

**T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA DOLGU  
DUVARLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN ETKİSİ**

**Yasemin Firdes AYDIN**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN  
2018**

**Her Hakkı Saklıdır.**

## Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU danışmanlığında, Yasemin Firdes AYDIN tarafından hazırlanan bu çalışma 21.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan :Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYAZ

İmza: 

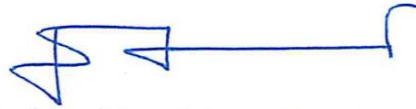
Üye : Doç Dr. Hakan YALÇINER

İmza: 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 11 /01 /2019 tarih ve 3 /3..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



**Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY**  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Betonaarme Binaların Deprem Davranışına Dolgu Duvarlı Çerçeve Sistemlerin Etkisi” isimli Yüksek lisans tezimin tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 21/12/2018



**Yasemin Firdes AYDIN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN ETKİSİ

Yasemin Firdes AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

Ülkemizde yönetmelik ve standartlara göre yapılan betonarme yapılarda dolgu duvarlar çerçeve hesaplarının yapısal çözümlemesinde sadece düşey yük olarak dikkate alınmakta diğer etkileri ise ihmal edilmektedir. Betonarme yapıların taşıyıcı elemanları olan çerçeveler arasında inşa edilen dolgu duvarlar, ağırlıkları ve belirsiz taşıyıcılık davranışları ile yapıyı önemli ölçüde etkilediklerinden iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada betonarme binaların deprem davranışına dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin etkileri incelenmektedir. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin sismik yükleme altındaki davranışları oldukça karmaşık ve komplikedir. Dolgu duvar ve çerçeve arasındaki temas hattı ile yakın ilişkiden ve davranışın lineer olmamasından dolayı, konuyu deneysel verileri kullanarak desteklemeden analitik olarak önceden bilmek çok zordur. Bu nedenle Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi 13 Mart Yapı Mekaniği laboratuvarında üç adet sırasıyla boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve üretilmiş olup deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda her bir numune için yük-yer değiştirme, moment-eğrilik ve donatı sıyırılmasından kaynaklı yer değiştirme grafikleri elde edilerek irdelenmiştir. Bu üç numuneden elde edilen deneysel veriler kıyaslandığında boş çerçeveye oranla dolgu duvarlı çerçevelerde dolgu duvarların yatay yükler altında rijitlik, yatay yük taşıma ve enerji yutma kapasitesini artırdığı tespit edilmiş ve ayrıca ankraj çubuklarının eklenmesiyle bu değerlerde ciddi iyileşmeler olduğu söylenebilir. Ancak elde edilen süneklik değerlerinde dolgu duvarlı çerçevelerde boş çerçeveye oranla ciddi azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda numunelerde oluşan çatlaklar incelendiğinde, çatlakların dolgu duvarlar ve ankraj çubukların eklenmesiyle boş çerçeveye nazaran önemli derecede iyileştiği gözlemlenmiştir.

**2018,69 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Ankraj çubukları, Dolgu duvar, Rijitlik, Yük-yer değiştirme ilişkisi

## ABSTRACT

Master Thesis

### THE EFFECT OF INFILLED WALLS OF REINFORCED CONCRETE FRAME DURING THE EARTHQUAKE

Yasemin Firdes AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım University  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

In our country, infilled walls are considered simply as vertical load within all reinforced concrete designing in accordance with the codes and standards and its other effects are neglected. Infilled walls built between frames being the load-bearing member of the reinforced concrete structures have to be well-analyzed because they have significant effect on structures by the masses and undetermined behavior of them. In this study, the effects of frame systems with infilled walls on the earthquake behavior of reinforced concrete buildings are examined. The behavior of the frame systems with the infilled wall under the seismic loading is complex and complicated. Due to the close relationship between the infilled walls and the non-linear behavior, it is difficult to understand analytically without experimental data. Therefore, the experimental studies were carried out by casting three specimens as a frame without an infilled wall, a frame with an infilled wall and a frame with an infilled wall having anchor bar respectively, in 13 March Construction Mechanics Laboratory of the Erzincan Binali Yıldırım University. As a result of these experiments, for each sample the load-displacement, moment-curvature and load bond-slip displacement were obtained and examined. Comparing the experimental data obtained from these three samples, it is found that the infilled wall increases the rigidity and the horizontal load carrying capacity and the energy absorption capacity of the frame systems with the infilled wall under monotonic lateral loads compared to plane frame, additionally, it can be stated that these results were further improved by adding anchor bars. However, it has been found that ductility indexes in the frame with an infill wall are seriously reduced compared to the plane frame. While the cracks being formed on the specimens were examined, it was observed that the cracks have been significantly improved by attaching infilled wall and anchor bar.

**2018,69 Pages**

**Keywords:** Anchor bars, Infill wall, Rigidity, Load-displacement relationships

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmamın yürütülmesinin her aşamasında çok büyük emekleri olan bilim ışığında ilerlememi sağlayan çok değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU'na gösterdiği her türlü ilgi, destek ve anlayış için en içten şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince, çalışmamın başından sonuna kadar şekillenmesinde çok büyük emekleri olan, yaptığı değerli öneriler, gösterdiği yakın ilgi ve verdiği destekler için İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Hakan YALÇINER'e teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamın özellikle deneysel kısmında çok destek aldığım hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet ÖZKAL'a teşekkür ederim. Tez çalışmamın laboratuarda yapılan deneysel kısmında yardımlarını gördüğüm Sayın Arş. Gör. Mesut KÜÇÜK'e teşekkür ederim. Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında bir ekip olarak değerli vakitlerini ayırarak yardımcı olan Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun olan öğrencilere de teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından BAP - FYL-2016-396 proje numarası ile desteklenmiş olup bu çalışmamın gerçekleşmesine büyük katkı sağladıkları için Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda oldukları gibi bu çalışmamında başından sonuna kadar maddi, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yasemin Firdes AYDIN

Aralık, 2018

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>9</b>
3.1. Dolgu Duvarların Yapı Davranışları Üzerindeki Etkileri.....	9
3.1.1. Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki olumlu etkileri .....	10
3.1.1.1. Dolgu duvar dayanımları .....	10
3.1.1.2. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yatay rijitliği.....	11
3.1.1.3. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin enerji yutma özellikleri.....	12
3.1.2. Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki olumsuz etkileri.....	14
3.1.2.1. Burulma etkisi.....	14
3.1.2.2. Yumuşak kat etkisi.....	16
3.1.2.3. Zayıf kat etkisi .....	18
3.1.2.4. Kısa kolon etkisi .....	20
3.2. Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Oluşan Göçme Türleri .....	25
3.2.1. Köşe kırılması (CC) .....	26
3.2.2. Diyagonal basınç kırılması (DC) .....	26
3.2.3. Kayma kırılması (SS).....	27
3.2.4. Diyagonal çekme kırılması (DK).....	27
3.2.5. Çerçeve göçmesi (FF) .....	27
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>29</b>
4.1. Materyal .....	29

4.1.1. Deneý programı.....	29
4.1.1.1. Kesit özellikleri.....	30
4.1.1.2. Ankraj çubuklarının yapım detayları .....	33
4.1.1.3. Numunelerin deneylere hazır duruma getirilme aşamaları.....	34
4.1.2. Deneý düzeneğinin oluşturulması .....	43
4.1.3. Deneý programında kullanılan cihazlar .....	46
4.2. Yöntem.....	47
4.2.1. Yer değiştirme esaslı değerlendirme .....	47
4.2.2. Dayanım esaslı değerlendirme .....	48
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>50</b>
5.1. Deneý Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Çalıřmalar .....	51
5.1.1. Yük-yer değiştirme sonuçları.....	51
5.1.2. Moment-eğrilik ilişkisi sonuçları .....	56
5.1.3. Donatı çubuğunun sıyrılması sonuçları.....	57
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>63</b>
KAYNAKLAR .....	65
EKLER.....	68
Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	70



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yükler altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu ((a) Sisteme yatay yönde F kuvveti uygulanması, (b) Sistemin ayrılma eğilimi ve (c) Basınç çubuğunun oluşumu) (Peynirci, 2007) .....	12
Şekil 3.2. Yük çevrimleri sırasında söndürülen enerji miktarı (Kızıloğlu, 2006).....	13
Şekil 3.3. Deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi (Doğangün, 2014).....	14
Şekil 3.4. Rijitlik merkezi etrafında dönmesi (Doğangün, 2014) .....	14
Şekil 3.5. İki merkezin çakışması durumu (Doğangün, 2014).....	14
Şekil 3.6. Döşemenin rijit diyafram olarak çalıştığı durumda burulma (DBYBHY, 2007).....	15
Şekil 3.7. Dolgu duvarlı çerçevede yumuşak kat etkisi ((a) Dolgu duvar süreksizliği durumunda yapının deprem davranışı (AFAD), (b) Sıkça uygulanan giriş katında dolgu duvarı bulunmayan konut (AFAD) ve (c) Yumuşak kat oluşumu sonucu meydana gelen hasar (1999 Kocaeli/İzmit) (AFAD)) (Öztürk, 2015) .....	17
Şekil 3.8. Yumuşak kat düzensizliğinden dolayı yıkılan binalar (Timurağaoğlu, 2015).....	18
Şekil 3.9. Kolon veya perde etkin gövde alanının belirlenmesi (Doğangün, 2014) .....	19
Şekil 3.10. Zayıf kat olan binalarda oluşan hasarlar ((a) Binalarda yeterli düşey taşıyıcı ve duvar en kesit alanına sahip olmaması nedeniyle oluşmuş zayıf kat örnekleri verilmektedir ve (b) Zayıf kat oluşumunun sadece zemin katlar için değil diğer katlarda da oluşabileceğine dair bir örnek) (Timurağaoğlu, 2015) .....	20
Şekil 3.11. 22 Mayıs Bingöl depreminde kısa kolon kırılması (Bayülke, 2003).....	21
Şekil 3.12. İki yanında bant pencere olan kolon (Bayülke, 2003) .....	21
Şekil 3.13. Kolon boyunun kısalması sonucu eğilme kırılması için gereken kesme kuvvetinin artışı (Bayülke, 2003).....	21
Şekil 3.14. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2018) .....	22
Şekil 3.15. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2018) .....	22
Şekil 3.16. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde kısa kolon kırılmasının olmadığı düşük dayanımlı briket dolgu duvarlı bant pencere (Bayülke, 2003) .....	23
Şekil 3.17. 18 Kasım 1983 Erzincan depreminde bant pencere bölüme sık etriyeli kolonda beton çatlamış ancak kısa kolon kırılması olmamıştır (Bayülke, 2003).....	23
Şekil 3.18. Kolon ucunda etriye sıklaştırması kısa kolon kırılmasını engellerken betonda kılcal düzeyde çatlamlar gözlemlenir (Bayülke, 2003) .....	24

Şekil 3.19. Kısa kolon oluşumunu engellemek için alınabilecek önlemler (Doğangün, 2014).....	24
Şekil 3.20. Kısa kolonların oluşumu (DBYBHY, 2007) .....	25
Şekil 3.21. CC ve DC kırılma türleri (Asteris ve ark., 2011A).....	26
Şekil 3.22. SS, FF ve DK kırılma türleri (Asteris ve ark., 2011A).....	27
Şekil 3.23. Donatı sıyrılması hasarı (Crisafulli, 1997).....	28
Şekil 3.24. Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı (Crisafulli, 1997).....	28
Şekil 4.1. Boş çerçeve donatı detayları .....	31
Şekil 4.2. Çerçeve sistemlerin donatı kesit detayları .....	31
Şekil 4.3. Dolgu duvarlı çerçeve donatı detayları .....	32
Şekil 4.4. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve donatı detayları.....	32
Şekil 4.5. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede ankraj detayları .....	33
Şekil 4.6. Çelik çekme deneyi.....	34
Şekil 4.7. Enine donatı işleri .....	35
Şekil 4.8. Kalıp işleri.....	35
Şekil 4.9. Temel, kolon ve kiriş donatı işleri .....	36
Şekil 4.10. Gerinim pullarının donatı çeliğine yapıştırılma aşamaları ((a) Donatı pürüzsüzleştirme, (b) Gerinim pulu ve (c) Bir kolonda yer alan gerinim pulu).....	37
Şekil 4.11. Gerinim pulları.....	38
Şekil 4.12. Dış kalıp işleri.....	38
Şekil 4.13. Üç adet numunenin beton döküm işleri ((a) Betonun el arabaları yardımıyla taşınması, (b) Betonun kalıplara yerleştirilmesi ve (c) Betonun vibratörle sıkıştırılması).....	39
Şekil 4.14. Küp ve silindir numuneler .....	40
Şekil 4.15. Kalıptan çıkarılan numunelere ait resim ((a) Dolgu duvarlı çerçeve, (b) Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve ve (c) Boş çerçeve) .....	40
Şekil 4.16. Beton dökümü gerçekleşen numunelere kür uygulaması .....	41
Şekil 4.17. Ankraj çubuklu çerçevenin dolgu duvar betonu dökülmeden öncesine ait resim .....	41
Şekil 4.18. Dolgu duvarların yerinde dökme zayıf betonlarının dökülmesi .....	42
Şekil 4.19. Numunelerin boyanması .....	42
Şekil 4.20. Küp ve silindir numunelerin basınç deneylerinin yapılması.....	43
Şekil 4.21. 100 mm LVDT'lerin montajı.....	44
Şekil 4.22. 200 mm LVDT'nin montajı .....	45
Şekil 4.23. Deney düzeneği.....	46

Şekil 4.24. Yük-yer değiştirme bağıntısı (Peynirci, 2007).....	49
Şekil 5.1. Boş çerçeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değiştirme (m) eğrisi.....	52
Şekil 5.2. Boş çerçeve deney başlangıcı .....	52
Şekil 5.3. Boş çerçeve deney sonrası .....	53
Şekil 5.4. Dolgu duvarlı çerçeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değiştirme (m) eğrisi .....	53
Şekil 5.5. Dolgu duvarlı çerçeve deney başlangıcı .....	54
Şekil 5.6. Dolgu duvarlı çerçeve deney sonucu .....	54
Şekil 5.7. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değiştirme (m) eğrisi .....	55
Şekil 5.8. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deney başlangıcı .....	56
Şekil 5.9. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deney sonucu .....	56
Şekil 5.10. Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden elde edilen moment (kN.m)-eğrilik (rad/m) eğrileri .....	57
Şekil 5.11. Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden elde edilen donatı çubuklarında yük(kN) – donatı sıyrılması (mm) ilişkisi.....	58
Şekil 5.13. Boş çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması .....	61
Şekil 5.14. Dolgu duvarlı çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması .....	61
Şekil 5.15. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması .....	62

## TABLULAR LİSTESİ

**Sayfa**

Tablo 4.1. Deneysel çalışmalar sonucunda göçme yüklerinde numunelerin yer değiştirme miktarları .....	48
--	----



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

$h_b$	Bant Pencere Yüksekliği
$f_{cd}$	Betonun Hesap Basınç Dayanımı
$\Delta_{imax}$	Binanın i'nci Katındaki Maksimum Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi
$\Delta_{ior}$	Binanın i'nci Katındaki Ortalama Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi
$\Delta_i$	Binanın i'nci Katındaki Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi
$\Delta_{i+1}$	Binanın i'nci Katının Bir Üst Katındaki Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi
$\Delta_{i-1}$	Binanın i'nci Katının Bir Alt Katındaki Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi
$h_i$	Binanın i'nci Katının Kat Yüksekliği
$h_{i+1}$	Binanın i'nci Katının Bir Üst Katındaki Kat Yüksekliği
$h_{i-1}$	Binanın i'nci Katının Bir Alt Katındaki Kat Yüksekliği
$\lambda.h$	Çerçevenin Dolgu Duvarına Oranla Rijitliği
$\alpha$	Dolgu Duvar ile Çerçeve Arasındaki Teorik Temas Uzunluğu
$h$	Dolgu Yüksekliği
$\varepsilon(x)$	Donatı Çubukları Boyunca Uzanan Gerilmeler
$\Delta_{Donatı\ Sıyırılması}$	Donatı Sıyırılması Yer Değiştirmesi
$\theta_{Donatı\ Sıyırılması}$	Donatı Sıyırılması Dönmesi
$l_d$	Elastik Bölgedeki Donatı Çubuklarının Uzunluğu
$E$	Elastisite Modülü
$\Delta_y$	Elastik Sınırdaki Yer Değiştirme
$D_i$	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde Burulma Düzensizliği Olan Binalar için i'nci Katta $\pm$ %5 Ek Dışmerkezliğe Uygulanan Büyütme Katsayısı
$\Sigma A_e$	Herhangi Bir Katta, Göz Önüne Alınan Deprem Doğrultusunda Etkili Kesme Alanı
$\Sigma A_g$	Herhangi Bir Katta, Göz Önüne Alınan Deprem

	Doğrultusuna Paralel Doğrultuda Perde Olarak Çalışan Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Enkesit Alanlarının Toplamı
$\Sigma A_k$	Herhangi Bir Katta, Göz Önüne Alınan Deprem Doğrultusuna Paralel Kagir Dolgu Duvar Alanlarının (Kapı ve Pencere Boşlukları Hariç) Toplamını
$\Sigma A_w$	Herhangi Bir Katta, Kolon Enkesiti Etkin Enkesit Gövde Alanları
$\eta_{bi}$	i'nci Katta Tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
$\eta_{ci}$	i'nci Katta Tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
$\eta_{ki}$	i'nci Katta Tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
$l'_d$	İnelastik Bölgede Yer Alan Donatı Çubuklarının Uzunluğu
$l_n$	Kısa Kolonun Serbest Boyu
$h$	Kolonun Boyu
$H$	Kolonların Derinliği
$M_a$	Kolon Alt Ucundaki Kapasite Momenti
$A_w$	Kolon Enkesit Etkin Gövde Alanı
$V_r$	Kolon Kesitinin Kesme Dayanımı
$L$	Kolonun Toplam Uzunluğu
$\emptyset$	Kolonların Uzunlukları Boyunca Eğrilik
$M_{\bar{u}}$	Kolon Üst Ucundaki Kapasite Momenti
$L_p$	Plastik Mafsal Uzunluğu
$\nu$	Poisson Oranı
$\mu$	Süneklilik
$d - c$	Tarafsız Eksen Derinliği
$\Delta_u$	Ulaşılabilecek Toplam Yer Değiştirme
$\sigma_x$	x Doğrultusunda Gerilme
$\epsilon_x$	x Doğrultusunda Şekil Değiştirme
$\sigma_y$	y Doğrultusunda Gerilme
$\epsilon_y$	y Doğrultusunda Şekil Değiştirme

## Kısaltmalar

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
KM	Kütle Merkezi
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
RM	Rijitlik Merkezi
RYTEİE	Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar
LVDT	Yer Değiştirme Ölçer



## 1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkemizde yapılar çoğunlukla betonarme yapı olarak tasarlanmakta ve imal edilmektedir. Bilindiği gibi ülkemiz deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle yapılarımızın olası bir deprem yüküne maruz kaldığında insanlarımızın can ve mal güvenliğini sağlayacak hemen göçmesini engelleyecek biçimde tasarımlarını yapmak ve imalat aşamasında bu tasarıma uygun bir biçimde yapıldığını kontrol etmek çok büyük bir önem teşkil etmektedir.

Betonarme yapılar yapılırken taşıyıcı yapı elemanı (birincil eleman) olarak ta bilinen perde, kolon, kiriş ve döşemelere göre tasarlanmakta ve statik analizleri yapılmaktadır. Ancak yapılarda ikincil eleman olarak nitelendirilen dolgu (bölme) duvarlar hesaplara sadece yük olarak etki ettirilmektedirler. Sadece yük olarak dikkate alınan dolgu duvarların yapılara herhangi bir yanal yük ettiğinde yapılar üzerinde davranışlarının nasıl olacağının araştırılması geliştirilecek çözüm yolları için önemlidir. Yapıları dolgu duvarlar genel olarak iki şekilde etkilerler. Bunlar yapıda meydana getirdiği yük artışı ve rijitlik değişimidir. Bu etkilerden doğan sonuçları ise olumlu ve olumsuz sonuçlar olarak sınıflandırmak mümkündür bu etkilerin araştırılması geliştirilecek çözüm yöntemleri için çok önemlidir.

Belirli seviyelere kadar meydana gelen yanal ötelenmeler sonucunda dolgu duvarlar betonarme çerçevelerin yanal rijitlik, enerji yutma kapasitesi ve dayanım gibi özelliklerini ciddi oranda artırdığını bizlere yapılan çalışmalar göstermiştir (Özdemir, 2008; Kumbasaroğlu, 2010). Fakat, yanal ötelenmelerin belirli seviyeleri aşması durumunda sözü edilen duvarların devrilerek veya ezilerek işlev görmez hale gelmesi nedeniyle deprem süresince betonarme çerçevenin davranışına olumlu bir etkide bulunamamaktadır.

Yanal yükler etki ettiğinde başlangıçta dolgu duvar ile çerçeve birlikte çalışmaktadır eğer bu durum sürekliliğini korsa meydana gelecek ciddi hasarların önüne geçilebilir. Bu durum ancak çerçeve ile dolgu duvarın birlikte çalışması sağlanırsa mümkün olmaktadır. Bu ise dolgu duvar ile çerçeve sistem birlikte çalışmasını sağlayacak ankraj çubukları sisteme eklenerek sağlanacaktır tıpkı bir perde görevi görerek oluşacak ciddi hasarların önüne geçerek dayanıklı, daha rijit ve daha fazla enerji absorbe eden yapılar elde edileceği düşünülmektedir.



Ülkemiz de yapılan tüm betonarme yapılar da yapım sıralaması önce çerçeve sistem yapılarak sonra yapılan çerçeve sistemin arasına dolgu duvar örülerek harç ile çerçeveye tutturulmaya çalışılmaktadır. Eğer çerçeve sistemin donatı çubukları yapılırken bu çalışmada betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasında yerleştirilen ankraj çubuklarının yapılma detayları kullanılarak yapılara eklenilip sonrada dolgu duvarlar eklenilirse harçla çerçeve sistemine tutturulmaya çalışılan dolgu duvarlardan daha iyi performans, dayanım ve rijitlik sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında üretilen boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine artımlı yatay yük uygulandığında ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemin diğer iki çerçeve sisteme oranla daha fazla yüklemeye dayandığı, daha rijit olduğunu ve daha fazla enerji absorbe ettiği elde edilen deney sonuçlarından tespit edilmiştir. Bu da bizlere betonarme çerçeve ile dolgu duvarların arasına binaların inşa aşamasında bağlantı sağlayacak ankraj çubuklarını yerleştirmenin çok mantıklı bir yaklaşım olduğu sonucuna ulaştırmıştır. Bu durum etkiyecek yanal yükler etkisi altında kalan yapıların hasarlarını minimize ederek can ve mal kaybını azımsanamayacak kadar iyileştirecektir. Bölme duvarlardan depremlerde daha fazla yararlanmak, dayanıma ve rijitliğe sağladıkları olumlu etkileri depremler süresince devam ettirebilmek için bölme duvarlarda güçlendirme yöntemleri ele alınmıştır (Özdemir, 2008). Deprem yönetmeliğinde betonarme yapılarda geleneksel yöntemlerle depreme karşı güçlendirme yöntemleri; dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi, dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilmesi ve dolgu duvarların prefabrike beton panellerle güçlendirilmesi gibi başlıklar altında sınıflandırılabilir (DBYBHY, 2007). Bu gibi güçlendirme yöntemleri kullanarak yapıların hasar seviyeleri düşürülecektir. Şüphesiz ki bu çalışmada ana parametre olarak ele alınan ankraj çubuklarının yerleştirme detayları dikkate alınarak yapılacak olan yapılarda günümüzde uygulanan güçlendirme konularına farklı bir bakış açısıyla bakılması sağlanılarak ve yeni güçlendirme metotlarının ortaya çıkmasına katkı sağlayacaktır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Celep ve Gençoğlu (2003) tarafından beş katlı binada dolgu duvarların yapıya gelen yatay yük davranışına etkileri irdelenmiştir. Binada deprem doğrultusu boyunca kolonların deprem kuvvetlerini taşımasına katkı sağlayan dolgu duvarların etkilerinin incelendiği çalışmada duvarın üstünde ve altında yer alan kirişlerle duvarın sağında ve solunda olan kolonlarla bağlantılarının araştırıldığı çalışmada; dolgu duvarların kat kesme kuvvetinin ciddi bir bölümünü karşılayabildiği gözlemlenmiştir. Bu vaziyet var olan binalarda dolgu duvarların yatay yük taşımaya olan katkılarının dikkate alınması gerektiği sonucunu çıkarmaktadır. Dolgu duvarlarda boşluk oranının fazla bulunması nedeniyle sünek bir tutum göstermediğinden zarar ve ziyanların oluşumuna sebebiyet vermiştir. Binalar da sistem analizinde göz önüne alınmayan dolgu duvarların yatay rijitlik açısından olumlu etkisi nedeniyle dikkate alınması gerekliliğinden söz edilmiştir.

Sayın (2003) araştırmasında dolgu duvarları betonarme binalarda taşıyıcı eleman olarak dikkate alınarak göz ardı eden, sadece yük olarak sistem çözümlemelerinde dikkate alınan dolgu duvarları modellemiştir. Dolgu duvarları, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ve panel olarak modellemiştir. Dolgu duvarları sistem içerisinde olarak bina çözümleme programlarıyla çözümlemeleri karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarın rijitlik ve dayanım özelliklerinin tayin edilmesi halinde modellemelerin sistem davranışlarının daha gerçekçi sonuçlar verebildiği görülmüştür.

Çağlayan (2006) araştırmasında dolgulu betonarme çerçevelerin sonlu elemanlar programı ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümünü yapmıştır. Taşıyıcı sistem elemanların mafsallaşmalarında kirişler üzerinde moment ve kesme dikkate alınırken, kolonlar üzerinde aksenal yük, moment ve kesme dikkate alınmış, dolgular üzerinde ise yalnızca aksenal yük etkisi dikkate alınmıştır. Dolgu duvarın tesirlerinin ihmal edildiği kapasite kuvveti sonuçlarıyla dikkate alındığı vaziyet arasında %5'lik yükselme meydana gelmiştir.

Karşlıoğlu (2005) çalışmasında üç adet çok katlı betonarme binada dolgu duvarların doğal modal periyot ve mod şekli üzerine tesirini araştırmıştır. Binalardan biri yalnızca konut amaçlı tasarlanırken diğer iki binada asma katlı işyeri bulunacak şekilde yapılmıştır. Dolgu duvarların tesirlerinin araştırılması amacıyla yapılar çıplak çerçeve ve dolgu duvarlı olarak 3-boyutlu olarak modeli yapılmıştır. Dolgu duvarların yatay

rijitlikleri ve kütleleri bina davranışında etkili olmaktadır. Çözümlemeler sonrasında dolgu duvarların yapıların doğal periyotların da düşmelere sebebiyet verdiği ancak mod şeklini değiştirmediği sonucu çıkarılmıştır.

Tetik (2007) alışmasında betonarme yapılarda planlarında farklı yerleşime sahip dolgu duvarların yapı sistemine ne gibi etkileri olacağını incelemiştir. İki ucu mafsallı çapraz pandül çubuklar kullanarak dolgu duvarların modellemesini yapmıştır. Sonuç olarak dolgu duvarların yapı rijitliğini önemli oranlarda arttırmasına karşın yapı periyodunda azalma bulguları kaydedilmiştir. Dolgu duvarlarda boşlukların rijitlik üzerinde düşüşe sebebiyet verdiği ve boşluksuz vaziyette %56 düzeylerinde olan periyot azalma oranının %37'ye gerilediği hesaplamıştır. Araştırma yapılan yapılarda, dolgu duvarların yapı periyotlarında ortalama %50-%70 düzeylerinde düşüşlere sebebiyet verdikleri bulunmuştur.

Beklen (2009) alışmasında taşıyıcı eleman olarak göz önüne alınmayan dolgu duvarların depremler üzerinde olumsuz ve olumlu etkilerini araştırmıştır. İncelenen yapı farklı kat sayıları ile modellenerek farklı kolon ölçüleri için deprem analizleri elde edilmiştir. Bu incelenen binada duvar malzemesi olarak farklı parametrelere sahip malzemeler ele alınmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiştirler. Çalışma kapsamında dolgu duvarların olumsuz etkileri olarak görülen kısa kolon, burulma düzensizliği ve yumuşak kat etkileri de araştırılmıştır. Bu alışma neticesinde, rijitlik, periyot, taban kesme kuvveti, yatay deplasman ve yapı davranışını dolgu duvarların etkilediği tespit edilmiştir.

Yıldırım (2009) alışmasında betonarme yapıların tasarım ve tasarısında, taşıyıcı eleman olarak hesaplamalarda dikkate alınmayan dolgu duvarların, binanın deprem davranışı ve periyotları üzerindeki etkileri konu edilmiştir. Dolgu duvarların yapı davranışına etkilerini irdelemek amacıyla farklı dolgu duvar yerleşimlerine sahip betonarme yapılar oluşturulmuştur. Dolgu duvarların modellemesinde iki ucu mafsallı çapraz pandül çubuklar kullanılmıştır. Modellemede farklı kat sayısına sahip ereve binalar ele alınmış, bu binalarda dolgu duvar alanına bağlı periyot değişimleri incelenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız bina periyotlarının incelendiği analizler sonucunda, dolgu duvarların, yapının rijitliğini ve yapı periyodunu önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Bu değişimde bir denkleme bağlanarak yeni tasarlanacak binalarda dolgu duvarların hesaba katılması için bir yol açılmıştır.

Kumbasaroğlu (2010) alışmasında ereve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı ereve sistemlerine katkısının araştırılması amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı ereve sistemlerine olan etkisidir. Bunun için deney programı ve deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada, 1/4 ölçekte tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı ereve sistemi ele alınmıştır. Dolgu duvarlı ereve sisteminde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, ereve ise elik profil ve betonarme ereve olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile ereve arasındaki bağlantı elik ankraj çubukları ile sağlanmıştır. Yapılan çalışmada, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının genelde dolgu duvarlı ereve sistemlerde enerji yutma kapasitesi ve başlangıç rijitliğini artırdığı tespit edilmiştir. Ankraj ubuksuz sistemlerde yüklemenin yapıldığı köşelerde köşe kırılması/dolgu ezilmesi davranışı, serbest köşelerde ise dolgu ayrılması davranışı tespit edilmiştir. Ankraj ubuklu sistemlerde ise bu davranışın yerini çekme çatlakları almıştır. Bu gözlemden ankraj çubuklarının sistem davranışını azımsanamayacak derecede iyileştirdiği sonucu varılmıştır.

Sönmez (2013) alışmasında dolgu duvarların rijitliğinde meydana gelen değişimlerin çerçevelerin davranışlarında nasıl etkiler oluşturduğunu araştırmıştır. Çalışmanın yürütülmesinde çözümlerinin yapıldığı dolgu duvar modelini içeren program tercih edilmiştir. Tasarımı yapılan beş katlı, beş açıklıklı binada sürekli gözlemlenen kusurlara sahip betonarme ereve incelenmiştir. Boş çerçevenin performansı artımsal itme analizi ile saptanmıştır. Boş çerçevenin iki açıklığı dolgu duvarlarla doldurularak iki çeşit dolgu duvarlı çerçeveye ulaşılmıştır. ereveler, doğrusal olmayan statik itme ve dinamik çözümlerle metotlarıyla çözümlenmiştir. Binanın yüksekliği boyunca sağlanan planlı rijitlik dağılımı alt katlarda yoğunlaşan ötelenme taleplerini düşürerek ve binanın deprem performansında dikkate değer değişimler meydana getirerek olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Sezer ve Akin (2011) tarafından dolgu duvarları n üretimli beton panellerle güçlendirilmiş olan betonarme çerçevelerin deprem davranışlarının incelenmesi kapsamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada, depreme karşı koyabilecek direnci olmayan 3 adet betonarme ereve üretilmiştir. Referans numune olarak üretilen için herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tulmaksızın, öteki iki numune ise tuğla dolgu duvarları n üretimli yüksek dayanımlı beton paneller ile güçlendirme yapılarak

yanal yüklemelere tabi tutulmuşlardır. Sonuçlar ise önerilen güçlendirme yönteminin yanal rijitlik ve dayanım üzerinde önemli düzeylerde artışlara sebep olduğunu göstermiştir.

Kılıç (2012) tarafından ülkemizde yapılan araştırmalarda yapılarımızın büyük bir çoğunluğunun orta şiddetteki depremlere bile dayanmayacak seviyede olduğu bilincinde olarak bu soruna bir çözüm olabilmesi açısından çalışmada çerçevesi yapı içerisinde mevcut olan dolgu duvarların hasır çelik uygulaması ve üzerine sıva kaplaması ile güçlendirilmesi üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmada uygulamalarda gözlemlenen imalat ve tasarım kusurlarına sahip, malzeme dayanımları yetersiz olacak şekilde 1/2 oranında beş adet farklı numune iki katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve sistemiyle birlikte kullanılmıştır. Hasır çelik ve sıva ile güçlendirme yöntemiyle çerçevenin yatay yük taşıma yeteneğini ve yatay rijitliğini artırdığını göstermiş fakat uygulanan güçlendirme yönteminin tek başına şartnamelerde belirtilen performans değerlerine ulaşmadığı tespit edilmiştir. Böylece imalat ve yapım kusurlarından kaynaklı yani çerçevede yetersiz bindirme boyları ve yetersiz kolon-kiriş birleşimleri sebebiyle uygulanan güçlendirme metodu istenen ve beklenen şartları sağlayamamıştır. Sonuç olarak yapılan çalışma bir binanın taşıyıcı sisteminin deprem performansının yükseltmek için birinci olarak yapının ayrıntılı olarak araştırılması gerekliliğini ortaya koyarak yapıda yer alabilecek bindirme boyu yetersizlikleri ile birleşim bölgelerinin takviyelerinin yapılmasının ardından yapılacak güçlendirme yönteminin düzgün olarak imal edilerek ve güçlendirme işlerinin yetkin mühendislerin kontrolünde yapılması önerilmiştir.

Baran (2012) tarafından dolgu duvarların betonarme çerçevesi yapıların davranışına etkilerinin araştırılması kapsamında deneysel ve analitik çalışmalar yürütülmüştür. Araştırmanın deneysel bölümünde, betonarme çerçeveler düşey ve tersinir-tekrarlanır yatay yüklemelere maruz bırakılarak deneyler yapılmış, boşluklu tuğla dolguların betonarme çerçevesi test elemanlarının direnç ve tutumlarına olan etkileri incelenmiştir. Yapılan kuramsal faaliyetlerin sonuçları ile mukayese edilmiş ve yapısal analiz sırasında tuğla dolgu duvarların basitçe modellenebileceği bir metot önerilmiştir.

Yakut ve arkadaşları (2013) tarafından dolgu duvarların yapı deprem tutumu üzerindeki etkisi çözümsel olarak incelenmiştir. Bunun için Ülkemizin farklı bölgelerinde yer alan

28 adet betonarme binayı modellemiştirler. Çalışmanın sonucun da dolgu duvarların bina rijitliğini ve dayanımını önemli oranlarda etkilediği tespit edilmiştir.

Özdemir ve Eren (2014) tarafından hatalı olarak meydana getirildikleri bilinen binalara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine yapılan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel çalışma yapılmıştır. Gerçekleştirilen araştırmada çerçeveye uygulanan ankraj mesafesinin bölme duvarlı çerçeve güçlendirmesine etkisi incelenmiştir. Çalışmaların da üç adet betonarme çerçeve incelemiştir. Numuneler dolgu duvar üzerine çelik hasır tatbiki yapılarak imal edilmişlerdir. Bu numunelerden bir tanesi, çerçeve ve temele 30 cm mesafeyle ankraj uygulanmış, duvar düzlemine dik durumda ve L şeklinde 12 adet ankraj yapılmıştır. Hasır çelik üzerine deprem yönetmeliğinde yer alan karışım oranlarına uygun 3 cm kalınlığında sıva yapılmış ve kürleme işlemi de yapılmıştır. Diğer numuneler de çerçeve ankraj aralığı dışındaki tüm parametreler sabit kalmak koşuluyla, ikinci ve üçüncü numuneler sırasıyla 45 cm ve 60 cm çerçeve ankraj aralığında üretilerek testler yapılmıştır. Üç çerçeve numunesine tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanarak test edilmişlerdir. Sonuç olarak, çerçeve ankraj aralıklarının 30 cm, 45 cm, 60 cm olarak seçilerek incelen deneylerde, çerçeve ankraj mesafelerinin değişmesinin, yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji yutma kapasitesinde önemli düzeyde değişiklikler göstermemesine ek olarak plastik deformasyonlar hususunda da ankraj aralığının herhangi bir olumlu etkisi görülmemiştir.

Aksoy ve Avşar (2015) tarafından dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışı üzerindeki etkisinin bir katsayı ile göz önüne alınması için önerilen basitleştirilmiş bir yöntem ve yöntemin uygulanma kriterleri irdelenmiştir. Çalışmada Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında uygulanan Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE, 2013) bölümünde, bu etkinin dikkate alınması için tespit edilen benzeri bir önerinin uygun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma sonucunda RYTEİE’da tanımlanan dolgu duvar etkisini bir katsayı ile hesaba etki ettiren önerinin, araştırılan birçok vaziyette emniyetli tarafta kaldığı görülmüştür. Fakat, dolgu duvarın projede simetrik olmayan yerleşimi sebebiyle binada burulmaya sebep olması durumunda bazı kolonlarda daha büyük kesme kuvveti talepleri oluşturduğu görüldüğünden, RYTEİE’da tarif edilen önerinin yapıların kısıtlandığı ölçütler kapsamında dolgu duvarların burulmaya sebep olması durumunda kullanılmaması gerekliliği vurgulanmıştır.

Öztürkoğlu ve arkadaşları (2015) tarafından kısmi boşluklara sahip dolgu duvarlı betonarme binaların deprem davranışı kapsamında; dolgu duvarlar ve duvar düzlemindeki kısmi boşluklar farklı modelleme yöntemlerinden yararlanılarak yapısal çözümlenmeye eklenmiştir. Çalışmada kısmi boşluğun konum ve oranının betonarme çerçevenin yatay rijitliğine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda; dolgu duvarların betonarme çerçevelerin yatay rijitliğinin ve bununla alakalı değişkenleri ciddi düzeylerde değiştirdiği, dolgu duvarlarda yer alan kısmi boşlukların da değişimde etkili oldukları açıkça belirlenmiştir.

Timurağaoğlu (2015) tarafından yapılan çalışmanın amacı, tuğla ve gazbeton dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışını analitik ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak irdelemektir. Daha önce deneysel çalışması yapılmış tek katlı ve tek açıklıklı 1/1 ölçekli betonarme çerçeve sistemi, bilgisayar programı yardımıyla modellenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve dolgu duvarın çerçeve davranışına olan etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak, literatürde mevcut olan farklı eşdeğer basınç çubuğu modelleri sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla bilgisayar ortamında modellenmiş ve analiz sonuçları deneylerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

### 3. KURAMSAL TEMELLER

Dolgu duvarlar yapıyı genel olarak iki şekilde etkilerler. Bunlar yapıda meydana getirdiği yük artışı ve rijitlik değişimidir. Bu etkilerden doğan sonuçları ise olumlu ve olumsuz sonuçlar olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu açıdan; yapı ağırlığının artması, yapı eksantirisitesinin artması, kısa kolon oluşumu, yumuşak kat oluşumu, burulma oluşumu ve zayıf kat oluşumu dolgu duvarların yapılar üzerindeki olumsuz etkileri olarak sıralanabilir. Buna karşın doğru düzenlenmiş dolgu duvarlar, yapının dayanım, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerini arttırarak olumlu etkiler sağlamaktadırlar (Budak, 2007).

Bu etkilerin, yapı üzerinde etkinliği ise dolgu duvarların birtakım özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bunlar da; malzeme özellikleri, boyutlar (genişlik, yükseklik ve kalınlık), boşluklar (kapı, pencere vs. boşlukları yer ve boyutları), yüklerin özellikleri (tekil veya yayılı olmaları, yerleri), dolgu duvarların ayrık olup olmaması, dolgu duvarların düzenlenme biçimleri şeklinde sıralamak mümkündür.

Bu faktörlerin, aynı taşıyıcı sistem için farklı düzenlenmesi halinde bile, yapı yer değiştirmeleri ve rijitliği, gerilmelerin dağılımı ve kırılma biçimleri, dolgu duvarların stabilitesi, yapı titreşim periyodu ve dinamik yükleri ve kesit etkilerinin dağılımı gibi yapının davranışındaki temel parametreler değişkenlik gösterir. Bu yüzden yapıların projelendirilmesi sırasında, dolgu duvarların yapı davranışındaki rolünün değerlendirilmesi gerekli olmaktadır.

#### 3.1. Dolgu Duvarların Yapı Davranışları Üzerindeki Etkileri

İncelenen çalışmalar yapı davranışlarında dolgu duvarların çok etkili olduğunu ortaya koymakta ve bilhassa düşük düzeylerdeki depremlerde çok etkin rol oynadıklarını ve etkilerinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Bir çok araştırmacı yaptıkları çalışmalar da bu katkıyı teyit etmiştir (Kappos vd., 2000 ; Calvi vd., 2004 ; Hashemi vd., 2006 ; Asteris vd., 2011).

Betonarme yapılarda yer sarsıntılarının sonucunda meydana gelen maddi kayıba en fazla etken olan parametre dolgu duvarlarda oluşan hasarlardır. Betonarme yapılarda depremler sırasında dolgu duvarların tümünden ya da kısmi yıkılması, betonarme yapıların



yatay yük taşıma kapasitesini, yapının ayakta durmasını veya göçmesini tayin edecek derecede tesir etmektedir (Yakut vd., 2013). 2011 yılında Van'da gerçekleşen depremde ayakta duran yapıların incelenmesi sonrasında dolgu duvarların ciddi katkılarının olduğu gözlemlenmiştir. Ancak depremler sonucunda dolgu duvarlarda kılcal düzeyde çatlakların oluşması veya çok hafif hasarların gözlemlenmesi insanları tedirgen etmekte ve evlerinde tekrar oturma düşüncesi onları düşündürmeye yetmektedir.

Yapılarda alanları bölmek için inşa edilen dolgu duvarlar hesaplarda yapısal eleman olarak düşünülmesine de, tersinir tekrarlı yükler altında yapının rijitlik, enerji yutma kapasitesini ve yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığı birçok deneysel çalışmalarda gözlemlenmiştir (Özdemir, 2008; Kumbasaroğlu, 2010). Yük artmaya başlayınca dolgu duvarda çatlaklar meydana gelmekte, duvarın yapının rijitliğine olan etkileri azalmakta ve yapıyı tamamen çerçeve sistem ayakta tutmaya çalışmaktadır. Bunlara ek olarak, yapıda kullanılan duvarlarda pencere ve kapı boşluklarının olması, duvarların planda düzensiz yapılması gibi etkiler yapılarda çok ciddi hasarlar oluşmasına da sebep olmaktadır.

Betonarme yapılarda yer sarsıntıları sonucunda, yapının hareketini değiştiren dolgu duvarlar sebebiyle meydana gelen zararın beklenilenden fazla bulunduğu örneği mevcuttur. Betonarme yapılar üzerinde dolgu duvarların olumlu ve olumsuz etkileri aşağıdaki başlıklar altında ayrıntılı bir şekilde irdelenmektedir:

### **3.1.1. Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki olumlu etkileri**

#### **3.1.1.1. Dolgu duvar dayanımları**

Duvarların, duvar düzlemi içinde yatay derzlerine paralel ve dik etkiyen yükler altında dayanımları önemlidir. Derzlereyatay yönde gelen yüklere dayanım kesme dayanımı ve dik yönde gelen yüklere dayanım duvarın basınç dayanımıdır. Deprem yükleri açısından duvarın kesme dayanımı önemlidir (Bayülke, 2003).

Betonarme çerçeveli yapıların dolgu duvarlarının nominal kesme dayanımlarının 1,0 ile 2,0 kg/cm<sup>2</sup> arasında olduğu kabul edilebilir. Örneğin 300 cm açıklıkta ve 15 cm genişlikte dolgu duvarın düzlemine paralel olarak taşıyabileceği kesme kuvveti 300 cm x 15 cm x 1,0 kg/cm<sup>2</sup> = 4500 kg'dır. Yapım aşamasında dolgu duvar malzemesi

istenilen dayanımlarda yapılabilmesi için malzeme özelliklerinin iyi tayin edilmesi uygulamasının yani işçilik aşamasında da yeterince özen gösterilmesi gerekmektedir.

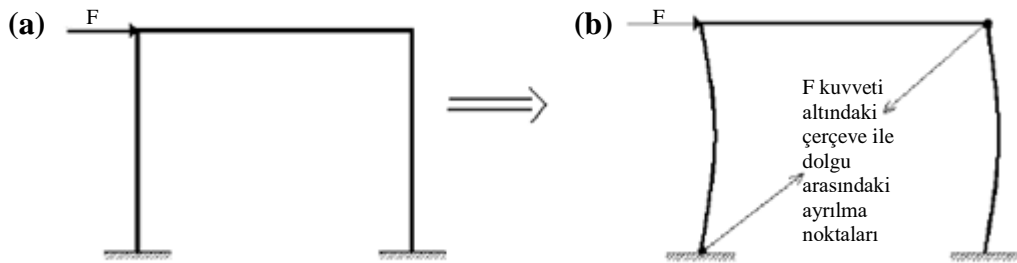
Betonarme yapılarda bulunan dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini tıpkı perde duvarlar gibi sınırlamaktadır. Fakat bu vaziyet hafif şiddetli depremlerde veya şiddetli bir depremin başlangıç evresinde tam geçerlidir. Hasar almadan evvel perde duvar tutumu gösteren bölme duvarlar, aynı betonarme perde duvarlara benzer bir şekilde yapı planında simetrik konumlandırılarak yerleştirilmişlerse yapı dayanımını ciddi oranlarda artırır (Bayülke, 2001).

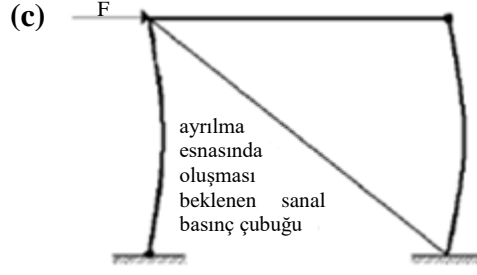
### 3.1.1.2. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yatay rijitliği

Dolgu duvarların bina yapısal sistemi içindeki davranışını etkileyen birçok faktör vardır. Dolgu duvar dayanımı ve rijitliğinin dolgu duvar boyutlarına, fiziksel özelliklerine ve yük uygulanan taraftaki kolona olan temas uzunluğuna bağlı olduğu gösterilmiştir (Stafford, 1966). Temas uzunluğu ile dolgu duvar ve çerçevenin rölatif rijitliğine bağlı olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Peynirci, 2007).

$$\alpha/h = [\pi/(2\lambda h)] \quad (3.1)$$

Burada  $\alpha$ , dolgu duvar ile çerçeve arasındaki teorik temas uzunluğu,  $h$ , dolgu yüksekliği  $\lambda.h$ , çerçevenin dolgu duvarına oranla rijitliğidir. Şekil 3.1a'daki gibi dolgu duvarla doldurulmuş ve bir çerçeveye yatay yönde  $F$  kuvvetinin uygulanmasıyla bu yük altında çerçevenin dolgu panelden, dolgu panelin ön alt ve arka üst köşelerden Şekil 3.1b'deki gibi ayrılma eğilimi gösterdiği deneysel sonuçlardan gözlemlenmiştir (Peynirci, 2007).





**Şekil 3.1.** Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yükler altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu ((a) Sisteme yatay yönde F kuvveti uygulanması, (b) Sistemin ayrılma eğilimi ve (c) Basınç çubuğunun oluşumu) (Peynirci, 2007)

Ayrılma esnasında oluşması beklenen diğer iki köşede, dolgu ve çerçeve arasında gelişen ve basınç temasından kaynaklanan gerilmelerin olduğu Şekil 3.1c'de görülmektedir. Bu davranış sonucunda dolgunun çerçevedeki rijitliğe katkısı, Şekil 3.1c'de görüldüğü gibi eşdeğer sanal basınç çubuğu olarak tanımlanmıştır.

Tasarım adımı ihmal edilen dolgu duvarlarrijitlik ve dayanıma olan olumlu etkilerini ek kapasite olarak değerlendirmek emniyetli tarafta kalınıldığı yanılgısına bizleri düşürebilir. Dolgu duvarlar betonarme yapının yatay rijitliğini artırarak yapının doğal periyodunun azalmasına, dolayısıyla binanın deprem talebinin artmasına sebep olabilir (El- Dakhkhni vd., 2006).

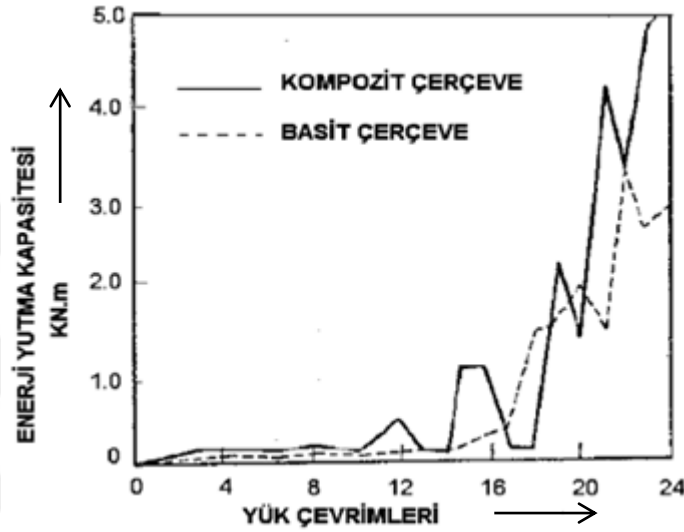
Betonarme yapılarda dolgu duvarların yatay rijitliğe olan olumlu etkisinin %440'a kadar erişebileceğini yapılan çalışmalarda anlatılmaktadır (Kappos, 2000).

Türkiye'de yapı kapasitelerinin zayıf ve inşaa kalitesinin yetersiz olduğu dikkate alındığında dolgu duvarların yapıların dayanım ve rijitliğine olumlu etkiler yaptıkları düşünülmektedir. Bu olumlu etkinin düzeyi dolgu duvar gibi betonarme çerçevenin de özelliklerine bağlıdır. Bu olumlu etkinin ölçüsünü tayin etmek için ampirik ve çözümlemeli çalışmalar ortaya konulabilir. Yapılan tez kapsamında, bu olumlu etkiyi soruşturmak için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

### 3.1.1.3. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin enerji yutma özellikleri

Bir modelin enerji tüketme kapasitesi, modele tatbik edilen yükleme ile meydana gelen yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması olarak tanımlanabilir (Kızıloğlu, 2006).

Dolgu duvarlı çerçevenin direnci, dolgu duvarsız çerçevenin direncinden daha büyük olduğundan enerji yutma kapasitesi de daha yüksektir. Çerçeve sisteminin enerji yutma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonucunda elde edilen toplam enerji yutma kapasitesi verilmiştir (Şekil 3.2). İncelemeler sonucunda, dolgu duvarlı çerçeve sistemi ile basit çerçeve sisteminin enerji yutma kapasiteleri arasındaki farkın büyük olmasıyla, dolgu duvarın sistemde ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır (Negrovd., 1996).



Şekil 3.2. Yük çevrimleri sırasında söndürülen enerji miktarı (Kızıloğlu, 2006)

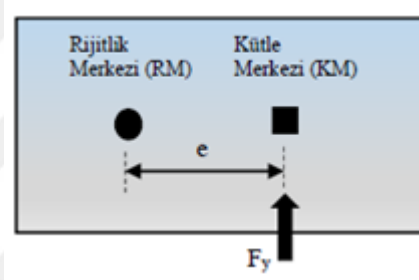
2011 Van depremi sonrası gözlemler “yapısal olmayan” bölme duvarların deprem esnasında büyük bir çoğunlukla hasara uğradığını tayin etmektedir. Meydana gelen bu hasarlar bölme duvarlarda yatay yüklere dayanma ve enerji absorbe etmek manasına gelir ki bu da bölme duvarların çözümlenmeli modellerde hesapta dikkate alınmasını lüzumlu hale getirir.

Kappos (2000) çalışmasında enerjinin %95’inin dolgu duvarlardaki çatlama ile absorbe edildiğini kaydetmiştir. Calvi vd. (2004) ise depremlerin başlangıcında dolgu panellerin çatlayarak çerçeveyi bıraktı diye yapının hareketine etkilerinin ihmal edilmesinin söylendiği fikirlerin reddedildiği ve birçok olay da enerjinin geniş kısmının dolgu duvarlarda absorbe edildiğini kiriş ve kolonlarda enerji absorbe etmenin az olduğu belirtilmektedir.

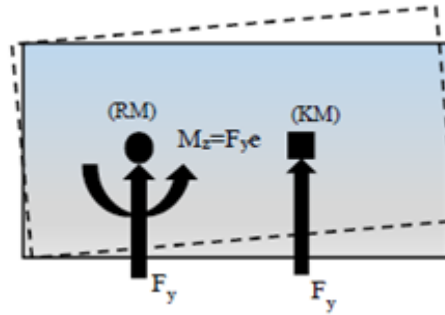
### 3.1.2. Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki olumsuz etkileri

#### 3.1.2.1. Burulma etkisi

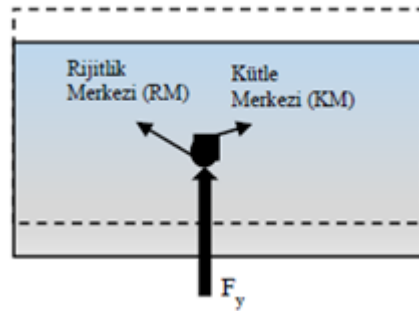
Yatay yüklere maruz kalan bir yapıda, burulmanın meydana gelmemesi için rijitlik merkezi (RM) ve kütle merkezinin (KM) çakışması gerekmektedir (Doğangün, 2014). Simetrik çerçeveye sahip bir sistemde simetrik yerleştirilmeyen duvarlar yapının rijitlik merkezinin yerinin değişmesine neden olurlar (Şekil 3.3). Böyle bir durumda yapının kütle merkezi rijitlik merkezi arasında meydana gelebilecek mesafe yapıda burulma momenti oluşmasına sebebiyet verir (Şekil 3.4). Eğer kütle merkezi ve rijitlik merkezi çakışsaydı, yapıda eşit bir ötelenme meydana gelecek ve burulma momenti oluşmayacaktı (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Deprem yüklerinin kütle merkezine etkimesi (Doğangün, 2014)

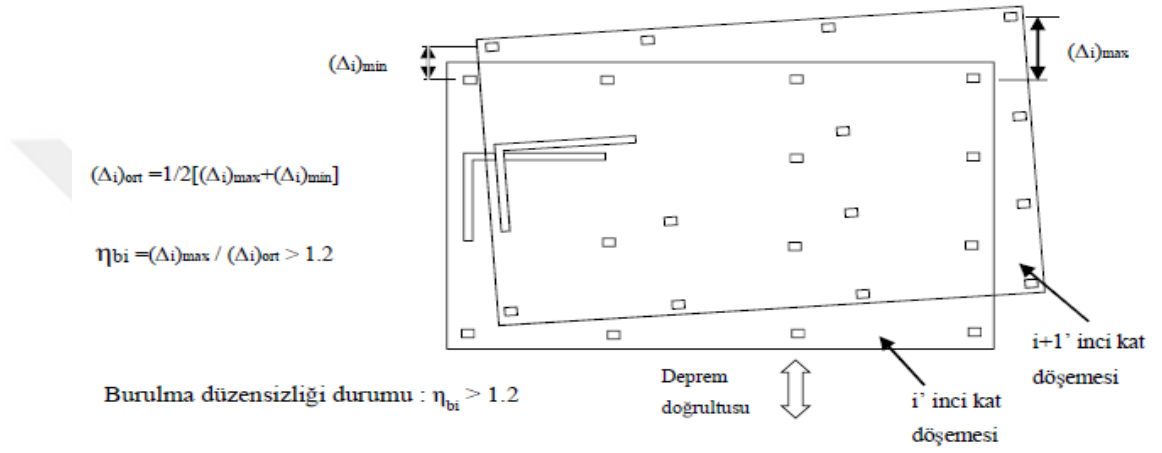


Şekil 3.4. Rijitlik merkezi etrafında dönmesi (Doğangün, 2014)



Şekil 3.5. İki merkezin çakışması durumu (Doğangün, 2014)

Türk Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY, 2007) tanımlanan yatay düzensizliklerin başında burulma düzensizliği gelmektedir. Deprem yönetmeliğine göre burulma düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin ( $\Delta_{i\max}$ ) o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye ( $\Delta_{i\text{ort}}$ ) oranı olarak anlatılmaktadır (Şekil 3.6). Bu oran burulma düzensizliği katsayısı ( $\eta_{bi}$ ) olarak tanımlanmaktadır ve 1,2 değerinden büyük olduğu durumlarda burulma düzensizliğinin oluştuğu kabul edilmektedir.



**Şekil 3.6.** Döşemenin rijit diyafram olarak çalıştığı durumda burulma (DBYBHY, 2007)

Deprem Yönetmeliğinde, binanın herhangi bir katında burulma düzensizliği olması halinde,  $1,2 < \eta_{bi} \leq 2,0$  olmak koşulu ile,  $\pm\%5$  ek dışmerkezliğin, her iki deprem doğrultusu için  $D_i = (\eta_{bi}/1,2)^2$  katsayısı ile çarpılarak büyütülmesi istenmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar burulma düzensizliği katsayısının 2,0 değerini aşmasının pek mümkün olmadığını göstermiştir.

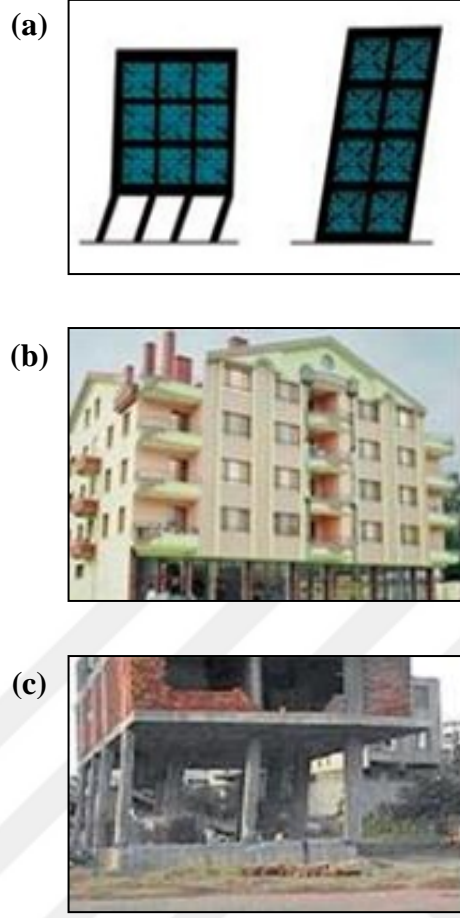
Söz konusu yönetmelik ve dünyada benzer muadilleri genellikle duvarların burulma davranışı üzerindeki etkilerini hesaba katmamasına karşın, yapı planında duvarların düzgün ve simetrik bir şekilde yerleştirilmemesi, burulma düzensizliğini ilk etapta önemli mertebelerde arttırabilmektedir. Her ne kadar yönetmeliklerde ek dışmerkezlik veya uluslararası yönetmeliklerdeki tanımıyla kazasal dışmerkezlik ile hesaba katılmayan bu ve bunun gibi sebepler ile doğabilecek ek dışmerkezlikler göz önüne alınmaya çalışılırsa, deprem durumunda planda uygun şekilde yerleştirilmeyen dolgu duvarların dışmerkezlik değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği değerlendirilebilir.

Kolay kırılabilen ve dayanmayan dolgu duvarlar, yatay yükler etkisinde betonarme yapıların tutumunu değiştirebilir ve taşıyıcı sistemin bazı elemanlarında hesaplarda öngörülmesi mümkün olmayan etkilere sebebiyet verebilir. Örneğin simetrik çok katlı bir yapıda dolgu duvarların, mimari sebeplerden ötürü planda simetrik olarak konumlandırılmadıkları vaziyette tasarım adımı, dolgu duvarların dikkate alınmadan çözülecek olan sistemin her yöndeki çerçevelerin benzer tesirler altında kalacağı ifade edilebilir. Gerçek vaziyette dolgu duvarlar sebebiyle çerçevelerin rijitlikleri, ötekilere kıyasla büyük olacaktır. Sistemin tamamı için düşünüldüğünde rijitlikteki bu yükseliş sebebiyle yapının doğal periyodu küçülecek ve sistemin kütle merkezini rijitlik merkezinden uzaklaşması ile meydana gelecek eksantiriste sebebiyle yapıda, hesaplarda öngörülmeven burulmanın tesirleri meydana gelecektir (Beklen, 2009).

### 3.1.2.2. Yumuşak kat etkisi

Günümüzde de yaygın bir biçimde gördüğümüz yapıların, genellikle zemin katında, ticari amaçlı cam vitrin veya otopark yapılması ve üst katların dolgu duvar ile örülmesi Ülkemizde aşırı tanıtık bir durumdur (Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b). Bu durumda yapının dolgu duvarlı katlarında rijitlik duvarsız olan katlara göre artmakta, duvarsız katlar ise daha zayıf bir hale gelmektedir. Bu tür durumlarda yatay yüklere maruz kalan yapıda yumuşak kat olarak ifade edilen zemin katta ciddi hasarlar meydana gelmektedir (Şekil 3.7c).

Yumuşak kat durumu DBYBHY 2007’de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak ifade edilmektedir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun rastgele biri için, rastgele bir i’inci kattaki ortalama görelî (rölatif) kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 2,0’den fazla ( $\eta_{ki}=(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}>2,0$ ) veya ( $\eta_{ki}=(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}>2,0$ ) olduğu durumlarda düzensizliğin meydana geldiği kabul edilir.



**Şekil 3.7.** Dolgu duvarlı çerçevede yumuşak kat etkisi ((a) Dolgu duvar süreksizliği durumunda yapının deprem davranışı (AFAD), (b) Sıkça uygulanan giriş katında dolgu duvarı bulunmayan konut (AFAD) ve (c) Yumuşak kat oluşumu sonucu meydana gelen hasar (1999 Kocaeli/ İzmit) (AFAD)) (Öztürk, 2015)

Ülkemizde yakın zamanda meydana gelen 2011 Van depreminde birçok binada yumuşak kat düzensizliğinden dolayı ciddi hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 3.8). ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından bu depremle ilgili yapılan raporun sonuç kısmında, görülen en ciddi bilimsel sonuçlardan biri tuğla dolgu duvarların yapı sistemlerinin tutumu üzerinde belirleyici rolüdür ifadeleri yer almaktadır. Raporda tuğla duvarın yapıya önemli rijitlik kazandırdığı ve düzlem içinde durdukları sürece yapının kat ötelemelerini sınırlayabildikleri vurgulanmıştır (Timurağaoğlu, 2015).





**Şekil 3.8.** Yumuşak kat düzensizliğinden dolayı yıkılan binalar (Timurağaoğlu, 2015)

Tezcan (1999) ‘Ara duvarları olmayan giriş katlar, ‘BOMBA kattır’’söylediği sözüyle yumuşak kat etkisine dikkatleri çekmiştir.

Yumuşak kat düzensizliği, devam eden yer sarsıntılarında yapı hasarlarının en büyük sebeplerindendir. Bu düzensizlik yaşanan tüm yer sarsıntıları sonrasında inceleme raporlarında yerini alır. Örneğin, çok katlı yapıların üst katlarında camları bile hasara uğramamış yapıların bazı katlarının tamamen göçtüğü durumlarda yumuşak kat düzensizliğinden bahsedilebilir. Yumuşak kat, yapılarda yer alan katların taşıyıcı sistemlerinin farklı özellikler göstermesi sebebiyle (katların yüksekliklerinin farklı olması gibi) meydana gelebileceği gibi taşıyıcı sistem olarak dikkate alınmayan bölme duvarların miktarının değişmesi sebebiyle oluşabilir (Baytan vd., 2007).

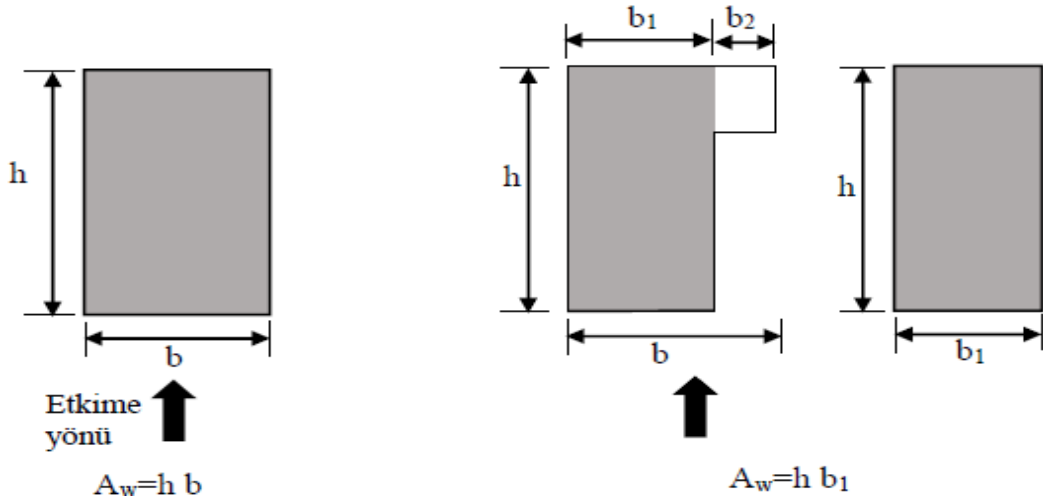
### **3.1.2.3. Zayıf kat etkisi**

Depreme dayanıklı yapı tasarımında düşey taşıyıcı elemanların enkesit boyutlarında birden meydana gelen daralmalar nedeniyle etkili kesme alanı azalır ve bu kat zayıf kat olarak ifade edilir. Türk Deprem Yönetmeliğinde zayıf kat, betonarme yapılarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak ifade edilmekte ve Dayanım Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{ci}$ ) olarak adlandırılmaktadır. Dayanım Düzensizliği Katsayısı aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmaktadır. Bu değer 0,80’den küçük olması durumu komşu katlararası dayanım düzensizliği olarak tanımlanmaktadır.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0,80 \quad (3.2)$$

$$A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde;  $\sum A_e$  herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanını,  $\sum A_g$  herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamını,  $\sum A_k$  herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını,  $\sum A_w$  herhangi bir katta, kolon en kesiti etkin en kesit gövde alanlarını ifade etmektedir.  $A_w$  ise Şekil 3.9'da belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

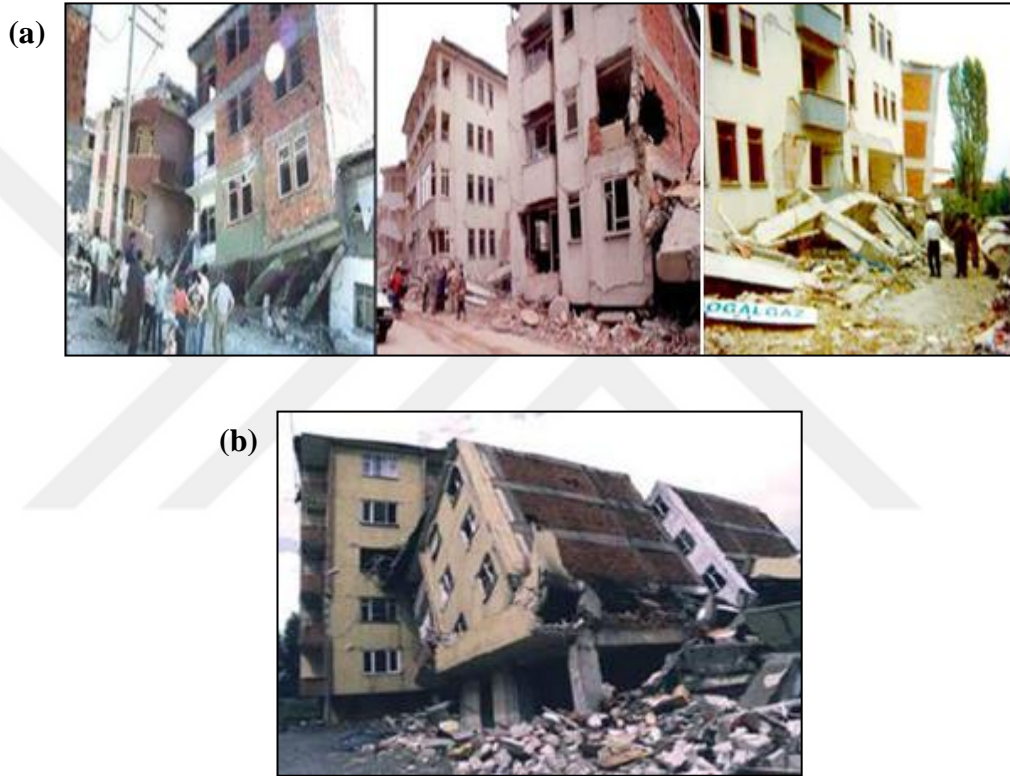


**Şekil 3.9.** Kolon veya perde etkin gövde alanının belirlenmesi (Doğangün, 2014)

Deprem Yönetmeliğinde zayıf kat durumunun olduğu yapılarda, dikkate alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise,  $\eta_{ci}$ 'nin hesabında dolgu duvarları dikkate alınmayacak ve  $0,60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0,80$  aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R),  $1,25(\eta_{ci})_{\min}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın bütününe tatbik edilecektir.

Ancak hiçbir vakit  $\eta_{ci} < 0,60$  olmayacaktır. Ters vazyette, zayıf katın direnci ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır denilmektedir. Komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği ve/veya dayanım düzensizliği (zayıf kat) durumunun olduğu binalarda meydana gelebilecek hasarlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Çoğunlukla binalarda zemin katların asma katlı dükkan olarak yapılmasıyla öteki katlara göre kat yüksekliğinin fazla olmasına ve dükkan içerisinde kullanım alanının genişlemesi için kolon ile perde istenmemesi nedeniyle yapının yeterli rijitliğe sahip olmaması yumuşak kat, yeterli düşey taşıyıcı ve duvar en kesit alanına sahip olmaması zayıf kat oluşumuna neden olmakta ve ciddi derecede hasarlar oluşturmaktadır (Şekil 3.10a). Zayıf kat oluşumu sadece zemin katta değil zemin kat dışında diğer katlarda da oluşabilmektedir (Şekil 3.10b).



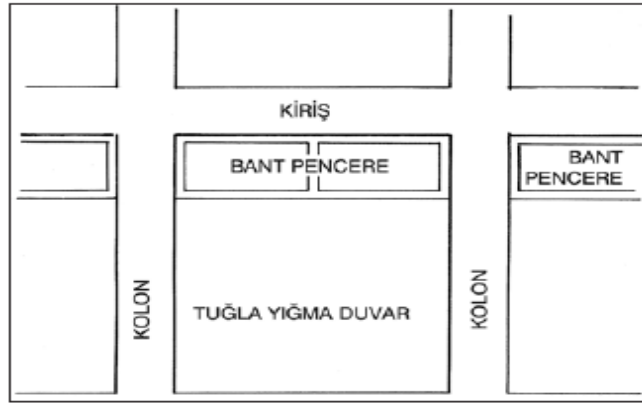
**Şekil 3.10.** Zayıf kat olan binalarda oluşan hasarlar ((a) Binalarda yeterli düşey taşıyıcı ve duvar en kesit alanına sahip olmaması nedeniyle oluşmuş zayıf kat örnekleri verilmektedir ve (b) Zayıf kat oluşumunun sadece zemin katlar için değil diğer katlarda da oluşabileceğine dair bir örnek) (Timurağaoğlu, 2015)

#### 3.1.2.4. Kısa kolon etkisi

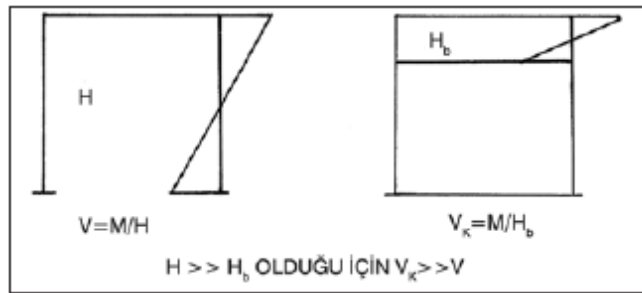
Bayülke (2003) yapıların iç koridorlarının ve bodrum katlarının ışık alabilmesi gereğiyle kolonlara üst başlarında bant pencere uygulaması yapılmaktadır. Bu uygulama ile kolonların boyları kısaltılmakta, kısalan kolonlar rijitleşmekte ve kolonlar daha fazla kesme kuvvetine maruz kalmakta, kısalan kolon ile moment kırılması için gerekli kesme kuvvetleri daha da artmakta ve kesme dayanımı aşıldığı için eğilme kırılması gerçekleşmeden kesme kırılması meydana gelmektedir (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** 22 Mayıs Bingöl depreminde kısa kolon kırılması (Bayülke, 2003)



**Şekil 3.12.** İki yanında bant pencere olan kolon (Bayülke, 2003)

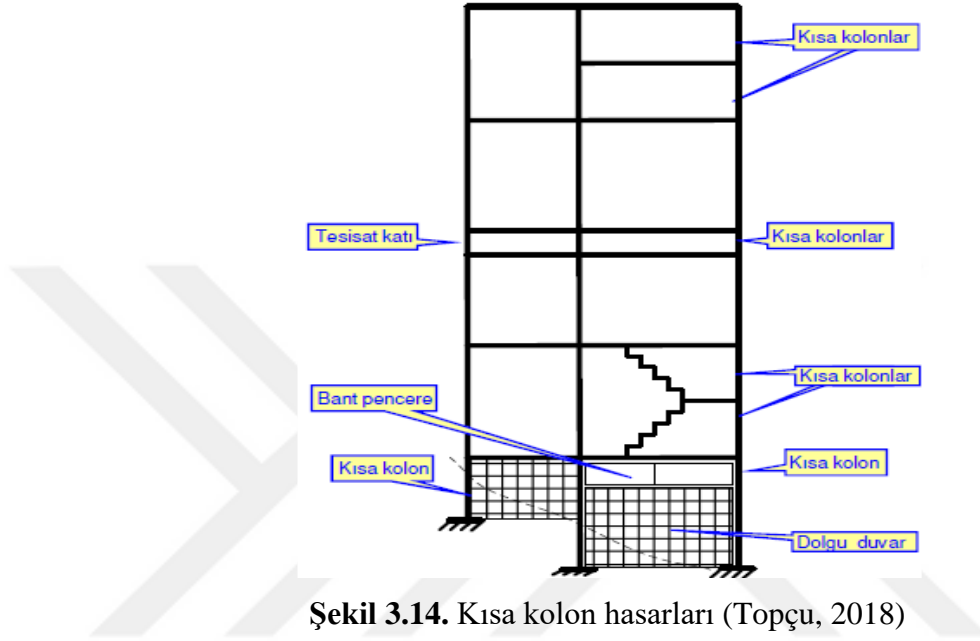


**Şekil 3.13.** Kolon boyunun kısalması sonucu eğilme kırılması için gereken kesme kuvvetinin artışı (Bayülke, 2003)

Dolgu duvarların sebebiyet verdiği “kısa kolon kırılması” duvarın mimari sebepler dolayısıyla bant pencere ile meydana gelmektedir. (Şekil 3.12, Şekil 3.13). Kolonun boyu ( $h$ ) olması gerekirken bant pencere sebebiyle ancak bant pencere yüksekliği ( $h_b$ ) kadar olabilmektedir. Yapılan rijitlik hesaplamalarında ise  $1/h$  yerine  $1/h_b$

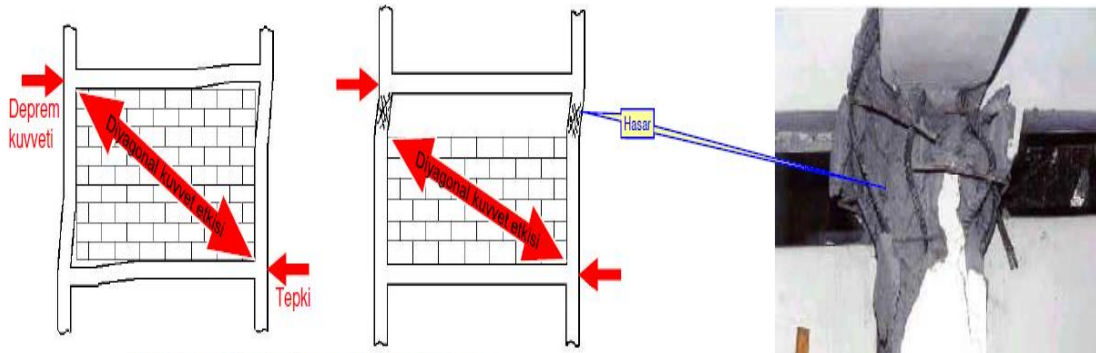
alındığından kısalan kolonun rijitliği artığı sonucuna varılmaktadır. Boyu kısalan kolonun kat kuvvetlerinden aldığı payda artmaktadır (Bayülke, 2003).

Ayrıca; okul, hastane, fabrika veya asma katlı yapılarda da aydınlatma amaçlı olarak bant pencerelere veya kısa kolonlu tesisat katlarına rastlanmaktadır.



Şekil 3.14. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2018)

Normal boyutlu kolonlara nazaran daha rijit olan kısa kolonlar daha fazla kesme kuvveti tesirinde kaldıklarından gevrek olan kesme kırılması sonucu kolon taşıma kapasitesini kaybederek yapının hasar almasına ve yıkılmasına sebebiyet verebilir.



Şekil 3.15. Kısa kolon hasarları (Topçu, 2018)

Çerçeve sistemlerdeki dolgu duvarların tam veya kısmi olarak yerleşiminden kaynaklı deprem kuvveti etki etmesi durumunda Şekil 3.15'den de görüldüğü gibi kısmen dolu olan dolgu duvarlar yapılarda kısa kolon oluşumuna neden olmaktadır.

Kısa kolon hasarlarında dolgu duvar malzemesinin direnci önem teşkil etmektedir. Bodrum katlarının duvarları taş, dolu tuğla ve betonarme dolgu yapılmışsa kısa kolon kırılması meydana gelirken boşluklu cüruf briketten yapılmış ise kolon kırılması meydana gelmeyebilir (Şekil 3.16).

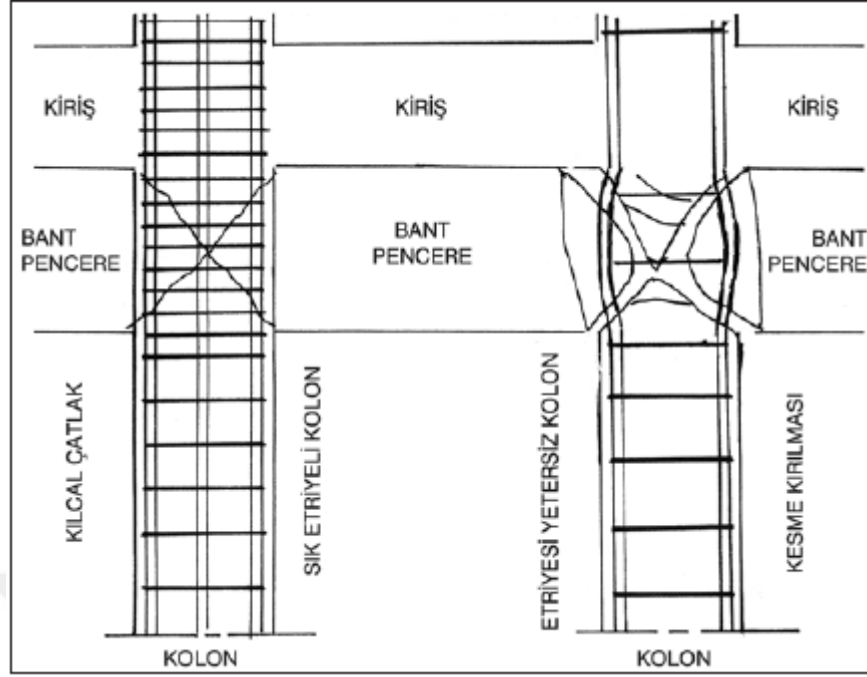


**Şekil 3.16.** 13 Mart 1992 Erzincan depreminde kısa kolon kırılmamasına rağmen düşük dayanımlı briket dolgu duvarlı bant pencere (Bayülke, 2003)

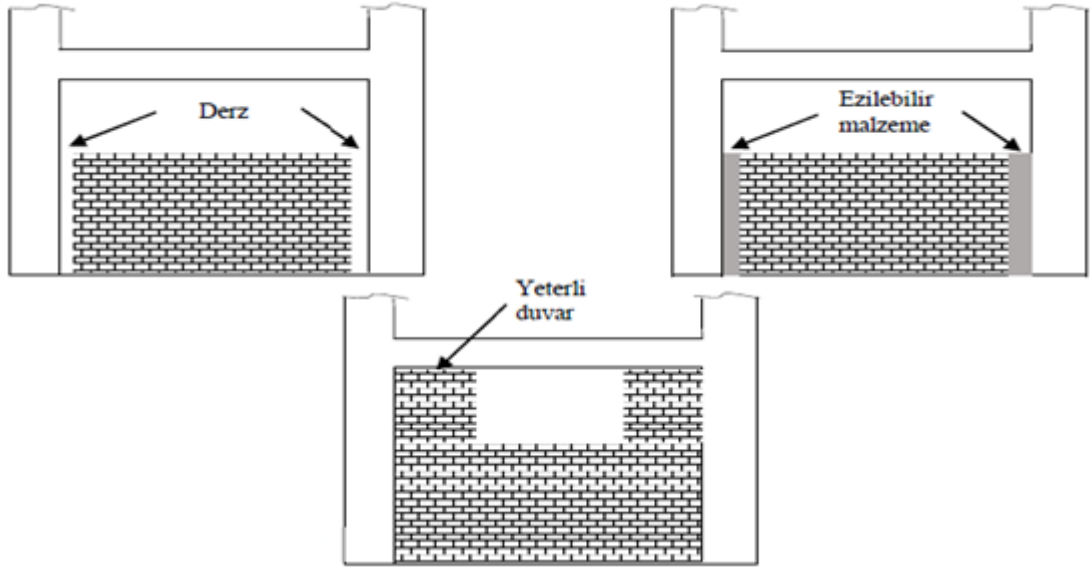


**Şekil 3.17.** 18 Kasım 1983 Erzincan depreminde bant pencereli bölümde sık etriyeli kolonda beton çatlamış ancak kısa kolon kırılmamıştır (Bayülke, 2003)

Kolonun ucunda olası bir kısa kolon kırılmasına karşı etriye sıklaştırması yapılarak (Şekil 3.18), betonun çatlaması engellenemesede yıkım seviyesinde kesme kırılması engellenebilir (Şekil 3.17).



**Şekil 3.18.** Kolon ucunda etriye sıkılaştırması kısa kolon kırılmasını engellerken betonda kılcal düzeyde çatlamlar gözlemlenir (Bayülke, 2003)



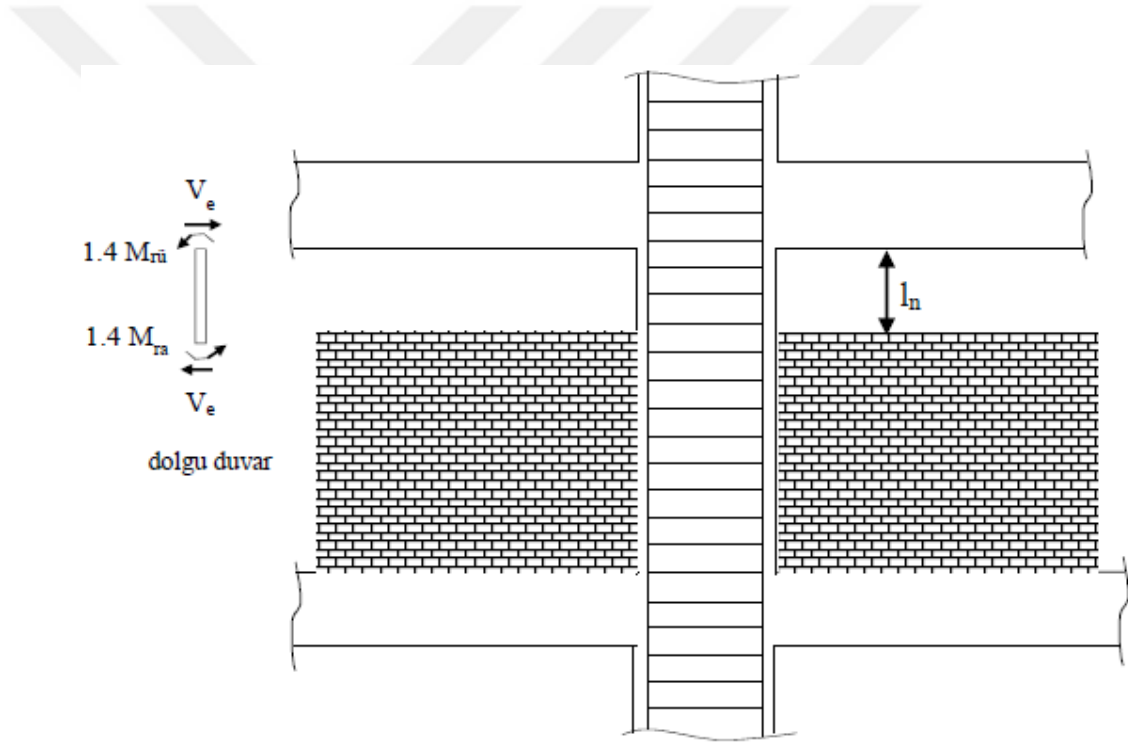
**Şekil 3.19.** Kısa kolon oluşumunu engellemek için alınabilecek önlemler (Doğangün, 2014)

DBYBHY’te kısa kolonun teşkil ettiği vaziyetlerde, enine donatı hesabında dikkat edilecek kesme kuvveti için,

$$V_e = \frac{M_a + M_{\ddot{u}}}{l_n} \leq \begin{cases} V_r \\ 0,22A_w f_{cd} \end{cases} \quad (3.4)$$

bağıntısı verilmektedir. Bu denklemde  $M_a$  ve  $M_{\bar{u}}$  kolon alt ve üst uçlarındaki kapasite momentleridir ve taşıma gücü momentlerinin 1,4 katı alınarak elde edilir ( $M_a=1,4 M_{ra}$  ve  $M_{\bar{u}}=1,4 M_{r\bar{u}}$ ). Eş. 3.4'te  $l_n$  kısa kolonun serbest boyunu,  $V_r$  kolon kesitinin kesme dayanımını,  $A_w$  kolon enkesit etkin gövde alanını ve  $f_{cd}$  ise betonun hesap basınç dayanımını göstermektedir.

Deprem Yönetmeliğinde kısa kolonlarla ilgili geçen diğer bir koşul ise kısa kolon boyunca, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşullarının uygulanmasıdır. Ayrıca, dolgu duvarların arasında kalarak kısa kolona dönüşen kolonlarda, enine donatıların kat yüksekliği boyunca devam etmesi öngörülmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Kısa kolonların oluşumu (DBYBHY, 2007)

### 3.2. Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Oluşan Göçme Türleri

Dolgu duvarlı çerçevelerde meydana gelecek olan göçme türünü tahmin etmek, çerçevenin ve duvarın yanal rijitliği, bunların bileşenleri ve boyutları gibi birçok parametreye bağlı olduğundan, oldukça zordur. Sistemin göçmesi genellikle çerçevede veya duvarda meydana gelen bir veya iki basit göçme türünü içerir. Dolgu duvarlı çerçevelerde ortalama yük düzeylerinde duvar çerçeveden ayrılır ve diyagonal çubuk gibi davranır. Yük arttığında duvarda veya çerçevede göçme meydana gelir. Çerçevede



meydana gelen hasar veya göçme yük uygulanan taraftaki kolondaki çekmeden ya da kolon veya kirişte oluşan kesmeden kaynaklanmaktadır.

Ancak, eğer çerçevenin dayanımı oluşabilecek hasarları engelleyebilecek kadar yeterli ise, artan yük duvarda hasara sebebiyet vermektedir. Genelde sistemin bir köşesinden uygulanan yük yüklenen kolon ve yüklenme yapılan köşeden diğer çapraz köşeye oluşan diyagonal tarafından karşılanmaktadır.

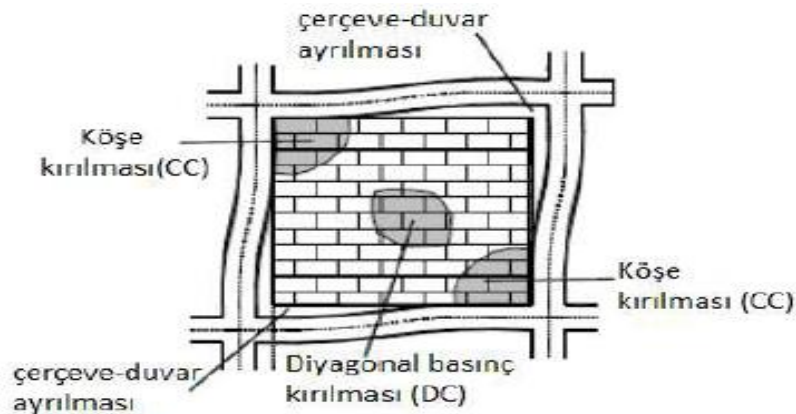
Duvarda oluşan gerilme durumu diyagonal çubuk boyunca basınç gerilmelerinin, ona dik doğrultuda ise çekme gerilmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Deneysel ve analitik çalışmalara dayalı olarak dolgu duvarlı betonarme çerçevesi yapılarında oluşabilecek göçme türleri beş farklı şekilde sınıflandırılabilir (El-Dakhkhni vd., 2003; Asteris vd., 2011A).

### 3.2.1. Köşe kırılması (CC)

Duvarın yüklenen köşelerinin en az birinde meydana gelenezilme olarak tanımlanır (Şekil 3.21). Bu kırılma türü; zayıf dolgu duvarı ve güçlü çerçeve elemanlarına sahip çerçevelerde meydana gelmektedir.

### 3.2.2. Diyagonal basınç kırılması (DC)

Duvarın orta kısmında meydana gelen ezilme olarak ifade edilmektedir (Şekil 3.21). Bu türden göçmelerde narin dolgu duvar etkisi önemli rol oynamaktadır. Bu türde duvar düzlem dışı bir şekilde devrilebilir.



Şekil 3.21. CC ve DC kırılma türleri (Asteris ve ark., 2011A)

### 3.2.3. Kayma kırılması (SS)

Dolgu duvarın yatay derzleri boyunca kaymadan dolayı meydana gelen göçme türüdür (Şekil 3.22). Bu tür ise güçlü çerçeve ve zayıf derz dayanımına sahip yapılarda meydana gelmektedir.

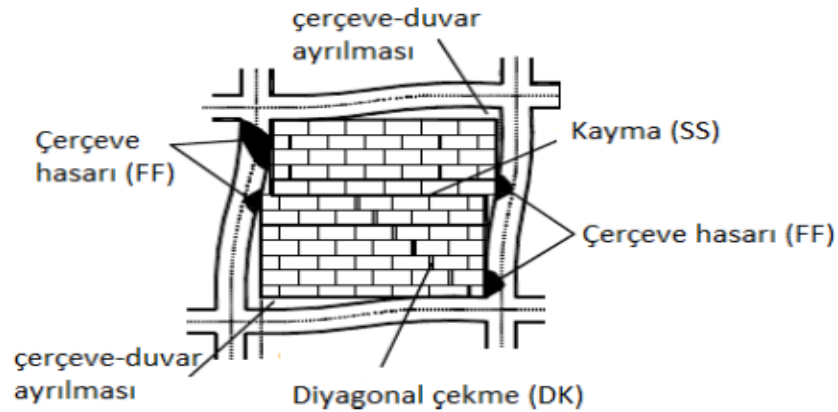
### 3.2.4. Diyagonal çekme kırılması (DK)

Dolgu duvarın basınca maruz kalan diyagonal kısmında meydana gelen çatlamlar olarak tanımlanmaktadır ve genelde kayma kırılması ile aynı anda oluşmaktadır (Şekil 3.22). Bu tür göçmeler zayıf ve güçlü duvardan oluşan sistemlerde meydana gelir.

### 3.2.5. Çerçeve göçmesi (FF)

Kolonlarda veya kolon-kiriş birleşim bölgelerinde plastik mafsalların oluşması durumudur (Şekil 3.22). Bu tür göçmeler daha çok birleşim bölgeleri zayıf, birleşim elamanları ve dolgu duvarı güçlü olan çerçevelerde meydana gelmektedir.

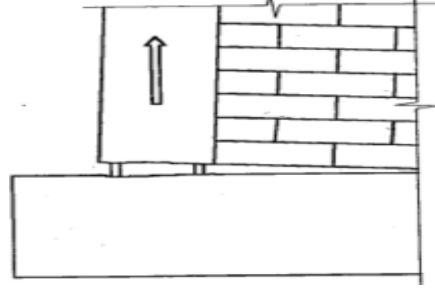
Araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalarda ve depremlerde yapılarda meydana gelen hasar incelendiğinde en yaygın olarak görülen göçme türü köşe kırılmasıdır (CC) (Timurağaoğlu, 2015).



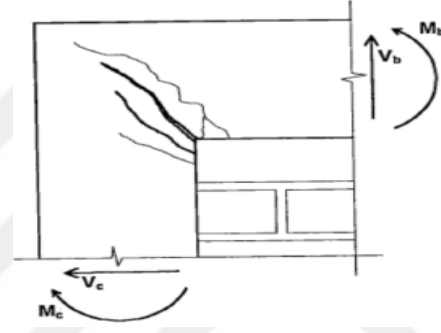
Şekil 3.22. SS, FF ve DK kırılma türleri (Asteris ve ark., 2011A)

Farklı göçme türlerine ikinci bir örnek olarak, kolonda mevcut olan boyuna donatının sıyırılmasından dolayı meydana gelen göçme gösterilebilir (Şekil 3.23). Bu tür göçme türünün önüne geçebilmek için boyuna donatı bindirme boyunun yeterli olması gerekmektedir. Bir diğer örnek olarak kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen

hasarlar verilebilir (Şekil 3.24). Bunun sebebi ise duvarın yüklenen köşelerinde normal ve kayma gerilmelerinin fazla olmasıdır (Crisafulli, 1997).



Şekil 3.23. Donatı sıyrılması hasarı (Crisafulli, 1997)



Şekil 3.24. Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı (Crisafulli, 1997)

#### **4. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu çalışmada betonarme binaların deprem davranışına dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin etkilerinin araştırılması amacıyla sırasıyla boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemler ele alınmıştır. Çalışmada ana parametre olarak, ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede çerçeve ile dolgu duvarın birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın yapılabilmesi için deney düzeneği geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda tek katlı, tek açıklıklı birbirleri ile özdeş çerçeve sistemler ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme betondan oluşurken, tüm sistemler için çerçeve betonarme çerçeve olarak seçilmiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde, ankraj çubukları etkisinin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için geliştirilen deney programı ve deney düzeneğine bağlı olarak Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 13 Mart Yapı Mekaniği laboratuvarında deneyler yapılmıştır.

##### **4.1. Materyal**

Bu çalışmanın materyal kısmını, betonarme yapıların belirli bir kısmını temsil edebilecek geometriye sahip bir model için tasarlanan deney programı ve deney düzeneği oluşturmaktadır.

##### **4.1.1. Deney programı**

Deney programında Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 13 Mart Yapı Mekaniği laboratuvarında betonarme binaların deprem davranışına dolgu duvarlı çerçeve sistemleri etkilerinin araştırılması amacıyla sırasıyla boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin üretilme aşamalarından bahsedilmiştir. Referans olarak tasarımları yapılan boş çerçeve sistemin 150 kN'luk yüke kadar dayanması öngörülerek betonarme hesapları elde hesaplanarak, analizlerinde Sap2000 programı ve çizimlerinde ise Autocad programı kullanılmıştır.

#### 4.1.1.1. Kesit özellikleri

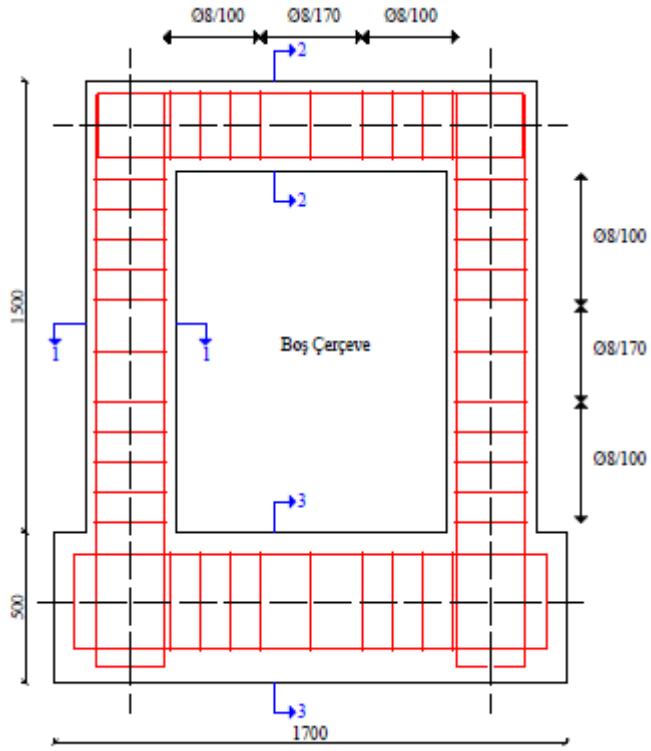
Yapılan betonarme hesaplar doğrultusunda boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu çerçeve sistemlerin üçü içinde özdeş kesit özellikleri kullanılmıştır.

Her bir numune kolonları 300x300 mm kesitinde üretilmiştir. Tüm numune kolonlarında boyuna donatıları 6Ø14 nervürlü çelik olarak enine donatıları ise kolon sıklaştırma bölgelerinde 100 mm aralıklarla kolon orta bölgelerinde 170 mm aralıklarla Ø8'lik nervürlü çelikler kullanılarak imal edilmiştir.

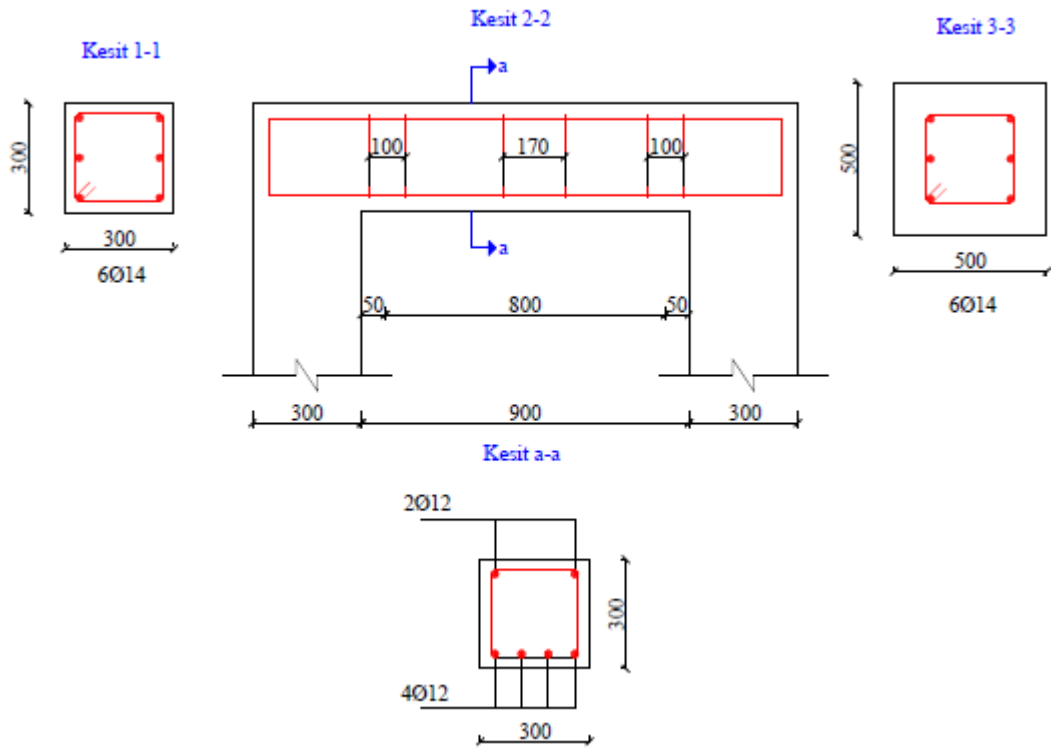
Her bir numune kirişi 300x300 mm kesitinde üretilmiştir. Tüm numuneler için kiriş alt boyuna donatıları 4Ø12 nervürlü çelik olarak üst boyuna donatıları 2Ø12 nervürlü çelik olarak enine donatıları ise kiriş sıklaştırma bölgelerinde 100 mm aralıklarla kiriş orta bölgelerinde 170 mm aralıklarla Ø8'lik nervürlü çelikler kullanılarak imal edilmiştir.

Her bir numune temeli 500x1700 mm kesitinde üretilmiştir. Tüm numuneler için temel donatıları 6Ø14 nervürlü çelik olarak enine donatıları ise temel sıklaştırma bölgelerinde 100 mm aralıklarla temel orta bölgelerinde 170 mm aralıklarla Ø8'lik nervürlü çelikler kullanılarak imal edilmiştir.

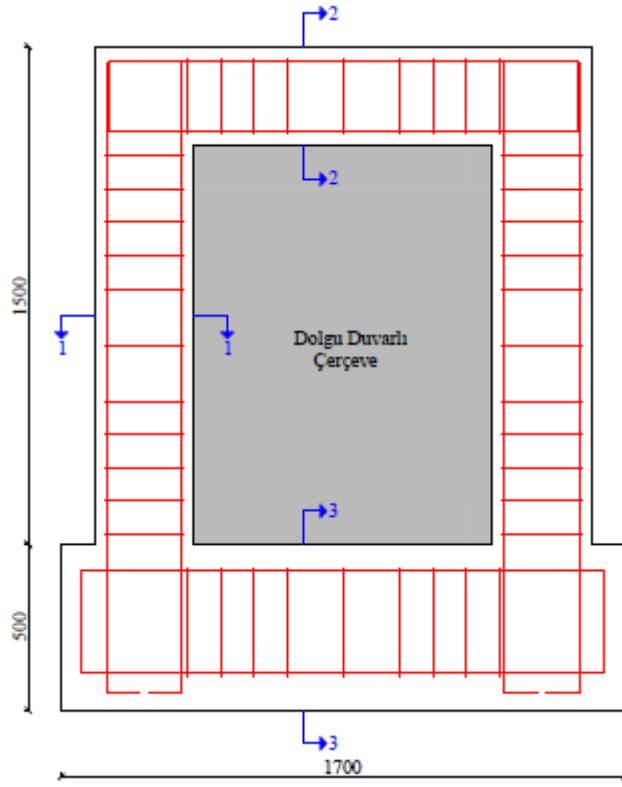
Tüm çerçeve sistemler için kullanılan donatı kesit özellikleri Şekil 4.2'de yer alan çizimlerde verilmiştir. Boş çerçeve için Şekil 4.1'de dolgu duvarlı çerçeve için Şekil 4.3'de ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve için Şekil 4.4'de ayrıntılı bir şekilde verilen donatı detaylarına göre imal edilmiştir.



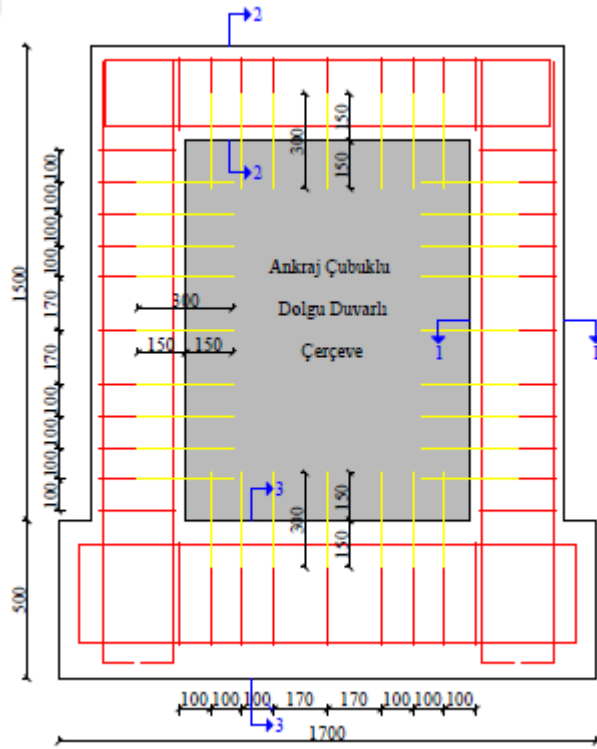
Şekil 4.1. Boş çerçeve donatı detayları



Şekil 4.2. Çerçeve sistemlerin donatı kesit detayları



Şekil 4.3. Dolgu duvarlı çerçeve donatı detayları

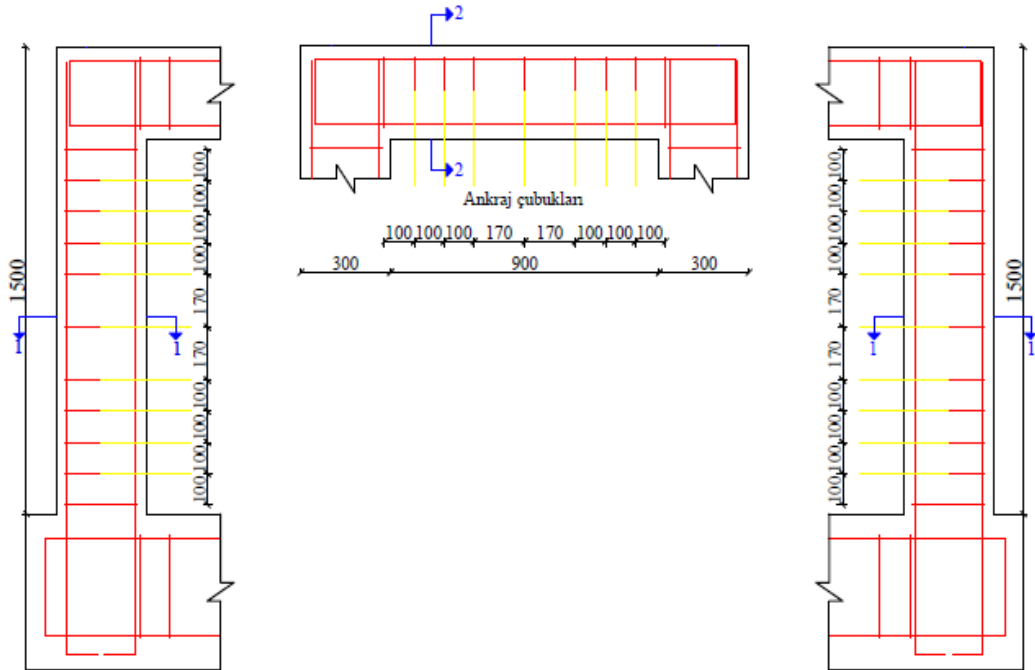


Şekil 4.4. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve donatı detayları

#### 4.1.1.2. Ankraj çubuklarının yapım detayları

Bu çalışmanın asıl amacı olan betonarme yapılarda çerçeve sistem ile dolgu duvar arasında bir bağlantı sağlayarak dolgu duvar ile çerçevenin birlikte çalışabilmesini sağlamaktır. Bu düşünceye katkı sağlayabilmek adına dolgu duvar ile çerçeve sistem arasına ankraj çubukları yerleştirilmeye karar verildi ve üçüncü numunenin üretiminde gerçekleştirildi.

Bu ankraj çubukları yapılan betonarme hesaplamalar sonucunda etriye aralıkları göz önünde bulundurularak bu çalışmada üçüncü numunede Şekil 4.5'te detayları verilen şekilde imalatı sağlandı. Şekil 4.5'te yer alan 1-1 ve 2-2 kesit özellikleri ise Şekil 4.2 dikkate alınarak yapılmıştır. Ankraj çubuklarının enine donatılara bağlantılarının yapılmasındaki amaç gelen yüklere karşı sistemdeki tüm donatıların bir bütün olarak çalışmasının sağlayarak yapının daha uzun süre dayanmasını sağlamaktır. İmalatı yapılan ankraj çubukları Ø8'lik nervürlü çelik olarak 300 mm boyunda uygulan 150 mm'lik kısmı dolgu duvarda kalacak şekilde 150 mm'si ise çerçeve sistemin içinde kalacak şekilde çerçeve sistemin enine donatılarına bağ telleriyle bağlanmıştır.



Şekil 4.5. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede ankraj detayları

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen projemiz kapsamında tüm numuneler için gereken malzemelerin

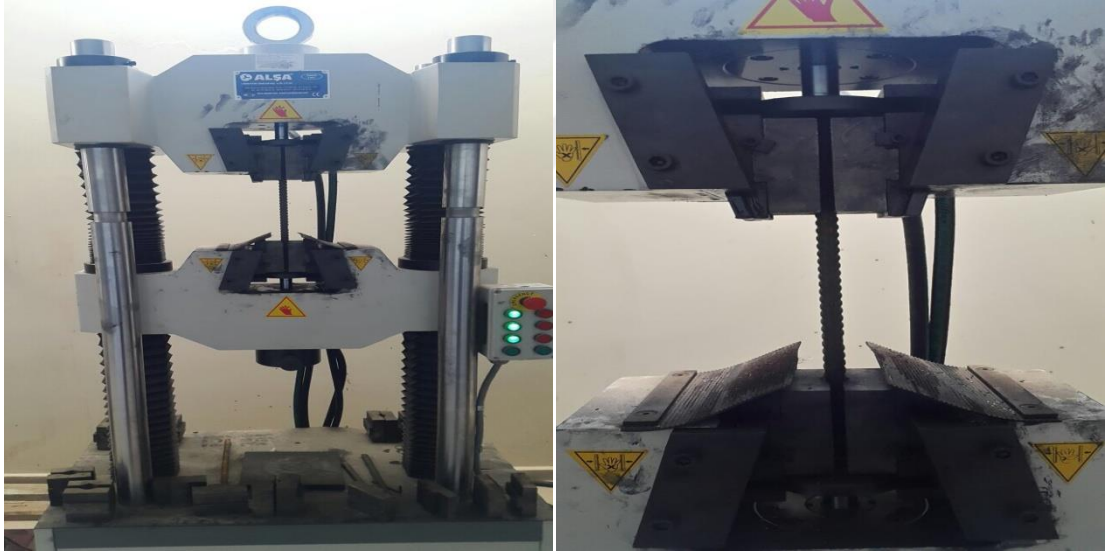


metrajları çıkarılıp malzemeler tedarik edildikten sonra numunelerin üretimine başlanılmıştır.

#### 4.1.1.3. Numunelerin deneylere hazır duruma getirilme aşamaları

Numunelerin üretimi Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

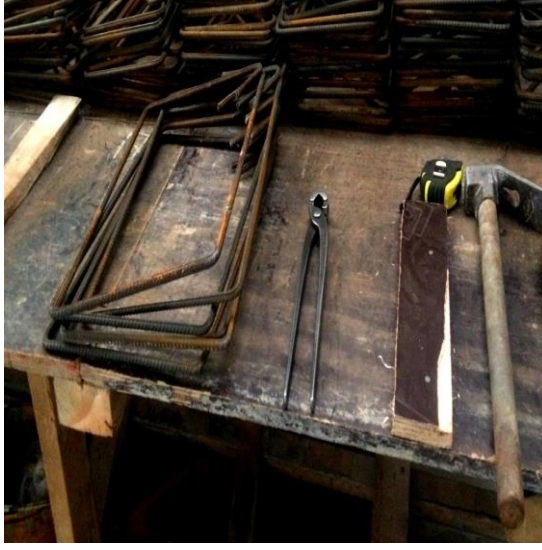
Numunelerin üretiminin öncesinde kullanılacak çelik donatıların gerilme-şekil değiştirme özellikleri, donatı kopma dayanımı değerinin tespit edilmesi nedeniyle, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarında standartlara uygun donatı çekme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Çelik çekme deneyi

Ülkemizde kullanılan yönetmelikler ile inşa edilen yapıların vaziyetini temsil etmek için teknik çizimleri tamamlanmış olan bütün numunelerde hem boyuna, hem de enine donatı için St420 nervürlü donatı çeliği kullanılarak donatı iskeletlerinin hazırlanması ile numune üretimine başlanmıştır.

Farklı kesitlere sahip enine donatılar için hazırlanan proje doğrultusunda metrajı bilinen etriyelerin imalatı yapılmıştır (Şekil 4.7).



**Şekil 4.7.** Enine donatı işleri

Her bir numunenin temel, kolon ve kiriş yapı elemanlarının boyuna donatıları enine donatıları çizim detayları dikkate alınarak ayrı ayrı olarak imal edilmiştir. Her bir numunenin temel sistemindeki donatı imalatı bittikten sonra paspayı ölçüleri dikkate alınarak kalıbı yapılmıştır.

Tüm yapı elemanları olan kiriş, kolon ve temel betonları bir bütün halinde tek parça dökümü yapılacağından kolon ve kiriş donatılarının sabit durabilmesi için içten kalıp yapılmıştır (Şekil 4.8).



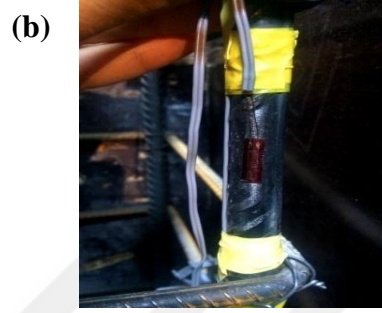
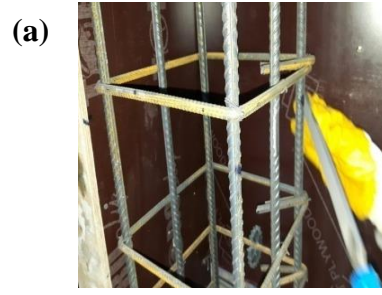
**Şekil 4.8.** Kalıp işleri

Devamında temel donatılarına kolon boyuna donatıları bağ telleri yardımıyla bağlanmış ve etriye aralıkları dikkat edilerek enine donatı montajları yapılmıştır. Kiriş boyuna donatıları ve enine donatı montajları da yapıldıktan sonra kolonlara bağ telleri ile montajı yapılmıştır (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9.** Temel, kolon ve kiriş donatı işleri

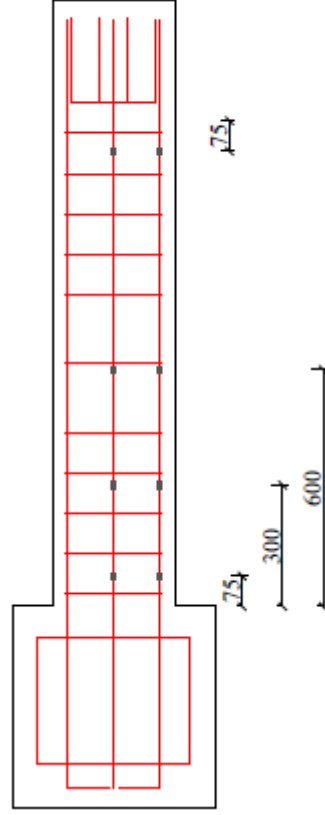
Numuneler ve donatılar arasında her yüzde benzer ölçüde aralık koymak için etriyelere plastik paspayları yerleştirilmiştir. Yükün uygulanacağı kolona plastik mafsal bölgeleri Şekil 4.11’de çizim detayları dikkate alınarak gerinim pullarının yapıştırılabilmesi için kolon boyuna donatıları pürüzsüzleştirilerek gerinim pulları yapıştırılmıştır (Şekil 4.10). Şekil 4.10a,b,c’de sırasıyla şu işlemler yapılmıştır plastik mafsal bölgeleri dikkate alınarak donatı yüzeylerinin pürüzsüzleştirme işlemi, gerinim pullarının yapıştırılması ve yükleme yapılan kolon plastik mafsal bölgeleri dikkate alınarak kolonda iki boyuna donatıya dörder tane gerinim pulu toplamda bir numuneye sekiz adet gerinim pulu yapıştırılmıştır.



**Şekil 4.10.** Gerinim pullarının donatı çeliğine yapıştırılma aşamaları ((a) Donatı pürüzsüzleştirme, (b) Gerinim pulu ve (c) Bir kolonda yer alan gerinim pulu)

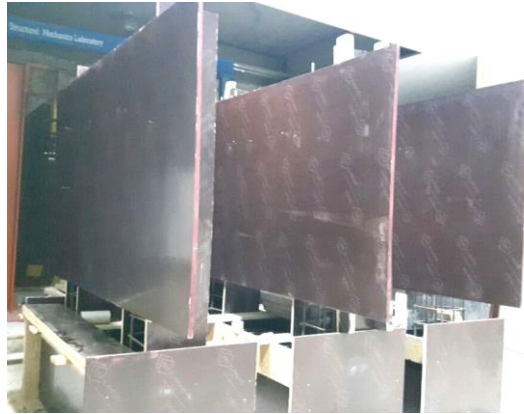
Referans olarak alınan betonarme hesaplamaların yapıldığı boş çerçevede 150 kN'luk yanal yükleme sonucunda çerçevede oluşan moment diyagramlarında kolon alt bölgelerinde daha büyük momentler olduğundan bu bölgelere gerinim pullarının yapıştırılması uygun görülmüştür. Plastik mafsal uzunluğu, Park ve Paulay'ye göre  $L_p = 0,5H$  formülüne göre alınmıştır.

#### Gerinim pulları



Şekil 4.11. Gerinim pulları

Donatıların hazırlanmasının ardından dış kalıp sistemi plywood kalıplar kullanılarak Şekil 4.12'deki gibi imal edilerek numuneler beton dökümüne hazır bir duruma getirildi.



Şekil 4.12. Dış kalıp işleri

Beton dökümüne hazır vaziyete gelen üç adet numune için Erzincan Beton A.Ş. beton santralinde beton sınıfı C20 olarak üretilen hazır beton tüm numune çerçevelerine aynı

gün ve aynı şartlarda kalıplarına dökümleri sağlanmıştır. Betonun iyi bir şekilde yerleşmesini sağlamak amacıyla vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Numunelerin betonları hazır mikser de gelmesine rağmen laboratuara taşınması esnasında donatılar da oluşabilecek sıkıntılar göz önünde bulundurularak Şekil 4.13’de gösterildiği şekilde dökülmesine karar verilmiştir. Şekil 4.13a,b,c’de sırasıyla şu işlemler yapılmaktadır beton mikserinden alınan beton el arabaları yardımıyla taşınmıştır, taşınan beton kalıplara yerleştirilmiştir ve yerleştirilen betonun vibratörle sıkıştırılması sağlanmıştır.



**Şekil 4.13.** Üç adet numunenin beton döküm işleri ((a) Betonun el arabaları yardımıyla taşınması, (b) Betonun kalıplara yerleştirilmesi ve (c) Betonun vibratörle sıkıştırılması)

Beton dökümü esnasında numunelerde kullanılan betonun basınç dayanımını ölçmek için aynı mikserden 9 adet 150 mm küp numune ve 9 adet çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm silindir numune alınmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Küp ve silindir numuneler

Beton dökümü gerçekleştirildikten sonra üç adet numunelerin kalıpları bir gün beklendikten sonra söküldü (Şekil 4.15). Şekil 4.15a,b,c'de sırasıyla dolgu duvarlı çerçeve, ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve ve boş çerçeve sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Kalıptan çıkarılan numunelere ait resim ((a) Dolgu duvarlı çerçeve, (b) Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve ve (c) Boş çerçeve)

Kalıptan çıkarılan numuneler telis bezlere sarılarak 28 gün küre tabi tutulmuştur (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16.** Beton dökümü gerçekleşen numunelere kür uygulaması

Çerçeve sistemlerin kür işlemi devam ederken önce dolgu duvarlı çerçeve sistemin 150 mm genişliğindeki dolgu duvarı için kalıp hazırlandı ve laboratuvar şartlarında hazırlanmış zayıf beton malzemesi kalıba döküldü ardından ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistem için kalıp ve beton hazırlanarak dökümü gerçekleştirildi (Şekil 4.17).



**Şekil 4.17.** Ankraj çubuklu çerçevenin dolgu duvar betonu dökülmeden öncesine ait resim





**Şekil 4.18.** Dolgu duvarların yerinde dökme zayıf betonlarının dökülmesi

Deneyler esnasında numunelerde oluşan değişimleri anlaşılabilir bir vaziyete getirmek, oluşabilecek kılcal düzeydeki çatlamları gözlemleyebilmek adına her numune beyaz renkli plastik boya ile boyanmıştır. 100 mm'lik LVDT'lerin montajlarının yapılacağı kolon alt kısımlarında yer alan plastik mafsal bölgelerinin yer aldığı yerler dikkate alınarak ahşap montajları ve LVDT'lerin uç kısımlarının değeceği L köşebentlerinde montajları yapılmıştır (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19.** Numunelerin boyanması

Yanal yüklemenin ilk uygulanacağı boş çerçeve deneyinin başladığı gün çerçeve sistemlerin hazır betonlarından alınan küp ve silindir beton numunelerine basınç deneyleri yapılmıştır. 3000 kN eksenel yük uygulayabilen cihaz yardımıyla standart küp ve silindir numunelere beton basınç deneyleri yapılmıştır. 28 günlük ortalama beton basınç dayanımı küp numunelerde 35 MPa ve silindir numunelerde 23 MPa olarak hesaplanmıştır ( Şekil 4.20).



**Şekil 4.20.** Küp ve silindir numunelerin basınç deneylerinin yapılması

Dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevenin dolgu duvar malzemesi olarak üretilen yerinde dökme zayıf betonun basınç dayanımını ölçmek için alınan 3 adet 150 mm küp numune içinde beton basınç deneyi yapılmıştır. 3000 kN eksenel yük uygulayabilen cihaz yardımıyla standart küp numunelere beton basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda zayıf yerinde dökme beton malzemesi 28 günlük ortalama beton basınç dayanımı 4,5 MPa olarak bulunmuştur.

#### **4.1.2. Deney düzeneğinin oluşturulması**

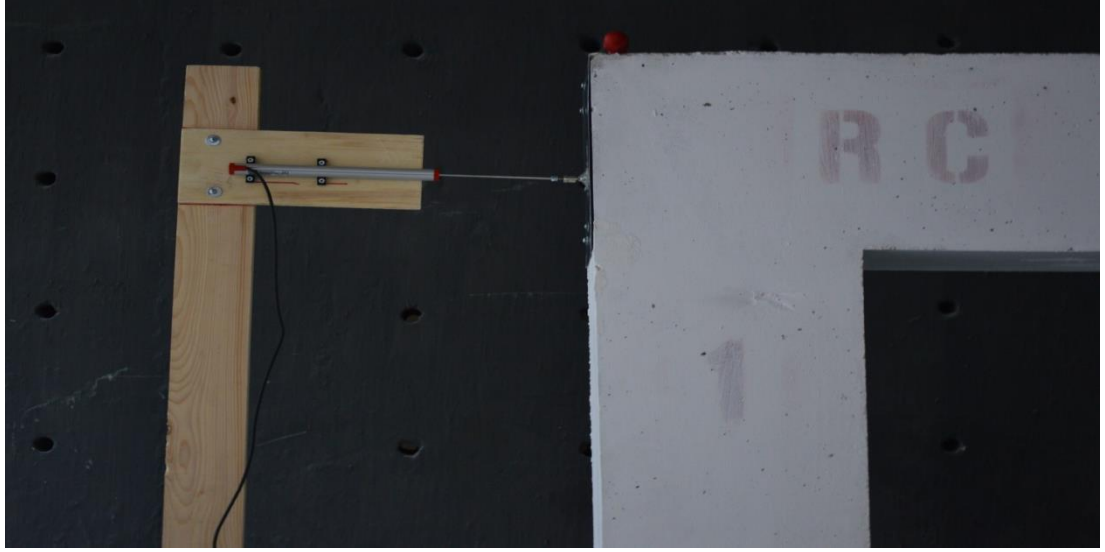
Deney programına uygun olarak Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapımı gerçekleştirilen üç adet numunenin artımsal yanal yüklerinin uygulanabilmesi için hidrolik silindir montajı güçlü tepki duvarına yapılmıştır. Çerçeve sistemlerin temelleri zemin tabakasında boşluklara gijonlar yardımıyla sabitlenerek rijit temel olarak konumlandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda Şekil 4.23'te gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır.

Numunelere ne kadar yükleme yapıldığını anlamak için yük hücresi kullanıldı. Yer değiştirmeleri anlayabilmek için LVDT'ler numunelere konumlandırıldı. Plastik mafsal uzunluğu, Park ve Paulay'ye göre  $L_p = 0,5H$  formülüne göre alınmıştır buradaki H kolonların derinliklerini ifade etmektedir. Plastik mafsalların kritik bölgeleri dikkate alınarak elektrik dirençli gerinim ölçerler boyuna olarak plastik mafsal bölgelerinin uzunluklarının yarısı dikkate alınarak bu bölgelere yapıştırıldılar (Şekil 4.11). Kolon boyuna donatılarına yapıştırılan bu gerinim ölçerlerdeki tüm test sonuçları bir veri toplama sistemi kullanılarak kaydedilmiştir.

Kolonların sağ ve sol tarafına yerleştirilen yer değiştirme potansiyometreleri (100 mm LVDT'ler) tarafından düşey yer değiştirmelerin ölçümü yapıldı. 200 mm'lik LVDT tarafından numunelerin yatay yer değiştirmeleri ölçüldü. Yanal yük uygulanacak duruma getirilmiş boş çerçeve sistem için 100 mm ve 200 mm'lik LVDT'lerin yerleşimleri yapılmıştır (Şekil 4.21, Şekil 4.22).



**Şekil 4.21.** 100 mm LVDT'lerin montajı



Şekil 4.22. 200 mm LVDT'nin montajı

Mevcut yapılan çalışmada numunelerde önemli derecede hasarlar meydana geldiğinde deneylere son verilmiştir. Ankraj çubuklarının donatı sıyrılmasına sağladığı katkıyı yansıtmak için, toplam yer değiştirme bileşenlerinin değerleri, eğilme deformasyonu dikkate alınarak ayrıştırılmıştır. Eğilme nedeniyle meydana gelen yer değiştirme aşağıda verilen Eş. 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_{\text{Eğilme}} = \int_0^L \theta dx \quad (4.1)$$

Burada  $\theta$  kolonların uzunluğu boyunca eğriliği ifade etmektedir. Donatı çubuklarındaki sıyrılma hem elastik bölge hem de inelastik uzunlukları boyunca meydana gelen gerilmelerin integrasyonu alınarak Eş. 4.2 yardımıyla hesaplanmıştır (Sezen ve Setzler, 2008).

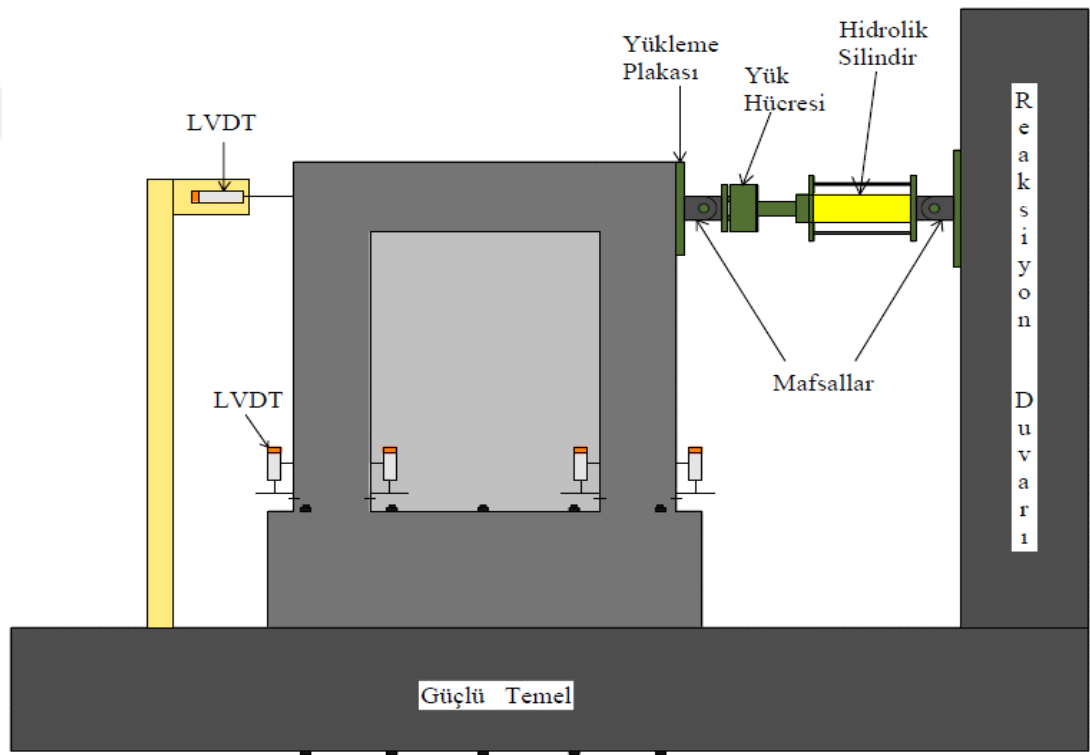
$$\text{Donatı Sıyrılması} = \int_0^{l_d+l'_d} \varepsilon(x) dx \quad (4.2)$$

Eş. 4.2'de verilen  $\varepsilon(x)$  değeri donatı çubukları boyunca uzanan gerilmeleri ifade etmekte  $l_d$  ise elastik bölgedeki donatı çubuklarının uzunluğunu ifade etmekte ve  $l'_d$  ise inelastik bölgede yer alan donatı çubuklarının uzunluğunu ifade etmektedir.

Donatı sıyrılması dönmesi ( $\theta_{\text{Donatı Sıyrılması}}$ ) donatı çubuklarındaki sıyrılmanın kesit derinliğinden tarafsız eksen derinliğinin farkına bölünmesiyle elde edilir ( $\theta_{\text{Donatı Sıyrılması}} = (\text{Donatı Sıyrılması}/(d - c))$ ).

Her yükleme seviyesinde kolonlardaki donatı sıyrılmasından kaynaklı dönmeleri hesaplayabilmek için kolonların uzunlukları boyunca gerilmeler kaydedilmiştir. Donatı sıyrılması nedeniyle yer değiştirme kolon yüksekliği ile donatı sıyrılması dönmesinin çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Yalciner vd., 2012). Böylece, donatı çubuklarının sıyrılması nedeniyle oluşan yer değiştirme Eş. 4.3 yardımıyla hesaplanmıştır ve buradaki L ise kolonun toplam uzunluğunu ifade etmektedir.

$$\Delta_{\text{Donatı Sıyrılması}} = (\theta_{\text{Donatı Sıyrılması}})L \quad (4.3)$$



Şekil 4.23. Deney düzeneği

#### 4.1.3. Deney programında kullanılan cihazlar

Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar aşağıda özellikleri ile birlikte verilmiştir:

1. Öngörülen deprem hareketini benzeştiren 60 kN kapasitede iki yönlü (yükleme-boşaltma) ve 270 mm stroke boyu olan bir hidrolik kriko kullanıldı,
2. Hidrolik krikoya uyarlı olmak kaydıyla ona yükleme-boşaltma yaptıran bir el (el ile kontrollü) pompası,

3. Hidrolik kriko tarafından 60 kN'a kadar uygulanacak (yükleme-boşaltma) yükleri okuyan bir yüklenme hücresi (Loadcell),
4. Yer değiştirme esaslı değerlendirmeler için toplam ötelemeyi ölçen 100 mm kapasiteli 4 adet ve 200 mm kapasiteli 1 adet yer değiştirme ölçerler [LVDT (Linear Variable Differential Transformers)],
5. Dayanım esaslı değerlendirmeler için yatay yüklemenin yapılacağı kolona plastik mafsal bölgeleri dikkate alınarak kolon boyuna donatıları pürüzsüleştirilerek birim Şekil değiştirme ölçerler yapıştırıldı (StrainGauge),
6. Tüm bu yüklemelerin toplanarak bilgisayara aktarılmasını sağlayan bir veri toplayıcısı (Data-Logger)'dan ibarettir.

## **4.2. Yöntem**

Yapıların, yanal yükler altındaki performanslarının değerlendirilmesinde temel olarak iki kriter vardır. Bunlar, dayanım esaslı değerlendirme ile yer değiştirme esaslı değerlendirme'dir. Çalışmada, her iki değerlendirme birlikte ele alınarak, model sistem performansı değerlendirilmektedir.

### **4.2.1. Yer değiştirme esaslı değerlendirme**

Yer değiştirme ve Şekil değiştirme ile sınırlı performans ölçütlerini kabul eden tasarım kavramı ve yapısal yorumlama, bilhassa son senelerde Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerinde var olan binaların depremlerde oluşabilecek durumlara karşı emniyetlerini gerçekçi olarak belirlenmek ve yeteri derecede emniyetli olmayan binaların güçlendirilme faaliyetleri esnasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Yatay yükler etkisindeki yapının ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi taşıyıcı sisteme bağlıdır. Çerçevesiz sistem bir yapıda toplam ötelenme ve görel kat ötelenmesi, o binanın sismik direncinde en önemli göstergedir. Yatay yükler altında oluşan toplam ve görel kat ötelenmesinin, dolgu duvarlı binaların deprem tesiri altındaki asıl tutumlarında ciddi derecede önem teşkil ettiği tespit edilmiştir. Binaların deprem tesirindeyken, kat yer değiştirmesi ve görel kat ötelenmesi üzerinde önemli etkisi olduğu bilinmektedir (Kumbasaroğlu, 2010).

Deney programında, tek katlı tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçeve sistemi kolon-kiriş birleşim bölgesinden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme programı göçme yüküne kadar artımlı olarak gerçekleştirilmiş ve göçme yükü sağlandığında deneye son verilmiştir. Numunelere ait deneysel çalışmalar sonucunda göçme yükleri ve yer değiştirme değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği çatlama yüküne karşılık gelen yer değiştirme miktarında da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.1.** Deneysel çalışmalar sonucunda göçme yüklerinde numunelerin yer değiştirme miktarları

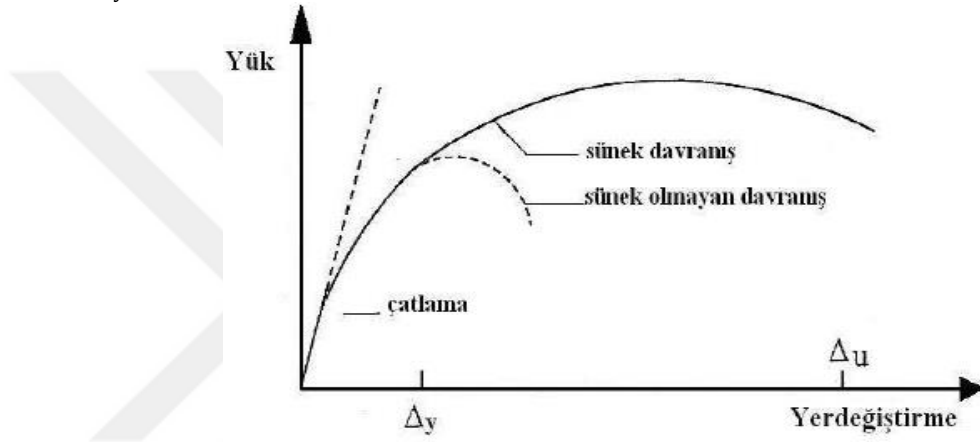
	Boş çerçeve	Dolgu duvarlı çerçeve	Ankraj çubuklu ve dolgu duvarlı çerçeve
<b>Yük (kN)</b>	142,00	250,00	320,00
<b>Yer değiştirme (mm)</b>	88,00	83,88	75,29

#### 4.2.2. Dayanım esaslı değerlendirme

Doğrusal elastik ölçülendirme metotlarının ana ögesini teşkil eden ve dayanım (kuvvet) esaslı değerlendirme adı verilen ikinci tür ölçülendirmede ise, yapıyı oluşturan elemanların dayanım kabiliyetleri, elastik deprem yüklerinden meydana gelen ve doğrusal kurama göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmaktadır. Yapı elemanlarının sünekliği de dikkate alınarak, o yapının deprem etkisi altındaki performansında belirlenen hedeflerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Korkmaz vd., 2007). Bir taşıyıcı sistemin veya bir yapı elemanın çeşitli dış etkiler ve yüklerle zorlanması sonucunda ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümü, sistemin veya yapı eleman mukavemetinde önemli ölçüde kayıplarıyla, değişken denge durumu olmadan önemli derecede şekil değiştirmesiyle ve elastik olmayan davranışıyla enerji yutma kapasitesine süneklik denir. Bir başka ifadeyle süneklik, taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin doğrusal olmayan durumda da direncinin büyük bölümünü sürdürebilme özelliğidir (Peynirci, 2007).

Şekil 4.24'te sünek olmayan ve sünek olan davranışa ait yük-yer değiştirme eğrisi yer almaktadır. Sünek davranışta, sistemde meydana gelen veya sistemi zorlayan enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış ile yutulurken, büyük şekil değiştirmeler yeniden dağılıma imkân vererek taşıma kapasiteleri, mevcut öteki elemanların daha çok yük almasını sağlamaktadır. Şekilde de verildiği gibi matematiksel olarak süneklik ( $\mu$ ), ulaşılabilir toplam yer değiştirmenin ( $\Delta_u$ ), elastik sınırdaki yer değiştirmeye oranı ( $\Delta_y$ ) olarak tarif edilmektedir Eş. 4.4 (Kızıloğlu, 2006).

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4.4)$$



Şekil 4.24. Yük-yer değiştirme bağıntısı (Peynirci, 2007)

Deneysel çalışmada, beton dolgu duvara ait malzeme sabitleri kullanılarak, göçme yüküne kadar oluşan hasar seviyesinde, düzlem şekil değiştirme hali kabulüyle, dolgu duvarda oluşan ortalama kayma gerilmeleri hesaplanarak dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Düzlem şekil değiştirme, bir cismin şekil değiştirmesi esnasında çeşitli noktaların yerdeğiştirme vektörleri daima belirli bir düzleme paralel olan düzlemler içerisinde kalıyorsa, böyle şekil değiştirme haline düzlem şekil değiştirme hali adı verilir. Düzlemsel halde bir noktadaki şekil değiştirme değerleri bilinirse, eksenlerin dönmesi ile oluşacak herhangi başka doğrultulardaki değerler geometrik yoldan bulunabilir (Karaduman, 1997).



## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada tek katlı, tek açıklıklı boş, dolgu duvarlı ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemler ele alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinde, dolgu duvar malzemesi yerinde dökme zayıf betondan oluşurken, tüm sistemlerde çerçeve sistem betonarme olarak seçilmiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının anlaşılması amacıyla, çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantıyı sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine katkısının araştırılması doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ana parametre, birleşimi sağlayan ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine olan etkisidir.

Deney düzeneğine yerleştirilen boş, dolgu duvarlı ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemler kolon-kiriş birleşim bölgesinden yüklenerek, hasar-kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Yükleme her model için aynı olmak koşuluyla, numunelerin göçme yüküne erişmesine kadar artımlı olarak yapılmıştır. Tanımlanan hasar derecesi bu çalışma için göçme yükü olarak kabul edilmiştir.

Boş çerçevede göçme yüküne kadar oluşan ilk çatlaklar kolonlarda plastik mafsal bölgelerinde gerçekleşirken bu çatlakları kolon kiriş birleşim bölgelerindeki çatlaklar izlemiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve sistemde ise kolonlarda plastik mafsal bölgelerindeki çatlaklar ve kolon kiriş birleşim bölgelerindeki çatlaklar boş çerçeveye göre iyileşmiştir. Yükleme artıkça dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyi birbirinden ayrılmıştır. Dolgu duvar da köşe kırılması meydana gelmiştir.

Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede ise kolonlarda plastik mafsal bölgelerinde diğer iki sisteme göre çatlaklar azalmış ve daha yüksek yüklere kadar dayanım sağlanmıştır. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemde dolgu duvar ile çerçeve sistem arasında bağlantı sağlayan ankraj çubukları sayesinde dolgu duvar ile çerçeve ara yüzeyindeki ayrılmalar iyileştirilmiştir. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sisteme uygulanan yanal yük artıkça dolgu duvarda diyagonal çatlaklar meydana gelmiştir.

Çatlamalar beklenildiği gibi plastik mafsal bölgelerinde gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde meydana gelmiştir. Deney sonuçları bizleri şu sonuca götürmüştür dolgu duvarların çatlak oluşumunda çerçevenin hasara uğrama süresini uzattığı birlikte çalışmalarını sağlayacak ankraj çubuklarının eklenmesiyle de ciddi oranlara ulaştırmıştır. Ancak dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin boş çerçeveye oranla süneklik değerleri oldukça düşük çıkmıştır aslında yapılardan beklenen ve istenilen sünek bir davranış gösterebilmeleridir bu da ileriki çalışmalar için şüphesiz ki bir tartışma konusu olacaktır.

Deneysel çalışma sonucunda her bir numunenin davranış (yük-yer değiştirme) eğrisi elde edilmiş ve bu eğrilerden yararlanılarak enerji yutma kapasitesi ile başlangıç rijitliği hesaplanmıştır, moment-eğrilik eğrileri elde edilerek aderans-kayma ilişkisi irdelenmiştir. Çalışmada ayrıca, tüm numunelerde yüklemenin yapılacağı taraftaki kolonlardaki boyuna donatılar karşılaştırılarak üç numune dayanım esaslı değerlendirme yapılmıştır. Ön görülen yüklemde eğilmeye çalışan çerçeve ile kaymaya çalışan dolgu duvarının birlikte davranıp davranmadığı tespit edilmiştir.

## **5.1. Deney Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Çalışmalar**

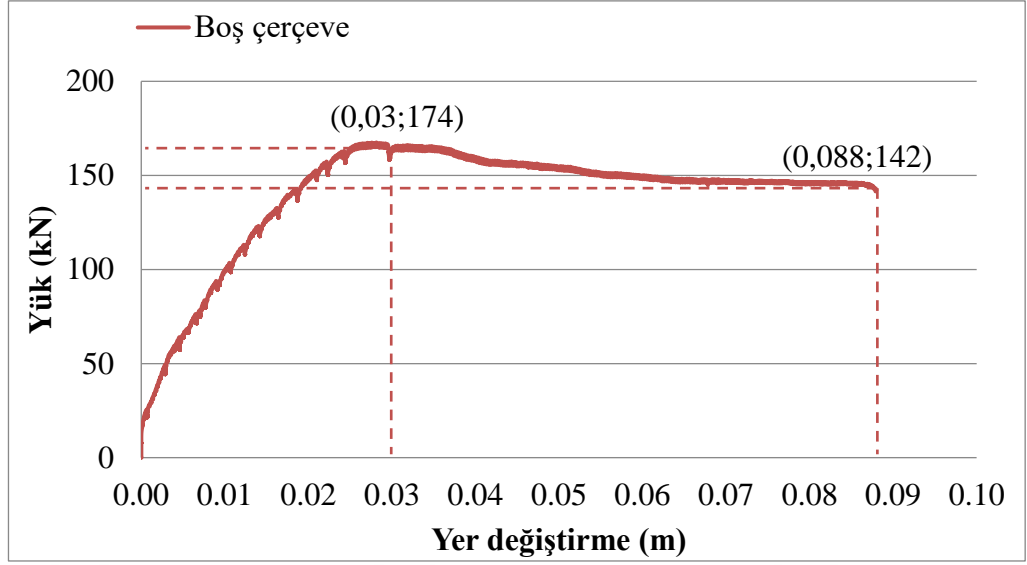
Üretilen üç adet numunenin her biri deney düzeneğine hazır vaziyete getirilerek deneye başlanılmıştır. Sırasıyla her bir numune için yük-yer değiştirme, moment-eğrilik ilişkisi ve donatı çubuklarında sıyrılma açısından deney sonuçları açıklanacaktır.

### **5.1.1. Yük-yer değiştirme sonuçları**

Deneysel çalışmada boş çerçeve deneyi dolgu duvarlı sistemlere referans olarak ta kullanılmıştır (Şekil 5.2).

Boş çerçevenin deney öncesi (Şekil 5.2) ve deney sonrası (Şekil 5.3) durumuna bakılacak olunursa sistemde çeşitli bölgelerde çatlaklar meydana gelmiştir. Boş çerçevede özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kolon-temel birleşim bölgelerinde ve plastik mafsal bölgelerinde yüklemeye bağlı olarak çatlaklar gözlemlenmiştir.

Boş çerçeve sisteme göçme yüküne kadar yük uygulanmış ve yük-yer değiştirme eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5.1).



**şekil 5.1.** Boş çeręeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değiştirme (m) eğrisi

Yük-yer değiştirme eğrisinde elde edilen sonuçlara bakılacak olunursa boş çeręeveye 174 kN yük uygulandığında akma kapasitesine ulaşmış ve 0,03 m yer değiştirmiştir. Boş çeręeve yük-yer değiştirme grafiğinden de görüldüğü gibi 142 kN'luk göçme yüküne karşılık 0,088 m'lik bir yer değiştirme yapmıştır. Bilindiği gibi yük-yer değiştirme grafiğindeki eğrinin altında kalan alan enerji yutma kapasitesini vermektedir. Boş çeręeve sisteminin yük-yer değiştirme grafiğindeki eğri altında 13.074.94 Joule enerji absorbe edilmiştir. Süneklik oranı boş çeręevde 3 olarak elde edilmiştir.

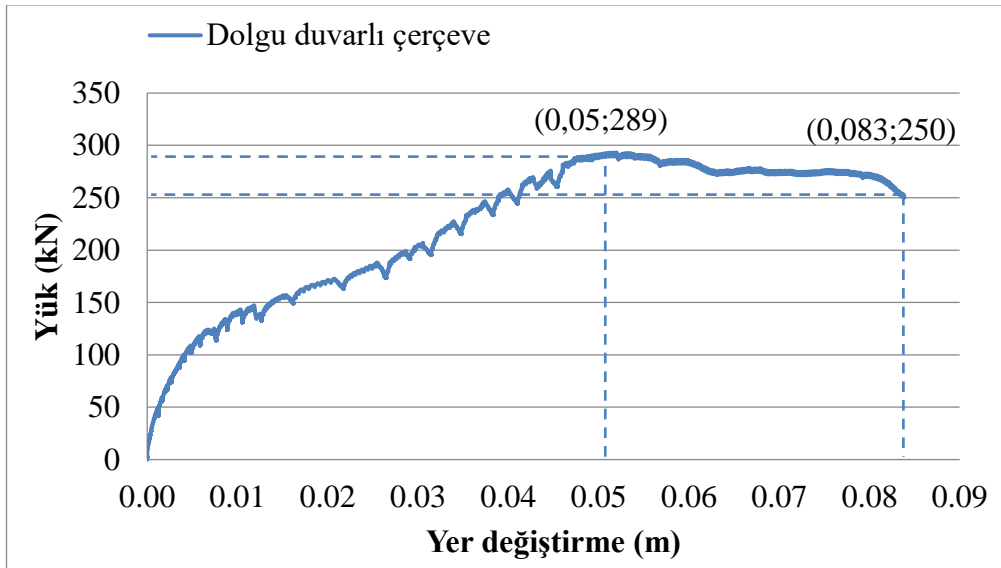


**şekil 5.2.** Boş çeręeve deney başlangıcı



Şekil 5.3. Boş çerçeve deney sonrası

Dolgu duvarlı çerçevenin deney öncesi (Şekil 5.5) ve deney sonrası (Şekil 5.6) durumuna bakılacak olunursa sistemde çeşitli bölgelerde çatlamlar meydana gelmiştir. Boş çerçevede kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kolon-temel birleşim bölgelerinde ve plastik mafsallarda oluşan çatlaklara karşılık dolgu duvar etkisiyle çatlakların azaldığını söylemek mümkündür. Artan yüklemeye dolgu duvar ile çerçeve birleşim bölgelerinde ayrılmaların olduğunu ve yanal yüklemeye devam ettikçe dolgu duvarda köşelerde köşe kırılmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlı çerçeve göçme yüküne kadar yanal yük uygulanmış ve yük-yer değiştirme eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Dolgu duvarlı çerçeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değiştirme (m) eğrisi

Dolgu duvarlı çerçeveye 289 kN yük uygulandığında akma kapasitesine ulaşmış ve 0,05 m yer değiştirmiştir. Dolgu duvarlı çerçeve yük-yer değiştirme grafiğinden de görüldüğü gibi 250 kN'luk göçme yüküne karşılık 0,083 m'lik bir yer değiştirme yapmıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sisteminin yük-yer değiştirme grafiğindeki eğri altında 21.083.30 Joule enerji absorbe edilmiştir. Süneklik oranı dolgu duvarlı çerçevede 1,6 olarak elde edilmiştir.

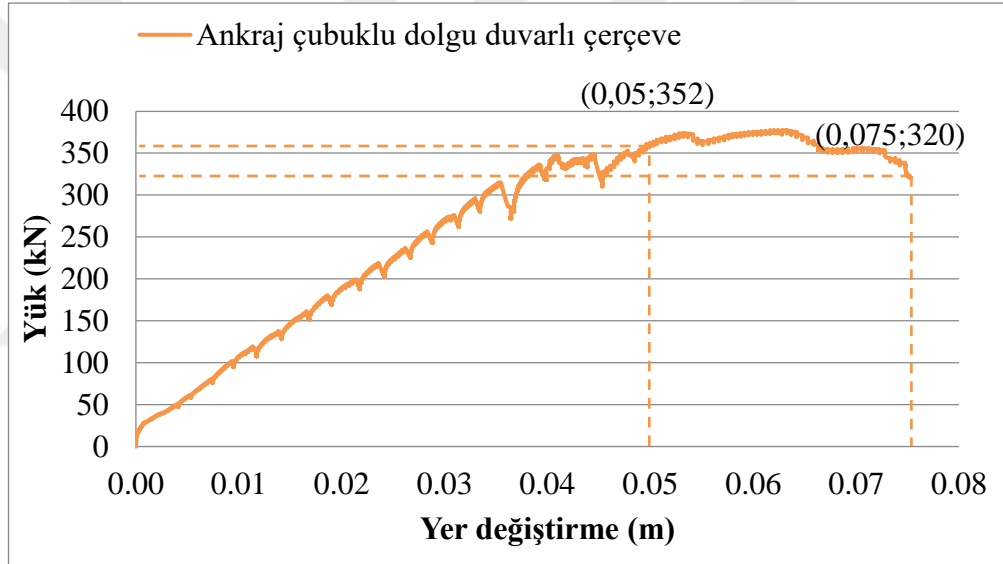


Şekil 5.5. Dolgu duvarlı çerçeve deney başlangıcı



Şekil 5.6. Dolgu duvarlı çerçeve deney sonucu

Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevenin deney öncesi (Şekil 5.8) ve deney sonrası (Şekil 5.9) durumuna bakılacak olunursa sistemde çeşitli bölgelerde çatlaklar meydana gelmiştir. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede ilk çatlaklar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelirken kolon-temel birleşim bölgelerinde ve plastik mafsal bölgelerinde oluşan çatlaklar dolgu duvarlı çerçeveye oranla daha da azaldığı gözlemlenmiştir. Devam eden yükleme altında ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede dolgu duvarda diyagonal çatlaklar meydana gelmiştir. Bu sonuç bize ankraj çubuklarının artan yüklemeler altında dolgu duvar ile çerçevenin birlikte çalıştığını göstermektedir. Bu amaçla göçme yüküne kadar yanıl yük uygulanmış ve yük-yer değıştirme eğrisi elde edilmiştir (Şekil 5.7).



**Şekil 5.7.** Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneyinden elde edilen yük (kN)-yer değıştirme (m) eğrisi

Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeveye 352 kN yük uygulandığında akma kapasitesine ulaşmış ve 0,05 m yer değıştirmiştir. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve yük-yer değıştirme grafiğinden de görüldüğü gibi 320 kN'luk göçme yüküne karşılık 0,075 m'lik bir yer değıştirme yapmıştır. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sisteminin yük yer değıştirme grafiğindeki eğri altında 22.607.19 Joule enerji absorbe edilmiştir. Süneklik oranı ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede 1,4 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deney başlangıcı



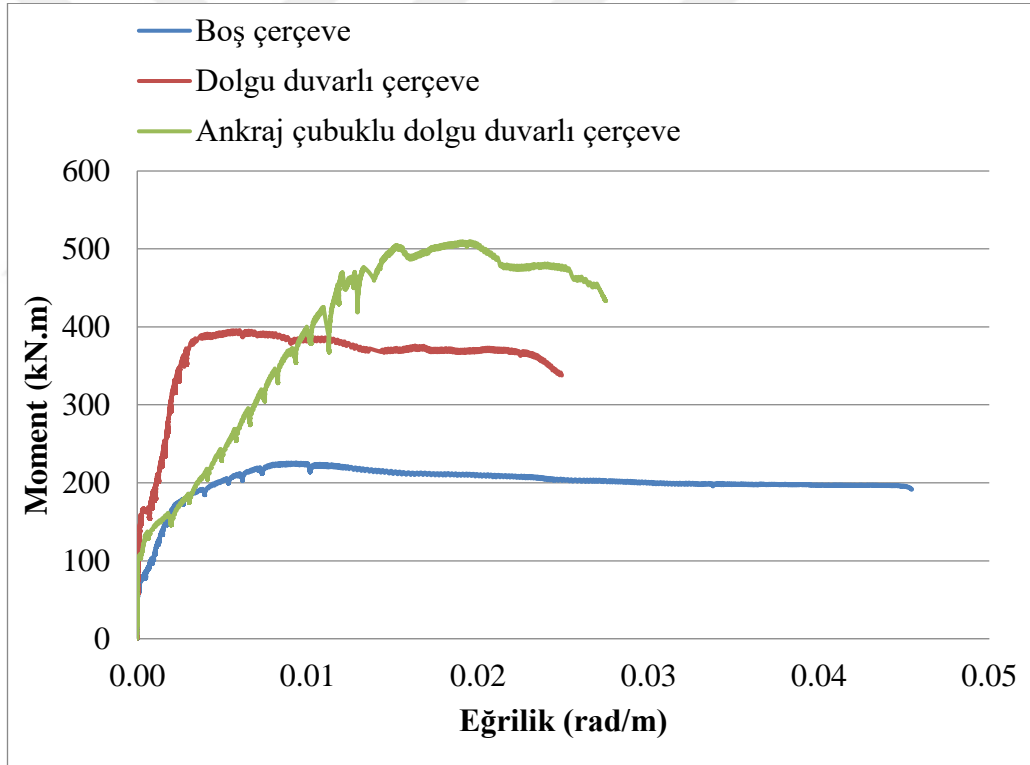
Şekil 5.9. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deney sonucu

### 5.1.2. Moment-eğrilik ilişkisi sonuçları

Deneysel olarak ölçülen moment (kN.m)-eğrilik(rad/m) ilişkisi üç adet numune kolonları boyunca ölçülüp sonuçları elde edilerek karşılaştırılmıştır. Yük-yer değiştirme ilişkisinde ölçülen sünelik moment-eğrilik ilişkisinde bölümsel sünelik olarak belirtilmektedir. Moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen sünelik değerleri yük yer değiştirme ilişkilerinden elde edilen değerler ile paralellik göstermektedir. Boş çerçevede elde edilen sünelik oranı dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve numunelerine oranla daha fazladır. Hesaplanan sünelik oranları boş çerçevede 5,6, dolgu duvarlı çerçevede 4,7 ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede

ise 1,75 olarak elde edilmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerde kesme kapasitesi ilerlemekte ve yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Akma dayanımlarına ulaştıklarında süneklik oranı boş çerçeveye nazaran dolgu duvarlı çerçevelerde düşmektedir.

Birçok deprem yönetmeliğinde yapıların tasarımlarındaki amaç deprem esnasında uygun sünek yapılar yapabilmektir. Bu nedenle yönetmeliklerde dayanım ve süneklik azaltma faktörleri tanımlanmaktadır. DBYBHY’te 50 yılda aşılma olasılığı %10 ihtimalle hayatta kalma seviyesi için azaltma faktörü sekiz olarak verilmiştir. Şekil 5.10’de görüldüğü gibi genellikle pek çok deprem yönetmeliğinde kullanılan azaltma faktörü bir yapının tasarım yaklaşımı sırasında dikkate alınmadığında doğrusal elastik kuvvet talebi nedeniyle boş çerçeveye göre bir yapının performans düzeyinin elde edilmesi mümkün olmayacaktır.



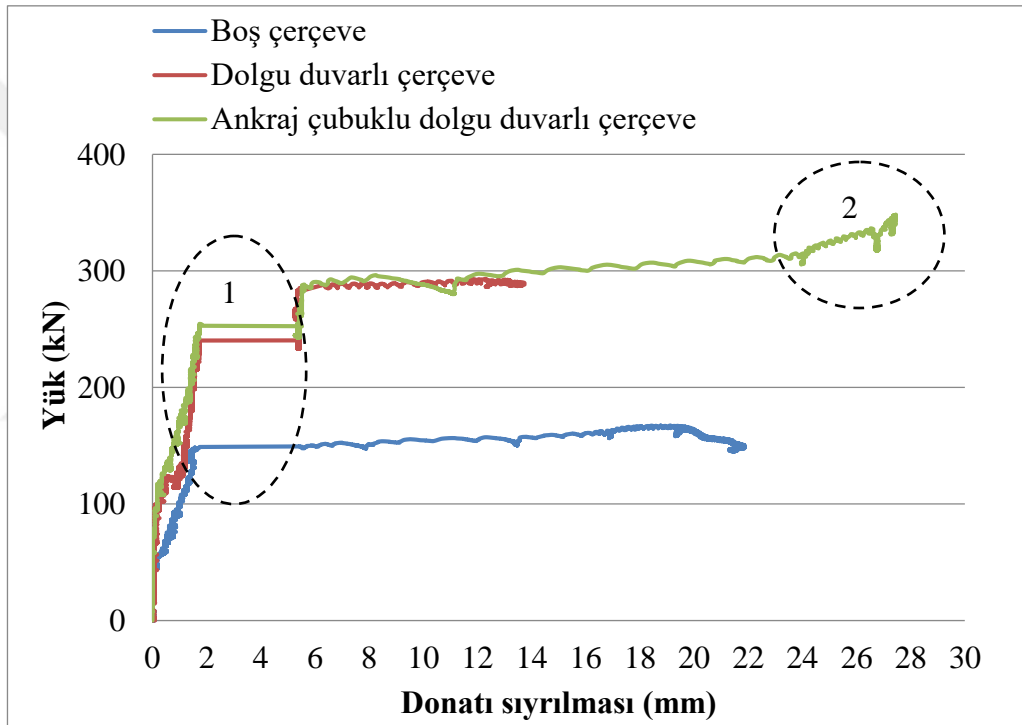
**Şekil 5.10.** Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden elde edilen moment (kN.m)-eğrilik (rad/m) eğrileri

### 5.1.3. Donatı çubuğunun sıyrılması sonuçları

Deneysel sonucu kaydedilmiş gerilmeler Eş. 4.2 kullanılarak donatı çubuklarındaki donatı sıyrılması hesaplandı. Mevcut çalışmada donatı sıyrılması verilerinde kolonların alt kenarlarından elde edilen eğrilik dikkate alınmıştır. Buna binaen, Eş. 4.3 yardımıyla



daha ileriki çalışmalar için kolonların üst ve altına dayalı dönmelerin toplamlarını hesaplayabilir ve kolonların toplam uzunluğu ile çarparak donatı çubuklarının donatı sıyrılması yer değiştirmelerini ayrı ayrı hesaplamak için kullanılabilir. Üç farklı numune sistemlerine uygulanan yanal yükleme sonucu donatı çubuklarındaki sıyrılma ve sıyrılma nedeniyle yer değiştirme ilişkileri sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmiştir. Üç farklı çerçeve sistemde karşılaştırılan donatı sıyrılması koşulu, yük-yer değiştirme eğrileri (Şekil 5.1, Şekil 5.4, ve Şekil 5.7) ve moment-eğrilik ilişkisi (Şekil 5.10) gibi önceden elde edilmiş deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldı ve test sonuçlarına göre boş çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevenin farklı olduğu bulundu.

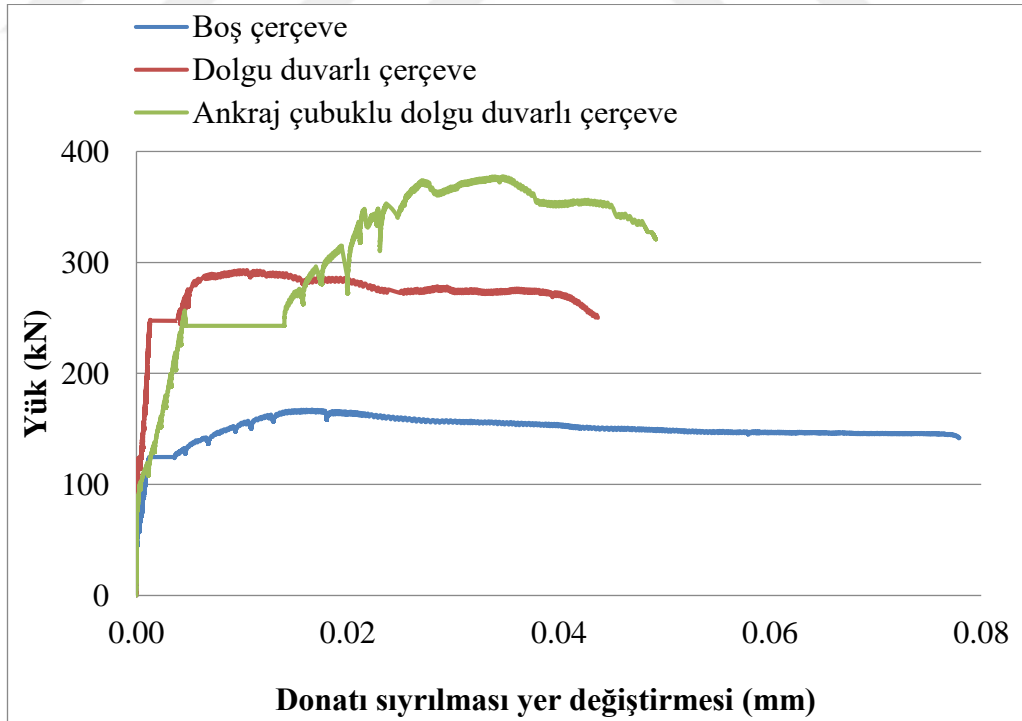


**Şekil 5.11.** Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden elde edilen donatı çubuklarında yük(kN) – donatı sıyrılması(mm) ilişkisi

Şekil 5.11’den de görüldüğü gibi elastik bölgenin yükseliş son noktasından itibaren (dairese kutu içerisine alınmış ve 1 numara ile gösterilmiş bölge) donatı çubuklarındaki sıyrılmadan kaynaklı düz bölge oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bu bölge mevcut literatür de ikinci dereceden fonksiyon kullanılarak pekleşme bölgesi olarak önerilmiştir (Sezen ve Setzler, 2008).

Şekil 5.11’de donatı çubuklarındaki yük-donatı sıyrılması grafiğinde ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemde grafiğin sonuna doğru (dairese kutu içerisine alınmış ve 2 numara ile gösterilmiş bölge) yük artarken donatı sıyrılması meydana gelmiştir.

Şekil 5.11’den de görüldüğü gibi donatı çubukları pekleşme bölgesine ulaşıncaya kadar sıyırılma donatı çubukları uzunlukları boyunca hemen hemen doğrusal olarak artmaktadır. Bu noktada donatı çubuklarında aynı gerilmeler için donatı sıyırılmasında ani sıçramalar meydana gelmiştir. Elastik modülün eğimi, pekleşme bölgesindeki çelik çubukta çok düz olduğundan sabit gerilmelere sahip olduğundan inelastik bölgeye kadar donatı sıyırılması doğrusal olarak artırmaktadır. İnelastik bölgede donatı çubuklarındaki sıyırılma değerleri mukavemet gerilmelerinin katkısıyla betonarme olan üç çerçeve sistemde de artmıştır. Eş. 4.3 kullanılarak donatı çubuklarında sıyırılma nedeniyle hesaplanan maksimum yer değiştirmeler boş çerçevede 50,61 mm, dolgu duvarlı çerçevede 12,49 mm ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevede 32,22 mm’dir. Donatı çubuklarında hesaplanan eğrilik ve donatı sıyırılması yer değiştirmelerine dönüştürülmüş toplam yanal yer değiştirme, donatı sıyırılması yer değiştirmesi ve eğrilik değerleri boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve için sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’te verilmiştir. Şekil 5.11’den görüldüğü gibi ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemin donatı sıyırılması boş çerçeve sisteme göre fazla olmasına rağmen donatı sıyırılması yer değiştirmesi daha azdır.



**Şekil 5.12.** Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve deneylerinden elde edilen donatı çubuklarında yük(kN) – donatı sıyırılması yer değiştirmesi (mm) ilişkisi

Boş çerçeve söz konusu olduğunda donatı sıyrılması yer değiştirmelerinin katkısı eğilme yer değiştirmesinin sağladığı katkıdan daha fazladır (Şekil 5.13).

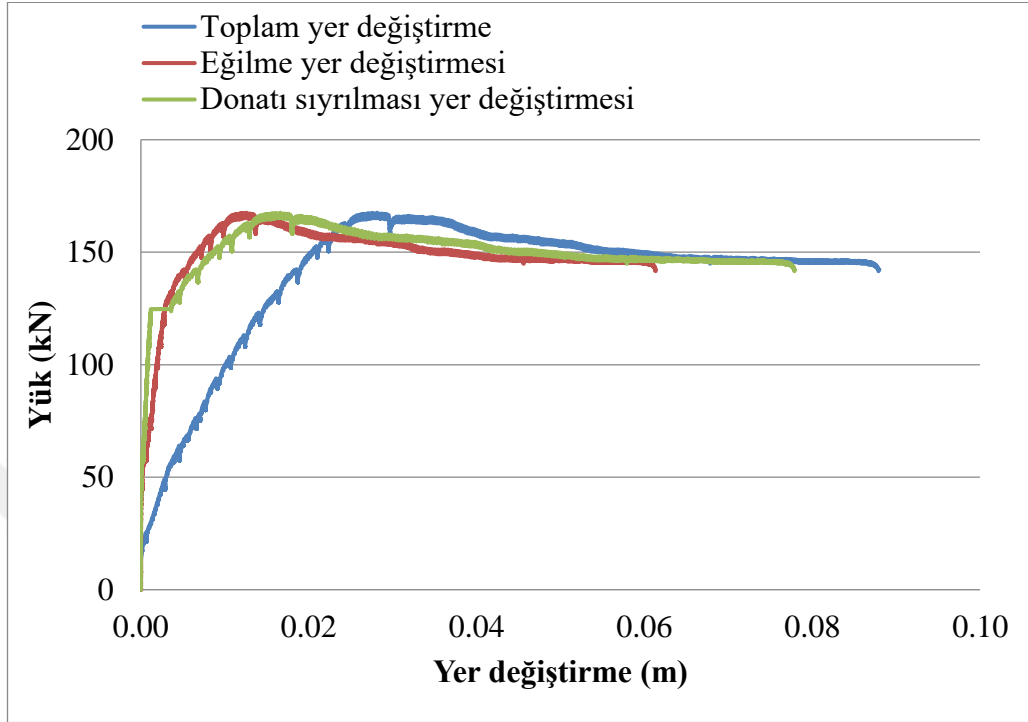
Betonarme elemanların tasarımında beton ve donatı çubuklarının arasında kesin bağ sağlanacağına inanılsa da donatı çubuklarının sıyrılmasıyla sünek davranış da sağlanabilir. Elde edilen deneysel test sonuçları ankraj çubukları üçüncü numunenin etriyelerine bağlandığı için yapının donatı iskeletinde ciddi bir rijitlik meydana gelmiştir. Bu sebepten dolaydır ki boş çerçeveden dolgu duvarlı çerçeveye ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeveye doğru süneklikte bir azalma meydana gelirken rijitlik ve dayanımda ciddi bir artış meydana gelmiştir.

Şekil 5.12’de donatı çubukları boyunca kaydedilmiş gerilmeler ve hesaplanan donatı sıyrılması dönmeleri böylelikle elde edilen donatı sıyrılması yer değiştirmeleri boş çerçevede diğer iki çerçeve sistemine göre daha fazladır. Bunun sebebi dolgu duvarın yapıdadonatı sıyrılmasını engellemesi olabilir. Boş çerçevede çerçeve sisteme yük uygulandığında donatılarda çok büyük dönmeler meydana gelmesinden kaynaklı böyle bir sonuç ortaya çıkmıştır.

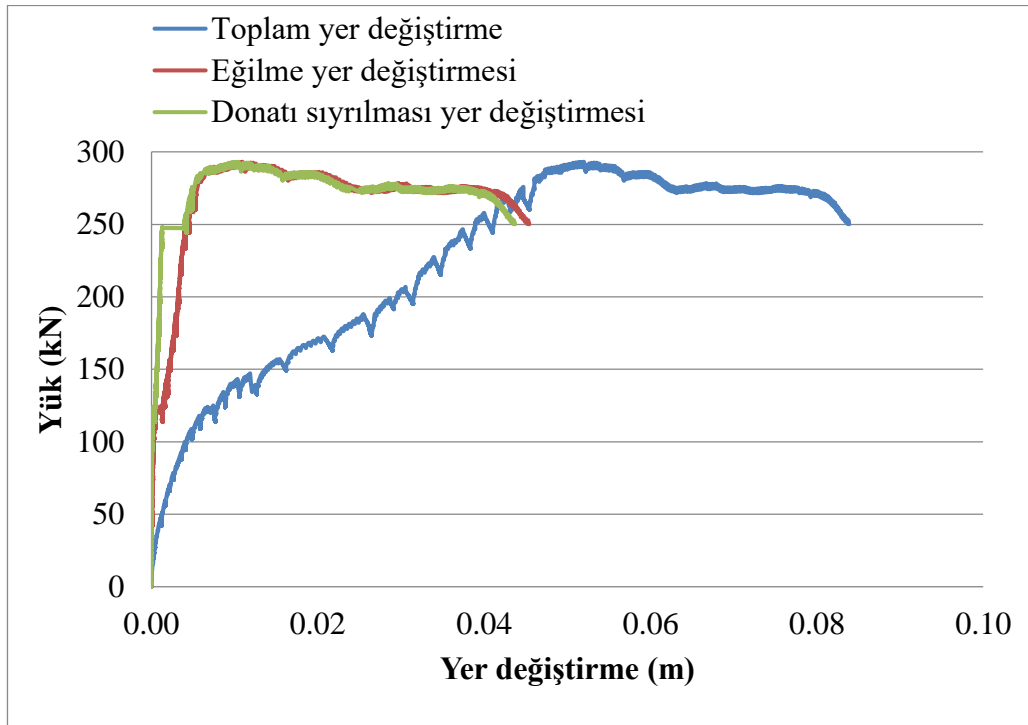
Yüksek donatı sıyrılması yer değiştirmeleri donatı çubuklarının sıyrılması nedeniyle daha fazla dönüşler gerektirir. Bu davranış yalnızca tarafsız eksen bölümünde bir azalma meydana gelmesi durumunda elde edilebilir. Boş çerçevede donatı sıyrılması yer değiştirmesi daha fazla sünek bir davranış gösteren bir bölümün tarafsız eksenini azaltılarak artırılmıştır. Donatı çubuklarında sıyrılma daha yüksek fakat ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemde donatı sıyrılması yer değiştirmeleri daha az bu yalnızca tarafsız eksen bölgesindeki artışla açıklanabilir. Elde edilen tüm test sonuçlarının tarafsız eksene bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı çerçevenin karşılaştırılması tarafsız eksene göre yapılmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi bu iki çerçevenin donatı sıyrılması uygulanan farklı yüklerde hemen hemen aynıdır. Fakat Şekil 5.12’de ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevenin donatı sıyrılması yer değiştirmesi dolgu duvarlı çerçeveye göre daha fazladır. Bu nedenle donatı çubuklarında farklı donatı sıyrılması yer değiştirmesi aynı donatı sıyrılması olabilmesi için yapılan donatı sıyrılması dönüşlerinin uyumlu olması gerekir. Bu sadece ankraj çubuklarına sahip olan dolgu

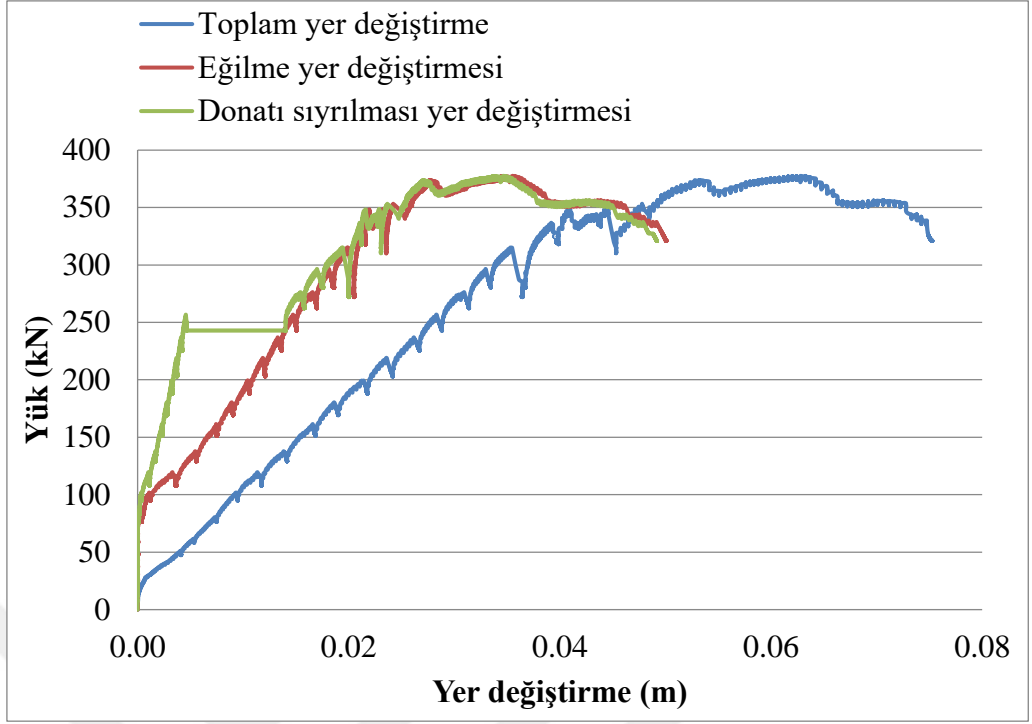
duvarlı çerçevede tarafsız ekseninde azalma durumunda dolgu duvarlı çerçevede tarafsız ekseninde artış durumunda sağlanabilir.



Şekil 5.13. Boş çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.14. Dolgu duvarlı çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.15. Ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve de yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması

## 6. SONUÇLAR

Yapılarda, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin deprem gibi yanal etkiyen yükler karşısında stabilitesini koruyabilmesi ve çerçeve sistemiyle bir bütün olarak davranması için birleşiminin (aderans) tam anlamıyla sağlanması gerekmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar, sisteme yerleştirilen ankraj çubuklarının genelde dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde dayanım, rijitlik ve enerji yutma kapasitesini artırdığını göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen deneysel test sonuçları da bu görüşü destekler niteliktedir.

Bu çalışma kapsamında referans olan boş çerçeve sistemine dolgu duvar eklendiğinde sistemin rijitliği, dayanımı, enerji yutma kapasitesi gibi özelliklerinde önemli derecede artışlar meydana gelirken ankraj çubuklarının eklenmesiyle bu özelliklerinin daha da iyileştirildiği sonucunu çıkarmak doğru olacaktır.

Dolgu duvarlı sistemde, yüklemenin yapıldığı köşelerde oluşacak köşe kırılması/dolgu ezilmesi davranışı ve serbest köşelerde dolgu ayrılması davranışının, ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistem vasıtasıyla çekme çatlaklarının oluşması şeklindeki davranışı almasını sağlamış ve böylece ankraj çubuklarının dolgu duvarlı çerçeve sistem davranışını azımsanamayacak derecede iyileştirmiş olduğu görülmüştür.

Süneklik oranı dolgu duvarlı çerçeve ve ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve sistemlerine nazaran boş çerçeve sistemde daha yüksek olduğu gözlemlendi. Sünekliğin bu azalışını donatı çubuklarındaki kayma yer değiştirmesiyle doğru orantılı olarak bir ilişki olduğu sonucu çıkarılabilir.

Yer değiştirme nedeniyle donatı çubuğundaki donatı sıyrılması lineer olmayan bir davranış sergilerken tarafsız eksenin yerinin değişimini etkilemektedir.

Boş çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ile ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçeve ile karşılaştırıldığında donatılarda maksimum sıyrılma elde edilmesine rağmen ankraj çubuklu dolgu duvarlı çerçevenin donatı çubuklarındaki sıyrılma diğer iki çerçevenin sağladığı kadar donatı sıyrılmasından dolayı maksimum yer değiştirme sağlayamamıştır.

Betonarme binaların performans düzeylerinin daha doğru tahmini için daha dikkat edilmesi gerekmektedir bu ise donatı sıyrılması yer değiştirmelerinin dikkate alınması

ile belirli bir kategoriye ayrılarak sağlanabilir. Betonarme binalarda daha iyi bir tasarım yaklaşımları elde edebilmek için aynı zamanda dolgu duvar malzeme özelliklerine de dikkat edilmesi gerekmektedir.

Birçok yönetmelikte ve tasarım yaklaşımlarında pek çok belirsizlik içeren beton ile çeliğin arasında tam bir bağ düşünülmesine rağmen betonarme yapılarda donatı sıyrılması nedeniyle yer değiştirme yapısal performans düzeyleri üzerinde ciddi etki yaratmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Aksoy, H. B. ve Avşar, Ö. (2015) “Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle ele alınması”, *Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Eskişehir.
- Asteris, P. G., Kakaletsis, D. J., Chrysostomou, C. Z. and Smyrou, E.E. (2011A) “Failure modes of infilled frames”, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 11 (1), 11-20.
- Asteris, P., G., Antoniou, S. T., Sophianopoulos, D. S. and Chrysostomou, C. Z. (2011) “Mathematical macro modeling of infilled frames”, *State of the Art Journal of Structural Engineering*, 137, 1508-1517.
- Baran, M. (2012) “Dolgu duvarların betonarme çerçevesel yapıların davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, *Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Kırıkkale, 275-284.
- Bayülke, N. (2003) “Betonarme yapının dolgu duvarı”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 426.
- Beklen, C. (2009) “Binalarda dolgu duvar etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana.
- Beklen, C. ve Çağatay, İ. H. (2009) “Çerçevelerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Adana.
- Çağlayan, E. (2006) “Betonarme çerçevelerin yatay yüklere göre analizinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Calvi, G.M., Bolognini, D. and Penna, A. (2004) “Seismic performance of masonry-infilled R/C frames”, *Benefits of Slight Reinforcements Proceedings of Sismica Congresso Nacional de Sismologiae Engenharia Sismica*, Portugal, 60.
- Celep, Z. ve Gençoğlu, M. (2003) “Deprem etkisindeki betonarme çerçeve taşıyıcı sistem davranışına bölme duvarların etkisi”, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 1-9.
- Crisafulli, F. J. (1997) “Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills”, *PhD Thesis University of Canterbury*, New Zealand.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, (2007).
- Doğangün, A. (2007) “Betonarme yapıların hesap ve tasarımı”, İstanbul, 714 s.
- El-Dakhkhni, W.W., Elgaaly, M. and Hamid, A.A. (2003) “Three strut model for concrete masonry-infilled steel frames”, American Society of Civil Engineers, *Journal of Structural Engineering*, 129 (2), 177-185.



- El-Dakhkhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R. and Elgaaly, M. (2006) “Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites”, *Composite Structures*, 73 (4), 458–477.
- Hashemi, A. and Mosalam, K. M. (2006) “Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35 (14), 1827–1852.
- Kappos, A. J. (2000) “Seismic design and performance assessment of masonry infilled RC frames”, Proceedings of the twelfth World Conference on Earthquake Engineering, *International Association of Earthquake Engineering*, Tokyo.
- Karşlıoğlu, O. (2005) “Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Kılıç, A. (2012) “Betonarme çerçeve yapılarında dolgu duvarların güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 116 s.
- Kızıloğlu, M. Y. (2006) “Deprem etkisi altında dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılar üzerindeki etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Korkmaz, A. ve Kayhan, A.H. (2008) “Yer değiştirme esaslı yöntemlerin elastik ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemleriyle karşılaştırılması”, *Trakya University Journal of Natural Sciences*, Edirne, 9 (1), 7–13.
- Kumbasaroğlu, A. (2010) “Dolgu duvarlı çerçeve sitemlerde ankraj çubuklarının etkisi üzerinde bir deneysel çalışma”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 181 s.
- METU EERC, (2011) “9 november 2011 Van earthquake report”, METU, Ankara, Turkey.
- Negro, P. and Verzaletti, G. (1996) “Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: energy considerations from pseudo-dynamic test”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 753-773.
- Özdemir, H. ve Eren, İ. (2014) “Çerçeveye yapılan ankraj aralığının, bölme duvarlı çerçeve güçlendirmesine etkisi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Kayseri.
- Özmen, H. B., İnel, M. ve Bilgin, H. (2007) “Yumuşak kat davranışının duvar etkisi dikkate alınarak incelenmesi”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 423-434.
- Öztürkoğlu, O., Uçar, T. ve Yeşilce, Y. “Betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin incelenmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, İzmir, 109-121.

- Sayı, B. (2003) “Mevcut betonarme yapıların yeni deprem yönetmeliğine göre projelendirilmesi ve güçlendirilmesi teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- Sezen, H. and Setzler, E. J. (2008) “Reinforcement slip in reinforced concrete columns”, **American Concrete Institute Structural Journal**, 280-289.
- Sezer, R. ve Akın, A. (2011) “Duvarları ön üretimli beton panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi”, **International Participated Construction Congress**, Konya, sayı 6, 1128-1145.
- Sönmez, E. (2013) “Effect of infill wall stiffness variations on the behavior of reinforced concrete frames under earthquake demands”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir.
- Tetik, D. (2007) “Dolgu duvarların betonarme yapıların serbest titreşimine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul.
- Timurağaoğlu, Ö. M. (2015) “Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışının analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 114 s.
- Topçu, A. (2014) “Taşıyıcı sistem düzensizlikleri, doğrular, yanlışlar, hasarlar”, [http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index\\_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme\\_2\\_3.pdf](http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_3.pdf).  
Son erişim tarihi: 04.11.2018.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ.O. ve Özcebe, G. (2013) “Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, **Mustafa Kemal Üniversitesi**, Hatay.
- Yalciner, H., Sensoy, S. and Eren, O. (2012) “Time-dependent seismic performance assessment of a single-degree-of freedom frame subject to corrosion”, **Engineering Failure Analysis**, sayı 19, 109-122.
- Yıldırım, M. K. (2009) “Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvar oranına göre yapı periyodunun değişiminin saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.



**Ek-1.** Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Kumbasaroğlu, A., Yalciner, H. and **Aydin, Y. F.** (2017) “The effect of infill wall frames on seismic performance levels of RC buildings”, ***International Conference on Structural Engineering Dynamics***, Lizbon, Portekiz, pp.1-10.



## ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Erzincan'da doğmuştur. İlk öğrenimini 2003 yılında Org. Selahattin Demircioğlu İlköğretim okulunda, orta öğrenimini 2006 yılında Bahçelievler Ortaokulunda, lise öğrenimini ise 2010 yılında Erzincan Lisesinde tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans programına başlamıştır ve devam etmektedir. 2016 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Lisans programına başlamıştır ve devam etmektedir. 2016 yılında Ata Yapı Tic. A.Ş. firması tarafından yaptırılan Kültür Kongre Merkezi İnşaatı işinde Saha Mühendisliği yaptı.