

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM YÜKLERİ ALTINDA BETONARME BİNALARDAKİ
BÖLME DUVAR ETKİSİNİN FARKLI MODELLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yavuz SUAK**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Deprem Mühendisliği

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM YÜKLERİ ALTINDA BETONARME BİNALARDAKİ
BÖLME DUVAR ETKİSİNİN FARKLI MODELLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yavuz SUAK
501071216**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Eylül 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Eylül 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL(İTÜ)
Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK(İTÜ)**

EYLÜL 2010

ÖNSÖZ

Önemli bir bölümü birinci derecede deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde betonarme yapılarda bölme duvarların taşıyıcı sistem davranışını büyük ölçüde değiştirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, deprem yükleri altında betonarme binalardaki bölme duvar etkisi farklı modellerle incelenmiştir.

Çalışmalarında katkılarını esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2010

Yavuz SUAK

İnşaat Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	...iii
İÇİNDEKİLER	...v
KISALTMALAR	...vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	...ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	...xi
SEMBOL LİSTESİ	...xiii
ÖZET.....	...xvii
SUMMARY	...xix
1. GİRİŞ	...1
1.1. Genel	...1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	...2
1.3. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	...2
2. BÖLME DUVARLI ÇERÇEVELER	...5
2.1. Bölme Duvarlar	...5
2.2. Bölme Duvarların Yapı Davranışına Etkisi.....	...5
2.3. Bölme Duvarların Modellenmesi	...6
2.3.1. Eşdeğer çapraz çubuk	...6
2.3.2. Eşdeğer çapraz çubuğun yerleşimi	...10
2.3.3. Eşdeğer çapraz çubuğun deformasyonu	...11
2.3.4. Plastik mafsalların konumu	...13
2.3.5. Rijit düğüm noktaları.....	...14
2.3.6. Kısmî bölme duvarlı çerçeveler.....	...15
2.3.7. Boşluklu bölme duvarlı çerçeveler	...16
2.3.8. Bölme duvardaki hasarların değerlendirilmesi	...17
2.4. Bölme Duvarların Basınç Dayanımı	...18
2.5. Bölme Duvarların Kesme Dayanımı	...19
2.6. Bölme Duvarların Düzlem İçi Rijitliği.....	...19
2.6.1. Bilineer yükleme yer değiştirme davranışı	...20
2.6.2. Rijitlik değerlerinin hesaplanması	...21
2.7. Bölme Duvarların Düzlem Dışı Davranışı	...24
2.7.1. Bölme duvarların düzlem dışı dayanım ve rijitliği	...24
2.7.2. Bölme duvarların düzlem dışı davranışında boşlukların değerlendirilmesi	...25
2.7.3. Bölme duvarların düzlem dışı davranışında hasarların değerlendirilmesi	...25
2.7.4. Çerçeve elemanlarının düzlem dışı davranışa etkisi.....	...26
2.7.5. Düzlem dışı davranışın düzlemsel kapasiteye etkisi	...27

3. BÖLME DUVARLARIN YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ BAKIMINDAN YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ.....	29
3.1. Genel	29
3.2. Doğal Titreşim Periyodu	29
3.3. Çerçeve ile Bölme Duvar Arasındaki Yük Dağılımı.....	33
3.4. Planda Düzensizlikler	33
3.5. Düşey Düzensizlikler	34
4. BÖLME DUVAR DAVRANIŞININ MODELLENMESİ VE SAYISAL İNCELEMELER.....	37
4.1. Genel	37
4.1.1. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi	38
4.1.2. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	40
4.1.3. Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	40
4.1.4. Betonarme elemanların birim şekil değiştirme kapasiteleri	41
4.1.5. Kesit hasar bölgeleri	41
4.2. Betonarme Çerçeve Sistemli Bir Yapıda Bölme Duvar Etkisinin İncelenmesi.....	42
4.2.1. Taşıyıcı sistem özellikleri	42
4.2.2. Eşdeğer çapraz çubuk genişliğinin hesabı	46
4.2.3. Sistemin Modellenmesi	48
4.2.4. Sayısal sonuçlar	52
4.3. Betonarme Perdelerle Güçlendirilen Yapıda Bölme Duvar Etkisinin İncelenmesi.....	66
4.3.1. Taşıyıcı sistem özellikleri	66
4.3.2. Sayısal sonuçlar	67
4.4. Yumuşak Kat Düzensizliğinin İncelenmesi	70
4.4.1. Genel.....	70
4.4.2. Taşıyıcı sistem özellikleri	70
4.4.3. Sayısal sonuçlar	71
4.4.4. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği.....	72
5. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	79
EK-A1.....	81
EK-A2.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	101

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY'07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
SAP 2000	: Structural Analysis Program 2000
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi
GV	: Güvenlik Sınırı
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
HK	: Hemen Kullanım
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mevcut hasar durumuna bağlı azaltma katsayısı.....	17
Çizelge 2.2 : Düzlem dışı narinlik katsayısı	25
Çizelge 2.3 : Duvar hasarı azaltma katsayısı	26
Çizelge 4.1 : Zemin kattaki etkili duvar alanının kolon alanına oranı.....	43
Çizelge 4.2 : Periyot değerleri	52
Çizelge 4.3 : Model 1, 101 kolonu için elde edilen eğrilik değerleri	61
Çizelge 4.4 : Model 1, 101 kolonu için elde edilen birim şekil değiştirmeler.....	61
Çizelge 4.5 : Katlara göre kolon hasar dağılımı	62
Çizelge 4.6 : Model 5 ve model 6'ya ait hakim periyot değerleri	67
Çizelge 4.7 : Yapının hakim periyot değerleri	71
Çizelge 4.8 : Zemin kat kolonlarına etkiyen kesme kuvveti değerleri	72
Çizelge 4.9 : Ortalama kat ötelemeleri ve rijitlik düzensizliği katsayıları	73
Çizelge A2.1 : Model 1, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	86
Çizelge A2.2 : Model 1, 1. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	87
Çizelge A2.3 : Model 1, 2. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	88
Çizelge A2.4 : Model 1, 2. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	89
Çizelge A2.5 : Model 1, 3. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	90
Çizelge A2.6 : Model 1, 3. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	91
Çizelge A2.7 : Model 2, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	92
Çizelge A2.8 : Model 2, 1. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	93
Çizelge A2.9 : Model 2, 2-3. kat kolonları için eğrilik değerleri	94
Çizelge A2.10 : Model 2, 2-3. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri....	95
Çizelge A2.11 : Model 3, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	96
Çizelge A2.12 : Model 3, 1. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	97
Çizelge A2.13 : Model 3, 2. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	98
Çizelge A2.14 : Model 3, 2. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	98
Çizelge A2.15 : Model 4, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.....	99
Çizelge A2.16 : Model 4, 1. kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deforme olmuş bölme duvarlı çerçeve	7
Şekil 2.2 : Eşdeğer çapraz çubuk	8
Şekil 2.3 : Eşdeğer çapraz çubukla modellenen bölme duvarlı çerçevenin geometrisi	9
Şekil 2.4 : Eşdeğer çapraz çubuğun yerleşimi	10
Şekil 2.5 : Eşdeğer çapraz çubuğun yatayla yaptığı açısı	11
Şekil 2.6 : Yükleme deformasyon diyagramı	12
Şekil 2.7 : Kirişte plastik mafsallık mesafesi	13
Şekil 2.8 : Plastik mafsalların konumu	14
Şekil 2.9 : Sonsuz rijit düğüm noktaları	15
Şekil 2.10 : Kısmî bölme duvarlı çerçeve	15
Şekil 2.11 : Boşluklu bölme duvara sahip çerçeve	16
Şekil 2.12 : Boşluklu bölme duvarlar için olası eşdeğer destek eleman yerleşimi	17
Şekil 2.13 : Hasar Sınıflandırması	18
Şekil 2.14 : Bölme duvarda kesme göçmesi	19
Şekil 2.15 : Bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı	20
Şekil 2.16 : Düzeltilmiş bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı	21
Şekil 2.17 : Bölme duvar narinliği	22
Şekil 2.18 : Bölme duvar dağılımı	27
Şekil 3.1 : Değişik dolgu duvar dağılımına sahip yapılar	30
Şekil 4.1 : İvme kayıt değerleri	38
Şekil 4.2 : Kesit hasar sınıfları	42
Şekil 4.3 : Model 1 planı, bölme duvar bulunmamaktadır	43
Şekil 4.4 : Model 2 planı, dış çevre duvarlar	44
Şekil 4.5 : Model 3 planı	44
Şekil 4.6 : Model 4 planı, iç duvarların bir kısmı dolu	45
Şekil 4.7 : Eşdeğer diyagonal çubuğun yerleşimi	46
Şekil 4.8 : Eşdeğer çapraz çubuklarla SAP2000’de oluşturulan model	48
Şekil 4.9 : Sargılı ve sargısız beton modelleri	50
Şekil 4.10 : Donatı çeliği modeli	50
Şekil 4.11 : Hesap akış şeması	51
Şekil 4.12 : Bölme duvar alanı ile yapının hakim periyodunun değişimi	52
Şekil 4.13 : Kiriş ve kolonlarda meydana gelen plastik mafsallar	53
Şekil 4.14 : Model 1 katlara etkileyen kesme kuvvetleri	54
Şekil 4.15 : Sisteme bölme duvarların eklenmesiyle meydana gelen plastik Mafsallar	54
Şekil 4.16 : Model 2 katlara etkileyen kesme kuvveti değerleri	55
Şekil 4.17 : Model 3 katlara etkileyen kesme kuvveti değerleri	55
Şekil 4.18 : Model 4 katlara etkileyen kesme kuvveti değerleri	56
Şekil 4.19 : Zemin kat kolonlarına etkileyen kesme kuvveti değerleri	56
Şekil 4.20 : Deprem etkisinde bölme duvarların alanının artmasıyla artan taban kesme kuvveti değerleri	57

Şekil 4.21 : Bölme duvar alanının artmasıyla tepe deplasmanının değişimi	57
Şekil 4.22 : Model 1'e ait kat yer değiştirmeleri	58
Şekil 4.23 : Model 2'ye ait kat yer değiştirmeleri	58
Şekil 4.24 : Model 3'e ait kat yer değiştirmeleri	59
Şekil 4.25 : Model 4'e ait kat yer değiştirmeleri	59
Şekil 4.26 : Moment-eğrilik diyagramı	60
Şekil 4.27 : Model 1 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı	62
Şekil 4.28 : Model 1 eleman hasarlarının katlara dağılımı	63
Şekil 4.29 : Model 2 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı	63
Şekil 4.30 : Model 2 eleman hasarlarının katlara dağılımı	64
Şekil 4.31 : Model 3 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı	64
Şekil 4.32 : Model 3 eleman hasarlarının katlara dağılımı	65
Şekil 4.33 : Model 4 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı	65
Şekil 4.34 : Model 4 Eleman Hasarlarının Katlara Dağılımı	66
Şekil 4.35 : Model 5 planı	66
Şekil 4.36 : Model 6 planı	67
Şekil 4.37 : Model 5 kat kesme kuvvetleri	68
Şekil 4.38 : Model 6 kat kesme kuvvetleri	69
Şekil 4.39 : Model 7 planı	71
Şekil A1.1 : 1. Kat planı	82
Şekil A1.2 : 2. Kat planı	83
Şekil A1.3 : 3.Kat planı	84

SEMBOL LİSTESİ

a	: Eşdeğer çapraz çubuğun genişliği
$a_{azaltılmış}$	: Eşdeğer çapraz çubuğun azaltılmış genişliği
$A_{açık}$	: Seçilen duvardaki toplam açıklık alanı
A_{duvar}	: Seçilen duvarın toplam alanı
A_n	: Bölme duvar boyunca net harç enkesit alanı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)
$\sum A_e$	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
$\sum A_g$	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
$\sum A_k$	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı
$\sum A_w$	: Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı
C	: Eşdeğer çapraz çubuk hesaplarında kullanılan çarpan katsayı
C_t	: Periyot hesap katsayısı
d	: Bölme duvara bağlı olarak doğrusal olmayan ötelenme
d_k	: Hesaplanan periyot doğrultusunda yapının zemine oturduğu kenar uzunluğu
d_s	: Çerçeve sistemli yapıda duvarlı bölümün uzunluğu
d_{smaks}	: Çerçeve sistemli yapıdaki en büyük duvar bölümünün uzunluğu
D	: Eşdeğer çapraz çubuğun uzunluğu
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü
E_{duvar}	: Bölme duvarın elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f'_m	: Bölme duvar prizma basınç dayanımı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f'_v	: Tuğla kesme dayanımı
h	: Bölme duvarın yüksekliği
h_k	: Kesit kenar uzunluğu
h_y	: Bina yüksekliği
H	: Kat yüksekliği
I_k	: Kolon atalet momenti
$IP_{kapasite}$	: Bölme duvar düzlem içi kapasitesi

$IP_{azaltılmış}$	: Bölme duvarın düzlem dışı etkilerden dolayı azaltılmış düzlem içi kapasitesi
k_{duvar}	: Eşdeğer çapraz çubuğun ekstenel rijitliği
K_f	: Eşdeğer akma noktasından itibaren düzeltilmiş bilineer rijitlik
K_i	: Bilineer düzeltilmiş başlangıç rijitliği
K_{SSC}	: Stafford-Smith ve Carter (1969) tarafından hesaplanan bilineer başlangıç rijitliği değeri.
K_u	: Eşdeğer akma noktasından itibaren bilineer rijitlik, Mainstone (1971)
K_y	: Bilineer başlangıç rijitliği, Mainstone (1971)
l	: Bölme duvar uzunluğu
l_{kolon}	: Kolondaki plastik mafsallın giriş yüzeyinden mesafesi
$l_{kiriş}$	: Kirişteki plastik mafsallın kolon yüzeyinden mesafesi
L_p	: Plastik mafsall boyu
N	: Bodrum katlar hariç, yapının toplam kat sayısı
$OP_{kapasite}$	: Bölme duvarın düzlem dışı dayanım kapasitesi
$OP_{yük}$	: Bölme duvara düzlem dışı etkiyen yük
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_{cr}	: Bölme duvarın basınç yükleri altında dayanım sağlayacağı, eşdeğer çapraz çubukla aktarılan maksimum kuvvet değeri
R_{kesme}	: Bölme duvarda kayma gerilmeleri altında göçmenin meydana geldiği kuvvet değeri
$(R_1)_i$	: Eşdeğer çapraz çubuk genişlik azaltma katsayısı, (duvar açıklığı)
$(R_2)_i$	: Eşdeğer çapraz çubuk genişlik azaltma katsayısı, (duvar hasarları)
$(R_1)_o$	: Bölme duvardaki açıklıklardan dolayı düzlem dışı davranış azaltma katsayısı
$(R_2)_o$	: Mevcut duvar hasarları düzlem dışı davranış azaltma katsayısı
$(R_3)_o$	: Bölme duvarı sargılayan çerçevenin elastisitesine bağlı düzlem dışı davranış azaltma katsayısı
t_{duvar}	: Bölme duvarın kalınlığı
t_{eff}	: Bölme duvarın etkin net kalınlığı
T	: Doğal titreşim periyodu
V_u	: Sistemin itme analizi sonucunda maksimum dayanım kapasitesi
V_y	: Sistemin bilineer eşdeğer akma dayanımı
λ_1	: Eşdeğer çapraz çubuk katsayısı
λ_o	: Düzlem dışı dayanım narinlik katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
ϵ_{cg}	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
θ	: Eşdeğer çapraz çubuğun yatay ile olan açısı
θ_p	: Plastik dönme istemi

ρ_s	: Kesitte mevcut bulunan ve DBYBHY (2007) 3.2.8'e göre " <i>özel deprem etriyeleri ve çirozları</i> " olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı
ρ_{sm}	: DBYBHY (2007) 3.3.4, 3.4.4 veya 3.6.5.2'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki ortalama yer değiştirme
Δ_u	: Tam yükleme durumunda yer değiştirme
Δ_u'	: Tam yükleme durumunda gerçek yer değiştirme
Δ_y	: Sistemin bilineer eşdeğer akma noktasındaki yer değiştirmesi
Δ_y'	: Sistemin eşdeğer akma noktasındaki düzeltilmiş yer değiştirmesi
w	: Bölme duvar düzlem dışı eğilme dayanım kapasitesi

DEPREM YÜKLERİ ALTINDA BETONARME BİNALARDAKİ BÖLME DUVAR ETKİSİNİN FARKLI MODELLERLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bölme duvarlar, yapının dinamik karakteristik değerlerinin değişiminde büyük bir etkiye sahiptir. Yapı hesaplarında bölme duvarlar yapısal eleman olarak göz önüne alınmayarak, yapıların dinamik hesabında ihmal edilmektedirler. Bölme duvarların hesaplarda dikkate alınmamasının sebebi, bölme duvarların yatay rijitliğe olan katkısının kesinlik kazanmamış olması ve önerilen modellerin hesap güçlüğüdür.

Bu çalışmada, bölme duvarların matematik modelinin oluşturulmasına yönelik incelemelerle bölme duvar etkisinin dikkate alındığı çeşitli yönetmelikler karşılaştırılmıştır. Değişik bölme duvar alanına sahip modeller oluşturularak, deprem yükleri altında yapıya olan etkisi ve düzensizlik durumları irdelenmiştir.

Yapılan birinci sayısal çalışmada, taşıyıcı sistem eleman kesitleri zayıf kabul edilebilecek altı katlı betonarme çerçeve sistemden oluşan bir binada bölme duvar etkisi incelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yapılan dinamik analizde 12 Kasım 1999 Düzce Depremi, Doğu-Batı ivme kayıtları kullanılmış, uygulamaya yönelik sonuçların elde edilmesine çalışılmıştır. Bölme duvarların ilgili deprem doğrultusunda etkili en kesit alanının değişimi ile yapıya etkileyen deprem kuvvetleri, kat ötelemeleri ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen hasar durumları etkili bölme duvar alanına göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

İkinci çalışmada, taşıyıcı sistem bakımından birinci çalışmadaki sisteme benzer betonarme perdelerle güçlendirilen iki değişik modelde bölme duvar etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada oluşturulan Model 5 ve Model 6, farklı betonarme perde alanlarına sahiptir. Model 6'da yaklaşık olarak Model 5'in yarısı kadar betonarme perde olmaklar beraber, bölme duvar etkisi sistemde göz önüne alınmıştır. Model 5'te bölme duvar etkisi ihmal edilmiştir. Güçlendirme çalışmalarında mevcut bölme duvarların etkisi ile ekonomik güçlendirme çözümlerine ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son olarak, bölme duvarların düşeyde süreksizlik göstermesi durumunda, deprem esnasında meydana gelen katlar arası rijitlik düzensizliği olan yumuşak kat oluşumu incelenmiştir. Önceki çalışmalardaki sistemlere benzer bir taşıyıcı sistem modelinde bölme duvarların zemin katta olması ve olmaması durumunda seçilen düşey taşıyıcı sistem elemanlarındaki kesit tesirlerinin değişimi, katlar arası ortalama görelî kat ötelemelerinin değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmalarda bölme duvarların gerçek davranışının matematik modele aktarılması önemlidir. Yüksek başlangıç rijitliğinin yanında düşük dayanıma sahip bölme duvarlar deprem hareketinin birkaç çevriminden sonra kesme veya basınç kırılmaları sonucunda devreden çıkmaktadır. Bu davranış, eşdeğer çapraz çubuklarla

idealleştirilen modelde eksenel yük etkileri dikkate alınarak oluşturulan plastik mafsallarla modele aktarılmaktadır. Bu şekilde gerçek bölme duvar davranışı modele aktarılmış ve uygulamaya yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

EVALUATION OF MASONRY INFILL EFFECTS ON REINFORCED CONCRETE BUILDINGS UNDER SEISMIC EXCITATIONS WITH DIFFERENT MODELS

SUMMARY

Masonry infill walls have important effects on dynamic characteristics of buildings, which have reinforced concrete frame structural system. Although, masonry infill walls have effects on dynamic characteristics of reinforced concrete frame structures, they are neglected as a structural element in the building analysis. The reason of this is that the effects of horizontal rigidity of infill walls has not been proven and valid model of infill walls are difficult.

This study has researches about the infill walls idealisation with equivalent struts for mathematical model and compare some national codes, which include the effects of masonry infill walls in reinforced concrete buildings. Models, having variations of different infill wall distribution, are studied in the way of the effects of masonry infills and irregularities.

In first examination, a six story reinforced concrete frame structural system, which has weak columns, analysed in terms of masonry infill effects under seismic excitations with different masonry infill distribution. In nonlinear time history analysis, November 1999 Düzce EW Earthquake acceleration datas are used in order to monitoring a real earthquake impact. Base reactions, story displacements and column damages are analysed with changing the effective masonry infill walls cross sectional area.

In second examination, there are two different retrofitted reinforced concrete systems, likes first examination's models. These are evaluated about infill panel impact when an earthquake occurred. This study mentions to carry out economical retrofitting practices with evaluating masonry infill panels.

The last study includes an examination about story rigidity confusion because of the vertical discontinuous masonry infill wall distribution. A model, likes previous models, has fully masonry infill panels and the other model has a bare frame system only ground floor, the other floors are infilled. They are compared about base reactions and ground floor effective displacements.

All of these studies, there is an important point about to idealisation the real masonry infill panel behaviour. Masonry infill panels have great lateral rigidity but weak endurance. After first cycles of an earthquake, masonry infill panels are mostly departed. This behaviour is modelled with plastic hinges on idealised equivalent struts, which exposed to compression forces. In this way a real masonry infill panel impact is idealised on mathematical model and attempted to practicable results.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Günümüzde yaygın olarak kullanılan taş veya tuğla duvarlar en eski yapı elemanı olarak bilinmektedir. Fonksiyonel kullanım, uygulanabilme kolaylığı ve düşük maliyet gibi faktörleri bir arada bulunduran bu yapı elemanları yüzlerce yıl öncesinde uygulanıp günümüzde de varlığını sürdüren projelerden, günümüzde uygulanan karmaşık projelere kadar uzanan yapısal ve mimari bir öneme sahiptir. Tuğla duvarlar, günümüzde uygulanan betonarme çerçeve sistemli yapılarda mimari gereksinimlere cevap verecek şekilde yapı içerisindeki yaşam alanlarını birbirinden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Betonarme yapılardaki bölme duvarların bir başka önemli fonksiyonu da yapı elemanlarını rüzgâr, kar, yağmur gibi olumsuz çevre koşullarından korumaktır. Tüm bu fonksiyonel özelliklerin yanında, gerek taşıyıcı sistem tasarımında, gerekse mevcut yapıların değerlendirilmesinde, bölme duvarların yapı sistemine yapacağı dayanım ve rijitlik katkısı ihmal edilmektedir.

Geçmiş yıllardan günümüze, mevcut yapıların durumu incelendiğinde, çok katlı betonarme yapıların her geçen gün artmakta olduğu ve giderek daha yüksek yapıların uygulama alanı bulduğu gözlenmektedir. Bu durum yapılaşmanın önemini hem ekonomik hem de güvenlik yönünden artırmaktadır.

Türkiye'nin deprem kuşağı bakımından riskli bölgede yer alması, yapılaşma sırasında tasarım ve analizlerde deprem etkisinin göz önünde bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Deprem sonrası yapılarda meydana gelen hasarlar üzerinde yapılan araştırma ve gözlemlerde, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerinde etkisi olduğu ortaya çıkarılmış ve projelendirme aşamasında taşıyıcı sistemlerin analizlerinde dolgu duvarların modellenmesi konusunda gelişmeler meydana gelmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme yapıların davranışına dolgu duvar etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla dolgu duvarların temel özellikleri, betonarme çerçeve sistemler ile davranışı incelenerek duvarın modellenmesi konusunda çalışmalar yapılarak değişik modeller incelenmiştir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), Eurocode, FEMA ve diğer ülkelerin konu ile ilgili yönetmelikleri incelenip, deprem etkisi altındaki betonarme çerçeve sistemlerde bölme duvar etkisi ile ilgili çeşitli yaklaşımlar dikkate alınarak SAP 2000 programı ile oluşturulan modeller değerlendirilmiştir.

1.3 Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde düzlem içi yanal kapasite değerlendirmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Böyle bir sistemin davranışının anlaşılması için analitik ve deneysel çalışmalardan elde edilen tecrübelerle dayanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde yapılan araştırmalar incelendiğinde, genel olarak dolgu duvarlı çerçevelerden çeşitli numuneler seçilerek yanal yükleme testlerinin yapıldığı ve çerçevelerin hareketlerinin incelenerek bazı yaklaşık sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Benjamin ve Williams 1957 ve 1958 yıllarında yaptıkları çalışmalarda, tek katlı ve tek açıklıklı, iç kısmı betonarme malzeme ile doldurulmuş düzlem çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada dolgu malzemenin özellikleri, dolgu kalınlığı ve benzer değişkenlerin çerçevenin yük taşıma kapasitesini etkilediğini belirlemişlerdir.

Polyakov tarafından 1960 yılında yürütülen çalışmada laboratuvar ortamında oluşturulan numuneler üzerinde yapılan testlerde, bölme duvarda meydana gelen deformasyonlar incelenerek eşdeğer diyagonal destek çubukları ile bölme duvar modeli oluşturulmuştur.

Brayn Stafford Smith 1962, 1966 ve 1969 yıllarında yaptığı çalışmalarda eşdeğer diyagonal destek çubuğu yöntemini ayrıntılı olarak ele almıştır. Dolgu duvarlı

sistemlerin yatay yükler altındaki davranışını tespit etmek için hem analitik hem de deneysel çalışmalar yapmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin rijitlik ve dayanımının yalnızca fiziksel özelliklere ve boyutlara değil, dolgu ve etrafındaki çerçeve ile olan temas yüzeyine de bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Temas uzunluğunun dolgu duvar ve çerçevenin bağlı rijitlikleri ile değiştiğini belirterek, dolgu duvar davranışını belirleyen göreceli rijitlik parametresini tanımlamıştır.

Mallick Severn, 1967 yılında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitliğini belirlemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Kare panel dolgular için sonlu elemanlar yöntemiyle deneysel ve analitik çalışmalar arasında iyi bir uyum bulunmuştur.

Ersoy ve arkadaşlarının 1971 yılında yaptıkları çalışmalarda, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem yükleri altındaki davranışını incelemek amacıyla değişik yükler altındaki numuneler test edilmiştir. Bu çalışmada, çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı, dolgu kalınlığı, dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki aderans ve çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı gibi değişkenler dikkate alınmıştır.

Bertero ve Brokken 1981 yılında dinamik yükleme altında dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışını incelemek amacıyla bir dizi deney yapmıştır. Deprem davranışını temsil eden tersinir yükler altında 18 numuneyi incelemişler ve 4 tip dolgu kullanmışlardır. Tek açıklıklı 4 katlı çerçeveler seçilip, dolgudaki boşlukların etkisi ve dolgu duvar ile çerçeve arasındaki bağlantılar incelenmiştir. Çalışma sonunda, boş çerçeveye eklenen dolgu duvarın, sistemin rijitliğini önemli ölçüde artırdığı, yatay rijitlik ve dayanıma etki eden yükün etki biçimine bağlı olduğu, tüm numunelerde hasarların ilk katlarda yoğunlaştığı ve maksimum yer değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığı sonuçlarına varılmıştır.

Benson Shing ve Armin B. Mehrabi 2002 yılında çerçeve duvar ilişkisinin yapı performansındaki etkilerini inceleyen önceki çalışmaların eksik ve yetersiz kaldığı noktaları incelemişlerdir. Özellikle dolgu duvar ve onu kuşatan çerçeveli düzlem yapı modellerinde düzlem içi yükler ve modellerin muhtemel göçme mekanizmaları ile ilgili temel bulgular elde etmişlerdir. Düzlem içi yüklemenin etkin olduğu düşük yük seviyelerine bağlı analizlerde dolgu duvarlı çerçeve monolitik bir davranış gösterirken, yük seviyesi artırıldıkça çerçeve ve duvar arasında kısmi ayrışmalar

gözlemlemişlerdir. Bu şartlarda duvar, basınç dirençli payanda davranışı göstermeye başlamıştır. Düzlem içi yüklemeyle ilgili beş ana göçme mekanizması tespitinde bulunmuşlardır. Bunlar sırası ile orta yükseklik çatlakları, diyagonal çatlaklar, yatay kayma ve köşelerde ezilme şeklindedir. Ayrıca kapı ve pencere boşluklarının yapının yükleme dayanımında yaptığı azaltmanın, boşluklardan dolayı dolgu duvarın kesit alanındaki azalma ile arasında oransal bir ilişki bulunamamıştır. Ayrıca bu boşlukların duvar üzerindeki konumlarının bile yük dayanımının farklı olmasına sebep olduğu görülmüştür. Düzlem dışı yüklemelerde de yapı direncine dolgu duvarın narinliğinin etkisi ile ilgili araştırmaları derlemişlerdir. Analizler için kullanılan modellerin tek başlarına muhtemel bütün göçme mekanizmalarını göstermeye yeterli olmadıkları, duvar-çerçeve etkileşiminin betonarme çerçevenin davranışını sünek eğilmeden gevrek kırılma davranışına kadar değiştirebildiğini tespit etmişlerdir.

2. BÖLME DUVARLI ÇERÇEVELER

2.1 Bölme Duvarlar

Dolgu duvarlar, yalıtılmış ve normal dolgu duvarlar olarak iki kategoride sınıflandırılabilir.

Yalıtılmış dolgu duvarlar, duvarı tamamen saran çerçevelerden, duvarın üzerinden ve her iki yanından tamamen izole edilmiş panellerdir. Dolgu ve çerçeve arasındaki boşluklar dolgu-çerçeve etkileşimi engellenecek şekilde olası çerçeve deformasyonunu göz önünde bulundurarak düzenlenmelidir. Böylece çerçevenin, deprem yükleri altında dolgu duvardan bağımsız hareket etmesi sağlanacaktır. Bu tür dolgu duvarların taşıyıcı sisteme herhangi bir etkisi olmayacaktır.

Normal dolgu duvarlar ise, yalıtılmış dolgu duvarların aksine, duvarı çevreleyen çerçeve ile tam temas sağlayarak sistemin bir elemanı gibi hareket etmesini sağlar. Çalışmada, kendisini çevreleyen çerçeve elemanları ile tam temas sağlanmış normal dolgu duvarlar incelenecektir.

Dolgu duvarlı çerçevelerin davranışları, dolgunun ve çerçevenin mekanik ve geometrik özelliklerinin yanı sıra bazı özel faktörlere de bağlıdır. Bu özellikler dolgu duvara sahip çerçeve sistemlerin davranışını etkilemektedir.

2.2 Bölme Duvarların Yapı Davranışına Etkisi

Betonarme çerçeve sistemlerde, deprem yükleri altında bölme duvarların yapı davranışına etkisi yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla gözlenmektedir. Deprem kuvvetlerinin bir kısmı, duvarda yük taşıma kapasitesine ulaşıncaya kadar duvar tarafından karşılanır. Bölme duvar ile çerçeve birlikte monolitik bir davranış sergileyerek rijitliği artırır, doğal periyodu kısaltır. Yapının sünekliğini artırarak enerji yutma kapasitesinde artış meydana gelen durumlara da rastlanmaktadır.

Bölme duvarların yapıda meydana getirdiği olumlu etkilerin yanısıra planda ve kesitte düzensizlikler olması durumunda olumsuz etkileri de vardır. Planda düzensiz duvar yerleşimi, yük dağılımında değişikliklere neden olarak aşırı kesit zorlanmaları meydana getirebilir. Düşeyde süreksizlik olması durumunda yumuşak kat oluşumu gözlenmektedir.

2.3 Bölme Duvarların Modellenmesi

Bölme duvara sahip çerçevelerdeki yanal yükler, bölme duvar ve çerçeve elemanlarında üniform olmayan gerilme dağılımlarına sebep olur. Yanal yük arttıkça gerilme dağılımındaki düzensizlikler bölme duvarda göçme meydana gelene kadar devam eder. Duvardaki göçme, kayma veya basınç dayanımı aşıldığı anda meydana gelir.

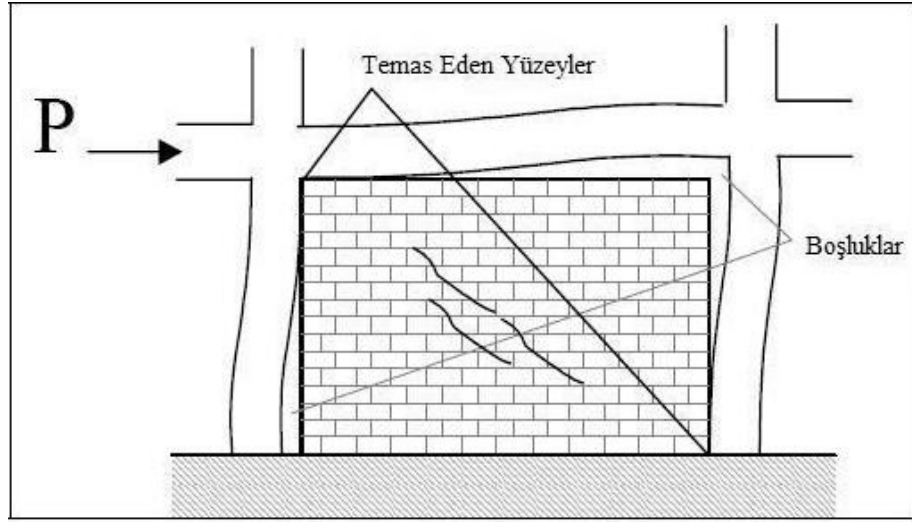
Bölme duvar ile sınırlandırılan çerçeve elemanlarda göçme meydana gelebilmesi için etkiyen kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenlerinin bölme duvar dayanımını aşması gerekmektedir. Bölme duvardaki göçme, çerçeve elemanlardan daha önce meydana gelmektedir.

Sistemin yanal yük kapasitesini belirlemek için malzemenin (tuğla, harç, beton, çelik) doğrusal olmayan davranışının tanımlandığı sonlu elemanlar yöntemini esas alan analiz programlarından yararlanılabilir. Fakat bu yöntemle hesap bazı durumlarda yeteri kadar pratik olmayacağından dolayı daha basit bir hesap yöntemi öne sürülmüştür. Bu basitleştirilmiş yöntemde bölme duvarları modellemek yerine, bölme duvarın davranışını çerçeve üzerine etkileyecek şekilde eşdeğer çapraz çubuklar modellenmektedir. Bu metod, tam dolu ve boşluklu duvarlarda uygulanmaktadır. Eşdeğer çapraz çubuklar, kolonlarda bölme duvar etkisi oluşturmaktadır. Bu metod sistemdeki plastik mafsalları oluşumu esasına dayanarak güvenilir sonuçlar vermektedir.

2.3.1 Eşdeğer çapraz çubuk

Bölme duvarlı çerçeve sistemlerde düzlem içi yanal kapasite değerlendirmesi oldukça karmaşık ve statik açıdan belirlenmesi zor bir problemdir. Bölme duvar ve betonarme çerçeve dayanımının toplamından ibaret değildir. Böyle bir sistemin davranışının anlaşılması için gerek analitik olarak gerekse yapılan deneylerdeki tecrübelerle dayanarak çok fazla çalışma yapılmıştır. Polyakov (1960), Stafford-Smith (1962-1966-1969), Mainstone (1971), Klinger ve Bertero (1976-1978) dolgu

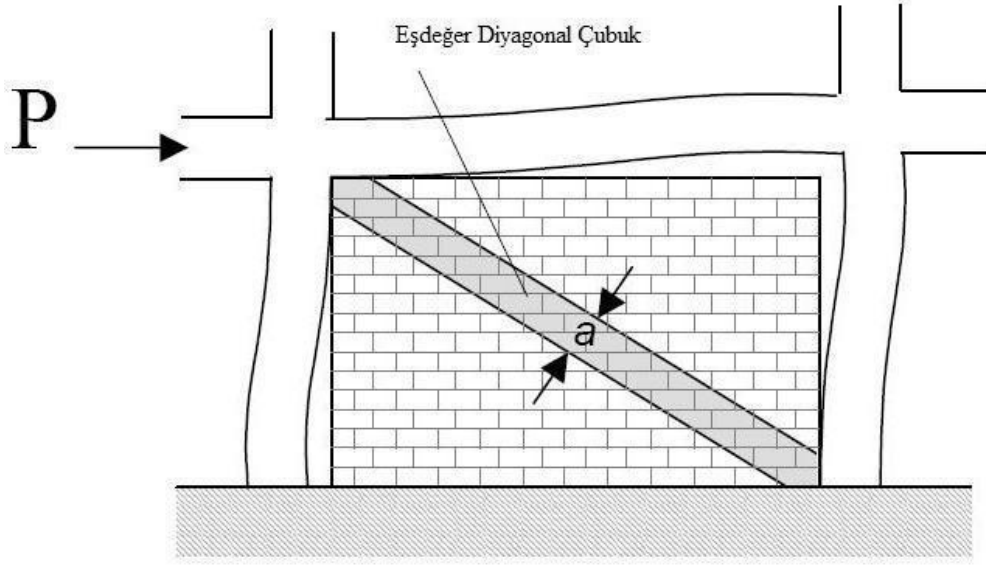
duvarlı çerçevelerle ilgili çeşitli çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalarda, yatay yük altındaki modelde Şekil 2.1’deki gibi bir deformasyon olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.1 : Deforme olmuş bölme duvarlı çerçeve.

Numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, bölme duvarın ortalarında diyagonal çatlaklar, yatay yüklemenin olmadığı köşelerde şekil değiştirmeye bağlı olarak boşluklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Yüklemenin etkidiği köşelerde çerçeve elemanları ile duvar arasında tam temas oluşarak ezilmeler meydana gelmiştir. Bu davranış ilk olarak Polyakov tarafından gözlemlenerek basitleştirilmiş model olarak yüklemenin yapıldığı köşelere eşdeğer diyagonal basınç çubuğu Şekil 2.2’deki gibi modellenmiştir.

Eşdeğer çapraz çubuk a genişliğinde, bölme duvarla eşit kalınlıkta ve mekanik özellikleri bakımından modeli oluşturulan bölme duvara uygun olacak şekilde idealleştirilmiştir.



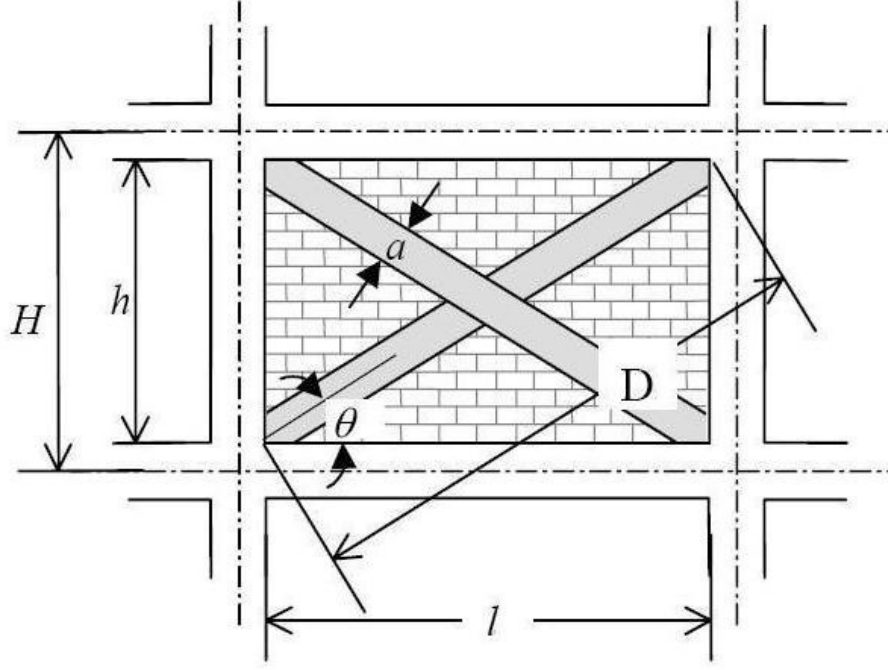
Şekil 2.2 : Eşdeğer çapraz çubuk.

Eşdeğer destek çubuğunun a genişliği için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. En basit şekilde idealleştirilen yaklaşım Paulay ve Priestley (1992), Angel ile arkadaşları (1994) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmaya göre destek çubuğunun a genişliği, bölme duvar ve çerçeve özellikleri dikkate alınmaksızın çubuk uzunluğunun %12,5-25'i civarında olacak şekilde belirlenmiştir.

Stafford-Smith ve Carter (1969), Mainstone (1971) ve diğer bilim adamları, çubuk genişliğine ilişkin ifadelerle, kolon ve kirişlerde duvarla temas mesafeleri gibi bazı parametreler ile duvar ve çerçeve için göreceli rijitlikleri hesaba katarak çalışmalarda bulundu.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere dayanarak yapılan değerlendirmelere göre, Mainstone (1971), Stafford-Smith ve Carter (1969) ve diğer bilim adamlarının çalışmalarının gerçeğe daha yakın değerler verdiği tespit edilmiştir.

Kalınlığı duvar kalınlığına eşit, genişliği a olan eşdeğer çapraz çubuk ile bölme duvar Şekil 2.3'te gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 2.3 : Eşdeğer çapraz çubukla modellenen bölme duvarlı çerçevenin geometrisi.

Eşdeğer diyagonal çubuğun (a) genişliği, bölme duvarın çerçeveye göre rölatif rijitliğine bağlı olarak belirlenecektir. Rölatif rijitlik, denklem (2.1) ile hesaplanabilir. (Stafford-Smith ve Carter 1969).

$$\lambda_1 H = H \left[\frac{E_{duvar} t_{duvar} \sin 2\theta}{4 E_c I_k h_{duvar}} \right]^{1/4} \quad (2.1)$$

Mainstone (1971), bu ifadeyi kullanarak duvarın çerçeveye göre rölatif rijitliğine bağlı olarak eşdeğer diyagonal çubuğun (a) genişliğini denklem (2.2) ile belirlemiştir.

$$a = 0,175 D (\lambda_1 H)^{-0,4} \quad (2.2)$$

Bölme duvardaki kapı, pencere vb. açıklıklar ile mevcut hasardan kaynaklanan durumlar için azaltılmış (a) genişliği için denklem (2.3).

$$a_{azaltılmış} = a(R_1)_i(R_2)_i \quad (2.3)$$

Bu çalışmada, eşdeğer çapraz çubukları modellerken ilgili çerçevenin özellikleri o çerçevede kullanılan eşdeğer çapraz çubuk elemana atanır. Denklemlerden de görüldüğü üzere çerçevenin geometrik ve mekanik özellikleri modele belirleyici unsur olmaktadır. Yapılan modelleme çalışmaları çerçeve bazında olmasına karşın sonucunda bir yapının toplam kapasitesi değerlendirilecektir.

Dolgu duvarlar, depremin meydana gelmesiyle, dayanımı zayıf olduğundan dolayı ilk birkaç çevrimden sonra yatay yük taşıma kapasitesine ulaşacak ve daha fazla yük taşımayacaktır.

Eşdeğer çapraz çubuğun aksel rijitliği denklem (2.4)'de ifade edilen şekilde hesaplanacaktır.

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

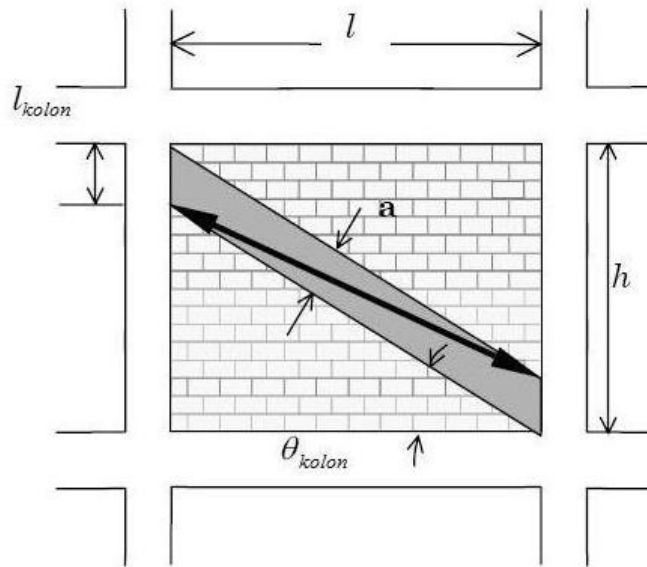
2.3.2 Eşdeğer çapraz çubuğun yerleşimi

Eşdeğer destek çubuklar, çerçeve elemanlarına Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bağlanmaktadır. Bölme duvardan gelen yatay yükler kolonlara aktarılır, dolayısıyla eşdeğer destek elemanlar da kolonlara bağlanmıştır. Çubuklar, kolonlara giriş yüzeyinden l_{kolon} kadar mesafede bağlanmalıdır. Bu mesafe, eşdeğer destek çubuğun (a) genişliği kullanılarak herhangi bir azaltma katsayısı olmaksızın denklem (2.5) ve (2.6) ile elde edilir.

$$l_{kolon} = \frac{a}{\cos \theta} \quad (2.5)$$

$$\tan \theta = \frac{h - \frac{a}{\cos \theta}}{l} \quad (2.6)$$

Yanal kuvvetler eşdeğer destek elemanların a genişliğindeki kenarından kolonlara aktarılmaktadır.



Şekil 2.4 : Eşdeğer çapraz çubuğun yerleşimi.

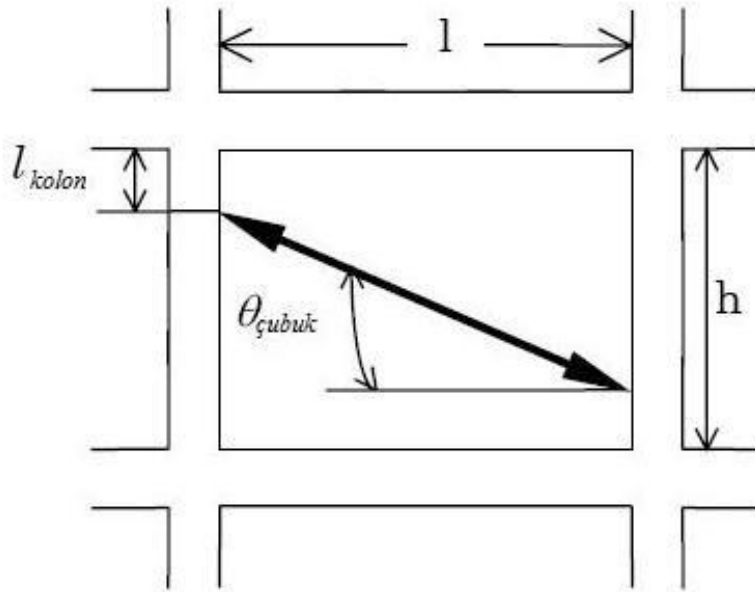
2.3.3 Eşdeğer çapraz çubuğun deformasyonu

Eşdeğer çapraz çubuklar, kolonlara mafsallı bağlantı olacak şekilde teşkil edildiğinden moment aktarımı olmayacaktır. Eşdeğer çapraz çubuğun rijitliği, modellenen duvarın elastisite modülü ve elemanın kesit alanına bağlıdır. Eşdeğer çapraz çubuğun dayanımı ise bölme duvarın basınç dayanım sınırı (R_{cr}) ve kesme dayanım sınırı (R_{kesme}) değerleri belirlenerek hesaplanır. Bu kuvvetlerin bileşkesi doğrultusunda, eşdeğer çapraz çubuk basınç çubuğu olarak değerlendirilir. Bu dayanım denklem (2.7) ve denklem (2.8)'de ifade edilmiştir.

$$R_{\text{çubuk}} = \text{küçük} \left\{ \frac{R_{cr}}{R_{kesme} / \cos \theta} \right\} \quad (2.7)$$

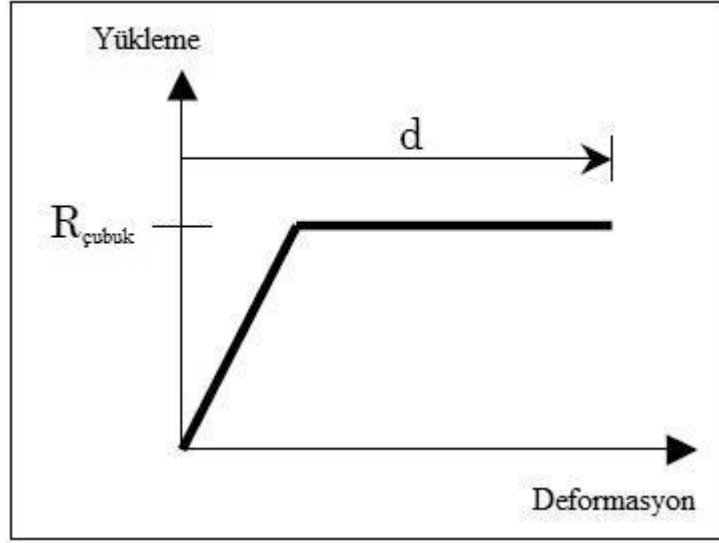
$$\tan \theta = \frac{h - 2l_{\text{kolon}}}{l} \quad (2.8)$$

Eşdeğer destek çubuğun yatay ile yaptığı açı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Eşdeğer çapraz çubuğun yatayla yaptığı açı.

Eşdeğer çubuğun doğrusal olmayan davranışının Şekil 2.6'daki gibi olduğu kabul edilmektedir.



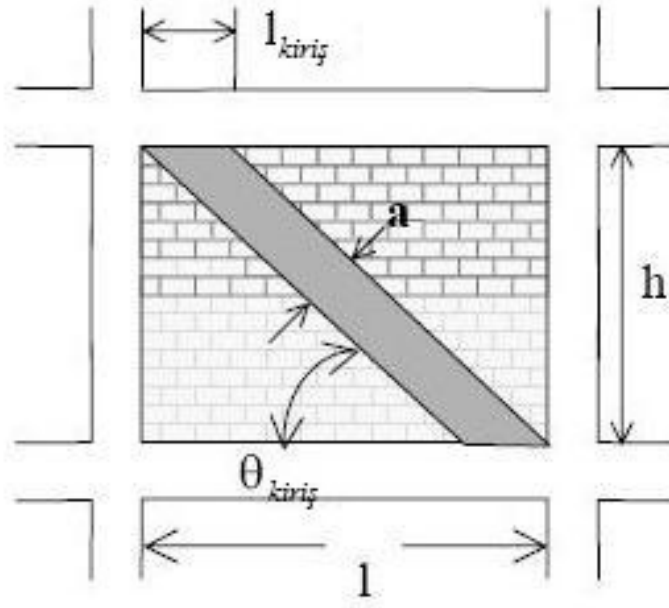
Şekil 2.6 : Yüklemeye deformasyon diyagramı.

2.3.4 Plastik mafsalların konumu

Kolonlardaki plastik mafsallar, aksenal yük ve moment kapasitesine bağlı olarak meydana gelecektir. Bu mafsallaşma noktaları, kiriş yüzeyine minimum l_{kolon} mesafesinde oluşacaktır. Kirişlerdeki mafsallar ise elemanın elastik davranışına bağlı oluşacaktır. Bu mafsallar da kolon yüzünden itibaren minimum $l_{kiriş}$ mesafesinde oluşacaktır. Kirişlerde $l_{kiriş}$ mesafesi, Şekil 2.7'deki gibi eşdeğer diyagonal destek elemanın $\theta_{kiriş}$ açısı ile kirişlere bağlandığı varsayılarak denklem (2.9) ve (2.10) ile elde edilir.

$$l_{kiriş} = \frac{a}{\sin \theta_{kiriş}} \quad (2.9)$$

$$\tan \theta_{kiriş} = \frac{h}{l - \frac{a}{\sin \theta_{kiriş}}} \quad (2.10)$$

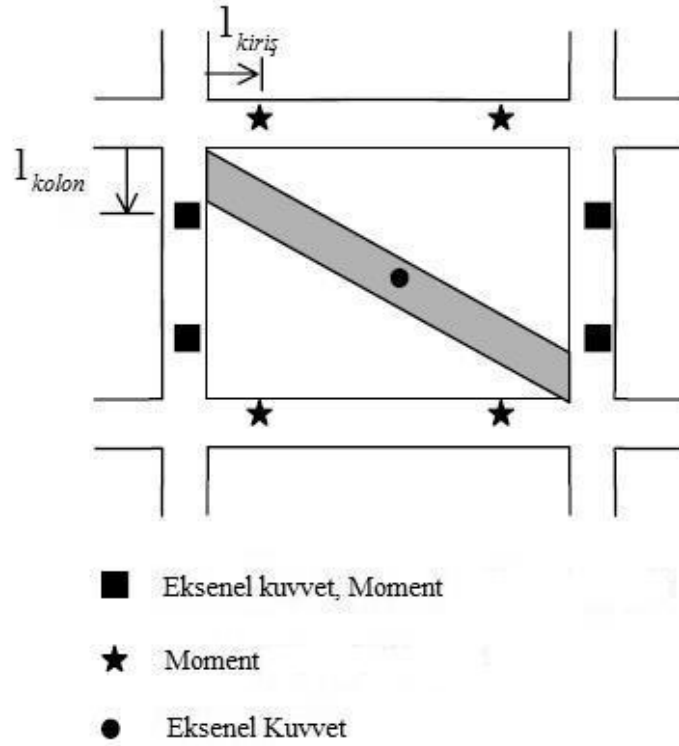


Şekil 2.7 : Kirişte plastik mafsalsal mesafesi.

Bölme duvardan gelen kuvvetlerin doğrudan kolonlara aktarıldığı kabulü yapılmasına rağmen, kirişlerde de mafsallaşma oluşacak ve kolon yüzeyi ile kirişteki plastik mafsalsal arasındaki $l_{kiriş}$ mesafesi hesaplanabilmektedir.

Eşdeğer diyagonal destek çubuğunda sadece eksenel kuvvetlere bağlı olarak meydana gelecek mafsallaşma durumu değerlendirilmelidir. Bu mafsalsal, çubuğun ortasında oluşacaktır. Bölme duvarlı çerçeve sistemlerde elastik ötesi davranış incelendiğinde, Şekil 2.8’de gösterildiği gibi minimum sayıda plastik mafsalsal oluşumu beklenmektedir.

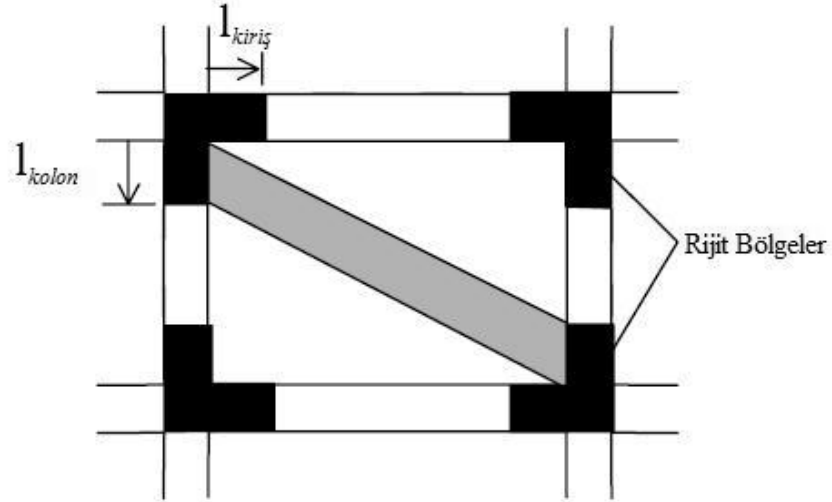
Yanal yüklemeler sonucunda oluşan plastik mafsallar genellikle elemanların uç noktalarına yakın olsa da zaman zaman elemanların diğer kısımlarında da oluşabilmektedir. İyi bir mühendislik çalışması yapıldığı takdirde bu mafsalların yerlerinde değişiklik yapmak mümkündür.



Şekil 2.8 : Plastik mafsalların konumu.

2.3.5 Rijit düğüm noktaları

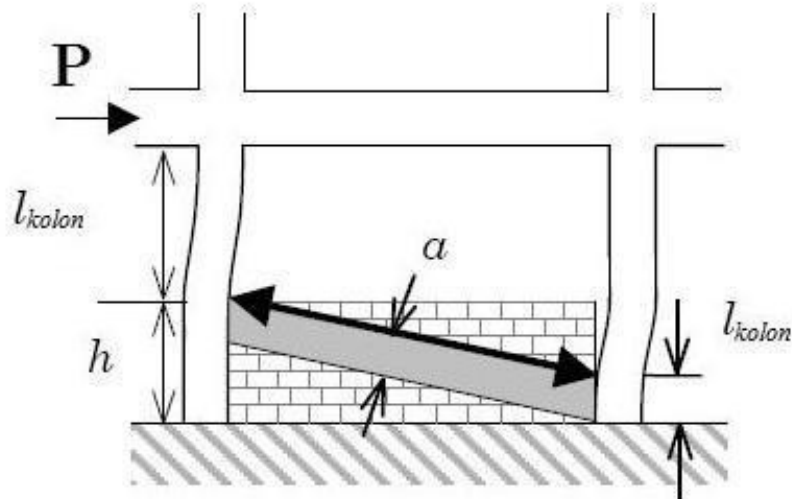
Bölme duvara sahip çerçeve sistemin matematiksel modeli oluşturulurken, bölme duvarlar eşdeğer diyagonal çubuk ile idealleştirilecektir. Köşelerden bağlanan eşdeğer diyagonal çubuk eleman, çerçeve elemanlarını duvar gibi sarmayacağı için modellenen sistem, olması gerekenden daha elastik bir davranış sergileyecektir. Bu istenmeyen durumun giderilmesi amacıyla rijit düğüm noktası kabulüne dayanarak kolonların l_{kolon} , kirişlerin $l_{kiriş}$ mesafesi boyunca sonsuz rijit olduğu kabul edilecektir. Bu mesafeler, plastik mafsallarla çubuk ucu arası kadar olacaktır. Şekil 2.9’da düğüm noktalarındaki rijitlik gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Sonsuz rijit düğüm noktaları.

2.3.6 Kısmî bölme duvarlı çerçeveler

Yarım bölme duvara sahip çerçevelerde, l_{kolon} uzunluğu, kolonda duvar olmayan uzunluk ölçülerek belirlenecektir. (Şekil 2.10) Eşdeğer destek çubuk için a genişliği, duvar yüksekliği (h) denklem (2.1)'de kullanılarak, denklem (2.3) ile hesaplanacaktır. Hasarlı duvarlar için $(R_2)_i$ azaltma katsayısı kullanılacaktır.



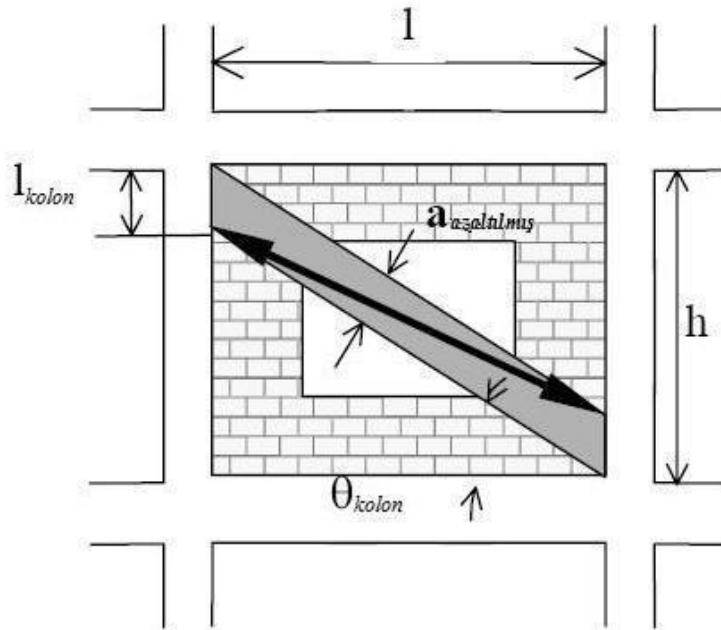
Şekil 2.10 : Kısmî bölme duvarlı çerçeve.

2.3.7 Boşluklu bölme duvarlı çerçeveler

Bölme duvarda boşluk olması durumunda, eşdeğer destek çubukları boşluksuz duvarlarda olduğu gibi yerleştirilerek (Şekil 2.11) elemanın (a) genişliğini hesaplariken açıklıklardan kaynaklanan dayanımdaki kaybı hesaba katmak üzere $(R_1)_i$ azaltma katsayısından yararlanılacaktır. $(R_1)_i$ azaltma katsayısı denklem (2.11) ile hesaplanacaktır.

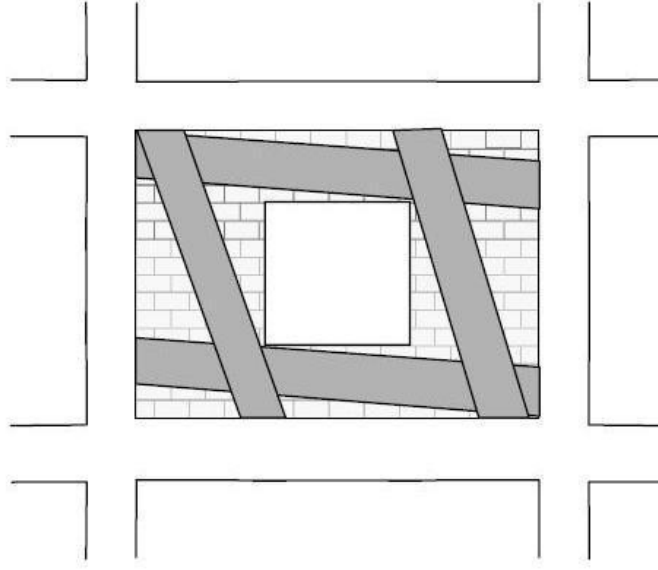
$$(R_1)_i = 0,6 \left(\frac{A_{a\zeta 1k}}{A_{duvar}} \right)^2 - 1,6 \left(\frac{A_{a\zeta 1k}}{A_{duvar}} \right) + 1 \quad (2.11)$$

Açıklık alanı, duvar alanının %60'ına eşit veya büyük ise bölme duvar etkisi ihmal edilebilir.



Şekil 2.11 : Boşluklu bölme duvara sahip çerçeve.

Bölme duvardaki boşluktan dolayı eşdeğer destek elemanın genişliğindeki azaltma, bu çerçevedeki gerilme dağılımını tam anlamıyla ifade etmeyecektir. Bu metod, yapının tümünün kapasitesini değerlendirmek amacıyla idealleştirilmiş bir yöntemdir. Lokal olarak böyle bir çerçeveyi değerlendirmek amacıyla, boşluklu duvar sonlu elemanlarla modellenabilir ya da Şekil 2.12’deki gibi eşdeğer çubuklarla modellenabilir.



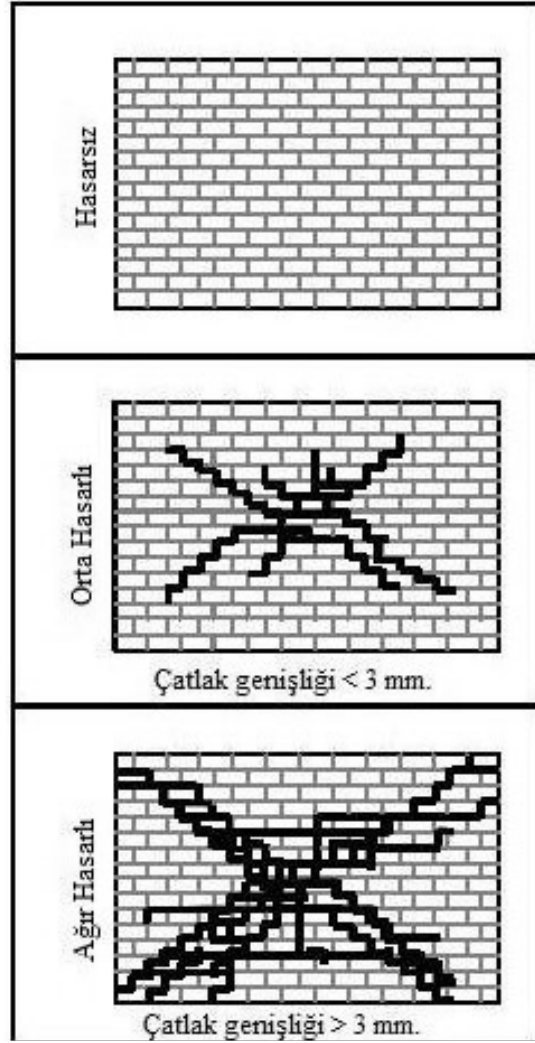
Şekil 2.12 : Boşluklu bölme duvarlar için olası eşdeğer destek eleman yerleşimi.

2.3.8 Bölme duvarlardaki hasarların değerlendirilmesi

Elastik limitlerin aşılmasıyla mevcut duvarın davranışında bozulmalar meydana gelmiş olabilir. Bu sebepten dolayı mevcut duvarların elastik limitlerinin daha önceden aşılp aşılmadığının bilinmesi gerekmektedir. Duvarların hasar durumu gözlemlenerek tespit edilip hasarsız, az hasarlı ve ağır hasarlı olacak şekilde sınıflandırılır.(Şekil 2.13) Hasar durumu ile ilgili belirsizlikler var ise güvenli tarafta kalacak şekilde değerlendirme yapılır. Duvar hasarı için azaltma katsayısı $(R_2)_i$ Çizelge 2.1’den belirlenmelidir. Duvar için narinlik oranı (h/t) 21’den büyük ise $(R_2)_i$ azaltma katsayısı tanımlanamaz ve duvarda tamir gerekir. Herhangi bir hasar bulunmayan duvarlarda $(R_2)_i$ katsayısı 1 alınacaktır.

Çizelge 2.1 : Mevcut hasar durumuna bağlı azaltma katsayısı.

Hasar Durumuna Göre $(R_2)_i$ Azaltma Katsayısı		
h/t	Orta Hasarlı	Ağır Hasarlı
≤ 21	0,7	0,4
> 21	Tamir Gereklidir.	



Şekil 2.13 : Hasar Sınıflandırması.

2.4 Bölme Duvarların Basınç Dayanımı

İlgili bölme duvarın basınç gerilmeleri altında dayanım sağlayabileceği, eşdeğer çapraz çubuklarla aktarılabilecek maksimum kuvvet değeridir. Modeli oluşturulan bölme duvarın basınç altındaki dayanımı, duvarı oluşturan tuğla malzemesinin prizma dayanımına bağlıdır. Eşdeğer çapraz çubuğun kesit alanı ile prizma dayanımının çarpımıdır. (R_{cr}) Bu kapasite, denklem (2.12) ile ifade edilir.

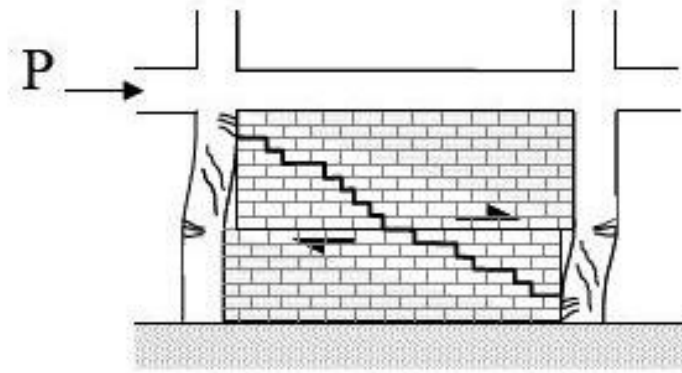
$$R_{cr} = a_{azaltılmış} t_{eff} f'_m \quad (2.12)$$

2.5 Bölme Duvarların Kesme Dayanımı

Bölme duvarın kesme dayanımı, iki mekanizmanın kombinasyonuna bağlıdır. Bunlar, harç ile tuğlanın arasındaki bağ ve duvar örümü ile tuğla yapısıdır. Bütünüyle duvarın yapısına bağlı olarak meydana gelen kayma göçmesi durumu Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Tipik sıralı örülmüş bir tuğla duvarda, bir noktadan başlayarak meydana gelen kesme kırılması görülmektedir. Burada, tuğlalar arasındaki düşey yük bileşeni çekme gerilmesi durumunda olduğundan, düşey yük bileşeninin kesme dayanımına olan katkısı ihmal edilmektedir. Böylece kesme sınır dayanımı için yatay yük kapasitesi denklem (2.13) ile elde edilir.

$$R_{kesme} = A_n f'_v \quad (2.13)$$

Duvardaki düşey yük hesaba katılmamıştır, istenildiği takdirde bu yüklerin %20'si göçmeyi önleyecek şekilde değerlendirilmek suretiyle hesaba katılabilir.



Şekil 2.14 : Bölme duvarda kesme göçmesi.

2.6 Bölme Duvarların Düzlem İçi Rijitliği

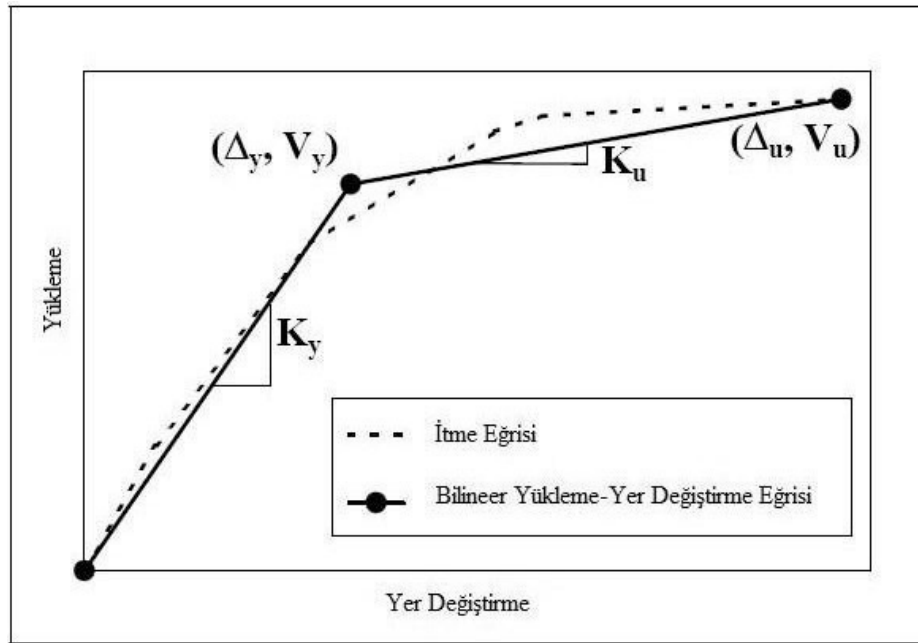
Bölme duvarların düzlem içi rijitliği, duvarın durumuna göre belirlenmektedir. Kısmen bölme duvarlı veya boşluklu bölme duvarlı çerçevelerde duvardaki açıklık vb. durumlar dikkate alınmalıdır. Duvarın rijitliği, statik analiz programı vasıtası ile itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrilerinin değerlendirilmesi suretiyle elde edilmektedir. Kapasite eğrileri, bölme duvarlı çerçevenin gerçek davranışına uygun olacak şekilde modifiye edilir. Bu modifikasyonlar, eşdeğer diyagonal çubuk

göz önüne alınarak, başlangıç rijitliği yüksek ve yer değiştirmelerde azalma olacak şekilde makul bir değerde yapılmaktadır.

İtme analizi ile elde edilen bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı, başlangıç durumu ve tam yükleme durumu olarak iki bölümden oluşmaktadır.

2.6.1 Bilineer yükleme-yer değiştirme davranışı

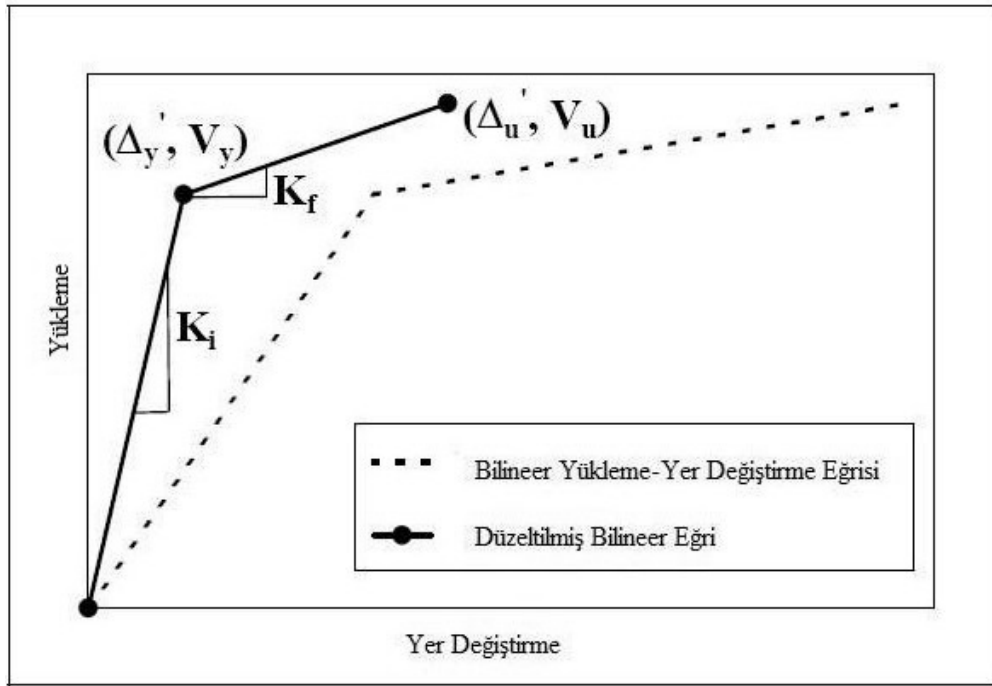
Bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı orijin noktası, kırılma noktası ($V_y; \Delta_y$) ve tam yükleme ($V_u; \Delta_u$) noktası olacak şekilde üç nokta ile tanımlanır. Burada söz konusu olan kırılma noktası, eğrideki rijitlik değişimini göstermektedir. Bilineer eğri, K_u ve K_y olarak rijitlik değerleri ile de ifade edilebilir. Bu değerler eğrideki başlangıç ve bitiş noktalarındaki eğimi ifade etmektedir. Bilineer diyagram, Şekil 2.15'teki gibi sapmalar minimize edilerek çizilir.



Şekil 2.15 : Bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı.

Çizilen bilineer eğri, başlangıç rijitliğinin artırılması ve tam yüklemedeki deplasmanların makul değerlere azaltılması için düzenlenir. Kırılma ve tam yükleme noktalarındaki değerler sabit tutularak K_y ve K_u değerleri, K_i ve K_f değerlerine artırılır. K_i değeri, bölme duvarın gerçek başlangıç rijitliğini, K_f de yükleme sonundaki (kırılma noktası ile tam yükleme noktasına kadar) rijitliği verir. Şekil 2.16'da düzeltilmiş bilineer yükleme-yer değiştirme eğrisi gösterilmiştir. Δ_y , kırılma

noktasındaki düzeltilmiş yer değiştirmeyi, Δ_u' da bölme duvarlı yapının tam yükleme anındaki gerçek yer değiştirmesini göstermektedir.



Şekil 2.16 : Düzeltilmiş bilineer yükleme-yer değiştirme diyagramı.

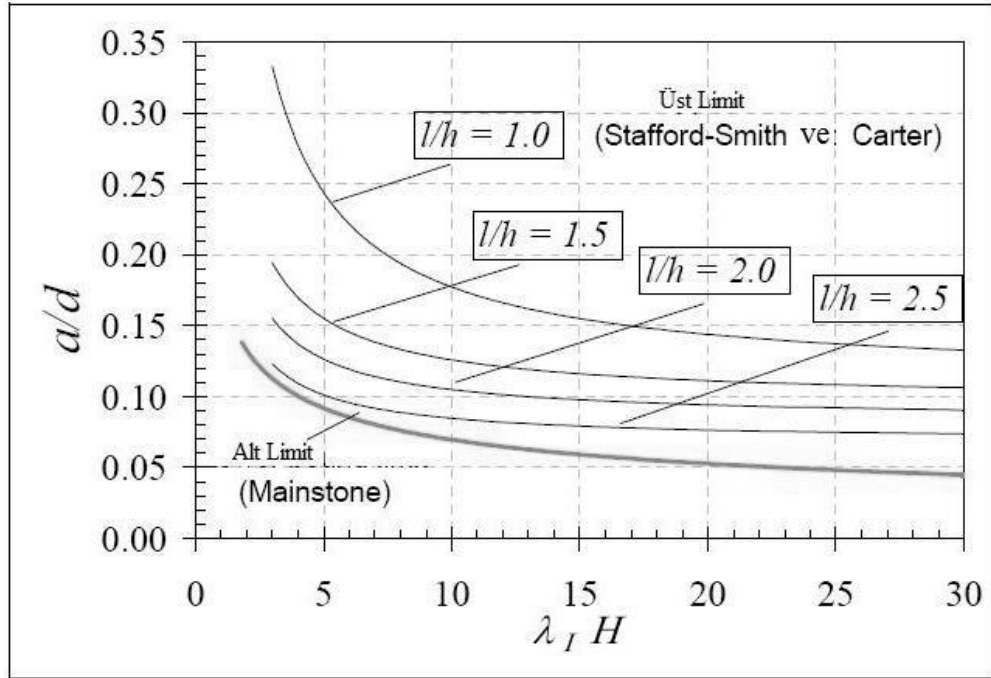
Düzeltilmiş bilineer eğri, bölme duvarlı yapılarda tam yükleme için başlangıç rijitliği ve deplasman değerlerini çok iyi ifade etmektedir.

2.6.2 Rijitlik değerlerinin hesaplanması (K_i , K_f)

Eşdeğer diyagonal çubuklarla modellenen bölme duvarlı çerçeve sistemin itme eğrisi incelendiğinde deneysel sonuçlara göre daha elastik davranış sergilediği gözlenmiştir. Başlangıç anında ve tam yüklemeye meydana gelen deplasmanlar daha fazladır. Bu sonuçlar, bölme duvarın eşdeğer diyagonal çubuklarla idealleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Mainstone (1971) tarafından geliştirilen, bölme duvarları idealize eden eşdeğer diyagonal destek çubukların kalınlıklarını belirlemek için kullanılan hesaplar belli bir limiti geçmeyecek şekilde uygulanmıştır. Bölme duvar için öngörülen en düşük elastik limitler göz önüne alınmıştır. Mainstone (1971), sadece bölme duvarın çerçeve elemanlarına göre rölatif rijitliğini değerlendirmiştir. Stafford-Smith ve Carter (1969) 'in çalışmalarına göre bölme duvarın rijitliği, çerçeve elemanlarına göre üst limitlerdeki rölatif rijitliğin yanı sıra duvarın (l/h) boyutlarının oranına da

dayanmaktadır. Şekil 2.17'den a/d oranına bağlı olarak ele alınacak maksimum değerlerin l/h oranının 1,0 olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2.17 : Bölme duvar narinliği.

Stafford-Smith ve Carter (1969) tarafından hesaplanan eşdeğer diyagonal çubuğun genişliği l/h oranı 1,5'a eşit veya büyük olanlar denklem (2.14) ve (2.15) ile hesaplanır. l/h oranı 1,0 olan duvarlar için denklem (2.16) kullanılmalıdır. l/h değeri 1,0 ile 1,5 arasında olan duvarlarda lineer enterpolasyon yapılır.

$$a = 0,0835CD \left(1 + \frac{2,574}{\lambda_I H} \right) \quad l/h = 1,5 \quad (2.14)$$

$$C = -0,3905 \left(\frac{l}{h} \right) + 1,7829 \quad (2.15)$$

$$a = 0,1106D \left(1 + \frac{6,027}{\lambda_I H} \right) \quad l/h = 1,0 \quad (2.16)$$

Şekil 2.17'deki diyagramdan da gördüğümüz gibi, Mainstone (1971) l/h oranları 1,0 ile 1,5 olan duvarlarda eşdeğer diyagonal destek çubuğu için çok küçük (a) genişlik değeri hesaplamıştır. Boyut oranları 1,5'tan büyük olan duvarlarda ise Mainstone (1971) ile Stafford-Smith ve Carter (1969)'in hesaplarındaki farklılığın azaldığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak Mainstone (1971) tarafından hesaplanan

denklemlerden elde edilen K_y bilineer başlangıç rijitlik değerinde düzeltme yapılması söz konusudur. Bu düzeltme, iki metot ile yapılabilmektedir.

Birinci metot, mevcut K_y değerinin 3 kat artırılmasına dayanmaktadır. Fakat bu metot l/h oranı 0,67 ve 1,5 arasında olan duvarlarda uygulanacaktır. Bu yaklaşım, yapılan hesaplardaki mevcut dataların kullanımına olanak sağlar ve yeni bir model oluşturulmasına gerek kalmaz. Hesapta kullanılan 3 katsayısı, Mainstone (1971) ile Stafford-Smith ve Carter (1969)'in yöntemleri ile bulunan değerlerin farkına bağlıdır. Bu metodun uygulanması ile ilerleyen adımlarda elde edilen sonuçlar kontrol edilmelidir.

İkinci metot, l/h oranı 0,67'den küçük ve 1,5'den büyük olan bölme duvarlar için kullanılmalıdır. Bu metotta Stafford-Smith ve Carter (1969)'in denklemleri kullanılarak eşdeğer diyagonal çubuk genişliği bulunur. Böylece yeni bir model oluşturulur ve bu modelin başlangıç rijitlik değerleri kullanılır. Her iki metot için de yapılacak hesaplar denklem (2.17) ile gösterilmiştir.

$$K_i = \begin{cases} 3K_y & (0,67 \leq \frac{l}{h} \leq 1,5) \\ K_{SSC} & (\text{herhangi bir } \frac{l}{h}) \end{cases} \quad (2.17)$$

Yüklemeye sonundaki K_f rijitlik değeri de deplasmanları azaltmak amacıyla uygun değerlere yükseltilmelidir. Bilineer yüklemeye-yer değiştirme eğrisindeki gibi, yüklemeye başladıktan sonra kırılma noktasından itibaren tam yüklemeye ulaşıldığı anda deneysel çalışmalardan da elde edilen verilere dayanarak gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek amacıyla K_u değeri 2 kat artırarak K_f değeri elde edilir. K_f değeri denklem (2.18)'de ifade edilmiştir.

$$K_f = 2K_u \quad (2.18)$$

Hesaplanan K_i ve K_f değerlerinin kullanılması ile düzeltilmiş bilineer yüklemeye-yer değiştirme ilişkisinden gerçeğe yakın başlangıç rijitliği (K_i), tam yüklemeye kapasitesi (V_u) ve tam yüklemeye anındaki deplasman (Δ_u) değerleri tahmin edilebilmektedir.

2.7 Bölme Duvarların Düzlem Dışı Davranışı

Bölme duvarların düzlem dışı davranışı, ilk yüklemde duvarın kavisli bir şekilde çerçeve düzlemi dışına doğru gerilmesi ile meydana gelmektedir. Düzlem dışı gerilmenin ardından duvar yüzeyindeki harçların çatlaması ile duvarda kırıklar oluşmaktadır. Duvar dayanımı ile ilgili yapılan değerlendirmelerde, duvardaki boşluklar $(R_1)_o$, olası mevcut hasarlar $(R_2)_o$ ve duvarı çevreleyen çerçeve elemanların elastik davranışı $(R_3)_o$ dikkate alınmalıdır.

2.7.1 Bölme duvarların düzlem dışı dayanım ve rijitliği

Bölme duvarlar, rüzgar, deprem, vb. kaynaklardan oluşan yatay yüklere karşı belli bir dayanıma sahiptir. Bu yatay yüklere karşı dayanım iki mekanizma şeklinde kendini gösterir; duvarda gerilme dayanımı (duvar elemanları kırılana kadar) ve düzlem dışı yaylanma davranışı.

Düzlem dışı yaylanma davranışını değerlendirmeye alabilmek için aşağıdaki kriterlerin sağlanması gerekmektedir.

- Bölme duvar ile duvarı çevreleyen betonarme çerçeve elemanları ile arada boşluk kalmayacak şekilde tam temas sağlanmalıdır.
- Bölme duvarda (h/t) narinlik oranı 25'ten küçük olmalıdır.
- Bölme duvarı çevreleyen elemanların kesit alanları yeterli dayanımı sağlayacak büyüklükte olmalıdır.

Bu kriterlere uyan bölme duvarlarda düzlem dışı yanal dayanımı denklem (2.19)'daki formüle göre hesaplanır. (Bölme duvar düzlem dışı eğilme parametresi (w) ile duvar basınç gerilmesi (f'_m) birimleri aynıdır.)

$$w = \frac{2f'_m \lambda_o}{h/t} (R_1)_o (R_2)_o (R_3)_o \quad (2.19)$$

Narinlik katsayısı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Düzlem dışı narinlik katsayısı.

h/t	λ_o
5	0,129
10	0,060
15	0,034
20	0,021
25	0,013

Denklem (2.19) ile bölme duvarın bir bütün olarak kapasitesi hesaplanır. Açıklık vb. durumlar azaltma katsayıları ile hesaba katılmıştır. Böylece, w değeri duvarın açıklıkları dahil olmak üzere tüm yüzeyine etkililerek yük taşıma kapasitesi hesaplanır.

2.7.2 Bölme duvarların düzlem dışı davranışında boşlukların değerlendirilmesi

Duvardaki boşlukların büyüklüğü ve sayısı, duvarın dayanım ve rijitliğini etkiler. $(R_1)_o$ azaltma katsayısı ile duvarların düzlem dışı davranışında boşluklardan oluşan dayanım kaybı belirlenir. Bu dayanım kaybını hesaplarken denklem (2.20)'den yararlanılır.

$$(R_1)_o = \frac{5}{4} \left(1 - \frac{A_{açıklık}}{A_{duvar}} \right) \quad (2.20)$$

Açıklık alanı tüm duvar alanının %20'sinden az olan duvarlarda düzlem dışı davranış için azaltma katsayısı $(R_1)_o=1$ alınarak açıklıklar ihmal edilebilir.

2.7.3 Bölme duvarların düzlem dışı davranışında hasarların değerlendirilmesi

Mevcut duvar hasarları, yapılan hesaplarda mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu hasarlar için $(R_2)_o$ azaltma katsayısı kullanılacaktır. Duvar hasarına bağlı $(R_2)_o$ azaltma katsayısı için Çizelge 2.3'teki değerler kullanılır. (Ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılır.) $(R_2)_o$ azaltma katsayısı, duvardaki mevcut hasarın yanı sıra duvarın narinliğine de bağlıdır. Hasar olmayan duvarlarda $(R_2)_o$ değeri 1 alınacaktır.

Çizelge 2.3 : Duvar hasarı azaltma katsayısı.

h/t	$(R_2)_o$ için Hasar Seviyesi	
	Orta Hasarlı	Ağır Hasarlı
5	0,997	0,994
10	0,946	0,894
15	0,888	0,789
20	0,829	0,688
25	0,776	0,602

2.7.4 Çerçeve elemanlarının düzlem dışı davranışa etkisi

Duvarda düzlem dışı eğilmenin gerçekleşmesi için çerçeve elemanlarının duvara yeterli sarılmayı sağlaması gerekmektedir. Çerçeve elemanlarının yeterli sargılamayı sağlamadığı durumlarda $(R_3)_o$ azaltma katsayısı kullanılarak bu durum hesaba katılır. Bölme duvarın konumuna bağlı olarak en zayıf elemanların durumu EcI_{kolon} ve $EcI_{kiriş}$ olmak üzere sargılamak için minimum değerler bakımından kontrol edilir.

Bölme duvarı sargılayan çerçeve elemanlarının mekanik ve geometrik özelliklerine dayanarak elastik azaltma katsayısı $(R_3)_o$ denklem (2.21)'e göre hesaplanır.

$$(R_3)_o = 0,4 + 7,1^{-8} E_c I \quad (2.21)$$

Burada;

I : $I_{kiriş}$ veya I_{kolon} atalet momenti değerlerinden küçük olanıdır. [m^4]

Şekil 2.18'de bölme duvarlı ve duvarsız çerçevelerden oluşan bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme göre, her iki tarafında duvar bulunmayan çerçeve elemanlarında $(R_3)_o$ azaltma faktörü hesaba katılacaktır. 1 numaralı duvarın bulunduğu çerçevede, duvarın üzerindeki kiriş ile sağ ve sol kolonlar kontrol edilmelidir. Bu elemanların her iki tarafındaki duvarlarda süreklilik yoktur. 2 numaralı duvarda sadece soldaki kolon kontrol edilecek, diğer elemanların her iki

tarafında duvar sürekliliği devam ettiğinden dolayı kontrole gerek yoktur. Aynı şekilde 3 numaralı duvarın bulunduğu çerçevede sadece üst kiriş kontrol edilecektir. 4 numaralı duvarın bulunduğu çerçevenin elemanlarının her iki tarafında da duvar sürekliliği olduğu için $(R_3)_0$ azaltma katsayısı hesabına gerek olmayıp bu değer 1,0 alınacaktır.

Şekil 2.18 : Bölme duvar dağılımı.

Bölme duvarlı bir çerçeve sistemde, duvarların düzlemi dışına yapılan yüklemenin, o çerçevenin düzlemi içinde göz ardı edilemeyecek düzeyde etkisi vardır. Düzlem dışına doğru yapılan büyük bir yükleme, bölme duvarlı çerçevenin düzlem içi yanal kapasitesini ciddi oranda azaltmaktadır. Düzlem içi kapasitedeki azalma denklem (2.22) vasıtasıyla hesaplanır. Bu formül bölme duvarlı çerçevelerde doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi ile geliştirilmiştir. Eğer, düzlem dışı yükleme, çerçevenin düzlem dışı kapasitesinin %20'sine eşit veya küçük ise azaltma yapılmaz.

3. BÖLME DUVARLARIN YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ BAKIMINDAN YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ

3.1 Genel

Çeşitli ülke yönetmeliklerinin bir kısmı, bölme duvarların yapı davranışına olan etkisini hesaplarda değerlendirmeye almaktadır. Dolgu duvarların etkisinin hesaba katılmadığı durumlarda duvarların dayanım ve rijitliğe herhangi bir katkısı olmadığı varsayılmakta, bu duvarların yol açabileceği problemler de göz ardı edilmektedir.

Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan katkısını hesaba katan yönetmeliklerde, duvarların yapıya kazandıracağı olumlu etkilerden yararlanılarak, olası olumsuz etkilerden de kaçınılmaktadır. Düşük maliyeti, uygulama kolaylığının yanında deprem kuvvetlerine karşı gösterdiği başlangıç rijitliği gibi faktörler iyi bir değerlendirme sonucunda dizayn ve analizlerde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, Hindistan, Nepal, Kolombiya, Mısır, Venezuela, Cezayir, Kosta Rika, İsrail, Eurocode 8, Filipin, Etiyopya, Bulgaristan ve DBYBHY (2007) yönetmeliklerin konu ile ilgili kısımları değerlendirilmiştir.

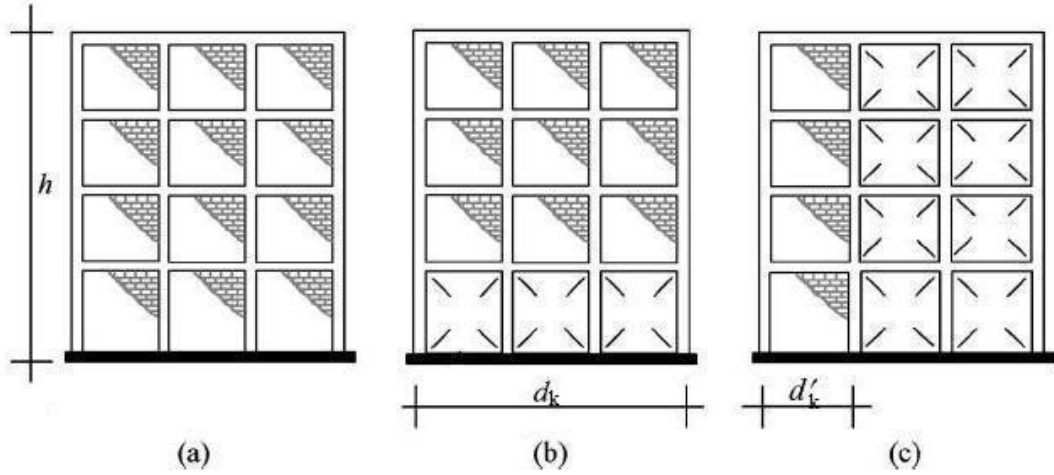
3.2 Doğal Titreşim Periyodu

Doğal titreşim periyodu, yapının kütlesi ve rijitliğine bağlıdır. İzole edilmemiş bölme duvarlı bir yapıda, duvarların varlığından dolayı kütle artışına oranla yapının yatay rijitliğindeki artış daha fazla olacaktır. Rijitliğin artmasıyla yapının yatay yük taşıma kapasitesi de artacaktır. Hemen hemen bütün ulusal yönetmelikler betonarme çerçeve sisteme sahip yapıların doğal titreşim periyodu için ampirik formüller geliştirmiş fakat çok az yönetmelik bölme duvar etkisini hesaba katmıştır. Hindistan IS-1893 (2002), Nepal NBC-105 (1995), Kolombiya NSR-98 (1998), Mısır (1998), Venezuela (1988), Cezayir (1988) yönetmeliklerinin kullandığı doğal titreşim periyodu formülü denklem (3.1)'e göre hesaplanmaktadır.

$$T = \frac{0,09h_y}{\sqrt{d_k}} \quad (3.1)$$

Burada, h_y yapı yüksekliği, d_k hesaplanan periyot doğrultusunda yapının zemine oturduğu kenarının uzunluğudur.

Denklemden yapının zemine oturduğu kenarın tüm uzunluğu hesaba katılmaktadır. Şekil 3.1'deki sistemler incelenecek olursa d_k uzunluğu 3 model için de aynıdır. Şekil 3.1c'deki sistem incelenecek olursa, etkin d_k uzunluğu d'_k olarak değerlendirilebilir. Buradan yola çıkarak denklem (3.1)'deki periyot formülünün Şekil 3.1'deki sistemler için farklı değerler verebileceği söylenebilir.



Şekil 3.1 : Değişik dolgu duvar dağılımına sahip yapılar.

Kosta Rika yönetmeliğine göre dolgu duvarlı çerçeve sistemli yapıların periyot hesabı denklem (3.2)'deki gibidir.

$$T = 0,08N \quad (3.2)$$

Burada, N yapıdaki toplam kat sayısıdır. Bu formülde dolgu duvarın rijitliği de hesaba katılarak %20 azaltma faktörü kullanılmıştır. (Duvarsız çerçeve sistemler için $T=0,1N$ dir.)

İsrail yönetmeliğine göre periyot denklem (3.3)'e göre hesaplanır.

$$T = 0,049h_y^{0,75} \quad (3.3)$$

Ayrıca, İsrail yönetmeliğine göre hesaplanan doğal titreşim periyodu değeri denklem (3.4) ile hesaplanan değerden büyük olmayacaktır.

$$T = 0,068h_y^{0,75} \quad (3.4)$$

Bu koşula bağlı olarak, elde edilen taban kesme kuvveti denklem (3.3)'ten elde edilen periyot değerlerine dayanan hesaplarla elde edilen kesme kuvveti değerinin %80'inden daha küçük olmayacaktır.

Cezayir yönetmeliğine göre doğal titreşim periyodu olarak denklem (3.1) ve (3.5)'den elde edilen değerlerden küçük olanı seçilecektir.

$$T = 0,05h_y^{0,75} \quad (3.5)$$

İncelenen periyot formüllerinden görüldüğü gibi yapıdaki bölme duvarların durumu değerlendirilmemiştir. Şekil 3.1'deki 3 sistemin de periyodu bu denklemler yardımı ile hesaplandığında her biri için aynı değer bulunmaktadır.

Az sayıda yönetmelik periyot hesabında dolgu duvar etkisini değerlendirerek daha gerçekçi sonuçlar elde etmektedir.

Eurocode 8 (2003), 40 m yüksekliğe kadar olan yapılarda denklem (3.6), (3.7), (3.8)'deki periyot hesaplarını önermektedir.

$$T = C_t h_y^{0,75} \quad (3.6)$$

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{A_c}} \quad (3.7)$$

$$A_c = \sum A_i \left(0,2 + \frac{l_i}{h_y} \right)^2 ; \frac{l_i}{h_y} \leq 0,9 \quad (3.8)$$

Eski Kolombiya yönetmeliğine (1984) göre denklem (3.1)'deki periyot hesabı d_k değerinde denklem (3.9)'daki gibi dolgu duvar etkisi dikkate alınarak yapılmaktadır.

$$d_k = d_{s \max} \sum_{s=1}^{N_s} \left(\frac{d_s}{d_{s \max}} \right)^2 \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) ile yapılan hesaplarda yapıdaki dolgu duvar hesaba katılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir. Bu yönetmeliğin son haline (1998) göre C_t değeri 0,07'yi geçmeyecek şekilde denklem (3.10), (3.11), (3.12) 'ye göre doğal titreşim periyodu hesaplanır.

$$T = C_t h_y^{0,75} \quad (3.10)$$

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{A_c}} \quad (3.11)$$

$$A_c = \sum A_i \left(0,02 + \left(\frac{l_i}{h_y} \right)^2 \right); \frac{l_i}{h_y} \leq 0,9 \quad (3.12)$$

Filipin yönetmeliğine göre periyot hesabı için denklem (3.13), (3.14) ve (3.15)'den yararlanılır.

$$T = C_t h_y^{0,75} \quad (3.13)$$

$$C_t = \frac{0,03048}{\sqrt{A_c}} \quad (3.14)$$

$$A_c = \sum A_i \left(0,2 + \left(\frac{l_i}{h_y} \right)^2 \right); \frac{l_i}{h_y} \leq 0,9 \quad (3.15)$$

Dolgu duvar etkisini göz önünde bulunduran denklemlerde gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için l/h oranı maksimum 0,9 olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Eurocode 8 ve Filipin yönetmeliğindeki periyot hesaplarında C_t değeri için bir üst limit söz konusu değildir. İlk kat duvar alanının (A_c) sıfır olduğu durumlarda gerçeğe uygun olmayacak şekilde yüksek C_t katsayısı elde edilmektedir (Kaushik ve diğerleri 2006).

Yapının ilk katındaki dolgu duvar miktarı periyodu ciddi şekilde etkilemektedir. Üst katlara çıkıldıkça, dolgu duvarların yapının kütlesine sağladığı artış da değerlendirildiğinde rijitliğe olan katkısı azalmaktadır (Kaushik ve diğerleri 2006). Eurocode 8, Kolombiya ve Filipin yönetmeliklerine göre periyot hesaplarında birinci kattaki dolgu duvarların yapıya olan etkisi hesaba katılmıştır. Bu hesap, diğer ampirik formüllerle kıyaslandığı zaman daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Dolgu duvarların yapının davranışına etkisinin dikkate alınmadığı dinamik hesaplarla elde edilen periyot değerleriyle duvar etkisini barındıran ampirik formüller kıyaslandığında, yapının durumuna ve dolgu duvarların dağılımına göre ampirik formüllerle daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Dolgu duvar etkisi dikkate alınmadan yapılan hesaplamalarda büyük periyot değerleri ve olması gerekenden daha küçük deprem yükleri bulunabilmektedir. Bu durumu dikkate alan çoğu yönetmelik Rayleigh metodu ile yapılan hesaplarda bir üst limit koymaktadır.

3.3 Çerçeve İle Bölme Duvar Arasında Yük Dağılımı

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde deprem yükleri belli oranda dolgu duvar tarafından karşılanır. Dolgu duvarlar başlangıç anında oldukça rijit olmalarına rağmen dayanımları fazla olmadığı için deprem yüklerinin ilk birkaç çevriminden sonra taşıma güçlerini yitirerek etkilerini kaybederler.

Eurocode 8'e göre taşıyıcı bölme duvara sahip sistemlerde betonarme çerçeveler, düşey yüklerin tamamını, yatay yüklerin de en az %50-65'ini karşılamalıdır. Kolombiya, Mısır ve Etiyopya yönetmeliklerine göre dolgu duvarlar deprem yüklerinin tamamını karşılayacak şekilde tasarlanmalı, bir taşıyıcı sistem elemanı olarak değerlendirilmektedir. Buna göre dolgu duvarlar kendisini çevreleyen betonarme çerçeveye tam temas edecek şekilde imal edilmelidir. Cezayir yönetmeliğine göre dolgu duvarlar düşey yüklerin en fazla %20'sini taşıyacak şekilde dizayn edilebilir. Bu hususların değerlendirildiği sistemlerde dolgu duvarlar, taşıyıcı eleman olarak değerlendirilmekte ve beklenen dayanımı sağlayacak şekilde imal edilmektedir.

3.4 Planda Düzensizlikler

Dolgu duvardaki asimetrik yerleşim, planda rijitlik dağılımında düzensizlik oluşturur. Dolayısıyla yatay yükler altında çerçeve elemanlarında, özellikle kolonlarda öngörülen değerlerin üzerinde kesme kuvvetleri meydana gelir. Yönetmeliklerin çoğu kat burulmasını ele almasına rağmen yalnızca birkaçı bu konuyu dolgu duvarların etkisini göz önüne alarak değerlendirmiştir.

Eurocode 8'e göre asimetrik dolgu duvar dağılımı olan yapılarda plandaki rijitlik dağılımını esas alarak her kat için en az 3 modu içerecek şekilde analiz yapılmalıdır. Ayrıca güvenli bir tasarım açısından belirli bir ek dışmerkezlilik etkisi (0,05) hesaba katılmalıdır.

Nepal yönetmeliğine göre rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında bina uzunluğunun %10'u kadar bir mesafede dışmerkezliğe izin verilmektedir. Yönetmeliğe göre bu koşulun sağlanması için dolgu duvarların dağılımı ve duvar kalınlıkları uygun bir şekilde dizayn edilmelidir.

Kosta Rika yönetmeliğine göre dışmerkezlik mesafesi yapı uzunluğunun %5'ini geçmeyecek şekilde uygun rijitlik dağılımı yapılmalıdır. Planda çıkıntılı yapılarda bu değer bina uzunluğunun %30'una kadar artabilmektedir.

İsrail yönetmeliğine göre dışmerkezlik yapı uzunluğunun maksimum %10'u kadar olmakla beraber, bu koşul sağlanmadığı takdirde dolgu duvarların rijitlikleri de değerlendirilerek yeniden hesap yapılabilir.

3.5 Düşey Düzensizlikler

Mimari gereksinimlerden dolayı katlar arasında dolgu duvarlarda süreksizlik ve düzensiz dağılımlar olabilmektedir. Bu durum yapının yüksekliği boyunca kütle ve rijitlik dağılımında farklılık göstermesine sebep olur. Özellikle alt katlarında dolgu duvar olmayan yapılarda yumuşak kat oluşumundan dolayı beklenilenin üzerinde hasarlar meydana gelmektedir. Az sayıda yönetmelik dolgu duvar etkisinden dolayı meydana gelen düşey düzensizlikleri dikkate alarak bu katlarda yapı elemanlarının yüksek kesit zorları altında boyutlandırılması zorunluluğunu getirmektedir.

Türkiye’de, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), betonarme binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanın düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin 0,80'den küçük olması durumunu komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) olarak tanımlamıştır.

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0,80 \quad (3.16)$$

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k \quad (3.17)$$

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'e göre komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) olan binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarlar göz önüne alınmayacaktır. $0,60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0,80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1,25(\eta_{ci})_{\min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0,60$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

Ayrıca, DBYBHY (2007)'e göre komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği olması durumunda görelî kat ötelemelerine bağılı *Yumuşak Kat* düzensizliği tanımlanmaktadır. Yönetmeliğe göre, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin 2,0'den fazla olması durumu olarak tanımlanmıştır. η_{ki} değeri, denklem (3.18) veya (3.19)'a göre hesaplanmaktadır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/H_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/H_{i+1})_{ort} > 2,0 \quad (3.18)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/H_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/H_{i-1})_{ort} > 2,0 \quad (3.19)$$

Hindistan yönetmeliğine göre yumuşak kat oluşumunun meydana geldiği katlarda kesit zorları 2,5 kat artırılarak yapı elemanları boyutlandırılmaktadır. Bu katsayı düzensizliğin meydana geldiği her tür yapı için geçerlidir. Diğer bir yöntem de kata etkiyen kuvvetleri 1,5 kat artırarak simetrik betonarme perdeler yerleştirmektir. Bu şekilde, yapı elemanları dolgu duvarlar hesaba katılmaksızın hesaplanan kesit zorlarına göre dizayn edilebilir.

Eurocode 8 (2003), dolgu duvarların diğer katlara göre az olduğu katlarda kolonların kapasitelerinin artırılmasını tavsiye etmektedir. Eski yönetmeliğe (1996) göre yumuşak katlarda kiriş ve kolonlara etkiyen kesit zorlarının artırılması koşulu bulunmaktaydı. Yapılan çalışmalara göre (Fardis ve Paragiotakos 1997), kiriş kapasitesindeki artış kolonlara etkiyen deprem kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumun önlenmesi amacıyla denklem (3.20)'ye göre η katsayısı ile sadece kolonlara etkiyen kesit zorları artırılmaktadır.

$$\eta = 1 + \frac{\Delta V_{RW}}{\sum V_{Ed}} \leq q \quad (3.20)$$

Burada, ΔV_{RW} diğer katlara göre dolgu duvarların az olmasından dolayı yatay dayanım kapasitesindeki azalma, $\sum V_{Ed}$ ilgili kat için tüm düşey yapı elemanlarının kesme dayanımları toplamıdır. q , yapının durumuna göre 1,5 ile 4,68 arasında değişen enerji yutma kapasitesine bağılı bir katsayıdır.

Eurocode 8'e göre η katsayısı 4,68'den büyük olamaz. Hindistan yönetmeliğindeki benzer katsayı en büyük 2,5 olmakla beraber bu katsayı, kolon ve kirişlerde

uygulanmaktadır. Eurocode 8'e göre yük artırma katsayısı sadece kolonlarda uygulanmaktadır.

Bulgaristan yönetmeliğine göre, komşu katlar arasında rijitlik oranı %50'den az ise yumuşak kat oluşumu meydana gelmektedir. Düzensizliğin meydana geldiği kat elemanlarının tasarım yükünün artırılması önerilmiştir. Yumuşak kattaki taşıyıcı sistem elemanlarının üç misli daha fazla yatay yük taşıyacak kapasiteye sahip olması istenmektedir.

Kosta Rika yönetmeliğine göre taşıyıcı elemanlar bina yüksekliği boyunca sürekliliğini devam ettirmeli ve katlar arasında %50'den fazla rijitlik farkı olmamalıdır. Ayrıca, çatı katları ve yüksek yapıların yapı yüksekliğinin %20'sine kadar olan katlar haricinde art arda gelen katlar arasındaki kütle farkı %15'i geçmeyecek şekilde düzenlenmelidir.

İsrail yönetmeliği, yanal rijitliği bir sonraki kata göre %70 daha az olan veya sonraki 3 katın rijitliklerinin ortalamasının %80'inden az olan ve aralarında aynı doğrultudaki duvar uzunluğunda (kalınlığı 150 mm'den büyük duvarlar için) %50 fark olan katları yumuşak kat olarak tanımlamaktadır. Aynı doğrultudaki kesme dayanımı bir sonraki katın %80'inden az olan katları da zayıf kat olarak tanımlamıştır.

Yönetmeliğe göre önem katsayısı düşük, süneklik düzeyi orta ve düşük sınıftaki yapılarda zayıf ve yumuşak kat oluşumuna belli katsayılar kullanılması suretiyle izin verilmektedir. Zayıf ve yumuşak katlar ile bu katlara komşu katlarda kesit zorları, R katsayısı 0,6 ile çarpılarak artırılır. Ayrıca yönetmeliğe göre bu katlardaki kolonlarda kolon boyunca etriye sıklaştırması yapılmalı ve normalden %30 daha uzun filizler bırakılmalıdır.

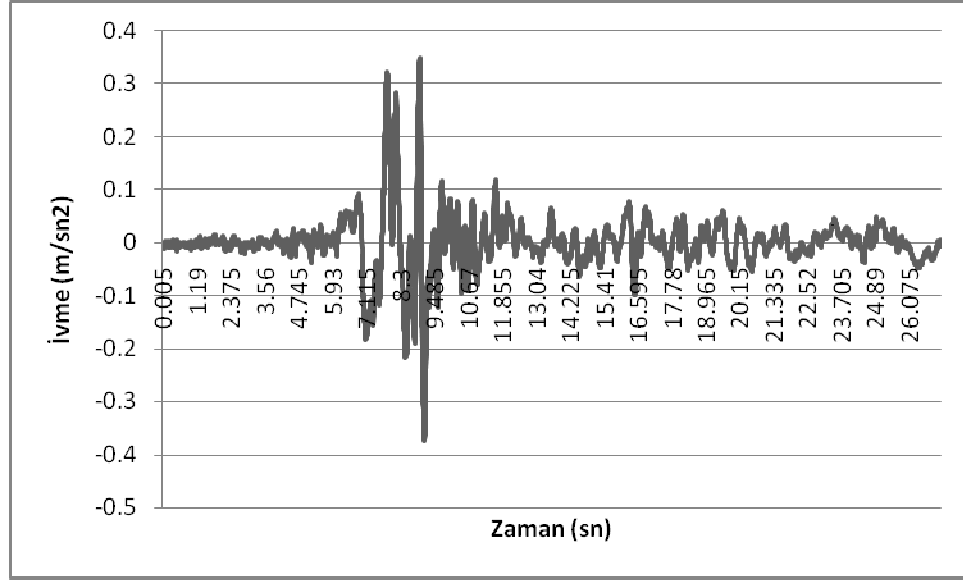
Nepal yönetmeliğine göre, taşıyıcı duvarların kullanıldığı sistemlerde yapının her iki doğrultusunda kesme kuvvetlerini karşılayacak şekilde en az 2 duvar yapılmalıdır. Bu duvarların en az %20'si her iki doğrultuda planda kenar bölgelerde olmalıdır. Ayrıca yönetmeliğe göre dolgu duvarların kat bazında kütleleri toplamının toplam duvar kalınlığına oranı bir sonraki katın oranının %125'ini geçmeyecektir. Bu koşullar doğrultusunda yapılarda dolgu duvarlardan kaynaklanan düşey düzensizlikler kontrol edilecektir.

4. BÖLME DUVAR DAVRANIŞININ MODELLENMESİ VE SAYISAL İNCELEMELER

4.1 Genel

Betonarme binalarda çerçeve içinde bulunan bölme duvarların kapasiteye katkılarının göz önüne alınması, binalarda mevcut olan ek yatay yük kapasitesinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Ayrıca, bölme duvarların yatay yük kapasitesine olan katkılarının belirlenmesi, çerçeve türünden binalara bölme duvar eklenmesiyle veya mevcut bölme duvarların taşıyıcılığının artırılması ile yapılacak güçlendirme işlemi de faydalı olacaktır. Bu tür güçlendirme uygulaması, ekonomik olması ve kolay uygulanabilir olması bakımından tercih edilebilir.

Yapıya etkiyen yatay yükün karşılanmasında, çerçeve türünden betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir binanın mevcut bölme duvarlarının veya eklenen bölme duvarlarının katkısı ve genel taşıyıcı sistem davranışına olan etkisinin incelenmesi önemlidir. Sunulan bu çalışmada, betonarme çerçeve sistemli bir binada içinde bulunan bölme duvarlarının binanın yatay yük davranışına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, altı katlı bir taşıyıcı sistem seçilmiştir. Altı ve daha az katlı binalar yurdumuzdaki binaların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Binada deprem etkisi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile deprem ivmeleri modele etkililerek hesaba katılmış, binada bölme duvarların plandaki düzeni ve model tekniğinin sistemin periyoduna, davranışına ve yatay yükün karşılanmasına olan etkisi incelenmiş ve uygulamaya dönük sonuçların elde edilmesine çalışılmıştır. Yapılan analizde Şekil 4.1’de gösterilen 12 Kasım 1999 Düzce depremi doğu-batı yönündeki kayıt değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.1 : İvme kayıt değerleri.

4.1.1 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

DBYBHY 2007'ye göre, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modelinin kullanılması öngörülmüştür. Basit eğilme durumunda plastik mafsallara karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda plastik mafsalları boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h_k)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h_k$).

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir.

Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin (etkileşim diyagramlarının) tanımlanmasında beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları esas alınacak, betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0,003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0,01 alınabilir.

Betonarme kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenenebilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

Kirişlerde: $0,40 (EI)_o$

Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0,10$ olması durumunda: $0,40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0,40$ olması durumunda: $0,80 (EI)_o$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan eksenel basınç kuvveti N_D , düşey yükler altında hesaplanacaktır. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

4.1.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

4.1.3 Birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

Zaman tanım alanında yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, denklem (4.1)'deki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (4.1)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, denklem (4.2) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (4.2)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, denklem (4.2) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Sargılı veya sargısız beton ve donatı çeliği, DBYBHY (2007) Bilgilendirme Eki 7B'ye göre modellenmiştir.

4.1.4 Betonarme elemanların birim şekil değiştirme kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden denklem (4.2)'ye göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir.

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

Kesit *Minimum Hasar Sınırı (MN)* için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0,010 \quad (4.3)$$

Kesit *Güvenlik Sınırı (GV)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

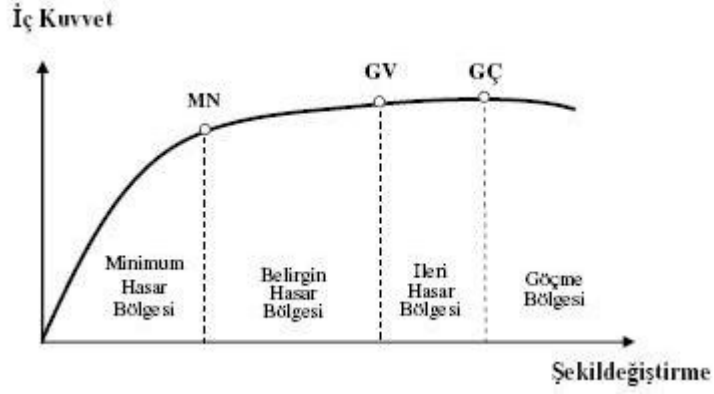
$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0,0035 + 0,01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0,040 \quad (4.4)$$

Kesit *Göçme Sınırı (GÇ)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GÇ} = 0,004 + 0,014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0,060 \quad (4.5)$$

4.1.5 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitleri MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde kabul edilecektir (Şekil 4.2).



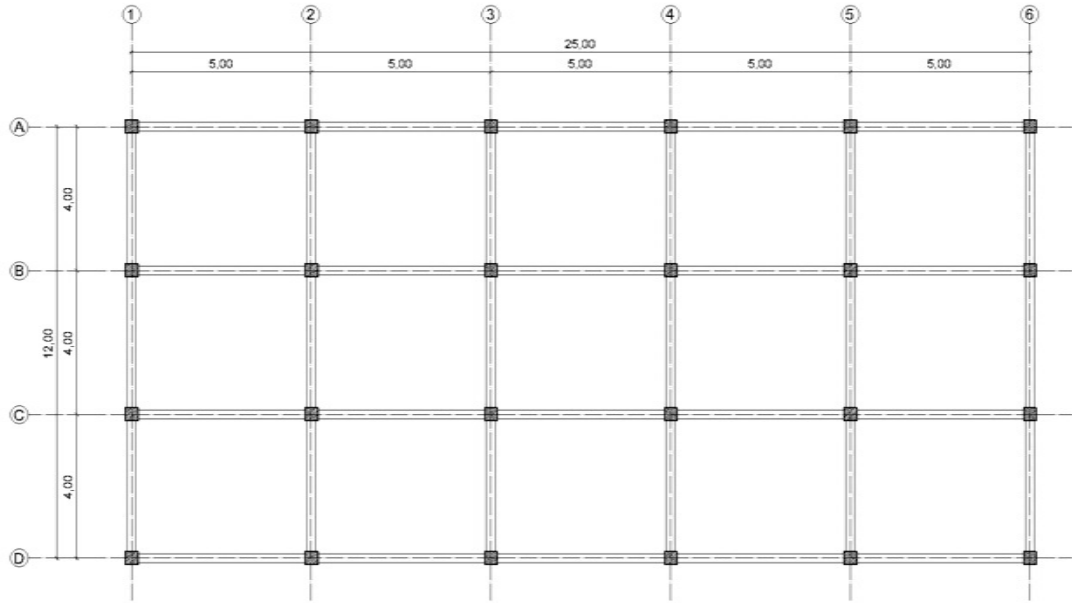
Şekil 4.2 : Kesit hasar sınıfları.

4.2 Betonarme Çerçeve Sistemli Bir Yapıda Bölme Duvar Etkisinin İncelenmesi

4.2.1 Taşıyıcı sistem özellikleri

Taşıyıcı sistemin plandaki ve kesitteki durumu, binanın deprem yükleri altındaki davranışını doğrudan etkiler. Karmaşık plan veya düşey kesite sahip binalarda, yüksek modların etkisi ve burulma modları öne çıkarak taşıyıcı sistem davranışını belirler ve daha karmaşık duruma getirir. Ancak, sunulan örnekte çerçeve ve bölme duvarların etkisi öne çıkarılmak istendiği için, planda simetrik düşey kesitte değişiklik göstermeyen bir taşıyıcı sistem ve duvar düzeni seçilmiştir. Seçilen bina altı katlı olup, Şekil 4.3'te verilen planda kolon ve kiriş düzeni gösterilmiştir. Binanın taşıyıcı sistemi bir doğrultuda üç ve diğer doğrultuda beş açıklıklı olup, her iki doğrultuda simetriktir. Kirişlerin bütün katlarda 0,25m/0,60m olduğu ve kolonların kenarı 0,45m olan kare kesitinde olduğu kabul edilmiştir. Kat yükseklikleri sabit ve 3,0m'dir. Malzeme sınıfı C16/S220, döşeme kalınlığı 0,12m ve kolonlarda % 1, kirişlerde % 0,5 civarında donatı kabul edilmiştir. Binada bütün katlarda aynı olmak üzere üç tür bölme duvar düzeni kabul edilmiştir. Bunlar Model 2, Model 3 ve Model 4 olmak üzere Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bölme duvarlar da planda simetrik olarak bulunmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistem elemanları kiriş ve kolonlar çubuk elemanlar olarak modellenmiştir. Bölme duvarlar eşdeğer çapraz çubuk eleman olarak idealleştirilip modeller oluşturulmuştur. Bölme duvarların eşdeğer çapraz çubuklarla modellendiği sistem ile panel eleman olarak modellendiği durumlarda birbirine %5 yakınlıkta değerler elde edilmiştir. Binanın birinci deprem bölgesinde

bulunduğu ve kullanım amacının konut olduğu kabul edilmiştir. Binanın uzun (x) doğrultusunda yapılan sayısal çözümlerde SAP2000 programı kullanılmıştır.

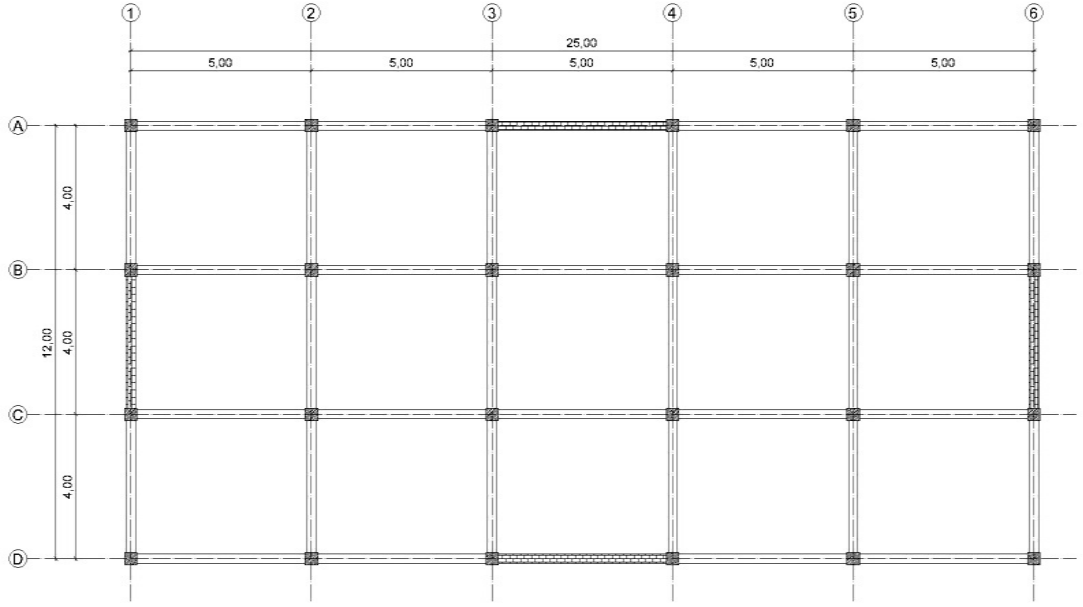


Şekil 4.3 : Model 1 planı, bölme duvar bulunmamaktadır.

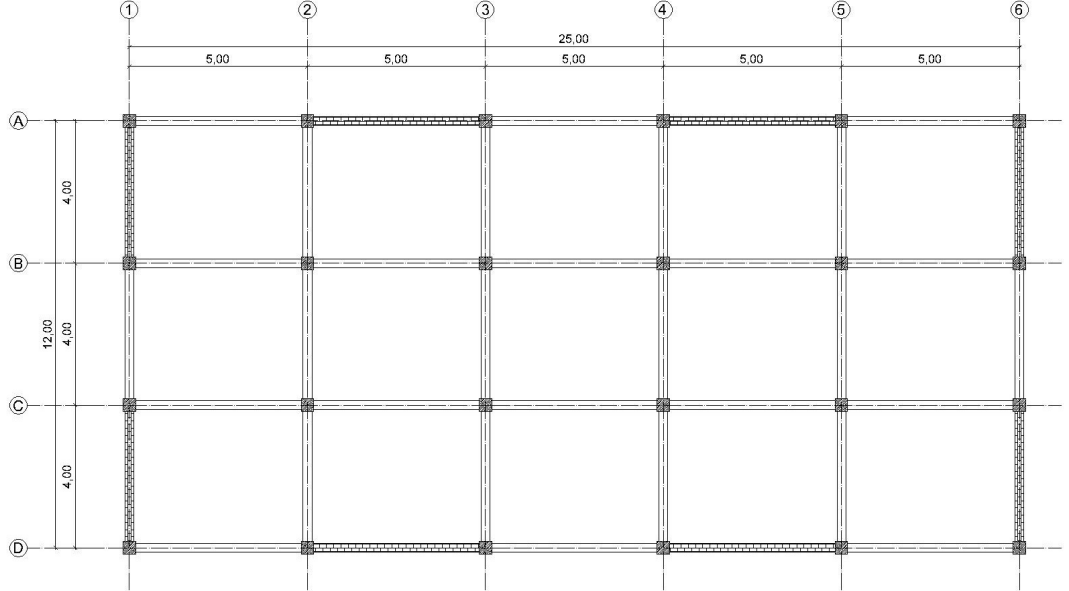
Binadaki bölme duvarların tamamının 0,20m kalınlıkta olduğu kabul edilmiştir. Seçilen duvar düzenlerinde x ve y katlardaki duvar alanının toplam kolon alanına oranı Çizelge 4.1’de verilmiştir. Sayısal sonuçlar binada bulunan bölme duvar alanına bağlı olarak değerlendirilmiştir

Çizelge 4.1 : Zemin kattaki etkili duvar alanının kolon alanına oranı.

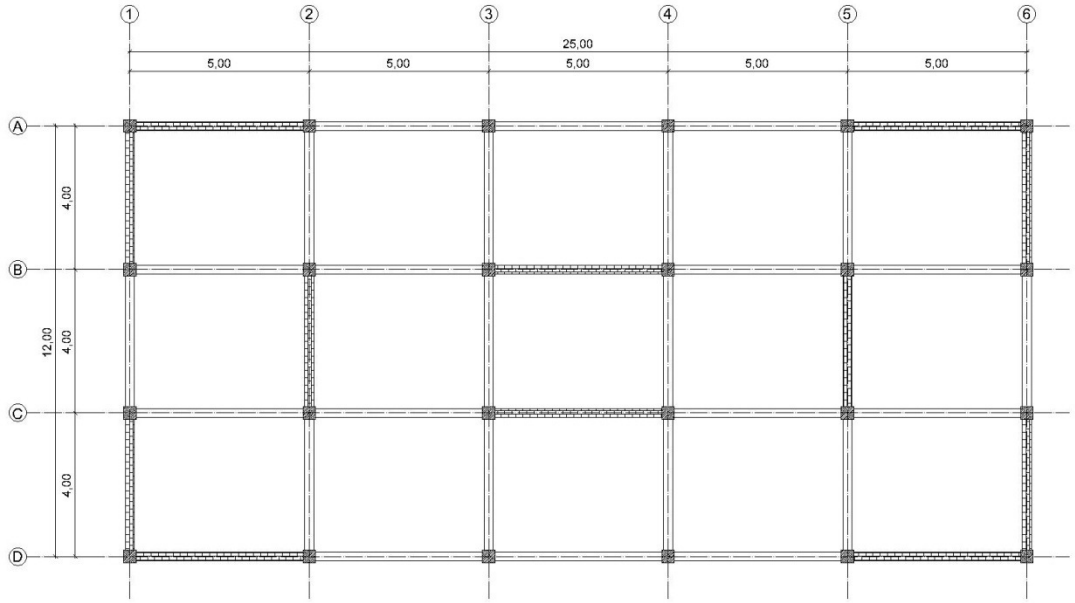
	x doğrultusunda $\Sigma A_{\text{duvar}} / \Sigma A_{\text{kolon}}$	y doğrultusunda $\Sigma A_{\text{duvar}} / \Sigma A_{\text{kolon}}$
Model 1	0,00	0,00
Model 2	0,37	0,29
Model 3	0,74	0,58
Model 4	1,12	0,87



Şekil 4.4 : Model 2 planı, dış çevre duvarlar.

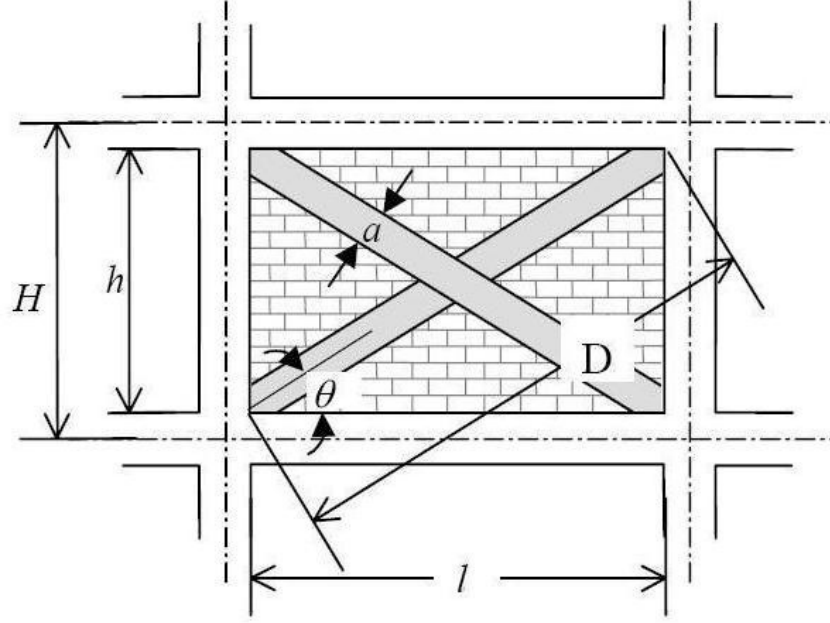


Şekil 4.5 : Model 3 planı.



Şekil 4.6 : Model 4 planı, iç duvarların bir kısmı dolu.

Bölme duvarların davranışına ve yatay yük taşıma kapasitesine, duvar malzemesi yanında, harç malzemesinin özellikleri ve işçilik çok etkili olur. Bunun yanında duvarlardaki boşluklar ve bulunduğu çerçeve gözünü tam doldurması ile komşu kolon ve kirişlerle olan bağlantısı da önemlidir. Yapılan çalışmalarda duvar ve çerçeve etkileşimi esas alınmıştır. Böyle bir çözümlemede bölme duvarların etkili parametresi duvar kalınlığı ve elastisite modülüdür. Uygulamada bölme duvarların oldukça değişken özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı duvar elastisite modülü için genel kabul edilebilecek sayısal değerler bulmak zordur. Sayısal çözümde duvar elastisite modülü olarak DBYBHY (2007) 'e göre $E_{\text{duvar}} = 1000 \text{ MPa}$ seçilmiştir. Bölme duvarın eşdeğer çapraz çubuklarla modellenmesine ilişkin çubuk yerleşimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Eşdeğer diyagonal çubuğun yerleşimi.

4.2.2 Eşdeğer çapraz çubuk genişliğinin hesabı

Sistemin uzun (x) ve kısa (y) doğrultusundaki duvarlar, duvar uzunlukları farklı olduğu için iki farklı eşdeğer diyagonal çubuk eleman modellenenecektir. Bölme duvarları temsil eden eşdeğer diyagonal çubuk hesabı için denklem (2.1) ve denklem (2.2)'den yararlanılır (FEMA 273).

X doğrultusu için hesap;

$$\lambda_1 H = H \left[\frac{E_m t \sin 2\theta}{4 E_c I_{col} h} \right]^{1/4} \quad (2.1)$$

$$a = 0,175 D (\lambda_1 H)^{-0,4} \quad (2.2)$$

$$E_{duvar} = 1000 \text{ MPa};$$

$$E_c = 27000 \text{ MPa};$$

$$H = 3,00 \text{ m};$$

$$D = 5,18 \text{ m};$$

$$t_{duvar} = 0,20 \text{ m};$$

$$\theta = 0,48 \text{ rad.}$$

$$I_{kolon} = 0,00342 \text{ m}^4$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{1000000 * 0,20 * \sin 0,96}{4 * 27000000 * 0,00342 * 2,4} \right]^{1/4}$$

$$\lambda_1 = 0,656$$

$$a = 0,175 * 5,18 * (0,656 * 3,00)^{-0,4}$$

$$a = 0,70\text{m}$$

Y doğrultusu için hesap;

$$E_{duvar} = 1000 \text{ MPa};$$

$$E_c = 27000 \text{ MPa};$$

$$H = 3,00\text{m};$$

$$D = 4,32\text{m};$$

$$t_{duvar} = 0,20\text{m};$$

$$\theta = 0,59 \text{ rad.}$$

$$I_{kolon} = 0,00342\text{m}^4$$

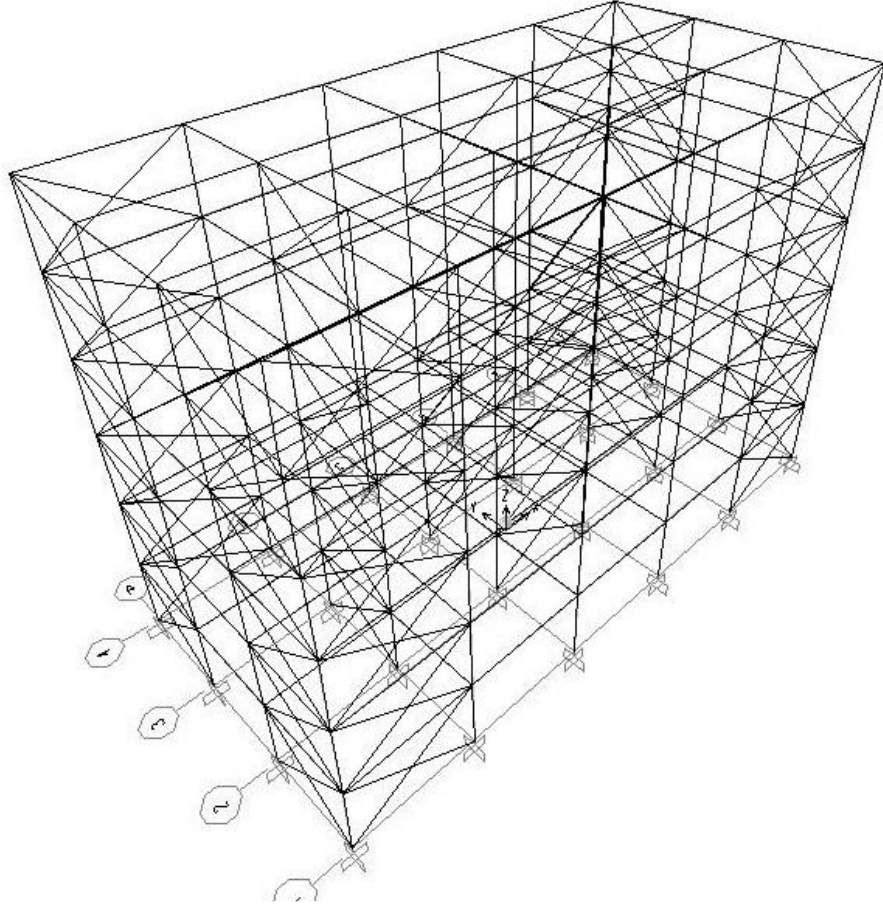
$$\lambda_1 = \left[\frac{1000000 * 0,2 * \sin 1,18}{4 * 27000000 * 0,00342 * 2,4} \right]^{1/4}$$

$$\lambda_1 = 0,676$$

$$a = 0,175 * 4,32 * (0,676 * 3,00)^{-0,4}$$

$$a = 0,57\text{m}$$

Her bir sistem için bölme duvarlar eşdeğer çapraz çubuklarla (Şekil 4.8) idealleştirilerek modele aktarılmıştır. Eşdeğer çapraz çubuklar, depremin tersinir etkisinden dolayı sadece basınç yüklerini karşılayacak şekilde her iki yönde modellenmiştir. Gevrek davranış gösteren bölme duvarların başlangıç anından sonra göçmesi ile devreden çıkması için elemanların ortasına eksenel yüklere çalışacak şekilde plastik mafsallar tanımlanmıştır. Bu mafsallar bölme duvar dayanımının aşılması halinde eşdeğer çapraz çubuğun devreden çıkmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.8 : Eşdeğer çapraz çubuklarla SAP2000’de oluşturulan model.

4.2.3 Sistemin modellenmesi

Sistemin hesaba esas olan matematik modeli için bilgisayar ortamında SAP 2000 programından ve kesit analizlerinde XTRACT programından yararlanılmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistem özellikleri programda tanımlanarak taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele eşdeğer çapraz çubuklarla idealleştirilen bölme duvarlar eklenmiştir. Bu işlem yapılırken duvar özelliklerine göre ilgili parametreler girilerek duvar malzemesi programa tanımlanmıştır. 4.2.2’de hesaplanan çubuk genişliğine göre kesitler tanımlanmıştır. İlgili malzeme ve kesit özelliklerine göre belirlenen eşdeğer çapraz çubuklar betonarme çerçevede bölme duvar olması gereken yerlere iki ucu mafsallı olacak şekilde modellenmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizde depremin tersinir etkisi de olacağından her iki yön için çerçeve içine iki adet eşdeğer çapraz çubuk modellenmiştir. Betonarme çerçeve içindeki bölme duvarlar basınç kuvvetleri altında dayanım sağlamaktadır. Çerçeve içinde modellediğimiz eşdeğer çapraz çubuklardan sadece ilgili yönde olanın yatay

yükü karşılaması beklenmektedir. Bu koşulun sağlanması için modellenen eşdeğer çapraz çubuklarda çekme kuvvetine karşı limit koyularak sadece basınç kuvvetleri etkisi altında çalışmaları sağlanmıştır.

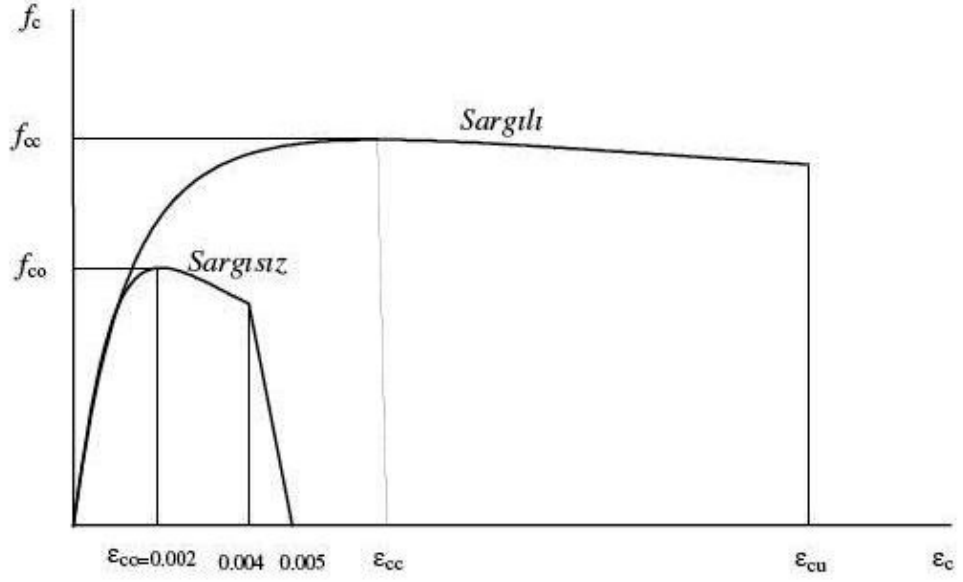
Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için taşıyıcı sistem elemanlarına plastik mafsallar tanımlanmıştır. Bu plastik mafsallar kirişlerde eğilme etkisinde, kolonlarda eksenel kuvvet ve eğilme etkisinde olacak şekilde tanımlanarak ilgili elemanların uç noktalarına gerekli mesafelerde atanmıştır. Bölme duvarlar, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarından farklı davranış göstermektedir. Yüksek başlangıç rijitliğine karşın düşük dayanım özelliklerine sahip olması deprem hareketinin birkaç çevriminden sonra göçme meydana gelerek devreden çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca gevrek kırılğan bir yapıya sahip olması, sünek davranış sergileyen betonarme elemanlarındaki farklı bir plastik mafsalları gerektirmektedir. Bölme duvarların idealleştirildiği eşdeğer çapraz çubukların ortasında eksenel kuvvet etkisi altında kırılğan yapıya sahip yük kontrollü plastik mafsallar oluşturulmuştur. Bu mafsallar, her bir bölme duvarın dayanım kapasitesi önceden hesaplanarak, hesaplanan değerden itibaren devreden çıkarak yük taşıma kapasitesini yitirecek şekilde modellenmiştir.

Matematik modeli oluşturulan sistem için analiz özellikleri programda tanımlanmıştır. Uygun yük kombinasyonlarına sahip, doğrusal olmayan düşey yük analizi tanımlanmıştır. Bu düşey yükleme durumu başlangıç koşulu olacak şekilde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz özellikleri sisteme girilmiştir. Bu analiz özellikleri girilirken 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nin Doğu-Batı doğrultusundaki ivme kayıt değerleri programa okutulmuştur.

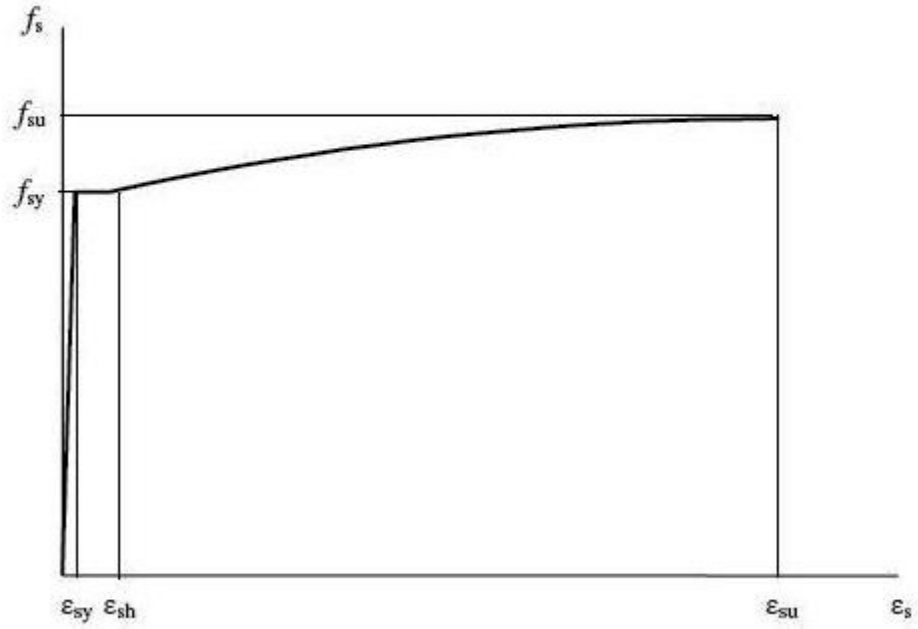
Sistemin modeli ve analiz özelliklerinin tanımlanması ile analiz işlemi yapılmıştır.

Yapılan analiz sonucunda elde edilen hesap çıkış verileri değerlendirilerek, düşey taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumu tespit edilmiştir. Kolonlar için yapılan hesaplarda plastik mafsalların dönme değerlerinden ϕ_p plastik eğrilik istemleri belirlenmiştir. Bu aşamada kolon kesitleri "Xtract" kesit analiz programında modellenmiştir. DBYBHY (2007)'ye göre seçilen beton modeli (Şekil 4.9) ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli (Şekil 4.10) kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-

eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir.

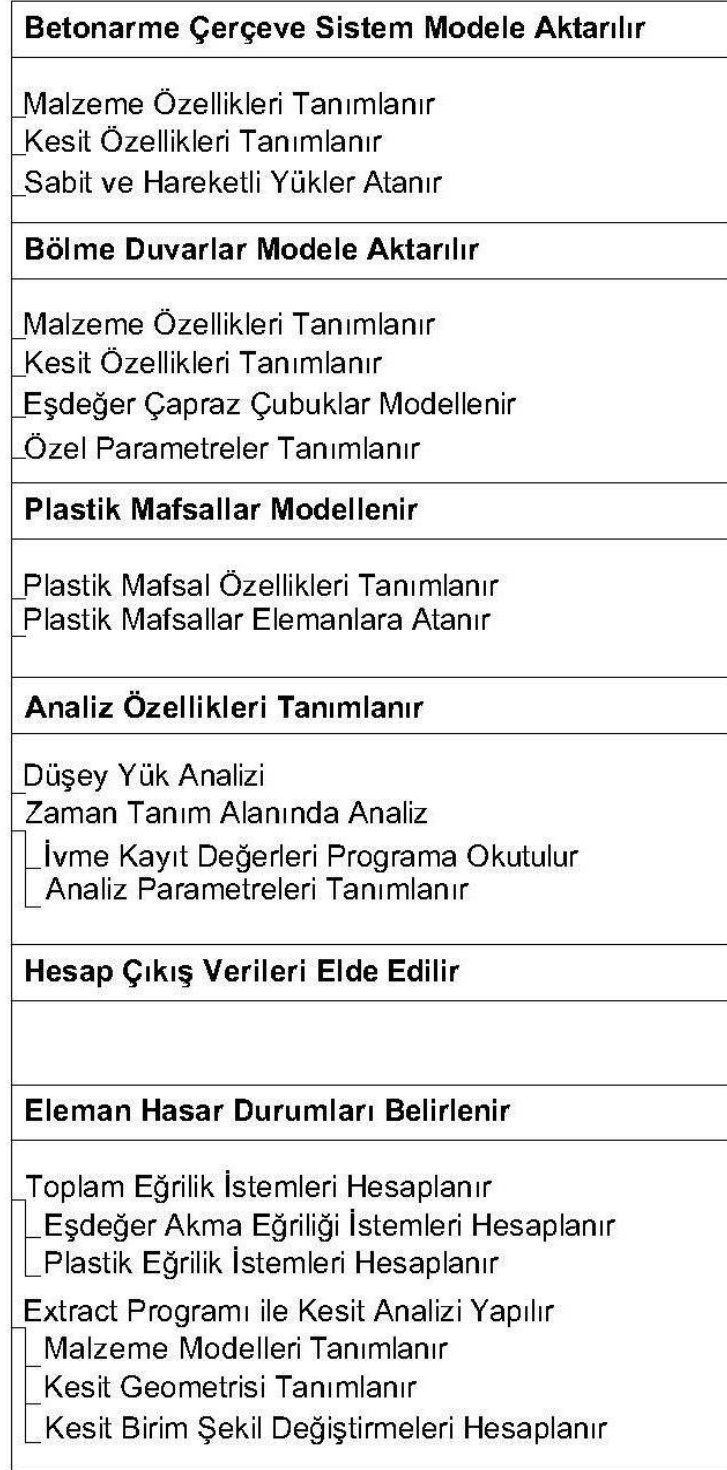


Şekil 4.9 : Sargılı ve sargısız beton modelleri.



Şekil 4.10 : Donatı çeliği modeli.

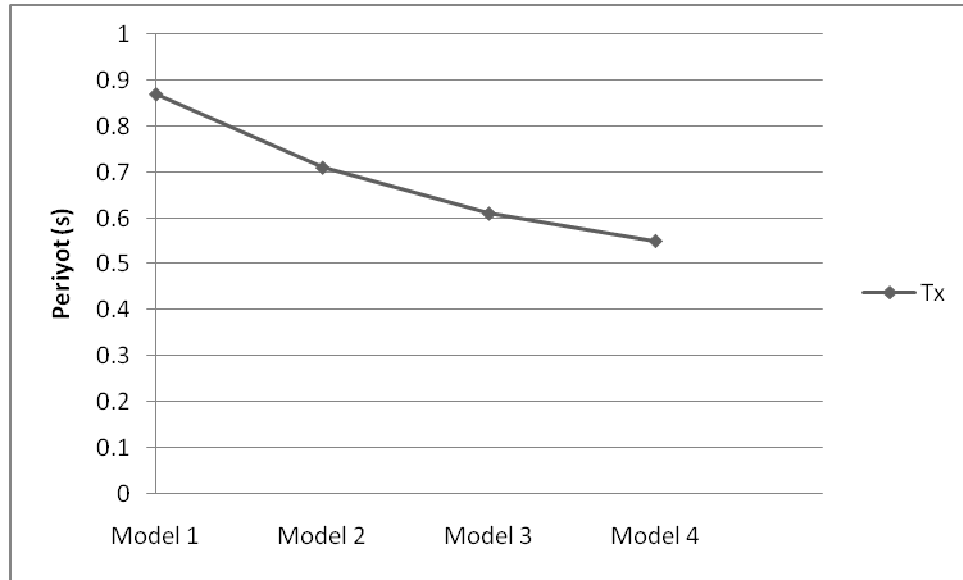
Elde edilen ϕ_t toplam eğrilik istemine göre kesit birim şekil değiştirmeleri hesaplanır. Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi, etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırlarına göre eleman hasar durumu belirlenmiştir. Şekil 4.11’de hesap akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Hesap akış şeması.

4.2.4 Sayısal sonuçlar

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemden oluşan modellerde yapının yalın hali ve bölme duvarlı hallerinde binanın uzun doğrultusundaki doğal titreşim periyodunun değişimi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Bu diyagram, betonarme çerçeve sistemlerde bulunan bölme duvarların binanın periyoduna, dolayısıyla rijitliğine önemli ölçüde etkisi bulunduğuna işaret etmektedir.



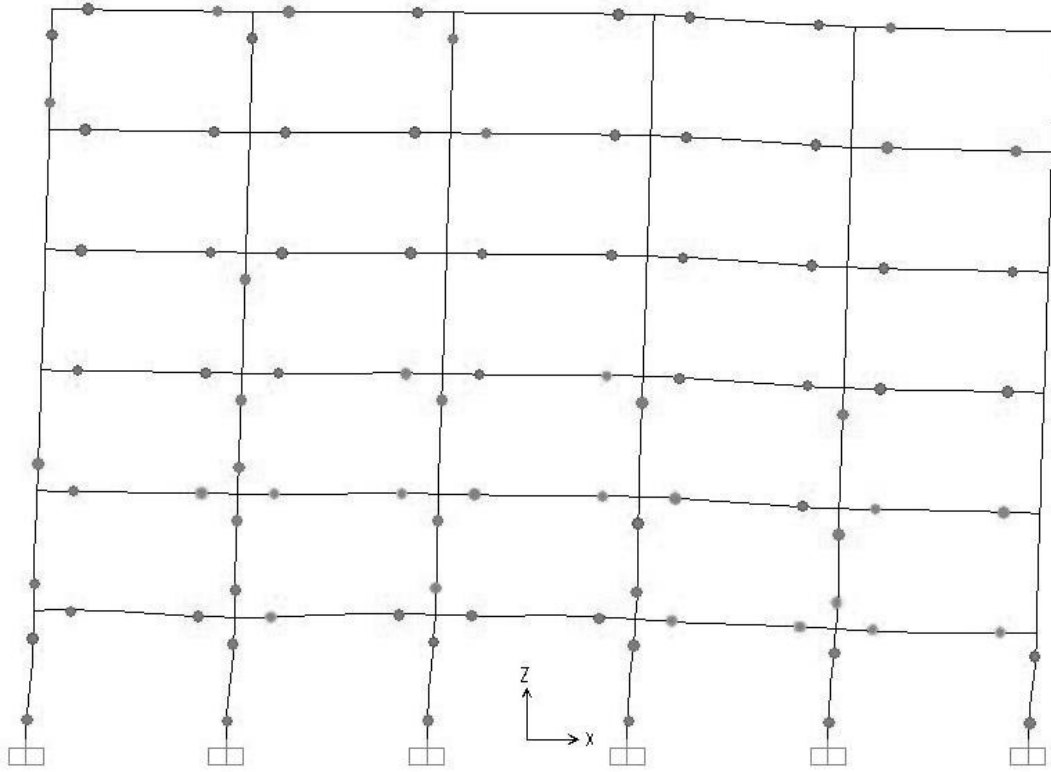
Şekil 4.12 : Bölme duvar alanı ile yapının hakim periyodunun değişimi.

Sisteme bölme duvarların eklenmesiyle yapının yanal rijitliği artarak periyot değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Değişik bölme duvar alanına sahip modellerde hakim periyot değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Küçük etkili alana sahip bölme duvarın bile yapının periyodunu önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Periyot değerleri.

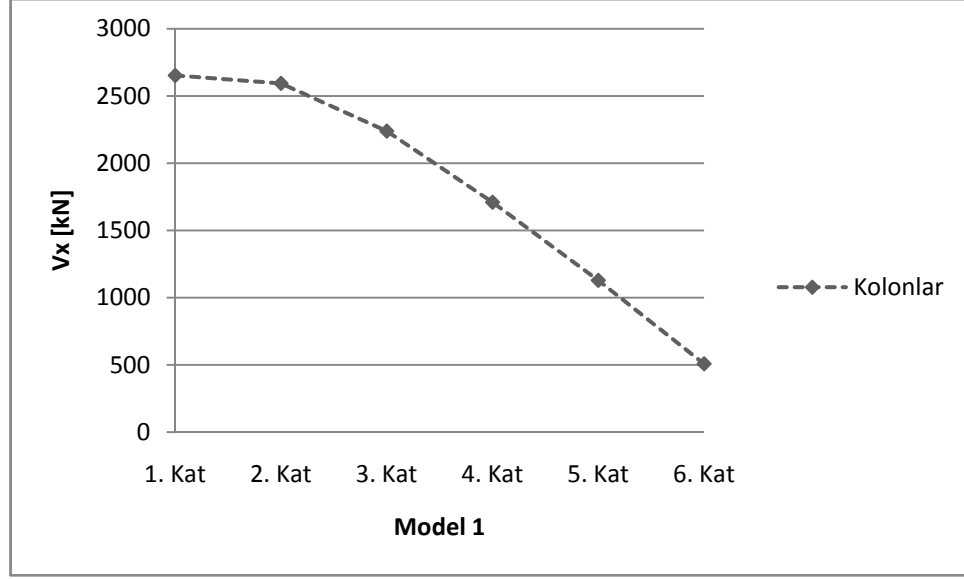
	Tx [s]	Ty [s]	Tz [s]
Model 1	0,87	0,85	0,80
Model 2	0,71	0,70	0,48
Model 3	0,61	0,62	0,48
Model 4	0,55	0,55	0,45

Şekil 4.13'te bölme duvarı olmayan modele deprem yüklerinin etkitilmesi sonucunda kolon ve kiriş kesitlerinde meydana gelen plastik mafsallar gösterilmiştir.



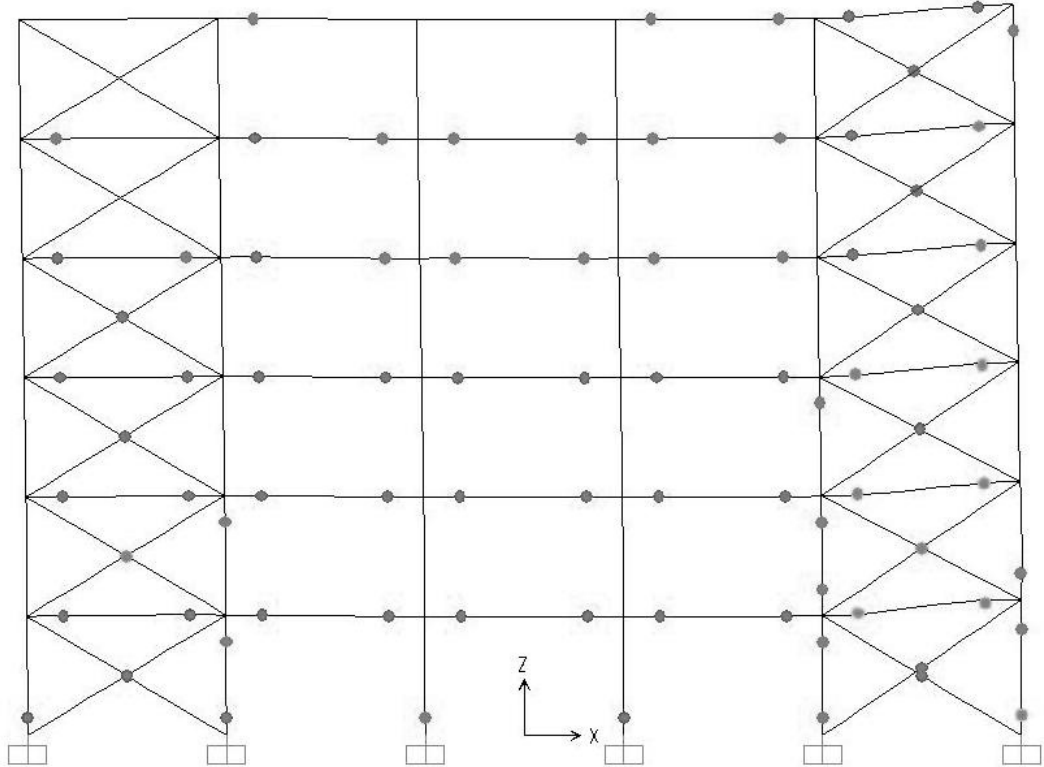
Şekil 4.13 : Kiriş ve kolonlarda meydana gelen plastik mafsallar.

Hesaplarda plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde malzeme dayanımının lineer elastik olduğu kabul edilmiştir. Plastikleşmenin, kirişlerde eğilme etkisi ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme etkisi ve eksenel kuvvetin etkileşimi ile olduğu kabul edilmiştir. Sistemin uzun doğrultusunda yapılan analiz sonucunda meydana gelen kat kesme kuvvetleri Şekil 4.14' te gösterilmiştir.



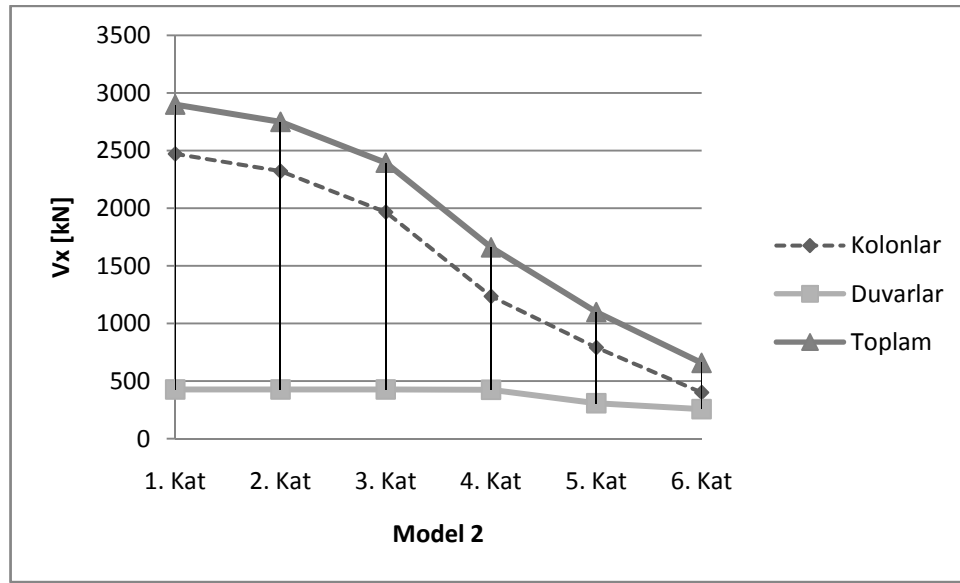
Şekil 4.14 : Model 1 için katlara göre kolonlara etkiyen kesme kuvvetleri.

Bölme duvarların idealleştirildiği eşdeğer çapraz çubuklara eksenel basınç yükleri altında gevrek kırılma meydana gelen mafsallar tanımlanmıştır. Bölme duvarların eklendiği sistemde meydana gelen plastik mafsallar Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

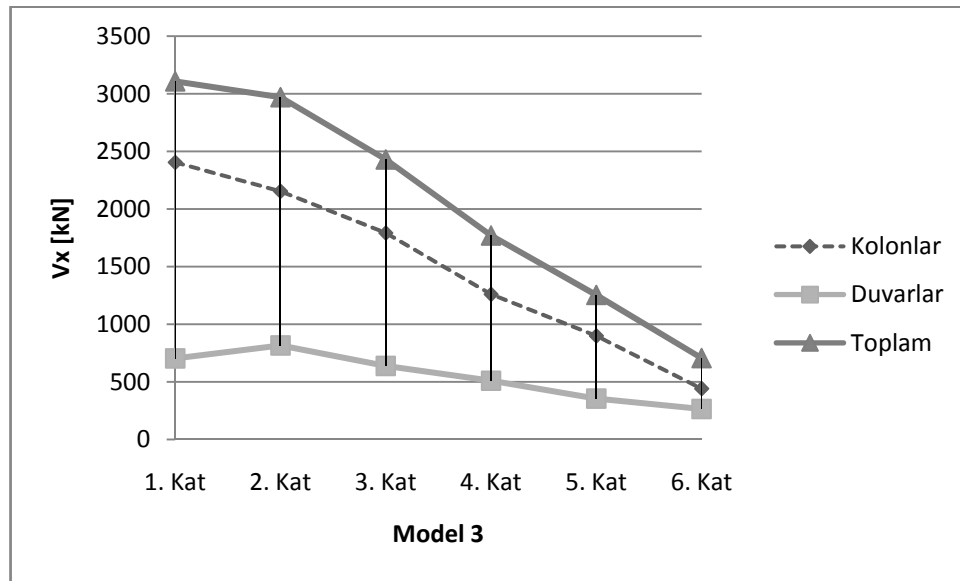


Şekil 4.15 : Sisteme bölme duvarların eklenmesiyle meydana gelen plastik mafsallar.

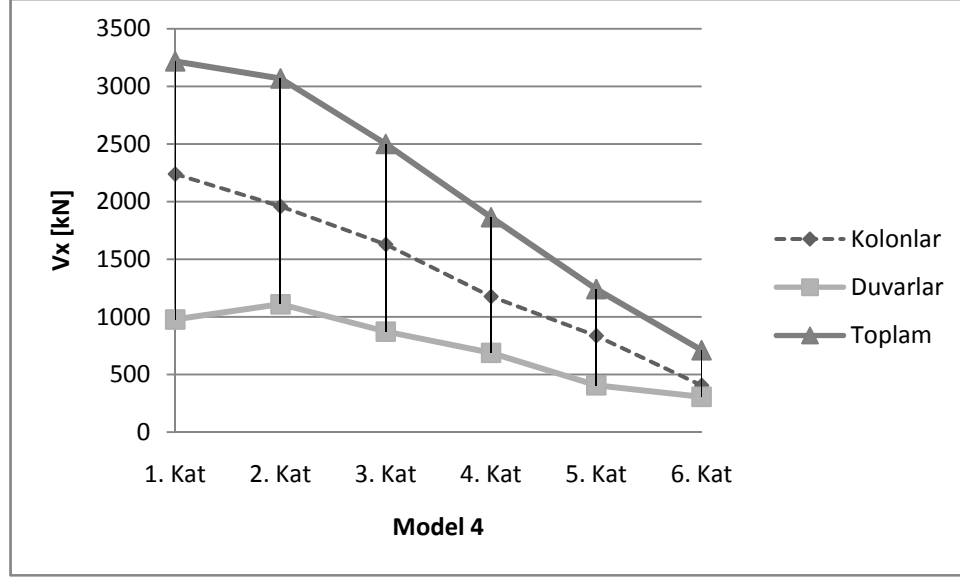
Sisteme bölme duvarların eklenmesiyle beraber yapının periyodu azalmakta, katlara etkiyen yatay kuvvetler artmaktadır. Katlara etkiyen bu kesme kuvvetlerinin bir kısmını bölme duvarlar karşılamakta ve kolonlara etkiyen kesme kuvveti azalmaktadır. Bölme duvarların karşıladığı kesme kuvvetlerinin yapının ikinci katında gösterdiği artış normal perde çerçeve etkileşiminden farklı bir davranış sergilediğini göstermektedir. Model 2, Model 3 ve Model 4 için deprem etkisi altında katlara etkiyen toplam kesme kuvveti, kolonların ve bölme duvarların karşıladığı kesme kuvveti değerleri Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Model 2 katlara etkiyen kesme kuvveti değerleri.

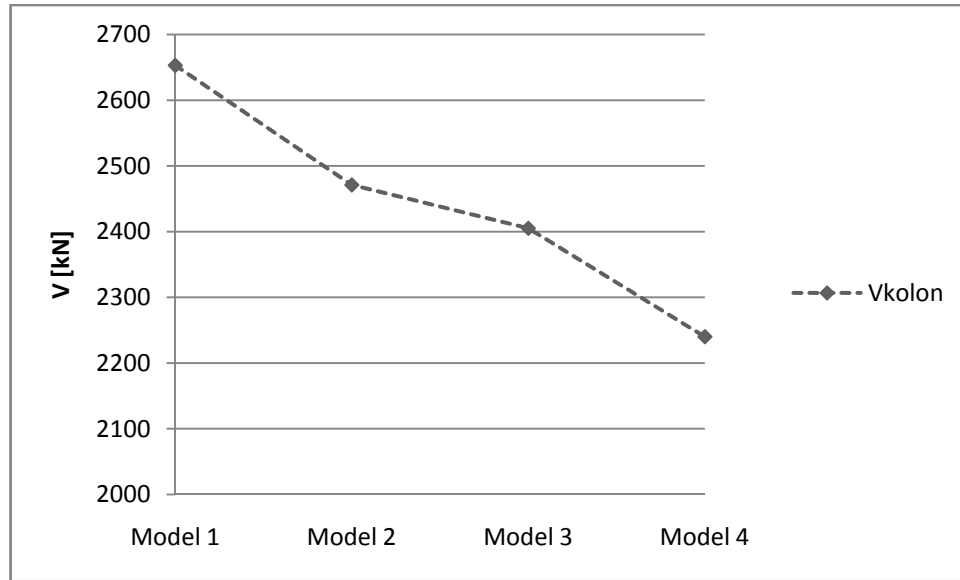


Şekil 4.17 : Model 3 katlara etkiyen kesme kuvveti değerleri.



Şekil 4.18 : Model 4 katlara etkiyen kesme kuvveti değerleri.

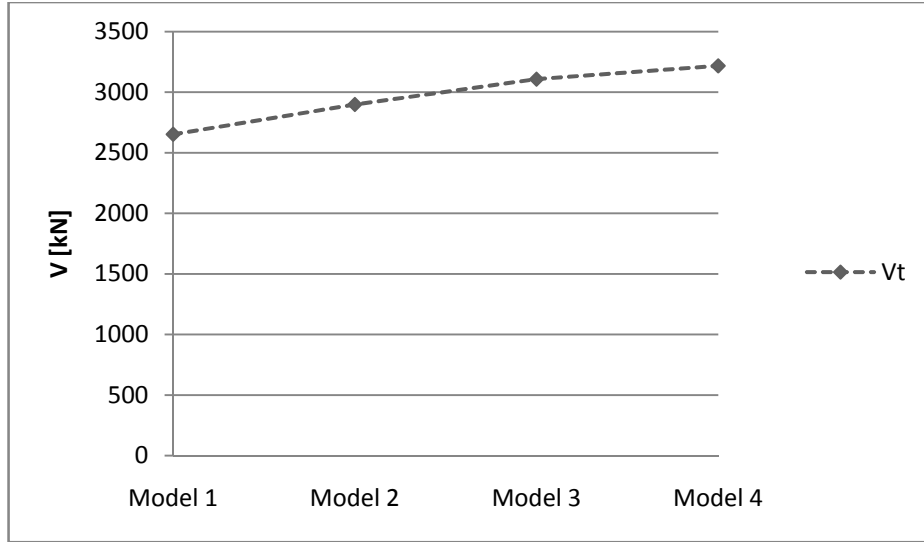
Duvarlar tarafından karşılanan kesme kuvvetleri duvar alanının artmasıyla artmaktadır. Kat kesme kuvvetinin karşılanmasında, deprem doğrultusuna dik olan duvarlar katkılarının küçük olacağı kabulü ile hesaba katılmamıştır. Şekil 4.19'da etkili bölme duvar alanının artmasıyla zemin kat kolonlarına etkiyen kesme kuvveti değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : Zemin kat kolonlarına etkiyen kesme kuvveti değerleri.

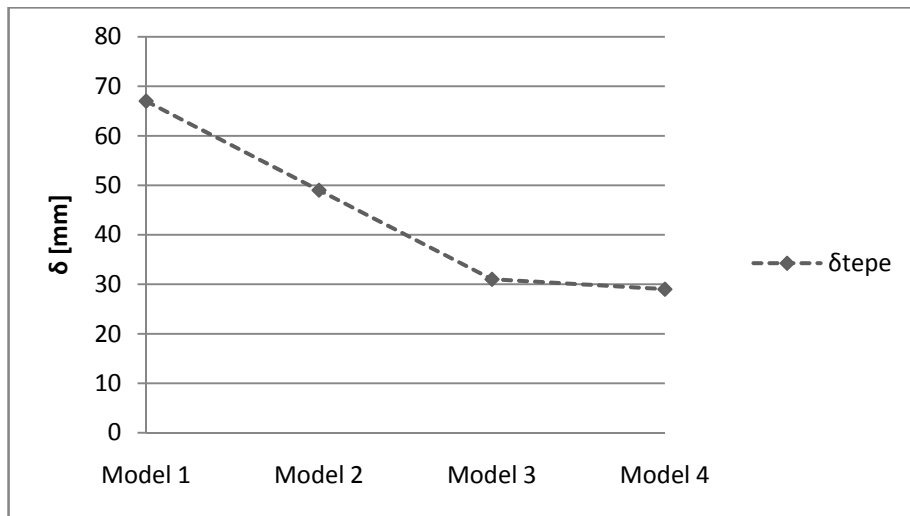
Bölme duvar alanının artmasıyla sistemde katlara etkiyen deprem kuvvetleri artmaktadır ancak bu kuvvetlerin bir kısmını karşılayan bölme duvarlar, taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yükü azaltmaktadır.

Şekil 4.20’de deprem etkisindeki binada V_t taban kesme kuvvetinin deprem doğrultusundaki etkili duvar alanına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi, bölme duvarların alanı arttıkça binanın periyodu azalırken, taban kesme kuvvetinde artış gözlenmektedir.



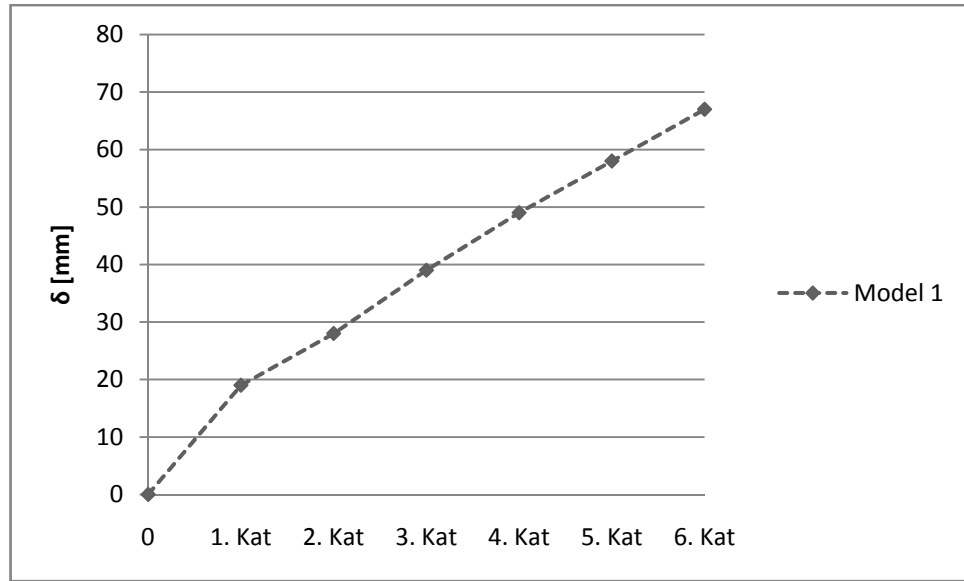
Şekil 4.20 : Deprem etkisinde bölme duvarların alanının artmasıyla artan taban kesme kuvveti değerleri.

Şekil 4.21’de deprem yükleri altındaki binanın tepe deplasmanının etkin duvar alanına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Bölme duvarların, binanın yanıl ötelemesini azalttığı, dolayısıyla rijitliğine katkıda bulunduğu görülmektedir. Beklendiği gibi duvar alanının artmasıyla yatay ötelemeler küçülmektedir. Ayrıca belli oranın üzerindeki duvar alanı değişimi, yer değiştirmelerdeki farkı fazla etkilememektedir.



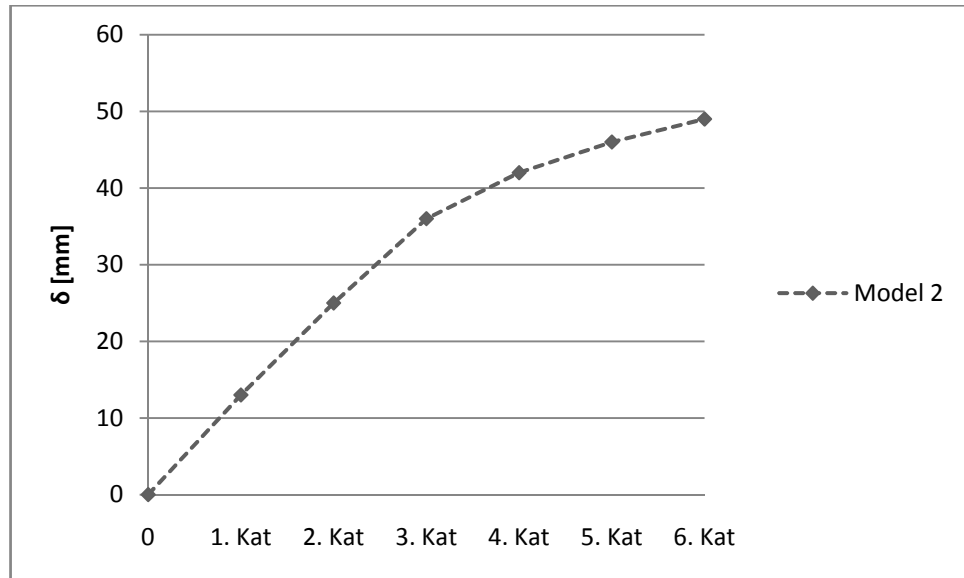
Şekil 4.21 : Bölme duvar alanının artmasıyla tepe deplasmanının değişimi.

Şekil 4.22’de Model 1’e ait kat yer değıştirmeleri gösterilmiştir.



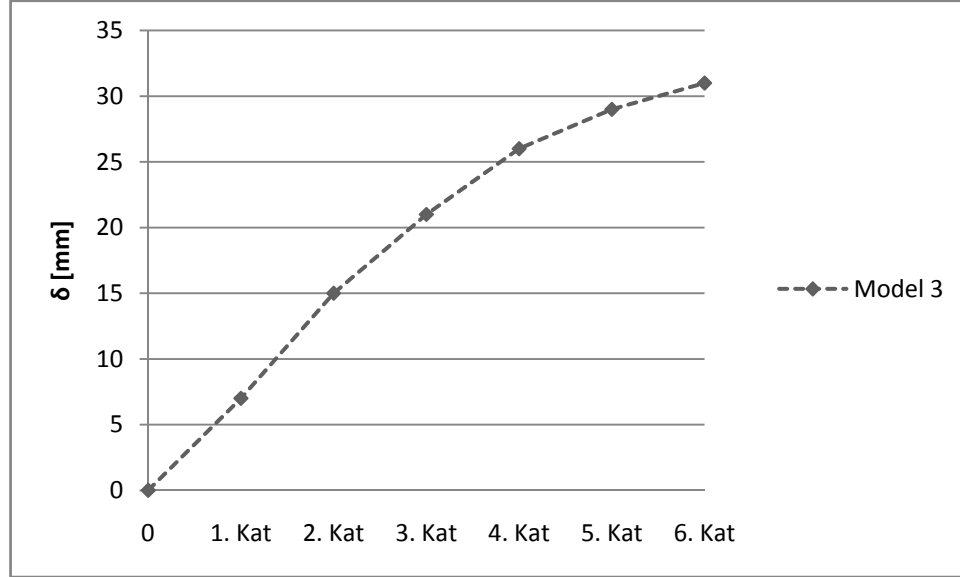
Şekil 4.22 : Model 1’e ait kat yer değıştirmeleri.

Planda düzenli yapıya sahip, bütün katlarında sürekliliğini devam ettiren bölme duvarlar beklendiğı gibi katlar arası ortalama yer değıştirmelerin azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.23’de Model 2’ye ait kat yer değıştirmeleri gösterilmiştir.



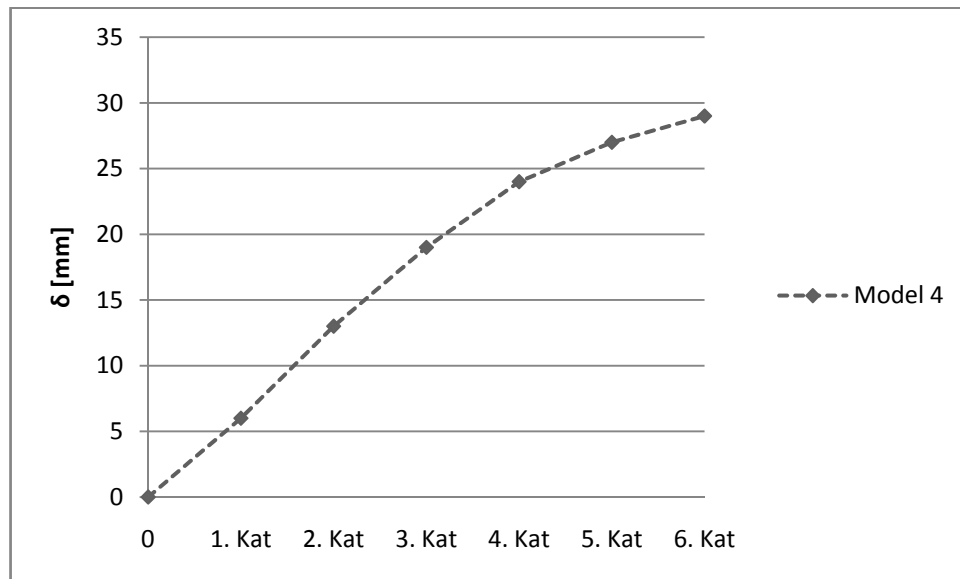
Şekil 4.23 : Model 2’ye ait kat yer değıştirmeleri.

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te Model 3 ve Model 4'e ait kat yer değiştirmeleri gösterilmiştir. Duvar alanının artmasıyla kat ötelenmeleri azalmaktadır.



Şekil 4.24 : Model 3'e ait kat yer değiştirmeleri.

Bölme duvarlar, yüksek başlangıç rijitliği ile binanın yatay rijitliğini artırarak ötelemeleri azaltmaktadır. Yüksek deprem kuvvetleri olan alt katlarda bölme duvarların yatay dayanım kapasiteleri aşılarak göçmeler meydana gelmektedir. Bölme duvarların yatay yük taşıma özelliğini yitirmediği üst katlarda görece kat ötelemeleri azalmaktadır.

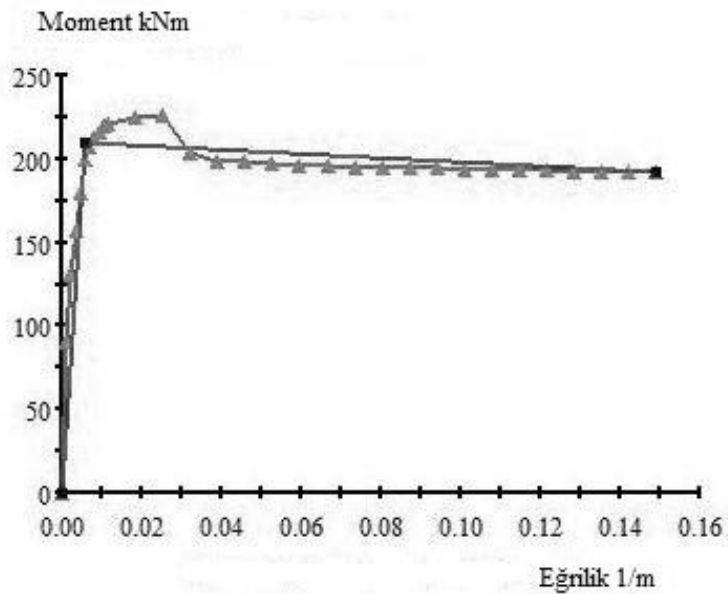


Şekil 4.25 : Model 4'e ait kat yer değiştirmeleri.

Taşıyıcı sistem bakımından zayıf olarak kabul edilen incelediğimiz modellerde zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre taşıyıcı elemanlarda hasarlar meydana gelmiştir. Düşey taşıyıcı elemanların, yapılan hesap sonucunda elde edilen çıkış bilgilerine göre kesit birim şekil değiştirmelerinin değerlendirildiği çalışmada XTRACT kesit analiz programından yararlanılmıştır. Kesitlerde meydana gelen toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanan beton basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, kapasite sınır değerlerine göre değerlendirilerek eleman hasar durumları belirlenmiştir. Böyle bir değerlendirme yapılırken *Minimum Hasar Sınırı*’nda (*MN*) dış betondaki birim kısalma ϵ_{cu} esas alınırken, *Güvenlik Sınırı* (*GV*) ve *Göçme Sınırı*’nda (*GÇ*) sargı donatısı içindeki betonun kısalması ϵ_{cg} esas alınır. Bu sınır değer sargı donatısına bağlıdır. İncelenen sistemde kolonların sargı donatısının yetersiz olduğu kabul edilerek sınır değerler belirlenmiştir. Bu durumda şekil değiştirme sınırları:

<i>Minimum Hasar Sınırı</i> (<i>MN</i>)	$\epsilon_{cu} = 0,0035$	$\epsilon_{su} = 0,010$
<i>Güvenlik Sınırı</i> (<i>GV</i>)	$\epsilon_{cg} = 0,0060$	$\epsilon_{su} = 0,040$
<i>Göçme Sınırı</i> (<i>GÇ</i>)	$\epsilon_{cg} = 0,0080$	$\epsilon_{su} = 0,060$

Şekil 4.26’da model 1, 101 kolonu için Xtract programında yapılan analiz sonucuna göre elde edilen moment-eğrilik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.26 : Moment-eğrilik diyagramı.

Zaman tanım alanında yapılan analiz çıkış bilgilerinden elde edilen plastik eğrilik istemine elemanın eşdeğer akma eğriliği eklenerek belirlenen toplam eğrilik istemine göre kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi, etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmeleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.3 ve 4.4'te Model 1, 101 kolonu için elde edilen eğrilik ve birim şekil değiştirme değerleri gösterilmiştir. Tüm modeller için düşey eleman numaralarını gösteren kat planları EK-A1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Model 1, 101 kolonu için elde edilen eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (radyan) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (1/m) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (1/m) $\phi_y \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$
101	16,06	71,38	5,75	77,13

Çizelge 4.4 : Model 1, 101 kolonu için elde edilen birim şekil değiştirmeler.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	$N [kN]$	Birim Şekil Değiştirme			Hasar Durumu
			$\epsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\epsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\epsilon_s \times 10^{-3}$	
101	77,13	920,16	13,37	10,01	19,12	>GÇ

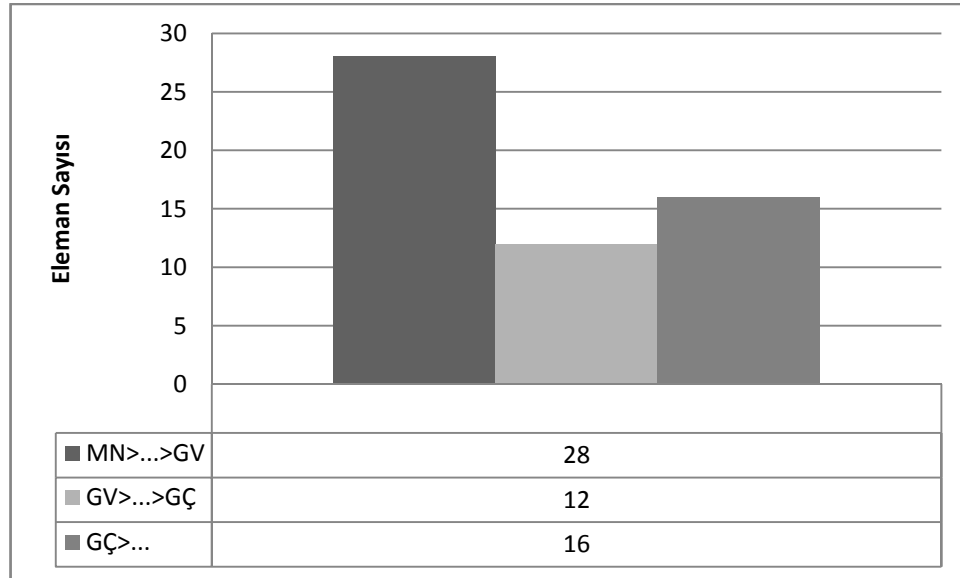
Tüm modeller için analiz sonucunda elde edilen toplam eğrilik ve birim şekil değiştirme değerleri EK-A2'de verilmiştir.

Planda ve kesitte düzensizliğe yol açmayacak şekilde bulunan bölme duvarlar, yapıda olası hasar miktarını azaltmakla beraber göçme durumunda olan yalın sistemlerde hesaba katıldığında sistemin ayakta kalmasını sağlayabilmektedir. Yapılan çalışmada incelenen modellerde düşey taşıyıcı elemanların hasar durumları karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.5'de eleman hasar durumları gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Katlara göre kolon hasar dağılımı.

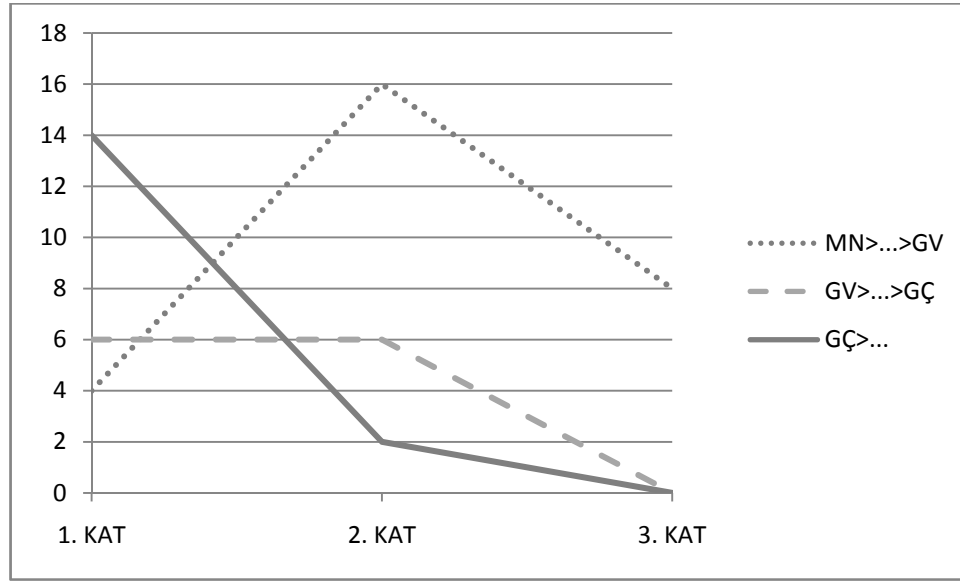
	MODEL 1			MODEL 2		
	MN>...>GV	GV>...>GÇ	GÇ>...	MN>...>GV	GV>...>GÇ	GÇ>...
1. KAT	4	6	14	20	2	2
2. KAT	16	6	2	2	2	2
3. KAT	8	...	...	2	2	...
	MODEL 3			MODEL 4		
	MN>...>GV	GV>...>GÇ	GÇ>...	MN>...>GV	GV>...>GÇ	GÇ>...
1. KAT	14	...	...	6	...	...
2. KAT	...	...	...	...	...	...
3. KAT	...	...	...	...	...	...

Şekil 4.27’de Model 1’e ait hasarlı elemanların hasar dağılımı gösterilmiştir.



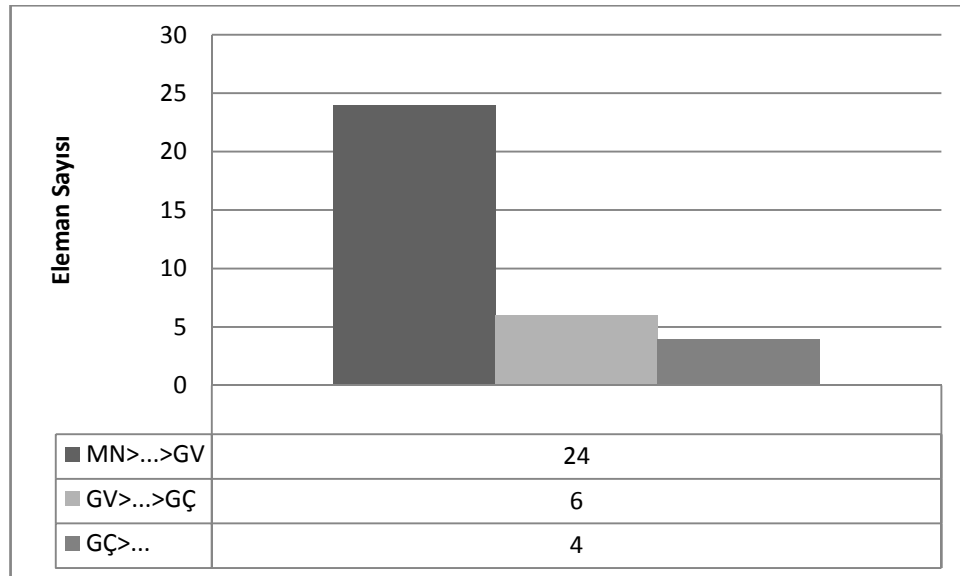
Şekil 4.27 : Model 1 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı.

İncelenen sistemde deprem yükleri altında ciddi hasarlar meydana gelmiş, zemin kat kolonlarının bir kısmı kesit göçme sınırının ötesinde hasarlı duruma geçmiştir. Eleman hasar durumunun katlarda değişimini gösteren diyagram Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



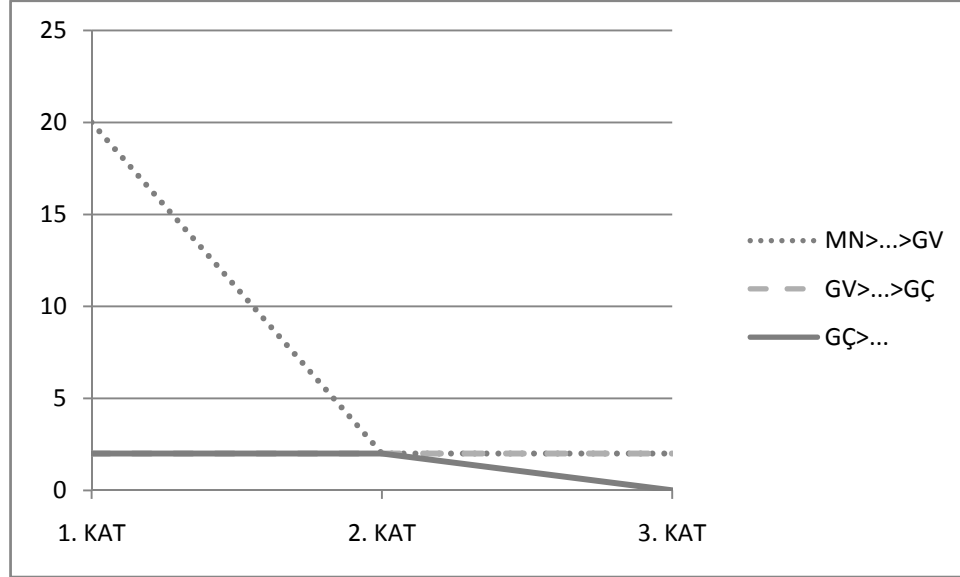
Şekil 4.28 : Model 1 eleman hasarlarının katlara dağılımı.

Şekil 4.29’da Model 2’ye ait hasar dağılımı gösterilmiştir. Bölme duvarlar ile çatlama ve göçme aşamalarında bir miktar enerjinin tüketilmesi, taşıyıcı sistem elemanlarına giden yükü azaltarak yapının hasar durumunu hafifletmektedir.



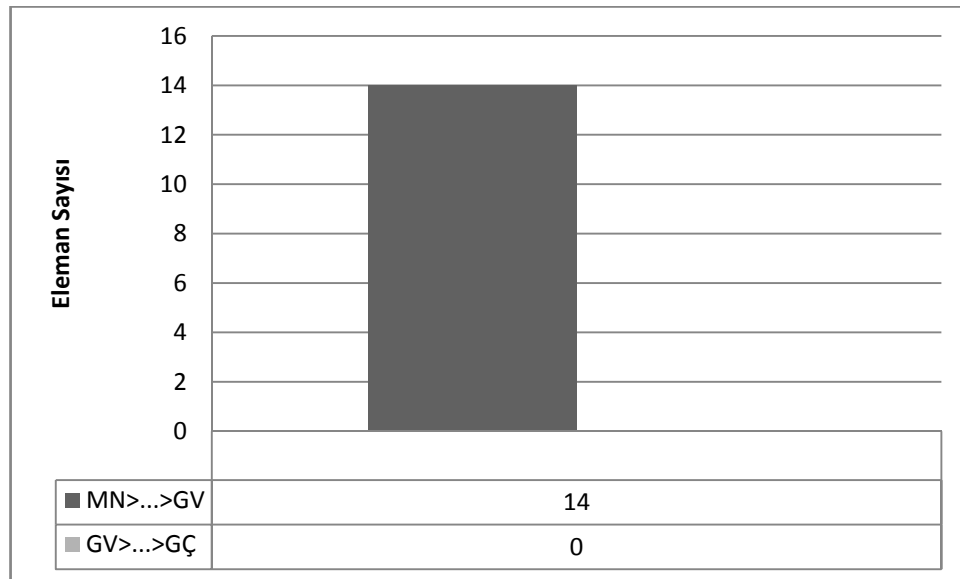
Şekil 4.29 : Model 2 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı.

Şekil 4.30'da Model 2'ye ait elemanların katlara göre hasar dağılımları gösterilmiştir.



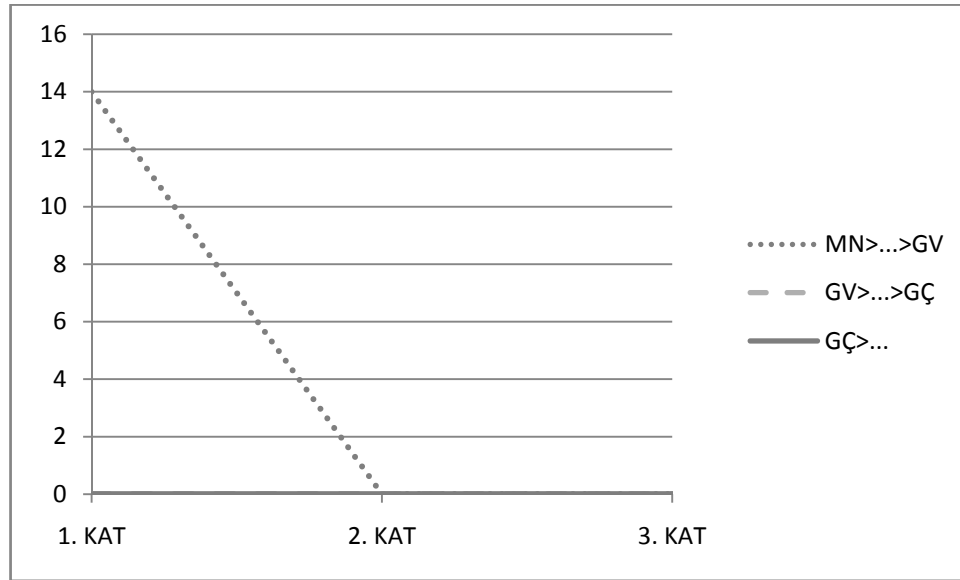
Şekil 4.30 : Model 2 eleman hasarlarının katlara dağılımı.

Bölme duvar alanının artmasıyla yapının yatay yüklere karşı dayanımı artmakta, kesit göçme sınırını aşan eleman sayısı azalmaktadır. Şekil 4.31'de Model 3'e ait hasar dağılımı gösterilmiştir.



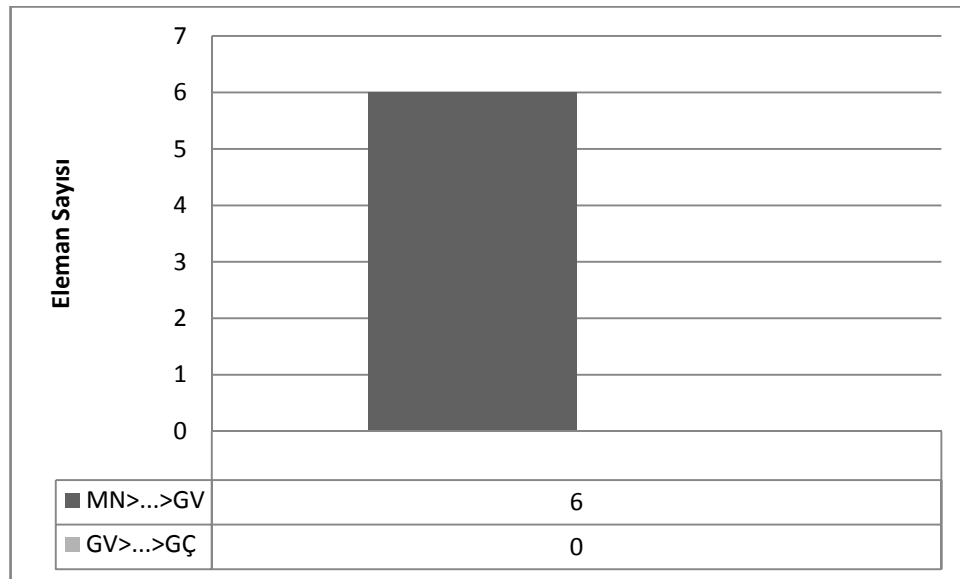
Şekil 4.31 : Model 3 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı.

Şekil 4.32’de Model 3’e ait elemanların katlara göre hasar dağılımları gösterilmiştir.



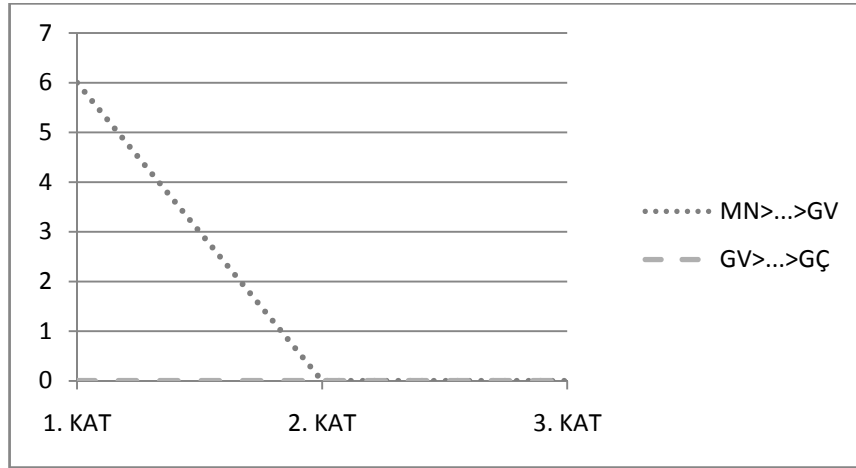
Şekil 4.32 : Model 3 eleman hasarlarının katlara dağılımı.

Binadaki bölme duvarların taşıyıcı sistemin genel davranışına etkisi, deprem yükleri altında yapının performansı bakımından önemlidir. Doğru bir yaklaşımla bölme duvarlar hesaba katılarak sistemdeki mevcut ek kapasitenin değerlendirilmesi ile güvenli ve ekonomik çözümler elde edilebilir. Şekil 4.33’te Model 4’e ait hasar dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.33 : Model 4 düşey taşıyıcı elemanlarda hasar dağılımı.

Şekil 4.34'te Model 4'e ait elemanların katlara göre hasar dağılımları gösterilmiştir.

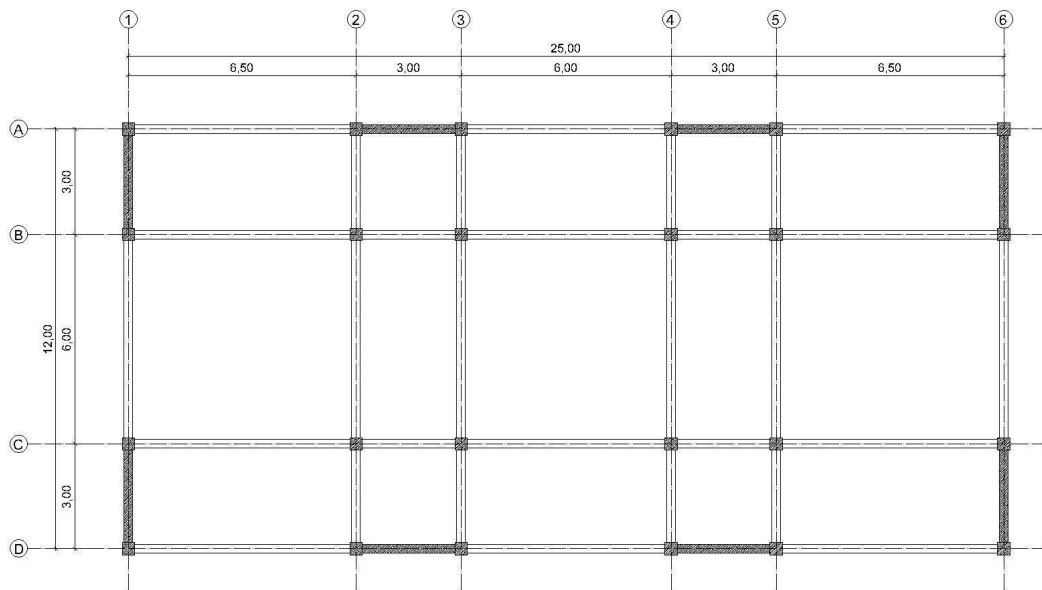


Şekil 4.34 : Model 4 eleman hasarlarının katlara dağılımı.

4.3 Betonarme Perdelerle Güçlendirilen Yapıda Bölme Duvar Etkisinin İncelenmesi

4.3.1 Taşıyıcı sistem özellikleri

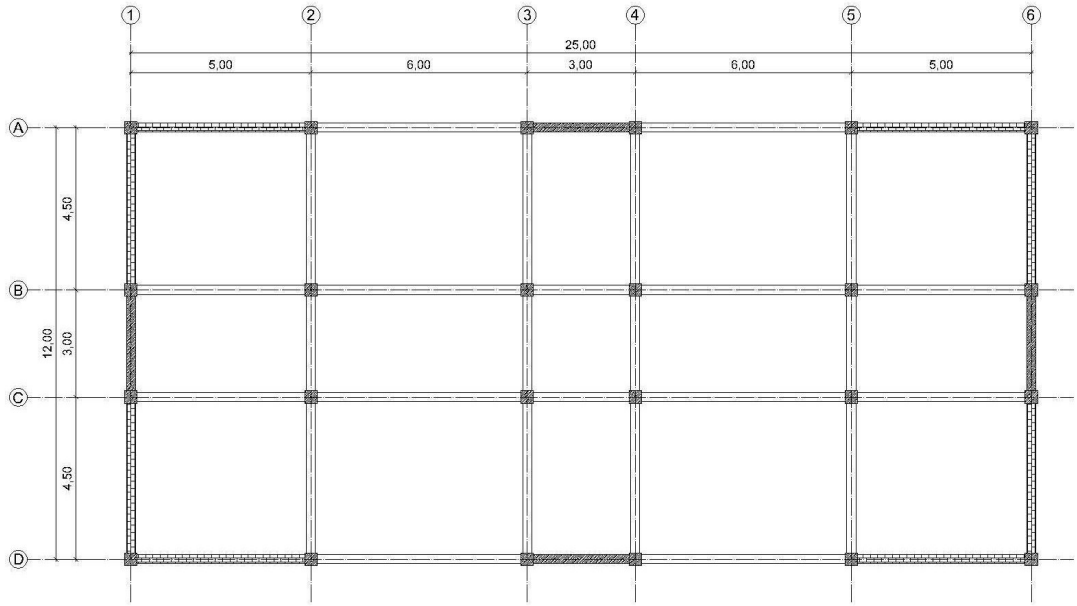
Yapılan çalışmada betonarme perdelerle güçlendirilen sistemde bölme duvarların etkisi incelenmiştir. Çalışma 1 'deki sisteme benzer iki modele değişik oranda betonarme perdelerin eklenmesiyle güçlendirilen sistemlerde eklenen perde alanının değişimi ile bölme duvarların yapının dayanımına katkısı değerlendirilmiştir. Şekil 4.35'de Model 5 planı gösterilmiştir.



Şekil 4.35 : Model 5 planı.

Bölme duvarların etkisinin hesaba katılmadığı Model 5, her iki doğrultuda planda düzensizliğe yol açmayacak şekilde güçlendirilmiştir.

Güçlendirme amacıyla Model 5'e göre daha az oranda betonarme perde eklenen Model 6 planı Şekil 4.36'de gösterilmiştir. Bölme duvarların etkisi bu modelde hesaba katılmıştır.



Şekil 4.36 : Model 6 planı.

İncelenen sistemde 3-4/A, D ve B-C/1, 6 akslarında betonarme perdeler mevcuttur. Binanın köşelerinde bölme duvarlar modellenmiştir. Bölme duvarlar, eşdeğer çapraz çubuklarla mevcut duvar dayanımını sağlayacak şekilde plastik mafsallarla düzenlenmiştir. 1999 Düzce Deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

4.3.2 Sayısal sonuçlar

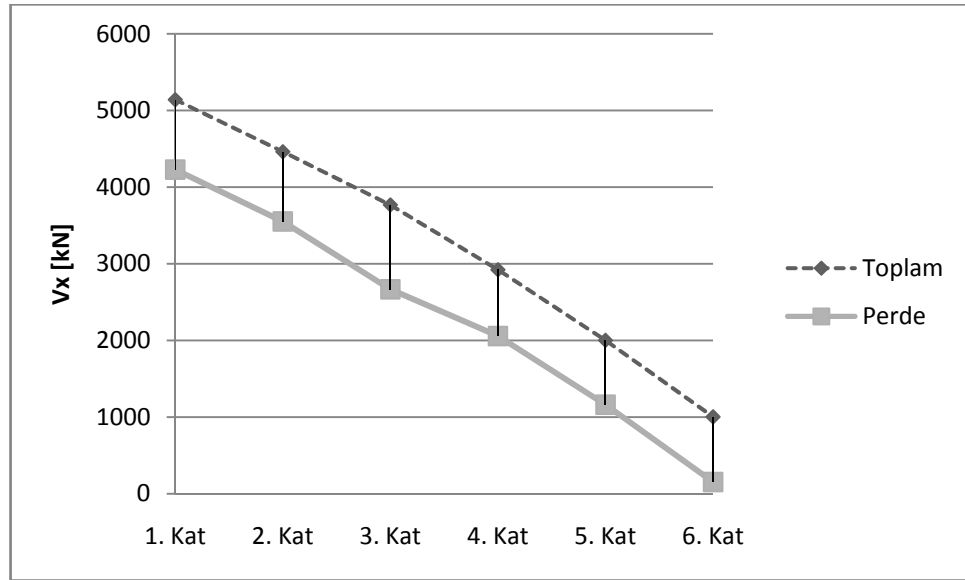
Sap2000 programı ile yapılan analiz sonuçlarından elde edilen hakim periyot değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Model 5 ve Model 6'ya ait hakim periyot değerleri.

	T_x [sn]	T_y [sn]	T_z [sn]
Model 5	0.460	0.480	0.382
Model 6	0.445	0.421	0.317

Elde edilen periyot değerlerini incelediğimizde, betonarme perde alanı daha az olan, buna karşın bölme duvar etkisinin değerlendirildiği Model 6'nın daha düşük değerlere sahip olduğunu görüyoruz. Bu durum, hesaba katılan bölme duvarlarda etkili alanın büyük oluşu ve dayanımı düşük olmasına rağmen yüksek başlangıç rijitliği ile açıklanabilir.

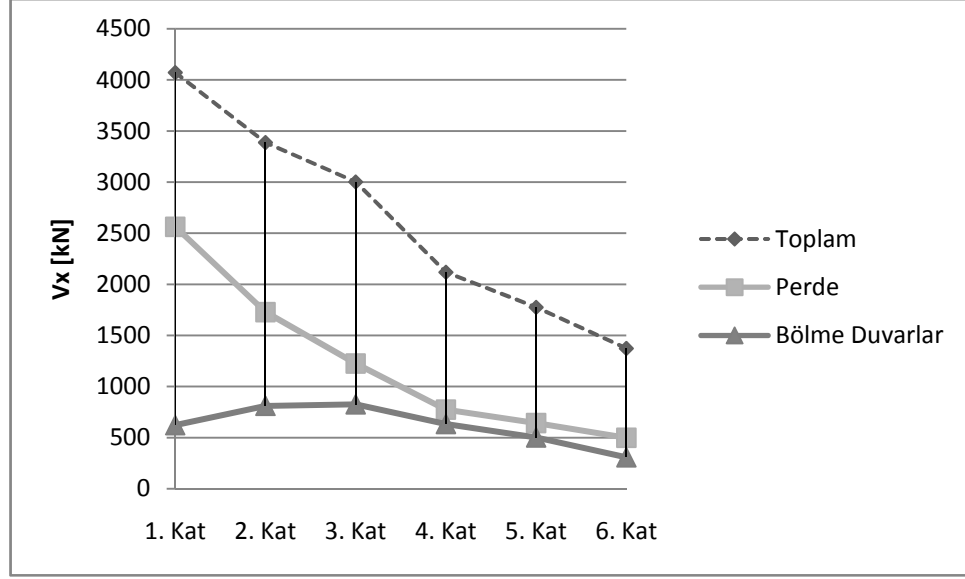
İncelenen sistemlerde uzun doğrultuda deprem hesabı yapılmış katlara etkiyen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.37'te bölme duvarı olmayan Model 5'e ait kat kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 4.37 : Model 5 kat kesme kuvvetleri.

Model 6'da betonarme perde alanının azalmasıyla sisteme etkiyen yatay kuvvetlerde ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Bölme duvarlar, depremin başlangıç anındaki rijitliği fazla olmasına rağmen duvar malzeme dayanımı düşük olduğundan kısa bir süre sonra sisteme olan etkisini kaybetmektedir.

Betonarme perde alanının azaldığı Model 6'da katlara etkiyen kesme kuvveti değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca sisteme eklenen bölme duvarlarla yatay kuvvetlerin bir kısmı karşılanarak sistemin aynı deprem etkisini daha düşük kesit zorlarıyla atlatması sağlanmıştır. Şekil 4.38'de Model 6'ya ait katlara, perde ve duvarlara etkiyen kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.38 : Model 6 kat kesme kuvvetleri.

Yapılan çalışmadan elde edilen hesap çıkış verilerine göre her iki model de minimum hasar seviyesinde kalmış durumdadır. Planda ve kesitte düzensizliğe yol açmayacak şekilde bulunan mevcut duvarların katkısı göz önüne alınarak yapılan güçlendirme uygulamalarında ekonomik çözümler elde edilebilir. Ayrıca DBYBHY (2007)'ye göre bölme duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi ile dayanım ve sünekliği artırılarak basitleştirilmiş bir güçlendirme yöntemi uygulanabilir.

4.4 Yumuşak Kat Düzensizliğinin İncelenmesi

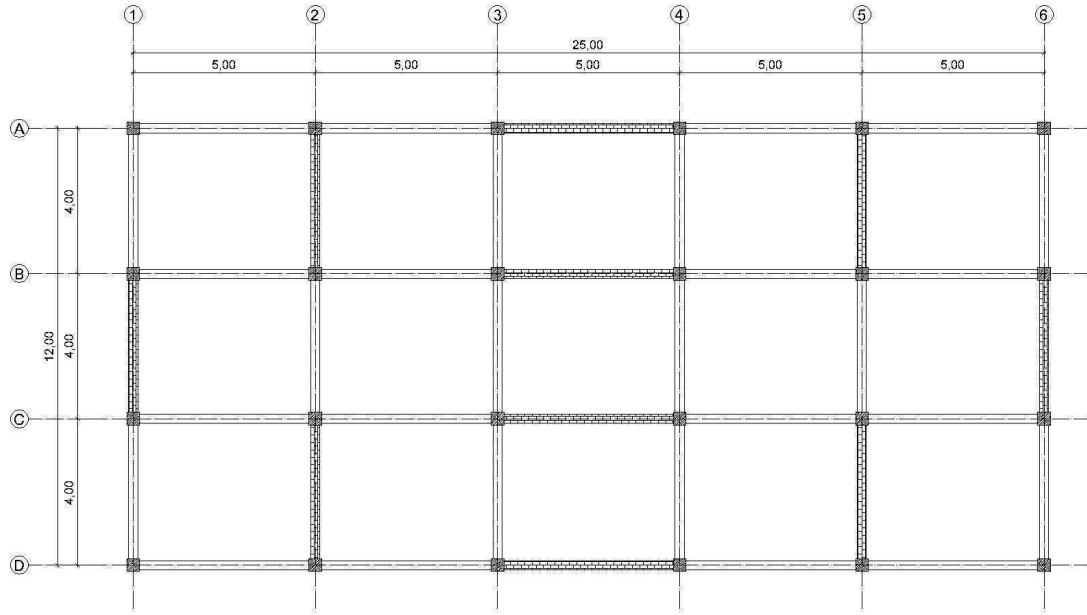
4.4.1 Genel

Bu çalışmada, bölme duvar etkisinden kaynaklanan düşey düzensizlik durumları incelenmiştir. Yapıda ani rijitlik değişimi sebebiyle deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşmasıyla oluşan yumuşak kat düzensizliği depremlerde betonarme binaların yıkılma nedenlerinin başında gelmektedir. Yumuşak kat düzensizliği, ülkemizde oldukça yaygın sayılabilecek bir durumdur. Bunun başlıca nedeni birçok binanın zemin katını otopark veya dükkan olarak ticari amaçlar için kullanmasıdır. Zemin katlarda dış duvarlar yerine cam kullanılmakta, iç duvarlar ise geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle üst katlara göre çok az yapılmaktadır. Bir üstte konut amaçlı kullanılan katta ise iç ve dış duvarların inşa edilmiş olması düşeyde rijitlik düzensizliğine yol açmaktadır.

Oluşan bu rijitlik düzensizliği özellikle perdesiz yapılarda deprem güvenliği açısından oldukça ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Deprem yükleri altında bu düzensizlik nedeniyle zemin katta büyük deformasyon talepleri oluşmakta ve deprem enerjisi tek bir katta yoğunlaşmaktadır.

4.4.2 Taşıyıcı sistem özellikleri

Yapılan çalışmada C16/S220 malzemeye sahip, 6 katlı, kat yükseklikleri her katta 3m olan ve zemin katta 4m, diğer katlarda 3m olan 40X40 kolon ve 25X60 kirişlere sahip Model 7 için zemin katlarda duvar olması ve olmaması durumunda mevcut yapıya etkiyen deprem yükleri altında kolonlara etkiyen kesme kuvvetinin değişimi ve görelî kat ötelemelerine bağlı olarak meydana gelen düşey düzensizlik durumunun değişimi incelenmiştir. Binanın x (uzun) ve y (kısa) doğrultuları için Z2 zemin sınıfında bulunduğu kabulü ile spektral analiz yapılmıştır. Şekil 4.39’da Model 7’nin planı gösterilmiştir.



Şekil 4.39 : Model 7 planı.

Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal çubuklarla modellenip şekil 4.39’da planı görülen sistemde zemin kat için B1, B3, D1 ve D4 akslarının kesişimlerinde bulunan kolonlar incelenmiştir.

4.4.3 Sayısal sonuçlar

Çizelge 4.7’de incelenen sistemlerin periyot değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Yapının hakim periyot değerleri. [sn.]

Açıklama	T _x	T _y	T _z
Hiçbir katta duvar yok	0,89	0,87	0,81
Tüm katlarda duvar var	0,61	0,56	0,51
Zemin katta duvar yok	0,64	0,59	0,53
Zemin kat yüksek ve duvar yok	0,72	0,69	0,61

Eğilme etkisinde sünek davranış göstereceği öngörülerek dizayn edilen kolonlarda bölme duvar etkisinin yol açacağı rijitlik düzensizliği sebebi ile büyük kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu kesme kuvvetinin etkisiyle elemanda gevrek kırılma meydana gelerek ani çökmeler oluşabilmektedir. Seçilen sistemde B1, B3, D1 ve D4 kolonlarında bölme duvar etkisiyle oluşan rijitlik düzensizliklerinin sonucunda oluşan kesme kuvveti değerlerinin değişimi incelenmiştir.

Değişik bölme duvar dağılımına sahip sistemlerde zemin kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Zemin kat kolonlarına etkiyen kesme kuvveti değerleri.[kN]

		B1	B3	D1	D4
Hiçbir katta duvar yok	V _x	77,97	85,88	73,88	85,00
	V _y	89,12	89,94	75,02	78,43
Tüm katlarda duvar var	V _x	71,56	78,16	67,13	76,60
	V _y	73,16	76,06	66,16	67,66
Zemin katta duvar yok	V _x	104,65	114,47	100,16	113,19
	V _y	118,84	118,85	104,20	106,41
Zemin kat yüksek ve duvar yok	V _x	96,71	103,92	93,84	103,05
	V _y	107,16	107,06	96,81	98,18

4.4.4 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)’e göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} ’nin 2,00’den fazla olması durumudur. Rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} ’nin hesabı için denklem (3.18) ve denklem (3.19)’dan yararlanılır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/H_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/H_{i+1})_{ort} > 2,0 \quad (3.18)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/H_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/H_{i-1})_{ort} > 2,0 \quad (3.19)$$

Değişik bölme duvar dağılımına sahip olan sistemlerde katlar arası rijitlik düzensizliği tahkiki yapılmıştır. Binanın her iki yönü için etkin duvar alanları birbirine yakın ve simetrik olduğundan kat ötelemeleri her iki doğrultu için birbirine eşittir. Çizelge 4.9’da elde edilen ortalama kat ötelemeleri ve rijitlik düzensizlikleri katsayıları gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : Ortalama kat ötelemeleri ve rijitlik düzensizliği katsayıları.

KATLAR	Bölme Duvar Olmayan Sistem		
	Kat Yüksekliği H_i [cm]	Görelî Yer Değiştirme Δ_i [mm]	η_{ki}
6	300	7	0,58
5	300	12	1,71
4	300	18	1,50
3	300	21	1,17
2	300	23	1,09
1	300	19	0,83
KATLAR	Tüm Katlarda Bölme Duvarı Olan Sistem		
	Kat Yüksekliği H_i [cm]	Görelî Yer Değiştirme Δ_i [mm]	η_{ki}
6	300	7	0,78
5	300	9	1,28
4	300	13	1,44
3	300	13	1,00
2	300	15	1,15
1	300	13	0,87
KATLAR	Zemin Katta Bölme Duvarı Olmayan Sistem		
	Kat Yüksekliği H_i [cm]	Görelî Yer Değiştirme Δ_i [mm]	η_{ki}
6	300	6	0,75
5	300	8	1,33
4	300	12	1,50
3	300	15	1,25
2	300	12	0,80
1	300	25	2,08

Çizelge 4.9 (devam) : Ortalama kat ötelemeleri ve rijitlik düzensizliği katsayıları.

KATLAR	Zemin Kat Yüksekliği Büyük ve Zemin Katta Bölme Duvar Yok		
	Kat Yüksekliği H_i [cm]	Görelî Yer Değiştirme Δ_i [mm]	η_{ki}
6	400	5	0,63
5	300	8	1,60
4	300	9	1,13
3	300	12	1,33
2	300	14	1,17
1	300	47	4,48

5. SONUÇLAR

Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde depremle ilgili yapılan çalışmaların imkanlar ölçüsünde uygulamaya geçirilmesi önemlidir. Bölme duvarlar ile ilgili gerek geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar, gerekse günümüzde yapılan deneysel ve teorik çalışmalar konunun önemini göstermektedir.

Sunulan çalışmada, günümüzde geçerli olan deprem yönetmeliğinden daha önce yapılmış, planda ve kesitte düzenli bir yapıya sahip fakat eleman bazında dizayn açısından deprem etkisi düşünülmeden tasarlanmış, kolon kesitleri bakımından zayıf kabul edilebilecek betonarme çerçeve sistemli bir yapı modeli oluşturulmuştur. Bölme duvarı olmayan ve değişik bölme duvar alanına sahip modeller, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile incelenmiştir. Deprem doğrultusundaki kat kesme kuvvetlerinin bölme duvar ve kolonlarla paylaşımı, yapının deprem etkisi altındaki performansının bölme duvar etkisi ile değişimi incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen sayısal sonuçlarla, incelenen parametreler şekillerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre bölme duvar olmayan Model 1 düşey taşıyıcı elemanlarında ciddi oranda göçme sınırının ötesinde hasar meydana gelmiştir. Sisteme bölme duvarların eklenmesiyle yapının yanal rijitliğinde artış meydana gelmiş ve doğal titreşim periyodu azalmıştır. Bu durum, sisteme etkileyen deprem kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Buna karşın hesaba katılan bölme duvarlar, kapasiteleri ölçüsünde yatay kuvvet karşılayarak taşıyıcı sisteme etkileyen yükün bir kısmını almakta, çatlama ve göçme safhasında bu enerjinin bir kısmını tüketerek betonarme elemanların hasar durumunu hafifletmektedir. Ayrıca planda ve kesitte düzensizliğe yol açmayacak şekilde düzenlenen bölme duvarlar, görelî kat ötelemelerini ve tepe yer değiştirmesini azaltmaktadır. Düşük oranda etkili duvar en kesit alanına sahip sistemlerde bile yanal ötelemenin önemli ölçüde azaldığı, dolayısıyla bölme duvarların rijitliğe büyük katkıda bulunduğu görülmektedir.

Betonarme perdelerle güçlendirilen sistemlerin karşılaştırmalı olarak incelendiği ikinci sayısal çalışmada, planda ve kesitte düzenli olarak sürekliliğini sürdüren bölme

duvarlı sistemlerde güçlendirme çözümleri değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada toplam en kesit alanı değişik oranda betonarme perdeler eklenerek güçlendirilen modeller incelenmiştir. Model 5'te oluşturulan sistemde bölme duvar etkisi ihmal edilerek güçlendirilen binaya benzer bir sistem, Model 6'da bölme duvarların hesaba katılmasıyla etkili betonarme perde en kesit alanı azaltılarak oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal sonuçlara göre incelenen sistemlerin hakim periyot değerlerinde büyük bir değişim gözlenmemiştir. Buna karşın betonarme perde etkili en kesit alanı az olan sistemde meydana gelen taban kesme kuvvetinde büyük bir azalma olmuştur. Bu durum, bölme duvarların yüksek başlangıç rijitliği ve betonarme perdelerle oranla düşük mukavemeti ile açıklanabilir. Elde edilen hesap sonuçlarına göre her iki model de minimum hasar seviyesinde kalmış durumdadır. Planda ve kesitte düzensizliğe yol açmayacak şekilde bulunan mevcut duvarların katkısı göz önüne alınarak yapılan güçlendirme uygulamalarında ekonomik çözümler elde edilebilir.

Sunulan üçüncü çalışmada, düşeyde süreklilik göstermeyen bölme duvarı olan değişik modellerde yumuşak kat düzensizliği ve bu durumda elemanlara etkileyen kesit tesirlerindeki değişim incelenmiştir.

Binadaki bölme duvarların, taşıyıcı sistemin genel davranışına etkisi, binanın deprem performansını artırması bakımından önemlidir. Bölme duvarların hesaba katılması mevcut ek kapasitenin değerlendirilmesi bakımından faydalı olacaktır. Çatlama ve göçme safhalarında tükettikleri sismik enerjiyle yapıya geçen enerjinin bir kısmını tüketmesi, yapının hasar durumunu hafifletmektedir. Bu durum mevcut binalarda bölme duvarların yatay yük kapasitelerinin göz önüne alınmasının önemine işaret etmektedir. Ayrıca, mevcut binaların depreme karşı kapasitelerinin artırılmasının bölme duvarların güçlendirilmesi ile sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Bölme duvarları hesaba katarak yapılacak güçlendirme çalışmasında bu duvarların yeterli derecede sünek olması gerekmektedir. Temel üstünden yukarıya doğru süreklilik gösterecek şekilde yapılan hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirme işlemiyle istenilen süneklik sağlanabilmektedir. Burada gerekli dayanımı sağlayacak şekilde uygun oranda en kesit alanının seçilmesi önemlidir. Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi belli oranın üzerinde duvar alanının artmasıyla kesit zorları ve kat ötelemelerindeki değişimin farkı azalmaktadır. Dolayısıyla optimum duvar alanı seçimi güvenli ve ekonomik bir değerlendirme açısından önemlidir.

Bölme duvarların binaya olan katkılarının yanı sıra olumsuz etkileri de olabilmektedir. Planda simetri ve düzgün dağılımın sağlanmadığı durumlarda rijitlik merkezi kütle merkezine göre kayar ve yapıda burulma etkileri meydana gelir. Bunun gibi düşeyde süreksizlik olması halinde, özellikle zemin katlarda dükkan vb. sebeplerle duvarı olmayan binalarda ani rijitlik değişimi ile yer değiştirme ve kesit zorlarında beklenmeyen artışlar meydana gelmektedir. Ayrıca kısmi dolgulu bölme duvara sahip çerçevelerde sıkça rastlanan kısa kolon davranışı gözlenmektedir. Özellikle prizma dayanımı yüksek tuğla malzeme ile örülen duvarlarda bant pencere gibi çerçeveler boyunca devam eden açıklıklar kolonlarda kesme hasarına neden olmaktadır.

Geçmişten günümüze, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılarda sistemin davranışına olan etkisi ihmal edilen bölme duvarlar, özellikle yüksek başlangıç rijitliği ile yatay kuvvetler altında sistemin davranışını etkilemektedir. Gerek mevcut yapıların değerlendirilmesinde, gerekse yeni tasarımlarda bölme duvarların etkisini göz önünde bulundurarak beklenmeyen düzensizlik etkilerinin önüne geçer, elimizdeki bu potansiyeli değerlendirerek özellikle mevcut yapıların güçlendirmesinde ekonomik çözümler elde edebiliriz.

KAYNAKLAR

- DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.*
- Celep, Z.** Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Çözümleme, *İhlas Matbaacılık, 2008.*
- Celep, Z., Kumbasar, N.** Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 2004.
- Celep, Z., Gençoğlu M.** 2003, Deprem Etkisindeki Betonarme Çerçeve Taşıyıcı Sistem Davranışına Bölme Duvarların Etkisi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.*
- El-Dakhakhni W., Hamid, A., Elgaaly, M.** 2004, Strength and Stiffness Prediction of Masonry Infill Panels, *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B. C. Canada.*
- Bell, D. K., Davidson, B. J.** 2001, Evaluation of Earthquake Risk Buildings with Masonry Infill Panels, *NZSEE Conference.*
- Ghassan Al-Chaar**, 2002 Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures, *ERDC/CERL TR-02-1, US Army Corps of Engineers, USA.*
- Diptesh Das, C.V.R. Murty**, 2004 Brick Masonry Infills in Seismic Design of RC Framed Buildings, *The Indian Concrete Journal.*
- Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai, M. EERI, Sudhir K. Jain**, 2006 Code Approaches to Seismic Design of Masonry Infilled RC Frames, *Earthquake Spectra, volume 22, No. 4*
- Hasgür, Z., Taşkın, B.** 2007 Betonarme Binaların Depreme Karşı Nicelik Gösteriminde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.*
- Kaltakçı, M. Y., Arslan M. H.**, 2005, Taşıyıcı Olmayan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranış Katsayısına Olan Etkisinin İncelenmesi, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli.*
- Akkuzu, A. V.** 2007, Betonarme Çerçeveli Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altındaki Dinamik Davranışının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi , İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*

FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C., USA.*

Euro Code 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, *European Committee for Standardization.*

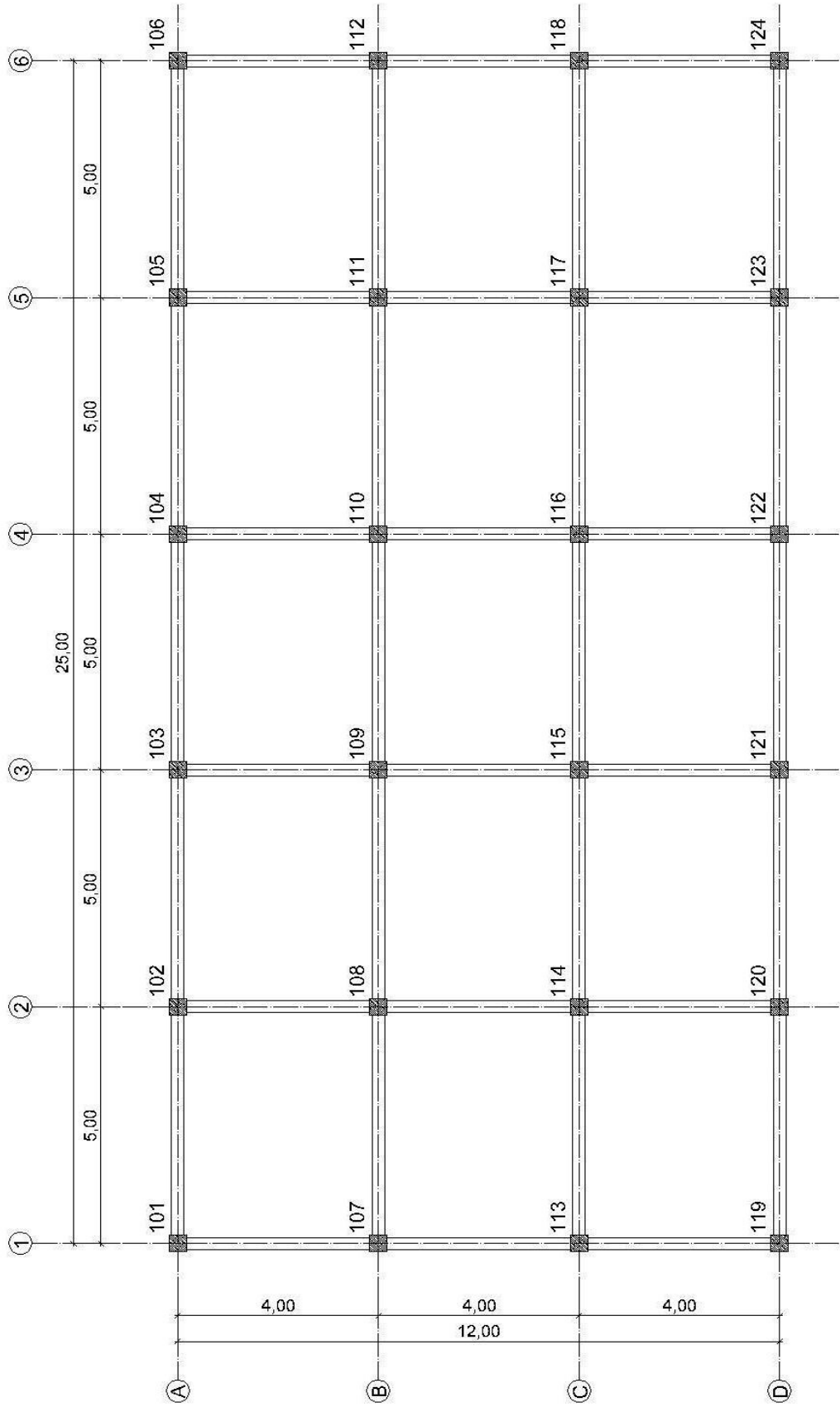
SAP 2000, Structural Analysis Program 2000, *Computers and Structures, Inc. Berkeley CA.*

XTRACT, Cross Section Analysis Program for Structural Engineers, *Imbsen Software Systems.*

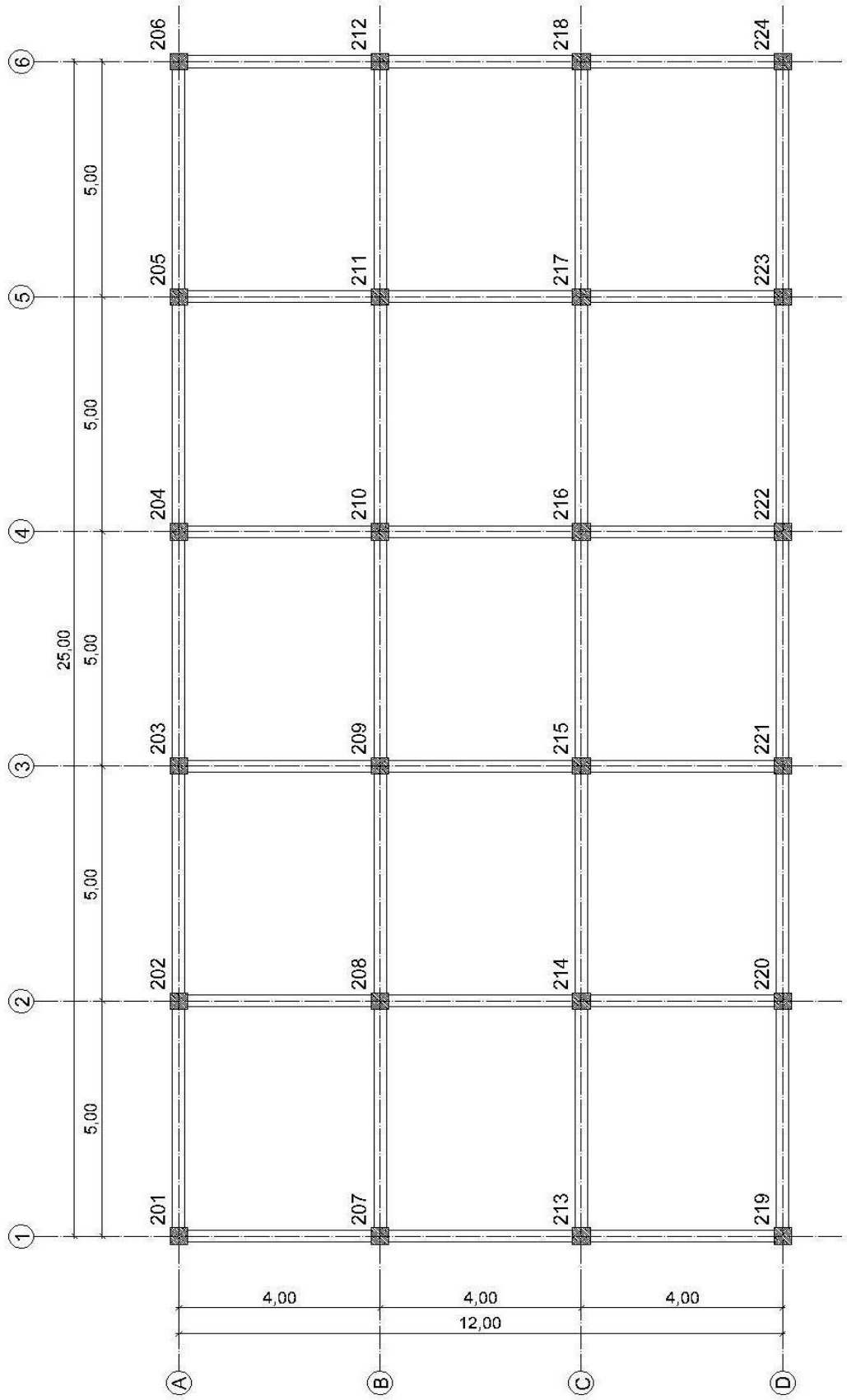
EK-A1

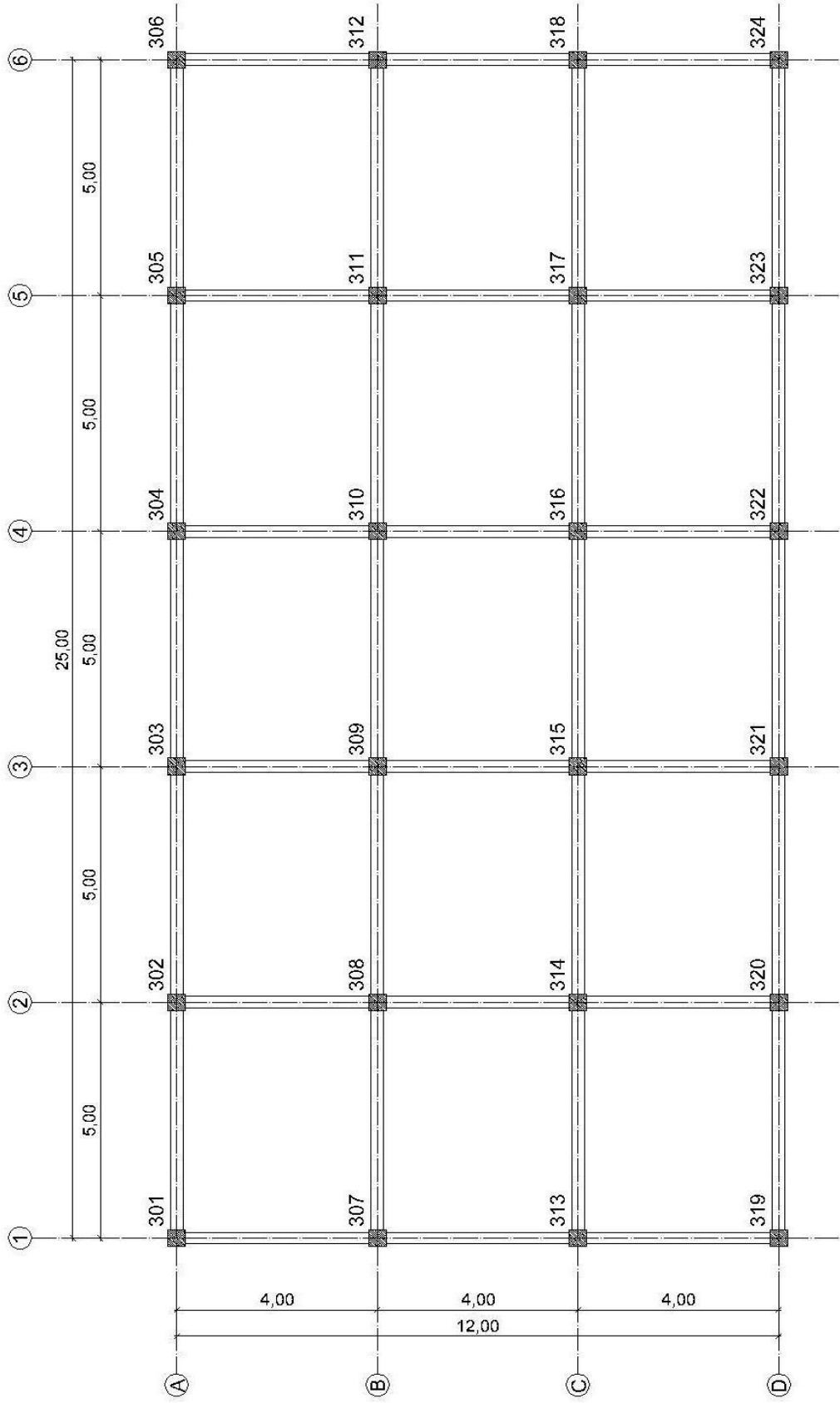
BÖLME DUVARLI VE DUVARSIZ MODELLER İÇİN DÜŞEY

TAŞIYICI ELEMAN NUMARALARI



Şekil A1.1 : 1. Kat planı.





EK-A2

DÜŞEY TAŞIYICI ELEMANLARDA

EĞRİLİK VE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME DEĞERLERİ

Çizelge A2.1 : Model 1, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (radyan) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (1/m) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (1/m) $\phi_y \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$
101	16,062	71,38	5,75	77,13
102	9,838	43,72	5,37	49,09
103	22,144	98,42	5,04	103,46
104	22,102	98,23	5,04	103,27
105	19,612	87,16	5,17	92,33
106	8,526	37,89	5,69	43,58
107	14,183	63,35	5,92	69,27
108	12,687	56,39	5,50	61,89
109	21,062	93,61	5,21	98,82
110	14,963	66,52	5,19	71,71
111	16,851	74,89	5,26	80,15
112	12,925	57,44	5,72	63,16
113	14,183	63,35	5,92	69,27
114	12,687	56,39	5,50	61,89
115	21,062	93,61	5,21	98,82
116	14,963	66,52	5,19	71,71
117	16,851	74,89	5,26	80,15
118	12,925	57,44	5,72	63,16
119	16,062	71,38	5,75	77,13
120	9,838	43,72	5,37	49,09
121	22,144	98,42	5,04	103,46
122	22,102	98,23	5,04	103,27
123	19,612	87,16	5,17	92,33
124	8,526	37,89	5,69	43,58

Çizelge A2.2 : Model 1, 1. Kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	$N [kN]$	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\epsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\epsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\epsilon_s \times 10^{-3}$	
101	77,13	920,16	13,37	10,01	19,12	>GÇ
102	49,09	760,36	6,92	5,52	12,71	>MN
103	103,46	616,20	14,43	11,21	28,07	>GÇ
104	103,27	620,41	14,59	11,37	27,91	>GÇ
105	92,33	670,99	13,61	10,78	23,68	>GÇ
106	43,58	895,61	7,24	5,86	11,02	>MN
107	69,27	986,23	11,44	9,37	15,78	>GÇ
108	61,89	817,11	9,39	7,53	15,03	>GV
109	98,82	738,76	14,77	11,74	25,21	>GÇ
110	71,71	692,62	10,16	8,00	17,87	>GV
111	80,15	717,33	12,52	9,95	21,32	>GÇ
112	63,16	903,13	9,43	7,63	14,30	>GV
113	69,27	986,23	11,44	9,37	15,78	>GÇ
114	61,89	817,11	9,39	7,53	15,03	>GV
115	98,82	738,76	14,77	11,74	25,21	>GÇ
116	71,71	692,62	10,16	8,00	17,87	>GV
117	80,15	717,33	12,52	9,95	21,32	>GÇ
118	63,16	903,13	9,43	7,63	14,30	>GV
119	77,13	920,16	13,37	10,01	19,12	>GÇ
120	49,09	760,36	6,92	5,52	12,71	>MN
121	103,46	616,20	14,43	11,21	28,07	>GÇ
122	103,27	620,41	14,59	11,37	27,91	>GÇ
123	92,33	670,99	13,61	10,78	23,68	>GÇ
124	43,58	895,61	7,24	5,86	11,02	>MN

Çizelge A2.3 : Model 1, 2. Kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (radyan) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (1/m) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (1/m) $\phi_v \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$
201	14,854	66,02	5,00	71,02
202	17,851	79,33	4,77	84,10
203	11,583	51,48	4,69	56,17
204	9,766	43,40	4,69	48,09
205	12,044	53,53	4,69	58,22
206	10,091	44,85	4,92	49,77
207	18,099	80,44	5,23	85,67
208	12,244	54,42	4,90	59,32
209	9,049	40,22	4,94	45,16
210	8,720	38,76	4,90	43,66
211	9,550	42,44	4,90	47,34
212	10,371	46,09	5,02	51,11
213	18,099	80,44	5,23	85,67
214	12,244	54,42	4,90	59,32
215	9,049	40,22	4,94	45,16
216	8,720	38,76	4,90	43,66
217	9,550	42,44	4,90	47,34
218	10,371	46,09	5,02	51,11
219	14,854	66,02	5,00	71,02
220	17,851	79,33	4,77	84,10
221	11,583	51,48	4,69	56,17
222	9,766	43,40	4,69	48,09
223	12,044	53,53	4,69	58,22
224	10,091	44,85	4,92	49,77

Çizelge A2.4 : Model 1, 2. Kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\varepsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_s \times 10^{-3}$	
201	71,02	599,81	9,68	7,42	20,10	>GV
202	84,1	494,42	10,53	7,85	24,66	>GV
203	56,17	461,23	6,82	5,01	16,82	>MN
204	48,09	461,32	5,59	4,10	14,06	>MN
205	58,22	461,44	6,81	5,20	16,82	>MN
206	49,77	562,31	5,99	4,55	12,91	>MN
207	85,67	700,17	12,46	9,88	21,46	>GÇ
208	59,32	551,62	8,35	6,33	18,27	>GV
209	45,16	570,26	5,95	4,54	12,67	>MN
210	43,66	558,29	5,97	4,54	12,92	>MN
211	47,34	564,86	7,16	5,44	15,49	>MN
212	51,11	606,06	6,58	5,05	13,53	>MN
213	85,67	700,17	12,46	9,88	21,46	>GÇ
214	59,32	551,62	8,35	6,33	18,27	>GV
215	45,16	570,26	5,95	4,54	12,67	>MN
216	43,66	558,29	5,97	4,54	12,92	>MN
217	47,34	564,86	7,16	5,44	15,49	>MN
218	51,11	606,06	6,58	5,05	13,53	>MN
219	71,02	599,81	9,68	7,42	20,10	>GV
220	84,1	494,42	10,53	7,85	24,66	>GV
221	56,17	461,23	6,82	5,01	16,82	>MN
222	48,09	461,32	5,59	4,10	14,06	>MN
223	58,22	461,44	6,81	5,20	16,82	>MN
224	49,77	562,31	5,99	4,55	12,91	>MN

Çizelge A2.5 : Model 1, 3. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (<i>radyan</i>) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (<i>1/m</i>) $\phi_y \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_t \times 10^{-3}$
301	1,682	8,41	5,81	14,22
302	2,979	14,89	5,81	20,70
303	6,985	34,93	5,69	40,62
304	6,931	34,66	5,69	40,35
305	6,924	34,62	5,82	40,44
306	1,447	7,24	5,81	13,05
307	3,197	15,99	6,15	22,14
308	5,862	29,31	5,92	35,23
309	5,091	25,46	5,92	31,38
310	9,124	45,62	6,25	51,87
311	4,086	20,43	5,87	26,30
312	2,977	14,88	5,85	20,73
313	3,197	15,99	6,15	22,14
314	5,862	29,31	5,92	35,23
315	5,091	25,46	5,92	31,38
316	9,124	45,62	6,25	51,87
317	4,086	20,43	5,87	26,30
318	2,977	14,88	5,85	20,73
319	1,682	8,41	5,81	14,22
320	2,979	14,89	5,81	20,70
321	6,985	34,93	5,69	40,62
322	6,931	34,66	5,69	40,35
323	6,924	34,62	5,82	40,44
324	1,447	7,24	5,81	13,05

Çizelge A2.6 : Model 1, 3. Kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\epsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\epsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\epsilon_s \times 10^{-3}$	
301	14,22	434,28	1,40	1,05	2,61	<MN
302	20,7	429,92	2,29	1,60	5,72	<MN
303	40,62	402,36	3,57	2,16	11,94	>MN
304	40,35	404,07	3,37	2,16	11,94	>MN
305	40,44	446,58	3,76	2,44	10,74	>MN
306	13,05	434,23	1,32	1,00	2,41	<MN
307	22,14	527,66	2,48	1,83	5,02	<MN
308	35,23	468,71	3,23	2,21	8,55	<MN
309	31,38	466,54	3,05	2,08	7,96	<MN
310	51,87	558,42	6,57	5,23	9,98	>MN
311	26,3	477,13	2,29	1,59	5,54	<MN
312	20,73	452,09	2,36	1,67	5,63	<MN
313	22,14	527,66	2,48	1,83	5,02	<MN
314	35,23	468,71	3,23	2,21	8,55	<MN
315	31,38	466,54	3,05	2,08	7,96	<MN
316	51,87	558,42	6,57	5,23	9,98	>MN
317	26,3	477,13	2,29	1,59	5,54	<MN
318	20,73	452,09	2,36	1,67	5,63	<MN
319	14,22	434,28	1,40	1,05	2,61	<MN
320	20,7	429,92	2,29	1,60	5,72	<MN
321	40,62	402,36	3,57	2,16	11,94	>MN
322	40,35	404,07	3,37	2,16	11,94	>MN
323	40,44	446,58	3,76	2,44	10,74	>MN
324	13,05	434,23	1,32	1,00	2,41	<MN

Çizelge A2.7 : Model 2, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (<i>radyan</i>) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (<i>1/m</i>) $\phi_v \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_t \times 10^{-3}$
101	5,233	23,26	5,40	28,66
102	8,720	38,76	5,16	43,92
103	26,449	117,55	6,06	123,61
104	3,284	14,60	5,16	19,76
105	9,259	41,15	5,13	46,28
106	6,112	27,16	5,79	32,95
107	5,259	23,37	5,45	28,82
108	9,308	41,37	5,21	46,58
109	9,715	43,18	5,25	48,43
110	9,659	42,93	5,23	48,16
111	9,425	41,89	5,23	47,12
112	8,980	39,91	5,35	45,26
113	5,259	23,37	5,45	28,82
114	9,308	41,37	5,21	46,58
115	9,715	43,18	5,25	48,43
116	9,659	42,93	5,23	48,16
117	9,425	41,89	5,23	47,12
118	8,980	39,91	5,35	45,26
119	5,233	23,26	5,40	28,66
120	8,720	38,76	5,16	43,92
121	26,449	117,55	6,06	123,61
122	3,284	14,60	5,16	19,76
123	9,259	41,15	5,13	46,28
124	6,112	27,16	5,79	32,95

Çizelge A2.8 : Model 2, 1. Kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\varepsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_s \times 10^{-3}$	
101	28,66	772,11	4,35	3,36	8,66	>MN
102	43,92	665,32	5,56	4,33	10,66	>MN
103	123,61	1035,23	20,09	16,62	25,60	>GÇ
104	19,76	1299,34	3,82	3,22	4,13	>MN
105	46,28	656,42	6,76	6,27	12,86	>GV
106	32,95	927,53	5,14	4,18	7,55	>MN
107	28,82	788,77	4,53	3,54	8,48	>MN
108	46,58	698,14	6,83	5,38	12,22	>MN
109	48,43	715,63	6,86	5,42	12,13	>MN
110	48,16	687,31	6,82	5,37	12,21	>MN
111	47,12	708,96	6,82	5,37	12,21	>MN
112	45,26	752,84	6,97	5,33	11,94	>MN
113	28,82	788,77	4,53	3,54	8,48	>MN
114	46,58	698,14	6,83	5,38	12,22	>MN
115	48,43	715,63	6,86	5,42	12,13	>MN
116	48,16	687,31	6,82	5,37	12,21	>MN
117	47,12	708,96	6,82	5,37	12,21	>MN
118	45,26	752,84	6,97	5,33	11,94	>MN
119	28,66	772,11	4,35	3,36	8,66	>MN
120	43,92	665,32	5,56	4,33	10,66	>MN
121	123,61	1035,23	20,09	16,62	25,60	>GÇ
122	19,76	1299,34	3,82	3,22	4,13	>MN
123	46,28	656,42	6,76	6,27	12,86	>GV
124	32,95	927,53	5,14	4,18	7,55	>MN

Çizelge A2.9 : Model 2, 2-3. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (<i>radyan</i>) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (<i>1/m</i>) $\phi_y \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_t \times 10^{-3}$
201	....	....	....	....
202	3,199	14,21	4,77	18,98
203	10,690	47,51	5,88	53,39
204	9,831	39,25	5,97	45,22
205	7,728	34,35	4,77	39,12
206	....	....	....	....
219	....	....	....	....
220	3,199	14,21	4,77	18,98
221	10,690	47,51	5,88	53,39
222	9,831	39,25	5,97	45,22
223	7,728	34,35	4,77	39,12
224	....	....	....	....
301	....	....	....	....
302	....	....	....	....
303	6,810	30,27	5,04	35,31
304	8,527	37,89	5,94	43,83
305	....	....	....	....
306	....	....	....	....
319	....	....	....	....
320	....	....	....	....
321	6,810	30,27	5,04	35,31
322	8,527	37,89	5,94	43,83
323	....	....	....	....
324	....	....	....	....

Çizelge A2.10 : Model 2, 2-3. kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\varepsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_s \times 10^{-3}$	
201	....	....	....	....	....	....
202	220,98	498,22	2,01	1,49	5,62	<MN
203	256,39	962,81	9,25	8,56	13,07	>GÇ
204	249,22	1007,11	8,39	6,91	11,17	>GV
205	244,12	494,06	3,76	2,58	11,78	>MN
206	....	....	....	....	....	....
219	....	....	....	....	....	....
220	238,98	498,22	2,01	1,49	5,62	<MN
221	274,39	962,81	9,25	8,56	13,07	>GÇ
222	267,22	1007,11	8,39	6,91	11,17	>GV
223	262,12	494,06	3,76	2,58	11,78	>MN
224	....	....	....	....	....	....
301	....	....	....	....	....	....
302	....	....	....	....	....	....
303	338,31	616,37	3,89	2,85	9,72	>MN
304	347,83	996,43	7,34	6,03	9,84	>GV
305	....	....	....	....	....	....
306	....	....	....	....	....	....
319	....	....	....	....	....	....
320	....	....	....	....	....	....
321	356,31	616,37	3,89	2,85	9,72	>MN
322	365,83	996,43	7,34	6,03	9,84	>GV
323	....	....	....	....	....	....
324	....	....	....	....	....	....

Çizelge A2.11 : Model 3, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (radyan) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (1/m) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (1/m) $\phi_v \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$
101	3,969	17,64	5,31	22,95
102	5,032	22,36	5,92	28,28
103	2,777	12,34	6,01	18,35
104	5,639	25,06	5,77	30,83
105	2,921	12,98	6,09	19,07
106	7,524	33,44	5,31	38,75
107	3,882	17,25	5,31	22,56
108	7,407	32,92	5,23	38,15
109	6,781	30,14	5,23	35,37
110	7,531	33,47	5,23	38,70
111	3,831	17,03	5,23	22,26
112	7,290	32,40	5,31	37,71
113	3,882	17,25	5,31	22,56
114	7,407	32,92	5,23	38,15
115	6,781	30,14	5,23	35,37
116	7,531	33,47	5,23	38,70
117	3,831	17,03	5,23	22,26
118	7,290	32,40	5,31	37,71
119	3,969	17,64	5,31	22,95
120	5,032	22,36	5,92	28,28
121	2,777	12,34	6,01	18,35
122	5,639	25,06	5,77	30,83
123	2,921	12,98	6,09	19,07
124	7,524	33,44	5,31	38,75

Çizelge A2.12 : Model 3, 1. Kat kolonları birim şekil değıştirme değęerleri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\varepsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\varepsilon_s \times 10^{-3}$	
101	22,95	739,63	3,27	2,51	6,82	<MN
102	28,28	982,66	5,19	4,26	7,02	>MN
103	18,35	1023,78	2,99	2,45	4,24	<MN
104	30,83	921,18	5,09	4,14	7,59	>MN
105	19,07	1080,19	3,09	2,55	4,05	<MN
106	38,75	735,42	5,84	4,63	10,17	>MN
107	22,56	742,35	3,28	2,52	6,82	<MN
108	38,15	703,33	5,73	4,52	10,31	>MN
109	35,37	695,89	4,11	3,12	8,96	>MN
110	38,7	710,24	5,73	4,52	10,31	>MN
111	22,26	688,13	3,18	2,42	6,90	<MN
112	37,71	736,88	5,85	4,64	10,14	>MN
113	22,56	742,35	3,28	2,52	6,82	<MN
114	38,15	703,33	5,73	4,52	10,31	>MN
115	35,37	695,89	4,11	3,12	8,96	>MN
116	38,7	710,24	5,73	4,52	10,31	>MN
117	22,26	688,13	3,18	2,42	6,90	<MN
118	37,71	736,88	5,85	4,64	10,14	>MN
119	22,95	739,63	3,27	2,51	6,82	<MN
120	28,28	982,66	5,19	4,26	7,02	>MN
121	18,35	1023,78	2,99	2,45	4,24	<MN
122	30,83	921,18	5,09	4,14	7,59	>MN
123	19,07	1080,19	3,09	2,55	4,05	<MN
124	38,75	735,42	5,84	4,63	10,17	>MN

Çizelge A2.13 : Model 3, 2. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (radyan) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (1/m) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (1/m) $\phi_v \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$
201	....	....	....	....
202	....	....	....	....
203	1,896	8,43	5,46	13,89
204	....	....	....	....
205	1,300	5,78	5,58	11,36
206	....	....	....	....
219	....	....	....	....
220	....	....	....	....
221	1,896	8,43	5,46	13,89
222	....	....	....	....
223	1,300	5,78	5,58	11,36
224	....	....	....	....

Çizelge A2.14 : Model 3, 2. Kat kolonları için birim şekil değiştirme değerleri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	$N [kN]$	Birim Şekil Değiştirme			Hasar Durumu
			$\epsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\epsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\epsilon_s \times 10^{-3}$	
201	....	....	....	....	....	....
202	....	....	....	....	....	....
203	13,89	799,21	1,71	1,38	2,61	<MN
204	....	....	....	....	....	....
205	11,36	846,54	1,79	1,47	2,60	<MN
206	....	....	....	....	....	....
219	....	....	....	....	....	....
220	....	....	....	....	....	....
221	13,89	799,21	1,71	1,38	2,61	<MN
222	....	....	....	....	....	....
223	11,36	846,54	1,79	1,47	2,60	<MN
224	....	....	....	....	....	....

Çizelge A2.15 : Model 4, 1. kat kolonları için eğrilik değerleri.

Eleman	Plastik Dönme (<i>radyan</i>) $\theta_p \times 10^{-3}$	Plastik Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_p \times 10^{-3}$	Akma Eğriliği (<i>1/m</i>) $\phi_v \times 10^{-3}$	Toplam Eğrilik (<i>1/m</i>) $\phi_t \times 10^{-3}$
101	3,346	14,87	6,03	20,90
102	2,478	11,01	5,82	16,83
103	5,479	24,35	4,93	29,28
104	5,693	25,30	4,94	30,24
105	4,156	18,47	5,82	24,29
106	4,874	21,66	6,03	27,69
107	2,250	10,00	5,35	15,35
108	3,405	15,13	5,20	20,33
109	3,290	14,62	6,02	20,64
110	2,657	11,81	6,02	17,83
111	3,342	14,85	5,21	20,06
112	2,841	12,63	5,36	17,99
113	2,250	10,00	5,35	15,35
114	3,405	15,13	5,20	20,33
115	3,290	14,62	6,02	20,64
116	2,657	11,81	6,02	17,83
117	3,342	14,85	5,21	20,06
118	2,841	12,63	5,36	17,99
119	3,346	14,87	6,03	20,90
120	2,478	11,01	5,82	16,83
121	5,479	24,35	4,93	29,28
122	5,693	25,30	4,94	30,24
123	4,156	18,47	5,82	24,29
124	4,874	21,66	6,03	27,69

Çizelge A2.16 : Model 4, 1. kat kolonları için birim şekil değıştirme değeri.

Eleman	Toplam Eğrilik (1/m) $\phi_t \times 10^{-3}$	N [kN]	Birim Şekil Değıştirme			Hasar Durumu
			$\epsilon_{cu} \times 10^{-3}$	$\epsilon_{cg} \times 10^{-3}$	$\epsilon_s \times 10^{-3}$	
101	20,9	1031,17	3,00	2,45	4,18	<MN
102	16,83	947,28	2,86	2,31	4,41	<MN
103	29,28	574,33	3,09	2,24	1,66	<MN
104	30,24	561,11	3,09	2,24	1,66	<MN
105	24,29	942,01	3,78	3,02	6,17	>MN
106	27,69	1038,77	3,82	3,10	5,75	>MN
107	15,35	755,64	2,45	1,91	4,71	<MN
108	20,33	686,39	2,81	1,97	8,31	<MN
109	20,64	1025,54	3,83	3,09	5,82	>MN
110	17,83	1021,66	2,99	2,45	4,20	<MN
111	20,06	690,98	2,79	1,93	8,26	<MN
112	17,99	756,44	2,58	2,02	4,35	<MN
113	15,35	755,64	2,45	1,91	4,71	<MN
114	20,33	686,39	2,81	1,97	8,31	<MN
115	20,64	1025,54	3,83	3,09	5,82	>MN
116	17,83	1021,66	2,99	2,45	4,20	<MN
117	20,06	690,98	2,79	1,93	8,26	<MN
118	17,99	756,44	2,58	2,02	4,35	<MN
119	20,9	1031,17	3,00	2,45	4,18	<MN
120	16,83	947,28	2,86	2,31	4,41	<MN
121	29,28	574,33	3,09	2,24	1,66	<MN
122	30,24	561,11	3,09	2,24	1,66	<MN
123	24,29	942,01	3,78	3,02	6,17	>MN
124	27,69	1038,77	3,82	3,10	5,75	>MN

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz SUAK 1984 yılında İstanbul’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Mustafa Necati İlkokulu, Çavuşoğlu Koleji ve Pertevniyal Lisesi’nde tamamladıktan sonra, 2002 yılında Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmiştir. 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği yüksek lisans programına başlamıştır.