

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK YAPILARDA BETONARME PERDE DUVARLARIN KESME
DAVRANIŞI ÜZERİNE PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali İhsan ÖZCAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ

NİSAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK YAPILARDA BETONARME PERDE DUVARLARIN KESME
DAVRANIŞI ÜZERİNE PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali İhsan ÖZCAN

501121002

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ

NİSAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501121002** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali İhsan ÖZCAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“YÜKSEK YAPILARDA BETONARME PERDE DUVARLARIN KESME DAVRANIŞI ÜZERİNE PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Vail KARAKALE
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Nisan 2015**

Savunma Tarihi : **2 Haziran 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübesini esirgemeyen, bu yüksek lisans tezi vasıtasıyla mesleğe bakış açımı değiştiren ve sürekli daha iyi bir çalışma ortaya çıkarabilmek için gerekli motivasyonu sağlayan sayın Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu güne kadar her daim maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen sevgili aileme; bu tez çalışması boyunca her türlü yardımı sağlayan değerli meslektaşlarım Emre Erdemli ve Ramazan Ayazoğlu'na; teşviki ve yardımlarıyla her zaman yanımda olan Gizem Özer'e teşekkür ederim.

Nisan 2014

Ali İhsan ÖZCAN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve İzlenen Yöntem	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1 Betonarme Elemanlarda Kesme Direnci	5
2.2 Perde Duvarlarda Kesme Güç Tükenmesi Mekanizmaları	8
2.2.1 Eğik çekme güç tükenmesi mekanizması	9
2.2.2 Eğik basınç güç tükenmesi mekanizması.....	10
2.2.3 Perde tabanında kayma güç tükenmesi	11
2.3 Eğilme Şekil Değiştirmesi ile Kesme Kapasitesi Etkileşimi	12
3. ÖRNEK YAPI VE ORJİNAL YAPI PERFORMANSI	17
3.1 Örnek Yapı Özellikleri	17
3.2 Depremsellik	18
3.3 Orjinal Yapı Deprem Performansı	21
4. BETONARME PERDE DUVAR KALINLIĞININ KESME DAVRANIŞI VE TASARIMINA OLAN ETKİSİ	25
4.1 Kontrol Modellerinin Oluşturulması.....	25
4.2 Modal Özellikler ve Deprem Yükleri.....	27
4.3 Analiz Sonuçları	28
4.3.1 Perde duvarlarda eksenel yük oranları	29
4.3.2 Tepe yer değiştirmeleri	30
4.3.3 Taban kesme kuvvetleri	31
4.3.4 Kesme tasarımı.....	33
4.3.5 Kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri	33
4.3.6 Görelî kat ötelemeleri.....	35
4.4 Genel Değerlendirme	35
5. KESME DONATISININ ETKİSİ.....	37
5.1 Kontrol Modellerinin Oluşturulması.....	37
5.2 Doğrusal Olmayan Modellerin Oluşturulması	38
5.2.1 Çubuk elemanlarda elastik ötesi davranış modelleri.....	38
5.2.1.1 Betonarme çevre kirişleri	38
5.2.1.2 Çelik bağ kirişleri	39
5.2.1.3 Kompozit kolonlar	40
5.2.2 Perde duvar doğrusal olmayan davranış modeli	40
5.2.2.1 Malzeme modelleri.....	40
5.2.2.2 Perde duvarlarda doğrusal olmayan eğilme davranış modeli	44
5.2.2.3 Perde duvarlarda doğrusal olmayan kesme davranış modeli	48
5.3 Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirilmesi.....	53

5.4 Analiz Sonuçları	56
5.4.1 Taban kesme kuvvetleri	56
5.4.2 Göreli kat ötelemeleri	57
5.4.3 Kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri	59
5.4.4 Bağ kirişi plastik dönmeleri	62
5.4.5 Perde duvarlarda eğilme şekil değiştirmeleri	64
5.4.6 Perde duvar kayma şekil değiştirmeleri	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ASCE	: American Society of Civil Engineering
ACI	: American Concrete Institute
A_{sh}	: Betonarme perde duvarlarda kesme donatısı
A_{cv}	: Perde duvarında brüt kesit alanı
b	: Kesit genişliği
d	: Kesit uzunluğu
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EERC	: Earthquake Engineering Research Center
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
f_c	: Beton karakteristik dayanımı
f_y	: Donatı karakteristik dayanımı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
G_g	: Brüt kesit kayma rijitliği
G_{cr}	: Çatlamış kesit kayma rijitliği
h	: Kesit yüksekliği
İYBDY	: İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
LATBSDC	: Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council
MN	: Minimum Hasar Sınırı
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Q	: ASCE 41-13 kesme kuvveti
Q_{cr}	: ASCE 41-13 çatlama durumunda kesme dayanımı
Q_y	: ASCE 41-13 akma durumunda kesme dayanımı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
S_{MS}	: Kısa periyotlu spektral ivme
S_{M1}	: 1 sn periyotlu spektral ivme
T	: Yapı periyodu
T_O	: Spektrum köşe periyodu
T_S	: Spektrum köşe periyodu
T_L	: Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu
UCSD	: University of California, San Diego
V_{cz}	: Basınç bölgesinde beton kesme direnci
V_s	: Kesme donatısı kesme direnci
V_i	: Çatlak yüzeyinde sürtünme ve agrega kilitlenmesi ile oluşan kesme direnci
V_{do}	: Boyuna donatılarda makaslama etkisiyle oluşan kesme direnci
V_A	: Betonarme kesit toplam kesme direnci
V_{in}	: Betonarme kesit başlangıç kesme direnci
V_{re}	: Betonarme kesit kalıcı kesme direnci
V_p	: Eksenel basınç kuvvetinden dolayı kesme direnci
V_c	: Beton kesme direnci
V_d	: Betonarme kesit tasarım kesme kapasitesi
V_r	: Türk Deprem Şartnamesi'ne göre kesit tasarım kesme kapasitesi
V_{exp}	: Kesitte ortalama kesme kapasitesi

W	: Yapı sismik ağırlığı
σ_s	: Donatı eksenel gerilmesi
γ	: Kesme kapasitesi-eğilme etkileşimi katsayısı
ϵ_c	: Betonda birim kısalma
γ_{cr}	: Çatlama durumunda kayma deformasyonu
γ_y	: Akma durumunda kayma deformasyonu
γ_u	: Kopma durumunda kayma deformasyonu
Δ	: Kayma şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliğinde birim uzama-kısalma
τ_{cr}	: Çatlama durumunda kesme gerilmesi
τ_u	: Kopma durumunda kesme gerilmesi
ρ_{sh}	: Kesme donatısı oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Yapı elemanı kesitleri ve malzemesi.....	18
Çizelge 3.2 : Spektrum parametreleri	20
Çizelge 4.1 : Kontrol modellerinde duvar kalınlıkları.....	26
Çizelge 4.2 : Kontrol modellerinde taban kesme kuvvetleri ve spektrum artırma katsayıları	28
Çizelge 4.3 : Kontrol modellerin perde duvarlarında gerekli kesme donatıları	33
Çizelge 5.1 : Kontrol modellerinin özellikleri.....	37
Çizelge 5.2 : Betonarme kesitler için performans seviyeleri (DBYBHY, 2007)	48
Çizelge 5.3 : ASCE 41-13 kesme modelinde kullanılan değişkenler.....	50
Çizelge 5.4 : $1.00A_{sh}$ modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları	52
Çizelge 5.5 : Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri.....	55
Çizelge C.1 : $1.25A_{sh}$ modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları	83
Çizelge C.2 : $0.75A_{sh}$ modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları	84
Çizelge C.3 : $0.50A_{sh}$ modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları	85
Çizelge C.4 : $0.25A_{sh}$ modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Betonarme kesitte kesme direnci (Nilson, Darwin ve Nolan, 2009).....	5
Şekil 2.2 : Betonarme kesitte kesme direncinin oluşumu (Nilson, Darwin ve Nolan, 2009).	7
Şekil 2.3 : FEMA 356 Kesme modeli ve betonarme kesit kesme davranışı (Gerin ve Adebar, 2004).....	8
Şekil 2.4 : Betonarme duvarlarda eğik çekme güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Syngé, 1979).	9
Şekil 2.5 : Betonarme duvarlarda eğik basınç güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Syngé, 1979).	11
Şekil 2.6 : Betonarme duvarlarda kayma güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Syngé, 1979).	11
Şekil 2.7 : Betonarme elemanlarda güç tükenmesi durumları.....	14
Şekil 2.8 : UCSD modelinde eğilme sünekliği- γ faktörü ilişkisi (Kowalsky ve Priestley, 2000).	15
Şekil 2.9 : Eğilme şekil değiştirmesi ile kesme kapasitesi düşüş modelleri.....	16
Şekil 3.1 : Örnek yapı planı ve görünüşü.	17
Şekil 3.2 : (a) Betonarme çevre kiriş kesiti (b) Çelik bağ kiriş kesiti (c) Kompozit kolon kesiti.	18
Şekil 3.3 : İYBDY(2008) Tasarım ivme spektrumu.....	19
Şekil 3.4 : Kullanılan ivme spektrumları.....	20
Şekil 3.5 : X-Doğrultusu görelî kat ötelemeleri (Erdemli, 2014).....	21
Şekil 3.6 : Y-Doğrultusu görelî kat ötelemeleri (Erdemli 2014).....	22
Şekil 3.7 : Perde duvarda (a) Donatılarda birim uzama (b) Betonda birim kısalma (Erdemli, 2014).	23
Şekil 3.8 : 4 Aksı çelik bağ kirişleri plastik dönme değerleri (Erdemli, 2014).	24
Şekil 3.9 : 2 Aksı çelik bağ kirişleri plastik dönme değerleri (Erdemli, 2014).	24
Şekil 4.1 : Kontrol modellerinde duvar kalınlıkları.....	26
Şekil 4.2 : Kontrol modellerinin periyotları.	27
Şekil 4.3 : Kontrol modellerinde ilk periyotlara denk gelen spektral ivmeler.	28
Şekil 4.4 : Kontrol modellerinde perde duvarlarda eksenel kuvvet oranları.	29
Şekil 4.5 : Duvar kalınlığı ile eksenel kuvvet oranlarının değişimi.	30
Şekil 4.6 : Kontrol modellerinde Y-doğrultusunda tepe deplasman değerleri.	30
Şekil 4.7 : Duvar kalınlığı ile tepe deplasman değerlerinin değişimi.....	31
Şekil 4.8 : Kontrol modellerinde Y-doğrultusunda taban kesme kuvvetleri.	31
Şekil 4.9 : Duvar kalınlığı ile Y-doğrultusunda taban kesme kuvvetlerinin değişimi.	32
Şekil 4.10 : Duvar kalınlığı ile kesme kuvveti ve ortalama kesme gerilmesi değişimi.	33
Şekil 4.11 : (a) X-doğrultusu kat kesme kuvvetleri (b) Y-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.....	34
Şekil 4.12 : (a) Y-ekseni etrafında devrilme momentleri (b) X-ekseni etrafında devrilme momenti	34
Şekil 4.13 : (a) X doğrultusu görelî kat ötelemeleri (b) Y-doğrultusu görelî kat ötelemeleri.	35
Şekil 5.1 : Tipik doğrusal olmayan kiriş modeli.	38

Şekil 5.2 : Moment-eğrilik analizi ve idealleştirilmiş model.....	39
Şekil 5.3 : Çelik bağ kirişi doğrusal olmayan davranış modeli.	39
Şekil 5.4 : Kompozit kiriş P-M-M mafsallık özellikleri.	40
Şekil 5.5 : Sargılanmamış beton modeli.	41
Şekil 5.6 : Sargılanmış beton modeli.	42
Şekil 5.7 : Sargılanmış betonun çevrimsel yükleme modeli.....	42
Şekil 5.8 : Donatı malzeme modeli.....	43
Şekil 5.9 : Donatı çevrimsel yükleme modeli.....	43
Şekil 5.10 : Çevrimsel bozulma katsayıları ile donatı çevrimsel yükleme modeli....	44
Şekil 5.11 : Fiber model(Taucer, Spacone ve Filippou, 1991).	45
Şekil 5.12 : Perde duvarlarda fiber model.	46
Şekil 5.13 : Örnek yapıda perde duvarların fiber kesit düzeni.	47
Şekil 5.14 : Perde duvarlarda gömülü kiriş elemanlar.	47
Şekil 5.15 : Betonarme kesitlerde kayma rijitliği.	48
Şekil 5.16 : Tipik doğrusal olmayan kesme davranışı modeli (ASCE 41-13).....	49
Şekil 5.17 : Perde duvarlarda doğrusal olmayan kesme modeli.	51
Şekil 5.18 : Kontrol modellerinde 16 m uzunluğundaki duvar için örnek doğrusal olmayan kesme modelleri.	51
Şekil 5.19 : Örnek bir deprem kaydı.	54
Şekil 5.20 : Örnek bir deprem kaydı ölçeklendirmesi.	55
Şekil 5.21 : X-doğrultusu taban kesme kuvvetleri.....	56
Şekil 5.22 : Y-doğrultusu taban kesme kuvvetleri.....	57
Şekil 5.23 : X-doğrultusu görelî kat ötelemeleri. Şekil 5.24 : Y-doğrultusu görelî kat ötelemeleri.	58
Şekil 5.25 : X-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.	60
Şekil 5.26 : Y-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.	60
Şekil 5.27 : Y-ekseni etrafında devrilme momentleri.....	61
Şekil 5.28 : X-ekseni etrafında devrilme momentleri.....	61
Şekil 5.29 : 4 aksında bağ kirişi plastik dönme değerleri.	63
Şekil 5.30 : 2 aksı bağ kirişi plastik dönme değerleri.....	63
Şekil 5.31 : 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlarda eğrilik değerleri.....	65
Şekil 5.32 : 16 m uzunluğundaki perde duvarlarda eğrilik değerleri.....	65
Şekil 5.33 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.....	66
Şekil 5.34 : 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlarda kayma şekil değiştirme değerleri.....	67
Şekil 5.35 : 16 m uzunluğundaki perde duvarlarda kayma şekil değiştirme değerleri.....	68
Şekil 5.36 : 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları.	69
Şekil 5.37 : 16 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları.	70
Şekil D.1 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	87
Şekil D.2 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	88
Şekil D.3 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	89
Şekil D.4 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	90
Şekil D.5 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	91
Şekil D.6 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	92
Şekil D.7 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.	93

YÜKSEK YAPILARDA BETONARME PERDE DUVARLARIN KESME DAVRANIŞI ÜZERİNE PARAMETRİK BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Son yüzyılda, nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde talep ve yatırımın artması ve teknolojinin ilerlemesiyle yüksek yapıların sayısı artmıştır. Aynı zamanda farklı ihtiyaç ve imkanlara göre yüksek yapılarda çeşitli yapısal taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur. Bu yapısal sistemlerin bir çoğunda betonarme perde duvarlar yer alır ve bu duvarlar gerekli yanal rijitliğin sağlanmasında önemli rol oynarlar. Bu nedenle yüksek yapıların maruz kalacağı yanal kuvvetler olan rüzgar ve deprem kuvvetlerine altında perde duvarların davranışı, yapı güvenliği açısından büyük önem arz eder. Teknolojinin ilerlemesi ve akademik çalışmaların birikimiyle betonarme perde duvarların davranışını anlamada ve modellemede önemli ilerlemeler yaşanmıştır. Fakat pratik mühendislikte betonarme perde duvar tasarımında halen bazı zorluklar mevcuttur. Betonarme perde duvar davranışı eksenel yük, eğilme ve kesme davranışı ve bu davranışlar arasındaki etkileşim olarak ifade edilecek olursa, özellikle perde duvarların kesme davranışı eğilme ve eksenel yük davranışına nazaran daha karmaşık bir davranıştır ve modellenmesinde zorluklar mevcuttur.

Betonarme perde duvarların kesme tasarımını ve güvenliğini, perde duvar kalınlığı ve kesme donatısı olmak üzere iki değişkenin belirlediği düşünülmektedir. Bu çalışmada iki bölüm halinde, farklı kontrol modelleri oluşturularak bu iki değişkenin etkileri irdelenmiştir. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Türkiye’de tasarlanmış ve yapılmış 43 katlı bir ofis binası kullanılmıştır.

Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin içerikleri şu şekilde özetlenebilir:

Birinci bölümde tezin amacı, kapsamı ve kullanılan yöntem açıklanmıştır.

İkinci bölümde betonarme perde duvarların davranışı hakkında bilgiler verilerek, ilgili konuda geçmiş bilimsel çalışmalar derlenerek özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde bu tez kapsamında incelenen örnek yapı tanıtılmıştır. Mevcut yapı hali hazırda İstanbul’da inşası bitmiş, kullanımda olan bir yüksek binanın basitleştirilmiş halidir. Aynı yapı başka çalışmada da kullanılmıştır ve o çalışmada yapının halihazırdaki tasarımının performansı incelenmiştir. Bu bölümde yapının halihazırdaki deprem performansı hakkında önceden yapılan diğer çalışmadan elde edilen sonuçlar özet halinde verilmiştir.

Dördüncü bölümde farklı perde duvar kalınlığının yapı genel ve kesme davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla aynı bina farklı perde duvar kalınlıkları ile modellenerek, tasarıma dair değişkenlerin nasıl etkilendiği, lineer analiz yapılarak araştırılmıştır.

Beşinci bölümde seçilen bir perde duvar kalınlığı üzerinden kesme donatısının yapı genel ve kesme davranışlarına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla betonarme perde duvarların kesme donatı miktarı değiştirilerek kontrol modelleri oluşturulmuştur. Eğilme ve kesme bakımından doğrusal olmayan modeller oluşturulup zaman tanım alanında analiz yapılarak yapı davranışının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Altıncı bölümde yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

A PARAMETRIC STUDY ON THE SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS IN TALL BUILDINGS

SUMMARY

Since the beginning of 20th century, due to the an increase in demand and advancements in the construction technology, number of tall building increased significantly. As the height of tall buildings increased, various structural systems have been proposed and used to fulfill safety and comfort requirements. Most of these structural systems used reinforced concrete shear walls for improving lateral stiffness and resistance against wind and earthquake loads. In this study, the focus is seismic behavior of reinforced concrete shear walls of tall buildings.

There are two main considerations for seismic design of reinforced concrete shear walls in tall buildings; design for flexure and shear. Flexural design is considered to be well-understood in engineering community. On the other hand, design for shear can be quite arduous due to complicated nonlinear and dynamic shear behavior of reinforced concrete shear walls. To achieve better shear design, shear behavior of reinforced concrete shear walls needs to be better understood.

In this study, the effects of two main shear design parameters on the behaviour of reinforced concrete shear walls are investigated. These parameters are wall thickness and shear reinforcement. For this purpose, a tall building designed and constructed in İstanbul, Turkey is considered as a testbed. The subject building is 163.4 m tall and has a plan area of 28 m by 34 m. Structural system of building comprises of two symmetrical C-shaped reinforced concrete core shear walls, steel coupling beams connecting them, composite perimeter columns, reinforced concrete band beams at the perimeters of the floors and 26 cm thick flat slab. The thickness of the shear walls are 70 cm between base and Level 15, 60 cm between Level 16 and Level 30 and 50 cm between Level 31 and Level 43. Original building is simplified to avoid unnecessary complexities.

In the first part of the study, the effect of the shear wall thickness on the general design and shear behavior is investigated through linear structural analysis. Two control models are established by reducing the shear wall thickness. The first model has shear wall thickness of 55 cm, 45 cm and 35 cm, while the second model has thicknesses of 40 cm, 30 cm and 30 cm. Various linear response spectrum analysis are conducted and axial force ratio to axial capacity of wall, top displacements, base shear, story drifts, required shear reinforcement and story forces are compared between original model and control models.

Results of the first part of the study reveals that thicker shear walls do not necessarily translate into better design. Thicker shear walls improve the rigidity and deflection of structure. Increased rigidity, however, increases the seismic loads on the structure significantly. Therefore, there is circular interdependency between the thickness of the shear walls and seismic loads. In overall, it can be said that there is an optimum level of shear wall thickness that results acceptable level of stiffness and seismic loads. As long as it ensures ductility and displacement demands, thinner shear walls may lead to more efficient and economic structural system.

In the second part of the study, effect of shear reinforcement in shear walls on the structural performance is investigated through nonlinear-time history analysis. In this part of the study, only the structural system with 55 cm, 45 cm and 35 cm thick shear

walls is investigated due to time limitations. Selected system is re-design per Turkish Seismic Code (DBYBHY, 2007). The resulting shear reinforcement is designated as A_{sh} . These design with shear reinforcement A_{sh} is modeled in Perform3D and considered to be the original model. In order to find out effects of shear reinforcement in shear walls, four different control models are derived from the original model by changing only the shear reinforcement ratios to %25, %50, %75 and %125 of A_{sh} .

In nonlinear model, inelastic shear model of Perform3D is used to represent nonlinear shear behavior of shear walls. Among there are two well-documented nonlinear shear model available in the literature: ASCE 41-13 and FEMA 356. In this study, ASCE 41-13 shear model with slight modification is used instead of FEMA 356 to consider cracking of walls under shear loading. In ASCE 41-13 model, cracking strength is defined as %60 of yield strength. But most of the previous studies asserted that shear cracking is expected to occur at around shear strength of concrete. Therefore, in this study, shear strength of the nonlinear shear model at cracking is determined from shear strength of concrete. Further plastic hinges for beams and columns and fiber sections for shear walls are used to model other nonlinear behavior.

In the second part of the study nonlinear-time history analysis results show that, shear behavior of the shear walls is highly affected by the aspect ratio, which can be defined as the ratio of the height of the wall to the length of the wall. It is observed that shear walls with smaller aspect ratios attract more seismic loads due to rigidity. Since the design philosophy of the Turkish Seismic Code is based on the requirement that shear walls shall not experience shear yielding, amount of reinforcement that will lead yielding is investigated for different walls. It is found that shear walls with smaller aspect ratio yield earlier than the shear walls with larger aspect ratios, i.e. larger aspect ratio walls have more reserved capacity. In spite of fact that all shear walls are designed according to same code requirements, shear walls with different aspect ratios achieve different inelastic shear deformations and demand/capacity ratios. While shear walls with aspect ratio or 25.14 remain in elastic region in shear behavior at all control model, shear walls with aspect ratio of 10.2 is already at edge of nonlinear shear deformation with original design.

Further, models with shear walls with larger shear reinforcement, produce larger seismic loads, due to loss of rigidity is less. Therefore, models with larger shear reinforcement experience larger inelastic deformations at structural elements other than shear walls while limited inelastic deformations are occurred at concrete core shear walls. Also, interstory drifts in models with larger shear reinforcement slightly increases at upper stories due to larger seismic loads; as interstory drifts increased excessively due to loss of shear stiffness because of low shear capacity from decreased shear reinforcement of shear walls.

On the other hand, interaction between flexure and shear behavior of shear walls is area of interest of this study. Eventhough a full interaction model of shear walls is not used in this study, it is investigated that whether inelastic flexural deformation effects shear capacity of shear walls. Previous studies assert that in reinforced concrete elements, increasing inelastic flexural deformations decreases the shear capacity of element. Obviously inelastic flexural deformation of shear walls in tall buildings does not affect shear capacity of walls.

As a recommendation for further research, effects of width of shear wall on seismic performance of the structure should be investigated with more width and shear reinforcement ratio options using nonlinear-time history analysis. With more results, parameters that can lead to an optimum solution can be revealed. Also relation between

aspect ratio of walls and shear yielding within the scope of design procedure of binding codes needs to be researched.

1. GİRİŞ

Son yüzyılda özellikle nüfusun yoğun olduğu yerlerde, talebin ve yatırımların artmasıyla yüksek yapıların sayısı giderek artmıştır. Yüksek yapıların dünyada genel kabul görmüş tanımı, 50 m ve üzeri yapılar şeklindedir. Bu yapılarda kullanım amacına, yerel şartlara ve maruz kaldığı dış yüklere göre çeşitli taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin birçoğunda yanal rijitliğin önemli bir bölümü betonarme perde duvarlar tarafından sağlanmaktadır. Bu yapılar, rüzgara ve bulunduğu konumda var ise deprem gibi yanal etkilere karşı belirli şartları sağlayacak şekilde tasarlanır. Yanal rijitliği sağlayan ana elemanlar olmaları nedeniyle betonarme perde duvarlar ve onların davranışı, sözkonusu yanal etkiler altında yapı güvenliğinin sağlanması açısından hayati önem arz eder.

Genel itibari ile deprem yükleri için tasarım, rüzgar yüklerine göre daha fazla zorluklar içerebilir. Bunlara örnek olarak, deprem kuvvetleri altında yapı elemanlarında bir miktar hasarın kabul edilmesi, tasarımda zorluklar doğurur. Yapı elemanlarında tercih edilebilecek hasar mekanizmalarının oluşmasını sağlayacak bir tasarım yapmak ve öngörülen hasarı belli sınırlar içinde tutmak, iyi bir davranış bilgisi ve tecrübe gerektirir.

Betonarme perde duvarların deprem yükleri için tasarımında etkili olan davranışını; eksenel, eğilme ve kesme olarak üçe ayırmak mümkün olabilir. Eksenel yükler için tasarım genelde eksenel gerilmelerin sınırlandırılması ile sağlanır. Eğilme ve kesme davranışı için tasarım, eksenel yükler için tasarıma nazaran nispeten daha zordur. Uzun yıllardır perde duvarlar üzerine yapılan akademik çalışmalar sayesinde perde duvarların dinamik etki altında hem eğilme hem de kesme davranışı hakkında önemli seviyede bilgi birikimi oluşmuştur. Özellikle betonarme perde duvarların eğilme davranışının ve tasarımının, kesme davranışına nazaran daha anlaşılır olması ve analitik modellerin oldukça verimli bir şekilde oluşturulabilmesi nedeniyle pratik mühendislikte de iyi anlaşıldığı değerlendirilmektedir. Eğilme davranışının aksine, kesme davranışının hem anlaşılması hem de modellenmesi bazı güçlükler içerir. Bu nedenle pratik mühendislikte kesme tasarımında bazı belirsizliklerin, hataların veya

eksikliklerin ortaya çıkması daha olasıdır. Özellikle lkemizde 50 m ve zerin yapıların tasarımı son 10 yılda gözle görülür şekilde artmakla beraber, bu yapılardaki perde duvarların deprem tasarımı ile ilgili tecrübe sınırlıdır. Ayrıca ciddi bir denetim mekanizmasına sahip olmayan ülkemizde paket programların hem analiz hem de tasarım için kullanılması bu yapıların gerekli mühendislik hizmeti görmesini engelleyebilmekte ve anlaşılmaması bazı durumlarda oldukça zor olan kesme davranışının tasarıma doğru bir şekilde yansıtılmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

Kesme davranışının zorluğuna ilişkin bir örnek, betonarme duvarların çevrimsel yükleme altında eğilme ekil değiştirmesi artmaya başladığında, elemanın kesme kapasitesi belirli bir oranda düşme gösterebilir. Bu düşüşün hangi hasar sınırlarında başlayıp ve sona erdiği, düşüşün miktarı ve mekanizması hakkında çeşitli görüşler mevcuttur. Elastik tesi davranış sırasında kesme kapasitesinin düşmesi nedeniyle, kesitte beklenen eğilme kapasitesinin tamamına erişilemeden bir kesme g tükenmesi yaşanabilir. Tarihdeki depremler, betonarme perde duvarlı yapılarda gevrek kesme g tükenmesi nedeni ile yapıda tümden göçme ve can kaybı durumunun yaşanmadığını ancak kesme g tükenmesinin yapıda, yapının tekrar kullanılamayacak kadar hasar görmesine neden olduğunu göstermiştir. Yüksek binalarda, yanal etkiler altında yapı davranışı doğrudan perde duvar davranışından etkilendiğinden dolayı bu elemanların kesme davranışının iyi anlaşılmaması ve davranışın tasarıma doğru yansıtılması gerekmektedir.

Betonarme perde duvarların tasarımında genel yaklaşım; duvarda oluşan aksenal yüklere göre perde duvar kalınlığının belirlenmesi eklindeyir. Süneklik şartlarının sağlanabilmesi için perde duvarlarda aksenal yükün, perde aksenal yük kapasitesine oranının belirli sınırlar içinde kalması istenir. Bu sınır çeşitli şartnamelerde farklı değerler alabilmektedir. Perde duvarların deprem kuvvetleri altında eğilme ve kesme tasarımı için ise duvar kalınlığı belirlenmiş sistemin maruz kalacağı deprem kuvveti çeşitli yöntemlerle hesaplanarak, bu kuvvete göre kesit güvenliğinin sağlanır. Kesme tasarımı ele alınacak olursa; perde duvarın maruz kaldığı kesme kuvvetine göre daha önceden belirlenen perde duvar kalınlığı üzerinden gerekli kesme donatısı hesaplanarak perde duvarın kesme güvenliği sağlanır. Perde duvarın kesme güvenliğini sağlayan iki değişkenden, perde duvar kalınlığı ve kesme donatısından; perde duvar kalınlığının belirlenmesinde genelde kesme kuvvetinin rolü yoktur. Bu

Çalışmada her iki değişkenin de, perde duvarın kesme davranışına ve tüm binanın davranışına olan etkisi araştırılacaktır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, betonarme perde duvarların kesme kapasitesinde etkili değişkenler olan perde duvar kalınlığı ve kesme donatısındaki farklılıkların perde duvar kesme ve yapı davranışlarına olan etkilerinin incelenmesi ve betonarme perde duvarların daha doğru kesme tasarımı için önerilerin geliştirilmesidir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve İzlenen Yöntem

Belirtilen amaca ulaşmak için bu çalışma kapsamında, Türkiye’de tasarlanmış ve İstanbul Levent bölgesinde inşa edilmiş ve halihazırda kullanılmakta olan 43 katlı, ana taşıyıcı sistemi çekirdek betonarme perde duvar olan yüksek bir yapı örnek bir bina olarak seçilmiştir. Seçilen yapıda iki ana parametre incelenmiştir: betonarme perde duvar kalınlıkları ve duvar kesme donatısı. Bu parametreler iki ana bölümde incelenmiştir. Bu bölümlerden önce yapının orjinal tasarımı hakkında, yapılan diğer bir çalışma kaynak gösterilerek, bilgi verilmiştir.

Betonarme perde duvar kalınlıkların yapı davranışına etkisini incelemek için kullanılan yöntemde orjinal perde duvar kalınlıkları değiştirilerek iki adet ek kontrol modelleri oluşturulmuştur. Orjinal perde duvar kalınlıkları 70 cm, 60 cm ve 50 cm’dir. Ek kontrol modellerindeki perde duvar kalınlıkları 55 cm, 45 cm, 35 cm ve 40 cm, 30 cm’dir. Her iki yapının genel davranışları(deprem kuvvetleri, kat kesme ve devrilme momentleri, yer değiştirmeler v.b.) doğrusal eşdeğer statik ve davranış spektrumu analiz yöntemi ile incelenmiştir.

Betonarme perde duvar kesme donatısının etkisi farklı oranlarda kesme donatısına sahip aynı kalınlıklardaki betonarme perde duvarlı sistemlerin kıyaslanmasıyla araştırılmıştır. rnek binanın tasarımı yapılarak, bu tasarım ana model olarak kabul edilmiştir. Ana modelden farklı oranlarda kesme donatısına sahip perde duvarlı kontrol modelleri oluşturulmuştur. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapı ve betonarme perde duvar davranışlarında değişimler gözlenmiştir. Göreli kat ötelemeleri, deprem kuvvetleri, perde duvar eğilme

performansı, bağ kirişı performansı ve perde duvarlardaki kesme davranışı üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde perde duvarların kesme davranışı üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

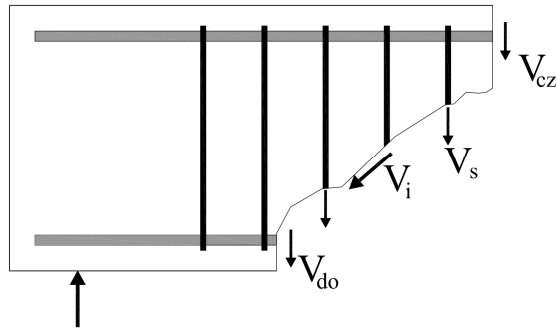
2.1 Betonarme Elemanlarda Kesme Direnci

Betonarme elemanlarda en yaygın görülen gevrek güç tükenmesi, kesme güç tükenmesidir. Kesme davranışı genelde gevrek olarak kabul edilse de, kesit kesme etkisi altında eğilmeye görece az da olsa bir süneklik değerine ulaşabilir.

Park ve Paulay'ın oluşturduğu kesme modeline göre betonarme elemanlarda kesme direnci çeşitli bileşenlerden oluşur (Park ve Paulay, 1974). Bunlar;

- Çatlak yüzeyleri boyunca agregaların kilitlenmesi,
- Boyuna donatıların makaslama etkisiyle taşıdığı kesme kuvveti,
- Beton basınç bölgesinde betonun kesme direnci,
- Basınç ve çekme çubuğu yaklaşımı ile beton ve donatının katkısı,
- Çatlamamış betonun çekme dayanımı gibi bileşenlerdir.

Betonarme elemanlarda, kesme gerilmeleri genellikle beton kesme dayanımından daha küçüktür. Dolayısıyla kesme kuvvetinden oluşabilecek güç tükenmesi durumu, doğrudan betondaki kesme gerilmelerine bağlı bir olgu değildir. Çoğunlukla ya asal çekme gerilmeleri ya da asal basınç gerilmeleri, betonarme elemanı güç tükenmesine götürür (Nilson, Darwin ve Dolan, 2009).



Şekil 2.1 : Betonarme kesitte kesme direnci (Nilson, Darwin ve Nolan, 2009).

Kesme donatısı ile donatılmış bir betonarme elemanda;

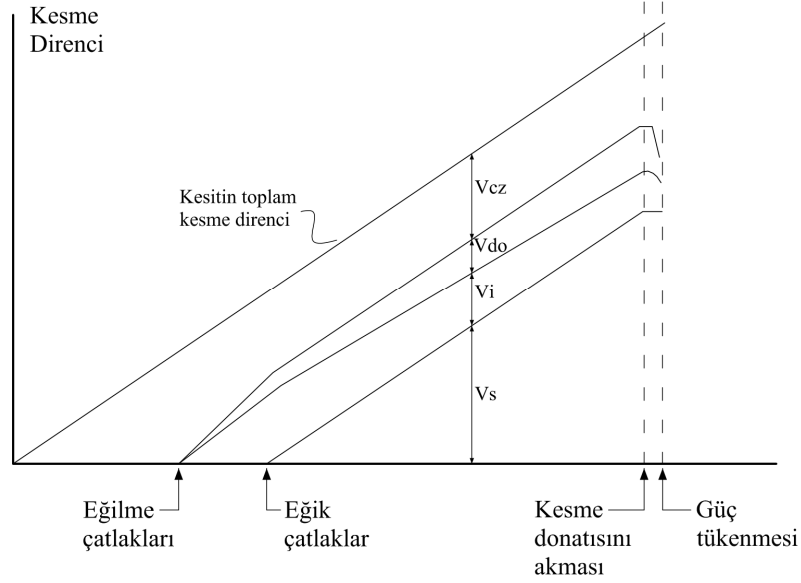
- kesme kuvvetinin bir kısmı, çatlakları kesen donatılar ile taşınır,
- kesme donatısı, çatlakların genişlemesini önler ve çatlakların beton basınç bölgesine doğru yayılmasını sınırlar, böylece kesme ve eksenel basınç taşıyabilecek çatlamamış beton korunabilir,
- kesme donatısı çatlak genişliklerinin donatılar aracılığıyla genişlemesini önler, kayda değer miktarda ve güvenilir bir sürtünme direnci elde edilmesini sağlar,
- kesme donatısı boyuna donatının beton ile ayrışmasını önler, böylece boyuna donatılarla aktarılabilecek kesme kuvvetini artırır.

Betonarme bir elemanda kesme kuvveti altında oluşan direnç mekanizmaları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Kesme donatısı, kesme etkisi altında betona elemanların çatlama durumuna gelmesine kadar etkin bir şekilde çalışmaz. Bu yüzden aynı geometrik özelliklere sahip kesme donatılı betonarme elemanlarda ve kesme donatısız betonarme elemanlarda kesme çatlaklarının oluşması aynı kesme kuvveti seviyesinde gerçekleşir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi eğilme çatlakları ile birlikte boyuna donatıların makaslama etkisi ile oluşturduğu kesme direnci, eğik çatlakların oluşumuyla birlikte ise enine donatıların kesme direnci katkı sağlamaya başlar. Şekil 2.2’de; V_{cz} basınç bölgesindeki beton kesme direnci, V_{do} boyuna donatının makaslama yoluyla oluşturduğu kesme direnci, V_i çatlak yüzeyinde sürtünme ve agrega kilitlenmesiyle oluşan kesme direnci, V_s kesme donatılarının oluşturduğu kesme direnci ve V_{int} ise kesitin toplam kesme direnci olarak tanımlanmıştır.

Her ne kadar kesme davranışı gevrek bir güç tükenmesi olarak tanımlanıp, tasarımda kaçınılmaya çalışılsa da, kesme davranışının az da olsa süneklik gösteren elastik ötesi bir evresi vardır. Perde duvarlarda doğrusal bir kesme davranışına göre tasarım yapılsa da, bu durumun zaman tanım alanında yapılacak analizler ile doğrulanması uygundur. Tasarım, doğrusal analiz ile elde edilen kuvvetlere göre doğru bir şekilde yapılsa dahi, yapıda elastik ötesi davranış göz önüne alındığında kesme kuvvetlerinin gerçek dağılımları doğrusal kabul ile elde edilen dağılımdan farklı ve daha kritik olabilir.

Daha önce yapılan çalışmalarda kesme davranışı sırasında donatıların, betonun çatlamasına kadar bölümde, kesme direncine önemli bir katkısı olmadığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak perde duvarlarda mevcut kesme donatısının, perde duvarların kesme davranışı altında çatlama noktasındaki kayma şekil değiştirmesine de bir etkisi yoktur. Ancak kesme donatısı hem akma ve kopma noktalarındaki kayma şekil

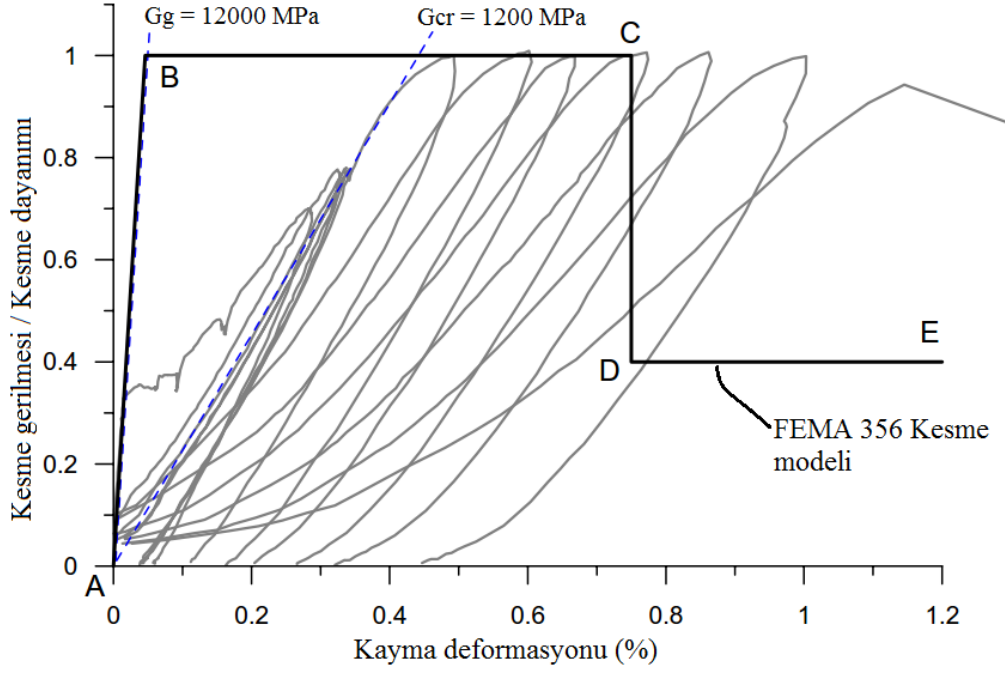
değiştirmelerinde hem de akma sonrasında sağlanacak kapasite üzerinde etkilidir (Hidalgo, Ledezma ve Jordan, 2002).



Şekil 2.2 : Betonarme kesitte kesme direncinin oluşumu (Nilson, Darwin ve Nolan, 2009).

Hemen hemen tüm şartnamelerde efektif eğilme rijitliği için, uygulandığında birbirine yakın değerler veren yaklaşımlar bulunmaktadır. Buna karşın, kayma rijitliği için genel kabul görmüş bir efektif rijitlik yaklaşımı mevcut değildir. Genellikle, brüt enkesit kayma rijitliği kullanılmaktadır. Örneğin FEMA 356'da çatlamış ve çatlamamış perde duvarlar için farklı efektif eğilme rijitlikleri verirken, her iki durumda kayma rijitliği için brüt enkesit kayma rijitliğini önerilmektedir. Buna rağmen, yapılan çalışmalar ve elde edilen çeşitli deneyimlerle, duvarlarda oluşan eğik çatlakların kayma rijitliği üzerinde etkisi olduğu anlaşılmıştır (Gerin ve Adebar, 2004). Dolayısıyla perde duvarlarda, deprem boyunca brüt enkesit kayma rijitliğinin korunması düşük bir olasılıktır.

Şekil 2.3’de bir 285 mm kalınlığında ve 1625 mm kenar uzunluğuna sahip bir kabuk elemanın deney sonucu ve FEMA 356’da o numune için öngörölmüş kesme modeli gösterilmiştir. Göröldüğü gibi betondaki çatlama öncesi iyi bir mertebe yakalanmış iken, çatlama sonrası rijitlikler ciddi seviyede birbirinden ayrılmıştır. Bu örnekte efektif kayma rijitliği, brüt en kesit kayma rijitliğinin yaklaşık onda biri olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.3 : FEMA 356 Kesme modeli ve betonarme kesit kesme davranışı
(Gerin ve Adebar, 2004).

2.2 Perde Duvarlarda Kesme Güç Tükenmesi Mekanizmaları

Kapasite tasarımı yaklaşımına göre; betonarme perde duvarların kesme tasarımı, kesme etkisinin, perde duvarın sünek eğilme davranışını etkilemeyecek ve sınırlandırmayacak şekilde yapılması gerekir. Elastik ve elastik ötesi davranışın herhangi bir evresinde kesme kapasitesinin, perde duvarın kapasitesini belirlememesi ve sınırlamaması amaçlanmalıdır.

Betonarme perde duvarlarda hem boyuna hem de enine donatılarının, miktarları ve yerleşimi kesme davranışını etkilemektedir. Kesit boyunca düzgün dağılmış donatılar çatlakların yayılmasını ve genişlemesini sınırlar; çatlak yüzeyleri arasında sürtünme yoluyla ve agregaların kilitlenmesiyle aktarılabilecek kesme kuvvetini kapasitesini artırır. Bu nedenle duvarlarda, kesit boyunca düzgün dağıtılmış bir eğilme donatısı düzeni, eğilme donatılarının başlık bölgelerinde yoğunlaştığı ve gövdede sadece az miktarda kullanıldığı düzene tercih edilebilir. Ayrıca düzgün dağıtılmış boyuna donatılar, donatıların makaslama etkisiyle aktardığı kesme kuvveti açısından da daha iyi performans gösterir.

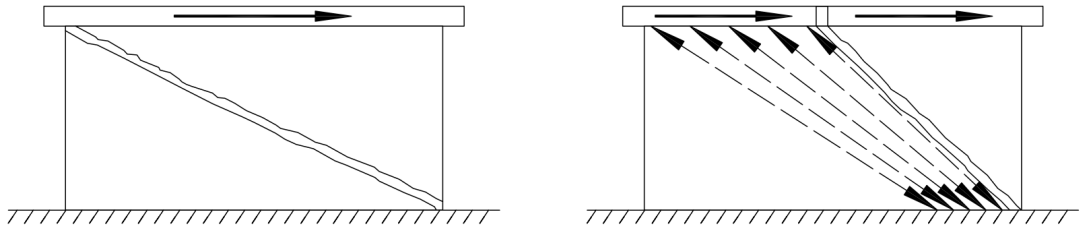
Kesme kapasitesi ile ilgili diğer bir konu, perde duvar üzerindeki aksel basınç kuvveti ile ilgilidir. Kesitteki basınç kuvvetiyle, eğilme ile oluşan basınç bölgesi

genişler ve daha fazla beton alanı, dayanımını koruyup kesme direncine katkı sağlayabilir. Derz bölgelerinde, basınç kuvveti sürtünme direnci oluşturarak kesme direncine farklı bir katkı sağlar. Basınç kuvveti kesme direncine olumlu bir etki oluştururken, çekme kuvveti de kesme direncini olumsuz etkiler.

Betonarme perde duvarlarda kesme güç tükenmesi mekanizmaları (i) eğik çekme güç tükenmesi, (ii) eğik basınç güç tükenmesi ve (iii) kayma güç tükenmesi olarak üçe ayrılabilir (Paulay, Priestley ve Synge, 1979). Kesme kapasitesi, daha önce belirtildiği gibi esas kesme gerilmeleri yerine daha çok eğik çekme veya eğik basınç gerilmelerine bağlıdır. Bu durum perde duvarların narinliğinin azalması ile daha kritik hale gelebilmektedir.

2.2.1 Eğik çekme güç tükenmesi mekanizması

Eğik çekme güç tükenmesi enine kesme donatısının yetersiz olması ile ortaya çıkan bir mekanizmadır. Duvarda oluşacak eğik çekme gerilmelerini karşılayacak miktarda donatı olmadığında, oluşan çekme gerilmelerine dik olarak duvarın bir köşesinden diğer köşesine doğru güç tükenmesi yüzeyi oluşur (Şekil 2.4). Bu yüzeyin açısı çeşitli değişkenlere bağlı olarak değişebilir. Kesme kuvveti etkisi altında duvarda bu yüzey civarında çatlaklar oluşmaya başlar. Etki arttıkça da bu çatlaklar genişler ve belirli bir ekseninde yoğunlaşmaya başlar. Belirli bir noktadan sonra beton bloklar birbirinden ayrılır ve direnç sağlayan tek bileşen olarak bu hasar yüzeyini kesen enine donatılar kalır. Perde duvar, enine donatılar kopana kadar, kesme kuvveti taşımaya devam eder. Bu nedenle eğik çekme güç tükenmesine karşı kapasiteyi kesme donatısı miktarı belirler. Kapasite tasarım yaklaşımı ile, sünek eğilme davranışı gösterecek bir duvar elde etmek için, hedeflenen eğilme kapasitesine denk gelen kesme kuvvetini taşıyabilecek miktarda kesme donatısının teşkil edilmesi gereklidir.



Şekil 2.4 : Betonarme duvarlarda eğik çekme güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Synge, 1979).

2.2.2 Eğik basınç güç tükenmesi mekanizması

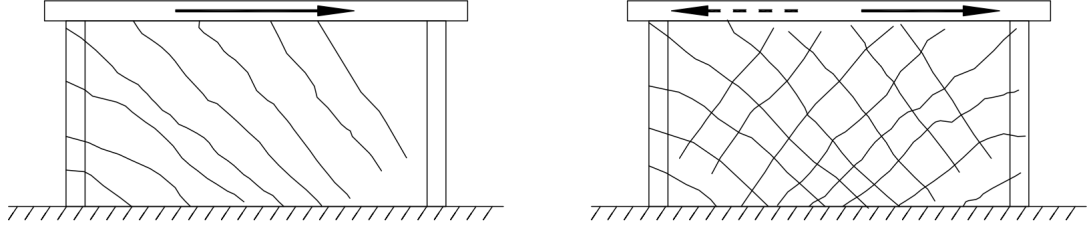
Eğik basınç güç tükenmesi büyük kesme etkisine maruz kalan ve buna karşılık yoğun bir şekilde kesme donatısı ile oluşturulmuş perde duvarlarda meydana gelebilir. Tablalı perde duvarlarda veya güçlü perde uç bölgesine sahip duvarlarda bu tip hasarlar daha kritik bir hal alabilir.

Betonarme elemanların kesme direnci açıklanırken, kafes sistem yaklaşımı yaygın olarak kullanılır. Bu yaklaşıma göre kesme kuvveti altında betonarme eleman gövdesinde sanal bir kafes sistemi olduğu ve kesme kuvvetinin bu kafes sistem elemanları ile taşındığı kabul edilir. Kafes sistem yaklaşımında kesme kuvvetine maruz kalan bir betonarme elemanda, asal çekme gerilmelerini taşımak için donatıların ve asal basınç gerilmelerini taşımak için betonun etkin olarak çalıştığı düşünülür. Dolayısıyla kesitin kesme güvenliği, yeterli miktarda kesme donatısının yanında yeterli dayanımı oluşturabilecek beton bileşeni ile sağlanabilir. Bu nedenle kesme kuvvetine karşı tasarım yapılırken sadece bu kuvvete karşılık yeterli kesme donatısı kullanmak gereken seviyede bir güvenlik sağlamaz. Betonarme elemanın kesit alanı ve beton dayanımı, kesme kuvvetinin oluşturacağı asal basınç gerilmelerini taşıyabilecek kapasitede olmaları gerekir. Kesit alanı veya beton basınç dayanımı itibarıyla bu gerilmeleri karşısında yetersiz kalacak bir tasarımda, gevrek bir güç tükenmesi olan eğik basınç güç tükenmesi meydana gelir.

Eğik basınç güç tükenmesinden kaçınmak için kesitte ortalama kesme gerilmelerinin kontrol altında tutulması gerekir, bu nedenle bazı yönetmeliklerde kesitler kesme kapasiteleri için kesit alanına bağlı bir üst sınır tanımlamıştır.

Çevrimsel deprem etkilerine maruz kalan duvarlarda eğik basınç güç tükenmeleri daha kritik bir hal alabilir. Çevrimsel yük altında, perde duvarlarda her iki yönde eğilme çatlakları oluştuğunda, betonun basınç dayanımı azalır ve eğik basınç güç tükenmesi çok daha küçük kesme kuvveti seviyelerinde meydana gelebilir. Daha ileri şekil değiştirme seviyelerinde bu çatlaklar birbirleri içerisine girer. Birbirini kesen çatlakların açılıp kapanması ile betonun basınç dayanımı önemli oranda azalır. Bu durumda, betonun ezilmesi genellikle duvar boyunca yayılır ve duvar gövdesi parçalanabilir (Şekil 2.5). Eğik basınç güç tükenmesi, önemli derecede geri döndürülemez bir dayanım ve rijitlik azalmasına neden olur. O nedenle, sünek davranışın amaçlandığı duvarlarda eğik basınç güç tükenmesinden kaçınmak zaruridir. Bunu sağlamak için duvarın eğilme kapasitesine karşılık gelen kesme gerilmesini

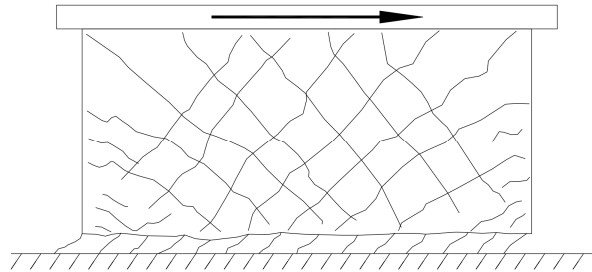
sınırlamak, yani duvar kesitinin boyutlarını buna göre belirlemek veya eksenel kuvvetlere göre belirlenen kalınlık üzerinden yapılacak kontrol, eğik basınç güç tükenmesini önlemek için yeterlidir.



Şekil 2.5 : Betonarme duvarlarda eğik basınç güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Synge, 1979).

2.2.3 Perde tabanında kayma güç tükenmesi

Betonarme perde duvarlarda kayma güç tükenmesi de plastik ötesi eğilme davranışı ile etkileşim halindedir. Çevrimsel yük altında, birkaç yük çevrimi ardından eğilme donatısında önemli akma seviyelerine ulaşıldığı gözlenebilir. Bununla birlikte eğilme çatlakları da açılmaya başlamıştır ve perde tabanında, perde eksenine dik, zayıf bir yüzey oluşmaya başlamıştır (Şekil 2.6). Bu zayıflayan yüzeyin, perde üzerindeki kesme kuvvetini temele aktarmasında sorunlar çıkabilir. Perde duvar bu yüzey üzerinde blok olarak kaymaya çalışır ve yüzeyde kayma şekil değiştirmeleri meydana gelebilir. Bu tür güç tükenmesi durumu özellikle düşük eksenel kuvvet seviyelerinde kritiktir ve ciddi rijitlik kayıplarına neden olabilir. Böyle duvarlarda bu yüzeyi dik kesen boyuna donatıların makaslama ile yukarıdaki kesme kuvvetini temele aktarması beklenir. Ayrıca duvar üzerindeki eksenel yük yardımıyla perde ile temel arasındaki yüzeyde bir sürtünme direnci oluşur ve kesme kuvvetlerinin aktarılmasına yardımcı olunur.



Şekil 2.6 : Betonarme duvarlarda kayma güç tükenmesi (Paulay, Priestley ve Synge, 1979).

2.3 Eğilme Şekil Değiştirmesi ile Kesme Kapasitesi Etkileşimi

Betonarme elemanlarda güç tükenmesi mekanizmaları birçok deneyler ve saha gözlemleri yapılarak anlaşılmaya çalışılmıştır. Portland Çimento Birliği ve Ulusal Bilim Kuruluşu destekleriyle Oosterle ve diğerleri, perde duvarların sismik davranışını araştırmak için deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır (Oosterle ve diğerleri, 1976). Bu testler ile perde duvarların sünekliği ve elastik ötesi kuvvet-şekil değiştirme davranışları irdelenmiştir. Bu deneysel çalışmaların sonuçlarından bazıları;

- duvarların gözlemlenen kuvvet-şekil değiştirme davranışlarının kirişlerle benzer olduğu,
- perde duvarların, çevrimsel yük altında önemli derecede şekil değiştirme kapasiteleri olduğu ve şekil değiştirme kapasitelerinin kesitteki ortalama kesme gerilmesinin artması ile azaldığı,
- yüksek kesme gerilmesine maruz kalan numunelerin, gövde parçalanması ile göçmeye ulaştığı ve $0.10 f_c$ eksenel basınç gerilmesine maruz kesitlerde gövde dağılması öncesi sünekliğin arttığı,
- ayrıca enine donatı miktarında kayda değer bir artışın, süneklik üzerine sadece küçük bir etkisinin olduğudur(Oosterle ve diğerleri,1980).

Bu bölümde incelenecek mekanizmaya, artan kesme gerilmeleri ile perde duvarlardaki eğilme şekil değiştirmesi kapasitesinin azalması ile ilgilidir. Kesitteki ortalama kesme gerilmesinin artmasıyla, şekil değiştirme kapasitesinin artması ters yönde de yorumlanabilir. Bir başka deyişle sismik etki altında kesit eğilme şekil değiştirmesi artmaya devam ederken, kesitin taşıyabileceği kesme gerilmesi düşer. Yani betonarme elemanda hasar ilerledikçe kesme kuvveti taşıma kapasitesi azalır. Bu davranış da kapasite tasarımı felsefesiyle beklenen sünek davranışın tamamlanmasına yol açabilir.

Plastik mafsallardaki kayma şekil değiştirmesi, eğilme rijitliği ile etkileşim halindedir. Deney sonuçlarına göre, hem eğilme rijitliği hem de kayma rijitliği tüm numunelerde eğilme donatısını akmasıyla önemli derecede düşmüştür. Kesme akma davranışı, enine donatıların akmasıyla birlikte meydana gelmek zorunda değildir(Moehle ve diğerleri, 1980).

Applied Technology Council, 1983’de mevcut otoyol köprülerinin güçlendirilmesi için bir talimatname hazırlanmıştır. Bu dökümanda, kolonların kesme kapasitesine

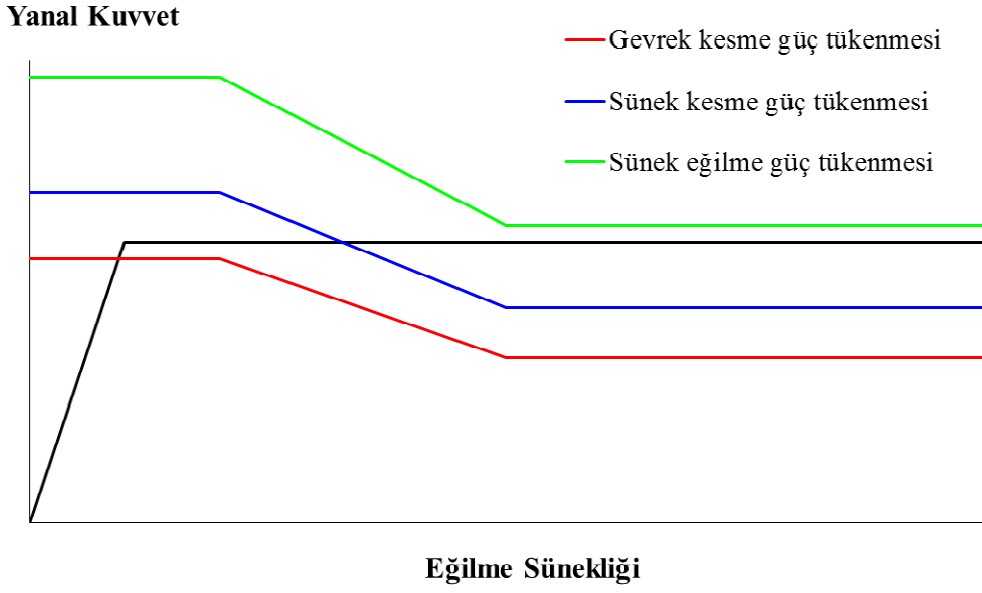
betonun katkısının, plastik şekil değiştirmesinin artmasıyla azalacağını öneren bir model sunulmuştur. Süneklik derecesi 2’den küçük iken bir başlangıç kesme kapasitesi belirlenmiştir. Süneklik derecesi 5’i geçtiğinde ise elemanda kalıcı sabit bir kesme kapasitesi önerilmiştir. Süneklik derecesi 2 ile 5 arasında ise kesme kapasitesi de doğrusal değişmektedir (UCB/EERC-92/04).

Deprem etkisi altında kesme kapasitesinin düşmesi, basit bir şekilde yönetmeliklere de yansıtılmıştır. Bu uygulamalardan biri kesme kapasitesine betonun katkısını dikkate almamaktır. Örneğin ACI 318; eksenel kuvvet de $0.05A_c f_c$ değerinin altında kalırsa kesme kapasitesine beton katkısının dikkate alınmamasını önerir (ACI 318M-11).

Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında en yaygın yaklaşımlardan biri kapasite tasarımınıdır. Büyük depremlerin etkisinde yapılarda önemli derecede elastik ötesi davranış gözleneceğinden, kapasite tasarım anlayışının tasarımının başlangıcında değil, bu elastik ötesi davranış süresince gözetilmesi gereklidir.

Eğilme sünekliği de kesme kapasitesini etkileyen parametrelerden bir tanesidir. Plastik mafsal dönmeleri arttıkça yayılan ve genişleyen eğilme ve kesme çatlakları, betonun kesme kapasitesini düşürür.

Başlangıç anındaki kesme kapasitesini V_{in} ve eğilme sünekliği ile düşüşe uğramış kesme kapasitesini V_{re} olarak olarak tanımlanmıştır. Eğer eğilme kapasitesine ulaşacak moment değerine denk gelen kesme kuvveti, kalıcı kesme kapasitesinden, V_{re} , küçük ise sünek eğilme davranışı tamamlanabilir. Şekil 2.7’de görüleceği üzere, eğer eğilme kapasitesine denk gelen kesme kuvveti, başlangıç kesme kapasitesinden, V_{in} , büyük iste gevrek kesme güç tükenmesi oluşur. Kesme kuvveti bu iki kapasitenin arasında ise nispeten daha fazla sünekliğe sahip bir kesme güç tükenmesi oluşur (Priestley, Verma ve Xiao, 1994).



Şekil 2.7 : Betonarme elemanlarda güç tükenmesi durumları.

2000 yılında betonarme elemanların kesme kapasitesi için UCSD modeli önerilmiştir. UCSD modeli, kesme kapasitesini üç ayrı bileşen olarak açıklamıştır. Bu üç bileşen betonun kesme kapasitesine katkısı, donatının kesme kapasitesine katkısı ve eksenel kuvvetin kesme kapasitesine katkısıdır (2.1). Süneklik ile birlikte düşen kesme kapasitesi de UCSD modelinde dikkate alınmıştır (2.3). Artan süneklik ile birlikte çatlakların açılması ve agregaların kilitlenememesi nedeniyle, bu düşüş betonun kesme direncinin azalması olarak açıklanmıştır. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi betonun kesme direncinin düşmesini hesaplayabilmek için, sünekliğe bağlı bir γ katsayısı önerilmiştir(Kowalsky ve Priestley, 2000)

$$V_A = V_s + V_p + V_c \quad (2.1)$$

$$V_D = 0.85V_A \quad (2.2)$$

$$V_c = 0.8A_g\gamma\sqrt{f_c} \quad (2.3)$$

Burada:

V_A : Kesitin toplam kesme direnci

V_s : Donatılardan dolayı oluşan kesme direnci

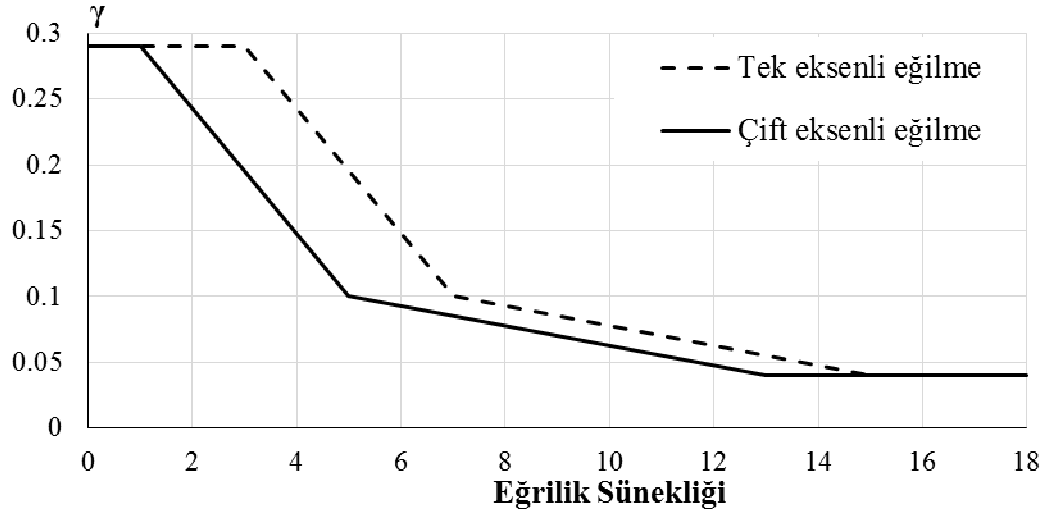
V_p : Eksenel kuvvetten dolayı oluşan kesme direnci

V_c : Betondan dolayı oluşan kesme direnci

V_D : Kesitin tasarım kesme kapasitesi

γ : Kesme kapasitesi-eğilme etkileşimi katsayısı

f_c : Beton karakteristik basınç dayanımı



Şekil 2.8 : UCSD modelinde eğilme sünekliği- γ faktörü ilişkisi (Kowalsky ve Priestley, 2000).

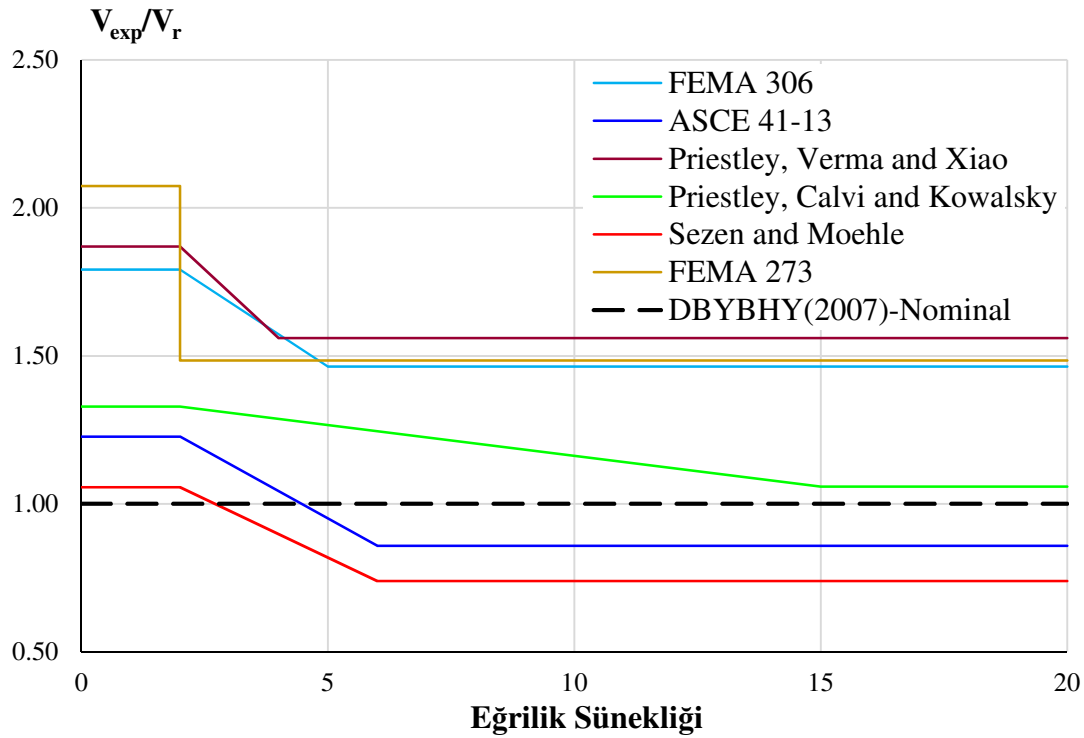
Ayrıca kesme göçmesinin meydana gelmesi, kolonun veya perde duvarların eksenel yük taşıma kapasitesinde ve rijitliğinde büyük bir kayba yol açabilir. İlgili kolonlarda eksenel kapasitenin ve rijitliğin hızlı bir şekilde düşmesi ile kuvvet diğer yapı elemanları arasında paylaştırılır. Toptan göçmeye kadar gidebilecek bir iç kuvvetlerin dinamik bir şekilde yeniden dağıtılmasına yol açar(Moehle ve diğerleri, 2001).

Biskinis, Roupakias ve Fardis elastik ötesi davranış ile birlikte kesme kapasitesinin düşmesinin nedenlerini şöyle sıralamışlardır;

- Her bir yük çevrimi ile birlikte agreganın yüzeyleri daha az pürüzlü hale gelerek, aktarılabilecek kesme yükünün azalması,
- Çevrimsel yükleme sonucu boyuna donatılarda plastik şekil değiştirmenin birikerek artması sonucu, boyuna donatıların makaslama etkisiyle aktarılabilecek kesme kuvvetinin azalması,
- Eğilme çatlaklarının kesitte yayılması ve bunun sonucu olarak basınç etkisi altındaki betonun kesme direncinin azalması,
- Donatının sıyrılması ve donatıda plastik şekil değiştirmenin artmasıyla çatlakların genişlemesi ve agregaların kilitlenmesiyle aktarılabilecek kesme kuvvetinin azalması,

- Betonun yumuşaması ve bunun sonucu olarak asal basınç etkisinin de azalması.

Bu etki altındaki elemanlarda, kesit eğilme etkisi altında aktıktan sonra, görece sünek bir kesme göçmesi gözlenebilir. Fakat kesitin şekil değiştirme kapasitesi, daha büyük kesme kapasitesine sahip aynı kesitin eğilme göçmesi ile sağlayacağı şekil değiştirme kapasitesinden küçük olur. Süneklik ile birlikte düşen kesme kapasitesi kesitin çevrimsel etki altındaki davranışını da kısıtlar(Biskinis, Roupakias ve Fardis, 2004)



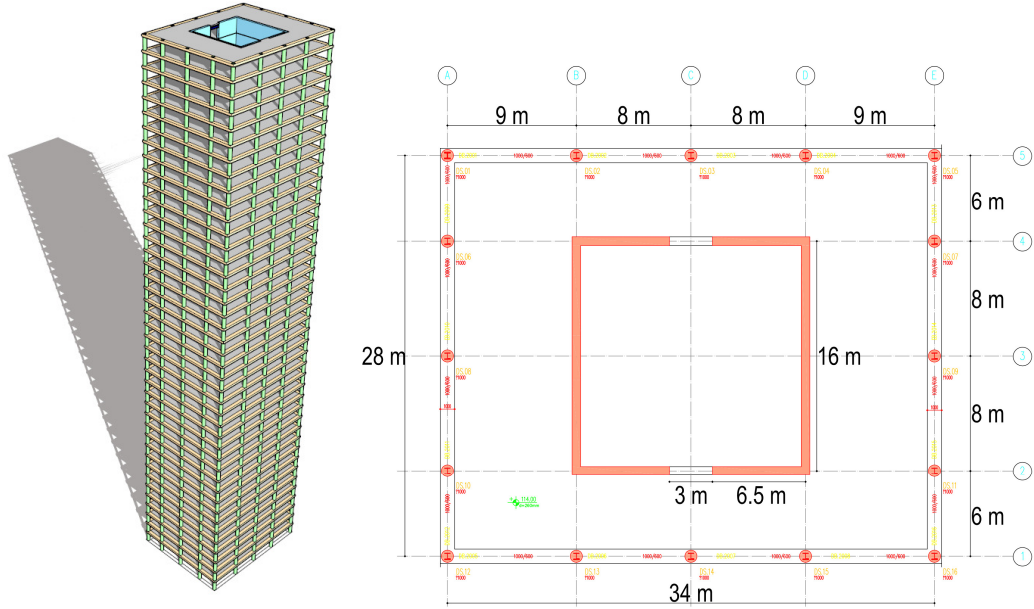
Şekil 2.9 : Eğilme şekil değiştirmesi ile kesme kapasitesi düşüş modelleri.

Artan eğilme şekil değiştirmeleri karşısında kesme kapasitesinin düşmesi hakkında çeşitli çalışmalar mevcuttur. Farklı kesme direnci açıklamalarını kabul eden çalışmalar, henüz birbirlerine yakın değerler üzerinde mutabık kalamamıştır. Şekil 2.9'de bazı modellerin, aynı örnek üzerinde önerdiği sonuçlar sunulmuştur. Örneğin; bazı modeller sadece betonun kesme direncinde bir düşme olacağını öngörürken, bazı modeller hem beton hem de donatı kesme direncinde azalma kabul eder. Genellikle deneysel sonuçlara dayanan bu çalışmalar, farklı narinlik oranlarına sahip numuneler üzerinde çalışıldığı için farklı sonuçlara ulaşiyor olması muhtemeldir.

3. ÖRNEK YAPI VE ORJİNAL YAPI PERFORMANSI

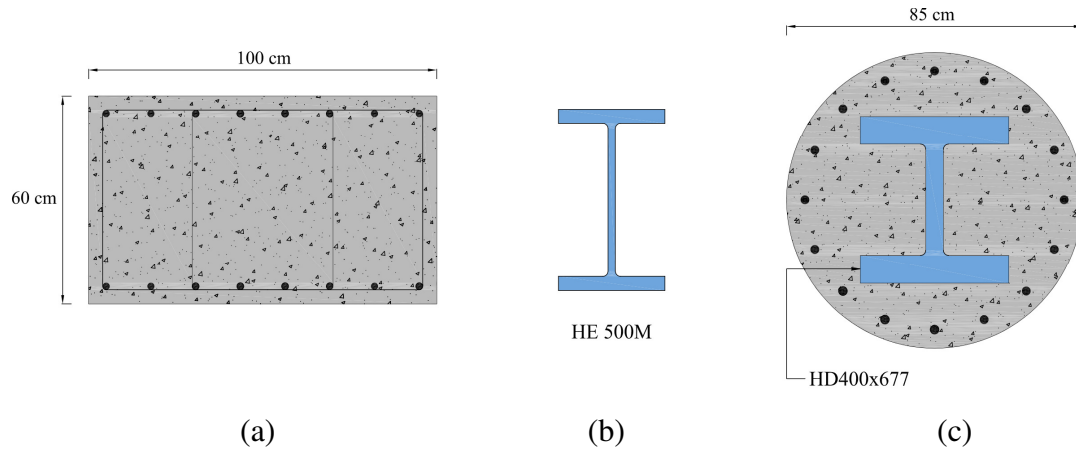
3.1 Örnek Yapı Özellikleri

Bu çalışmaya konu edilen yapı, İstanbul, Levent bölgesinde inşa edilmiş ve hali hazırda kullanımda olan, tasarımı Türk Deprem Yönetmeliği ve uluslararası yüksek bina deprem tasarım kılavuzları kullanılarak yapılmış bir binadır. Bina orjinal mimarisi, bu çalışmaya uygun olarak basitleştirilerek simetrik hale getirilmiştir. Podyum katları ihmal edilmiş ve sadece kule kısmı kullanılmıştır.



Şekil 3.1 : Örnek yapı planı ve görünüşü.

Bina 43 katlı olup, kat yükseklikleri eşit ve 3.8 m'dir. Tüm yapının yüksekliği 163.4 m'dir. Ayrıca bina her katta Şekil 3.1'de gösterilen tipik plana sahiptir. Yapı elemanlarının boyutları ve malzeme kaliteleri Çizelge 3.2'de ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : (a) Betonarme çevre kiriş kesiti (b) Çelik bağ kirişi kesiti
(c) Kompozit kolon kesiti.

Çizelge 3.1 : Yapı elemanı kesitleri ve malzemesi.

Yapı Elemanı	Kesitler	Malzeme
Döşemeler	26 cm Plak döşeme	C45/S420
Çevre Kirişler	100/60 cm Betonarme kiriş	C45/S420
Kolonlar	85 cm Kompozit Kolon	C45/S420
Perde Duvarlar	70 cm (Temel-15. Kat)	C45/S420
	60 cm (16. Kat-30. Kat)	
	50 cm (31. Kat-43. Kat)	
Bağ Kirişler	HE650M	S355
Kompozit Kolon Profilleri	HD400x677	S450 HISTAR

3.2 Depremsellik

Yapının analizlerinde; yapı lokasyonuna ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak seçilmiş tasarım spektrumu kullanılmıştır. Örnek yapının temel zeminini Türk Deprem Şartnamesi (DBYBHY, 2007) kapsamında, B1 zemin grubu ve Z1 yerel zemin sınıfı olarak nitelendirilmiştir. Tasarım spektrumu seçimi için taslak olarak yayınlanmış olan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği(2008) kullanılmıştır.

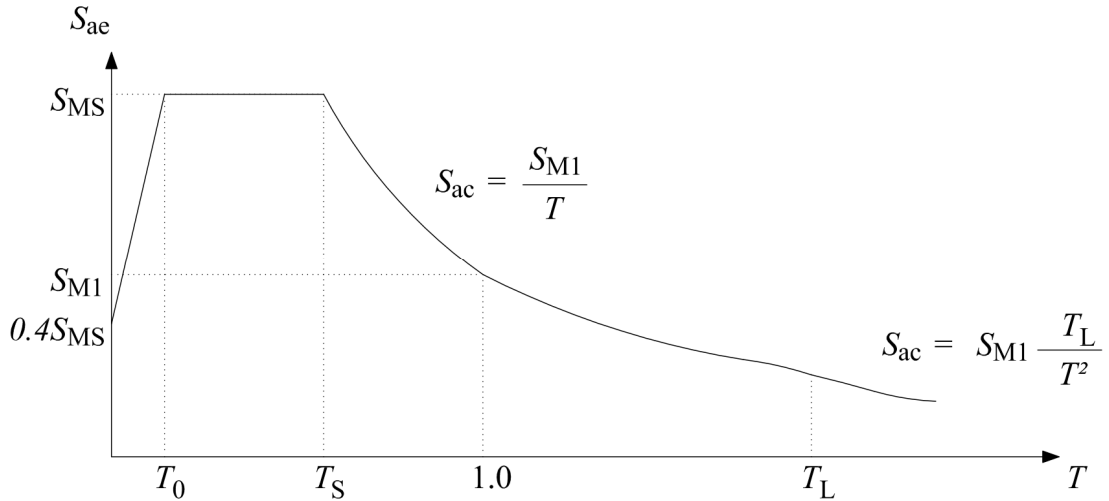
İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'nde Türk Deprem Şartnamesi'nden (DBYBHY, 2007) farklı bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Burada yüksek binaların

performansa göre tasarımında esas alınacak farklı deprem düzeyleri tanımlanmıştır. Bunlar;

(D1) Deprem Düzeyi: Bu deprem düzeyi, yüksek binaların servis süresi boyunca meydana gelme olasılığı fazla olan, görece sık fakat şiddeti çok yüksek olmayan depremleri kapsar. Bu düzeydeki depremlerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve dönüş periyodu 72 yıldır.

(D2) Deprem Düzeyi: Bu deprem düzeyi, yüksek binaların servis süresi boyunca meydana gelme olasılığı çok fazla olmayan, seyrek fakat şiddetli depremleri kapsar. Bu düzeydeki depremlerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve dönüş periyodu 475 yıldır.

(D3) Deprem Düzeyi: Bu deprem düzeyi, yüksek yapıların maruz kalabileceği en şiddetli depremi ifade eder. Bu düzeydeki depremlerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve dönüş periyodu 2475 yıldır.



Şekil 3.3 : İYBDY(2008) Tasarım ivme spektrumu.

Örnek binanın tasarımına ilişkin spektrumların oluşturulması için, proje sahasında özel bir firma tarafından yapılan çalışma kullanılmıştır. Her bir deprem düzeyi için gerekli 0.2 s ve 1 s periyotları için zemine bağlı spektral ivme değerleri bu çalışmadan elde edilmiştir.

Örnek binada yapı elemanlarının lineer tasarımının yapılabilmesi için D2 deprem düzeyinde tasarım spektrumu oluşturulmuştur. Bu tasarım spektrumu için;

$$S_{MS} = 0.75 \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = 0.34 \quad (3.2)$$

$$T_S = S_{M1} / S_{MS} = 0.453 \text{ sn} \quad (3.3)$$

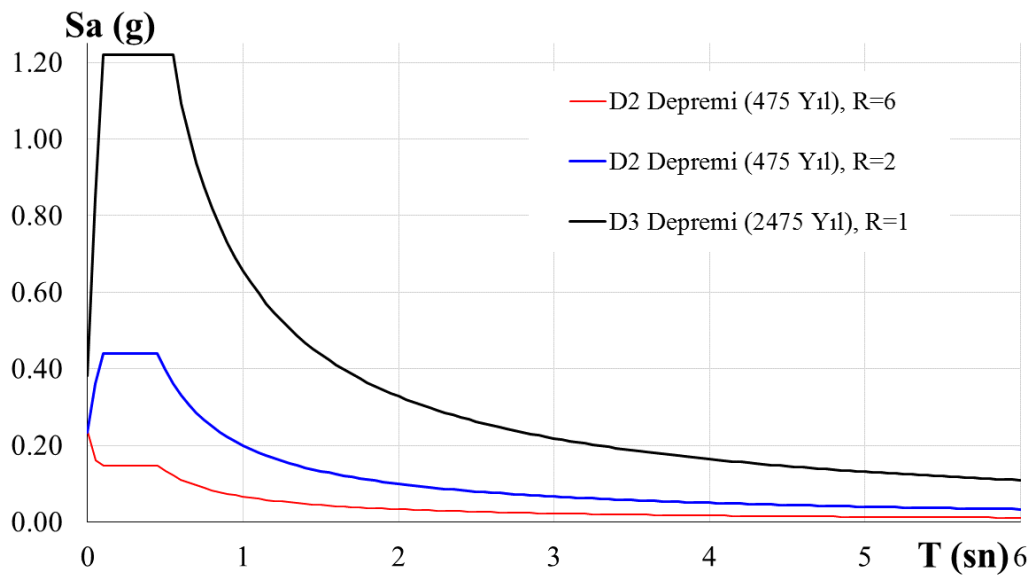
$$T_0 = 0.2 T_S = 0.906 \text{ sn} \quad (3.4)$$

olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 : Spektrum parametreleri.

PROBABİLİSTİK EN BÜYÜK VE SPEKTRAL İVME DEĞERLERİ (Vs30 = 760 m/sn)				
TASARIM DEPREMİ	ORTALAMA YİNELENME SÜRESİ – Aşılma olasılığı	EN BÜYÜK YER İVMESİ	SPEKTRAL İVME	
			$S_s=0.2$ sn	$S_1=1.0$ sn
D1 – Depremi	72 Yıl – 50 yılda %50	0.135g	0.330g	0.125g
D2 – Depremi	475 Yıl - 50 yılda %10	0.31g	0.750g	0.340g
D3 – Depremi	2475 Yıl – 50 yılda %2	0.45g	1.220g	0.560g

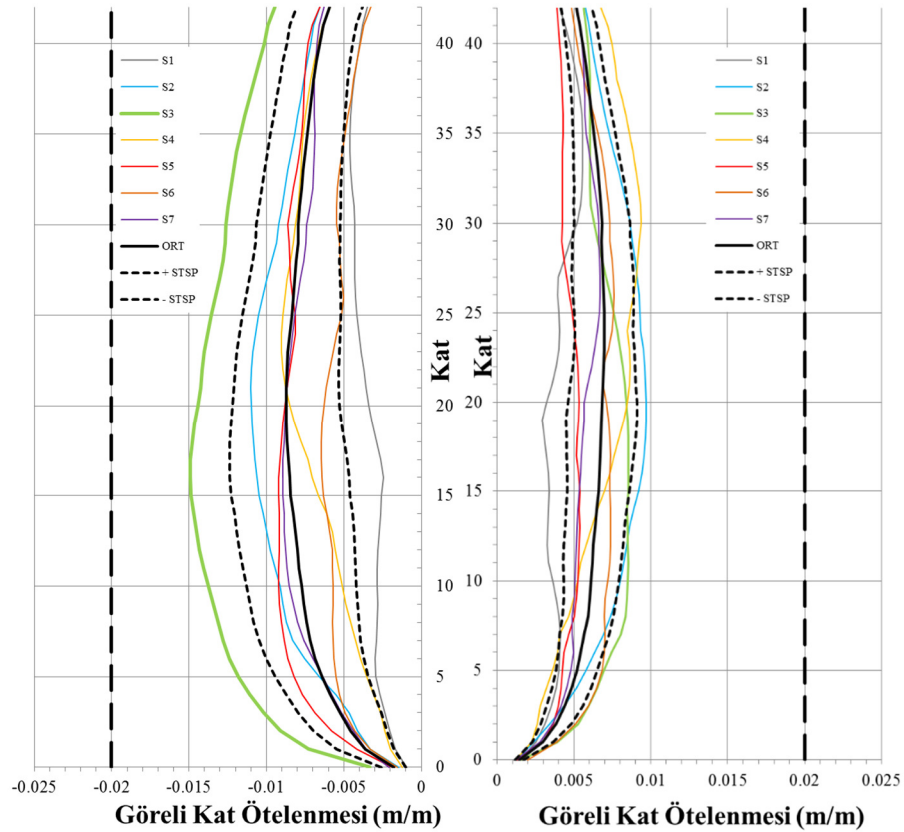
IYBDY(2008)'de İstanbul ili için uzun periyod bölgesine geçiş periyodu, $T_L = 12$ sn olarak belirlenmiştir. Yapı için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R için 6 seçilmiştir. Ayrıca en küçük taban kesme kuvveti olan %4W'nin sağlanması için gerekli katsayılar ile büyütme yapılmıştır.



Şekil 3.4 : Kullanılan ivme spektrumları.

3.3 Orjinal Yapı Deprem Performansı

Bu bölümde, örnek binanın orjinal halinin deprem performansı özet olarak verilmiştir. Bu özet bilgiler, aynı yapıyı örnek yapı olarak kullanan diğer bir araştırmadan alınmıştır (Erdemli, 2014). Söz konusu çalışmada yapının performansını anlamak için; yapı görelî kat ötelemeleri, betonarme perdeduvarlarda donatı uzaması, betonda kısalma değerleri ve çelik bağ kirişi dönme değerleri irdelenmiştir. Söz konusu değerler, 7 adet deprem kaydı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilmiştir. Her bir deprem için elde edilen sonuçlarla beraber ortalama sonuçlarda sunulmuştur. İlgili çalışmadan kullanılan doğrusal olmayan davranış modelleri, bu çalışmada kullanılan modeller ile benzerdir. Doğrusal olmayan analiz modeli için gerekli tanımlamalar Bölüm 5.2’de gösterilmiştir.

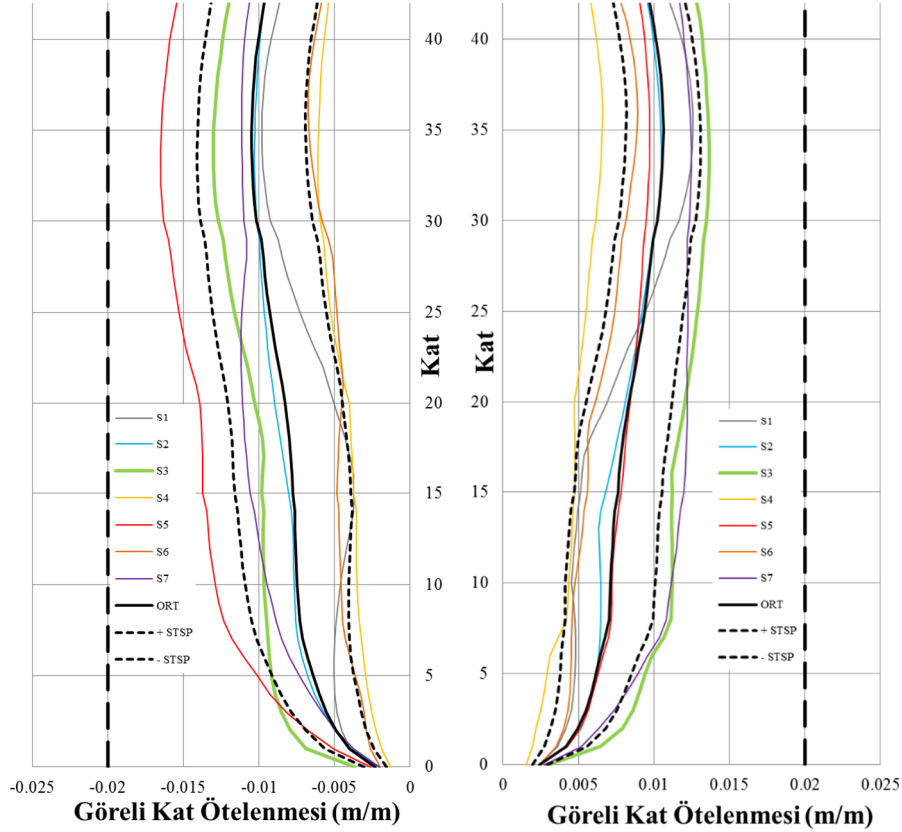


Şekil 3.5 : X-Doğrultusu görelî kat ötelemeleri (Erdemli, 2014).

Görelî kat ötelemeleri açısından kriter olarak Türk Deprem Yönetmeliği’nde (DBYBHY, 2007) verilen %2 görelî kat ötelemesi sınırı kabul edilmiştir. Orjinal yapıda görelî kat ötelemeleri, belirlenen sınırın oldukça altında kaldığı görülmektedir.

İki doğrultu da göz önüne alındığında görelî kat ötelemelerin %1 civarında kaldığı gözlenmiştir.

Betonarme perde duvarlarda performans belirlenmesi konusunda en yaygın yöntemlerde biri, perde duvarlarda en büyük uzama ve en büyük kısılma değerlerinin gözlenmesi şeklindedir. Burada birim uzama ile donatıların uzaması, birim kısılma ile ise betondaki kısılma anlaşılır. Dolayısıyla birim uzama değerleri donatılarla ilgili performans seviyeleri ile birim kısılma ise beton ile ilgili performans seviyeleri ile karşılaştırılmalıdır. Çekirdek perde duvarların çeşitli noktalarından bu değerler alınmışsa da , bu değerler birbirleriyle yakın sonuçlar vermiştir. Bu bölümde bir noktadan elde edilmiş sonuçlar sunulmuştur. Görüldüğü gibi hem donatı hem de beton “Hemen Kullanım Performans Seviyesi”(DBYBHY, 2007) ile karşılaştırıldığında, bu performans seviyesinin sağlandığı görülmüştür.

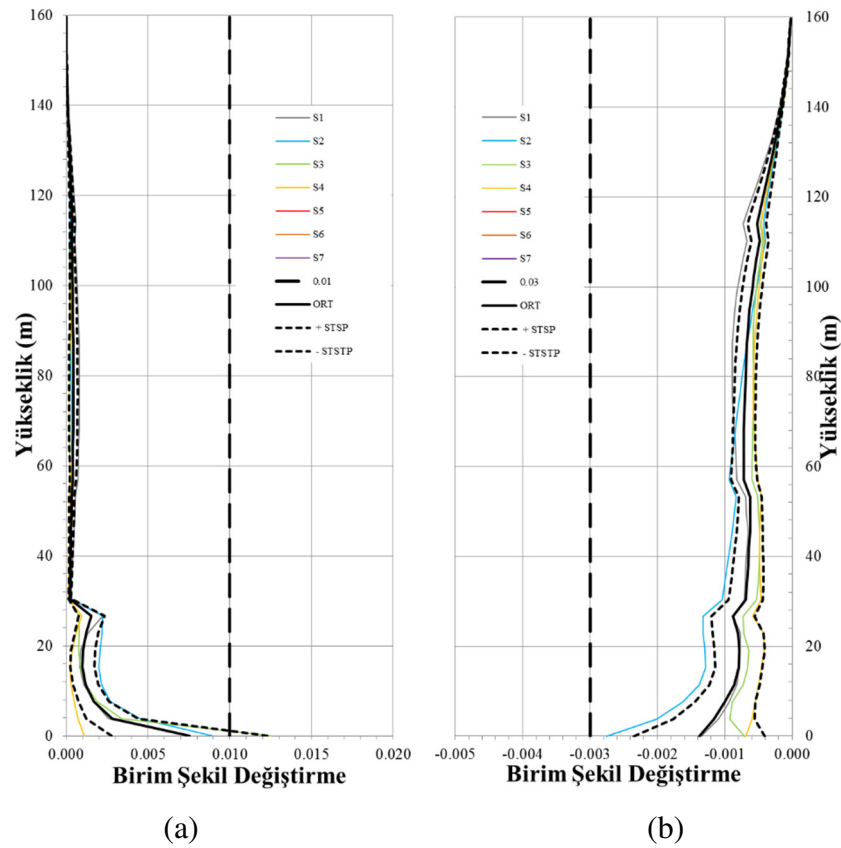


Şekil 3.6 : Y-Doğrultusu görelî kat ötelemeleri (Erdemli 2014).

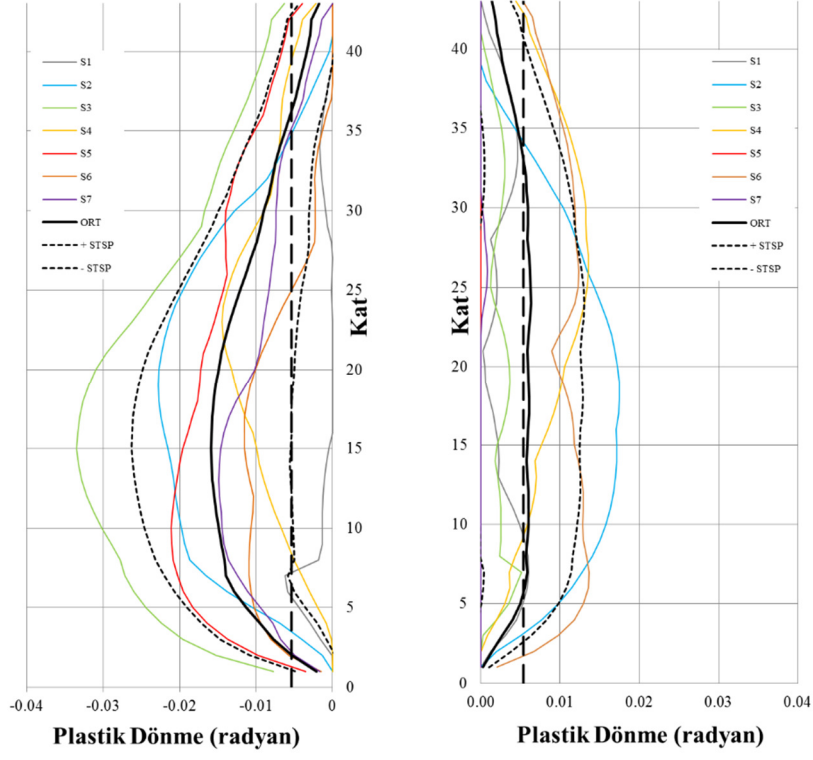
Orjinal yapı deprem performansı incelendiğinde, sadece bağ kirişlerinde “Hemen Kullanım Performans Seviyesi”(DBYBHY, 2007) sınırını geçmiş durumdadır. Fakat

“Güvenlik Sınırı Performans Seviyesi”(DBYBHY, 2007) dikkate alındığında , bağ kirişi plastik dönme değerleri sınırın altında kalmıştır.

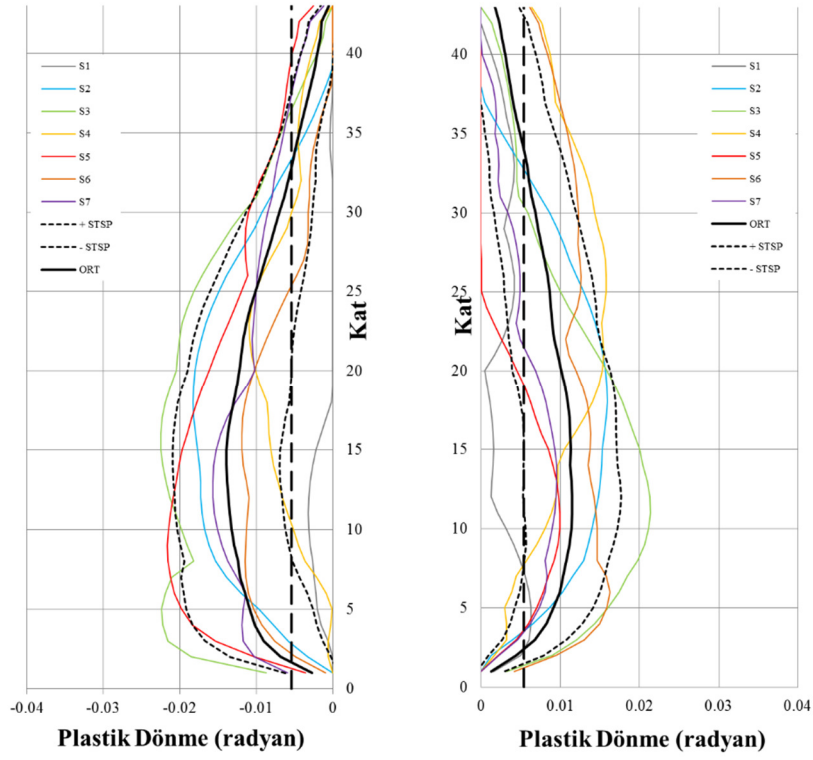
Sonuç itibari ile ele alınan örnek yapı, oldukça güvenli bir seviyede kalmıştır. Göreli kat ötelemeleri , belirlenen sınırdan düşük seviyelerde kalmıştır. Perde duvarlarda ise birim uzama-kısalma değerlerde “Hemen Kullanım Performans Seviyesi” sınırının altında kalmıştır. Yalnızca bağ kirişlerinde plastik dönme açısından “Hemen Kullanım Performans Seviyesi”(DBYBHY, 2007) aşılmıştır. Boşluklu perde davranışı göz önünde tutulduğunda, bu durum beklenen bir sonuçtur. Tüm bu sonuçlar ışığında, orjinal yapının oldukça tutucu ve güvenli seviyede olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.7 : Perde duvarda (a) Donatılarda birim uzama (b) Betonda birim kısalma (Erdemli, 2014).



Şekil 3.8 : 4 Aksı çelik bağ kirişleri plastik dönme değerleri (Erdemli, 2014).



Şekil 3.9 : 2 Aksı çelik bağ kirişleri plastik dönme değerleri (Erdemli, 2014).

4. BETONARME PERDE DUVAR KALINLIĞININ KESME DAVRANIŞI VE TASARIMINA OLAN ETKİSİ

Bu bölümde orjinal yapının perde duvar kalınlıkları değiştirilerek, yapının bu durumdan nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

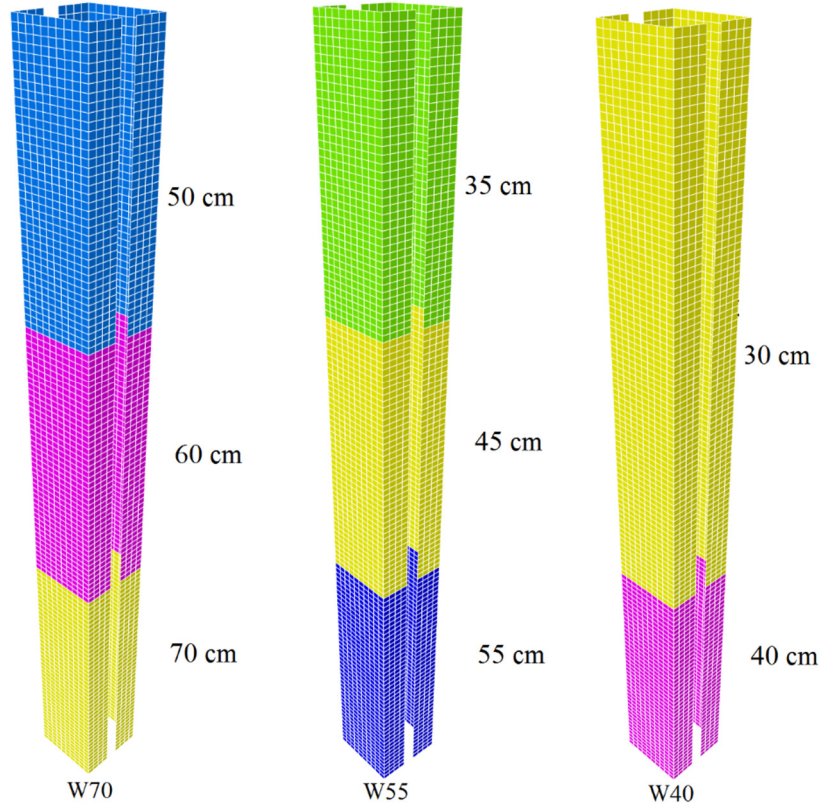
Pratik mühendislikte, betonarme perde duvar kalınlıkları için bir ön boyut belirlenirken, genelde sadece düşey yük analizi kullanılır. Sismik tasarım kapsamında, süneklik şartlarının sağlanması açısından kolonlarda ve perde duvarlarda bir eksenel yük oranı sınırı sağlanmaya çalışılır. Bu eksenel yük oranı, yönetmeliklere veya mühendisin muhakemesine göre farklı değerler alabilir. Fakat hangi oran kullanılırsa kullanılsın, bu eksenel yük oranını sağlayacak perde duvar kalınlığı belirlenir ve tasarıma devam edilir. Ancak perde duvarların kalınlığı hem kesme güvenliğini hem de rijitliği ve deprem kuvvetlerini etkilemektedir.

Düşey yüklerin aksine, deprem kuvvetleri yapı geometrisi ile doğrudan alakalıdır. Binanın maruz kalacağı deprem kuvvetleri, yapı elemanlarının rijitlikleri ile etkileşim halindedir. Basit bir bakış açısıyla yapı elemanlarında daha büyük boyutların daha güvenli sonuçlar vereceği düşünülürken, aslında rijitliğin artması aynı zamanda yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini de artırır. Bu nedenle, verimli bir çözüm için en elverişli boyutlar aranmalıdır.

Bu bölümde doğrusal analiz yöntemleri kullanılarak perde duvar kalınlığının deprem kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri, tepe deplasmanları ve eksenel yük oranları gibi değişkenlere etkisi araştırılmıştır.

4.1 Kontrol Modellerinin Oluşturulması

Bu bölümde iki adet kontrol modeli oluşturularak orjinal model ile karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1). Orjinal modelde, perde duvar kalınlıkları 70 cm, 60 cm ve 50 cm'dir. İlk kontrol modelinde perde duvar kalınlıkları 55 cm, 45 cm ve 35 cm'dir. İkinci kontrol modelinde ise perde duvar kalınlıkları 40 cm, 30 cm ve 30 cm'dir.



Şekil 4.1 : Kontrol modellerinde duvar kalınlıkları.

Oluşturulan kontrol modellerinde sadece duvar kalınlıkları değiştirilmiştir. Tüm diğer yapı elemanları, bağ kirişleri de dahil olmak üzere aynı kalmıştır. Kontrol modellerinin perde duvar kalınlıkları Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

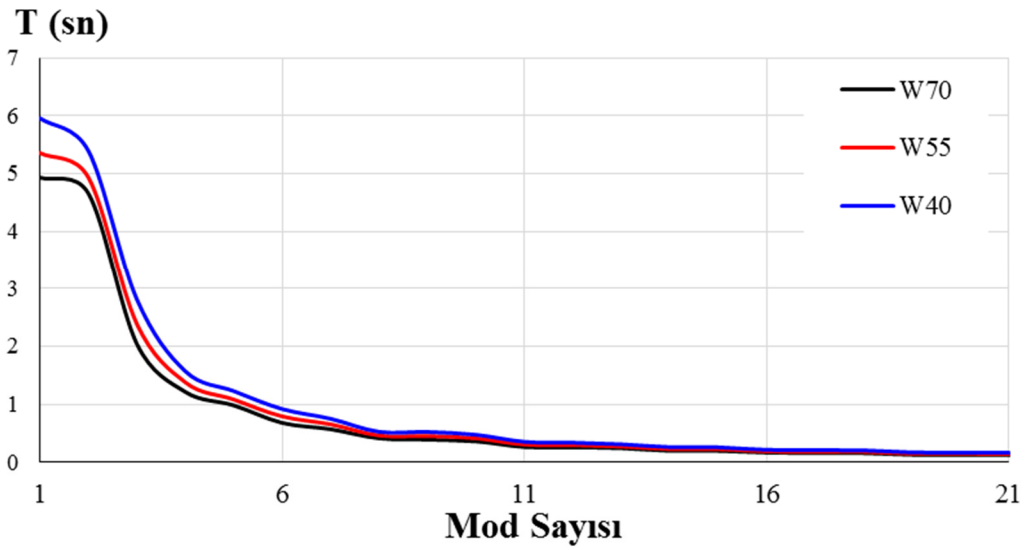
Çizelge 4.1 : Kontrol modellerinde duvar kalınlıkları.

Katlar	W70	W55	W40
	Orjinal Model	Kontrol Modeli	Kontrol Modeli
Temel-15. Kat	70 cm	55 cm	40 cm
15. Kat-30. Kat	60 cm	45 cm	30 cm
31. Kat-43. Kat	50 cm	35 cm	30 cm

Duvar kalınlıkları değiştiğinde bu değerlerin ne yönde değişeceği malumdur. Burada vurgulanmak istenen şey, perde duvarların kalınlığının değişimi, ne oranda diğer değerlere yansıtıldığıdır. Bu yüzden genellikle perde duvarların kalınlığının değişim oranı karşısında ilgili değerlerin değişim oranı karşılaştırılmıştır. Değişim oranı grafiklerinde her bir değişkenin, orjinal hal (W70) baz alınarak ne oranda değiştiği

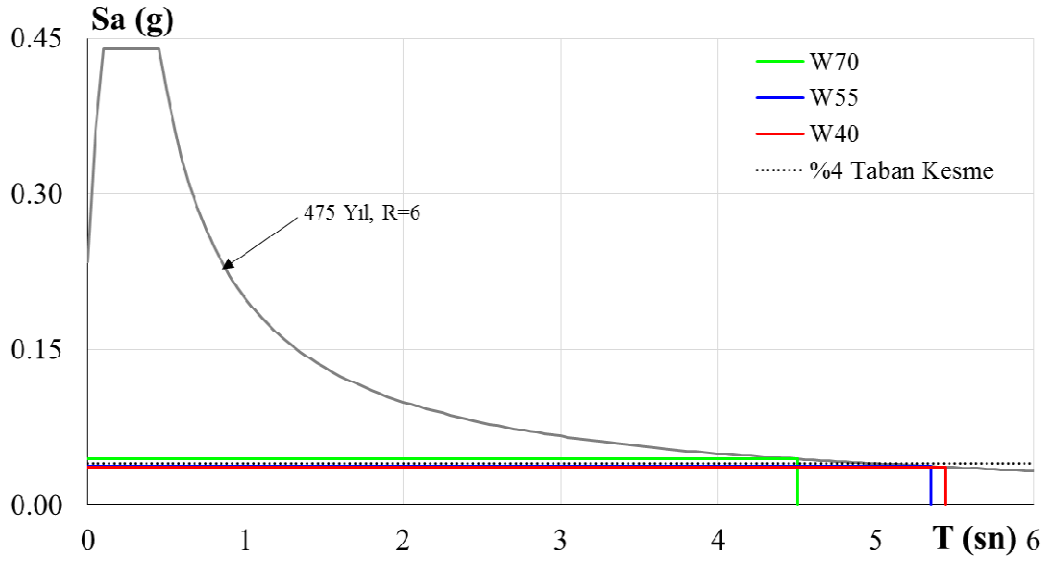
izilmiştir. Bu grafiklerde bir başka nokta ise; karşılaştırılan iki değişkenin biri artar biri azalırken dahi sadece ilk hale oranla değişim oranı gözetilerek, birbirinin üzerine düşen ve birbiriyle kıyaslanabilen şekilde eğriler çizilmiştir. Yani bir başka değişle, değişken üzerindeki hem artış hem de azalma, pozitif bir değişim oranı olarak grafiklere yansıtılmıştır. Her bir durum için değişim oranı, kontrol modelindeki büyüklüğün orjinal modeldeki büyüklüğüne oranı şeklinde tanımlanmıştır.

4.2 Modal zellikler ve Deprem Yükleri



şekil 4.2 : Kontrol modellerinin periyotları.

Perde kalınlıkları azaltıldığında, özellikle ilk iki periyot bir miktar uzasa da yüksek modlarda çok büyük değişiklikler gözlenmemiştir. şekil 4.2’de 3 modelin her bir modda periyot değerleri gösterilmiştir. Periyotlardaki değişimin sınırlı kalmasında, perde duvarların kalınlıkları azaltılarak her ne kadar rijitlik düşmüşse de kütledeki düşüş de etkili olmuştur. şekil 4.3’de de görülebileceği gibi üç yapısında maruz kalacağı spektral ivmeler birbirlerine yakın değerler almıştır.



Şekil 4.3 : Kontrol modellerinde ilk periyotlara denk gelen spektral ivmeler.

Çizelge 4.2 : Kontrol modellerinde taban kesme kuvvetleri ve spektrum arttırma katsayıları.

	Sismik ağırlık (kN)	Doğrultu	Taban kesme kuvveti (kN)	Min. (%4) taban kesme kuvveti (kN)	Spektrum arttırma katsayısı
W70	731993	X	12034	29280	2.433
		Y	14940	29280	1.960
W55	696454	X	10259	27858	2.716
		Y	13351	27858	2.086
W40	668077	X	8785	26723	3.043
		Y	11504	26723	2.323

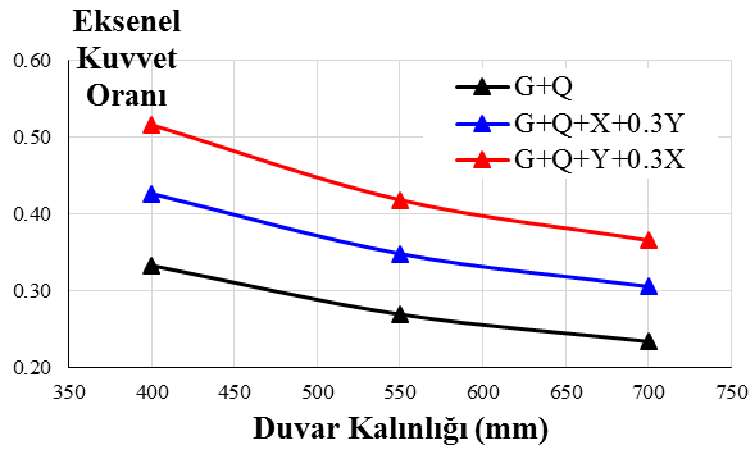
4.3 Analiz Sonuçları

Bu çalışmada perde duvarların kalınlığının değişim oranı ile ilgili yapısal özellikteki değişim oranı karşılaştırılmıştır. Değişim oranı grafiklerinde her bir değişken için, orjinal hal (W70) baz alınarak ne oranda değiştiği çizilmiştir. Bu grafiklerde bir başka nokta ise; karşılaştırılan iki değişkenin biri artar biri azalırken dahi sadece ilk hale oranla değişim oranı gözetilerek, birbirinin üzerine düşen ve birbiriyle kıyaslanabilecek şekilde eğriler çizilmiştir. Yani bir başka deyişle, değişken üzerindeki hem artış hem de azalma, pozitif bir değişim oranı olarak grafiklere

yansıtılmıştır. Her bir durum için değişim oranı, kontrol modelindeki büyüklüğün orjinal modeldeki büyüklüğe oranı şeklinde tanımlanmıştır.

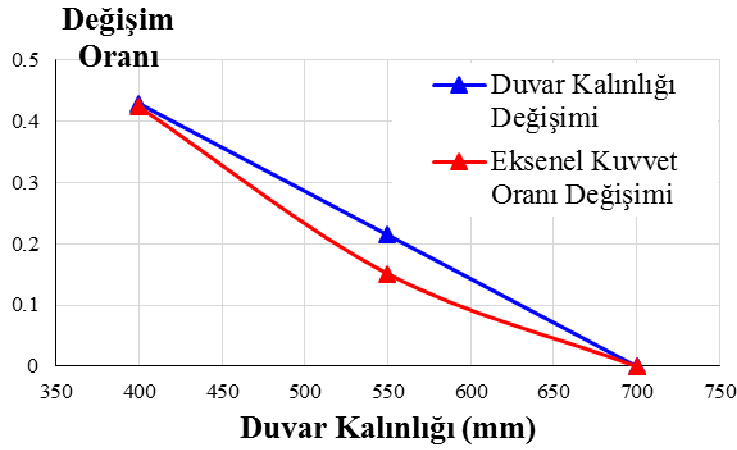
4.3.1 Perde duvarlarda eksenel yük oranları

Bu bölümde, perde kalınlık değişimi ile, perde eksenel kuvvetlerin oluşturacağı gerilmelerdeki değişimler incelenmiştir. Şekil 4.4’de verilne yük kombinasyonları altında oluşan eksenel kuvvetlerin perde duvar eksenel kapasitesine, $A_{cv}f_c$, oranının değişimi gösterilmiştir. Beklenildiği gibi perde duvar kalınlıkları azaltıldığında, perde duvarda eksenel kuvvetlerden oluşan gerilmeler artmıştır. Fakat burada önemli olan bu artışın, perde duvar kalınlığındaki azalmaya oranıdır.



Şekil 4.4 : Kontrol modellerinde perde duvarlarda eksenel kuvvet oranları.

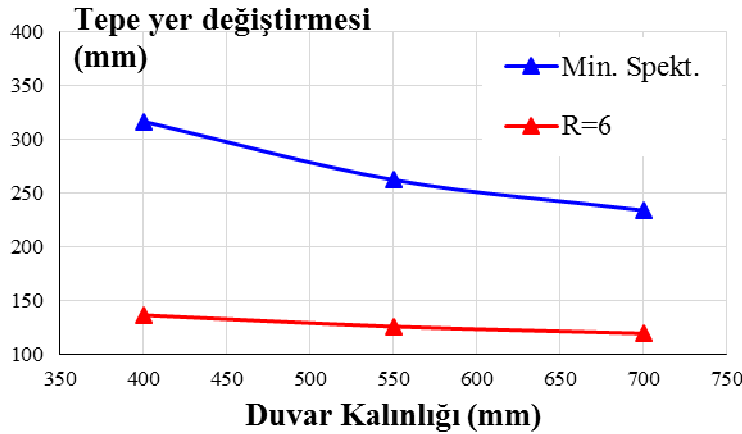
Şekil 4.5’de ise perde duvar kalınlığının değişim oranına karşılık, perde duvar eksenel kuvvet oranındaki değişim gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tabanda perde duvar kalınlığı 70 cm’den %20 daraldığında, eksenel kuvvet oranındaki ancak %15 civarında bir artış görülmektedir. Oysa perde duvar kalınlığı 70 cm’den %42 daraldığında, eksenel kuvvet oranında da yaklaşık aynı oranda bir değişim gözlenmiştir. Perde duvar kalınlığının azalması, kütlenin ve rijitliğin azalması ile eksenel gerilmelerin farklı oranlarda değiştiği görülmektedir. Genel tasarım yaklaşımında, perde duvar kalınlıklarının eksenel gerilmelere göre seçildiği düşünülürse, perde duvarlarda ara bir noktada en uygun çözümün bulunabileceği görülmüştür.



Şekil 4.5 : Duvar kalınlığı ile eksenel kuvvet oranlarının değişimi.

4.3.2 Tepe yer değiştirmeleri

Bu bölümde, deprem yükleri altında kontrol modellerinin tepe yer değiştirmelerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 4.6’da her bir modelde Y doğrultusunda tepe yer değiştirmeleri gösterilmiştir.

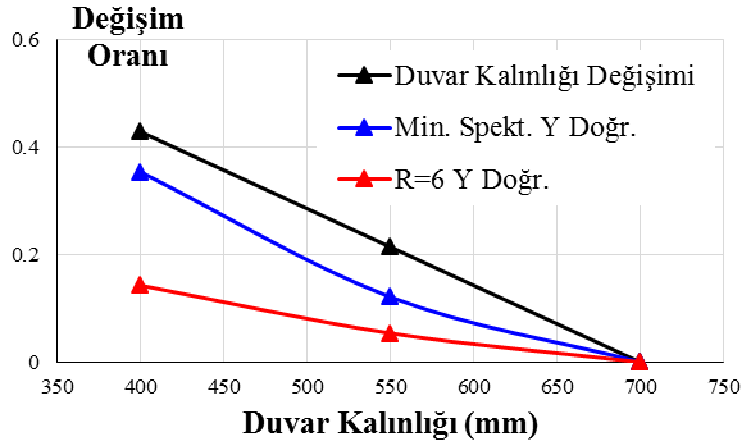


Şekil 4.6 : Kontrol modellerinde Y-doğrultusunda tepe deplasman değerleri.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi perde duvarlar kalınlığındaki değişim oranına karşılık tepe yer değiştirmelerindeki değişimler gösterilmiştir. Perde duvarların kalınlığı belirli oranlarda azaltıldığında, kütlelerin azalmasıyla, spektrum analizi ile elde edilen tepe deplasmanlarındaki artışın sınırlı kaldığı görülmüştür.

Bu binada en küçük taban kesme kuvveti, ağırlığın %4’ü olarak belirlenmiştir. Tüm kontrol modellerinde, deprem kuvvetlerini belirleyen kıstas bu limittir. Bu nedenle, kütlelerdeki düşüşün etkisi tam olarak tasarıma etkisini gösterememiştir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi spektrum kuvvetlerinde herhangi bir ölçeklendirme yapılmadığında,

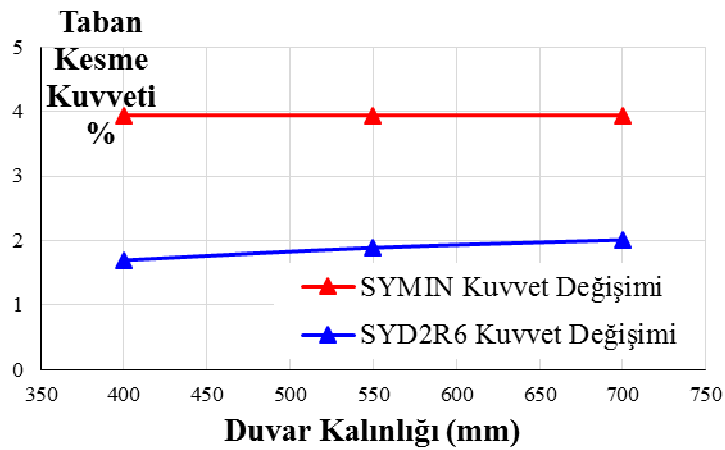
tepe deplasmanları duvar kalınlıklarındaki değişime oranla az miktarda artmıştır. Fakat şartnamedeki koşul sağlandığında tepe deplasmanlarında önemli artışlar gözlenmiştir.



Şekil 4.7 : Duvar kalınlığı ile tepe deplasman değerlerinin değişimi.

4.3.3 Taban kesme kuvvetleri

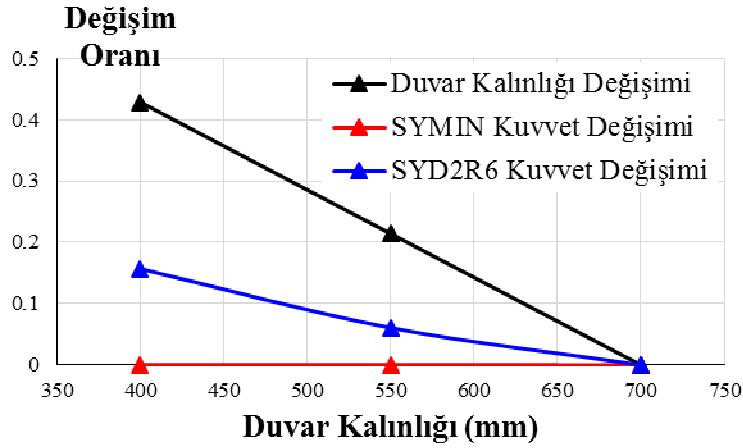
Bu bölümde perde duvar kalınlıkların azalmasına karşılık taban kesme kuvvetlerindeki değişim incelenmiştir ve sonuçlar Şekil 4.8 ve 4.9’da gösterilmiştir. Şekil 4.10’da ise perde duvar kalınlığının azalmasına karşılık, perde duvara gelen kesme kuvveti ve oluşan ortalama kesme gerilmesi değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Kontrol modellerinde Y-doğrultusunda taban kesme kuvvetleri.

Şekil 4.8’de perde duvar kalınlıklarının değişmesi neticesinde taban kesme kuvvetlerindeki değişim, taban kesme kuvvetinin kütleyle oranı şeklinde, gösterilmiştir. Üç modelde de, spektrum analiziyle elde edilen taban kesme kuvvetleri,

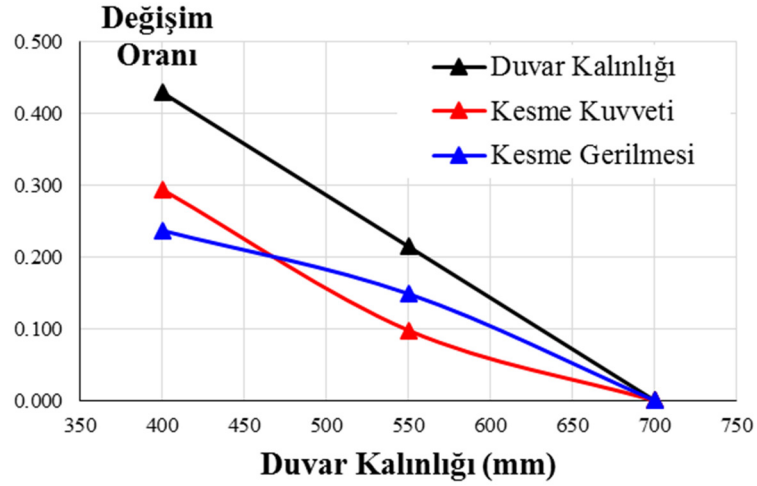
şartnamede ağırlığın %4'ü olarak belirlenen en küçük taban kesme kuvvetinin altında kalmıştır. Perde duvar kalınlıkları 70 cm'den 40 cm'ye düştüğünde taban kesme kuvveti de ağırlığın %2'sinden %1.7'sine azalmıştır.



Şekil 4.9 : Duvar kalınlığı ile Y-doğrultusunda taban kesme kuvvetlerinin değişimi.

Şekil 4.9'da görüldüğü üzere, taban kesme kuvvetindeki değişim davranışları, bir önceki bölümde değinilen tepe deplasman değerlerindeki değişimler ile paraleldir. Perde duvarların kalınlıklarının değişmesi ile azalan rijitlik, en küçük taban kesme kuvveti üzerindeki sınırlama nedeniyle tam anlamıyla tasarım deprem kuvvetlerine yansımamaktadır. Yapı kütesinin ve rijitliğin azalması ile deprem kuvvetlerinin azalması beklenmektedir. Fakat taban kesme kuvveti üzerindeki şartname sınırları, rijitliğin etkisini ihmal ederek, deprem kuvvetlerini doğrudan kütleyle bağımlı kılmaktadır. Bu nedenle deprem kuvvetlerindeki azalma sınırlı seviyede kalmaktadır. Tasarımcı açısından, perde kalınlığının azaltılmasının tek negatif etkisi bu durumdur. Perde duvar kesitleri küçülürken, tasarım kuvvetlerinde o oranda düşüş meydana gelmez.

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, perde duvar kalınlığındaki değişim arttıkça, ortalama kesme gerilmesinin değişimi bir miktar azalmaktadır. Fakat taban kesme kuvvetindeki limit nedeniyle, kesme kuvvetlerindeki değişim oranı duvar kalınlıklarındaki değişim oranını izlemektedir.



Şekil 4.10 : Duvar kalınlığı ile kesme kuvveti ve ortalama kesme gerilmesi değişimi.

4.3.4 Kesme tasarımı

Bu bölümde her bir kontrol modeli için kesme tasarımı yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.2 ile gösterilmiştir.

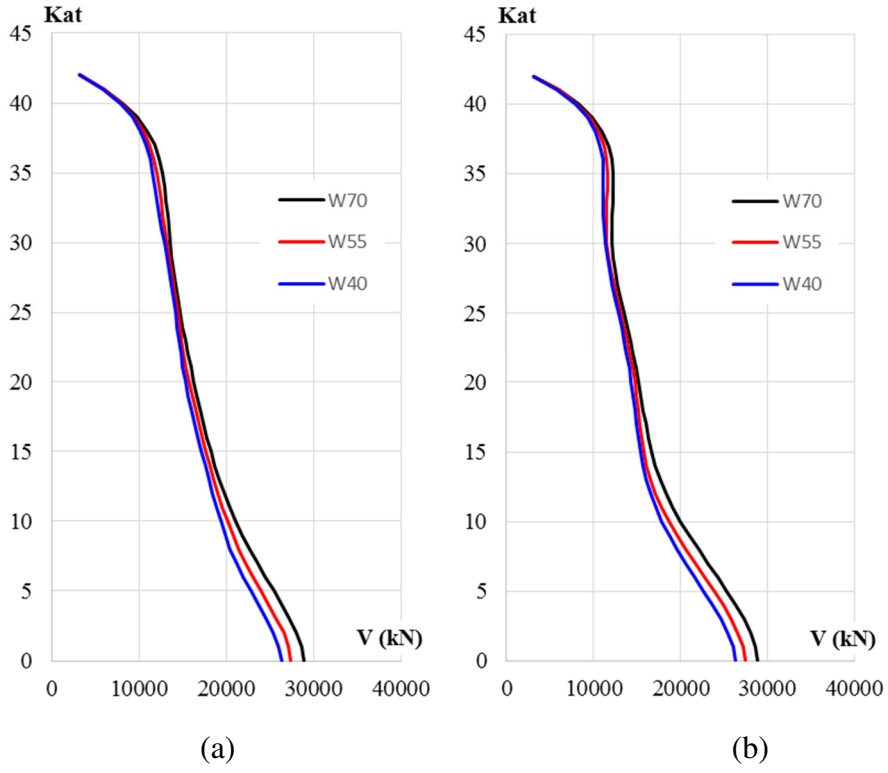
Çizelge 4.3 : Kontrol modellerin perde duvarlarında gerekli kesme donatıları.

Duvar Kalınlığı (mm)	Donatı	ρ_{sh}
700	$\Phi 16/200$	0.0029
550	$\Phi 16/200$	0.0037
400	$\Phi 14/175$	0.0044

Her üç model için de, en alt katta, kesme donatısı tasarımı yapıldığında Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi birbirine yakın miktarlarda kesme donatısı hesaplanmıştır.

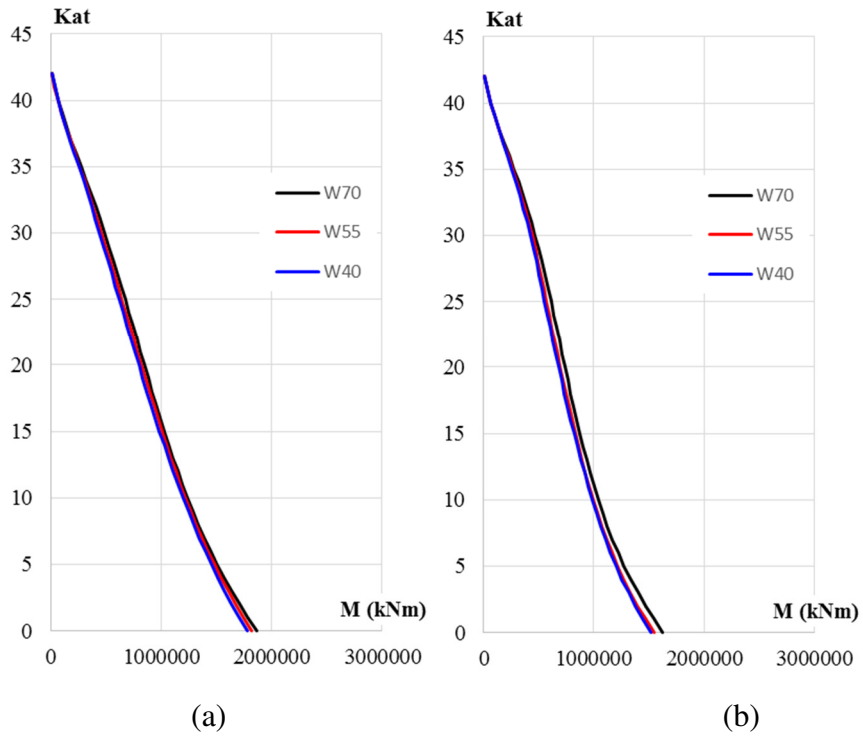
4.3.5 Kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri

Bu bölümde kat kuvvetlerindeki değişim incelenmiştir ve sonuçlar Şekil 4.11 ve 4.12’de gösterilmiştir. Bu bölümde gösterilen kat kesme kuvvetleri ve kat devrilme momentleri, şartnamede belirtilen en az ağırlığın %4’ü kadar taban kesme kuvveti olması koşulu uygulanarak elde edilmiştir. Tüm kontrol modellerinde bu koşul hakim olduğu için kat kesme kuvvetleri ve kat devrilme momentleri birbirine yakın değerler almıştır. Bu kuvvetlerin arasındaki farkın nedeni, sistemlerin kütlelerinin değişmesidir.



Şekil 4.11 : (a) X-doğrultusu kat kesme kuvvetleri

(b) Y-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.

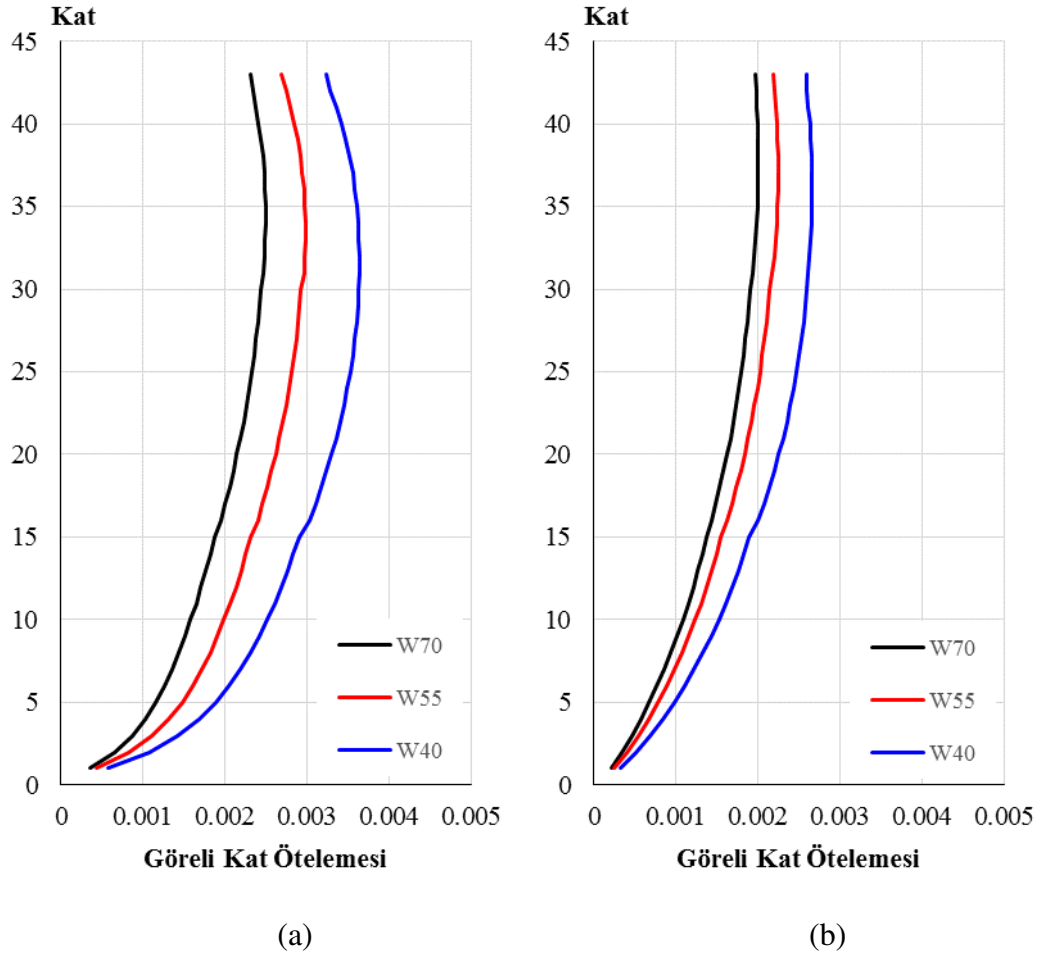


Şekil 4.12 : (a) Y-ekseni etrafında devrilme momentleri

(b) X-ekseni etrafında devrilme momentleri.

4.3.6 Göreli kat ötelemeleri

Bu bölümde gösterilen göreli kat ötelemeleri, şartnamede belirtilen en az ağırlığın %4'ü kadar taban kesme kuvveti olması koşulu uygulanarak elde edilmiştir.



Şekil 4.13 : (a) X doğrultusu göreli kat ötelemeleri

(b) Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri.

Kontrol modellerinde rijitliğin azalması, göreli kat ötelemelerini bir miktar arttırmıştır. Şekil 4.13’de verilen değerler elastik göreli kat ötelemeleri değerleridir. Diğer değişkenlerde olduğu gibi, göreli kat ötelemeleri de en küçük taban kesme kuvveti limitinden etkilenmiştir. Rijitliğinin azaldığı ölçüde, deprem kuvvetleri azalmadığından bu farklar meydana gelmiştir.

4.4 Genel Değerlendirme

Bu bölümde ulaşılan sonuçlar göstermektedir ki; perde duvar kalınlığı ile tasarıma etkisi olan değişkenler arasında lineer bir ilişki yoktur ve yapı davranışı üzerinde etkilidir. Yönetmeliklerin ve sismik tasarım yaklaşımlarının izin verdiği ölçüde perde

duvar kalınlıklarını küçük tutarak, daha verimli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturulabileceği düşünülmektedir.

Perde duvar kalınlıkları azaltıldığında; aksenal gerilmeler, tepe deplasmanları, taban kesme kuvvetleri, perde duvarlara gelen kesme kuvvetleri gibi değişkenler kalınlığa nazaran daha az oranlarda değişmiştir. Kesit boyutları ve tasarım arasındaki doğrusal olmayan ilişki nedeniyle, daha büyük kesitlerin daha güvenli bir sistem oluşturacağı düşüncesine zıt olarak, günümüzde yaygın bir şekilde kabul görmüş yapısal tasarım ilkelerinin tamamını en elverişli şekilde sağlayacak bir tasarım aramak daha uygundur. Gerekli süneklik, yer değiştirme ve şekil değiştirme sınırları içerisinde kalacak bir perde duvar kalınlığından daha kalın perde duvarlarla oluşturulacak sistemlerin daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalarak ekonomik olmayacak çözümlere yol açacağı görülmektedir.

5. KESME DONATISININ ETKİSİ

Bu bölümde perde duvarlarda kesme donatısının değişmesiyle, yapı davranışının nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bunun için aynı perde duvar kalınlığı üzerinden farklı kesme donatısı miktarları belirlenerek, kontrol modelleri oluşturulmuştur. Bu kontrol modellerinin zaman tanım alanında analizleri tamamlanarak, karşılaştırmalar yapılmıştır

5.1 Kontrol Modellerinin Oluşturulması

Bu bölümde, bir önceki bölümde W55 olarak adlandırılan ve alt katlardaki perde duvar kalınlıkları 55 cmm olan model baz olarak alınmıştır. Bu duvar kalınlığı ile Türk Deprem Şartnamesi (DBYBHY, 2007) dahilinde tasarım yapılmıştır. Baz model, Türk Deprem Şartnamesi'ne göre tekrar tasarlanmıştır. Perde duvarların kesme tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=2$ alınmıştır. Diğer kontrol modelleri, baz model kesme donatılarının %125, %75, %50 ve %25 oranlarında arttırılarak veya azaltılarak oluşturulmuştur. Kontrol modelleri arasındaki tek fark perde duvarlardaki kesme donatı miktarıdır. Kontrol modellerinde kullanılan kesme donatıları Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 : Kontrol modellerinin özellikleri.

Model Adı	Açıklama
0.25A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %25'i kadar kesme donatısı
0.50A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %50'i kadar kesme donatısı
0.75A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %50'i kadar kesme donatısı
1.00A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısı
1.25A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %50'i kadar kesme donatısı

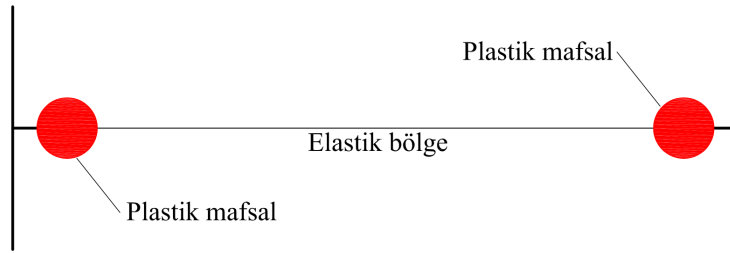
5.2 Doğrusal Olmayan Modellerin Oluşturulması

Doğrusal olmayan analiz yapılabilmesi için, yapısal elemanlarda doğrusal olmayan davranışların tanımlanması gerekir. Bu çalışmada yapı elemanlarındaki doğrusal olmayan davranışın modellenmesi şu şekildedir: Kolonlar, betonarme kirişler ve çelik bağ kirişlerinde için plastik mafsallı model; perde duvarların aksel ve eğilme davranışı için fiber modeli, perde duvarların kesme davranışı için doğrusal olmayan yay elemanı kullanılmıştır.

5.2.1 Çubuk elemanlarda elastik ötesi davranış modelleri

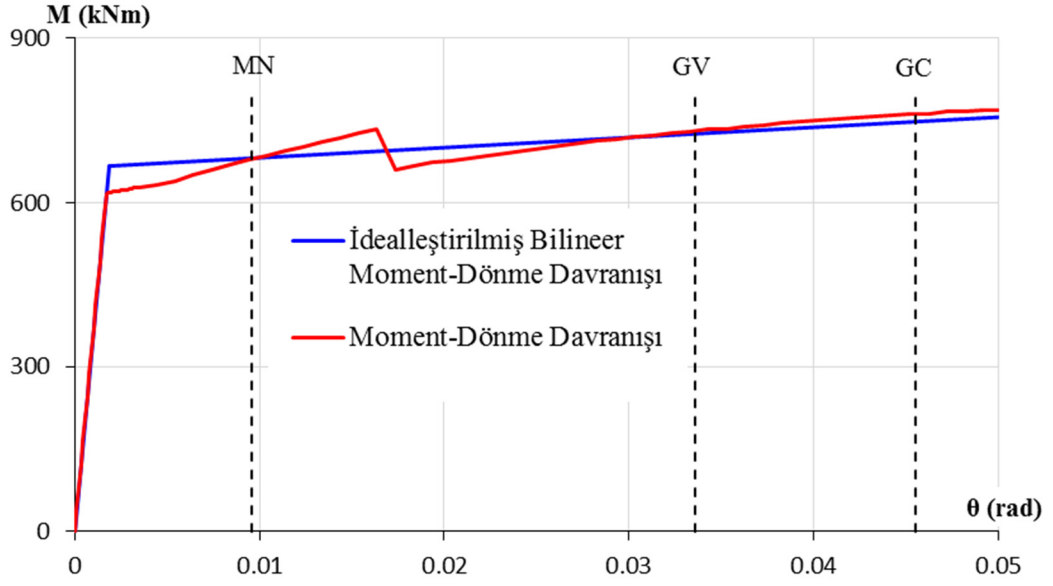
5.2.1.1 Betonarme çevre kirişleri

Betonarme çevre kirişleri, iki ucunda plastik mafsallı bulunan çubuk elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Tipik doğrusal olmayan kiriş modeli.

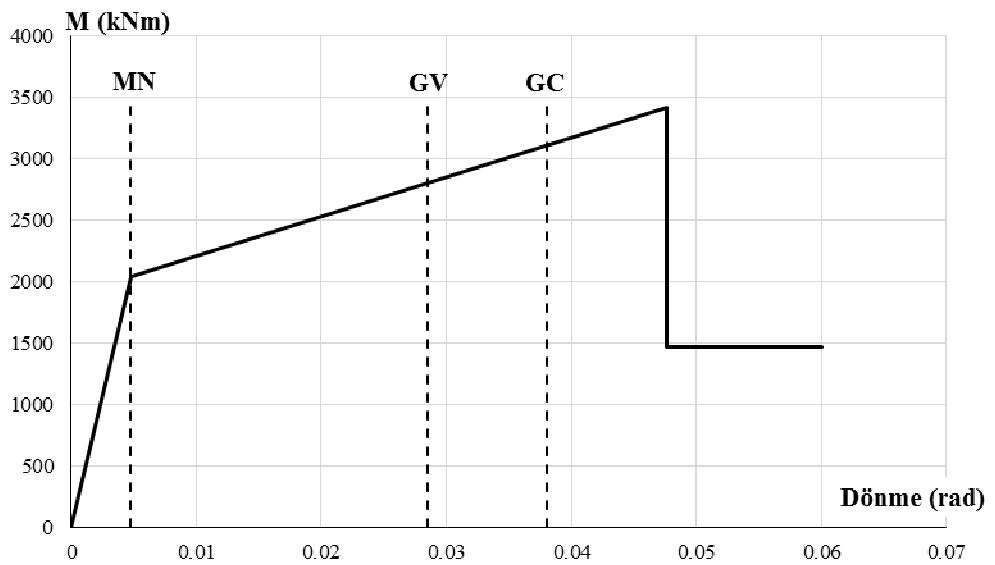
Plastik mafsallı kapasitesinin belirlenmesi için, monotonik yük altında ilgili kesitin moment-eğrilik analizi yapılmıştır (Şekil 5.2). Elde edilen moment-eğrilik ilişkisi idealleştirilerek elastik-plastik bir doğrusal olmayan davranış tanımlanmıştır. Bu çalışmada plastik mafsallar, moment-dönme ilişkisi ile tanımlanmıştır. Bu ilişkinin elde edebilmek için yapılan moment-eğrilik analizinde eğrilik değerleri plastik mafsallı boyu ile çarpılarak dönme değerleri elde edilmiştir. Plastik mafsallı boyu, kiriş yüksekliğinin yarısı kadar, 30 cm kabul edilmiştir.



Şekil 5.2 : Moment-eğrilik analizi ve idealleştirilmiş model.

5.2.1.2 Çelik bağ kirişleri

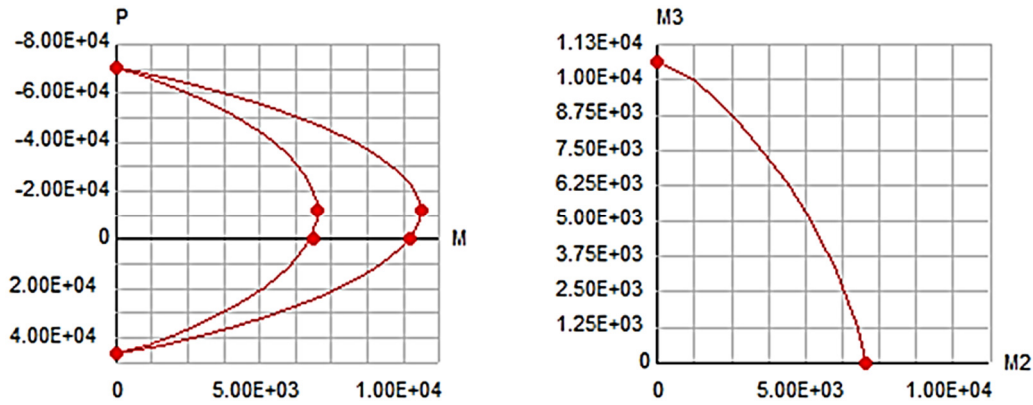
Bu çalışmada kullanılan örnek yapıda bağ kirişleri çelik kirişlerdir. Bu kirişler S355 HE500M profildir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi için bu kirişlerin iki ucuna plastik mafsalları tanımlanmış ve performans seviyeleri bu mafsalların dönmeleri üzerinden belirlenmiştir. Hem plastik mafsalları kapasitesi hem de performans seviyeleri FEMA 356 ve FEMA 273 dökümanları kullanılarak belirlenmiştir. İlgili hesaplar EK-B kısmında sunulmuştur. Plastik mafsallara tanımlanan moment-dönme ilişkisi ve performans seviyeleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Çelik bağ kirişi doğrusal olmayan davranış modeli.

5.2.1.3 Kompozit kolonlar

Bina çevre kolonları, kompozit kolondur ve tüm katlar boyunca aynı kesit kullanılmıştır. Kolonlar, 85 cm dairesel kesit ve içerisinde HD400x677 profil olarak tasarlanmıştır. Malzeme olarak C45 beton ve S460 HISTAR çelik malzemeleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelinde bu kolonlar P-M-M mafsali ile modellenmiştir. Kolonun aksenal yük ve moment kapasitesi AISC 360-10 yönetmeliğine göre hesaplanıp, P-M-M mafsalında bu değerler kullanılmıştır (Şekil 5.4). İlgili hesaplar EK-A kısmında mevcuttur.



Şekil 5.4 : Kompozit kiriş P-M-M mafsali özellikleri.

5.2.2 Perde duvar doğrusal olmayan davranış modeli

Performans değerlendirmesi için perde duvarlar için plastik mafsali modeli yetersiz kalabilmektedir. Perde duvarlarda; tarafsız eksenin değişimi, farklı yapı elemanlarının bağlantısı açısından geometrik uygunluk ve benzeri durumlar göz önünde tutulduğunda fiber model kullanılması uygundur. Performans değerlendirmesi için ise, perde duvarın çeşitli yerlerinde donatı birim uzaması veya beton birim kısalması gözlemlenebilir. Donatı birim uzaması ve beton birim kısalması için ilgili performans seviyeleri Türk Deprem Şartnamesi'nde (DBYBHY, 2007) belirtilmiştir. Fiber modelde kullanılmak üzere, beton ve donatı çeliği malzeme modellerinin belirlenmesi gerekir.

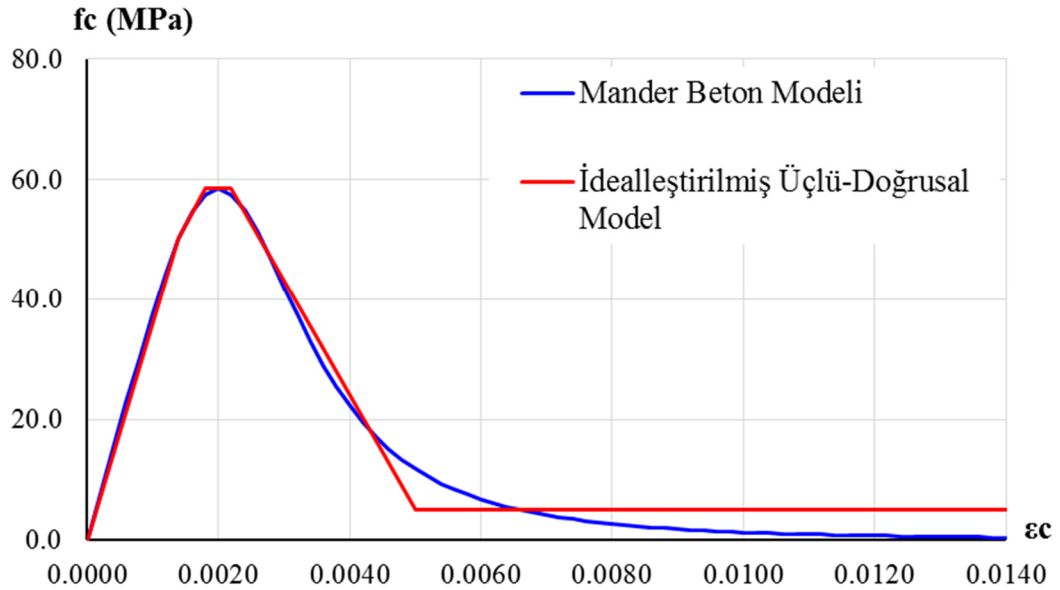
5.2.2.1 Malzeme modelleri

Perde duvarların için doğrusal olmayan fiber modeller kullanılmıştır. Fiber model için kullanılan malzeme modelleri bu bölümde anlatılmıştır. Sargılanmış beton modeli, sargılanmamış beton modeli ve donatı çeliği modeli olmak üzere üç adet malzeme

modeli kullanılmıştır. Performansa dayalı tasarım için analiz yapılırken malzemelerin karakteristik dayanımını yerine ortalama dayanımı kullanılmaktadır. Karakteristik dayanım değerleri belirli katsayılarla arttırılarak ortalama dayanım elde edilebilir. Bu çalışmada beton için 1.3 ve donatı çeliği için de 1.17 katsayıları kullanılarak ortalama dayanım değerleri elde edilmiştir(LATBSDC, 2014).

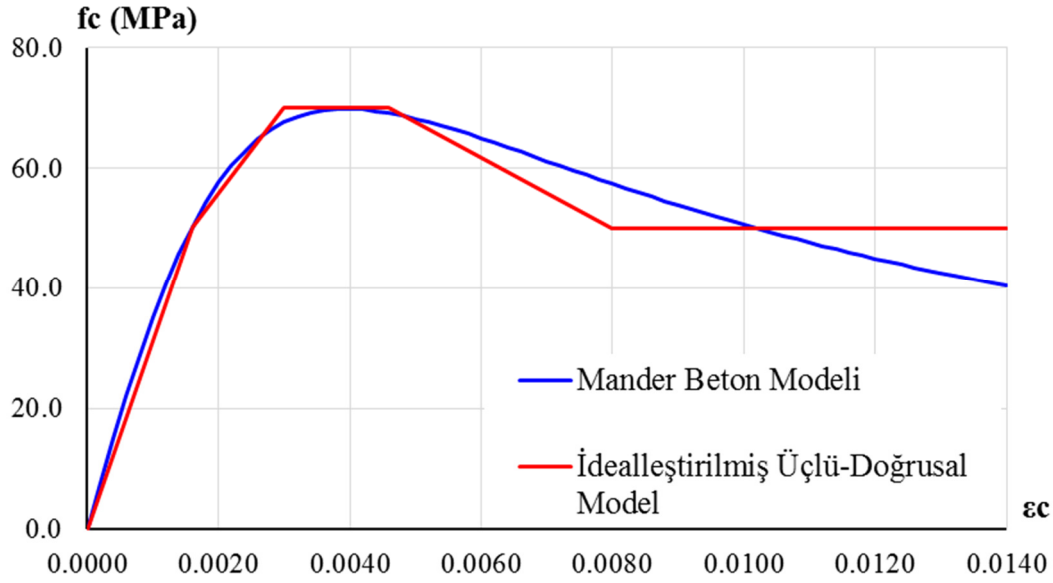
Beton modeli

Beton malzeme modellerinin oluşturulmasında Mander modeli kullanılmıştır (Mander, Priestley ve Park, 1988). Perde duvarların gövde bölgesi için sargılanmamış beton modeli, başlık bölgeleri için ise sargılanmış beton modeli tanımlanmıştır. Başlık bölgesinin boyutuna ve o bölgedeki sargı donatısına göre betonda sargı etkisi kullanılmıştır. Her iki beton modeli 0.0002 birim uzama-kısalma adım aralıklarıyla detaylı bir şekilde hazırlanmıştır. PERFORM3D programındaki kısıtlamalar nedeniyle programın öngördüğü üçlü-doğrusal malzeme modeli şablonuna göre idealleştirilmiştir (Şekil 5.5 ve 5.6).

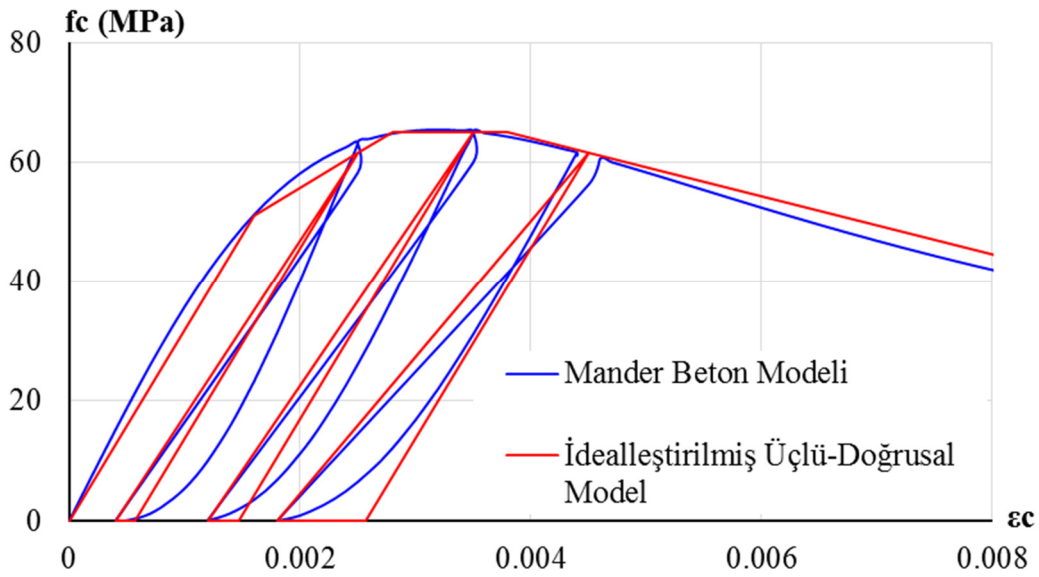


Şekil 5.5 : Sargılanmamış beton modeli.

Beton modeli oluşturulurken yapılan idealleştirmeler monotonik yükleme üzerinden yapılmış daha sonra çevrimsel yük eğrileri de kontrol edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.6 : Sargılanmış beton modeli.

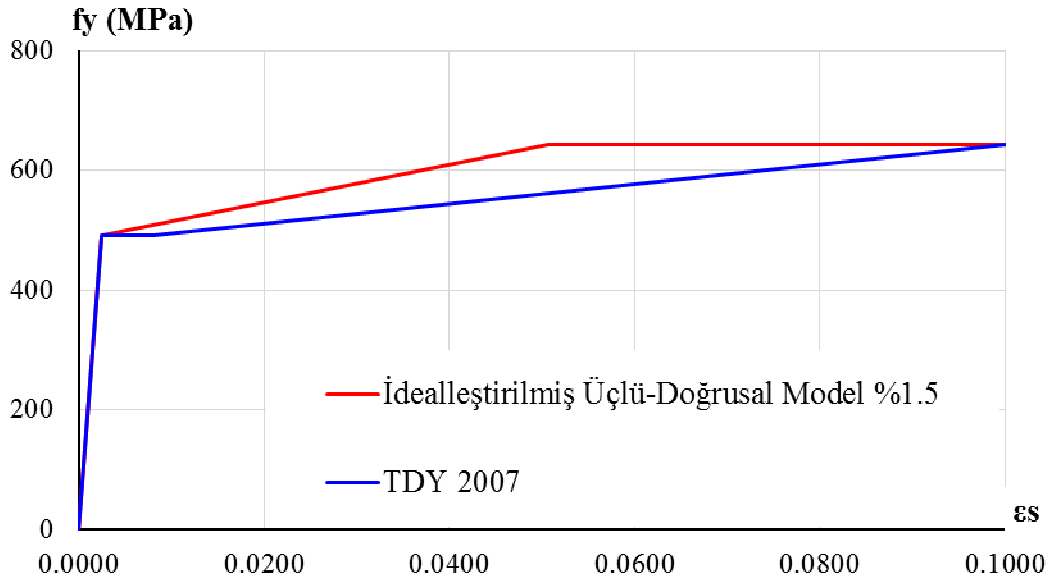


Şekil 5.7 : Sargılanmış betonun çevrimsel yükleme modeli.

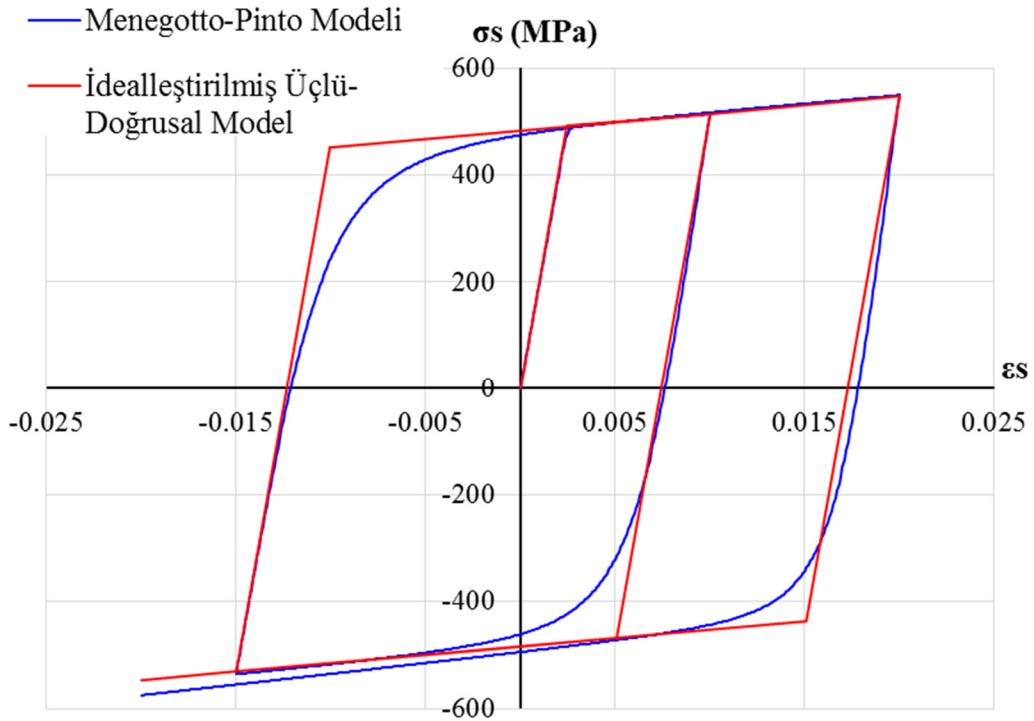
Donatı modeli

Donatı çeliği modeli de idealleştirilmiş üçlü-doğrusal model şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 5.8). Akma sonrası %1.5 pekleşme kabul edilmiştir. Ayrıca donatıdaki çevrimsel bozulma durumu ise Moehle ve diğerlerinin yaptığı çalışmada önerildiği şekliyle tanımlanmıştır (PEER, 2011). Çevrimsel bozulma katsayıları, ilgili çalışmada, daha önce gerçekleştirilmiş deney sonuçları dikkate alınarak, PERFORM3D programında analiz sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılarak, kalibrasyon

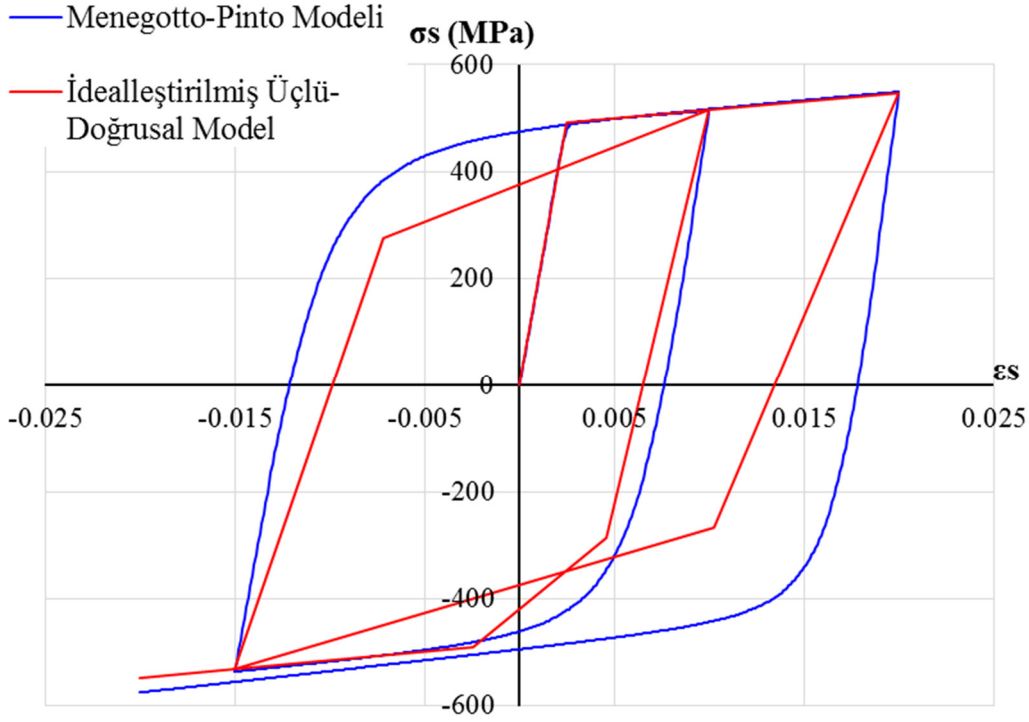
yapılmasıyla belirlenir. Bu çalışmada gerekli kalibrasyon yapılarak, gerçeğe en yakın davranış elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 5.9 ve 5.10). Bu katsayılar; çelik modelinin monotonik yük-şekil değiştirme eğrisinde etkili olmasa da, çevrimsel yük-şekil değiştirme davranışını etkiler.



Şekil 5.8 : Donatı malzeme modeli.



Şekil 5.9 : Donatı çevrimsel yükleme modeli.



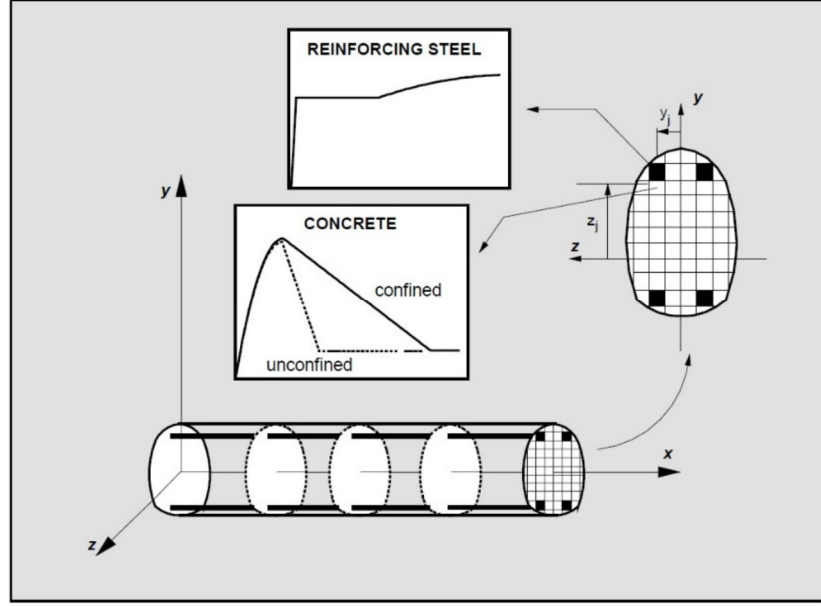
Şekil 5.10 : Çevrimsel bozulma katsayıları ile donatı çevrimsel yükleme modeli.

5.2.1.2 Perde duvarlarda doğrusal olmayan eğilme davranışı modeli

Perde duvarlarda doğrusal olmayan davranışın tanımlanması için fiber kesit modeli kullanılmıştır. Fiber modelde kesitin davranışı, beton ve donatı fiber elemanların davranışlarının toplamı olarak meydana gelir (Şekil 5.11 ve 5.12). Bu nedenle beton ve donatı fiber elemanı olarak tanımlanan malzeme modelleri ne kadar detaylı ise, kesitin eğilme davranışı da o denli hassas modellenebilir. Enkesiti belirli sayıda parçaya bölünen yapı elemanını ve bölünmüş parçaların tüm özelliklerini kesitin geometrik merkezine indirgenmiş lifler temsil eder. Bu liflere sadece eksenel davranış gösteren elemanlardır ve tüm kesitin eğilme davranışı bu liflerin uzama-kısalma ilişkileri ile belirlenir. Fiber modelin temelinde, düzlem kesitlerin düzlem kalacağı ve eğilme momenti altında gerilme dağılımının doğrusal olacağı kabulü yatar.

Kesitte tanımlanan beton ve çelik liflerin uzama-kısalma rijitlikleri, kesitin eğilme rijitliğini oluşturur. Her bir fiber belirli bir uzunluğa sahiptir ve bunlar uç uca eklenerek yapı elemanını meydana getirir. Fiber elemanların uzama-kısalma ilişkisinde etkili olacak kuvvet talebi, fiber uzunluğunun orta noktasında hesaba katılır. Bu nedenle yapı elemanına bağlı olarak, fiber elemanların uzunluğunun seçimi de önem arz eder. Burada gözetilecek durum; yapı elemanında en kritik etkilerin oluşması beklenen

kesitin, fiber elemanın orta noktasına denk gelecek şekilde tanımlanmasıdır. Örneğin konsol kiriş davranışı gösteren elemanlarda en kritik kesit mesnete en yakın kesit olacağından, mesnet yakın bölgelerde fiber eleman uzunluklarının kısa seçilmesi önemlidir. Perde duvarlar göz önünde tutulduğunda yaygın kullanım, fiber elemanların uzunluğunun kat yüksekliğince devam etmesidir. Özellikle yüksek binalarda, kat yüksekliğinin bina yüksekliğine oranı oldukça küçük olduğundan kat yüksekliğinde fiber eleman boyu seçimi sorun teşkil etmez.

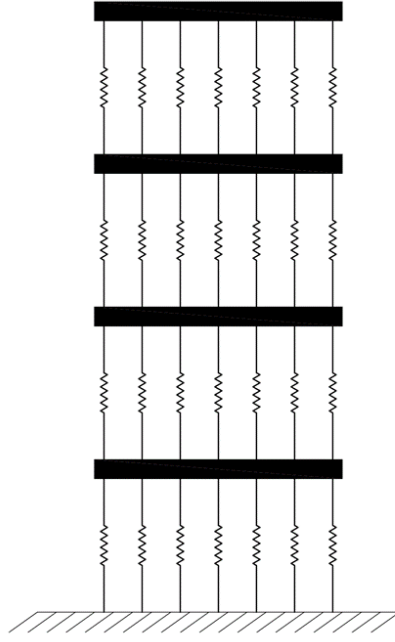


Şekil 5.11 : Fiber model(Taucer, Spacone ve Filippou, 1991).

Fiber kesit modelinin, plastik mafsal modeline göre bazı avantajları vardır. Bunlar;

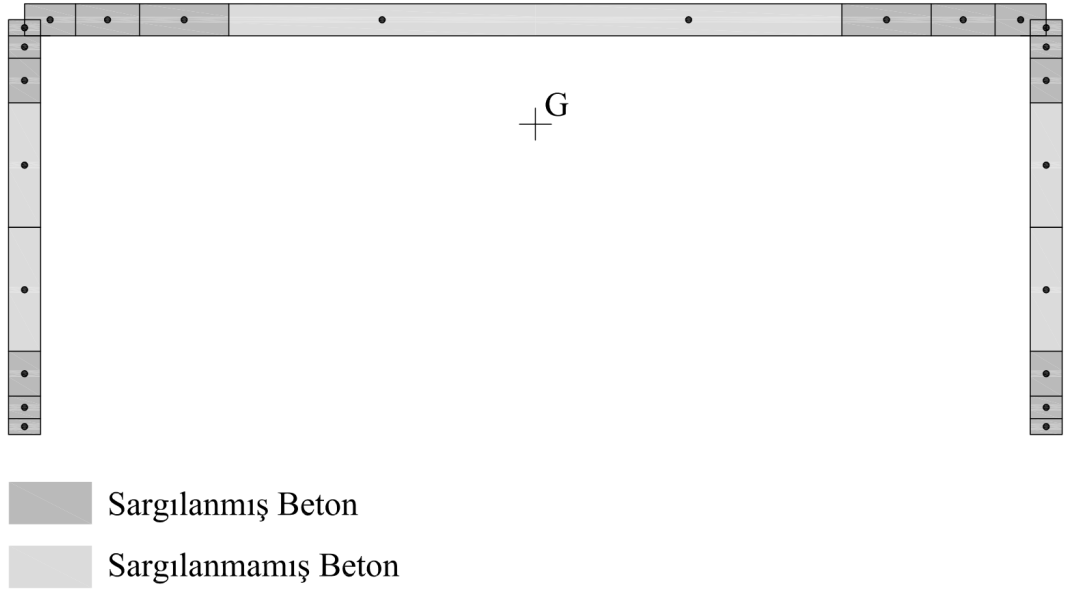
- Modelin çalışma prensibi gereği, eksenel kuvvet ve eğilme davranışı arasındaki etkileşim elde edilmiş durumdadır,
- Eğilme davranışı boyunca tarafsızlık ekseninin hareketi hesaba katılır,
- Her bir fiber elemanın uzama-kısalma davranışı elde edildiğinden, daha detaylı ve hassas hasar kontrolü yapılabilir.

Fiber kesit modeli, sadece eksenel davranışları içerdiğinden, elemanda kesme davranışı elastik veya doğrusal olmayan bir model ile ayrı bir şekilde tanımlanmalıdır.



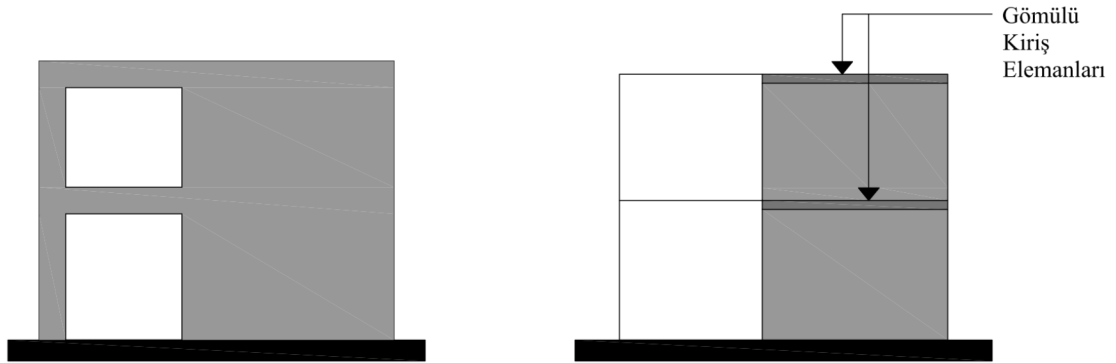
Şekil 5.12 : Perde duvarlarda fiber model.

Perde duvarlarda düzlem dışı eğilme kapasitesi, düzlem içi eğilme kapasitesine oranla çok küçük olduğundan sadece düzlem içi eğilme davranışını temsil edecek şekilde fiber kesit tanımlanır. Bir başka deyişle, perde duvar kalınlığı boyunca değil sadece uzunluğu boyunca küçük parçalara ayrılır (Şekil 5.13). Perde duvar kesitinde kullanılacak fiber eleman sayısı, bu çalışmada PERFORM3D programındaki imkanlarla sınırlanmıştır. Tarafsız eksene uzaklığının artmasıyla perde uç bölgelerindeki fiber elemanların kesit davranışı üzerinde daha büyük etkisi olduğundan, perde başlık bölgeleri daha sık bir şekilde bölünmeye çalışılmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Örnek yapıda perde duvarların fiber kesit düzeni.

PERFORM3D programında, perde duvar elemanlarının köşelerindeki düğüm noktalarının kendi dönme rijitlikleri olmaması nedeniyle; perde duvarlar diğer elemanlarla bağlantı noktalarında moment aktaramazlar. Bu durumda perde duvarlara bağlanan kirişlerin mesnetleri mafsallı bir birleşim gibi çalışır. Bu durumun önüne geçmek için perde duvar elemanlarının üzerine sanal gömülü kiriş elemanları tanımlanır (Şekil 5.14). Bu kiriş elemanlarının rijitlikleri doğru seçilerek uygun bir davranış elde edilebilir.



Şekil 5.14 : Perde duvarlarda gömülü kiriş elemanlar.

Perde duvarlarda analiz sonuçları incelenirken, genellikle her bir perde duvar parçası için ayrı kontrol yapılmıştır.

Perde duvarların eğilme etkisi altında performans seviyesinin tespiti için Türk Deprem Şartnamesi'nde (DBYBHY, 2007) betonarme kesitler için önerilen donatı birim

uzama ve beton birim kısalma değerleri kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

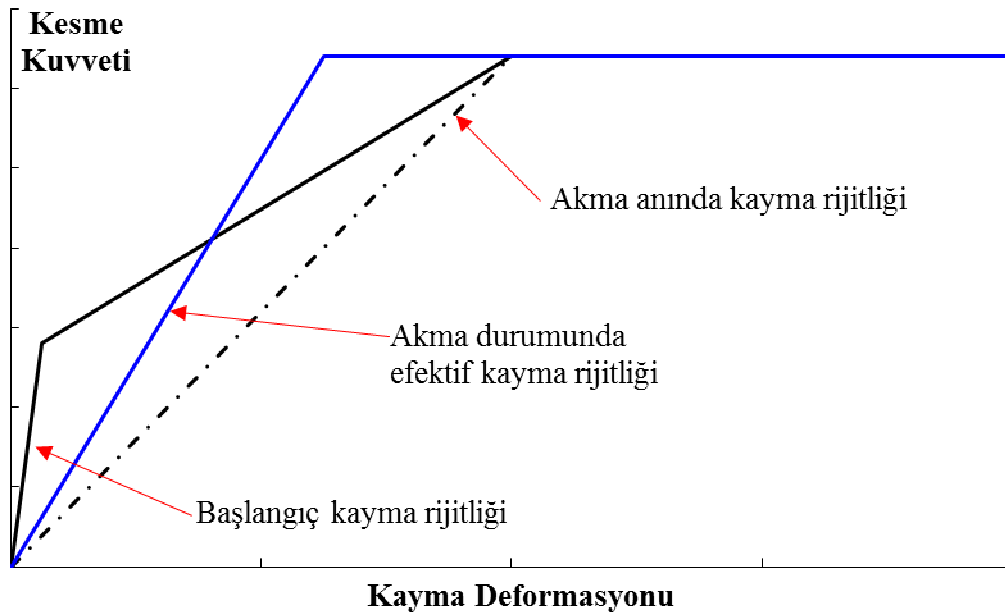
Çizelge 5.2 : Betonarme kesitler için performans seviyeleri (DBYBHY, 2007).

	Donatı birim şekil değiştirme, ϵ_s	Beton birim şekil değiştirme, ϵ_c
Minimum Hasar Sınırı(MN)	0.01	0.0035
Güvenlik Sınırı(GV)	0.04	0.0135
Göçme Sınırı(GÇ)	0.06	0.0180

5.2.1.3 Perde duvarlarda doğrusal olmayan kesme davranışı modeli

Elastik kesme modeli

Pratikte performansa dayalı tasarım kapsamında zaman tanım alanında analiz yapılırken, perde duvarlarda kesme modeli genelde elastik olarak tanımlanır. Lineer bir kesme davranışı amaçlanarak tasarım yapıldığından, bu yaklaşım çok isabetsiz bir seçim olmaz. Fakat akma öncesi çatlama oluşacağından, uygun bir efektif rijitlik seçilmesi gereklidir. Henüz ülkemizdeki şartnamelerde ve benzer dökümanlarda, efektif kayma rijitliği için önerilen bir değer yoktur.



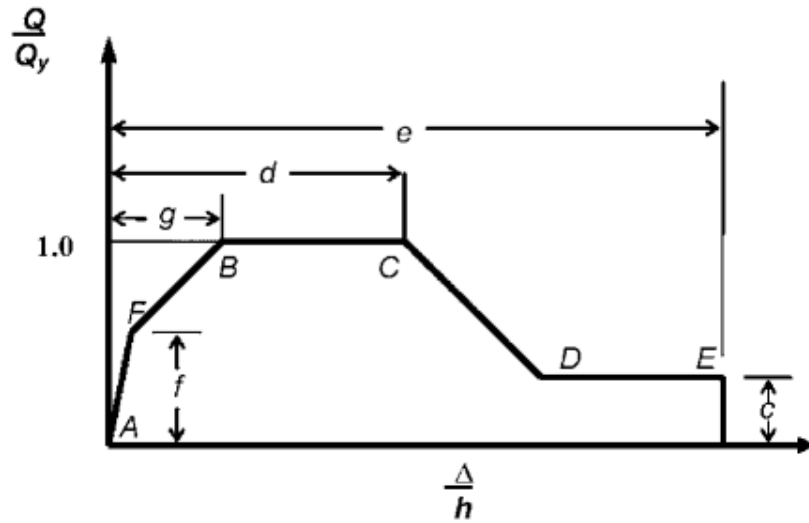
Şekil 5.15 : Betonarme kesitlerde kayma rijitliği.

Efektif rijitlik için seçilecek değer başlangıç kayma rijitliği ile akma anındaki kayma rijitliği arasında bir değer olmalıdır (Şekil 5.15). Genel olarak brüt kayma rijitliğinin %25'ini kabul etmek uygun sonuçlar verebilir (Powell, 2007). Fakat tasarım yaklaşımına göre kesme kuvveti talebi-kesme kapasitesi göz önünde tutularak daha farklı değerler kullanılabilir.

Doğrusal olmayan kesme modeli

Sismik tasarım yapılırken yaygın kabul göre kapasite tasarım felsefesi benimsenir. Buna göre hiç bir kesitte kesme kuvveti sonucu güç tükenmesi veya akma davranışına ulaşılmaması gerekir. Burada amaç kesitte, göreceli olarak az enerji sönümleme kapasitesi gösteren ve hızlı bir şekilde kapasite kaybına neden olacak gevrek bir güç tükenmesi oluşmasının engellenmesidir. Fakat yapılan bazı çalışmalarda, doğru detaylandırılma yapıldığında kesme davranışının, az da olsa belli bir sünekliğinin olduğu görülmüştür. Bu kesme sünekliği, eğilme sünekliğine göre oldukça düşüktür. Pratik mühendislik uygulamalarındaki zaman tanım alanında yapılan analizlerde genellikle doğrusal olmayan kesme davranışı tanımlanmaz. Kesitin kesmeye karşı iyi bir şekilde detaylandırıldığı ve davranışın elastik fazda kalacağı kabul edilir.

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar betonarme elemanların kesme davranışını idealleştirmeye çalışıp belirli davranış modelleri ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada doğrusal olmayan kesme davranışı için ASCE 41-13 dökümanında önerilen model kullanılmıştır (Şekil 5.16). Bu döküman yeni bir davranış modeli önerirken, kesme kapasitesi için ACI 318 dökümanına atıfta bulunur.



Şekil 5.16 : Tipik doğrusal olmayan kesme davranışı modeli (ASCE 41-13).

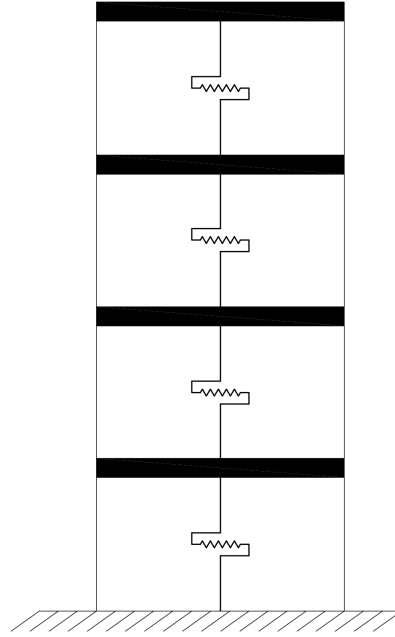
ASCE 41-13’de önerilen kesme modeli, kesitteki kesme kuvvetinin kesitin kesme kuvveti altında akma dayanımına oranı ve kesit kayma şekil değiştirme üzerinden tanımlanır. Kesme kuvveti altında akma dayanımı (Q_y) ise ACI 318’de önerilen perde duvar kesme kapasitesi olarak tanımlanmıştır (ACI 318M-11, Denklem 21-7). Bu davranış modelinde her bir noktaya denk gelen şekil değiştirme değerleri ise ASCE 41-13’nde verilmiştir. Bu çalışmada ASCE 41-13 kesme modeli, bir değişiklik yapılarak kullanılmıştır. Bu değişiklik, kesit çatlama dayanımının ASCE 41-13’de belirtildiği gibi akma dayanımının %60’ı değil, kesitin beton tarafından sağlanan kesme direnci kullanılması şeklindedir. Bunun nedeni kesme etkisi altında betonarme kesitlerde çatlakların başlangıcı, kesitteki beton kesme direncine ulaşıldığı nokta olmasıdır (Nilson, Darwin ve Nolan, 2009). Dolayısı ile doğrusal olmayan kesme davranışı modelleri oluşturulurken çatlama dayanımı (Q_{cr}) için f katsayısı kullanılmayıp, beton kesme direnci hesaplanarak kullanılmıştır. Kesitin çatlama dayanımı ve diğer değişkenler Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. Bu çalışmadaki kontrol modellerinde perde duvar kalınlığı değişmediğinden, Şekil 5.18’de görüldüğü gibi tüm modellerde çatlama dayanımı aynıdır.

Çizelge 5.3 : ASCE 41-13 kesme modelinde kullanılan değişkenler.

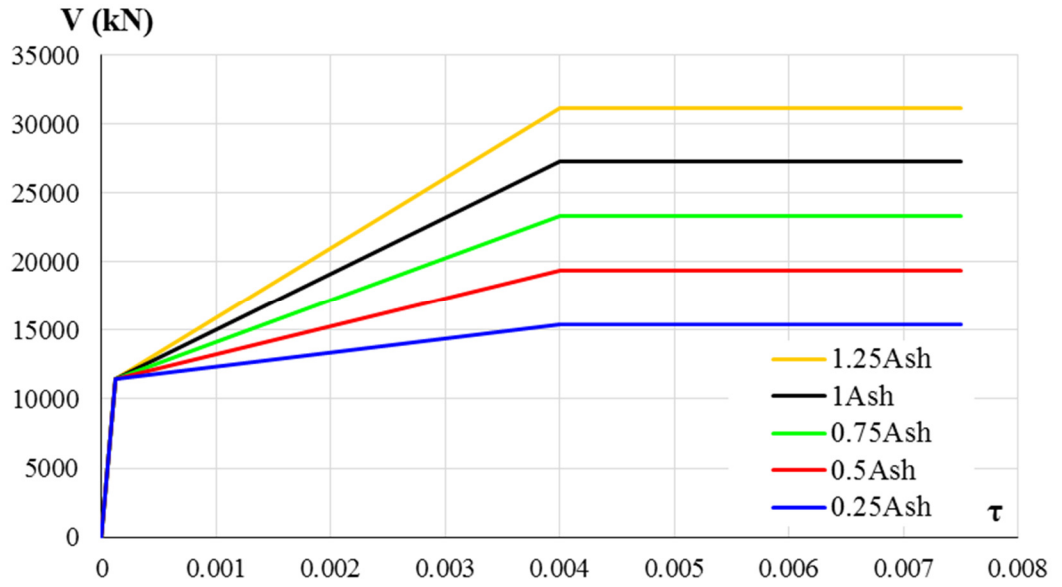
Değişken	Kullanılan değer
c	0.00
d	0.0075
e	0.0010
g	0.0040
Q_y	$A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_{sh} f_y)$
Q_{cr}	$A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c})$

PERFORM3D programında doğrusal olmayan kesme modeli, doğrusal olmayan kesme malzemesi olarak birim alan üzerinde tanımlandığından; ilgili kesitler için kesme kapasiteleri hesaplanıp kesit alanına bölünerek kesme gerilmesi haline getirilmiştir. İlgili perde duvar alanı ile birim alandaki davranış birleştirilerek, her bir kat için bir adet doğrusal olmayan kesme yayı oluşturulur. Çizelge 5.4’de $1.00A_{sh}$ modeline ait bina yüksekliği boyunca tüm perdeler için doğrusal olmayan kesme

modeline ait veriler sunulmuştur. Diğer modeller için doğrusal olmayan kesme modeline ait veriler ise Ek.C’de görülebilir.



Şekil 5.17 : Perde duvarlarda doğrusal olmayan kesme modeli.



Şekil 5.18 : Kontrol modellerinde 16 m uzunluğundaki duvar için örnek doğrusal olmayan kesme modelleri.

Çizelge 5.4 : 1.00A_{sh} modelinde çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları.

Kat	b (mm)	d (mm)	Donatı	ρ_{sh} (%)	G^*A_{cv} (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	V_A (kN)	γ_{cr}	γ_y	γ_u	τ_{cr} (kN/m²)	τ_u (kN/m²)
L0-L5	550	6500	Φ16/200	0.366	36943192	4648	6422	11071	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3097
L6-L15	550	6500	Φ14/200	0.280	36943192	4648	4917	9565	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2676
L16-L30	450	6500	Φ12/200	0.251	30226248	3803	3612	7416	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2535
L31-L43	350	6500	Φ10/175	0.256	23509304	2958	2867	5825	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2560
L0-L5	550	16000	Φ16/200	0.366	90937088	11442	15808	27250	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3097
L6-L15	550	16000	Φ14/200	0.280	90937088	11442	12103	23545	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2676
L16-L30	450	16000	Φ12/200	0.251	74403072	9362	8892	18254	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2535
L31-L43	350	16000	Φ10/175	0.256	57869056	7281	7057	14339	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2560

5.3 Kullanılan Deprem Kayıtları ve Ölçeklendirilmesi

Yapının performans değerlendirmesi, zaman tanım alanında deprem etkisi altında yapılacaktır. Zaman tanım alanında deprem etkisi daha önce meydana gelmiş depremlerin kayıtları veya yapay olarak üretilmiş deprem kayıtları şeklinde olabilir. Bu değerlendirme için yapının maruz kalması olası depreme benzer özelliklere sahip tarihsel deprem kayıtları kullanılmalıdır. Bu çalışmada, binanın etkisi altında bulunması muhtemel Kuzey Anadolu Fay Hattı gibi yanal atımlı fayların üretmiş olduğu tarihsel deprem kayıtları kullanılmıştır.

PEER veri tabanından (<http://ngawest2.berkeley.edu/>) elde edilen deprem kayıtları, rastgele seçilmiş istasyonlardan alındığı için çok farklı mertebede ivme değerlerine sahiptir. Yapının maruz kalacağı deprem etkisi, deprem kayıtlarının alındığı istasyonların kaydettiği ivme değerleri ile aynı olması çok küçük bir olasılıktır. Bu nedenle deprem kayıtlarının ilgili deprem düzeyine göre ölçeklendirilmesi gerekir.

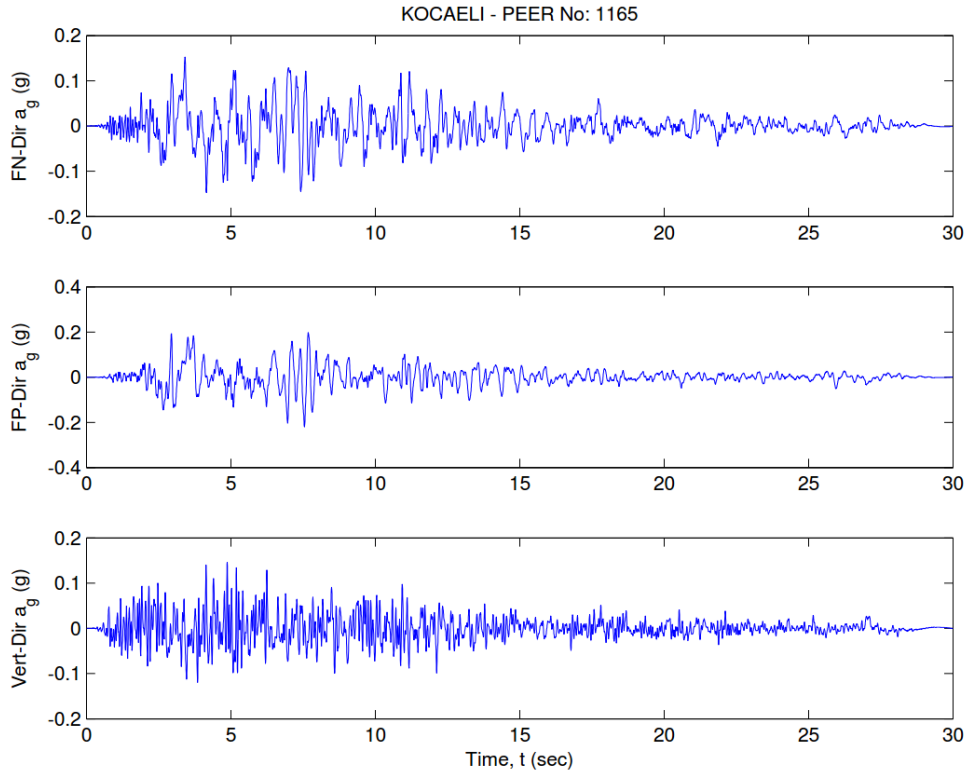
Temel olarak iki ölçeklendirme yöntemi mevcuttur. İlk yöntem, ivme değerlerinin sabit bir faktör ile artırılması veya azaltılmasıdır. Diğer yöntem ise hedef spektruma göre, ivme kaydının frekans içeriğinin değiştirilmesi yolu ile spektral eşleme yapılmasıdır. Bu çalışmada frekans içerikleri değiştirilmeden ivme değerleri, sabit bir katsayı ile hedef spektruma göre ölçeklendirilmiştir. Bu hedef spektrum için; yönetmeliklerce belirlenen spektrumlardan veya sahaya özel arazi koşulları için elde edilmiş spektrumdan yararlanılabilir. Bu tez çalışmasında kullanılan hedef spektrum, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği(İYBDY, 2007)'nde belirlenen D3 deprem düzeyindedir.

İvme değerleri ölçeklendirilir iken, genel olarak şu adımlar izlenmiştir:

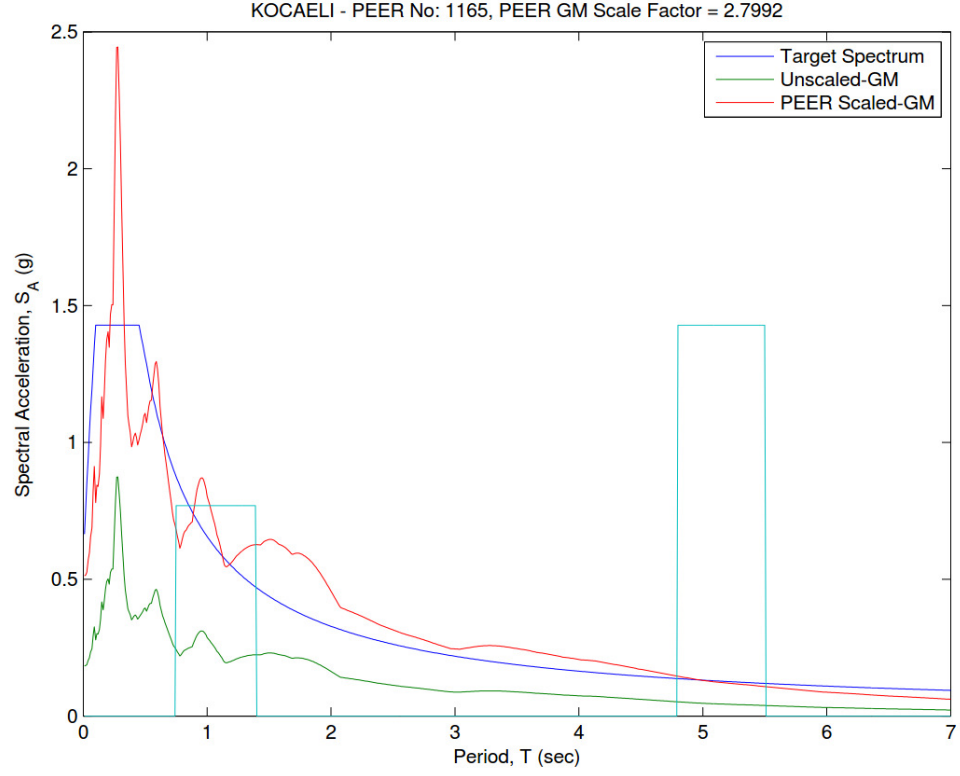
- İlgili deprem kaydına ait, tek serbestlik dereceli sisteme ait spektrum çizilir.
- Hedef spektrum belirlenir.
- Hedef spektrum ile ilgili deprem kaydından elde edilen spektrumun yeterli oranda üst üste düşmesini sağlayacak olan katsayı belirlenir.

Ölçeklendirilmiş deprem spektrumunun hedef spektrum ile yeterli oranda üst üste düşmesi net tanımı olan, genel kabul görmüş kriteri olan bir konu değildir. Söz konusu yapının periyotları civarında spektral ivme değerlerinin birbirine yaklaştırılmaya çalışılması makul bir yöntem olarak kabul edilebilir. Bu çalışmada, yapının birden

fazla modlarının periyotları civarında ölçeklendirme yapılmış, bu yöntemde her moda denk gelen kütle katılım faktörleri ağırlık olarak hesaba katılmıştır (Şekil 5.20). İstanbul Yüksek Binalar Yönetmeliği'ne göre, birbirine dik iki yatay bileşesene sahip en az yedi adet deprem kaydı seçilmelidir. Bu kayıtlar deprem kaynak mekanizması, moment büyüklüğü ve zemin cinsi açısından belli kıstasları sağlamalıdır. Ayrıca deprem kaydı seçilirken ve ölçeklendirilirken çalışmanın amacı gözetilmelidir. Ortalama performans değerleri aranırken, tüm deprem kayıtlarının hedef spektruma göre ölçeklenmesi uygun bir durumdur. Fakat belli durumların oluşma olasılığı aranıyorsa, ayrıca deprem kayıtlarının belirli bir ivme değerine denkleştirilmesinden ziyade deprem etkisinin dağılımı da göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 5.19 : Örnek bir deprem kaydı.



Şekil 5.20 : Örnek bir deprem kaydı ölçeklendirmesi.

Çizelge 5.5’de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları verilmiştir. Analiz sonuçlarında, ilgili depreme ait veriler “Deprem No.” referanslarıyla birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Kullanılan deprem kayıtları ve özellikleri.

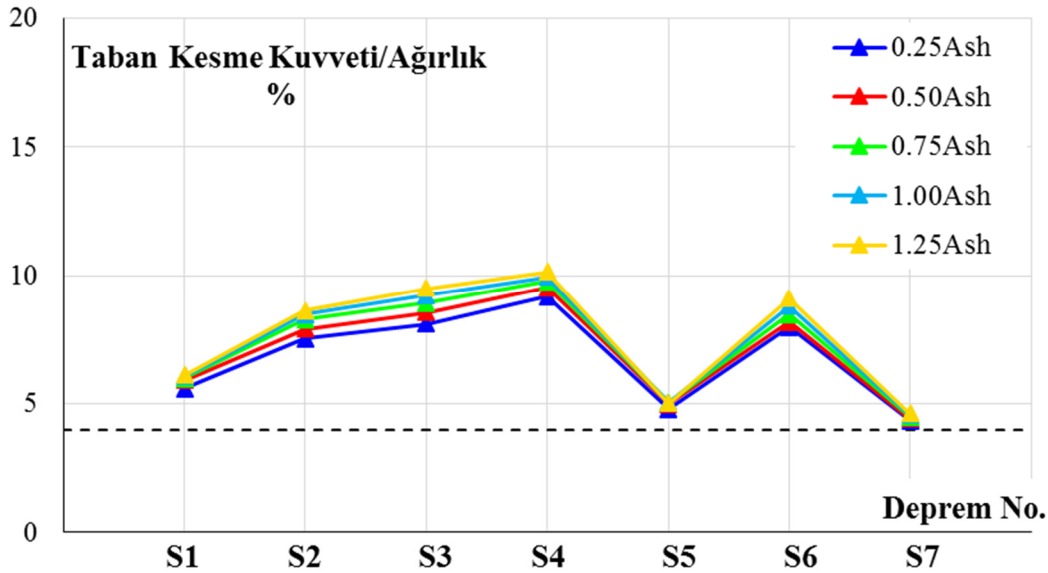
Deprem No.	PEER No.	Depremin Konumu	Süre (sn)	Adım Aralığı (sn)	Ölçeklendirme Katsayısı
S1	180	El Centro, ABD	39.280	0.005	1.17
S2	266	Chihuahua, Meksika	26.910	0.010	3.59
S3	549	Bishop, ABD	39.975	0.005	4.49
S4	821	Erzincan, Türkiye	20.775	0.005	1.92
S5	838	Landers, ABD	39.980	0.020	3.44
S6	1165	Kocaeli, Türkiye	29.995	0.005	2.79
S7	1176	Kocaeli, Türkiye	34.995	0.005	0.91

5.4 Analiz Sonuçları

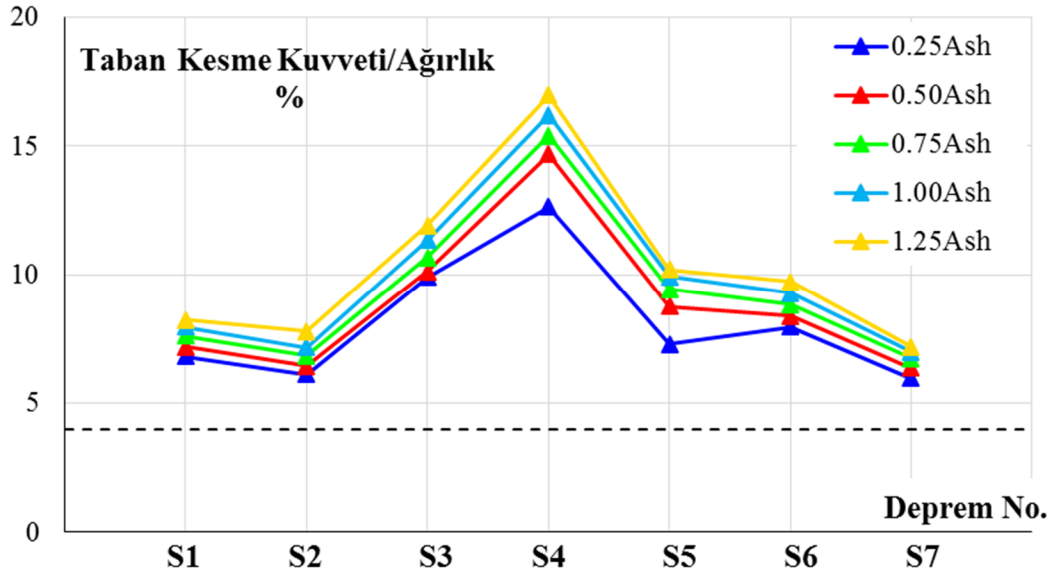
Perde duvarlarda kesme donatısının yapı davranışına etkisinin araştırılması için, gibi 5 farklı model oluşturulmuş, bu modellerin her biri 7 farklı deprem kaydı ile zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Bu bölümde sunulacak sonuçlar her bir modelin, 7 farklı deprem kaydı analiz sonucu elde edilen ortalama değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Kontrol modelleri arasında karşılaştırmalar yapılırken, her bir kontrol modeli için 7 deprem kaydı sonucunun ortalama değerleri dikkate alınmıştır. Bu analizler değerlendirilirken, mevcut yönetmeliklere göre yapılan tasarım sonucu elde edilen kesme donatısı baz alınarak, bu donatının %25, %50, %75 ve %125'i kadar donatı ile oluşturulmuş modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.4.1 Taban kesme kuvvetleri

Her model için, 7 deprem kaydına ait en büyük taban kesme kuvvetleri elde edilmiş ve Türk Deprem Şartnamesi'nde (DBYBHY, 2007) belirlenen %4 en küçük taban kesme kuvveti ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.21 ve 5.22). Bu karşılaştırma da %4 taban kesme kuvvetinin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım deprem düzeyine ait iken zaman tanım alanında analizlerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem düzeyine göre yapılmıştır.



Şekil 5.21 : X-doğrultusu taban kesme kuvvetleri.

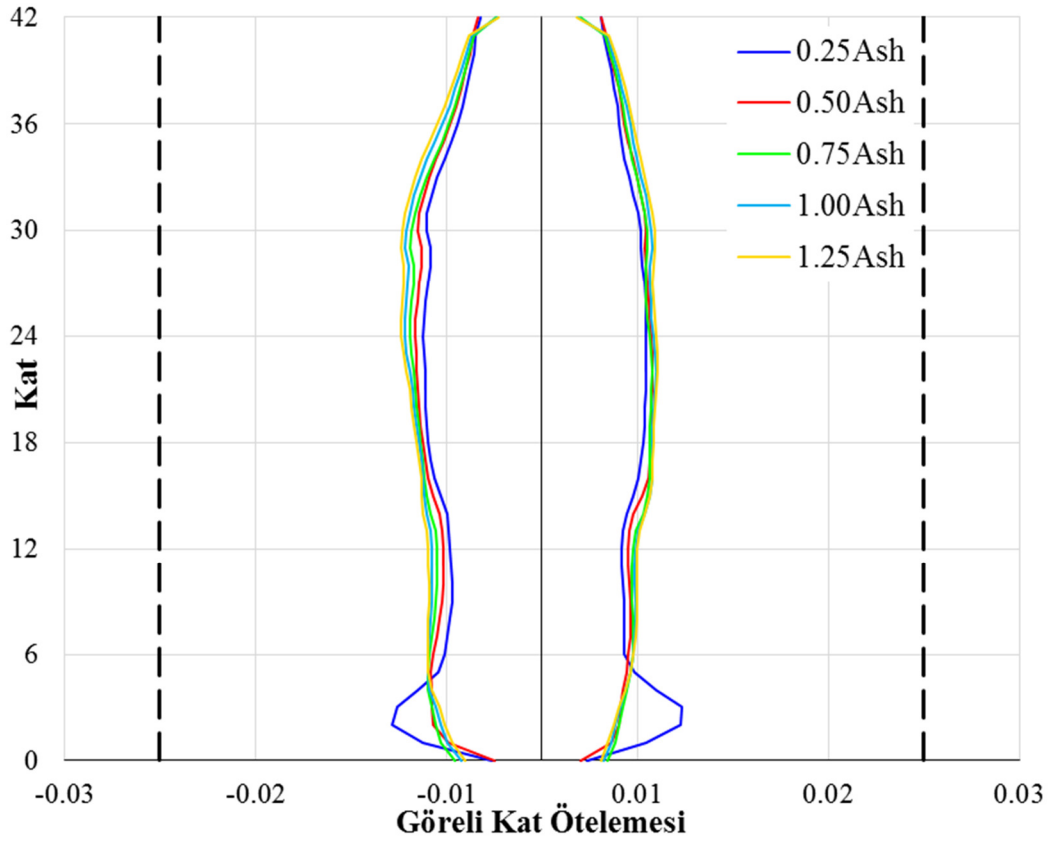


Şekil 5.22 : Y-doğrultusu taban kesme kuvvetleri.

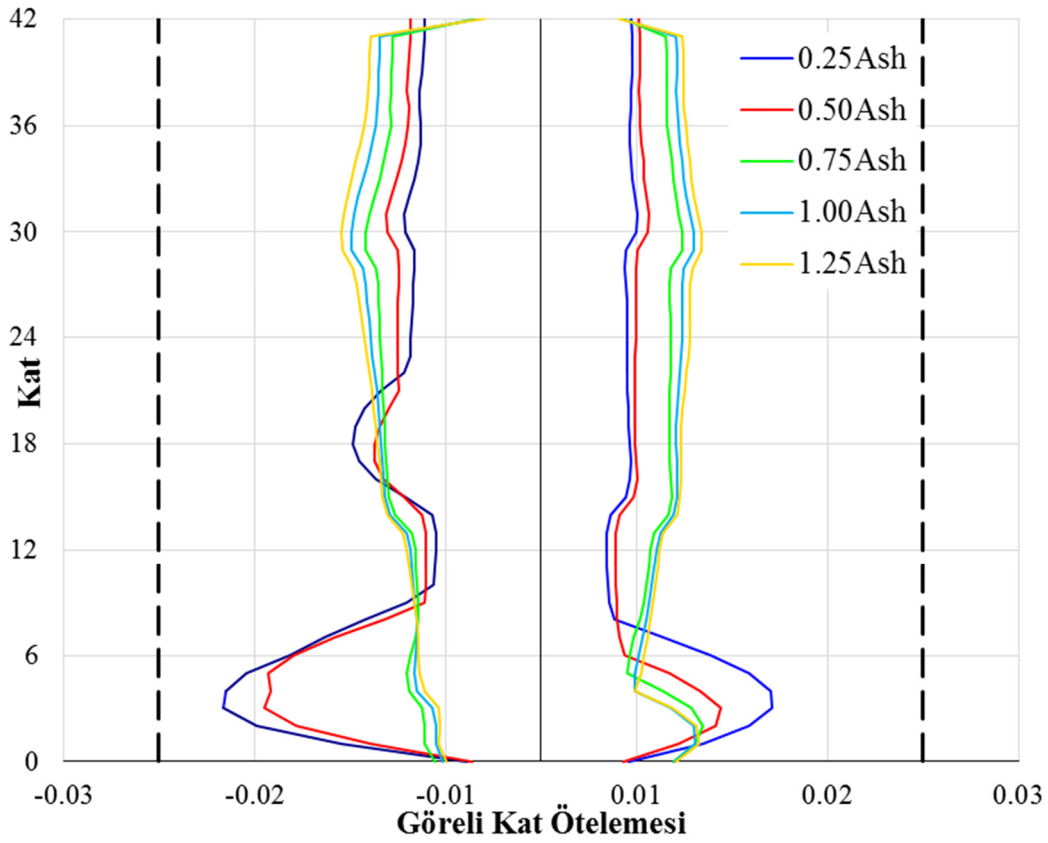
Zaman tanım alanında yapılan çözümler neticesinde, X doğrultusunda ağırlığın ortalama %7.2'si, Y doğrultusunda ortalama %9.3'ü kadar taban kesme kuvveti oluşmuştur. Y doğrultusunda daha fazla taban kesme kuvveti meydana gelmesinin nedeni, örnek yapının Y doğrultusunda daha rijit olmasıdır. D3 deprem seviyesinde ölçeklendirilen deprem kayıtları, bina tasarımı için şartnamede tanımlanan %4 en küçük taban kesme kuvvetinin yaklaşık iki katı kadar ortalama taban kesme kuvveti oluşturmuştur.

5.4.2 Göreli kat ötelemeleri

Her iki doğrultuda göreli kat ötelemeleri Şekil 5.23 ve 5.24'de gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : X-doğrultusu görelî kat ötelemeleri.



Şekil 5.24 : Y-doğrultusu görelî kat ötelemeleri.

Görelî kat ötelemeleri incelendiğinde, narinlik oranlarının kesme kuvvetlerine önemli oranda etkisi olduğu görölmektedir. Bu çalışmada ele alınan yapıda X doğrultusundaki rijitliğin büyük bir bölümü birbirine bağı kirişleri ile bağı 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlar tarafından sağlanmaktadır. Y doğrultusunda ise rijitliğin ana unsuru 16 m uzunluğundaki perde duvarlardır. Perde duvarların narinlik oranı, perde duvar yüksekliğinin perde duvar uzunluğuna oranı olarak tanımlanabilir. Bu çalışmadaki iki tip perde duvardan; 6.5 m uzunluğundaki perde duvarın narinlik oranı 25.14 iken 16 m uzunluğundaki perde duvarın narinliği 10.21’dir Yapının iki doğrultuda davranış farklılaşması incelendiğinde; narinlik oranı azaldıkça, kesme kapasitesinin daha önemli olmaya başladığı görölmektedir.

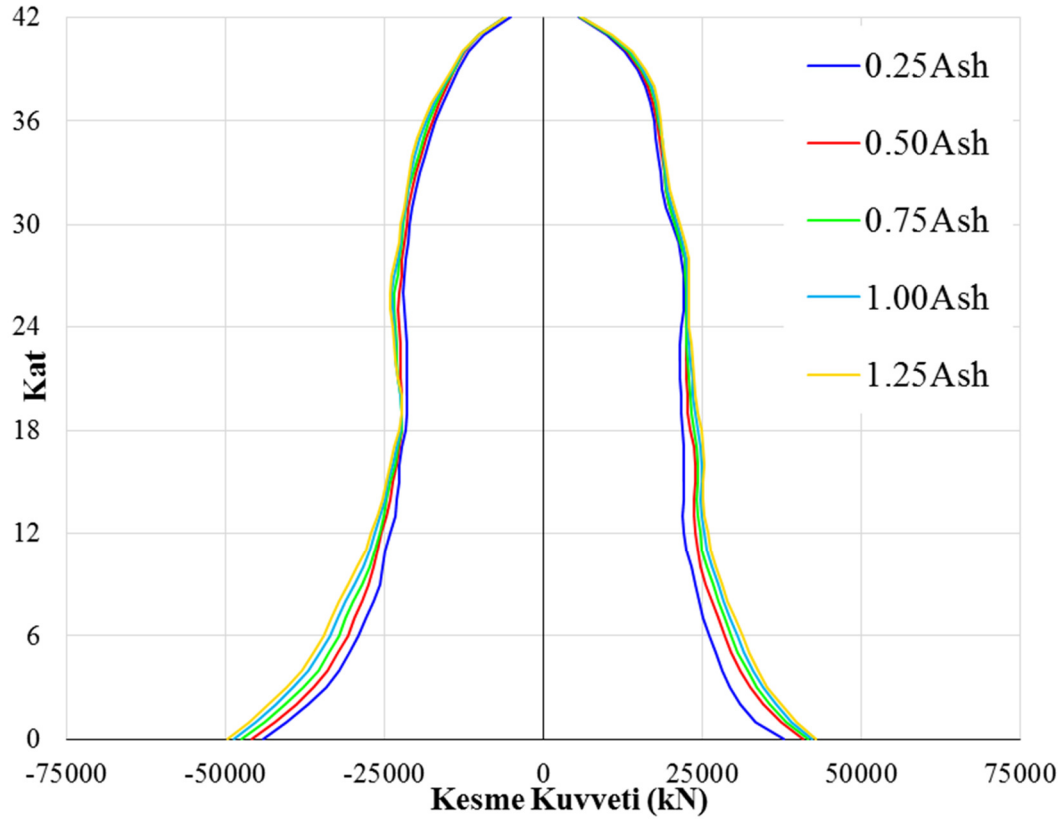
Y-dogrultusuna göre daha narin duvarların etkin olduğu X-dogrultusunda görelî kat ötelemeleri, kesme donatısı değışimine bağı olarak büyük farklılıklar göstermemiştir. Ancak kesme donatısı %25 seviyesine düştüğünde bazı uç değerler gözlenmiştir. Bunun nedeni, %25 donatı ile oluşturulmuş perde duvarların, alt katlarda kesme kuvveti altında akmasıyla, bu duvarların önemli oranda rijitlik kaybına uğramasıdır. Bundan dolayı, bu katlarda büyük yer değıştirmeler oluşmuştur.

Y-dogrultusu incelendiğinde, 16 m uzunluğundaki duvarların kesme kapasitesinin değışmesi ile görelî kat ötelemeleri önemli oranda değışkenlik göstermiştir. Bunun nedeni, perde duvarın kesme kapasitesinin azaltılması ile gerek akma sonrası gerekse çatlama sonrası kesitin ulaştığı efektif rijitlik değerleridir. Y doğrultusunda yapı rijitliği çok büyük ölçüde bu duvarlarla sağlandığı için, perde duvarlardaki rijitlik yapı yer değıştirmeleri açısından büyük önem arz eder.

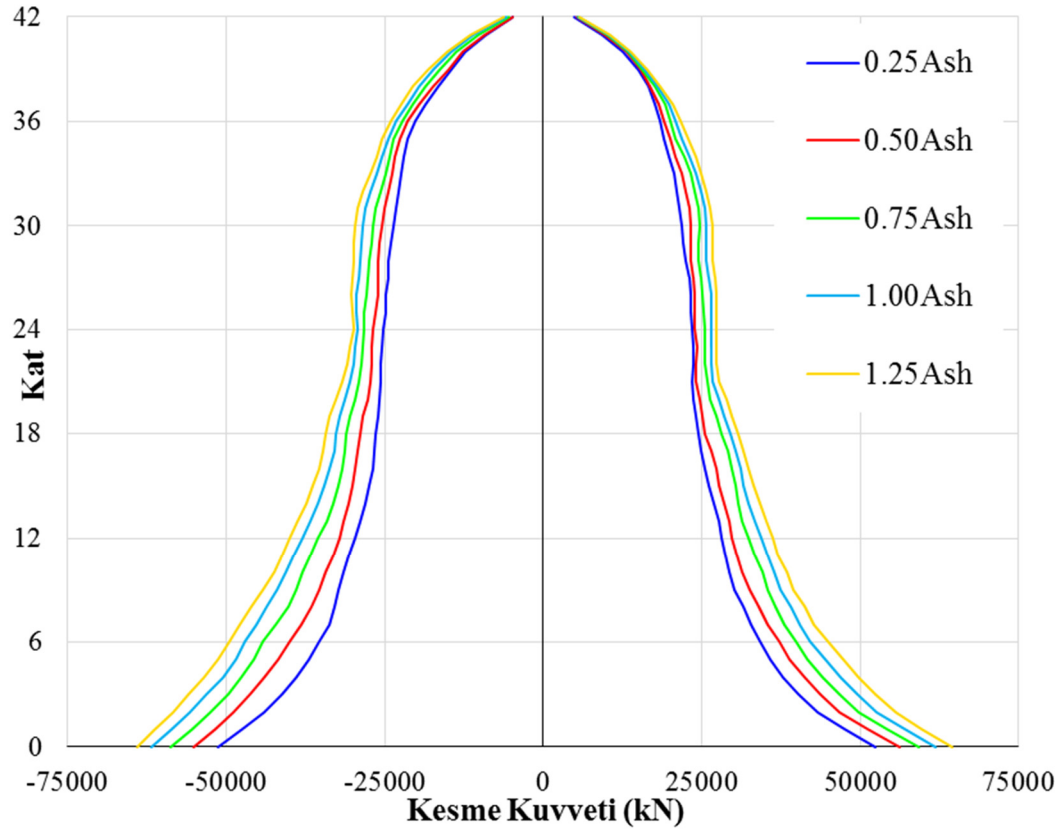
Y doğrultusunda her model için önemli bir farklılaşma olmasının yanında, bir başka gözlemlenen durum ise %75 donatı altında kalanlar ile üzerinde kalanların birbirleriyle görece daha yakın değerler vermesidir. Bu gruptan, %50 ile %75 kesme donatısı değerleri arasında perde duvarların kritik bir kapasitesinin bulunduğu çıkarımı yapılabilir. X doğrultusunda ise bu kritik kapasite değeri %25 ile %50 kesme donatısı arasında olduğu söylenebilir. Bu kritik kapasite değeri, perde duvarların narinlik oranı ile değışmektedir.

5.4.3 Kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri

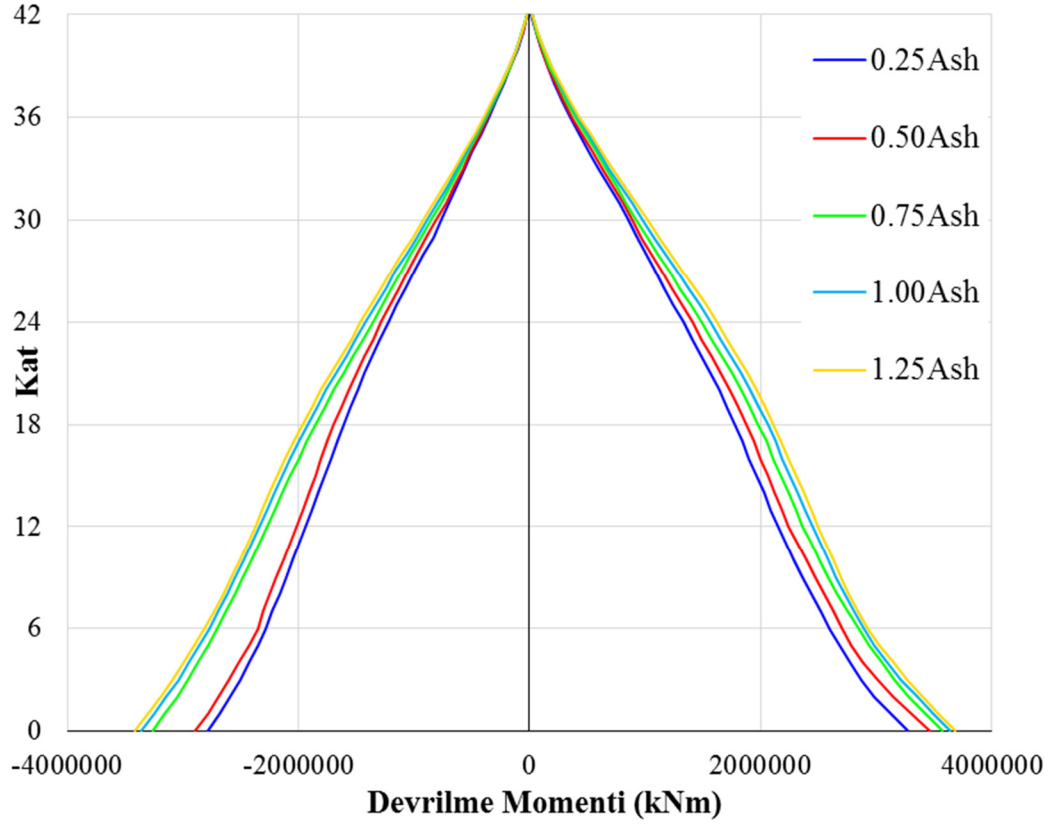
Kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri Şekil 5.25, 5.26, 5.27 ve 5.28’de gösterilmiştir.



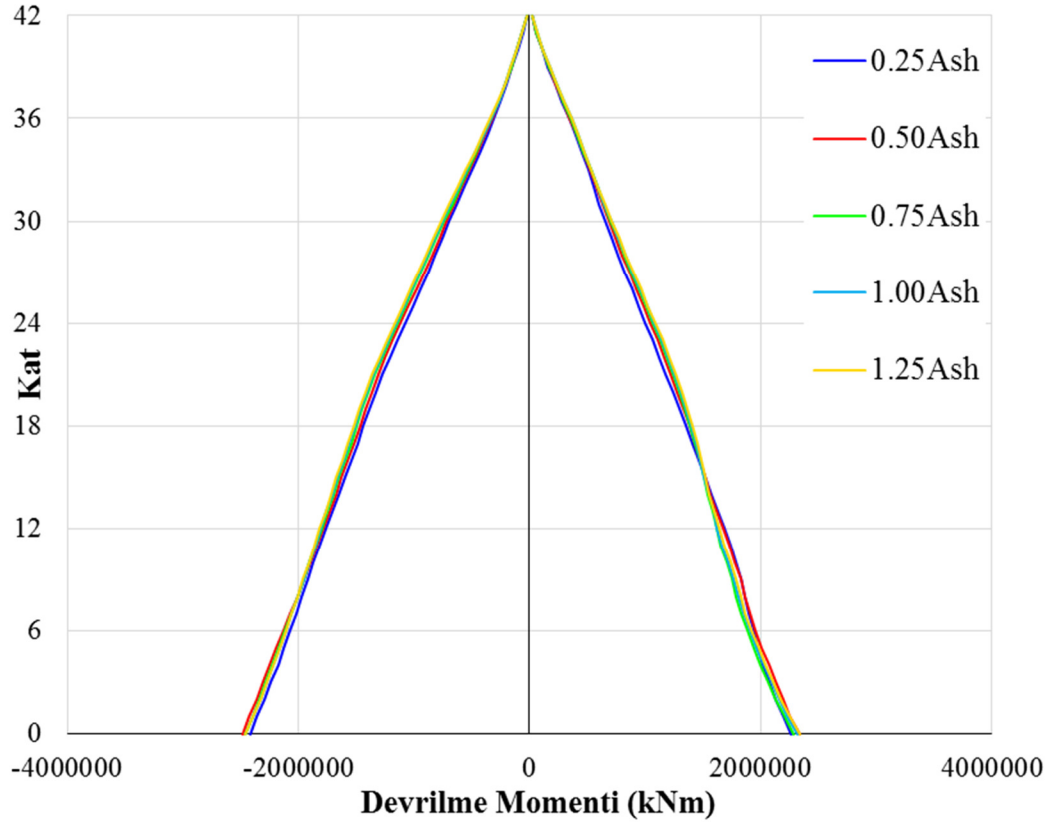
Şekil 5.25 : X-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.



Şekil 5.26 : Y-doğrultusu kat kesme kuvvetleri.



Şekil 5.27 : Y-ekseni etrafında devrilme momentleri.



Şekil 5.28 : X-ekseni etrafında devrilme momentleri.

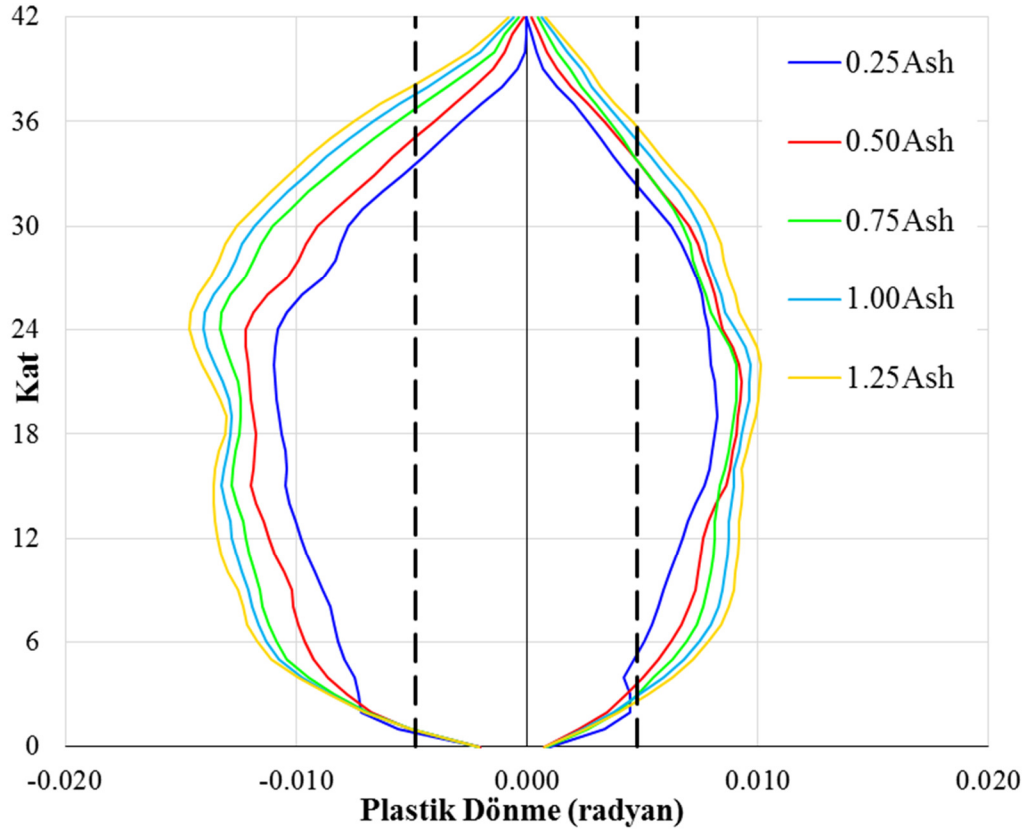
Sonuçlar incelendiğinde, perde duvarlarda kesme donatısı değişiminin, kat kesme kuvvetlerine ve kat devrilme momentlerine etkisinin düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür. Daha fazla kesme donatısı ile oluşturulmuş perde duvarlı sistemlerin, daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kaldığı görülmüştür. Bunun nedeni daha fazla donatı ile oluşturulan perde duvarların rijitlik kaybının az olmasıdır.

5.4.4 Bağ kirişi plastik dönmeleri

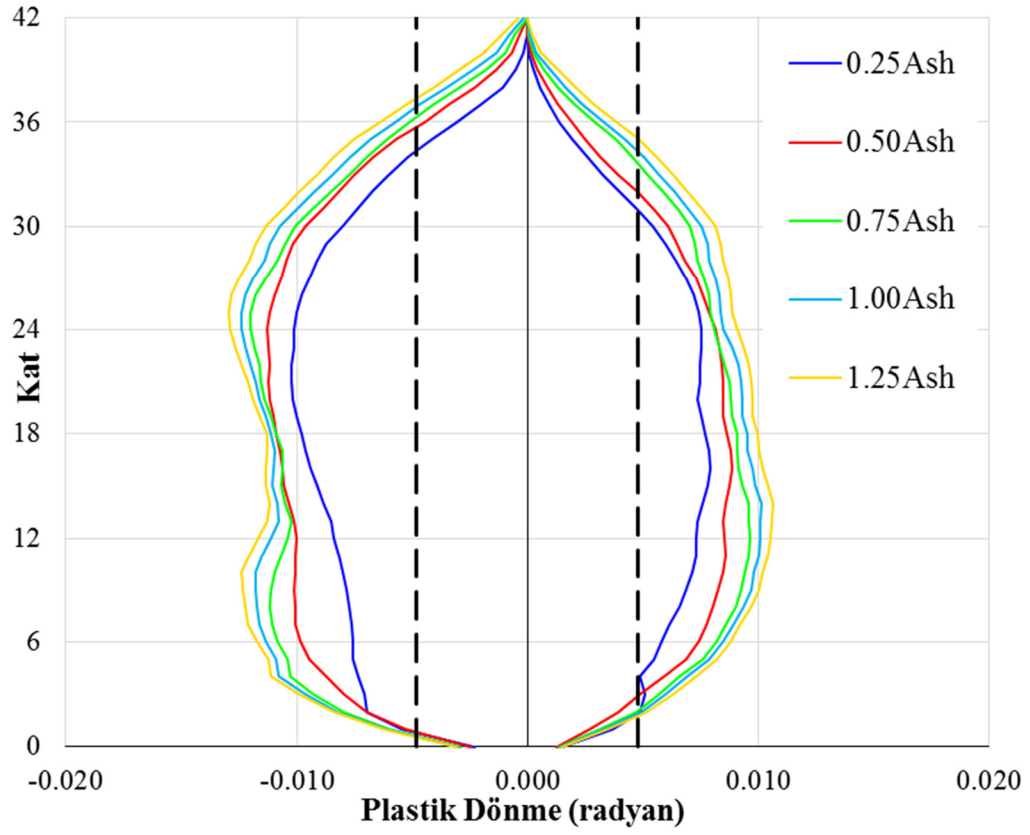
Daha fazla donatı ile oluşturulan perde duvarlı sistemlerde daha büyük deprem kuvvetlerinin oluşması, bağ kirişleri ve diğer yapı elemanları açısından önemlidir. Perde duvarlarda kesme donatısı arttıkça, diğer yapı elemanlarına etkiyen kuvvetler ve dolayısıyla şekil değiştirmeler artmıştır. Şekil 5.29 ve 5.30’da çelik bağ kirişlerindeki plastik dönmeler gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, daha fazla kesme donatılı sistemlerde bağ kirişlerinde daha fazla plastik dönme oluşmuştur. Bir başka deyişle, perde duvarların daha fazla donatı ile daha az hasar alacak şekilde tasarlandığında, diğer yapı elemanları üzerindeki talep ve hasar artmıştır.

Şekil 5.29 ve 5.30’da bağ kirişlerinde plastik dönmelerin yanında, çelik bağ kirişleri FEMA 356 ile hesaplanan Minimum Hasar Sınırı değerleri de gösterilmiştir. Yapıdaki bağ kirişlerinde, Minimum Hasar Sınırı aşılmış olmakla birlikte Güvenlik Sınırı’nın altında kalmıştır.



Şekil 5.29 : 4 aksında bağ kirişi plastik dönme değerleri.



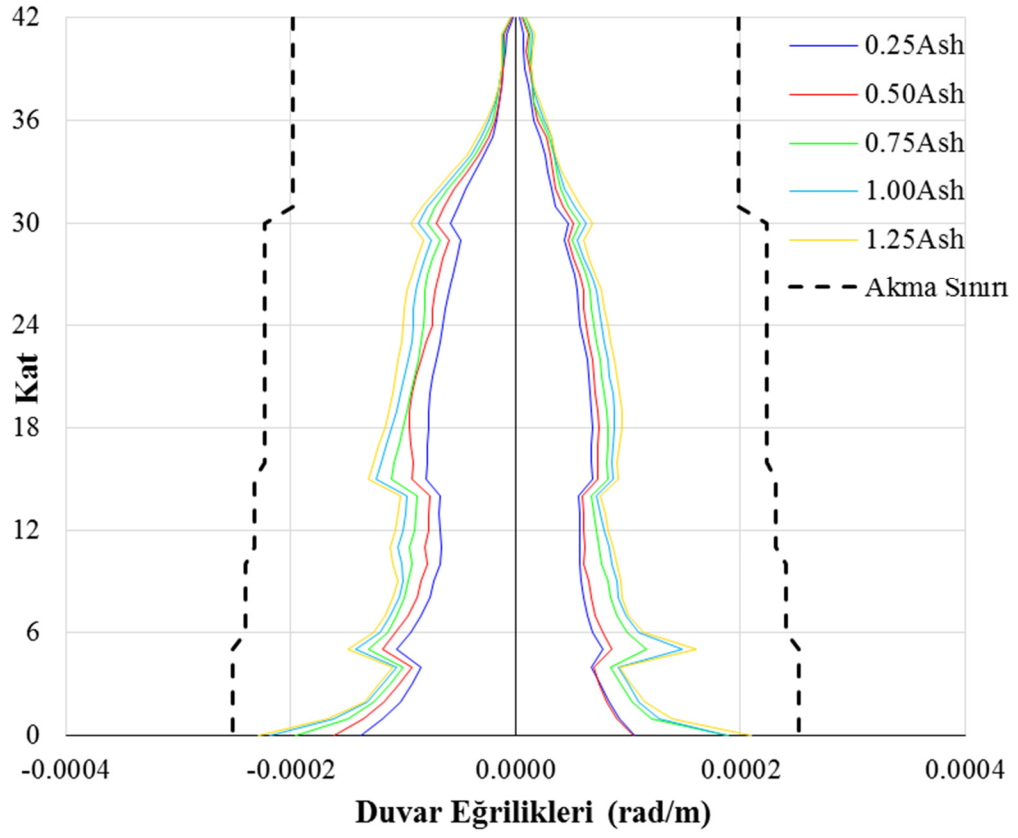
Şekil 5.30 : 2 aksı bağ kirişi plastik dönme değerleri.

5.4.5 Perde duvarlarda eğilme şekil değiştirmeleri

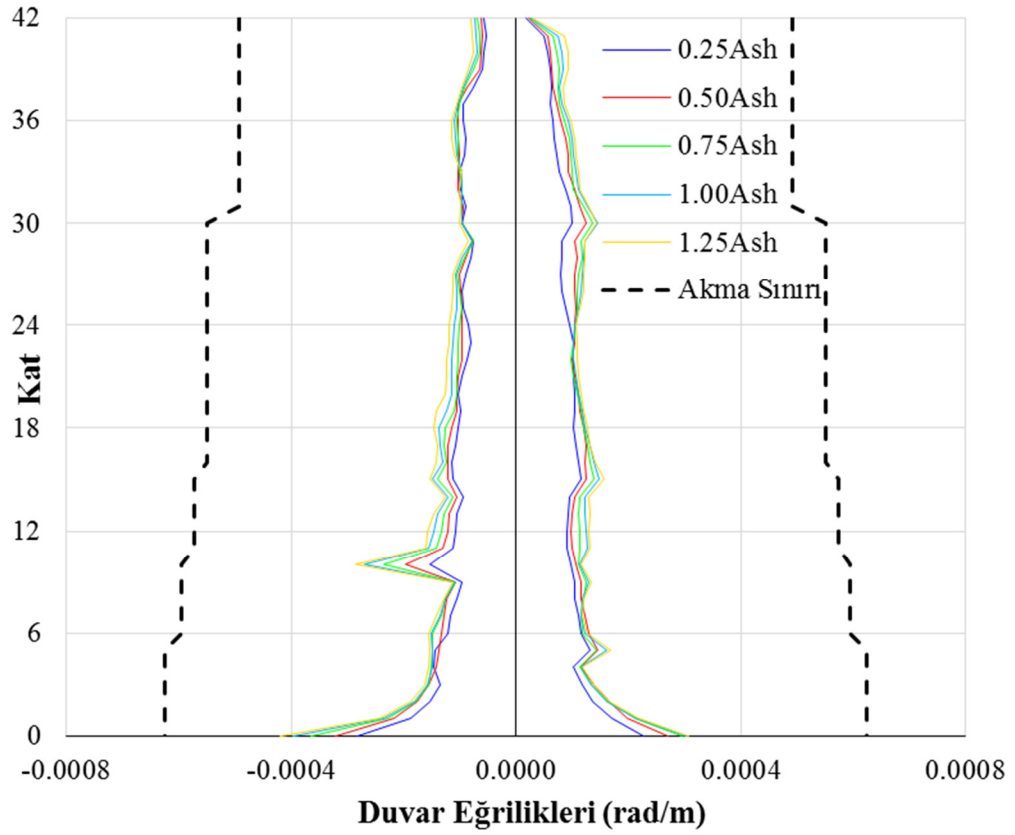
Şekil 5.31 ve 5.32’de perde duvar eğrilikleri gösterilmiştir. Şekil 5.33’de perde duvarda bir noktada donatı birim uzama değerleri ve beton birim kısalma değerleri gösterilmiştir.

Önceki bölümlerde, betonarme elemanlarda eğilme şekil değiştirmelerinin artmasının kesme kapasitesinde düşmeye neden olduğu belirtilmişti. Sonuçlar incelendiğinde, eğilme şekil değiştirmelerinin kesme kapasitesinin düşmesine neden olacak seviyelere ulaşp ulaşmadığını anlamak için aşağıda özetlenen yöntem takip edilmiştir.

Söz konusu kesme-eğilme etkileşim mekanizmasında, kesme kapasitesi eğrilik sünekliğine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, C şeklindeki betonarme perde duvarların kesme kapasitesi, her bir duvar parçasında ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu nedenle o kesme kapasitesini kontrol edecek eğrilik sünekliği de o duvar parçasından kontrol edilmesi önerilebilir. Ancak C şeklindeki perde duvarlarda eğilme mekanizması, tüm duvarların birlikte çalışması ile oluşur. Bu nedenle kesme kapasitesini etkileyecek eğrilikler farklı şekillerde de tanımlanabilir. Bu çalışmada duvarların akma eğriliklikleri her bir duvar parçası için ayrı ayrı moment-eğrilik analizi yapılarak belirlenmiştir. Zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarında da aynı şekilde her bir duvar parçasının eğrilikleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Analiz sonuçları ile duvarların akma eğrilikleri karşılaştırıldığında, perde duvarlarda eğilme yönünden akma davranışının üzerine çıkılmadığı görülmektedir. Ayrıca perde duvarların köşelerinde ölçülen donatı uzaması veya beton kısalması değerleri de ciddi bir eğilme şekil değiştirmesi meydana gelmediğini göstermektedir. Kesme kapasitesini düşmeye başlaması için eğrilik sünekliği değerinin 2 olması gerektiği göz önünde tutulursa, perde duvarlarda kesme kapasitesini tehdit eden eğilme momentleri ve eğrilik şekil değiştirmeleri oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, yapının yüksek yapı olmasına atfedilebilir. Eğrilik-kesme etkileşiminin az katlı yapılarda daha etkin olacağı bilinmekte olup, çıkan sonuçlar yüksek yapılarda bu etkileşimin yapı kesme davranışını etkilemeyecek seviyelerde olduğu yönündedir.

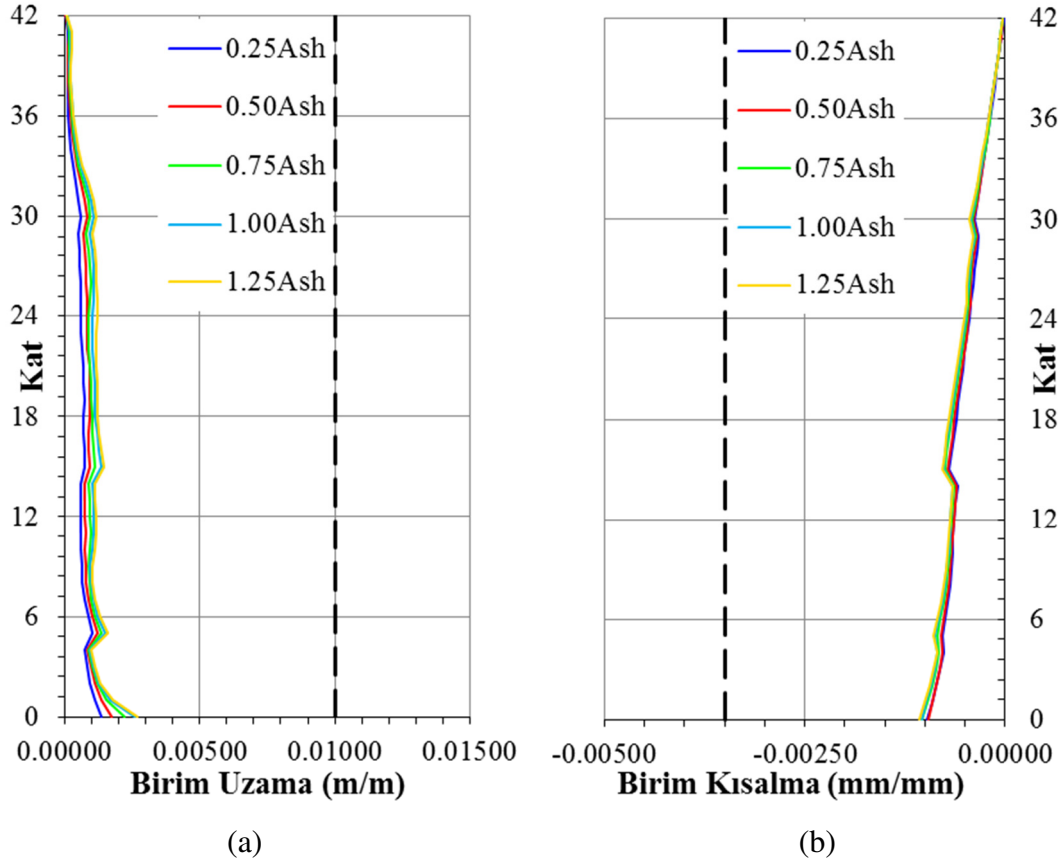


Şekil 5.31 : 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlarda eğrilik değerleri.



Şekil 5.32 : 16 m uzunluğundaki perde duvarlarda eğrilik değerleri.

Şekil 5.33’de perde duvarda donatı birim uzama değerleri ve beton birim kısaltmaları ile birlikte Türk Deprem Şartnamesi’nde (DBYBHY, 2007) tanımlanan performans seviyelerinden Minimum Hasar Sınırı’da gösterilmiştir. Perde duvarlarda eğilme açısından performans seviyeleri değerlendirildiğinde de oldukça güvenli seviyede olan durumun çok fazla değişmediği görülmektedir (Şekil 5.33). Perde duvarlarda kesme donatısının artmasıyla artan deprem kuvvetleri, perde duvarlarda eğilme şekil değiştirmelerini az da olsa arttırmıştır.



Şekil 5.33 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.

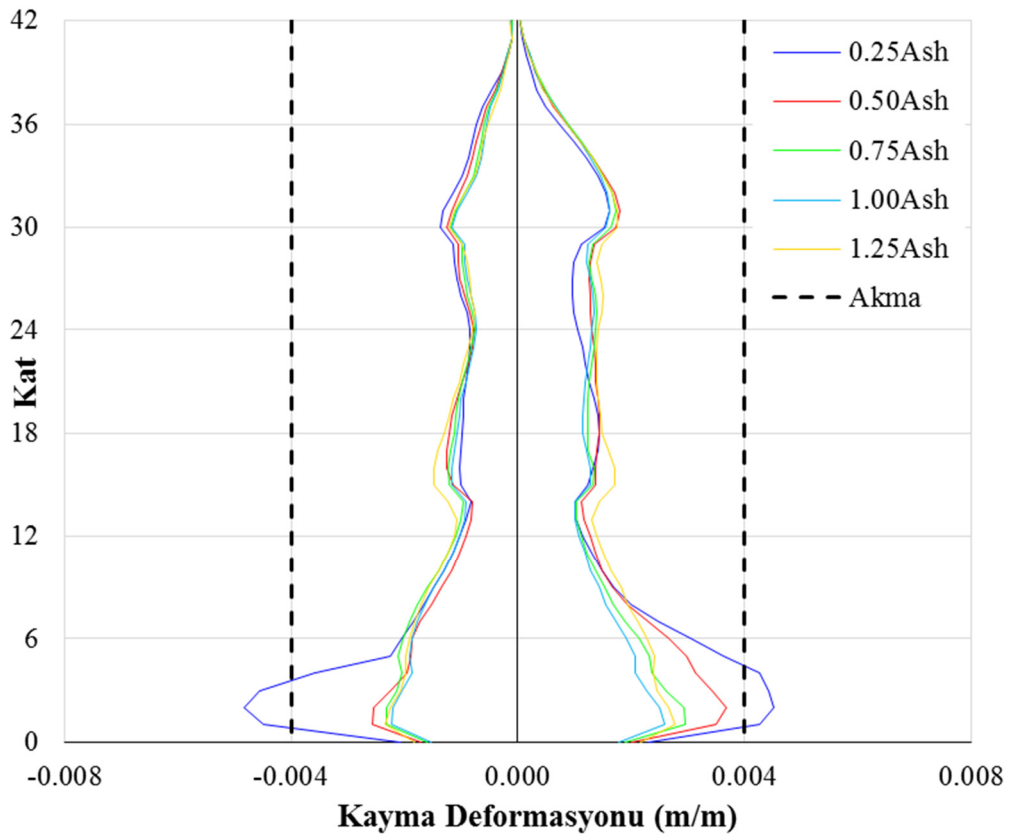
Çekirdek duvarlarda toplamda 8 noktada birim uzama-kısalma ölçümü yapılmıştır. Donatılarda birim uzamalar, betonda birim kısaltmalar kontrol edilerek performans seviyeleri belirlenmiştir. Sonuçlar, incelenen kritik tüm noktalardaki ortalama değerlerin birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı bu bölümde temsili sonuçlar göstermesi bakımından sadece bir noktadaki birim uzama-kısalma değerleri

gösterilmiştir (Şekil 5.33). Kalan noktadaki birim uzama-kısalma değerleri EK.D bölümünde sunulmuştur.

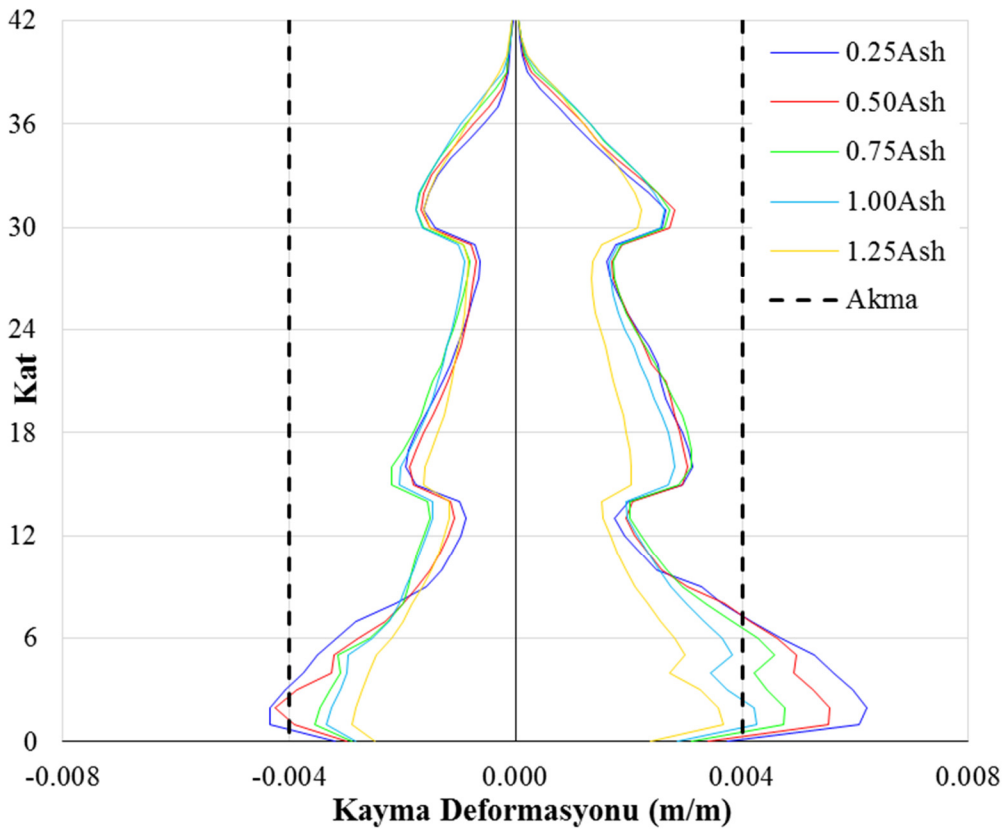
Elde edilen sonuçları özetlemek gerekirse, perde duvarlarda eğilme davranışı altında ilgili performans seviyelerine nazaran oldukça küçük şekil değiştirmeler olduğu gözlenmiştir.

5.4.6 Perde duvar kayma şekil değiştirmeleri

Tanımlanan doğrusal olmayan kesme modeli üzerinden perde duvarlardaki kayma şekil değiştirmeleri de incelenmiştir (Şekil 5.34 ve 5.35). Kayma şekil değiştirmeleri, Türk Deprem Şartnamesi'nde (DBYBHY, 2007) tanımlanan kritik perde yüksekliğine denk gelen ilk 8 katta yoğunlaşmıştır. 6.5 m uzunluğundaki ve 16 m uzunluğundaki perde duvarların kesme davranışları, perde duvarlar aynı kriterlere göre tasarlanmış olsalar dahi, birbirlerinden oldukça farklılaştığı görülmektedir. Bu gözlemlerden, duvarların narinlik oranlarının, kesme davranışı üzerinde açık bir etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.34 : 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlarda kayma şekil değiştirme değerleri.



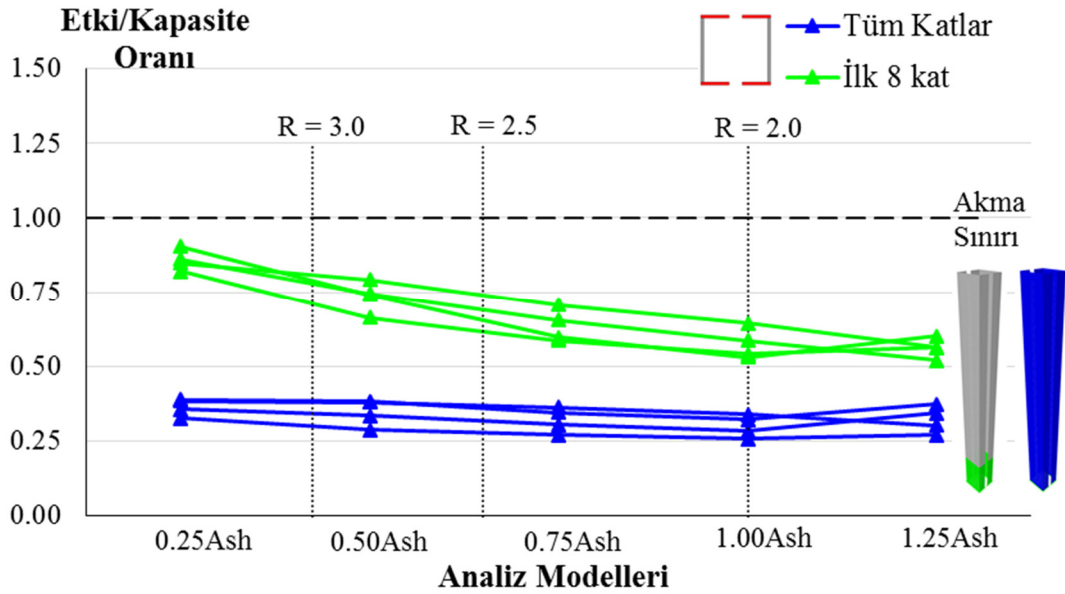
Şekil 5.35 : 16 m uzunluğundaki perde duvarlarda kayma şekil değiştirme değerleri.

6.5 m uzunluğundaki duvarlarda kesme donatısı miktarı %75'in altına düştüğünde, kayma şekil değiştirmeleri kayda değer bir şekilde artmıştır. Ancak sadece %25 kesme donatısı ile kesme akması şekil değiştirme seviyelerine ulaşılabilmiştir. Diğer donatı miktarlarına sahip perde duvarlı sistemlerde, çatlama dayanımı aşılsa da akma meydana gelmemiş, davranış yaklaşık olarak doğrusal kabul edilebilecek bölgede kalmıştır.

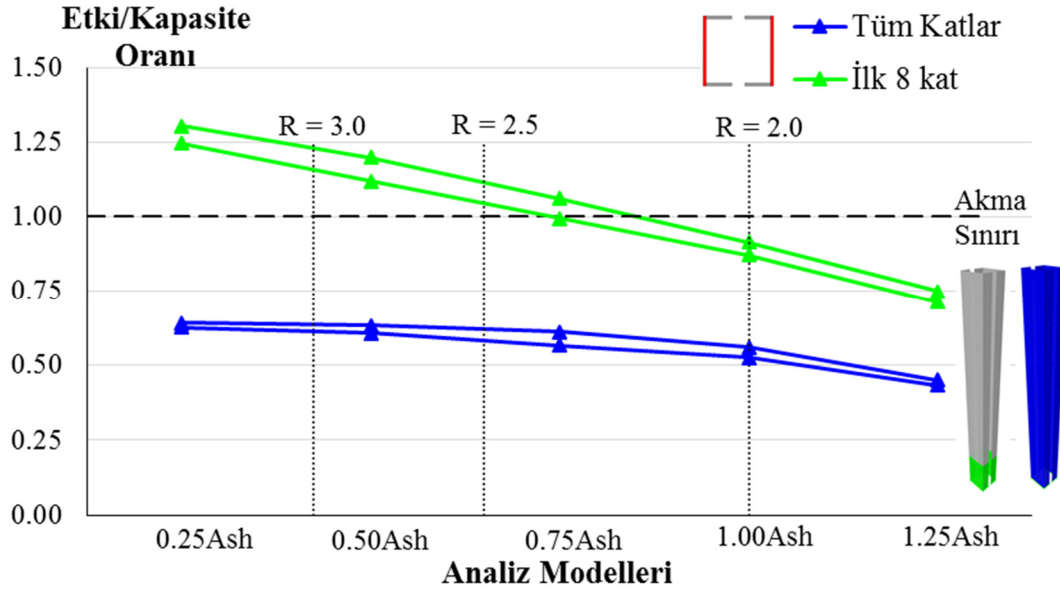
16 m uzunluğundaki duvarda sonuçlar kritik seviyeleri göstermektedir. Mevcut yönetmelikler ile yapılan, donatısı azaltılmamış, duvarlarda kesme akması gözlemlenmiştir. Bu sonuçların ortalama sonuçlar olduğu dikkate alınırsa, tekil depremlerin sonuçlarının daha kritik olacağı anlaşılmaktadır. Narinlik oranı düştüğünde, mevcut yönetmeliklerle ve R=2 deprem kuvvetleri ile yapılan tasarımın, kesme davranışı için kesme akması seviyesinin altında kalma hedefinin tutturulamadığı görülmüştür.

Bu çalışmada ayrıca mertebeleri daha rahat anlayabilmek ve sonuçları daha basite indirgeyebilmek için, analizi yapılan çekirdek perde duvar sisteminin kesme güvenliği seviyeleri için sayısal bir endeks tanımlanmıştır. Bu sayısal endeks bir etki-kapasite

oranı şeklindedir. Bu endekste etki, analizden elde edilen en büyük kayma şekil değiştirmeleri; kapasite ise akma şekil değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Etkinin kapasiteye oranının 1.0 olduğu değer sınır değer olarak kabul edilmiştir. Burada yaygın olarak benimsenmiş kapasite tasarımı yaklaşımına göre, betonarme elemanların doğrusal kesme davranışı göstermesi ve kesme akması oluşmaması hedeflendiği göz önünde bulundurulmuştur. Her bir duvar için elde edilen etki-kapasite oranının, tüm katlar boyunca ve ilk 8 kat olmak üzere iki farklı ortalaması alınmıştır. Oluşturulan sayısal endeks ile birlikte, Etki-kapasite oranlarının ortalamaları her kontrol modeli için belirlendiğinde; duvarlardaki kesme donatısı oranı ile kesme güvenliği arasında bir ilişki oluşturulmaya çalışılmıştır. 4 adet 6.5 uzunluğundaki duvar için kesme güvenliği Şekil 5.36’de, 2 adet 16 m uzunluğundaki duvar için ise kesme güvenliği Şekil 5.37’de gösterilmiştir. Ayrıca farklı kesme donatıları ile donatılandırılmış betonarme perde duvarlar, bir başka bakış açısıyla perdelerin kesme donatılarının farklı taşıyıcı sistem davranış katsayısı(R) ile azaltılmış deprem yükleri ile tasarım yapılmış betonarme perde duvarlar olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle Şekil 5.36 ve 5.37’de farklı kesme donatısı miktarlarına karşılık gelen, tasarımda seçilen R katsayıları da gösterilmiştir.



Şekil 5.36 : 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları.



Şekil 5.37 : 16 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kesme tasarımı ele alınarak, yüksek binalarda kullanılan betonarme perde duvarlarda kesme güvenliğini sağlayan bileşenlerin hem perde duvar hemde yapı davranışına olan etkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır.

Bu amaca ulaşmak için 43 katlı Türkiye’de inşa edilmiş ve hali hazırda kullanımda olan, Türk Deprem Şartnamesi (DBYBHY, 2007) ve uluslararası yüksek bina tasarım kılavuzları baz alınarak tasarlanmış bir binanın basitleştirilmiş hali örnek bina olarak kullanılmıştır. Betonarme perde duvarların kesme tasarımında önemli etkisi olduğu düşünülen iki ana parametre incelenmiştir: Perde duvar kalınlığı ve kesme donatı miktarı.

Perde duvar kalınlığının etkisi, orjinal yapı modeli ile beraber, orjinal yapının perde duvar kalınlıkları değiştirilerek elde edilen yapı modelleri ile birlikte üç adet modelin doğrusal davranış spektrumu yöntemi ile çözümlenerek elde edilen davranış özellikleri irdelenerek incelenmiştir. Bu çalışmada, yapı göreceli kat ötelemeleri, eksenel kuvvetler, kat kesme kuvvetleri ve kesme tasarım özellikleri incelenmiştir.

Kesme donatısının etkisi incelenirken orjinal perde duvar kalınlıklarından daha az kalınlıklara sahip perde duvarlı bir model baz alınmıştır. Bu model için Türk Deprem Şartnamesi’ne DBYBHY(2007) uygun olarak $R=2$ katsayısı ile azaltılmış deprem yükleri altında perde duvarların kesme tasarımı yapılmıştır. Baz alınan tasarım sonucu elde edilen donatı miktarı çeşitli oranlarda değiştirilerek beş farklı model türetilmiştir. Bu modeller, perde duvarların eğrilik ve kesme bakımından doğrusal olmayan modelleri oluşturularak doğrusal olmayan çözümlemeler ile incelenmiştir

Betonarme perde duvar kalınlıklarının yapı üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- Perde duvar kalınlığı, tüm yapı özelliklerini ve davranışını etkilediğinden özenle yaklaşılması gereken bir konudur. Her zaman daha kalın perde duvarların daha iyi tasarım olduğu, daha ince perde duvarların daha güvensiz bir durum oluşturduğunu söylemek mümkün değildir. Perde duvar üzerindeki eksenel kuvvetlerin sınırlandırılmasıyla süneklik şartları sağlanarak, uygun bir

rijitlik sağlayacak perde duvar kalınlığı ile optimum bir çözüm aramak daha faydalı olabilir.

- Perde duvar kalınlığını azaltırken; görelî kat ötelemesi, eksenel kuvvet oranları, tepe deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve benzeri parametreler incelendiğinde, kalınlıkta yapılan değışikliğin aynı oranda sonuçlara yansımadığı görülmüştür.
- Gerekli süneklik şartları ve yer değışirme değeri sağlandığı takdirde, o noktadan itibaren duvar kalınlıklarını arttırmak genelde negatif etkiler oluşturmıştır. Gerek kütlelerin gerekse rijitliğin artması ile yapının daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalması, bahsi geçen negatif etkilerin ana unsurlarıdır.

Perde duvarlarda kesme donatısı miktarının yapı davranışına etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- Betonarme perde duvarların narinlik oranlarının duvarların kesme davranışına önemli etkileri olduğu görülmüştür. Narinlik oranı düşük perde duvarların daha yüksek kesme yükleri alma ve kesme akmasının oluşma olasılığı narinlik oranı yüksek perde duvarlara nazaran daha yüksektir.
- Kesme donatılarının azalması, yapı davranışında bazı farklılaşmalar oluşturmıştır. 16 m uzunluğundaki perde duvarların etkin olduğu Y-doğrultusunda alt katlarda görelî kat ötelemeleri, kesme donatısı miktarı %75'in altına düştüğünden ciddi oranda artmıştır. 6.5 m uzunluğundaki perde duvarların etkin olduğu X-doğrultusunda ise kesme donatısı miktarı ancak %50'nin altında düştüğünde, alt katlarda görelî kat ötelemelerinde artış gözlenmiştir. Bu durum, betonarme perde duvarlardaki rijitlik kaybının bir sonucudur.
- Daha fazla kesme donatısına sahip duvarlar ile oluşturulmuş sistemlerde, maruz kalınan deprem kuvvetleri artmıştır. Kuvvetlerin artması görelî kat ötelemesi, kat kuvvetleri ve diğer tür yapı elemanları üzerindeki kuvvetleri arttırmıştır.
- 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda kesme donatısı ancak olması gereken kesme donatısının %75'in altına düştüğünde, akma sınırına ulaşılmıştır. Fakat 16 m uzunluğa sahip duvarlarda yönetmeliklere göre tasarlanan perde duvarların dahi akma sınırında olduğu gözlenmiştir. Bu durumda narinlik oranı düşük perdelerde, kesme akması oluşmaması hedefleniyorsa mevcut yönetmeliklerde belirtilen koşullar, perde duvar narinlik oranına bağlı olarak, yeterli olmayabilir.

- Perde duvarlarda kayma şekil değiştirmeleri farklı ortalama değerler hesaplanarak genelleştirildiğinde, narinlik oranı 25.14 olan 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda, bu çalışmanın sınırları içinde, kesme güvenliği açısından kritik seviyelere ulaşılmamıştır. Fakat narinlik oranı 10.2 olan 16 m uzunluğundaki duvarlarda kesme tasarımında kullanılacak R katsayısı 2.25'in üzerinde seçilmesi durumunda kesme oluşmuştur. Kesme güvenliği açısından kritik seviyeye denk gelen R değeri, duvar narinlik oranının düşmesiyle azalacağı düşünülmektedir.
- Bu çalışmada araştırılmak istenen bir başka durum, perde duvarlarda kesme-eğilme etkileşimidir. Perde duvarlarda elastik ötesi eğilme ve kesme modelleri birbirinden bağımsız tanımlandığı için karşılıklı etkileşim incelenememiştir. Fakat betonarme elemanlarda artan eğilme deformasyonları ile kesme kapasitesinin düşmesi durumunun, yüksek binalardaki perde duvarlarda kritik bir durum oluşturmadığı görülmüştür. Perde duvarlarda eğrilikler, oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bundan dolayı yüksek bina betonarme perde duvarlarında, kesme-eğilme etkileşiminin kayda değer seviyelerde olmadığı düşünülmektedir.

Yapılan parametrik çalışmanın daha ileri götürülmesi açısından sunulan öneriler şunlardır:

- Bu çalışmada perde duvar kalınlıklarının etkisi az sayıda kontrol modeliyle, lineer bir analiz yapılarak araştırılmıştır. Perde duvar kalınlıklarının seçimi açısından sağlıklı bir fikir edinebilmek için daha fazla sayıda kontrol modeliyle, her bir alternatifin zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi yapılarak elde edilecek performans değerlerinin karşılaştırılması önerilmektedir.
- Perde duvarlarda kesme donatısının etkisinin araştırılması ve tasarımda kritik seviyelerin belirlenmesi açısından, ve özellikle daha narin perde duvarlarda kritik noktaların oluşumunu gözlemlemek için, daha fazla kontrol modeli gerekli olduğu düşünülmektedir.
- Ana kontrol parametresi olarak perde duvar narinlik oranı seçilirse; narinlik oranı ile kesme tasarımında kullanılan R katsayısının kritik sınır değerleri arasında bir ilişki elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI 318M-11** (2011). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318M-11) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- AISC Design Examples V 14.0.** (2011). American Institute of Steel Construction.
- ANSI/AISC 360-10** (2010). Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- ASCE/SEI 41-13** (2013). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Ascheim, M. A. ve Moehle, J. P.** (1992). Shear Strength and Deformability of RC Bridge Columns Subjected to Inelastic Cyclic Displacements, Report UCB/EERC-92/04, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, Calif., Sf. 10.
- Biskinis, D. E., Roupakias, G. K. ve Fardis, M. N.** (2004). Degradation of Shear Strength of Reinforced Concrete Member with Inelastic Cyclic Displacements, ACI Structural Journal, Vol. 101, No. 6, Sf. 773-783.
- Components and Elements for PERFORM-3D and PERFORM-COLLAPSE.** (2011). Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik** (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- FEMA 273** (1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA-356** (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Gerin, M. ve Adebar, P.** (2004). Accounting for Shear in Seismic Analysis of Concrete Structures, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- Harries, K. A., Gong, B. ve Shahrooz, B. M.** (2000). Behavior and Design of Reinforced Concrete, Steel, and Steel-Concrete Coupling Beams.
- Hidalgo, P. A., Ledezma, C.A. ve Jordan R.M.** (2002). Seismic behavior of squat reinforced concrete shear walls, Earthquake Spectra, Vol. 18, No. 2, sf. 287-308.
- İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği** (2008). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, Çengelköy, İstanbul.
- Kowalsky, M. J. ve Priestley, M. J. N.** (2000). Improved Analytical Model for Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns in Seismic Regions, ACI Structural Journal, V.97, No.3, Mayıs-Haziran 2000, Sf. 388-396.

- LATBSDC.** (2014). And Alternative Procedure for for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region. Los Angeles Tall Building Structural Design Council: Los Angeles, CA.
- Mander, J. B., Priestley, J. N. ve Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1827.
- Moehle, J., Lynn, A., Elwood, K. ve Sezen, H.** (2001). Gravity Load Collapse of Building Frames During Earthquakes, PEER Report: 2nd U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Design Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Richmond, California.
- Nilson, A. H., Darwin, D. ve Dolan, C. W.** (2009). Design of Concrete Structures Fourteenth Edition , McGraw Hill Higher Education, New York.
- Oosterle, R. G., Fiorato, A. E., Aristizabal-Ochoa, J. D. ve Corley, W. G.** (1980). Hysteretic Response of Reinforced Concrete Structural Walls, Special Publication SP 63-11, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- Oosterle, R. G., Fiorato, A. E., Johal, L. S., Carpenter, J. E., Russell, H. G. ve Corley, W. G.** (1976). Earthquake Resistan Structural Walls – Tests of Isolated Walls, Report to National Science Foundation, Portland Cement Association Construction Technology Laboratories, Illinois.
- Park, R. ve Paulay, T.** (1974). Reinforced Concrete Structures
- Paulay, T., Priestley, M. J. N. ve Synge, A.J.** (1979). Ductility in Earthquake Resisting Squat Shearwalls, *ACI Journal*, Vol. 79, No. 4, sf. 257-269.
- Paulay, T. ve Priestley, M. J. N.** (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- PEER/ATC-72-1.** (2010). Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- PEER Report 2011/05.** (2011). Case Studies of Seismic Performance of Tall Buildings Design by Alternative Means, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Priestley, M. J. N., Verma, R. ve Xiao, Y.** (1994). Seismic Shear Strength of Reinforced Concrete Columns, *Journal of the Structural Division*, ASCE, V.120, No.8, Ağustos 1994.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M. ve Kowalsky, M. J.** (2007). Displacement-Based Seismic Design of Structures, UISS Press, Pavia, Italy.
- Sezen, H. ve Moehle, J. P.** (2004). Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 11, sf. 1692-1703.
- User Guide PERFORM-3D.** (2011). Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

EKLER

EK A: Kompozit Kolonların Kapasitesi

EK B: Bağ Kirişlerinde Plastik Mafsalların Kapasite Hesabı

EK C: Kontrol Modellerinde Perde Duvarların İnelastik Kesme Kapasiteleri

EK D: Perde Duvarlarda Donatı ve Beton Birim Uzama-Kısalma Değerleri

EK -A

A Noktası:

Kompozit kolon kesit eksenel kuvvet kapasitesi:

$$\begin{aligned} P_A &= A_s * F_y + A_{sr} * F_{yr} + 0,85 * f_c * A_c \\ &= 86340 \text{ mm}^2 * 495 \text{ MPa} + 7856 \text{ mm}^2 * 491,4 \text{ MPa} + 0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 473254 \text{ mm}^2 \\ P_A &= 70131 \text{ kN} \end{aligned}$$

D Noktası:

$$P_D = \frac{0,85 * f_c * A_c}{2} = \frac{0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 473254 \text{ mm}^2}{2}$$

$$P_D = 11766 \text{ kN}$$

$$Z_{rx,y} = \sum A * e = 2 * 491 * 370 + 4 * 491 * [340 + 260 + 140]$$

$$Z_{rx,y} = 1816700 \text{ mm}^3$$

$$Z_{cx} = \frac{d^3}{6} - Z_x - Z_{rx} = \frac{850^3}{6} - 15350 * 10^{-3} - 1816700 = 85187466 \text{ mm}^3$$

$$Z_{cy} = \frac{d^3}{6} - Z_y - Z_{ry} = \frac{850^3}{6} - 7680 * 10^{-3} - 1816700 = 92857467 \text{ mm}^3$$

$$M_{Dx} = Z_{sx} * F_y + Z_{rx} * F_{yr} + \frac{Z_{cx}}{2} * (0,85 * f_c)$$

$$M_{Dx} = 15350 * 10^3 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} + 1816700 \text{ mm}^3 * 491,4 \text{ MPa} + \frac{85187466 \text{ mm}^3}{2} * (0,85 * 58,5 \text{ MPa})$$

$$M_{Dx} = 10609 \text{ kNm}$$

$$M_{Dy} = Z_{sy} * F_y + Z_{ry} * F_{yr} + \frac{Z_{cy}}{2} * (0,85 * f_c)$$

$$M_{Dy} = 7680 * 10^3 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} + 1816700 \text{ mm}^3 * 491,4 \text{ MPa} + \frac{92857467 \text{ mm}^3}{2} * (0,85 * 58,5 \text{ MPa})$$

$$M_{Dy} = 7003 \text{ kNm}$$

B Noktası:

$$P_B = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Bx} = M_{Dx} - Z_{sn} * F_y - \frac{Z_{cn} * 0,85 * f_c}{2}$$

$$M_{Bx} = 10609 * 10^6 \text{ Nmm} - 411042 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} - \frac{6412894 \text{ mm}^3 * 0,85 * 58,5 \text{ MPa}}{2}$$

$$M_{Bx} = 10246 \text{ kNm}$$

$$M_{By} = M_{Dy} - Z_{sn} * F_y - \frac{Z_{cn} * 0,85 * f_c}{2}$$

$$M_{By} = 7003 * 10^6 \text{ Nmm} - 199039 \text{ mm}^3 * 495 \text{ MPa} - \frac{151238 \text{ mm}^3 * 0,85 * 58,5 \text{ MPa}}{2}$$

$$M_{By} = 6901 \text{ kNm}$$

C Noktası:

$$P_C = 0,85 * f_c * A_c$$

$$P_C = 0,85 * 58,5 \text{ MPa} * 473254 \text{ mm}^2$$

$$P_C = 23532 \text{ kN}$$

$$M_{Cx} = M_{Bx} = 10246 \text{ kNm}$$

$$M_{Cy} = M_{By} = 6901 \text{ kNm}$$

Çekme Dayanımı:

$$P_T = A_s * F_y + A_{sr} * F_{yr}$$

$$P_T = 86340 \text{ mm}^2 * 495 \text{ MPa} + 7856 \text{ mm}^2 * 491,4 \text{ MPa}$$

$$P_T = 46599 \text{ kN}$$

EK –B

HE500M:

$$A = 344,3 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 110,4 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 6180 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 7094 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 161900 \text{ cm}^4$$

$$F_{y_{\text{exp}}} = 345 \text{ MPa} * 1,1 = 379,5 \text{ MPa}$$

$$M_p = F_y * Z_x$$

$$M_p = 379,5 \text{ MPa} * 7094 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_p = 2092,2 \text{ kNm}$$

$$V_N = 0,6 * F_y * Z_x$$

$$V_N = 0,6 * 379,5 \text{ MPa} * 11004 \text{ mm}^2$$

$$V_N = 2505,6 \text{ kN}$$

$$Q_{CE} = \left[1,37 - 0,23 * \frac{e * V_N}{M_p} \right] * V_N$$

$$Q_{CE} = \left[1,37 - 0,23 * \frac{3 * 2505,6 \text{ kN}}{2092,2 \text{ kN}} \right] * 2505,6 \text{ kN}$$

$$Q_{CE} = 1362,2 \text{ kN}$$

$$E = 2 * 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} = \frac{2 * 10^8 \text{ kN/m}^2}{2 * (1 + 0,3)} = 76923077 \text{ kN/m}^2$$

$$K_s = \frac{G * A_w}{e} = \frac{76923077 \text{ kN/m}^2 * 110,4 * 10^{-4} \text{ m}^2}{3}$$

$$K_s = 282153,8 \text{ kN/m}$$

$$K_b = \frac{12 * EI}{e^3} = \frac{12 * 2 * 10^8 \text{ kN/m}^2 * 1619 * 10^{-6} \text{ m}^4}{3^3}$$

$$K_b = 143911,1 \text{ kN/m}$$

$$K_e = \frac{K_s * K_b}{K_s + K_b} = \frac{282153,8 \text{ kN/m} * 143911,1 \text{ kN/m}}{282153,8 \text{ kN/m} + 143911,1 \text{ kN/m}}$$

$$K_e = 95302,5 \text{ kN/m}$$

$$\theta_y = \frac{Q_{CE}}{K_e * e} = \frac{1362,2 \text{ kN}}{95302,5 \text{ kN/m} * 3 \text{ m}}$$

$$\theta_y = 0,00476$$

$$M_{CE} = \frac{V * e}{2} = \frac{1362,2 \text{ kN} * 3 \text{ m}}{2}$$

$$M_{CE} = 2043,3 \text{ kNm}$$

$$F_{yexp} = 379,5 \text{ MPa} = 55,04 \text{ ksi}$$

HE500M

$$b_f = 306 \text{ mm} = 12,05 \text{ inches}$$

$$t_f = 40 \text{ mm} = 1,575 \text{ inches}$$

$$h = 524 \text{ mm} = 20,63 \text{ inches}$$

$$t_w = 21 \text{ mm} = 0,827 \text{ inches}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{b_f}{2*t_f} &= 3,825 < \frac{52}{\sqrt{F_{yexp}}} = 7,009 \\ \frac{h}{t_w} &= 24,945 < \frac{418}{\sqrt{F_{yexp}}} = 56,34 \end{aligned} \right\} \text{FEMA356 Table 5-6: Beam} \rightarrow a$$

$$\frac{1,6*M_{CE}}{V_{CE}} = 1,336 \text{ m}$$

$$\frac{2,6*M_{CE}}{V_{CE}} = 2,171 \text{ m}$$

e (m)	3 m
a=θ_p -θ_y	0,04284
c	0,6
b	0,05236

Hardening:

$$M_U = M_{CE} + M_{CE} * \frac{\theta_u}{\theta_y} * 0,03$$

$$M_U = 2043,3 \text{ kNm} + 2043,3 \text{ kNm} * \frac{0,11176}{0,00476} * 0,03$$

$$M_U = 3421,2 \text{ kNm}$$

Residual Capacity:

$$M_R = 0,6*M_Y = 0,6*2043,3 \text{ kNm}$$

$$M_R = 1471,2 \text{ kNm}$$

e (m)	3 m
IO	0,00476
LS	0,02856
CP	0,03808

EK –C**Çizelge C.1 : 1.25A_{sh} Modelinde Çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları.**

Kat	b (mm)	d (mm)	Donatı	ρ_{sh} (%)	G^*A_{cv} (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	V_A (kN)	γ_{cr}	γ_y	γ_u	τ_{cr} (kN/m²)	τ_u (kN/m²)
L0-L5	550	6500	-	0.457	36943192	4648	8028	12676	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3546
L6-L15	550	6500	-	0.350	36943192	4648	6146	10795	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3019
L16-L30	450	6500	-	0.314	30226248	3803	4516	8319	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2844
L31-L43	350	6500	-	0.321	23509304	2958	3584	6542	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2876
L0-L5	550	16000	-	0.457	90937088	11442	19760	31203	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3546
L6-L15	550	16000	-	0.350	90937088	11442	15129	26571	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	3019
L16-L30	450	16000	-	0.314	74403072	9362	11115	20477	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2844
L31-L43	350	16000	-	0.321	57869056	7281	8822	16103	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2876

Çizelge C.2 : 0.75A_{sh} Modelinde Çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları.

Kat	b (mm)	d (mm)	Donatı	ρ_{sh} (%)	G^*A_{cv} (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	V_A (kN)	γ_{cr}	γ_y	γ_u	τ_{cr} (kN/m ²)	τ_u (kN/m ²)
L0-L5	550	6500	-	0.274	36943192	4648	4817	9465	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2648
L6-L15	550	6500	-	0.210	36943192	4648	3688	8336	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2332
L16-L30	450	6500	-	0.189	30226248	3803	2709	6513	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2227
L31-L43	350	6500	-	0.192	23509304	2958	2150	5108	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2245
L0-L5	550	16000	-	0.274	90937088	11442	11856	23298	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2648
L6-L15	550	16000	-	0.210	90937088	11442	9077	20520	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2332
L16-L30	450	16000	-	0.189	74403072	9362	6669	16031	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2227
L31-L43	350	16000	-	0.192	57869056	7281	5293	12574	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2245

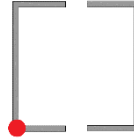
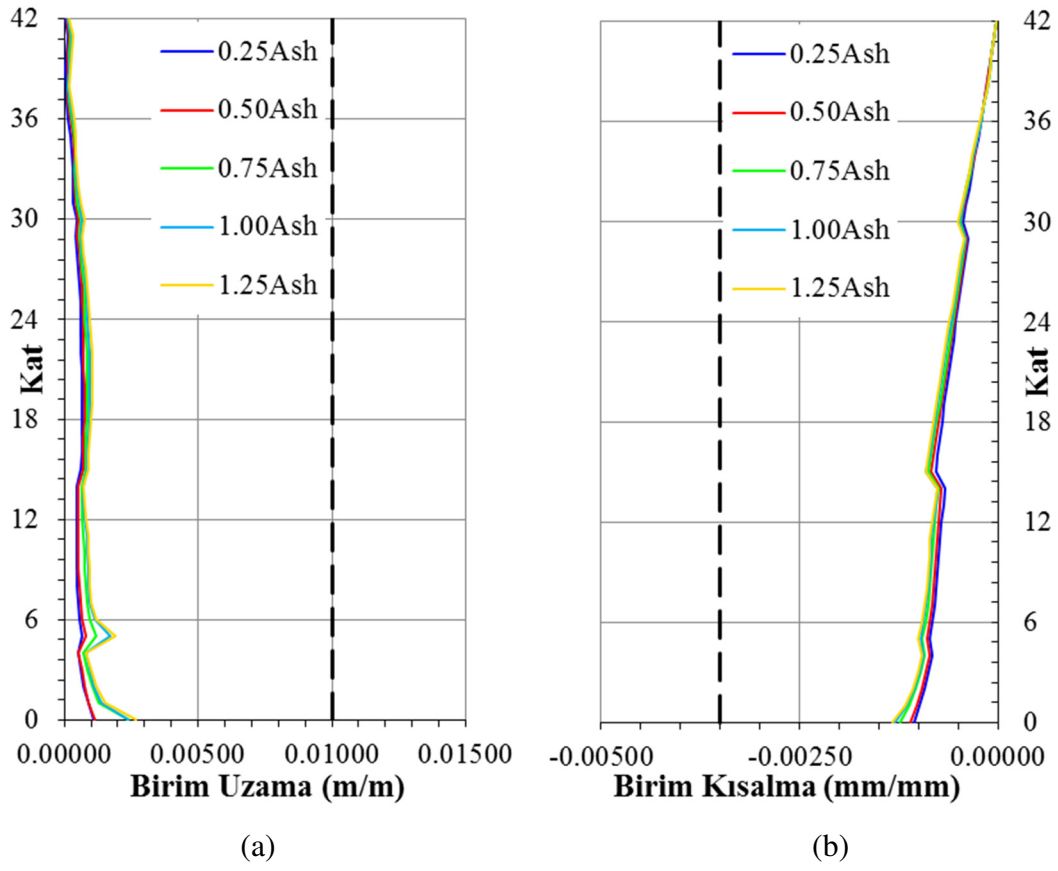
Çizelge C.3 : 0.50A_{sh} Modelinde Çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları.

Kat	b (mm)	d (mm)	Donatı	ρ_{sh} (%)	G^*A_{cv} (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	V_A (kN)	γ_{cr}	γ_y	γ_u	τ_{cr} (kN/m ²)	τ_u (kN/m ²)
L0-L5	550	6500	-	0.183	36943192	4648	3211	7859	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2198
L6-L15	550	6500	-	0.140	36943192	4648	2458	7107	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1988
L16-L30	450	6500	-	0.126	30226248	3803	1806	5609	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1918
L31-L43	350	6500	-	0.128	23509304	2958	1434	4392	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1930
L0-L5	550	16000	-	0.183	90937088	11442	7904	19346	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	2198
L6-L15	550	16000	-	0.140	90937088	11442	6052	17494	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1988
L16-L30	450	16000	-	0.126	74403072	9362	4446	13808	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1918
L31-L43	350	16000	-	0.128	57869056	7281	3529	10810	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1930

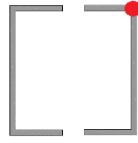
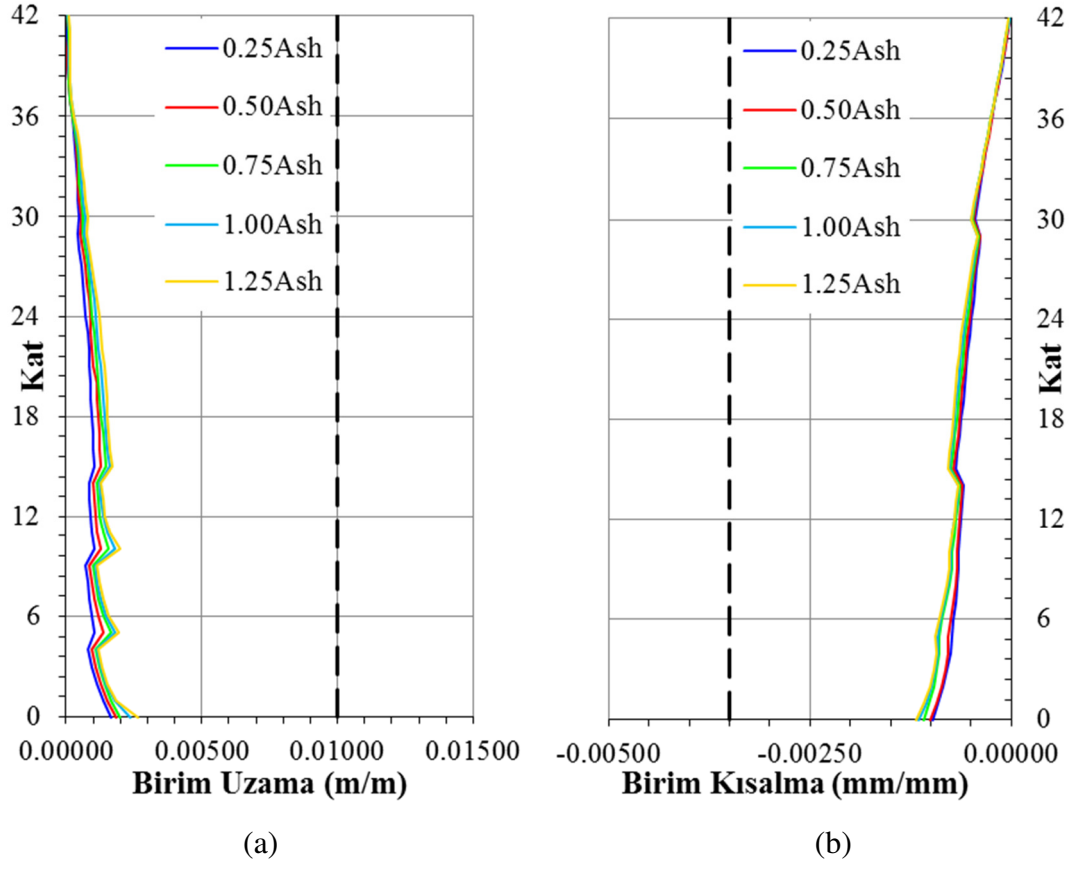
Çizelge C.4 : 0.25A_{sh} Modelinde Çekirdek perde duvarları kesme kapasiteleri ve inelastik kesme malzemesi dayanımları.

Kat	b (mm)	d (mm)	Donatı	ρ_{sh} (%)	G^*A_{cv} (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	V_A (kN)	γ_{cr}	γ_y	γ_u	τ_{cr} (kN/m ²)	τ_u (kN/m ²)
L0-L5	550	6500	-	0.091	36943192	4648	1606	6254	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1749
L6-L15	550	6500	-	0.070	36943192	4648	1229	5878	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1644
L16-L30	450	6500	-	0.063	30226248	3803	903	4706	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1609
L31-L43	350	6500	-	0.064	23509304	2958	717	3675	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1615
L0-L5	550	16000	-	0.091	90937088	11442	3952	15394	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1749
L6-L15	550	16000	-	0.070	90937088	11442	3026	14468	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1644
L16-L30	450	16000	-	0.063	74403072	9362	2223	11585	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1609
L31-L43	350	16000	-	0.064	57869056	7281	1764	9046	1.26E ⁻⁴	4E ⁻³	7.5E ⁻³	1300	1615

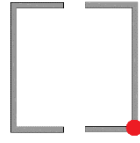
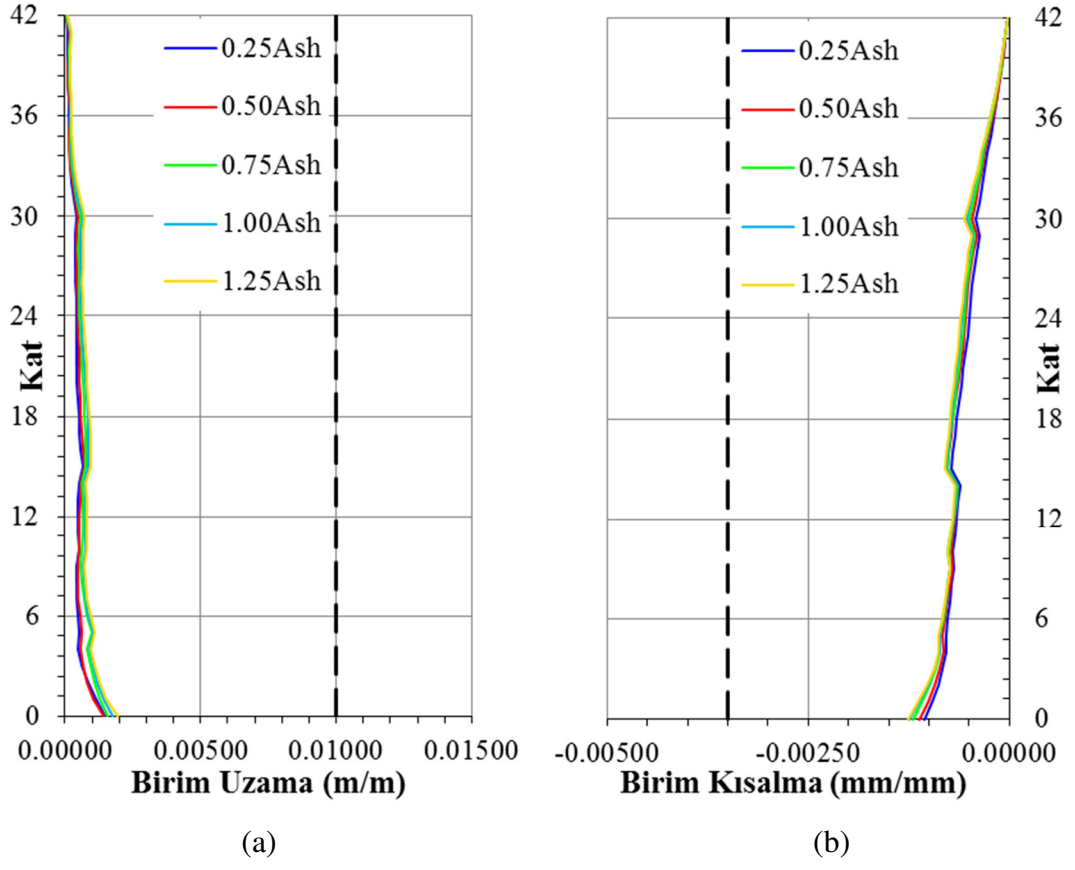
EK -D



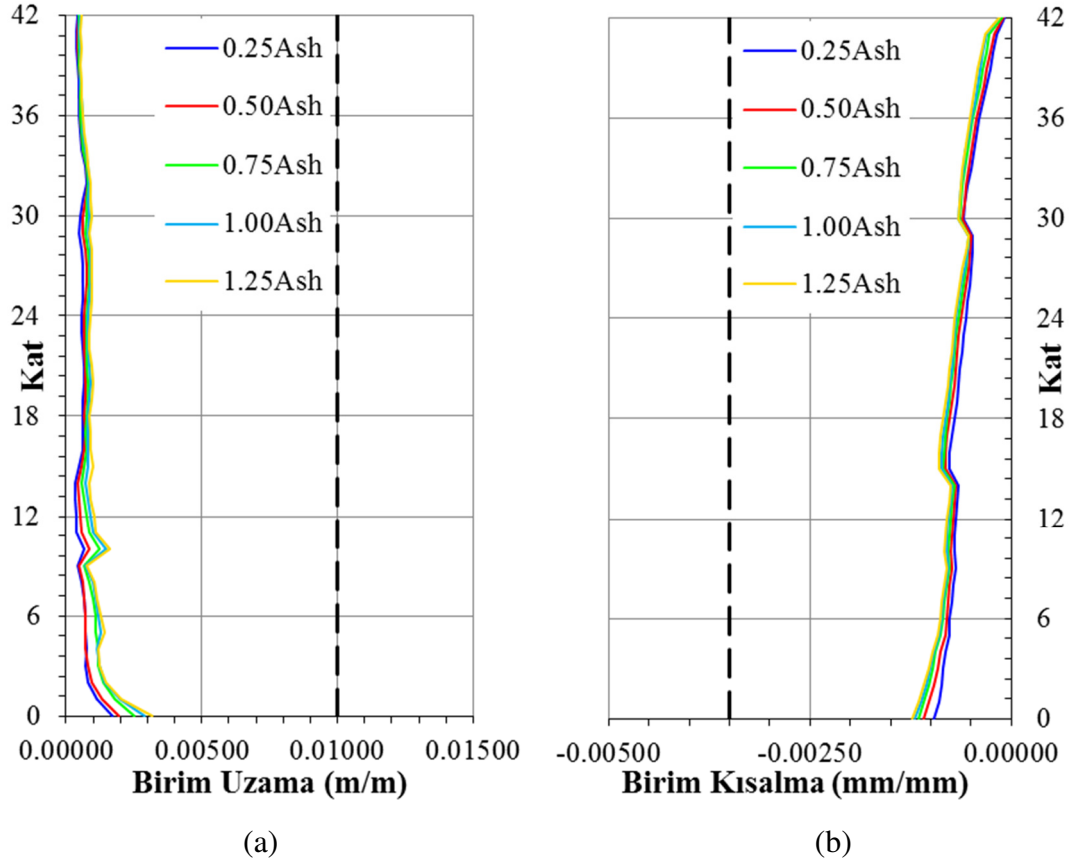
Şekil D.1 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.



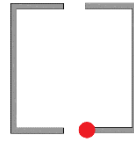
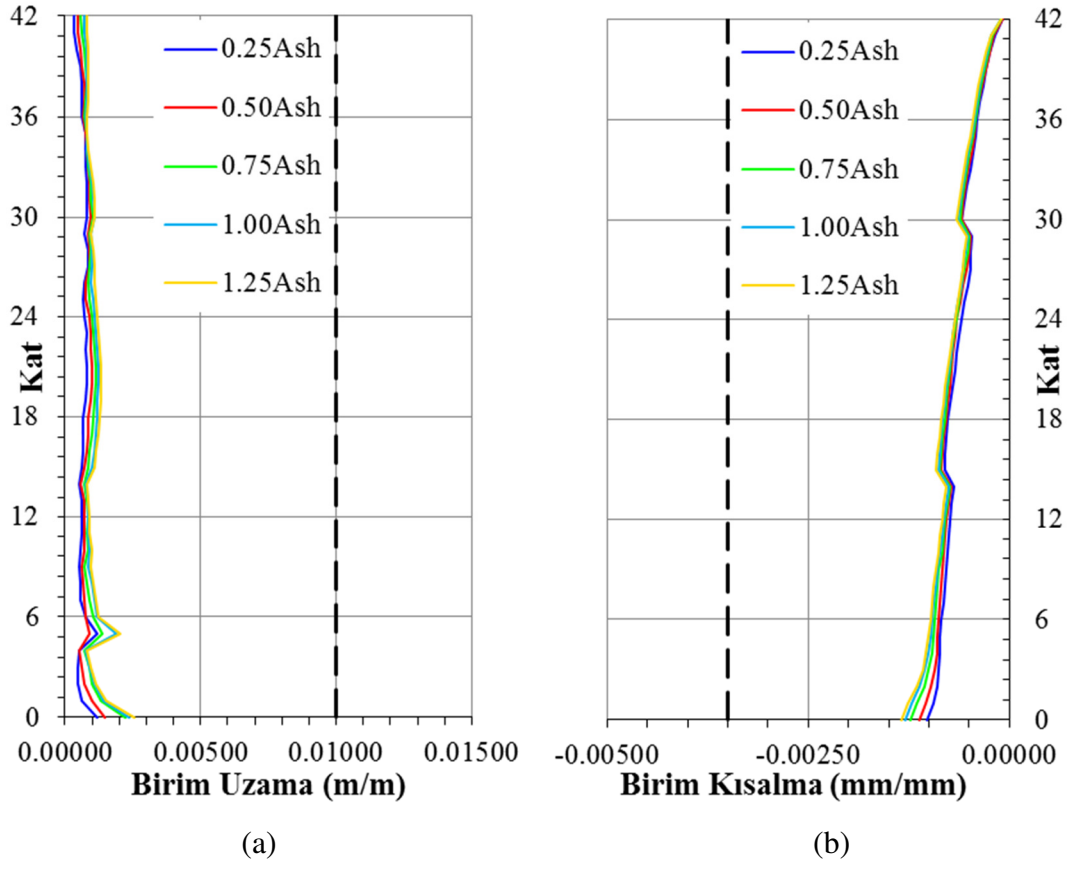
Şekil D.2 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.



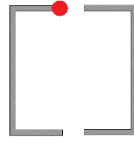
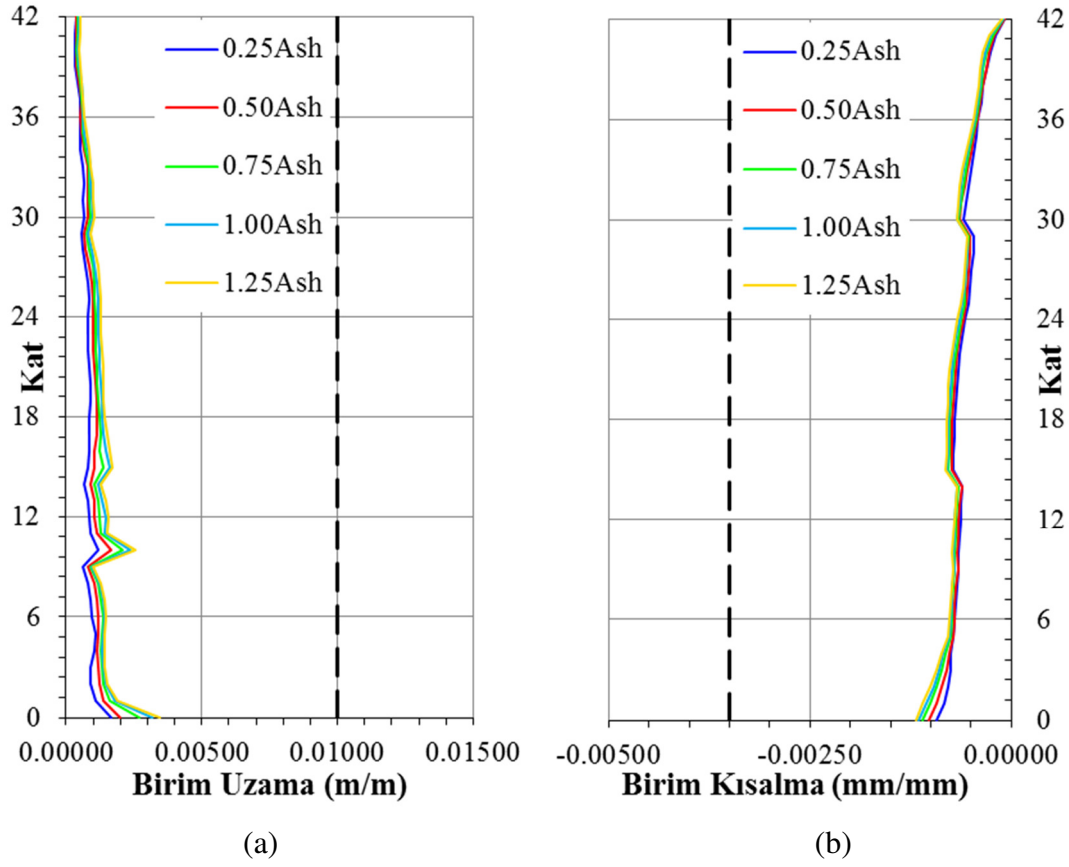
Şekil D.3 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısılma.



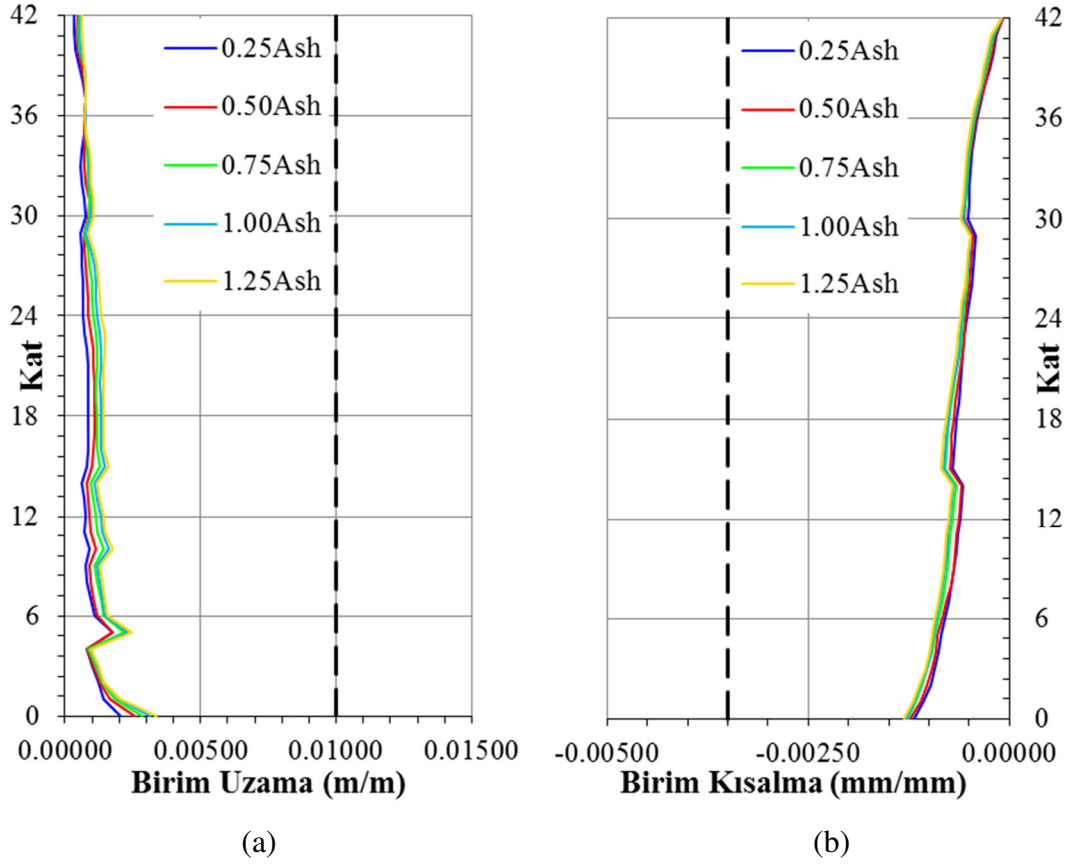
Şekil D.4 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısalma.



Şekil D.5 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısılma.



Şekil D.6 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısılma.



Şekil D.7 : (a) Donatıda birim uzama (b) Betonda birim kısılma.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ali İhsan ÖZCAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Çifteler/Eskişehir - 23.02.1989
E-Posta : aliozcan.ce@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği