

Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışlarının  
Araştırılması

Uğur Albayrak

**DOKTORA TEZİ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2016

Investigation of In-plane and Out-of-plane Behaviour of Infilled Frames under  
Earthquake Loading

Uğur Albayrak

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Civil Engineering

June-2016

Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışlarının  
Araştırılması

Uğur Albayrak

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof.Dr.Eşref Ünlüoğlu

Haziran 2016

## ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Uğur Albayrak'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışlarının Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek “oybirliği” ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof.Dr.Eşref Ünlüoğlu

**İkinci Danışman** : -

**Doktora Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof.Dr. Eşref Ünlüoğlu

**Üye** : Prof.Dr. Nevzat Kıracı

**Üye** : Doç.Dr. Mizam Doğan

**Üye** : Y.Doç.Dr. Perihan Efe

**Üye** : Y.Doç.Dr. Mehmet Uğur Toprak

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof.Dr.Eşref Ünlüoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum “Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışlarının Araştırılması” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 24/06/2016

Uğur Albayrak

İmza

## ÖZET

Türkiye'deki betonarme binaların çoğunda, boşluklu tuğladan oluşan dolgu duvarlar yapısal olmayan bölme duvar olarak kullanılmaktadır. Yapısal olmayan elemanlar olarak kullanıldıkları için, dolgu duvarların bina davranışına yaptıkları katkı tasarım aşamasında iyi bilinmemektedir. Depremlerden sonra yapılan incelemeler, yapısal olmayan elemanların binanın yanıl kapasitesine yararlı yönde etki ettiklerini ortaya çıkarmıştır.

Yapılan bu tezde, boşluklu tuğla dolgu duvarların betonarme binaların yanıl davranışına olan katkısı incelenmiştir. Bu amaçla, farklı açıklıklara sahip üç adet 3-D betonarme bina durum çalışması olarak seçilmiştir. Altı katlı simetrik kalıp planına sahip bu bina modelleri; çıplak yani dolgu duvar olmayan bina, değişik dolgu duvar yerleşimlerine sahip binalar ve dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellendiği binalar olarak sınıflandırılmış, yapılan deprem tepki spektrumu analizleri sonucu en uygun ve doğru sonuç veren dolgu duvar modelleri önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgu duvar, Eşdeğer basınç çubuğu, Sonlu Elemanlar.

## SUMMARY

In Turkey, in most of the reinforced concrete buildings, hollow masonry infill walls are used as non-structural partition walls. Since infill walls used as a nonstructural member, during design stage, their contribution to overall building behavior is not well known. Observations made after the earthquakes revealed that these non-structural elements had beneficial effects on the lateral capacity of the building.

In this thesis, the contributions of the hollow masonry infill walls to the lateral behavior of mid-rise reinforced concrete buildings are investigated. For this purpose, three 3-D different building models which are same on plan are chosen as case studies with different bay length. The cases that were investigated are the bare model, different infill walled models (different arrangement) and different equivalent strut models. Earthquake spectrum analyses to determine the effect of each parameter, maximum pick displacements, global drift ratios, base shear and moments are computed for each case. The most suitable approaches are proposed to model infill walls in reinforced concrete buildings.

**Keywords:** Infill wall, Equivalent strut, Finite element method.

## TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışması süresince ve asistanı olarak birlikte çalıştığımız yıllar boyunca, anlayışlı ve yardımsever tavrıyla desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Eşref Ünlüoğlu ve desteklerini her zaman hissettiren tüm Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına şükranlarımı sunarım.

Bununla beraber; yıllar süren doktora tez çalışması boyunca, her türlü koşul altında desteklerini daima hissettiğim; sevgili eşim Gülçağ, oğlum Kayra, anne ve babama en içten teşekkür ve minnettarlıklarımı sunmayı bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xvii
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	5
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	22
3.1. Deney Elemanlarının Genel Tanıtımı .....	22
3.2. Deneyler Hakkında Teknik Bilgiler .....	30
3.3. Deney Sonuçları.....	35
<b>4. DOLGU DUVARLARIN ANALİTİK MODELLENMESİ</b> .....	41
4.1. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi.....	44
4.2. Eşdeğer Basınç Çubuğu Yöntemi .....	46
4.3. Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliğinin Belirlenmesi .....	50
4.4. Analitik Çalışma .....	52
4.4.1. Dolgu duvar basıklık oranı 0,68 olan 1 nolu çerçeve .....	55
4.4.2. Dolgu duvar basıklık oranı 0,58 olan 2 nolu çerçeve .....	56
4.4.1. Dolgu duvar basıklık oranı 0,51 olan 3 nolu çerçeve .....	57
4.5. Dolgu Duvarların Analitik Modellenmesine İlişkin Sonuçlar .....	58
<b>5. ÜÇ BOYUTLU BETONARME BİNA MODELLERİNDE DEPREM YÜKLERİ ALTINDA DOLGU DUVARLARIN DÜZLEM İÇİ VE DÜZLEM DIŞI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ</b> .....	60
5.1. Bina Bilgileri .....	60
5.2. Bina Yük Durum Bilgileri .....	63
5.3. Malzeme Bilgileri .....	67
5.4. Bina Analizi .....	69
5.4.1. Mikro modelleme (sonlu elemanlar) .....	71
5.4.2. Mikro modelleme yöntemi ile oluşturulan modellerin analizleri .....	72
5.4.2.1. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli .....	72

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<u>5.4.2.2. AWX6 modeli</u> .....	75
<u>5.4.2.3. AWY6 modeli</u> .....	79
<u>5.4.2.4. AWX1 modeli</u> .....	81
<u>5.4.2.5. AWY1 modeli</u> .....	84
<u>5.4.2.6. AWXY6 modeli</u> .....	86
<u>5.4.2.7. AWXY1 modeli</u> .....	89
5.4.3. Makro modelleme yöntemi ile oluşturulan modellerin analizleri .....	91
5.5. Üç Boyutlu Modellemeye İlişkin Sonuçlar .....	98
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	99
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	105
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	107
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası .....	1
1.2. Son 1 haftada (07.06.2016 tarihi itibariyle) Türkiye’de gerçekleşen depremler .....	3
3.1. Deneysel eleman boyutları .....	22
3.2. Deneysel eleman beton dökümü ve silindir numuneler .....	23
3.3. Çerçeveye ait donatı planı .....	25
3.4. Kiriş boyuna donatı detayı .....	25
3.5. Temel kiriş donatı detayı.....	26
3.6. Kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgeleri .....	27
3.7. Çerçeve kalıbı ve donatıları .....	27
3.8. Çerçeveye ait kolon donatıları .....	28
3.9. Çerçeveye ait kiriş donatıları.....	28
3.10. Deneysel kullanılan 1/3 ölçekli özel üretim tuğla .....	29
3.11. Sıvalı duvar yüzeyi.....	30
3.12. Deneysel düzeneği .....	32
3.13. Ölçüm araçlarının yerleşim ve adlandırma düzeni .....	33
3.14. Yanal yükleme sistemi .....	34
3.15. Deneysel sonucunda deneysel elemanında gözlenen hasar .....	36
3.16. Yanal yük-çevrim grafiği .....	37
3.17. Deneysel elemanın köşe noktalarında gözlenen hasarlar .....	37
3.18. Yanal yük-deplasman grafiği .....	38
3.19.a. D2 yanar yük-deplasman grafiği .....	39
3.19.b. D5 yanar yük-deplasman grafiği .....	39
3.20.a. Y1 yanar yük-deplasman grafiği .....	40
3.20.b. Y2 yanar yük-deplasman grafiği .....	40
4.1. Yanal yük etkisinde çerçeve-dolgu duvar davranışı .....	43
4.2.a. Detaylı mikro modelleme .....	44
4.2.b. Basitleştirilmiş mikro modelleme .....	44
4.2.c. Makro modelleme.....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3.a. Tek basınç çubuğu .....	47
4.3.b. İkili basınç çubuğu .....	47
4.3.c. Üçlü basınç çubuğu.....	47
4.4. Dolgu duvarların hasar görme modları .....	48
4.5. 2008 Wenchuan depreminde, değişik türlerde hasar görmüş dolgu duvar örnekleri .....	49
4.6. Dolgu duvarlarda eşdeğer basınç çubuğu modellemesi.....	50
4.7. Analitik çalışmada kullanılan model ve sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu çerçeveler.....	54
4.8. 4 metre açıklığa sahip çerçeve için “w” eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri.....	55
4.9. 4,5 metre açıklığa sahip çerçeve için “w” eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri.....	56
4.10. 5 metre açıklığa sahip çerçeve için “w” eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri.....	57
4.11. Farklı modellere ilişkin her üç çerçeveye ait eşdeğer basınç çubuğu genişliği w değerleri ...	59
5.1. İncelenen binaya ait 3 boyutlu SAP 2000 modeli .....	61
5.2. Hazırlanan bina modeline ait kalıp planı .....	62
5.3. Yük durumlarının tanımlanması.....	63
5.4. EQX (a) ve EQY (b) yüklemelerine ait özellikler ile tepki spektrumu.....	64
5.5. Yapıya uygulanan tepki spektrumu .....	65
5.6. S420 donatısının akma dayanım diyagramı.....	67
5.7. C40 betona ait gerilme/birim şekil değiştirme diyagramı.....	68
5.8. Dolgu duvar gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı .....	68
5.9. Eşdeğer basınç çubuğu veri girişi .....	69
5.10. Analizlerde kullanılan yapıya ait x yönü 5. m’den kesit görünüşü.....	70
5.11. Analizlerde kullanılan yapıya ait y yönü 5. m’den kesit görünüşü.....	70
5.12. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenen dolgu duvarı temsil eden elemanlar .....	71
5.13. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için maks. tepe deplasman grafiği .....	74
5.14. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için görelî kat ötelemeleri .....	75
5.15. Binaya ait x yönü dolgu duvarlı cephe görünüşü .....	76
5.16. Binaya ait y yönü dolgu duvarsız cephe görünüşü.....	76
5.17. AWX6 maks. tepe deplasman grafiği .....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.18. AWX6 görelî kat ötelemeleri grafiği.....	78
5.19. AWY6 maks. tepe deplasman grafiği.....	80
5.20. AWY6 görelî kat ötelemeleri grafiği.....	81
5.21. AWX1 maks. tepe deplasman grafiği.....	83
5.22. AWX1 görelî kat ötelemeleri grafiği.....	83
5.23. AWY1 maks. tepe deplasman grafiği .....	85
5.24. AWX1 görelî kat ötelemeleri grafiği .....	86
5.25. AWXY6 maks. tepe deplasman grafiği .....	88
5.26. AWXY6 görelî kat ötelemeleri grafiği .....	88
5.27. AWXY1 maks. tepe deplasman grafiği .....	90
5.28. AWXY1 görelî kat ötelemeleri grafiği .....	91
5.29. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan x yönü maks. tepe deplasman grafiği .....	92
5.30. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan y yönü maks. tepe deplasman grafiği.....	92
5.31. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan x yönü görelî kat ötelemesi.....	93
5.32. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan y yönü görelî kat ötelemesi.....	93
5.33. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan x yönü maks. tepe deplasman grafiği.....	94
5.34. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan y yönü maks. tepe deplasman grafiği.....	94
5.35. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan y yönü görelî kat ötelemeleri grafiği .....	95
5.36. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına göre hesaplanan y yönü görelî kat ötelemeleri grafiği .....	95
5.37. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde x yönü maks. tepe deplasman grafiği .....	96
5.38. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde y yönü maks. tepe deplasman grafiği .....	96

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.39. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde x yönü görelî kat ötelemeleri grafiği .....	97
5.40. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde y yönü görelî kat ötelemeleri grafiği .....	97

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye’de son 20 yılda meydana gelen önemli depremler .....	2
3.1. Deneyde kullanılan beton için karışım oranları .....	24
3.2. Çerçeve donatılarının özellikleri .....	24
3.3. Sıva ve harç için karışım oranları .....	30
3.4. Ölçüm araçlarının özellikleri .....	35
4.1. Değişik dolgu duvar modellerinde dikkate alınan hasar tipleri .....	49
4.2. Eşdeğer basınç çubuğu denklemleri.....	52
4.3. Çerçeve elemanları geometrik özellikleri.....	53
4.4. Dolgu duvar geometrik özellikleri.....	53
4.5. Malzeme karakteristik özellikleri.....	53
5.1. Modelde esas alınan parametreler.....	61
5.2. Analizlerde gözönüne alınan yük kombinasyonları.....	66
5.3. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeline ait analiz sonuçları .....	73
5.4. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları.....	74
5.5. Tüm katlarda yalnız x yönlerinde dolgu duvar bulunan modele ait sonuçlar.....	77
5.6. Tüm katlarda x yönlerinde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları.....	77
5.7. Tüm katlarda yalnız y yönlerinde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları .....	79
5.8. Tüm katlarda y yönlerinde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları .....	80
5.9. Yalnız zemin kat x yönünde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları.....	82
5.10. Yalnız zemin kat x yönünde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları.....	82
5.11. Yalnız zemin kat y yönünde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları.....	84
5.12. Yalnız zemin kat y yönünde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları.....	85
5.13. Tüm katlarda x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları .....	87

**ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.14. Tüm katlarda x ve y yönünde de dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları .....	87
5.15. Yalnız zemin katta x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları.....	89
5.16. Yalnız zemin katta x ve y yönünde de dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları tablosu .....	90
6.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen dolgu duvarlara sahip bina modelleri .....	99
6.2. Değişik eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarıyla modellenen dolgu duvarlara sahip bina modelleri .....	100
6.3. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen, dolgu duvarlara sahip bina modellerine ait karakteristik analiz sonuçları .....	101
6.4. Tek veya çift eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle modellenen dolgu duvarlara sahip bina modellerine ait karakteristik analiz sonuçları .....	102
6.5. Tek eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle farklı yaklaşımlarla modellenen dolgu duvarları bulunan binalara ait karakteristik analiz sonuçları .....	104



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>SİMGE</u>	<u>ACIKLAMA</u>
A(T)	: Spektral ivme katsayısı
A <sub>o</sub>	: Etkin yer ivmesi katsayısı
D	: Basınç çubuğu uzunluğu
E <sub>f</sub>	: Çerçeve elemanlarının elastisite modülü
E <sub>m</sub>	: Dolgu duvar elastisite modülü
f <sub>ort</sub>	: Ortalama basınç dayanımı
f <sub>tas</sub>	: Tasarım basınç dayanımı
f <sub>yd</sub>	: Tasarım çekme dayanımı
f <sub>yk</sub>	: Akma dayanımı
G	: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s <sup>2</sup> )
G	: Kayma modülü
H <sub>m</sub>	: Dolgu duvar yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I <sub>c</sub>	: Kolon atalet momenti
k <sub>m</sub>	: Eşdeğer basınç çubuğunun aksenal rijitliği
M <sub>n</sub>	: N'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R <sub>a</sub> (T)	: Deprem yükü azaltma katsayısı
S(T)	: Spektrum katsayısı
S <sub>ae</sub> (T)	: Elastik spektral ivme [m/s <sup>2</sup> ]
T	: Bina doğal titreşim periyodu [s]
t	: Dolgu duvar kalınlığı
T <sub>1</sub>	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T <sub>A</sub> , T <sub>B</sub>	: Spektrum karakteristik periyotları [s]
V <sub>i</sub>	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)****SİMGE****AÇIKLAMA**

$V_{tB}$	:	Modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$w$	:	Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
$\theta$	:	Dolgu duvar diyagonali ile kiriş arasındaki açı
$\lambda_h$	:	Rölatif dolgu rijitliği
$\nu$	:	Poisson oranı
$(\Delta_i)_{ort}$	:	Binanın $i$ 'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta_i$	:	Binanın $i$ 'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi

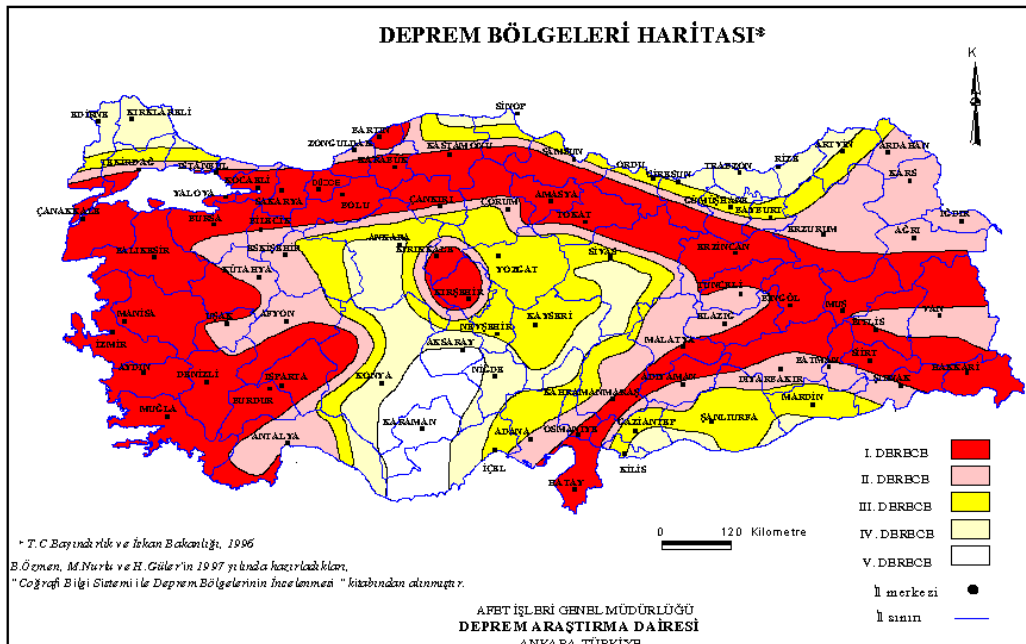
**KISALTMA****AÇIKLAMA**

DBYYHY	:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
FEMA	:	Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
TDY	:	Türkiye Deprem Yönetmeliği

## 1. GİRİŞ

Deprem, genel olarak, yerkürenin oluşumundan bu yana yeri ve zamanı belirsiz şekilde meydana gelen yer sarsıntıları olarak tanımlanabilir. Tarih boyunca deprem etkisiyle her türlü yapı küçük ya da büyük ölçekli hasarlara maruz kalmış ve insanlar üzerinde de çok büyük kayıplara yol açmıştır. Depremler özellikle yerleşik hayatın ve yapılaşmanın gelişmesi ile insanlar için önemli bir unsur ve tehdit haline gelmiştir.

Türkiye deprem bölgeleri haritasına (Şekil 1.1) göre ülkemizin %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerimizin %98'inin deprem bölgesinde bulunduğu bir gerçektir (Adalier ve Aydınğün, 2001). Ayrıca deprem tehlikesi altında yaşayan nüfusumuzun %44'ü I. Derece deprem bölgesinde, %26'sı II. Derece deprem bölgesinde, %15'i III. Derece deprem bölgesinde, %13'ü IV. Derece deprem bölgesinde ve %2'si V. Derece deprem bölgesinde yaşamaktadır (Özmen vd., 1997).



Şekil 1.1 Türkiye deprem bölgeleri haritası

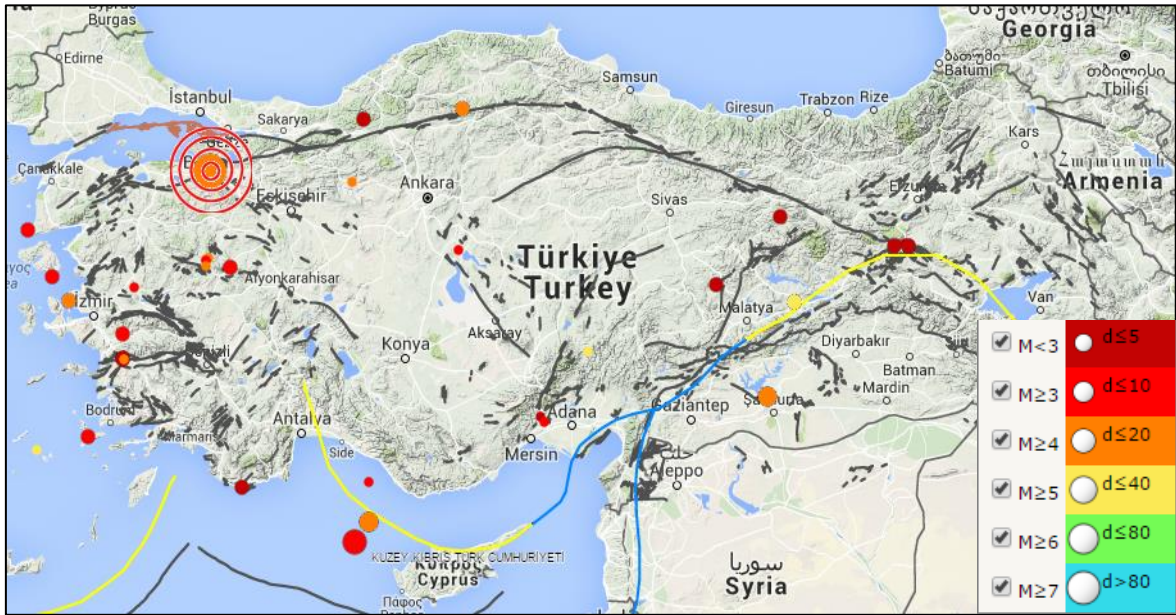
Geçmişten günümüze, ülkemizde önemli maddi hasarlara ve can kayıplarına neden olan birçok deprem meydana gelmiştir. Türkiye’de son 20 yılda meydana gelmiş, büyük can ve mal kayıplarına neden olmuş önemli depremler Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1’de yer alan depremlerden 17 Ağustos 1999 depreminin, ülkemizde endüstrileşmenin ve şehirleşmenin en yoğun olduğu Marmara Bölgesinde meydana gelmiş olması, can kaybı ve hasarın çok büyük olmasına sebep olmuştur. Uluslararası kuruluşların afet veri tabanlarında yer alan bilgilere göre 17 Ağustos depremi, dünyada 1900-2009 yılları arasında meydana gelen depremler arasında 20 milyar dolar ile çok büyük ölçüde ekonomik kayıp yaratan altıncı büyük deprem olarak belirlenmiştir. 1999 yılında Marmara Bölgesinde meydana gelen bu depremlerde çok önemli düzeyde can, mal kayıpları ile ekonomik, sosyal ve çevresel zararların gerçekleşmesi, geleneksel yara sarma yaklaşımı yerine en baştan risk azaltma çalışmalarının ön plana çıkmasına da neden olmuştur (Şengün, 2007).

Çizelge 1.1 Türkiye’de son 20 yılda meydana gelen önemli depremler

Yıl	Yer	Büyüklik
1995	Dinar, Afyon	6,1
1998	Ceyhan, Adana	6,2
1999	İzmit	7,4
1999	Düzce	7,2
2002	Sultandağı, Afyon	6,5
2003	Pülümür, Tunceli	6,1
2003	Bingöl	6,4
2005	İzmir	5,9
2010	Karakoçan, Elazığ	6,1
2011	Simav, Kütahya	5,8
2011	Tabanlı, Van	7,2
2011	Edremit, Van	5,6

Ülkemizin çok büyük bölümünün deprem riski göz önüne alındığında (Şekil 1.2), yapıların proje tasarımında, yapım aşamasında ve yapı kullanım süresi içerisinde özellikle deprem etkisine karşı yapı güvenliği hususu büyük önem taşımaktadır. 1 Ocak 1998'den beri yürürlükte olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin” düzenlemesi ile 2007 yılında yürürlüğe konulan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)” bu konuda atılan önemli adımlardandır. DBYBHY 2007’de, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) 1998’e göre önemli yenilikler arasında “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” bölümünün yer alması olmuştur (Sucuoğlu, 2007). Diğer atılan önemli adımlar arasında ise 2001 yılında yürürlüğe giren “Yapı Denetimi Hakkında Kanun”, 2009 yılında Başbakanlığa bağlı olarak kurulan “Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı” ve 13 yıl gecikmeli de olsa 2012 yılında yürürlüğe giren “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” yer almaktadır. Ayrıca ülkemizde olması muhtemel depremlerde öngörülen zararları azaltma hususunda, üniversiteler bünyesinde yapılan bilimsel çalışmalar da hız kazanmıştır.



Şekil 1.2. Son 1 haftada (07.06.2016 tarihi itibarıyla) Türkiye’de gerçekleşen depremler

Binalarda, taşıyıcı sistemi oluşturan kolon, kiriş, perde ve döşemelerin dışında, birbirinden bağımsız bölümler yaratmak amacıyla, bazen tek parça halinde bazen daha küçük yapı malzemelerinin yapı elemanlarıyla birleştirilmesiyle oluşturulan yapı birimi

dolgu duvar olarak nitelendirilmektedir. Böylece dolgu duvarlar ile betonarme yapılar hem dış ortamdan ayrılmakta hem de mimari açıdan farklı mekanların oluşturulmasını sağlamaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (TDY) göre betonarme yapı tasarımında, dolgu duvarlar yalnızca kiriş ve döşemelere düşey yük olarak etkililmektedir. Mevcut analiz ve tasarım tekniklerinde çerçeve sistemli betonarme binaların sadece kolon, kiriş ve döşemelerinin sistemde taşıyıcı oldukları varsayılarak dolgu duvarların rijitlik ve dayanıma olan katkıları göz ardı edilmektedir. Oysaki yapılan çalışmalar sonucu dolgu duvarların azımsanmayacak oranda etkileri olduğunu ortaya konulmuştur. Dolgu duvarlar yapısal olmayan elemanlar olarak düşünülmesine karşın deprem yüklerine maruz kaldığında çerçeveyle birlikte fonksiyon göstermektedir.

Deprem sırasında binalarda oluşan hasarlar üzerinde yapılan gözlem ve araştırmalarda dolgu duvarlarda büyük kalıcı şekil değiştirmelerin olduğu saptanmıştır. Dolgu duvar deprem anında ilk çatlayan eleman olmasına rağmen, depremin ilk anında büyük oranda depreme karşı koymakta ve çatlayarak enerjinin bir kısmını sönmülemektedir.

Çerçeve sistemlerde dolgu duvarların etkisi yapı yatay rijitliğini artırıcı yönde olmasına karşın, bazı durumlarda da binadaki rastgele dolgu duvar inşasıyla yapı rijitlik merkezinin, kütle merkezinden uzağa kayması sonucu yapıda burulmalar ve yapının bazı bölümlerinde kısa kolon davranışı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, boş çerçeve sistemi ile dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin dinamik özelliklerinin birbirlerinden çok farklı olacağı söylenebilir. Bu nedenle dolgu duvarların olumlu etkilerinde yararlanmak ve olumsuz etkilerinden korunmak için dolgu duvarlı çerçevelerin modellenerek deprem analizi yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle ikinci bölümde literatürde mevcut çalışmalara değinilmiş, ardından üçüncü bölümde deneysel çalışma anlatılmış, dördüncü bölümde dolgu duvar modelleme teknikleri incelenmiş, beşinci bölümde 3 boyutlu çok katlı betonarme binalarda dolgu duvarların etkileri araştırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, dolgu duvarlı çerçevelerin yapısal davranışları üzerine yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda dolgu duvarların özellikle yanal yükler karşısında yapısal davranışı ortaya konulmuştur. Dolgu duvarlı çerçevelerden çeşitli numuneler alarak yanal yükleme testleri yapılmış ve çerçevelerin hareketleri incelenerek birtakım sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca dolgu duvarlar için çok sayıda modelleme tekniği de ileri sürülmüştür. Çalışmaların genelinde dolgu duvarların hesaplarda göz önüne alınmasıyla bina performansının ve yapının başlangıç rijitliğinin önemli oranda artış gösterdiği belirlenmiştir. Dolgu duvarlar ile çerçeveler arasındaki etkileşimin, taşıyıcı yatay yükler etkisindeki davranışına ihmal edilemeyecek düzeyde tesir ettiği çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur.

Bu bölümde dolgu duvarlı betonarme çerçevelerle ilgili çalışmaların literatür özeti kronolojik sıra içerisinde sunulmakta, incelenen değişkenler ve sonuçlardan kısaca bahsedilmektedir.

Dolgu duvarlı çerçeveler ile ilgili ilk çalışma 1956 yılında Polyakov tarafından yapılmıştır. Polyakov (1956), çelik ve mafsallı deney elemanları üzerinde yaptığı deneyler sonrasında eşdeğer sanal basınç çubuğu modelini önererek, bu yöntemin çerçevelerin rijitliğini etkili biçimde temsil ettiğini öne sürmüştür. Ardından çubuk genişliğini veren bağıntılar geliştirmiştir.

Benjamin ve Williams (1958), yaklaşık 50 adet, tek katlı ve tek açıklı, 1/8 ila 3/8 arasında değişen ölçekli, tuğla duvar dolgulu betonarme çerçeveleri Yapı Mekaniği laboratuvarında tekdüze yükleme altında test etmişlerdir. Yaptıkları deneylerde; dolgu duvarın geometrisi, dolgunun donatı oranı ve yönü, kolonların eğilme donatısındaki değişimi gibi değişkenlerin, betonarme çerçevenin deprem davranışına olan etkilerini araştırmışlardır. Deney çerçevelerinde en önemli değişkenlerden biri olan (duvar genişliği / duvar yüksekliği) parametresi 1 ile 3 arasında değişmektedir. Bu oran büyüdükçe yani üçe yaklaştıkça test elemanları daha fazla dayanım göstermişlerdir. Tüm test çerçevelerinde, elemanların maksimum yük değerinde oluşan ortalama taban kesme kuvveti yaklaşık

olarak aynıdır. Çerçevelerde donatı oranı değiştikçe, deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri de değişmektedir. Diğer bir deyişle donatı oranı arttıkça elemanların yatay yük taşıma kapasitesi artarken, daha gevrek bir davranış görülmüştür. Kolon boyuna donatısındaki değişim, duvarın yük taşıma kapasitesini oldukça etkilemiştir.

Holmes (1961), Polyakov'un öne sürdüğü eşdeğer basınç çubuğu yöntemini diyagonal çubuk elastik kısalma ve birim şekil değiştirme parametrelerine göre yeniden yorumlayarak dolgu duvarlı çerçevelere ait yatay yer değiştirme bağıntıları ortaya koymuştur. Gerçekleştirdiği çalışmalarıyla, Polyakov'un ileri sürdüğü eşdeğer basınç çubuğu yöntemini geliştirmiştir.

Smith (1962), dolgu duvarlar tarafından çevrelenen betonarme çerçevelerin deprem yükleri altındaki davranışını inceleyebilmek amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapmıştır. Özellikle analitik çalışmalarında geliştirdiği basınç çubuğu yöntemini araştırmıştır. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının, dolgu ile çerçeve elemanlarından özellikle kolonlar arasındaki temas yüzeyinin büyüklüğüne göre değiştiğini göstermiştir. Burada dolgunun boyutları ve fiziksel özellikleri de yatay rijitlik ve dayanımı etkilemektedir. Dolgu duvar ile kolonlar arasındaki temas yüzeyinin, dolgu ve çerçevenin bağıl rijitliklerine bağlı olduğunu ispatlamış ve buradan yola çıkarak görelî rijitlik parametresini tanımlamıştır. Dolgu duvarları, eşdeğer basınç diyagonalî şeklinde modelleyen Smith, bu diyagonalin genişliğini teorik olarak hesaplamıştır. Yaptığı deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda, eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin, diyagonal uzunluğunun  $1/4$ 'ü ile  $1/11$ 'i arasında değiştiği sonucuna varmıştır. Burada çerçevenin basıklık (açıklık / yükseklik) oranı oldukça etkili olmaktadır. Smith, ayrıca çerçevenin köşe noktalarında dolgudan kopmayan ve birlikte hareket edebilen bölümlerin çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini çok büyük oranda etkilediğini keşfetmiştir. Bu bölgenin ne kadar büyüklükte bir yer kapladığını dikkate alarak, çerçeve ve dolgudan oluşan toplam yapının sünekliğini ampirik denklemlerle ifade etmiştir.

Holmes (1963), yaptığı bir diğer çalışmada, tek katlı tek açıklıklı tuğla ve betonarme dolgulu çelik profillerden yapılmış çerçeveleri yatay yükler altında test etmiştir. Bu deneysel çalışmalar sonucunda her iki tip dolgu duvarı simule edebilecek yeni bir eşdeğer diyagonal elemanın tanımlayan yarı ampirik bir yöntem geliştirmiştir. Dolgu



duvarların tüm yapının yanal rijitlik ve dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesi; ampirik bir ifadeyle dolgu duvar ve betonarme çerçevenin boyutlarını, dolgu duvar basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır.

Mallicak ve Severn (1967; 1968; 1971; 1980) çalışmalarında başlıca kullandıkları yöntem olarak Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem ile modelleme yaparken, betonarme çerçeve ve dolgu duvar birbirinden tamamen ayrı iki değişik elastik eleman olarak kullanılmıştır. Çerçeve ve dolgu duvar arasındaki bağlantı sadece basınç ve kesme kuvveti aktarabilme özelliğine sahip özel bağlantı elemanları kullanılarak tanımlanmıştır. Çerçeve elemanlarının sadece eğilmeye çalıştığı ve dolgu duvarın eşdeğer dikdörtgen sonlu eleman parçalarından oluştuğu varsayılmıştır. Aynı araştırmacılar bir diğer çalışmalarında betonarme çerçeve ve dolgunun dinamik karakteristiklerini incelemişlerdir.

Smith ve Carter (1969), eşdeğer basınç çubuğu teorisini geliştirmeye dönük yeni yaklaşımlar yapmışlardır. Yaptıkları analitik ve teorik çalışmalar sonucu elde ettikleri eşitliklerde; eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin, kolon ve dolgu duvar görelî rijitliğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bahsettikleri bu rijitlik değeri; dolgu duvar basınlık oranına, dolgu malzemesinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisine ve dolgu duvar diyagonaline etkileyen yük değerine göre değişmektedir. Çerçeveye yanal yükün uygulanmaya başlamasıyla beraber, dolgu duvar ile çerçeve elemanları arasındaki temas yok olmakta sadece dolgu duvar köşe noktalarında bunun sürdüğünü gözlemlemişlerdir. Bu gözlem sonucunda köşelerde oluşan temas bölgesinin boyutlarını hesaplayan denklemler geliştirmişlerdir.

Mainstone (1971; 1974), yaptığı çalışmalarda dolgu duvarlı çerçeve numunelerini depremi andıran yatay yükler altında test etmiştir. Dolgu duvarların yanal yükler altında gösterdikleri davranışları anlamaya yönelik olarak, belirli bir ölçeğe sahip mikro-betondan oluşan tuğla duvarlı çerçeveleri ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler sonucunda, dolgu duvarların orta bölgelerinde diyagonal çatlakların oluştuğunu, yanal yükün geldiği köşe noktalarında dolgu duvarda ezilmeler oluşurken gelen yanal yükün ters tarafında kalan köşe noktalarında çerçeve elemanlarıyla dolgu duvar arasında boşluklar meydana

geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu gözlemler ve hesaplar sonucunda; dolgu duvarlı çerçevelerin statik analizini kolaylaştırmak amacıyla eşdeğer genişliği değişik bir bağıntıyla verilen eşdeğer basınç çubuklarını kullanımını önermişlerdir.

Wasti ve Gülkan (1974), yaptıkları analitik çalışmada; çerçeve içerisine kısmi olarak yerleştirilen bir dolgu duvar varlığının, çerçevenin yanal rijitliğinde oluşturduğu değişimi hesaplamak amacıyla bir denklem elde etmişlerdir. Bu denklem sadece elastik sınırlar içerisinde deney sonuçları ile kontrol edilmiş ve oldukça uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Klingner ve Bertero (1976; 1978), üç katlı ve bir açıklıklı, 1/3 ölçekli deney çerçeveleri tersinir yükler altında test eden, deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyler yapılırken çerçevenin kolonlarına gerçek bir yapıya benzemesi amacıyla aksenal yük uygulanmıştır. Çalışmada ilki boşluklu tuğla, ikincisi ise betonarme dolgu olmak üzere iki farklı dolgu malzemesi değişken olarak incelenmiştir. Betonarme dolgu duvar, kiriş ve kolonlara eşit aralıklı filiz donatıları ile bağlanmış, dolgunun içine her iki yönde eşit aralıkla donatılar yerleştirilmiştir. Çerçeveler yüklemenin ilk aşamalarında yekpare üretilmiş yüksek bir kiriş gibi davranırken, deneyin ilerleyen aşamalarında uygulanan yükün artırılmasıyla, çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasında ayrılmalar görülmüştür. Ancak bu ayrılmalar köşe bölgelerinde oluşmamaktadır ve bu köşeler arasında diyagonal bir basınç çubuğunun oluştuğu görülmüştür. Deneylerde bahsedilen aşamaların geçilmesiyle deney elemanları, çerçeveye diyagonal yönde mafsallar ile bağlı bir çubuk gibi davranışlardır. Köşegenler arası doğrultudaki oluşan beton ezilmeleri sonucu deney elemanlarında önemli oranda yük kaybı oluşmuştur. Bununla beraber dolgu duvar varlığının, çerçeve sisteminin göçme anındaki yanal deplasmanını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Betonarme deney çerçevelerinde dolgu duvar varlığının, yanal dayanımını boş çerçevelere (bare frame) göre 4,5 kat arttırdığı, dolgu elemanların göreceli kat deplasmanını sınırladığı ve enerji tüketim kapasitesini de önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Deneyler sonucu elde edilen sonuçlar kullanılarak, analitik bir model oluşturup bilgisayar programı yazmışlardır.

Liauw (1979; 1980), 4 katlı, tek açıklıklı ve dolgulu çerçevelerde dinamik yükleme altında, duvarda bulunan boşlukların sistem dayanımını ve rijitliği üzerindeki katkılarını

araştırmışlardır. Çalışmada değişken olarak, bağlantı elemanı varlığı, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı detayı ve çerçevenin basıklık oranı dikkate alınmıştır. Bağlantı elemanı oluşundan bağımsız olarak tüm dolgular diyagonal basınç çubuğundaki ezilme sonucu göçmüşlerdir. Bağlantısız dolgu duvarlarda, kirişte eğilme kırılması ile göçme olurken, bağlantılı olan dolgularda ise yine kirişte oluşan kesme kırılması sonucu göçme görülmüştür. Çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı elemanlarının, boşluklu ve boşluksuz deney elemanlarında rijitlik ve dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca boşluğun sistemdeki rijitlik ve dayanımı düşürdüğü sonucu elde edilmiştir.

Yoichi ve Toneo (1980), çalışmalarında 13 adet tek açıklıklı ve 1 katlı, 1/3 ölçekli, yapıların dayanımını, sünekliğini ve enerji tüketim kapasitesini arttırabilmek amacıyla çeşitli dolgular ile güçlendirilen betonarme çerçeveleri tersinir yükleme altında test etmişlerdir. Güçlendirme yöntemi olarak; öncelikle tam dolu dolgu duvar, sonrasında boşluklu ve boşluksuz önüretimli paneller, deney çerçevesi içerisine ekstra çelik çerçeve ve çelik kafes kiriş yerleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Güçlendirilen deney elemanları çerçeve sistem ve yekpare perde duvar arasında bir davranış sergilemiştir. Panelle güçlendirme ve yekpare perde duvar varlığı, dayanımı boş çerçevelere göre 3~4 kat artırmıştır. Çelik çerçeve ve çelik kafes kiriş ile güçlendirilen elemanlar, sünek bir davranış sergilemiştir. Tüm deney elemanlarının rijitlik ve dayanımı elastik olmayan analitik çerçeve modelleri kullanılarak belirlenmiştir.

Liauw ve Kwan (1984; 1985), yaptıkları çalışmada yatay yük etkisi altındaki sistemde, dolgu duvar yerine diyagonal yönde eşdeğer basınç çubuğu kullanılması durumunda, çubuk genişlik değerini hesaplayan bir bağlantı geliştirilmiştir. Bununla beraber çerçeveleli tüm sistemi beraber modelleme konusunda sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucu vardıkları en önemli bulgu; çerçevenin maksimum rijitlikte ve dolgu duvar rijitliğinin çok düşük olduğu koşullarda dahi, diyagonal basınç çubuğunun genişlik değerinin bir üst sınırının var olduğudur.

Decanini ve Fantin (1986), yatay yük etkisi altındaki sistemde, dolgu duvar yerine diyagonal yönde eşdeğer basınç çubuğu kullanılması durumunda, çubuk genişlik değerini dolgu duvarların çatlamış olup olmamasına ve rijitlik değerine bağlı olarak hesaplayan denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler daha sonraları Crisafulli (1997) tarafından

düzenlenerek çatlamış ve çatlamamış dolgu duvar panelli çerçeve sistemler için yeni denklemler önerilmiştir.

Govindan vd. (1986), 7 katlı, tek açıklıklı dolgu duvarlara sahip betonarme çerçeveyle dolgu duvarsız çıplak betonarme çerçevenin deprem davranışlarını tekrarlı yükler altında yapılan deneysel çalışmalarda incelemiştir. Çalışmada dolgu duvarların yatay yük kapasitesine, yatay rijitliğe, sünekliğe ve enerji yutma kapasitesine katkıları irdelenmiştir. Govindan, yatay rijitliği en üst katta birim yer değiştirme oluşması için gereken kuvvet olarak tanımlamıştır. Yanal yüklemenin başlangıç aşamalarında, dolgu duvarlı betonarme çerçevenin çıplak çerçeveden 5 kat daha rijit olduğunu ve yatay yükler altında dolgu duvarlı çerçevenin rijitliğinin duvarsız çerçevenin 2.67 katı olduğunu belirlemişlerdir. Çıplak çerçevenin, dolgu duvarlı çerçeveye oranla çok daha sünek bir davranış sergilediği görülürken; dolgu duvarlı çerçevelerin çıplak çerçevelere göre daha büyük taban kesme kuvvetine (base shear) maruz kaldığı saptanmıştır.

Altın vd. (1990; 1992), çalışmalarında betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucunda davranış ve dayanımda meydana gelen değişimleri incelemek üzere, benzer çalışmalardan da yola çıkarak, 4 adet, 2 katlı ve tek açıklığa sahip üçte bir oranında küçük üretilmiş çerçeveler üzerinde testler yürütmüşlerdir. Deneyde kullanılan betonarme dolgu duvarlar hasarsız boş çerçeveye eklenmek suretiyle dolgu duvarlar üzerinde güçlendirme yapılmıştır. Ardından çerçeve beton basınç dayanımı, donatı yerleşimleri, çerçeve-dolgu yük aktarımları ve kolonların eğilme kapasiteleri, tersinir yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasında yeterli bütünleşmenin sağlanması durumunda deney düzeneğine ait rijitlik ve dayanımda önemli artışların meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca çerçeve-betonarme dolgu birleşiminde yük aktarımını sağlayan donatı detayının dayanıma ve sünekliğe belirgin ölçüde katkısı olduğu ortaya konulmuştur. Kolon eğilme kapasitesinde ve eksenel yükteki artış, davranışa olumlu yönde katkı vermiş ve deney elemanının dayanımının artmasını sağlamıştır. Genel olarak çerçeve-betonarme dolgu birleşiminde deney elemanlarını birbirine sabitleyerek yük aktarma rolünü üstlenen donatı detaylandırmasının çerçevenin güçlendirilmesi hususunda en etkin unsur olduğu sonucuna da ulaşılmıştır.

Smith ve Coull (1991), dolgu duvar panel modelleme tekniğini, teorik ve uygulamalı çalışmalar sonucunda geliştirmişlerdir. Daha önceki çalışmalarda üzerinde fazlasıyla durulan eşdeğer diyagonal sanal basınç çubuğu genişliğinin yanısıra mevcut teorilere ilave olarak etkili kalınlık değerinin de hesaplanmasını önermişlerdir. Sonrasında etkili basınç çubuğunun enkesit alanını bulmak üzere diyagonal sanal basınç çubuğunun etkin genişlik ve etkin kalınlık değerlerini çarparak buradan hareketle dolgu duvarlı çerçevelerin yaklaşık yatay yer değiştirme hesaplamalarını yapmışlardır. Buldukları yatay yer değiştirme değerlerinin gerçeğe yakın olmasını sağlamak adına eşdeğer basınç çubuğuna ait elastisite modülünün  $7 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$  alınmasının uygun olacağı öne sürmüşlerdir. Bu yöntemle göre etkili basınç çubuğu enkesit alanı, dolgu duvar panelinin diyagonal uzunluğunun onda biri olarak önerilmektedir.

Paulay ve Priestley (1992), yürütmüş oldukları deneysel çalışmalar sonucunda, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin maksimum taşıyabileceği yükün yarısının etki ettirilmesi durumunda, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliğinin, dolgu duvar diyagonal uzunluğunun dörtte biri alınmasıyla, çerçeve sisteminin yeterli şekilde temsil edildiğini ortaya koymuşlardır.

Calderoni vd. (1995), düzensiz yapıların deprem karşısında davranışı konusunda çalışmış, bu husustaki yönetmelik maddelerinin yeniden değerlendirilmesi hakkında öneriler getirmişlerdir. Yürüttüğü çalışmalarda burulma düzensizliği katsayısını ele almış ve bu katsayıyı etkileyen parametreleri incelemişlerdir.

Mehrabi vd. (1996), çalışmasında iki tür çerçeveyi inceleyerek, dolgu duvar panellerinin rüzgar yüklerine ve güçlü deprem kuvvetlerine karşı etkili parametrelerini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla özel tasarlanmış, 12 adet, tek katlı ve bir açıklıklı çerçeve örnekleri test edilerek panellerin boyut, yüklerin dağılımı ve çerçeve-dolgu duvar etkileşim değişkenlerinin dayanıma olan etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin dolgu duvar bulunmayan çerçevelere oranla en az 2 kat daha yüksek dayanım gösterdiğini öne sürmüşlerdir. Bununla beraber kompozit çerçevelerde düşey yüklerin artışı sonucu yatay yük taşıma kapasitelerinde de %25'e varan artışların meydana gelebileceğini ortaya koymuşlardır.

Negro ve Verzeletti (1996), tam ölçekli 4 katlı dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız 2 adet çerçeve üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında en üst kat maksimum deplasman değerlerini karşılaştırmış ve bunun sonucunda dolgu duvarlı deney numunesinin 2.6 kat daha az deplasman gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Aynı şekilde sistem rijitliği de kıyaslanarak dolgu duvarların çerçeveye önemli ölçüde katkı sağladıkları gösterilmiştir. Bununla beraber, yürüttükleri bir diğer deneyde de Eurocode 2 ve 8'e göre boyutlandırmaları yapılmış olan gerçek ölçekli, 4 katlı, her 2 yönde 2 açıklığı bulunan 3 boyutlu betonarme binaları dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve yalnız zemin katı hariç dolgu duvarlı yani yumuşak kat oluşacak şekilde 3 ayrı tipte inşa etmişlerdir. European Association of Structural Mechanics Laboratories (EASML)'de test edilen deney elemanları yatay yük etkisine maruz bırakılarak titreşim frekansı, yatay yer değiştirme, kolon kiriş dönmeleri, kat ötelenmeleri, enerji sönümlenme kapasiteleri ve kolonlarda oluşan taban kesme kuvvetleri bakımından karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Böylece dolgu duvarların çerçevelerde bulunmasının etkileri ve yerleşimleri bakımından gösterdikleri farklı davranış şekilleri araştırılmıştır.

Buonopane ve White (1999), çalışmalarında 2 katlı 2 açıklıklı gerçek ölçülerin yarısında imal edilmiş betonarme çerçeveyi, deprem yükleri karşısında dolgu duvar etkilerini gözlemlemek adına dinamik yüklemelerle test etmişlerdir. Ayrıca dolgu duvar üzerinde pencere boşluğu bırakarak oluşabilecek farklı davranış türlerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda yola çıkarak betonarme çerçeve sistemlerde rijitlik, yatay yer değiştirme ve dayanım kapasiteleri tahminine yönelik analitik yaklaşımlar da geliştirmişlerdir.

Canbay (2001), çalışmasında yapılarda uygulanan onarım sonucunda çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasındaki etkileşimi araştırmak adına 3 açıklığa sahip 2 katlı bir deney elemanını teste tabi tutmuştur. Bir takım deneylerle kalibre edilmiş özel bir ölçüm aracı geliştirilerek dolgu duvarsız açıklıklardaki kolon altlarına verilen yatay yüklerin oluşturduğu kesit tesirlerini gözlemlemiştir. Geliştirilen özel ölçüm aracı sayesinde kolonlar ile çerçeveye sonradan eklenen betonarme dolgu duvar arasındaki etkileşim hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Söz konusu bilgilere göre, kolonda henüz akma noktasına gelmemiş donatıya sahip çerçevenin dolgu duvar ile güçlendirilmesi ile yeni halde yatay yükün yaklaşık %90'ını taşımaya devam edebildiği gözlenmiştir. Ayrıca dolgu

duvarı bulunmayan çerçeveye oranla, betonarme dolgu duvar eklenmiş çerçevelerde rijitliğin yaklaşık 15 kat daha yüksek olduğu, aynı şekilde yatay yük taşıma kapasitesinin de 4 kat arttığı görülmüştür. 40φ filiz boyuna sahip iç kolonlarda görülen başlıca problemler aderans ve sıyrılma ile ilgili olmuştur. Deneysel çalışmaların yanısıra analitik olarak yapılan çalışmalarda hasarsız çerçeve kolonlarının moment-eğrilik ilişkisinin doğru biçimde bulunabildiği yaklaşımlar ortaya koymuştur. Ancak bu yaklaşımlar hasar görmüş kolonlar için uygun sonuç vermemektedir. problemleri olduğu gözlenmiştir. Deney sonuçları ve analitik analizler arasındaki yaklaşımı etkileyen en önemli değişkenlerin, donatı aderans boyu ve sıyrılma problemleri olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Asteris (2003), 1 katlı, 1 açıklıklı çerçeveden, çok katlı ve çok açıklıklı çerçevelere kadar pek çok çerçeve üzerinde çalışmalar yürütmüştür. Dolgu duvarda yer alan çeşitli boşlukların çerçeve rijitliğini azalttığını ifade ederek, bu etkiyi sonlu elemanlar yöntemi ile araştırmıştır. Çerçeve kolonlarındaki kesme kuvvetinin dolgu duvar varlığında azaldığını ancak yumuşak kat durumunda zemin kattaki dolgusuz çerçevede görülen kesme kuvvetinin, çıplak çerçevelere oranla önemli ölçüde yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Özcebe vd. (2003), yürüttükleri çalışmalar doğrultusunda, deprem etkileri karşısında düşük dayanım gösteren ve süneklik düzeyi düşük binaların dolgu duvar eklenerek onarım güçlendirmesinin sağlanmasını araştırmak adına tek katlı, 2 açıklıklı ve gerçek boyutlarının üçte biri ölçeğindeki deney numuneleri üzerinde analizler yapmıştır. Analizlerde kullanılan çerçeveler çeşitli yetersizliklere sahip olup, önce boş ardından, dolgu duvarlı şekilde deprem benzeri yanal yük etkisi altında gözlenmiştir. Deneyler sonucunda dolgu duvar güçlendirmesinin çerçevenin rijitlik ve yanal dayanımına önemli katkı sağladığı görülmüştür.

Korkmaz (2004), gerçek boyutlarının yarısı ölçüsünde çelik çerçeveler kullanarak tuğla dolgu duvarların deprem karşısındaki katkısını araştırmıştır. Deneysel olarak yürütülen bu çalışmada boş çerçeve, tam tuğla dolgulu çerçeve, 3/4, 2/4 ve 1/4 oranında dolgulu çerçeve, kısmi bant pencere boşlukları da içerecek şekilde yatay tersinir, tekrarlanır yüklere maruz bırakılmıştır.

Çağatay (2004), çalışmasında 27 Haziran 1998 tarihinde meydana gelen Adana-Ceyhan depreminde kısa kolon etkisi ile hasar gören bir sanayi yapısında, dolgu duvarsız ve değişik oranlarda dolgu duvarlı olması durumlarına göre boşluk oranının kesme kuvvetine etkisini incelemiştir. Yapıda kısa kolon oluşumuna sebebiyet veren duvar etkisini ve duvar yüksekliği-kesme kuvveti ilişkisini farklı dolgu duvar yükseklikleri kullanarak incelemiş, açıklık sayısının etkilerini görmek bakımından da tek açıklıklı bir yapıdan 5 açıklığa sahip bir yapıya kadar çok sayıda çerçeve üzerinde araştırmalarını gerçekleştirmiştir. SAP 2000 programı kullanarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem analizleri yapmış, açıklık sayısının ve duvar üzerindeki boş bölgelerin dolgu duvarla komşu kolonlarda kesme kuvvetini oldukça etkilediği sonucuna varmıştır.

Kaltakçı ve Arslan (2005), yaptıkları çalışma kapsamında, çapraz elemanlar kullanarak modelledikleri dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin kapasite eğrilerine olan etkisini incelemiştir. Doğrusal olmaya sistem hesabını statik yükler altında yaparak, olabilecek mafsallaşma bölgeleri tespit edilmiş ve yüklemelerin zarf eğrileri çıkarılmıştır. Böylece, yapının yatay rijitliğine önemli katkısı olduğu bilinen dolgu duvarların, yapının sünekli düzeyine hangi ölçüde etki yaptığı araştırılmıştır.

İrtem vd. (2005), TDY'ye uygun dizayn edilmiş betonarme binaların performansına dolgu duvarların etkisini belirleyebilmek amacıyla dolgu duvar bulunmayan çerçeve sistem ile dolgu duvarlı çerçeveye, sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay deprem yükleri uygulamak süratiyle malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriyi kullanarak analizler yapmışlardır. Bu amaçla, düzensizliği bulunmayan betonarme bir bina, kapasite spektrum yöntemi ve deplasman katsayıları yöntemi ile analiz edilerek binaya ait performans seviyesi belirlenmiş, yapı davranışları karşılaştırılmıştır. FEMA 356 ve ATC40 kriter kabul edilerek bina performansları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak dolgu duvarlı çerçevelerin bina performansını arttırdığı ve dolgu duvar yerleşiminin de bu konuda etkisi olduğu bulunmuştur. Bununla beraber, üç katlı betonarme yapılar araştırılarak dolgu duvarların betonarme yapı davranışına katkısı incelenmiştir. Çerçeve sistemlerde dolgu duvarların bina dayanımı hesaplarında gözönüne alınmasıyla beraber TDY'de mevcut performans hedeflerinin iyi düzeyde gerçekleştiği, yapı davranışının olumlu yönde değiştiği, yapı performansı ve yapı rijitliği bakımından da başlangıç düzeylerine kıyasla önemli artışların meydana geldiği gözlenmiştir.



Ersoy (2007), tarafından yapılan çalışmada eleman düzeyindeki güçlendirmeden sistem iyileştirmesine kadar geniş kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada sistem iyileştirmesi, çerçevelerden oluşan yetersiz veya kusurlu bir yanal yük taşıyıcı sistemin yerine, rijit düşey elemanlardan oluşan yeni bir sistem oluşturmak olarak tanımlanmıştır. Sistem iyileştirmesinde en yaygın olarak kullanılan teknik, dolgulu çerçeve yöntemi olarak öne sürülmüştür. Çalışma kapsamında ODTÜ’de uzun yıllardır sürdürülmekte olan dolgulu çerçeve yöntemini geliştirmeye yönelik deneysel araştırmalar anlatılmakta ardından ülkemizde gerçekleşmiş depremlerden sonra uygulanan önleyici uygulamalar ve deprem sonrası çıkarımlar aktarılmıştır. Ayrıca, son yıllarda geliştirilen, taşıyıcı olmayan mevcut bölme ve dolgu duvarların onarım ve güçlendirilmesi sonucu oluşturulan bir sistem iyileştirilmesi hakkında bilgi verilmekte ve bu sistemle ilgili deneysel araştırmalar incelenmektedir.

Dolsek ve Fajfar (2008), yaptıkları çalışmada 4 katlı betonarme bir çerçevenin dolgu duvarsız, boşluksuz dolgu duvarlı ve boşluklu dolgu duvarlı olacak şekilde farklı modellerinin deprem yükleri karşısındaki davranışını incelemek üzere doğrusal olmayan yöntemi kullanmışlardır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre dolgu duvar varlığı ve varolan dolgu duvardaki boşluklu durumlar, yapının deprem etkisi altındaki davranışını önemli ölçüde değiştirmiş, yapının genelindeki hasar dağılımını da tamamen değiştirmiştir.

Ellul ve D’Ayala (2008), dolgulu çerçevelerin deprem yükleri karşısındaki etkilerini doğrusal olmayan çözümler üzerinde çalışarak ile irdelemişlerdir. Çalışmalarında, 5 kata ve 3 açıklığa sahip 4 adet çerçeve modeli kullanarak çeşitli analizlerden geçirmişlerdir. Öncelikle dolgu duvarsız, tam dolgu duvarlı ve düşeyde dolgu duvarsız çerçevelere uygulanan bu analizler ikinci aşamada dolgu duvarsız, tam dolgu duvarlı ve farklı katlarında dolgu duvarlı çerçeveler ile sürdürülmüştür. Analizlerini ilk olarak, boş çerçeveli, tam dolgulu ve düşeyde dolgusuz çerçevelere sahip üç model üzerinde yapmışlardır. Analizlerin ikinci aşamasında ise boş çerçeveli, tam dolgulu ve farklı katlarında dolgusuz çerçevelere sahip dört adet model üzerinde yapmışlardır. Sonraki aşamada ise dolgu duvarsız ve tam dolgu duvarlı modellerin, değişik kapı ve pencere boşlukları bulunan dolgu duvarlı 5 adet çerçeve modeli ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Bütün analizler ve karşılaştırmalar sonucunda dolgu duvarlarda oluşturulan kapı ve pencere boşluklarının hem geometrisinin hem de dolgu duvar üzerindeki yerleşimlerinin

çerçevelerin yanal yük etkisi altındaki davranışında etkili olduğu ve genel olarak dayanım ve rijitliği de olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca zemin kat çerçevelerinde dolgu duvar kullanılması durumunda oluşan yumuşak kat davranışına sebep olduğu, tam dolgulu çerçeveler de ise performansın oldukça arttığı görülmüştür.

Choi vd. (2008), 6 adet, 1/2 ölçekli tek katlı, tek açıklıklı deney çerçevelerini; boşluklu hasarlı duvarlar ve güçlendirilmiş duvarların deprem kapasitelerini belirlemek amacıyla tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi ve kolon eksenel yük etkisi altında test etmişlerdir. Test edilen deney çerçevelerinden biri boşluksuz perde duvara sahipken, diğerleri ise perde duvarın, alt merkezinde olacak şekilde 90x105 cm boyutlarında boşluğa (%23'lük boşluk oranına) sahiptir. Deneyler sonucunda, boşluk varlığı ve uygulanan güçlendirme işlemlerinin, çerçevelerin deprem davranışına olan etkilerini değerlendirmek amacıyla, yük taşıma kapasiteleri, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme karakteristikleri incelenmiştir.

Baran vd. (2010), yaptıkları çalışmalarında, Türkiye'deki binaların genelinde görülen hatalara sahip (düşük beton dayanımı, yetersiz donatı ve işçilik vb.) 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı dört adet deney çerçevesini; tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmiş ve boşluklu tuğla dolgulu duvarların yüksek dayanımlı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmesini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda bu güçlendirme yönteminin varolan yapı stokunun depreme karşı güçlendirilmesinde ekonomik, kolay ve etkili bir yöntem olduğu, beton panellerle güçlendirilen elemanların yapısal performanslarının, yerinde dökme betonarme dolgulu elemanların performanslarının oldukça yakın olduğunu görmüşlerdir.

Sevil vd. (2010), iki katlı, tek açıklıklı sıvalı ve sıvasız tuğla dolgu duvara sahip betonarme çerçevelerde, deprem yükleri karşısında dolgu duvarlı çerçevelerin göstereceği davranış durumlarını incelemek üzere, düşey ve yatay yükler altında deneysel çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre seçilen parametrelerin deney elemanlarının dayanım ve davranışlarına olan etkileri araştırılmıştır. Deneysel ve analitik çözümler karşılaştırılmıştır.

Wang vd. (2010), yaptıkları çalışmalarında, 2/5 ölçekli, 3 katlı, tek açıklıklı deney çerçeveleri kullanarak; betonarme duvarlarda var olan boşlukların, yapıların deprem davranışına olan etkilerini yatay yük ve düşey yük etkisi altında deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Deneylerde incelenen başlıca parametre, dolgu duvarda bulunan boşlukların yerleri olmuştur. Boşluk boyutları, birinci ve ikinci katta 75x100 cm, üçüncü katta ise 75x25 cm olacak şekilde; numunelerin birinde boşluklar duvar merkezinde diğerinde ise kolonlara bitişik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada, duvar merkezinde boşluk bırakılan çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, kolon kenarında boşluklu numuneye göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Duvardaki boşluklar kolona bitişik olan çerçevede, duvar davranışının yükleme yönüne bağlı olduğu görülmüştür. Bununla beraber deney çerçevelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin de yükleme yönünde farklılık gösterdiği anlaşılmıştır.

Kaymak ve Tuna (2011), tarafından yapılan çalışmada, 2 katlı 2 açıklıklı çelik çerçeveler dizayn edilmiş; dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereci duvarlı olmak üzere toplam 7 değişik model oluşturulmuştur. Bu çalışmada ana amaç; dolgu duvar varlığının ve bant penceresinin yatay yükler (monotonik yükler) altındaki çelik çerçeve deprem davranışı üzerindeki pozitif veya negatif (yumuşak kat ve bant pencereci modellerde kısa kolon etkileri vb.) tüm etkilerin araştırılmasıdır. Çerçevelerde yerleştirilen simetrik ve asimetrik dolgu duvar varlığının, tüm çerçeveye ait süneklik, enerji tüketimi, yatay deplasman ve taban kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çankaya ve Dönmez (2011), tarafından yapılan çalışmada, tek açıklıklı çerçeveler tekrarlı tersinir yükler altında test edilmiştir. Çerçevelere kat seviyelerinden uygulanan yatay yüklere ters üçgen yükleme uygulanmıştır. Böylece önceden hedeflenen deplasman ve ötelenme değerlerine ulaşması istenilmiştir. Dolgu duvar varlığının betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım ve doğal salınım periyotlarına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada incelenecek ana parametreler dolgu duvarın varlığı ile çerçeve elemanlarına ait donatı detayıdır. Çerçevelerin dinamik karakteristiklerinin saptanması amacıyla her bir hasar seviyesinde işaretlemeler yapılmıştır. Yapılan bu dinamik ölçümler ile doğal frekansların artan hasarlarla birlikte azaldığı görülmüştür. Donatı detayı değişimiyle deney çerçevelerinin sünek veya gevrek davranışı irdelenmiş ve dolgu duvarlı çerçevelerde rijitlik ve yanal yük dayanımlarının çıplak çerçevelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Kaplan vd. (2011), varolan betonarme yapıların, düzlem dışı betonarme duvar kullanılarak depreme karşı güçlendirmesi konusunda hem deneysel hem de analitik çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla 2 katlı, tek açıklıklı 1/3 ölçekli, biri boş çerçeveli referans numune diğeri ise orta açıklıkta düzlem dışı betonarme duvar ile güçlendirilen 2 adet deney elemanı hazırlanmış ve tersinir-tekrarlanır yanal yükler altında test etmişlerdir. Depremi andıran yanal yükleme sadece üst kiriş seviyesinden uygulanmıştır. Deneylerden elde ettikleri veriler sonuçlara göre çıplak çerçevede yatay yük taşıma kapasitesi 68.7 kN iken, düzlem dışı betonarme duvarla güçlendirilmiş numunede yaklaşık 3.25 kat artarak 223.5 kN olduğu görülmüştür. Bununla beraber düzlem dışı betonarme duvarla güçlendirilmiş çerçevede başlangıç yanal rijitlik oranının, çıplak çerçeveye göre 7 kat arttığı belirlenmiştir.

Korkmaz vd. (2011), sünek olmayan betonarme çerçevelerin dayanımının artırılabilmesi amacıyla yapılan güçlendirme çalışmalarını incelemek üzere, 1/2 ölçekli, 2 katlı ve tek açıklığa sahip düşük beton basınç dayanımına sahip sıkça rastlanan donatı detaylandırma eksikliği de bulunan betonarme deney çerçeveleri üreterek çeşitli deneyler yürütmüşlerdir. Deney elemanlarından birini güçlendirmek için, hasır çelik ve sıva uygulaması ile kaplamışlar, diğeri de tuğla dolgu duvar ile dolgulu hale getirmişlerdir. Ardından tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında deney elemanları test edilmiştir. Deneyler sonucunda DBYBHY 2007’de öngörülen ve güçlendirme çalışmalarında uyguladıkları yöntemin yetersiz beton dayanımına sahip çerçevelerde kullanımının uygun olmadığı görüşüne varmışlardır. Özellikle C10-C15 beton sınıfının altındaki betonlarda ve boyuna donatılarda bindirme boyunun yetersiz olması halinde sözkonusu yöntemin uygulanmaması gerektiği ifade edilmiştir. Böyle durumlarda önce kolonlarda mantolamanın yapılması önerilmekte, aksi halde yatay yük etkisi altında kolon donatılarında sıyrılmaya meydana gelebileceği görülmüştür. Benzer şekilde kolon kiriş birleşimlerinde etriye bulunmaması durumunda güçlendirilmiş dolgu duvarın yanal yük etkileri karşısında katkısının oldukça sınırlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Kurt vd. (2011), yaptıkları çalışmada betonarme çerçevelerde görülen yapısal zayıflıkları içeren, 2 kata ve 3 açıklığa sahip çerçeve sistemlerini Düzce depremi hareketini benzeştiren sürekli pseudo-dinamik yöntem ile analiz etmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım analizleri kullanarak kat deplasmanlarını belirlemişlerdir. Ayrıca

dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde deprem yükleri altında köşegen çatlak oluşumu ile kolonlardaki boyuna donatılarda burkulma hasarları meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

Marius ve Valeriu (2012), uygulamalı ve analitik olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, betonarme çerçeveli dolgu duvarlarda, dikey ve şaşırtmalı olarak bırakılan kapı boşluklarının, yanal deprem yükleri etkisi altında sismik enerji tüketme kapasitesine olan etkilerini irdelenmişlerdir. Bu amaçla kapı boşluklarının yatay açısı parametresini değişken olarak kabul ederek 4 farklı model oluşturmuşlardır. Yatayda yönde 250 mm ve düşey yönde de 500 mm olacak şekilde kapı boşluğu bırakılan modeller 1/4 ölçeğindedir. Söz konusu deney modelleri yatay ve düşey olarak yüklemeye maruz bırakılmış, yapılan testler sonucunda da analitik modellerle karşılaştırılmıştır. Böylece uygulama modeli ve analitik model karşılaştırmaları ile yatay yük-yanal yer değiştirme ilişkisi ve enerji sönmeme kapasitesi bakımından birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Deneyler ve analitik hesaplamalar sonucu, boşluk bulunan dolgu duvarlı modeller arasında düşey boşluklu olan modellerin karşılaştırılan parametreler içerisinde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Yakut vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların bina deprem davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak incelenmiştir. Ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan yaklaşık 28 adet betonarme bina üç boyutlu olarak SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Yapılan itme analizi sonucunda binaların kapasite eğrileri elde edilmiştir. Her iki ana doğrultuda yapılan analizlerde dolgu duvarlı ve duvarsız modeller kullanılmıştır. Dolgu duvarlar eşdeğer çapraz çubuk elemanları ile literatürdeki öneriler dikkate alınarak modellenmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile bina akma taban kesme kuvveti, bina periyodu ve bina rijitliğindeki değişimler dolgu duvar alanına bağlı olarak irdelenmiştir.

Sayed vd. (2014), yaptıkları çalışmada, yüksek dayanımlı betonla üretilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, tersinir tekrarlanır yükler altında davranışını ve sünekliğini belirlemişlerdir. 1/2 ölçekli, 4 farklı deney çerçevesi oluşturulmuş ve dolgu duvar kalınlığı ile tuğla türü deney parametreleri olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kırmızı tuğla olarak adlandırılan dolgu duvar çeşidinde, yanal yük dayanımının referans

çerçevesine göre sırasıyla %184, %61 ve %99 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Bununla enerji yutma kapasitelerinde %226, %68 ve %92 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir.

Genel anlamda yapısal sistemin rijitliğinin ve sismik yükler altında sünekliğin belirlenmesinde dolgu duvarların rolünün önemi gün geçtikçe daha iyi anlaşılmaktadır. Caveleri ve Trapani (2014), yaptıkları çalışmada makro modelleme ilkelerini dikkate almışlardır. Bu amaçla dolgu duvarların yerine eşdeğer basınç çubukları modelini oluşturmuş, multi-lineer plastik link elemanları kullanarak, örnek sistemler üzerinde doğrusal ve doğrusal-olmayan analiz yapmışlardır. Analizlere referans olması amacıyla tek katlı tek açıklı, tamamen dolgu duvarlı çerçeveler yanal yükler altında test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda eşdeğer basınç çubuğu modeli, betonarme çerçevelerin yanal yükler altındaki davranışını modellemede yeterli ve kabul edilebilir bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Caliò ve Pantò (2014), çalışmalarında dolgu duvarlara sahip betonarme çerçevelerde, makro-modelleme yaklaşımını irdelemişlerdir. Dolgu duvarlar, düzlem makro elemanı olarak tanımlanırken, betonarme çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasındaki etkileşim, lumped plastisite olarak kabul edilmiştir. Yaklaşımın geçerliliğini belirlemek üzere; literatürde varolan deney sonuçları ile kurulan yapısal model sonuçları doğrusal olmayan analizler yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen hesaplama yönteminin, dolgu duvarlara sahip betonarme çerçevelerin dizaynı veya durum değerlendirmesi açısından kullanılabilir sayısal bir çözümlene yöntemi olduğu saptanmıştır.

Jiang vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem etkisi altındaki davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla birebir ölçekli dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerinde çevrim yükleri uygulayarak deneyler gerçekleştirmişlerdir.

Lia vd. (2016), yaptıkları çalışmada betonarme çerçevelerin aşamalı göçmesine dolgu duvarların etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla Çin Deprem Yönetmeliği şartlarına uygun olarak üretilen; 1/3 ölçekli, 2 katlı, 4 açıklıklı ve ikinci katları tamamen dolgu duvarlı betonarme çerçeveler test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre; maksimum mesnet

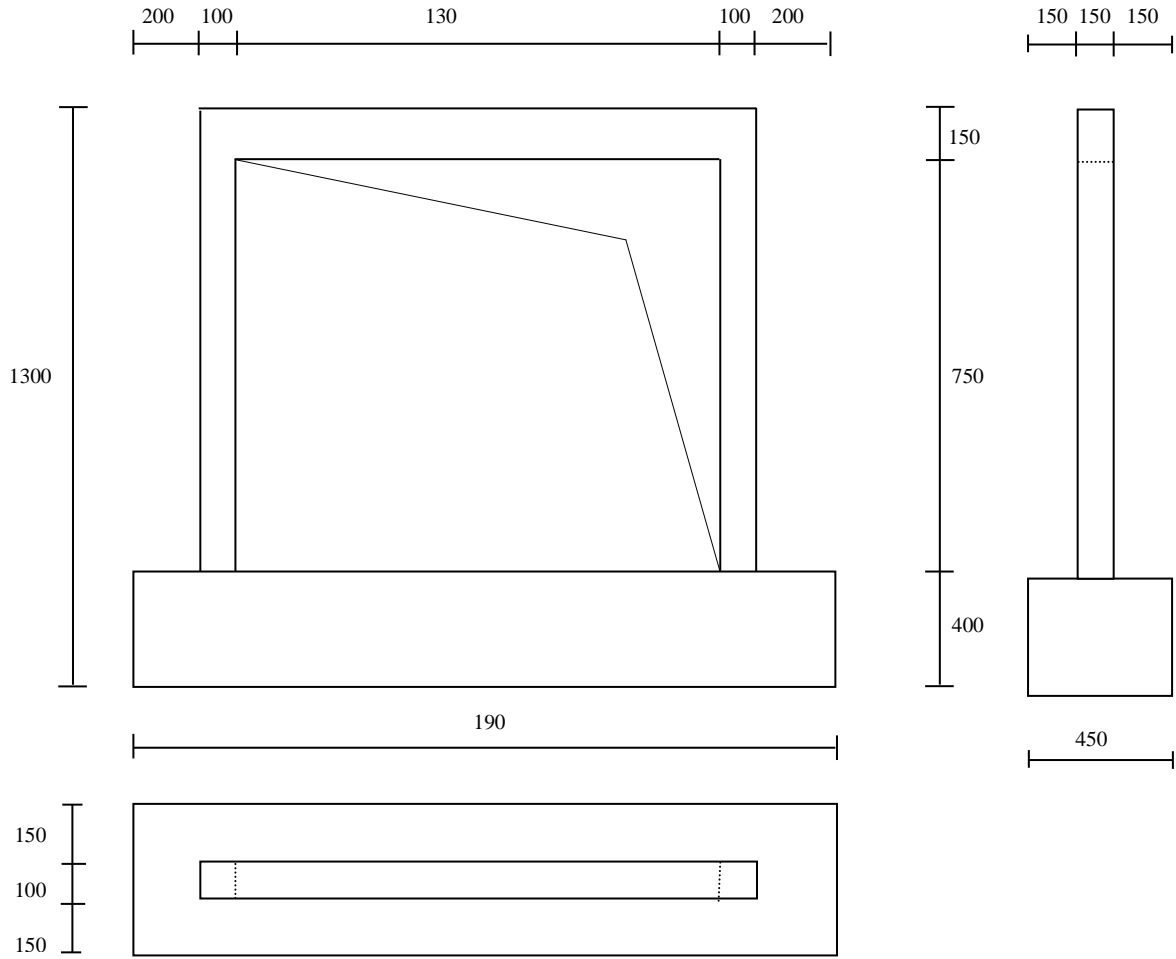
reaksiyonları ve çerçevelerin göçme modu, dolgu duvarda oluşan büyük çatlaklarla ilişkilidir. Aşamalı göçme adımlarında, dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubukları şeklinde davranmış böylece yapının rijitlik ve dayanımını artırırken, kirişlerde sünekliğin azalmasına dolayısıyla da yapının göçme mekanizmasının değişmesine neden olmuştur.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında tezin yazarı tarafından üretilmiş deney çerçevesi depremi andırır şekilde yatay tersinir-tekrarlanır yükler altında yük ve deplasman kontrollü olarak, bilgisayar destekli veri okuma sistemleri kullanılarak test edilmiştir. Deney sırasında detayları ileride verilecek şekilde yük ve yerdeğiştirme okumaları yapılmış ve kaydedilmiştir.

#### 3.1. Deney Elemanlarının Genel Tanıtımı

Deneyde kullanılan yaklaşık 1/3 ölçekli tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçeveye ait çizim Şekil 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Deney elemanı boyutları (Ölçüler mm. dir)



Deney çerçevesi sabit düşey yük ile tersinir ve giderek artan depremi benzeştiren yatay yük altında denenmekte ve dolgu duvar varlığının, betonarme deney çerçevesi üzerindeki davranış ve dayanım üzerindeki etkileri incelenmektedir.

Tek katlı, tek açıklıklı, boyuna donatısı sürekli ve düz, etriyeleri 90° bükümlü diğer bir deyişle ülkemizde görülen yaygın uygulama hatalarını içeren deney elemanının donatıları hazırlanıp yapılan beton dökümleri aşağıda görülmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deney elemanı beton dökümü ve silindir numuneler

Çerçeve dökümlerinde istenilen beton sınıfı, Türkiye’de varolan yapılardaki ortalama beton sınıfı olan C10~C12’dir. Beton karışımlarında kullanılan çimento, agrega, kum ve su ağırlıkça oranları Çizelge 3.1.’de verilmektedir. Beton karışımları her biri 390 kg olacak şekilde toplamda 1170 kg olarak 3 seferde dökülmüştür. Beton dökümü sırasında 10 adet, 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numuneler alınmaktadır. Alınan bu numuneler çerçeve elemanı ile aynı koşullarda saklanmaktadır. Silindir numuneler 7. gün, 14. gün, 21. gün, 28. gün ve deney gününde kırılmıştır. Deney elemanına ait silindirlerin deney günü yapılan basınç dayanım testi sonucunda ortalama 10,1 MPa beton dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan beton için karışım oranları

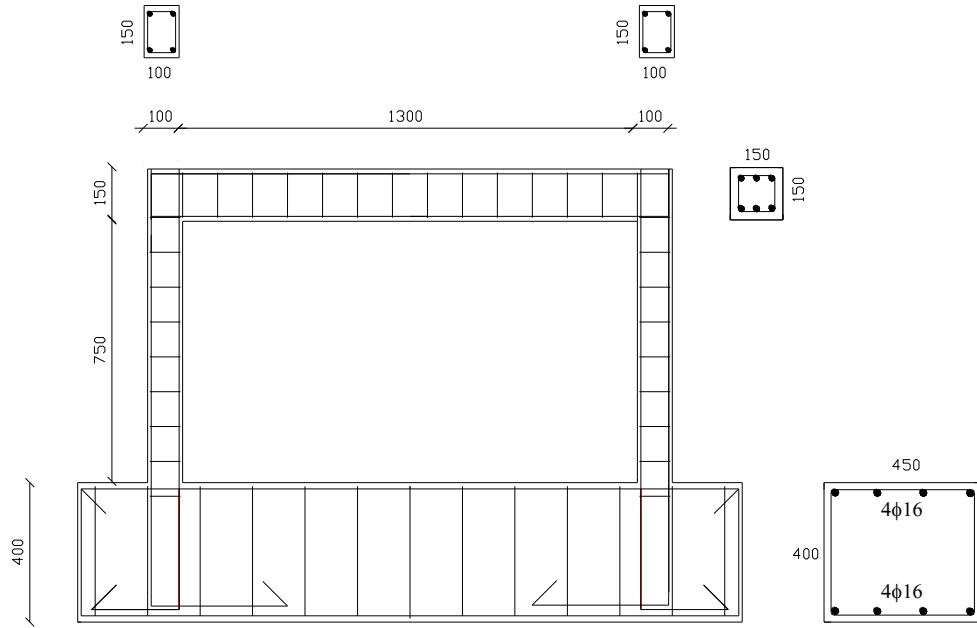
Malzeme	Ağırlık (%)	Ağırlık (kg)
0-3 agrega	19	74,1
3-7 agrega	38	148,2
7-15 agrega	20	78
Çimento	12	46,8
Su	11	42,9

Çerçeve kolon ve kiriş boyuna donatıları  $\phi 8$  düz, kolon-kiriş etriyeleri  $\phi 4$ , takviye teli, temel kirişi boyuna donatısı  $\phi 16$  nervürlü, temel kirişi etriyeleri  $\phi 8$  nervürlüdür. Tüm donatılardan 40 cm boyunda üçer adet numune kesilmiş ve malzeme laboratuvarında çekme deneyi uygulanmıştır. Donatıların ortalama akma ve kopma dayanımları ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

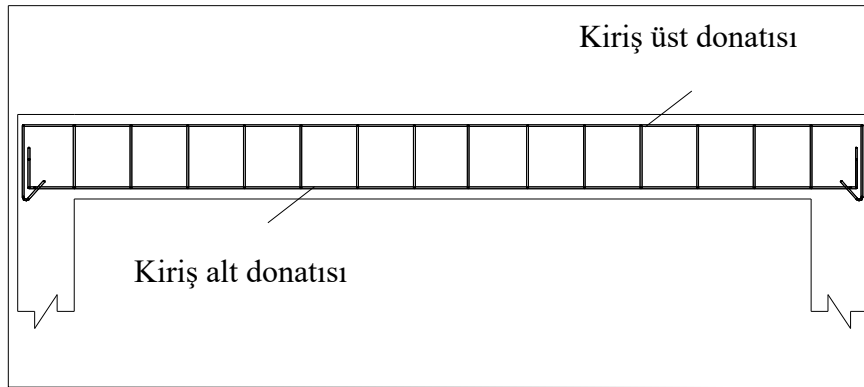
Çizelge 3.2. Çerçeve donatılarının özellikleri

	Donatı	Akma Dayanımı; $f_y$ (MPa)	Kopma Dayanımı; $f_u$ (MPa)	Uzama (%)
S220	$\phi 4$ Düz	281	418	33
	$\phi 8$ Düz	367	500	27
S420	$\phi 8$ Nervürlü	525	722	18
	$\phi 16$ Nervürlü	428	667	24

Çerçeve için donatı planı Şekil 3.3 ve kiriş için boyuna donatı detayı Şekil 3.4’te verilmiştir.



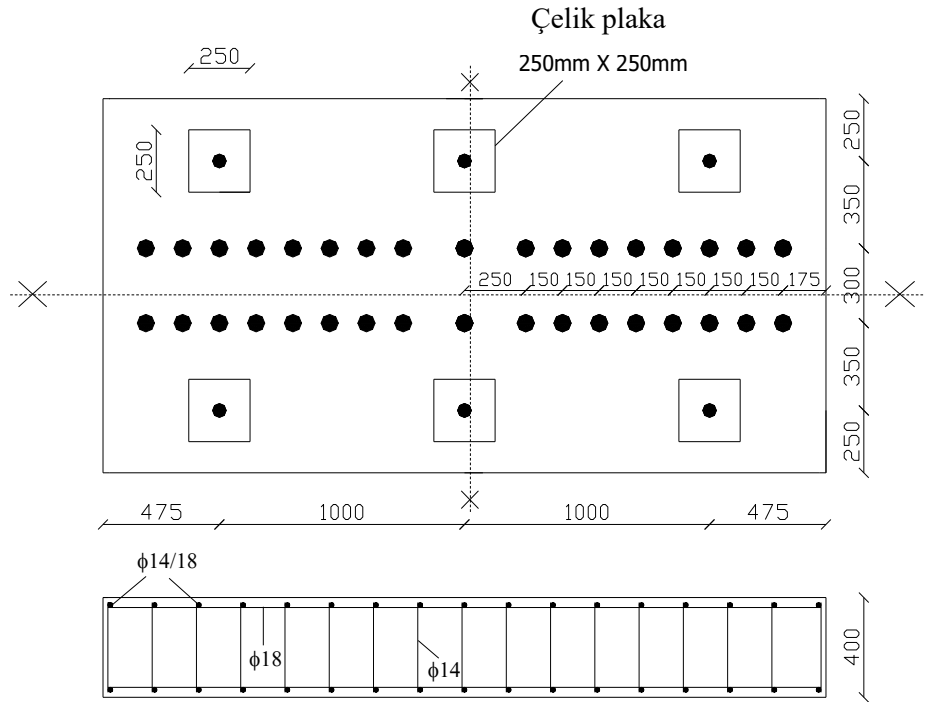
Şekil 3.3. Çerçeveye ait donatı planı



Şekil 3.4. Kiriş boyuna donatı detayı

Deney elemanları betonarme rijit bir temel üzerinde ankastre bağlantılı olarak temelle birlikte beton dökümü yapılarak üretilmişlerdir. Güçlü döşeme üzerindeki delikler arası uzaklık her iki yönde 1 m. şeklinde varolduğundan deney elemanlarının temel bölümleri bu uzaklıklara uygun olacak şekilde; 2,95 m. uzunluk, 1,5 m. genişlik ve 40 cm yüksekliğinde üretilmiştir. Deney elemanlarının temel bölümü güçlü döşemeye 6 değişik noktadan, 50 mm. çapında çelik bulonlar ve 60 mm. çapında çelik boru elemanları kullanılarak bağlanmıştır.

Montaj sırasında temel bölümünde çatlaklar oluşmasını ve deney elemanının bu bölümünün zarar görmesini engellemek amacıyla bulonların sıkılması işlemi çapraz sırayla yapılmış ve deney sırasında deplasman ve dönme sonuçlarını sağlıklı biçimde elde edebilmek için temelin güçlü döşemeye mümkün olduğunca rijit bir biçimde bağlanması sağlanmıştır (Okuyucu ve Tankut, 2009). Temel dizayn edilirken farklı boyutlardaki deney numunelerine uyacak şekilde boyutlandırılmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla temel üzerinde 34 değişik aparat konulmuş (Duvarcı, 2003), bununla birlikte burada anlatılan deneyde bunların sadece 14 adedi kullanılmıştır. Temel bölümünde boyuna doğrultuda üst ve altta  $\phi 18$  nervürlü donatı kullanılmıştır. Kısa doğrultuda ise temel  $\phi 14$  donatı ile donatılmıştır. Şekil (3.5.)



Şekil 3.5. Temel kirişi donatı detayı (Duvarcı, 2003)

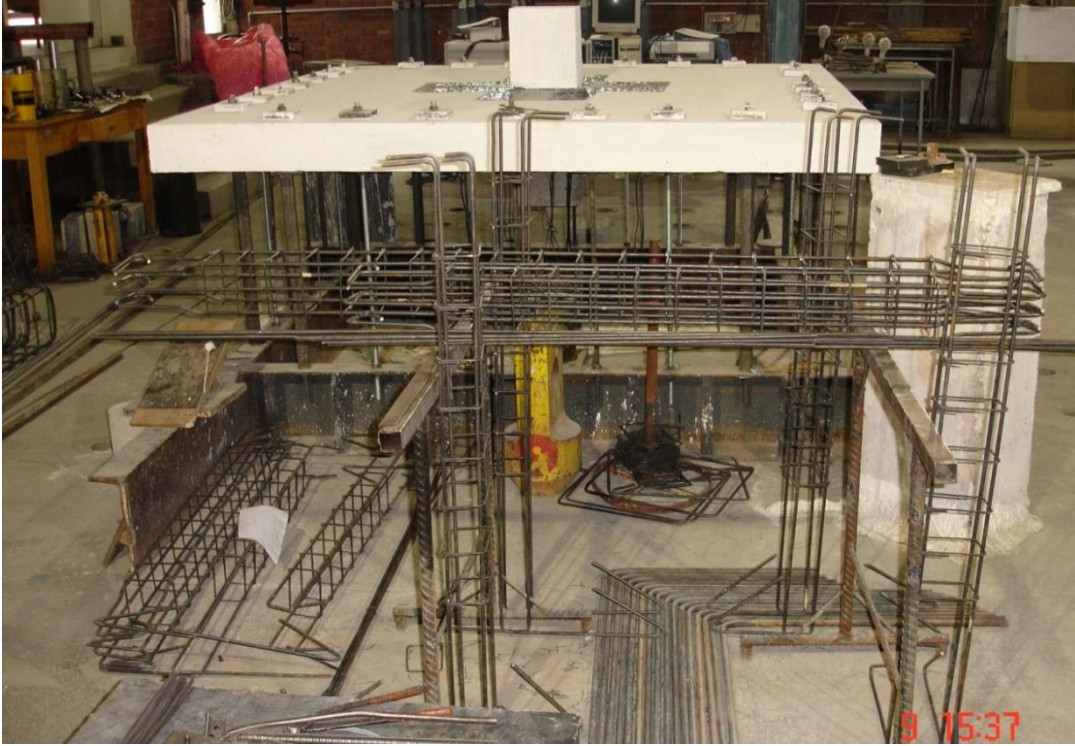
Deney çerçevesine ait kalıbın montajı yapılarak, içine yerleştirilmiş donatıları aşağıdaki resimlerde görülmektedir (Şekil 3.6., Şekil 3.7., Şekil 3.8., Şekil 3.9.).



Şekil 3.6. Kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgeleri



Şekil 3.7. Çerçeve kalıbı ve donatıları



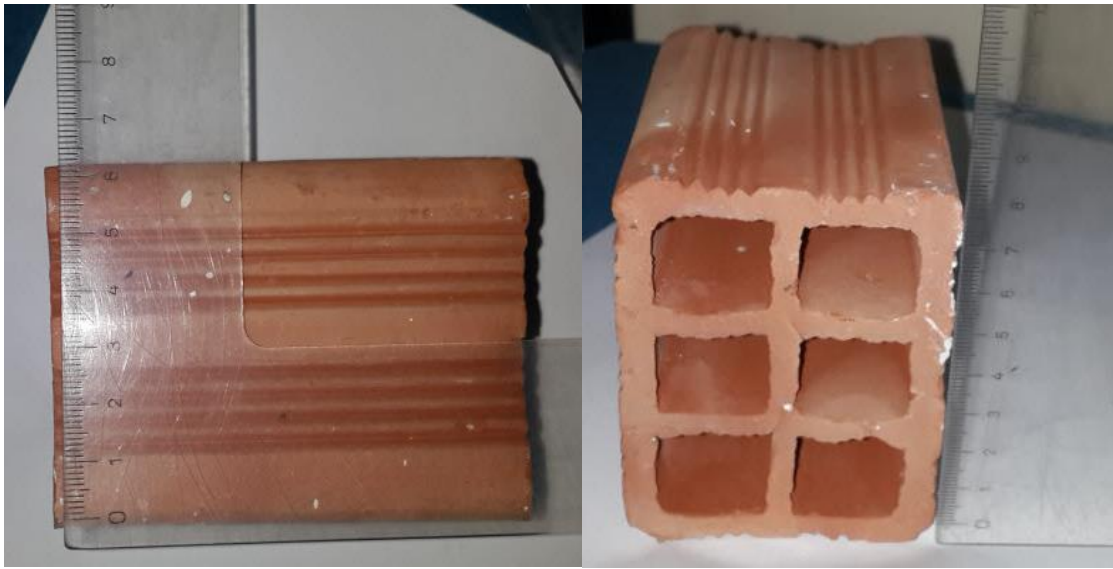
Şekil 3.8. Çerçeveye ait kolon donatıları



Şekil 3.9. Çerçeveye ait kiriş donatıları

Çerçevenin dolgu duvarları, özel üretimli 1/3 ölçekli tuğlalar kullanılarak yapılmaktadır. Deneyde dolgu duvar tuğlası olarak kullanılan fabrika tuğlası özel kalıplı üretim olarak, 9 cm. uzunluk, 8,5 cm yükseklik ve 7 cm. genişlikte Eskişehir Kılıçoğlu Tuğla Fabrikasında yaptırılmıştır (Şekil 3.10.).

Tuğlalar yukarıda verilen boyutlarda olacak şekilde, TS 4563 Yatay Delikli Tuğla standardında verilen uygun pişim, su emme ve dona dayanım özelliklerine uygun olarak üretilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil3.10. Deneyde kullanılan 1/3 ölçekli özel üretim tuğla

Beton dökümü tamamlanan çerçevede özel üretimli tuğlalar, düşey boşluklu gelecek şekilde örülmüş üzerine her iki taraftan kireç-kum ve çimento karışımından oluşan 1 cm kalınlığında sıva yapılmıştır. Tuğlalar örülürken uygulamada olduğu üzere, çerçevenin bir yanında sadece tuğla duvar sıvanırken diğer yanında hem tuğla duvar hem de kolon ve kiriş yüzeyi sıvanmıştır (Şekil 3.11). Harç ve sıva yapımında kullanılan malzeme karışım oranları Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sıva ve harç için karışım oranları

Malzeme	Ağırlık (%)
0-3 Kum	65
Kireç	10
Çimento	10
Su	15



Şekil 3.11. Sıvalı duvar yüzeyi

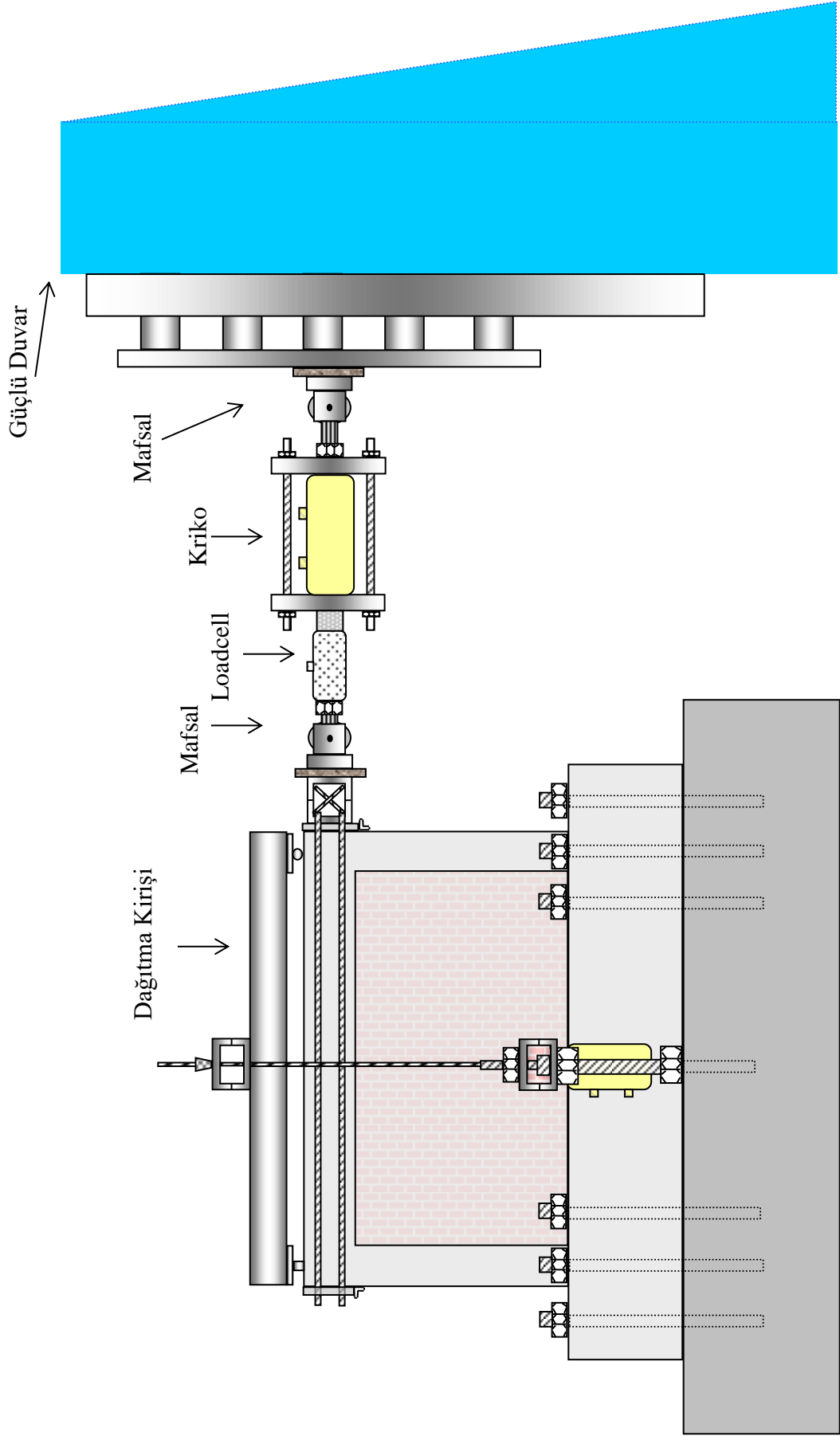
### 3.2. Deney Hakkında Teknik Bilgiler

Çerçevenin üretimiyle beraber sırasıyla normal genişlikte, tek katlı, düşey dolgu duvarlı, donatısı sürekli deney elemanın deneye hazırlanması, güçlü duvara yerleştirilip, mesnetlere bağlanması, deney düzeneğinin kurulması, yükleme sisteminin (plakalar, mafsallar, hidrolik kriko, loadcell) ve bunların birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı parçalarının hazırlanması ve yerine yerleştirilmesi, yükleme sisteminin çalışır duruma getirilmesi, ölçüm araçlarının (dial gage, LVDT) deney elemanı üzerine planlanan şekilde yerleştirilmesi, ayarlanması ve kalibre edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. LVDT (linear variable differential transformer), bir objenin doğrusal olan mekanik hareketini, elektrik



sinyallerine dönüştüren elektromekanik bir dönüştürücüdür ve yer değiştirme ölçümlerini kaydetmektedir. Dial gage ise skalası küçük yer değiştirmeleri ölçebilen hassas bir mekanik alettir. Dial gage ile örneğin 0,01 mm.lik yer değişimleri dahi ölçülebilmektedir.

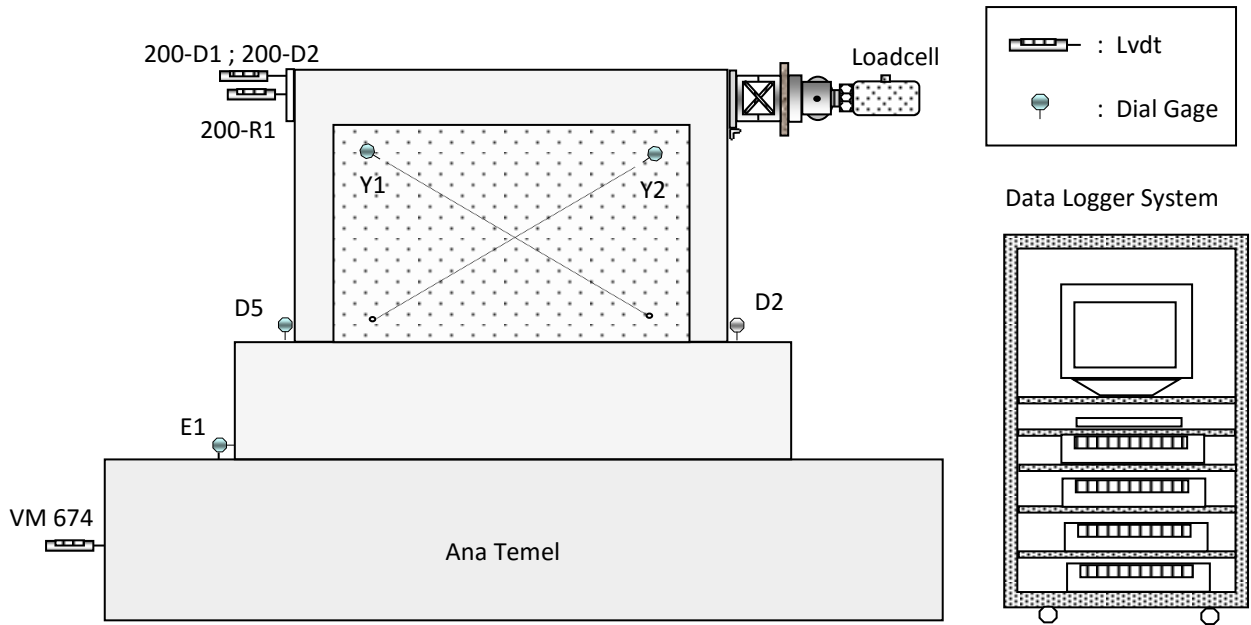
Deney düzeneği; deney elemanını döşemeye sabitlemek için kullanılan ana temel, yükleme düzlemi dışında oluşabilecek deplasmanları önlemek amacıyla çelik çerçeve, stabiliteyi sağlamak amacıyla çelik çerçeveyi laboratuvar duvarına bağlayan korniyer, yükleme sistemi ve yükleme sisteminin dayandığı güçlü duvardan oluşmaktadır. Yanal yükleme sırasında deney elemanında eksantrisite oluşmasını ve dolayısıyla elemanda oluşabilecek burulmaları engellemek amacıyla deney elemanını çevreleyen çelik çerçeveye 4 adet silindir monte edilmiştir. Deney esnasında oluşacak çatlakların daha iyi görülüp, işaretlenmesi için deney elemanları beyaz renkte boyanmıştır. Deney düzeneğine ait çizim Şekil 3.12.'de görülmektedir.



Şekil 3.12. Deney Düzenegi

Kolon aksel yük kapasitesi 20 ton olarak hesaplanmış ve kolon aksel yük kapasitesinin % 25 'i yani 5 ton aksel yük ( $N = 0.25 N_o$ ), deney süresince sabit kalacak şekilde deney başlamadan önce hidrolik kriko ve çaklı sistem yardımıyla her bir kolona verilmiştir. Aksel yükün kolonlara verilmesinde birbirine çapraz olarak kaynatılmış 2 adet kutu kesite sahip kiriş kullanılmıştır.

Yanal yükü vermek için kullanılan düzenek; güçlü duvar, verilen yanal yükü kontrol eden loadcell, hidrolik kriko, güçlü duvarla ve de çerçeveye bağlantıyı sağlayan mafsallar ile ara boşluğu almak için kullanılan levhalardan oluşmuştur (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Ölçüm araçlarının yerleşim ve adlandırma düzeni

Yanal yükleme yapılırken mafsalları kullanarak, sadece aksel yük oluşumuna izin verilmiştir (Şekil 3.14.). Yanal yük kiriş seviyesinde verilmiştir yani krikonun eksenine kirişin ağırlık merkezi çakışmıştır. Deney sırasında yanal yükleme çevrimler halinde yapılmıştır. Her bir yük seviyesinde tersinir yinelenir yük uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen yanal yük - deplasman grafikleri Deney Sonuçları başlığı altında yer almaktadır.



Şekil 3.14. Yanal yükleme sistemi

Ölçüm düzeneği olarak toplam 5 dial gage ve 4 adet LVDT kullanılmıştır (Çizelge 3.4.). 5 adet dial gage, Y1 ve Y2, dolgu duvarda oluşan diyagonal deplasmanları; D2 ve D5, kolon-temel dönmelerini ve basınçta ezilme ile çekmede çatlak oluşumlarını ölçmektedir. E1 ve VM 674 ise yanar yükleme sırasında herhangi bir kayma oluşup oluşmadığını kontrol etmek amacıyla konulmuştur. Deney sırasında bu iki alet sayesinde temellerde hemen hemen hiç hareket olmadığı görülmüştür. LVDT olarak 200-D1 ve 200-D2 kiriş seviyesinde, 200-R1 ise onların hemen altında kolon yüzeyini ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha hassas okuma alabilmek amacıyla 200-D1 ve 200-D2 'den alınan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Yatay yükleme, deneyin başlangıç aşamasından taşıma gücüne ulaşınca kadar yük kontrollü şekilde gerçekleştirilirken, pik noktasından sonra yüklemeye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

Ölçüm aletlerinden gelen verileri değerlendiren sisteme data logger adı verilmektedir. Bu sistemle dial gage, LVDT ve loadcell'den gelen veriler toplanmakta ve bilgisayardaki bir yazılım sayesinde (Coda) yük - deplasman grafiği vb. elde edilmektedir.

Çizelge 3.4. Ölçüm araçlarının özellikleri

Alet Adı	Türü	Ölçüm Kapasitesi	Bağlandığı Kanal	Voltaj
200-D1	Lvdt	200 mm	505	5 V
200-D2	Lvdt	200 mm	506	5 V
200-R1	Lvdt	200 mm	501	5 V
VM 674	Lvdt	100 mm	508	5 V
Y1	Dial Gage	50 mm	101	5 V
Y2	Dial Gage	50 mm	102	5 V
D2	Dial Gage	20 mm	303	5 V
D5	Dial Gage	20 mm	304	5 V
E1	Dial Gage	10 mm	208	5 V
LC	Loadcell	30 / 60 ton	305	

### 3.3. Deney Sonuçları

Deneyde yanal yükler altında dolgu duvarlı betonarme çerçevenin davranışı araştırılmıştır. Dolgu duvar sıvasında deneyden önce bulunan çatlaklar, sıva yüzeyinin bozukluğu, sıva ile çerçeve elemanları arasındaki aderansın yetersizliği gibi nedenlerden deneyin ilk çevrimlerinde eleman beklenen yapısal davranışı sergileyememiş devamında sıvanın bir bölümünün tamamen ayrılmasıyla klasik dolgu duvarlı çerçeve davranışını göstermiştir (Şekil 3.15). Sıvanın yapım aşaması ve sonrasında, gerekli sulama ve sıcaklığa dikkat edilmesine rağmen sıvanın bu davranışında, hazırlanmasında kullanılan 0-3 kumun yeterli incelikte olmamasının rolü olduğu düşünülebilir. Bu yüzden bundan sonra yapılacak sıvalarda kullanılmak üzere elde bulunan 0-3 kum 2 kez elenmiş ve hazırlanmıştır.

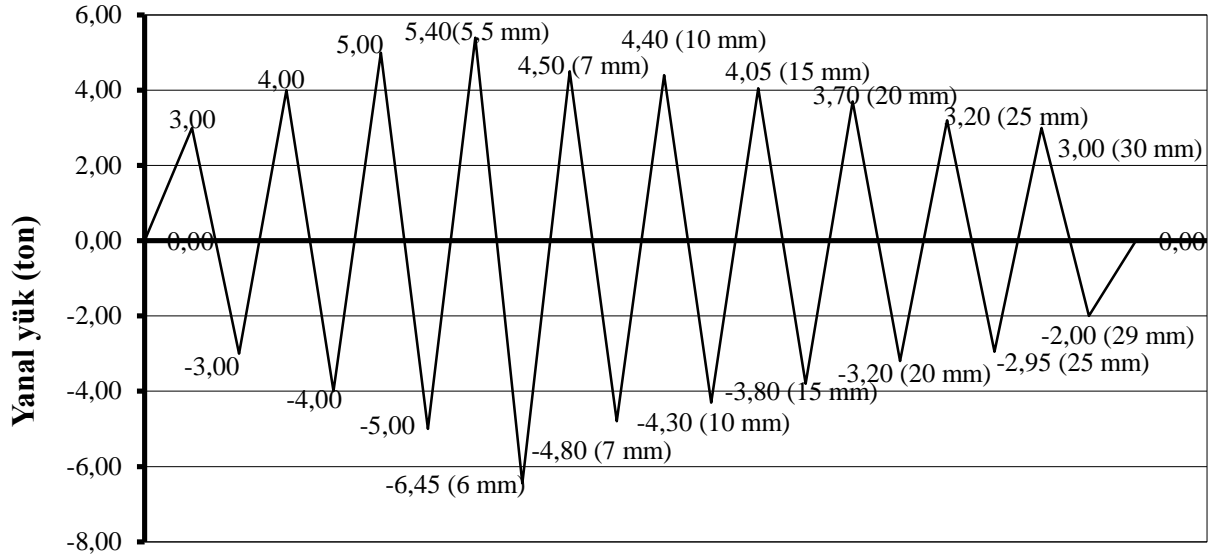


Şekil 3.15. Deney sonucunda deney elemanında gözlenen hasar

Şekil 3.15.'te görülen tek katlı, sürekli donatıya sahip, düşey tuğla dolu duvarlı ve her iki yanından sıvalı normal betonarme çerçeveye (CBVU1) hidrolik piston vasıtası ile tersinir yatay yükleme yapılmış ve bunun sonucunda meydana gelen reaksiyonlar tespit edilerek betonarme çerçevede gözlenen deplasmanlar kaydedilmiştir. Çerçeve yanal olarak önce yük kontrollü daha sonra ise deplasman kontrollü olmak üzere yüklenmiştir.

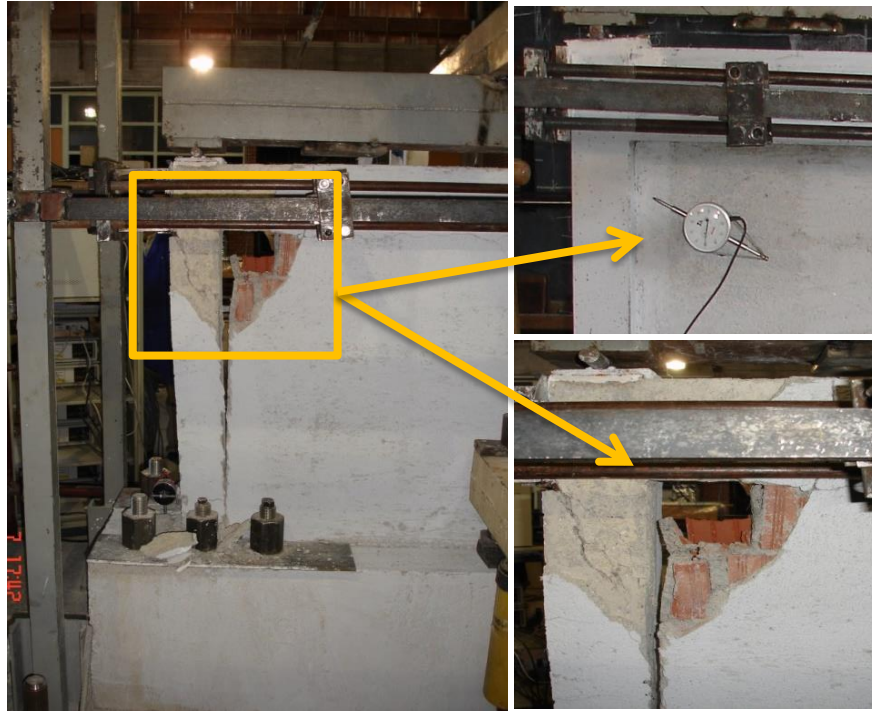
Çerçeveye deney sırasında 11'i itme ve 11'i çekme yönünde olmak üzere toplam 22 çevrim uygulanmış olup; itme yüklemesinde deney elemanına verilebilen maksimum kuvvet 5,4 ton ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 5,5 mm iken çekme yüklemesinde ise maksimum kuvvet 6,45 ton ve bu yüke karşılık gelen deplasman değeri 6,5 mm olmuştur (Şekil 3.16.). Her bir çevrimde deney elemanına yüklenen yanal yükler Şekil 3.16.'da görülmektedir.

Şekil 3.17.'de, yapılan yükleme sonrası kolon-kiriş birleşiminde oluşan hasarlar görülmektedir. Köşe noktalarda oluşan ezilme etkisiyle tuğla duvar ve sıva parçalanmış, ezilmiştir. Bununla beraber tuğla duvar ile kolon yan yüzeyi arasında açılma-ayrılma görülmektedir. Bu ayrılma etkisi özellikle, çekme kuvvetleri altındayken sol kolonda, itme etkisi altındayken ise sağ kolonda net bir şekilde gözlenmektedir.



### Çevrimler

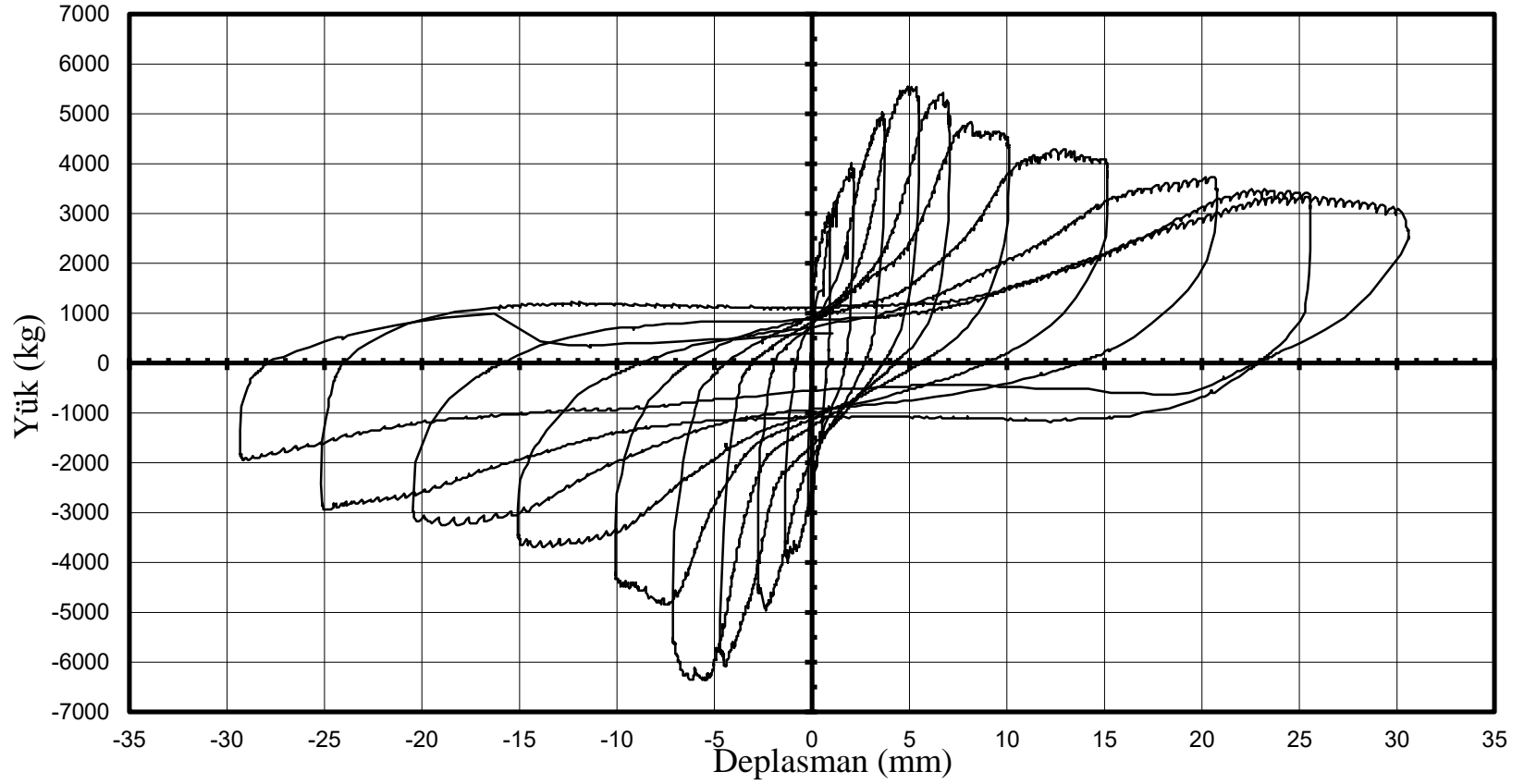
Şekil 3.16. Yanal yük-çevrim grafiği



Şekil 3.17 Deney elemanının köşe noktalarında gözlenen hasarlar

Şekil 3.18.'deki grafikten de görüleceği üzere, maksimum yükün aşılmasıyla birlikte yük - deplasman eğrileri yatmaya başlamış, eğrilerin eğimi önemli oranda azalmış ve belirgin rijitlik kaybı görülmüştür. Yük kontrollü yükleme evresinde deney elemanına verilen yanar yük 3 tondan başlayarak 1'er tonluk aralıklarla artırılarak uygulanmıştır.

### Yanal Yük - Tepe Deplasmanı

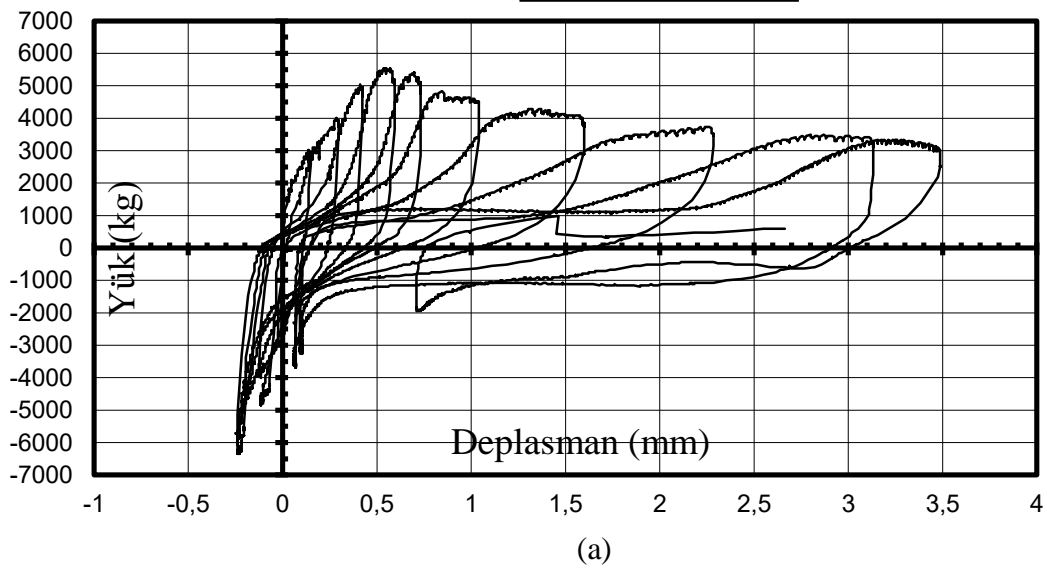


Şekil 3.18. Yanal yük-deplasman grafiği

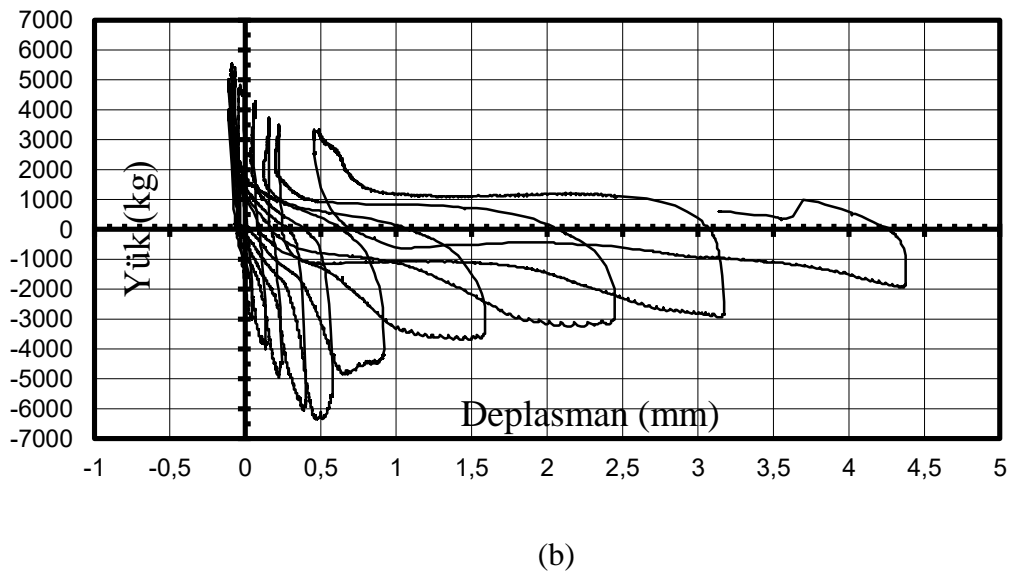


Yükün uygulandığı sağ kolonun dibinde bulunan D2 isimli dial gage'e ve yükün uygulandığı yönün aksi yönünde sol kolon dibinde bulunan D5 isimli dial gage'e ait olan yanal yük-deplasman grafiği sırasıyla Şekil 3.19.'da verilmiştir. 5,4 tona kadar yük kontrollü, daha sonra ise kolon diplerinde oluşan mafsallaşmadan dolayı deplasman kontrollü olarak yanal yüklemeye devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yükleme fazında başlangıçta 3 mm aralıklarla yükleme yapılmış, daha sonra 5 mm aralıklarla devam edilerek her iki yönde de 30 mm yanal deplasmana ulaşılmasıyla deney sona erdirilmiştir.

### Yanal Yük - D2



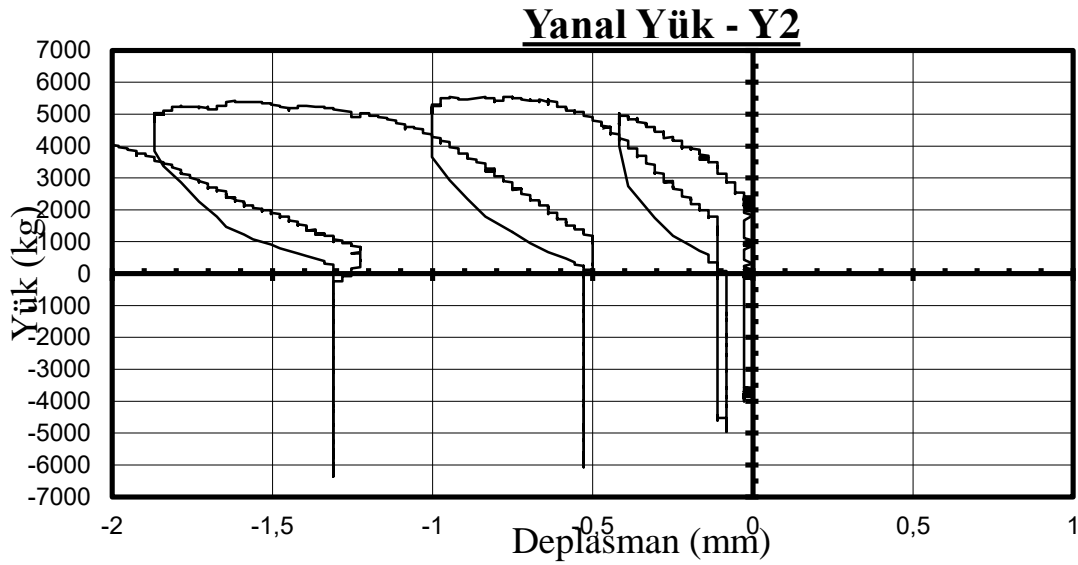
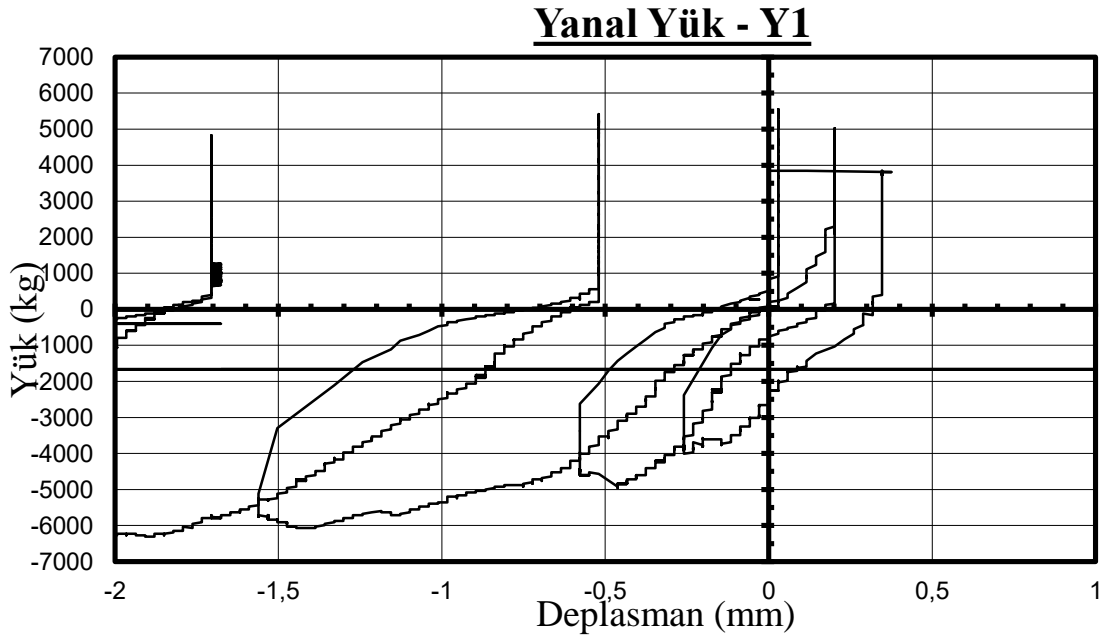
### Yanal Yük - D5



Şekil 3.19.a) D2 yanal yük-deplasman grafiği

b) D5 yanal yük-deplasman grafiği

Deneyin ilerleyen aşamalarıyla beraber, köşe noktadaki ezilme ve kırılmalardan dolayı; dolgu duvar sol üst köşesi üzerinde bulunan Y1 dial gage ve dolgu duvar sağ üst köşesine yerleştirilen Y2 dial gage aletleri düşerek ölçüm alamaz hale gelmiştir. Bu durum Şekil 3.20'de verilen Y1 ve Y2 dial gagelerine ait yük-deplasman grafiklerinde görülmektedir.



Şekil 3.20.a) Y1 yanal yük-deplasman grafiği      b) Y2 yanal yük-deplasman grafiği

#### 4. DOLGU DUVARLARIN ANALİTİK MODELLENMESİ

Türkiye, topraklarının %92'si sismik risk bölgeleri içinde kalan ve toplam nüfusunun %95'i yüksek deprem riski olan bölgelerde yaşayan bir ülke olarak yakın geçmişte de az, orta ve yüksek hasarlara neden olan bazı büyük depremlere uğramıştır. Örneğin geçtiğimiz yüzyılın 6. büyük depremi olan 1999 Marmara depreminde sadece Marmara bölgesinde binlerce can kaybı yaşanmış, 245.000 bina hasar görürken ayrıca 20 milyar dolar ekonomik kayıp meydana gelmiştir.

Yapısal elemanlar olan kolon ve kirişler arasındaki boşlukları doldurmakla görevli dolgu duvarlar deprem yükleri altında önemli rol oynamalarına rağmen TDY 2007'ye göre deprem yükleri yalnızca kolon ve kirişler üzerindeki düşey yayılı yükler olarak kabul edilirler. Bununla beraber günümüzde yaygın olarak kullanılan analiz ve dizayn tekniklerinde kolon, kiriş ve döşemeler yük taşıyan elemanlar olarak kabul edilirken dolgu duvarların yapının rijitlik ve dayanımına olan katkısı ihmal edilmektedir. Bir diğer deyişle dolgu duvarın rijitlik ve dayanıma katkısı betonarme bir çerçeve modellenirken uygulamada dikkate alınmamaktadır. Öte yandan betonarme karkas binalardaki dolgu duvarlar binanın karakteristik özelliklerini (rijitlik, dayanım ve süneklik) ve depreme olan direncini etkilemektedir.

Dolgu duvarların yük taşımayan yapısal elemanlar olduğu kabul edilmiş olsa da yapının kütlelerini ve dolayısıyla yanal rijitlik ile binanın serbest titreşim davranışını etkilediği bilinmektedir. Ayrıca dolgu duvarlar deprem yükleri altında çerçeve elemanları ile birlikte hareket etmeye eğilimlidir.

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin (dolgu duvarın kendisini çevreleyen) görelî dayanım ve rijitliklerinin inceleyen bilimsel çalışmalar mevcuttur. Deprem altında betonarme elemanlarda oluşan hasarların araştırılması sonucunda dolgu duvarda büyük ve kalıcı deformasyonlar gözlenmiştir. Dolgu duvarlar bir sismik aktivite altındayken aniden kırılmakta ve böylelikle deprem kuvvetlerine direnç göstermek ve depremin etkilerini çatlama yoluyla azaltmaya çalışmaktadır. Böylece deprem kuvvetlerine direnç gösterip deprem etkilerine direnç göstermektedir. Dolgu duvarların varlığı yanal rijitliği

arttırmasına rağmen bazı durumlarda örneğin kontrolsüz yapı yerleşimi sonucunda yapının rijitlik merkezi ile yapının kütle merkezi arasındaki uzaklık değişmektedir. Bu değişim yapıda burulmaya ve/veya bazı bölümlerinde kısa kolon davranışına neden olabilmektedir. Bu anlamda boş bir çerçevenin sismik davranışı ile dolgu duvarlı bir çerçevenin yanal yükler etkisi altında farklı davranış gösterdiği ve bu durumun göz önüne alınması gerektiği bilinmektedir.

Betonarme yapıların analiz ve dizayn aşamalarında dolgu duvarların ihmal edilmesi şeklinde genel bir yaklaşım vardır. Bunun başlıca nedeni dolgu duvarların modellenmesinde karışık (komplike) hesaplamalara gereksinim duyulmasıdır. Yapı analizi sırasında sadece kolon ve kirişlerin davranışı dikkate alınırken, gerçekte var olan dolgu duvarların etkisi dikkate alınmamakta ve bu durum yapının kapasitesinin daha altında bir şekilde düşünülmesine yol açmaktadır. Geçmişten günümüze değişik araştırmacılar tarafından yapılmış birçok araştırma göstermiştir ki dolgu duvarlar aslında yanal deprem yüklerine karşı tüm yapının dayanımına ve yanal deplasmana olan direncine oldukça önemli etki etmektedir. Bununla birlikte geçmiş depremlerle ilgili yapılan gözlemlere göre dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde gözlenen hasarlar, boş (dolgu duvar bulunmayan) çerçevelerde görülen hasarlara oranla çok daha az olmaktadır.

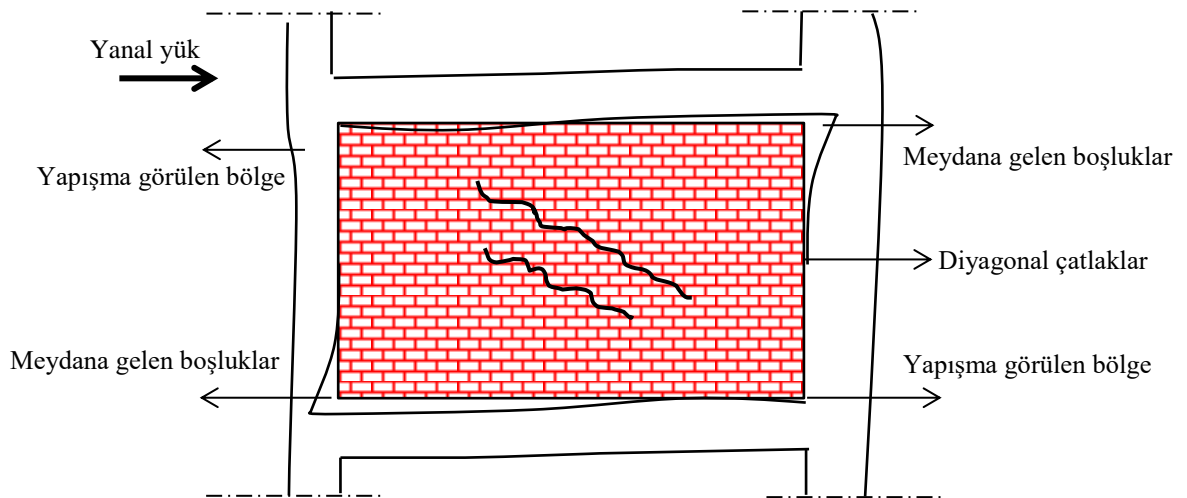
Depreme dayanıklı tasarımın birinci amacı tüm yapının olası bir depremde toptan göçmesinin önlenerek can ve mal kaybının minimumda tutulmasıdır. İkinci amaç ise yapının göreceği zararın belirli sınırlar içinde kalmasını sağlamak ve böylece deprem sonrasında yapının tekrar kullanıma sunulmasını kolaylaştırmaktır.

Birçok kullanım amacı bulunan tuğla duvarlar günümüzde halen dolgu elemanı olarak ilk sırada gelmektedir. Bununla birlikte ülkemizdeki yapı stoğunun çoğunluğunun betonarme binalar olduğu ve binalardaki dolgu duvarların taşıyıcı olarak değil genelde odaları birbirinden ayırmak amacıyla bölme duvar olarak kullanıldığı düşünüldüğünde bu duvarların binanın deprem davranışına olan etkisi özellikle proje tasarımı aşamasında dikkate alınmamaktadır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir ki bu tür bölme duvarların betonarme binanın yanal deprem kapasitesine olumlu yönde etkileri vardır. Ancak bu katkıyı göz önüne alan analiz modelleri oluşturmak karmaşıktır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve düzlemine örülen duvarlara dolgu duvar denilmektedir. Betonarme yapılarda betonarme çerçeveyi oluşturan elemanlar arasındaki boşluklar genelde boşluklu tuğla ile doldurulmaktadır.

Dolgu duvarlar sadece döşeme ve kiriş üzerinde düşey yayılı yükler olarak dikkate alınırlar. Ancak gerek prefabrike gerekse monolitik olarak dökülen betonarme çerçevelerin deprem davranışını, rijitlik, dayanım ve süneklik özellikleri bakımından etkiler.

Dolgu duvar ve onu çevreleyen kolon ve kirişler yani çerçeve düşük deprem yükleri etkisi altında iken tıpkı bir perde duvar gibi birlikte hareket ederler ancak yanal yapıya gelen yük dolayısıyla yanal deplasmanın artmasıyla dolgu duvar üzerinde bazı deformasyonlar oluşmaya başlar. Özellikle uygulanan yük çerçevenin aynı doğrultusunda oluşan diyagonal çatlaklar dolgu duvarların orta bölümünde gözlenir (Şekil 4.1.).



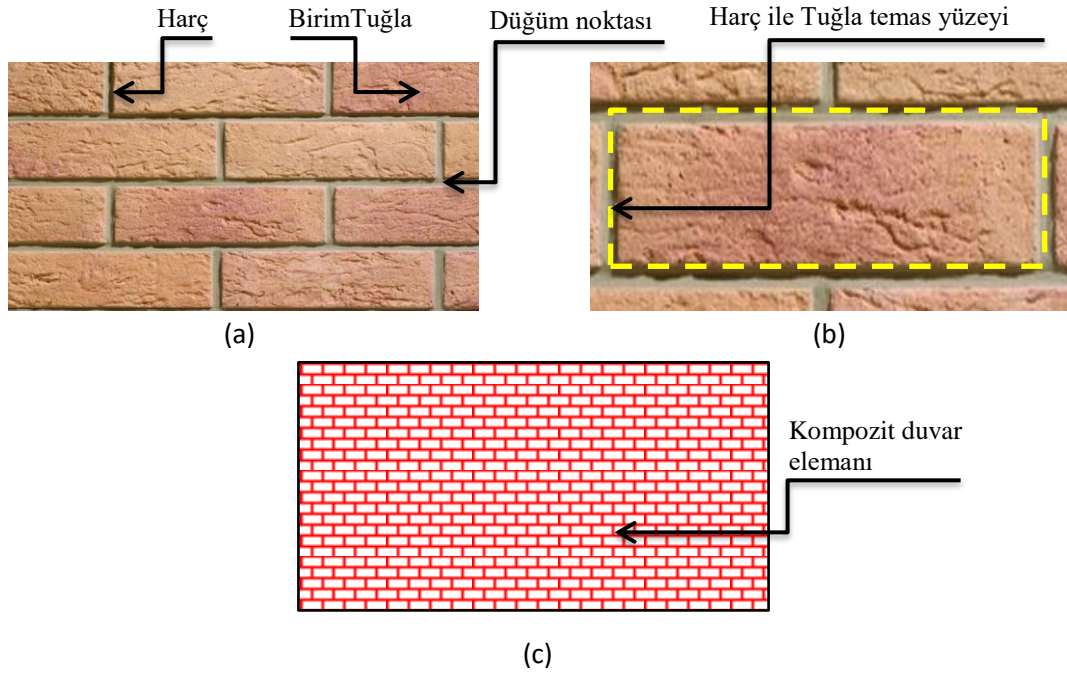
Şekil 4.1. Yanal yük etkisinde çerçeve-dolgu duvar davranışı

Dolgu duvarlı çerçevelerin maksimum yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi oldukça tartışmaya açık bir problemdir. Konuyla ilgili yapılan birçok analitik ve deneysel çalışma göstermiştir ki dolgu duvar ve onu çerçeveleyen çerçeve elemanları düşük deprem kuvvetleri altında birlikte hareket ederek perde duvar gibi davranmaktadır. Yanal yükün ve veya deplasmanın artırılması ile dolgu duvar üzerinde bazı deformasyonlar oluşmaya başlar. Uygulanan yanal yük ile birlikte dolgu duvarın orta bölümlerinde

diyagonal yönde çatlaklar oluşurken diyagonal çizgiye dik olan köşelerde boşluklar oluşur. Diğer bir deyişle diyagonalin yükleme yönündeki köşelerde (Şekil 4.1.) birleşme (yapışma) gözlenir.

#### 4.1. Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin dizaynında iki ana yaklaşım mevcuttur (Şekil 4.2.). Birinci yaklaşımda dolgu duvarlar yapısal sistemin bir parçası olarak düşünülür ve deprem yükleri altında çapraz elemanlar ile modellenir. İkinci yaklaşımda sadece çerçevenin (kolon ve kirişlerden oluşan) iki yöndeki yükleri taşıdığı yaklaşımla dizayn yapılır ve bu yaklaşımda dolgu duvarlar yük altında herhangi bir etkisi yokmuş gibi kabul edilir.



Şekil 4.2. a. detaylı mikro modelleme b. basitleştirilmiş mikro modelleme  
c. makro modelleme

Özellikle ülkemizde dolgu duvarlar yük taşımayan elemanlar olarak kabul edilmektedir ve bir diğer deyişle binanın tasarımında dikkate alınmamaktadır, ancak depremden sonra yapılan gözlemlerde diyagonal çatlakların olduğu gözlenmiştir.

Dolgu duvarı oluşturan tuğlaların oldukça gevrek malzemeler olması nedeniyle dolgu duvarlar bazı durumlarda yapının davranışını ciddi olarak etkilemektedir. Yapının deprem sırasında ortaya çıkan yüksek miktardaki enerjiyi absorbe edebilmesi için sünek olması istenir. İyi dizayn edilmiş çerçevelerde, oldukça rijit fakat aynı oranda da kırılğan dolgu duvarların varlığı tüm sistemin süneklik düzeyini düşürebilir. Bununla birlikte yapının doğal periyodu kısalsabilir. Bu durum yapının deprem davranışının değişmesi anlamına gelir ve kat seviyelerindeki kesme kuvvetinin düzeyleri de dolgu duvarın varlığı ile değişim gösterir ve örneğin bazı kolonlar başlangıç tasarımında öngörülenden daha büyük kuvvetlere maruz kalabilirler. Dolgu duvarların varlığı kadar yapıdaki dağılımının da önemli olduğu bu anlamda söylenebilir.

Dolgu duvarların varlığı ayrıca bazı yapısal sistem hatalarına da yol açabilir. Bazı mimari nedenlerle dolgu bölme duvarlarının uygun olmayacak biçimde yapımı ya da dağılımı asimetri, kısa kolon, zayıf kat veya yumuşak kat gibi problemlere neden olabilir. Bu tür olumsuz etkilere rağmen dolgu duvarların deprem anında yanal rijitlik kapasitesini belli bir oranda arttırarak binanın toptan göçmesinin önlenmesinde önemli rol oynadığı (özellikle ülkemizdeki büyük depremlerde, Kocaeli ve Düzce depremleri) gözlenmiştir. Hafif ve orta seviyede hasarlı binalarda deprem sonrası yapılan incelemelerde, binanın içinde bulunduğu hasar seviyesinin beklenenden az olduğu binalarda bunun nedeni dolgu duvarların tüm sistemin yanal dayanımına olan katkısı olarak açıklanmaktadır. TDY (2007)'de dolgu duvarların dizaynına yönelik öneriler ve yaklaşımlar bulunmakla beraber esas olarak dolgu duvarlar ikincil derece taşıyıcı elemanlar veya taşıyıcı olmayan elemanlar olarak görülmektedir. Dolgu duvarların yapısal sistemin yanal rijitlik ve dayanımına olan katkısı ihmal edilmektedir. Bu tez dolgu duvarların yapının deprem davranışına olan etkisini araştırmaya yöneliktir.

Sonuç olarak dolgu duvarların modelleme tekniklerinden bahsedilirken birbirinden farklı başlıca iki yöntem olduğu yukarıda bahsedilmişti. Bunlardan mikro model temel olarak sonlu elemanlar yöntemi tekniklerine dayanırken makro model ise ana prensip olarak eşdeğer basınç çubuğu yöntemine dayanır. Makro modelleme çerçevenin göçme mekanizması ile duvar-çerçeve ilişkisi hakkında yeterli bilgi verememektedir. Ancak makro modellemenin en önemli ve temel dayanağı içerdiği eşdeğer basınç çubuğu yönteminin dolgu duvar davranışının anlaşılmasını temel alan

basitlikte bir hesap yöntemi olmasıdır. Dolgu duvarların dizayn ve hesaplamalarında tüm dünyada yaygın kabul gören eşdeğer basınç çubuğu yöntemi hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmektedir.

#### 4.2. Eşdeğer Basınç Çubuğu Yöntemi

Son yıllarda çelik ve betonarme çerçevelere ait dolgu duvarların davranış modelleri ve hesaplama yöntemleri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Kompozit dolgu duvarlı çerçevelerin lineer davranışını ve karmaşık yapısını deneysel ve analitik olarak inceleyen ilk çalışmalar Polyakov (1956), Holmes (1963), Smith ve Carter (1969), Klinger ve Bertero (1978) tarafından yapılmıştır. Bununla birlikte dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını inceleyen daha birçok deneysel ve analitik çalışma bulunmaktadır.

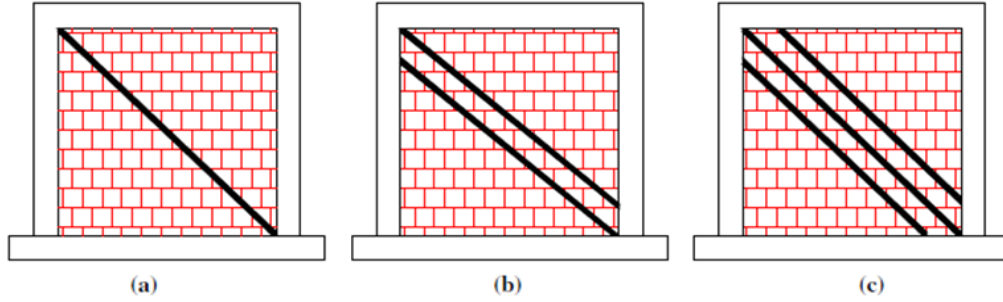
Polyakov (1956), dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını inceleyen ilk araştırmacılardan biri olarak; dolgu duvar ve çerçeve elemanları arasındaki gerilme dağılımının elastik teoriyi doğrular şekilde yalnızca basınç bölgesinde oluştuğunu göstermiştir. Holmes (1963), çalışmasında bir dolgu duvar modellenirken dolgu duvar diyagonal uzunluğunun 1/3üne eşit olan eşdeğer diyagonal şeritlerle basitçe modellenmenin mümkün olduğunu öne sürmüştür. Smith (1962) ile Smith ve Carter (1969) ise iki ucundan mafsallı bağlantıya sahip dolgu duvar ile aynı malzemedeki ve aynı kalınlıkta olan diyagonal şerit yaklaşımını önermiştir.

Çerçeve ile dolgu duvar arasındaki etkileşimi inceleyen ve bunu eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile yapan birbirinden farklı başka konseptler de önerilmiştir. Mainstone monotonik yanal yükleme etkisi altındaki dolgu duvarların modellenmesi amacıyla eşdeğer basınç çubuğu genişliği ile ilgili ampirik bir denklem önermiştir. Bu ampirik denklem daha sonra Mainstone ve Weeks (1970) tarafından geliştirilerek, günümüzde FEMA 274, FEMA 306, FEMA 356 ve TDY (2007) tarafından içerilen ve dünyada en yaygın kullanılan model haline gelmiştir.

Kadir (1974), yılında yaptığı çalışmasında dolgu duvarı çevreleyen kolon ve kirişlerin özelliklerine bağlı olarak diyagonal basınç çubuğu boyutlarının belirlenmesinde



kullanılacak bir formül önermiştir. Mehrabi (1996), dolgu duvar ve çevreleyen çerçevenin dayanımının öngörülmesinde farklı kat ötelemelerinde oluşan başlangıç hasarlarını belirlenmeyi önermiştir. Bazı araştırmalarda dolgu duvarlı çerçevelerin davranışının modellenmesinde tek bir eşdeğer basınç çubuğu yerine çoklu basınç çubuğu modelleri de önerilmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3.a. Tek basınç çubuğu      b. İkili basınç çubuğu      c. Üçlü basınç çubuğu

Crisafulli (1997), dolgu duvarların yapının rijitliğine ve etrafındaki çerçevenin davranışına etkisini bulabilmek için çeşitli çoklu şerit modelleri incelemiştir. Yapının yanal rijitliği iki veya üç şeritli modellerde tek şeritli modele göre çok daha küçük değer almaktadır. Bu yüzden dolgu duvarı modellemek için basit ve kullanışlı bir yöntem olması bakımından ve dolgu duvarları çevreleyen yapının karakteristik özelliklerini de göstermesi bakımından günümüzde sadece bir adet eşdeğer basınç çubuğu içeren modeller yaygın olarak kullanılmaktadır.

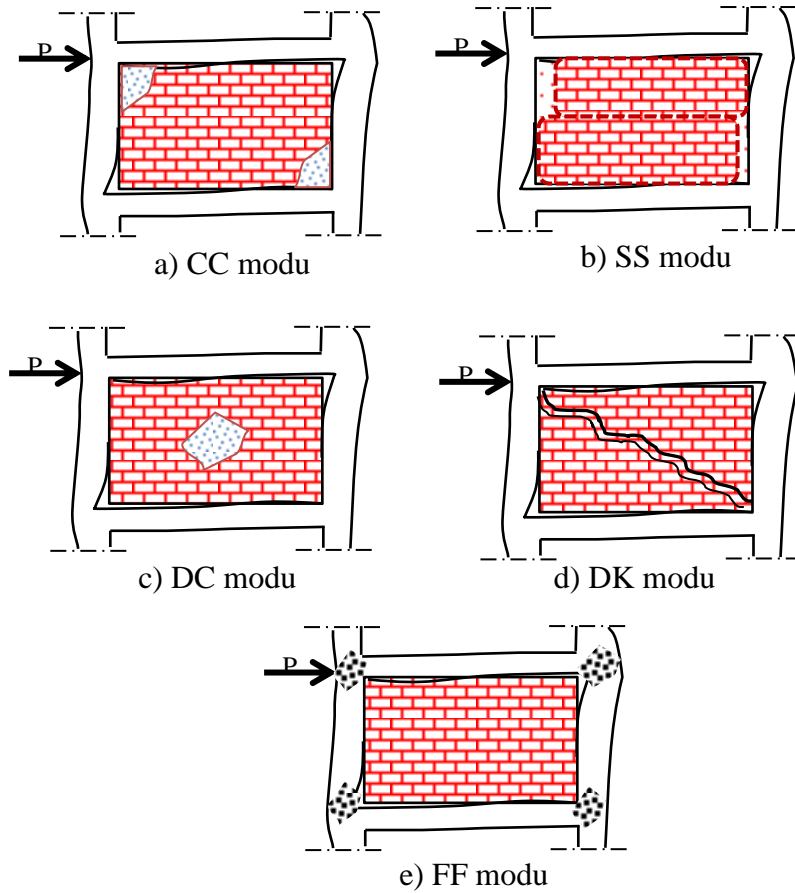
Dolgu duvarların göçme ve kırılma mekanizmaları tahmin etmede ve eşdeğer çubuğun rijitlik ve dayanımını hesaplamada farklı modeller önerilmiştir.

Liauw ve Kwan (1984), çerçeve elemanı ve dolgu duvar arasındaki göreceli değişen panel basıklık oranı (aspect ratio) ve dolgu duvarın göreceli dayanıma bağlı değişen göçme modlarını önermiştir.

Decanini ve Fantin (1986), tarafından önerilen modelde eşdeğer basınç çubuğunun aksenal dayanımı farklı göçme modları için incelenmiştir. Monotonik yanal yükler altındaki dolgu duvarların deney sonuçlarına göre eşdeğer basınç çubuğunun çekmede etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.

Yapılan deneysel araştırmalarda bir genelleme yapılacak olursa yanıl y¼kler altındaki dolgu duvarların 5 ana hasar g¼rme moduna sahip olduğu g¼r¼lm¼řt¼r. Bu modlar:

- Dolgunun k¼ře noktalarında ezilme kırılması (CC modu)
- Kayma g¼çmesi (bed-joint sliding) (SS modu)
- Diyagonal basınç hasarı (DC modu)
- Diyagonal çekmeden ¼t¼r¼ çatlama (DK modu)
- T¼m çerçevenin hasarı (FF modu) olarak sınıflandırılabilir (şekil 4.4.).



şekil 4.4. Dolgu duvarların hasar g¼rme modları

Çin Halk Cumhuriyetinin Sichuan eyaletine bağlı Wenchuan ilçesinde 2008 yılında yaklaşık 70.000 kişinin hayatını kaybettiği 7,8 şiddetindeki depremde hasar g¼rm¼ř değişik t¼rde g¼çme modlarını içeren dolgu duvar ¼rnekleri şekil 4.5.'te g¼r¼lmektedir.



Şekil 4.5. 2008 Wenchuan depreminde, değişik türlerde hasar görmüş dolgu duvar örnekleri (Li, 2008)

Farklı hasar görme ve göçme modlarını dikkate alan deney sonuçları ile uyum gösteren basitleştirilmiş şerit modelleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

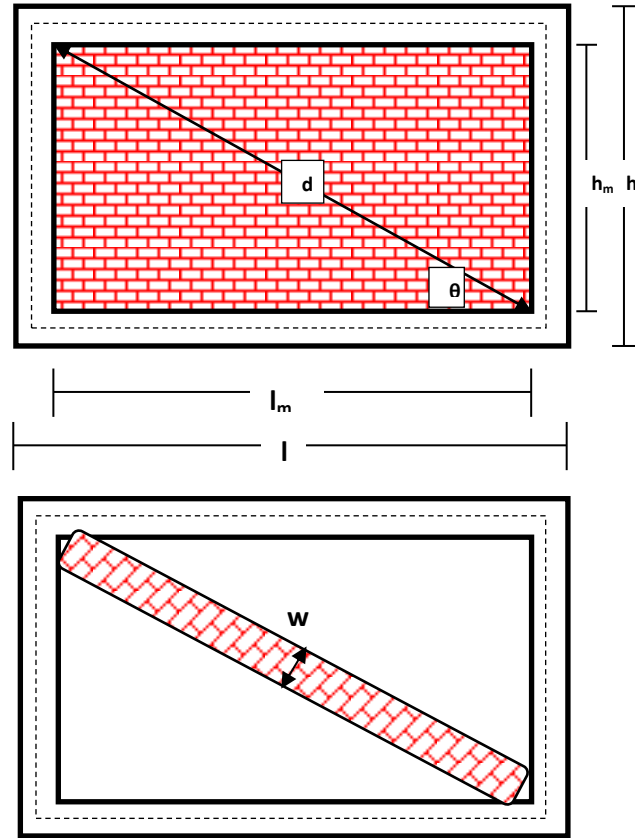
Çizelge 4.1. Değişik dolgu duvar modellerinde dikkate alınan hasar tipleri

	Dolgu hasar tipleri			
	Ezilme (a)	Kayma (b)	Basınç (c)	Çatlama (d)
FEMA 306	+	+	-	+
FEMA 356	+	+	-	+
TDY (2007)	+	+	-	+
Liau ve Kwan (1984)	+	-	+	-
Decanini ve Fantin (1986)	+	+	+	+
Paulay ve Priestley (1992)	-	+	+	+
Priestley ve Calvi (1991)	-	+	+	+
Saneinejad ve Hobbs (1995)	+	+	+	+

### 4.3. Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliğinin Belirlenmesi

Dolgu duvarların rijitlik ve dayanım özellikleri önceki bölümde anlatılmıştı. Betonarme çerçevelerdeki dolgu duvarlarda, diyagonal uzunluğun kalınlığına oranı 30'dan küçük olanlarda modelleme yapılabilir.

Literatürde eşdeğer basınç çubuğunun genişliği “w” değerinin hesabı için çubuğun uzunluğu olan “d”ye bağlı olacak şekilde birçok bağıntı önerilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu genişliği w Smith (1962) tarafından “ $\lambda_h$ ” rölatif rijitliğe bağlı olarak tanımlanmıştır. “ $\lambda_h$ ” rölatif rijitliğinin hesaplanması için gerekli parametreler Şekil 4.6.’daki eşdeğer basınç çubuğu modeli üzerinde görülmektedir.



Şekil 4.6. Dolgu duvarlarda eşdeğer basınç çubuğu modellemesi

İlk olarak Smith (1962) tarafından önerilen ve sonrasında Kadir, Liauw ve Kwan (1984), Decanini ve Fantin (1986), FEMA 306 ve TDY (2007)’deki bağıntılarda da yer verilen birimsiz  $\lambda_h$  katsayısı (1) nolu bağıntıda olduğu şekilde hesaplanabilir.

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_m t (\sin 2\theta)}{4 E_f I_c h_m}} \quad (1)$$

Burada;

$E_m$ : dolgu duvar elastisite modülü,

$E_f$  :çerçeve elemanlarının elastisite modülü (betonarme çerçevelerde beton elastisite modülü),

$t$  : dolgu duvar kalınlığı,

$I_c$  : kolonların atalet momenti,

$H_m$ : dolgu duvar yüksekliği,

$\theta$ : dolgu duvar diyagonali ile giriş arasındaki açı olarak açıklanabilir.

Eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren farklı denklemler önerilmiştir. Bu denklemler Çizelge 4.2.'de kısaca tanımlanmıştır.

Temel bir yaklaşım olarak dolgu malzemesinin basınç dayanımının eşdeğer basınç çubuğu alanı ile çarpılması sonucu bir dolgu duvarın göçme yükü hesaplanabilir. Eşdeğer basınç çubuğunun aksenal rijitliği ise aşağıdaki (2) nolu bağıntıdan bulunabilir.

$$k_m = \frac{E_m t w}{d} \quad (2)$$

Eşdeğer basınç çubuğunun aksenal rijitliği  $k_m$  değerini hesaplamada kullanılan bağıntıya ait diğer parametreler aşağıda verilmektedir:

$w$  : şerit genişliği,

$d$  : şeritin uzunluğu,

$E_m$ : dolgu duvar elastisite modeli,

$t$  : dolgu duvar kalınlığı.

Çizelge 4.2. Eşdeğer basınç çubuğu denklemleri

Çalışma	Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliği (w)	Özel Koşullar
Holmes (1963)	$w = \frac{1}{3} d$	
Fema 306	$w = 0.175 d (\lambda_h)^{-0.4}$	
Mainstone (1974)	$w = 0.175 d (\lambda_h h)^{-0.4}$	
Liau ve Kwan (1984)	$w = \frac{0.95 \cos \theta h_m}{\sqrt{\lambda_h}}$	$25^\circ < \theta < 50^\circ$
Decanini ve Fantin (1986)	$w = \left( \frac{k_1}{\lambda_h} + k_2 \right) d$	$\lambda_h < 3.14$ $\begin{cases} k_1 = 1.300 \\ k_2 = -0.178 \end{cases}$
		$3.14 < \lambda_h < 7.85$ $\begin{cases} k_1 = 0.707 \\ k_2 = 0.010 \end{cases}$
		$7.85 < \lambda_h$ $\begin{cases} k_1 = 0.470 \\ k_2 = 0.040 \end{cases}$
Priestley ve Calvi (1991)	$w = \frac{1}{4} d$	
Paulay ve Priestley (1992)		
Saneinejad ve Hobbs (1995)	$w = \min(w_1; w_2)$	$w_1 = \frac{(1 - \alpha_c) \alpha_c h \frac{\sigma_c}{f_c} + \alpha_b l \frac{\tau_b}{f_c}}{\cos \theta}$
		$w_2 = 0.5 h_m \frac{f_a}{f_c} \frac{1}{\cos \theta}$
TDY (2007)	$w = 0.175 d (\lambda_h h)^{-0.4}$	
Smith ve Carter (1969)	$w = 0.58 \left( \frac{1}{h_m} \right)^{-0.445} (\lambda_h h)^{0.335} d \left( \frac{1}{h} \right)^{0.064}$	
Kadir (1974)	$w = \frac{\pi}{2} \left( \frac{1}{4 \lambda_h} + \frac{1}{4 \lambda_g} \right)$	$\lambda_g = \sqrt[4]{\frac{E t (\sin 2\theta)}{4 E_f I h}}$
Hendry (1998)	$w = 0.5 \sqrt[2]{\alpha_h + \alpha_l}$	$\alpha_h = \frac{\pi}{2} \left( \frac{E I h_m}{2 E_m t \sin 2\theta} \right)^{1/4}$
		$\alpha_l = \pi \left( \frac{E_c I_c l}{2 E_m t \sin 2\theta} \right)^{1/4}$

#### 4.4. Analitik Çalışma

Eşdeğer diyagonal çubuk genişliği farklı araştırmacılar tarafından önerilen değişik denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemler tek açıklıklı tek katlı ancak değişik basınlık oranına sahip dolgu duvarlı betonarme 3 farklı çerçeve üzerinde uygulanmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılarak pratik olarak tasarımda kullanılacak en

uygun ilişki belirlenmiştir. Çerçeve elemanlarının geometrik özellikleri Çizelge 4.3'te dolgu duvara ait geometrik özellikler Çizelge 4.4 ve kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Ayrıca ilgili çerçeveler Şekil 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Çerçeve elemanları geometrik özellikleri

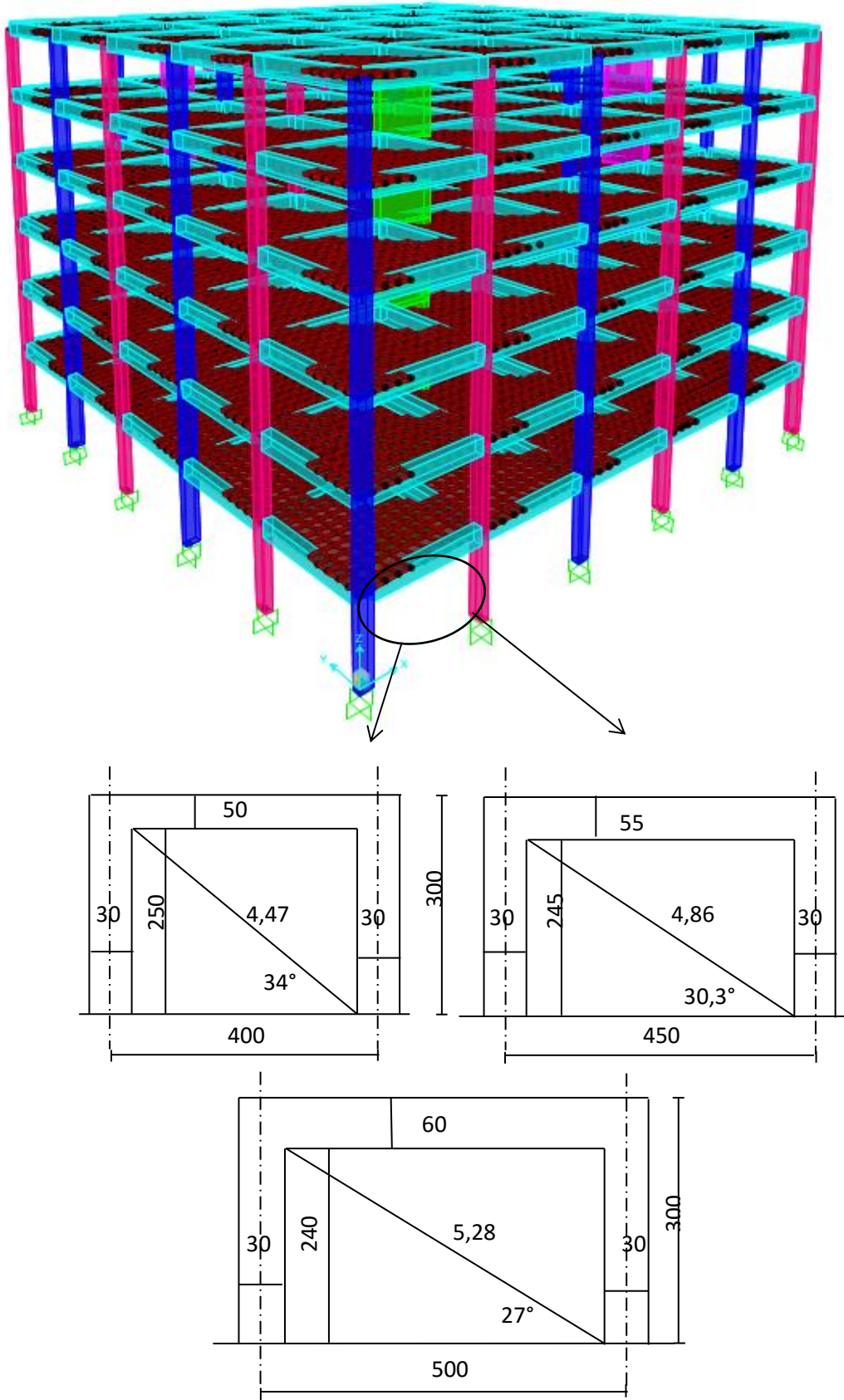
	Çerçeve elemanları	Çerçeve eleman boyutları (cm)	Kesit alanı (m <sup>2</sup> )	Atalet momenti (m <sup>4</sup> )
1 nolu çerçeve	Kolon	30x55	0,1650	4,16x10 <sup>-3</sup>
	Kiriş	50x35	0,1750	1,79 x10 <sup>-3</sup>
2 nolu çerçeve	Kolon	30x55	0,1650	4,16x10 <sup>-3</sup>
	Kiriş	55x35	0,1925	1,97 x10 <sup>-3</sup>
3 nolu çerçeve	Kolon	30x55	0,1650	4,16x10 <sup>-3</sup>
	Kiriş	60x35	0,2100	2,14x10 <sup>-3</sup>

Çizelge 4.4. Dolgu duvar geometrik özellikleri

	Duvar ölçüleri (cm)	Duvar kalınlığı (cm)	Duvar diyagonal açısı (θ°)	Duvar diyagonal uzunluğu (cm)
1 nolu çerçeve	250x370	20	34,0	447
2 nolu çerçeve	245x420	20	30,3	486
3 nolu çerçeve	240x470	20	27,0	528

Çizelge 4.5. Malzeme karakteristik özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson oranı	Ortalama basınç dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )	Tasarım basınç dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )	Akma dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )	Tasarım çekme dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )
Beton (C40)	E <sub>b</sub> =35x10 <sup>6</sup>	0,2	f <sub>ort</sub> =40000	f <sub>tas</sub> =26700		
Donatı S420	E <sub>ç</sub> =200x10 <sup>6</sup>				f <sub>yk</sub> =345000	f <sub>yd</sub> =300000
Dolgu duvar (tuğla)	E <sub>d</sub> =4,5x10 <sup>6</sup>	0,19		f <sub>d</sub> =1190		

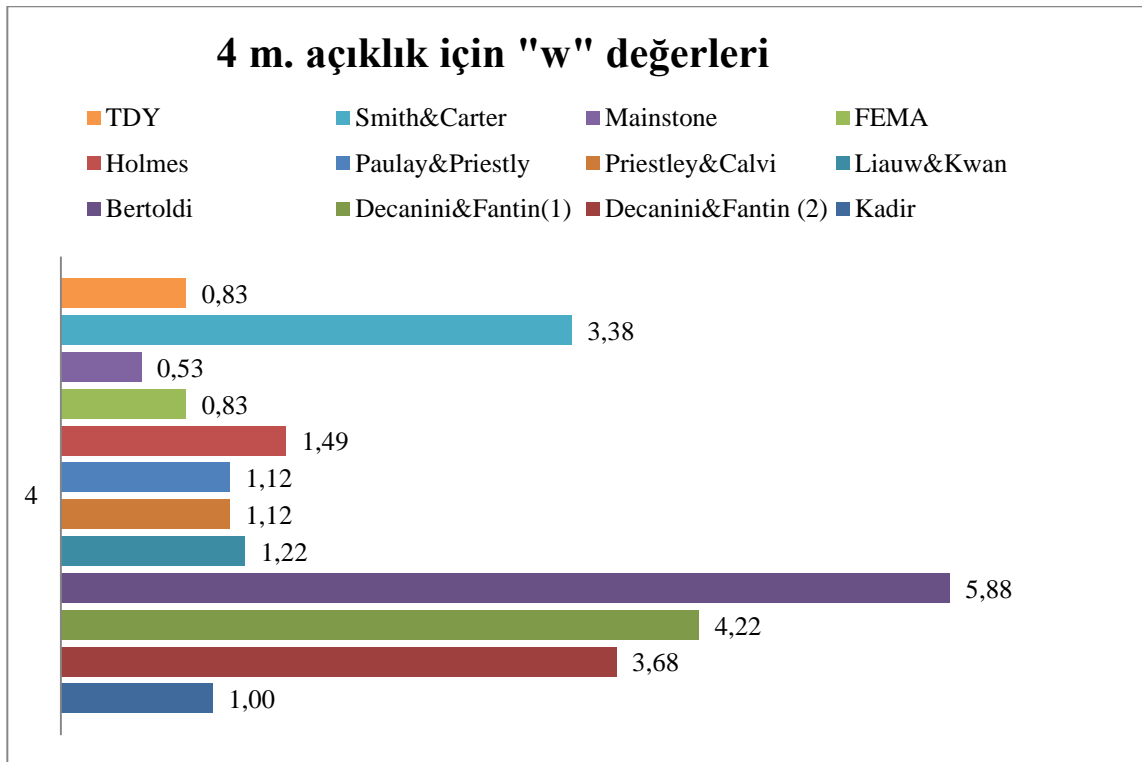


Şekil 4.7. Analitik çalışmada kullanılan model ve sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu çerçeveler



#### 4.4.1. Dolgu duvar basıkklık oranı 0,68 olan 1 nolu çerçeve

4 m. açıklığa sahip betonarme çerçevenin 250x370 cm. iç yüzey alanı bulunması nedeniyle iç yükseklik/iç genişlik oranına göre 0,68 basıkklık oranına sahiptir. Bu yüzeye, 20 cm. kalınlığında, elastisite modülü  $E_d=4,5 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>, Poisson oranı 0,19 ve tasarım basınç dayanımı  $f_d=1190$  kN/m<sup>2</sup> olan boşluklu tuğlalardan oluşan dolgu duvar olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Dolgu duvar diyagonalinin oturduğu yatay düzlemle yaptığı açı  $\theta=34^\circ$  ve diyagonal duvar uzunluğu  $d_z=447$  cm.dir. Dolgu duvarın yerleştiği betonarme çerçeve C40 betonundan imal edilmiş olup, kolon boyutları 30x55 cm., giriş boyutu ise 50x35 cm.dir.



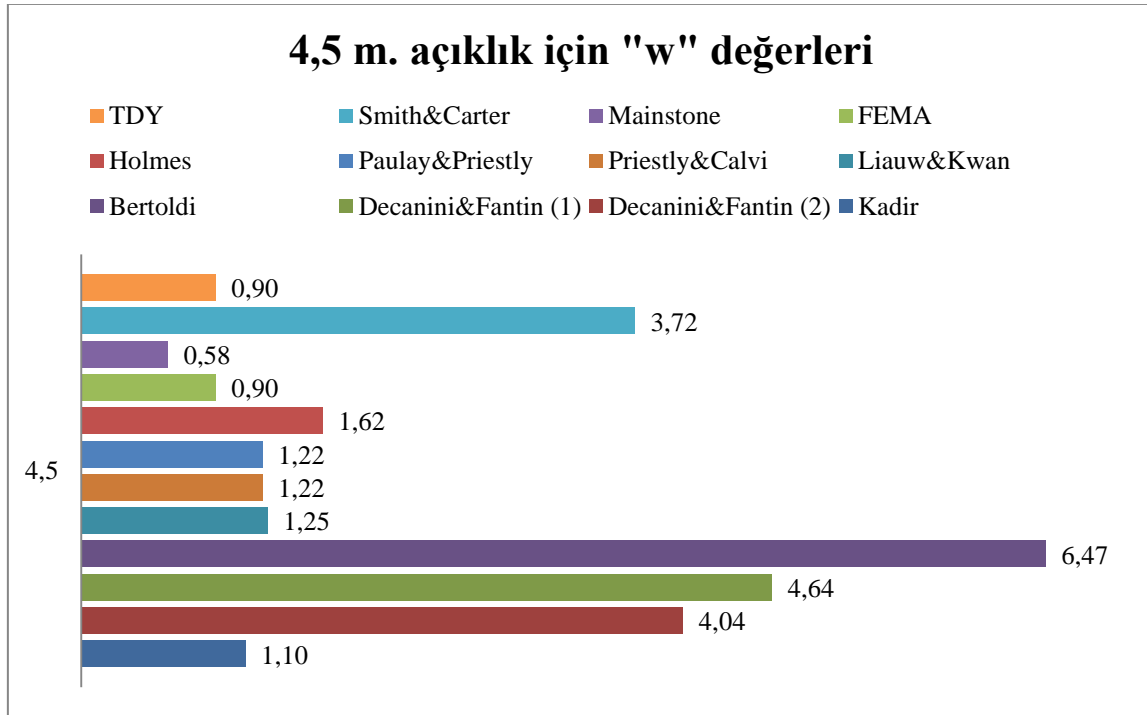
Şekil 4.8. 4 metre açıklığa sahip çerçeve için "w" eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri

4 m. açıklığa sahip dolgu duvarlı betonarme çerçeve elemanı için Şekil 4.8'deki değerler incelendiğinde en büyük eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren modellerin sırasıyla Bertoldi, Decanini ve Fantin-1, Decanini ve Fantin-2 ile Smith ve Carter olduğu görülmektedir. En düşük eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren model ise Mainstone'un modelidir. Holmes, Paulay ve Priestley, Priestley ve Calvi, Liauw ve Kwan

ile Kadir'e ait modeller 1 ile yaklaşık 1,5 değerleri arasında değişmektedir. TDY ise FEMA ile benzer yaklaşımları içeren formülasyonlarıyla 0,83 değerini almaktadır.

#### 4.4.2. Dolgu duvar basıklık oranı 0,58 olan 2 nolu çerçeve

4,5 m. açıklığındaki 2 nolu betonarme çerçeve 245x420 cm. iç yüzey alanına sahip olması nedeniyle iç yükseklik/iç genişlik oranına göre 0,58 basıklık oranına sahiptir. Çerçeve içerisine 20 cm. kalınlığında, elastisite modülü  $E_d=4,5 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>, Poisson oranı 0,19 ve tasarım basınç dayanımı  $f_d=1190$  kN/m<sup>2</sup> olan boşluklu tuğlalar ile dolgu duvarlı olarak modellenmiştir. Modelde dolgu duvar diyagonalı yatay düzlemle  $\theta=30,3^\circ$  açı oluştururken diyagonal duvar uzunluğu  $d_z=486$  cm. olmaktadır. Dolgu duvarın yerleştiği betonarme çerçeve C40 betonundan imal edilmiş olup, kolon boyutları 30x55cm., kiriş boyutu ise 55x35 cm.dir.



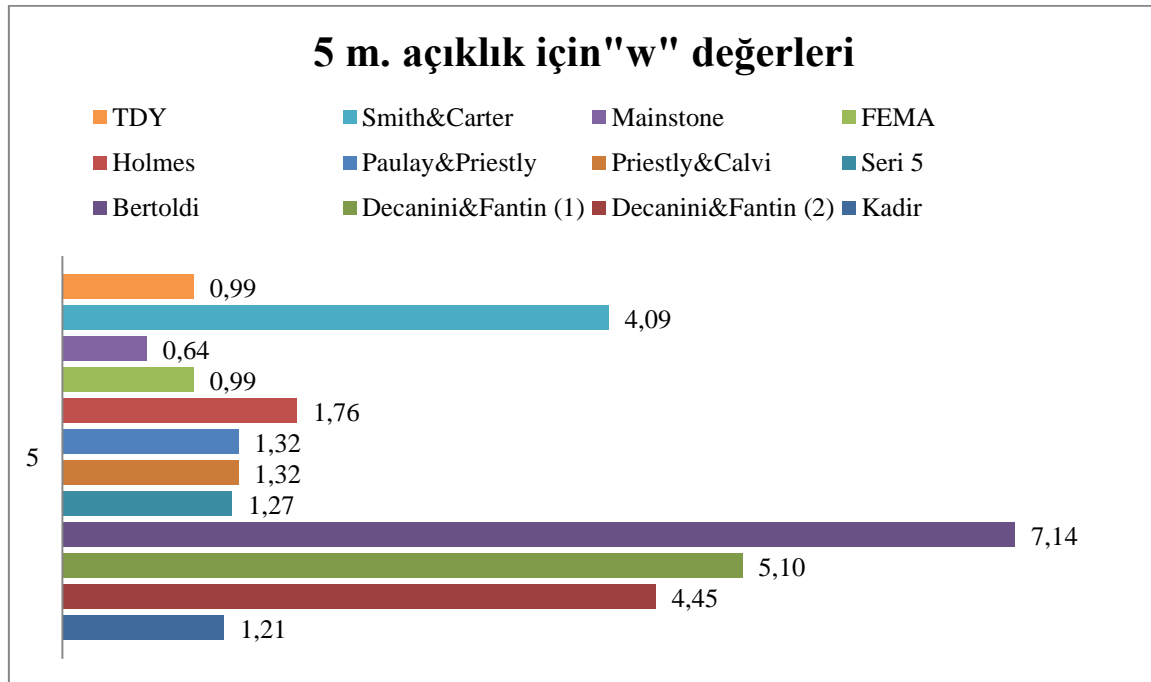
Şekil 4.9. 4,5 metre açıklığa sahip çerçeve için "w" eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri

4,5 m. açıklığa sahip dolgu duvarlı betonarme çerçeve eleman farklı eşdeğer basınç çubuğu denklemlerine göre modellenmiş ve Şekil 4.9.'daki değerler elde edilmiştir. Buna göre en büyük w değeri veren modeller sırasıyla Bertoldi, Decanini ve

Fantin-1, Decanini ve Fantin-2 ile Smith ve Carter olmaktadır. En düşük  $w$  değeri Mainstone ile bulunmuştur. Holmes, Paulay ve Priestley, Priestley ve Calvi, Liauw ve Kwan ile Kadir'e ait modeller 1,1 ile yaklaşık 1,6 değerleri arasında değişmektedir. TDY ise FEMA ile benzer yaklaşımları içeren formülasyonlarıyla 0,83 değerini almaktadır.

#### 4.4.3. Dolgu duvar basıklık oranı 0,51 olan 3 nolu çerçeve

5 m. açıklığa sahip betonarme çerçeve iç ölçüleri 240x470cm olması nedeniyle 0,51 basıklık oranına sahiptir. 1 ve 2 nolu çerçevelere benzer şekilde 3 nolu çerçeve içerisine de 20 cm. kalınlığında, elastisite modülü  $E_d=4,5 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>, Poisson oranı 0,19 ve tasarım basınç dayanımı  $f_d=1190$  kN/m<sup>2</sup> olan boşluklu tuğlalardan oluşan dolgu duvar olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Dolgu duvar diyagonalinin oturduğu yatay düzlemle yaptığı açı  $\theta=27^\circ$  ve diyagonal duvar uzunluğu  $d_z=528$  cm.dir. Dolgu duvarın yerleştiği betonarme çerçeve C40 betonundan imal edilmiş olup, kolon boyutları 30x55cm., kiriş boyutu ise 60x35 cm.dir.



Şekil 4.10. 5 metre açıklığa sahip çerçeve için "w" eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri

5 m. açıklığa sahip dolgu duvarlı betonarme çerçeve eleman için Şekil 4.10.'daki değerler incelendiğinde en büyük eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren modellerin

sırasıyla Bertoldi, Decanini ve Fantin-1, Decanini ve Fantin-2 ile Smith ve Carter olduğu görülmektedir. En düşük eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren model ise Mainstone'un modelidir. Holmes, Paulay ve Priestley, Priestley ve Calvi, Liauw ve Kwan ile Kadir'e ait modeller 1,2 ile yaklaşık 1,8 değerleri arasında değişmektedir. TDY ise FEMA ile benzer yaklaşımları içeren formülasyonlarıyla 0,99 değerini almaktadır.

Hesaplamalardan elde edilen değerler kullanılarak, modellemedeki basınç çubuğunun rijitliği daha önce de bahsedilmiş olan 2 nolu bağıntı ile bulunmaktadır.

$$k_m = \frac{E_m t w}{d} \quad (2)$$

Eşdeğer çubuğun kalınlığı ( $b_w$ ) ve elastisite modülü, modellediği dolgu duvarının değerleri ile aynı olmalıdır. Eşdeğer basınç çubuğunun dayanım değeri de aşağıdaki (3) nolu bağıntı kullanılarak bulunabilir (Baran vd., 2010):

$$F_{cdolgu} = f_{c,dolgu} w b_w \quad (3)$$

Yukarıdaki iki bağıntı yardımıyla dolgu duvarı modelleyen basınç çubuğunun dayanımı ve rijitlik değerleri TDY modelinden elde edilen "w" değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

	$F_{cdolgu}$	$k_{dolgu}$
1 nolu çerçeve	196,83	166,51
2 nolu çerçeve	214,91	167,22
3 nolu çerçeve	234,73	168,11

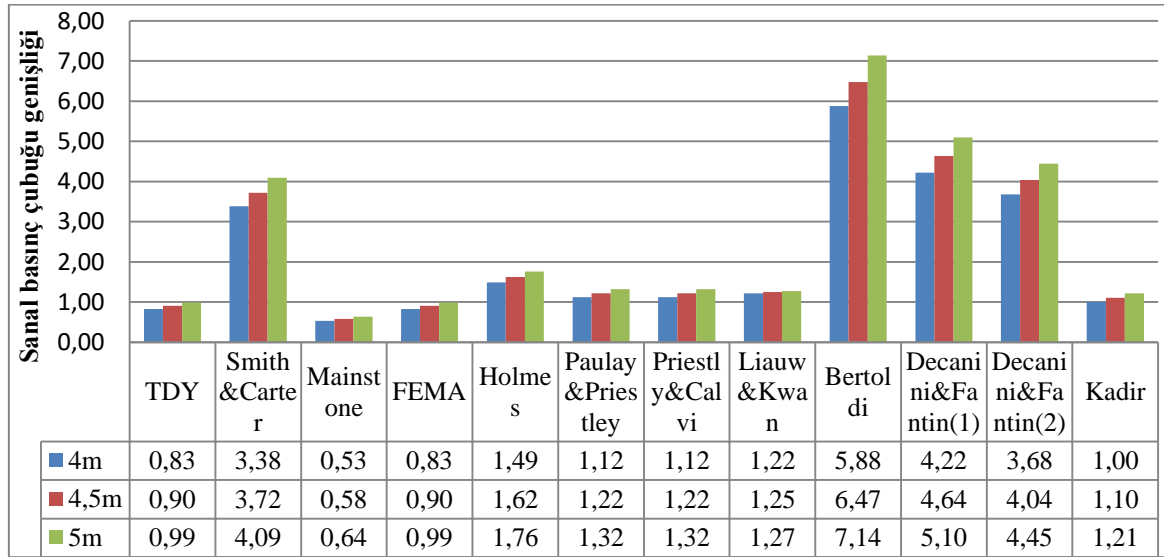
#### 4.5. Dolgu Duvarların Analitik Modellenmesine İlişkin Sonuçlar

Bu bölümde dolgu duvarların betonarme çerçeveli yapıların sismik performansına olan katkısı araştırılmış ve günümüzde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar modelleme yöntemleri incelenmiştir.

Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını tanımlamak için çeşitli araştırmacılar birbirinden farklı analitik modeller önermişlerdir. Günümüzde dolgu duvarların

modellenmesinde birbirinden farklı iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan mikro modelleme sonlu elemanlar tekniklerine dayanırken makro modelleme ise eşdeğer basınç çubuğu yöntemini temel almaktadır. Analitik modellerden biri olan makro modelleme basit ve etkili bir hesaplama yöntemine sahip olduğu için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Öte yandan makro modelleme çerçeve ile çerçeve duvar etkileşimi ve göçme mekanizmaları hakkında detaylı ve ayrıntılı bilgi vermekten uzaktır.

Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi; dolgu duvarda kullanılan malzeme ve dolgu duvarın basınlık oranına bağlı olarak değişen eşdeğer çubuk genişliğinin ( $w$ ) hesaplanması temeline dayanmakta ve böylece dolgu duvarların dayanım ve rijitliğe etkisinin araştırılması mümkün olmaktadır. Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını göstermede birbirinden farklı şerit modelleri önerilmiştir. Tek bir eşdeğer çubuğa sahip olan model literatürdeki deney sonuçları ve farklı tip göçme ve hasar görme modları ile en uyumlu sonuç veren yöntemdir. Diyagonal şerit genişliği  $w$ 'yu tanımlamada rölatif rijitliğe dayanan farklı hesaplama yöntemleri ve denklemler kullanılabilmektedir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Farklı modellere ilişkin her üç çerçeveye ait eşdeğer basınç çubuğu genişliği  $w$  değerleri

Eşdeğer basınç çubuğu genişliği TDY (2007)'nin kabul ettiği modele göre yapılan hesaplamalar sonucu diyagonal duvar uzunluğunun yaklaşık %18,5'i olarak hesaplanmıştır.

## 5. ÜÇ BOYUTLU BETONARME BİNA MODELLERİNDE DEPREM YÜKLERİ ALTINDA DOLGU DUVARLARIN DÜZLEM İÇİ VE DÜZLEM DIŞI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

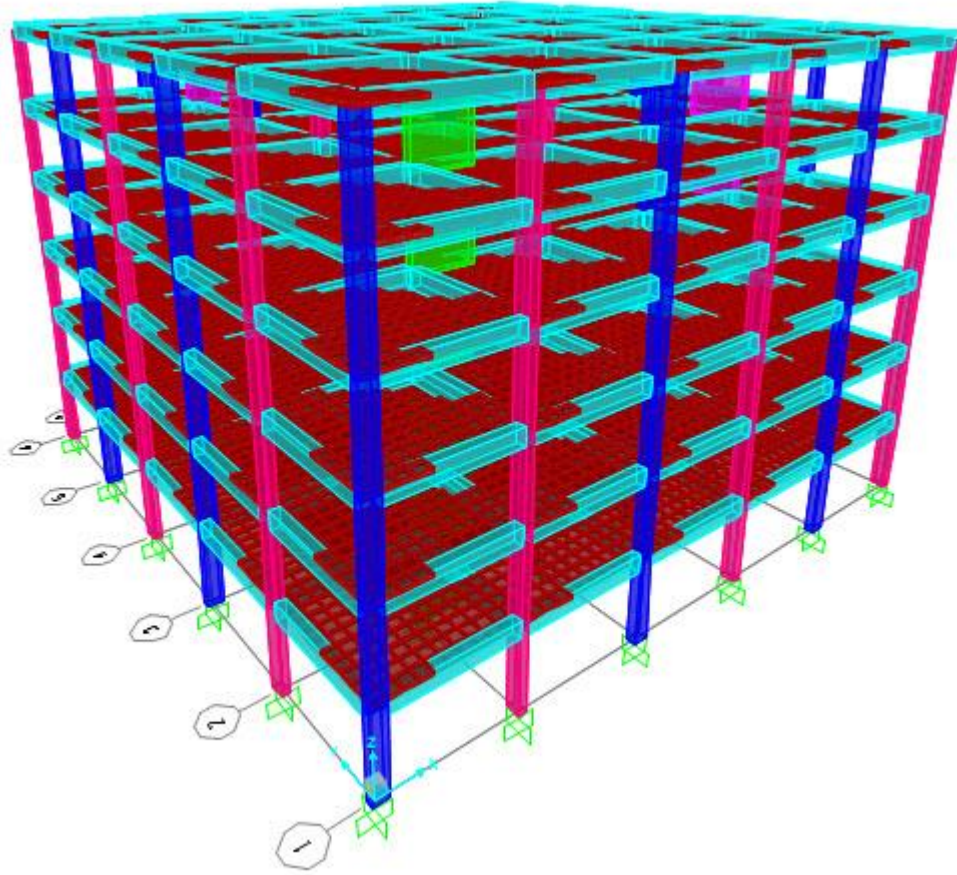
Önceki bölümlerde deprem yükleri etkisinde çerçeve dayanımına dolgu duvarların etki ve katkıları üzerine bilgi verilmişti. Tezin bu bölümünde söz konusu etkiler dolgu duvarları eşdeğer basınç çubuğu şeklinde modellenen bir bina üzerinde incelenmektedir. Modeli kurulan bina sonlu elemanlar yaklaşımı ile analiz edilerek doğal titreşim periyotları, yatay yer değiştirmeler ve görelî kat ötelemeleri gibi değerler bakımından boş çerçeveye sahip yani dolgu duvarsız bina modeli ile karşılaştırılmaktadır.

### 5.1. Bina Bilgileri

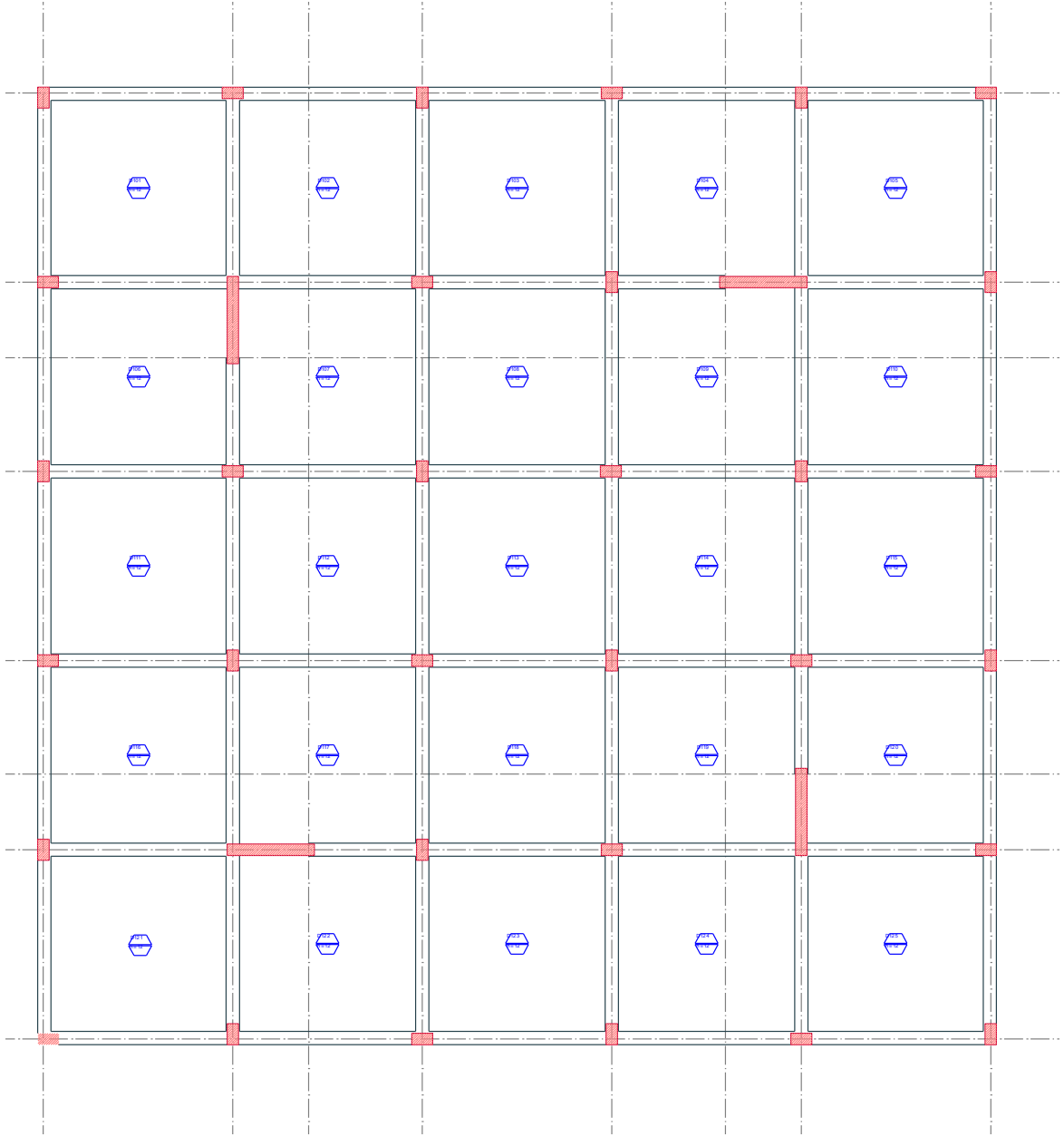
Çalışmada göz önüne alınan bina 3 boyutlu, değişik dolgu duvar yerleşimine sahip planda simetrik ve düşey doğrultuda düzensizlik içermemektir. Ülkemizde yaygın olarak bulunan orta yükseklikte yapıları temsil etmesi amacıyla; 3 m kat yüksekliğinde, 6 katlı, her iki yönde (x ve y) 5 açıklıklı ve her bir açıklığı 5 m den oluşan, 625 m<sup>2</sup> kat alanına, 30x55 cm kolon, 35x60 cm kiriş, 30x230 cm perde kesitine sahip, döşeme kalınlığı 12 cm olan betonarme bina hesap modeli Çizelge 5.1.'de verilen parametrelerle beraber SAP 2000 V.15 programında girilmiştir. Ana kirişler üzerine 20 cm kalınlığında 4500 MPa elastisite modülüne sahip tuğla duvar yükü etkililmektedir. Yapıda burulma etkisinin ortaya çıkmaması, diğer bir deyişle binanın rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışması veya aralarındaki uzaklığın yönetmelikte öngörülen sınırlar içinde kalmasını sağlamak amacıyla bina modelinin kalıp planı oluşturulurken; bina kolon ve perdeleri, yönleri şaşırtmalı olacak şekilde dengeli ve simetriğe yakın biçimde yerleştirilmiştir. Böylece katın öteleme yapmadan etrafında dönebileceği kütle merkezi ile rijitlik merkezi üst üste getirilmiş ve burulma etkisinden kaçınılmıştır. Çalışmada dolgu duvar etkisi incelenen binaya ait 3 boyutlu SAP 2000 modeli Şekil 5.1'de ve kalıp planı Şekil 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Modelde esas alınan parametreler

Deprem bölgesi	2
Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )	0,3
Yapı önem katsayısı (I)	1
Zemin sınıfı	Z4
Bina süneklik katsayısı (R)	8
Beton sınıfı	C40
Spektrum karakteristik periyotları	$T_a = 0,2$ s $T_b = 0,9$ s
Normal katlar için ölü yük	$1,7$ kN/m <sup>2</sup>
Normal katlar için hareketli yük	$2$ kN/m <sup>2</sup>



Şekil 5.1. İncelenen binaya ait 3 boyutlu SAP 2000 modeli

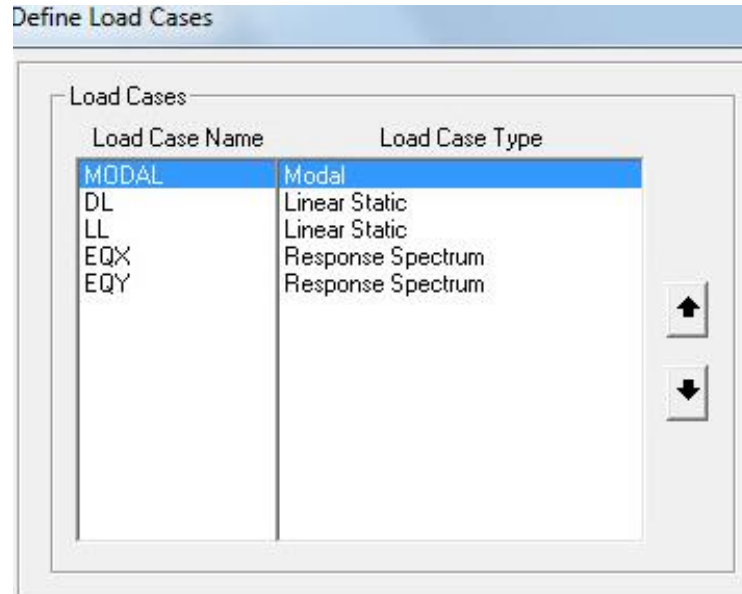


Şekil 5.2. Hazırlanan bina modeline ait kalıp planı



## 5.2. Bina Yük Durum Bilgileri

Bina modeli SAP 2000 programında oluşturulurken yükleme durumuna ilişkin veri girişleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Buna göre 5 ayrı yük durumu bulunmaktadır. Modal yükleme, ölü yük (DL), hareketli yük (LL), x yönü tepki spektrumu (EQX) ve y yönü tepki spektrumu (EQY) aşağıda görüldüğü gibi tanımlanmaktadır. Normal katlar için ölü yük  $1,7 \text{ kN/m}^2$ , hareketli yük  $2 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Binaya ait doğrusal elastik hesap modelleri TS500'deki yük kombinasyonları göz önünde bulundurularak yapısal elemanların boyutlandırılması yapılmıştır. Dizayn işlemi sonucunda binadaki tüm kirişler  $35 \times 60 \text{ cm.}$ , tüm kolonlar  $30 \times 55 \text{ cm.}$  ve perde kesitleri  $30 \times 230 \text{ cm.}$  olarak belirlenmiştir. Model olarak alınan yapı ve tüm elemanları, TDY ve TS500 koşulları dikkate alınarak dizayn edilmiştir. SAP 2000 programında modelleme yapılırken; perde ve kolon kaçıklıkları, kolon-kiriş, perde-kiriş bağlantıları, döşemelerin rijit diyafram olarak tanımlanması vb. unsurlarına dikkat edilmiştir.



Şekil 5.3. Yük durumlarının tanımlanması

EQX ve EQY her iki yöndeki tepki spektrumuna ait bilgi girişleri sırasıyla Şekil 5.4.a. ve Şekil 5.4.b.'de verilmektedir.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EQX Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1.0  
GMC f2: 0.0  
Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

Scale Factor:

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	TDY-R8	9.81
Accel	U1	TDY-R8	9.81

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

(a)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EQY Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1.0  
GMC f2: 0.0  
Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

Scale Factor:

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	TDY-R8	9.81
Accel	U2	TDY-R8	9.81

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

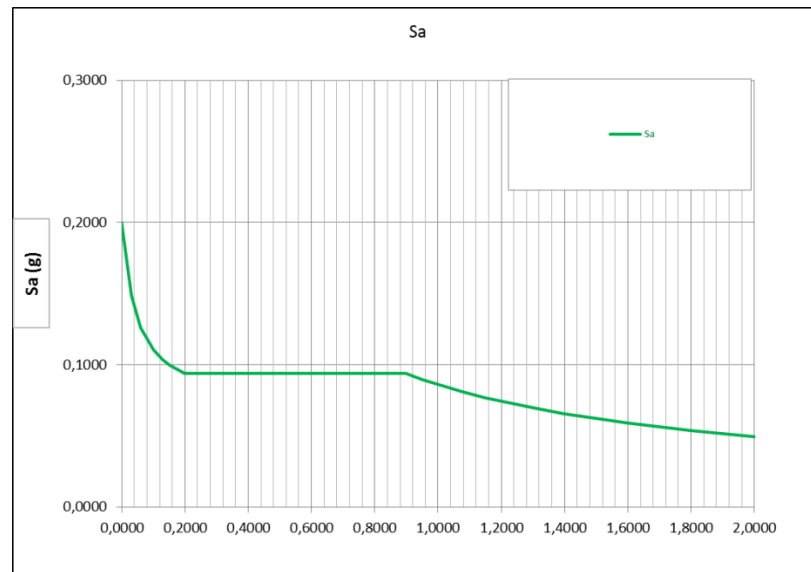
Other Parameters: Modal Damping Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

(b)

Şekil 5.4. EQX (a) ve EQY (b) yüklemelerine ait özellikler ile tepki spektrumu  
(Sönüm oranı:0,05)

Tepki spektrumu, tek serbestlik dereceli sönümlü bir sistemin zemininin belirli bir deprem ile ilişkili zorlamasının ivme-zaman geçmişi için maksimum tepki parametrelerinin (deplasman, hız, ivme gibi) frekans veya periyodun bir fonksiyonu olarak çizimini ifade etmek için kullanılır. Bir yapıyı potansiyel bir deprem için tasarlarken tepki spektrumunu kullanmak oldukça uygundur. Tüm tepki spektrumu eğrileri belli bir bölgedeki depremin özelliklerini ifade ederler ve yapı sisteminin özelliklerinin bir fonksiyonu değildir. Deprem mühendisliğinde tepki spektrumları ile depreme güvenli yapı projelendirilmesi en yaygın kullanılan analiz metodudur. Tepki spektrumları kullanılarak elde edilen analizlerde son yıllarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Deprem sırasında ortaya çıkan kuvvetler, yönetmeliklerde belirtilen tasarım kuvvetlerinden daha büyük olabilir. Bu nedenle, yapı mühendisi, yapının çok büyük yükler ve deformasyonlar altındaki performansını dikkate alacak şekilde minimum dayanımı sağlamalıdır. Bu da, doğrusal olmayan dinamik analiz ve süneklik kavramını ortaya çıkarmaktadır. Doğrusal davranış göstermeyen yapıların güçlü yer ivmeleri altında davranışını temsil eden tepki spektrumları, depreme güvenli yapıların projelendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Deprem yüklerinin modele uygulanmasında kullanılan 2. derece deprem bölgesi, Z4 zemin sınıfı, spektrum karakteristik periyotları  $T_a=0,2$  s ve  $T_b=0,9$  s olan duruma ait Şekil 5.5'te verilen tepki spektrumu kullanılarak yapıya deprem etkisi uygulanmıştır.



Şekil 5.5. Yapıya uygulanan tepki spektrumu

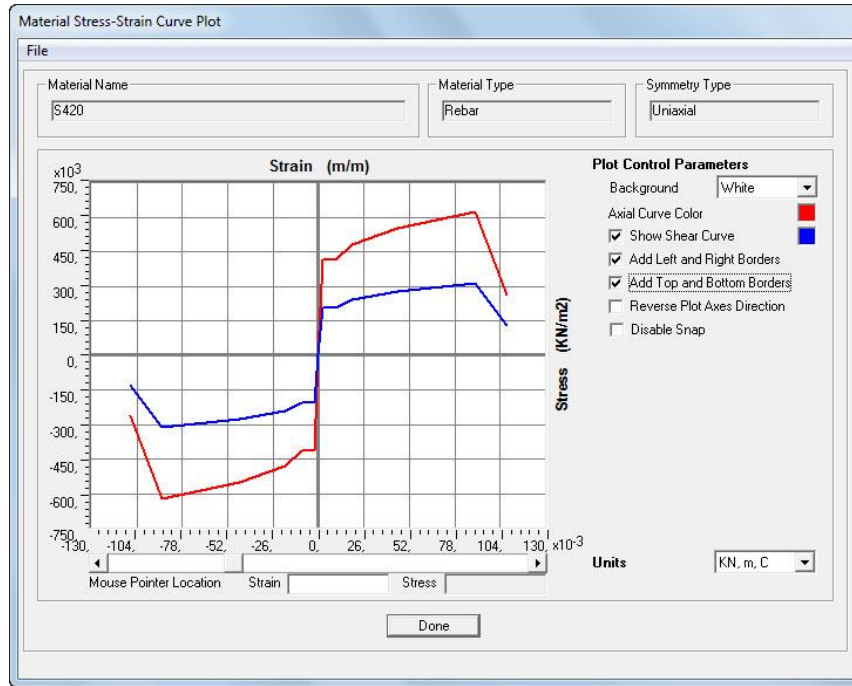
Yük ve yükleme kombinasyonları yapının gerçek etkiler altında en iyi davranış özelliklerini elde edebilmek açısından oldukça önemlidir. Yapıda dolgu duvar varlığının, yapının deprem davranışına olan etkilerini daha iyi yansıtacağı düşünülerek Çizelge 5.2’de verilen yük kombinasyonları kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. Analizlerde göz önüne alınan yük kombinasyonları

Yük Kombinasyonları	Açıklamalar
1.4G+1.6Q	G : Sabit Düşey Ölü Yükler
G+Q+EQX+0.3EQY	Q : Hareketli Düşey Yükler
G+Q+EQX-0.3EQY	EQX : X yönü Deprem Yüklemesi
G+Q-EQX+0.3EQY	EQY : Y yönü Deprem Yüklemesi
G+Q-EQX-0.3EQY	
G+Q+0.3EQX+EQY	
G+Q+0.3EQX-EQY	
G+Q-0.3EQX+EQY	
G+Q-0.3EQX-EQY	
0.9G+EQX+0.3EQY	
0.9G+EQX-0.3EQY	
0.9G-EQX-0.3EQY	
0.9G-EQX+0.3EQY	
0.9G+0.3EQX+EQY	
0.9G+0.3EQX-EQY	
0.9G-0.3EQX+EQY	

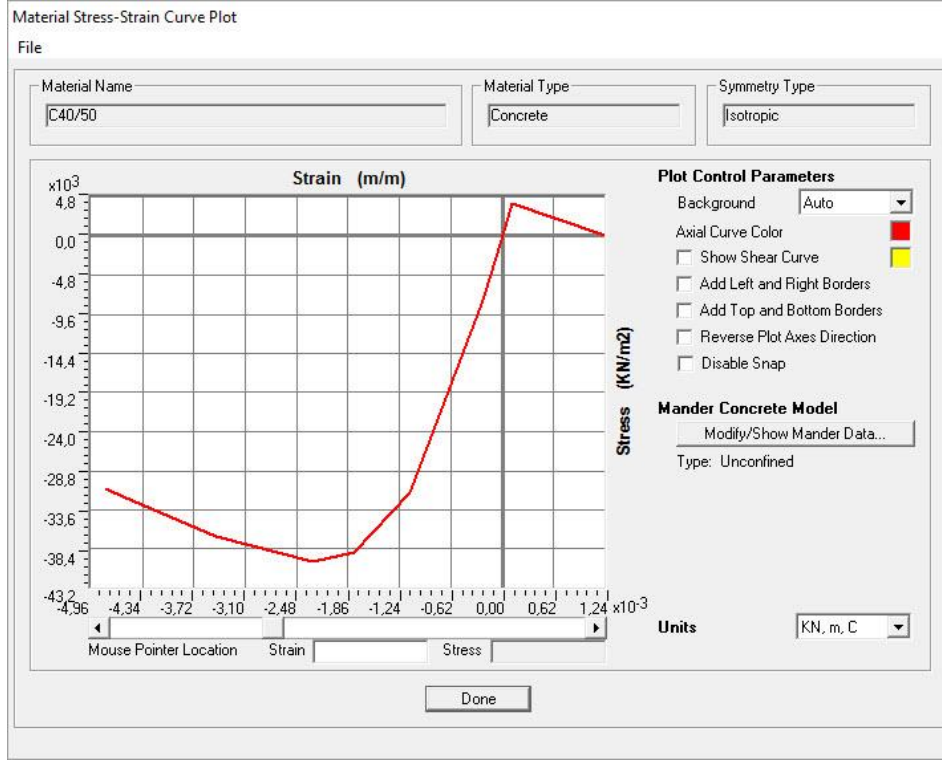
### 5.3. Malzeme Bilgileri

SAP 2000'de kolon, kiriş ve döşeme donatıları modellenirken, yönetmelikte betonarme yapılar için kullanılabilir en yüksek donatı sınıfı olarak belirlenmiş S420 donatısı kullanılmıştır. Donatının mekanik özellikleri; minimum akma dayanımı  $f_{yk}=420$  MPa, minimum kopma dayanımı  $f_{su}=500$  MPa ve minimum kopma uzaması  $\epsilon_{su}=0,12$  olarak programa girilmiştir (Şekil 5.6.).



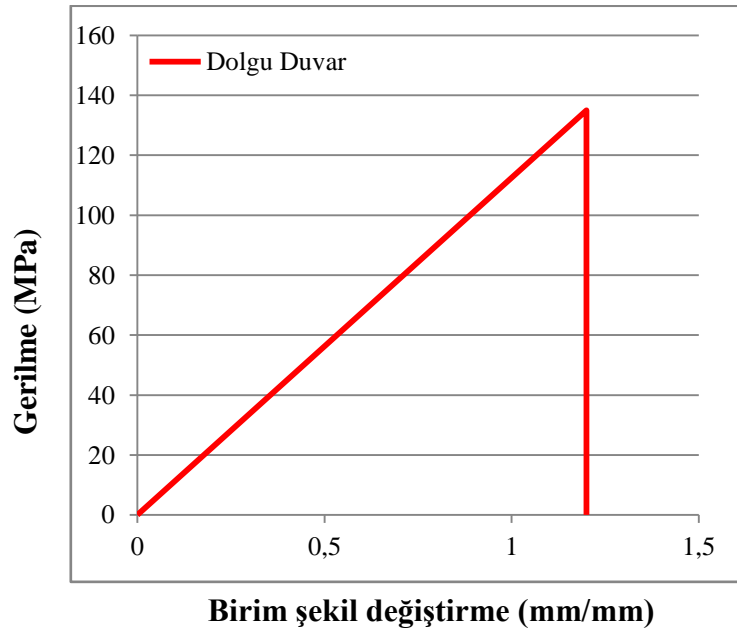
Şekil 5.6. S420 donatısının gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Basınç dayanımı  $f_{ck}=40$  MPa, çekme dayanımı  $f_{ctk}=2,2$  MPa, Poisson oranı  $\nu=0,2$  ve eşdeğer küp basınç dayanımı 50 MPa olan C40/50 sınıfı betonun elastisite modülü 34000 MPa olarak programa girilmiştir (Şekil 5.7). Dolgu duvarların sağlam binalardaki etkisinin araştırılması öngörüldüğünden, 6 katlı betonarme bir bina için oldukça güvenli sayılabilecek C40/50 sınıfı beton dizayn ve analiz aşamalarında kullanılmıştır.



Şekil 5.7. C40/50 betonuna ait gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı

Yapı mekaniği laboratuvarında yapılan deneyler sonucu elde edilen, tuğla dolgu duvarın diyagonal davranışını modelleyen gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Dolgu duvar gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı

Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi halinde, bu eşdeğer çubuğun temsil ettiği dolgu duvar malzemesinin nonlineer (doğrusal olmayan) davranışını tam olarak yansıtabilmesi için SAP 2000 programında sadece aksenal yüke çalışan ve yük-deplasman ilişkisi Şekil 5.9.'da verilen eşdeğer çubuk elemanlar kullanılmıştır (Leite ve Lourenço, 2010).

Frame Hinge Property Data for FH1\_strut - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E	0,	-0,016
D-	-41,	-0,01
C-	-41,	-6,000E-03
B	-13,7	0,
A	0,	0,
B	13,7	0,
C	41,	6,000E-03
D	41,	0,01
E	0,	0,017

Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF  Positive  Negative

Use Yield Disp (Steel Objects Only) Disp SF  Positive  Negative

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	0,	0,
Life Safety	6,000E-03	-6,000E-03
Collapse Prevention	0,01	-0,01

Show Acceptance Criteria on Plot

Type

Force - Displacement

Stress - Strain

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

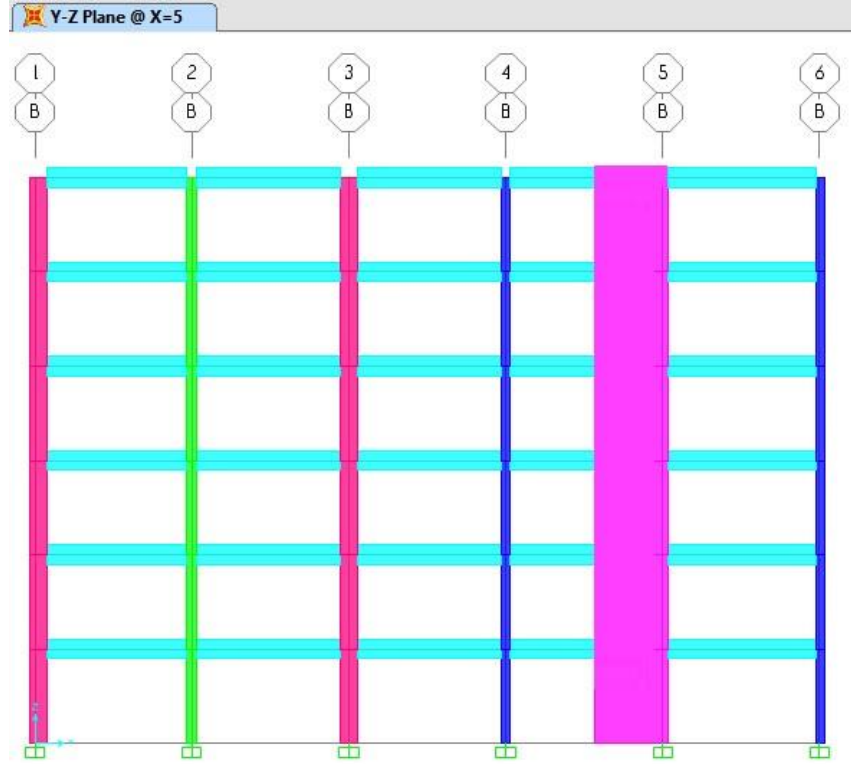
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

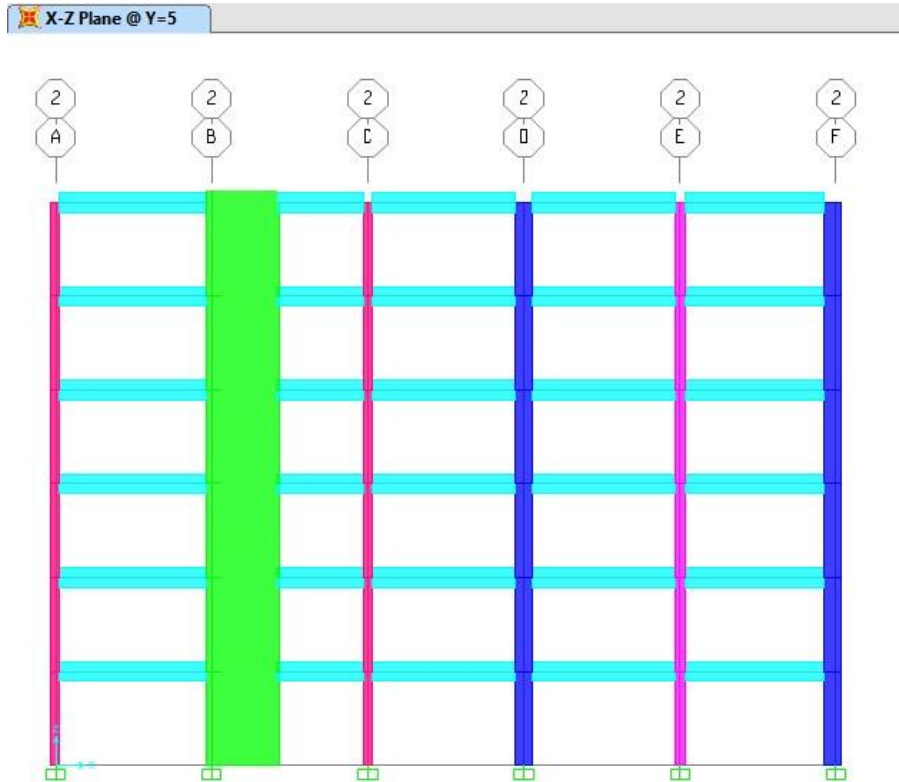
Şekil 5.9. Eşdeğer basınç çubuğu veri girişi

#### 5.4. Bina Analizi

Özellikleri yukarıda anlatılan 6 katlı, her iki yönde 5 adet 5 m. açıklığa sahip betonarme bina dolgu duvarsız, her iki yönde tamamen dolgu duvarlardan oluşan, sadece 1. katta her iki yönde dolgu duvarlardan oluşan, zemin katta sadece x veya sadece y yönünde, tüm katlarda sadece x veya sadece y yönünde dolgu duvar yerleşimleri dikkate alınarak dolgu duvarların deprem yükleri altında binanın davranışına düzlem içi ve düzlem dışı etkileri araştırılmıştır. Binaya ait kesit görüntüleri Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de görülmektedir. Binada yer alan dolgu duvarlar; sonlu elemanlar metoduna dayanan mikro modelleme ve eşdeğer basınç çubuğu metoduna dayanan makro modelleme olmak üzere 2 modelleme yaklaşımı kullanılarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 5.10. Analizlerde kullanılan yapıya ait x yönü 5. m.'den kesit görünüşü



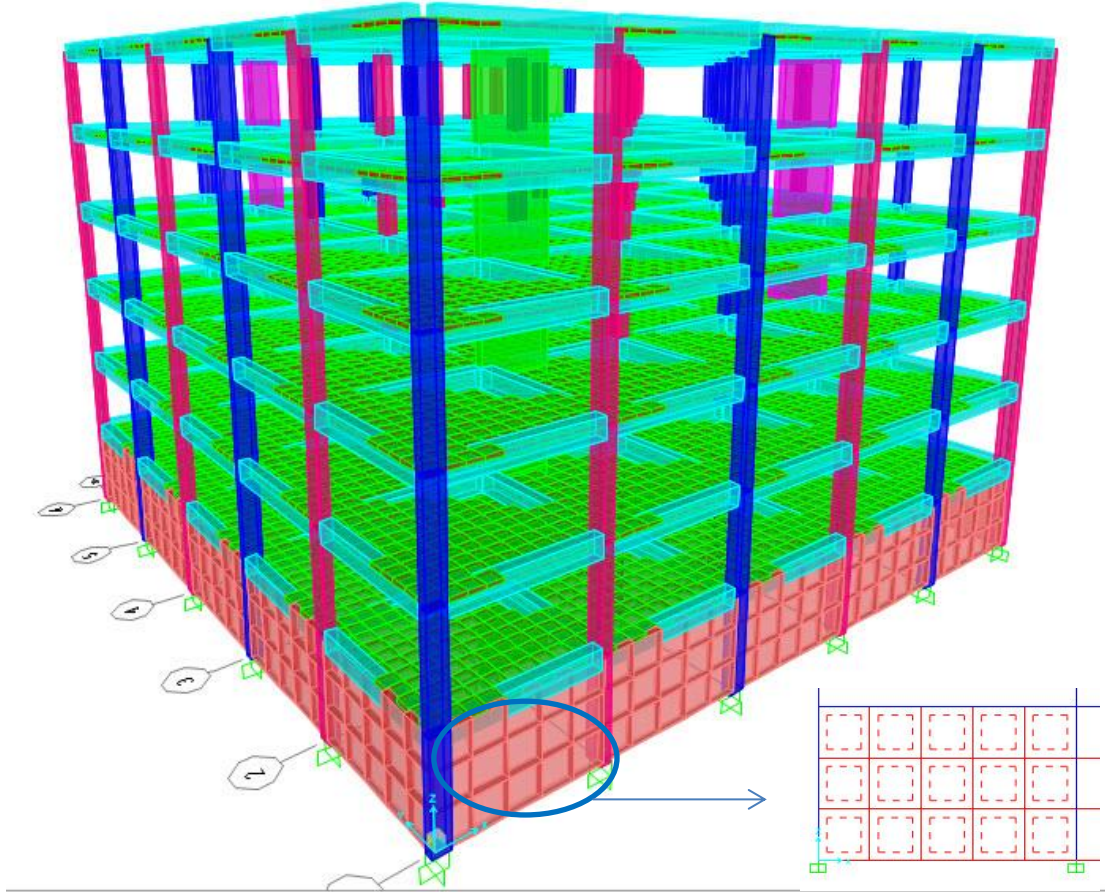
Şekil 5.11. Analizlerde kullanılan yapıya ait y yönü 5. m.'den kesit görünüşü



#### 5.4.1. Mikro modelleme (sonlu elemanlar)

Basitleştirilmiş mikro modellemede tuğla dolgu ve arasındaki harç beraberce bir birim dolgu malzemesi olarak düşünülmekte ve her bağlantı noktasında birbirlerine ara yüzeylerle yük aktarımı yapan birimlerden oluştuğu kabul edilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde incelenen modellerde, dolgu duvarlar shell eleman olarak çerçeve elemanları arasına tanımlanmış ayrıca kolon ve kirişlerle arasındaki yük aktarımının sağlıklı olabilmesi için her bir dolgu duvar x yönünde 5, y yönünde 3 ana birimin birleşiminden oluşturulmuştur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenen dolgu duvarı temsil eden elemanlar (x yönünde 3, y yönünde 5 ana mesh parçasından oluşmaktadır.)

Dolgu duvarlar programda modellenirken ağırlıkları daha önceden sisteme girildiği dolgu duvarlar için birim hacim başına düşen ağırlık değeri 0 olarak alınmıştır. Dolgu duvara ait elastisite modülü 4500 MPa ve Poisson oranı 0,17 olarak programa girilmiştir. Modellerde kullanılan dolgu duvarlar 20 cm kalınlığındadır. Bina içi yarım tuğla bölme duvarlar hesaplara katılmamış, yalnızca bina dış cephesini oluşturan duvarların binanın deprem davranışına, dayanımına ve rijitliğine olan etkisi dikkate alınmıştır.

Oluşturulan modeller, A harfi 5 m. açıklığa sahip çerçeveyi temsil etmek üzere, yalnız zemin katta ve yalnız x yönünde dolgu duvar bulunan model A WX1, yalnız zemin katta ve yalnız y yönünde dolgu duvar bulunan model A WY1, yalnız zemin hatta ve her iki (x ve y) yönünde de dolgu duvar bulunan model A WXY1, 6 kat boyunca ve yalnız x yönünde dolgu duvar bulunan model A WX6, 6 kat boyunca ve yalnız y yönünde dolgu duvar bulunan model A WY6 ve 6 kat boyunca hem x hem de y yönünde dolgu duvar bulunan model A WXY6 olarak isimlendirilmiştir.

#### **5.4.2. Mikro modelleme yöntemi ile oluşturulan modellerin analizleri**

Özellikleri yukarıda verilen birbirinden farklı 7 model ve bu modellere ait SAP 2000 analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

##### **5.4.2.1. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli**

6 katlı boşluklu (dolgu duvarsız) çerçevelerden oluşan 3 boyutlu betonarme binanın Z4 tepki spektrumu yüklemesi altında analizi yapılmış ve aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Zemin kat kolonlarında x ve y yönünde oluşan maksimum eğilme momentleri binanın planda simetrik yerleşiminden dolayı aynı değeri almıştır. Zemin katta bulunan tüm kolonlar incelendiğinde her iki yönde kolon uçlarında oluşan  $M_x$  ve  $M_y$  momentlerinin değeri 119,69 kNm'dir ve bu maksimum moment  $G+Q+EQX+0.3EQY$  kombinasyonu ile elde edilmiştir. Benzer şekilde maksimum taban kesme kuvveti değerleri her iki yönde birbirine oldukça yakın olup 3535 kN olduğu görülmektedir. Maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. katta 13,7 mm değerini almıştır. Binanın ilgili düşey kolon boyunca her

bir kat seviyesindeki görelî kat deplasmanı değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeline ait analiz sonuçları

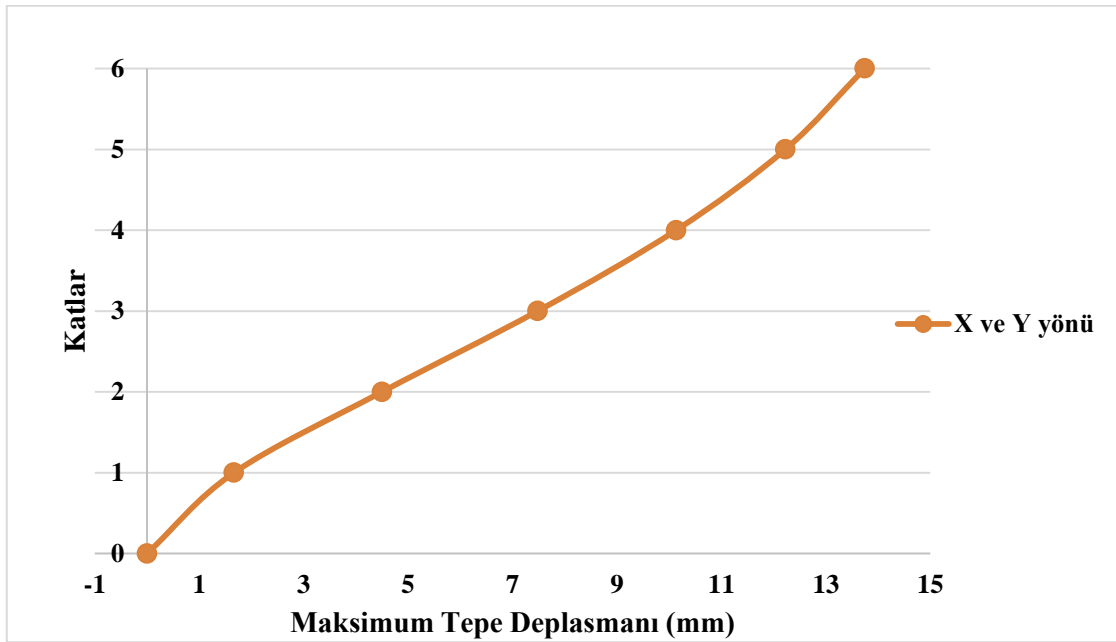
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlarda Oluşan Max M2/M3 (kN.M)	Kat Ötelenme Değerleri-X (Mm)	Kat Ötelenme Değerleri-Y (Mm)	Görelî Kat Ötelenme Değerleri (Mm)	Maksimum Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,669	G+Q+EQX+0.3EQY	119,6861	1,66	1,66	1,66	3534,788
2	0,669			4,50	4,50	2,84	
3	0,621			7,48	7,48	2,98	
4	0,205			10,13	10,13	2,65	
5	0,204			12,23	12,23	2,09	
6	0,193			13,74	13,74	1,52	

Yapıya ait tepki spektrum yüklemesi altında yapılan modal analiz sonucu; yapı doğal periyodu frekansı, devir frekansı, eigenvalue değerleri ve global x,y,z yönlerinde modal kütle katılım oranları Çizelge 5.4.'te verilmektedir. Buna göre yapı doğal periyodunun 0,67 saniye olduğu ve x ile y yönleri deplasmanları ve z eksenî etrafındaki dönmelerde %91 kütle katılım oranı sağlandığı görülmektedir.

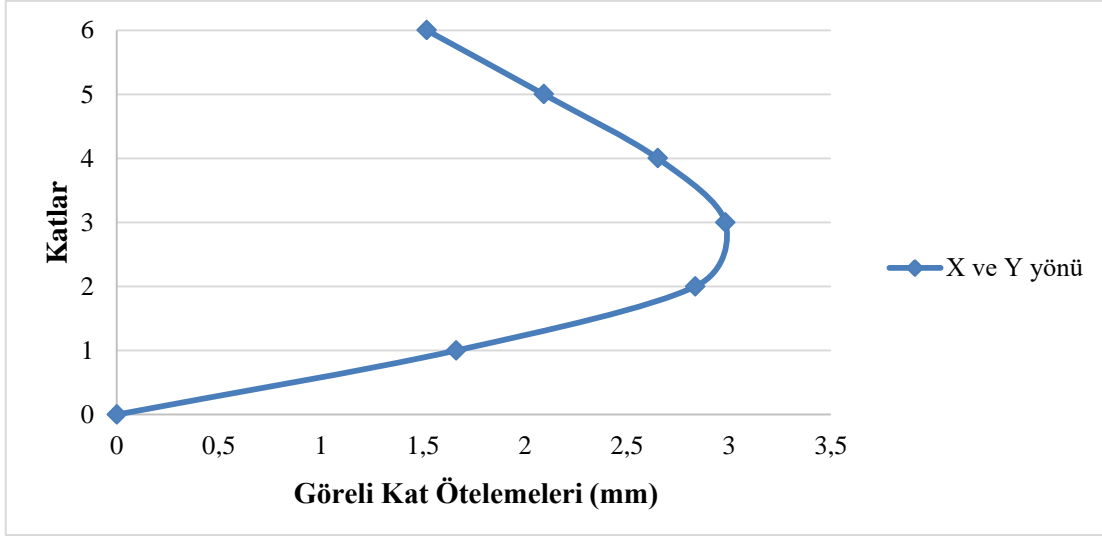
Binaya ait maksimum tepe deplasman grafiği Şekil 5.13.'te ve görelî kat ötelemeleri grafiği de Şekil 5.14.'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/saniye)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	Modal Kütle Katılım Oranları					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,669	1,4952	88,258	0,00392	0,78692	0	0,07357	0,00017	0
2	0,669	1,4952	88,258	0,79083	0,79083	0	0,07374	0,07374	0
3	0,622	1,6084	102,12	0,79083	0,79083	0,0001	0,07374	0,07374	0,79883
4	0,205	4,8831	941,37	0,80347	0,89739	0,0001	0,24013	0,09695	0,79883
5	0,205	4,8831	941,37	0,91003	0,91003	0,0001	0,26334	0,26334	0,79883
6	0,193	5,174	1056,9	0,91003	0,91003	0,0005	0,26334	0,26334	0,91297



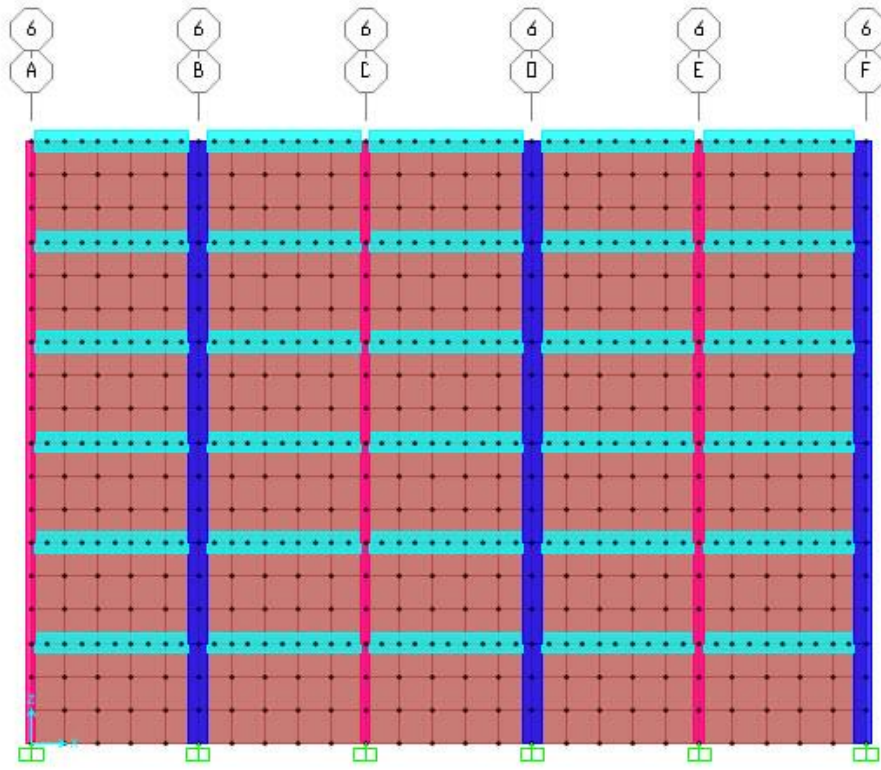
Şekil 5.13. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için maks. tepe deplasman grafiği



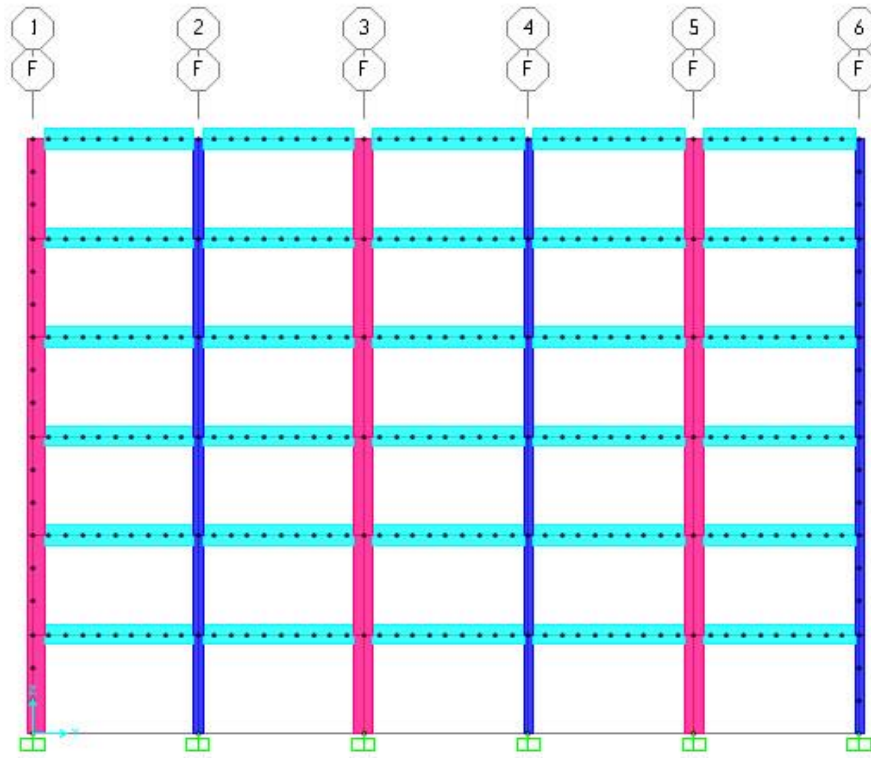
Şekil 5.14. Boşluklu (dolgu duvarsız) bina modeli için görel kat ötelemeleri

#### **5.4.2.2. A WX6 modeli**

6 katlı ve her katında yalnızca dış cephede x yönünde dolgu duvar bulunan çerçevelerden oluşan 3 boyutlu betonarme bina analizi yapılmıştır. Böylece Çizelge 5.5'te de verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti  $G+Q+EQX+0.3EQY$  kombinasyonu ile 117,37 kNm, taban kesme kuvveti de 3690,67 kN olarak elde edilmiştir. X yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 2,66 mm değerini almaktadır. y yönünde ise bu değer 13,33 mm olarak bulunmuştur. İlgili cephe görselleri Şekil 5.15. ve Şekil 5.16'da verilmektedir.



Şekil 5.15. Binaya ait x yönü dolgu duvarlı cephe görünüşü



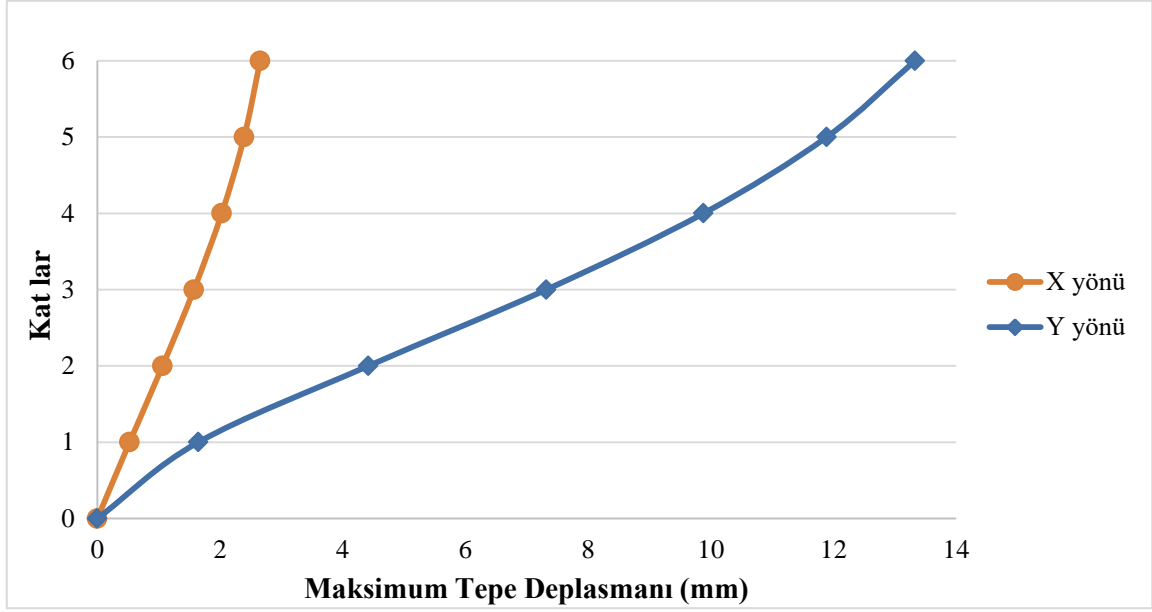
Şekil 5.16. Binaya ait y yönü dolgu duvarsız cephe görünüşü

Çizelge 5.5. Tüm katlarda yalnız x yönlerinde dolgu duvar bulunan modele ait sonuçlar

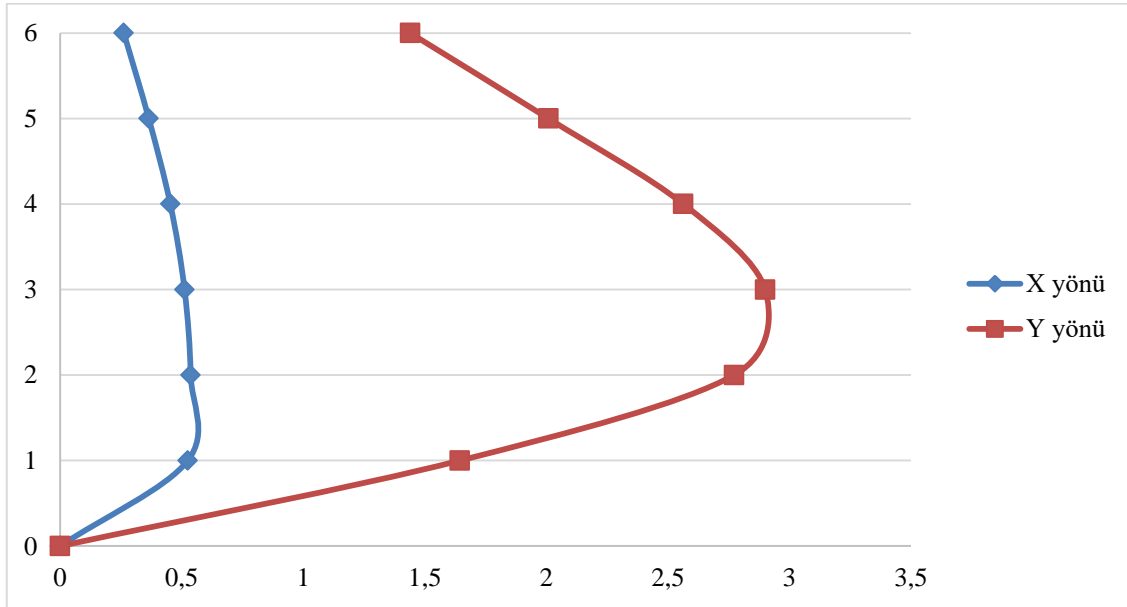
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlarda Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri- X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri- Y (mm)	X Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,659	G+Q+EQX+0.3EQY	117,37 / 81,126	0,53	1,64	0,53	1,64	3690,67
2	0,294			1,06	4,42	0,54	2,77	
3	0,255			1,57	7,32	0,51	2,90	
4	0,202			2,03	9,88	0,45	2,56	
5	0,106			2,39	11,89	0,37	2,01	
6	0,099			2,66	13,33	0,26	1,44	

Çizelge 5.6. Tüm katlarda x yönlerinde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları tablosu

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,659	1,5177	90,941	0,0000104	0,79	0	0,07019	0,00005	0
2	0,294	3,3959	455,28	0,84	0,79	0	0,07023	0,06996	0
3	0,255	3,9214	607,06	0,84	0,79	0,000093	0,07023	0,06996	0,85
4	0,202	4,9572	970,13	0,84	0,91	0,000093	0,25	0,0701	0,85
5	0,106	9,4611	3533,8	0,84	0,96	0,000093	0,28	0,07043	0,85
6	0,099	10,116	4039,8	0,84	0,96	0,41	0,28	0,07043	0,85



Şekil 5.17. AWX6 maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.18. AWX6 görel kat ötelemeleri grafiği (mm)



### 5.4.2.3. AWY6 modeli

Benzer şekilde aynı özelliklere sahip bina bütün katlarda, yalnızca dış cephesinin y yönünde dolgu duvar yerleştirilmek suretiyle analiz edilmiştir. Bu durumda yukarıda verilen x yönüne ait sonuçların oldukça benzeri, ancak simetriden ötürü x ve y yönündeki değerler yer değiştirmiş olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Tüm katlarda yalnız y yönlerinde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları

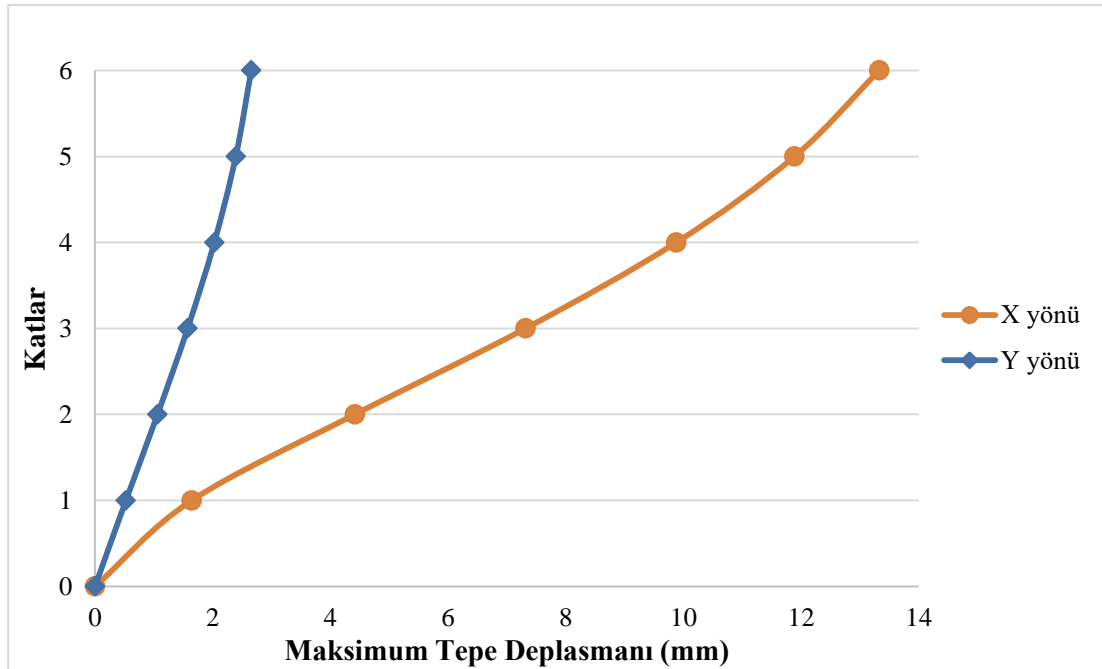
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlarda Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri-X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri-Y (mm)	X Yönü Görelî Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Görelî Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,659	G+Q+0,3EQX+EQY	81,135/117,91	1,65	0,53	1,64	0,53	3689,99
2	0,294			4,42	1,06	2,77	0,54	
3	0,255			7,32	1,57	2,90	0,51	
4	0,202			9,88	2,03	2,56	0,45	
5	0,106			11,89	2,39	2,01	0,37	
6	0,099			13,33	2,66	1,44	0,26	

Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.78’de verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti G+Q+0.3EQX+EQY kombinasyonu ile 811,35 kNm, taban kesme kuvveti de 3689,99 kN olarak elde edilmiştir. x yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 13,33 mm değerini almaktadır. y yönünde ise bu değer 2,65 mm olarak bulunmuştur. İlgili grafikler Şekil 5.19 ve Şekil 5.20.’de verilmektedir.

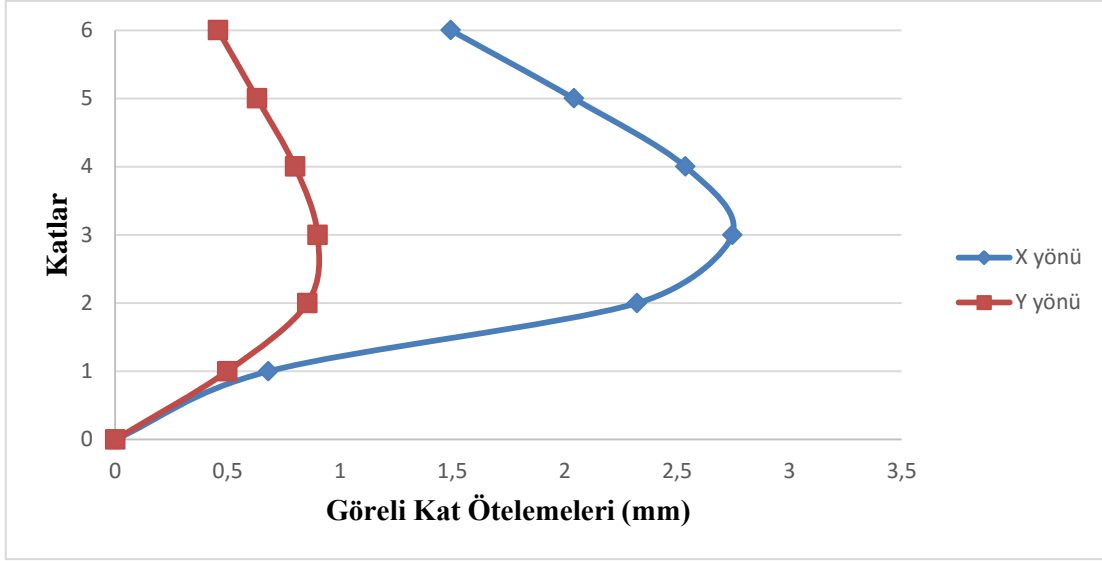
Çizelge 5.8. Tüm katlarda y yönlerinde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,659	1,5176	90,942	0	0,79	0	0,07019	0	0
2	0,295	3,3962	455,32	0,84	0,79	0	0,07023	0,06996	0
3	0,255	3,9211	607,15	0,84	0,79	0,0000936	0,07023	0,06996	0,85
4	0,202	4,9561	970,10	0,84	0,91	0,0000936	0,25	0,0701	0,85
5	0,106	9,4623	3533,63	0,84	0,96	0,0000936	0,28	0,07043	0,85
6	0,099	10,109	4039,78	0,84	0,96	0,41	0,28	0,07043	0,85

modal kütle katılım oranları tablosu



Şekil 5.19. AWY6 maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.20. AWY6 görel kat ötelemeleri grafiği

#### **5.4.2.4. A WX1 modeli**

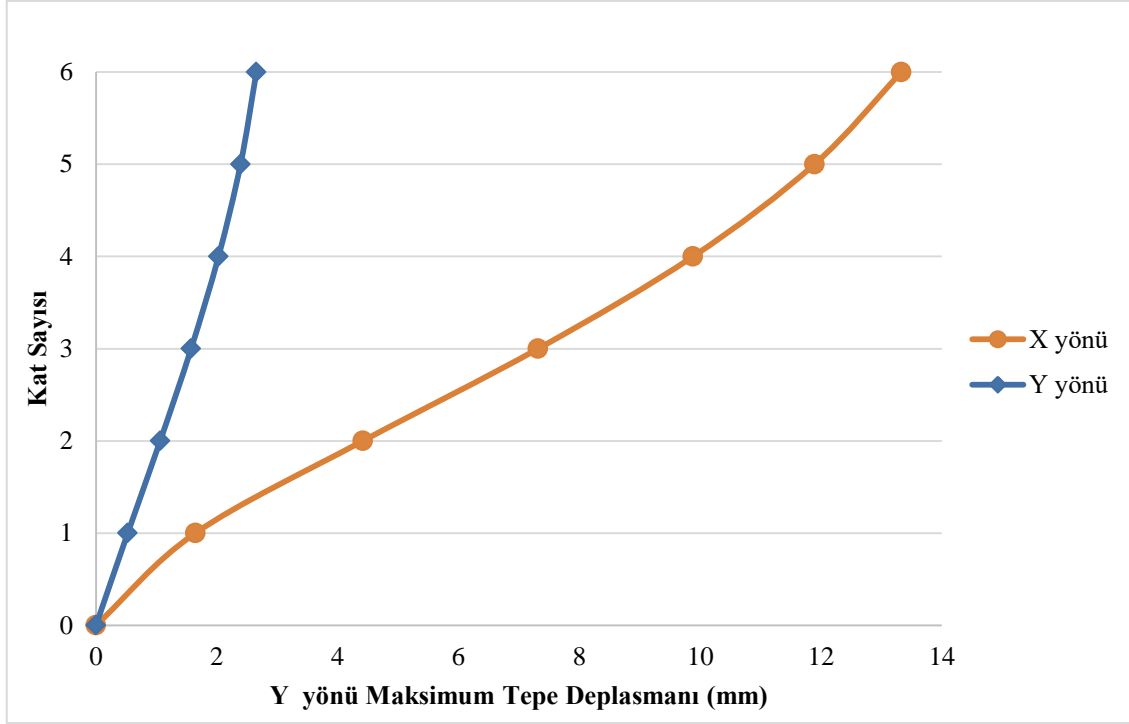
6 katlı ve yalnızca zemin katında dış cephede x yönünde dolgu duvar bulunan çerçevelerden oluşan 3 boyutlu betonarme bina analizi yapılmıştır. Böylece Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10.'da verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti  $G+Q+EQX+0.3EQY$  kombinasyonu ile 117,8 kNm, taban kesme kuvveti de 124,9 kN olarak elde edilmiştir. X yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 11,82 mm değerini almaktadır. y yönünde ise bu değer 4,14 mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.9. Yalnız zemin kat x yönünde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları

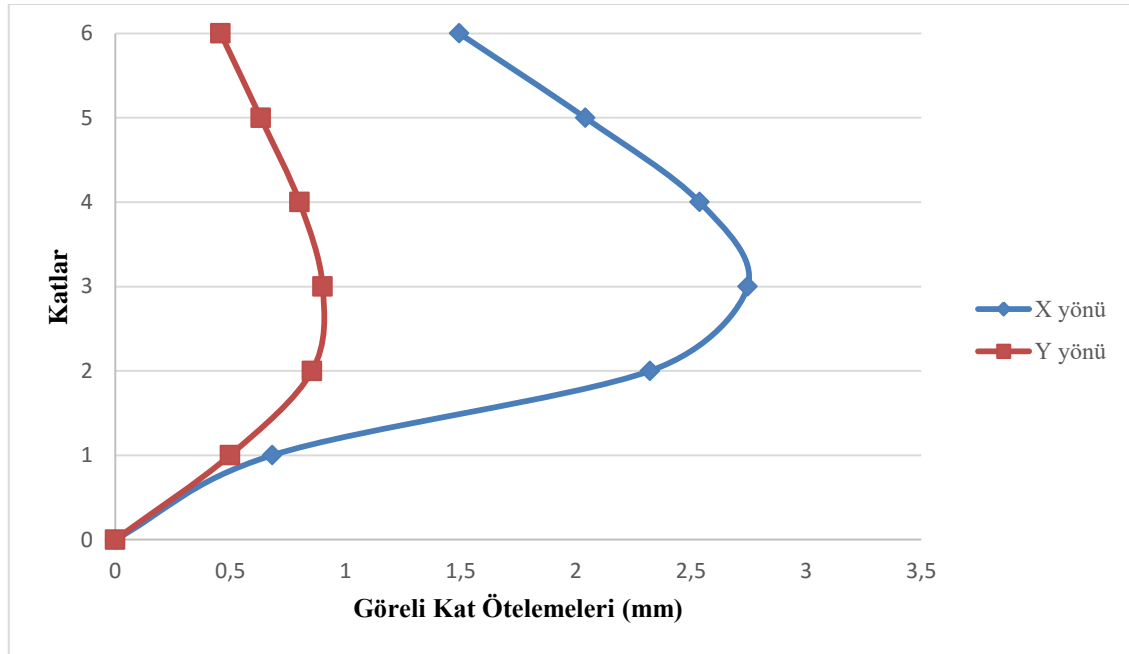
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlar da Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri -X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri -Y (mm)	X Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,667	G+Q+EQX+0,3EQY	117,8495 / 104,903	0,68	0,50	0,68	0,50	3299,69
2	0,619			3,01	1,35	2,32	0,86	
3	0,569			5,75	2,25	2,75	0,90	
4	0,205			8,29	3,06	2,54	0,80	
5	0,188			10,33	3,69	2,04	0,63	
6	0,176			11,82	4,15	1,49	0,46	

Çizelge 5.10. Yalnız zemin kat x yönünde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,667	1,4984	88,64	0,00001067	0,7896	0	0,07304	0,0000493	0
2	0,619	1,6148	102,94	0,7374	0,78961	0	0,0731	0,09198	0
3	0,569	1,7569	121,86	0,7374	0,78961	0,00012	0,0731	0,09198	0,73644
4	0,205	4,8885	943,42	0,7374	0,90854	0,00012	0,26085	0,09215	0,73644
5	0,188	5,3217	1118,1	0,85636	0,90854	0,00012	0,26102	0,23469	0,73644
6	0,176	5,6883	1277,4	0,85636	0,90854	0,00053	0,26102	0,23469	0,84934



Şekil 5.21. AWX1 maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.22. AWX1 görel kat ötelemeleri grafiği

### 5.4.2.5. AWY1 modeli

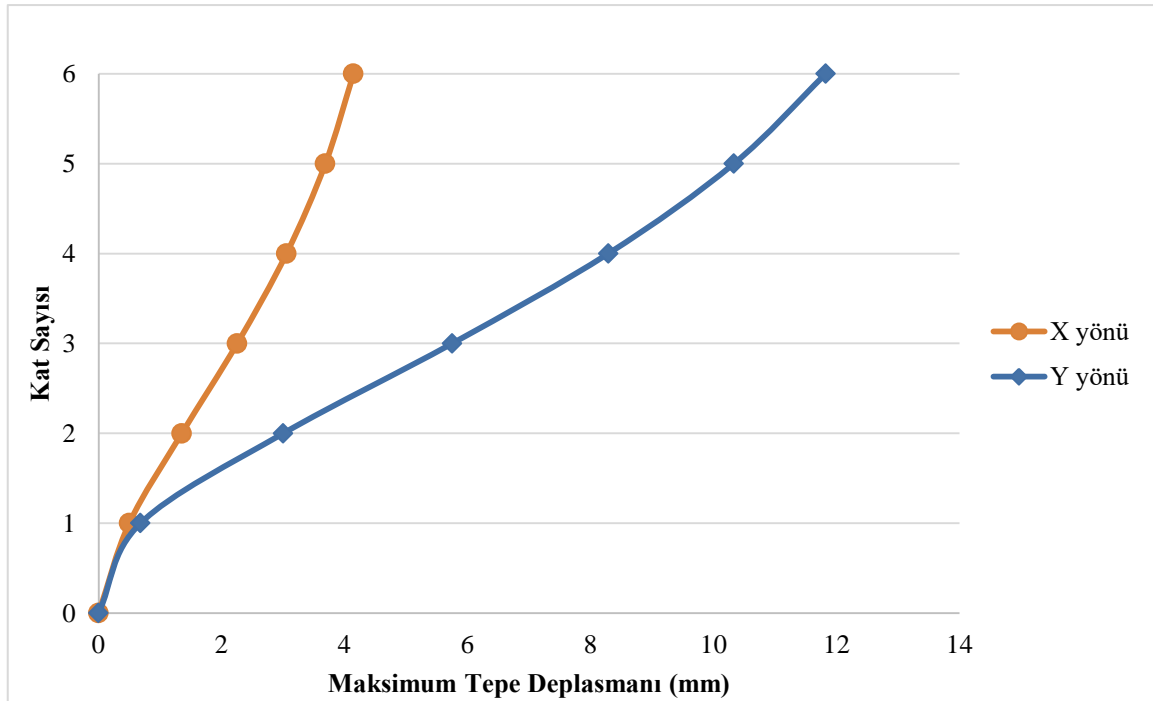
Aynı özelliklere sahip bina yalnızca zemin kat dış cephesinin y yönünde dolgu duvar yerleştirilmek suretiyle analiz edilmiştir. Bu durumda yukarıda verilen x yönüne ait sonuçların oldukça benzeri, ancak simetriden ötürü x ve y yönündeki değerler yer değiştirmiş olarak elde edilmiştir. Böylece Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12.'de verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti  $G+Q+0.3EQX+EQY$  kombinasyonu ile 5,4 kNm, taban kesme kuvveti de 124,9 kN olarak elde edilmiştir. X yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 4,14 mm değerini almaktadır. y yönünde ise bu değer 11,8 mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.11. Yalnız zemin kat y yönünde dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları

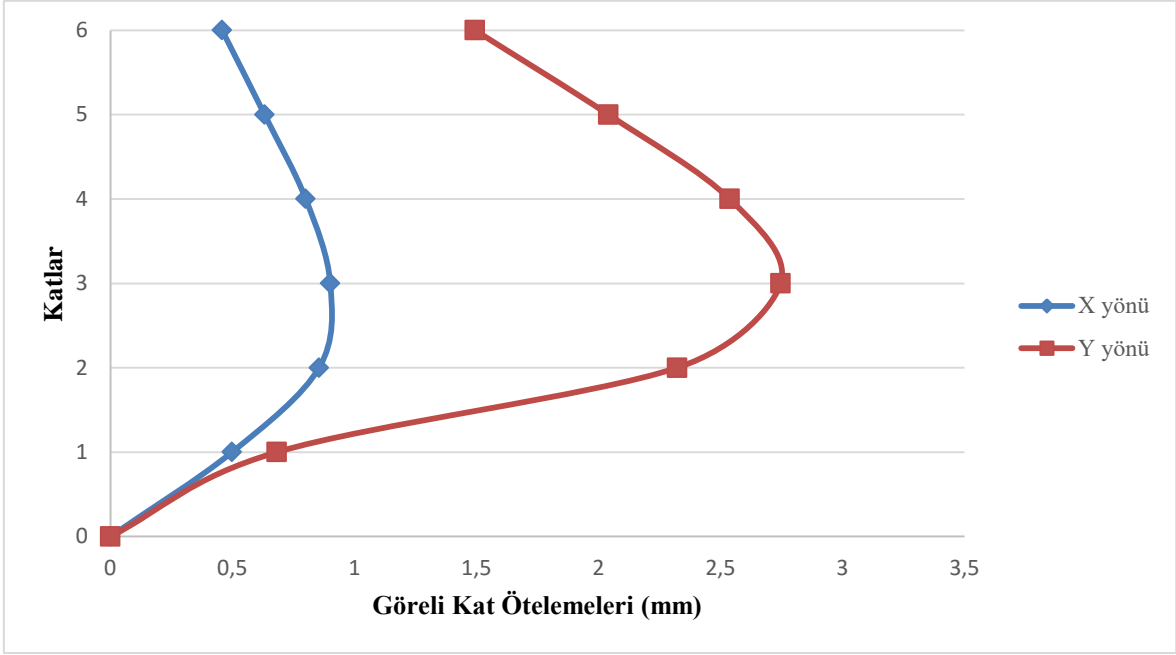
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlarda Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri- X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri- Y (mm)	X Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,667	G+Q+0,3EQ X+EQY	104,903 /117,8502	0,50	0,68	0,50	0,68	3299,69
2	0,619			1,35	3,00	0,86	2,32	
3	0,569			2,25	5,75	0,90	2,75	
4	0,205			3,06	8,29	0,80	2,54	
5	0,188			3,69	10,33	0,63	2,04	
6	0,176			4,15	11,82	0,46	1,50	

Çizelge 5.12. Yalnız zemin kat y yönünde dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,667	1,4985	88,65	0	0,7896	0	0,07304	0,0000493	0
2	0,619	1,6139	102,20	0,7374	0,78961	0	0,0731	0,09198	0
3	0,569	1,7542	121,92	0,7374	0,78961	0,00012	0,0731	0,09198	0,73644
4	0,205	4,8873	943,85	0,7374	0,90854	0,00012	0,26085	0,09215	0,73644
5	0,188	5,3219	1118,06	0,85636	0,90854	0,00012	0,26102	0,23469	0,73644
6	0,176	5,6879	1277,3	0,85636	0,90854	0,00053	0,26102	0,23469	0,84934



Şekil 5.23. AWY1 maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.24. AWX1 görelî kat ötelemeleri grafiği

#### **5.4.2.6. AWXY6 modeli**

6 katlı ve her katında her iki x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan çerçevelerden oluşan 3 boyutlu betonarme bina analizi yapılmıştır. Böylece Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14.'te de verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti  $G+Q+EQX+0.3EQY$  kombinasyonu ile 82 kNm, taban kesme kuvveti de 3784 kN olarak elde edilmiştir. X yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 2,44 mm değerini almaktadır. y yönünde de bu değer 2,44 mm olarak bulunmuştur.

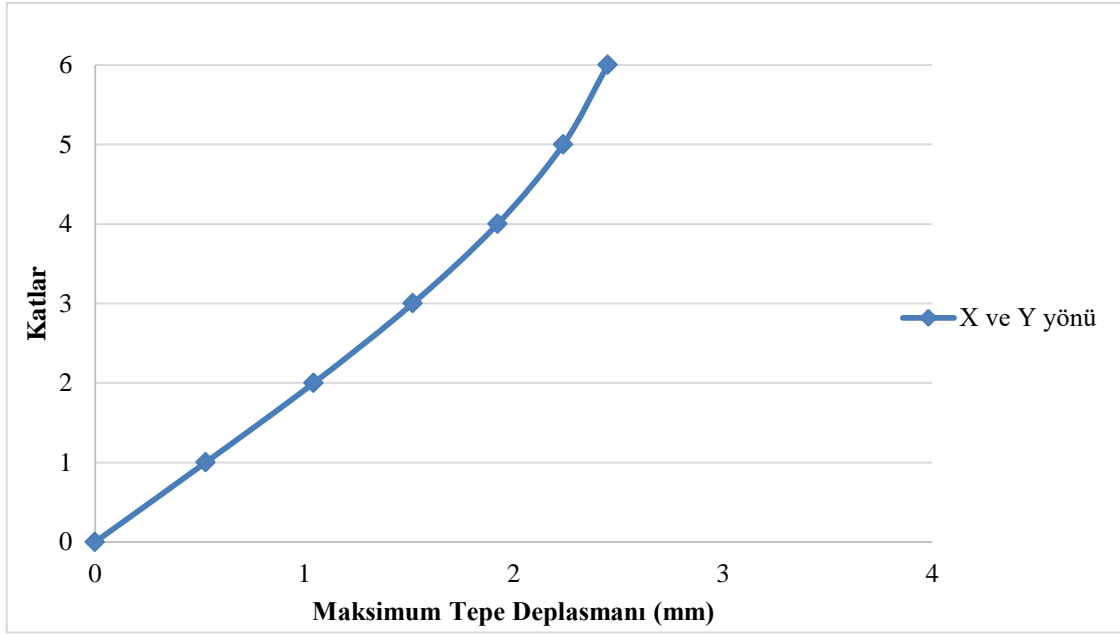


Çizelge 5.13. Tüm katlarda x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları

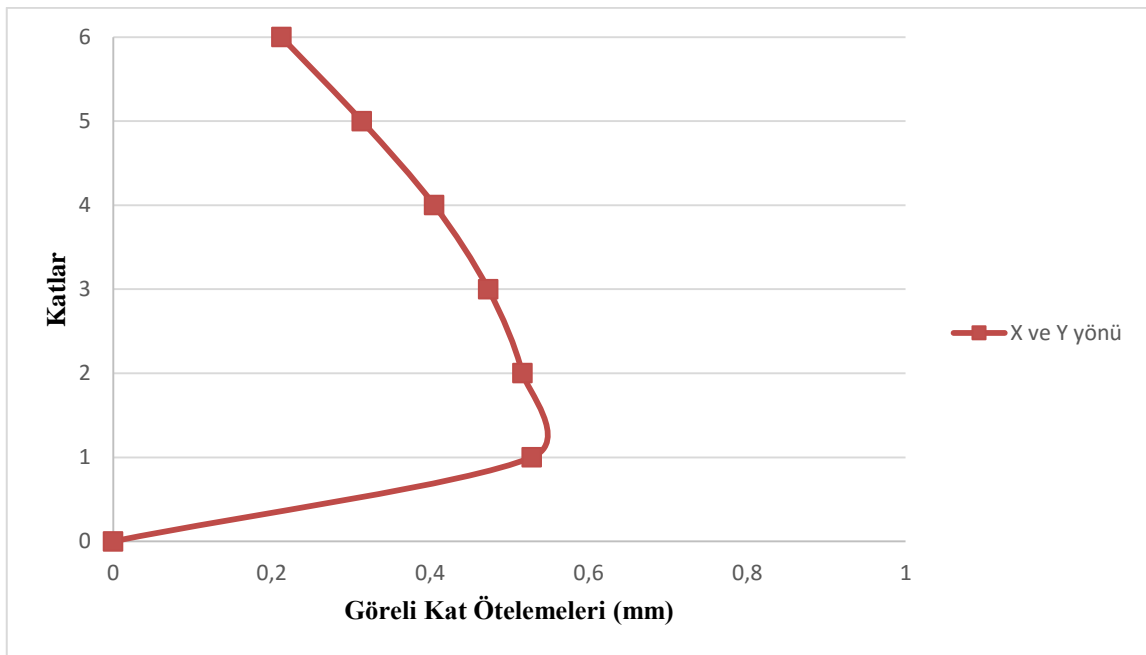
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlara Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri -X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri -Y (mm)	X Yönü Görelî Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Görelî Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,285	G+Q+0,3EQX+EQY	82,6549/82,6549	0,53	0,53	0,53	0,53	3784,302
2	0,285			1,05	1,05	0,52	0,52	
3	0,175			1,52	1,52	0,47	0,47	
4	0,099			1,92	1,92	0,41	0,41	
5	0,095			2,24	2,24	0,31	0,31	
6	0,095			2,45	2,45	0,21	0,21	

Çizelge 5.14. Tüm katlarda x ve y yönünde de dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,285	3,508	485,83	0,66921	0,17868	0	0,0123	0,05165	0
2	0,285	3,508	485,83	0,84789	0,84789	0	0,06395	0,06395	0
3	0,175	5,725	1293,9	0,84789	0,84789	0,0001	0,06395	0,06395	0,88698
4	0,099	10,138	4057,8	0,84789	0,84789	0,37733	0,06395	0,06395	0,887
5	0,095	10,526	4374,1	0,95239	0,84812	0,37733	0,06403	0,44933	0,887
6	0,095	10,526	4374,1	0,95262	0,95262	0,37733	0,44941	0,44941	0,887



Şekil 5.25. AWXY6 maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.26. AWXY6 görel kat ötelemeleri grafiği

### **5.4.2.7. AWCY1 modeli**

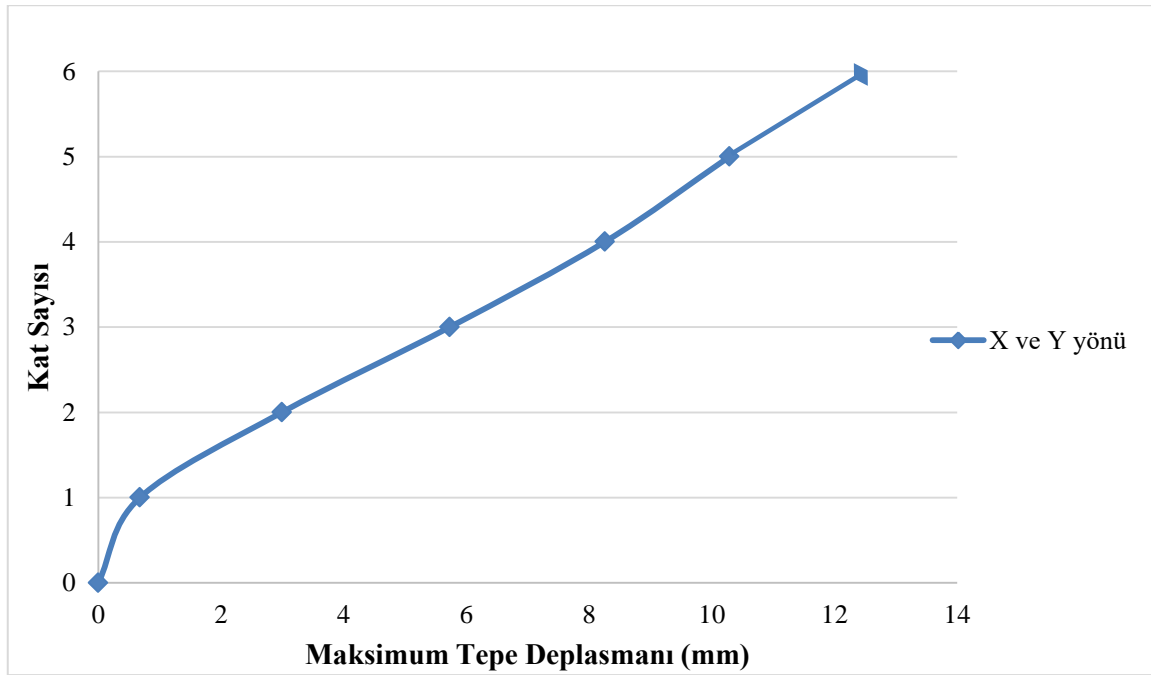
6 katlı ve yalnızca zemin katında x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan çerçevelerden oluşan 3 boyutlu betonarme bina analizi yapılmıştır. Böylece Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16.'da verildiği üzere, zemin kat kolonlarında x yönünde oluşan maksimum eğilme momenti  $G+Q+EQX+0.3EQY$  kombinasyonu ile 104 kNm, taban kesme kuvveti de 3296 kN olarak elde edilmiştir. X yönünde maksimum tepe deplasmanı en üst kat olan 6. Katta 11,77 mm değerini almaktadır. y yönünde de bu değer 11,77 mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.15 Yalnız zemin katta x ve y yönünde de dolgu duvar bulunan modele ait analiz sonuçları

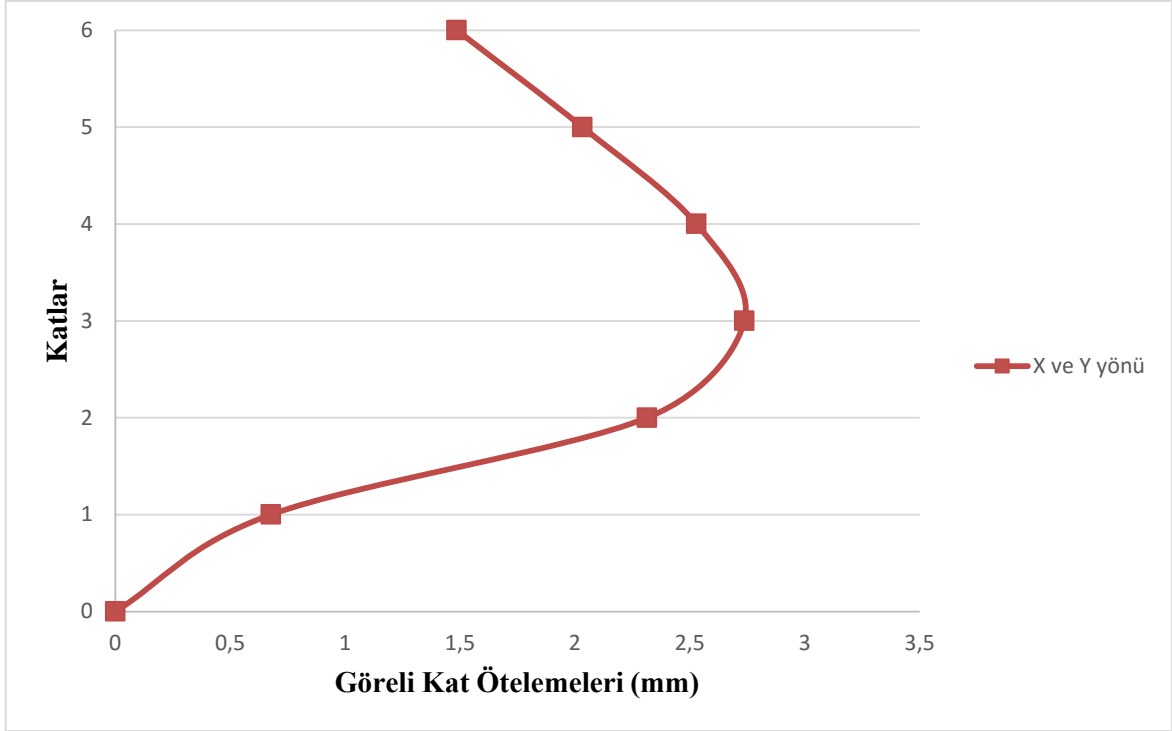
Kat Adı	Modal Periyodu	Hakim Kombinasyon	Kolonlarda Oluşan Maks. M2/M3 (kN.m)	Kat Ötelenme Değerleri-X (mm)	Kat Ötelenme Değerleri-Y (mm)	X Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Y Yönü Göreli Kat Ötelenme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti F2-F3 (kN)
1	0,618	$G+Q+EQX+0,3EQY$	104,126/ 104,126	0,68	0,68	0,68	0,68	3296,112
2	0,618			2,99	2,99	2,31	2,31	
3	0,556			5,73	5,73	2,74	2,74	
4	0,188			8,26	8,26	2,53	2,53	
5	0,188			10,29	10,29	2,03	2,03	
6	0,171			11,78	11,78	1,49	1,49	

Çizelge 5.16 Yalnız zemin katta x ve y yönünde de dolgu duvarlı model için modal periyod-frekans ve modal kütle katılım oranları tablosu

Mod	Period (saniye)	Frekans (1/s)	Eigenvalue (rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	(Modal Kütle Katılım Oranları)					
				Toplam UX	Toplam UY	Toplam UZ	Toplam RX	Toplam RY	Toplam RZ
1	0,618	1,6173	103,26	0,7368	0,00002661	0	0,00007024	0,09113	0
2	0,618	1,6173	103,26	0,73683	0,73683	0	0,0912	0,0912	0
3	0,556	1,7985	127,69	0,73683	0,73683	0,00013	0,0912	0,0912	0,71703
4	0,188	5,3234	1118,8	0,74447	0,84788	0,00013	0,22573	0,09839	0,71703
5	0,188	5,3234	1118,8	0,85552	0,85552	0,00013	0,23292	0,23292	0,71703
6	0,171	5,8458	1349,1	0,85552	0,85552	0,00053	0,23292	0,23292	0,8246



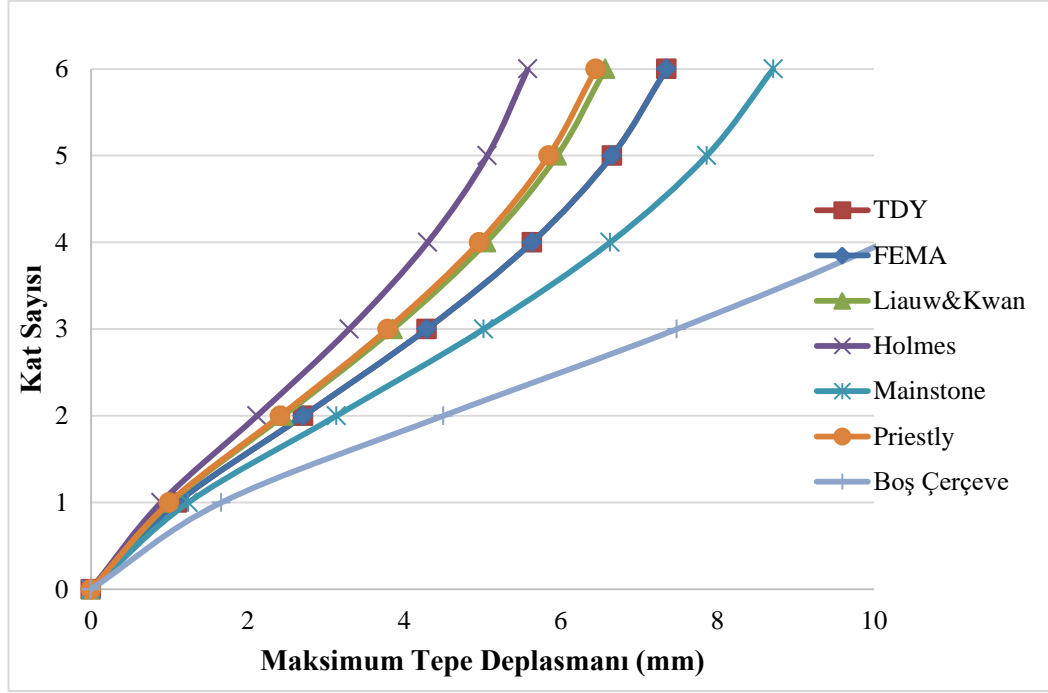
Şekil 5.27. AWCY1 maks. tepe deplasman grafiği



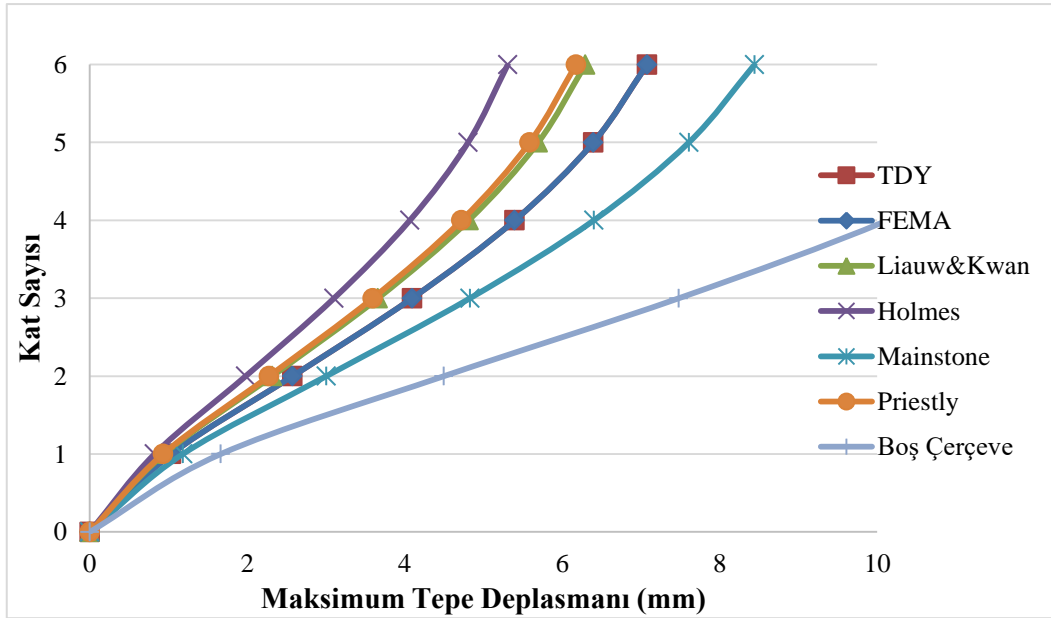
Şekil 5.28. AWCY1 görelı kat ötelemeleri grafiği

#### 5.4.3. Makro modelleme yöntemi ile oluşturulan modellerin analizleri

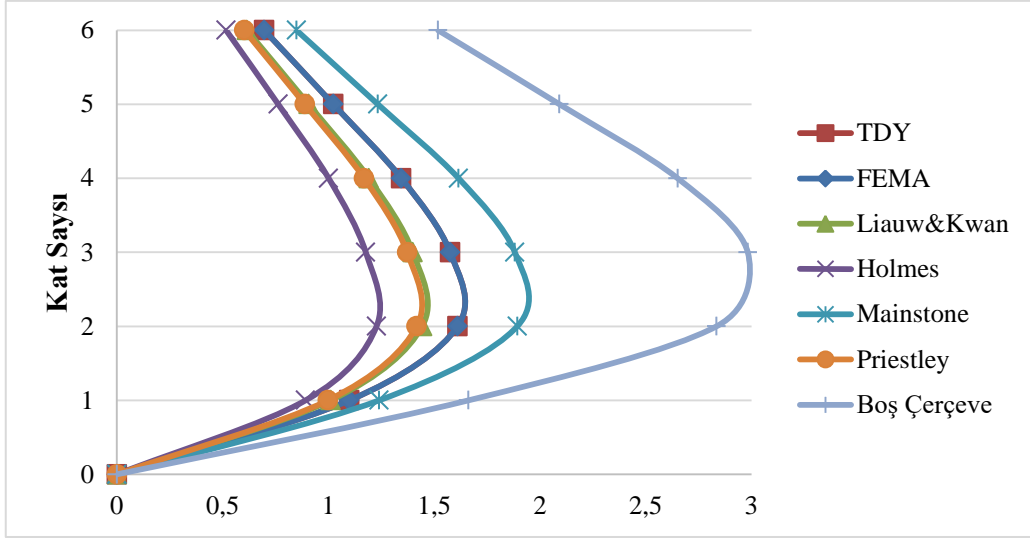
Oluşturulan modeller, A harfi 5 m. açıklığa sahip çerçeveyi temsil etmek üzere, yalnız zemin katta ve yalnız x yönünde ikili eşdeğer çubuk bulunan model A2SX1, yalnız zemin katta ve yalnız y yönünde ikili eşdeğer çubuk bulunan model A2SY1, yalnız zemin katta ve her iki (x ve y) yönünde de ikili eşdeğer çubuk bulunan model A2SXY1, yalnız zemin katta ve yalnız x yönünde tek eşdeğer çubuk bulunan model A1SX1, yalnız zemin katta ve yalnız y yönünde tek eşdeğer çubuk bulunan model A1SY1, yalnız zemin katta ve her iki (x ve y) yönünde de tek eşdeğer çubuk bulunan model A2SXY1, 6 katta ve her iki (x ve y) yönünde de tek eşdeğer çubuk bulunan model A1SXY6, 6 katta ve her iki (x ve y) yönünde de ikili eşdeğer çubuk bulunan model A2SXY6 isimlendirilmiştir. Benzer şekilde B harfi ile temsil edilen modeller de 4m. açıklığa sahip çerçeveleri temsil etmektedir. Basınç çubuğu genişliklerinde TDY'nin önerdiği bağıntı sonucunda bulunan değer kullanılmıştır. Ardından karşılaştırma olması bakımından literatürde önerilen FEMA, Liauw&Kwan, Holmes, Mainstone ve Priestley'e ait dördüncü bölümde açıklanan bağıntılardan elde edilen basınç çubuğu genişlikleri kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.29 ile Şekil 5.40 aralığındaki grafiklerde verilmektedir.



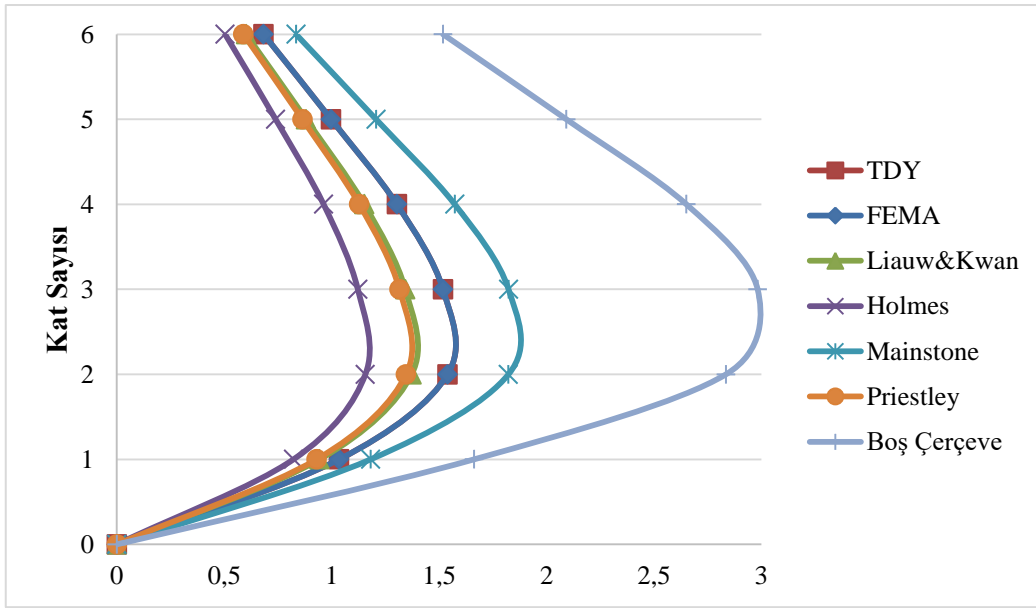
Şekil 5.29. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan x yönü maks. tepe deplasman grafiği



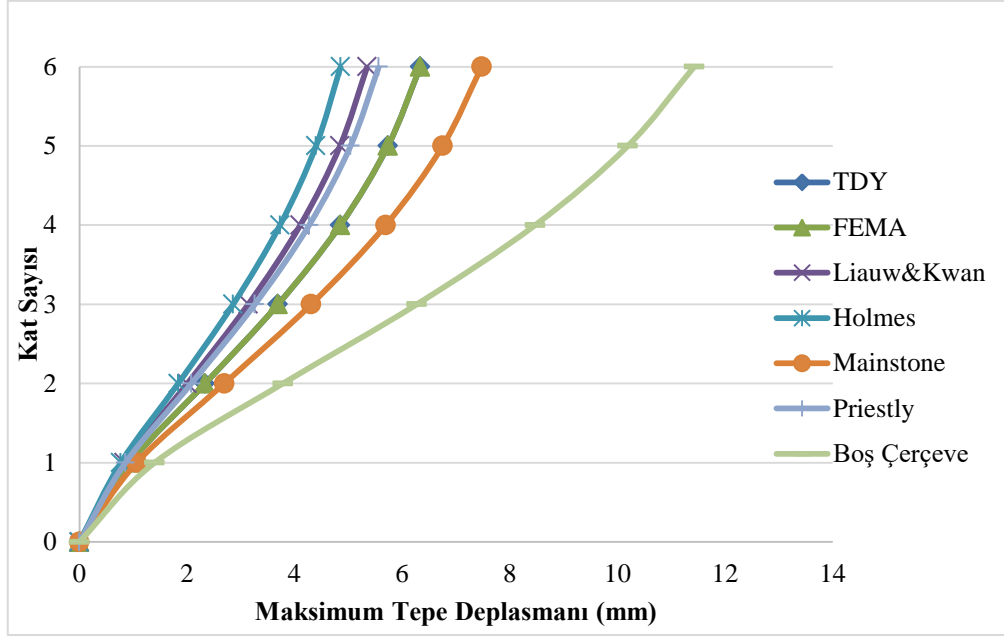
Şekil 5.30. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan y yönü maks. tepe deplasman grafiği



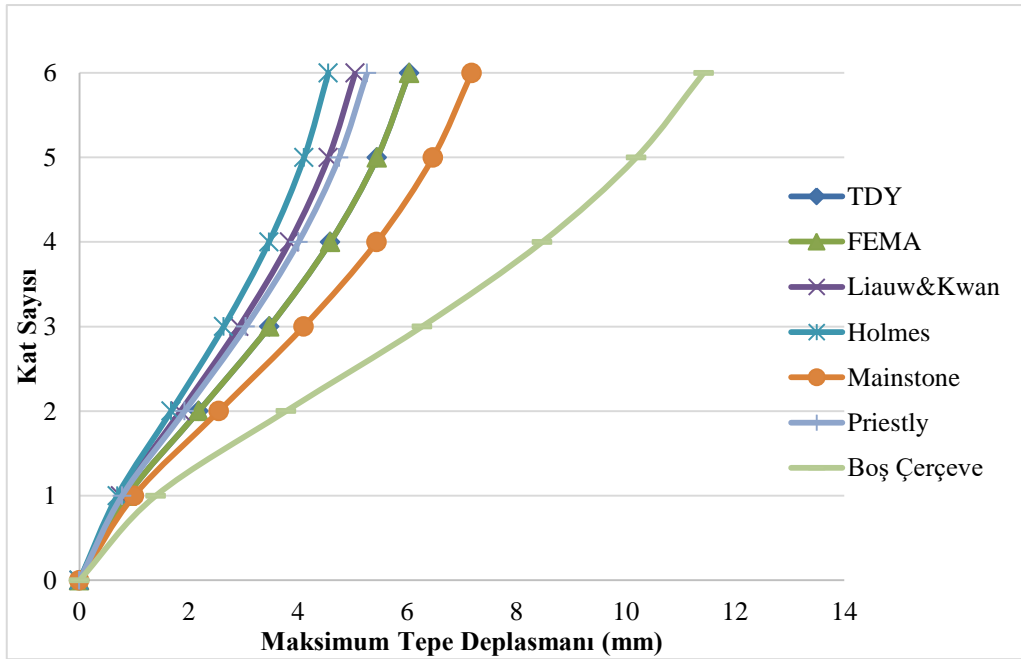
Şekil 5.31. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan x yönü görelî kat ötelemesi (mm)



Şekil 5.32. A1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan y yönü görelî kat ötelemesi (mm)

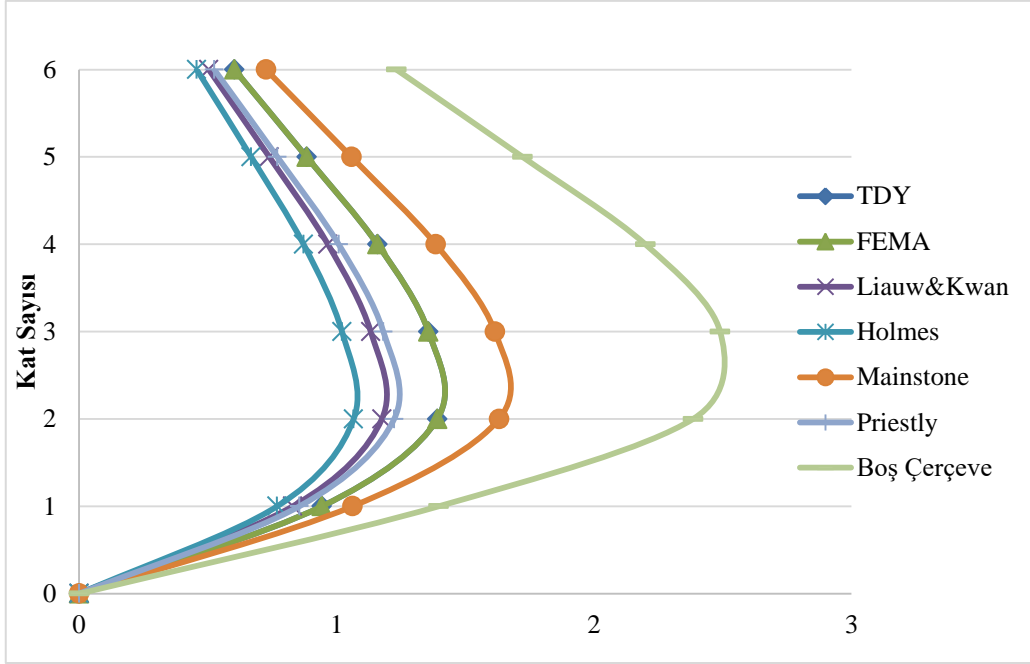


Şekil 5.33. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan x yönü maks. tepe deplasman grafiği

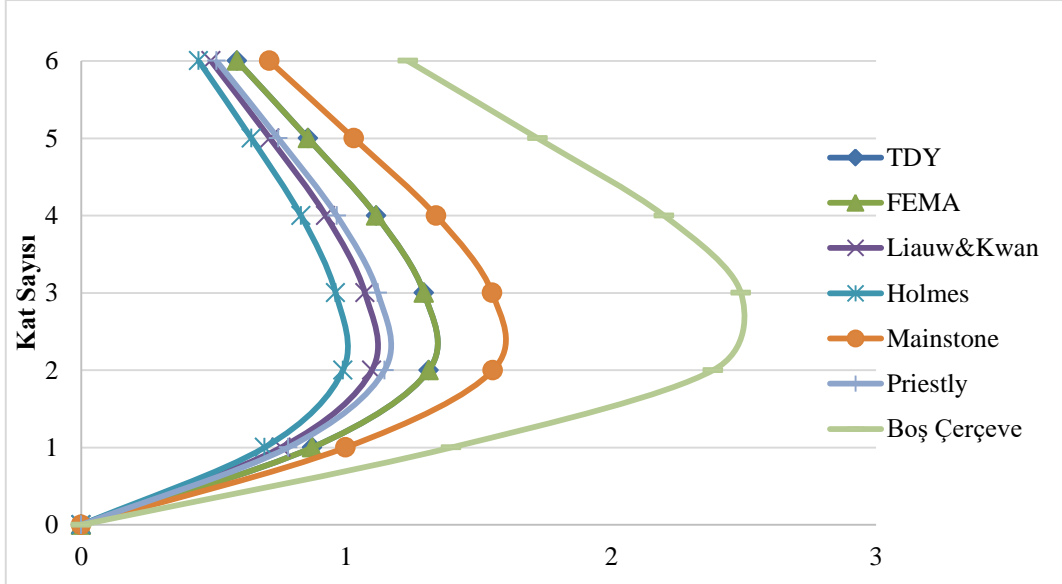


Şekil 5.34. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan y yönü maks. tepe deplasman grafiği

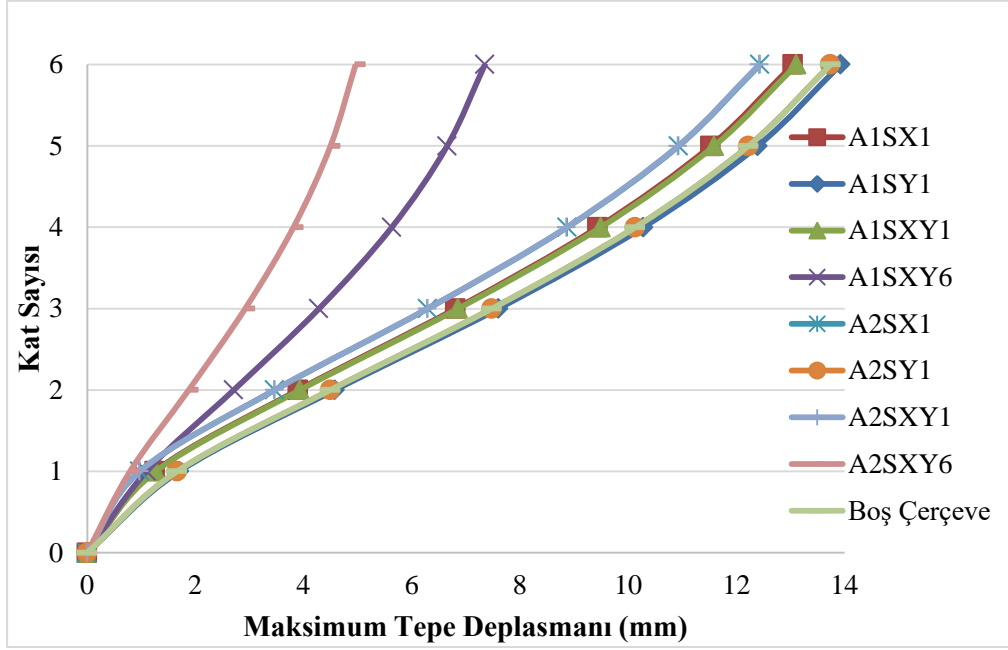




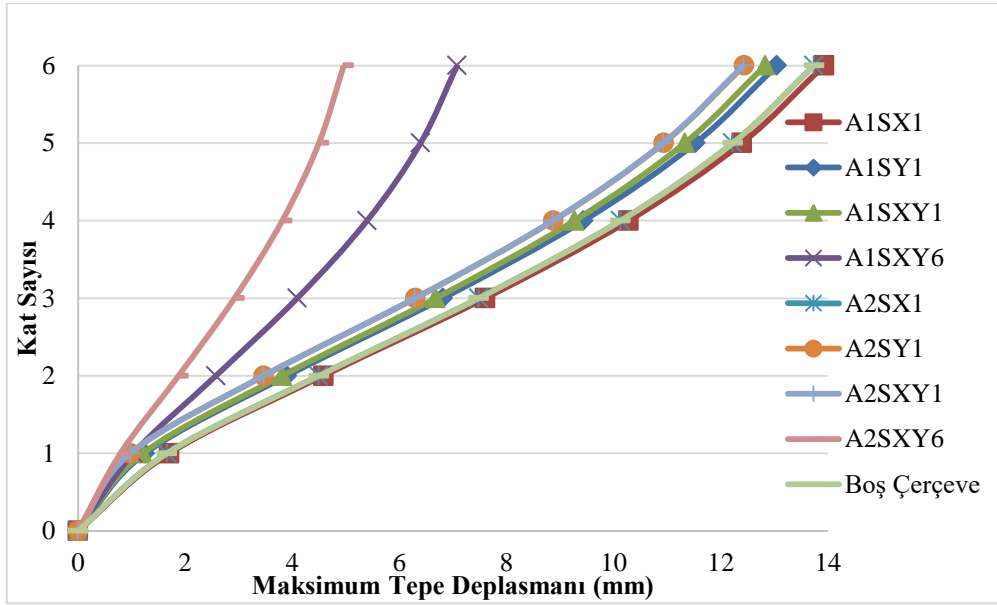
Şekil 5.35. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan x yönü görel kat ötelemeleri grafiği



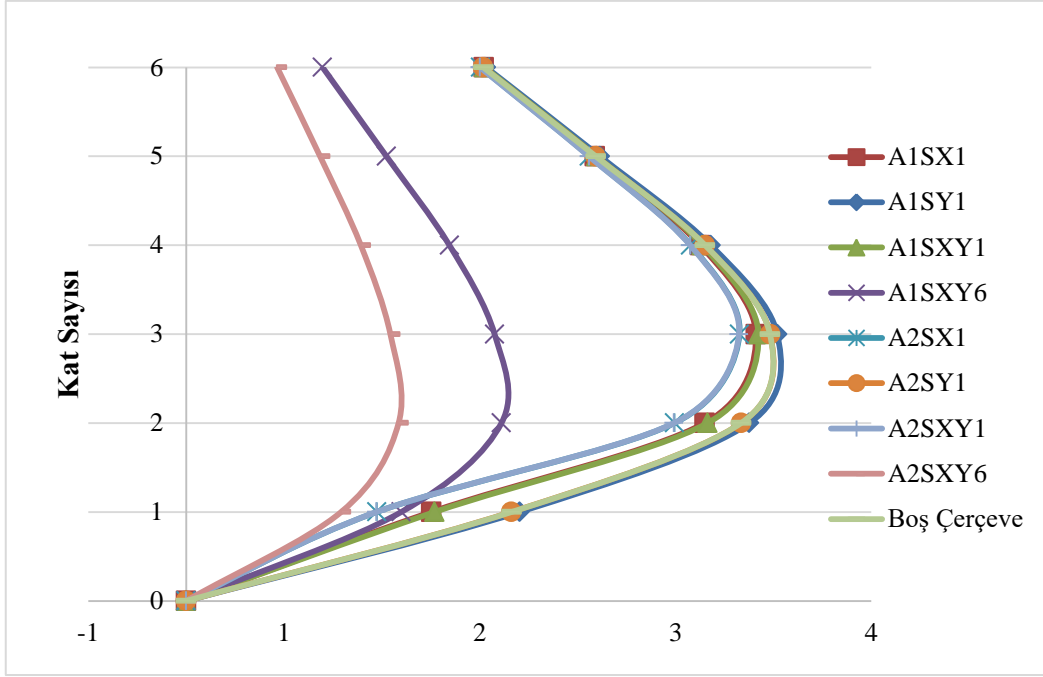
Şekil 5.36. B1SXY6 modelinde farklı eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarına göre hesaplanan y yönü görel kat ötelemeleri grafiği



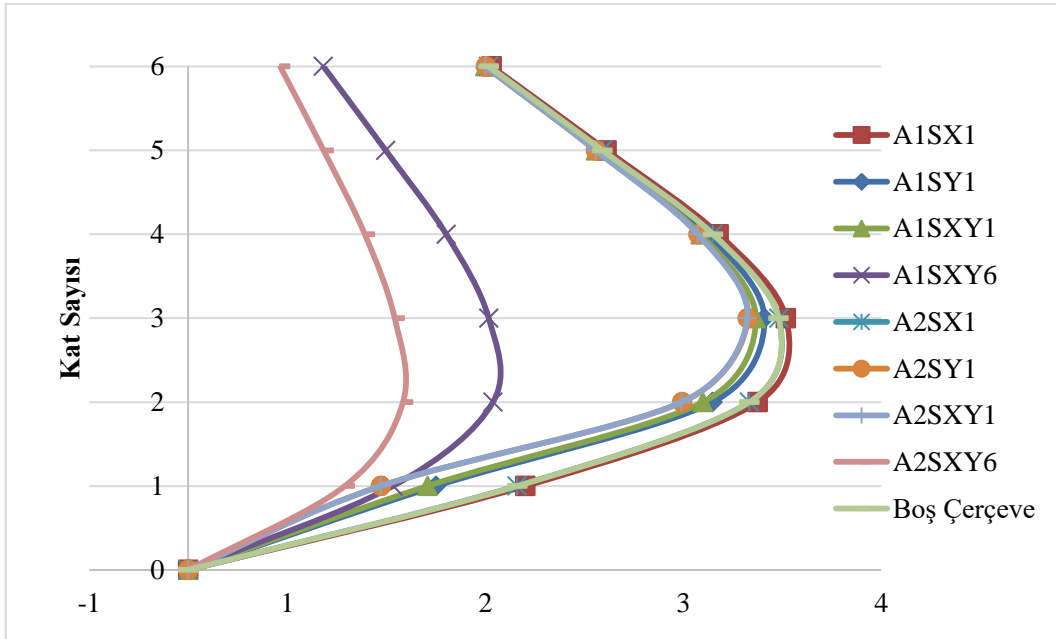
Şekil 5.37. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde x yönü maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.38. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde y yönü maks. tepe deplasman grafiği



Şekil 5.39. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde x yönü göreli kat ötelemeleri grafiği



Şekil 5.40. Eşdeğer basınç çubuğu bulunan modellerde y yönü göreli kat ötelemeleri grafiği

### 5.5. Üç Boyutlu Modellemeye İlişkin Sonuçlar

Bu bölümde varolan bir bina üzerinde dolgu duvarların sismik performansa olan katkısı araştırılmış ve günümüzde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar modelleme yöntemleri uygulanmıştır.

Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışını tanımlamak için çeşitli araştırmacılar birbirinden farklı analitik modeller önermişlerdir. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi; dolgu duvarda kullanılan malzeme ve dolgu duvarın basınlık oranına bağlı olarak değişen eşdeğer çubuk genişliğinin ( $w$ ) hesaplanması temeline dayanmaktadır. Buna göre yapılan analizler sonucunda, hem 4 m açıklığa sahip hem de 5 m açıklığa sahip çerçevelerin yer aldığı modellerde, araştırmacıların önerdiği dolgu duvar yaklaşımlarından Holmes, Liauw&Kwan ve Priestley'e ait olanlar birbirine oldukça yakın maksimum tepe deplasmanı ve görelî kat ötelemesi değerleri vermektedir. Modelde gözönüne alınan eşdeğer çubukların bina üzerindeki yerleşimi, tepe deplasmanı ve görelî kat ötelemesi bakımından oldukça önemlidir. Yapılan analizler sonucu dolgu duvarların deprem yükleri ile aynı yönde olmaması durumunda dolgu duvarların binanın yanal deprem davranışına olan etkisinin, diğeri bir deyişle dolgu duvarların düzlem dışı etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu söylenebilmektedir. Eşdeğer çubuğun herhangi bir açıklıkta tek veya çift yönlü konulması durumunda anlamlı şekilde değışiklik olmadığı, sadece tek yönde uzanan şeridin modellenmesi ile yeterli ve anlamlı sonuçlar alındığı belirlenmiştir. Dolgu duvarların yerine yerleştirilen basınç çubuklarının binadaki yerleşiminin dolgu duvarların yerleşimi ile aynı oranda etki yaptığı görülmüştür.

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ülkemizde yaygın olarak bulunan orta yükseklikte yapıları temsil etmesi amacıyla; 6 katlı, her iki yönde (x ve y) 5 açıklıklı ve her bir açıklığı 5 m den oluşan, 3 m kat yüksekliğine sahip olan betonarme bina hesap modeli ile aynı binanın 4 m açıklığa sahip olan modeli SAP 2000 V.15 programında ölü, hareketli ve deprem yükleri altında statik ve dinamik olarak analiz edilmiştir. Analizler sırasında bina modelindeki dolgu duvarlar, shell elemanlardan oluşacak şekilde sonlu elemanlar yöntemi modellenerek oluşturulmuştur.

Aşağıdaki yer alan bina modellerini kısaca açıklamak için Çizelge 6.1. ile Çizelge 6.2. oluşturulmuştur:

Çizelge 6.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen dolgu duvarlara sahip bina modelleri

MODEL	AÇIKLAMA
Dolgunsuz Çerçeve	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı dolgu duvarsız çıplak bina
AWX1	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta ve x yönünde dolgu duvar bulunan bina
AWY1	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta ve y yönünde dolgu duvar bulunan bina
AWXY1	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta ve hem x hem de y yönünde dolgu duvar bulunan bina
AWX6	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı binanın tüm katlarında ve x yönünde dolgu duvar bulunan bina
AWY6	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı binanın tüm katlarında ve y yönünde dolgu duvar bulunan bina
AWXY6	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı binanın tüm katlarında ve hem x hem de y yönünde dolgu duvar bulunan bina
<u>Notlar :</u>	A: L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı betonarme bina W: Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş dolgu duvar X : x yönünde dolgu duvar varlığını gösterir Y : y yönünde dolgu duvar varlığını gösterir 1: Sadece zemin katta dolgu duvar olduğunu gösterir 6: Binanın tüm katlarında dolgu duvar olduğunu gösterir

Çizelge 6.2. Değişik eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımlarıyla modellenen dolgu duvarlara sahip bina modelleri

MODEL	AÇIKLAMA
A1SX1	Sadece zemin katta ve x yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli
A1SY1	Sadece zemin katta ve y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli
A1SXY1	Sadece zemin katta ve hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina
A1SXY6	Tüm katlarında ve hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina
A2SX1	Sadece zemin katta ve x yönünde çift eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli
A2SY1	Sadece zemin katta ve y yönünde çift eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli
A1SXY6	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (TDY Yaklaşımı)
A1SXY6f	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (FEMA Yaklaşımı)
A1SXY6li	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Liauw & Kwan Yaklaşımı)
A1SXY6h	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Holmes Yaklaşımı)
A1SXY6m	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Mainstone Yaklaşımı)
A1SXY6p	L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Priestley Yaklaşımı)
B1SXY6	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (TDY Yaklaşımı)
B1SXY6f	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (FEMA Yaklaşımı)
B1SXY6li	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Liauw & Kwan Yaklaşımı)
B1SXY6h	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Holmes Yaklaşımı)
B1SXY6m	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Mainstone Yaklaşımı)
B1SXY6p	L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı sadece zemin katta hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu bulunan bina modeli (Priestley Yaklaşımı)
<u>Notlar :</u>	<p>A: L=5 m H=3m olan, 5 açıklıklı betonarme bina            B: L=4 m H=3m olan, 5 açıklıklı betonarme bina            S: Eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvar            X : x yönünde eşdeğer basınç çubuğu varlığını gösterir            Y : y yönünde eşdeğer basınç çubuğu varlığını gösterir            1: Sadece zemin katta eşdeğer basınç çubuğu olduğunu gösterir            6: Binanın tüm katlarında eşdeğer basınç çubuğu olduğunu gösterir</p>

Çizelge 6.3.'te verilen SAP 2000 programı analiz sonuçları incelendiğinde; tüm modeller içinde maksimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,669 ile dolgu duvarsız model olurken, minimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,285 değeriyle tüm

katlarda her iki yönde dolgu duvarları olan AWXY6 modeli olmuştur. Binanın rijitlik ve kütesinin artmasıyla ilişkili olarak bu sonuç öngörülen bir durumdur. Bununla birlikte AWX1 ve AWY1 modellerinde; sadece tek yönde dolgu duvar varlığı, binanın doğal titreşim periyodunu hemen hemen etkilememiş dolgusuz çerçeve ile neredeyse aynı değeri almıştır. Bu duruma dolgu duvar olmayan yönde gelen hakim deprem yüklemesinin neden olduğu açıktır. Diğer bir deyişle binanın salınım davranışı, düzlemine dik doğrultuda yerleşen düzlem dışı dolgu duvarlardan neredeyse hiç etkilenmemektedir (saniyenin binde biri kadar bir farkla).

Çizelge 6.3. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen, dolgu duvarlara sahip bina modellerine ait karakteristik analiz sonuçları

Model	Periyot (sn)	Maks. Tepe Deplasmanı (mm)		Maks. Görelî Kat Ötelemesi (mm)		Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks. Moment (kNm)	
		X	Y	X	Y		X	Y
Dolgusuz Çerçeve	0,669	13,74	13,74	2,98	2,98	3534,788	119,6861	119,6861
AWX1	0,667	11,82	4,15	2,77	0,90	3299,690	117,8495	104,9030
AWY1	0,667	4,14	11,83	0,90	2,75	3298,892	104,9030	117,8502
AWXY1	0,618	11,78	11,78	2,74	2,74	3296,112	104,1260	104,1260
AWX6	0,659	2,66	13,33	0,54	2,90	3690,670	117,3700	81,1260
AWY6	0,659	13,33	2,66	2,90	0,54	3689,990	81,1260	117,9100
AWXY6	0,285	2,45	2,45	0,53	0,53	3784,302	82,6549	82,6549

Modellerde oluşan maksimum tepe deplasmanı değerleri incelendiğinde; bina modellerinin planda simetrik olarak yerleşiminden dolayı dolgu duvarsız modelde her iki yöndeki maksimum tepe deplasmanı değerlerinin 13,74 mm ile aynı olduğu görülmektedir. Benzer bir durum AWXY1 ve AWXY6 modellerinde de gözlenmektedir. Bunun nedeni aynı dolgu duvarsız modelde olduğu gibi, her iki yönde dolgu duvar yerleşiminin binanın plandaki simetrisini bozmamasıdır. Her iki yönde dolgu duvar varlığının, yapıya etkileyen hakim deprem yönünde yer alan dolgu duvar varlığı ile benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Zemin katta her iki yönde dolgu duvar bulunan AWXY1 modelinde maksimum tepe deplasmanı 11,78 mm değerini alırken, Zemin katta yalnızca y yönünde dolgu duvar bulunan AWY1 modelinin y yönü deplasman değeri 11,83 mm olmuştur. Benzer şekilde zemin katta yalnızca x yönünde dolgu duvar bulunan AWX1 modelinin x

yönü deplasman değeri 11,82 mm olmuştur. Her iki modelde de hakim deprem yönüne dik yönde bulunan dolgu duvar varlığı, düzlem dışı davranışı göstermesi açısından oldukça önemlidir. AWX1 ve AWY1 modellerinde düzlem dışı deplasman değeri 4,14 mm olmuştur. Bir diğer deyişle hakim deprem yönüne dik yönde oluşan deplasmanlar %65 oranında azalmıştır.

Çizelge 6.3'te verilen modellerde zemin kat kolonlarında X ve Y yönlerinde oluşan maksimum kolon momentleri ve yapının maksimum taban kesme kuvveti (base shear) değerlendirildiğinde; yapının taban kesme kuvveti maksimum değerini AWXY6 modelinde 3784 KNm olarak almaktadır. 6 katın tamamında hem x hem de y yönünde dolu duvar olan modelde bu değer en büyük olması beklenen bir durumdur. Dolgu duvar hacmi arttıkça maksimum taban kesme kuvveti ve kolon moment değerleri artmaktadır. Dolgu duvarların varlığının, yapının yanal rijitliği ve dayanımına olan olumlu etkisi görülürken diğer yandan tabanda oluşan moment ve kesme kuvveti etkilerini artırdığı unutulmamalıdır.

Çizelge 6.4. Tek veya çift eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle modellenen dolgu duvarlara sahip bina modellerine ait karakteristik analiz sonuçları

Model	Periyot (sn)	Maks. Tepe Deplasmanı (mm)		Maks. Görelî Kat Ötelemesi (mm)		Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks. Moment (kNm)	
		X	Y	X	Y		X	Y
A1SX1	0,669	13,04	13,92	2,91	3,01	3439,729	121,1236	86,8508
A1SY1	0,669	13,93	13,04	3,02	2,91	3439,785	86,8507	121,1278
A1SXY1	0,648	13,11	12,83	2,92	2,86	3438,826	87,6522	86,6020
A1SXY6	0,486	7,35	7,08	1,61	1,53	3621,567	79,3854	78,5037
A2SX1	0,669	12,44	13,74	2,82	2,98	3379,175	119,1174	65,6706
A2SY1	0,669	13,74	12,44	2,98	2,82	3379,182	65,6735	119,1181
A2SXY1	0,635	12,42	12,42	2,82	2,82	3377,574	65,3031	65,3031
A2SXY6	0,405	4,96	4,96	1,08	1,08	3651,541	58,4515	58,4515

Çizelge 6.4'te verilen SAP 2000 programı analiz sonuçları incelendiğinde; tüm modeller içinde maksimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,530 s ile zemin katta tek yönde (x veya y) bir adet eşdeğer basın çubuğu olan A1SX1 ve A1SY1 modelleri olurken, minimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,405 s değeriyle tüm katlarda her iki yönde (x ve y) çift eşdeğer basın çubuğu olan A2SXY6 modeli olmuştur. Eşdeğer



basınç çubuğu varlığının binanın yanal rijitliğine olan katkısı burada oldukça iyi görülmektedir. Bununla beraber tek veya çift çubuk kullanılması değerlerde anlamlı farklar yaratmamaktadır. A2SX1 ve A1SX1 modellerinin doğal titreşim periyotları arasındaki fark 0,00015 s kadar ihmal edilebilecek çok küçük bir değerdir. Bu yüzden bundan sonra yapılacak olan değişik dolgu duvar modelleme yaklaşımlarını temel alan analizlerde sadece tek eşdeğer basınç çubuğu olan modeller kurulmuştur.

Modellerde oluşan maksimum tepe deplasmanı değerleri incelendiğinde; bina modellerinin planda simetrik olarak yerleşiminden dolayı her iki yöndeki maksimum tepe deplasmanı değerlerinin 13,93 mm ile A1SY1 ve A1SX1 modellerinde ve düzlem dışı değerleri ile aynı olduğu görülmektedir. Her iki yönde eşdeğer basınç çubuğu varlığının, yapıya etkileyen hakim deprem yönünde yer alan eşdeğer basınç çubuğu varlığı ile benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Her iki modelde de hakim deprem yönüne dik yönde bulunan eşdeğer basınç çubuğu, düzlem dışı davranışı göstermektedir. A1SY1 ve A1SX1 modellerinde düzlem dışı deplasman değeri 13,04 mm olmuştur. Bir diğer değişle hakim deprem yönüne dik yönde oluşan deplasmanlar dolgu duvardakilerin aksine sadece %6 oranında azalmıştır. Fiziksel varlığı ve hacmi olmayan sadece hesap modeli olarak kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yönteminin çok katlı yapılarda deplasman değerlerini boşluklu çerçeveye yakın olarak vermektedir.

Çizelge 6.4.'te verilen modellerde zemin kat kolonlarında X ve Y yönlerinde oluşan maksimum kolon momentleri ve yapının maksimum taban kesme kuvveti (base shear) değerlendirildiğinde; yapının taban kesme kuvveti maksimum değerini A2SXY6 ve A1SXY6 modellerinde sırasıyla 3751 ve 3621 kNm olarak almaktadır. 6 katın tamamında hem x hem de y yönünde eşdeğer basınç çubuğu varolan modellerde bu değer en büyük olması beklenen bir durumdur. Yapıda eşdeğer basınç çubuğu varlığı arttıkça maksimum taban kesme kuvveti ve kolon moment değerleri artmaktadır.

Birbirinden farklı modelleme teknikleriyle dizayn edilmiş ters yönde eşdeğer basınç çubuğu olan modellere ait SAP 2000 analiz sonuçları Çizelge 6.5.'te verilmiştir. Çizelge 6.5.'te verilen analiz sonuçları incelendiğinde; tüm modeller içinde maksimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,530 s ile Mainstone tarafından önerilen model (A1SXY6m) olurken, minimum doğal titreşim periyoduna sahip model 0,423 s değeriyle

tüm katlarda her iki yönde tek eşdeğer basınç çubuğu olan ve Holmes tarafından önerilen model (A1SXY6h) olmuştur. Bunların dışındaki modellerde periyot değerleri çok büyük bir değişim göstermemektedir.

Çizelge 6.5. Tek eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle farklı yaklaşımlarla modellenen dolgu duvarları bulunan binalara ait karakteristik analiz sonuçları

Model	Periyot (s)	Maks. Tepe Deplasmanı (mm)		Maks. Görelî Kat Ötelemesi (mm)		Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks. Moment (kNm)	
		X	Y	X	Y		X	Y
A1SXY6	0,486	7,35	7,08	1,61	1,54	3621,567	79,3854	78,5037
A1SXY6f	0,486	7,35	7,08	1,61	1,54	3621,567	79,3854	78,5037
A1SXY6li	0,459	6,57	6,30	1,44	1,37	3635,974	73,0865	72,2272
A1SXY6h	0,423	5,58	5,31	1,23	1,16	3625,849	64,5104	63,7354
A1SXY6m	0,530	8,71	8,44	1,89	1,82	3598,348	89,4456	88,5844
A1SXY6p	0,455	6,45	6,18	1,42	1,35	3638,295	72,0856	71,2328

Modellerde oluşan maksimum tepe deplasmanı değerleri incelendiğinde; bina modellerinin planda yerleşiminden dolayı her iki yöndeki maksimum tepe deplasmanı değerlerinin benzer ve x yönünde 8,71 mm y yönünde 8,44 mm ile Mainstone tarafından önerilen modelde (A1SXY6m) olduğu görülmektedir. En küçük değerler ise 5,57 mm ve 5,30 mm değerleriyle Holmes tarafından önerilen modelde (A1SXY6h) oluşmuştur. İncelenen modellerde zemin kat kolonlarında X ve Y yönlerinde oluşan maksimum kolon momentleri ve yapının maksimum taban kesme kuvveti (base shear) değerlendirildiğinde; yapının taban kesme kuvveti maksimum değerini Pauley tarafından önerilen modelde (A1SXY6p) ve Liauw&Kwan tarafından önerilen modelde (A1SXY6li) modellerinde sırasıyla 3638 ve 3635 kNm olarak almaktadır. İncelenen modellerde, zemin kat kolonlarında X ve Y yönlerinde oluşan maksimum kolon momentleri değerlerine bakıldığında hem X hem de Y yönündeki maksimum momentin 89,45 kNm ve 88,58 kNm olarak Mainstone tarafından önerilen modelde (A1SXY6m) olduğu görülmektedir. En düşük maksimum kolon momentleri değerleriyse 64,51 kNm ve 63,74 kNm olarak A1SXY6h modelinde oluşmaktadır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında öncelikle tek katlı ve tek açıklıklı deney elemanı üzerinde laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiş; ardından literatürde mevcut modelleme yöntemleri incelenerek tek katlı ve tek açıklıklı bir dolgu duvarın modellenmesi için önerilen yöntemlerin çok katlı ve 3 boyutlu betonarme yapılarda uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu bağlamda mikro ve makro ana yaklaşımları esas alınarak değişik hesap modelleri SAP 2000 programında oluşturulmuştur. 3 boyutlu bu modeller ülkemizin yaygın deprem koşullarını simüle edebilecek şekilde doğrusal ve doğrusal olmayan deprem yükleri altında yapıların düzlem içi ve düzlem dışı davranışları ve dolgu duvarların bu davranışa olan etkileri incelenmiştir. Gerek deneysel gerekse analitik çalışmalar sonucu, dolgu duvarların betonarme binaların deprem etkileri karşısındaki davranışını önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür.

Ayrıca bu çalışma kapsamında incelenen bina örneği üç boyutlu olarak SAP 2000 programında oluşturulmuş ve sırasıyla dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve eşdeğer basınç çubuğu yerleştirilmiş şekillerde analiz edilmiştir. Ardından eşdeğer basınç çubuğu genişliğini veren farklı yaklaşımlar hesaplamalarda kullanılarak bir karşılaştırma yoluna gidilmiştir. Yatay yük etkisine maruz bırakılan bir binada diyagonal basınç çubuğu bulunan modelin karşılaştırılan bütün makro model yaklaşımları ile yapılan hesaplamaları sonucunda çerçeveleri boş olan modele kıyasla daha rijit davranış gösterdiği görülmüştür. Diğer bir deyişle dolgu duvarsız çerçeveler, söz konusu yaklaşımlar ve değişik dolgu duvar yerleşimleri karşısında daha yüksek tepe deplasmanı ve görelî kat ötelemesi değerleri vermektedir. Buna göre Holmes yaklaşımı kullanılarak oluşturulan modellerin analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde binanın yanal deprem yüklerine karşı en rijit çözümü verdiği görülmüştür. Mainstone yaklaşımı ile elde edilen analiz sonuçları ise diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek tepe deplasman değerleri ve görelî kat ötelemeleri vermektedir.

İncelemeler sonucunda eşdeğer çubuk uzunluğunun TDY'nin önermiş olduğu bağıntıdan ve kalınlığını ise mevcut tuğla kalınlığı olarak, duvarı diyagonal basınç çubuğu

olarak modellenmenin, yapılmış olan laboratuvar çalışmalarıyla uyum içinde olduğu saptanmıştır.

Dolgu duvarlarla ilgili yapılmış deneysel ve analitik çalışmalar ışığında, dolgu duvar rijitliğinden yararlanılarak dolgu duvarların statik analizlerde yer bulması mümkün hale gelmiştir. Dolgu duvar elastisitesi belirlenerek oluşturulan eşdeğer çubuk ile elde edilen değerler yapıyı oldukça iyi modellemektedir. Bu bilgiler ışığında dolgu duvarın analiz modellerine yansıtılması uygulanabilir hale gelmektedir.

Ulaşılan bu bilgiler kapsamında, dolgu duvarların etkisi bilinmekle kalmayıp bilgisayarla yapılan analiz metotlarında da yer alabilecektir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, dolgu duvarların deprem etkileri altında dayanım ve rijitliğe olan katkılarını hesaplayabilmek için önerilmiş yaklaşımlarda, yapının ve dolgu duvarların tam ve doğru bir şekilde modellenerek belirlenebilmesidir. Bu amaçla varolan TDY, Holmes, Liauw&Kwan ve Priestly yaklaşımlarını baz alan yeni bir model önerilebilir. Böylelikle 3 boyutlu betonarme yapılarda dolgu duvarın etkisi gösterilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adalier, K., Aydingün, O., 2001, Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake, *Engineering Structures*, 23, 343-355.
- Altın, S., 1990, Strengthening of R/C frames with R/C infills, A doctor of philosophy thesis in civil engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T. 1992, Hysteretic response of reinforced concrete infilled frames, *Journal of Structural Engineering*, 118 (8), 2133-2150.
- Asteris, P. G., 2003, Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 129 (8), 1071-1079.
- Baran, M., Canbay, E., Tankut, T., 2010, Beton panellerle güçlendirme - Kurumsal yaklaşım, *İmo Teknik Dergi*, 4959-4978.
- Benjamin, J. R., Williams, H.A., 1958, the behaviour of one-story brick shear walls, *ASCE Journal of Structural Division*, 84 (4), 1723-1908.
- Buonopane, S. G., White, R. N., 1999, Pseudodynamic testing of masonry infilled reinforced concrete frames, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 125 (6), 578-589.
- Calderoni, B., Mazzoloni, F.M., Ghersi, A., 1995, A new approach to the problem of in-plan irregularity in seismic design of buildings, 10th European Conference on Earthquake Engineering, 843-848.
- Calio, I., Panto B., 2014, A macro-element modelling approach of infilled frame structures, *Computers and Structures*, 143, 91-107.
- Canbay, E., 2001, Contribution of R/C infills to the seismic behaviour of structural system, A doctor of philosophy thesis in civil engineering, Middle East Technical University, Ankara, 218 p.
- Cavaleri, L., Di Trapani, F., 2014, Cyclic response of masonry infilled rc frames: experimental results and simplified modeling, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 65, 224-242.
- Choi, H.K., Choi, Y.C., Lee, M.S., Lee, L.H., Choi, C.S., 2008, Retrofitting of shear walls in different methods, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Crisafulli, F. J., 1997, Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills, Doctoral thesis, University of Canterbury.
- Çağatay, İ. H., 2004, Failure of an industrial building during a recent earthquake in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 12, 497-507.
- Çankaya, M. A., Dönmez, C., 2011, Tersinir yükler altında dolgu duvarların betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım, ötelenme profili ve doğal frekanslarına etkisi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 1-10.
- Decanini, L., Fantin G., 1986, Modelos simplificados de la mamposteria incluida en pórticos. características de rigidez y resistencia lateral en estado limite, *Jornadas Argentinas De Ingeniería Estructural*, Buenos Aires, Argentina, 2, 817-836.
- Dolsek, M., Fajfar, P., 2008, The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame a deterministic assessment, *Engineering Structures*, 30, 1991-2001.
- Duvarcı, M., 2003, Seismic strengthening of reinforced concrete frames with precast concrete panels, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 90 s.
- Ellul, F., D'ayala, D., 2008, Push-over nonlinear analysis of infilled frames: realistic F E models of panels and contact, The 14. World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Ersoy, U., 2007, Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi uygulama ve araştırmalar, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Govindan, P., Lakshmiathy M., Santhakumar, A.R., 1986, Ductility of infilled frames, *ACI Structural Journal*, 83 (4), 567-576.
- Holmes, M., 1961, Steel frames with brickwork and concrete infilling, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*.
- Holmes, M., 1963, Combined loading on infilled frames, *ICE*, Vol. 25.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgöl, U., 2005, Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8 (6), 133-145.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jiang, H., Liu, X. Mao, J., 2015, Full-scale experimental study on masonry infilled RC moment-resisting frames under cyclic loads, *Engineering Structures*, 91, 70-84.
- Kaltakçı, M.Y., Arslan, M.H., 2005, Taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarların yapı davranış katsayısına olan etkisinin incelenmesi, *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 598-605.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Atımtay, E., 2011, Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls, *Indian Academy of Sciences*, 36 (1), 17-34.
- Kaymak, F., Tuna, E.T., 2011, Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (2), 435-445.
- Klingner, R. E., Bertero, V. V., 1976, Infilled frames in earthquake-resistant construction, Report No. Ucb/Eerc-76/32, Earthquake Engineering Research Center University of California, Berkeley.
- Klingner, R. E., Bertero, V. V., 1978, Earthquake resistance of infilled frames, *ASCE Journal of Structural Division*, 104 (6), 973-987.
- Korkmaz, H. H., 2004, Bant pencereless dolgu duvarlı çelik çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışının incelenmesi, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Korkmaz, H. H., Kaltakçı, M. Y., Kamanlı, M., 2011, Sünek olmayan betonarme çerçevelerin hasır çelik ve sıva uygulaması ile güçlendirilmesi, III. Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı 14-15 Mayıs 2011, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 58-59.
- Kurt, E. G., Binici, B., Kurç, Ö., Canbay, E., Akpınar, Özcebe, G., 2011, Seismic performance of a deficient reinforced concrete test frame with infill walls, *Earthquake Spectra*, 27-3, 817-834.
- Leite, J., Lourenço, P.B., 2010, On the influence of masonry infills in concrete buildings, *Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology*, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, No102.
- Li, B., 2008, Damage to URM infilled RC frames, Wenchuan earthquake, <http://framedinfill.org/resources/technical-literature/observationsfromrecentearthquakes/>, erişim tarihi: 01.08.2016.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Lia, S., Shana, S., Zhaia, C., Xieb, L., 2016, Experimental and numerical study on progressive collapse process of RC frames with full-height infill walls, *Engineering Failure Analysis*, 59, 57-68.
- Liauw, T. C., 1979, Test on multistory infilled frames subjected to dynamics lateral loading, *ACI Journal*, 551-563.
- Liauw, T. C., 1980, An effective structural system againts earthquakes-infilled frames, *Proceeding of the 7th WCEE, Istanbul*, 4, 481-185.
- Liauw, T. C., Kwan, K. H., 1984, Non-linear behaviour of non-integral infilled frames, *Computers and Structures*, 18 (3), 551-560.
- Liauw, T. C., Kwan, K. H., 1985, Unified plastic analysis for infilled frames, *ASCE Journal of Structural Division*, 111 (7), 1427-1448.
- Mainstone, R. J., 1971, On the stiffness and strengths of infilled frames, *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, No. 7360s, 57-90.
- Mainstone, R. J., 1974, Supplementary note on the stifness and strengths of infilled frames, *Building Research Station, UK, Current Paper 13/74*.
- Mallick, D. V, Severn, R. T., 1967, The behaviour of infilled frames under static loading, *Proc, ICE*, 38, 639-656.
- Mallick, D. V, Severn, R. T., 1968, Dynamic characteristic of infilled frames, *Proc, ICE*, 39, 261-287.
- Mallick, D. V, Severn, R. T., 1971, Effect of openings on the lateral stiffness of infilled frames, *Proc, ICE*, 49, 193-209.
- Mallick, D. V, Severn, R. T., 1980, Infilled frame construction in seismic regions, *Proceeding of the WCEE, Istanbul, Turkey*, 4, 86-92.
- Marius, M., Valeriu, S., 2012, Seismic energy dissipation in structural reinforced concrete walls with staggered openings, *Journal of Applied Engineering Sciences*, 2 (15), 71-78.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., Noland, J. L., 1996, Experimental evaluation of masonry infilled R/C frames, *Journal of Structural Engineering*, 122, 228-237.
- Negro P., Verzeletti G., 1996, Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: Energy considerations from pseudo-dynamic tests, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25 (7), 753-773.
- Okuyucu, D., Tankut T., 2009, Effect of panel concrete strength on seismic performance of RC frames strengthened by precast concrete panels, *Proceedings of WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake and Tsunami. IMO Publication E/09/03, Istanbul.*
- Özcebe, G., Ersoy, U., Türk, M., 2003, Betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla depreme karşı onarım ve güçlendirilmesi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997, Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 89 s.
- Paulay, T., Priestley, M. J. N., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, USA.*
- Polyakov, S., 1956, *Masonry Infilled Framed Buildings (An Investigation into the Strength and Stiffness of Masonry Infilling), Russia.*
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., 1991, Towards a capacity-design assessment procedure for reinforced concrete frames”, *Earthquake Spectra*, 7-3, 413-437.
- Sayed, A., Essa, A. T., Badr, M. R. K., El-Zanaty, A. H., 2014, Effect of infill wall on the ductility and behavior of high strength reinforced concrete frames, *HBRC Journal*, 10 (3), 258-264.
- Sevil, T., Baran, M., Canbay, E., 2010, Tuğla dolgu duvarların betonarme çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; Deneysel ve kuramsal çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development*, 2 (2).
- Smith, B.S., 1962, Lateral stiffness of infilled frames, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 88, 183-199.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Smith, B. S., Carter , C., 1969, A method of analysis for infilled frames, Institution of Civil Engineers (ICE), 44, 31-48.
- Smith, B. S., Coull, A., 1991, Infilled framed structures, Tall Building Structures: Analysis and Design, 168-183.
- Sucuoğlu, H., 2007, 2007 Deprem yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılıklı değerlendirmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:444-445-2006/4-5, 24-36.
- Şengün, H., 2007, Afet yönetimi ve Marmara depremi sonrasında yaşanan sorunlar, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Wang, J., Sakashita, M., Kono, S., Tanaka, H., Lou, W., 2010, Behavior of reinforced concrete structural walls with various opening locations: experiments and macro model, Journal of Zhejiang University-Science A, 11 (3), 202-211.
- Wash, S. T., Gülkan, P., 1974, The stiffness of an infilled portal frame under florizantal load, Proc. Cento Symposium On Earthquake Engineering, Ankara, 18-24.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, O.İ., Özcebe, G., 2013, Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 25-27 Eylül 2013, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Yoichi, R., Toneo, E., Masamichi, O., 1980, Experimental study on strengthening reinforced concrete structure by adding shear wall, Proceeding of The 7th WCEE, 7, İstanbul, Turkey, 173-180.

## ÖZGEÇMİŞ

Uğur ALBAYRAK, 1977 yılında Eskişehir’de doğmuőtur. Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliğı Bölümü’nde lisans öğrenimini tamamlamasının ardından Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimini tamamlamıőtır. Halen ESOGÜ İnşaat Mühendisliğı Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.