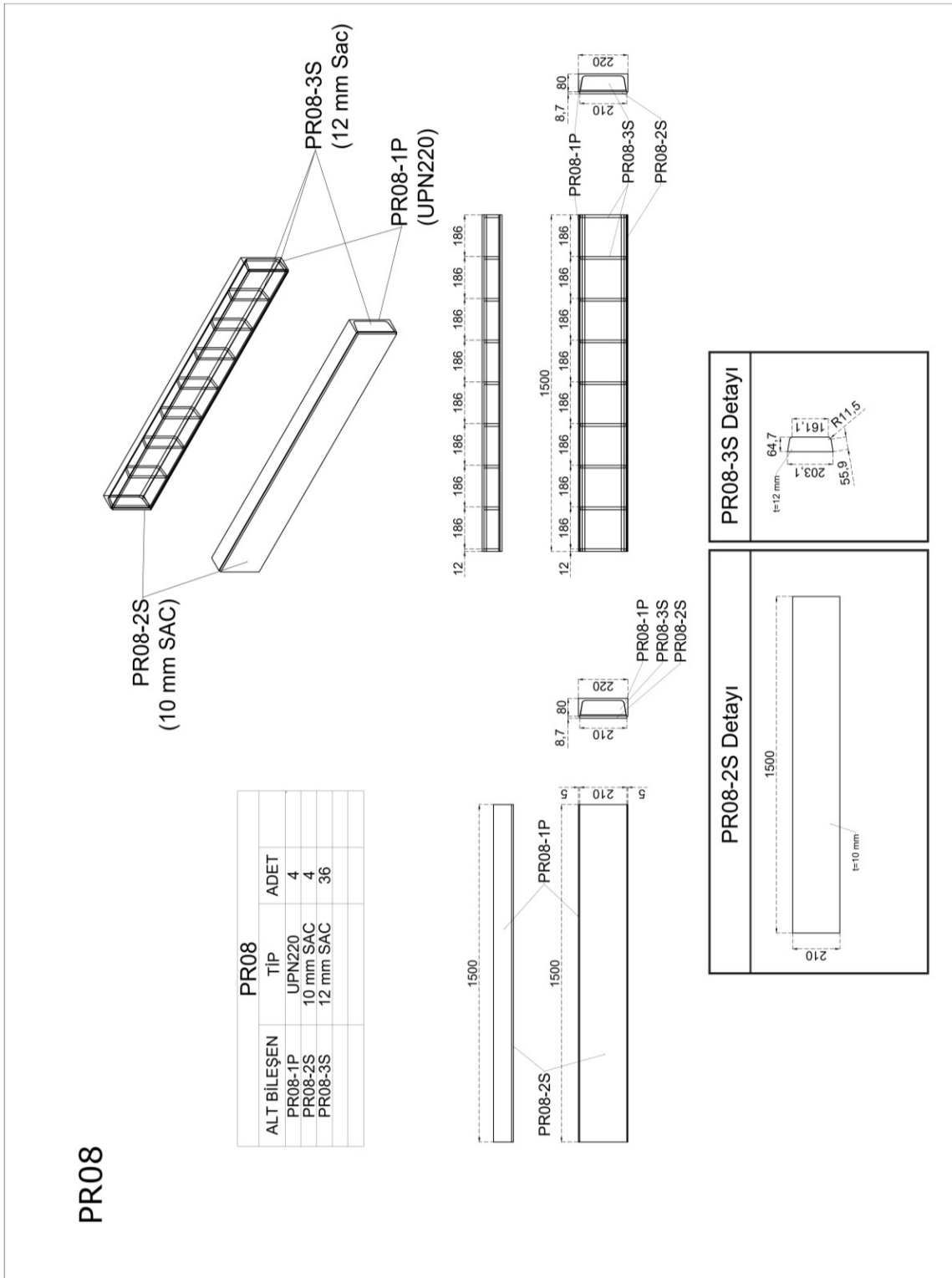
Şekil EK. 1.3. PR03 bileşenin teknik çizimi



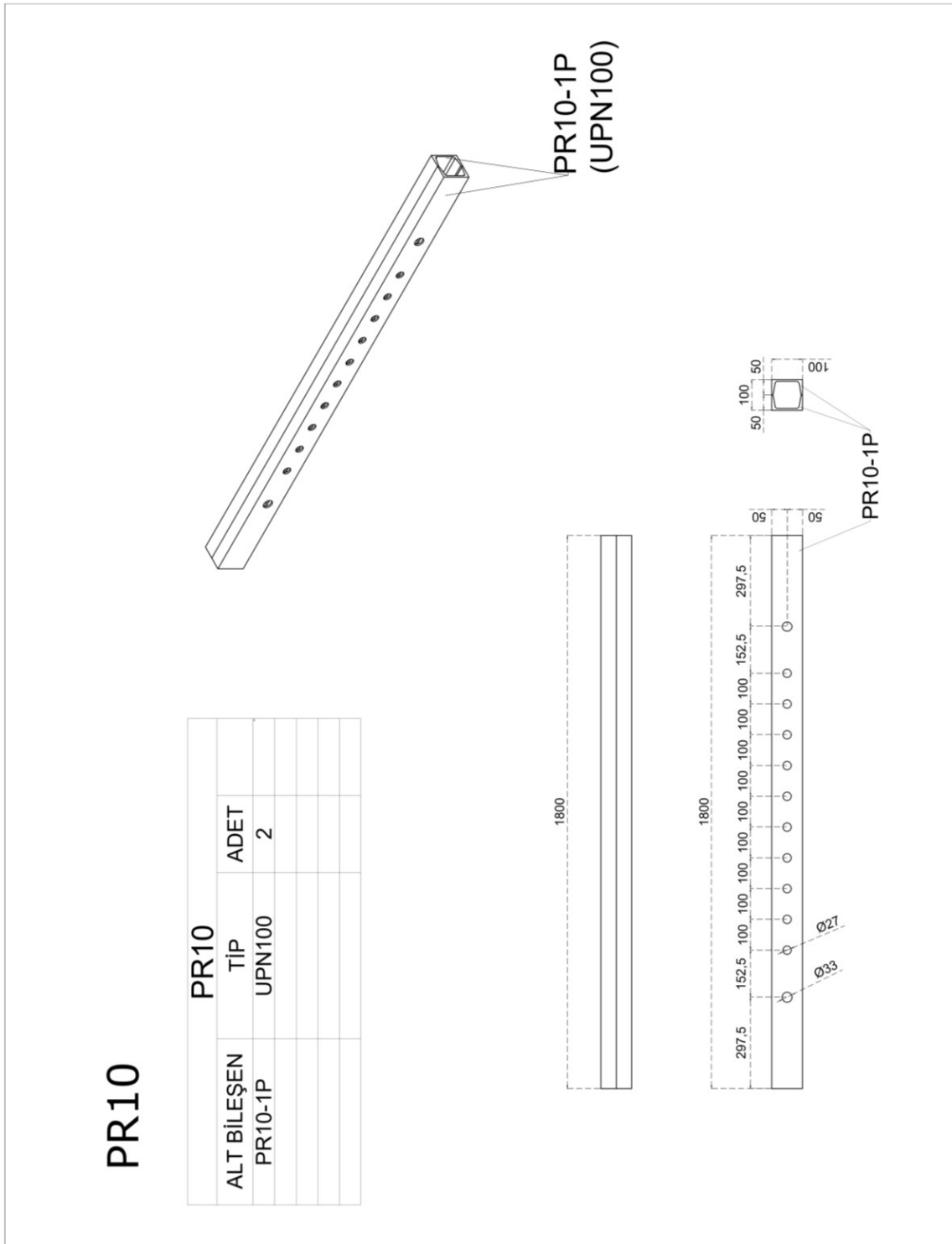
Şekil EK. 1.4. PR04 bileşenin teknik çizimi



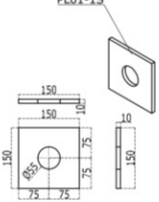
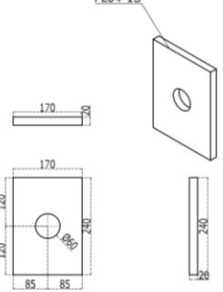
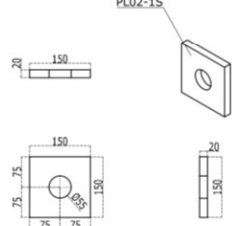
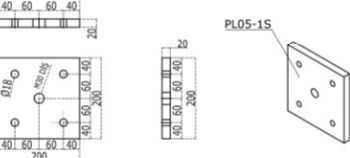
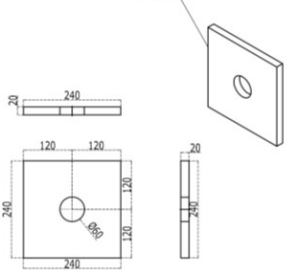
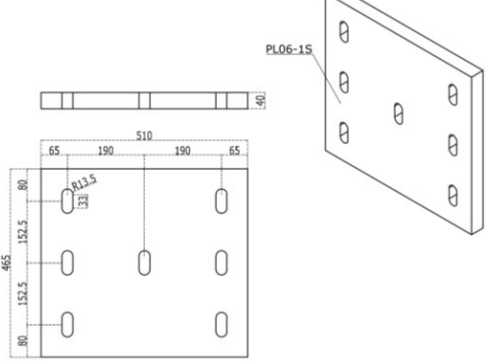
Şekil EK. 1.5. PR05 bileşenin teknik çizimi



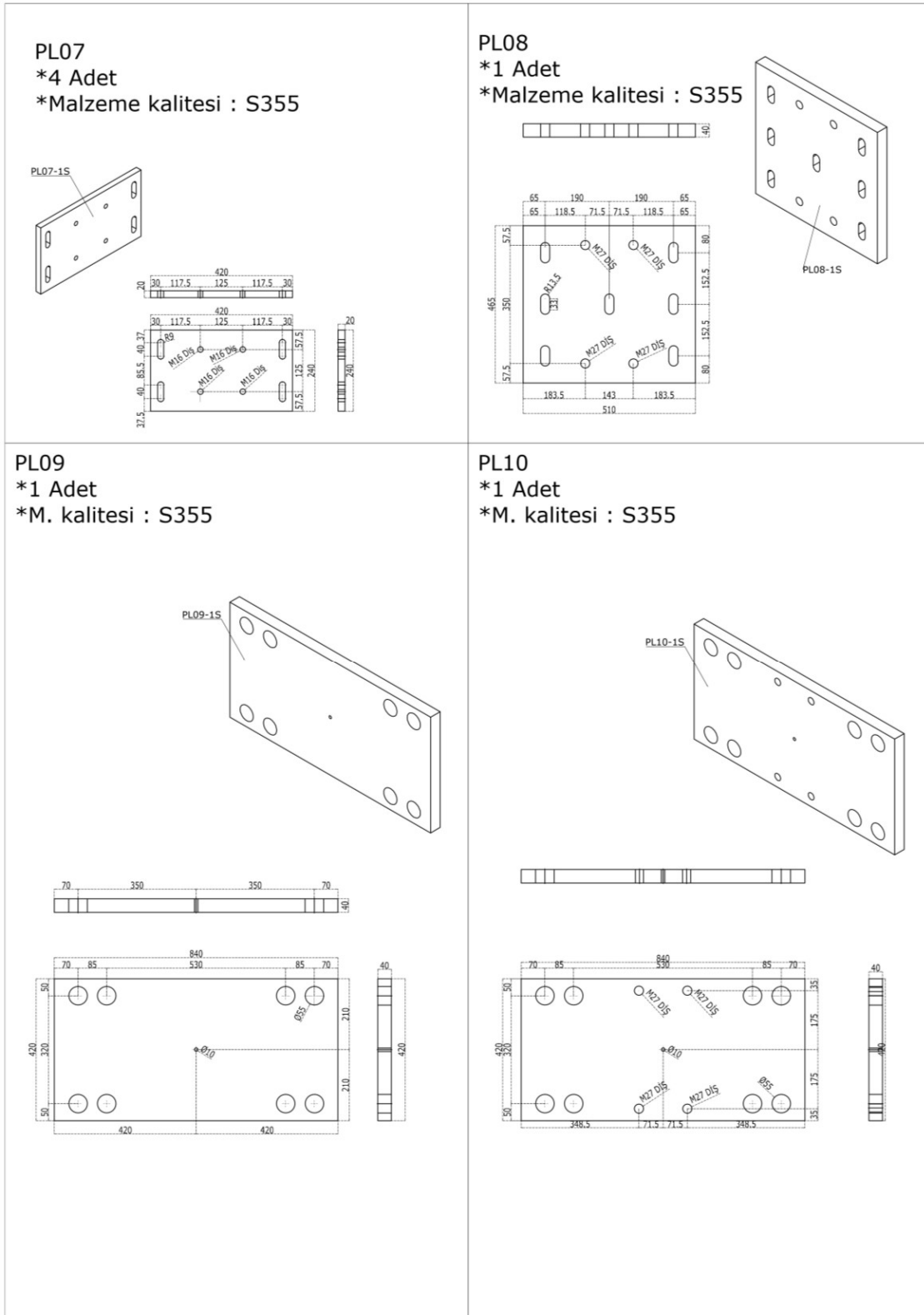
Şekil EK. 1.8. PR08 bileşenin teknik çizimi



Şekil EK. 1.10. PR10 bileşenin teknik çizimi

<p>PL01 *16 Adet *Malzeme kalitesi : S235</p> 	<p>PL04 *10 Adet *Malzeme kalitesi : S355</p> 
<p>PL02 *40 Adet *Malzeme kalitesi : S235</p> 	<p>PL05 *14 Adet *Malzeme kalitesi : S355</p> 
<p>PL03 *28 Adet *Malzeme kalitesi : S355</p> 	<p>PL06 *1 Adet *Malzeme kalitesi : S355</p> 

Şekil EK. 1.11. PL01, PL02, PL03, PL04, PL05 ve PL06 bileşenlerinin teknik çizimleri

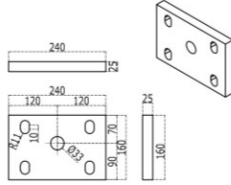


Şekil EK. 1.12. PL07, PL08, PL09 ve PL10 bileşenlerinin teknik çizimleri

PL11

*8 Adet

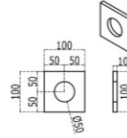
*M. kalitesi : S355



PL14

*8 Adet

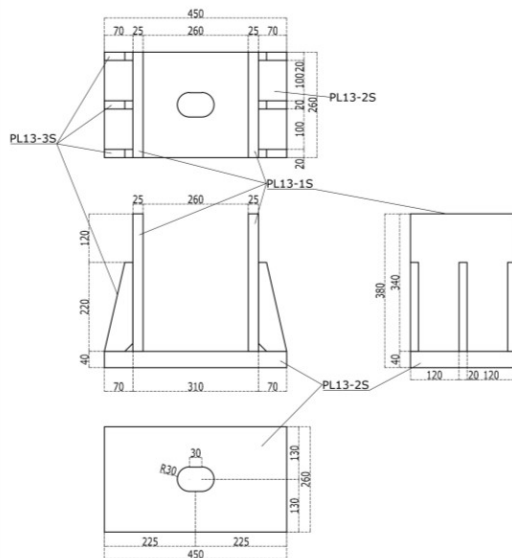
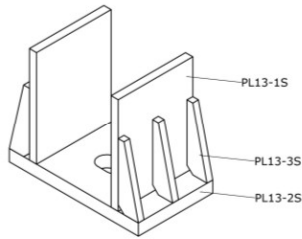
*Malzeme kalitesi : S235



PL13

*6 Adet

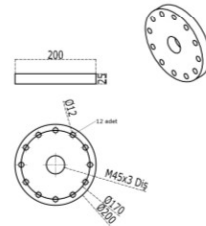
*M. kalitesi : S355



PL15

*2 Adet

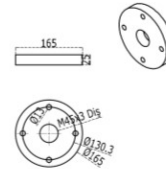
*Malzeme kalitesi : S355



PL16

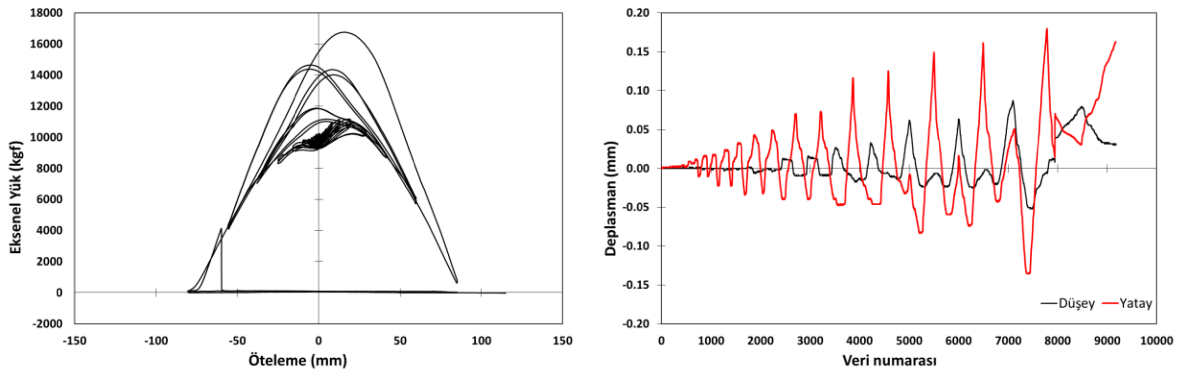
*2 Adet

*Malzeme kalitesi : S355

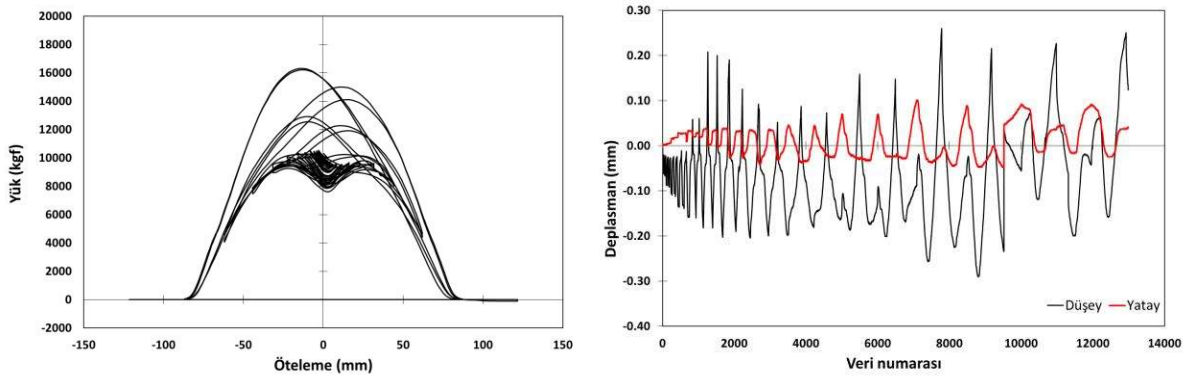


Şekil EK. 1.13. PL11, PL13, PL14, PL15 ve PL16 bileşenlerinin teknik çizimleri

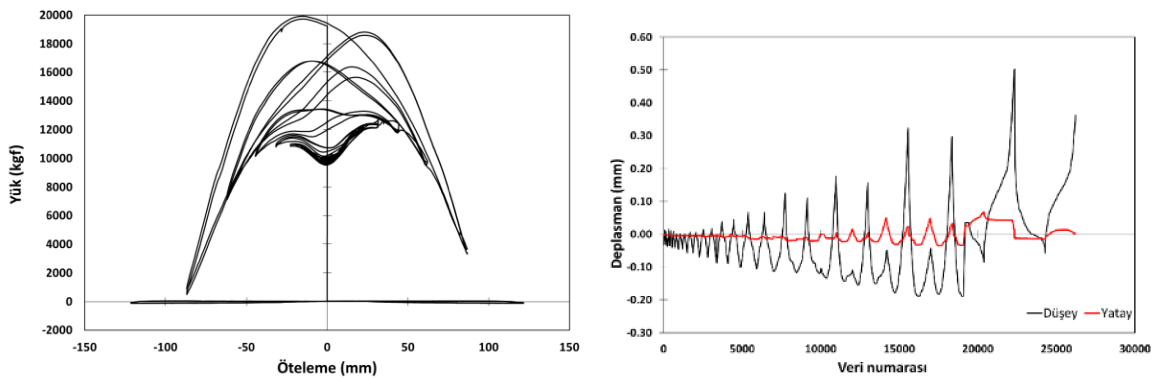
EK-2. Aksel yük hücreleri ve temel deplasmanı ham ölçümleri



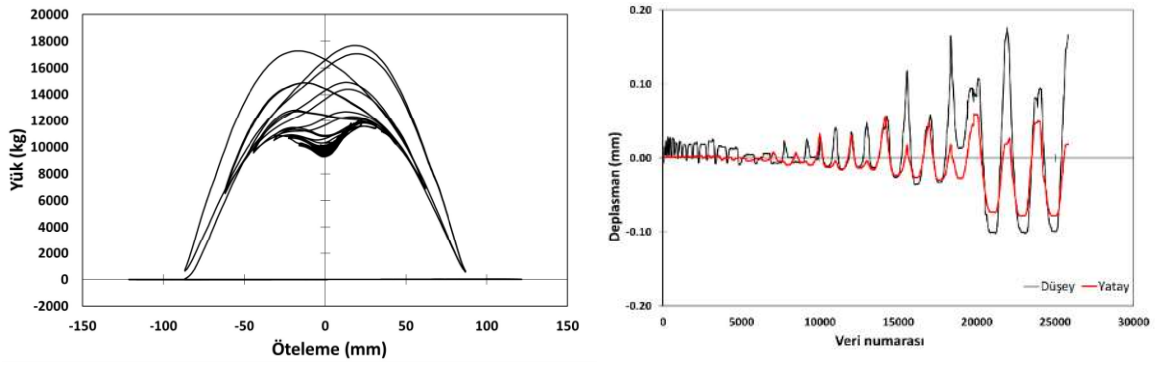
Şekil EK. 2.1. BÇ deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü



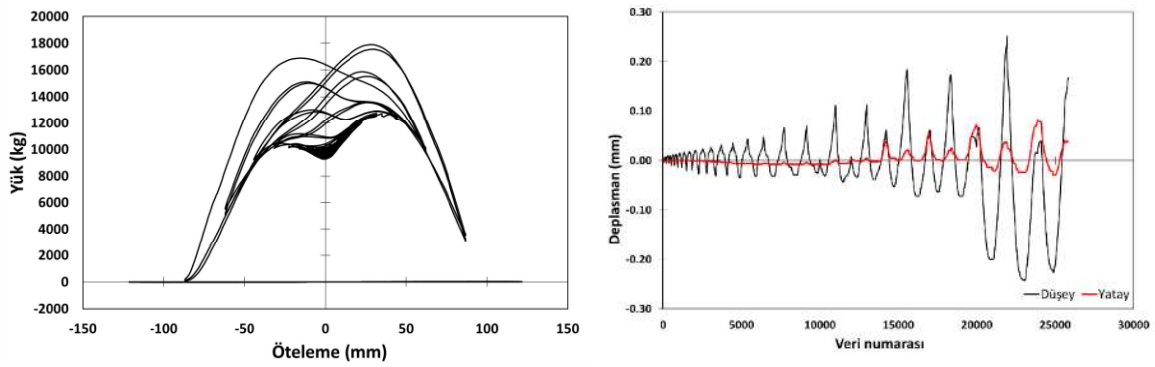
Şekil EK. 2.2. GÇ deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü



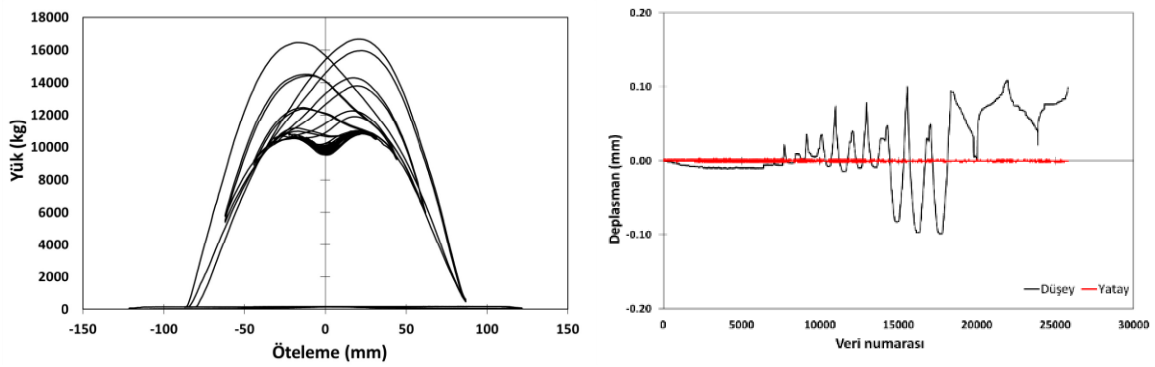
Şekil EK. 2.3. YÇ deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü



Şekil EK. 2.4. T1Ç deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü



Şekil EK. 2.5. T2Ç deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü



Şekil EK. 2.6. T3Ç deneyi (a) kolon aksel yük ham ölçümü, (b) temel deplasman ölçümü

DİZİN

A

Ağ boyutu · 131

Arayüz özellikleri 125, 128, 130

B

Bağlantı detayı· 8

Basınç testi· 41

BÇ 61, 96

Beton 20, 21, 41

Beton dökümü 20, 21

Burulma hasarı 4

C

CDP · 131, 132

Ç

Çekme testi · 42, 43

Çerçeve tasarımı 12, 14, 15

D

Deney düzeneği 46, 49

Donatı 15, 42

Duvar panelleri 44

E

Eleman türleri 131, 132

Esnek derz 7, 8, 9, 23, 26, 27, 29,
30, 35, 37, 39, 72,**G**

Gazbeton 31, 44, 45

GÇ 24, 32, 95,

Gerilme - birim şekil değiştirme
bağıntısı 120, 122

Görelî kat ötelemesi sınırı 8, 9

H

Harç 43, 44

Hasar davranışı 61, 63, 68, 73, 79,
84, 90, 95, 96, 101, 102**İ**

İmalat 16, 32

K

Kalıp 16, 17, 18

Kısa kolon 5

L

Laboratuvar 44, 47, 52

M

Malzeme modeli 125, 130

N

Numuneler 11

Ö

Ölçüm düzeni 46, 54, 58

S

Sıva 43, 44

T

T1Ç 27, 36, 97,

T2Ç 29, 38, 98,

T3Ç 30, 39, 99

Taş yünü 23, 24

TBDY 7, 8, 9, 10, 24, 93, 94

U

U profil 26, 33, 34, 35,

Y

YÇ 26, 33, 97,

Yumuşak kat 3

Yük deplasman davranışı 62, 66,
71, 77, 82, 87, 123

Yük düzeltmesi 58

Yük protokolü 57

Yükleme düzeneği 46, 49, 50, 52,
53, 54



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

